

サイエンス型産業の持続的発展：

「知識と人」社会循環モデルにおける知の進化

同志社大学大学院総合政策科学研究科

技術・革新的経営専攻 一貫制博士課程

2010年度 1004番

飯嶋 秀樹

目次

1.	序論：日本の科学・技術の発展と本研究の目的.....	1
1.1.	日本の論文数の現状.....	1
1.1.1.	大学院の改革の影響.....	3
1.1.2.	論文数と GDP.....	3
1.1.3.	論文数と博士課程学生数.....	5
1.2.	従来取り組み.....	6
1.2.1.	論文の数と質の評価.....	6
a.	1982-2002年の論文の質的評価：林隆之・富澤.....	6
b.	1999-2009年の論文：岩澤.....	8
c.	2011年時点の認識：林幸秀.....	8
d.	2002年と2012年の複合材料分野の論文：西野.....	8
e.	1982-2014年の論文：文部科学省（NISTEP）.....	9
(i)	分析指標.....	9
(ii)	世界と日本の論文数.....	10
(iii)	日本の物理学と化学の論文数.....	11
(iv)	日本の部門別の論文数.....	11
(v)	時点比較の注意点.....	11
(vi)	1975-2012年の論文：飯嶋・山口・中田、Iijima and Yamaguchi.....	12
f.	2000-2012年の論文：新井.....	12
1.2.2.	大学院教育・教育需要の理論・教育の経済学に関する研究.....	13
a.	教育需要の目的と主体.....	14
b.	私的内部収益率と進学率：荒井の大学進学行動の分析.....	15
1.3.	科学研究と社会の発展.....	16
1.3.1.	論文数の実態と社会全体の活動.....	16
1.3.2.	「知の進化」における論文の役割.....	17
1.4.	本研究のリサーチ・クエスチョンと研究の視点.....	18
1.4.1.	リサーチ・クエスチョン.....	18
1.4.2.	本研究の視点.....	18

a.	なぜ日本が論文数を減少させたのか：論文が減ることは問題である	18
b.	論文が減るとなにかが問題か：研究者はなぜ論文を書くのか	19
c.	人はどのようにして研究者になるのか：生活・産業・知識を支える経済	19
1.5.	本研究における基本的認識と研究の目的	19
1.5.1.	基本的認識：論文数の減少は社会構造的な問題である	19
1.5.2.	研究の目的	20
1.6.	論文全体の構成	21
2.	理論仮説の提示：社会循環モデルの提案	22
2.1.	サイエンス型産業の定義	22
2.2.	サイエンス型産業を支える基礎科学	24
2.3.	科学・技術・産業の連携におけるサイエンス型産業の役割	25
2.4.	社会におけるサイエンス型産業の位置づけ	26
2.4.1.	経済循環モデル	26
2.4.2.	「知識と人」の流れ：家庭・学校・企業のあいだの交換関係	27
2.5.	「知識と人」社会循環モデルの提案	30
2.5.1.	3主体の間に存在する交換関係	30
2.5.2.	3主体の間の「知識と人」の流れ	32
2.5.3.	「知識と人」社会循環モデル	33
2.5.4.	研究者の育成	35
a.	大学における研究者の育成と人の流れ	36
b.	企業における研究者の育成と人の流れ	36
(i)	論文博士：企業内研究に依拠する研究者育成	36
(ii)	博士課程への社会人入学	38
2.5.5.	企業から家庭へ向かう知識の流れ	38
2.5.6.	サイエンス型産業の位置づけ	39
3.	社会システム理論の考え方：先行研究の検討	41
3.1.	「知識と人」社会循環モデルと社会システム理論の関係	41
3.2.	「社会システム理論」の基本的な考え方	42

3.2.1.	社会の構成要素.....	42
3.2.2.	人間の思考や意志の働き.....	43
3.3.	3種類の社会システム：相互行為・組織体・全体社会.....	45
3.4.	パーソンズとルーマンの比較.....	46
3.4.1.	構造-機能主義と機能-構造主義.....	46
3.4.2.	「知識と人」社会循環モデルと構造-機能主義.....	47
3.5.	コミュニケーションと機能システム.....	48
3.5.1.	コミュニケーション.....	48
a.	一般的な理解.....	48
b.	社会システムにおけるコミュニケーション：位相空間への投影.....	49
c.	コミュニケーションの3要素とコミュニケーションの連鎖.....	50
3.5.2.	コミュニケーション・メディア.....	51
a.	コミュニケーションにおける理解・伝達・成果の不確かさ.....	51
b.	不確かさを克服する3つのメディア.....	52
3.5.3.	機能システム.....	52
3.6.	オートポイエーシスと位相空間.....	53
3.6.1.	オートポイエーシスの4つの特徴.....	54
3.6.2.	位相空間.....	56
a.	位相の二義.....	56
b.	位相の直観的解釈.....	57
3.6.3.	位相空間で見える構造.....	58
3.6.4.	「コミュニケーション」の位相.....	58
3.7.	ダブル・コンティンジェンシー（二重の不確か性）.....	60
3.7.1.	ダブル・コンティンジェンシーの思考実験：肉の売買.....	61
a.	出会いの場面：ダブル・コンティンジェンシー.....	61
b.	コミュニケーションの成立への移行：シングル・コンティンジェンシー.....	62
c.	ダブル・コンティンジェンシーの解消.....	63
3.7.2.	ダブル・コンティンジェンシーと社会システムの作動.....	63
3.8.	カップリングと相互浸透.....	64
3.9.	心理システム・神経システム・有機体システムの複合体としての人間.....	66

3.9.1.	複合体としての人間.....	66
3.9.2.	心理システムと社会システムの構成要素：意識とコミュニケーション	67
3.9.3.	言語による構造化と言語によるコミュニケーション.....	67
3.10.	社会システム理論における知識生産のプロセス：知識システム.....	69
3.10.1.	機能システムの複合体としての人間.....	69
3.10.2.	知識システムの作動原理.....	69
a.	知識システムの定義.....	69
b.	実空間の脳と位相空間の心の働き	70
c.	言語による構造化.....	70
4.	日本の科学・技術研究の実態：論文数と研究者数の分析	73
4.1.	学術論文数の集計方法.....	73
4.1.1.	検索の基本条件.....	73
4.1.2.	論文数のカウント	73
4.1.3.	国ごとの集計	74
4.1.4.	研究分野の絞込み：「研究分野」と「Web of Science の分類」	74
4.1.5.	国内研究と海外共同研究の区別と著者名分析	74
4.2.	世界の科学・技術の発展：各国の論文数の推移（1975-2016）	75
4.3.	日本の論文数の推移.....	78
4.3.1.	研究分野ごとの論文数の推移	78
a.	A 群の研究分野と B 群の研究分野の特徴.....	78
b.	A 群と B 群の論文数の推移：1975-2014 年	80
c.	A 群の上位 10 分野の論文数の推移.....	81
d.	B 群の 10 分野の論文数の推移	83
4.3.2.	代表的な 10 分野の論文数：Web of Science の「研究分野」を用いた分類 ...	84
a.	論文数の増減の全体像	85
b.	研究分野ごとの論文数の推移：物理学タイプと化学タイプ	86
4.3.3.	NISTEP の科学研究のベンチマーキング	87
4.4.	研究者数と論文数の減少：研究分野ごとの研究者数の推定.....	89
4.4.1.	日本標準職業分類における研究・開発ならびに生産に関連する職業.....	89

a.	日本標準職業分類における研究者の定義.....	91
b.	日本標準職業分類における製造技術者の定義.....	92
4.4.2.	本研究における研究者・技術者の定義.....	93
a.	研究者であるための必須要件.....	93
b.	研究者の人数をカウントする方法.....	94
c.	本研究における研究者の定義.....	94
4.4.3.	研究者数の推定.....	96
a.	論文の区別と研究者の構成.....	96
b.	研究者の属性に関する論文書誌情報.....	99
c.	国内研究の論文集合 B の研究者数.....	99
4.5.	国内研究と海外共同研究の論文数の推移：日本全体の論文数.....	101
4.5.1.	日本の論文数 a と国内研究の論文数 b、海外共同研究の論文数 c：図 4-8a.....	101
4.5.2.	日本の論文数 a の 3 年ごとの増加率：図 4-8b.....	102
4.5.3.	国内研究の論文数 b の増加率と海外共同研究の論文数 c の増加率：図 4-8c.....	103
4.6.	2000 年代に論文数が停滞～減少した研究分野の論文数と研究者数.....	105
4.6.1.	物性物理学.....	105
a.	日本の論文数 a と国内研究の論文数 b、海外共同研究の論文数 c：図 4-9a.....	105
b.	3 種類の著者数 x_d 、 x_{di} 、 b' ：図 4-9b.....	107
c.	国内研究の論文数 b とその著者数 b' ：図 4-9c.....	109
d.	3 種類の著者数の増加率：図 4-9d.....	111
e.	著者数 x_d の増加率と著者数 x_{di} の増加率：図 4-9e.....	112
f.	物性物理学のまとめ.....	115
4.6.2.	応用物理学.....	115
a.	日本の論文数 a と国内研究の論文数 b、海外共同研究の論文数 c：図 4-10a.....	115
b.	3 種類の著者数 x_d 、 x_{di} 、 b' ：図 4-10b.....	116
c.	国内研究の論文数 b とその著者数 b' ：図 4-10c.....	117
d.	3 種類の著者数の増加率：図 4-10d.....	118
e.	著者数 x_d の増加率と著者数 x_{di} の増加率：図 4-10e.....	120
f.	応用物理学のまとめ.....	122

4.7.	2000年代に論文数が増加した研究分野の論文数と研究者数	122
4.7.1.	光学.....	122
a.	日本の論文数 a と国内研究の論文数 b 、海外共同研究の論文数 c : 図 4-11a...	122
b.	3種類の著者数 x_d 、 x_{di} 、 b' : 図 4-11b	123
c.	国内研究の論文数 b とその著者数 b' : 図 4-11c	124
d.	3種類の著者数の増加率 : 図 4-11d	126
e.	著者数 x_d の増加率と著者数 x_{di} の増加率 : 図 4-11e.....	127
f.	光学のまとめ	129
4.8.	まとめ	129
5.	3主体における「知識と人」の実態：日本の物理学研究を事例に.....	131
5.1.	日本の物理学研究を取り巻く3主体における人の流れと知識の生産	131
5.2.	日本の物理論文数の推移：所属機関の影響.....	133
5.2.1.	企業：企業の経営と研究.....	136
5.2.2.	企業の「選択と集中」	136
a.	民間企業の研究開発における「選択と集中」の影響：1990年代初期	136
b.	企業の物理論文数と化学論文数の推移	137
c.	「選択と集中」をキーワードとする新聞記事の出現頻度	140
d.	増加から減少へのタイミング	141
5.2.3.	学生数と企業の論文数	142
a.	修士課程の志願者数と入学者数、企業の論文数の推移	142
b.	博士課程の志願者数と入学者数、企業の論文数の推移	143
5.2.4.	物理産業の経営環境.....	145
a.	売上高、付加価値額と経常利益.....	145
b.	産業別修士卒者の就職者数の推移：理学研究科と工学研究科.....	147
5.3.	家庭：高校の物理履修率	151
5.3.1.	物理系大学院進学率の考え方：世代人口と高校物理の履修率の影響.....	151
5.3.2.	高校物理とセンター試験.....	154
a.	高校物理の履修率	154
(i)	学習指導要領の変遷.....	154

(ii)	既報における高校物理の履修率の推移	156
(iii)	物理系予備群：上級物理を履修した高校生群	158
(iv)	C期の物理系予備群の比率	159
b.	センター試験における物理受験率	160
(i)	センター試験の受験科目と受験者数・受験者率の推移	160
(ii)	センター試験における上級物理受験者率	164
c.	C期における上級物理履修率の推定	166
5.4.	大学：物理系大学院への進学	167
5.4.1.	物理系博士課程の規格化学生数	168
5.4.2.	物理系修士課程の規格化学生数	170
5.4.3.	日本の物理論文数と博士課程学生数	172
6.	大学院物理学専攻の進学率の決定要因：理論モデルに基づく重回帰分析	177
6.1.	物理学専攻の修士課程・博士課程への進学選択：高等教育進学モデル	177
6.1.1.	進学率の定義	177
a.	進学者率と入学者率	177
b.	連結進学率	179
6.1.2.	物理学専攻の修士課程・博士課程への進学率の推移	179
a.	上級課程進学者率の推移の傾向	180
b.	上級課程進学者率と物理学専攻入学者率の比較	180
6.1.3.	「修士・博士並列」モデルと「修士優位」モデル	182
a.	モデルの変質	182
b.	バブル経済の進展と崩壊	183
6.2.	博士課程進学率の決定要因：重回帰分析	186
6.2.1.	重回帰モデル：博士課程進学率	187
a.	被説明変数：ADとED	187
b.	説明変数の候補	189
(i)	家計所得（IC5）：親の学費負担能力	190
(ii)	費用と損失（CL）：授業料と放棄稼得	191
(iii)	物理企業7社の売上高（CS）：企業の経営指標	192

(iv) 企業の論文数 (CA) : 企業の研究指標	192
(v) 日本の物理論文数 (JA) : 大学の物理学研究指標	195
c. 説明変数の選択 : AD と ED	195
d. 博士課程への進学選択のタイミングと説明変数の時間差モデル	198
6.2.2. 重回帰分析の結果 : 博士課程進学率	199
a. 博士課程進学者率 AD	199
b. 博士課程入学者率 ED	202
6.3. 修士課程進学率の決定要因 : 重回帰分析	204
6.3.1. 重回帰モデル : 修士課程進学率	204
a. 被説明変数 : AM と EM	204
b. 説明変数の候補と選択 : AM と EM	206
c. 修士課程への進学選択のタイミングと説明変数の時間差モデル	209
6.3.2. 重回帰分析の結果 : 修士課程進学率	210
a. 修士課程進学者率 AM	210
b. 修士課程入学者率 EM	213
6.4. 博士課程への進学と修士課程への進学 : 進学者率と入学者率	214
6.4.1. 進学者率 AD と AM	214
a. 家計所得 (IC5) の効果	215
b. 費用と損失 (CL) の効果	215
(i) 修士課程への進学選択	215
(ii) 博士課程への進学選択	217
c. 企業論文数 (CA) の効果	218
(i) 修士課程への進学選択	218
(ii) 博士課程への進学選択	218
6.4.2. 入学者率 ED と EM	219
6.5. 進学者率と入学者率の比較 : 博士課程と修士課程	220
6.5.1. 博士課程への進学率 AD と ED	220
6.5.2. 修士課程への進学率 AM と EM	220
6.6. 企業の論文数と進学率 : 経営状況を起点とする出来事の連鎖	221
6.7. 日本の科学・技術の発展における企業の役割	222

7.	提言「知の進化」における企業の役割	224
7.1.	サイエンス型産業を取り巻く活動領域	224
7.1.1.	「知識と人」社会循環モデルの動的構造と階層構造	224
7.1.2.	「知識と人」社会循環モデルの3主体と機能システムの関係	226
a.	主体が果たす役割範囲	226
b.	3つの主体の機能システムと高次機能システム	226
7.1.3.	4つの活動に対応する機能システムの条件	227
a.	研究活動と研究システム	227
b.	開発活動と開発システム	228
c.	経済活動と経済システム	230
d.	教育活動と教育システム	231
7.1.4.	4つの機能システムの特性	232
7.2.	3つの主体に対応する高次機能システム	233
7.2.1.	科学領域における大学の活動：大学システム（教育&研究）	234
7.2.2.	技術領域における企業の活動：企業システム（研究&開発&経済）	234
7.2.3.	生活領域における家庭の活動：家庭システム（経済&教育）	236
7.3.	社会システムにおける知識の伝播：「知の進化」システム	237
7.3.1.	「知の進化」システムの条件	237
7.3.2.	実空間の3主体と位相空間の4機能システム	239
7.4.	サイエンス型産業の企業の役割	242
7.4.1.	研究者と創造人の同義性：論文数と創造的な知的活動の照応	242
7.4.2.	企業の知的活動が日本の研究と教育に及ぼす影響	242
a.	日本の経済状況が大学院進学率へ及ぼした影響	243
b.	大学院進学率を決定する経済指標と研究指標	244
(i)	企業の論文数（CA）に相当する情報交換の手段	244
(ii)	決定要因として有効でなかった要因：日本の論文数と企業の売上高	245
(iii)	博士卒者の能力と可能性の正当な評価：「博士優位モデル」の確立	245
7.5.	物理論文数の減少と社会循環モデル・機能システムの関係	246
7.5.1.	社会循環モデルと物理論文数の減少に関わる3つの問題	246

7.5.2.	機能システムの相互浸透と物理論文数の減少に関わる 3 つの問題.....	247
7.5.3.	機能システムの相互浸透によるコミュニケーションの連鎖.....	247
7.5.4.	科学・技術による社会の発展と科学と技術の違い.....	249
a.	科学・技術による社会の発展.....	249
b.	科学と技術の違い：対象・目的・方法.....	250
7.6.	「知の進化」における企業の役割：企業研究の特徴.....	251
7.6.1.	大学と企業における研究.....	251
7.6.2.	企業における技術研究の特徴：多様な領域との関わりと生産現場の価値....	251
7.7.	なぜ論文を書くのか.....	252
7.7.1.	知識の空間的・時間的な広がり.....	252
7.7.2.	論文を書く理由（その 1）：知識の無償性.....	253
7.7.3.	言語による構造化と対象化.....	253
7.7.4.	論文を書く理由（その 2）：対象化による情報発信と知識の自己進化.....	254

1. 序論：日本の科学・技術の発展と本研究の目的

1.1. 日本の論文数の現状

日本の論文数が 2000 年以降、停滞しているという報告がある(阪・桑原 2013 ; 角田・西澤・孫 2014)。日本の論文数の現状を確認するために、学術論文データベース Web of Science を用いて、自然科学分野の学術論文（英語）の発行数を調べた。論文の著者のうち少なくとも 1 人が日本の研究機関（大学、公的あるいは民間の研究所など）に所属する研究者である論文を日本の論文として数えた。

図 1-1 に 1975–2014 年の日本の論文数の推移を 10 年ごとに分けて 4 つの図で示す。

図 1-1a、1975 年に出版された日本の論文数は年間 12,000 報強であった。日本の経済が第 1 次オイルショックから回復して“Japan as No.1”と呼ばれた高成長期へ移行する時期である。論文数は単調に増加し、10 年後の 1984 年に年間約 27,000 報となった。この間の論文数の毎年の増加率は約 8.9%であった。

図 1-1b、1985 年以降も論文数は増え続け、1991 年に約 42,000 報になった。この 1991 年にバブル経済が崩壊を始めた。日本経済は大転換の時代へと進んだが、バブル崩壊（1991-1993）のあとも論文数は増え続け、1995 年に約 50,000 報となった。この 10 年間（1985-1994）の論文数の毎年の増加率は約 6.2%であった。

図 1-1c、1996 年から突然、論文数の増加率が低下した¹。1996-2004 年の論文数の推移に注目すると、1996-2005 年の毎年の増加率は約 2.3%であった。これは“Japan as No.1”と呼ばれた時代（1975-1984）の 1/3 以下、バブル期からバブル崩壊直後（1985-1994）の 2/5 以下の増加率である。

図 1-1d、2003 年から日本の論文数は停滞し、2005 年ごろから減少に転じた。2005-2014 年の 10 年間はほとんど論文数が増えず、増加率は 0.0%であった。

このように日本の論文数は 1975-2014 年の 40 年のあいだに、20 年間の成長期、10 年間の転換期、10 年間の停滞期を経て現在に至った。

¹ 1995 年と 1996 年のあいだで論文数が不自然に増えているため、図 1-1c では 1995 年の論文数を載せなかった。不自然な増加の原因は Web of Science の論文収載基準の変更のためと思われるが、詳細は不明である。

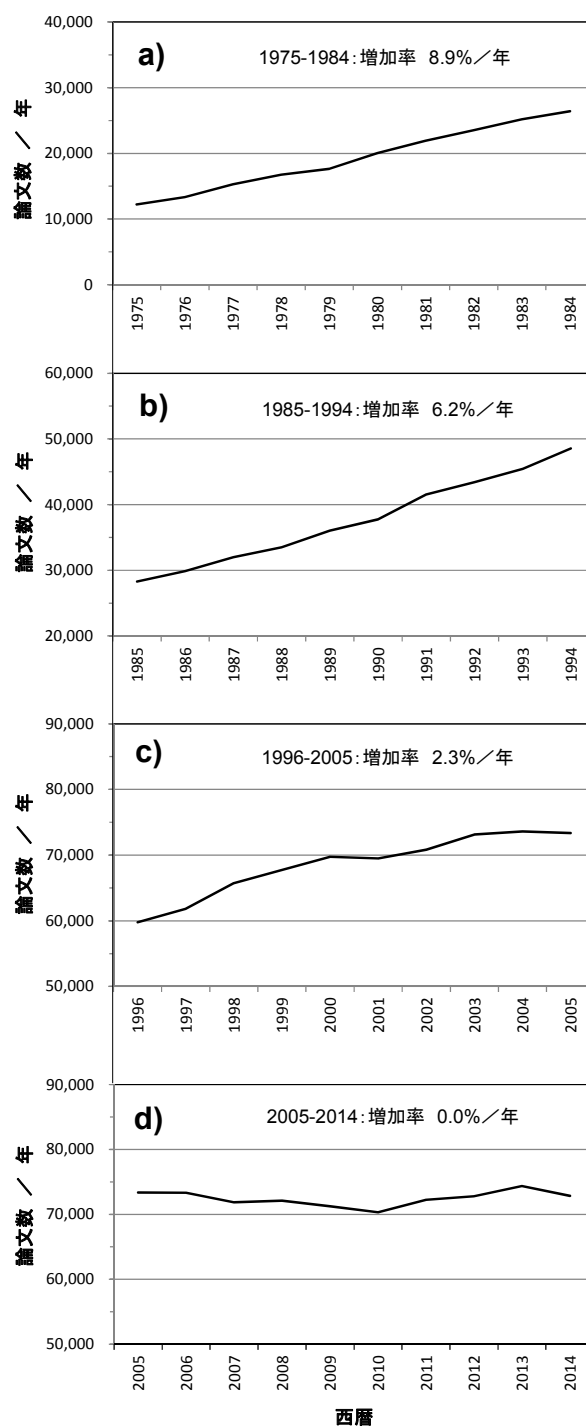


図 1-1 1975-2014 年の日本の論文数の推移 : a) 1975-1985 ; b) 1985-1994 ; c) 1996-2005 ; d) 2005-2014。【注】日本の論文とは著者のうち少なくとも 1 人が日本の研究機関に所属する研究者である論文 ; 論文数は Web of Science®, SCI-EXPANDED で検索した article に分類された英語で書かれた出版物 (検索日 2016 年 2 月 29 日)。

1.1.1. 大学院の改革の影響

学術論文の著者の多くは大学・大学院に所属する研究者（博士課程学生を含む）である。日本の大学院制度は第2次大戦後、アメリカの大学院をモデルに設置されたが、1980年代後半から、とくに1990年代に入って様々な改革が行政主導で行われた（江原 2004：282）。

1990年に始まった「大学院重点化」²では大学の教育研究組織が学部を基礎とする組織から大学院を中心とした組織へ変更され、2000年でほぼ終息したといわれる（小林 2004：51）。このとき学部所属の教員を大学院の所属に移し、さらに学部兼任とする等の工夫がなされた結果、教育・研究経費が増額され、大学院学生定員が増えた（小林 2004：60-62）。

日本の論文数は成長期、転換期、停滞期を経て現在に至った。この転換期（1995-2004）は大学院における教育・研究の改革が進められた時期に完全に含まれる。なぜこの時期に論文数が停滞し始めたのか。これが本研究の問題意識の原点である。

1.1.2. 論文数と GDP

図 1-2a に 1980 年から 2011 年までの日本の論文数（図 1-1 と同じ；太実線、右軸）と日本の名目 GDP（細実線、左軸；URL1）の推移を示す。名目 GDP は 1980 年から 1990 年頃まで単調に増加したが、1992 年以降はほぼ 500 兆円レベルで推移し、2007 年頃から減少した。GDP と論文数の間には直接的な関係がないと思われるが、2 つはよく似ている。

図 1-2b に名目 GDP と論文数の間の相関係数 R を示す。横軸の n は 1980-2000 年（21 年間）の名目 GDP の曲線（図 1-2a の細線の濃い部分）を図の右方向へ平行移動させた年数である。図の縦軸は n 年平行移動させた GDP 曲線と対応する論文数曲線（1980+n～2000+n）との相関係数である。1980-2000 年の名目 GDP と対応する論文数との相関係数 R は 0.903（図 1-2b の $n=0$ のプロット）であり、 $n=7$ で極大（0.997）を示した。

1991 年からバブルが崩壊し始めた日本では 1992 年頃から GDP の伸びが止まり、経済は長い停滞期に入った。論文数は GDP の伸びが止まった 6-8 年後（1998-2000 年頃）から停滞し始めた。GDP の変化と 6-8 年後の論文数の変化との間に非常に高い相関性がある。

GDP と論文数のあいだの因果関係を説明することは容易ではないが、図 1-2b は、2000 年代の論文数の停滞は、大学・大学院の組織の中に閉じた問題ではないことを示唆している。

² 「大学院重点化」は、1991年に東京大学の法学部で、教員の所属が学部から法学研究科に移され、それに伴うさまざまな制度上の改革を実施したことに端を発した（江原 2004：51）。

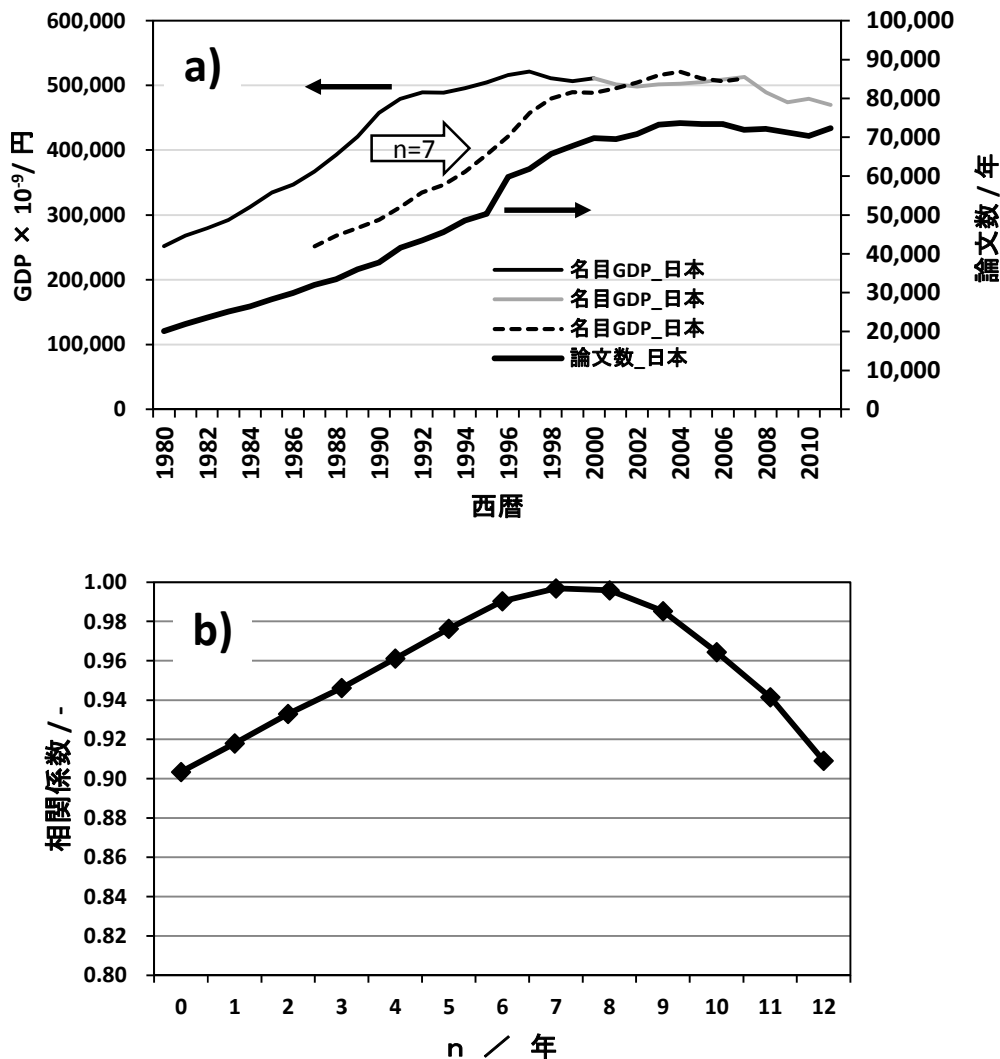


図 1-2 日本の GDP と論文数 : a) 日本の論文数 (英語) と名目 GDP の関係 ; b) 名目 GDP(1980-2000)の曲線をグラフの右に n 年間平行移動させた曲線と論文数の曲線との相関係数。

【注 1】 図 1-2a において、黒太実線 (右軸) は論文数 (1980-2011)、黒細実線 (左軸) は名目 GDP (1980-2000)、灰色実線 (左軸) は名目 GDP(2001-2011)、黒破線 (左軸) は黒細実線を $n=7$ で平行移動した名目 GDP (1980-2000)。
 【注 2】 論文数は Web of Science®, SCI-EXPANDED を用いて検索した (検索日 2016 年 2 月 29 日)。論文は言語が英語で article に分類された出版物。日本の論文は、著者のうち少なくとも 1 人が日本の研究機関に所属する研究者である論文。
 【注 3】 名目 GDP は内閣府 (URL2)に依る。

1.1.3. 論文数と博士課程学生数

図 1-3 に日本の論文数（図 1-1 と同じ；実線）と自然科学系大学院研究科の博士課程学生数（破線）の推移を示す。博士課程学生の専攻は、理学（数学、物理学、化学など）、工学（機械工学、電気通信工学、応用化学など）、農学（農学、農芸化学、獣医学畜産学など）、保健（医学、歯学、薬学など）、そしてその他（自然科学）である。論文数と学生数は 1975 年にそれぞれ約 12,000 報強、10,000 人弱であったが、2014 年にそれぞれ 73,000 報弱、53,000 人弱となり、この 40 年間でいずれも 5-6 倍に増加した。ともに 2005 年前後に最高値に達した後、論文数は 73,000 報前後、学生数は 52,000 人前後を維持した。両者の相関係数 R（1975-2014）は 0.989 である。

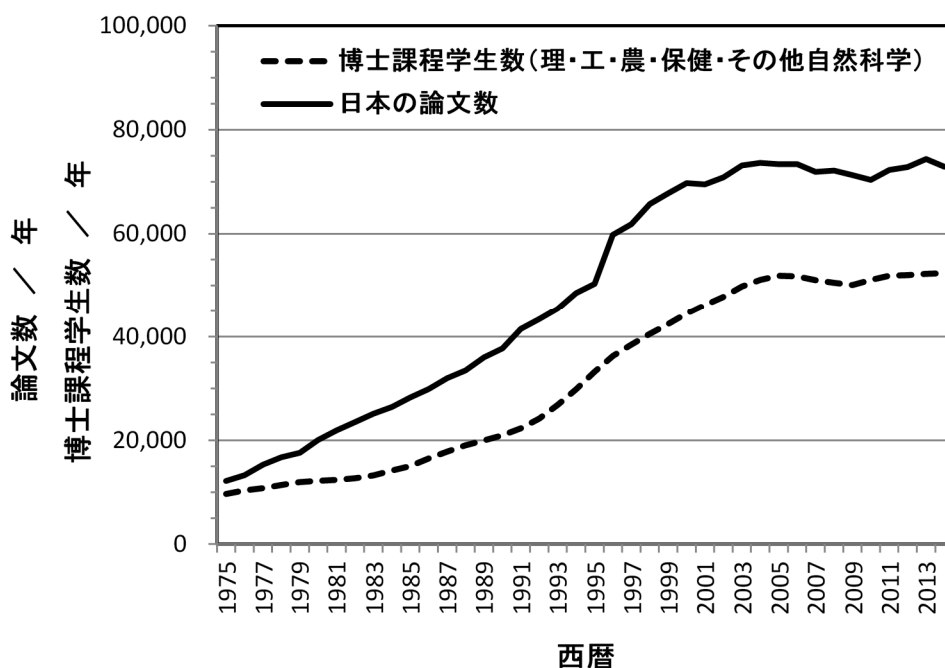


図 1-3 日本の論文数と博士課程学生数の推移

【注 1】論文、学生数とも自然科学系。【注 2】学生の専攻は理学、工学、農学、保健、その他自然科学。『学校基本調査』に依る。【注 3】論文数は Web of Science®, SCI-EXPANDED を用いて検索した（検索日 2016 年 2 月 29 日）。論文は言語が英語で article に分類された出版物。日本の論文は、著者のうち少なくとも 1 人が日本の研究機関に所属する研究者である論文。

このように自然科学系の論文数と博士課程学生数はよく似たパターンで推移し、両者のあいだには非常に高い相関性が見られる。この事実は論文数の増加は博士課程学生数の増加とよく連動していることを示唆する。すなわち、博士課程学生数は論文数の変化に大きな影響を与える有力な変数である可能性があると考えられる。

1.2. 従来取り組み

1.2.1. 論文の数と質の評価

日本の論文生産力は 2000 年前後にピークに到達し、それまでの順調な伸びを突然止めてしまった。日本がいままで経験したことがない事態である。

学術論文を発表する主体は大学や国の研究機関と民間企業の研究所である。その中でも大学の研究者は日本の論文全体の約 9 割に関わっている。したがって、学術論文数の減少は科学・技術に直接関わる大学と研究者コミュニティである学界の組織・運営上の問題が原因で起こった可能性は否定できない。

これまで日本の論文数が減少したことを確認した報告がいくつかあった。

a. 1982-2002 年の論文の質的評価：林隆之・富澤

林隆之・富澤（2007）は 1982-2002 年までの 20 年間における日本の論文データを定量的に分析し、日本の研究パフォーマンスと研究実施構造についてつぎの 3 点を指摘した³：

(1) 日本は 20 年間に被引用数の高い論文数を増してきた一方で、被引用数の低い論文のシェアが継続的に高い、(2) 被引用数が上位 10%に入る論文に限ればその半数が 8 つの大学により生産されている、(3) 博士課程学生数や研究費の資源は総量の増加にも関わらず少数の大学への集中度合いを変えておらず、これらの大学の競争力を増してきた一因となったと考えられる。

林隆之らは被引用数ごとの日本の論文数シェアの推移から「日本は影響力の高い論文の産出を増してきたが、被引用数の低い論文をそれよりも高い割合で産出しており、とくに 1990 年代にこの傾向が強まったことを示している」と述べ、米国、英国、ドイツ、フランス、カナダと比較して傾向が逆であることを指摘した。さらに分野ごとの論文数シェアを分

³ 図 1-1 で示したように 1982-2002 年は日本の論文生産の勢いが高まり続けた時期である。4.2. で詳述するように日本の論文数は 1982 年に米国、英国について世界第 3 位だったが、1993 年に英国を抜いて世界第 2 位になり、2002 年において第 2 位だった。

析し、「材料科学、物理学、化学などの自然科学分野では上位 10%論文における日本のシェアは高く、また論文分布⁴においても被引用数が高いグループのシェアが比較的高い」が、「材料科学を除いた全ての分野において、全論文中の日本のシェアに比べて、上位 10%論文中の日本のシェアは低く、被引用数の高い論文の産出率が相対的に低い」事実を報告した。

このような論文生産性の特徴が生じた背景として競争的研究費と博士課程学生の 8 大学（東京大学、京都大学、大阪大学、東北大学、九州大学、北海道大学、名古屋大学、東京工業大学）への集中度を取り上げ、教員 1 人当たりの科学研究費補助金（科研費）と博士課程在籍者数が教員 1 人当たりの被引用数上位 10%論文数と非常に高い相関性があることを示した。これらの事実は「研究費や博士課程学生数は研究活動の状況を把握するために参照しうる指標である」とした。

これらの結果を踏まえて、「被引用数が研究成果の質をある程度反映していると仮定すれば、単純に論文数を指標として評価することは有効ではなく、研究成果の質によりいっそう重点をおいた評価方法の構築が期待される」と述べた。その一方で「少数の大学の論文の多くは他の大学や機関との共著で書かれており、資源⁵の過度の集中がそれらの大学や機関の研究基盤を弱体化させれば、共同研究関係が継続しづらくなる可能性もあり、「今後（筆者注：2002 年以降）に資源がより集中することで、さらに被引用数の高い論文が作成されると単純に考えることはできない」と述べ、「資源の過度な集中によってこれらの共同関係が壊れ、継続的な論文生産が困難になるリスクも存在していることを認識すべきであろう」と指摘した。

林隆之・富澤が分析した時期は日本の論文数が世界第 2 位になり、その地位を維持した 2000 年代初頭までである。主要 8 大学とその他の大学との共同研究関係が崩れれば、日本が継続的な論文生産が困難になるリスクも存在しているという指摘は 2000 年代の日本の論文数の停滞を予見している。論文の質の評価だけではなく、数の評価も重要であることを指摘した点に注目する。

⁴ 論文分布は「影響力の高い論文の割合」を指す。日本の上位 10%論文シェアを日本の全論文数シェアで除した比であり、日本による論文生産が被引用数の高い論文が多いのか、低い論文が多いのかという論文産出の分布を示す。

⁵ 資源とは人材と研究費のこと。原報の文意から人材は博士課程学生であると推察される。

b. 1999-2009 年の論文：岩澤

岩澤（2010）は日本の国立大学運営交付金（2016-2009 年度）の減少を挙げ、これと日本の論文数（全体、工学、化学；1999-2009 年）の推移を並べて、「我が国の研究・教育はきわめて憂慮すべき状態である」と訴えた。しかし、論文数の詳細な内容が不明確であり、運営交付金と論文数の関係に踏み込んだ統計分析はされておらず、論文数と大学教育予算の因果関係は明らかではない。

c. 2011 年時点の認識：林幸秀

林幸秀（2011a-2011i）は既存の多くのデータを紹介しながら多岐にわたり日本の科学技術の現状を訴え、今後の対応について見解を述べた。

阪・桑原（2010）が報告した主要国の論文発表数の世界シェアと主要国の Top10%論文発表数の世界シェアの経年変化のデータを用いて日本の地位が低下した現状を紹介し（林幸秀 2011e）、研究者の質の低下（林幸秀 2011a）、さらに研究開発費（林幸秀 2011b）、競争的資金（林幸秀 2011c）、大学改革（林幸秀 2011d）に言及した。また林幸秀（2011f）はライフサイエンス分野の論文数が少ない原因として臨床研究では多くの専門家が連携して研究を行う体制が整っていないこと挙げ、「基礎研究の成果を臨床に生かし、一定の結論を得、（中略）産業化したり一般の診療に広く応用できるようにするまでいたらない場合が多い」と指摘した。今後の日本が取るべき対処は、（1）政府の研究開発投資額の増大と（2）東アジアにおける科学技術協力の拡大を訴えた（幸秀林 2011i）。

2011 年時点で日本の科学・技術が抱える様々な問題を紹介した有益な報告であるが、いずれも他者が行った調査を引用した定性的な現状認識である。

d. 2002 年と 2012 年の複合材料分野の論文：西野

西野(2014)は Web of Science を用いて、2002 年と 2012 年の「複合材料」分野の学術論文を検索した。その結果、この 10 年間に日本の論文数が僅かに増えたものの世界における順位を下げたことを報告した。対象とした分野が 1 分野だけであり、10 年前の論文数との比較である。経年変化を確認していないので、論文数が僅かに増えたと言い切れない。日本の科学・技術の一側面を捉えた報告である。

e. 1982-2014 年の論文：文部科学省（NISTEP⁶）

文部科学省（NISTEP）は2005年にScience Citation Index（トムソン・サイエンティフィック社）のデータベースを用いて日本の科学研究のベンチマーキング調査（桑原編 2005）を行い、その後も2008年から2017年までWeb of Scienceデータベースを用いて日本の科学研究のベンチマーキング調査を継続的に実施した。これらの調査内容は調査資料としてNISTEPから出版された（阪・桑原2008, 2010, 2011, 2013；阪・伊神 2015、村上・伊神 2017）⁷。日本の学術論文数の推移を網羅的に整理した貴重な内容であるが、調査資料としての性格上、論文数が経年的に変化した傾向が観察されてもその原因に言及した記述は見られない。

ベンチマーキング調査は1年から2年ごとに実施され、その調査方法と調査結果の集約の形式はほとんど同じである。2012年のベンチマーキング調査（阪・桑原2013）を例に調査の概要を紹介してその有効性を理解したうえで、資料として利用する際の注意点を挙げる。

(i) 分析指標

阪・桑原（2013：2-3）はWeb of Scienceデータベースを基に論文分析を行なうに当たり、つぎの5つの分析指標を検討した⁸：A. 論文数、B. インパクトの高い論文数（Top 10%補正論文数）、C. 被引用数、D. 論文数に占めるTop10%補正論文数⁹が占める度合い、E. 相対被引用度¹⁰。

5つの指標の有効性について「我が国の科学技術政策上の指標目標の観点からみると、B. インパクトの高い論文数論文数（Top10%補正論文数）や A. 論文数の優先度が高い」と述べている。その理由としてつぎの2点を挙げている：(1) 科学研究活動においては平均的な成果が多く出ていてもそれが大きなインパクトを持ち得ないという意味で、「平均値」にあまり意味はなく、インパクトの高い論文を日本から産出できることが重要である、(2) 産

⁶ 文部科学省科学技術・学術政策研究所（2013年6月30日まで科学技術政策研究所；略称NISTEP）。

⁷ NISTEPの科学研究のベンチマーキングについては4.3.3.で詳細に検証する。

⁸ 論文はWeb of Scienceデータベースに収載されたArticle、Article&Proceedings（article扱い）、Letter、Note、Reviewが対象である。

⁹ Top10%補正論文数とは、被引用回数が各年各分野で上位10%に入る論文の抽出後、実数で論文数の1/10となるように補正を加えた論文数を指す。

¹⁰相対被引用度とは、一論文当たりの被引用数を世界平均の一論文当たりの被引用数で相対化した値である。

データベースに収録される雑誌は基本的に英文誌であり掲載される論文はレフリングを経たものであるため、論文数は単なる量の指標ではなく、質の要素も含んでいる。

「平均的な成果が多く出ていてもそれが大きなインパクトを持ち得ない」という記述から明らかなように、NISTEP の調査ではインパクトがある論文をより重視する傾向がある。しかし、「英文誌に掲載される論文はレフリングを経たものであるため論文数は質の要素も含んでいる」のであるから、長期的な視点に立てば論文数が増えることが論文の質を高めることに繋がると筆者は考える。

(ii)世界と日本の論文数

阪・桑原 (2013 : 7-9) は、世界の論文産出傾向について「1980 年代前半に比べ現在は、世界で発表される論文量は約 2 倍になっており、研究活動量は一貫して拡大傾向にある」ことを明らかにした。また主要国の論文数の変化 (1982-2010) について中国の躍進を指摘した : 1990 年代前半まで米国の論文数が他を大きく引き離し、そのあとを英国、日本、ドイツ、フランスが追いかける状態であったが、1990 年代後半より中国が急速に論文生産量を増加させ、2006 年に日本、ドイツ、英国を抜き、2010 年 (2009-2011 年平均) の論文数の順位は、第 1 位 (米国)、第 2 位 (中国)、第 3 位 (ドイツ)、第 4 位 (英国)、第 5 位 (日本、約 7.6 万件) であると報告した。

日本の状況について「日本は、長期のトレンドとして論文量自体は緩やかな増加傾向であったが、近年は英国やドイツと比べてもその論文量の伸びは鈍く伸び悩んでいる」と評価し、2000 年代の日本の論文数の伸びが鈍化した事実を示した。

日本の論文の 2 時点比較 (2000 年、2010 年) あるいは 3 時点比較¹¹ (1990 年、2000 年、2010 年) を行い、論文数の変動 (整数カウント) を評価した (阪・桑原 2012 : 25-49)。調べた分野は全分野と 8 分野 (化学、材料科学、物理学&宇宙科学、計算機科学&数学、工学、環境/生態学&地球科学、臨床医学&精神医学/心理学、基礎生物学) である。日本の全分野の論文数は 3 時点 (1990、2000、2010) の順に (45,809 報、73,844 報、76,149 報) であり、Top10%補正論文数は同様に (3,809 報、5,764 報、6,691 報) であった。これらの論文数を用いて、1999-2001 年 (平均) に対する 2009-2011 年 (平均) の伸び率は論文数で 3%、

¹¹ 1990 年は 1989-1991 年の移動平均、2000 年は 1999-2001 年の移動平均、2010 年は 2009-2011 年の移動平均。

Top10%補正論文数で16%であったことから「日本は論文数自体の伸び悩みが見られ、この現象は主要国唯一である。Top10%補正論文数についても世界平均より少ない伸びとなっている」と指摘した。

(iii)日本の物理学と化学の論文数

同様に日本の物理学（宇宙科学を含む）の論文数とTop10%補正論文数は上記と同じ3時点の順に論文数（6,292報、9,959報、10,860報）、Top10%補正論文数（593報、953報、1,207報）であった（阪・桑原2013：34-35）。これらの論文数を用いて、1999-2001年（平均）に対する2009-2011年（平均）の伸び率が、論文数で9%、Top10%補正論文数で27%であると評価した。

日本の化学（阪・桑原2013：30-31）の論文数とTop10%補正論文数は同じ3時点の順に論文数（8,828報、11,355報、10,449報）、Top10%補正論文数（835報、1,050報、1,041報）であった（阪・桑原2012：30-31）。これらの論文数を用いて、1999-2001年（平均）に対する2009-2011年（平均）の伸び率が、論文数で-8%、Top10%補正論文数で-1%であると評価し、「化学において論文数、Top10%補正論文数自体が低下している」「日本として考えるべき点ではないだろうか」と指摘した（阪・桑原2012：54-55）。

(iv)日本の部門別の論文数

さらに阪・桑原（2013：66-68）は、日本における部門別の論文数の変化（1982-2010）を検討し、つぎの3点を明らかにした：(1) 2010年値¹²で大学等は、46,451件であり、日本全体の71%に当たる論文を産出している、(2) 政府部門が7,099件であり、日本全体の11%に当たる論文を産出し、2000年以降の存在感の増加が顕著である、(3) 企業は4,380件であり、第3の部門と言えるが、1995年頃から日本の中での存在感が急激に低下している。

(v)時点比較の注意点

阪・桑原（2013）は日本の論文数の状況について非常に精密な分析を行い、日本全体、分野別、部門別の論文数の変化について多く事実を明らかにしたが、調査資料であるためそれ

¹² 2010年の論文数の値。

らの変化を引き起こした原因に言及していない。

注目すべき点は、2000年と2010年の2時点比較で物理学の論文数が9%の増加であった（阪・桑原 2013：55）と報告したことである。飯嶋・山口（2014）は1975-2012年の日本の論文数の経年変化を調べ、日本の物理論文数が2003年から急減した事実を報告したが、10年間隔の2時点比較ではこの事実を把握できなかった。

2017年に出版された調査資料（村上・伊神 2017）では、10年間隔の時点比較を5年間隔に変更して物理学分野の論文数が1999年平均と2004年平均の比較において大きく減少したことを報告した。

(vi)1975-2012年の論文：飯嶋・山口・中田、Iijima and Yamaguchi

飯嶋・山口（2014）はWeb of Scienceの学術論文データベースを用いて、日本の論文数の推移を研究分野ごとに詳細に分析した。その結果、物理、物質科学、生化学・分子生物学などの論文数が2003年前後を境に急減した事実を初めて報告した。この報告を発展させてIijima and Yamaguchi(2015)は物理論文数が6年前の物理学専攻博士課程学生数とよく相関する事実と、学生数が3年前の物理系企業の論文数とよく相関する事実を見出し、1990年代後半の物理系企業の論文数の減少が引き金となって学生数が減少し、これが論文数の減少として顕在化する連鎖的反応を想定した。

飯嶋・山口（2015）はこの連鎖的反応をより精緻に分析するために学生数の変動に及ぼす高校物理の履修率と世代人口の影響を除いて物理系大学院博士課程進学率を求め、この進学率と論文数が高い相関性を示すことを確認した。さらに飯嶋・山口・中田（2016）は日本の論文数の減少に焦点を当て研究と教育、産業をめぐる社会的環境を視野に入れた検討を行った。

f. 2000-2012年の論文：新井

新井（2017）は、NISTEPのベンチマーキング調査（阪・伊神 2015）を引用して2000年代に入り日本の基礎研究の指標の一つである学術論文数の伸びが停滞し、2005年からは減少に転じ始めたことを示し、基礎研究力の指標が低下した要因として3つの可能性を挙げた：(1)理系大学院生の減少；(2) 諸外国の研究者のグローバル化と日本の研究者の内向き化；(3) 日本の基礎研究の東アジア化。

第1の指摘では、2005年頃から理系の博士課程学生数と大学部門の総論文数の推移がよ

く似たカーブを描いていることを確認し、日本は海外と比較して大学院生の論文への貢献度が高いことが論文数減少の原因である可能性に言及したが、定量的な議論はなかった。

第 2 の指摘の内向き化は日本の若手研究者が海外に出ようとしない現状を指す。そのひとつの原因が長期間の海外経験が日本での就職に不利に働くという若手研究者の意識あることを紹介し、また政府の政策が日本に来る外国人研究者に比べて海外に出る日本人研究者に手薄になっている問題を指摘した。

第 3 の指摘の基礎研究の東アジア化とは中国、韓国からの留学生のバランスを欠いた受け入れ状況と国際共著論文の相手国が中国、韓国に偏っている事実である。いずれも重要な観点であるが、学術論文の減少を大学や研究機関の組織や政策の中に閉じた問題として捉えている。

1.2.2. 大学院教育・教育需要の理論・教育の経済学に関する研究

大学院を主題とする教育需要や教育の経済学に関する研究は欧米を中心に盛んに行われてきた。例えば、古くは 1960 年代に Walker, Pettit, and Hawkins(1968)が工学教育における大学院教育の重要性を論じ、2000 年代になって Freeman and Goroff(2009)が博士課程と産業界の関係を基調に博士の供給、卒業後のキャリアパスなどについて米国の実態を分析している。

日本におけるこの分野の研究の多くは大学教育までが対象である。例えば、金子(1986)、Nakata and Mosk(1987)、荒井(1990)、田中(1991)、中村(1993)、島(1999)などである。中村(1993)は、日本の大学進学率に影響を及ぼす要因に関する実証的な分析では内部収益率仮説についてはどちらかと言うと否定的な見解が多いと述べている。

2000 年代になって日本でも大学院教育に関する研究が増えている。例えば、三好(2014)は大学院進学者の類型と学習効果の実証的研究を行い、奥井(2009)は博士課程修了者のキャリア選択に関する分析を行った。柿澤ほか(2014)は大学院卒の賃金プレミアムの検証を行い、大学院卒が収入面でのプレミアムをもつことを報告した。Morikawa(2015)は労働市場における大学院教育の効果を論じ、渡邊(1997)あるいは有本(2006)は大学院重点化をめぐる問題を総括した。しかし、大学院修士課程あるいは博士課程を対象とする進学率の決定因子の分析は見られない。

a. 教育需要の目的と主体

教育需要の目的は「投資」と「消費」の2つであり、教育需要の意思決定主体は「本人」（子供）と「親」の2つであるから、教育には4つの異なるタイプがある（小塩 2005:47）。表 1-1 に4つのタイプ——① 本人の投資、② 親の投資、③ 本人の消費、④ 親の消費——とそれに対応する理論を示す：

- ① 本人による投資としての教育：教育の経済学の理論として良く知られる【人的資本論】と【シグナリング理論】はいずれも教育需要の主体が本人（子供）であり、教育需要の目的が投資である。人的資本論では、教育は能力を高めるための手段であり、シグナリング理論は、能力を他に知らしめるための手段である（小塩 2005 : 45）。
- ② 親による投資としての教育：親が教育需要を決定する主体となる。親は、子供が一流大学に入学し、一流企業に入れば、経済的に豊かな生活を送ることができると信じて子供の教育にお金をつぎ込む。日本の教育のかなりの部分がこのような親の投資としての教育として説明できると小塩（2005 : 51）は述べている。しかし、一方で「子供に対して、将来においてほとんど見返りを期待しないという親が約 9 割に達している」という調査（経済企画庁 1993 : 82）がある。
- ③ 本人による消費としての教育：本人が意思決定の主体であり、教育を受けること自体から効用を得る場合である。これは演劇を鑑賞する行為とあまり変わらず、教育は時間消費的な消費行動である（小塩 2005 : 50）。本研究では本人が教育需要を決定する主体として、教育を消費する【憧れモデル】と名づける。このモデルは科学・技術の目覚ましい発展を目の当たりにした子供本人が科学に憧れ、科学を学ぶ楽しみを消費するようになる。科学の進展に伴い、科学教育を消費する主体が単調に増加するというモデルである。
- ④ 親による消費としての教育：親が子供という媒介を通じて行う間接的な消費としての教育である。たとえば、子供が有名校に通うことから、親は効用を得る場合である。
【質 - 量モデル】では、子供の量（人数）と質の両方が親の効用関数に含まれ、一定の予算制約下で親の効用が最大になるように子供の量と質の水準を決定すると考える。（小塩 2005 : 46、53）

表 1-1 教育需要の主体・目的マトリックスと対応する理論

目的 主体	投資	消費
本人(子供)	本人の投資 【人的資本論】 【シグナリング理論】	本人の消費 【憧れモデル】
親	親の投資 (なし)	親の消費 【量-質モデル】

【注】小塩（2005：48）の表 2-1 を筆者が改変。

b. 私的内部収益率と進学率：荒井の大学進学行動の分析

荒井（1995：123-46）は、大学進学率が 1975 年を境になぜ減少したかを解明するために、人的資本論に基づき内部収益率法により分析した。その結果、大学教育投資資金の調達可能性（家計所得）を考慮すれば、収益率が進学率に正の効果を及ぼすという仮説は棄却できないが、日本に関する限り、このような仮説はそれほど大きな根拠を持たないと結論した。その理由として、内部収益率と投資資金の調達可能性を表す変数（家計所得等）を併用すれば、一応理論通りの結果が得られるが、そのモデルの説明力は、前者（内部収益率）の代りにその構成要素の一つにすぎない学校納付金を使ったモデルより劣ることを挙げた。すなわち、家計所得と学校納付金だけを考慮した式の説明力がもっとも高かった。

荒井（1995）は内部収益率を用いた分析の重要な問題点を指摘した：(1)標準的な方法によって計測された金銭的期待便益が進学決定にあまり影響していない；(2)日本では内部収益率法で進学率の推移を説得的に説明するのは困難である。

つぎに荒井（1995）は、内部収益率法を用いずに大学進学率の推移を説明する検討をした。その結果、大学進学率（被説明変数）を 4 つの変数、すなわち①学校納付金（私立大学の 4 年間の納付金）、②大学 4 年間の実質放棄稼得（放棄稼得）、③家計所得（教育費準備可能性）、④過去 3 年間実質賃金上昇率（経済成長）で説明することができた。

この結論を導く根拠となった結果は以下の通りである：①学校納付金は（大学進学に対して）負の極めて有効な効果を持つ；②放棄稼得は負の有意な効果を持つが、同一金額の学校

納付金と比べると、その効果は半分弱である；③大卒・高卒間賃金差で表される金銭的な便益は、有効な差を持たない；④投資資金の調達可能性を表す家計所得は、正の有意な効果を持つ；⑤過去3年間平均実質賃金上昇率で代替した賃金（経済）成長率は正の有意な効果を持つ；⑥非金銭的な便益といえる大卒・高卒間昇進確率差は正の有意な効果を持つが、係数昇進確率差は有意な効果を持たない。

1.3. 科学研究と社会の発展

1.3.1. 論文数の実態と社会全体の活動

日本の論文数は1975-2014年の40年のあいだに、20年間の成長期と10年間の転換期を経たあと、10年間の停滞期（2005-2014）のなかを低迷した。学術論文の著者の多くは大学に所属する研究者である。また論文数が増加から停滞へ移行した転換期（1995-2004）は大学院における教育・研究の改革が進められた時期に完全に含まれる。そのためこれまで日本の論文数の停滞は大学あるいは研究者コミュニティである学界の組織・運営上の問題として取り上げられてきた。

論文は科学研究の成果である。20世紀の歴史を振り返るだけでも、大学や一部の民間企業における科学研究の成果が社会に大きな変化を与えたことは明らかである。しかし、科学研究だけが社会を変えるわけではない。また論文は数を競うために発表するものではない。少なくとも、論文数と科学研究、そして社会の発展は互いに影響しており、論文数が増えなくなったことは科学研究の主体である大学だけの問題ではないと言えそうである。

先に示した論文数とGDP、博士課程学生数の関係を考慮すれば、日本全体の経済活動が産業や家計の成長と安定を促し、さらに教育・研究環境が整備され充実した結果、大学院博士課程へ進学する学生数が増え、論文数が増えたと推察できる。さらに経済活動の停滞は社会の様々な活動の繋がりを伝わって学生数の停滞を招き、論文数の停滞として顕在化したと推察できる。

論文数の変化は時間差を考慮すればGDPとよく相関しており、論文数は学生数とほぼ同じタイミングで推移している。これらの事実は、日本の論文数の停滞は社会全体の様々な活動が連動してもたらした結果であることを示唆している。この問題の実態を解明するためには、大学の組織の外に目を向ける必要がある。

1.3.2. 「知の進化」における論文の役割

これまで多くの研究者が自然界や社会の中で起こる様々な現象が発生する原因やその過程を解明してきた。それらの研究成果の一部が様々な製品やサービスとして世の中に供給され、人々の暮らしは豊かになり、化学産業や半導体産業、医薬産業が栄えるようになった。

一方、科学・技術が社会を進歩・発展させるなかで、暮らしの中から新しい要望が生まれ、産業活動の現場で新しい発見があり、これらの知見や情報が大学を主体とする科学研究に携わる研究者に新しい視点を与えるようになった。暮らしを支える産業や人々の暮らしが科学研究の領域を広げ、新たな研究成果が産業を変え、人々の暮らしをさらに豊かにした。

歴史を振り返れば、そのような事例はいくつも挙げることができる。19世紀まで綿・絹・羊毛などの天然繊維が素材だった繊維産業は、合成高分子の発明により様相を一変させた。繊維産業に関わる大学や企業の研究者は繊維の構造と物性の研究と高分子科学の研究を融合させて、繊維産業を物理と化学を基盤とするサイエンス型産業へ成長させた。

筆者は、民間企業で携わった高分子科学の研究・開発において製品を利用する人々の要望や製品を生産する現場における発見によって研究・開発の対象が想定外の領域へ拡大され、そこに新しい産業が興った事例を見てきた：ある研究者のグループは生産現場の障害や偶発の出来事を拾い上げ、それらの問題を地道に解決する努力を積み上げた結果、繊維内部の微細な構造が形成されるメカニズムを解明した。同じ頃、医療の現場から高分子膜を用いて血液中の病原性ウイルスを除去するという新しい課題が提起された。筆者らは繊維内部の微細な構造を制御する知識（例えば、Kamide and Iijima 1994）を活用して血液中のウイルスを完全に除去できる分離膜を実現した（例えば、Iijima, Sogawa and Kamide 1996）。その結果、医療分野の一角に医療用ウイルス分離というまったく新しい産業が生まれた。

このように大学や企業の活動と人々の暮らしが繋がり一体となって、知識が姿を変えながら社会に浸透した様々な事例から類推すれば、社会全体で知識を発展させる普遍的な仕組み、すなわち「知の進化」と呼ぶに相応しい動的な構造が社会に存在すると考えられる。

「知の進化」の出発点で創りだされた知識のひとつの形態が論文であると考えれば、論文数は社会における知識生産の活発度あるいは知識発展の可能性を代替する変数である。このように考えれば、論文数の停滞は論文に直接関わる大学だけの問題ではなく、「知の進化」に関わる社会全体の問題であるといわなければならない。

1.4. 本研究のリサーチ・クエスチョンと研究の視点

1.4.1. リサーチ・クエスチョン

社会全体で知識を発展させる動的構造、すなわち「知の進化」が存在するとすれば、その全容を知り、「知の進化」における論文と大学の役割を明らかにする必要がある。そして「知の進化」の出発点が論文であるならば、「論文とは何か」を問い、論文数が停滞する意味を明らかにしなければならない。さらに「なぜ研究者は論文を書くのか」という研究の本質を問う必要がある。これらが本研究の原点である：第1の原点は「知の進化」の全容を明らかにすること、第2の原点は論文の意味を知ること、第3の原点は研究の本質を問うことである。これらの原点こそが本研究のリサーチ・クエスチョンである：

- 知の進化はどのように進むのか。(7.1、7.2、7.3)
- 論文数の停滞は何を意味するのか。(7.4)
- 研究者はなぜ論文を書くのか。(7.5、7.6)

第2章から第6章において、(1)「知の進化」において知識が発展する実態を明らかにする、(2)日本の論文数の停滞は日本の「知の進化」の問題であることを明らかにする、(3)なぜ論文を書くのかという本質的な問題を取り上げる。これらの検討を総合して得られた結論を3つのリサーチ・クエスチョンに対する解として第7章にまとめる。

1.4.2. 本研究の視点

a. なぜ日本が論文数を減少させたのか：論文が減ることは問題である

これまで日本では多くの研究者が限られた予算枠のなかで知恵と労力を結集して研究を行い、日本の科学・技術を牽引し支えてきた。日本の研究者は、戦後の復興期から高度成長期、そしてバブル経済とその崩壊、その後の長期不況期を経て2010年代後半の現在に至る長い道のりを歩みながら、数多くの画期的な成果を上げて、日本の科学・技術に対する世界の国々の信頼を築き上げてきた。それにも関わらず、世界の先進国のなかで日本だけが論文数を減少させた。本研究の起点はこの事実に対する驚きである：「なぜ日本が論文数を減少させたのか」。これは「論文が減ることは問題である」という認識である。

b. 論文が減るとなにかが問題か：研究者はなぜ論文を書くのか

日本の論文数が減った事実を問題だと認識することは「論文数が減るとなにかが問題か」というアンチテーゼに向き合うことである。科学や技術における研究は大学等の研究機関が組織の主体であるが、実際に研究を行い、論文を書くのは一人ひとりの研究者である。そうであるならば、日本の「論文数が減ることは問題である」という認識は、別の観点で「研究者が論文を書かないことは問題である」と主張することである。つまり、「研究者はなぜ論文を書くのか」という問いが本研究の原点である。

c. 人はどのようにして研究者になるのか：生活・産業・知識を支える経済

論文を書く意味を突き詰めると、それは研究者になる道筋と深く関わることに気がつく：「人はどのようにして研究者になるのか」。そしてこの問いは社会の中で「人」が成長する過程へと関心の幅と深さを拡大する。ここで「人」は象徴的な人を表す。

経済活動は人々の生活の礎であり、産業の礎である。人々の生きる営みが生活である。人々は家庭を持ち、子供を育て、役立つ仕事をする社会人である。「人」が社会人に成長する道のりは、家庭の子供として生まれ、親に育てられるところから始まる。親は子供を学校に入れ、学校では教師が子供に社会人として必要な基礎的な知識を教える。さらに一部の子供は親の支援を受けて大学・大学院に進学し、高等教育を受け、社会人としていずれかの産業分野で職を得る。その一部は大学あるいは企業の研究機関研究に従事し学術論文を書く。

このように経済活動は生活と産業の礎であり、「人」が生活と産業の主体である。さらに視野を広げれば、経済活動は科学・技術と文化・芸術の礎である。科学・技術と文化・芸術は人類の知的活動の総体である。この知的活動の総体を「知識」と言い換えれば、経済活動は「知識」の礎であり、「人」が知的活動の主体である。

「人はどのようにして研究者になるのか」。この問いは、知的活動の主体である「人」の成長と「知識」の礎である経済活動の相互作用、すなわち「知識」に関わる営みを反映した社会構造的な問題である。

1.5. 本研究における基本的認識と研究の目的

1.5.1. 基本的認識：論文数の減少は社会構造的な問題である

なぜ 1996 年から突然、日本では論文数の増加率が低下したのか。本研究では、論文数は社会の様々な活動の影響を受けて変動する知的活動の成果の総体である「知識」の指標のひとつ

つであると考え。社会における生活と産業、知識のあり様を俯瞰したうえで、論文数の停滞という問題を取り上げると、これが科学・技術に関わる組織の構造と運営の問題であると同時に、「知識」に関わる営みを反映した社会構造的な問題としての一面が見えてくる。

論文数の変動は大学・大学院の組織の中に閉じた現象ではなく、社会全体の活動に関わる問題である。これが本研究における基本的認識である。これまで学術論文数の問題をこのような社会構造的視点から検討した研究はなかった。

1.5.2. 研究の目的

本研究では、先に示した3つのリサーチ・クエスチョンを念頭に3つの目的を掲げる。

第1の目的は、サイエンス型産業の持続的発展に焦点を当て、「知識」¹³の発展におけるサイエンス型産業に属する企業の役割を社会構造の面から明らかにすることである。サイエンス型産業に焦点を当てる理由は、サイエンス型産業が科学研究と経済活動の合流点であり、科学研究の成果が世の中で実現される要であるからである。第2章(2.1、2.2、2.3)でサイエンス型産業の定義とその役割を述べ、第7章(7.3)で分析の結果を踏まえてサイエンス型産業に属する企業の役割について論じる。

本研究の第2の目的は、本研究独自の理論仮説である「知識と人」社会循環モデルを提案する。社会の中を「知識」と「人」が循環する社会構造モデルを提唱し、そのモデルに基づいて、日本において2000年代に論文数が停滞した原因とそのメカニズムを社会構造の視点から解明することである。個別の研究分野ごとに論文数の増減を検討し、論文を書く主体である研究者の資質の変化を海外共同研究の頻度に着目して明らかにする。論文数と学生数の関係(図1-3)に着目して、大学院進学率に影響を及ぼす要因を分析する。主に第2章(2.4、2.5)、第4章、第6章で論じる。

本研究の第3の目的は、第1の目的で検討する機能と第2の目的で検討する構造との関係の整合性を図ることである。そのために「社会システム理論」を援用して議論する。

第1の目的の主題であるサイエンス型産業の企業の役割は社会の機能の問題であり、第2の目的で取り上げる視点は社会の構造の問題である。構造と機能の両面から不偏的に議論

¹³ 「知識」とは、人類の知的活動の成果の総体であり、人間の知的な営みによって生み出された有形・無形の創造物を指す。有形なものをいくつか列挙すれば、文化、芸術、科学、技術、政治、経済などあらゆる分野の書籍、論文、構造物、製造物である。無形なもの、文化、芸術分野であれば無形文化財であり、政治、経済、科学、技術分野では、社会や政治の仕組み、各種のサービスやビジネスモデルなどである。

するために「知識」の生産に関わるシステムの機能を検討し、リサーチ・クエスチョンに対する解をまとめる。社会システムの機能に注目して論文数の問題を取り上げる視点は独自である。主に第3章と第7章（7.1、7.2、7.4、7.5、7.6）で論ずる。

1.6. 論文全体の構成

本章（第1章）において、本研究におけるリサーチ・クエスチョンと研究の目的を述べた。つぎに論文全体の構成と見通しを述べる。

第2章と第3章が理論編である。ここでは本研究の理論的基盤である「知識と人」社会循環モデル（社会構造）と社会システム理論（社会機能）について述べる。第2章では、第1の目的に沿ってサイエンス型産業の役割を社会構造の面から明らかにするために、本研究独自の理論仮説である「知識と人」社会循環モデルを提案する。まずこのモデルにおけるサイエンス型産業の位置づけを明らかにし（2.1.、2.2.、2.3.、2.4.）、モデルの詳細を述べる（2.5.）。第3章では、第3の目的に沿ってサイエンス型産業の企業の役割を社会における機能の面から明らかにするために、システムの機能に関する理論である社会システム理論の考え方を述べる。

第4章から第6章が実証編である。ここでは日本の論文数の実態についてデータを用いて実証的に分析する。第4章では、日本の論文数の推移と研究者の人数や共同研究属性について代表的な研究分野を取り上げて詳細に分析する。第5章では、「知識と人」社会循環モデルに基づいて、日本の物理学研究を取り巻く社会の実情を企業の物理論文数と高校における物理履修率、物理系大学院の学生数を参照することにより明らかにする。第6章では、「知識と人」社会循環モデルに基づく重回帰分析を行い、大学院物理学専攻への進学率の決定要因を明らかに検討する。

第7章が提言編である。ここでは第4章から第6章の結果を踏まえて、3つのリサーチ・クエスチョンに対する総合的な見解を述べる。

2. 理論仮説の提示：社会循環モデルの提案

第2章と第3章は理論編である。本章（第2章）では、サイエンス型産業の定義とその役割を述べ、経済循環図を元に「知識」と「人」が社会の中を循環する本研究独自の理論仮説である「知識と人」社会循環モデルを提案する。このモデルを用いて企業の研究者の育成と論文の流れを検討し、「知識と人」社会循環モデルにおけるサイエンス型産業の企業の位置づけを明らかにする。

2.1. サイエンス型産業の定義

後藤・小田切（2003：3）は、サイエンス型産業をつぎのように定義した：「サイエンス型産業とは、英語で **science-based industries** というように、サイエンス（科学）に依拠した産業群、あるいは、基礎的な科学の重要性がとりわけ高い産業群のことを指す」。そして、その特徴として、つぎの2点を挙げた：

- 科学的な成果を短時間で取り入れ、産業で実用化する。
- 企業内の既存の知識では解決できない問題に遭遇した際、より高度な科学的知識から問題解決の方策を得る。

「サイエンス型産業においては、この両方の意味で、科学研究のフロンティアで新しく発見された研究成果を素早く問題解決に利用していくのである」（後藤・小田切 2003：3）という指摘の中にサイエンス型産業の特徴を象徴する重要な事実が隠されている：「科学研究の成果はそのままでは産業で利用できない」という事実である。

社会は、多くの人々が様々な活動をいろいろな場所で行う混沌とした状態である。いま思考実験として、この混沌とした社会でどの活動がどれほど頻繁に行われているかを知るために「人々が行うある特定の活動の情報が集まる仮想的な空間」を考える。科学研究は主に大学の研究者が行う活動で、これは“科学領域”という仮想的な空間の活動である。

サイエンス型産業はいくつかの異なる活動を行うが、その中でもっとも中心となる活動が技術を開発して製品を製造する活動（技術開発と製品製造）である。技術開発とは技術を開発することを指し、製品製造とは技術を用いて製品を生産することを指す。2つの活動の関係は緊密であり、連続して行われることが多いので、本研究ではまとめて「開発・生産活

動」と呼ぶ。この活動は“技術領域”という仮想的な空間の活動である。

「科学研究の成果はそのままでは産業で利用できない」というのは、正確に言えば「大学の科学研究（科学領域）の成果はそのままでは産業の開発・生産（技術領域）では利用できない」という意味である。その理由は、2つの領域で行われる活動の目的が異なっており、そのため2つの領域で独自の論理が働くからである。

科学領域の活動は実用を目的としない。真理の探究が科学領域の活動の目的である。一方、技術領域の活動は実用が目的である。科学研究の成果はすべて無償で公開されたものであり、科学者・研究者の行動規範（剽窃・盗用の禁止など；例えば岡部・逸村 2016、URL2）に反しない限り、だれでも利用することができるが、科学研究の成果がそのまま実用化されることはほとんど期待できない。

科学領域の成果を技術領域で利用するためには、技術領域で利用できる形に翻訳あるいは変換する必要がある。その役割を担う活動が技術研究である。技術研究は技術領域の活動であるが、科学領域と技術領域の境界にあり、科学領域に接している。

山口（2003：199）は、後藤らの指摘を含めてサイエンス型産業の特徴についてさらに重要な指摘をしている。科学とサイエンス型産業の関係は科学から産業への一方通行ではなく、技術の進展が科学の新しい発見をもたらす双方向の連携プレーであるという：

半導体技術は、量子力学（quantum mechanics）の発達史と密接に絡み合いながら、発展してきた。量子力学によって明らかになった固体中の電子の状態構造に関する知見が、半導体技術の歩むべき方向に指針を与え、ついで半導体技術の進展が物理学上の新しい発見を導いた。その連携プレーは、科学的方法論の重要性をはじめて産業に知らしめた（傍点は筆者）。

この「技術は科学の成果を利用して発展し、つぎに技術の進展が科学の新しい発見を導いた」という双方向の連携プレーという指摘は非常に重要である。ここにサイエンス型産業の特徴を探るために明らかにすべき2つ目の重要なポイントがある。前半の「技術の発展」の部分は後藤らが指摘した第1のポイントである。後半の「科学の新しい発見」の部分が2つ目のポイントである：サイエンス型産業の技術の進展がどのようにして科学へ伝わるのか。

サイエンス型産業が持続的に発展するためには、この科学と産業の双方向の連携プレーが途切れることなく継続する必要があるとすれば、科学とサイエンス型産業のあいだを橋

渡しする技術の存在が欠かせない。これは「科学・技術・産業の三者のあいだで双方向の連携プレーが繰り返し起こることがサイエンス型産業の持続的発展の鍵である」という示唆である。

このような見地から本研究ではサイエンス型産業を以下のように定義する：「サイエンス型産業とは“科学の成果を基盤として技術を発展させると産業群”であると同時に、“技術の成果を科学へ還元して科学を発展させる産業群”である」。

2.2. サイエンス型産業を支える基礎科学

20 世紀は物理学の時代だったといわれ、21 世紀はバイオ科学あるいは化学の時代になるといわれる。近年のバイオサイエンスの着実な進展に伴い、iPS 細胞や遺伝子解析の成果を産業で実用化する動きが急展開している。また地球環境問題やエネルギー問題を解決する手段として物質科学や光学、化学、バイオサイエンス、情報科学の研究が注目され、新しい産業への期待が高まっている。

サイエンス（科学）は非常に多くの研究分野に細分化される。学術論文検索データベース Web of Science は収載するすべての学術論文を 5 つの研究領域に分類する (URL 3)。5 つの研究領域は、(1) Art Humanities (芸術・人文；14 研究分野)、(2) Life Sciences & Biomedicine (生命科学・生体臨床医学；75 研究分野)、(3) Physical Sciences (物理科学；17 研究分野)、(4) Social Sciences (社会科学；24 研究分野)、(5) Technology (技術；20 研究分野) である。

それぞれの研究領域はさらにいくつもの研究分野に細分化される。論文の内容は通常、複数の研究分野に関係するので、1 本の論文は複数の研究分野の論文としてデータベースに登録される。

サイエンス型産業は“科学の成果を利用して技術を発展させる産業群”である。科学と技術の研究成果が連携してサイエンス型産業が成り立つ。このように考えると Web of Science が定めた 5 つの研究領域のうち、サイエンス型産業に関係する研究領域は、(2) 生命科学・生体臨床医学、(3) 物理科学、(5) 技術の 3 領域である。これらの 3 領域に含まれる研究分野の総数は 112 分野である。

生命科学・生体臨床医学領域には 75 の研究分野がある。保健・医療に関係する分野が多いが、つぎに掲げる研究分野がサイエンス型産業に関わる：農学、生化学・分子生物学、バイオテクノロジー・応用微生物学、細胞生物学、水産業、食品科学・食品技術、林学、遺伝学、血液学、免疫学、海洋生物学・淡水生物学、微生物学、菌類学、植物学、動物学など。

物理科学は、天文学・宇宙物理学、化学、結晶学、電気化学、地球化学・地球物理学、地質学、数学、鉱物学、光学、物理学、高分子科学、熱力学などを含む。なかでも化学、数学、物理学、高分子科学はサイエンス型産業を支える基盤研究分野である。

技術領域の研究分野は科学の成果と連動して産業を支える。たとえば、音響学、コンピューターサイエンス、工学、情報科学、物質科学、電気通信などである。

2.3. 科学・技術・産業の連携におけるサイエンス型産業の役割

サイエンス型産業は、科学・技術・産業の領域において、大学と企業が双方向の連携を行なうことで成り立っている。科学と技術に関する最先端の研究は、大学や国立研究機関の研究者が中心となっていく。一方、サイエンス型産業の担い手の主体は民間企業である。サイエンス型産業がこの双方向の連携プレーのうえに成り立っているということは、民間企業の役割は大学の研究者が挙げた研究成果を実用化させるだけではないことを意味する。これはサイエンス型産業の企業の役割を考えるうえでもっとも重要なポイントである。

具体的にいえば、民間企業の役割は、(a)経営者と従業員（研究者と技術者）が科学・技術の研究成果の内容を深く理解し（特に研究者と技術者）、新しい産業へ発展させることと、(b)その過程で遭遇する様々な問題や新しい情報を積極的に大学の研究者に向けて発信することである。

細かく列挙すると、つぎの5段階(1)-(5)である。(a)が(1)-(4)、(b)が(5)に相当する：民間企業の役割は、(1) 科学の研究成果を理解したうえで（科学研究）、(2) それを自らの力で技術へ発展させ（技術研究）、(3) 実用化のためアイデアを着想し、新しい製法やサービスを開発して現場に実装し（技術開発）、(4) 新しい製品やサービスを社会に提供する（製品供給）と共に、(5)技術研究や技術開発の過程と製造の現場で発見した事実を学術論文や学会発表を通して同じ分野の研究者と共有すること（知識の共有）である。

このようにサイエンス型産業に属する民間企業は、科学研究から技術研究、技術開発を経て製品供給に至る第1の連携（a：1-4）と知識の共有による逆方向の第2の連携（b：5）により、科学・技術・産業の広い領域で双方向の連携プレーに密接に関わらなければならない。

本研究の3つの目的のうち、第1と第2の目的は、(1) 知識の発展におけるサイエンス型産業に属する企業の役割を明らかにし、(2)知識の発展と経済活動、科学・技術の発達に関わる社会構造を明らかにすることである。そして、研究を進める基本的な姿勢は、科学・技

術・産業の広い領域にわたる大学とサイエンス型産業の企業との双方向の連携を念頭に置きながら、学術論文の停滞は社会全体における経済活動を反映した「知識」の流れに関する社会構造の問題であると考えられることである。

次節では研究の方向を決める手がかりとして、経済循環図を用いて経済活動全体を俯瞰して企業の役割と位置づけを分析する。

2.4. 社会におけるサイエンス型産業の位置づけ

2.4.1. 経済循環モデル

図 2-1 に代表的な経済循環図（石井・西條・塩澤 1995 : 13）を示す。経済循環には家計（消費者）、政府、企業の 3 つの経済主体が存在する。図 2-1 は、生産要素・用役市場と生産物・サービス市場に着目した図である。生産要素・用役市場では、消費者は企業に労働力を提供して賃金を受け取り、企業は労働力を用いて生産物を生産する。生産物・サービス市場では、企業は消費者に生産物を提供して代価を受け取り、消費者は代価を支払って、生産物を消費する。

このように経済循環モデルでは、家計と企業の 2 つの市場における 2 つの交換関係を提示する：(1)家計が提供した労働力が賃金として家計に還流すると同時に、(2) 企業が提供した生産物が代価として企業に還流する。経済循環では、私たち個人は労働力を提供して賃金を受け取り、代価を払って生産物とサービスを消費する「消費者」（家計）として描かれている。経済循環モデルは労働力と生産物・サービスの流れとして個人と企業のあいだの循環構造を捉える。市場のなかでこの交換関係が形成される。

2 つの交換関係は、見方を変えれば家計と企業のあいだの二重の循環構造である：1 つ目の循環は、家計が提供した労働力・投資が企業において生産物・サービスになり、家計へ還る。2 つ目の循環は、家計が支払った代価が賃金・利子・配当として家計へ還る。

しかし、経済循環モデルでは、個人と政府あるいは企業と政府のあいだで交わされる税金の支払いと公共財・サービスの流れは市場を形成すると考えない。混合経済体制を基調とする資本主義社会では政府の市場介入は部分的に制約される。経済循環モデルは消費者（家計）と政府の関係は税金を介した公共財・サービスの提供という補助的な流れで捉える。そのため図 2-1 の中段には破線の囲み枠（市場を意味する）が描かれていない。

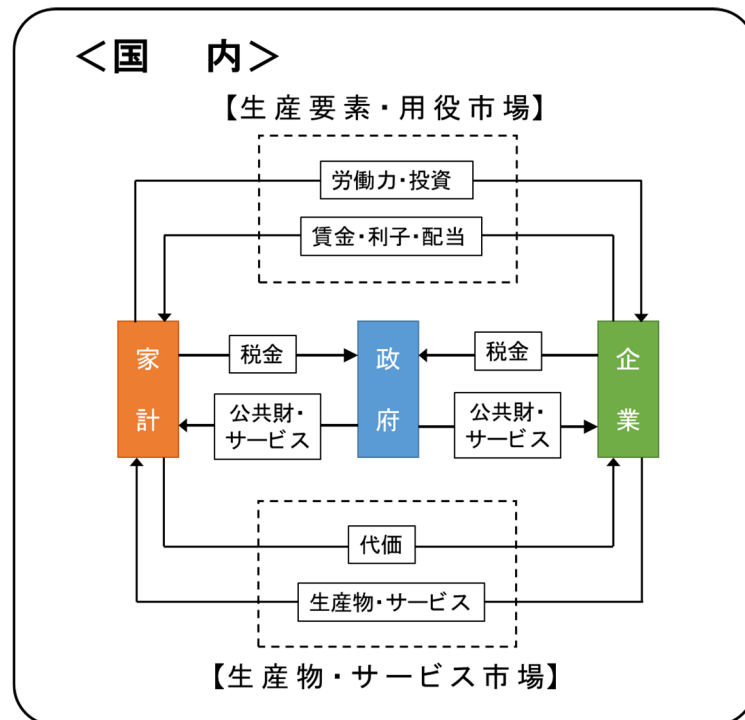


図 2-1 経済循環図：国内

【注】経済循環図（石井・西條・塩澤 1995：13）を参考にして筆者が一部改変した。

2.4.2. 「知識と人」の流れ：家庭・学校・企業のあいだの交換関係

知識は非競合性と非排除性という公共財と共通する特性をもつ（小田切 2010：196）。図 2-1 の中段（市場の枠外）に示された政府から企業へ向かう公共財・サービスが「知識」の流れとして見えてくる。具体的な一つの例は国公立大学が発表する学術論文である。政府から家計へ向かう公共財・サービスの一つの例は公立学校における学校教育である。

企業は経済循環において経済活動のひとつの主体である。企業は市場で労働力（従業員）と資金を調達して、生産物・サービスを提供し代価を得ることで賃金を支払う。しかし、企業の活動はこれだけではない。「知識」あるいは「知識を備えた人」の流れの視点で経済循環図を見ると、企業から家計へ向かう生産物・サービスは、企業が外部から取り入れた「知識」を企業の内部で生産物やサービスに変換し、企業の外へ送り出した「知識」の流れである。具体的な例は企業が製造し、市場に提供した製品やサービスである。多くの場合、製品やサービスには知財としての特許あるいは研究成果としての論文が付随するので、企業から家庭へ向かう「知識」は製品と特許と論文である。これを「製品／特許／論文」のように

対で示す。家計から企業へ向かう労働力は従業員であり、「知識を備えた人」の流れとして見えてくる。

経済活動の主体である家計も同様である。経済循環における家計は、市場で企業に労働力（従業員として）と資金（投資家として）を提供して企業から賃金と利子・配当を得て、企業から購入した生産物・サービスの代価を支払う。さらに市場の外で政府から「知識」としての公共財・サービスである学校教育を受け取る。家計から企業へ向かう労働力は「知識を備えた人」の流れであり、企業から家計へ向かう生産物・サービスは「知識」の流れである。

さらに「知識と人」（以降「知識」と「人」をまとめてこのように記す）の視点で経済循環図を見直すと、この図に描かれていない「知識と人」の流れが見えてくる。図 2-1 中段に描かれた市場の枠外に置かれた政府から家計に向かう「公共財・サービスの交換」の具体的な中味を「知識と人」の流れとして考えると、サービスとして政府（公立学校、国公立大学）が提供する学校教育（知識）と経済循環図には描かれない教育を受ける子供（人）の流れが見える。また政府と企業のあいだの「公共財・サービス」の具体的な中味として、政府（国公立大学、国立研究機関）が発表する学術論文（知識）と経済循環図には描かれない大学から企業へ向かう就職者としての卒業生（人）の流れが見える。

図 2-2 に経済循環図の市場の枠外（図 2-1 中段）における 3 つの主体（家計、政府、企業）のあいだの交換関係を「知識と人」の視点で見直した結果を示す。この図は「知識と人」の流れを表すので、3 つの主体の呼び名を「人」の集合である「家庭」と「学校」と「企業」に置き換えた。政府を学校（小学校～大学院）に置き換えたのは、学校は国民が納めた税金と授業料等をもとに初等教育から高等教育を提供し、人を社会の諸活動を担う素養を備えた一人前の社会人に育て上げ、「知の進化」の出発点となる論文を発表する役割をもつ機関であり、「知識と人」の流れに関与する主体として相応しいと考えたからである。

家庭と学校のあいだには、家庭から学校へ進学する子供（人）と学校が家庭に提供する責任のあいだに交換関係があると考え。責任とは「子供を生徒・学生として受け入れ、社会における様々な活動を担う素養を備えた一人前の社会人に育てる責任」である。図では責任 a として示す。すなわち、家庭と学校のあいだには、“子供（人）－責任 a（社会人育成）”と“税金－公共財・サービス（教育等）”の 2 つの交換関係が存在する。ここで税金は授業料等を含む家庭が負担する支出を代表する。

企業と学校のあいだには企業が学校に提供する責任と学校の卒業生が企業へ就職する人の流れのあいだに交換関係があると考え。責任とは「卒業生を従業員として受け入れて安

定した職を提供する責任」である。図では責任 b として示す。すなわち学校と企業のあいだには、“卒業生（人）－責任 b（採用）”と“税金－公共財・サービス（論文等）”の 2 つの交換関係が存在する。ここで税金は企業が負担する支出（寄付金や委託研究費等を含む）を代表する。

サイエンス型産業の特徴を探るポイントは「サイエンス型産業の技術の進展がどのようにして科学へ伝わるか」である。企業から流れ出る「知識」によって技術の進展が伝わると考えれば、それはサイエンス型産業の企業が発表する学術論文である。しかし、図 2-2 にはサイエンス型産業の企業が発表する「知識」としての学術論文は描かれていない。これは経済循環図では論文を経済財あるいはサービスと見なさなかったためであると考えられる。

科学研究を主体的に行なう大学とサイエンス型産業のあいだで知識を共有することが重要であるという立場で本研究を進めて、企業から流れ出る「知識」としての論文について今後の考察で検討する。

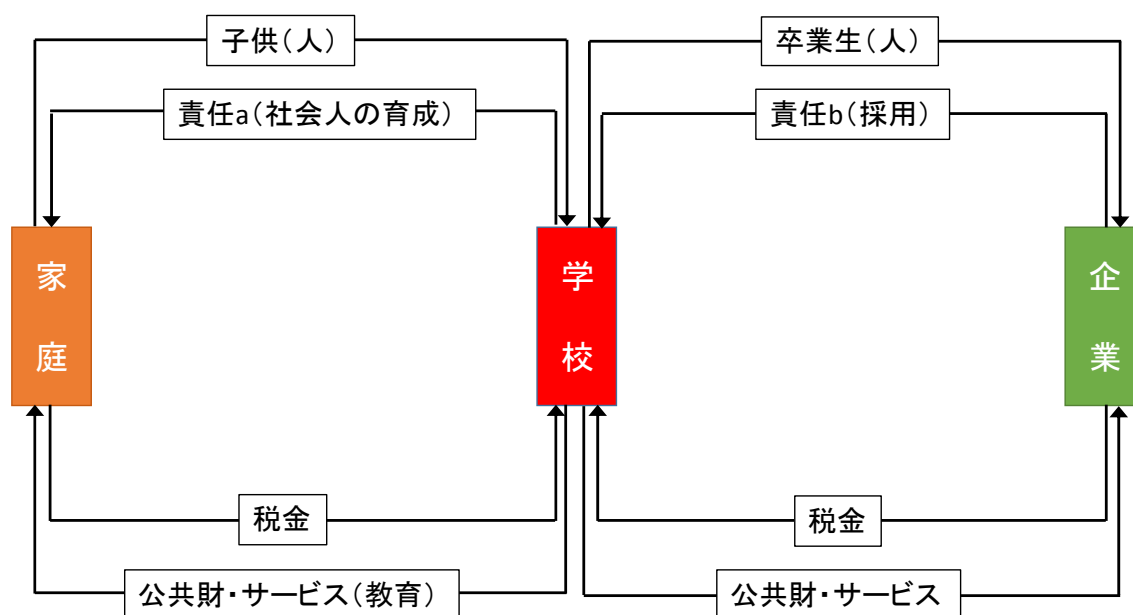


図 2-2 家庭・学校・学校・企業のあいだに存在する交換関係

【注 1】責任 a（社会人育成）は学校が子供を一人前の社会人に育てる責任を意味する。家庭はそれと引き換えに学校に子供を託す。【注 2】責任 b（採用）は企業が学校に対して卒業生に安定した職業（責任をもって卒業生の受け皿となる）を提供する責任を意味する。学校はそれと引き換えに企業へ卒業生を送り込む。

2.5. 「知識と人」社会循環モデルの提案

2.5.1. 3 主体の間に存在する交換関係

図 2-3 に経済循環図の 3 主体間における経済財の交換関係を「知識と人」の視点で見直した結果を示す。一部の経済財を「知識と人」に置き換え、さらに市場の枠外における「人の流れ」とそれに伴う「受け入れ責任」との交換関係を付け加えた。その結果、経済循環図の 3 つの主体（家計、政府、企業）は、それぞれ家庭、学校、企業となり、2 要素の交換関係を 1 組としたとき、3 主体のあいだに 6 組 12 要素の交換関係が存在した。

この図は経済循環図の 3 主体を引き継いでいるうえに、経済活動に含まれない 3 主体間の「知識と人」の交換関係を含む。すなわち、図 2-3 は社会を代表する 3 主体の間に存在する「知識と人」の交換関係を集約する図である。

図では 1 組となる 2 要素を 2 本の円弧矢印を挟んで左右または上下に配置した。例えば、図の左下の【賃金】と【人（労働力）】が 1 組となる 2 要素である。6 組 12 要素の交換関係は以下の通りである：(1) 家庭と学校のあいだには【教育と税金】と【人（子供）と責任 a】；(2) 学校と企業のあいだには【知識（論文）と税金】と【人（卒業生）と責任 b】；(3) 企業と家庭のあいだには【知識（製品／特許／論文）と代価】と【人（労働力）と賃金】。

ここで責任 a とは「学校が子供を生徒・学生として受け入れ、一人前の社会人に育てる責任」であり、責任 b とは「企業が卒業生を従業員として受け入れ、安定した職を提供する責任」である。また論文は製品や特許と同様に企業の研究・開発の成果であり、その経費は製品の代価に含まれていると考え、企業から家庭へ向かう知識を（製品／特許／論文）とした。

（製品／特許／論文）は、製品やサービスには知財としての特許あるいは論文の研究成果が付随していることを意味する。

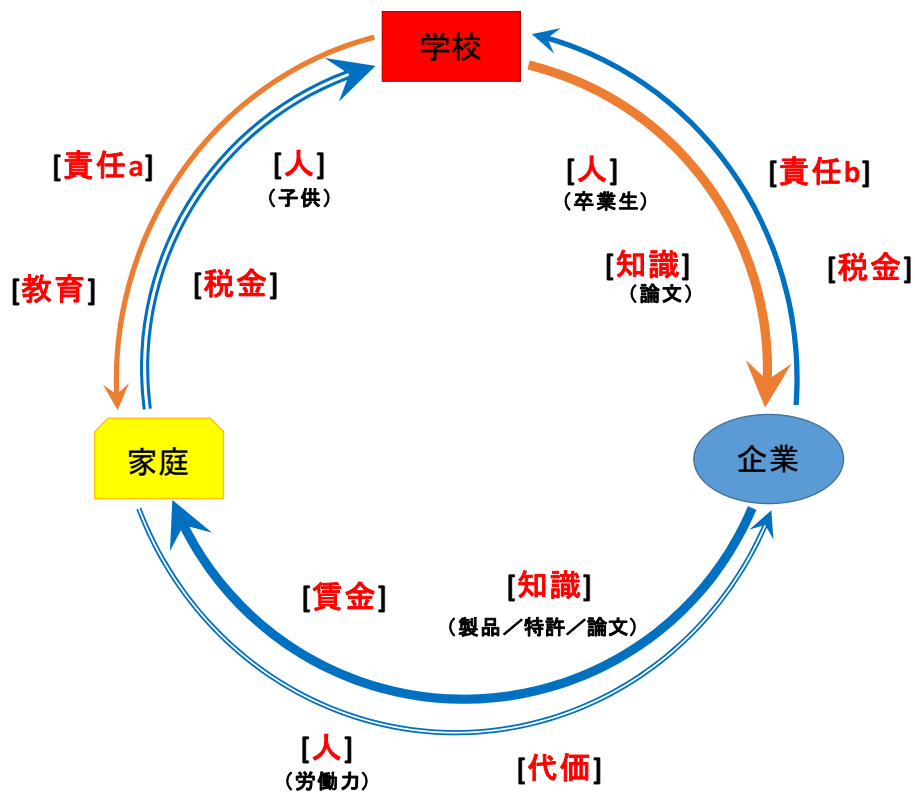


図 2-3 社会を代表する 3 主体のあいだに存在する 6 組 12 要素の交換関係

【注 1】図では矢印付円弧の両側（左右または上下）に対となる 2 要素を配置している。家庭と学校のあいだの[教育]－[税金]が 1 組の 2 要素である。ほかに家庭と学校のあいだでは[人](子供)－[責任 a]。学校と企業のあいだでは[知識](論文)－[税金]と[人](卒業生)－[責任 b]。企業と家庭のあいだでは、[知識](製品/特許/論文)－[代価]と[人](労働力)－[賃金]。【注 2】責任 a とは「学校が子供を生徒・学生として受け入れ、社会における様々な活動を担う素養を備えた一人前の社会人に育てる責任」である。責任 b とは「企業が卒業生を従業員として受け入れ安定した職を提供する責任」である。【注 3】家庭から学校へ向かう税金は、授業料等を含む家庭が負担する支出を代表する。また企業から学校へ向かう税金は、企業の寄付金や委託研究費等を含む企業が負担する支出を代表する。【注 4】企業から家庭へ向かう[知識](製品/特許/論文)は、製品には特許と特許の内容を純学術的に表現する論文が付随することを意味する。

2.5.2.3 主体の間の「知識と人」の流れ

本研究の原点は、日本の科学・技術の論文数の増加が止まった事実に対する驚きである。論文数の減少は社会構造的な問題であると考え、2.4 では経済活動全体を俯瞰してサイエンス型産業の企業の役割と位置づけを分析するための最初の手がかりとして経済財と知識と人の流れを整理した。そこで市場の枠外における3主体間の交換関係を「知識と人」の視点で見直し図2.2を作成した。ついで2.5.1では3主体間のすべての交換関係を「知識と人」の視点で見直して図2.3を描いた。

本項では「知識」としての論文に焦点を絞り、それに伴う「人」の流れを際立たせ、「知識と人」の循環構造を明確にする。「知の進化」の出発点である論文を最も多く産出する組織が大学である。論文に焦点を絞るために図2.3の学校を大学に書き換え、さらに12要素から、「知識と人」に関わる要素だけを抽出して図2.4を描いた。図2.4では図2.3の左周りの円弧矢印が省略され、「知識と人」の循環構造が明確である。

この図は社会における「知識と人」の流れを包括的に描いたモデル図である。3つの主体に流れ込み、そして流れ出てゆく「知識と人」を際立たせることができる。本研究ではこのモデル図を「知識と人」社会循環モデルと呼ぶ。これにより社会におけるサイエンス型産業の位置づけが明確になるはずである。

サイエンス型産業とは“科学の成果を基盤として技術を発展させると産業群”であり、“技術の成果を科学へ還元して科学を発展させる産業群”である。これは科学と技術の間には双方向の連携プレーがあることを意味する。また科学を大学と置き換え、産業を企業とすれば、「サイエンス型産業とは“大学の成果を基盤として企業を発展させると産業群”であり、“企業の成果を大学へ還元して大学を発展させる産業群”である」。このように言い換えると、大学と企業の間には科学・技術に関する双方向の連携プレーがあることがよく理解できる。

サイエンス型産業は科学・技術の最先端の知識を理解し、それを活用して製品を生産し、市場において販売することで利益を挙げる。サイエンス型産業の特徴は、科学・技術・生産・販売にわたる広い領域全体で科学と技術に関する基礎知識を論文、特許、あるいは製品など別の形の知識に変換して社会に提供することである。知識の流れを詳細に観察すると、科学・技術・生産・販売にわたる広い領域において双方向の連携プレー（知識と人の双方向の流れ）のうえに企業活動が成り立っている。したがって、科学と技術の双方向の連携プレーは大学と企業の間だけではなく、サイエンス型産業の企業の中にも存在する。

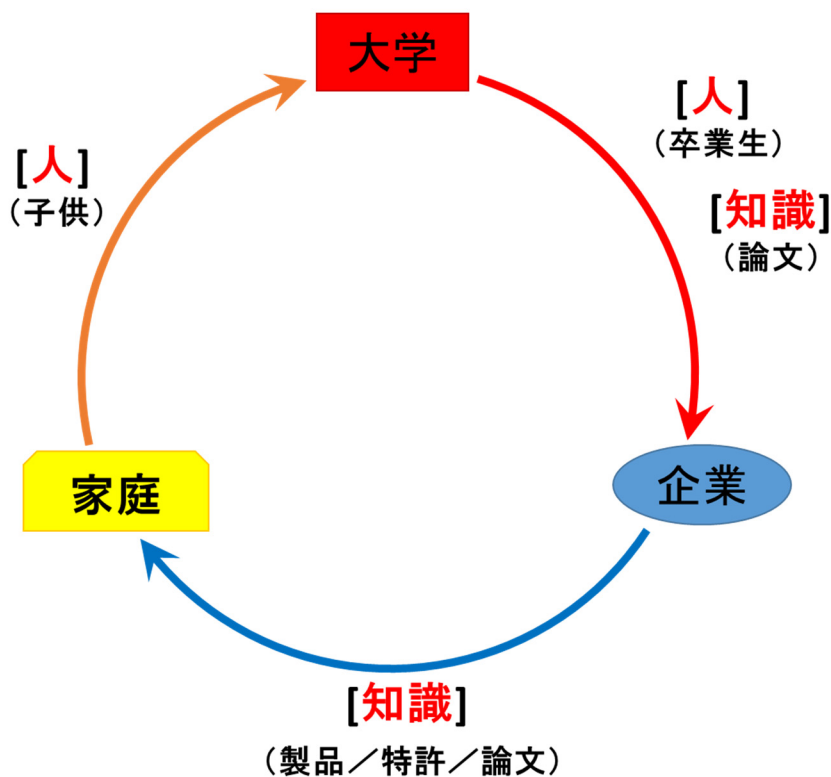


図 2-4 「知識と人」社会循環モデル

【注 1】 大学、企業、家庭は社会を代表する 3 つの主体である。「知識と人」が 3 つの主体のあいだを円弧矢印の方向に循環する。【注 2】 知識は大学の論文と企業の製品/特許/論文である。人は家庭の子供と大学の卒業生である。

2.5.3. 「知識と人」社会循環モデル

「知識と人」に関わる要素は、(1) 大学から企業に流れる「人 (卒業生)」と「知識 (論文)」、(2) 企業から家庭へ流れる「知識 (製品/特許/論文)」、(3) 家庭から大学へ流れる「人 (子供)」である。ただし、家庭から企業へ流れる「人 (労働力)」は、「人 (子供)」と「人 (卒業生)」を連結した流れで代替することができると思う。

「知識と人」社会循環モデルは「知識と人」が社会を代表する 3 つの主体—大学、企業、家庭—の間を循環する様子を描いた図である。その外見的特徴はつぎの 5 点である：

- 一つの円環の上に3つの主体が等間隔で配置されている：大学が12時の位置、企業は4時の位置、家庭が8時の位置にある。
- 3つの主体の間を「知識と人」が流れる方向を示す矢印は円環に添って時計周りに描かれている。
- 大学から企業へ流れる「知識と人」は、大学が発表した論文（知識）と大学を卒業して企業へ就職する卒業生（人）である。大学の論文は企業以外の研究機関（大学、国立の研究所など）の研究者も利用するが、図では企業への知識の流れを図示した。
- 企業から家庭へ流れる「知識」は、企業が生産した（製品／特許／論文）である。企業が発表した論文（知識）は直接家庭へ流れることはないが、製品／特許と同じく企業内の研究・開発で産出された知識である。この図では企業から家庭へ流れる製品に付随する知識として示す。企業から家庭へ知識が流れる経緯は2.5.5.で考察する。
- 家庭から大学へ流れる「知識と人」は、家庭から大学へ進学する子供（人）である。

この図には3つの特徴がある：1つ目は、「人」は家庭から流れ出て大学を經由して企業まで流れる間に子供から大学生を経て社会人（企業の従業員）に成長する。2つ目は、「知識」は大学から流れ出て、企業を經由する間に大学の論文から企業の製品／特許／論文へ変化し、家庭まで流れる。¹⁴ 3つ目は、「知識」は家庭において「人」へ変化する。

これらの3つの象徴的な特徴から主体の役割を整理することができる：(1) 大学の役割は、知識を創り出し論文として世の中に伝え、知識を備えた人を育て企業へ送り出すことである。(2) 企業の役割は、大学が創り出した知識と大学が育てた知識を備えた人を受け入れ、自ら創り出した知識を論文や特許として世の中に伝え、人々の生活に役立つ製品（サービスを含む）として実現し、家庭へ届けることである。(3) 家庭の役割は、知識が実現された製品やサービスを享受して暮らしを営み、人（子供）を育て大学へ送り出すことである。

ここで本論文の主題であるサイエンス型産業の持続的発展を見据えて、「知識と人」社会循環モデルの視点から社会におけるサイエンス型産業の位置づけを確認するとつぎのようになる：「サイエンス型産業に属する企業は、家庭と大学が育てた人を受け入れ、大学が作りだした知識を受け入れ、自ら創り出した論文や特許に変え、具体的な製品・サービスとして実現して社会に提供する拠点である」。

¹⁴ 企業の論文の流れについては5.1.で検討する。

2.5.4. 研究者の育成

大学と企業では研究者が科学・技術分野の研究を行う。そして大学、企業は独自に研究者を育成する仕組みを備えている。¹⁵ 図 2-5 に大学と企業における研究者の育成経路と大学から企業への人の流れを示す。A から H は育成の対象者を示す。

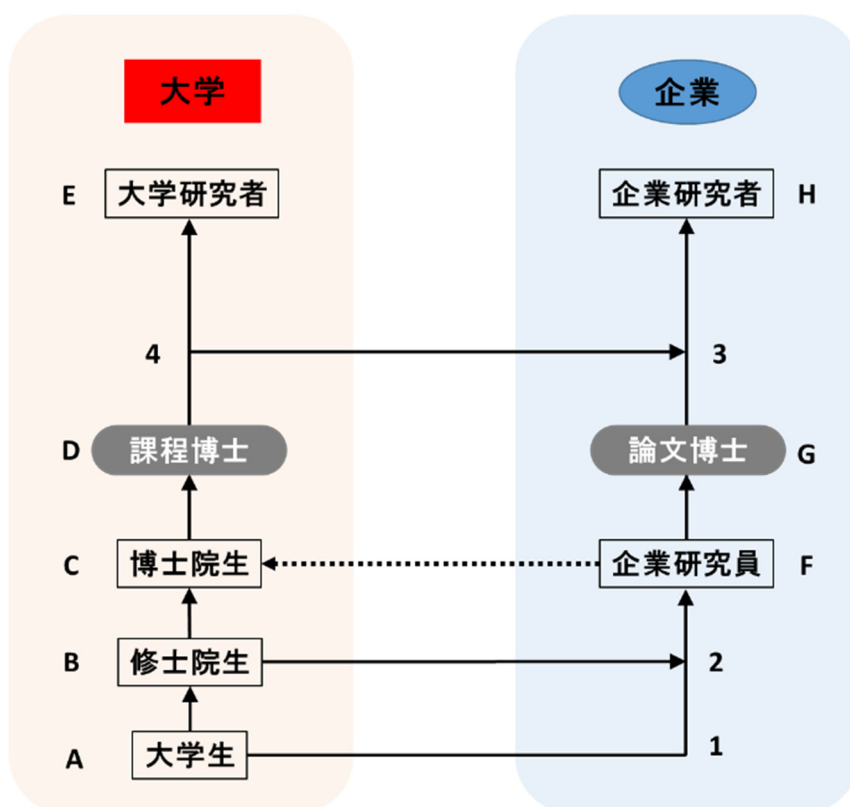


図 2-5 大学と企業における研究者の育成経路と大学から企業への人の流れ

【注 1】 A-H は育成の対象者。A は大学学士課程学生（大学生）、B は大学院修士課程学生（修士院生）、C は大学院博士課程学生（博士院生）、D は課程博士、E は大学研究者（教授、准教授、助教、講師、博士研究員）、F は企業研究員、G は論文博士、H は企業研究者。1-4 は経路の分岐点または合流点。【注 2】 実線矢印は大学と企業の育成経路内の人の流れと大学から企業へ向かう人の流れ、点線矢印は企業から大学へ向かう人の流れ。

¹⁵企業は別に技術開発や生産・販売に従事する従業員を育成する仕組みも備えている。

1 から 4 は経路の分岐点または合流点である。大学では大学研究者 (E ; 教授、准教授、助教、講師、博士研究員) と博士院生 (C) が論文を作成する。企業では企業研究者 (H) と企業研究員 (G) が論文と特許を作成する。この図は人の流れだけ示している。

a. 大学における研究者の育成と人の流れ

大学に入学した学生は学士課程 (A ; 大学生)、修士課程 (B ; 修士院生)、さらに博士課程 (C ; 博士院生) で学ぶ。A と B は大学と大学院における教育の対象者であり、C は大学院の教育の対象者であるが、大学で行なわれる研究に参加して研究者としての訓練を受ける。C は博士論文を提出して審査に合格すると博士号が授与され、課程博士 (D) となる。一部の D は大学研究者 (E) になる。これが大学における研究者の育成経路である。

b. 企業における研究者の育成と人の流れ

経路 (D→4→3→H) を通って企業に就職した D は企業研究者 (H) になる。大学から企業へ向かう 2 つの経路 (A→1→F と B→2→F) を通って、A と B が企業に就職して F になる。企業には研究員の育成経路が 2 つあり、いずれも企業研究員 (F) から始まる。

(i) 論文博士：企業内研究に依拠する研究者育成

1 つ目の研究者の育成経路は企業内における研究成果に基づいて論文博士になる経路である：F→G→H。企業研究員 (F) は業務として行なった研究の成果を企業の許可を得て、学会で発表し、学術論文として発表することがある。多くの場合、研究組織の上司である企業研究者 H (博士号保持者) が指導に当たる。企業研究員が上司と相談して研究成果を博士論文としてまとめ、大学の論文審査を経て論文博士となることがある。この場合、博士論文の審査は大学が行なうが、研究員の指導は企業の研究者 (博士号保持者) が日常の業務の中で行ない、企業は研究成果を論文として発表する。

1970-1980 年代には、企業内に研究者を自前で育てるこの育成経路が存在した。筆者が知る限りでは制度化された育成経路ではなかったが、この育成経路の存在は修士卒あるいは大学卒の研究員が研究業務に取り組むうえで大きな動機づけであった。

図 2-6 に日本の理系専攻の博士論文数の推移 (1975-2012) を示す。1980 年代末まで論文博士の授与数は 60% 台で推移しており、課程博士の授与数を越えていた。日本が高度成長を遂げた 1970-1980 年代に多くの企業研究員が論文博士になり、民間企業の研究機関で

研究者として活躍したことが判る。

ところが1990年頃から課程博士号の授与数が増加し始めた。博士課程の定員増やポストク1万人計画が実施されたためと推察される。一方、論文博士号の授与数は1995年にピークとなり、1996年に論文博士の論文数は博士論文全体の50%を割り、急速に減少した。2012年では博士号授与数全体の約15%になった。この事実は2000年代が進むに連れて企業研究員の世代交代が進み、企業の自前の研究者育成の経路が徐々に消滅したことを示唆している。

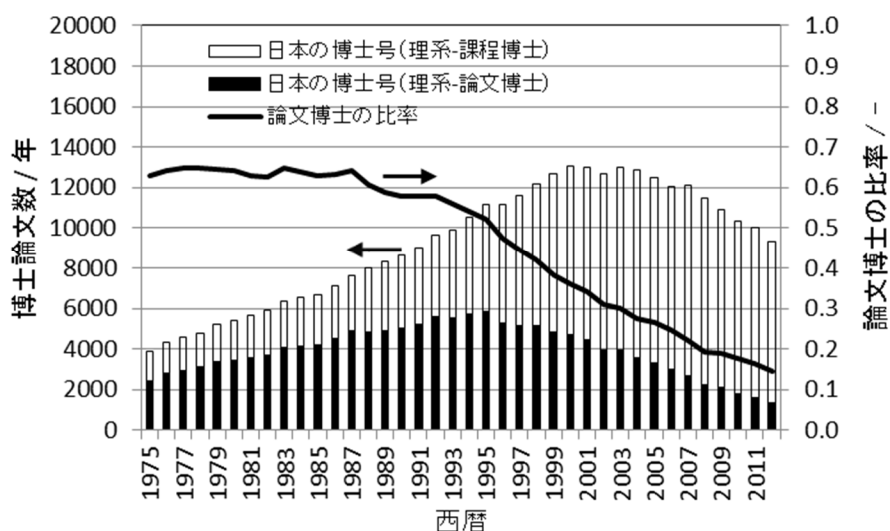


図 2-6 日本の理系専攻の博士論文数の推移

【注 1】白棒グラフは課程博士（左軸）、黒棒グラフは論文博士（左軸）、実線は論文博士の比率（右軸）、西暦は授与年。【注 2】論文数は国会図書館雑誌記事索引データベース（NDL-OPAC）と用いた筆者による調査結果。理系専攻の博士論文とは、理学・工学・医学・獣医学・薬学・農学・水産・保健の 8 専攻である。検索日は 2014 年 7 月 16 日。【注 3】1991 年に行なわれた学位表記方法の変更前から存在した上記の 8 専攻の博士論文数を集計した。1991-2012 の上記 8 専攻以外の理系専攻の博士論文数は同じ期間の理系専攻全体の博士論文数の約 10%であった。学術博士は 1991 年以前から専攻名は存在したが、理系文系の区別ができないので除いた。

(ii) 博士課程への社会人入学

2つ目の研究者の育成経路は大学の研究者育成経路を経由する。企業から大学へ向かう経路 F→C (点線矢印) を通って一部の F が大学院博士課程に入学し、社会人学生 (博士院生、C) となる。企業研究員 F は博士課程に在籍して大学研究者のもとで研究の指導を受け、博士論文の審査に合格すると D になり、経路 (D→4→3) を通って企業に戻り、H として企業内で研究に従事する。

論文博士の減少と並行して大学院の社会人入学制度が整備され、企業研究員が社会人学生として博士課程で博士号を取得する例が増えた。これによって従来から民間企業にあった自前の博士育成経路 (F→G→H) は徐々に機能しなくなったと考えられる。

2.5.5. 企業から家庭へ向かう知識の流れ

企業は大学から人 (卒業生) を従業員として受け入れ、従業員は知識と経験を活かして研究を行い、技術を開発して製品を生産し、販売する。図 2-7 に企業から家庭への知識の流れを示す。企業が生み出した知識 (製品/特許/論文) が市場に流れ、市場において評判や新聞記事になる。製品/特許/論文と評判、新聞記事が家庭へ流れる。企業の特許と論文は製品に付随していると考え、図では製品/特許/論文とした。企業の論文は直接、家庭へ流れないが、市場において企業の評判を形成する重要な因子である。6.4.と 6.5.では企業の論文数を企業の研究開発の活動度の代替変数として扱う。

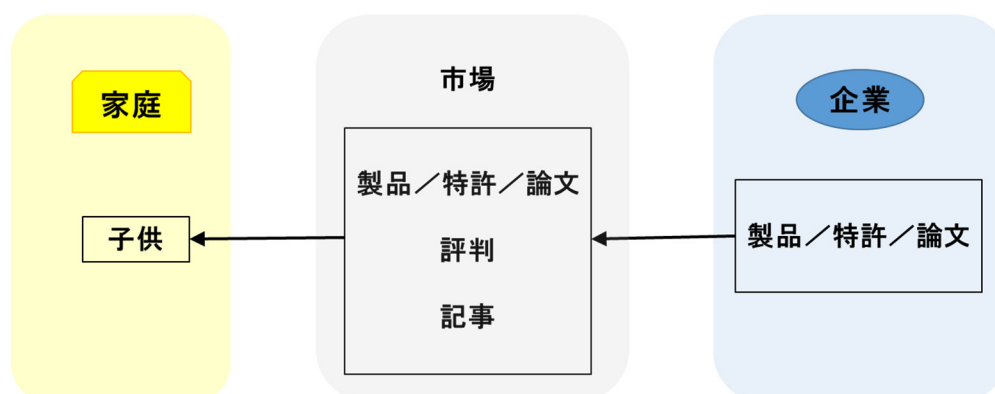


図 2-7 企業から家庭への知識の流れ

企業の研究者は科学や技術に関わる新しい発見をして、その原理・原則を論文あるいは特許として発表する。論文と特許は企業における科学・技術の研究成果であり、企業が創り出す知識のひとつの形である。企業はそれらの知識を活用して新しい製品を考案し、それを製造する具体的な方法（製造技術）を開発する。これが企業における技術開発である。企業は製造技術を用いて生産した製品を市場に供給して販売する。企業の製品は企業が作り出した知識のもうひとつの形である。

企業の製品は市場で評価されながら、家庭へ流れる。そして製品の評判は企業の評価と共に新聞記事やマスコミの報道を通じて家庭へ流れる。家庭では子供が製品を使い、その機能やデザインに感動して影響を受ける。また企業の評判や新聞記事が子供にプラスの印象を与え、子供が企業の活動や製品に関心をもつ。

2.5.6. サイエンス型産業の位置づけ

家庭から大学へ向かう人の流れは、子供の大学への進学である。図 2-8 にこの流れを実線矢印で示す。図 2-8 は以下の手順で描いた：図 2-5 と図 2-7 を繋ぎ、家庭から大学へ向かう人の流れを描き、図 2-4 の円環を完成させたあと、大学を経由して企業へ向かう人の流れ（実線矢印）と企業から家庭へ向かう知識の流れ（破線矢印）を描いた。このとき大学から企業へ流れる知識（論文）と企業の研究以外の役割（技術開発と生産・販売）を省略した。

図 2-8 は「知識と人」社会循環モデルにおけるサイエンス型産業の位置づけを明確にした図になっている：「サイエンス型産業に属する企業は、家庭と大学が育てた人を受け入れ、大学が生み出した知識を具体的な製品・サービスとして実現し、社会へ提供する拠点である」。企業を起点にしてこの図の矢印を辿ると、企業から流れ出た知識が家庭で人に乗り移り、大学を経由して企業に返ってくる「知識と人」の循環が見えてくる。

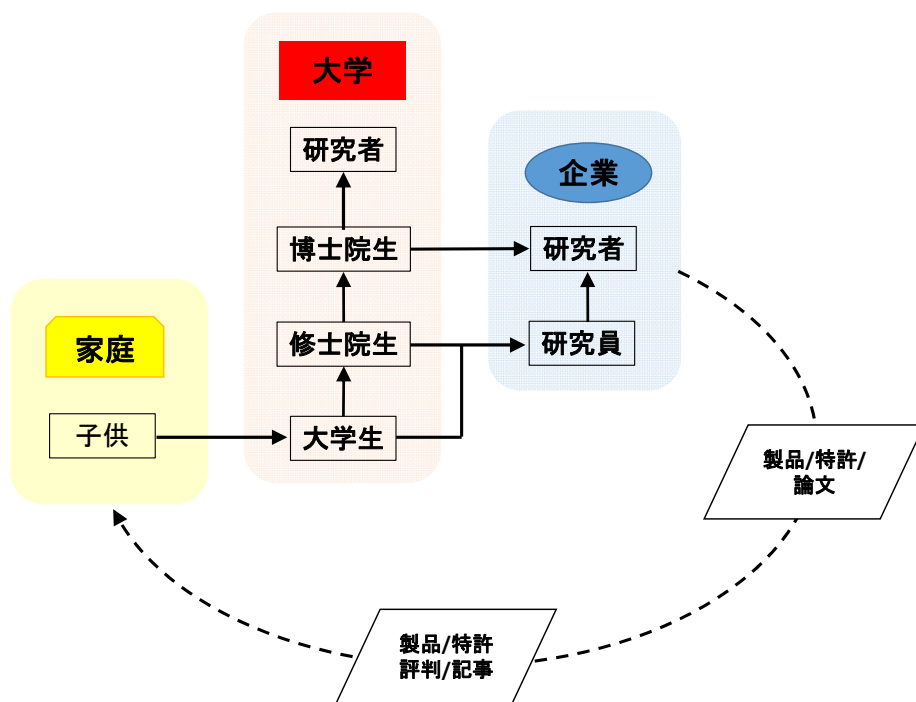


図 2-8 「知識と人」社会循環モデルにおけるサイエンス型産業の位置づけ

【注 1】 実線矢印は家庭から大学を經由して企業へ向かう人の流れ、破線矢印は企業から家庭へ向かう知識の流れ。【注 2】 大学から企業へ向かう知識の流れと企業内の技術開発と生産・販売の役割は省略。

3. 社会システム理論の考え方：先行研究の検討

本章（3章）は理論編の後半である。本章では、サイエンス型産業の企業の機能と社会構造との関係の整合性を図るために「社会システム理論」の機能-構造主義の基本を理解する。最初にコミュニケーションと機能システムなど「社会システム理論」を構成する主要な要素の考え方を把握したうえで、「知の進化」の源泉である知識生産のプロセスである「知識システム」の作動原理について考察する。この考察は、第7章で「知識と人」社会循環モデルの機能に焦点を当てた議論を進める際の理論的基盤となる。

3.1. 「知識と人」社会循環モデルと社会システム理論の関係

科学・技術が高度に発達した現代社会では、すべての人と組織が科学・技術の恩恵に与っている。したがって、「科学・技術はどうあるべきか」や「私たちは科学・技術とどのように関わるか」を問うことは、社会を構成するすべての組織とその構成員である私たちにとって共通の課題である。

「科学・技術が社会を支える」というとき、「科学・技術が快適で物に囲まれた豊かな暮らしを提供する」という物質的な意味だけではなく、「科学が知識を創り、知識が人を育てる」という精神的な意味を含む。前者は科学の成果によって発達した技術から派生した物やサービスの提供に関わる具体的な活動であり、後者は新しい知識を創造することや社会に知識を広め、人を育てることなど知識自体に関わる抽象的な活動である。

物質的で具体的な活動は目で見て手に取るなど身体で感じることができるが、精神的で抽象的な活動は見ることができない。「科学・技術の発展」がもつ物質的な意味を「身体的な活動」と呼ぶならば、「科学・技術の発展」の精神的な意味は「知的な活動」と呼ぶことができる。私たちが科学・技術に支えられた現代社会をより良く生きるためには、科学・技術の知的な活動のあり方により多くの意識を向けなければならない。

第2章では、この知的な活動を理解するために3つの主体が構成する社会の構造に着目し、その構造の中を「知識」と「人」が循環することで各主体が機能を果たすという構造-機能主義的な考え方に基づいて「知識と人」社会循環モデルを提案した。

本研究の第3の目的は、3つの主体のあいだを「知識と人」が循環する様子を社会の構造と機能の両面から不偏的に分析し、科学・技術の発展における物質的で具体的な身体的活動と精神的で抽象的な知的活動が行われる実態を明らかにすることである。ドイツの社会学

者ニクラス・ルーマンが提唱した「社会システム理論」(Luhmann 1984=1993, 1984=1995)は社会の機能に着目した分析である。第3の目的を果たすために「社会システム理論」を採用する。第7章において、社会システム理論の視点で社会循環モデルが提示する動的構造を各主体における機能の対等な相互作用に落とし込み、機能が発現するメカニズムを検討する。これにより社会における「知識と人」の好循環を支配する機能的要因を明らかにする。

3.2. 「社会システム理論」の基本的な考え方

3.2.1. 社会の構成要素

ルーマンはタルコット・パーソンズ(アメリカの社会学者)の構造-機能的システム理論を継承しつつ、それと対決することでこの理論を発展させた。この理論では、「社会は人間の集まりである」とは考えない。社会の構造ではなく、社会の機能に着目するからである。

「社会システム理論」では、「社会の構成要素は人間である」「人間が主体者として行為する」という考え方をしない。これが「社会システム理論」のひとつの大きな特徴である。「人間は互いにコミュニケーションすることを通じて社会システムに参加するのであって、それ自体が社会システムの構成要素なのではない。社会の構成要素はコミュニケーションである」(春日 2008:1)と考える。

さらにこの理論では、「社会は基本的な役割を担うシステムを構成単位とする集合体である」と考える。この構成単位となるシステムを「機能システム」と呼ぶ。社会は複数の機能システムが互いに影響し合いながらも自律的に作動する複合システムであると考えられる。

図3-1に示すように、ルーマンはシステムを4種類に分類し、「機械(システム)」、「有機体(システム)」、「社会システム」、「心理システム」とした(Luhmann 1984=1993:2)。生物としての人間は有機体システムと心理システムの複合体である。さらに社会システムを3種類に分類し、「相互行為」、「組織体」¹⁶、「全体社会」(ゲゼルシャフト)¹⁷とした。「全体社会」はありとあらゆるコミュニケーションをすべて取り込んだ社会システムであり、「相互行為」と「組織体」は、コミュニケーションの範囲が限定された社会システムである(春日 2008:2)。本研究は「組織体」である大学、企業、家族を対象とする。

¹⁶ Luhmann (1984=1993) と春日(2008) は「組織(Organisation)」と表記しているが、本論では Kneer and Nassehi (1993=1995) にならい、「組織体」とする。

¹⁷ ゲゼルシャフトは Luhmann(1984=1993:2) では「社会」と訳されたが、春日(2008:2) と Kneer and Nassehi (1993=1995) では「全体社会」である。

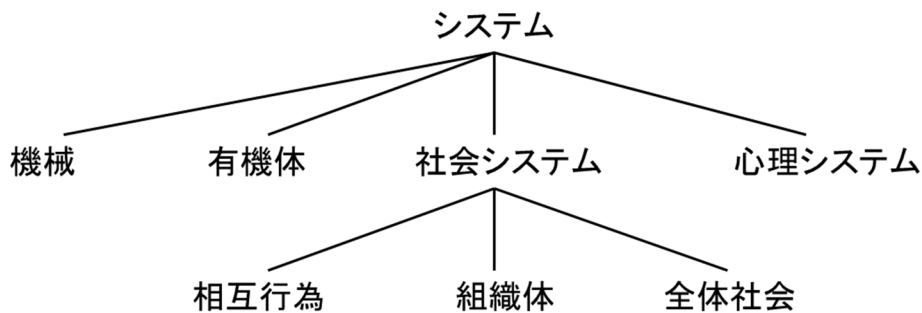


図 3-1 システムの種類と水準

【注】 Luhmann(1984=1993 : 2) の略図をもとに Kneer and Nassehi 1993=1995 : 49-51) と春日 (2008 : 2) を参考にして筆者が作成。

3.2.2. 人間の思考や意志の働き

ルーマンは人間を社会の構成要素とは考えなかった。機能を主体とする分析を主眼とすれば、この考え方は妥当である。しかし、社会で発現するすべての機能の契機は人間が思考し、意思を発信することである。ルーマンもそのように考えていたことは、図 3-1 で社会システムと心理システムをシステムの第 2 水準に併記したことから伺える。さらにルーマンは「社会システム理論」(Luhmann 1984=1993, 1984=1995) の全 12 章 (890 頁) の中に、心理システムについて独立に考察する章として第 7 章「心理システムの個性性」(40 頁) を設けた。

ルーマン (Luhmann 1984=1995 : 481) は、「心理システムは社会システムの環境の一部にほかならない」が、「心理システムは、社会システムの形成・発展にとって格別の重要性を有している環境の一部である」と記したあと、つぎのように述べている：「(心理システムという環境が) 形成されうる社会システムに対する一種の限定になっている」。そのうえでルーマンは「(心理システムという環境が) 社会システムが自立的に、つまり社会システム自体の基礎的なオペレーションに基づいてみずからを形成することをなんら妨げるものではない」と主張し、ルーマンの立ち位置を明確にしている。

ルーマンがこのように考える理由は、社会システムと心理システムの関係について「社会システムのこうしたオペレーションは、コミュニケーションにほかならず、心理過程それ自体、つまり意識過程なのではない」と述べていることから明らかである。この主張はルーマ

ンと対立する個体主義的還元主義に対する批判である。個体主義的還元主義では、社会は人間がその構成単位（個体）であり、「諸個体の行動について観察をすすめると、（中略）社会秩序を組み立てている決定要因を認識しうる」（Luhmann 1984=1995：482）と考える。

重要なことは、ルーマンは人間が社会の構成単位であるという個体主義的還元主義の考え方とは真っ向から対立するけれども、「社会システムの世界においてそもそも個体が存在しないと主張しているのではない」（Luhmann 1984=1995：483）ことである。さらに重要なことは、社会システムの理論は心理システムのオペレーションを問う際の手助けになる（Luhmann 1984=1995：484）と考えていることである。

心理システムと社会システムの関係を詳しく考察することは本研究の範囲を越えているが、現実の世界に人間の思考や意思が作用しなければ、社会は存在し得ないことを前提に考えれば、少なくともつぎの2点は主張できる：(1) 社会システムが存在するならば、人間はその環境に存在しており、人間の中では心理システムが作動している；(2) 人間の中で心理システムが作動したとしても、心理システムの環境（人間の外）に社会システムが存在するとは限らない。つまり「社会システムが存在する → 心理システムが存在する」は成り立つけれども、その逆は成り立たない。この命題は、(1) 心理システムが存在することは社会システムが存在するための必要条件であり、(2) 社会システムが存在することは心理システムが存在する十分条件であることを意味している。

これは心理システムと社会システムの接合部における影響の仕方に関係している。ルーマンが述べた「心理システムは社会システムに対する一種の限定になっている」という記述とも関係する可能性がある。

心理システムと社会システムのあいだにこのような包摂関係があると仮定すれば、心理システムを社会システムが成立する前提として位置づけることができる。この包摂関係のもつ限定のもとで、心理システムの作動原理や心理システムと社会システムの接続について考察を加えることができる。

そこで本章ではまず、図 3-1 に示した 3 種類の社会システム—相互行為、組織体、全体社会—の違いを明らかにし (3.3.)、ついでルーマンとパーソンズの考え方の違いとルーマンの等価機能主義 (3.4.) について述べる。そのあと順にルーマン理論の内容を概説する (3.6-3.8)。そしてまとめとして、「知識と人」社会循環モデルと社会システム理論の関係 (3.10.) を整理し、知識生産のプロセスの作動原理を紹介する。

3.3. 3種類の社会システム：相互行為・組織体・全体社会

社会システムは3つの種類—相互行為システム、組織体システム、全体社会システム—に分類される (Kneer and Nassehi 1993=1995 : 49-51)。

相互行為システムは、そこにいあわせている人たちが行為することによって成立する (Kneer and Nassehi 1993=1995 : 49)。たとえば、ある会議室で開かれた会議の参加者によって行われるすべての行為が含まれる。会議室の外にいる人たちの行為はこの相互行為システムの環境にある。そして会議が終了して参加者が会議室から退出すると、この相互行為システムは消滅する。

組織体システムは、ある一定の条件のもとに組織体に結びつけられている構成員が行為することによって成立する。本研究では、サイエンス型産業を取り巻く活動領域を代表する組織体として大学、企業、家庭¹⁸を取り上げる。大学の構成員(教員、職員、学生)が行為することによって組織体システムとしての大学システムが成立する。企業システムと家庭システムも同様である。企業システムの構成員は従業員と経営者、資本家であり、家庭システムの構成員は保護者(祖父母や親など)と子供(兄弟姉妹)などである。

すべての相互行為システムとすべての組織体システムは全体社会システムに属する。したがって全体社会システムはもっとも包括的な社会システムである。しかし Luhmann(1984=1993 : 2) は、全体社会システムの下位に相互行為システムと組織体システムを置かず、3つを同じ水準に並べている(図3-1)。

Kneer and Nassehi (1993=1995 : 50) は Luhmann の意図をつぎのように説明する：全体社会システムのなかには、相互行為システムや組織体システムからは産み出されないような多数の行為が現れる。したがって全体社会システムは、あらゆる相互行為システムと組織体システムの総和以上のものである。

本研究で取り上げる大学システムはサイエンス型産業と関係がある研究・教育活動に直

¹⁸ 本研究では血縁集団としての家族とその活動の場所の意味を併せもつ「家庭」を組織体の名称として採用する。「家庭」とは、「一緒に生活する親子・夫婦・兄弟姉妹などの集団。また、その生活するところ」である(金田一ほか 1994 : 224)。「家族」とは、「夫婦・親子など、婚姻・血縁関係で結ばれている生活共同体」である(金田一ほか 1994 : 214)。『広辞苑』(新村 1955)によれば、「家族」は「血縁によって結ばれた生活を共にする人々の仲間で、婚姻によって成立する社会構成の一単位」、「家庭」は「家族が生活する所」である。『ブリタニカ国際大百科事典』(ギブニー 1995 : 4-166a)によれば、「家族」とは「婚姻、血縁または養子縁組の紐帯によって結ばれ、単一の世帯を構成し、夫婦と妻、父と母、息子と娘、兄弟と姉妹というそれぞれの社会的位置において相互行為をもち、同一の文化を共有し、創造し、かつ維持する人々の集団」である。

接関わる構成員の行為によって成立する限定的な組織体システムである。したがって、本研究における大学システムは教育活動と研究活動に限定した教員と学生の行為が対象である。

本研究で取り上げる企業システムはサイエンス型産業に属する企業における研究、開発、生産、販売、流通などの活動に直接関わる従業員と経営者の行為によって成立する特殊な組織体システムである。したがって、本研究における企業システムはサイエンス型産業に属する企業の研究、開発、生産、販売、流通などの活動に限定された従業員と経営者の行為が対象である。

本研究で取り上げる家庭システムはサイエンス型産業の活動と関係がある養育や教育活動に直接関わる構成員の行為によって成立する限定的な組織体システムである。したがって、本研究における家庭システムは経済活動と教育活動に限定した保護者と子供の行為が対象である。

3.4. パーソンズとルーマンの比較

3.4.1. 構造・機能主義と機能・構造主義

本節では Kneer and Nassehi (1993=1995 : 39-45) の解釈を参考にて、ルーマン理論の特徴を述べる（「 」が引用部分である）：

ルーマンはパーソンズの構造・機能的システム理論を継承しつつ、それと対決することで社会システム理論を発展させた。「パーソンズの構造・機能システム理論は、特定の構造をもった社会システムを前提しており、社会的に形成されたものの存続を保障するためにはどんな機能的な働きが必要なのかを問う」、すなわち、構造が機能を規定するという考え方である¹⁹。これに対して、「ルーマンは構造と機能という二つの概念の関係を転換させ、機能

¹⁹『ブリタニカ国際大百科事典』（ギブニー 1995 : 6-715c）では「構造機能主義」はつぎのように説明されている：「機能とは、システムの諸要件よって行なわれる活動が、システムの目標達成および環境適応に関して、ぜひとも充足されねばならない必要性に関わっていると考えられるとき、その活動に付与される意味づけのことである」「社会システムの構造は、この機能が首尾よく達成されるように形成される傾向がある。しかし、実際には環境条件ならびにシステム内部の条件の変化により、現行の社会構造が、この条件を満たさなくなることがある。そのような構造は不均衡状態にあるので、社会システム内部に、機能的要件に適合するような方向への構造変動を引き起こす力が働く」。つまり、社会システムを構造

概念を構造概念に先行させ、機能-構造的システム論という言い方を採用している」。パーソンズは「規範と価値の特定の範型、すなわち特殊な構造によって特徴づけられる社会システム」を考えたが、ルーマンは(1)多様に分化した近代社会では、そうした価値秩序の統一の構造といったようなものはほとんど認められなくなっており、(2)機能と構造という基本概念の順序を逆にすると社会的なものについての非-規範的な概念を定式化することができると考えた。

構造-機能主義(パーソンズ)では、「社会的に形成されたものが未来においてもその存立を確保するためには、どんな特殊な働きが実現されなければならないか」を問う。すなわち、機能が構造に依存していると考えるので、「<どの具体的なはたらきがシステムの存続を因果的に引き起こすか>という点に関心がある。しかし、機能-構造主義(ルーマン)では、機能が構造に依存しているとは考えない。問われるのは「<どの機能がシステムの特定のはたらきを実現し、このはたらきはどの機能的に等価な可能性によってとって代わられうるのか>」である。このように考える前提は「社会システムは、はたらきをやめたものをそれに代わる他のはたらきによって置き換える可能性をもっている」からである。

機能-構造主義で重要なことは、「社会システムは、それまでのはたらきが作動しなくなったことに対して、その構造と諸要件を通じて対処することができる」ことであり、さらに「この変化によって、社会システムの存続は変化した諸条件のもとでも可能になるのである」。

社会システムの存続に対するパーソンズの考え方が「因果的機能主義」であり、ルーマンの考え方が「等価機能主義」である。

3.4.2. 「知識と人」社会循環モデルと構造-機能主義

「知識と人」社会循環モデルは、社会を3つの主体からなる構造に還元し、その構造に基づいて知識と人が循環することで各主体の機能が発現する様態を表すモデルである。これは構造が先行して機能を規定する構造-機能主義の考え方である。

本論の主張を予告的に示せば、科学・技術による社会の発展を考えたとき、私たちがなすべきことはつぎの4点である：第1に科学を発展させること、第2に科学の成果を利用し

と機能に分けたとき、構造は機能を達成するための変数部分であるという意味である。このような構造と機能の分析により、社会一般を分析できるという考え方が構造-機能主義である。

た技術を発展させること、第 3 に豊かな生活を実現すること、そして第 4 につぎの時代を担う優れた人材を育てることである。この 4 点に 1 つずつ知的活動が対応する：(1) 知識の創造（研究活動）、(2) 知識の具現化と改革（開発活動）、(3) 知識の実現（経済活動）、(4) 知識の体験と継承（教育活動）。

「知識と人」社会循環モデルでは、社会の構造は 3 つの主体で構成され、知識と人が 3 つの主体間を循環することにより各主体において機能が発現すると考える。このように機能が「知識と人」の循環によって連鎖的に発現することを“循環的連鎖”と呼ぶ。

各主体で発現する機能のはたらきが上述の 4 つの知的活動である。知的活動のはたらき具合を表す指標が論文数や博士課程学生数などである。2000 年代の日本における論文数や学生数の停滞は知的活動の循環的連鎖の低下を意味する。

構造-機能論では、循環的連鎖が低下した原因は安定的な構造（3 主体が構成する構造）にあるのではなく、それ以外の不安定な部分（例えば、各主体の内部構造やその関係性）にあると考える。その原因を明らかにして取り除くことができれば、「知識と人」社会循環モデルの 3 主体が構成する安定的な構造を維持したまま、論文数や学生数は停滞から抜け出すことができるはずである。しかし、この方向には従来の価値規範や構造規範に従わない新しい発想は期待できない。

本研究では、構造-機能論的な視点から構造と機能の因果関係を明らかにしたうえで、ルーマンの機能-構造主義的な視点から知的活動の循環的連鎖を向上させる新たな可能性を探る。

3.5. コミュニケーションと機能システム

3.5.1. コミュニケーション

a. 一般的な理解

『ブリタニカ国際大百科事典』（ギブニー 1995：7-407c）では「コミュニケーション」はつぎのように説明されている：

異なった個体の間で、あるものを仲立ちとして、共通なものがつくられる過程のことをいう。コミュニケーションを定義するには、少なくとも 3 つの項目、すなわち (1) コミュニケーションするもの（コミュニケーション主体）、(2) コミュニケーションされるもの（コミュニケーション対象）、(3) コミュニケーションを媒介するも

の（コミュニケーション・メディア）が必要である。

この説明のあとに 3つの項目に関する解説がある。それぞれの要点はつぎの通りである：

- (1) コミュニケーション主体は通常、動物や人間のような「意識」をもつ生物であるが、物質、物体、場所といった無生物もコミュニケーションの「主体」とみなされる場合もある。
- (2) 相互に共有される「共通なもの」（コミュニケーション対象）は、内面的あるいは観念的なものばかりでなく、直接目で見て確認することのできるような、外面的あるいは行動上の特性である場合も多い。
- (3) 表情、身ぶり、音声、言葉、文字、鉄道、電話、DNA、蛋白質、ホルモン等々、多種多様なコミュニケーション・メディアは異なった個体がある共通なものを共有し合うことを助ける、という 1点で同じ性質を示す。

そしてコミュニケーションは「私たちのものの見方によって生成してくる事柄である」と規定し、「一連の過程が、『コミュニケーション主体』、『コミュニケーション・メディア』、『コミュニケーション対象』の 3項目に分解され、それらが時間の経過のなかで総合化してくるものとして再構成されるとき、コミュニケーション現象は成立する」とまとめている。

b. 社会システムにおけるコミュニケーション：位相空間への投影

ルーマンは、社会システムはコミュニケーションの連鎖で構成されており、システムの内と外は境界により明確に区別されると捉えた。Kneer and Nassehi (1993=1995 : 44) はルーマン理論の特徴を簡潔にまとめた：

社会システムとは互いに指示し合う社会的行為の連関のことである。多数の人の行為が互いに結合されるときには、いつでも社会システムないし行為システムが成立し、それは環境から区別される。互いに意味を指示し合うすべての行為は、それぞれの社会システムに属し、そうしたそれぞれの意味連関への関係を欠いている他のすべての行為は、システム的环境に属する。

ここで「互いに指示し合う社会的相互行為」がコミュニケーションのことであり、「連関」は連続的な関係、つまり「連鎖」と置き換えて読むことができる。人は社会的行為の主体であって社会的行為そのものではないから、システムの外（環境）に置かれる。

「社会システム理論」を理解するうえで重要なことは、主体が存在する世界と主体が行なう社会的行為そのものが存在する世界が異なることである。社会的行為の主体、(例えば人)は実空間に存在するが、社会的行為そのもの、すなわち社会的行為の機能(あるいは働き)は位相空間²⁰に存在する。主体が社会的行為を実行する姿は社会的行為の機能(あるいは働き)ではない。

実空間と位相空間の関係は「実空間の構造を位相空間へ投影すると機能が現れる」と考えればよい。さきほどの引用の冒頭の一文は「社会システムは実空間に存在する社会を位相空間へ投影して見えるコミュニケーションの連鎖である」という意味である。

c. コミュニケーションの3要素とコミュニケーションの連鎖

図3-2にコミュニケーション(上図)とコミュニケーションの連鎖(下図)のイメージを示す。上図に示すように、コミュニケーションとは、複数の主体(主体Aと主体B)のあいだで「相互調整的に創発する出来事」であり、「ある“情報”が主体Aから何かの意図をもって“伝達”された、と主体Bに“理解”された」ときに創発する出来事のことである。主体Aが情報を持ち、ある意図をもって情報を伝達(発信)し、主体Bが主体Aの情報を理解したとき、コミュニケーションが成立する。「情報、伝達、理解」をコミュニケーションの3要素²¹と呼ぶ。下図は、社会システムが社会の構成要素であるコミュニケーションを産出するイメージである。一つのコミュニケーションがつぎのコミュニケーションを創発し、それが繰り返されてコミュニケーションが連鎖的に創発される。

²⁰ 位相空間についての詳しい説明は3.6.2を参照。

²¹ 「コミュニケーションの3要素」は3.5.1aで述べた「コミュニケーションの3項目」とは異なる。コミュニケーションの3項目は、コミュニケーションの構成的要素であり、コミュニケーションの3要素はコミュニケーションが成立するための機能的要素である。情報を発見、創造、発想などと言い換えれば、3要素の機能的側面が際立ってくる。

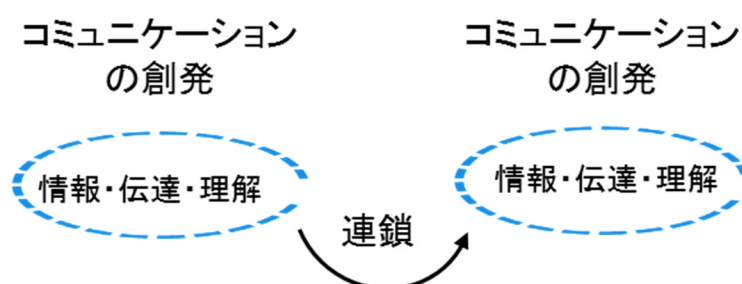
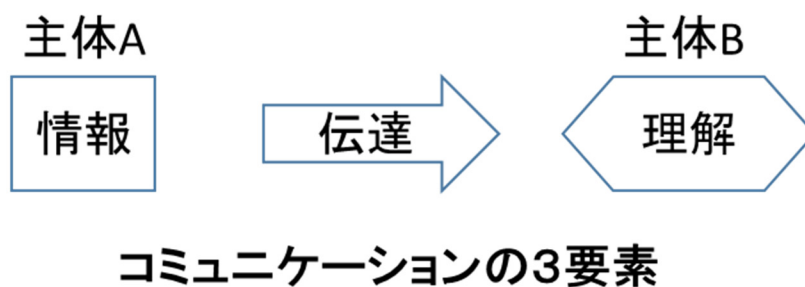


図 3-2 コミュニケーションの 3 要素と連鎖のイメージ

【注】井庭（2011）を参考にして筆者が作図した。

3.5.2. コミュニケーション・メディア

a. コミュニケーションにおける理解・伝達・成果の不確実さ

コミュニケーションを媒介するもの、コミュニケーションの連鎖に寄与するものを「コミュニケーション・メディア」と呼ぶ²²。ルーマンは、コミュニケーションが立ち現れるとき、3つの不確実さがあり、それぞれに対応して不確実さを確実さに変換させる機能としてメディアと名づけた（Luhmann 1984=1993 : 252）。

第 1 の不確実さは、自我他我が何を考えているのか理解することの不確実さである（Luhmann 1984=1993 : 248）。第 2 の不確実さは、コミュニケーションの空間的および時間的なひろがりのうちに存在しており、受け手へのコミュニケーションの到達することの不確実さである（Luhmann 1984=1993 : 249）。第 3 の不確実さは、その成果の不確実さ、すなわち「コミュニケーションがその人まで到達して、その人に理解されるとしても、

²² 一般的な理解におけるコミュニケーション・メディアと同じである。

コミュニケーションが受容されて、それに従われるかどうかはなお確実ではない」
(Luhmann 1984=1993 : 250)。

b. 不確実さを克服する 3つのメディア

コミュニケーションにみられる 3つの不確実さに対応して、3つの異なるメディアが区別される。ルーマンは、①言語、②コミュニケーションを拡充するメディア、③シンボルによって一般化されたコミュニケーション・メディアと名づけた (Luhmann 1984=1993:252-254)。

言語はコミュニケーションの相手が何を考えているのかを知ることを可能にしてくれるメディアである。自然言語はもちろん、ボディ・ランゲージや芸術表現なども含む広い意味での言語である。

②の例は文書、印刷、無線通信である。これらは、時間や空間を超えてコミュニケーションが成立することを可能にしてくれる。本研究では②を流布メディアと呼ぶ。

③の例は真理、愛、所有権／貨幣、権力／正義などである。本研究では③を象徴メディアと呼ぶ。象徴メディアは、生じたコミュニケーションが受け入れられる可能性を高めるメディアである。これによりコミュニケーションが単発で終わらずに、つぎのコミュニケーションへ接続されてコミュニケーションの連鎖が起こる。

3.5.3. 機能システム

経済、法、科学、政治、宗教、芸術、教育、マスメディアなどの領域には、特定の 3要素のバリエーションがある。井庭(2011 : 23-33) は、それぞれの領域に存在する機能システムの特徴について要点を説明し、機能システムの複合体としての現代社会の姿を提示している :

- コミュニケーションの 3要素の連鎖は、社会において固有の機能を担う独自の機能システムを形成する。たとえば、経済領域には希少価値を減少させるという機能を担う経済システムが存在し、科学領域には新しい知識を生産するという機能を担う科学システムが存在する。
- 各機能システムは自律的に動いており、他のシステム等から「他律的」に制御されるのではなく、そのシステム独自の論理に従って動いている。経済は経済の論理で動き、

政治は政治の論理で動いている。

- 個々の機能システムは自律的に動いているが、孤立しているわけではなく、お互いの機能を前提として動いている。社会は複数の機能システムが並列的に存在し、それらが自律的に動きながらも相互に依存し合っている機能システムの複合体である。
- このような機能システムの水平的な配置と相互依存関係が現代社会の姿である。

そして井庭（2011：33）は機能システムの機能が不全に陥る影響について「どの機能システムも、そのシステムが担うもの以外の機能がどこかで満たされていることを前提としているため、どれかひとつでも機能システムが機能不全に陥り、破綻したとすると、それが社会全体に及ぼす影響は計り知れない」と述べている。機能システムは個別の領域において独自の論理で作動し自律的で並列的に存在しているが、孤立しているわけではなく相互に依存し合いながら複合体“現代社会”を形成する。

ひとつの機能システムの不全はその領域の問題に留まらず、ほかの機能システムの不全を引き起こし、社会全体の不全に発展する可能性がある。この認識に立つことが本研究で「社会システム理論」を援用する意図である。

3.6. オートポイエーシスと位相空間

ルーマンが社会システム理論を発表した契機はチリの生理学者ウンベルト・マトゥラーナとフランシスコ・バレーラがオートポイエーシス(*autopoiesis*)の概念を1972年に提唱したことである（Maturane and Varela 1984=1997）。

オートポイエーシスは、神経システムから発想された概念であり、生命システムの本質に迫ろうとした。オートポイエーシスという単語は、ギリシャ語で自己(*auto*)と製作・生産・創作(*poiēsis*)を意味する2つの単語を組み合わせた造語であり、日本語では自己創出、自己産出と訳される。

ルーマンはオートポイエーシスが発表された直後からこの概念に着目して社会学に展開し、1983年に『社会システム理論』（Luhmann 1984=1993, 1984=1995）を発表した。オートポイエーシスは概念の理論づけが不完全なまま発表されたため、マトゥラーナとバレーラのあいだでも見解の相違があったといわれ、提唱された当時から今日まで、賛否両論が様々に戦わされ活発に議論されてきた。日本でもオートポイエーシスを扱った専門書や解説書が多数出版された。

神経システムという特殊な分野から発想された概念だったために、生物学や生理学に詳しくないと、初歩的な段階でイメージをつかむことが難しいといわれるが、オートポイエーシスを理解するポイントは位相空間の理解である。

本節ではオートポイエーシスの4つの特徴と位相空間を取り上げ、つぎに河本(1995)の解釈を参考にしながら、社会システム理論の根幹をなす「オートポイエーシス」を概観する。

3.6.1. オートポイエーシスの4つの特徴

有機体²³がオートポイエーシス・システムであるとき、自律性、個性性、境界の自己決定、入出力の不在の4つの特徴をもつ。松岡 (URL 4) は生命システムがオートポイエーシス・システムであることを例にして、この4つの特徴をわかり易く説明した：

- 自律性：生命システムは環境の影響をうけつつもすべてを自己調整し自己維持しているのだから、自律的である。
- 個性性：生命は遺伝情報の継承と物質代謝によって自己同一性を保つようにしているのだから、多くの場合は個性性をもっている。
- 境界の自己決定：生き物は外界とはあきらかに一線を引いて摂取や排泄をおこなっているのだから、まさに境界を自己決定している。
- 入出力不在：入力も出力もしていないということ。いいかえれば、どの部分にも原因をもたず、そのシステムはシステム自体の作動をもってすべての特徴としているということ。

最後の「入出力の不在」がもっとも難解である。松岡 (URL 4) は、マトゥラーナがオートポイエーシス理論を構築した神経系モデル (ニューロン・ネットワークのモデル) が完璧なまでに論理化された決定論的なシステムの研究であることを指摘した。「ニューロン・ネットワークはそのどの部分をとっても内部も外部もなく、入力も出力もしていない閉鎖的に自律しているがゆえにオートポイエーシス・システムなのだ」と述べている。

図 3-3 にニューロン (神経細胞) とシナプスからなる神経回路の模式図を示す。破線枠は

²³ 生命体あるいは生物のこと。

一つの神経細胞とそこへシナプスを經由して入力信号（青矢印）を送り込む隣接する神経細胞（図の左側の2個）の軸索（2本）からなる神経系単位の領域を示す。中央の神経細胞は軸索を別の神経細胞（図の右側）に伸ばし、出力信号（赤矢印）を送り出す。

いま問題にしているのは生きた神経細胞の中の物理的状態ではなく、神経モデルの機能である。図の破線枠を神経系モデル（ニューロン・ネットワークのモデル）の単位と見なすと、「神経モデルが出力信号を送り出すと同時に入力信号が送り込まれる」というイメージを描くことができる。これが「(生きた神経細胞をモデル化した) ニューロン・ネットワークはそのどの部分をとっても内部も外部もないということ、つまりは入力も出力もしていない」ということである。

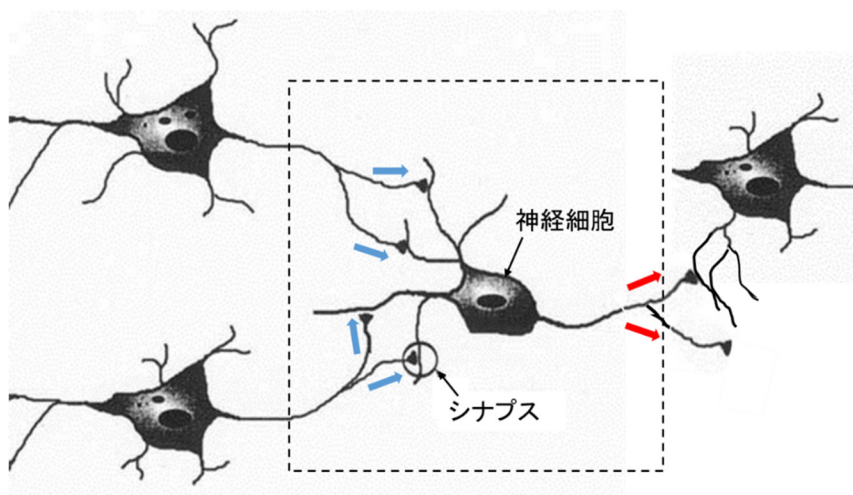


図 3-3 ニューロン（神経細胞）とシナプスからなる神経回路

【注】青矢印は入力信号、赤矢印は出力信号を示す。破線枠は神経系単位の範囲。

オートポイエーシスを理解しにくい原因の一つは、「入出力の不在」という特徴と構成要素を繰り返し産出するという性質が矛盾すると感じることである。オートポイエーシスを理解するポイントは「入出力不在」の解釈であると考えるので、ここでは「入出力の不在」の考え方の要点を再度、述べる。

システムが入出力不在ということは、システムが閉鎖系であることを意味する。その閉鎖系システムの中で構成要素が繰り返し産出されるという。永久機関のように閉鎖系システムが繰り返し構成要素を産出することはあり得ないと思える—この疑問がオートポイエー

シスの理解を妨げている。

理解のポイントは、マトゥラーナがオートポイエーシス理論を構築した神経系モデルは論理化モデルであり、生きた神経細胞の実空間における構造（生きた姿）を描いたものではないことである。論理化モデルは生きた細胞の姿そのものではなく、細胞の働き、すなわち機能だけを取り出したものである。実空間に存在する細胞は開放系システムであり、エネルギーの出入りが必然的に起こる。しかし、その機能だけを取り出した論理化モデルはエネルギーの出入りとは無関係となる。

システムがもつ機能に注目したとき、4条件（自立性、個性、境界の自己決定、入出力不在）を満たせばオートポイエーシス・システムである。このよう実空間にあるシステムの機能だけを取り出すことを位相空間へ投影するという。

3.6.2. 位相空間

オートポイエーシス・システムは実空間（物理空間）における様々な活動を位相空間に表象したものである。河本（1995：213）は、「物理空間と区別して、産出関係によって張り出される空間を『位相空間』という」と説明しているが、これは実空間にある組織や仕組みや生体の器官が物や出来事を一貫して産出している（工場での製品の生産、細胞における蛋白質の生合成、電話会社のサービス、2人の会話など）とき、この活動（つまり事物を一貫して産出しているという機能）を描き出した空間が位相空間であるという意味である。

a. 位相の二義

位相（phase）には、物理学と数学の二義がある。前者は、位相は振動や波動などの周期運動の過程でどの点にあるかを示す変数である。位相空間の理解で重要なのは後者である。

数学の解析学では、位相空間は極限や連続の概念を定義できるように抽象空間（集合）に与えられる構造（部分集合全体の集まり）である。数学において極限や連続の概念は実数の集合や平面上の点集合については“近さ”とか“近づく”といった概念を用いて定義される。これらの集合に対し、極限や連続の概念が定義できるのは、これらの集合が“近さ”とか“近づく”といった概念で表される構造を備えているからである。このような構造を位相という。

一般の集合にある種の構造を与えることにより、極限や連続などの概念が定義でき、これらについての理論を展開することが可能となる。このような構造を位相といい、位相の与えられた集合を位相空間という。

b. 位相の直観的解釈

オートポイエーシス・システムにおける「位相空間」は数学における位相の概念、つまり集合における“近さ”とか“近づく”といった概念を定義できるように抽象空間（集合）に与えられる構造である。川平（URL 5）は数学的な位相空間の定義（開集合系）とその直観的な解釈を紹介している：

「位相」（構造）は近さの感覚だといわれるが、もっと直観的に表現すれば、「グループわけ」の感覚である。図 3-4 に位相空間を理解するためにグループわけのイメージを示す。日本は、アジアに属し、仏教国で、国連加盟国で、公用語は非英語（日本語）である。図の外枠が世界のすべての国々の集合 S である。内側にある色つき図形の一つひとつが集合 S の部分集合 O_x (x は $1 \leq x \leq m$ の整数、 m は国の総数) である。

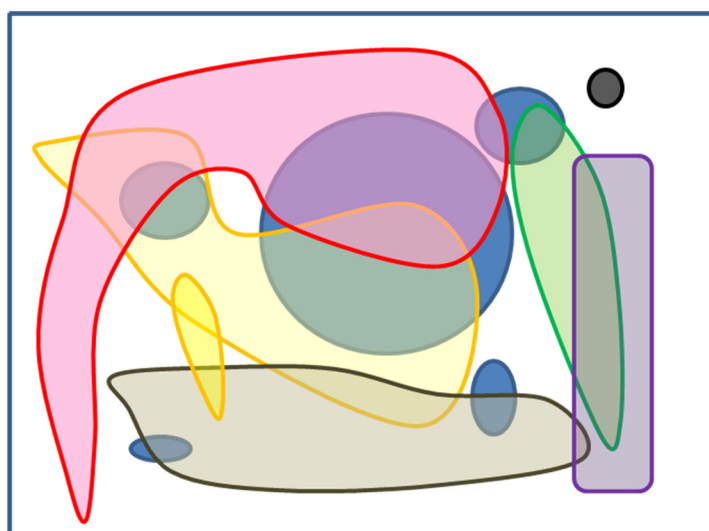


図 3-4 位相空間におけるグループ分けのイメージ

このようにしてできた部分集合の集まり（グループの集まり）を「開集合系」と呼べるのは、つぎの条件(O1)~(O3)が満たされたときである（URL5）：

グループの集まりを O と名づけると、

(O1) もとの集合 S 自体も O に属するグループの 1 つである。

(O2) O に属する有限個のグループにたいし、それらの共通部分は、やはり O に属するグループである。

(O3) O に属するグループの有限個もしくは無限個の和集合は、やはり O に属するグループである。

世界のすべての国々の集合 S をこのように考え得るすべてのグループにわけたとき、 S の部分集合（グループ）の集まり O は(O1)~(O3)の条件を満たすので、 S の開集合系である。

このように世界の国々のグループの重なり具合が見える空間が「位相空間」である。位相空間へ表象するとは、集合 S をグループわけすること、つまり、集合 S に開集合系を与えることである。これを集合 S に位相（構造）を入れるという。

3.6.3. 位相空間で見える構造

社会現象は実空間（4次元時空）における出来事である。実空間の出来事や活動を位相空間に表象したものが機能システムであり、機能システムはオートポイエーシス・システムである。オートポイエーシス・システムである機能システムは位相空間のなかに構成要素（コミュニケーション；図 3-2）を産出する。構成要素は産出された瞬間に消滅し、つぎに別のもうひとつの構成要素が産出され、ただちに消滅し、またつぎの構成要素が.....この周期的な作動を繰り返すので、位相空間は時間の次元をもつ。

ルーマンは人間をシステムとは考えず (Luhmann 1984=1993:62)、社会システムの環境においた (Luhmann 1984=1993:331)。これは後述するように、社会システム理論が社会の構造ではなく、社会の役割（機能）に着目した理論であると考えれば理解できる。

3.6.4. 「コミュニケーション」の位相

図 3-5 に、集合 S に位相を入れる前後のイメージを模式的に描いた。集合 S は出来事 x_1 ~ x_8 の集合である (図 3-5a)。それぞれの出来事がコミュニケーションの3要素（情報、伝達、理解）を備えているかいないかを基準にグループわけした (図 3-5b)。

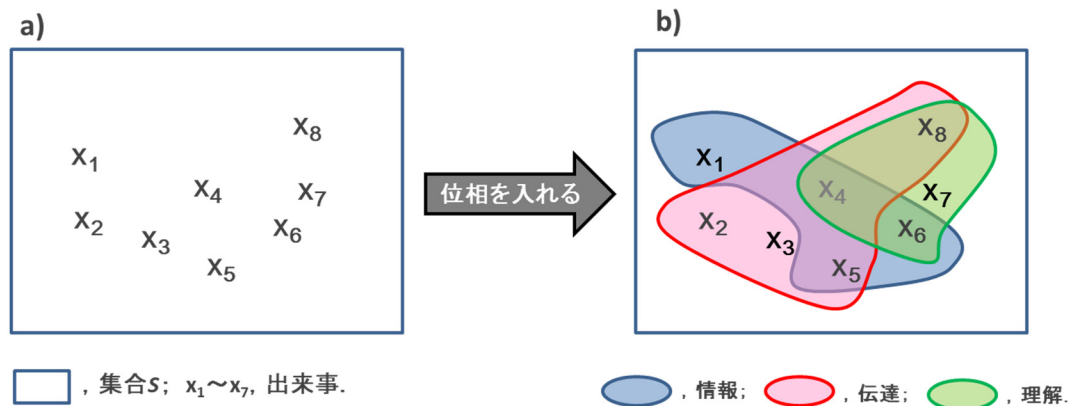


図 3-5 集合 S に位相をいれる前後のイメージ : a) 位相を入れる前 ; b) 位相を入れた後のイメージ

【注 1】 集合 S は出来事 $x_1 \sim x_8$ の集合である。【注 2】 青領域は情報の要素をもつ出来事、赤領域は伝達の要素をもつ出来事、緑領域は理解の要素をもつ出来事。

図 3-5b が集合 S の位相空間である。8 個の出来事のなかで 3 要素を備えているのは x_4 だけである。確かなコミュニケーションが出来事 x_4 により創出される。その他の出来事は 3 要素すべてを備えていない。以下、残りの出来事がどのような状況か確認する :

- 出来事 x_1 は情報だけである。たとえば、意識を失うほど酔った人がなにやら大声を発している場面を想定すればいい。意図をもって声を発しているか、無意識でわめいているかわからない。とすれば伝達の要素はない。声は耳に届いているが、言葉として意味不明であるから、理解されない。
- 出来事 x_2 と x_3 は伝達だけで情報も理解もない場合である。なにか意図をもっていることはその行為から伝わる (伝達) が、それがなにかが判らない状態だろう。たとえば、毎朝、同じ時刻に同じ場所に無表情で現われてすぐに立ち去る人がいる。正常な意識があり、なにか意図した行動であることは伝わってくる。しかし情報がないから、理解できない。
- 出来事 x_7 の要素は理解だけである。情報もなく、伝達の意図もないのに理解できてしまう。たとえば、道ですれ違う人が無表情で普通に歩いてくる (情報がない) のを見て、この人は妻の誕生日プレゼントを何にするか迷っているとわかってしまう...

という（普通はありえない）場面である。

- 出来事 x_5 の要素は情報と伝達であり、理解がない。路上で人とすれ違う場面で、その人が「すみません」と私に呼びかけたけれども、そのことに私がまったく気づかなかった場合である。ある“情報”が何かの意図をもって“伝達”されたけれども、私に“理解”されなかった。
- 出来事 x_6 の要素は情報と理解であり、伝達がない。たとえば、他人の独り言（情報があるが、伝達の意図がない）を立ち聞きした場合だろう。独り言をいった人には伝えようとする意図（伝達）がないが、言葉が発せられ（情報）、立ち聞きした人に理解されてしまった。
- 出来事 x_8 の要素は伝達と理解であり、情報がない。「情報がなく、相手の何かの行為（伝達）を見るという体験だけで、相手を理解してしまう。上に挙げた「毎朝、同じ時刻に同じ場所に無表情で現われてすぐに立ち去る人」の例でいえば、この行為をみただけで何のためにやっているかを正しく理解できてしまう。

このように集合 S に「コミュニケーションの 3 要素」に基づいた位相（構造）を入れると集合 S の位相空間が見えるようになり、出来事 x_4 だけがコミュニケーションの 3 要素がそろっており、コミュニケーションを創出したことがわかる。

3.7. ダブル・コンティンジェンシー（二重の不確実性）

コミュニケーションには 3 つの不確実さ（理解の不確実さ、伝達の不確実さ、成果の不確実さ）があると述べた (3.5.2.a)。これらのうち、理解の不確実さは「自我他我が何を考えているのか理解することの不確実さ」であるから二面性がある。すなわち、自分が自分を理解して情報発信することの不確実さと、他者を理解してつぎの情報を発信することの不確実さである。この理解の不確実さの二面性が絡み合う状況がダブル・コンティンジェンシー（二重の不確実性）である。

『大辞林』(URL 6) によれば、ダブル・コンティンジェンシーとは「互いに未知の行為者が出会うとき、ともに他方の取る行動に基づいて自分の行動を決めようとするために陥る状態。パーソンズにおいては、これは両すくみを意味するが、ルーマンでは社会秩序の生成につながる。二重の偶発性」と簡潔な解説がある。

社会システムの議論においてダブル・コンティンジェンシーの問題はパーソンズによっ

て明示的に取り上げられ、ルーマンによって徹底的に考察された（春日 2008 : 24）。

春日（2005 : 448 ; 2008 : 28）はダブル・コンティンジェンシー問題におけるルーマンの功績はダブル・コンティンジェンシー概念を拡張し、その積極的な意味づけを行なったことにあるとして、ルーマンの考えをつぎのように読み解いている：「パーソンズも他の多くの研究者も、ダブル・コンティンジェンシーを相互行為ひいては社会システムの生成を妨げるいわば厄介者（＝解決されるべき問題）にとらえているが、（ルーマンは）逆にダブル・コンティンジェンシーがあるからこそ、相互行為が起動し、社会システムが生成されるのだと視野の拡大・視点の切り替えをした」。

社会システム理論の核心ともいうべきダブル・コンティンジェンシーの意味と重要性を理解するために、本節では偶然であった肉屋と消費者のあいだで肉の売買が成立するまでの両者の思考と行動を模擬実験により観察する。

3.7.1. ダブル・コンティンジェンシーの思考実験：肉の売買

a. 出会う場面：ダブル・コンティンジェンシー

「肉を売って利益を得たい肉屋（主体 A）」と「肉を買い消費者（主体 B）」の思考と行動をシミュレーションするために、二人が出会う特別な小部屋を用意する。この小部屋は 4 畳半ほどの広さがあり、床は平らで四角形をしており、四方を窓のない壁で囲まれている。天井は普通の高さであり、室内は照明によって明るい。対面する 1 組の壁にはドアが 1 つずつ設けられており、部屋の中央にドアと平行に低い衝立が置かれている。そして衝立の両側には、衝立に接して 1 台の机が置かれており、その前に椅子がある。

肉屋と消費者（どちらも目隠しをしている）が介助者の手を借りて別々のドアから小部屋に入り、椅子に座っている。二人の服装や顔つきから肉屋であることも消費者であることも判らない。肉屋は机の上に皿に盛った肉を置き、消費者は机の上にお金が入った財布を置いている。二人は衝立越しに互いの顔を見ることはできるが、相手の机の上を見ることができない。また前もって相手が何をもっているかも知らない。

いま二人が目隠しを外したとしよう。肉屋は肉を売って現金を手にしたと考えており、消費者は手持ちの現金で肉を買い消費者と考えている。しかし、肉屋は向かいに座っている人が肉を買い消費者と考えているかどうかを知らないし、消費者は向かいに座っている人が肉を売りたいと考えている肉屋であるかどうかを知らない。

肉屋と消費者はたまたま小部屋の中で出会ったけれど、沈黙しているだけでは目の前に座っている相手（肉屋に対する消費者、消費者に対する肉屋）が自分の考えを実現してくれる相手であることを知ることが出来ない。この状態は、肉屋にとって「なにが必然でなにか不可能なのかをまったく知ることができない不確定な状況」である。それと同様に、消費者にとっても「なにが必然でなにか不可能なのかをまったく知ることができない不確定な状況」である。このように出会った二人の不確定さが重なった状況がダブル・コンティンジェンシー（二重の不確定性）である。

b. コミュニケーションの成立への移行：シングル・コンティンジェンシー

ダブル・コンティンジェンシーは社会のいたるところに見られる状況である。春日（2005：452；2008：35-36）は「ダブル・コンティンジェンシー状況があるかぎり、社会システムが生まれる可能性が絶えず再生産されている」「ダブル・コンティンジェンシー状況を社会システムの不成立や崩壊ではなく、その生成・維持へとポジティブな方向に導くものは何かという問いに答えなければならない」と述べている。

肉屋（主体 A）と消費者（主体 B）の間に存在するダブル・コンティンジェンシーがどのように社会システム（コミュニケーション）の成立へと導かれるのだろうか。以下、図 3-2 のコミュニケーションの 3 要素と連鎖のイメージをもちながら模擬実験を進める。

まず肉屋（主体 A）が沈黙を破り、皿に盛った肉を衝立の上まで掲げて「売りたい」といった（情報 1）とする。これを見た（伝達 1）消費者（主体 B）は相手が肉屋であることを知る（理解 1）。つぎに消費者（主体 B）が肉屋（主体 A）に向かって「あなたは肉屋ですね」と応じ（情報 2）、この言葉を聞いた（伝達 2）肉屋は「自分が発した情報（皿に盛られた肉と肉屋の言葉）を相手が受け取り、自分がこの肉を売りたいと考えていることを相手が知った」ことを知る（理解 2）。

ここまでのやり取りで 2 つのコミュニケーションが成立している：[情報 1→伝達 1→理解 1]が 1 つ目のコミュニケーション、[情報 2→伝達 2→理解 2]が 2 つ目のコミュニケーションである。この 2 つのコミュニケーションの連鎖により消費者（主体 B）がもっていた不確定性（主体 A は何者か何をしたいのか判らない）は解消されるが、肉屋（主体 A）の不

確定性（主体 B は何者か肉を買うのか判らない）は未解消のままである。この状況をシングル・コンティンジェンシーと呼ぶことにする。

c. ダブル・コンティンジェンシーの解消

つぎに消費者（主体 B）が行動を起こし、ダブル・コンティンジェンシーの解消へ向かう。

消費者（主体 B）が財布を衝立の上まで掲げて「肉を買いたい」といった（情報 3）とする。これを見た（伝達 3）肉屋（主体 A）は相手が肉を買いたい消費者であることを知る（理解 3）。そして消費者に向かって「肉を売ります」と応じる（情報 4）と、この言葉を聞いた（伝達 4）消費者は「自分が発した情報（財布と消費者の言葉）を相手が受け取り、自分がこの肉を買いたいと考えていることを相手が知った」ことを知る（理解 4）。

ここまでのやり取りでさらに 3 つ目と 4 つ目のコミュニケーションが成立している：[情報 3→伝達 3→理解 3]と[情報 4→伝達 4→理解 4]である。この 2 つのコミュニケーションの連鎖により、肉屋(主体 A)がもっていた不確定性（主体 B は何者か肉を買うのか判らない）が解消され、肉屋（主体 A）と消費者（主体 B）のあいだに存在したダブル・コンティンジェンシー状況が解消される。ダブル・コンティンジェンシー状況が解消することで、肉屋（主体 A）と消費者（主体 B）のあいだで肉の売買が成立するのである。

3.7.2. ダブル・コンティンジェンシーと社会システムの作動

肉の売買というコミュニケーションが成立する社会システムを経済システムと呼べば、上述の 4 つのコミュニケーションの連鎖がダブル・コンティンジェンシー状況を解消させ、それによって経済システムが作動したとすることができる。これが「ダブル・コンティンジェンシー状況があるかぎり、社会システムが生まれる可能性が絶えず再生産されている」ということであり、「ダブル・コンティンジェンシーがあるからこそ、相互行為が起動し、社会システムが生成されるのだ」ということである。

ダブル・コンティンジェンシー状況は社会のいたるところに存在しており、それらはコミュニケーションの連鎖により解消される可能性がある。ダブル・コンティンジェンシー状況から社会システムが生まれるためには、2 組のコミュニケーションの連鎖が必要である：1

組目は情報 1 から理解 2 であり、2 組目は情報 3 から理解 4 である。

社会における人の思考と行動を考える際、社会システム理論が指摘するつぎの 2 点が重要である：

- (1) 社会システムが作動する条件は、自発的な 2 組のコミュニケーションの連鎖によるダブル・コンティンジェンシーの解消である。
- (2) 1 組目と 2 組目のコミュニケーションは独立しており、連続しなければならない。それぞれのコミュニケーションの契機である情報 1 (主体 A) と情報 3 (主体 B) の発信が特に重要である。

「知識と人」社会循環モデルと社会システム理論を対応させる目的は、「知識と人」社会循環モデルの構造を機能システムの複合体に置き換え、知識と人が循環する様態をコミュニケーションの連鎖とダブル・コンティンジェンシー状況の解消という観点で考えるためである。

3.8. カップリングと相互浸透

社会を構成する機能システムを考えると、機能システム間の相互浸透がより重要である。ルーマン (Luhmann 1984=1993 : 336) は、相互浸透を「あるシステムと他のシステムとが交互に他方のシステムの環境の一部になっている、そうしたシステムとシステムの間になり立つシステム間関係なのである」と規定した。さらに「相互浸透は、オートポイエーシスのシステム間の関係なのである」(Luhmann 1984=1993 : 345) として相互浸透が適用される範囲を設定した。

オートポイエーシスの条件を満たす複数個のシステム (要素システムと呼ぶ) が複合化して高次システムを形成するとき、この高次システムにおける要素システムの関係性を「カップリング」と呼ぶ。河本 (1995 : 248-51) はカップリングのパターンを 3 つ挙げた：

- (1) 要素システムのオートポイエーシスが高次システムのオートポイエーシスに従属するようにして維持される (単位システムのオートポイエーシスが放棄され、高次システムだけがオートポイエーシスの条件を満たしてオートポイエーシス単位体となる)。

- (2) 要素システムが複合し、高次の複合体を形成するが、この複合システムはオートポイエーシス的な作動をせず、むしろ要素システムのゆるやかなネットワークを形成する。
- (3) 要素システムが複合して高次システムを形成し、高次システムはオートポイエーシス単位体となり、要素システムもオートポイエーシスを維持しつづける。

河本（1995：251-53）は、システム間のカップリングの3パターンのうち、(3)がいちばん重要であり、これが相互浸透であると指摘した。筆者の要約を以下に示す：

人間が集まり社会を形成し、ひとたび社会システムが新たな構成要素²⁴を設定して作動すると、オートポイエーシス単位体となる。社会は、複数の人間から成る集合体ではなく、また個人と社会は階層的な上下関係としても区分されない。というのもコミュニケーションを産出する社会システムの作動からみれば、人間は位相学的外部、つまり環境に区分されるからである。このとき人間は環境として社会に浸透している。ところが人間はシステムであるから、自己を環境と区別している。そのとき社会はシステムである人間の環境の側に区分けされて、人間に浸透している。このように複数の（要素）システムが作動を通じて互いに他を環境とするような事態が生じている場合が、相互浸透である（傍点は筆者による）。

河本（1995：254-258）がまとめた相互浸透の要件はつぎの3点である：

- (1) 階層関係の消滅：複数の要素システムが複合体を形成して、新たな構成要素を反復的に産出すれば、それはオートポイエーシス単位体である。そのとき元の要素システムは複合体システムの基礎構造ではなく、システムの作動そのものによって区分される環境となるため、要素システムー複合体システム間の一切の階層関係が消滅する。その結果、オートポイエーシスではシステム間に上位も下位もなく、多様なシステムが交叉しながら作動しつづける。
- (2) 固有の位相領域の交叉：相互浸透は位相空間が交叉して、一方のシステムの境界が

²⁴ 社会の場合、これがコミュニケーションである。

他方のシステムの領域のなかに受け継がれる。これにより人間個人のシステムがどのように社会システムに浸透されていようとかけがえなく自分自身であり、またコミュニケーションの産出をつうじて不断に社会システムへと浸透している。

- (3) 相互浸透の普遍性：一般に質やカテゴリーが異なる二つのものが密接に関連しているとき、そこに相互浸透が成立している。

本論では、社会システムと人間は、それぞれに固有のシステムを形成し、それぞれのシステムからみれば、相互に他方を環境とする「相互浸透」が成り立つと考え、社会システム理論の創始者であるルーマンの考え方に沿って、社会と人間をともに捉える位置から社会における知識と人のあり方を考察する。

3.9. 心理システム・神経システム・有機体システムの複合体としての人間

3.9.1. 複合体としての人間

ルーマンは、社会システム理論において人間は社会システムの「環境」にいると捉えた。社会システムは実空間にある組織の集合体（構造）を位相空間に写像した機能の集まりである。したがって位相空間の写像である社会システムの中に実空間の構成員である人間は存在しない。社会システムの「環境」も位相空間であるから、そこにいるのは機能システムの複合体としての人間である。

社会の構成要素は「コミュニケーション」であり、コミュニケーションの連鎖が社会システムの作動原理である。コミュニケーションの連鎖がダブル・コンティンジェンシー状況を解消させ、それによって機能システムが作動する。このとき機能システムの複合体である人間が思考し行動することで社会システムのすべての機能が発現する。

井庭（2011：34）は、人間についてつぎのように述べている：「この環境にいる人間は、生命システムと神経システム、心的システムの複合体である。生命システムの構成要素は、生物としての人（ヒト）であり、心的システムの構成要素は、社会的な人（＝人間）の意識であり、意識の連鎖が思考である」²⁵。つまり、人間は社会システムの環境（外部）にあり、機能システムの複合体である。

ルーマン（Luhmann 1984=1995：493）は「心理システムの環境と心理システムとの接

²⁵ 生命システムとは、ルーマン（Luhmann 1984=1993：2）がシステムの第二水準に分類した有機体システムのことであろう。

触はすべて（みずからの身体との接触も含めて）神経システムを媒介として行なわれている」
「心理システムは、意識を通して意識を再生産している」と述べている。ところが図 3-1 に
おいて分析水準の第 2 水準に心理システムを明示しているが、神経システムは描かれてい
ない。

ルーマンが言及した「身体」を有機体システム（図 3-1 の有機体）と言い換えれば、ルー
マンは神経システムが有機体システムと心理システムの両者と相互作用すると考えたと推
察できる。すなわち、井庭が言及した「生命システムと神経システム、心的システムの複合
体」は、ルーマンが述べた「身体（有機体システム）と神経システム、心理システムの複合
体」であると考えてよいだろう。

心的システム、神経システム、心理システムの相互関係を述べることは本論の範囲を越え
るが、ここでは心的システム（意識と思考の生産）と神経システム（記憶の生産）の複合体
が心理システムであり、生命システムと心理システムの複合体（すなわち、生命システムと
神経システム、心的システムの複合体）が人間であるとする。

3.9.2. 心理システムと社会システムの構成要素：意識とコミュニケーション

ルーマンはシステム分析の第 2 水準に社会システム、機械システム、有機体システム、心
理システムを挙げ（図 3-1）、社会システムの作動原理はコミュニケーションの連鎖である
とした。そして社会システムと心理システムの作動原理についてつぎのように指摘してい
る（Luhmann 1984=1995 : 509）：

心理システムのオートポイエーシスと社会システムのオートポイエーシスには差
異がある／心理システムと社会システムは、それ自体を再生産するためにそれぞれ
異なる媒体、一方は意識を、他方はコミュニケーションを用いている。

すなわち、心理システムの構成要素が意識であり、社会システムの構成要素がコミュニケ
ーションである。

3.9.3. 言語による構造化と言語によるコミュニケーション

ルーマンは心理システムの個性性について考察を進めるなかで、言語の重要性に言及す
る。社会システムは相互浸透により社会システム同士の複合が可能であるが、「社会システ

ム自体の複合性を心理システムが利用できるようにするために発達した進化上の獲得物が、言語である」(Luhmann 1984=1995 : 510) と述べている。

ここで複合性を問題する理由は、異なる機能システムが相互浸透により複合化した高次システムにおいてコミュニケーションが成立するためには、相手が何を考えているのかを知ることを可能にしてくれるメディア、すなわち言語が共通のコミュニケーション・メディアとして重要だからである。

さらに「(しかし) 心理的過程は、言語を媒介とした過程ではないし、また思考は決して心理システムの『内部の発話』ではない」と指摘する。これは心理システムの作動原理は言語を媒介にしたコミュニケーションではないという意味である。心理システムにおいては、「意識が言語という形を介してすぐ次に表象へと移動」(Luhmann 1984=1995 : 511) しており、「ある表象から次の表象への進行が言語によって構造化されている」(傍点は筆者) と述べている。

言語による構造化によって「心のうちで一人で思い浮かべている個々の表象を個々の言葉のフォーマットに合わせて縮減したり、それを一層細分化しうる可能性やその選択肢を増大させたり、またそうした表象を完了させたり直接に新しい表象を考え出したりすることが可能」(Luhmann 1984=1995 : 511) になる。これは「意識が言語を通して形成される」(Luhmann 1984=1995 : 513) ということである。

すなわち、言語による構造化こそが心理システムにおける作動原理であり、一方、言語によるコミュニケーションが社会システムにおける作動原理である。

ルーマンは「意識のオートポイエーシスの再生産においてコミュニケーションがいかんして同時に作用しているのか」(Luhmann 1984=1995 : 510) という問いに対して、同時に作用することは「社会システム自体の複合性を心理システムが利用できるようにする」ことであり、それは「言語を介して、社会的複合性が心理的複合性へと移し変えられる」(Luhmann 1984=1995 : 511) ことであると答えている。

複合性の転移とは、社会システムの環境にいる人の心理システムと社会システムが言語を介して同時に作動しているということである。つまり、社会システムと心理システムは同時並列的に作動しており、それを「社会システムと心理システムとの間の複合性の転移」と位置づけ、そのための媒介物として言語の構造化という機能の重要性を強調している。

3.10. 社会システム理論における知識生産のプロセス：知識システム

本節では、「知識と人」社会循環モデルにおける知識生産の理論的根拠を得るために、ルーマンの心理システムに関する理論を基づいて知識生産のプロセスの理論的考察を行う。

実空間における人の知識生産プロセスを位相空間に写像した機能システムが心理システムである。実空間に存在する社会における知識の流れを位相空間に写像して考察を進めるためには、社会システムと心理システムの作動原理やそれらの接続について詳細に検討する必要がある。ここでは社会システム理論に準拠して人の知的活動である知識生産の基本的な考え方を確認する。

3.10.1. 機能システムの複合体としての人間

3.9.で述べたように、人間は生命システムと神経システム、心的システムの複合体であると仮定する。生命システムの構成要素は、生物としての人（ヒト）であり、心的システムの構成要素は、社会的な人（＝人間）の意識である。意識の連鎖が思考となる。

井庭（2011：34）が言及した「生命システムと神経システム、心的システムの複合体」は、ルーマン（Luhmann 1984=1995：493）が述べた「身体（有機体システム）と神経システム、心理システムの複合体」に相当すると考える。すなわち、心的システム（意識と思考の生産）と神経システム（記憶の生産）の複合体が心理システムである。したがって、生命システムと心理システムの複合体、つまり生命システムと心的システム、神経システムの複合体が人間であると考えられる。

3.10.2. 知識システムの作動原理

a. 知識システムの定義

本研究では知的活動の中核という意味を込めて心的システム（意識と思考の生産）と神経システム（記憶の生産）の複合体、すなわち心理システムを「知識システム」と定義する。したがって、生命システムと知識システムの複合体が人間である。

河本が指摘したように、カップリングの第3のパターン²⁶が相互浸透である。心的システムと神経システムが相互浸透して高次システムとして知識システムを形成していると仮定

²⁶カップリングの第3のパターンは、要素システムが複合して高次システムを形成し、高次システムはオートポイエーシス単位体となり、要素システムもオートポイエーシスを維持し続ける。

する。相互浸透によりサブシステムが複合化した高次システムを形成する場合、この高次システムはオートポイエーシス・システムであると同時に、サブシステムもオートポイエーシス・システムとして機能し続け、それぞれ独自の構成要素を繰り返し生産することができる。

したがって知識システムはオートポイエーシス・システムであり、サブシステムとしての神経システムと心的システムはオートポイエーシス・システムとして機能し続け、それぞれ独自の構成要素を繰り返し生産することができる。

b. 実空間の脳と位相空間の心の働き

現代の脳科学は、記憶が特定の脳細胞に物理的に存在することを実証した(URL 7)。

たとえば、マウスを用いた実験によれば、記憶は「エンGRAM細胞」と呼ばれる海馬²⁷の細胞群に書き込まれ、貯蔵される (Liu et al. 2012)。また Redondo et al.(2014)が行なったマウスを用いた別の実験によれば、海馬の記憶はその後の経験によって別の感情の記憶に書き換えられるが、扁桃体²⁸の細胞群は一度「嫌な出来事の記憶」「楽しい出来事の記憶」を保存したら、それらの記憶はそのまま書き換えられない。

これらの事実は、心の働きのひとつである感情が物質である脳に物質の変化という形式で記憶として存在することを明らかにした。別の言い方をすれば、これらの事実は、位相空間にある心の働き（感情）と実空間にある脳の対応関係を示した。

実空間に存在する物質で構成された脳（すなわち構造）と位相空間に存在する心の働き（すなわち機能）の対応関係が科学的に実証されたことは、生命システムと知識システムの複合体としての人間のあり方を保障する確かな成果である。

c. 言語による構造化

図 3-6 に心的システムと神経システムの複合体（すなわち知識システム）における意識の発生から知識の生産までの経路を示す。

図において水色の円が心的システム、赤色の円が神経システムであり、両円の重なりが相

²⁷海馬の記憶はエピソード記憶と呼ばれ、「個人が経験した出来事に関する記憶」である。この記憶の特徴は、出来事の内容（「何」を経験したか）に加えて、出来事に付随する情報（時間・空間的文脈、自己の身体的・心理的状态など）と共に記憶されていることである。海馬の下流にある扁桃体は記憶のうちでも情動と強く関連した記憶、すなわち恐怖や嫌悪のような感情に関連性が強い記憶が蓄積される。

²⁸扁桃体は、環境内の事象が自分にとって有益か危険かを判断する価値判断の中核であり、扁桃体の記憶は価値記憶と呼ばれる。

互浸透を意味する。周囲の四角の緑色の部分が知識システム的环境(社会システム)である。

心的システムで生産された意識の連鎖が思考となる。思考は相互浸透により神経システムにたどり着き思考の連鎖となる。神経システムで思考の連鎖は記憶となる。神経システムの中に様々な記憶が蓄積され、記憶が組み合わせられて知識の原型(原知識)となる。

原知識とは、それが意図をもって社会システムの中で情報として発信されたときに知識となる原型という意味である。図3-6には描かれていないが、知識システム(赤色)と社会システム(緑色)は相互浸透しており(3.8.)、原知識はその相互浸透により社会システムに入ることができる。図では原知識が青矢印で環境に移動するように示したが、これは原知識が社会システム(緑色)の中で情報として発信されたときに知識となることを表している。

このように知識システムは原知識を繰り返し生産する機能システムである。3.9.3.で述べたように、心理システムの作動原理は「言語による構造化」(ある表象から次の表象への進行が言語によって構造化されていること)である(Luhmann 1984=1995:511)。本論では、ルーマンの心理システムを知識システムと定義した。したがって、知識システムの作動原理は「言語による構造化」である。

注意すべきことは、知識システムは機能システムである。したがって一人ひとりの人間の知的活動ごとに知識システムがあるわけではない。またクラウドコンピューティングのような人間の知的ネットワークでもない。知識システムは社会にいる人間すべての知的活動の位相空間への写像であり、一つしかない人間の知的活動の働きそのものである。

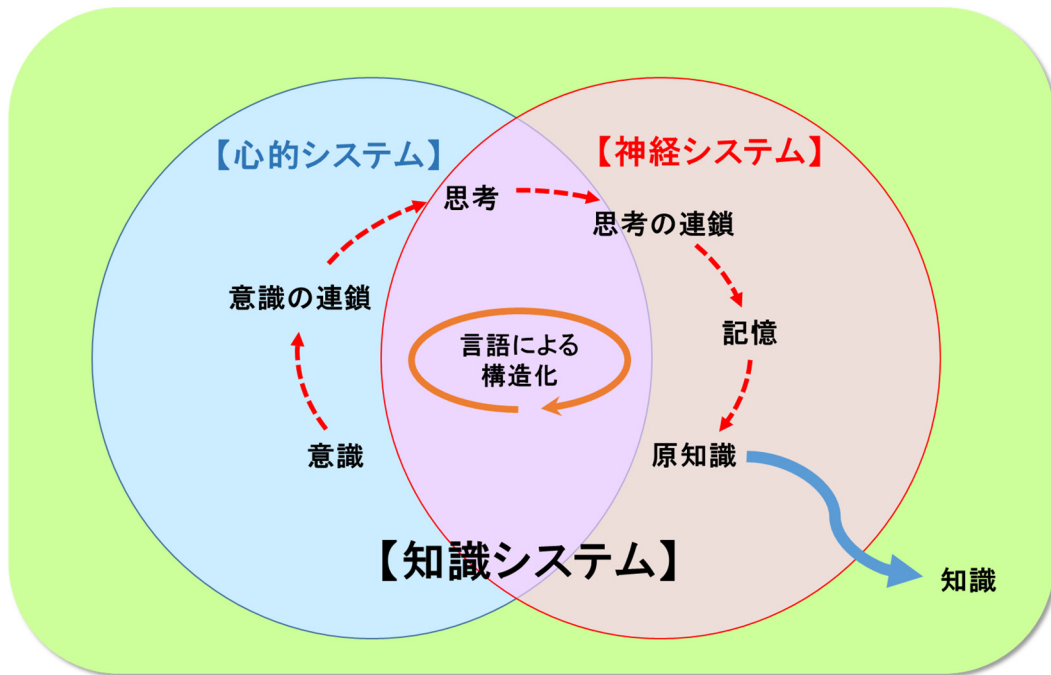


図 3-6 心的システムと神経システムの複合体としての知識システム

【注 1】知識システムの作動原理は言語による構造化である。【注 2】心的システムの中に意識が発生し、意識の連鎖が思考になる。神経システムに伝わった思考の連鎖が記憶となって格納され、記憶が組み合わせられて原知識となる。原知識が意図をもって知識システムの環境（社会システム）の中で情報として発信されたとき知識となる（太青矢印）。

4. 日本の科学・技術研究の実態：論文数と研究者数の分析

第4章から第6章が日本の論文数の実態を詳細に検討する実証編である。本章（第4章）の目的は日本の科学・技術研究の実態を実証的に明らかにすることである。まず日本の科学・技術研究の論文数の全体像を把握するためにデータベースを利用して世界における日本の論文数の位置づけを明らかにする。ついで研究分野により論文数の推移に大きな違いがあり、増加した分野、減少した分野、停滞した分野があることを示す。さらに著者の属性として海外共同研究の有無（共同研究属性）を研究者数から推定する手法を提案し、代表的な研究分野を取り上げて論文数の増減から研究者の質の変化を読みとる。

4.1. 学術論文数の集計方法

論文検索はトムソン・ロイター社（2017年からクラリベイト・アナリティクス社）の Web of Science®で行なった。データベースは Science Citation Index Expanded (SCI-EXPANDED)を用いた。

4.1.1. 検索の基本条件

論文検索の基本条件は以下の通りである：言語(Languages)、English；発行年(Publication years)、1975-2016年；ドキュメントタイプ(Document types)、Articles。基本条件で抽出した論文集合に対して Web of Science の「検索結果の絞り込み機能」を利用して、国/地域(Countries/territories)と研究分野(Research areas)を目的とする対象に絞込んだ。

4.1.2. 論文数のカウント

論文数のカウントでは整数カウント法を採用した。国別の論文数の集計であれば、日本の論文とは、「少なくとも一人の著者が所属する研究機関の所在地が日本国である論文」のことである。単著論文の場合、その論文は著者が所属する研究機関の所在国の論文1報として集計される。共著論文の場合、1報の論文は各共著者が所属する研究機関の所在国の論文として重複して集計される。著者が3名でそれぞれ米国の研究機関に1名と日本の研究機関に2名ずつ所属する場合、この論文は米国として1報、日本として1報に集計される。

4.1.3. 国ごとの集計

つぎに示す国々については、対象の指定範囲に注意を払った：(1)英国の場合、England、Wales、Scotland と North Ireland が別々に集計されているので、これら 4 地域の論文数の和集合（“or 演算”）を英国の論文数とした、(2)1990 年に Fed Rep Ger（ドイツ連邦共和国；1990 年までの西ドイツ）と Ger Dem Rep（ドイツ民主共和国、1990 年までの東ドイツ）が統合されたので、ドイツの論文数は Germany と Fed Rep Ger、Ger Dem Rep の 3 カ国の論文数の和集合（“or 演算”）とした、(3)中国については China を選択し、台湾 (Taiwan) は集計に加えなかった。

4.1.4. 研究分野の絞込み：「研究分野」と「Web of Science の分類」

データベースに収録している各論文誌には、その論文誌の研究分野が最大 6 分野まで割り当てられている。したがって 1 報の論文はそれが掲載された論文誌に割り当てられた複数(最大 6 分野)の研究分野の論文として重複して集計される。

Web of Science には、研究分野ごとの論文数を分析するために 2 つの分類方法がある。1 つ目は「研究分野」といい、2 つ目は「Web of Science の分類」という。「Web of Science の分類」は Web of Science 独自の分類方法であり、「研究分野」より分野の分け方が細かい。たとえば、「研究分野」の Physics に掲載される論文は、「Web of Science の分類」では、Physics applied（応用物理）、Physics condensed matter（凝集系物理学＝物性物理学）、Physics multidisciplinary（物理学・多領域）、Physics atomic molecular & chemical（原子・分子・化学物理学）、Physics particles fields（素粒子物理学）、Physics nuclear（原子核物理学）、Physics fluids & plasmas（流体・プラズマ物理学）、Physics mathematical（数理物理学）の 8 分野に分類される。Web of Science ではひとつの論文が関係する複数の研究分野を 100 以上の「Web of Science の分類」から選んでラベル付けしている。

4.1.5. 国内研究と海外共同研究の区別と著者名分析

「Web of Science の分類」を用いて抽出した研究分野について、年ごとの日本の論文数を抽出する。各論文は著者の名前（アルファベットで姓字と名前の頭文字；例えば、湯川秀樹は Yukawa H）のデータと所属機関の所在国の国名データをもつ。ある年の論文集合は日本にある研究機関に所属する著者だけの論文（国内研究論文）と海外にある研究機関に所属する著者が少なくとも 1 名含まれる論文（海外共同研究論文）の合計である。ある年の論文

集合全体に対して国名分析を行ない、日本以外の国名データをもつ論文を除外することができる。残った論文集合は国内研究論文の集合である。ある年の論文集合と国内研究論文の集合について、著者名分析をするとある年の日本の論文全体（国内研究と海外共同研究）の著者数と国内研究論文の著者数がわかる。研究者数を求める方法は、4.2.4.b-d に記述した。

4.2. 世界の科学・技術の発展：各国の論文数の推移（1975-2016）

図 4-1 に 1975-2016 年に世界で発行された英語で書かれた自然科学系の学術論文の国別の推移を示す。

アメリカ合衆国（以下、米国）の論文（少なくとも一人の著者が所属する研究機関の所在地が米国である論文）の数は 1975-2016 年のあいだ単調に増加を続け、世界第 1 位である。1975 年に年間約 10 万報だった論文数が 2016 年に年間約 33 万報になった。この間の増加率（年率）は約 3.0%である。

中華人民共和国（以下、中国）は 2000 年以降の増加が著しかった。中国の論文数は 1995 年に年間 10,000 報を越えたが、2000 年に約 25,000 報、2005 年に約 65,000 報、2006 年に約 77,000 報となって日本の論文数（約 74,000 報）を抜いた。2016 年の中国の論文数は約 294,000 報であり、米国の約 33 万報の 89%に迫る世界第 2 位である。1995-2016 年の 21 年間における中国の論文数の増加率（年率）は約 17.0%という驚異的な値である。2017 年 12 月 26 日時点で 2017 年の中国の論文数（302,984 報）はほぼ米国の論文数（312,323 報）と並んだ。²⁹

2016 年の英国の論文数（約 95,000 報）は世界第 3 位である。英国は 1975 年から 1990 年代半ばの論文数の増加率は約 3.2%で日本の約 8%より低かったが、その後日本が低迷するあいだも英国はこの増加率を維持し、ゆっくり着実に論文数を伸ばした。その結果、日本は論文数を確実に増やしてきた英国とドイツに 2010 年に同時に抜かれた。

2016 年のドイツ連邦共和国（以下、ドイツ）の論文数（約 92,000 報）は世界第 4 位である。ドイツの論文数の増加率（年率）は 1975-1996 年のあいだ、約 8%であったが、1996 年頃から増加率が低下した。1975 年から 1990 年代半ばまで日本とドイツの論文数の増加率はほぼ同じ（約 8%）であり、1990 年代半ば以降、両国とも増加率は約 3%に低下した。ここまでは日本とドイツはほぼ同じであるが、その後の状況が異なる。2003 年以降、日本

²⁹ 2018 年 10 月 21 日時点で 2017 年の米国の論文数は 336,686 報、中国の論文数は 326,132 報であった。

の論文数はほとんど増加しなかったため増加率はほぼ 0%であったが、ドイツは 2003 年から 2016 年まで約 3.5%の増加率を維持して着実に論文数を伸ばした。

2016 年の第 6 位はフランス（約 65,000 報）である。論文数の増加率の推移において、フランスはドイツとよく似ていた。フランスの論文数の増加率（年率）は 1975-1997 年のあいだ、約 9.2%であったが、1996 年頃から増加率が低下し 1997-2016 年のあいだ、約 2.9%であった。フランスも英国やドイツと同様に、ゆっくりだが着実に論文数を伸ばした。フランスの 2016 年の論文数は日本の論文数の 88%に迫った。

日本の論文数は序章で述べたが、1975-2016 年の主要国の論文数の推移と比較しながら、再度、確認する。1991 年に約 42,000 報となって英国に追いついた。その後 1995 年まで日本と英国の論文数はほとんど同じであったが、1996 年に日本が約 60,000 報、英国が約 57,000 報となって日本が英国を抜き、米国に次いで世界第 2 位となった。2003 年から日本の論文数は停滞し、2005 年ごろから減少に転じた。そして 2006 年には勢いを増した中国に抜かれた。2016 年の時点で日本の論文数（約 74,000 報）は世界第 5 位である。

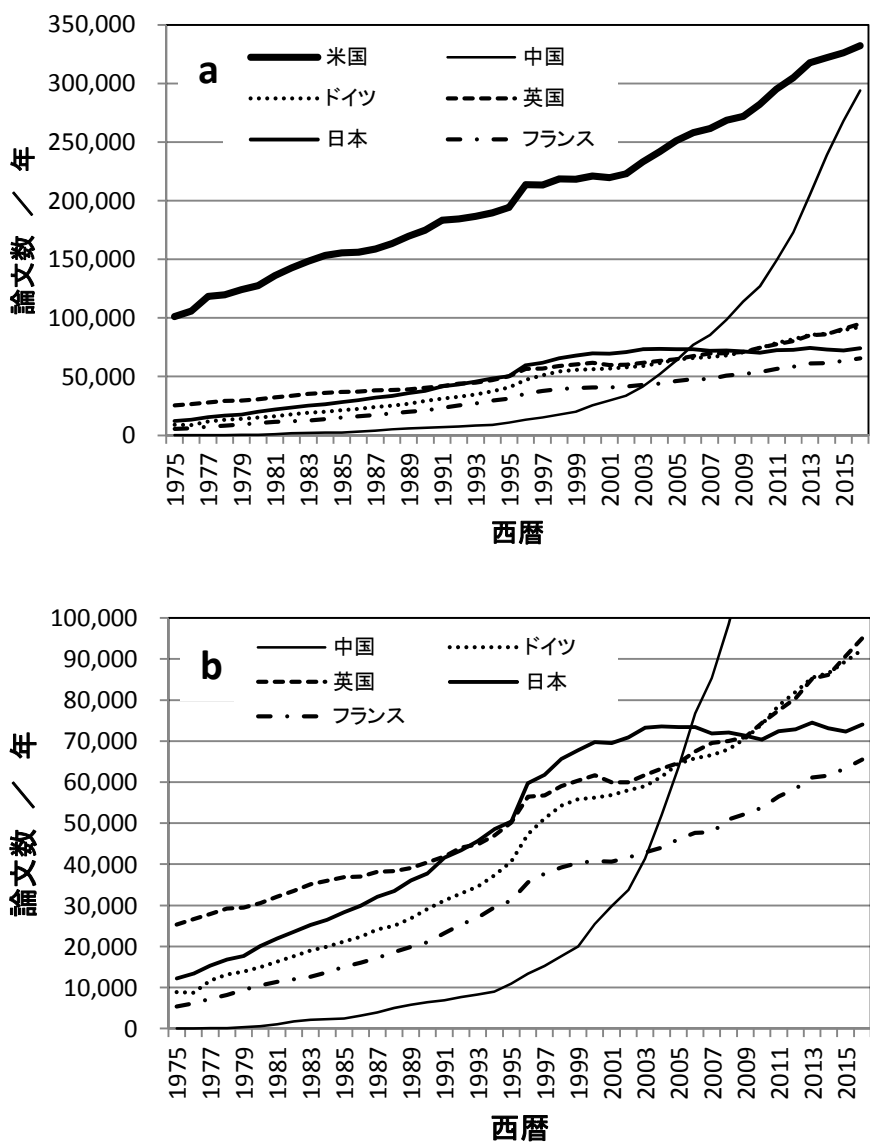


図 4-1 世界の学術論文（英語、自然科学）の国別の経年推移：a) 2016年の世界上位6ヶ国（アメリカ、中国、英国、ドイツ、日本、フランス）；b) 2016年の論文数の世界上位2～6位（中国、英国、ドイツ、日本、フランス）

【注】論文数は Web of Science®, SCI-EXPANDED を用いて検索した（検索日 2017年12月26日）。論文は言語が英語で article に分類された出版物。少なくとも一人の著者の所属機関の所在地が当該国である論文の件数。

4.3. 日本の論文数の推移

4.3.1. 研究分野ごとの論文数の推移

論文データベース (Web of Science) を用いて、1975-2014 年に出版された日本の論文 (少なくとも著者の一人が日本にある研究機関に所属する) を抽出した。抽出したすべての論文を「Web of Science の分類」に従って分類 (ただし、ひとつの論文は複数の分野で重複して数えられる) し、論文数が多かった上位 100 分野の論文数の増減傾向を調べた。

20 世紀の科学を牽引し、21 世紀の科学の基盤を構成することが期待される三大基幹研究分野—物理学、バイオ科学、化学—において、2000 年代になって論文数が停滞ないし減少したことがわかった。一方、1975-2014 年のあいだ、論文数が増加し続けた研究分野は、人々の健康志向の高まりと深く関わる医学・食品分野と、産業と直接関わりがない典型的な基礎研究分野 (天文学・天体物理学、素粒子物理学、数学) であった。

全体の傾向を大きく捉えると、2000 年頃までほとんどの研究分野で論文数は増えたが、2000 年代になると論文数が停滞あるいは減少した研究分野 (A 群) と増加を続けた研究分野 (B 群) に分かれた。上位 100 分野のうち、A 群に分類された研究分野は 61 分野、B 群に分類された研究分野は 39 分野であった。

a. A 群の研究分野と B 群の研究分野の特徴

表 4-1 に 1975-2014 年に出版された論文総数が多い順に、2000 年代に論文数が停滞あるいは減少した研究分野 (A 群) に分類された上位 14 分野、2000 年代に論文数が増加した研究分野 (B 群) に分類された上位 14 分野を示す。研究分野の絞込みは「Web of Science の分類」を用いた。

A 群には、物理学 (応用物理学、物性物理学、生物物理学) やバイオ科学 (生化学・分子生物学、薬理学・薬学、神経科学、細胞生物学、免疫学)、工学 (電気電子工学)、化学 (物理化学、有機化学、高分子科学) など主要な研究分野が入った。物理学は 20 世紀の科学を牽引したもっとも重要な研究分野である。バイオ科学は 20 世紀後半に驚異的な進歩を遂げ、21 世紀にさらに飛躍すると予想される将来の基幹分野である。そして化学は物質や生命を構成する分子の構造と機能を解明する基盤研究分野である。

B 群には、化学 (多領域化学)、物理学 (天文学・天体物理学、光学、素粒子物理学)、数学、医学 (腫瘍学、外科学、臨床神経学、心臓・循環器系、消化器病学・肝臓学、放射線医

学・核医学)、バイオ科学 (バイオテクノロジー・応用微生物学、食品科学、食品工学) が
 入った。

B 群の研究分野は 4 つのグループに分かれた：第 1 グループは、医学・医療分野、第 2 グループは、産業に直接関わらない基礎研究分野、第 3 グループは、産業における発展が期待される研究分野、第 4 グループは、他分野との境界領域の研究分野である。

第 1 グループ (医学・医療分野) は B 群の上位 14 研究分野のうち 5 分野を占めた。一方、A 群の上位 14 研究分野に入った医学分野は免疫学だけであった。第 1 グループの論文数が増加した背景には健康志向の高まりがあると考えられる。B 群の上位 10 位に食品科学・食品工学が入ったことも健康志向の高まりを支持している。

第 2 グループは、産業に直接関わらない基礎研究分野である。このグループに属する研究分野は、天文学・天体物理学と素粒子物理学、そして数学である。これらの研究分野からは日本から多くのノーベル賞クラスの研究者が輩出した。

表 4-1 論文数が減少した研究分野と増加した研究分野：論文数(1975-2014)の上位 14 分野

順位	2000年代の論文数の増減	
	A群: 停滞～減少した研究分野	B群: 増加した研究分野
1	応用物理学	多領域化学
2	生化学・分子生物学	腫瘍学
3	多領域物質・材料科学	外科学
4	物理化学	バイオテクノロジー・応用微生物学
5	電気電子工学	天文学・天体物理学
6	物性物理学(凝縮系物理学)	光学
7	薬理学・薬学	数学
8	神経科学	心臓・循環器系
9	有機化学	消化器病学・肝臓学
10	細胞生物学	食品科学・食品工学
11	物理学 多領域	放射線医学・核医学
12	免疫学	素粒子物理学
13	高分子科学	環境科学
14	生物物理学	応用化学

*注：研究分野の絞込みは「Web of Science の分類」を用いた。

第 3 グループは、産業における発展が期待される研究分野である。このグループの代表は光学である。光学は光通信など今後の飛躍的な発展が期待される産業を支える研究分野である。

第 4 グループの多領域化学は B 群でもっとも論文数が多かった。多領域化学の論文数が増加し続けたことは、同じように多領域に関わる多領域物質・材料科学が A 群に分類されたことと対比的である。また化学に関係する研究分野であっても、基礎化学の一翼を担ってきた物理化学や有機化学が A 群に分類されたことと対比的である。

b. A 群と B 群の論文数の推移：1975-2014 年

図 4-2 (飯嶋・中田 2016) に日本全体の論文数 (太実線) と A 群 61 分野の論文数 (実線) と B 群 39 分野の論文数 (破線) の 1975 年から 2014 年までの推移を示す (注：1995 年と 1996 年のあいだで論文数が不連続的に増えている。これはデータベースの論文収載基準の変更によるアーティファクトである)。日本全体の論文数は A 群と B 群の論文数の合計である。研究分野の絞込みは「Web of Science の分類」を用いた。

日本全体の論文数は、1975-1985 年の 10 年間で年間の出版件数が約 10,000 報から約 30,000 報になり、20,000 報ほど増えた。1985-1995 年の 10 年間では年間約 30,000 報から約 50,000 報になり、同様に 20,000 報ほど増加した。1995 年と 1996 年のあいだにある論文数データの不連続点を考慮しても、1995 年から 2005 年までの 10 年間では年間約 50,000 報から約 70,000 報に増えており、やはり 10 年間で 20,000 報ほど増加したと読み取れる。

このように日本全体の論文数は 1975 年から 30 年間のあいだ単調に増加して、2000 年代初頭に年間 70,000 報のレベルに達した。しかし、2000 年代になると日本全体の論文数は増加が止まり、2014 年まで年間 70,000-72,000 報を維持したまま停滞を続けた。

2000 年以降、論文数が停滞あるいは減少した A 群 (61 研究分野) の論文数は、1975-2005 年の 30 年間に年間 10,000 件弱から年間 50,000 件まで単調に増加したが、2000 年代半ばから減少し始め、2010 年に年間約 45,000 報となり、2014 年には年間約 42,000 報に減少した。一方、2000 年以降も論文数が増加を続けた B 群は、2000 年に年間約 26,000 報だったが、2010 年には年間約 32,000 報に増加し、2014 年に年間約 26,000 報に達した。

A 群と B 群の論文数の推移を比較すると、2000 年代において A 群で減少した論文数と B 群で増加した論文数がほぼ同じであった。その結果、2000 年代の日本全体の論文数はほぼ 70,000 報強で推移した。

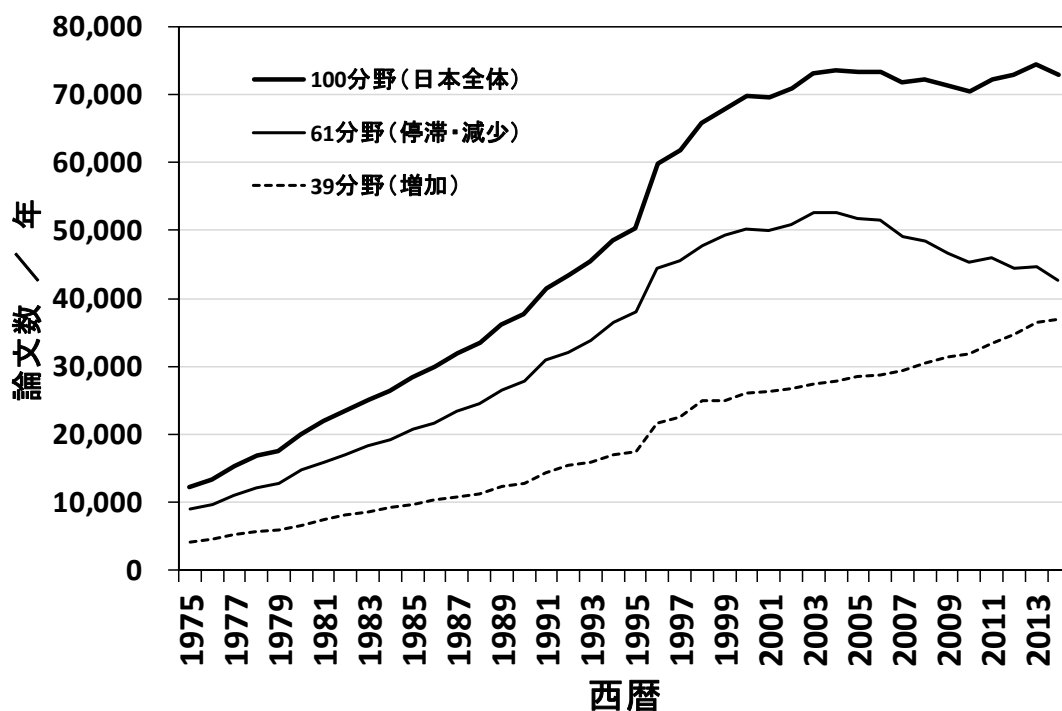


図 4-2 日本の論文数（上位 100 分野）の推移（1975-2014）：太実践は日本の論文数（上位 100 分野）の合計、細実線は 2000 年代に論文数が減少または停滞した 61 分野の合計、細破線は 2000 年代に論文数が増加した 31 分野の合計。

【注】論文数は Web of Science®, SCI-EXPANDED を用いて検索した（検索日 2016 年 5 月 4 日）。少なくとも 1 人の著者が所属する研究機関の所在地が日本である論文を抽出し、「Web of Science の分類」に従って論文数の多い上位 100 研究分野の論文数の推移を求め、2000 年代に論文数が減少または停滞した 61 分野と増加した 39 分野の 2 グループに分けた。

c. A 群の上位 10 分野の論文数の推移

図 4-3 に表 4-1 に挙げた A 群の上位 10 分野の論文数の推移を示す。A 群の論文数が減少に転じた年は研究分野により違いがあり、1999 年から 2005 年のあいだに分布している。1999 年から 2000 年の 2 年間に 4 研究分野の論文数が最高値から減少に転じ、2003 年から 2005 年の 3 年間に 6 研究分野の論文数が最高値から減少に転じた。

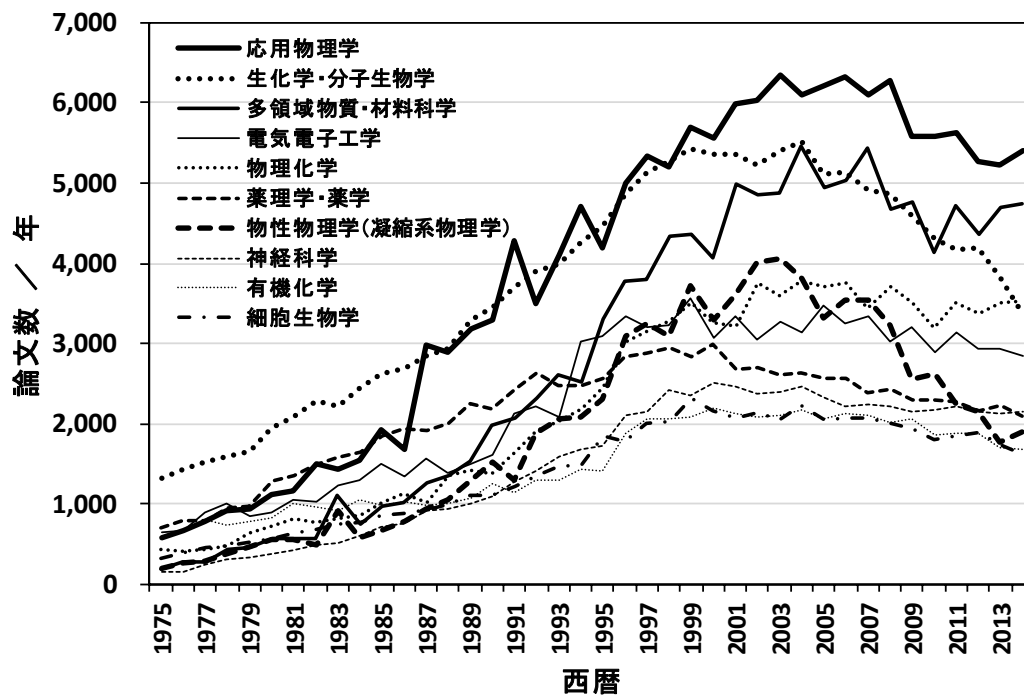


図 4-3 日本の論文数 (A 群) の推移 (1975-2014) : 2000 年代に論文数が減少または停滞した 61 分野のうち、1975-2014 年の論文数合計が多い上位 10 分野

【注 1】10 分野は、応用物理学、生化学・分子生物学、多領域物質・材料科学、物理化学、電気電子工学、物性物理学 (凝縮系物理学)、薬理学・薬学、神経科学、有機化学、細胞生物学。【注 2】論文数は Web of Science®, SCI-EXPANDED を用いて検索した (検索日 2016 年 5 月 4 日)。【注 3】少なくとも 1 人の著者が所属する研究機関の所在地が日本である論文を抽出し、「Web of Science の分類」に従って論文数の多い上位 100 研究分野の論文数の推移を求め、2000 年代に論文数が減少または停滞した 61 分野と増加した 39 分野の 2 グループに分けた。

もっとも早く減少に転じたのは、細胞生物学である。細胞生物学の論文数は 1999 年 (約 2,300 報) に最大値だった。2000 年に論文数が最大値だった研究分野は、物性物理 (約 3,000 報)、神経科学 (約 2,500 報)、有機化学 (約 2,200 報) であった。2003 年に論文数が最大値だった研究分野は、応用物理 (約 6,400 報)、薬学 (約 4,100 報) ; 2004 年に論文数が最大値だった研究分野は、生化学・分子生物学 (約 5,600 報)、物質・材料科学 多領(約 5,500 報)、物理化学 (約 3,800 報) ; 2005 年に論文数が最大値だった研究分野は、電子工学 (約

3,500 報) であった。

これら 10 研究分野の論文数は、最大値だった年から毎年僅かな増減を繰り返しながら 2014 年まで減少傾向であった。2014 年の論文数とそれぞれの最大値を比較して、2014 年における最大値からの減少率を求めた。減少率が最も大きかった研究分野は、物性物理 (53.0%) であった。2 番目に大きかったのは、生化学・分子生物学 (39.1%) ; 以下つぎの順である : 細胞生物学 (30.0%)、薬学(29.9%)、有機化学(23.2%)、電子工学(18.1%)、応用物理(14.6%)、神経科学(14.1%)、物理化学(6.2%)。

物性物理の減少率は 50%を越えている。2004 年から 2014 年までの 11 年間で論文数が半分以下になった。1975 年以降の論文数が 2 番目に多かった生化学・分子生物学の減少率が 40%弱である。物性物理と生化学・分子生物学分野は多くの日本人研究者がノーベル賞を受賞した分野である。これらの事実から日本の科学研究の最先端で急激な変化が起こっていることを窺うことができる。

d. B 群の 10 分野の論文数の推移

図 4-4 に表 4-1 に挙げた B 群のなかの 10 分野 (腫瘍学、バイオテクノロジー・応用微生物学、天文学・天体物理学、光学、数学、消化器病学・肝臓学、食品科学・食品工学、素粒子物理学、環境科学) の論文数の推移を示す。

B 群の論文数は化学・多領域と腫瘍学の増加が著しく、バイオテクノロジー・応用微生物学が続いた。その他の分野は 1975 年から一貫して着実に増加した ; これらの分野の論文数は 1990 年代に年間 500 報から 1,000 報前後であったが、2000 年代後半になると年間 1,100 報から 1,600 報ほどになった。

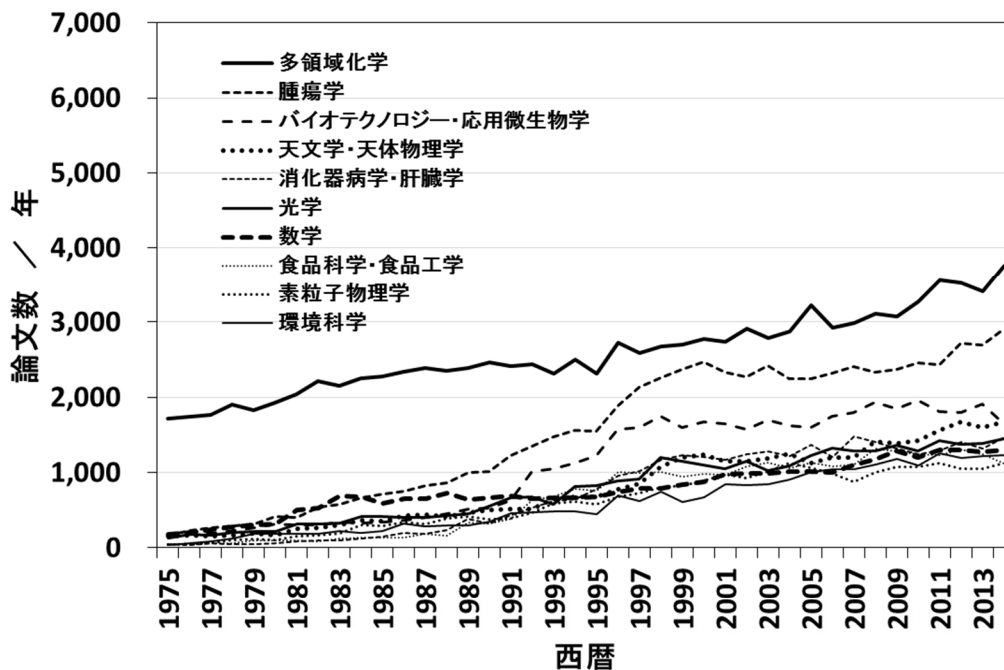


図 4-4 日本の論文数 (B 群) の推移 (1975-2014) : 2000 年代に論文数が増加した 39 分野のなかの 10 分野

【注 1】 10 分野は、多領域化学、腫瘍学、バイオテクノロジー・応用微生物学、天文学・天体物理学、消化器病学・肝臓学、光学、数学、食品科学・食品工学、素粒子物理学、環境科学。【注 2】 論文数は Web of Science®, SCI-EXPANDED を用いて検索した (検索日 2016 年 5 月 4 日)。【注 3】 少なくとも 1 人の著者が所属する研究機関の所在地が日本である論文を抽出し、「Web of Science の分類」に従って論文数の多い上位 100 研究分野の論文数の推移を求め、2000 年代に論文数が減少または停滞した 61 分野と増加した 39 分野の 2 グループに分けた。

4.3.2. 代表的な 10 分野の論文数 : Web of Science の「研究分野」を用いた分類

前項では細分化された研究分野である「Web of Science の分類」を用いて研究分野を指定した。本項ではより大枠の研究分野である「研究分野」を用いて、より大きな研究分野ごとの日本の論文数の動向を確認する。

図 4-5 に代表的な 6 研究分野の論文数の推移を示す。

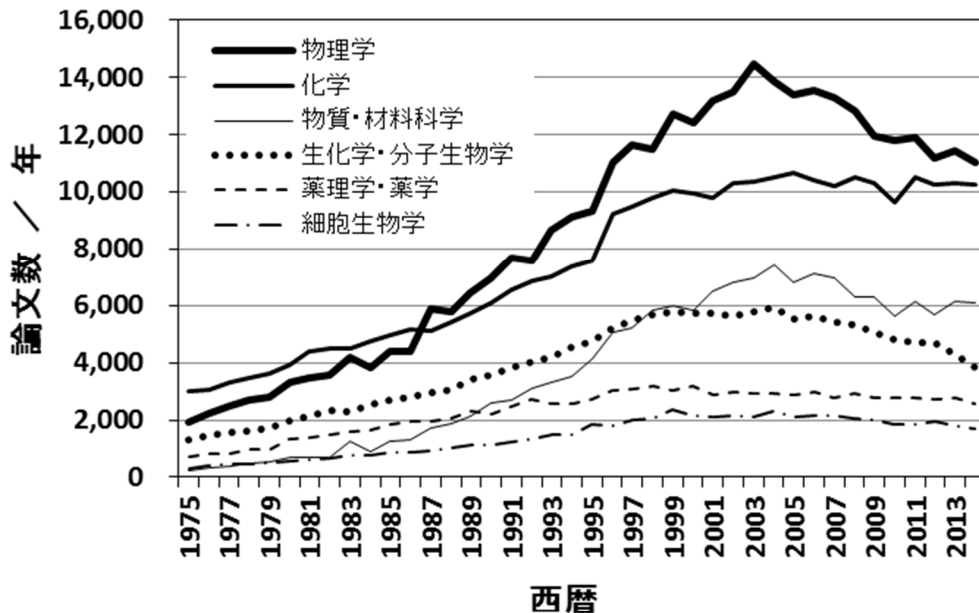


図 4-5 日本の論文（英語；自然科学系）の主要な 6 研究分野の推移

【注 1】6 分野は、物理学（太実線）、化学（実線）、物質・材料科学（細実線）、生化学・分子生物学（点線）、薬理学・薬学（破線）、細胞生物学（一点鎖線）。【注 2】論文数は Web of Science®, SCI-EXPANDED を用いて検索した（検索日 2016 年 2 月 29 日）。研究分野の分類は Web of Science の「研究分野」を用いた。

a. 論文数の増減の全体像

1975-2014 年に出版された論文数の合計（以下、総論文数）が多い順に物理学、化学、工学、生化学・分子生物学、物質科学、薬理学・薬学、神経科学・神経学、腫瘍学、細胞生物学、高分子科学である。それぞれの総論文数は以下の通りである：物理学(約 344,000 報)、化学 (約 300,000 報)、工学 (約 179,000 報)、生化学・分子生物学 (約 160,000 報)、物質科学 (約 154,000 報)、薬理学・薬学 (約 93,000 報)、神経科学・神経学 (約 87,000 報)、腫瘍学 (約 62,000 報)、細胞生物学 (約 58,000 報)、高分子科学 (約 44,000 報)。

前項と同様に、10 研究分野を 2000 年代に論文数が停滞あるいは減少した研究分野（A 群）と増加を続けた研究分野（B 群）に分けたところ、B 群に入ったのは腫瘍学だけであった。腫瘍学は 1975 年から 2000 年まで増加を続け、2000 年代前半に停滞したが、2010 年

代に入って増加した。2000年に約2,500報弱だった論文数が2014年に2,900報強になった。これは約19%の増加である。

残りの9分野はA群であり、2000年代に論文数が減少ないしは停滞した。2014年の論文数とそれぞれの最高値を比較して、2014年における最高値からの減少率を求めた。

論文数が最も多かった年とその値、減少率(▲)は以下の通りである：物理学(2003年、約14,500報、▲22.9%)、化学(2005年、約10,800報、▲4.3%)、工学(2006年、約6,900報、▲7.1%)、物質科学(2004年、7,400報、▲15.4%)、生化学・分子生物化学(2004年、約5,900報、▲30.3%)、神経科学・神経学(2000年、約3,600報、▲6.2%)、薬理学・薬学(2000年、約3,200報、▲18.3%)、細胞生物学(1999年、約2,400報、▲24.2%)、高分子科学(2003年、約1,900報、▲37.8%)。

減少率が高い順に並べると、減少率が10%以上であった分野は、第1位が高分子科学、第2位が生化学・分子生物学、第3位が細胞生物学、第4位は物理学、第5位が薬理学・薬学、第6位が物質科学であった。2000年前後から論文数が減少したこれらの分野を物理学タイプと呼ぶ。

減少率が10%以下であった分野は、第7位が工学、第8位が神経科学・神経学、第9位が化学であった。2000年代に論文数が停滞したこれら3分野を化学タイプと呼ぶ。

b. 研究分野ごとの論文数の推移：物理学タイプと化学タイプ

物理学の論文総数は10分野の中で最も多い。物理学の年間の論文数は、1975年から1986年までは化学に次いで第2位であったが、1987年に化学を抜き、2014年まで第1位であった。特に1987年から2003年までの論文数の伸びは著しく、1987年に年間およそ6,000報だった論文数が2003年には年間15,000報に迫る勢いであった。1987-2003年の17年間で年間の論文数は約2.5倍になった。ところが、物理学の論文数は2004年から急に減少し始め、2014年には年間約11,000報になった。これは1996年の年間論文数と同じレベルである。

物理学タイプの物質科学、生化学・分子生物学は物理学と同様に総論文数が15万報以上あり、日本のサイエンス型産業を支えてきた基幹科学である。しかし、物理学、物質科学、生化学・分子生物学の3分野の年間の論文数は2003年前後を境に減少に転じた。

化学(総論文数約30万報)もサイエンス型産業の一翼を担う基幹科学のひとつである。化学の論文数の推移は物理学と異なった。化学の年間論文数は1975年から1999年までは

ば単調に増加した。1975年に年間約3,000報だったが、1999年に年間約10,000報になった。この年から化学の年間論文数は2014年に至るまで僅かな増減を繰り返しながら概ね10,000報前後であった。化学タイプの工学、神経科学・神経学の論文数も2000年代に増えずにほぼ停滞した。

日本の科学・技術を先導してきた物理学の論文数が急減したことは、日本の科学・技術の動向を象徴する注目すべき現象である。化学の論文数は物理学のように大きく減少することなくほぼ停滞した状態であった。研究分野により論文数の変動に違いがあるという事実は、論文数の変動は大学あるいは学界だけに閉じられた問題ではなく、産業界を含む社会全体の様々な要因が影響していることを伺わせる。

4.3.3. NISTEPの科学研究のベンチマーキング

文部科学省科学技術・学術政策研究所（2013年6月30日まで科学技術政策研究所；略称NISTEP）は2010年に学術論文データベースWeb of Scienceを用いて世界における日本の科学研究活動の状況を詳細に調査した結果を『調査資料-192 科学研究のベンチマーキング2010』（阪・桑原2010）として出版した。その後1年乃至2年ごとに同様のベンチマーキング調査を行い、2017年までに4編の調査資料を出版した（阪・桑原2011, 2013；阪・伊神2015, 村上・伊神2017）。一連のNISTEP調査資料において日本を含む世界各国の全分野の論文数と日本の8分野カテゴリ³⁰の論文数を集計した。

表4-2に一連の調査で報告された日本の全分野と物理学、化学の論文数（整数カウントの3年平均値）とそれらの増加率をまとめて示す。この増加率は10年前の論文数に対する当該年の論文数の増減率（%）である。「―」欄の増加率は原典に記載がないので原典の論文数を用いて筆者が計算した。2008年の物理学と化学の論文数の増加率（*）は原典で倍率で表示されているので%に書き換えた。

³⁰ WoS データベース収録論文を Essential Science Indicators (ESI) の22分野分類を用いて再分類し、主要な論文が分配された物理学・臨床医学分野等の19分野を選定したのうち、19分野を8つの分野カテゴリに集約した。8分野カテゴリは、化学、材料科学、物理学、計算機・数学、工学、環境・地球化学、臨床医学、基礎生命科学である。複数のESI分野分類を集約した分野カテゴリを列挙する（括弧内が集約されたESI分野分類である）：物理学（物理学、宇宙科学）、計算機・数学（計算機科学、数学）、環境・地球科学（環境/生態学、地球科学）、臨床医学（臨床医学、精神医学/心理学）、基礎生命科学（農業科学、生物学・生化学、免疫学、微生物学、分子生物学・遺伝学、神経科学・行動学、薬理学・毒性学、植物・動物学）。

表4-2 NISTEP調査資料（科学研究のベンチマーキング）で報告された日本の論文数と増加率

年	3年平均対象期間	全分野		物理学		化学		備考	
		論文数 (整数カウント)	増加率 (対10年前値)	論文数 (整数カウント)	増加率 (対10年前値)	論文数 (整数カウント)	増加率 (対10年前値)	NISTEP 調査資料No.	参考文献
1988	PY1987-1989年 (平均値)	40,990	—	5,615	—	8,168	—	No.192	阪・桑原2010
1998	PY1997-1999年 (平均値)	60,347	47%(対1988年値)	6,651	18%(対1988年値)	9,895	21%(対1988年値)	No.192	阪・桑原2010
1999	PY1998-2000年 (平均値)	62,457	—	6,718	—	10,316	—	No.204	阪・桑原2011
2000	PY1999-2001年 (平均値)	73,844	—	9,959	—	11,355	—	No.218	阪・桑原2013
2002	PY2001-2003年 (平均値)	74,630	—	12,726	—	11,272	—	No.239	阪・伊神2015
2004	PY2003-2005年 (平均値)	76,802	—	12,720	—	11,780	—	No.262	村上・伊神2017
2008	PY2007-2009年 (平均値)	69,300	15%(対1998年値)	8,858	33%(対1998年値)*	9,962	1%(対1998年値)*	No.192	阪・桑原2010
2009	PY2008-2010年 (平均値)	71,149	14%(対1999年値)	9,098	35%(対1999年値)	9,938	-4%(対1999年値)	No.204	阪・桑原2011
2010	PY2009-2011年 (平均値)	76,149	3%(対2000年値)	10,860	9%(対2000年値)	10,449	-8%(対2000年値)	No.218	阪・桑原2013
2012	P2011-2013年 (平均値)	77,094	3%(対2002年値)	11,383	-11%(対2002年値)	10,394	-8%(対2002年値)	No.239	阪・伊神2015
2014	PY2013-2015年 (平均値)	77,203	1%(対2004年値)	10,304	-19%(対2004年値)	10,967	-7%(対2004年値)	No.262	村上・伊神2017

1. NISTEP調査資料をもとに筆者が作成した。論文数は整数カウントの3年平均値。2. 増加率は10年前値から増加した割合(%)。「—」は原典に記載なし。斜体は原典に記載された論文数を用いて筆者が計算した値(原典に記載なし)。*の数値は原典の倍率表示を%に書き換えた。3. 調査資料No.218(阪・桑原2013)の概要に記載された【注意点】によれば、調査資料218の論文数は「前回調査(調査資料204 科学研究のベンチマーキング2011)に比べて、トムソン・ロイター社の文献種類の整理のポリシーが変更になったため、過去分に遡ってArticleとしてカウントされる論文数が増加している」。このため増加率は調査資料218以前(No.192とNo.204)に記載された論文数どうしと調査資料218以降(No.218、No.239、No.262)に記載された論文数どうしを用いて計算した値である。表の2009年と2010年の間の太線は両者の境界を意味する。

調査資料 No.218 (阪・桑原 2013) の概要に記載された【注意点】によれば、調査資料 218 の論文数は「前回調査 (調査資料 204 科学研究のベンチマーキング 2011) に比べて、トムソン・ロイター社の文献種類の整理のポリシーが変更になったため、過去分に遡って Article としてカウントされる論文数が増加している」。このため増加率は調査資料 218 以前 (No.192 と No.204) に記載された論文数どうしと調査資料 218 以降 (No.218、No.239、No.262) に記載された論文数どうしを用いて計算した値である。すなわち 2009 年以前と 2010 年以降の論文数の増加率は論文数カウントの基準が異なる。

表の 2009 年と 2010 年の間の太線は論文数カウントの基準が変更になった境界を表しているが、どちらも同じ基準の論文数どうしから計算した値であるので、増加率の経年変化を議論することは可能であると考えられる。

ここで注意すべきことは、NISTEP のベンチマーキング調査の増加率は 10 年前の論文数に対する当該年の論文数の増減率 (%) であることである。図 4-5 に示したように物理論文数は 2003 年をピークに減少に転じた。この図の論文数から 3 年平均値を求め、前年比の増加率を計算すると 2004 年からマイナス値に転じる。そして化学の論文数は 1999 年からほぼ停滞状態 (図 4-2) である。

阪・桑原 (2013 : 55) は 2013 年時点で物理学の 2000-2010 年の 10 年間の論文数の増加率は 9% であると報告しているが、その変化について特に言及していない。一方、化学の論文数について 2013 年時点で 2000-2010 年の 10 年間の論文数の増加率は -8% であり、「論文数自体が低下している」ことを問題とした (阪・桑原 2013 : 54-55)。

毎年の論文数の推移 (図 4-5) から明らかのように物理論文数は 2000-2010 年の 10 年のあいだに増加から減少へと急激に変化し、化学論文数は 2000 年代に入ってほとんど停滞状態であった。10 年間隔で計算した増加率は論文数の実態を捉えておらず、NISTEP 調査資料の指摘は物理学あるいは化学の論文数の推移を正確に捉えていたとは言い難い。

4.4. 研究者数と論文数の減少：研究分野ごとの研究者数の推定

4.4.1. 日本標準職業分類における研究・開発ならびに生産に関連する職業

日本標準職業分類 (URL 8) では、すべての職業を 12 項目の大分類に分け、各大分類を中分類に、さらに各中分類を小分類に細分化することで、全部で 329 の職業に分けている。サイエンス型産業の企業で研究・開発あるいは生産に従事する従業員の職業は、「大分類 B 項目：専門的・技術的職業従事者」と「大分類 H 項目：生産工程従事者」に分類される。

「B 項目：専門的・技術的職業従事者」は 20 の中分類項目に分類されており、この中に「研究者」と「技術者」が付く 6 つの職種（農林水産技術者、製造技術者（開発）、製造技術者（開発を除く）、建築・土木・測量技術者、情報処理・通信技術者、その他技術者）がある。本研究ではサイエンス型産業の企業の研究・開発あるいは生産（製造）に従事する従業員の職業として、研究者（1 中分類、2 小分類）と「B 項目：専門的・技術的職業従事者」の製造技術者（開発）と製造技術者（開発を除く）を念頭に置く³¹。

「H 項目：生産工程従事者」は 11 の中分類項目³²に分類されている。これは生産工程で行われる仕事、すなわち生産（製造）に直接関わる仕事であって研究・開発に従事する従業員に関する職業ではない³³。しかし、サイエンス型産業の企業における生産（製造）との関わりで 11 中分類項目を厳密に区別することが難しいので、11 中分類項目を区別しないことにする。

本研究ではサイエンス型産業の企業の研究・開発あるいは生産（製造）に従事する従業員の職業として、研究者（1 中分類、2 小分類）と「B 項目：専門的・技術的職業従事者」の製造技術者（開発）と製造技術者（開発を除く）、並びに「H 項目：生産工程従事者」を念頭に置き、つぎの a 項、b 項で日本標準職業分類(平成 21[2009]年 12 月統計基準設定)を参考にし、研究者と製造技術者の仕事の内容を検討する。

表 4-3 に a 項、b 項の結果と生産工程従事者の仕事の内容を筆者の解釈を加えて項目ごとに整理して示す。

³¹ B 項目の中分類には、医療・保健、社会福祉、法務、経営・金融・保険、教員、宗教家、著述関係、芸術関係の従事者が含まれるが、これらはサイエンス型産業の企業で研究・開発あるいは生産に従事する従業員に関する職業ではない。

³² 生産設備制御・監視従事者（金属製品）、生産設備制御・監視従事者（金属製品を除く）、機械組立設備制御・監視従事者、製品製造・加工処理従事者（金属製品）、製品製造・加工処理従事者（金属製品を除く）、機械組立従事者、機械整備・修理従事者、製品検査従事者（金属製品）、製品検査従事者（金属製品を除く）、機械検査従事者、生産関連・生産類似作業従事者。

³³ 定義によれば生産工程従事者とは「生産設備の制御・監視の仕事、機械・器具・手動具などを用いて原料・材料を加工する仕事、各種の機械器具を組立・調整・修理・検査する仕事、製版・印刷・製本の作業、生産工程で行われる仕事に関連する仕事及び生産に類似する技能的な仕事に従事するもの」である。

表 4-3 日本標準職業分類における研究者・製造技術者・生産工程従事者の定義の比較

仕事	職 種			
	研究者		製造技術者	生産工程従事者
所属	大学など (研究所など)	民間企業 (研究所など)	民間企業 (製造所・工場など)	民間企業 (製造所・工場など)
分野	自然科学		[工業]	[工業]
目的	基礎的または応用的な科学・技術上の問題を解明する		製品の開発あるいは設計をする	製品の生産をする
目標	新たな理論・学説の発見または技術上の革新を自ら行う		科学的・専門的知識を応用する	[一定の品質の製品を計画通りに生産する]
特徴	専門的・科学的		技術的	[技術的・経験的]

【注 1】日本標準職業分類(平成 21[2009]年 12 月統計基準設定)の定義を参考にして各職種の仕事内容を筆者の解釈を加えて項目ごとに整理した。【注 2】[]は定義には書かれていない、筆者の解釈である。【注 3】研究者の目標欄の「自ら」は筆者の解釈である。

a. 日本標準職業分類における研究者の定義

日本標準職業分類 (URL 8) によれば、研究者は以下のように定義される：「公的研究機関、大学附置研究所又は企業の研究所・試験所・研究室などの試験・研究施設において、自然科学、人文・社会科学の分野の基礎的又は応用的な学問上・技術上の問題を解明するため、新たな理論・学説の発見又は技術上の革新を目標とする専門的・科学的な仕事に従事するものをいう」(傍点は筆者)。

本研究はサイエンス型産業の企業の持続的発展に焦点を当てるので、本研究が対象とする研究者は主に自然科学の分野の研究に従事する研究者である。この限定を設けたうえで研究者と研究はつぎのように解釈できる：(1) 研究者の所属は、公的研究機関、大学附置研究所又は企業の研究所・試験所・研究室などの試験・研究施設である、(2) 研究者が行う仕事の分野は、自然科学の分野である、(3) 研究者が行う仕事の目的は、基礎的又は応用的な学問上・技術上の問題を解明することである、(4) 研究者が行う仕事の目標は、新たな理論・学説の発見又は技術上の革新である、(5) 研究者が行う仕事は、専門的・科学的な仕事である。

この定義で重要なことは、研究者が新たな理論・学説の発見又は技術上の革新を目標として自らが新たな理論・学説を発見し、又は自らが技術上の革新を考案することである。そして研究者が行う専門的・科学的な仕事は、①基礎的な学問上の問題、②基礎的な技術上の問題、③応用的な学問上の問題、④応用的な技術上の問題のいずれかを解明することである。

ここで研究者は自然科学の分野で仕事を行なうのであるから、「学問」は「科学」に置き換えることができる。すなわち、研究者の仕事は科学上の問題だけではなく技術上の問題も対象とし、さらに問題の性質が基礎的であるだけではなく応用的である場合も対象とする。

このように理解すると、「研究者」とは、対象とする科学・技術に関する問題を自らが新しい理論・学説を発見し、または自らが技術上の革新を考案することによって解決しようとするものである。そして「研究」とは、新たな理論・学説の発見又は技術上の革新の考案を目標とする専門的・科学的な仕事である。

b. 日本標準職業分類における製造技術者の定義

日本標準職業分類（URL 8）によれば、たとえば、製造技術者（開発）は以下のように定義される：「科学的・専門的知識を応用して、食品、電気・電子、機械、化学などの製品の開発・設計及び電気に関する技術の開発、施設の設計などの技術的な仕事に従事するものをいう」。たとえば、製造技術者（開発）の一つである化学技術者は、つぎのように定義される：「科学的・専門的知識を応用して、化学肥料・無機工業製品・有機工業製品・油脂・油脂製品・塗料・天然樹脂製品・木材化学製品・医薬品・発火物・香料・化粧品・石油製品・ゴム・化学繊維・合成繊維など化学製品の開発に関する技術的な仕事に従事するもの」。

これらの定義と具体例から、製造技術者（開発）はつぎのように解釈できる：(1) 製造技術者の所属は、企業の製造所・工場などの生産施設である、(2) 製造技術者が行う仕事の分野は、工業の分野である、(3) 製造技術者が行う仕事の目的は、①製品の開発・設計、②電気に関する技術の開発、施設の設計などを行なうことである、(4) 製造技術者が行う仕事の目標は、科学的・専門的知識を応用することである、(5) 製造技術者が行う仕事は、生産（製造）における開発・設計などの技術的な仕事である。

製造技術者（開発を除く）をつぎのように定義される：科学的・専門的知識を応用して、食品、電気・電子、機械、化学などの製品の生産における生産性の検討・生産準備・設備計画などの工程設計及び工程管理・品質管理、監督、指導並びに発送電など電気に係る機器又

は施設の工事・維持・管理など、中分類〔07〕³⁴に含まれない技術的な仕事に従事するものをいう。たとえば、製造技術者（開発を除く）の一つである化学技術者（開発を除く）について、つぎのように定義している：「科学的・専門的知識を応用して、化学肥料・無機工業製品・有機工業製品・油脂・油脂製品・塗料・天然樹脂製品・木材化学製品・医薬品・発火物・香料・化粧品・石油製品・ゴム・化学繊維・合成繊維などの製造に関する化学工程の生産性の検討・生産準備・設備計画などの工程設計及び工程管理・品質管理、監督、指導・分析・検査などの技術的な仕事に従事するものをいう」。

これらの定義と具体例から、製造技術者（開発を除く）はつぎのように解釈できる：(1) 製造技術者（開発を除く）の所属は、企業の製造所・工場などの生産施設である、(2) 製造技術者（開発を除く）が行う仕事の分野は、工業の分野である、(3) 製造技術者（開発を除く）が行う仕事の目的は、①製品の開発・設計、②電気に関する技術の開発、施設的设计などを行なうことである、(4) 製造技術者（開発を除く）が行う仕事の目標は、科学的・専門的知識を応用することである、(5) 製造技術者（開発を除く）が行う仕事は、製品の生産（製造）における設計、管理等の技術的な仕事である。製造技術者（開発）の仕事より生産工程従事者の仕事に近い。

製造技術者（開発）と製造技術者（開発を除く）に共通する点、すなわち製造技術者の特徴は、(1) 科学的・専門的知識を応用すること、(2) 具体的な製品の開発あるいは生産に関わることの2点である。

研究者と製造技術社との大きな違いは、製造技術者の必須要件には自ら新しい理論・学説を発見すること、あるいは自ら技術上の革新を考案することが含まれていないことである。別の言い方をすれば、製造技術者が行う仕事の目標は、科学的・専門的知識を応用することである。

4.4.2. 本研究における研究者・技術者の定義

a. 研究者であるための必須要件

日本標準職業分類の定義が規定する研究者は「科学・技術の問題を自らが新しい理論や学説を発見し、または自らが技術上の革新を考案することによって解決するもの」である。つまり、研究者はいままでだれも唱えたことがない理論や学説を最初に提唱し、いままでだれ

³⁴ 中分類〔07〕とは、製造技術者（開発）のことである。

も考えなかった技術上の革新を提唱する人である。この「いままでだれもしなかったことを最初に行なう」ことが創造的な人（“創造人”）の要件であるとすれば、日本標準職業分類が規定する研究者は“創造人”である。

研究者と製造技術者のもっとも大きな違いは、研究者が「創造人」であることを必須要件とするけれども、製造技術者は“創造人”である必要はない。製造技術者の仕事の目標は、既存の科学的・専門的知識や方法を応用して問題を解決することである。

それでは研究者が“創造人”あることはなにをもって担保されるのであろうか。ひとつの条件は学術論文の著者であることである。なぜならば、学術論文に投稿することは、見出された事実や現象、提案された理論や技術的な方法がこれまで誰も言及しなかったかどうかをその分野の専門家に問うことができる効率的な仕組みだからである。学術論文でもっとも重要な要件は、その内容の創造性あるいは独創性である。したがって学術論文として出版されることは、その研究が創造的あるいは独創的な内容であることを担保しており、その学術論文の著者（ら）が研究者であり、“創造人”であることを意味する。

b. 研究者の人数をカウントする方法

ここで問題にしなければならないことは、「公的研究機関、大学附置研究所又は企業の研究所・試験所・研究室などの試験・研究施設」に所属する人であっても、様々な理由で研究の内容を学術論文として出版しない可能性があることである。したがって大学研究者総覧や企業研究所総覧あるいは学会名簿、または科学技術調査研究³⁵など各種の統計資料を参照して、「公的研究機関、大学附置研究所又は企業の研究所・試験所・研究室などの試験・研究施設」の所属者数がわかったとしても、それが日本標準職業分類の定義が規定する“創造人”である研究者、すなわち「科学・技術に関する問題を自らが新しい理論・学説を発見し、または自らが技術上の革新を考案することによって解決しようとするもの」の人数であるとは言えない。

c. 本研究における研究者の定義

日本の学術論文数は 2000 年代になって停滞し、研究分野によって論文数が減少した分野

³⁵ 「科学技術研究調査」(URL 9) の「研究本務者」とは、(大学等の) 内部で研究を主とする者を指し、具体的には、教員、大学院博士課程院生、研究員(医局員等)である。博士課程学生は研究を主導し実行する研究人員に含まれるが、修士課程学生は含まれない。

と増加を続けた分野がある事実を示した。論文数の変動は研究者（日本標準職業分類）の人数の変動と関連するのではないかと容易に推測できるが、論文数と関係する研究者（日本標準職業分類）の人数を正確にカウントする方法がない。総覧や統計などの一般的な方法で集計した研究者数は論文との関係性（どの研究者が論文を出版したか）が不明であり、必ずしも“創造人”である研究者（日本標準職業分類）の人数ではない。

論文数の変動を分析して変動の原因が明らかになるわけではない。論文数が増えた原因を探るには論文数と相関するほかの変数の推移を分析することが有効であると考えられる。たとえば、論文著者の人数を著者の所属や研究分野、共同研究体制などの属性と合わせて分析すれば、論文数の変動を論文著者の様々な属性の変動からより正確に分析できる可能性がある。

そこで本研究では論文数を複数の属性をもつ著者数に変換するために研究者をつぎのように独自に定義する：「研究者とは、自ら科学または技術の研究をする人であって、研究成果を発表した論文の著者である」。このように研究者を学術論文の著者と対応させることにより、論文数を論文と密接な属性が明らかな研究者数に置き換えて定量的な議論をすることが可能になる。

日本標準職業分類の研究者と本研究で定義する研究者の違いを明らかにするために、図 4-6 に日本標準職業分類の職種（研究者、製造技術者（開発）、製造技術者（開発を除く）、生産工程従事者）と本研究における研究者の相対的な関係を示す³⁶。図では日本標準職業分類の職種を「 」で囲み、本研究の研究者を【 】で囲んで示した。

「公的研究機関、大学附置研究所又は企業の研究所・試験所・研究室などの試験・研究施設」に所属し、かつ論文著者でない従業者が、図 4-6 の赤枠内のドット領域①と青枠内のドット領域②である。論文著者である【研究者】の研究分野は科学あるいは技術である。図 4-6 では科学研究を行う【研究者】を【科学研究者】、技術研究を行う【研究者】を【技術研究者】とした³⁷。

³⁶ 製造技術者や生産工程従事者が論文の著者となる可能性はあるが、図が複雑になるので図 4-6 ではこの可能性は考慮しない。また大学・企業以外に所属する従業者が論文の著者となる可能性もあるが、同様の理由で図 4-6 では考慮しない。

³⁷ 科学研究と技術研究については 7.4.4. で詳しく述べる。

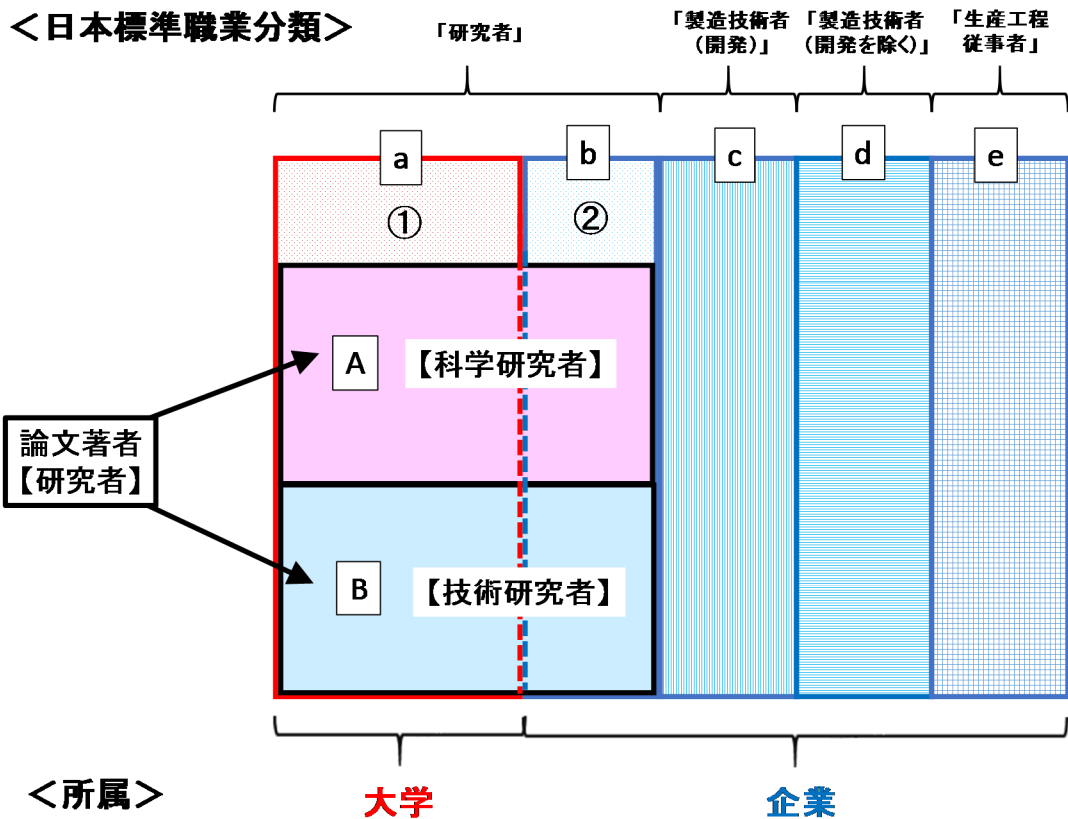


図 4-6 日本標準職業分類の研究者と本研究の研究者の比較

【注 1】日本標準職業分類の職種は「」付、本研究の職種は【】付で表記する。【注 2】赤枠の短冊部分が大学に所属する「研究者」（人数 a）。「製造技術者（開発）」（人数 c 人）、「製造技術者（開発を除く）」（人数 d 人）、「生産工程従事者」（人数 e 人）。【注 3】黒枠は論文著者で【研究者】、黒枠ピンク色部分が【科学研究者】（人数 A 人）、黒枠空色部分が【技術研究者】（人数 B 人）。【注 4】「製造技術者（開発）」のうち論文著者でないものが【技術開発者】、「製造技術者（開発を除く）」と「生産工程従事者」が【製品生産者】。【注 5】大学の「研究者」で論文著者でないものが①、企業の「研究者」で論文著者でないものが②。【注 6】日本標準職業分類の「研究者」の人数は (a+b)人、本研究の【研究者】の人数は(A+B)人。

4.4.3. 研究者数の推定

a. 論文の区別と研究者の構成

図 4-7 に論文集合と研究者集合の対応関係を示す。この対応関係を明確に表すために、論

文集合の端と研究者集合の端を同じ線種の矢印（実線矢印と点線矢印）で結んだ。「日本の論文」（図 4-7 1 段目）とは少なくとも著者のひとりが日本の研究者集合 X に属する研究者である論文を指す。日本にある研究機関に所属する研究者を「日本の研究者」（図 4-7 4 段目）と呼ぶ。日本の研究者の集合を集合 X とする。集合 X は留学生や雇用された外国人の研究者を含む。

日本の論文全体の集合を論文集合 A とする。A の論文数は a、著者数は a' とする。論文集合 A は国内研究の論文集合 B と海外共同研究の論文集合 C からなる。国内研究とは、日本の研究者だけで行う研究である。海外共同研究とは、日本の研究者と日本以外の国にある研究機関に所属する研究者が共同して行う研究である。論文集合 B に属する論文を国内論文と呼び、論文集合 C に属する論文を国際論文と呼ぶ。

日本以外の国にある研究機関に所属する研究者を「海外の研究者」と呼び、これを集合 Y とする。B の論文数は b、著者数は b' とする。C の論文数は c、著者数は c' とする。

論文集合 B と C は重ならない。図 4-7 の 1 段目と 2 段目がこの関係を示している。従って、論文数 a、b、c の間には式(4-1)の関係が成り立つ：

$$a = b + c \quad (4-1)$$

ここで a は論文集合 A の論文数、b は論文集合 B の論文数、c は論文集合 C の論文数である。

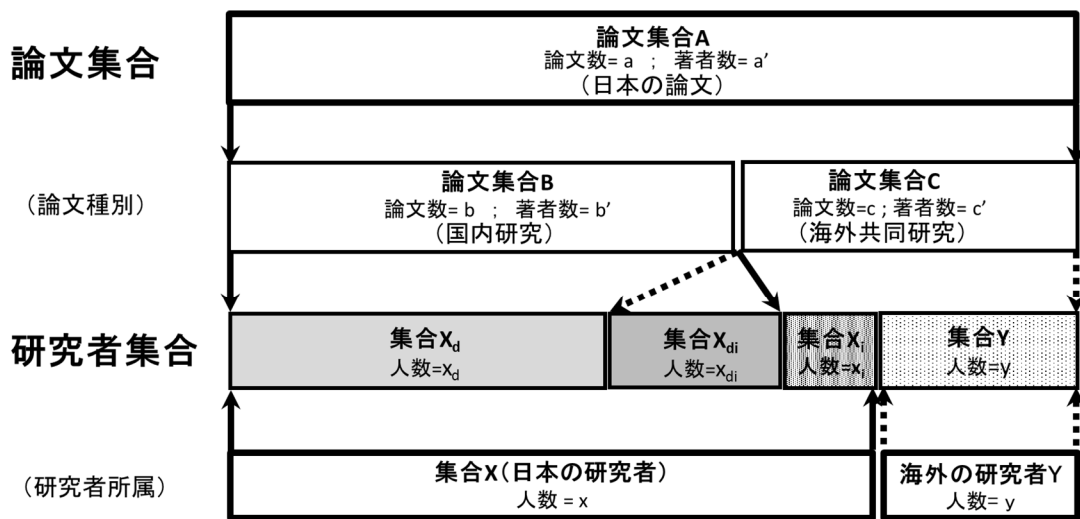


図 4-7 論文集合と研究者集合の対応関係

【注 1】 1 段目と 2 段目の枠は論文集合、3 段目と 4 段目の枠は研究者集合である。同じ線種の 2 本の矢印で対応する集合枠の両端を結んだ。【注 2】 論文集合 A は日本の論文（論文数 a 、著者数 a' ）、論文集合 B は国内研究論文（論文数 b 、著者数 b' ）、論文集合 C は海外共同研究論文（論文数 c 、著者数 c' ）。【注 3】 研究者集合 X_d は日本の研究者のうち、国内研究だけを行った研究者（人数 x_d ）、研究者集合 X_{di} は日本の研究者のうち、国内研究と海外共同研究の両方を行った研究者（人数 x_{di} ）、研究者集合 X_i は日本の研究者のうち、海外共同研究だけを行った研究者（人数 x_i ）、研究者集合 Y は海外の研究者で海外共同研究を行った研究者（人数 y ）。【注 4】 研究者集合 X は日本の研究者（人数 x ）、海外の研究者 Y は研究者集合 Y と同じ。

A の著者は日本の研究者の集合 X（その人数は x ）と海外の研究者の集合 Y（その人数は y ）からなる。研究者集合 X の研究者はどの種別の論文を発表したかにより、3 つの集合——研究者集合 X_d （その人数は x_d ）、研究者集合 X_{di} （その人数は x_{di} ）、研究者集合 X_i （その人数は x_i ）——に分かれる。³⁸ X_d は日本の研究者で国内研究だけを行った研究者の集合、 X_{di} は日本の研究者で国内研究と海外共同研究の両方を行った研究者の集合、 X_i は日本の研究者で海外共同研究だけを行った研究者の集合である。研究者（論文の著者）は共同研究属性で

³⁸ d は domestic、i は international、di はその両方を意味する。

3群（国内群、国内外群、国際群）に分かれる。国内群とは国内論文だけの著者、国内外群とは国内論文と国際論文の両方の著者、国際群とは国際論文だけの著者である。

b. 研究者の属性に関する論文書誌情報

Web of Science は著者の氏名の情報としてアルファベットで表記した名字(family name)と名前(first name)の頭文字のデータをもつ：例えば、日本太郎は Nihon T と表記される。抽出した論文集合の著者名を分析すれば、その論文集合に異なる氏名の著者が何人いるか知ることができる。ただし、名字のアルファベット表記と名前の頭文字が同じであれば、別人であっても区別しない：例えば、日本太郎（にほんたろう）と二本太朗（にほんたろう）はいずれも Nihon T となるので区別しない。したがって著者数の分析値は真の著者数より小さくなる可能性がある。また著者名の分析では著者が所属する研究機関がある国名や所属する研究機関名は参照されないので、海外共同研究の論文（国際論文）では日本の研究者と海外の研究者を区別して数えることができない。

海外共同研究の論文集合 C（国際論文）の著者分析で得られる著者数 c' は、海外の研究者の集合 Y（その人数は y ）と日本の研究者の集合 X の部分集合である X_{di} （その人数は x_{di} ）と X_i （その人数は x_i ）の合計である。図 4-7 の 2 段目と 3 段目のあいだに描いた 2 本の点線矢印は、著者数 c' が y と x_{di} 、 x_i の合計と対応することを示している。

c. 国内研究の論文集合 B の研究者数

集合 X_d 、 X_{di} 、 X_d は重ならないから、式(4-2)が成り立つ。

$$x = x_d + x_{di} + x_i \quad (4-2)$$

研究者の定義により研究者は論文の著者であり、論文の著者は研究者である。論文集合 A の著者は研究者集合 X_d 、 X_{di} 、 X_i 、Y の研究者に対応するので、式(4-3)が成り立つ。

$$a' = x_d + x_{di} + x_i + y \quad (4-3)$$

論文集合 B の著者（図 4-7 の上から 2 段目）は研究者集合 X_d と X_{di} に対応する。この対応関係を図 4-7 の 2 段目と 3 段目のあいだの実線矢印で示した。同様に論文集合 C と研究

者集合 X_{di} と X_i , y が対応する (破線矢印)。これらの対応関係から、式 (4-4)、(4-5) が成り立つ。

$$b' = x_d + x_{di} \quad (4-4)$$

$$c' = x_{di} + x_i + y \quad (4-5)$$

式(4-4)と(3-5)より式(4-6)が得られる。

$$b' + c' = x_d + x_i + 2x_{di} + y \quad (4-6)$$

式(4-3)と(4-6)より式(4-7)が得られ、

$$x_{di} = b' + c' - a' \quad (4-7)$$

式(4-7)を式(4-4)に代入して整理すると式 (4-8) となる。

$$x_d = a' - c' \quad (4-8)$$

また、式(4-5)と式 (4-7) より式(4-9)が得られる。

$$x_i + y = a' - b' \quad (4-9)$$

論文集合 C が空集合でなければ、 $y \geq 1$ である。論文集合 C の 1 報当たり日本の研究者は少なくとも 1 名である。このとき論文集合 C の日本の研究者はすべて同じ研究者である可能性がある。つまり、 $y \geq 1$ のとき、 x_{di} と x_i の和の最小値は 1 であり、 $x_{di} \geq 0$ かつ $x_i \geq 0$ である。

$$x_{di} + x_i \geq 1 \quad (4-10)$$

ここで $y \geq 1$ 、 $x_{di} \geq 0$ 、 $x_i \geq 0$ である。

この方法では日本の研究者のうち、 x_d と x_{di} を求めることができる。しかし、海外共同研究だけを行った日本の研究者集合 X_i と海外の研究者集合 Y の著者は区別できないので、 x_i を求めることはできない。

4.5. 国内研究と海外共同研究の論文数の推移：日本全体の論文数

科学・技術の発展を表す指標のひとつである論文数は、直接的あるいは間接的に社会動向の影響を受けて変動する。例えば、大学の研究費・研究人員、科学・技術の大きな発見や進展、経済や産業の動向に論文数は影響されると考えられる。

大学の研究人員の増減は論文数の変動に直接的・間接的に影響を与えると考えられる。Iijima and Yamaguchi (2015) が報告したように、大学院博士課程の学生数は時間差を考慮すると 6 年後の論文数と非常に高い相関性がある。この数年の時間差は、博士課程修了者の一部が研究員や教員採用を目指す研究者となって博士課程修了のあと数年のあいだ、主体的に論文を發表することと関係があると考えられる。

図 4-8a に 1975-2014 の日本の論文数（実線）の推移と、日本の論文を国内研究と海外共同研究に分けて、各々の論文数（棒グラフ）の推移を示す。図 4-8b に日本の論文数の 3 年ごとの増加率(da/dt 、年率)を示す。また図 4-8c に国内研究の論文数の増加率(db/dt)と海外共同研究の論文数の増加率(dc/dt)の相対的な関係の推移を実線矢印で示す。

4.5.1. 日本の論文数 a と国内研究の論文数 b 、海外共同研究の論文数 c ：図 4-8a

日本の論文数 a （実線； $a=b+c$ ）は 1975-1999 年のあいだ増加を続けたが、2000 年代になって増加が止まり、2014 年まで年間約 70,000 件を維持した状態で停滞している。

論文を国内研究と海外共同研究に分けて、それぞれの論文数の増減を比較した。国内研究の論文数 b （黒棒）は 1975-1999 年まで増加し、2000 年代になって増加が止まり、2005 年頃まで約 55,000 報を維持して停滞した。その後、 b は徐々に減少して、2014 年に約 50,000 報となった。海外共同研究の論文数 c （白棒）は 1970 年代に年間 1,000 報以下であったが、毎年増加し続けて 1999 年に 12,000 報を越え、2014 年には年間 22,000 報に達した。

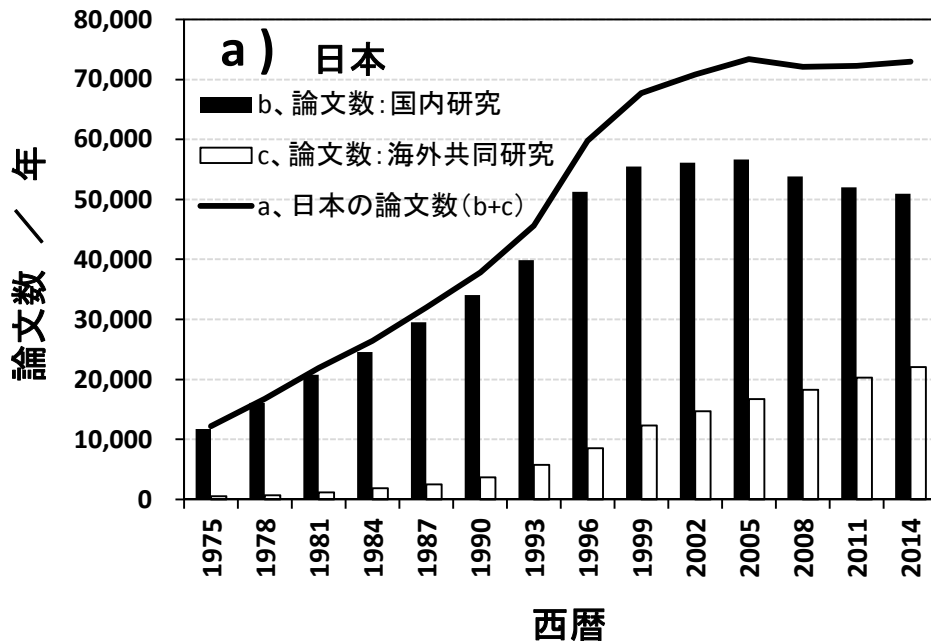


図 4-8a 日本の論文数の推移(1975-2014)：国内研究と海外共同研究の論文数（英語）

【注 1】黒棒グラフ(変数 b)は国内研究の論文数、白棒グラフ(変数 c)は海外共同研究の論文数、実線は日本の論文数 (b+c)。【注 2】論文数は Web of Science®, SCI-EXPANDED を用いて検索した（検索日 2016 年 9 月 16 日）。

4.5.2. 日本の論文数 a の 3 年ごとの増加率：図 4-8b

日本の論文数の増減の様子は増加率の変化により詳細に描写できる。日本の論文数の増加率は 1975-1978 年のあいだ年率 11%であったが、徐々に低下して 1981-1984 年に 6%強になった。論文数はその後も増加して、1993 年まで論文数の増加率はほぼ 6%を維持した。

バブル崩壊までの 13 年間（1981-1993 年）に日本の論文数は約 20,000 報から 45,000 報強まで急増した。しかし、バブルが崩壊したあと論文数の増加率は急速に低下し、2005 年に 1%まで落ち込み、2005 年以降は 0%前後で推移した。なお、データベースの論文収載基準の変更起因する論文数の不連続性が 1995 年と 1996 年のあいだにあるため、図 4-8b では 1993-1996 年の増加率は除外した。³⁹

³⁹1995 年と 1996 年の間にある論文数データの不連続点を避けるため、1990 年代を III 期 (1990-1993)と IV 期(1996-1999)に分けた。不連続が発生する詳細な理由は不明である。

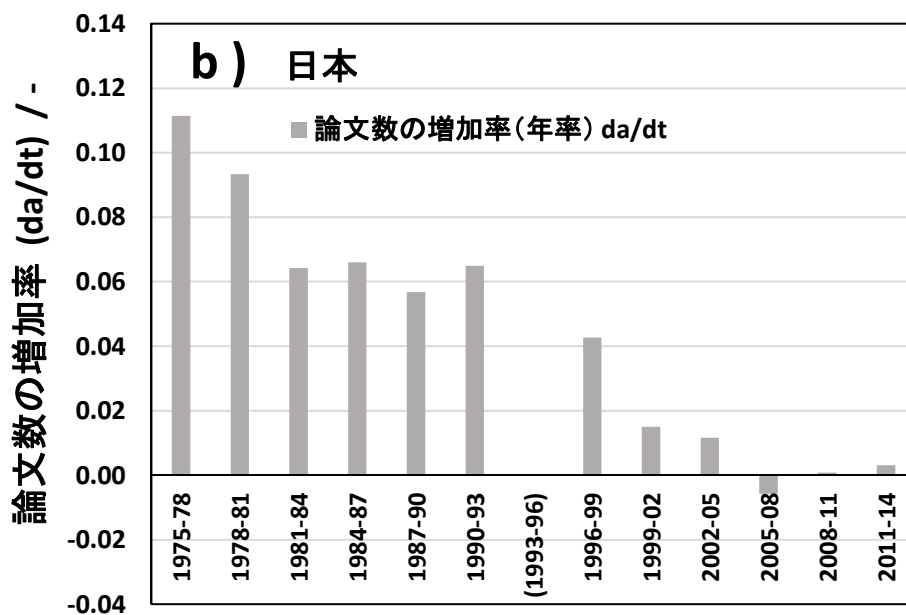


図 4-8b 日本の論文数の推移(1975-2014)：日本の論文数の増加率(da/dt)

【注 3】 増加率は 3 年間の年率。1995 年と 1996 年のあいだに論文数の不連続性があるため、1993-1996 年の増加率は除外した。

4.5.3. 国内研究の論文数 b の増加率と海外共同研究の論文数 c の増加率：図 4-8c

図 4-8c に示した国内研究と海外共同研究の論文数の増加率は 5 つの期間（I 期, 1975-1981; II 期, 1981-1990; III 期, 1990-1993; IV 期, 1996-1999; V 期, 1999-2014）における 3 年ごとの増加率（年率）の平均値である：I～V 期の順に 1970 年代後半、1980 年代、1990 年代前半、1990 年代後半、2000 年代。矢印の起点は（I 期, 1975-1981）、終点は（V 期, 1999-2014）の増加率（年率）である。

国内研究の論文数の増加率 db/dt （横軸）は 1970 年代後半（I 期）に約 10%であったが、1980 年代（II 期）に 6%前後に低下した。バブル崩壊期（1991-1993 年）を含む III 期も 6%程度であったが、バブル崩壊後の 1990 年代後半（IV 期）に約 4%に低下した。さらに 2000 年代（V 期）に増加率 db/dt はマイナス（-1%ほど）になった。

一方、海外共同研究の論文数の増加率 dc/dt （縦軸）は 1975-1990 年（I～II 期）に 15%程度の高い増加率だったが、バブル崩壊期を含む 1990-1993 年（III 期）に 7%程度まで半減し、1990 年代後半（IV 期）にはさらに 4%程度に低下した。その後 2000 年代（V 期）は約 4%を維持した。

興味深いのは第V期である。日本の国内研究は2000年代にマイナス成長だったが、海外共同研究が約4%の増加率を維持した。2000年代における国内研究の論文数の減少と海外共同研究の論文数の増加はいずれも約5,000報であったため、日本全体の論文数はほぼ一定で推移した。

1970年代（I期）と2000年代（V期）の論文数の増加率を比較すると、国内研究と海外共同研究のいずれの増加率も1980年代から1990年代のあいだに約10%低下した。興味深いことに、国内研究と海外共同研究の論文数の増加率は同じ時期に低下せず、時期を変えて交互に低下した。すなわち、バブル崩壊後の1990年代に海外共同研究の増加率 dc/dt は10%ほど低下した。この時期に国内研究の増加率 db/dt はほぼ一定であった。また1970年代後半あるいは2000年代において、国内研究の論文数の増加率 db/dt がそれぞれ5%ほど低下したとき、海外共同研究の論文数 dc/dt の増加率はほぼ一定であった。

この事実は国内の景気と国内研究のあいだの繋がりを想起させる。国内の景気が良好な時期（バブル期）には、国内研究の論文数は増加率を維持して増え、海外共同研究の論文数は増加の勢いが衰えて増加率が低下する。国内の景気が悪い時期（第2次オイルショック、バブル崩壊、リーマンショック、失われた10年）には、国内研究の勢いが衰え、海外共同研究は増加率を維持する。これは、海外共同研究は日本の景気変動と基本的に関係が小さく、国内研究は日本の景気変動から直接的・間接的な影響を受け易いことを示唆する。

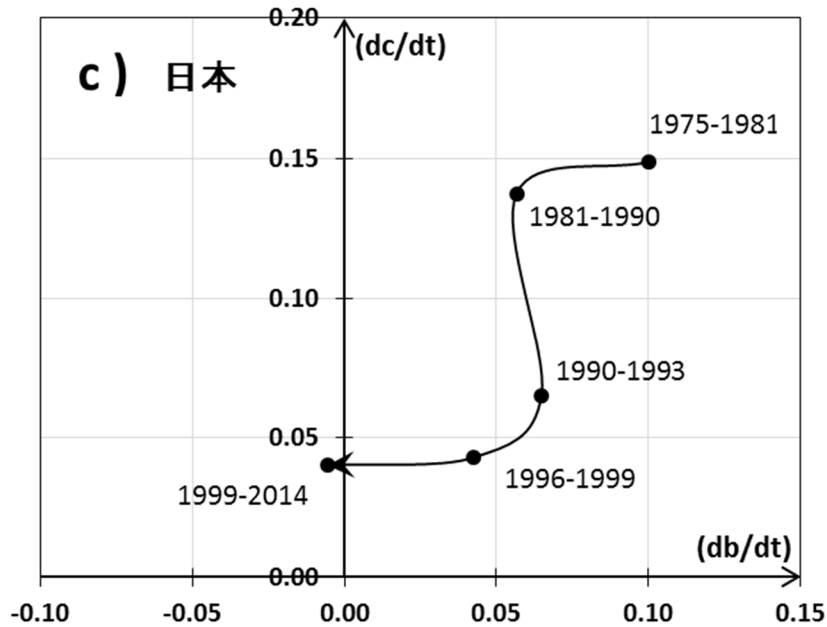


図 4-8c 日本の論文数の推移(1975-2014) : 国内研究論文数 b の増加率 (db/dt) と海外共同研究論文数 c の増加率 (dc/dt) の関係

【注 4】 5 つの期間 (I、1975-1981 ; II、1981-1990 ; III、1990-1993 ; IV、1996-1999 ; V、1999-2014) の平均増加率を求め、矢印の起点を I、中間点を II ~ IV、終点を V とした。I は 1970 年代、II は 1980 年代 (高度成長期)、III はバブル崩壊期、IV はバブル崩壊後の 1990 年代、V は 2000 年代。

4.6. 2000 年代に論文数が停滞～減少した研究分野の論文数と研究者数

4.6.1. 物性物理学

図 4-9 に物性物理分野の論文数と著者数の推移 (1975-2014) を示す。図 4-9a に国内研究の論文数と海外共同研究の論文数、図 4-9b に著者数 (国内研究だけを行った著者数 x_d 、国内研究と海外共同研究の両方を行った著者数 x_{di} 、国内研究の著者数 b')、図 4-9c に国内研究の論文数 b と著者数 b' ($=x_d+x_{di}$) の関係、図 4-9d に著者数 x_d の増加率 (dx_d/dt) 、著者数 x_{di} の増加率 (dx_{di}/dt) 、著者数 b' 増加率 (db'/dt) 、図 4-9e に著者数 x_d の増加率 (dx_d/dt) と著者数 x_{di} の増加率 (dx_{di}/dt) の関係を示す。

a. 日本の論文数 a と国内研究の論文数 b 、海外共同研究の論文数 c : 図 4-9a

図 4-9a に物性物理学の論文数 (全体 a 、国内研究 b 、海外共同研究 c) の 3 年ごとの推移

を示す。日本の論文数 a (図 4-9a、実線) は 1980 年代半ばから増加し続けた。1999 年頃から論文数の伸びが落ち、2002 年に最大値 (約 4,000 報) となった。2002 年から論文数は急激に減少し、2014 年には 2,000 報を切った。日本の物性物理の全論文 (国内研究と海外共同研究の合計) は、2002-2014 年までの 12 年間に最大値から半減した。

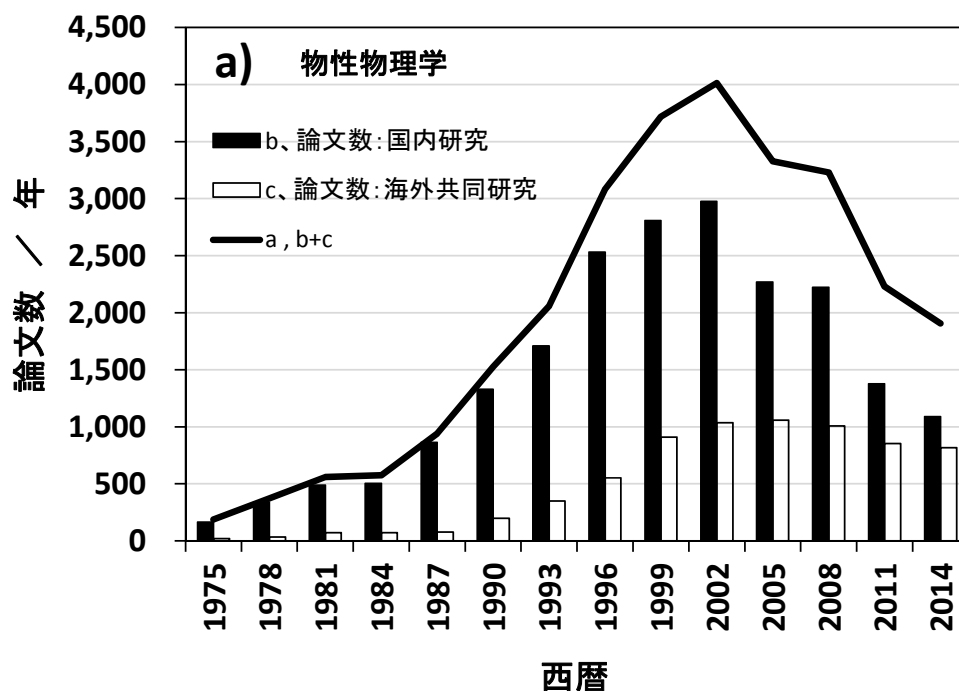


図 4-9a 物性物理学の論文数の推移

【注 1】国内研究の論文数 b は黒棒、海外共同研究の論文数 c は白棒、日本の論文数 a は実線(a=b+c)。【注 2】論文数は Web of Science®, SCI-EXPANDED を用いて検索した (検索日 2016 年 9 月 16 日)。

国内研究の論文数 b (図 4-9a、黒棒) は全体の論文数の動向とほぼ同じであるが、論文数の急な伸びが低下し始める時期が早い。国内研究の論文数は 1980 年代半ばから増加し始め、1990 年代半ばから論文数の伸びが落ち、2002 年に最大値 (年間約 3,000 報) となった。2002 年から論文数は急激に減少し、2014 年には年間約 1,000 報まで減少した。物性物理学の国内研究の論文数は、2002 年から 2014 年までの 12 年間に最大値の 1/3 まで減少した。全体の論文数よりも国内研究の論文数が減少した割合が大きい。

海外共同研究の論文数 c (図 4-9a、白棒) は、1990 年に 200 報弱であったが、2000 年代初頭まで増加を続け、2002 年に年間約 1,000 報まで増加した。2000 年代は年間 1000 報を維持したが、2010 年代は徐々に論文数が減り、2014 年には年間 800 報近くまで減少した。2002 年から 2014 年までの 12 年間に最大値の 80% まで減少した。海外共同研究の論文数が減少した割合は国内研究より小さい。

b. 3 種類の著者数 x_d 、 x_{di} 、 b' : 図 4-9b

図 4-9b に国内研究論文の著者数を 2 種類に分類して、各々の著者数とそれらの合計の 3 年ごとの推移を示す：国内研究のみを行った著者 x_d (斜線棒、左軸)、国内研究と海外共同研究の両方を行った著者数 x_{di} (灰色棒、左軸)、それらの合計、すなわち国内研究の著者数 b' ($=x_d+x_{di}$; 実線、左軸) である。

図 4-9b に x_{di} の b' に対する比率 f_{di} ($=x_{di}/(x_d+x_{di})$; 破線、右軸) の推移を重ねて示す。この f_{di} は国内研究を行った著者のうち、海外共同研究も行った著者の割合である。

国内研究の著者数 b' は、国内研究の論文数と同様に 1980 年代半ばから増加し始め、1990 年代半ばから伸びが落ち、2002 年に最大値 (約 5,400 人) となった。国内研究の論文数 (図 4-9a、黒棒) は 2002 年以降、急激に減少したが、 b' は 2008 年まで約 5,000 人を維持した。

2010 年代に入ると b' は急激に減少し、2014 年に 3,000 人強まで減少した。国内研究の論文数は 2002-2014 年の 12 年間に最大値の 1/3 まで減少したが、国内研究の著者数 b' は同じ 12 年間に 1/2 (55%) まで減少して止まった。2002-2014 年における著者数の減少率が論文数の減少率より小さかったということは、相対的に論文 1 報当たりの著者数 (共著者数) が増えたことを示唆する。

国内研究だけを行った著者数 x_d は、国内研究の著者数 b' と同じような推移を示す。1980 年代半ばから増加し始め、1990 年代半ばから伸びが落ち、2002 年に最大値 (約 4,200 人) となり、2008 年まで約 4,000 人を維持し、2010 年代に急減少して、2014 年に 2,400 人弱まで減少した。著者数 x_d の 2002-2014 年における著者数の減少率は 57% である。この減少率は国内研究の著者数 b' の減少率 (55%) とほとんど同じである。

国内研究と海外共同研究の両方を行った著者数 x_{di} は、海外共同研究の論文数 (図 4-9a、白棒) と同じような推移を示す。著者数 x_{di} は、1990 年に約 250 人 (海外共同研究論文数 c は約 200 報弱) であったが、2000 年代初頭まで増加を続け、2002 年に約 1,100 人 (c は約 1,000 報) まで増加した。これが x_{di} の最大値である。2008 年まで年間 1,000 人を維持した

が、2010年代は徐々に減り、2014年には約750人（cは約800報）まで減少した。2002年から2014年までの12年間に最大値の約70%まで減少した。

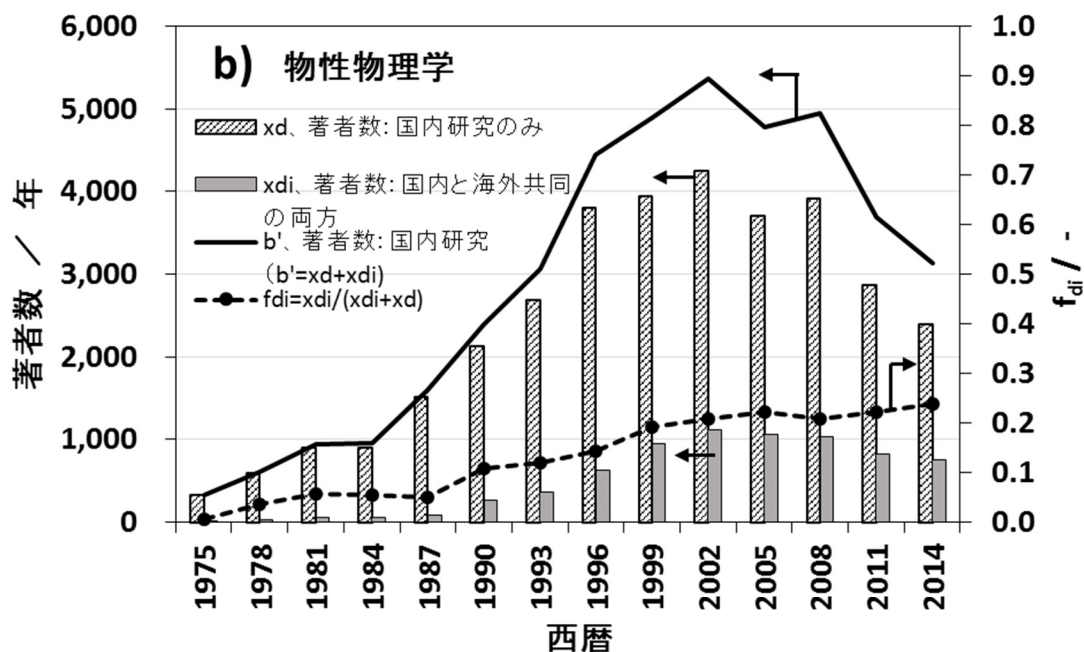


図 4-9b 物性物理学の著者数の推移

【注 2】国内研究のみの著者数 x_d は斜線棒、国内研究と海外共同研究の両方を行った著者数 x_{di} は斜線棒、国内研究の著者数 b' ($=x_d+x_{di}$) は実線、国内研究と海外共同研究の両方を行った著者数の国内研究の著者数に対する比率 f_{di} ($=x_d/(x_d+x_{di})$) は破線。

海外共同研究を行った研究者数を求めて海外共同研究の盛衰を知りたいが、海外共同研究論文の著者のうち、海外共同研究だけ行なった日本の研究者数 x_i は計算することができない。しかし、 x_i は国内研究と海外共同研究の両方を行った日本の研究者数 x_{di} と比べると無視してよいほど少ないと考えられる。そこで x_i を無視して x_{di} と海外共同研究の論文数 c との比 (c/x_{di})、すなわち国内研究と海外共同研究の両方を行った日本の研究者 1 人当りの海外共同研究の論文数を計算した。1980年代前半でやや大きかったが、1980年代後半から2014年まで 1 人年間 1 報前後でほぼ一定であった：1981年では 1.4 報/人、1987年では 1.0 報/人、1990年では 0.8 報/人、2008年では 1.0 報/人、2014年では 1.1 報/人。

この事実は物性物理分野では国内研究を中心に研究が行なわれ、海外共同研究は主体的に行なわれなかったことを伺わせる。 x_{di} の増加に伴い、 x_{di} の国内研究の著者数 b' に対する比率 f_{di} (図 4-9b、破線) は 1990 年に 10% を越えた。その後も f_{di} は増加し続け、2002 年に f_{di} は 20% 強まで増加した。しかし 2002 年以降、 f_{di} は 21-22% でほとんど変わらなかった。この事実も海外共同研究が主体的に行なわれなかったことを示唆する。

c. 国内研究の論文数 b とその著者数 b' : 図 4-9c

図 4-9c に国内研究の論文数 b とその著者数 b' の関係を示す。1975-2002 年まで論文数と著者数は原点を通る 1 本の直線の上を増加した。すなわち、1975-2002 年までの 28 年間のあいだ、論文 1 報当たりの著者数 (図の原点と各年のプロットを結ぶ直線の傾き) は 1.8 人/報で一定であった。著者 1 人当たりの年間論文数 (この数値の逆数) は 0.56 報/人である⁴⁰。

図 4-9c において、2002 年を境に論文数と著者数は減少に転じた。しかし、論文数の減少に比べて著者数がそれほど減少しなかったため、2002 年から論文 1 報当たりの著者数が増え始めた：論文 1 報当たりの著者数は 2005 年に 2.1 人/報、2014 年に 2.9 人/報に増えた。2002-2014 年の論文 1 報当たりの著者数の平均は 2.5 人/報である。著者 1 人当たりの年間論文数を求めると、2005 年は 0.5 報/人、2014 年になると 0.4 報/人に減少したが、1975-2014 年における著者 1 人当たりの年間論文数は 0.5 報前後でほぼ一定といえる。

1 報当たりの日本の研究者数を国内研究と海外共同研究の論文で比較すれば、日本の研究機関の動向 (活動状態や研究体制) の変化を明らかにすることができる。海外共同研究論文の著者のうち、海外共同研究しか行なわなかった日本の研究者数 x_i は求めることができないが、 x_{di} と比較して無視できる人数であると仮定して、研究者数 x_{di} と海外共同研究論文数 c との比 (c/x_{di})、すなわち海外共同研究に関わった日本の研究者 1 人当たりの論文数を計算した。 (c/x_{di}) は 1980 年代後半から 2014 年まで 1 人年間 1 報前後でほぼ一定であった：1978 年では 1.6 報/人、1981 年では 1.4 報/人、1984 年では 1.4 報/人、1987 年では 1.0 報/人、1990 年では 0.8 報/人、1993 年では 1.0 報/人、1999 年では 1.0 報/人、2002 年では 0.9 報/人、2005 年では 1.0 報/人、2008 年では 1.0 報/人、2011 年では 1.0 報/

⁴⁰ 国内研究の年間論文数と著者数から 1975-2002 年における各年の著者 1 人当たりの年間論文数を求めたところ、0.5-0.6 報/人でほとんど一定であった。

人、2014年では1.1報/人⁴¹。

海外共同研究論文1報当たりの日本の研究者は1980年代後半から2014年までほとんど変化せず、約1名⁴²で推移した。国内研究論文1報当たりの著者数が1975-2002年のあいだ、1.8人/報であったが2005年から増え始めたことと対象的である。

共同研究論文数の割合が増えれば、論文数が同じでも論文1報当たりの著者数は多くなる。科学が進展すれば、1人ひとりの研究者の専門性が高くなり、多くの研究者の協力が必要になる。大型プロジェクト研究の数は増える傾向にあるとしても緩やかであり、また研究者の専門性は年ごとに高くなるとしても連続的に変化すると考えられる。

図4-9c(国内研究論文数とその著者数の関係)では2002年を境に論文1報当たりの著者数が突然、増えた。このことは国内研究論文の著者数が増えた原因は大型プロジェクト研究の増加など研究者の専門性の高度化ではないことを示唆する。また前述のように海外共同研究論文1報当たりの日本の研究者数は2002年以降もほとんど変化しなかった。

これらの事実は2002年以降における国内研究論文の著者数の動向(共著者数の増加)は、専門性の高度化以外の別のメカニズムが作用した可能性を示唆している。

⁴¹ 1980年代前半の海外共同研究論文数は年間35-72報、国内外群の研究者数は22-52人と少ないため、 x_i が無視できるという仮定が成立しない可能性がある。

⁴² 海外共同研究論文の著者として日本の研究者のほかに1人以上の海外の研究者がいる場合(論文1報当たりの著者数は2名以上)が大部分であると思われる。

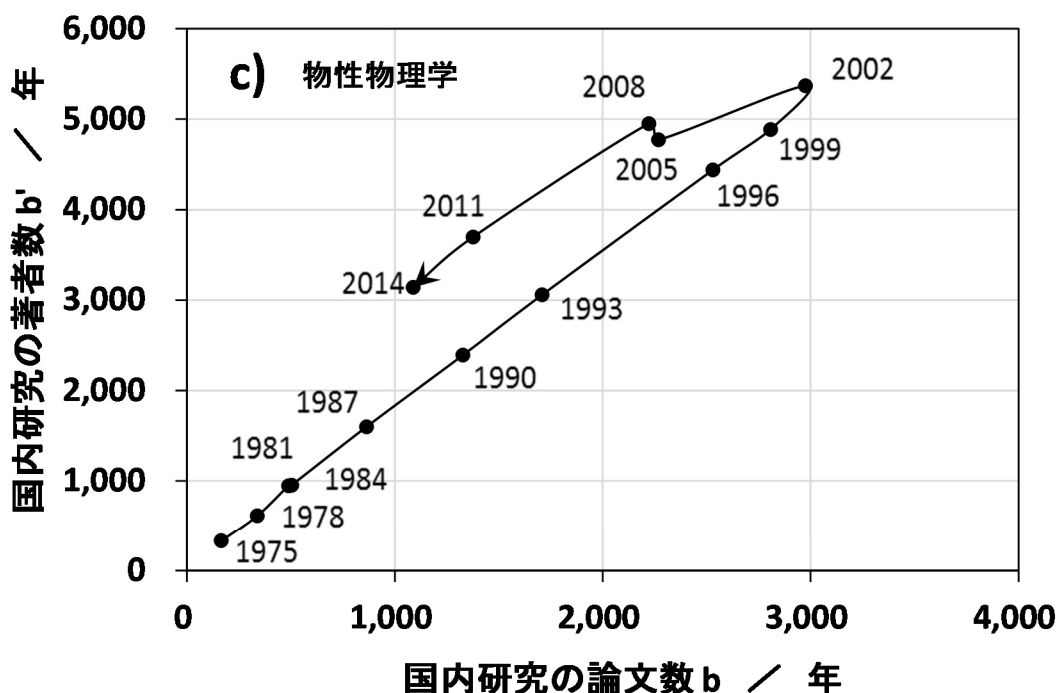


図 4-9c 物性物理学の国内研究の論文数 b とその著者数 b' ($=x_d+x_{di}$) の関係

d. 3 種類の著者数の増加率：図 4-9d

国内研究と海外共同研究の状況をさらに詳しく検討するために、図 4-9d に 3 種類の著者数の増加率の平均値（10 年間ごと）を示す：国内研究だけの著者数 x_d の増加率（年率、斜線棒）、国内研究と海外共同研究の両方の著者数 x_{di} （年率、灰色棒）の増加率、そして国内研究の著者数 b' ($b'=x_d+x_{di}$) の増加率（年率、黒棒）。

1975-1993 年の著者数 b' の増加率（黒棒）は 13% 前後であったが、バブル崩壊後（1996-2005）はほぼゼロとなって b' の増加が止まった。2000 年代半ば以降（2005-2014）になると、 b' の増加率はマイナス（-5%）となり、国内研究の著者数 b' は減少した。

著者数 x_d の増加率は、国内研究の著者数 b' の増加率とほとんど同じように推移した。1975-1993 年の x_d の増加率は 12-13% であり、1996-2005 年にゼロとなり、2005-2014 年はマイナス（-5%）であった。

著者数 x_{di} の増加率も著者数 b' あるいは x_d の増加率と同様に年が経つにつれて小さくなったが、両者より遅れて推移した。1975-1984 年の x_{di} の増加率は 50% 以上であり、1984-1993 年は約 25% であった。 x_{di} の増加率が 6% 程度まで低下して 1984-1993 年の x_d の増加

率に近くなったのは1996-2005年であった。しかし、そのとき x_d の増加率はすでにゼロであった。

このように1990年代後半から2000年代前半では、 x_{di} の増加率の変化は x_d の増加率の変化より1期間分（平均値を計算した10年間）ほど遅れていた。しかし、2005-2014年には x_{di} の増加率は一気にマイナス（-4%）となり、 x_d の増加率（-5%）とほぼ同じになった。 x_{di} は x_d より10年ほど遅れて増えていったが、2002年頃に x_d が最大値に達して減少に転じると、 x_{di} もすぐに減少し始め、その結果、2005-2014年に x_d の減少率は x_{di} の減少率に追いついたことがわかる。

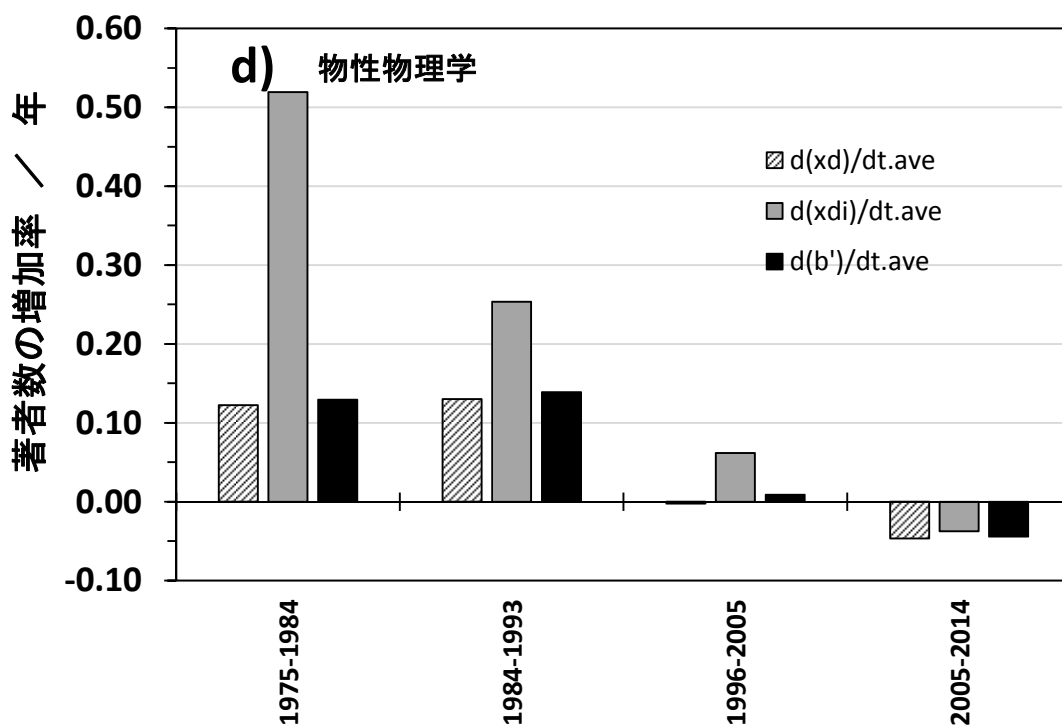


図 4-9d 物性物理学の著者数の増加率

【注 3】国内研究だけを行った著者数 x_d の増加率(dx_d/dt)は斜線棒、国内研究と海外共同研究の両方を行った著者数 x_{di} の増加率(dx_{di}/dt)は ; 灰色棒、国内研究の著者数 b' ($=x_d+x_{di}$)の増加率(db'/dt)は黒棒。【注 4】増加率は年率。

e. 著者数 x_d の増加率と著者数 x_{di} の増加率：図 4-9e

図 4-9e に x_d と x_{di} の増加率（10年間の平均値）の時間的な経過をわかり易く示した。2005年までの推移の様子を見ると、国内研究だけの著者数 x_d の増加率（横軸）が国内研究

と海外共同研究の両方の著者数 x_{di} の増加率（縦軸）より常に小さい。そして x_d の増加率が 1996-2005 年でまずゼロになり、2005-2014 年に x_d と x_{di} の増加率はどちらもマイナスでほぼ同じ大きさになった。 x_{di} の増加率が x_d の増加率をあとから追いかけるように減少し、両者がマイナスとなったときに追いついた。

x_d の増加率の減少が x_{di} の増加率の減少より先行した状況を詳しくみるために、4 年ごとの増加率を[期間： x_d の増加率、 x_{di} の増加率]のように表記して以下に示す：[1984-1987：0.190、0.150]、[1987-1990年：0.119、0.487]、[1990-1993；0.018、0.123]、[1996-1999：0.012、0.143]、[1999-2002：0.025、0.06]、[2002-2005：-0.044、-0.018]。

x_d の増加率が 1984-1987 年に最高値（0.19）を示したあと、 x_{di} の増加率は 3 年遅れて 1987-1990 年に最高値（0.487）を示した。 x_d の増加率は 1987-1990 年に 0.119 であり、 x_{di} の増加率は 3 年遅れて 1990-1993 年に 0.123 になった。つぎの 1993-1996 年の増加率はデータ不備のため比較できないので、1996-1999 年の x_d の増加率と 1999-2002 年の x_{di} の増加率を比較すると、 x_d の増加率は 1996-1999 年に 0.012 であり、 x_{di} の増加率は 3 年遅れて 1999-2002 年に 0.06 になった。

図 4-9d の考察において、 x_d と x_{di} の増加率の 10 年間の平均値の変動の様子から「1990 年代後半から 2000 年代前半では、 x_{di} の増加率の変化は x_d の増加率の変化より 10 年ほど遅れていた」と推測した。上で示したように 4 年ごとの増加率の変化を詳細に比較した結果、「1984-2002 年において、 x_{di} の増加率は x_d の増加率より 3 年遅れて推移した」と推測できる。4 年ごとの変化のほうが 10 年ごとに変化より実態に近いという考え方もあるが、それでも 1 年ごとの変化を見たわけではないので、ここでは「 x_{di} の増加率の変化は x_d 増加率の変化より 3 年から 10 年ほど時間差があった」と結論するに留める。

2002 年以降の x_{di} と x_d の増加率を比較すると、興味深い変化が観察できる：両者の間に変化の時間差が見られなくなった。4 年ごとの変化では x_d の増加率と x_{di} の増加率は 1999-2002 年ではいずれもプラス[1999-2002：0.025、0.06]であったが、2002-2005 年ではいずれもマイナス[2002-2005：-0.044、-0.018]になった。つまり、2000 年から 2004 年のあいだでゼロになったと考えられる。この場合、最大 4 年の時間差がある。図 4-9b の棒グラフから判断すれば、その転換点は x_d と x_{di} のどちらも 2002-2003 年であることがより確からしい。

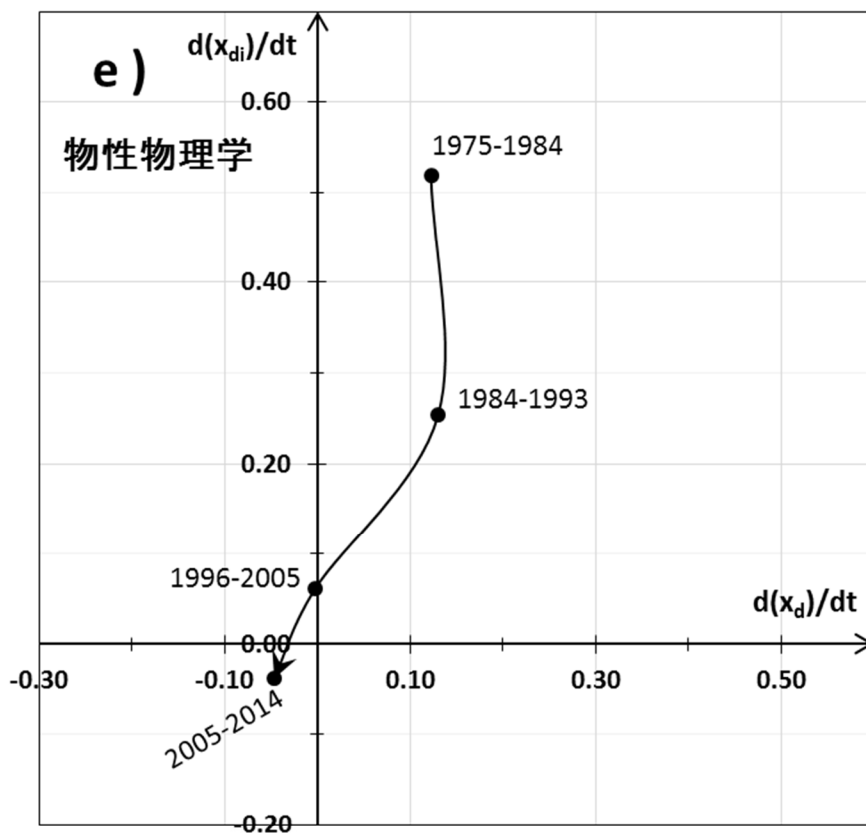


図 4-9e 物性物理学の国内研究だけを行った著者数 x_d の増加率(dx_d/dt)と国内研究と海外共同研究の両方を行った著者数 x_{di} の増加率(dx_{di}/dt)の関係

【注 5】 増加率は年率。

x_{di} の増加率と x_d の増加率の変動に 3 年から 10 年の時間差 (x_{di} の増加率の変化が x_d の増加率の変化より遅れる) があることが確認できたので、その意味を考える。一つの仮説は研究者の成長に必要な経験期間と考えることである：「 x_{di} の増加率と x_d の増加率の変動に見られる 3 年から 10 年の時間差は国内研究の研究者が海外共同研究の著者になるまでに必要な経験期間である」。この時間差については、5.4.3. (図 5-18、図 5-19) で議論する。

2002 年以降、 x_d と x_{di} の変動のあいだに時間差が見られなくなった。これはこの分野で研究者として経験を積み、成長した中堅研究者 (国内研究と海外共同研究の両方を行う研究者) がこの研究分野において早い時期から論文を書かなくなったことを意味する。可能性は

2つある：ひとつは研究経験を積んだ中堅研究者が物性物理分野から退出し始めたこと、もう一つは国内研究だけをしてきた研究者がこの分野から退出したために中堅研究者に成長してこの分野で海外共同研究に参加しなかったことである。いずれにして物性物理分野から研究者が退出した可能性が考えられる。

f. 物性物理学のまとめ

以上の結果をまとめると、(a) x_d が 2001 年頃に最大値になり、 x_{di} が 2004 年頃に最大値になった；(b) 国内研究だけの研究者数 x_d の増加率が 1984-1987 年頃から低下し、1987-1990 年から国内研究と海外共同研究の両方を行った研究者数 x_{di} の増加率が低下した；(c) 1975-2014 年のあいだ、国内群の著者 1 人当たりの年間論文数（約 0.5 報）と国内外群の著者 1 人当たりの年間論文数（約 1 報）はほぼ一定であった。

本研究における研究者の定義は論文の著者と同義である。従って、引退は論文の著者数が減少する大きな要因のひとつであるが、ある研究分野の著者数が減少する原因は引退だけではない。研究者が主として論文を書く研究分野を変更して新しい研究分野で論文を書くようになれば、前の研究分野の著者数（研究者数）が減少する。研究者数が急激に減少した場合、研究者が研究分野間を移動した可能性が考えられる。

物性物理学分野では 2002 年以降、 x_d と x_{di} の変動の時間差がなくなり、新規参入者数が減少すると同時に、経験者数が減少した。これは新規参入者（ x_d ）が経験者（ x_{di} ）に成長する前に既存の中堅研究者が物性物理分野から退出したためであると考えられる。

4.6.2. 応用物理学

図 4-10 に応用物理分野の論文数と著者数の推移（1975-2014）を示す。図 4-10a に国内研究の論文数と海外共同研究の論文数、図 4-10b に著者数（国内研究だけを行った著者数 x_d 、国内研究と海外共同研究の両方を行った著者数 x_{di} 、国内研究の著者数 b' ）、図 4-10c に国内研究の論文数 b と著者数 b' （ $=x_d+x_{di}$ ）の関係、図 4-10d に著者数 x_d の増加率(dx_d/dt)、著者数 x_{di} の増加率(dx_{di}/dt)、著者数 b' 増加率(db'/dt)、図 4-10e に著者数 x_d の増加率(dx_d/dt)と著者数 x_{di} の増加率(dx_{di}/dt)の関係を示す。

a. 日本の論文数 a と国内研究の論文数 b 、海外共同研究の論文数 c : 図 4-10a

図 4-10a に応用物理学の日本の論文数 a ($a=b+c$)、国内研究の論文数 b 、海外共同研究の

論文数 c の 3 年ごとの推移を示す。 a (実線) は 1999 年まで急激に増加し、2002 年に 6,000 報に達したあと、緩やかに増加して 2005 年に 6,200 報を越えた。2008 年も 6,200 報を越えたが、2011 年には約 5,600 報に落ち込み、その後も減少した。 b (黒棒) は 2002 年に約 5,000 報となり、その後 2008 年まで 5,000 報を維持したが、2011 年には約 4,200 報に急減し、2014 年はさらに減少した。一方、 c (白棒) は 1990 年に約 200 報だったが、年々増加して 2002 年に約 1,000 報になり、2000 年代も増加を続け、2014 年には 1,500 報弱に増えた。 c の増加率 (年率) は 2002-2011 年で約 3% であった。

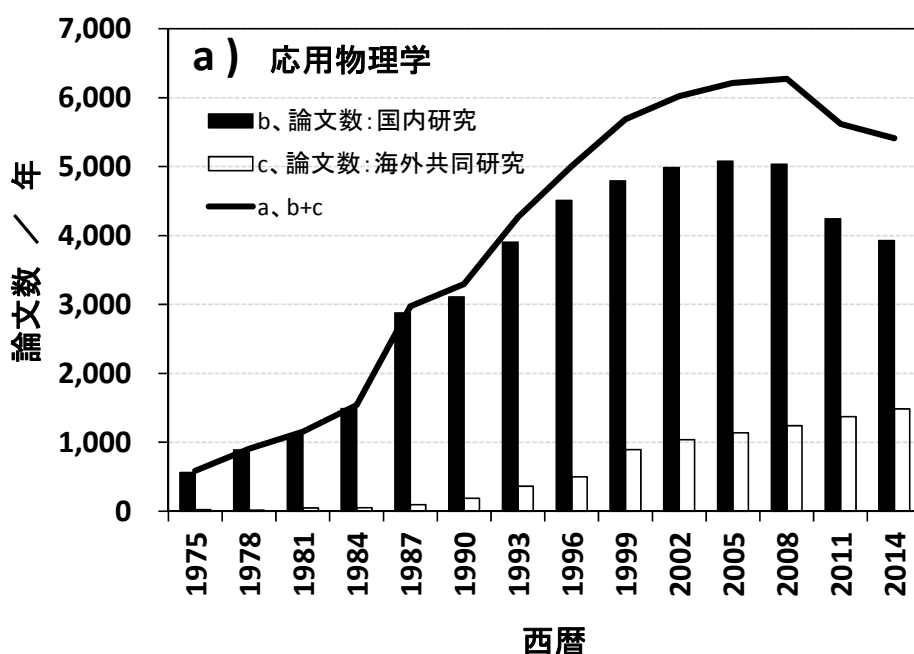


図 4-10a 応用物理学の論文数の推移

【注 1】国内研究の論文数 b は黒棒、海外共同研究の論文数 c は白棒、日本の論文数 a は実線 ($a=b+c$)。【注 2】論文数は Web of Science®, SCI-EXPANDED を用いて検索した (検索日 2016 年 9 月 16 日)。

b. 3 種類の著者数 x_d 、 x_{di} 、 b' : 図 4-10b

図 4-10b に国内研究論文の 3 種類の著者数 (国内研究のみ x_d 、国内と海外の両方 x_{di} 、国内研究 $b'=x_d+x_{di}$) の 3 年ごとの推移 (左軸) と、 x_{di} の b' に対する比率 f_{di} 、すなわち国内研究を行った著者のうち、海外共同研究も行った著者の割合 $x_{di}/(x_d+x_{di})$ の推移 (右軸) を示す。

著者数 b' (実線) は 2008 年に最大となり、2011 年から減少した。著者数 x_d (斜線棒)

は2008年に約7,500人で最大となったが、2011年から減少して2014年には約6,200人まで減少した。著者数 x_{di} 、(灰色棒) は1990年に250人ほどであったが、年々増加して2002年に1,400人弱となり、2000年代も毎年少しずつ増え、2014年には1,700人強になった。

x_d は減少したが、 x_{di} が少しずつ増えた。2008年以降、新規参入の研究者が減る一方で、国内共同研究をしていた研究者が海外共同研究を行うようになったと推察される。これは x_{di} の b' に対する比率 f_{di} (破線) が2002-2008年のあいだ0.2弱でほぼ一定だったが、2011年から増えて2014年に0.2を越えたことから伺える。

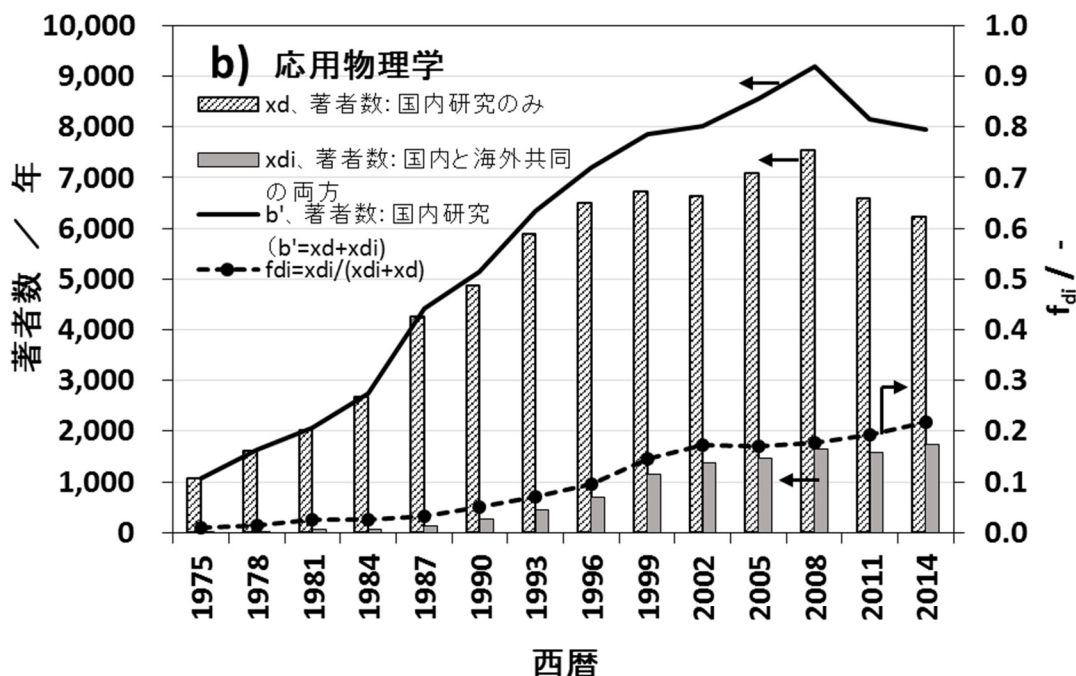


図 4-10b 応用物理学の著者数の推移

【注 2】国内研究のみの著者数 x_d は斜線棒、国内研究と海外共同研究の両方を行った著者数 x_{di} は斜線棒、国内研究の著者数 b' ($=x_d+x_{di}$) は実線、国内研究と海外共同研究の両方を行った著者数の国内研究の著者数に対する比率 f_{di} ($=x_{di}/(x_d+x_{di})$) は破線。

c. 国内研究の論文数 b とその著者数 b' : 図 4-10c

図 4-10c に国内研究の論文数 b とその著者数 b' の関係を示す。2008 年を境に論文数と著者数は減少に転じた。1975-2005 年までの 30 年のあいだ、論文 1 報当たりの著者数 (図の原点と各年のプロットを結ぶ直線の傾き) は平均 1.7 人/報、2008-2014 年平均は 1.9 人

／報であった。2008 年を境に論文 1 報当たりの著者数はわずかに増える傾向が見られるが、ほとんど同じである。国内群の著者の著者 1 人当たりの年間論文数は 1975-2014 年のあいだほぼ一定（約 0.57 報／人）である。

海外共同研究論文の著者のうち、海外共同研究しか行なわなかった日本の研究者数 x_i は求めることができないが、 x_{di} と比較して無視できる人数であると仮定して、研究者数 x_{di} と海外共同研究論文数 c との比 (c/x_{di}) 、すなわち海外共同研究に関わった日本の研究者 1 人当たりの論文数を計算した。 (c/x_{di}) は 1975 年から 2014 年まで 1 人年間 0.8 報前後でほぼ一定であった：1978 年では 0.7 報／人、1981 年では 1.0 報／人、1984 年では 0.8 報／人、1987 年では 0.7 報／人、1990 年では 0.7 報／人、1993 年では 0.8 報／人、1999 年では 0.8 報／人、2002 年では 0.8 報／人、2005 年では 0.8 報／人、2008 年では 0.8 報／人、2011 年では 0.9 報／人、2014 年では 0.9 報／人。

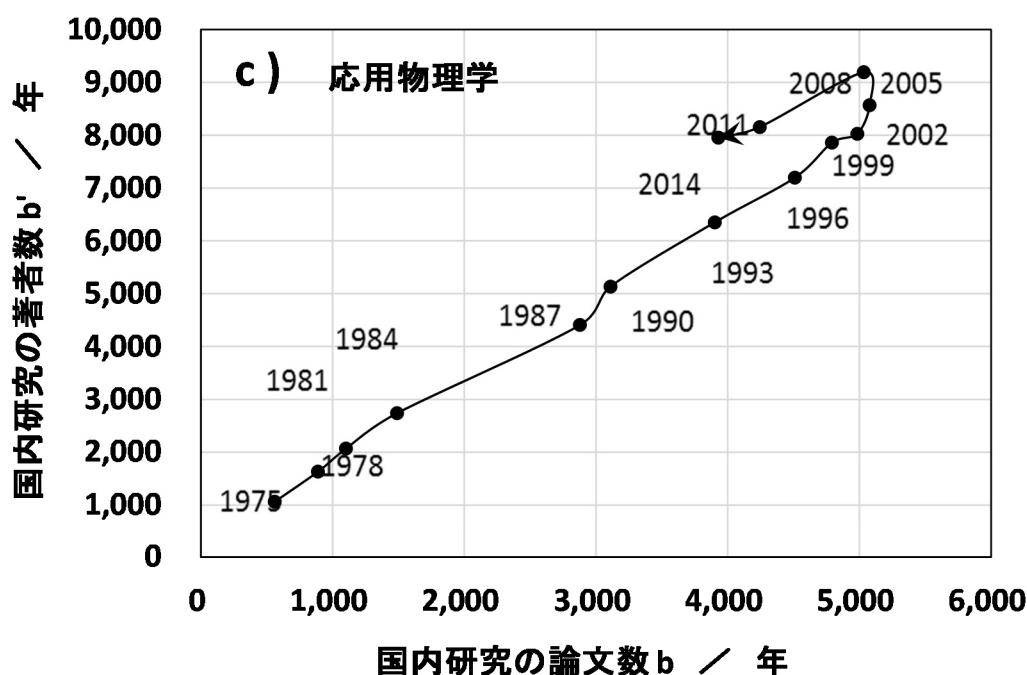


図 4-10c 応用物理学の国内研究の論文数 b とその著者数 b' ($=x_d+x_{di}$) の関係

d. 3 種類の著者数の増加率：図 4-10d

図 4-10d に 3 種類の著者数の増加率の平均値（10 年間ごと）を示す：国内研究だけの著

者数 x_d の増加率（年率、斜線棒）、国内研究と海外共同研究の両方に関係した著者数 x_{di} （年率、灰色棒）の増加率、国内研究の著者数 b' （ $b'=x_d+x_{di}$ ）の増加率（年率、黒棒）。

国内研究の著者数 b' の増加率（黒棒）は 1975-1993 年のあいだ 10%前後であったが、バブル崩壊後（1996-2005）は 2%となって著者数 b' の増加は鈍化した。2000 年代半ば以降（2005-2014）、著者数 b' の増加率はマイナス（-1%）となり、著者数 b' は減少した。

国内研究だけの著者数 x_d の増加率は、国内研究の著者数 b' の増加率とほとんど同じように推移した。1975-1993 年の x_d の増加率は 10%前後、1996-2005 年は 1%、2005-2014 年はマイナス（-1%）であった。

著者数 x_{di} の増加率は両者より遅れて推移した。1975-1993 年の x_{di} の増加率は 25%前後であったが、1996-2005 年は約 9%に減少して 1 期間前（1984-1993）の x_d の増加率と同程度になった。さらに 2005-2014 年には約 2%となり、やはり 1 期間前（1996-2005）の x_d の増加率と同程度になった。

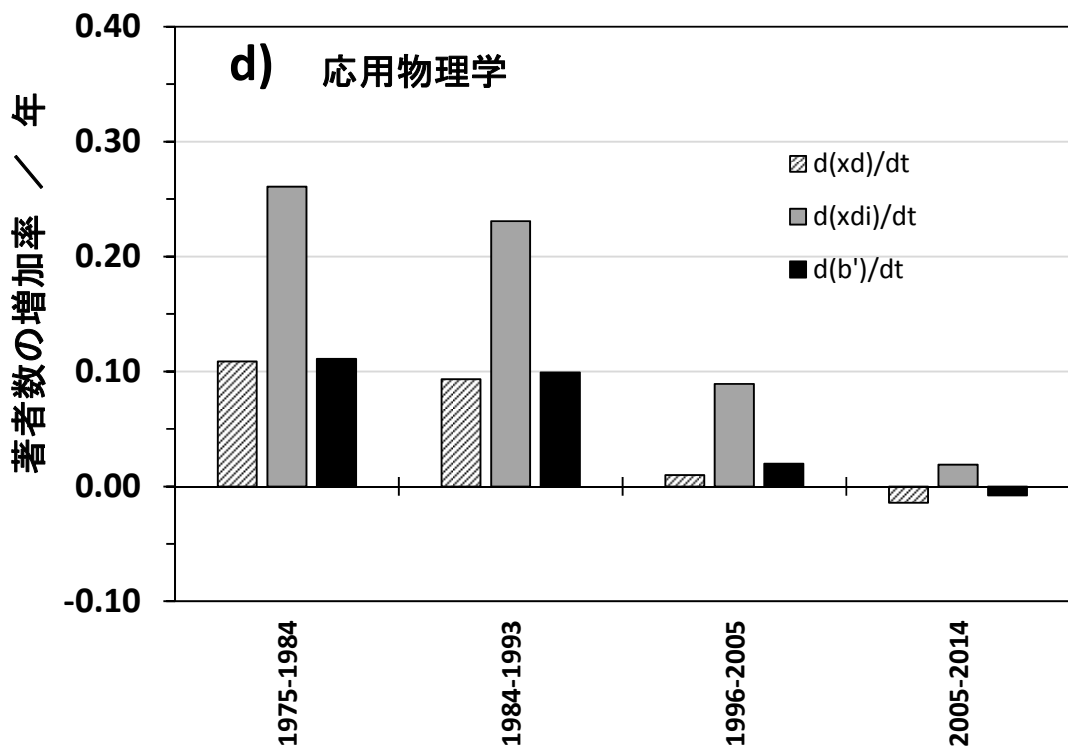


図 4-10d 応用物理学の著者数の増加率

【注 3】国内研究だけを行った著者数 x_d の増加率(dx_d/dt)は斜線棒、国内研究と海外共同研究の両方を行った著者数 x_{di} の増加率(dx_{di}/dt)は ; 灰色棒、国内研究の著者数 b' ($=x_d+x_{di}$)の増加率(db'/dt)は黒棒。【注 4】増加率は年率。

e. 著者数 x_d の増加率と著者数 x_{di} の増加率 : 図 4-10e

図 4-10e に x_d と x_{di} の 10 年間の増加率の平均値の推移を示した。 x_d の増加率がゼロになった年は、1996-2005 年の後半か 2005-2014 年の前半のどちらかであると考えられる。図 4-10b を参考にすれば、2008 年前後で x_d が最大値に達した可能性が高そうである。したがって x_d の増加率がゼロになった年は 2008 年前後と考えるのが妥当である。また x_{di} の増加率は 2005-2014 年のあいだにゼロになった可能性はあるが、図 4-10b の x_{di} の推移を参考にすれば、 x_{di} は 2011-2014 年でやや増えているので、 x_{di} の増加率は 2014 年にはまだゼロではなかったと考えるほうが妥当である。

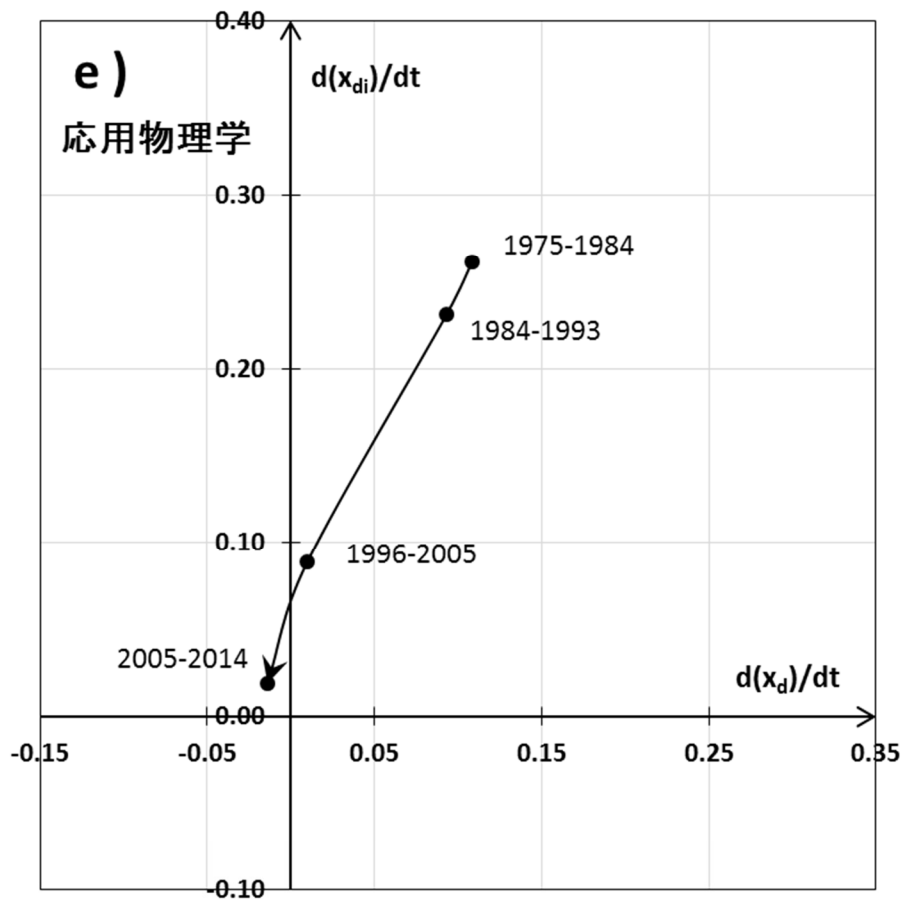


図 4-10e 応用物理学の国内研究だけを行った著者数 x_d の増加率($d(x_d)/dt$)と国内研究と海外共同研究の両方を行った著者数 x_{di} の増加率($d(x_{di})/dt$)の関係

【注 5】増加率は年率。

応用物理分野の著者数の増加率の変動を物性物理分野と比較すると、著者数 x_{di} の変動において違いがある。物性物理分野では、1990 年代後半から 2000 年代前半にかけて x_{di} の増加率の変化は x_d の増加率の変化より 1 期間分 (平均値を計算した 10 年間) ほど遅れていたが、2005-2014 年では x_{di} の増加率は一気に x_d の増加率と同程度となり、1 期間分の遅れがなくなった。応用物理分野では 1990 年代後半から 2010 年代前半まで物性物理分野と同様に x_{di} は x_d より 10 年ほど遅れて変化していたが、2005-2014 年において著者数 x_{di} の増加率が一気に x_d の増加率と同程度にはならなかった。

これは応用物理分野では、2008 年から新規参入した研究者が減少したことにより著者数 x_d は減少したが、研究経験を積んだ中堅研究者が引き続き応用物理分野で研究を続けたた

めに著者数 x_{di} が減少しなかったと考えられる。すなわち、応用物理分野では、2014 年の時点で x_{di} は x_d より少なくとも 6 年ほど遅れて変化しており、著者数 x_d が減少したあと、研究経験を積んだ中堅研究者がこの分野で研究を続けたと考えられる。

f. 応用物理学のまとめ

以上の結果をまとめると、つぎの 2 点が明らかになった：(a) 2008 年以降、新規参入の研究者が減ったために国内群の著者数 x_d は減少したが、国内研究をしていた研究者が中堅研究者に成長して応用物理分野で海外共同研究を行うようになり、国内外群の著者数 x_{di} は減少しなかった；(b) x_d の増加率が 1984-1987 年頃から低下し、1987-1990 年から国内研究と海外共同研究の両方を行った研究者数 x_{di} の増加率が低下した；(c) 1975-2014 年のあいだ、国内群の著者 1 人当たりの年間論文数は 1975-2014 年のあいだほぼ一定（約 0.57 報/人）であった。国内外群の著者 1 人当たりの年間論文数は 1975-2014 年のあいだほぼ一定（約 0.8 報/人）であった。

4.7. 2000 年代に論文数が増加した研究分野の論文数と研究者数

4.7.1. 光学

図 4-11 に光学分野の論文数と著者数の推移（1975-2014）を示す。図 4-11a に国内研究の論文数と海外共同研究の論文数、図 4-11b に著者数（国内研究だけを行った著者数 x_d 、国内研究と海外共同研究の両方を行った著者数 x_{di} 、国内研究の著者数 b' ）、図 4-11c に国内研究の論文数 b と著者数 b' ($=x_d+x_{di}$) の関係、図 4-11d に著者数 x_d の増加率(dx_d/dt)、著者数 x_{di} の増加率(dx_{di}/dt)、著者数 b' 増加率(db'/dt)、図 4-11e に著者数 x_d の増加率(dx_d/dt)と著者数 x_{di} の増加率(dx_{di}/dt) の関係を示す。

a. 日本の論文数 a と国内研究の論文数 b 、海外共同研究の論文数 c ：図 4-11a

図 4-11a に光学の日本の論文数 a ($a=b+c$)、国内研究の論文数 b 、海外共同研究の論文数 c の 3 年ごとの推移を示す。論文数 a (実線) は 1975 年 (100 報強) から 2014 年 (約 1,500 報) までほぼ毎年増加した。1996 年に 900 報弱に達したあと 1999 年には 1,200 報に迫る勢いで急激に増えた。2000 年代は論文数の伸びが緩やかになったが、2011 年に 1,400 報を超えて増加を続けた。論文数 b (黒棒) は、1975 年に 100 報強であったが、年々増加して 1999 年に 900 報弱になった。しかし、2000 年代は増加が緩やかになり、2014 年の年間論

文数は 1000 報弱に止まった。

光学の海外共同研究の論文数の増加率は、2002-2005 年で約 7%、2005-2008 年で約 5%、2008-2011 年で約 6%であった。この増加率は日本全体の海外共同研究の論文数の増加率 (4%) より高く、光学分野で海外共同研究が盛んだったことが判る。

このように光学分野では、2000 年代に国内研究と海外共同研究のいずれの論文数も増加した。4.5.で示したように、日本全体の国内研究の論文数 b (図 4-8、黒棒) が 2000 年代に減少した。また 4.6.で検討したように、2000 年代に論文数が停滞～減少した研究分野の国内研究の論文数はすべて減少した。これらの事実と比較すると、光学の国内研究が 2000 年代に緩やかであっても論文数が増加したことは大きな特徴である。

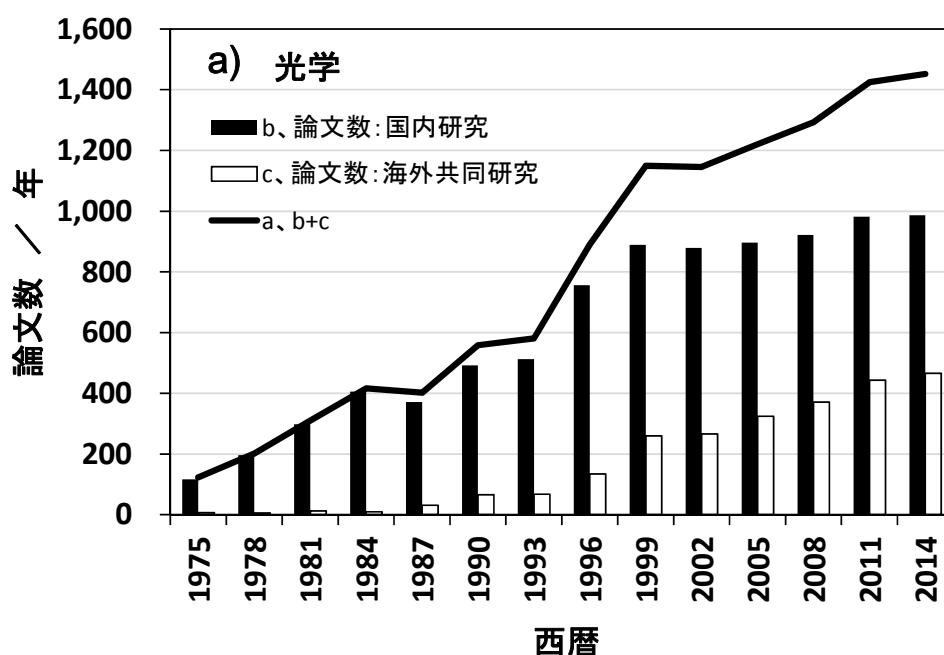


図 4-11a 光学の論文数の推移

【注 1】国内研究の論文数 b は黒棒、海外共同研究の論文数 c は白棒、日本の論文数 a は実線(a=b+c)。【注 2】論文数は Web of Science®, SCI-EXPANDED を用いて検索した (検索日 2016 年 9 月 16 日)。

b. 3 種類の著者数 x_d 、 x_{di} 、 b' : 図 4-11b

図 4-11b に国内研究の論文の著者数 (国内研究のみ x_d 、国内と海外の両方 x_{di} 、国内研究

の著者数 $b' = x_d + x_{di}$ の 3 年ごとの推移（左軸）と、 x_{di} の b' に対する比率 $f_{di} (= x_{di} / (x_d + x_{di}))$ の推移（右軸）を示す。

著者数 b' (実線) は年々増え続け、1999 年に約 1,150 人だった著者数が 2014 年に約 1,450 人に増えた。内訳をみると、 x_d と x_{di} のいずれも増加したが、 x_{di} の b' に対する比率 f_{di} (破線) が 2000 年代も年々高くなった。新規参加者が順調に成長して、海外共同研究を行う中堅の研究者として光学分野で活躍していることが判る。

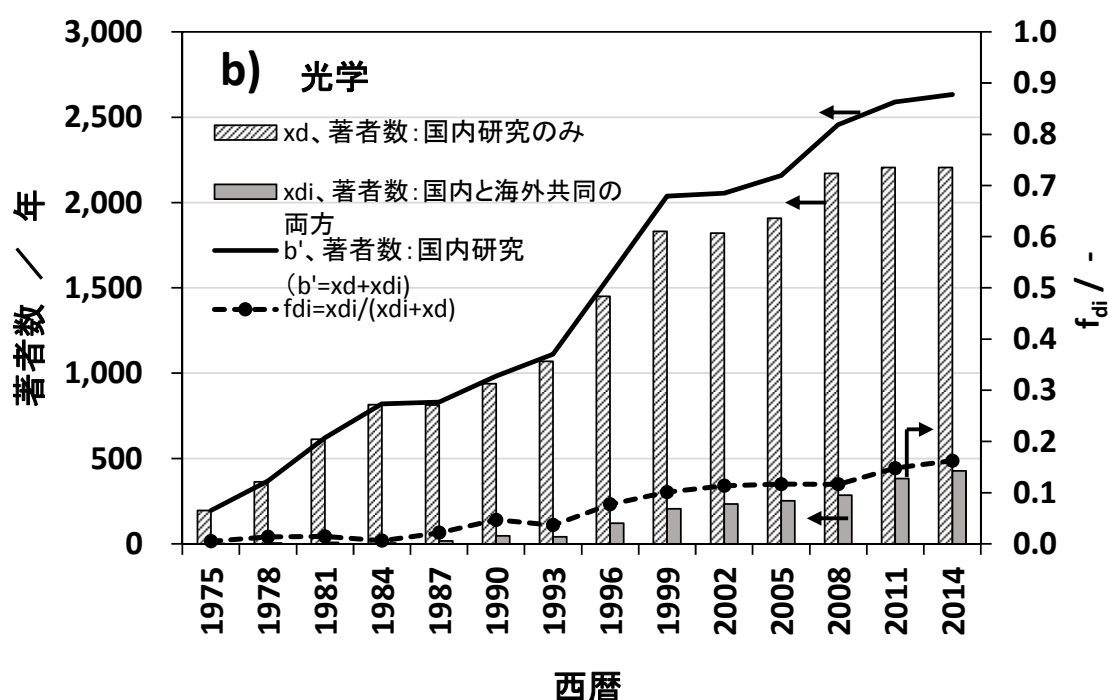


図 4-11b 光学の著者数の推移

【注 2】国内研究のみの著者数 x_d は斜線棒、国内研究と海外共同研究の両方を行った著者数 x_{di} は斜線棒、国内研究の著者数 $b' (=x_d+x_{di})$ は実線、国内研究と海外共同研究の両方を行った著者数の国内研究の著者数に対する比率 $f_{di} (= x_{di} / (x_d + x_{di}))$ は破線。

c. 国内研究の論文数 b とその著者数 b' : 図 4-11c

図 4-11c に国内研究の論文数 b とその著者数 b' の関係を示す。1975 年から 1996 年まで論文 1 報当たりの著者数 (b'/b ; 図の原点と各年のプロットを結ぶ直線の傾き) は平均 2.0 人/報 (最小 1.7 ; 最大 2.2) で大きく変動しなかった。1999 年から b'/b (論文 1 報当たり

の著者数)は徐々に増えて2014年に2.7人/報になった。1999年から2014年の b/b (論文1報当たりの著者数)の平均は2.5人/報である。この論文1報当たりの著者数が推移する様子はその値の大きさと時期が物性物理とほぼ同じであった。

物性物理と光学の2分野を比較すると、国内論文の論文数と著者数の増減ではまったく反対の傾向を示すが、論文1報当たりの著者数 b/b の大きさと2000年頃を境に増える傾向は同じであった(物性物理では1975-2002年で1.8人/報、2002-2014年で平均2.5人/報;光学では1975-1996年で平均2.0人/報、1999-2014年で平均2.5人/報)。応用物理でも大きな変化ではないが、2008年を境に上昇する傾向が見られた(1975-2005年で平均1.7人/報、2008-2014年で平均1.9人/報)。

これらの事実は論文1報当たりの著者数 b/b は研究分野に依存せず、日本の研究環境に共通の要因に支配されていることを伺わせる。

国内研究の著者1人当たりの年間論文数を求めると、1975-1993年では0.5報/人、1996-2014年では0.4報/年であった。1975-2014年では0.45報/年となり、国内研究の著者1人当たりの年間論文数は1975-2014年のあいだ、ほぼ一定であったといえる。

海外共同研究論文の著者のうち、海外共同研究しか行なわなかった日本の研究者数 x_i は求めることができないが、 x_{di} と比較して無視できる人数であると仮定して、研究者数 x_{di} と海外共同研究論文数 c との比 (c/x_{di}) 、すなわち海外共同研究に関わった日本の研究者1人当たりの論文数を計算した。 (c/x_{di}) は1975年から1993年まで1人年間1.6報前後であった:1978年では1.2報/人、1981年では1.3報/人、1984年では2.0報/人、1987年では1.7報/人、1990年では1.4報/人、1993年では1.7報/人。しかし、1990年代前半までの海外共同研究論文数は年間6-68報、国内外群の研究者数は1-46人と少ないため、 x_i が無視できるという仮定が成立しない可能性がある。

1996年以降になると海外共同研究論文数は年間200報以上、国内外群の研究者数は200人以上となった。 x_i が無視できると仮定して国内外群の研究者1人当たりの年間における国際論文数 (c/x_{di}) を計算すると、1996年から2014年まで1.2報前後で一定であった:1999年では1.3報/人、2002年では1.1報/人、2005年では1.3報/人、2008年では1.3報/人、2011年では1.2報/人、2014年では1.1報/人。

1990年代前半の国内外群の研究者1人当たりの年間における国際論文数 (c/x_{di}) は不確定であるが、1975-2014年のあいだ、 (c/x_{di}) は大きく変動しなかったと考えることは妥当である。

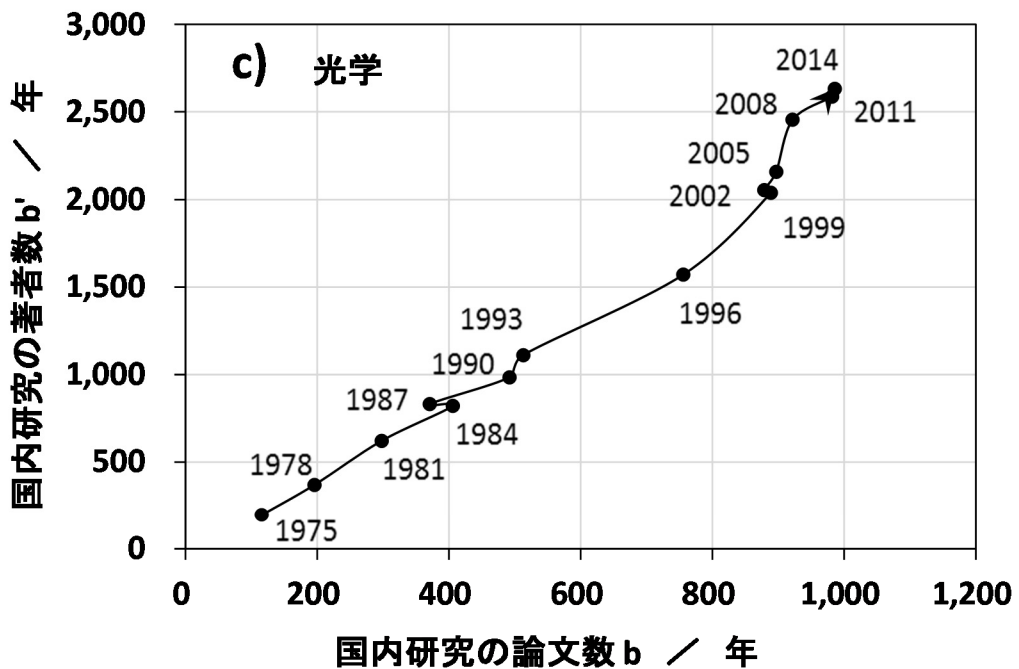


図 4-11c 光学の国内研究の論文数 b とその著者数 b' ($=x_d+x_{di}$) の関係

d. 3 種類の著者数の増加率：図 4-11d

図 4-11 d に 3 種類の著者数の増加率の平均値（10 年間ごと）を示す：国内研究だけの著者数 x_d の増加率（年率、斜線棒）、国内研究と海外共同研究の両方に関係した著者数 x_{di} （年率、灰色棒）の増加率、国内研究の著者数 b' ($b'=x_d+x_{di}$) の増加率（年率、黒棒）。

著者数 b' の増加率（黒棒）は 1975-1984 年のあいだ約 17% 前後であったが、1984-1993 年では約 3% となり、著者数 b' の増加は鈍化した。1996-2014 年においても 2-3% を維持しており、著者数 b' は増加を続けた。著者数 x_d の増加率は b' の増加率とほとんど同じように推移し、2005-2014 年においても 2% 弱を維持した。

著者数 x_{di} の増加率は、両者より 10 年ほど遅れて推移した。1975-1984 年の x_{di} の増加率は 25% 前後、1984-1993 年は 30% 弱に増加した。1996-2005 年に 10% 弱となったが、2005-2014 年においても約 6% を維持した。

x_d と x_{di} のどちらもプラスの値であり、 x_{di} は高い増加率を維持して増加している。

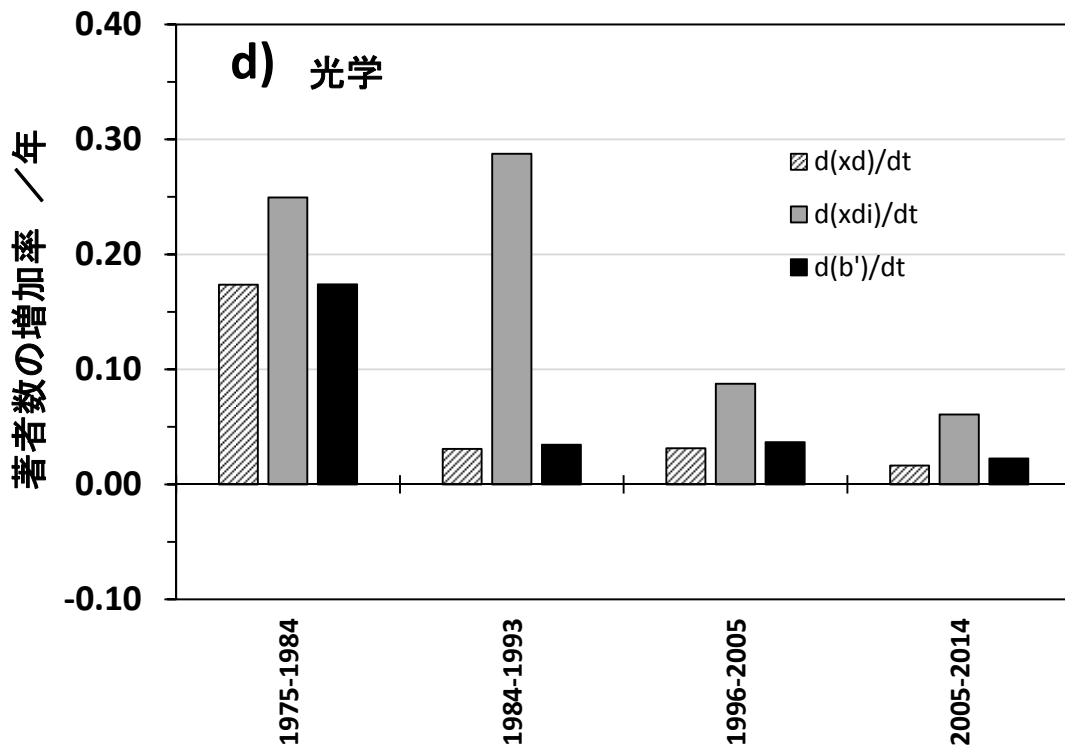


図 4-11d 光学の著者数の増加率

【注 3】国内研究だけを行った著者数 x_d の増加率(dx_d/dt)は斜線棒、国内研究と海外共同研究の両方を行った著者数 x_{di} の増加率(dx_{di}/dt)は ; 灰色棒、国内研究の著者数 b' ($=x_d+x_{di}$)の増加率(db'/dt)は黒棒。【注 4】増加率は年率。

e. 著者数 x_d の増加率と著者数 x_{di} の増加率 : 図 4-11e

図 4-11e に x_d と x_{di} の 10 年間の増加率の平均値の推移を示した。1975-1993 年は x_{di} は高い増加率を維持し、 x_d は増加率を大きく減少させ、バブルが崩壊した 1993 年以降は反対に x_{di} の増加率が大きく減少し、 x_d は増加率を維持したことがわかる。すなわち、国内の景気が良好な時期 (バブル期を含む) には x_{di} が高い増加率を維持し、 x_d は増加率を減少させる。国内の景気が悪い時期 (バブル期後) には x_{di} が増加率を大きく減少させ、 x_d は増加率を維持する。

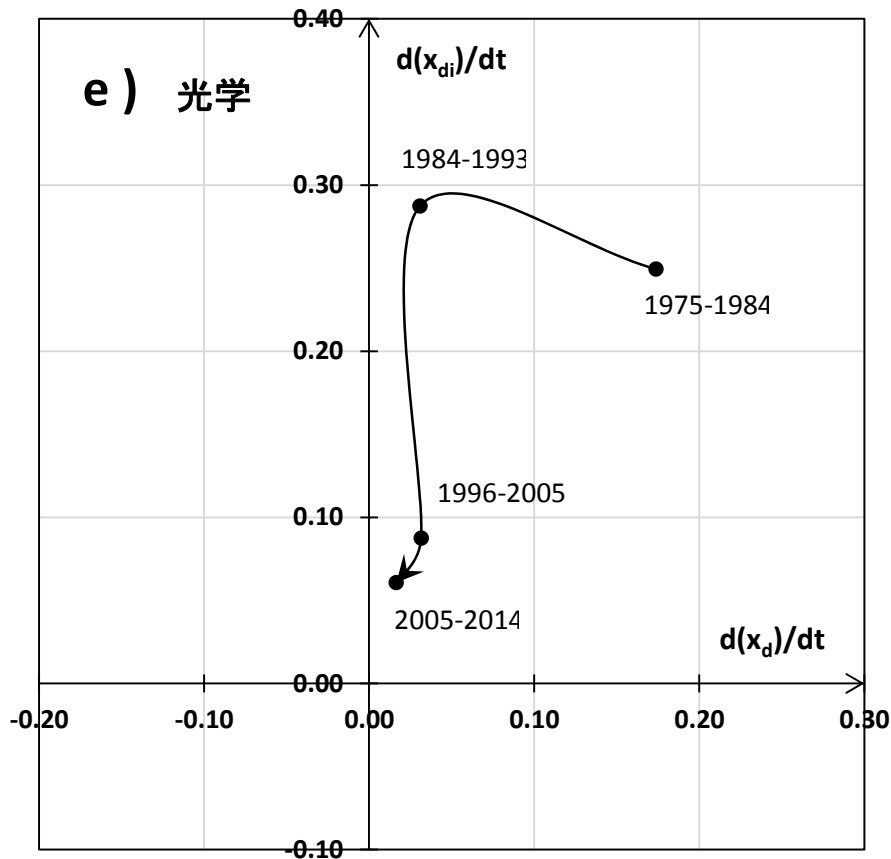


図 4-11e 光学の国内研究だけを行った著者数 x_d の増加率(dx_d/dt)と国内研究と海外共同研究の両方を行った著者数 x_{di} の増加率(dx_{di}/dt)の関係

【注 5】増加率は年率。

この国内研究と海外共同研究に関わる著者数の増加率の関係は、国内研究と海外共同研究の論文数の関係と対応する。すなわち、国内の景気が良好な時期（バブル期）には、国内研究論文数 b は増加率を維持して増えるが、国内研究に関わる著者数 x_d の増加率は減少する。同じ時期に海外共同研究論文数 c は増加率が低下するが、海外共同研究にかかわる著者数 x_{di} は高い増加率を維持する。

「景気が良好な時期は国内研究の論文数は増加し、かつ海外共同研究に関わる著者が増える」。このような状況はつぎのように考えれば合理的に説明することができる：景気のよい時期に多くの若手層の研究者が海外共同研究を始めて中堅研究者層に移る。中堅層に移ったばかりの研究者は複数の論文に関わることは少ないとすれば、研究者数 x_{di} が増えて

増加率が高くなったとしても、論文数 c の増加率は低下する可能性がある。

f. 光学のまとめ

光学分野で特徴的なことは、(a) 1975-2014 年のあいだ、 b' 、 x_d 、 x_{di} の増加率はいずれもプラスであり、(b) 1984-2014 年の 31 年もの長期にわたり x_d が 2-3% で安定だった (図 4-11e) ことである。特に(c) 2005-2014 年の 10 年間で x_d の増加率がプラスだった研究分野は光学分野だけである (図 4-11d)。

光学以外の研究分野では 2000 年代半ばから新規参入者である国内研究のみの著者数 x_d が減ったなかで、光学分野で x_{di} と x_d がプラスの増加率を維持した結果、海外共同研究と国内研究に関わる中堅研究者数が増え、若手層から中堅層への移行が進んだ。

4.8. まとめ

- (1) 日本の論文数は 1990 年代末に増加を止め、2000 年代は 70,000 報強を維持した。
 1. 1975-2014 年の論文数合計が多かった 100 分野のうち、61 分野で 2000 年代になってから論文数が減少した (A 群) が、39 分野では増加した (B 群)。A 群の減少と B 群の増加の幅が等しかったため、2000 年代の日本の論文数はほぼ停滞した。
 2. 国内研究論文 (国内論文) と海外共同研究論文 (国際論文) に分けると、2000 年代以降、国内論文数は減少し、国際論文数は増加した。
 3. 国内の景気が良い時期には、国際論文の増加率は大きく変化せず、国内論文の増加率は低下する。国内の景気が悪い時期には、逆に国際論文の増加率が低下する傾向がある。論文数の増加率は日本の景気変動から直接・間接に影響を受け易い。
- (2) 日本の科学・技術を先導してきた物理学の論文数が 2004 年から急減した。サイエンス型産業を支えてきた基幹科学である物質科学、生化学・分子生物学の論文数も 2003 年前後を境に減少に転じた。化学もサイエンス型産業の一翼を担う基幹科学のひとつである。化学の論文数は 2000 年前後に増加が止まったが、2000 年代に大きく減少することはなかった。物理と化学の論文数の推移を比較すると、論文数の変動は大学だけの問題ではなく、産業界を含む社会全体の要因が影響していることを伺わせる。
- (3) 論文の書誌事項の著者名と研究機関の所属国名を分析して、研究者の共同研究属性 (海外共同研究論文の有無) を推定する分析法を提案した。2000 年代の論文数の推移の様子が異なる 3 つの研究分野について、研究者の共同研究属性を分析した。

1. 物性物理分野では、2000年代に国内論文数と国際論文数がともに減少した。国内研究の研究者数が激減し、海外共同研究を経験した中堅研究者数も減少した。これらの事実は物性物理分野へ若手研究者が参入しなかった可能性と中堅研究者が他の分野へ流出した可能性を示唆する。
2. 応用物理分野では、2000年代に国内論文数は減少したが、国際論文数は増えた。2000年代に国内研究の研究者数は減少したが、海外共同研究を経験した中堅研究者は少しずつ増えた。応用物理分野への新規参入する研究者が減る一方で、これまで国内共同研究をしていた研究者が海外共同研究を行うようになったと推察される。これらの事実は新規に参入する若手研究者の不足と若手層から中堅層への移行を示唆する。
3. 光学分野では、2000年代も国内論文数と国際論文数がともに増加した。国内研究の研究者数と海外共同研究を経験した研究者数がいずれも増え続けた。2005年以降に国内研究の研究者数の増えた研究分野は光学分野だけである。
4. 物性物理、応用物理、光学のいずれの研究分野においても、2000年代の論文数の増減に関わらず2000年代以降になって論文の共著者数が増えた。

5. 3主体における「知識と人」の実態：日本の物理学研究を事例に

前章では、日本の学術論文数の停滞という事態の詳細な構造を知るために、研究分野ごとに論文を共同研究属性（国内研究と海外共同研究）で2種類に分け、区分ごとの論文数と研究者数の推移を調べた。その結果、学術論文数の増加率の変動は国内の景気動向とよく同調することがわかった。また2000年以降の国内研究について分野ごとに論文数の推移を比較すると、研究分野の違いが論文数の増減に強く反映されていた。これは科学・技術の研究と産業との深い関わりを想起させる結果である。これらの事実は、論文数の減少は大学や学界の組織・運営に関わる問題であると同時に、社会の様々な知的活動の影響を受けていることを示唆している。

そこで本章では、物理論文数が急減した社会的な要因を把握するために「知識と人」社会循環モデルに基づいて、日本の物理学研究を取り巻く3つの主体（大学・企業・家庭）の実態をデータにより詳細に検討する。参照するデータは、企業の論文数と高校における物理履修率、物理系大学院の学生数などである。これらのデータが「知識と人」社会循環モデルにおける人と知識の流れのどの段階と対応するかを5.1.で説明したあと、個別の議論を進める。

5.1. 日本の物理学研究を取り巻く3主体における人の流れと知識の生産

図5-1は「知識と人」社会循環モデルの3主体（大学・企業・家庭）の内部とそれらの間を知識と人が流れる動的構造を描いた図である。この図はサイエンス型産業の位置づけを描いた図2-8を基に、日本の物理学研究に関わる人と知識に特化した循環図である。

横長の長方形が人である。黒の矢印は、人の流れ、すなわち時間の経過に伴って人が成長しながら主体から主体へ移る流れを表す。平行四辺形が知識である。青の矢印は、人が知識を生産する流れを表す。すなわち、大学あるいは企業の研究者が論文を発表し、企業の生産部門や販売部門などに所属する従業員が製品を生産し、販売する。緑の【 】は主体から主体へ人あるいは知識が移動するときの事象（出来事）を表す。

第5章で参照するデータが発生する位置を★印、●印、▲印で示す。★印は人に関するデータであり、黒矢印に沿って人が成長する時点に描かれている。●印は知識に関するデータであり、その知識の近傍に描かれている。▲印は主体に関するデータであり、その主体の内部に描かれている。

また大学で成長する人（大学生から研究者）を囲む四角の左側の破線の先に物理学分野の研究を例に、その人の所属・専攻・専門分野を示す。企業の研究員と研究者の四角の右側と従業員の四角の左側の破線の先に企業における所属を示す。

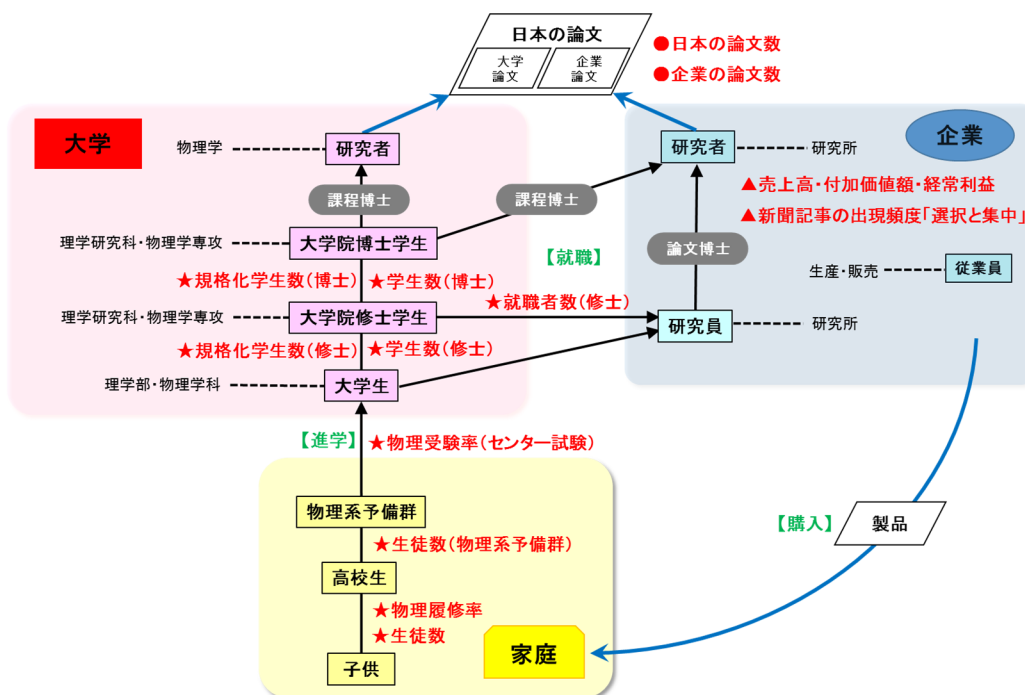


図 5-1 日本の物理学研究を取り巻く 3 主体における人の流れと知識の生産

【注 1】人は周囲を四角で囲んで示す。黒の矢印は、人の流れ、すなわち時間の経過に伴って人が成長しながら主体から主体へ移る様子を表す。【注 2】知識は周囲を平行四辺形で囲んで示す。青の矢印は、人が知識を生産する流れを表す。すなわち、大学あるいは企業の研究者が論文を生産し、企業に所属する人（省略して従業員と表示）が製品を生産する。【注 3】緑の【 】は主体から主体へ人あるいは知識が移動するときの事象（出来事）を表す。【注 4】第 5 章において参照するデータを★印、●印、▲印で示す。★印は人に関するデータ、●印は黒矢印に沿って人が成長する時点に描かれている。●印は知識に関するデータ、その知識の近傍に描かれている。▲印は主体に関するデータ、その主体の内部に描かれている。【注 5】大学で成長する人（大学生から研究者）を囲む四角の左側あるいは右側の破線の先に物理学分野の研究に関する場合を例に、その人の所属・専攻・専門分野を示す。企業の研究員と研究者の四角の右側と従業員の四角の左側の破線の先には企業における所属を示す。企業の従業員は研究員・研究者以外の経営者と従業員を代表して製造・販売部門に所属する従業員である。

5.2. 日本の物理論文数の推移：所属機関の影響

1975-2012 年に出版された物理学分野の論文のうち、少なくとも一人の著者が日本の研究機関に所属する論文を抽出し、大学と民間企業の 2 グループに振り分け、この期間の論文数の合計が多い上位 10 大学と上位 9 企業を選んだ。10 大学は上位から順に、東京大学、東北大学、大阪大学、京都大学、東京工業大学、名古屋大学、筑波大学、九州大学、北海道大学、広島大学であった。9 企業は上位から順に、パナソニック、NTT、富士通、東芝、日立、三菱電機、トヨタ自動車、NEC、ソニーであった。

図 5-2 に日本の物理論文数（太実線）並びに上位 10 大学（実線）と上位 9 企業（細実線）のそれぞれの物理論文数（左軸）の 1975-2012 年における推移を示す。図 5-2 には理学研究科と工学研究科の物理学専攻博士課程学生数（3 学年合計；右軸）の推移を重ねて示す。

上位 10 大学の論文数の推移は日本の物理論文数の推移とよく一致しており、2003 年にピークに達したあと、2012 年まで減少を続けた。企業の論文数⁴³は 1990 年代前半に 1,200-1,400 報のレベルに達したが、1996 年頃から減少し始め、2012 年に約 700 報になった。

日本の物理論文数（太実線）は 2003 年にピークを持つ大きなひと山の変化として観察されるが、著者の所属機関で大学論文と企業論文の 2 グループに分類すると、このひと山のなかにふたつのピーク——1990 年代前半の企業論文数のピークと 2003 年の大学論文数のピーク——が含まれていることが分かる。博士課程学生数は 1991 年まで増加したが、1990 年代前半に増加が緩やかになり、企業の論文数がピークに達した 1997 年頃から減少し始めた。

⁴³ 詳細は図 5-4 を参照のこと。

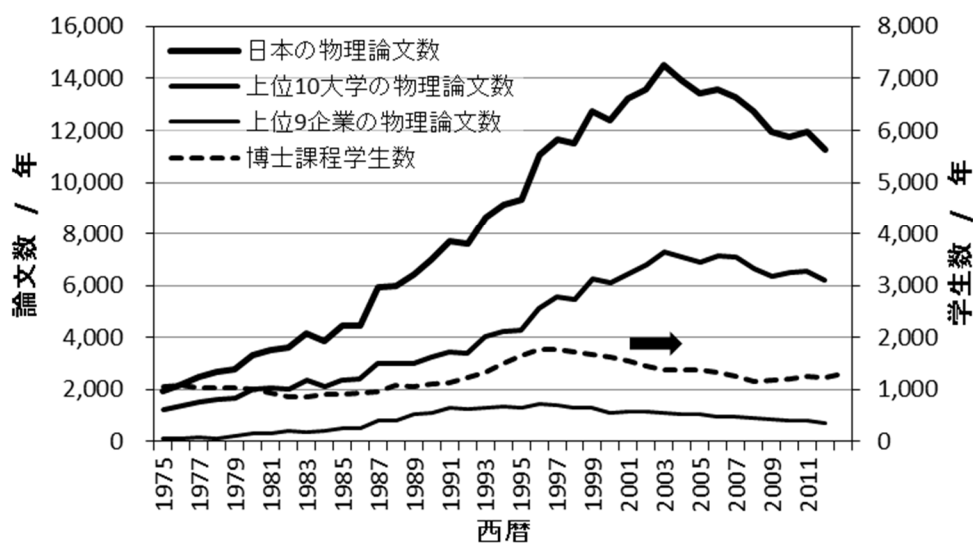


図 5-2 日本、日本の大学、日本の企業の物理論文数と物理専攻の博士課程学生数の推移

【注 1】太実線は日本の物理学、実線は上位 10 大学（東京大学、東北大学、大阪大学、京都大学、東京工業大学、名古屋大学、筑波大学、九州大学、北海道大学、広島大学）、細実線は上位 9 企業（パナソニック、NTT、富士通、東芝、日立、三菱電機、トヨタ自動車、NEC、ソニー）、破線は物理専攻の博士課程学生数。【注 2】論文数は Web of Science®, SCI-EXPANDED の検索結果。検索日は以下の通り：日本（2014 年 8 月 22 日）；大学（2014 年 3 月 6 日）；企業（2014 年 3 月 7 日）。【注 3】学生数は理学系物理学と工学系応用物理学を専攻する博士課程 3 学年に在学する学生数の合計である。文部省・文部科学省「学校基本調査」に依る。

図 5-3 に日本の物理論文数に占める上位 10 大学と上位 9 企業の論文数の割合を示す。1975 年後半における上位 10 大学の寄与率は 60-65%であったが、徐々に減少して 1990 年代前半には約 45%になった。反対に上位 9 企業の寄与率は 1990 年代前半において 5-10%であったが、年々増加して 1990 年頃まで 20%に迫る勢いで増加した。1990 年代初頭に 9 企業が 10 大学の論文数の 1/3 に相当する多数の論文を発表した事実は、当時の日本企業の研究活動が物理学研究に全体に大きな影響を与えていたことを示している。

企業の論文数が最も多かった 1991 年に 9 企業の貢献度は 18%で最高であったが、この年にバブル崩壊が始まった。9 企業の貢献度は 1992 年から減少し始め、2000 年に 10%を下回り、2012 年には 6%まで低下した。山口(2006)は、日本の電機・半導体産業に属する企

業9社（NTT、日立、NEC、東芝、三菱電機、富士通、松下電器、ソニー、キャノン）の学術論文寄与度⁴⁴を調べ、1992-1994年がピークだったことを報告した。永峰・山口（2007）によれば、応用物理学会における大手電機メーカー10社（パナソニック、ソニー、日立製作所、東芝、NEC、キャノン、富士通、シャープ、三菱電機、三洋電機）の発表件数は1993年をピークに減少に転じた。いずれも電機・半導体産業における研究開発が1990年代前半に縮小されたことを示唆している。

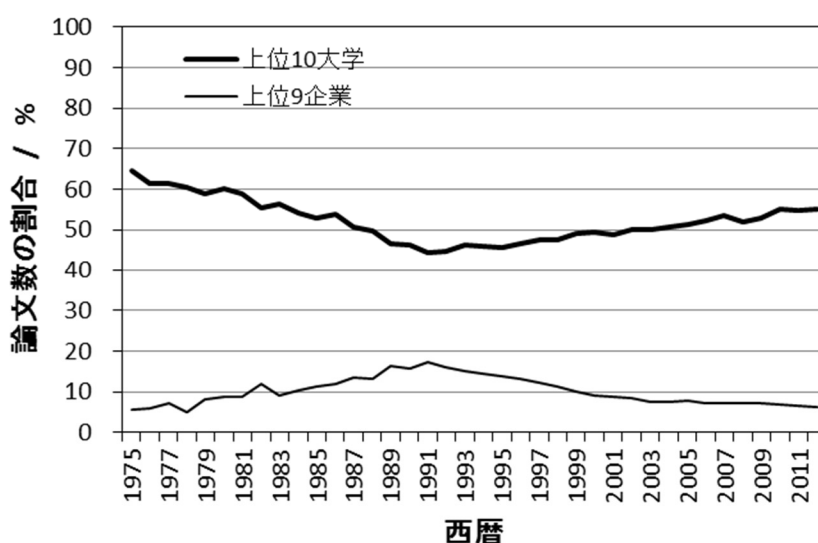


図 5-3 日本の物理論文数における大学と企業の論文数の割合

【注 1】太実線は上位 10 大学（東京大学、東北大学、大阪大学、京都大学、東京工業大学、名古屋大学、筑波大学、九州大学、北海道大学、広島大学）。【注 2】細実線は上位 9 企業（パナソニック、NTT、富士通、東芝、日立、三菱電機、トヨタ自動車、NEC、ソニー）。

【注 3】論文数は Web of Science®, SCI-EXPANDED の検索結果。検索日は以下の通り：日本（2014 年 8 月 22 日）；大学（2014 年 3 月 6 日）；企業（2014 年 3 月 7 日）。

⁴⁴ 企業の論文数を全分野の学術論文数で除した値。

5.2.1. 企業：企業の経営と研究

大学の研究者が自らの研究成果を公開する手段のひとつが論文発表である。サイエンス型産業の企業の研究者も企業の研究成果を論文で発表する。林・富澤（2007）は、日本の民間企業の論文数（全分野合計）が減少したことを報告し、その背景についてつぎのように述べた：民間企業（の論文数）は1992年から1996年をピークとして減少に転じ、この間、民間企業は自社内の基礎研究所を廃止や改組するなどして外部へ依存するよう転換し、バブル崩壊以降の経済不況がこの傾向を促進させてきた。

本節では、企業における論文の実態を明らかにするために、物理分野と化学分野の企業論文（少なくとも一人の著者が企業に所属する研究者である論文）の数の推移と企業の経営状態との関係を検討する。

5.2.2. 企業の「選択と集中」

a. 民間企業の研究開発における「選択と集中」の影響：1990年代初期

永峰・山口（2007）は、「選択と集中のジレンマ」と題する論文において「電機産業の...凋落の背景に、1990年代に一躍脚光を浴び、現在も引き続き断行され続けている『選択と集中』があり、これがトリガーとなって大手電機のイノベーション・システムは弱体化した」という仮説を掲げた。そして「選択と集中」には（1）水平境界（事業の多角化と集中化）における選択と集中と（2）垂直境界（企業の職能領域内）における選択と集中があり、前者は「現行事業の選択と集中」、後者は「未来の事業の選択と集中」、すなわち「研究開発の選択と集中」であるという立場に立ち、これまで実態把握が不十分だった後者の「研究開発の選択と集中」の実態を応用物理学会における民間企業の発表件数の推移（1975-2007年）として調べあげた。

調査した企業は研究開発志向の強い民間企業10社とNTTである：1. 松下電器産業（現パナソニック）、2. ソニー、3. 日立製作所、4. 東芝、5. NEC、6. キヤノン、7. 富士通、8. シャープ、9. 三菱電機、10. 三洋電機（これらをJ10と呼称）、11. NTT（1985年までは電電公社）。この11社の発表件数の合計は、1980年に約500件であったが、年々増加して1988年に約1000件を越え、1993年に最高値（約1100件）に達した。その後、急激に減少し始め、1997年に約900件、2003年に約500件となって、その後も減少し続けた。

さらに応用物理学会で多数の発表をした民間企業のコア研究者へのインタビューを実施し、「研究開発の選択と集中」が1990年代初頭から本社研究機関の解体や大幅な縮小再編、

研究テーマと研究者の絞り込みが行われた実態を明らかにした。そして「バブル崩壊後の1993年を契機として、直近の事業経営に対する寄与度が低く基礎に近い研究分野から一斉に手を引き始め、『研究開発の選択と集中』を断行した」（永峯・山口 2007）と結論づけた。

b. 企業の物理論文数と化学論文数の推移

図 5-4 に物理学分野の論文数（言語は英語）が上位 9 位までの日本の企業の論文数（合計）の推移（1975-2012）を示す⁴⁵。上位 9 企業は、パナソニック、NTT、富士通、東芝、日立、三菱電機、トヨタ自動車、NEC、ソニーである。

1975 年に 100 報強であった論文数は 1989 年に 1000 報を越え、1996 年に最高値（約 1450 報）に達した。1975-1989 年の増加率（年率）は 17.4%であり、論文数が 500 報を越えた 1985 年から 1000 報を越えた 1989 年までのバブル最盛期の増加率は 20.1%であった。論文は 1996 年に最多となり、1997 年は 1400 報強を維持したものの 1998 年から急激に減少し、2012 年には最高値から半減して約 700 報になった。1996-2012 年の論文数の減少率（年率）は 4.4%である。

民間企業が研究開発を対外発表する場合、特許を出願したあと学会で発表し、その後 2-3 年後に成果を論文として発表することが普通である。J10 と NTT の学会発表件数が 1988 年に最高域（年間 1,000 件レベル）に到達して 5 年後の 1993 年に発表件数が最も多かったという事実（永峰・山口 2007）と、半導体・電機産業に属する企業の論文数が 1991 年（1988 年から 3 年後）に最高域（年間 1,200 報レベル）にしたあと 5 年後の 1996 年（1993 年から 3 年後）に最も多かったという事実（図 5-4）は完全に整合的である。

企業の学会発表件数の減少（1993 年以降）と論文数の減少（1996 年以降）は、1990 年代初頭（1991-1993 年）のバブル崩壊に伴い、企業の経営環境が変化して「研究開発の選択と集中」が直ちに（遅くとも 1993 年）断行されたことが原因である。

⁴⁵ 図 5-2 の上位 9 企業の物理論文数と同じである。

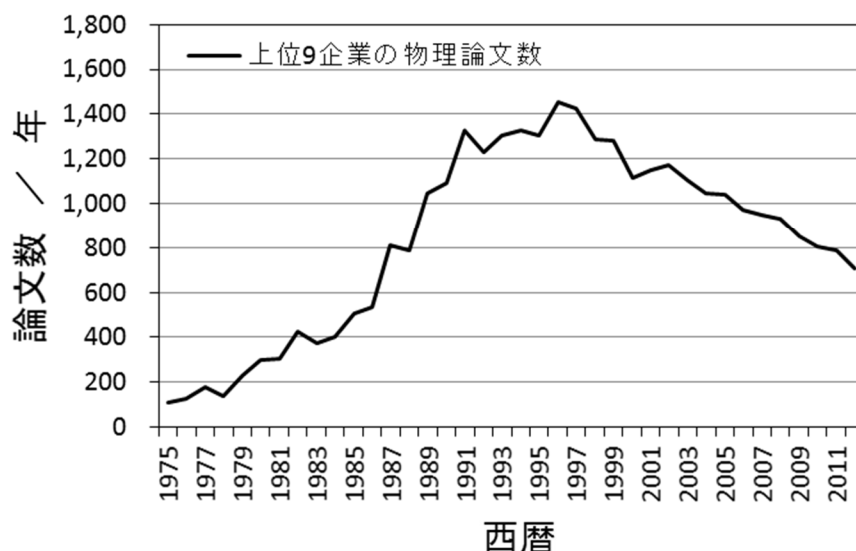


図 5-4 日本の企業の物理論文数の推移：上位 9 企業（パナソニック、NTT、富士通、東芝、日立、三菱電機、トヨタ自動車、NEC、ソニー）

【注】論文数は Web of Science, SCI-EXPANDED を用いて検索した（検索日、2014 年 3 月 7 日）。発行年が 1975-2012、言語が English、ドキュメントタイプが articles、国/地域が Japan、研究分野が Physics であった。

図 5-5 に化学分野の論文数（言語は英語）が上位 29 位までの日本の企業の論文数（合計）の推移（1975-2012）を示す。上位 30 企業のうち、製薬会社が 13 社（塩野義、三共、田辺、武田、藤沢、エーザイなど）でもっとも多く、いわゆる化学メーカー（三菱化学、住友化学など）は少ない。電機・半導体企業が 4 社（NTT、日立、パナソニック、NEC）含まれている。論文数は 1975 年に約 150 報であったが、1989 年に約 300 報強になり、1996 年に最多の 600 報強となった。1975-1989 年までの増加率（年率）は 5.1%であり、論文数が 250 報だった 1985 年から 1989 年までのバブル最盛期の増加率は 7.2%であった。1996 年から 2005 年頃まで 600 報前後を推移したあと、2006 年から減少を続け、2012 年には最高値の約 3/4（約 470 報）になった。1996-2012 年の論文数の減少率（年率）は 1.8%である。

図 5-4 と図 5-5 を比較すると、物理論文とくらべて化学論文は論文数が少ない。Wef of Science のデータベースに収載される基準が物理と化学で異なるので、異なる分野の論文数を比較する意味はない。しかし、著者が所属する企業数は業態の違いそのものを反映する数値であり、論文数の増減の割合や変化した時期はサイエンス型産業の物理系企業と化学系企業の業態の違いを相対的に比較する手がかりである。

30社の内訳を見ると、業種が多彩であることが判る。29社の中で総合化学メーカーと呼ばれる企業は三菱化学と住友化学の2社だけである。図5-4に社名があがった企業が5社含まれ、11社の医薬品企業のほかに食品メーカーや装置メーカーなど業種の幅が広い。

化学分野に掲載される論文は有機化学や無機化学などの純正化学 (pure chemistry) に分類される論文である。有機化学や無機化学から派生した高分子化学や電気化学等に分類される論文は「化学分野」に分類されないため、総合化学メーカーの数が少ないと考えられる。

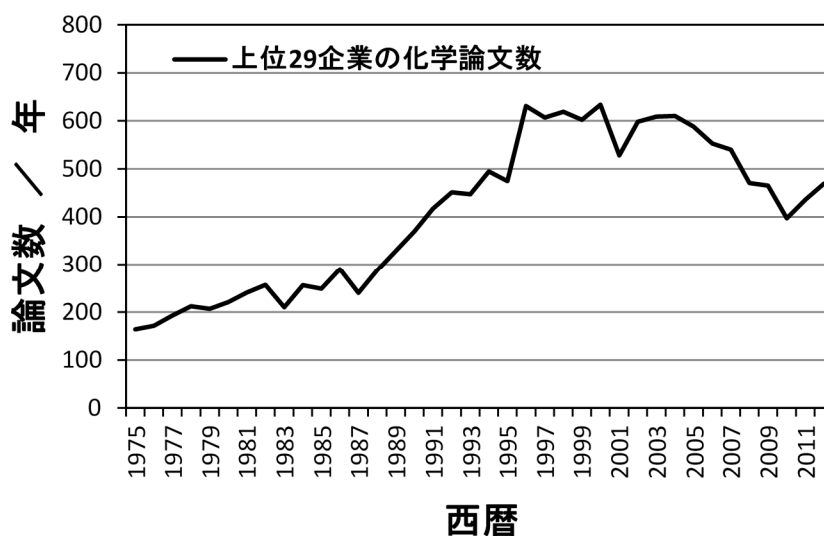


図 5-5 日本の企業の化学論文数の推移：上位 29 企業（塩野義製薬、三共、田辺製薬、武田薬品、エーザイ、大正製薬、第一製薬、山之内製薬、藤沢薬品、日本化薬、大塚製薬、日立製作所、パナソニック、NEC、トヨタ自動車、相模中研、NTT、三菱化学、住友化学、味の素、花王、協和発酵、明治製菓、サントリー、富士フイルム、日本製鉄、リガク、JEOL、島津製作所）

【注】論文数は Web of Science, SCI-EXPANDED を用いて検索した（検索日、2014 年 3 月 7 日）。発行年が 1975-2012、言語が English、ドキュメントタイプが articles、国/地域が Japan、研究分野が Physics であった。

企業の研究員は研究成果を学術論文として発表し、それらを博士論文としてまとめて大学へ提出する。企業の論文数が 1997 年から減少した様子は、図 2-6 で示した論文博士の授与数が 1995 年に最大となったあと、1996 年から減少した事実とよく符合する。これは 1990 年代前半に物理学や化学以外の分野でも企業の論文数が停滞あるいは減少し、それが論文博士の授与数の減少として顕在化したことを示唆する。

物理論文数 1997 年から減少したが、化学論文数は 2000 年から減少した。化学系企業の

論文数が減少し始める時期は4年ほど遅く、物理系企業と化学系企業の論文増加率(%)を比較すると、1980年代後半のバブル期における物理論文数の急激な伸びとバブル崩壊後の大きな減少が目立つ⁴⁶。サイエンス型産業の中でも分野によって業界の動向や企業の研究体制が異なり、それが論文数に影響することが判る。

c. 「選択と集中」をキーワードとする新聞記事の出現頻度

図5-6に日経新聞の記事(1987-2012)を「選択と集中」をキーワードとして検索した結果を示す⁴⁷。図の左軸がヒットした記事の年間出現回数である。図には日本の企業論文数の推移を折線グラフで重ねて示す。企業論文数は日本にある企業に所属する著者を含む論文(研究分野は全文野)である。

1987-2012年の26年間で4期に分けた：第Ⅰ期(1986-1990)はほとんど記事が出現しなかった時期である。5年間の出現回数は1回、平均出現頻度は0.2回/年であった。第Ⅱ期(1991-2000)はバブル崩壊後の10年間である。この10年間の平均出現頻度は18.9回/年(合計189回)だった。第Ⅱ期では中間の1996年から急激に出現回数が増えた。第Ⅱ期の前半と後半の頻度と出現回数は、前半(1991-1995)では2.2回/年(11回)、後半(1996-2000)では35.6回/年(178回)であった。1995-1996年を境に「選択と集中」の出現頻度が桁違いに大きくなったことが分かる。日本企業の論文数は1996年で増加が止まり、2003年まで停滞した。第Ⅲ期(2001-2007)はリーマン・ショック(2008年)の直前までである。記事の出現頻度(回数)はさらに増えて79.1回/年(554回)となり、日本の企業論文数(全分野)が減少し始めた。第Ⅳ期(2008-2012)では頻度はやや下がったが、65.7回/年(394回)で依然として高かった。企業論文数も減少を続けた。

第Ⅰ期(1986-1990; 1件)と第Ⅱ期前半(1991-1995年; 11件)の記事のうち、研究開発の「選択と集中」に触れた記事はわずか2件⁴⁸であった。1996年から論文数が減少した事実を考え合わせると、民間企業内では遅くとも1993年までに「研究開発の選択と集中」が断行され、世間に注目されることなく研究組織の解体や縮小、研究テーマや研究者の絞込

⁴⁶ 論文増加率(%)を(期間：物理/化学)の順に示すと、(1975-1989：17.4/5.1)；(1985-1989：20.1/7.2)；(1996-2012：-4.4/-1.8)である。

⁴⁷ 検索には、日経テレコンを用いた。対象は日本経済新聞(朝刊)の1987年1月1日～2012年12月31日、検索語は「選択と集中」とした。

⁴⁸ (1) 1988/08/19 日本経済新聞「会社が変わる 東ソー(下)『選択と集中』の痛み」、(2) 1994/12/02 日本経済新聞「デフレもう一つの落とし穴 (3) 企業、「大競争」の中へ(富士通)」。

みが行われていたと考えられる。

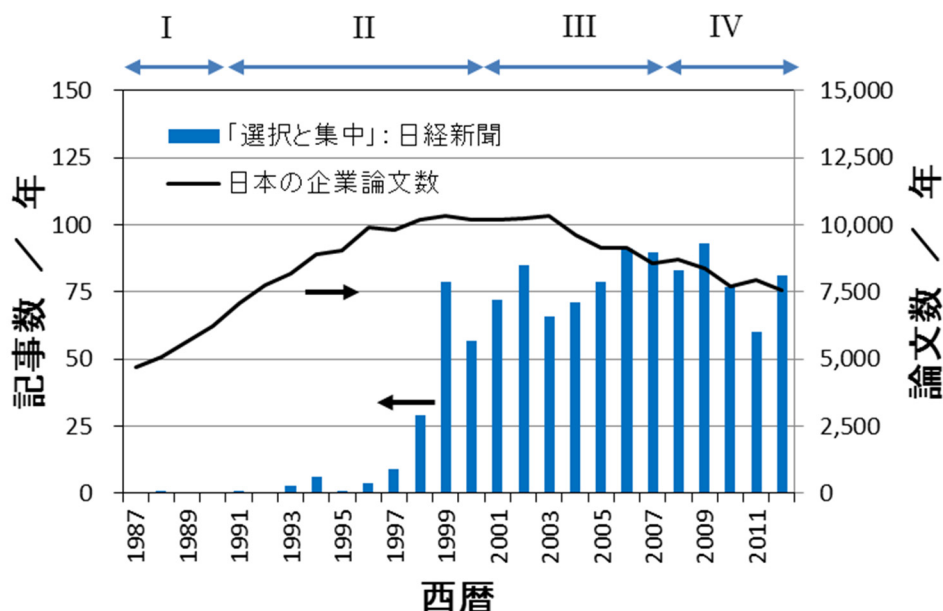


図 5-6 「選択と集中」に関する新聞記事と日本の企業論文数の推移

【注 1】棒グラフは日経新聞（朝刊）に掲載された記事のうち「選択と集中」というキーワードを含む記事の件数。実線は日本の企業の学術論文数。

【注 2】日経テレコンを用いて日本経済新聞（朝刊）の 1987 年 1 月 1 日から 2012 年 12 月 31 日の記事を対象に検索した。検索日は 2013 年 6 月 1 日。

【注 3】論文数は Web of Science, SCI-EXPANDED を用いて検索した（検索日、2013 年 9 月 13 日）。発行年が 1987-2012、言語が English、ドキュメントタイプが articles。研究分野は指定せず、組織は日本にある企業とした。

d. 増加から減少へのタイミング

長岡ほか（2011）は大学における論文出版までタイムラグの中央値が 2 年間であることを根拠にして、大学の論文生産に関するインプット・アウトプット分析においてインプットがアウトプットに結びつくまでの期間を 2 年間と仮定した。筆者の経験では、企業の研究成果が論文として出版されるまでに要する時間は、大学の研究者が論文を発表する場合より長いようである。これは論文を執筆する作業時間が関係することもあるが、企業の場合、論文を発表する前に研究成果に基づいた特許を漏れなく出願したうえで、対外発表の許可を得ることが前提であることが主な理由である。研究分野あるいは投稿する雑誌により、論文審査に要する日数は異なるが、企業の研究者が研究成果をまとめてから論文が出版されるまで短くても 2 年間は必要である。

企業の研究成果が論文として出版されるまでに 2 年間かかると仮定すると、バブル崩壊から企業の論文数が減少に転じた 1997 年までの時間的経過を理解することができる：バブル崩壊は 1991-1993 年である。1993 年に経営方針として研究開発組織の縮小が決まったとすると、その方針に沿って組織の変更や研究者の異動があり、いくつかの研究テーマが中止となり、人員や予算が縮小される。それらの施策の結果が研究成果の量的な変化として現れるまでに 2 年間かかると考えれば、1995 年頃から研究成果が減り始め、1997 年頃から論文数の減少として顕在化する。1996 年に企業論文数が急増した背景には、研究テーマの中止に伴って論文発表を急いだ事情があったと考えられる。

筆者の経験では論文データベースの論文数がデータとして安定するまで数年を要する。また学生が企業の論文数を直接知る機会は少ないと考えられる。したがって学生が進路選択（就職と大学院進学）に際して、その年の企業の論文数の推移を判断材料として用いることはほぼ不可能である。しかし、図 5-6 に示したように 1996 年頃からテレビや新聞・雑誌で企業の経営判断として“選択と集中”が報道されるようになり、“選択と集中”の報道が多くなった時期（1997 年）は企業論文数が減少し始めた時期（1997 年）と一致した。この時期の報道等の情報が企業論文数と同等の質をもつ進路選択の判断材料となった可能性がある。

5.2.3. 学生数と企業の論文数

a. 修士課程の志願者数と入学者数、企業の論文数の推移

図 5-7 に修士課程（物理学専攻）の志願者数と入学者数、ならびに日本の上位 9 企業の物理論文数の推移（1987-2013）を示す。入学者数（細実線、左軸）は 1987 年から 1996 年の 10 年間で 1,000 人以下から 1,500 人弱（最大値）まで急増した。その後、何度か増減を繰り返しながら 2013 年まで平均 1,350 人前後で推移した。

学生の志向をより反映する志願者数の推移をみると 1997 年が志願者数のピークであることが明確に確認できる。志願者数（細破線、左軸）は 1987 年に 2,000 人弱であったが、1996 年まで急激に増えて 3,500 人強となった⁴⁹。この志願者数の急増は、電機・半導体などの物理産業に対して学生が強い志向を示した結果である。バブル崩壊（1991-1993 年）のあとも志願者数は増加し続けたが、1997 年に減少へ転じた：1997 年に約 3,300 人、1998 年には約 2,700 人まで急減した。この 2 年間で志願者数は約 800 人も減少した。2000 年代

⁴⁹ 1987-1996 年の入試倍率は 2.2-2.4 倍だった。

に入ると、志願者数は 2,400-2,500 名で推移し、競争倍率は 2 倍以下になった⁵⁰。

企業の物理論文数（太実線、右軸）は 1991 年まで急激に増加し続けたが、バブル崩壊が始まると同時に増加が止まり、1992-1995 年の 4 年のあいだ、約 1,250 報で推移した。1996 年の論文数は 1,300 報（最大値）を超えたが、1997 年に減少に転じた。

このように企業の物理論文数と修士課程（物理学専攻）の志願者数は同調するように変動した。

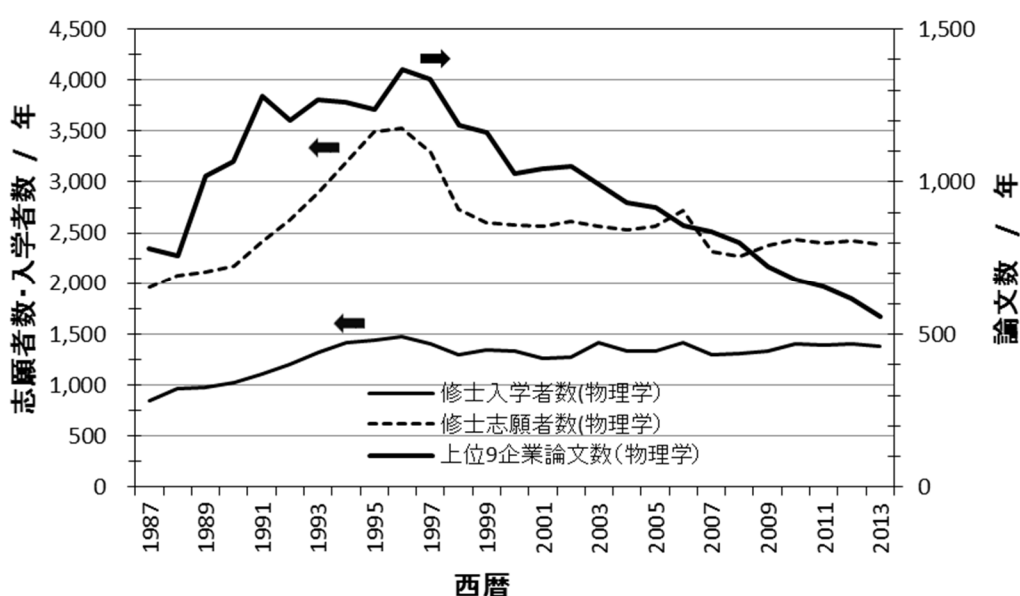


図 5-7 修士課程（物理学専攻）の入学者数、志願者数と企業の物理論文の推移

【注 1】細実線は修士課程の入学者数、細破線は修士課程の志願者数、太実線は上位 9 企業（パナソニック、NTT、富士通、東芝、日立、三菱電機、トヨタ自動車、NEC、ソニー）の物理論文数。【注 2】入学者数と志願者数は文部省・文部科学省「学校基本調査」による。

【注 3】論文数は Web of Science®, SCI-EXPANDED の検索結果（検索日、2014 年 10 月 13 日）。

b. 博士課程の志願者数と入学者数、企業の論文数の推移

図 5-8 に博士課程（物理学専攻）の入学者数と志願者数、ならびに日本の上位 9 企業の物

⁵⁰ 2010 年以降の倍率はさらに低下して 1.7 倍であった。

理論論文数の推移（1987-2013）を示す。入学者数（細実線、左軸）は1987年から1996年まで増加したあと1997年から減少に転じた。志願者数（細破線、左軸）も同様に1987年から1996年まで増加して1997年から減少に転じた。1999年と2000年にわずかに増えたが、その後は2013年まで減少が続いた。

このように博士課程の志願者数と入学者数はどちらも1997年から減少に転じており、修士課程の志願者数と同様にどちらも企業の物理論文数と同調するように変動した⁵¹。

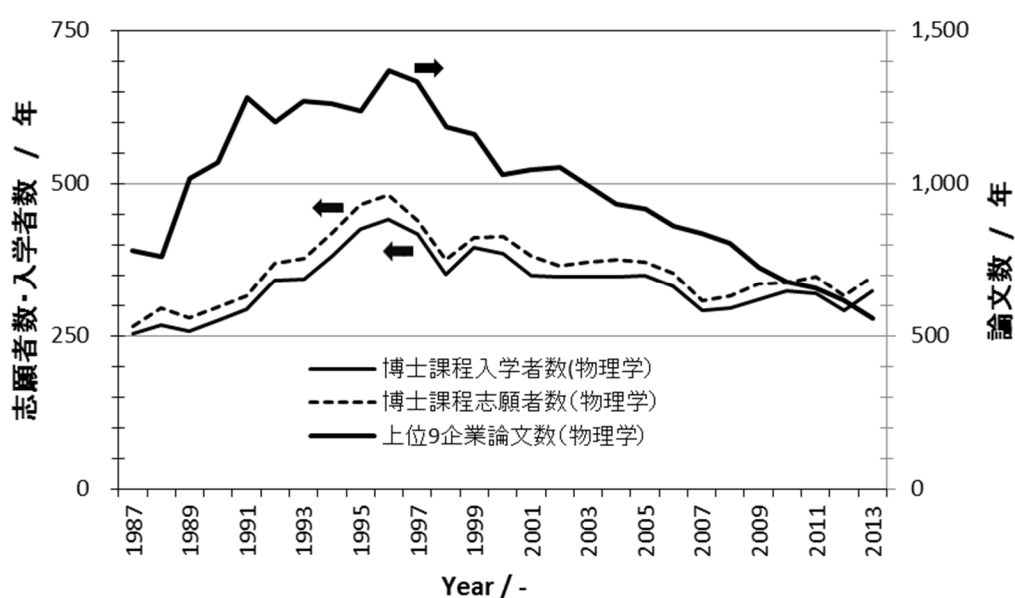


図 5-8 博士課程（物理学専攻）の入学者数、志願者数と企業の物理論文の推移

【注 1】細実線は博士課程の入学者数、細破線は博士課程の志願者数、太実線は上位 9 企業（パナソニック、NTT、富士通、東芝、日立、三菱電機、トヨタ自動車、NEC、ソニー）の物理論文数。【注 2】入学者数と志願者数は文部省・文部科学省「学校基本調査」に依る。

【注 3】論文数は Web of Science®, SCI-EXPANDED の検索結果（検索日、2014 年 10 月 13 日）。

⁵¹ 博士課程の競争倍率は 1987-2013 年のあいだ 1.1 倍であった。

5.2.4. 物理産業の経営環境

a. 売上高、付加価値額と経常利益

図 5-9 に電機・半導体産業に属する 7 社（パナソニック、日立製作所、東芝、NEC、富士通、三菱電機、ソニー；物理論文数の上位 9 企業）の 1986-2012 年度（3 月期末決算）の売上高、付加価値額、経常利益の変化を示す。NEEDS 日経財務データ DVD 版 (ver4.0.1.0) を用いて、1986-2012 年度（3 月期末決算）を対象期間として検索した。期間を第 I 期(1986-1990)、第 II 期(1991-2000)、第 III 期(2001-2007)、第 IV 期(2008-2012)に分けて比較する。

売上高の合計（図 5-9a）の推移を見ると、第 I 期、売上高は右肩上がり；第 II 期、売上高の伸びは鈍化したが続伸；第 III 期、売上高は急減したあと、V 字回復；第 IV 期、リーマンショック（2008）により売上高が急減したあと減少が続いた。このように売上高は増加から停滞、減少と大きく変化し、2012 年の売上高は 1990 年前後と同レベルとなった。

付加価値額の合計（図 5-9b）の推移でも 4 つの期間が明確である：第 I 期、付加価値額は右肩上がり増加；第 II 期、付加価値額は高止まりで多少の増減はあるもののほぼ一定；第 III 期、付加価値額は 2001 年に 1986 年と同レベルまで急減したあと、ほぼ一定；第 IV 期、付加価値額はリーマンショック（2008）で急減したあと、ほぼ一定だった。

経常利益の合計（図 5-9c）の推移では大きな増減を繰り返したが、同様に 4 つの期間に分けることができる：第 I 期、経常利益は右肩上がり増加；第 II 期、経常利益は 1991 年に急減したあと、低レベルで増減を繰り返した；第 III 期、2001 年に IT バブルが崩壊し、7 社全部の経常利益がマイナスとなった。経常利益はその後右肩上がり回復したが一部の企業はマイナスを計上；第 IV 期、経常利益はリーマンショック（2008）で急減したあと低レベルで増減を繰り返し、一部の企業がマイナスを計上し続けた。

第 I 期(1986-1990)はバブル期崩壊前の絶頂期である。第 II 期(1991-2000)はバブル崩壊（1991-1993）とともに始まった景気後退期である。この期の経常利益は大幅に減少し、企業の経営環境は厳しさを増したが、売上高と付加価値額は絶頂期のレベルを維持した。第 II 期後半は経営環境がさらに悪化することへの懸念が高まった時期であったが、売上高と付加価値額は絶頂期のレベルを維持した。そして第 III 期(2001-2007)は売上高と付加価値額、経常利益が減少した。売上高はバブル期と同レベルを維持したが、日本の電機・半導体産業は衰退期に突入した。第 IV 期(2008-2012)はマイナスの経常利益を計上する企業があり、付加価値額も低迷したままで、衰退期が続いた。

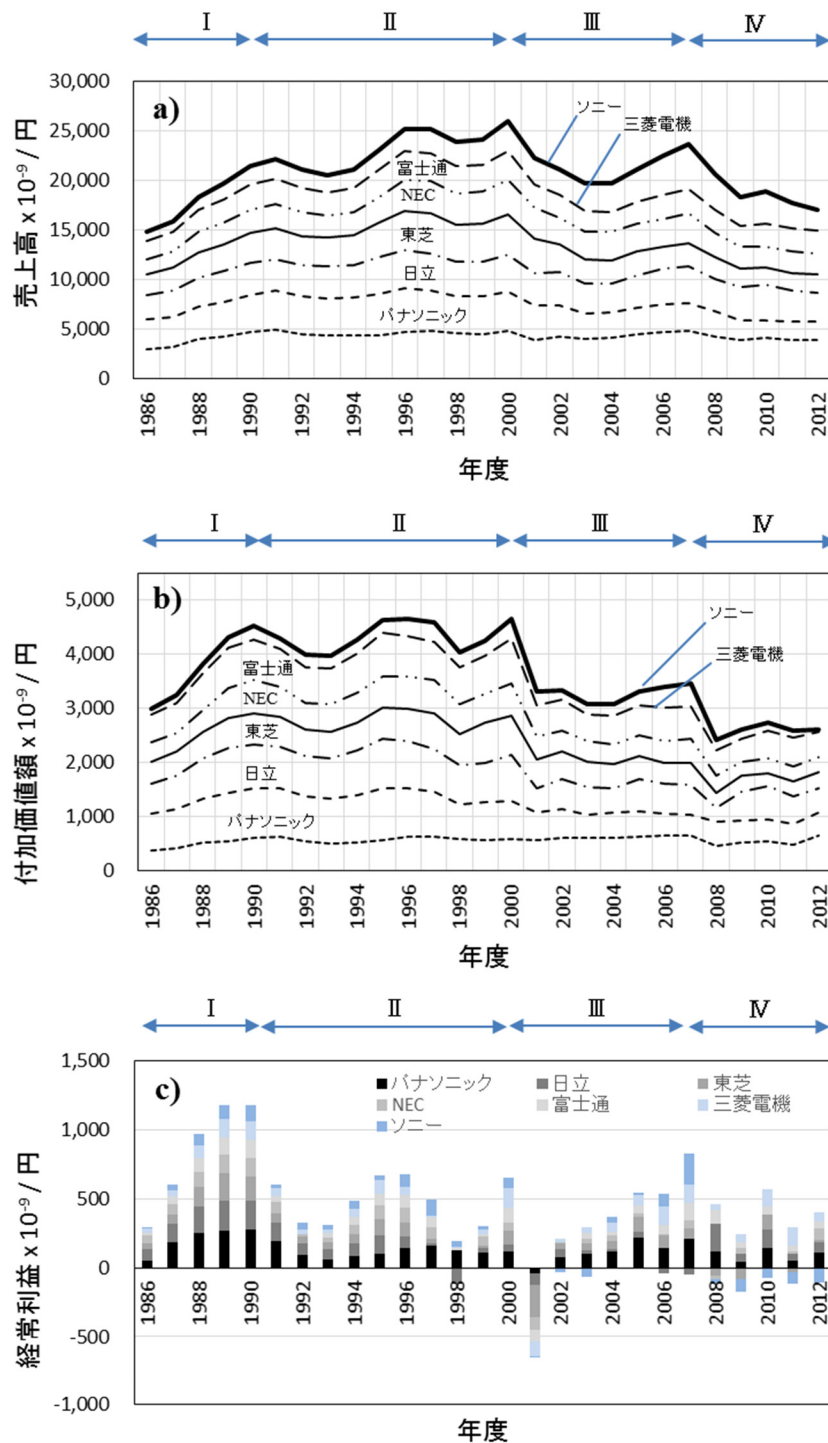


図 5-9 電機・半導体産業 7 社の業績の推移：a) 売上高、b) 付加価値額、c) 経常利益。

【注 1】 7 社はパナソニック、日立製作所、東芝、NEC、富士通、三菱電機、ソニー。

【注 2】 1986-2012 年度（3 月期末決算）。【注 3】 NEEDS 日経財務データ DVD 版、ver4.0.1.0。

1980年代後半から2010年代初めまでの物理系企業の経営環境を振り返ると、業界全体が成長から停滞、そして後退にいたる大きな変動の山が見える。

注目すべきことは、第Ⅱ期（1991-2000：バブル崩壊のあと2000年まで）の売上高と付加価値額が減少しなかったことである。これはバブル崩壊に物理系企業が経常利益を低下させながらも、一定の企業活動を継続した証である。

第Ⅰ期～第Ⅳ期における論文数と学生数（物理学専攻の修士課程・博士課程の志願者数と入学者数）の変化は下のよう整理することができる。しかし、物理学専攻の修士課程・博士課程の志願者数と入学者数の推移から企業活動と学生の進学状況の関係を読み取ることにはできない：

- 第Ⅰ期(1986-1990、絶頂期)：日本の物理論文数、企業論文、修士課程・博士課程の志願者数と入学者数はいずれも右肩上がり増加。
- 第Ⅱ期(1991-2000、停滞期)：企業の物理論文数がピークとなり(1996)、減少した(1997-2000)。企業の化学論文数は1996年に増加を止め、停滞。修士課程・博士課程の志願者数と入学者数は1996年にピークとなり減少。
- 第Ⅲ期(2001-2007、第1次衰退期)：企業論文数の減少が継続(2001-2007)、日本の物理論文数がピーク(2003)となり、急減。修士課程の志願者数・入学者数はほぼ一定。博士課程の志願者数・入学者数は減少が継続。
- 第Ⅳ期(2008-2012、第2次衰退期)：日本の物理論文数と企業論文数の減少が継続。修士課程の志願者数・入学者数はほぼ一定。博士課程の志願者数・入学者数は減少が継続。

b. 産業別修士卒者の就職者数の推移：理学研究科と工学研究科

図 5-10-1 から図 5-10-3 に理学研究科と工学研究科の修士課程の就職者数の実数 (a) と比率 (b) の5年度ごとの推移(1985-2015年度)を示す。図 5-10-1 は理学研究科、図 5-10-2 は工学研究科、図 5-10-3 は理学研究科と工学研究科の合計である。

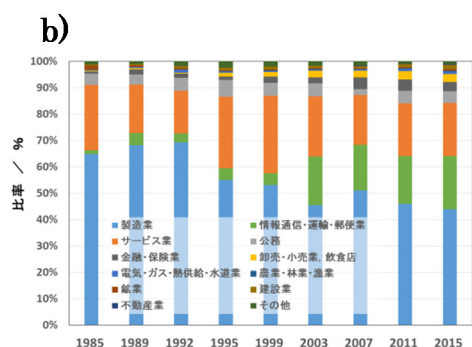
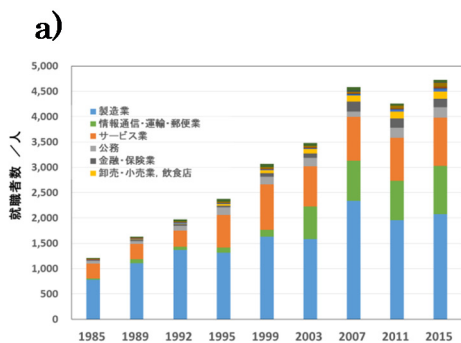


図 5-10-1 修士課程の産業別就職者数の年度ごとの推移 (1985～2015 年度) : a) 理学研究科 (実数) ; b) 理学研究科 (比率)

【注】 出典は『学校基本調査』。

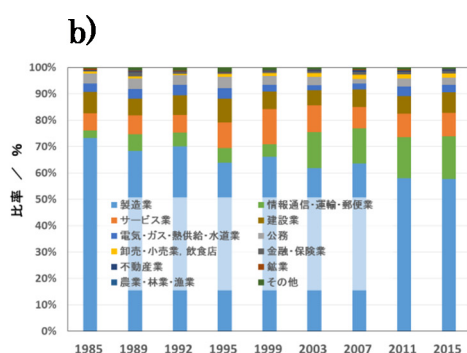
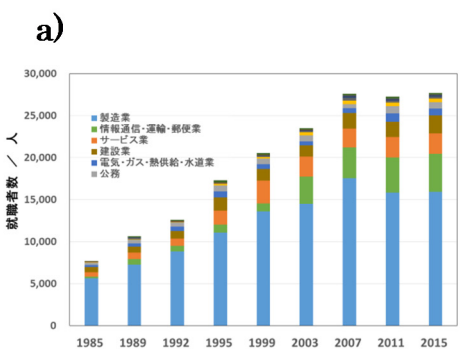


図 5-10-2 修士課程の産業別就職者数の年度ごとの推移 (1985～2015 年度) : a) 工学研究科 (実数) ; b) 工学研究科 (比率)

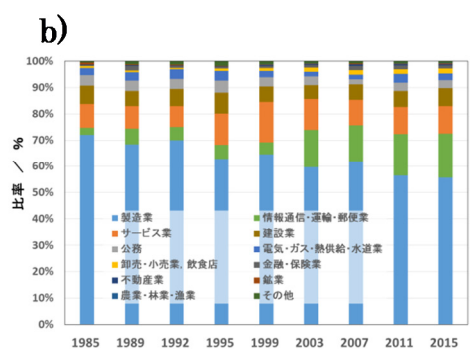
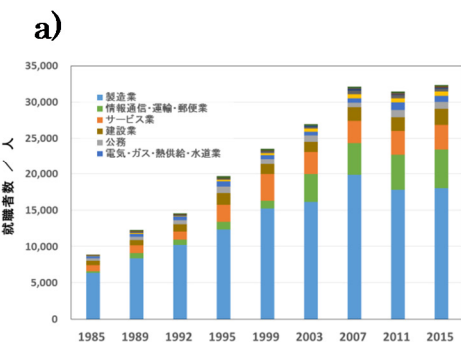


図 5-10-3 修士課程の産業別就職者数の年度ごとの推移 (1985～2015 年度) : a) 理学研究科と工学研究科の合計 (実数) ; b) 理学研究科と工学研究科の合計 (比率)

両研究科とも全体の就職者数 (a) は 1985 年度から 2007 年度まで直線的に増加しており、2007 年度以降の就職者数はほぼ同じであった。

産業別でもっとも就職者数が多かったのは、両研究科とも製造業であった。2 番目に就職者数が多かったのは、両研究科とも 1990 年代ではサービス業⁵²であったが、2003 年度から情報通信・運輸・郵便業⁵³が急増したため、両研究科の合計では 2003 年度から情報通信・運輸・郵便業（以後、情報通信業と記載する）が 2 番目になった。2015 年度の就職者数が多い順は、両研究科とも製造業、情報通信業、サービス業の順である。理学では製造業が理学全体の 43.9%、情報通信業が 20.2%、サービス業が 20.1%であり、工学ではそれぞれ 57.6%、16.2%、8.8%であった。理学と工学の合計では、それぞれ 55.6%、16.8%、10.5%であった。

興味深いことに、バブル崩壊（1991-1993）のあとも理学、工学ともに 2007 年度まで就職者数が増えた。バブル崩壊後は「就職氷河期」と呼ばれ、大学新卒者が就職できなかったといわれるが、理学・工学研究科の修士課程修了者の就職状況はけっして「氷河期」ではなかったことを示している。この事実は前項で明らかになったように、第Ⅱ期（1991-2000）の物理産業の売上高と付加価値額が減少しなかった事実とよく符合する。

就職者数の比率 (b) を見ると、バブル崩壊後に理系修士が就職した産業分野に大きな変化があったことがわかる。就職者数の上位 3 業種（製造業、情報通信業、サービス業）の就職者数の合計の割合は、1985-2015 年のあいだ、理学、工学ともほぼ 80-85%であった。1995 年度と 1999 年度では製造業の割合が減少したが、その減少分だけサービス業が増えた。2000 年度以降も製造業の割合は年々小さくなり続けた。この間のサービス業の割合はほぼ一定（理学で約 20%、工学で 3%、理学と工学の合計で約 10%）であったが、情報通信業が製造業の減少分を増やした。

これらの事実から、つぎの 4 つの結論を得た：

⁵² サービス業とは、2015 年度の統計では、学術研究、専門・技術サービス業、宿泊業、飲食サービス業、生活関連サービス業、娯楽業、教育、学習支援業、医療、福祉、複合サービス事業、サービス業（ほかに分類されないもの）である。1985 年度の統計では、単にサービス業という分類であったが、2003 年度から徐々に詳細な分類となった。

⁵³ 当初（1985 年度は、運輸・通信業という分類であったが、2003 年度から情報通信業と運輸業に分割され、2011 年度から情報通信業と運輸業・郵便業になった。ここでは運輸・通信業、情報通信業と運輸業の合計、情報通信業と運輸業、郵便業の合計を情報通信・運輸・郵便業とした。情報通信業に対する運輸業あるは運輸業・郵便業の割合は約 1/10 であった。したがって、情報通信・運輸・郵便業の就職者数（比率）はほぼ情報通信業であると考えられる。

- バブル崩壊（1991-1993）のあとも、理学・工学研究科の修士課程修了者の就職者数は2007年ころまで製造業を含むすべての業種において増加した。
- 1990年代後半はサービス業への就職者数の伸びが著しく、2000年代は情報通信業の就職者数が大きく増加した。
- バブル崩壊後、製造業への就職者数の割合は低下したが、その減少分を1990年代後半はサービス業が補い、2000年代は情報通信業が補った。その結果、上位3業種の就職者数の合計の割合は1985-2015年のあいだ、ほぼ80-85%であった。
- 理学・工学研究科の修士課程修了者の就職状況はバブル崩壊後も2007年頃まで良好であった。

5.3. 家庭：高校の物理履修率

物理論文の減少と家庭との関連を考えると、子供たちの理科離れ、あるいは高校物理の履修率の低下がただちに思い起される。物理論文の多くの著者は、高校で物理の基礎を学び、大学や大学院で高度な物理学を学んだあと、研究者になったと考えられる。本節では、世代人口の減少を考慮しながら高校物理の履修率と物理系大学院進学率との関係を検討する。

5.3.1. 物理系大学院進学率の考え方：世代人口と高校物理の履修率の影響

博士課程学生数は企業論文数と日本の論文数を媒介する重要な変数である。学生数に限らず、生徒数あるいは進学率や就職率は世代人口や学校制度、受験制度、経済状況などさまざまな社会的要因と関わりながら変動する。日本では戦後の出生数は1960-1973年にかけて増加したが、第2次ベビーブーム(1971-1974)のあと出生数が減少した(図5-7 URL10)。第2次ベビーブーム世代は1987-1992年にかけて高等学校に在籍し、1990(平成2)年から大学に進学し始めた。大学進学率⁵⁴は1990(平成2)年から増加し始め、その後も増加し続けた(図5-8 URL11;)。しかし、大学入学者数(学生数)は第2次ベビーブーム世代に続く1975年生まれが大学に進学した1993(平成5)年頃に増加が止まり、減少し始めた。

大学入学者の実数は1993(平成5)年から減少したが、大学進学率は増加を続けた。入学者の母集団(前年度高校卒業者)の学力分布が同じならば、大学入学者の実数が減ったにも関わらず、大学進学率が上昇したことは、入学者の質的な低下を示唆する。なぜなら進学率は入学者の母集団(前年度高校卒業者)の人数を基準とする規格化入学者数であり、学力分布が変わらないという前提のもとでは、規格化入学者数の増加は学力下位者の入学を意味するからである。

第2次ベビーブーム世代(1971-1974年生)が大学院博士課程に在籍した標準的な時期(年齢が25~27歳)は1996-2001年である(図5-11)。博士課程学生の質的な変化を検討するために、規格化学生数を検討すべきである。その際、重要なことは母集団の選定の考え方である。一般的な考え方と特別な考え方を検討し、本項では後者を選択する。

一般的な考え方は、世代人口の影響を考慮して進学選択の前後において入学者を分析対

⁵⁴ 図5-12の4本の折線グラフの上から4番目が進学率2(大学+短大)。そのほかの折線グラフは上から収容力(大学+短大)、進学率1(大学+短大+高専+専門学校)、現役志願率(大学+短大)である。積み上げ棒グラフは18歳人口(万人)。

象とし卒業生（修士課程）を分析対象の母集団とする考え方である。この考え方で求めた進学率が「修士課程卒業生の博士課程進学率」である。もうひとつの特別な考え方は、物理系大学院への進学に関わる社会的要因（たとえば、「子供たちの理科離れ」や「理系・文系の生涯賃金比較」）を考慮する考え方である。

本研究では物理系大学院進学を選択における「高校物理の履修率低下」の影響に着目し、物理系大学院博士課程の入学者を分析対象とし、高校物理を履修した生徒を分析対象の母集団として求めた進学率を検討する。これにより「世代人口の減少」と「履修率の低下」という2つの異なる社会的要因を考慮した「規格化学生数」を求めることができる。

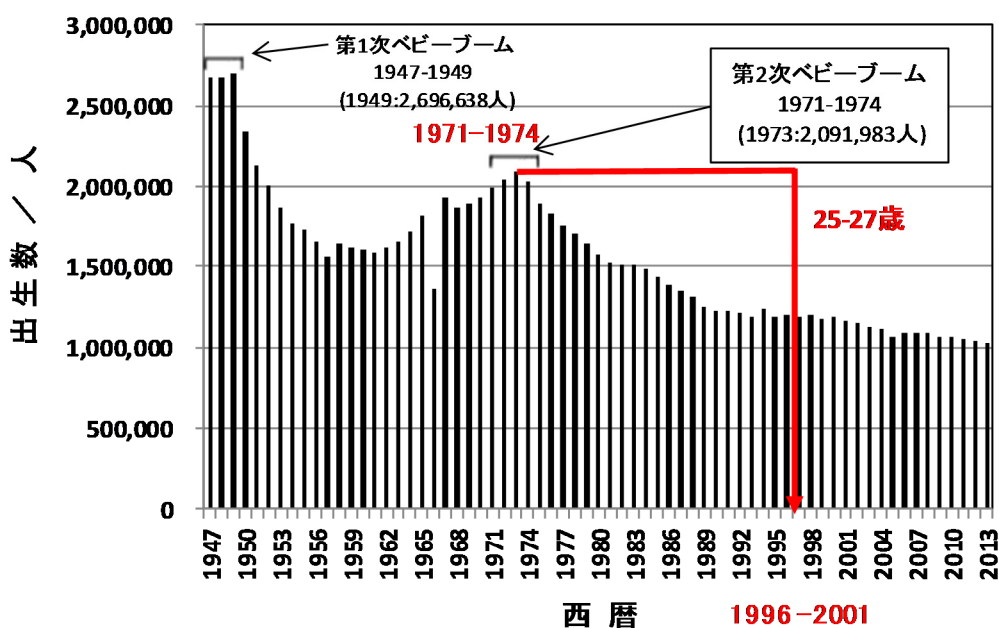


図 5-11 日本における出生数の推移 (1947-2013)

【注】厚生労働省『平成 27 年我が国の人口動態 (平成 25 年までの動向)』第 1 表 人口動態総覧, 年次別 (明治 32 年以降) の出生数データ (URL10) を用いて筆者が作成。

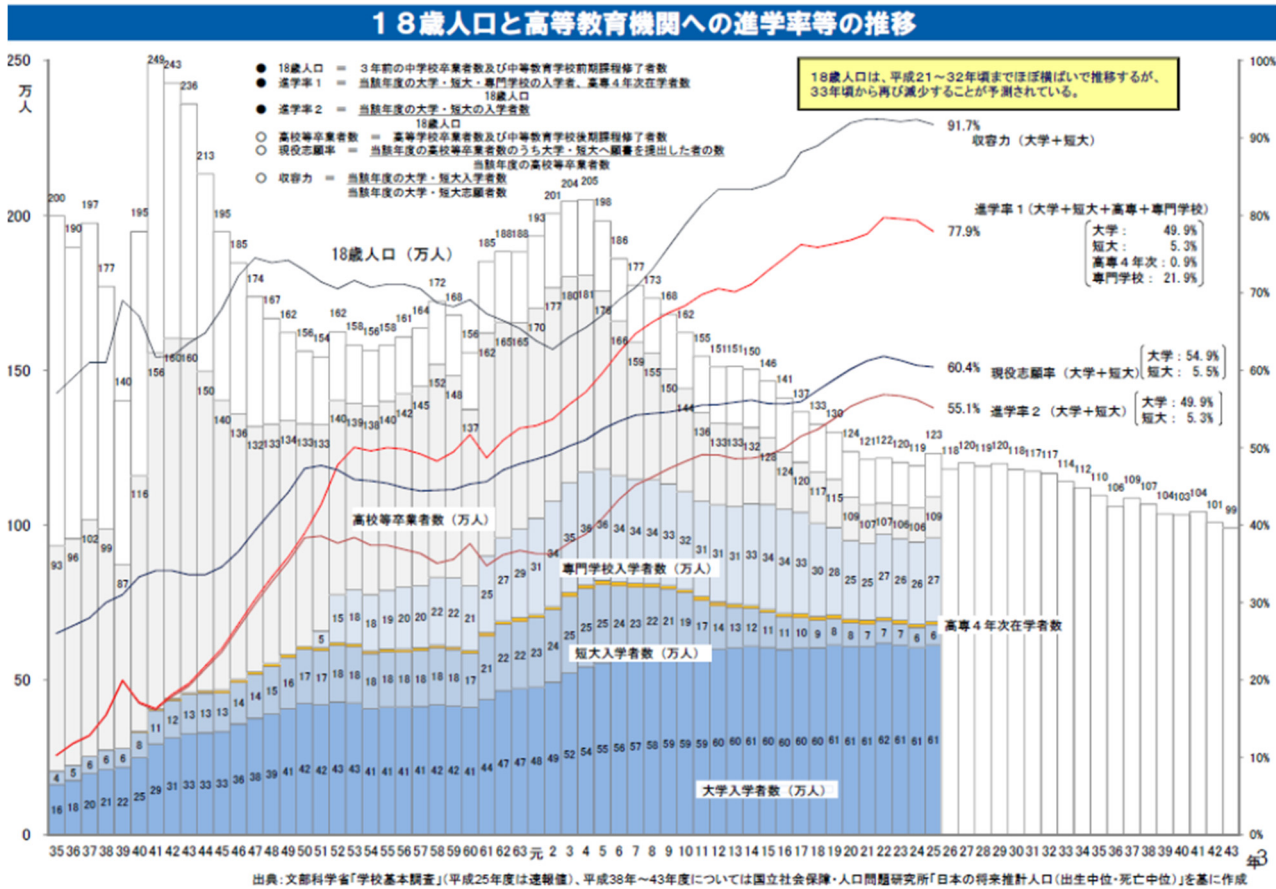


図5-12 18歳人口と高等教育機関への進学率の推移（1960-2013）
【注】出典はURL11（文部科学省『大学入学者選抜、大学教育の現状』）。

5.3.2. 高校物理とセンター試験

a. 高校物理の履修率

ベビーブーム（1971-1974）後の世代人口減少と高校物理の履修率を考慮して、物理系大学院博士課程の学生数の増減について検討することが目的である。最初に確認することは、物理系博士課程進学者を対象とする分析において、どの集団を母集団とすべきかである。そのために(1) 学校指導要領の変遷、(2) 高校物理の教科書の種類、(3) 入学試験制度の変遷を調べ、戦後の高校における物理教育の実体を明らかにする。

(i) 学習指導要領の変遷

表 5-1 に示すように、高等学校の学習指導要領は 1956-2013 年のあいだ、ほぼ 10 年ごとに合計 7 回の改訂が実施され、学習内容（範囲と難易度）、必要な単位数、必修・選択の規定などが変更された。学習指導要領の必修・選択に関する規定が変更されるたびに、各教科の履修率が大きな影響を受けたことが報告された（URL12、鶴岡ほか 1996、物理教育実情調査研究委員会 1990、村田 1997、鈴木 2005、旺文社 2012、増子 2014、唐木 1990）。

理科科目の教科書には、(a)主に理系志望の生徒が学習する教科書と(b)それ以外の生徒が学習する教科書の 2 種類がある。本研究では前者を上級教科書、後者を初級教科書（以後、略して上級、初級と記す）と呼び、区別する。

初級と上級の区別には 2 つのケースがある。ケース A は、学習範囲は同じで難易度が異なる 2 種類の教科書（初級と上級）がある場合である。ケース B は、学習範囲を前半と後半に分けて 2 分冊にする場合である。便宜上、ケース B の前半を初級、後半を上級とした。

ケース A の場合、理系志望者は上級だけを購入する。文系志望者は初級あるいは上級を購入する。少数であるが文系志望者が上級を購入した場合、力学が主体の前半部分を教える。ケース B の場合、理系志望者は初級と上級の両方を購入する。いずれのケースでも理系志望者で物理を選択した生徒は必ず上級教科書を購入するので、理系志望者の物理科目の履修率は物理の上級教科書の販売数を 1 学年相当の高校生徒数⁵⁵で除して求めることができる。

文系志望者で理科を選択した生徒はいずれのケースでも初級だけを購入し、上級は購入しない場合がほとんどであると考えられる。したがって、ケース A であれば、物理の初級

⁵⁵ 高校 3 学年の合計人数を 3 で除した値。

(主として文系志望者が購入)と上級(主として理系志望者が購入)の履修率の合計は、高校生全体の物理科目の履修率を意味する。しかし、ケース B であれば、物理の初級(理系・文系志望者が購入)と上級(理系志望者が購入)の履修率を足した値は理系志望者を二重に数え上げるので、それを高校生全体の物理科目の履修率と考えると過大評価になる。

表 5-1 高等学校の学習指導要領と物理科目の変遷(1963-2013)

期	学習指導要領	物理科目
A	告示 1960 実施 1963-1972	物理Aと物理B (普通科では理科4科目必修)
B	告示 1970 実施 1973-1981	物理Ⅰと物理Ⅱ (選択の始まり:理科2科目選択必修)
C	告示 1978 実施 1982-1993	理科Ⅰ/物理 (ゆとり教育)
D	告示 1989 実施 1994-2002	物理ⅠA+物Ⅰ理B/物理Ⅱ (理科2科目選択必修)
E	告示 1999 実施 2003-2012	物理Ⅰ/物理Ⅱ (基礎、総合のいずれかと理科1科目選択必修)
F	公示 2009 実施 2013-	物理基礎/物理

【注】URL12、鶴岡ほか 1996、物理教育実情調査研究委員会 1990、村田 1997、鈴木 2005、旺文社 2012、増子 2014、唐木 1990 を参考にして筆者が作成。

表 5-1 の A 期(1967-1972)では、普通高校において理科 4 科目 (物理、化学、生物、地学) が必修だったが、B 期(1973-1981)以降、理科 2 科目または 1 科目の選択になった。B 期が「選択時代」の始まりである。

(ii) 既報における高校物理の履修率の推移

図 5-13 に 1963-2013 年の高校物理科目の履修率の推移を示す。高等学校の科目履修率は教科書の採択率から推測するしか方法がない (増子 2014)。従来から「各科目の教科書の販売総数をその年の高校生総数の 1/3 (1 学年相当) で割った値」が用いられている (物理教育実情調査委員会 1990)。図 5-13 は初級物理 (物理 A、物理 I、物理基礎) と上級物理 (物理 B、物理 II、物理) の履修率の合計《初級+上級》を◆印 (細実線) で示し、上級科目の履修率《上級》を○印 (太実線) で示した。《初級+上級》が「高校生全体の物理履修率」であり、高校生の物理学リテラシー (物理学の理解力) を推測する指標として注目されてきた。《上級》が「理系志望高校生の物理履修率」である。

第 2 次ベビーブーム世代は C 期のとき高校に在籍した。C 期は「ゆとり教育」時代と呼ばれ、物理・化学・生物・地学の初歩を総合的に教える必修科目「理科 I」(4 単位) の中に 1 単位に相当する物理分野が含まれた (増子 2014)。しかし、理科の選択科目の教科書では「物理」、「化学」、「生物」、「地学」の 4 科目から 1 科目を選択すればよかった。さらに選択科目の教科書には初級と上級の区別がなく、選択科目の「物理」が唯一の物理科目の教科書だった。そのため教科書採択率から求めた「高校生全体の物理履修率」(《初級+上級》) は A 期と B 期でほぼ 100%だったが、選択科目の教科書が「物理」一種類だけだった C 期 (1982-1993) の「高校生全体の物理履修率」は 30 数%に低下した。これが物理教育関係者に大きな衝撃を与えた (唐木 1990, 2000)。

C 期の履修率を見積もる際に注意すべき点がひとつある。それは上述したように C 期の選択科目の教科書は上級物理に分類される「物理」しかなかったことである。したがって C 期の教科書販売数は初級レベルの授業を行った場合を含んでいる。つまり、この教科書販売数からもとめた履修率は「高校生全体の物理履修率」であり、従来の《初級+上級》に相当すると解釈することが可能である。しかし、C 期の教科書「物理」は上級の教科書であるから、A 期や B 期の《初級+上級》と同じではなく、また《上級》そのものでもない。この点を考慮して図 5-13 の C 期「物理」のプロットは●《初級+上級》でも○《上級》でもない*とした。

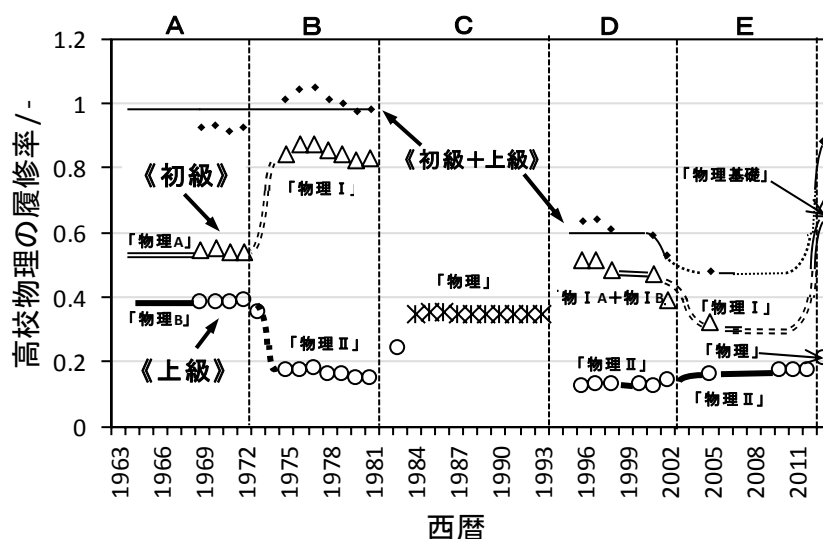


図 5-13 高校物理の履修率の推移(1963-2013)

【注 1】学習指導要領の実施期間を A 期 (1963-1972) ; B 期 (1973-1981) ; C 期 (1982-1993) ; D 期 (1994-2002) ; E 期 (2003-2012) ; F 期 (2013-) と表示した。図に F は表記しなかった。【注 2】△と二重線 (=) は初級物理《初級》、○と太実線 (—) は上級物理《上級》、◆と細実線 (—) は初級物理と上級物理の合計《初級+上級》である。プロットが飛んでいる期間は破線で結んだ。【注 3】*は C 期の選択「物理」である。C 期のプロットは前後の期と線で結ばず独立させた。【注 4】「 」内は科目名 (A 期は必修科目、それ以外は選択科目) である。【注 5】履修率の出典は以下の文献である : 唐木 1990、物理教育実情調査研究委員会 1990、鶴岡 1994、村田 1997、唐木 2000、江澤 2001、鈴木 2005、旺文社 2012、増子 2014。

D 期(1994-2002)、E 期(2003-2012)では初級と上級の区別が復活し、「高校生全体の物理履修率」《初級+上級》は 50-60% だった。2013 年では 90% 近くまで上昇した (増子 2014)。

図 5-13 の履修率の算定方法や解釈に問題はあるが、「いつ高校で学んだかによって物理学の基本的な考え方に触れる機会に違いがあり、日本国民の物理学テラシーが低下する方向に向かっている」という大きな流れがある。これは教育政策の大きな課題である。

しかし、高校物理の履修率と物理系大学院博士課程の学生数の関係を考えると、実質的な上級物理の履修率《上級》がどのように推移したかを明らかにする必要がある。その理由

は2つある：ひとつ目は「初級物理を履修した高校生群」の生徒が物理系大学院博士課程に進学する可能性は非常に低いことである。ふたつ目は理系志望高校生のほとんどが「上級物理を履修した高校生群」であると考えられることである。

物理系大学院博士課程を志望する高校生のほとんどが「上級物理を履修した高校生群」に含まれるとすれば、大学院博士課程学生数の増減に影響を与えるのは《初級+上級》(高校生全体の物理履修率)の変動ではなく、《上級》(図5-13の○と太実線)、すなわち「理系志望高校生の物理履修率」の変動である。

(iii) 物理系予備群：上級物理を履修した高校生群

本研究では「上級物理を履修した高校生群」を「物理系大学院志望予備群」(以下、略して物理系予備群)と呼び、生徒数に対する「物理系予備群」の比率は上級物理の履修率に等しいと仮定する。興味深いことに、B期、D期(いずれも理科2科目が選択必修)とE期(理科1科目が選択必修)の3期における上級科目「物理Ⅱ」の履修率《上級》は15%前後ではほぼ同じであった。生徒数と履修率《上級》の値からB期とD期、E期の「物理系予備群」の人数を求めることができる。

重要なことは、A期とC期の上級物理の履修者には物理系予備群以外の高校生が含まれている可能性があることである。A期では理科4科目が必修であり、見かけの《上級》は30数%であったが、上級物理(「物理B」)の履修者には物理系以外の理系志望者(化学系、生物系、医学・薬学系、農学系の予備群)が混在していたと考えられる。また前述したように文系志望者が上級物理「物理B」を購入することもあった。C期では理科1科目が選択必修で、選択科目の教科書には上級と初級の区別がなかった。C期の選択科目「物理」の履修率はA期の「物理B」とほとんど同じであり、B期やD期の《上級》と比較すると2倍以上(30数%)もあった。これらを勘案すれば、C期の選択「物理」の履修者がすべて物理系予備群とは考えにくい。

唐木(1990)は、通常の履修率(教科書の需要数を生徒数の1/3で割った値)を「履修率 α 」と名づけ、C期(1982-1993年)において選択「物理」の「履修率 α 」がA期やB期の《初級+上級》(いずれも「履修率 α 」)と比較して急激に低下した事実を危機的事態と捉えて、1990年の時点で詳細に検討した。当時の物理教師の最大の関心事は「必修『理科I』を学んだ生徒の何%が物理を選択するだろうか?」だったと述べている(唐木1990)。そして必修「理科I」の教科書需要数に対する選択「物理」の教科書の需要数の割合を「履修率 β 」

として求め、1984-1989年のあいだに β が24.1%から22.9%に減ったと報告した。さらに必修「理科 I」の教科書には2分冊のものが何種類かあるため教科書需要数は実際の履修者数より多く、 β は大きめになると指摘し、「理科 I」の全ての教科書の総需要数と2分冊の教科書の種類数(2分冊で1種類)、全ての教科書の種類数から「理科 I」の学習者数を予測し、補正 β 値を求めた。唐木(1990)は、補正 β 値は31.8%(1989年の必修「理科 I」の学習者数は207万人、それに対する選択「物理」の教科書需要数の割合)で α 値(30数%)より小さく、 β 値(23~24%)より大きかったと述べている。しかし、唐木が求めたC期の補正 β 値もB期、D期、E期の《上級》(10数%)の約2倍であり、前後の期と比較してC期の《上級》だけ突出して高くなる。この補正 β 値をC期の《上級》相当値とすることは妥当ではないと筆者は考える。

当時の物理教師が「必修『理科 I』を学んだ生徒の何%が物理を選択するか」に関心があったという記述に注目すべきである。これは、当時の多くの物理教師が選択「物理」を理系志望者が学ぶ上級科目として認識していたと同時に、A期の初級科目「物理 A」あるいはB期の初級科目「物理 I」のように物理学リテラシーを涵養する教養的物理科目としての役割を選択「物理」に期待していたことを意味する。つまり、当時の物理教師が選択「物理」の履修率の比較対象としてA期やB期の《初級+上級》を想定していたと考えられる。これは選択「物理」の履修者にA期の「物理 B」と同様に物理系以外の理系志望者が含まれていた可能性を示唆する。A期「物理 B」とC期「物理」の履修率がいずれも30数%でほぼ同じであった事実はこれを支持する。

(iv) C期の物理系予備群の比率

C期に長野県内の高等学校で物理の教師をしていた武井統氏にインタビューした(2016. 5. 3)。武井氏からつぎの証言を得ることができた：C期の長野県内の多くの普通高校では文系・理系を問わず全員に4科目を教えていた。これらの高校では物理(上級)の教科書を理系・文系の区別なく使い、文系志望者は物理の前半部分を履修していた。理系は全体の半分ぐらいと考えて良いだろう。職業高校の事情はわからないが、教科書販売数から求めた履修率の約半分が理系志望者に相当すると考えてよいだろう。

B期、D期、E期では上級物理の履修率《上級》は15%前後であった。また武井氏の証言によれば、C期の「物理」の教科書販売数から求めた履修率(35%)の約半分が理系志望者に相当すると考えられる。この証言に基づいて計算したC期の「物理系予備群の比率」

は 15%強である。

このように B～E 期（1973-2012）の 40 年間にわたって「物理系予備群」の比率は 15%前後であった可能性が高い。これは「学習指導要領」が変わっても物理系予備群の比率は変わらなかったことを意味している。そうであるならば、A 期の物理系予備群の比率は 15%前後であった可能性が高く、A～E 期（1963-2012）の半世紀のあいだ、物理系予備群の比率は 15%前後で変わらなかったと仮定することは妥当である。

次項では C 期（1982-1993）の履修率のデータが欠落している問題を解決するもうひとつの方法として、センター試験の上級物理の受験者数から推定する方法を検討する。

b. センター試験における物理受験率

(i) センター試験の受験科目と受験者数・受験者率の推移

大学共通第 1 次学力試験（以下、共通 1 次試験）は、1979（昭和 54）年度から 1989（平成 1）年年度まで 11 年間にわたり、すべての国公立大学と産業医科大学⁵⁶の入学志願者を対象として実施された（URL13）。1990 年 1 月に共通 1 次試験から大学入学者選抜大学入試センター試験（以後、センター試験）へ移行し、すべての国公立大学（国立 95 大学、公立 37 大学）のほかに 16 私立大学がセンター試験を利用した。1990（平成 2）年度には約 43 万人の志願者（受験者は約 41 万人）があった（URL14）。1991（平成 3）年度から徐々にセンター試験への私立大学の参加数が増え、1997（平成 9）年度には国立大学 95 大学、公立大学 53 大学、私立大学 152 大学となり、受験者数は約 55 万人に達した。その後も参加大学数は増え続けたが、受験者数は 2016（平成 28）年度まで 50 万人台で推移した（URL15）。

表 5-2 にセンター試験の受験科目を示す。国語と英語、理系志望者と理系以外の志望者の数学と理科（物理・化学・生物・地学）の受験科目（1990-2014）、そして学習指導要領における物理関連の必修科目・選択科目（C 期-F 期）との対応を示した。理系志望者が選択する数学・理科の受験科目（これらを理系受験科目と呼ぶ）と物理の科目を太字で表した。

センター試験で理系受験科目の物理（太字の物理、物理 IB、物理 I）を選択した理系志望者は、高校で上級物理を選択したと考えられる。したがって、太字の物理（理系物理）を選択した受験生は物理系予備群である。本項では、この理系物理の受験者数と高等学校の生徒数から上級物理の履修率を求める方法の妥当性を検討する。

⁵⁶ 産業医科大学は 1982（平成 57）年度から参加。

表5-2 大学入学者選抜大学入試センター試験における受験科目（1990-2014年度）と学習指導要領における物理関連の必修科目・選択科目（C期・F期）との対応。

年度		国語・外国語		理系志望者の受験科目					理系以外の志望者の受験科目		学習指導要領	
西暦	平成	国語	英語	数学	物理	化学	生物	地学	数学	理科	期	必修・選択物理
1990	H2	国語	英語	数学Ⅱ	物理	化学	生物	地学	数学Ⅰ	理科Ⅰ	C	理科Ⅰ／理科Ⅱ／ 物理
1991	H3											
1992	H4											
1993	H5											
1994	H6											
1995	H7											
1996	H8											
1997	H9	国語Ⅰ／ 国語Ⅰ・Ⅱ	英語	数学Ⅱ／数学Ⅱ・数学B／旧数学Ⅱ	物理ⅠB	化学ⅠB	生物ⅠB	地学ⅠB	数学Ⅰ／数学Ⅰ・数学ⅠA／旧数学Ⅰ	総合理科／理科Ⅰ／物理ⅠA／ 化学ⅠA／生物ⅠA／地学ⅠA	D	総合理科／物理ⅠA／ 物理ⅠB／物理Ⅱ
1998	H10											
1999	H11											
2000	H12											
2001	H13											
2002	H14											
2003	H15											
2004	H16											
2005	H17											
2006	H18	国語	英語	数学・数学B	物理	化学	生物	地学	数学／数学・数学A	理科総合A／理科総合B／総合理科／ 物理A／化学A／生物A／地学A	E	理科基礎／理科総合A ／理科総合B／ 物理Ⅰ／物理Ⅱ
2007	H19											
2008	H20											
2009	H21											
2010	H22											
2011	H23											
2012	H24	国語	英語	数学Ⅱ／数学Ⅱ・数学B	物理Ⅰ	化学Ⅰ	生物Ⅰ	地学Ⅰ	数学Ⅰ／数学Ⅰ・数学A	理科総合A／理科総合B	F	科学と人間生活／ 物理基礎／物理
2013	H25											
2014	H26											

【注1】 URL16と表5-1を元に筆者が作成。

【注2】 受験科目欄の太字は理系志望者が選択する数学・理科の受験科目；学習指導要領欄の太字は物理の選択科目。

図 5-14 に大学入試センター試験における国語と英語、数学・理科の理系受験科目（上級と表記）を選択した受験者数(a)と受験率(b)の推移（1990-2014）を示す(URL16)。図の太実線が理系受験科目の物理を履修した受験者数と受験率である。

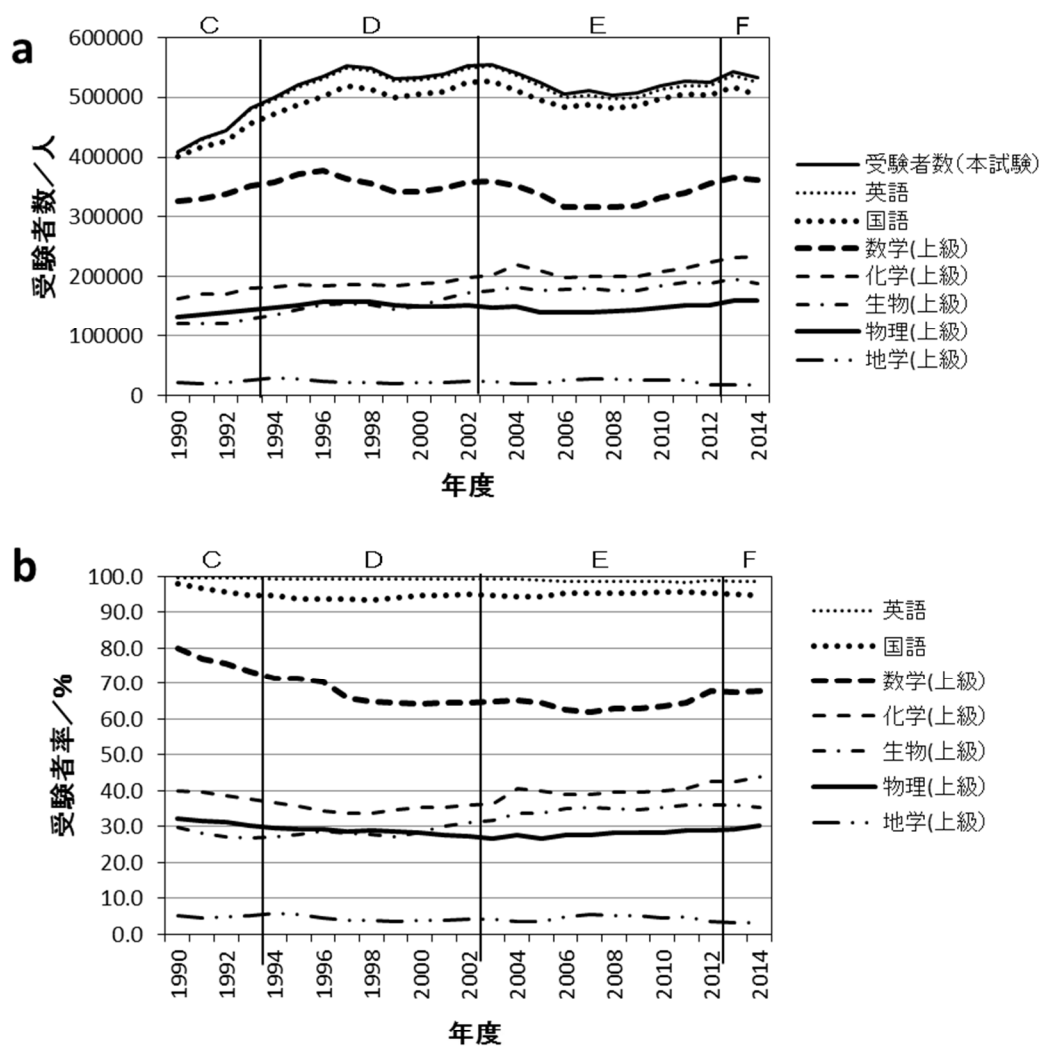


図5-14 大学入学者選抜大学入試センター試験における各科目の受験者率の推移(1990 – 2014): a) 受験者数の推移（本試験の総受験者数と英語、国語、数学（上級）と理科の上級4科目）；b) 受験者率の推移（総受験者数に対する各科目の受験者数の割合）。

【注1】 C-Fは学習指導要領の期間（表5-2）。【注2】 1990年1月に実施された試験は「1990年度大学入試センター試験」である。【注3】 出典はURL16。

受験者数(a)の推移からつぎのことが判る：

- 全受験者数は C 期から D 期前半（1990-1997 年）まで毎年増加して 50 万人を越え、その後は 50 万人台前半で推移した。
- 英語の受験者数はほぼ全受験者数に等しく、国語の受験者数を上回った。
- 英語、国語、数学の受験者数は総受験者数と同じ時期に増減した。
- 化学（上級）、生物（上級）は年々受験者数が増えた。
- 物理（上級）、地学（上級）の受験者数は増加傾向であったが、化学と生物ほど顕著ではなかった。

英語の受験率(b)は C 期から F 期（1990-2014 年）までほぼ 100%で推移したが、それ以外の科目の受験率率は C 期から D 期前半（1990-1997 年）まで減少し、その後は概ね一定だった。物理（上級）の受験率は C 期から F 期を通じて 30%前後で推移した。

表 5-3 にセンター試験の科目別の平均受験者率の推移をまとめて示す：(1) 学習指導要領の期ごとの総受験者数に対する科目ごとの平均受験者率、(2) 全期間（1990-2014 年度）の科目ごとの平均受験者率と標準偏差、(3) 科目ごとの受験者率の変動係数。科目は国語、英語と数学（上級）、物理（上級）、化学（上級）、生物（上級）、地学（上級）の 7 科目である。ここで上級とは理科系志望者が選択する受験科目である（表 5-2 参照）。

全期間（1990-2014）にわたる平均受験者率は英語（99.1%）が最も高く、ついで国語（95.0%）、数学（67.4%）、化学（38.2%）、生物（31.5%）、物理（28.9%）、地学（4.4%）の順であった。物理（上級）は化学（上級）より約 10%低く、生物（上級）より約 2.5%低かった。英語と国語の平均受験者率が他と比べて安定している理由は、これら 2 科目の受験が文系・理系を問わず必須であることと関係する。

変動係数（=標準偏差／平均値）はその科目の受験者率の安定性を示す指標であり、値が小さいほど安定である。変動係数の値が小さい順に、英語（0.004）、国語（0.010）、物理（0.048）、数学（0.071）、化学（0.074）、生物（0.110）、地学（0.165）であった。物理（上級）の変動係数が英語、国語に次いで 3 番目に低く、数学（上級）あるいは物理以外の理科 3 科目より小さかった。物理（上級）の受験者率の変動係数が理科 4 科目のなかでもっとも安定だった。

表 5-3 センター試験の各科目の平均受験者率（期ごと）の推移と各科目の全期間（1990-2014）を通じた平均受験者率・標準偏差および変動係数の比較

期	年度	科目						
		国語	英語	数学 (上級)	物理 (上級)	化学 (上級)	生物 (上級)	地学 (上級)
C期	1990-1993	96.3	99.6	76.5	31.3	38.9	28.1	5.0
D期	1994-2002	94.3	99.3	66.9	28.7	35.1	28.6	4.4
E期	2003-2012	95.3	98.8	64.1	27.9	39.7	34.7	4.5
F期	2013-2014	94.9	98.7	67.7	29.8	43.3	35.7	3.3
平均受験者率/%		95.0	99.1	67.4	28.9	38.2	31.5	4.4
標準偏差/%		0.97	0.37	4.81	1.39	2.81	3.46	0.73
変動係数/-		0.010	0.004	0.071	0.048	0.074	0.110	0.165

【注 1】学習指導要領の実施期間は A 期（1963-1972）、B 期（1973-1981）、C 期（1982-1993）、D 期（1994-2002）、E 期（2003-2012）、F 期（2013-）である。【注 2】受験者率（%）は各科目の受験者数のセンター試験（本試験）の総受験者数に対する割合である。

【注 3】上級とは理科系志望者が選択する受験科目である（表 5-2 参照）。【注 4】変動係数は標準偏差を平均受験者率で除した値である。

(ii) センター試験における上級物理受験者率

理科 4 科目の必修・選択の基準が様々に変化したにも関わらず、25 年間にわたって大学進学志望者の一定割合の高校生が常に物理（上級）を選択した事実の特筆すべきである。これは理系志望者にとって上級物理が必須科目に近い位置づけであったことを示唆しており、授業で上級物理を選択履修した理系志望の高校生の多くがセンター試験において物理（上級）を受験した可能性が高かったと考えられる。

そこで式(5-1)に示すように、1 学年相当の生徒数 (h_1) に対するセンター試験の物理（上級）の受験者数(p)の割合を C_1 として、図 5-15 に細実線で示す：

$$C_1 = p/h_1 \tag{5-1}$$

ここで C_1 は高校生のセンター試験上級物理の受験者率、 p はセンター試験の物理（上級）の受験者数、 h_1 は高校生の 1 学年相当の生徒数である。

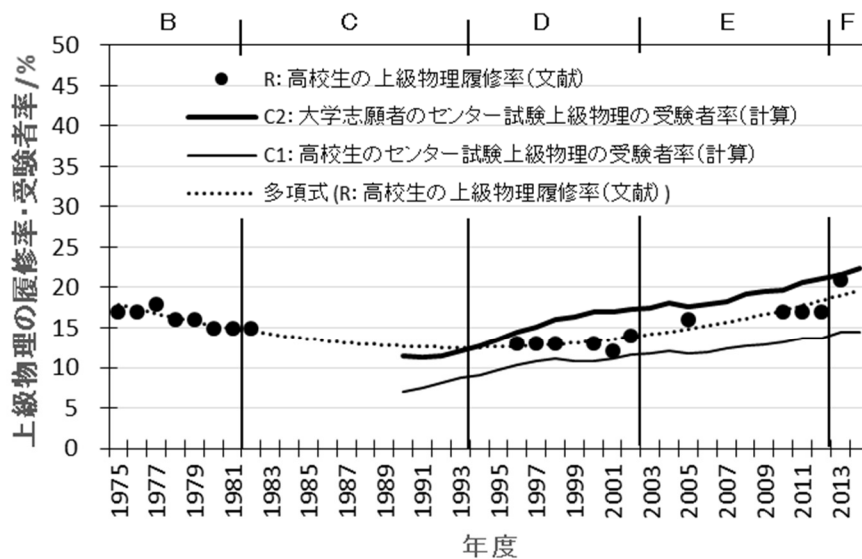


図 5-15 上級物理の履修率とセンター試験における上級物理受験者率の比較

【注 1】履修率は教科書販売数から計算した文献値である。【注 2】受験者率はセンター試験の上級物理の受験者数から計算した。【注 3】●は高校生の上級物理履修率 R (文献値)、太実線は大学志願者のセンター試験上級物理の受験者率 C1 (計算値)、細実線は高校生のセンター試験上級物理の受験者率 C2 (計算値)、点線は R の 2 次近似式 $y = 0.0164x^2 - 0.6261x + 18.497$ 、y は上級物理の履修率 R (%)、x はデータ番号 (西暦年数 - 1974) である。【注 4】学習指導要領の実施期間を A 期 (1963-1972)、B 期 (1973-1981)、C 期 (1982-1993)、D 期 (1994-2002)、E 期 (2003-2012)、F 期 (2013-) と表示した。

授業で上級物理を履修したすべての生徒がセンター試験において物理 (上級) を受験するわけではない。式(5-2)に示すように、高校生のセンター試験における物理 (上級) の受験者率(C1)は教科書販売数から求めた上級物理の履修率 R (文献値; 図 5-15 ●) より小さいか等しい (分母は同じだから分子の大小で不等号の方向が決まる) :

$$R = r/h1 \geq p/h1 = C1 \tag{5-2}$$

ここで R は上級物理履修率、r は上級物理履修者数、h1 は高校生の 1 学年相当の生徒数、p はセンター試験の物理 (上級) の受験者数、C1 は高校生のセンター試験上級物理の受験

者率である。

C1 は 1990-2014 年の 25 年間で 7.0%から 14.5%へ 2 倍以上も単調に増加した。図 5-12 によれば、高校等卒業者数（高等学校卒業者数及び中等教育学校後期課程修了者数）は 1992（平成 4）年にピーク（181 万人）となり、その後年々減少した。センター試験の物理（上級）の受験者数(p)は 1998（平成 10）年に約 159,000 人で最高値となり、その後 2006（平成 18）年まで減少した。

式(5-3)は、大学入学志願者数(h2)に対するに対するセンター試験の物理（上級）の受験者数(p)の割合 C2 である。これを図 5-15 に太実線で示す。大学入学志願者数 h2 は、『学校基本調査』（文部省・文部科学省 1993-2014；高等学校>全日制・定時制>進路別卒業者数）の数値を用いて、式(5-4)で計算した：

$$C2 = p/h2 \quad (5-3)$$

$$h2 = h1 - (j + du) \quad (5-4)$$

ここで、C2 はセンター試験物理（上級）の受験者数の大学志願者数率、p はセンター試験の物理（上級）の受験者数、h2 は大学入学志願者数、h1 は高校の卒業者数、j は就職者数、du は死亡・不詳の者の人数である。

大学入学志願者数(h2)は 1992（平成 4）年にピーク（約 120 万人）となり、その後年々減少した。h2 は h1 より小さいか等しいので、式(5-1)と式(5-3)より、C2 は C1 より大きい
か等しい：

$$C2 \geq C1 \quad (5-5)$$

図 5-15 から判るように、C1、C2 いずれも 1990-2014 年の 25 年間のあいだ単調に増加し、1996-2013 年のあいだ、R 値は [C2>R>C1]の関係を保ちながら増加した。

c. C 期における上級物理履修率の推定

問題は C 期における上級物理履修率 R を推定することである。C 期では 1982 年に R 値のデータが一つだけあり、そのほかの年の R 値は全くわからない。唯一の手がかりはセン

ター試験開始直後の 1990 年から 1995 年までの C2 の値である。そこで D 期後半～E 期 (1996-2013) における R 値 (11 年分) と C2(1990-2014)の関係から 1990-1995 年における R 値と C2 の大小関係を推定する方法を検討する。

図 5-15 に上級物理履修率 R (文献値; 1975-2013) の 19 年分のデータを 2 次多項式で近似した曲線を示す (点線)。この多項式が式(5-6)である :

$$y = 0.0164x^2 - 0.6261x + 18.497 \quad (5-6)$$

ここで y は上級物理の履修率 R (%), x はデータ番号 (西暦年数-1974) である。

1996-2000 年の R と C2 の値に着目すると、その差は 1996 年に近いほど小さく、1996 年で 1.4%である。式(5-6)が近似した R 値 (y) と C2 の差は 1990-1995 年のあいだ、1%未満であり、1996-2000 年の R と C2 の関係 (その差は 1996 年に近いほど小さい) と整合する。したがって、R の近似式 (5-6) を用いて C 期における上級物理履修率 R を推定することは妥当であると考えられる。

センター試験の上級物理の受験者数から C 期 (1982-1993) の履修率を推定した。その結果、B 期から E 期までの 38 年間 (1975-2012) の上級物理履修率 R は式 (5-6)、すなわち図 5-10 の点線の近似曲線で見積もることができた : B 期 (1975-1981) において 17%から 15%へ緩やかに低下し、C 期 (1982-1993) において 15%から 13%前後までさらに低下したあと、D 期 (1994-2002) ではほぼ 15%を維持し、E 期 (2003-2012) において 18%前後に回復した。R は C 期から D 期に変わる 1992-94 年頃に最も低く (12.5%)。D 期から E 期にかけて増加し、2012 年頃に B 期の最高値 R (1977、18%) を越えたと推測される。高校における上級物理の履修率は、選択物理の時代 (B 期) からゆとり教育の時代 (C 期) における低迷を克服して 2014 年は 20%に迫るまで回復した。

次項では上級物理の履修率と世代人口の減少を考慮したうえで、博士課程学生数がどのように推移したかについて検討する。

5.4. 大学 : 物理系大学院への進学

1.4. (図 1-3) で述べたように、博士課程学生数は論文数の変化に大きな影響を与える有力な変数である可能性がある。本節では、物理系大学院志望予備群 (上級物理を履修した高校生群) を母集団とする規格化学生数 (世代人口と高校物理の履修率の影響を除去した物理

系大学院博士課程の進学率) を求め、規格化学生数と物理論文数の関係を検討する。

5.4.1. 物理系博士課程の規格化学生数

すべての高校生が高校 3 年間のいずれかの 1 年間、同じ学年で上級物理を履修すると仮定する。実際には学校により上級物理を履修する学年は異なり、2 年間で履修する場合もあるが、単純化する。

すべての高校生が h 年生 ($h=1, 2, 3$ のいずれか 1 つに固定) のときに上級物理を履修すると仮定したとき、西暦 y 年度に物理系博士課程 (3 学年) に在籍した博士課程 d 年生が高校 h 年生だった年を西暦 z 年度とすると、 z は式(5-7)である：

$$z = y - d + h - 9 \quad (5-7)$$

ここで $h=1\sim 3$ である。

西暦 y 年度の規格化学生数 $Ds_p(h, y)$ は式 (5-8) である：

$$Ds_p(h, y) = \frac{Dn_p(h, y)}{\sum_{d=1}^3 H_p(h, d, y, z)} \quad (5-8)$$

ここで $Dn_p(h, y)$ は西暦 y 年度に物理系博士課程 (3 学年) に在籍した学生数、 $H_p(h, d, y, z)$ は西暦 y 年度に物理系博士課程 (3 学年) に在籍した学生 (d 年生、 $d=1, 2, 3$) が高校 h 年生 (h は 1, 2, 3 のいずれか 1 つと仮定) だった西暦 z 年度に上級物理を履修した高校生数である。すなわち、 $\sum_{d=1}^3 H_p(h, d, y, z)$ は西暦 y 年度に博士課程 (3 学年、 $d=1\sim 3$) に在籍した学生が高校 h 年生のときに属した物理系予備群の人数である。

西暦 z 年度の高校生数を $Hn(z)$ 、西暦 z 年度の上級物理履修率を $C_p(z)$ とすると、西暦 y 年度の博士課程 d 年生が高校 h 年生だった西暦 z 年度に上級物理を履修した物理系予備群の高校生数 $\sum_{d=1}^3 H_p(h, d, y, z)$ は式(5-9)となる：

$$\sum_{d=1}^3 H_p(h, d, y, z) = \sum_{d=1}^3 \{Hn(z) \times C_p(z)\} \quad (5-9)$$

ここで、 d は博士課程の学年数 ($d=1, 2, 3$)、 h は高校で上級物理を履修した学年 ($h=1, 2, 3$ の

いずれか 1 つに固定)、 $H_n(z)$ は西暦 z 年度の高校生数、 $C_p(z)$ は西暦 z 年度の高校上級物理の履修率である。

式(5-8)と式(5-9)より、西暦 y 年度の物理系博士課程の規格化学生数 $D_{s_p}(h, y)$ は式(5-10)で求めることができる：

$$D_{s_p}(h, y) = \frac{D_{n_p}(h, y)}{\sum_{d=1}^3 \{H_n(z) \times C_p(z)\}} \quad (5-10)$$

物理系大学院志望予備群の生徒数 $\sum_{d=1}^3 H_p(h, d, y, z)$ は高校の生徒数の変動と物理履修率の変動を考慮している。したがって、「規格化学生数」 $D_{s_p}(h, y)$ は物理系大学院志望予備群を母集団とした物理系大学院博士課程への進学率である。

図 5-16a に式(5-10)を用いて計算した物理系博士課程の規格化学生数（左軸）を示す。この計算では上級物理の履修率は図 5-15 に点線で示した近似式の値（右軸）を用いた。規格化学生数は上級物理を履修した物理系大学院志望予備群の高校生 1 万人当たりの物理系博士課程への進学者数である。博士課程の規格化学生数は 1982 年(10,000 人当たり 12.4 人)から年々増加し始め、1991 年からさらに急激に増加して 1996 年にピーク(1 万人当たり 27.4 人)になり、その後年々減少して 2002-2012 年は 23 人前後で推移した。

図 5-16b に博士課程の規格化学生数（左軸）と物理系博士課程の実際の学生数（3 学年合計；右軸）を示す。物理系博士課程の規格化学生数は、物理系大学院志望予備群の高校生を母集団とする博士課程への進学率である。したがって、高校の生徒数の減少と上級物理の履修率の低下の影響が排除された学生数である。この規格化学生数が実際の学生数と同様に 1996 年から減少し始め、2003 年頃まで減少が続いた。この事実は、実際の学生数が減少した本質的な原因は世代人口の減少や高校物理の履修率ではなく、それ以外の要因が存在することを示唆している（飯嶋・中田・山口 2015）。

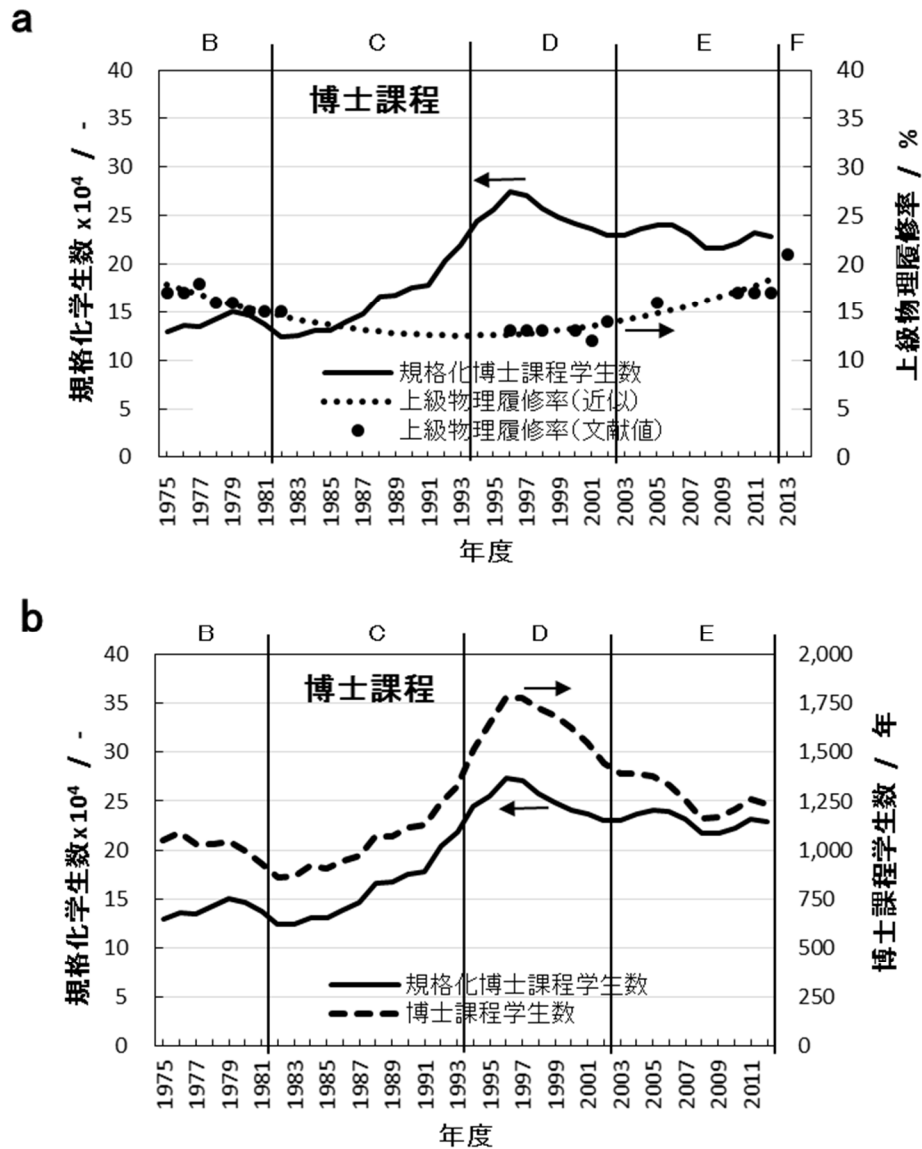


図 5-16 物理系大学院博士課程の規格化学生数の推移(1975-2012) : a 規格化学生数と高校における上級物理の履修率の推移 ; b 規格化学生数と実際の学生数 (博士課程 3 学年合計) の比較

5.4.2. 物理系修士課程の規格化学生数

西暦 y 年度の物理系修士課程の規格化学生数 $Ms_p(h, y)$ も博士課程と同様に計算することができる。この場合、式(5-7)は式(5-11)となり、式(5-10)の $Ds_p(h, y)$ を $Ms_p(h, y)$ とし、 $Dn_p(h, y)$ を $Mn_p(h, y)$ に書き換え、 d を m ($m=1, 2$) に置き換えて、 z を修士課程の学生が高校 h 年生だった年度に読み替えれば、 $Ms_p(h, y)$ は式(5-12)で求めることができる :

$$z = y - m + h - 7 \quad (5-11)$$

$$Ms_p(h,y) = \frac{Mn_p(h,y)}{\sum_{m=1}^2 \{Hn(z) \times C_p(z)\}} \quad (5-12)$$

ここで $Mn_p(h,y)$ は西暦 y 年度に物理系修士課程（2 学年）に在籍した学生数、 z は修士課程の学生が高校 h 年生だった年度、 $Hn(z)$ は西暦 z 年度の高校生数、 $C_p(z)$ は西暦 z 年度の高校上級物理の履修率である。

図 5-17a に式(5-12)を用いて計算した物理系修士課程の規格化学生数を示す（上級物理の履修率は図 5-17a の点線）。規格化学生数は上級物理を履修した物理系大学院志望予備群の高校生 1 万人当たりの物理系修士課程への進学者数である。修士課程の規格化学生数は 1981 年(10,000 人当たり 40 人)から年々増加し、1995 年にピーク(1 万人当たり 88 人)に達し、その後 2010 年頃まで 90 人前後を維持し、2010 年代 95 人まで増加した。

図 5-17b に修士課程の規格化学生数（左軸；図 5-17a と同じ）と物理系修士課程の実際の学生数（2 学年合計；右軸）を示す。実際の修士課程の学生数は 1995 年から 2002 年頃まで減少したが、世代人口の減少と上級物理の履修率の影響を排除して求めた規格化学生数は 2010 年頃までほぼ一定数を維持した。

前項で示したように物理系博士課程の規格化学生数は 1990 年代後半に急減したが、物理系修士課程の規格化学生数は急激に減少することなく、増減を繰り返しながら増加した。この事実は、この期間に修士課程への進学は強く抑制されることがなかったが、博士課程への進学に対しては強く抑制する要因が働いたことを示唆する。

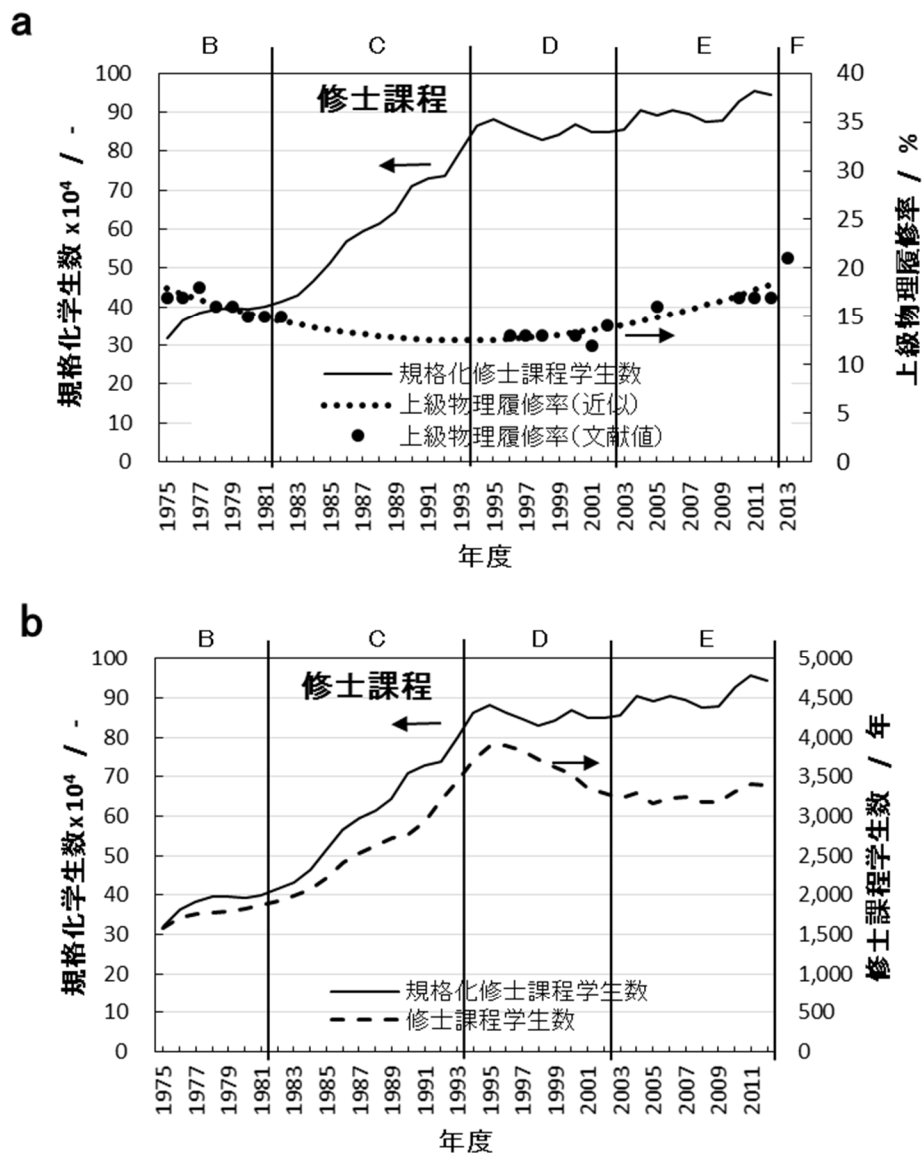


図 5-17 物理系大学院修士課程の規格化学生数の推移(1975-2012) : a 規格化学生数と高校における上級物理の履修率の推移 ; b 規格化学生数と実際の学生数 (修士課程 2 学年合計) の比較

5.4.3. 日本の物理論文数と博士課程学生数

図 5-18 に、少なくとも一人の著者が日本に立地する研究機関 (大学、研究所、企業など) に所属している物理学分野の論文数 (言語は英語) の推移 (1992-2013 年 ; 図 5-18 の実線) と、日本の大学 (国立、公立、私立) で物理学を専攻する博士課程の学生数の推移 (1992-2003 ; 図 5-18 の◆) を示す。

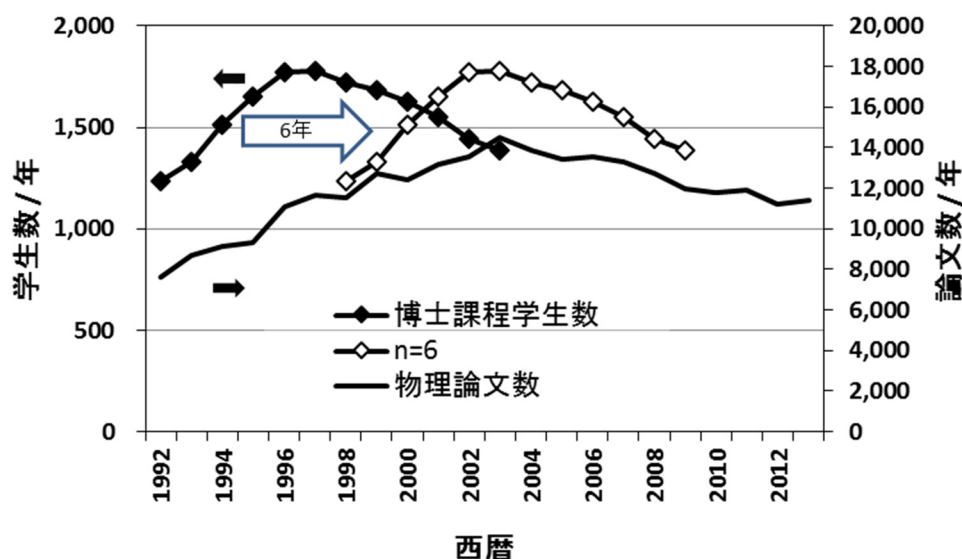


図 5-18 日本の物理論文数と物理専攻の学生数（博士課程）の推移

【注 1】◆は日本の物理専攻の博士課程学生数（12 年間；1992-2003）、◇は物理専攻の学生数を 6 年間右（未来）へスライドさせた場合、実線は物理論文数。【注 3】学生数は理学系物理学と工学系応用物理学を専攻する博士課程 3 学年に在学する学生数の合計である。【注 4】学生数は文部省・文部科学省『学校基本調査報告書』（1992-2003 年）、論文数は Web of Science®, SCI-EXPANDED；期間、1992-2013 年；検索日、2014 年 8 月 24 日。

学生数は理学系物理学と工学系応用物理学を専攻する博士課程 3 学年に在学する学生数の合計である。この期間の理学系物理学専攻の学生の割合は平均で 86.8%であった。学生数は 1996 年をピークとするひと山の増減を示しており、その範囲は 1,200-1,800 人であった。論文数は 2003 年をピークとする大きなひと山の増減を示した。1992 年に年間約 8,000 報であった論文数は年々増加して 2003 年に約 14,000 報に達したあと減少に転じ、2013 年には約 11,000 報になった。

学生数と論文数の相関性を検討するに当たり、博士課程の学生が在学期間中の 3 年間に書く論文数を見積もり、論文数全体において学生が第一著者である論文数の割合を知ることとは物理論文が急減した要因を考察するうえで有効である。

博士論文提出の要件における論文数の規定は大学や研究科により異なる。たとえば、筑波大学大学院が定めた社会人学生(adult student)の早期修了プログラム (Early completion program) の審査要件には、数理物質科学研究科の7専攻について、つぎのように記載されている (URL17) :

- 数学専攻、論文2編以上 (国際学術誌に掲載済みまたは掲載を認められたもの。1編は単著であること。)
- 物理学専攻、論文3編以上 (国際学術誌に掲載済み、または掲載を認められたもの。)
- 化学専攻、筆頭著者の論文あるいは貢献度の高い論文、合わせて3編以上 (国際学術誌(査読付き国際会議論文を含む)に掲載済み、または掲載を認められたもの。)
- ナノサイエンス・ナノテクノロジー専攻、筆頭著者の論文あるいは貢献度の高い論文、合わせて3編以上 (国際学術誌(査読付き国際会議論文を含む)に掲載済み、または掲載を認められたもの。)
- 電子・物理工学専攻並びに物性・分子工学専攻、論文3編以上 (国際学術誌に掲載済みまたは掲載を認められたもの。筆頭著者に限る。)
- 物質・材料工学専攻、論文4編以上 (国際学術誌に掲載済みまたは掲載を認められたもの。筆頭著者に限る。)

これら7専攻の平均論文数は、「国際学術誌に掲載済み、または掲載を認められたもので、筆頭著者論文あるいは貢献度の高い論文をあわせて3編以上」である。仮に、日本の大学院理学系あるいは工学系研究科の学生が博士課程在学中に執筆する平均的な論文数が「英語で書かれた第一著者論文を年1報」、すなわち「3年間で3報」であるとすれば、博士課程の在学生在が第一著者である論文数は日本の物理論文全体の高々1割に過ぎない。したがって、ある年の学生数とその年の物理論文の動向を左右しているとは考えにくい。

さらに図5-18から分かるように、論文数と学生数の両曲線のピーク位置は6-7年ほどずれており、明らかに両者のあいだに高い相関性があるようには見えない。論文数のピーク(2003年)と博士課程の在在学生数のピーク(1996年)が重なるように学生数データ(◆)を図の右方向に6年間ずらした曲線(◇)を図5-18に重ねて描いた。ずらした年数をn年と表記すれば、n=6付近で論文数と学生数のあいだの相関性は高そうである。

図5-19に論文数とn=0からn=10で平行移動させた学生数との相関係数Rとnの関係

を示した。R は 1992-2003 年の学生数のデータを $n=0$ から $n=10$ まで一年ずつずらしながら、対応する 12 年間の論文数と比較して計算した。R-n 曲線は上に凸の曲線となり $n=6-7$ で極大となった。これは学生数の変化より 6-7 年間遅れて論文数が変化していることを意味しており、学生数の変化が 6-7 年後の論文数になんらかの影響を及ぼす可能性を示唆している。

上で述べたように、日本の物理論文の約 1 割の第一著者は博士課程の学生である、すなわち、残りの約 9 割の論文の第一著者は博士課程の学生以外の研究者である。そうであるならば、日本の物理論文は学生以外の研究者の人数に依存して変化すると考えることは妥当である。

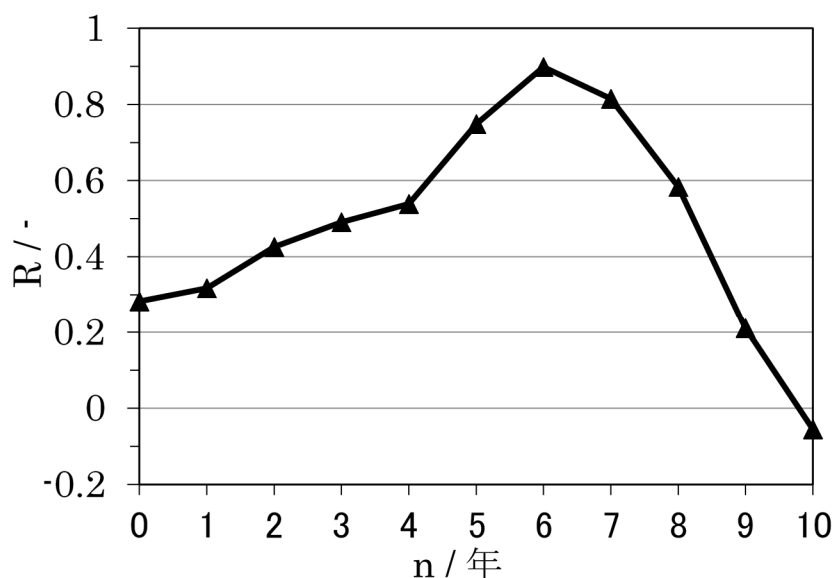


図 5-19 日本の物理論文数と物理専攻の学生数（博士課程）の相関性 R のずれ年数 n 依存性

【注 1】n は論文数と学生数のずれ年数（学生数データ年が論文数データ年より n 年古い）。【注 2】物理専攻の学生数は文部省・文部科学省『学校基本調査報告書』（1992-2003 年）、物理論文数は Web of Science®, SCI-EXPANDED（1992-2013 年；検索日、2014 年 8 月 24 日）に依る。

図 5-19 は博士課程の学生数の変化が 6-7 年後の論文数に影響を及ぼす可能性を示唆している。「1996 年に博士課程に在学していた学生が博士課程在学期間から 6-7 年経ったころ、すなわち 31-34 歳の研究者となった 2003 年ころに研究者群のなかではもっとも人数が多い年齢層として多数の論文を生産性していた」とすれば、2003 年に日本の物理論文数がピークを迎えた事実を定性的に（0 次近似として）説明できるだろう。

米谷・池内・桑原(2013)は、2001-2009 年の 9 年間の博士課程在籍者数が 20 名以上、かつ 2003-2011 年の整数論文数が平均で 50 本以上の 142 大学（日本、国立大学 63、公立大学 19、私立大学 60）を分析対象として、大学の論文生産に関するインプット・アウトプット分析を行った：研究分野は自然科学全体（理学、工学、農学、保健[医学、歯学、薬学]）を対象とし、インプットがアウトプットに結びつくまでの期間は、長岡ほか(2011)の結果（自然科学分野で研究を開始してから論文を投稿するまでの期間の中央値が 2 年間であった）に基づいて 2 年間と仮定した。大学内の時点間の違いでみると、教員数と論文数には正の相関（教員数が増えれば、論文数も増える）があった。一方、大学院博士課程在籍者については「国立大学、私立大学ともに論文数と相関がなかった」（米谷・池内・桑原 2013 : 30）と結論した。

本節で検討した物理論文数と物理系大学院博士課程の学生数の関係は、図 1-3 から予想したような相関性はなかった。この結果は米谷・池内・桑原(2013)の結果（論文数と学生数のあいだに相関がなかった）と符合する。また米谷・池内・桑原(2013)のもうひとつの結果（教員数と論文数には正の相関がある）は、教員の範囲を拡大して博士課程を修了した研究者と解釈すれば、本節の結果「博士課程学生数の変化が 6-7 年後の論文数に影響を及ぼす可能性がある」を否定はしない。

第 4 章で物性物理あるいは応用物理分野の若手研究者（国内研究だけの研究者）が中堅研究者（海外共同研究を経験した研究者）に成長するまでに要する時間が 10 年間(3-10 年間)であることを示した。若手研究者が博士課程を修了した直後の研究者であるとする、6-7 年たって成長した研究者は海外共同研究を経験した中堅研究者に相当する。このように考えると、博士課程学生数のピークから 6-7 年間あとに物理論文数がピークを迎えることは、若手研究者が中堅研究者に成長して効率的に論文を生産するようになるまで 6-7 年間の時間差が必要であることで説明することができる。

6. 大学院物理学専攻の進学率の決定要因：理論モデルに基づく重回帰分析

物理論文数と物理系博士課程学生数とのあいだに 6・7 年間の時間差を考慮すると両者に強い相関がある（第 5 章）。この時間差は、博士課程を修了した若手研究者が経験を積んで中堅研究者になるまでに要する年数である（第 4 章）と仮定すると、時間差を考慮した単回帰分析により物理論文数は博士課程学生数で説明することができる。

本章では、「知識と人」社会循環モデルに基づく重回帰分析を行い、修士課程（物理学専攻）と博士課程（物理学専攻）への進学率の決定要因を明らかに検討する。Nakata and Mosk(1987)あるいは荒井（1995）が行った日本の大学進学率の決定要因に関する研究を参考にすれば、日本の博士課程進学率も内部収益率法を用いず、直接の大学費用や放棄稼得、家計所得などを決定要因とする分析で説明できると考える。ただし、博士課程進学率を検討する際には修士課程と博士課程の高等教育における位置づけを確認し、1990 年代以降の大学院教育の改革や日本経済の状況を考慮する必要がある。

6.1. 物理学専攻の修士課程・博士課程への進学選択：高等教育進学モデル

物理学を専攻する大学生（学士課程）と大学院生（修士課程）の上級課程への進学率、すなわち修士課程進学率と博士課程進学率の推移（1973-2012）を検討し、日本の高等教育における学士課程、修士課程、博士課程の相互の位置づけを明らかにする。

6.1.1. 進学率の定義

a. 進学者率と入学者率

進学率（Rate of entering to upper courses）は 2 通りの方法で求めた。修士課程（物理学専攻）の卒業者を例に説明する。統計表において x 年度の卒業者数は x 年度の就職者数と x 年度の進学者数、そして x 年度の死亡・不詳の者等の合計である。

第 1 の方法では、当該年度(x)の前年度、($x-1$)年度の修士課程（物理学専攻）の卒業者数に対する($x-1$)年度の進学者数の割合を卒業者のうちの上級課程への進学者の割合という意味で当該年度(x)の「上級課程進学者」（A, advancement rate）と呼び、AD と表記する。同様に、物理学科の卒業者のうち、上級課程である修士課程への進学者の割合を「上級課程進学者率」と呼び、AM と表記する。

進学者は就職せずに上級課程へ進学した学生であるが、全員が博士課程（物理学専攻）へ

進学したとは限らない。少数の者は他専攻へ進学あるいは海外へ留学した者である可能性がある。したがって上級課程進学者率 AD は修士課程（物理学専攻）で学んだ学生であって、いずれかの上級課程へ進学した学生の修士課程（物理学専攻）の卒業者数に対する割合である。同様に、上級課程進学者率 AM は学士課程（物理学科）で学んだ学生であって、いずれかの上級課程へ進学した学生の学士課程（物理学科）の卒業者数に対する割合である。

第2の方法では、当該年度(x)の前年度、($x-1$)年度の修士課程（物理学専攻）の卒業者数に対する当該年度 (x) の博士課程（物理学専攻）の入学者数の割合を前年度の修士課程（物理学専攻）の卒業者に対する次年度の博士課程（物理学専攻）の入学者の割合という意味で「物理学専攻入学者率」(E , enrollment rate)と呼び、 ED と表記する。同様に、($x-1$)年度の物理学科の卒業者に対する x 年度の修士課程（物理学専攻）への入学者の割合を「物理学専攻入学者率」と呼び、 EM と表記する。

入学者は実際に博士課程（物理学専攻）へ進学した学生であるが、全員が修士課程（物理学専攻）を修了した学生とは限らない。少数の者は他専攻を修了あるいは海外から留学した者である可能性がある。したがって物理学専攻入学者率 ED はいずれかの修士課程で学んだ学生であって、博士課程（物理学専攻）へ入学した学生の修士課程（物理学専攻）の卒業者数に対する割合である。同様に、物理学専攻入学者率 EM はいずれかの学士課程で学んだ学生であって、修士課程（物理学専攻）へ入学した学生の学士課程（物理学科）の卒業者数に対する割合である。

上級課程進学者率 $AM \cdot AD$ と物理学専攻入学者率 $EM \cdot ED$ はいずれも進学率である。以後、簡略化して進学者率 AM 、進学者率 AD 、入学者率 EM 、入学者率 ED のように記述する場合がある。

x 年度の学士課程から修士課程への上級課程進学者率 $AM(x)$ 、修士課程から博士課程への上級課程進学者率 $AD(x)$ はそれぞれ式(6-1)と式(6-2)で求めた：

$$AM(x) = Na,m(x-1) / Ng,b(x-1) \quad (6-1)$$

$$AD(x) = Na,d(x-1) / Ng,m(x-1) \quad (6-2)$$

ここで $Na,m(x-1)$ は ($x-1$) 年度の学士課程から修士課程への進学者数、 $Ng,b(x-1)$ は ($x-1$) 年度の学士課程の卒業者数、 $Na,d(x-1)$ は ($x-1$) 年度の修士課程から博士課程への進

学者数、 $Ng,m(x-1)$ は(x-1)年度の修士課程の卒業生数である。

同様に、x年度の学士課程から修士課程への物理学専攻入学者率 $EM(x)$ 、修士課程から博士課程への物理学専攻入学者率 $ED(x)$ はそれぞれ式(6-3)と式(6-4)で求めた：

$$EM(x) = Ne,m(x) / Ng,b(x-1) \quad (6-3)$$

$$ED(x) = Ne,d(x) / Ng,m(x-1) \quad (6-4)$$

ここで $Ne,m(x)$ はx年度の修士入学者数、 $Ng,b(x-1)$ は(x-1)年度の学士卒業生数、 $Ne,d(x)$ はx年度の博士入学者数、 $Ng,m(x-1)$ は(x-1)年度の修士卒業生数である。

b. 連結進学率

当該年度(x)の修士課程から博士課程への進学率とその2年度前(x-2)の学士課程から修士課程への進学率を掛けた値を当該年度(x)の連結進学率と定義する。連結進学率も進学率である。連結進学率は上級課程進学率と物理学専攻入学者率で求めることができる。x年度の上級課程進学率の連結進学率 CA (combined advancement rate) は式(6-5)で、またx年度の物理学専攻入学者率の連結入学者率 CE (combined enrollment rate) は式(6-6)で求めることができる：

$$CA(x) = AM(x-2) \times AD(x) \quad (6-5)$$

$$CE(x) = EM(x-2) \times ED(x) \quad (6-6)$$

6.1.2. 物理学専攻の修士課程・博士課程への進学率の推移

図6-1に日本の国公立大学「物理学科」と大学院理学研究科「物理学専攻」の学生(男女)の進学率の推移(1973-2012)を示す。図6-1aに3種類の上級課程進学率(AM、AD、CA)、図6-1bに3種類の物理学専攻入学者率(EM、ED、CE)、そして図6-1cには両者を比較するため、6種類すべての進学率を重ねて示す。

計算に用いたデータは『学校基本調査』の大学、大学院の「進路別 卒業生数」の卒業生数と進学者数、または「入学状況」の入学者数である。

a. 上級課程進学者率の推移の傾向

修士課程への進学者率 AM (図 6-1a ; 点線) は 1973 年に約 20%であったが、徐々に増加して 1990 年に 30%を超えた。この 17 年間の増加率 (年率) は約 3%であった。1991-1994 年 (バブル崩壊) のあいだ、AM は増加率 (年率) 約 8%で急激に増加し、1994 年に 40%を越えた。その後、増加率は小さくなったが僅かな増減を繰り返しながら増え続け、2004 年に 50%を越えて 2012 年の AM は約 55%であった。AM の 1994-2012 年の増加率 (年率) は 1.4%であった。

一方、博士課程への進学者率 AD (図 6-1a ; 破線) は 1973 年に約 60%であったが、一時期 (1976 年前後⁵⁷) を除いて減少し続け、1982 年に約 35%になった。1976 年前後に AD は急増してすぐに減少したが、このとき AM も同じように一時的に増大してすぐ減少した。1983-1990 年のあいだに大きな変動の山が 2 つあったが、AD は 1990 年に 30%強まで減少した。バブルが崩壊した 3 年間 (1991-1993) で AD は 40%弱まで増加し、1996 年まで 40%弱を維持した。その後 1997 年から AD は再び減少し始め、2012 年まで増減を繰り返しながら減少し、2012 年に 20%強となった。この間の減少率 (年率) は約 3.0%である。同じ時期に AM が増加し続けたことと対比的である。

連結進学者率 CA (図 6-1a ; 実線) は 1973 年から 1990 年まで 10%前後を維持した。1990 年から増加し始め、1996 年に 15%を越えた。その後はほぼ一定を維持し、2012 年に 13%強であった。CA が増加した 1991-1996 年は修士課程への進学者率 AM と博士課程への進学者率 AD が共に増加したあと高止まりした時期である。

b. 上級課程進学者率と物理学専攻入学者率の比較

図 6-1b に 1973-2012 年における修士課程への入学者率 EM (点線)、博士課程への入学者率 ED (破線)、連結入学者率 CE (実線) を示す。図 6-1c に進学者率 (AM と AD、CA) と入学者率 (EM、ED、CE) を重ねて示す。

図 6-1c から明らかなように、1973-1992 年の AM と EM (修士課程への進学)、AD と ED (博士課程への進学) はほぼ重なっており、進学率の値と増減の傾向に大きな違いはない。連結進学者率 CA と連結入学者率 CE の比較においても 1973-1992 年のあいだ、CA は CE より僅かに大きかった (その差は 0.5%弱) が、両者はほぼ 10%前後で推移した。

⁵⁷ 第 1 次オイルショックが 1973-1975 年であった。

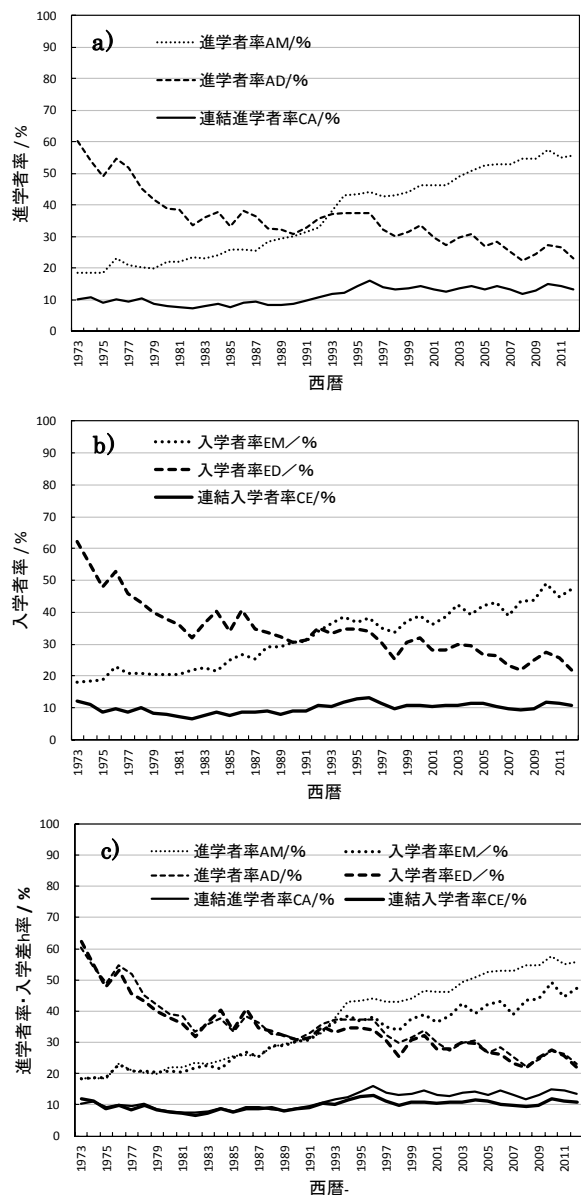


図 6-1 大学・大学院における進学率の推移：a) 進学者率の推移；b) 入学者率の推移；c) 進学者率と入学者率の重ね図

【注 1】対象は国公立大学理学部「物理学科」と同大学院理学研究科「物理学専攻」の男女学生。【注 2】図 6-5a の線種は、点線が学士課程から修士課程の進学者率 (AM%)、破線は修士課程から博士課程の進学者率 (AD%)、実線は学士課程から博士課程の連結進学者率 (CA%)。【注 3】図 6-5b の線種は、太点線が学士課程から修士課程の進学者率 (EM%)、太破線が修士課程から博士課程の進学者率 (ED%)、太実線が学士課程から博士課程の連結進学者率 (CE%)。【注 4】卒業生数、進学者数、入学者数は文部省・文部科学省「学校基本調査報告書」に依る。

しかし 1993 年以降の入学率と進学者率の値に明確な差が見られる。バブル崩壊後の 1993 年に AM が EM より 2%ほど大きくなり、その差は徐々に広がり 2001 年に AM が EM より 10%近く大きくなった。その後も AM が EM より大きい傾向（進学者率>入学率）が続き、2012 年まで AM と EM の差は 10%前後で推移した。AD と ED（博士課程への進学率）についても 1993 年に AD が ED より約 4%大きくなり、1998 年まで AD が ED より 3-5%ほど大きい傾向（進学者率>入学率）が続いた。連結進学率においても、1993 年に連結進学者率 CA が連結入学率 CE より 2%ほど大きくなり、その後 2012 年まで 2-4%ほど CA が CE より大きい傾向（進学者率>入学率）が続いた。

バブル崩壊のあと、進学者率（AM、DM）が入学率（EM、ED）より大きかったことは、学士から修士、修士から博士への進学選択において、物理学分野から他の分野へ専門を変えて進学する学生が多かったことを示唆する。学士課程から博士課程に進学する過程で物理学を専攻し続けた学生の割合が小さかったことは、第 2 次ベビーブーム世代が博士課程へ進学し始めた 1997 年から博士課程の学生数が減少し始めた原因の一つである。

6.1.3. 「修士・博士並列」モデルと「修士優位」モデル

a. モデルの変質

1970 年代前半において、学部卒業者の約 80%が就職し、約 20%が修士課程へ進学した。そして修士課程へ進学した学生の 50%が博士課程へ進学した。つまり修士課程へ進学した学卒者の 10%弱が博士課程まで進学し、残りの約 10%が修士卒で就職した。すなわち、1970 年代前半では学部卒就職者が約 80%、修士卒就職者が約 10%、博士進学者が約 10%であった。

このように 1970 年代前半において、学部卒就職者は圧倒的に多数であり大学院進学者は少数であった。その少ない大学院進学者の中で博士進学者が修士卒就職者と同じ割合（いずれも約 10%）だったという事実は、1970 年代前半の日本では進路選択において学生が大きな決断をしなければならないタイミングは大卒業時であり、修士課程を修了する学生の進路選択における就職と進学に対する関心は拮抗していたことを意味する。すなわち、修士卒・就職と修士卒・博士進学との 2つのケースが対等に並列していた。このような進学モデルを「修士・博士並列」モデルと名づける。

1990 年代初頭に修士課程への進学率が 30%台まで上昇したが、博士課程への進学率は 30%台に落ち込んだ。1990 年代前半では学部卒就職者が約 70%、修士卒就職者が約 20%、

博士進学者が約 10%であった。さらに 2000 年代になると修士課程への進学者率 (AM) が 50%を超えて 60%に迫り、博士課程への進学者率 (AD) は 20%台に激減した。つまり修士課程卒の学生のうち、学部卒就職者が約 40%、修士卒就職者が約 50%、博士進学者が約 10%となった。2000 年代の日本では修士課程に対する博士課程の相対的位置づけが低くなり、大学から大学院へ進学することは修士卒で就職することを意味するようになった。このようなモデルを「修士優位」モデルと名づける。

このように 1975-2000 年までの約 25 年のあいだに高等教育における修士課程の位置づけが大きく変わった。1970 年代前半では学部卒者の 10%程度だった修士卒就職者が 1990 年代初頭に約 20%、さらに 2000 年までに約 50%になった。一方、博士課程まで進学する者の割合は学卒者の約 10%のままであった。このような進学者率の推移を踏まえると、修士卒就職者が学部卒就職者を越えたのは 1990 年代半ばであると考えられる。すなわち、物理学分野における高等教育進学モデルは 1990 年代半ばに「修士・博士並列」モデルから「修士優位」モデルへ変質したといえる。

1990 年代以降の学生は大学の研究室での情報交換などを通じて、このモデルの変質をつぎの 3 点として明確に認識していた可能性がある：①物理企業が採用する理系学生の標準学歴が学部卒や博士卒ではなく修士卒である、②修士卒者は就職後の配属先の選択や昇進において学卒者より有利である。③博士卒者は修士卒者と比較して就職後の配属先の選択や昇進において特に有利であるわけではない。

b. バブル経済の進展と崩壊

バブル崩壊を契機に日本経済は長い停滞期に入ると同時に大学院改革が行なわれた。この偶然の一致が高等教育進学モデルに与えた影響について検討する。

バブル経済が進展した 1980 年代は、サイエンス型産業に属する企業の業績が良く、研究・開発を重視する機運が高まり、基礎研究ブームが起こった時期である。そのため修士卒者に対する企業の需要が高まり、修士課程学生が博士課程進学と就職を選択する際に企業のブル要因が強く働いた。その結果、1970 年代前半に 50-60%だった修士卒者の博士課程への進学者率 (AD、ED) は 1980 年代半ばまでに 35%前後に急減し、1990 年に約 30%になった。この間に学部卒者の修士課程への進学者率 (AM、EM) は約 20%から 30%まで上昇した。

バブル経済が崩壊した時期 (1991-1993) にも修士課程への進学者率 (AM と EM) の増加

は続いたが、このとき上級課程進学者率（AM）が物理専攻入学者率（EM）より大きくなり、またこれまで減少していた博士課程への進学率（AD と ED）は一時、増加に転じた。ここでも上級課程進学者率（AD）が物理専攻入学者率（ED）より大きくなり、1993-1998年のあいだ、AD と ED の差は平均 3%強であった。

これらの事実は、学士課程から修士課程への進路選択と修士課程から博士課程への進路選択のとき、(1) 上級課程へ進学する学生の割合は増えたにも関わらず、(2) 物理学専攻を選択しない学生が増えたことを示唆する。その結果、1975-1991 年まで 17 年間にわたって 10%弱であった博士課程への連結進学率（CA、CE）が、1992 年に 10%を越え、1993 年以降は CA（上級課程への連結進学者率）が CE（物理専攻への連結入学者率）を 2-3%上まわるようになった。

バブル崩壊のあとも修士課程への進学率（AM と EM）は増大を続けたが、博士課程への進学率（AD と ED）は 1997 年から減少し始め、AD と ED は約 1%の差で 2012 年まで増減を繰り返しながら減少傾向であった。これらの事実は高等教育進学モデルが「修士・博士並列」モデルから「修士優位」モデルへ変ったことを示唆する。

重要なことは、バブル崩壊のあとも修士課程への上級課程進学者率（AM）と物理専攻入学者率（EM）の差が年々大きくなったことである：2001 年に 10%近くまで広がり、それ以降は 2012 年まで 10%前後で推移し続けた。物理学分野では「修士優位」モデルに変ったにも関わらず、学士課程の学生が修士課程への進路選択時に物理専攻から離れる傾向が続いたうえに、博士課程への進学率の減少が続いた。

図 6-2 に大学院理学研究科と工学研究科の修士課程（物理専攻や応用物理専攻とは限らない）を修了した学生のうち、物理系企業（電気・情報通信機械器具製造業・電子部品・デバイス製造業）に就職した学生数（緑実線）と物理系大学院博士課程（理学研究科物理専攻と工学研究科応用物理専攻）へ入学した学生数（青実線）の推移（1985-2015）を示す。

物理系企業（物理産業と呼ぶ電機・半導体産業を含む）に就職した修士卒者数は 1980 年代以来から単調に増加した。1995-1996 年は就職氷河期と呼ばれた学卒者の就職が非常に厳しい年であったが、5.2.4.で述べたように、物理産業ではバブルが崩壊したあと 2000 年まで売上高と付加価値額が減少しなかった。修士卒の就職者数は 1998 年度に 6,000 人強のレベルになり、2001 年度に 7,000 人弱のレベルに到達した。その後も 2009 年まで 6,000-7,000 人の就職者数であった。理学系・工学系修士卒の就職者数は 2007 年ころまで製造業を含むすべての業種において増加した。

博士課程への進学率（AD と ED）は 1991-1997 年のあいだ 30%を越え、連結進学率（CA と CE）は 1992 年から 10%を越えて増加するようになった。しかし、電機・半導体産業（物理産業）への修士卒の就職者数（物理系修士卒とは限らない）はバブル崩壊後も 2000 年頃まで増加し、企業の修士卒者に対するプル要因が強く働き続けた。

バブル崩壊後の修士卒者（物理学専攻）の進路選択の様相は複雑である。大学院（修士・博士）へ進学する学生の割合は増えたにも関わらず、大学院進学では修士課程、博士課程を問わず、物理学専攻を選択しない学生が増えた。この原因は 1990 年代初頭に始まった大学院改革と物理系企業への修士卒者の就職状況である。

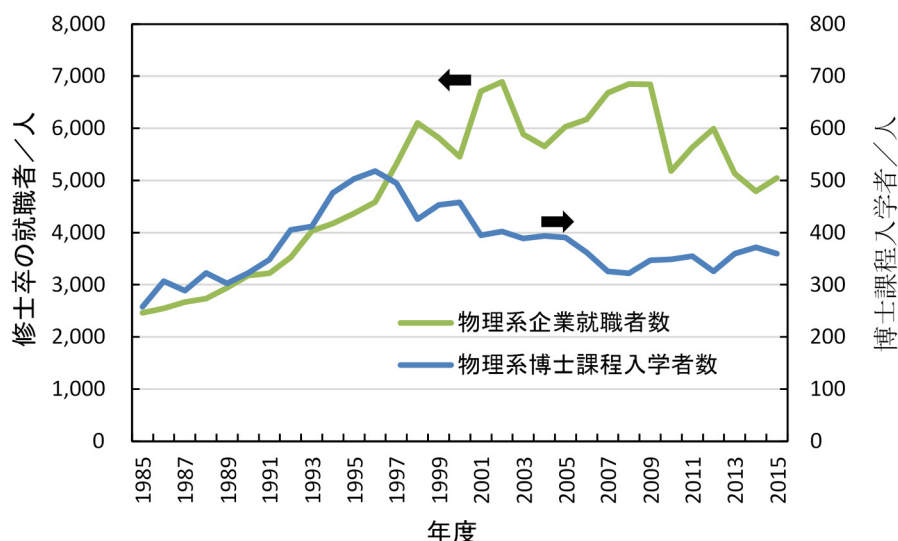


図 6-2 物理系修士卒者の進路：博士課程の入学者数と物理系企業就職者数の推移

【注 1】青実線は物理系博士課程の入学者数、緑実線は物理系企業（電気・情報通信機械器具製造業と電子部品・デバイス製造業）に就職した修士卒数。【注 2】博士課程の入学者数は理学研究科物理専攻と工学研究科応用物理専攻の合計。【注 3】修士課程の修了者数は理学研究科・工学研究科の合計（物理専攻や応用物理専攻に限らない）。【注 4】文部省・文部科学省「学校基本調査」の統計値を筆者が編集。

大学院改革により大学院定員が急激に増えたために 1990-1996 年の 7 年間は修士卒進学者数と修士卒就職者数が共に増加した。一方、1980 年代から 2010 年代に至る約 30 年のあいだ、物理系企業は多くの修士卒就職者を受け入れ続け、その一角を担う電機・半導体産業

も景気変動を乗り越えながら修士卒就職者の受け皿として機能した。1991-1997 年は大学院改革の影響により修士課程への進学率と博士課程への進学率が共に増加すると同時に、企業の修士卒者に対するプル要因が強く働き続けた特異な時期である。

重要な事実、1973 年から 2012 年までの 40 年間における上級課程進学者率と博士課程への連結進学者率（学士課程卒業生基準）の増減の様子と変動レベルの違いである（図 6-1）。この 40 年間に学士課程から修士課程への上級課程進学者率（AM）は約 20%から 50%強へ着実に増えたが、修士卒者基準の博士課程への上級課程進学者率（AD）は約 60%から 20%強へ減少した。これが高等教育進学モデルの変質である。物理専攻入学者率 EM、ED においても同じ傾向である。

しかし、連結進学者率 CA は 1973-1991 年のあいだ、平均 8.9% ($\sigma=0.25$) で推移し、1996 年までに約 16%まで増加したあと、1997-2012 年のあいだ、平均 13.6% ($\sigma=0.20$) でほぼ一定で大きく変動しなかった。連結入学者率 CE においても同じ傾向である。

このようにバブル崩壊後も連結進学者率（CA、CE）が安定で減少しなかったことは注目すべき事実である。この事実は、2つの重要な示唆を与える。

1 つ目は、大学レベルの教育を受けた子供たちの少なくとも 10%前後は物理学専攻の博士課程への進学を目指す意志があり、進学できる知識と素養があり、環境が整っていたと解釈できることである。もちろん進学率がより高くなることは望ましいが、少なくとも物理学分野の大学院における高等教育では 40 年のあいだ、連結進学者率は 10%を大きく下回ることなく、安定して維持された。若者の物理離れ、大学生の学力低下といわれ続けたが、事実は違う側面を見せている。

2 つ目は、物理系企業が大学院改革によって増え続けた修士卒者に雇用を提供し続け、日本の科学・技術研究を支える緩衝装置として機能したことである。この企業の緩衝装置としての機能と「修士優位」モデルへの変質は表裏一体である。

6.2. 博士課程進学率の決定要因：重回帰分析

1970 年代から約 40 年のあいだ、学士課程から修士課程への進学率（AM、EM）が増える一方で、修士課程から博士課程への進学率（AD、ED）は 1990 年代前半を除いて減少した。その結果として連結進学者率（CA、CE）が約 10%を維持した（理学部物理学を卒業した学生の 1 割が博士課程へ進学した）。しかし、連結進学者率を 10%以上に伸ばせなかったことは、日本全体の学術論文数が 21 世紀になって停滞したことと無関係ではないと考える。

1980年代に約35%で安定していた修士課程から博士課程への進学率(AD、ED)が1990年代後半から減少した。この減少の原因が明らかになれば、連結進学率を10%以上の水準に高める方策が見えてくることが期待される。

本節では博士課程への進学率の決定要因を明らかにするために1990-2012年の博士課程への進学率(ADとED)を被説明変数として重回帰分析を行う。

6.2.1. 重回帰モデル：博士課程進学率

a. 被説明変数：ADとED

図6-3-1に理学研究科修士課程(物理学専攻)を修了した卒業者数(M2、男女；点線、右軸)とそのうち博士課程へ進学した進学者数(d1、男女；破線、右軸)、そして両者から求めた上級課程進学率⁵⁸(AD；太実線、左軸)の推移を示す。ADは図6-1に示したADと同じであるが、図6-3-1のADは百分率(%)ではなく、比率(無次元)で表示した。重回帰分析ではこの比を被説明変数とする。

d1は修士課程(物理専攻)の卒業者M2の内数であるが、物理学専攻以外の博士課程へ入学する者を含むので、ADは修士課程(物理学専攻)の卒業者(M2)が博士課程(物理学専攻)へ入学する進学率ではない。したがってADはM2の博士課程進学に対する上級課程への進学志向の指標である。

1990年代半ばから2010年代初めまでのAD(太実線)の推移を概観すると、1990年代前半にADは0.3から0.37へ増大したあと、90年代半ばから増減を繰り返しながら減少傾向が続き、2012年に約0.25まで減少した。1990年代前半に大きな台形状の増加・停滞・減少の一連の変化があり、2000年、2003年、2010年頃に3つの山がある。

進学者数d1(破線)は1990年代半ばまで増加傾向だった。1996年に488人で極大となり、その後僅かな増減を繰り返しながら減少傾向が続き、2012年度に300人強となった。1990年代初頭に900人強であった卒業者数M2は1997年度前後まで増加して1400人弱になったあと、2012年度まで増減を繰り返しながら1200-1300人のあだいで推移した。

⁵⁸ 図6-3の進学率(AD)は修士課程卒業者の卒業年度の翌年度の進学率である。

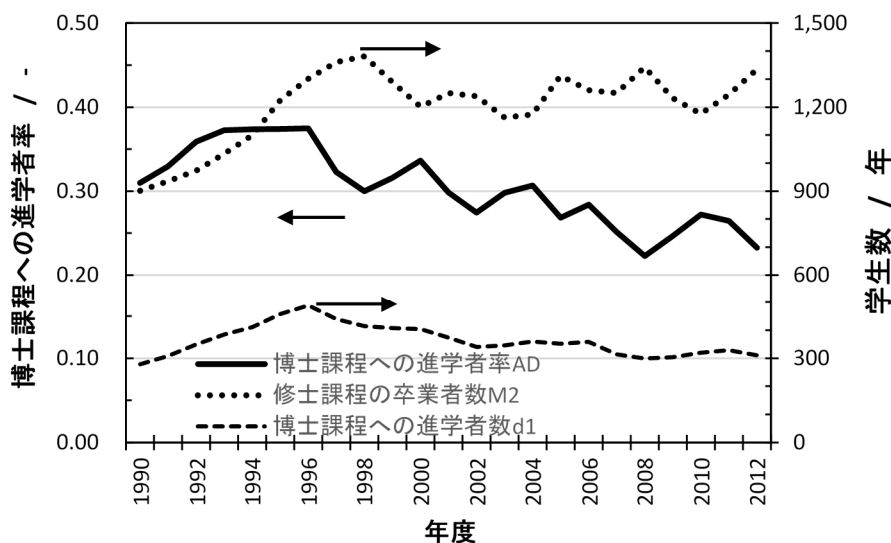


図 6-3-1 修士課程（物理学専攻）卒業者の博士課程への進学者率（AD）の推移(1990-2012)

【注 1】対象は国公私立大学の男女。実線は博士課程への進学者率（AD）、点線は修士課程の卒業者数（M2）、破線は修士課程卒業者のうちの博士課程への進学者数（d1）。【注 2】当該年度の AD は前年度 M2 に対する前年度 d1 の比率。1996 年度の博士課程への進学者率 AD は 1995 年度の修士課程の卒業者数 M2 に対する 1995 年度の博士課程への進学者数 d1 の割合である。【注 3】学生数の出典は文部省・文部科学省「学校基本調査」による。

図 6-3-2 に物理専攻入学者率 ED を計算する元データである博士課程入学者数（D1、破線、右軸）と前年度の修士課程卒業者数（M2、点線、右軸）の推移を示す。入学者率 ED は博士課程入学者が入学した年度の進学率である。

1990 年代半ばから 2010 年年初めまでの ED（太実線）の推移を概観すると、1990 年代初頭に ED は約 0.3 から 0.35 へ増大したあと、90 年代半ばから増減を繰り返しながら減少傾向が続き、2012 年に約 0.22 まで減少した。図 6-1c で比較したように 1993 年に AD が ED より約 4%大きくなり、1998 年まで AD > ED（進学者率 > 入学者率）が続いたが、ED は概ね AD と同調して増減した。

博士課程入学者数 D1（破線）は 1990 年代半ばまで増加傾向だった。1996 年に 442 名で極大となり、その後僅かな増減を繰り返しながら減少傾向が続き、2012 年度に 300 名を切った。

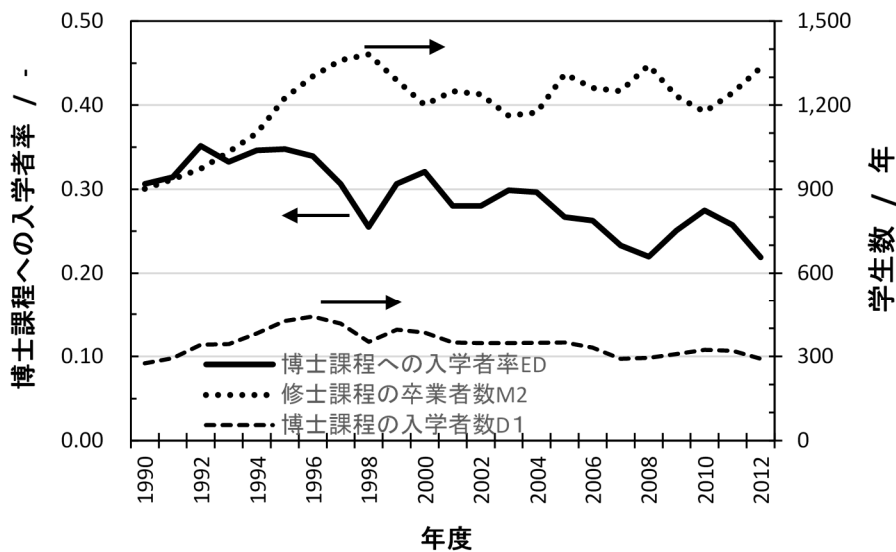


図 6-3-2 博士課程（物理学専攻）への入学率（ED）の推移(1990-2012)

【注 1】対象は国公私立大学の男女。実線は博士課程への入学率（ED）、点線は修士課程の卒業者数（M2）、破線は博士課程入学者数（D1）。【注 2】当該年度の ED は当該年度 D1 の前年度 M2 に対する比率。1996 年度の博士課程への入学率 ED は 1995 年度の修士課程の卒業者数 M2 に対する 1996 年度の博士課程への入学者数 D1 の割合である。【注 3】学生数の出典は文部省・文部科学省「学校基本調査」による。

b. 説明変数の候補

進学者率 AD と入学率 ED は大学における教育活動と研究活動を繋ぐ変数であるが、本研究の基本的認識は「論文数の変動は大学・大学院の組織の中に閉じた現象ではなく、社会全体の活動に関わる問題である」と考えることである。この認識に沿って重回帰分析では、3つの主体の活動を主要な5つの説明変数に置き換え、大学における教育活動と研究活動の連携に関わる被説明変数 AD と ED をいかに説明できるかを検討する。

そこで3つの主体（大学、企業、家庭）の活動に関わる活動に関わる5つの候補変数を選定した⁵⁹：(1)家計所得(45-50歳男の平均給与；IC5と略記する)；(2)大学院博士課程3年間の授業料と放棄稼得（費用と損失；CLと略記する)；(3)物理企業7社の売上高（CSと

⁵⁹ 学生数は大学における教育に関わる変数であるが、被説明変数の AD あるいは ED と関連する変数である。また就職者数は卒業者数から進学者数を引いた人数であるから、被説明変数 AD と関連する変数である。

略記する) ; (4)物理企業 9 社の論文数 (CA と略記する) ; (5) 日本の物理論文数 (JA と略記する)。

以下に各候補変数の内容を説明し、仮説として被説明変数に対する作用効果を示す。なお、6.2.1.d.で述べるように、博士課程への進学選択のタイミングについてインタビューした博士課程卒業者 (10 名) 全員が学士課程 4 年次 (B4) に進学を選択したと答えていることに基づき、各変数は博士課程入学年度より 3 年間の時間差を考慮する。

(i) 家計所得 (IC5) : 親の学費負担能力

全国大学院協議会のアンケート調査 (URL18) の表 1 (「授業料、研究費、生活費の負担主体」; N はサンプル数) によれば、大学院生の授業料 (N=1,044) と生活費 (N=1,045) の負担主体の 1 位はいずれも親・親戚 (50%弱) であり、2 位以下を大きく引き離れた⁶⁰。また研究費 (N=1,044) に本人のアルバイトを当てた学生が 40%弱でもっとも多かったが、20%弱の大学院生は親・親戚が研究費を負担した⁶¹。

上記アンケート調査では修士課程と博士課程を区別していないが、同じ報告書⁶²において、修士課程と博士課程の学生を区別してアルバイトに従事した割合 (N=1,048) が示されている。アルバイトに従事した博士課程学生は 64.0%であり、これは修士課程学生がアルバイトに従事した割合 (71.0%) より 7 ポイントほど低かった。

これらの結果は、博士課程学生は授業料と生活費だけでなく、研究費においても親に依存する割合が修士課程学生より高いことを示唆しており、学生が博士課程進学を選択する際、親の家計所得が選択を左右する重要な因子であると考えられる。

学生が博士課程進学を選択する学部 4 年次の年齢は 21 歳である。父親が 25・35 歳のときの子供であると仮定すると、子供が学部 4 年次の父親の年齢は 46・56 歳である。したがって親の学費負担能力の指標である家計所得は年齢階層が 45・55 歳男性の平均給与とすることが妥当である。

分析では年齢階層別の平均給与として国税庁「民間給与実態調査 : 1 年勤続者の年齢階層

⁶⁰ (1)授業料の負担主体は 1 位が親・親戚 (48.7%)、2 位が預貯金 (22.1%)、3 位が奨学金 (22.0%)、4 位がアルバイト (17.1%)、5 位が TA・RA (11.0%)。(2)生活費の負担主体は 1 位が親・親戚 (47.1%)、2 位がアルバイト (38.0%)、3 位が預貯金 (30.1%)、4 位が奨学金 (25.8%)、5 位が TA・RA (21.9%) である。

⁶¹ 研究費の負担は 1 位がアルバイト (39.6%)、2 位が預貯金 (27.7%)、3 位が奨学金 (21.2%)、4 位が親・親戚 (19.5%)、5 位が TA・RA (16.0%)。

⁶² 図 1 「何らかのアルバイトに従事する大学院生の割合」。

別給与所得者数・給与総額・平均給与」(URL19)の45-49歳と50-54歳の2階層の男の平均給与(国税庁の給与の定義は給料、手当、賞与を含む)の平均値を博士課程進学率の説明変数である家計所得(IC5)とした。大学院入学年度の3年前の進学選択時の平均給与であるから、時間差(lag time)は3年間とした。

【仮説 Di】家計所得(IC5)に期待する進学者率AD、入学者率EDへの作用はプラス効果である。

(ii) 費用と損失(CL)：授業料と放棄稼得

「修士優位モデル」では多くの学生が修士課程への進学を前提として学士課程(学部)に入学するので、学士課程4年次に博士課程を選択することで新たに発生する費用(授業料)と損失(放棄稼得)は博士課程3年間分である。大学院の授業料は国立大学の授業料(URL20)と同額と仮定した。損失(放棄稼得)は製造業の新規学卒者の初任給(URL21)で代替し、その3年間分とした。分析では大学院入学年度の3年前の大学授業料と初任給の値を用いた(時間差3年間)。

被説明変数に対する費用と損失(CL)の効果は、投資モデルと消費モデル(表1-1)のいずれの立場を採るかにより異なる。投資モデルでは、費用と損失の金額が大きくても進学することにより将来的に費用と損失を取り戻せると判断できる状況であれば、CLがプラス効果になることがある。6.1.3.a.の②のように2年間の修士課程で専門知識を学ぶことにより、就職における企業選択の幅が広がり、就職したあとも職務上の希望の実現性や昇給の可能性が高くなることを学生が承知していたとすれば、費用と損失(CL)が修士課程への進学率AMあるいはEMに対してプラス効果を示すことが期待できる。学生は経済動向を考慮して学卒初任給が年々上昇する状況であれば、たとえ就職で2年間の遅れがあっても将来の給与上昇でこの2年間の費用と損失は取り戻せる金額であり、修士進学は自分に対する有望な投資であると考えられる。修士卒者の利点を享受するために就職を2年間猶予する心理が働くことは合理的である。

消費モデルであれば、一定の予算制約下において効用の最大化を図るのでCLに期待する博士進学率への作用はマイナス効果である。本研究では内部収益率法を重視しない立場を採用するので、消費モデルの立場を採る。

【仮説 Dii】消費モデルを採り、費用と損失 (CL) に期待する進学者率 AD、入学者率 ED への作用はマイナス効果である。

(iii) 物理企業 7 社の売上高 (CS) : 企業の経営指標

企業の売上高や経常利益は企業の経営状況を反映する重要な指標である。経営状況が良ければ、従業員の新規採用が増え、研究開発投資が盛んになる。7 社 (NEC、ソニー、パナソニック、三菱電機、東芝、日立製作所、富士通) の売上高 (CS) の合計を企業の経営指標とし、説明変数とする。博士課程進学を選択する 4 年次 (学士課程 4 年、B4) の学生に影響を与えたと考え、時間差は 3 年とした。

修士課程への進学選択⁶³において修士卒就職を第一希望にした学生が B4 学生になったとき、企業の経営状況が良好であれば、修士卒就職という選択が変わることはないだろう。しかし、企業の経営状況が悪ければ、景気の好転を期待して少数の学生が 3 年の猶予を得るために博士課程への進学を選択する可能性がある。

一方、修士進学を選択したとき修士卒就職と博士進学の両方の可能性を考慮した学生の多くは第一希望として大学研究者を目指すと考えられる。このような B4 学生が進学者率 AD が対象とする学生である。企業の経営指標が AD が対象とする B4 学生に直接的な影響を与えることは考え難い。したがって企業の経営指標が進学者率 AD に及ぼす効果は有意ではないと考える。

入学者率 ED が対象とする学生は就職か進学かの選択の末に物理学専攻以外の分野から物理学専攻へ専門分野を変えて入学した学生を含む。ED が物理学専攻に高い関心をもつ学生の意識を反映すると考えれば、企業の経営指標が入学者率 ED に対して有意ではないと考えられる。

【仮説 Diii】企業の経営指標 (物理企業 7 社の売上高) に期待する進学者率 AD と入学者率 ED への効果は有意ではない。

(iv) 企業の論文数 (CA) : 企業の研究指標

大学研究者の新規採用数は限られているので、物理学専攻の修士課程へ進学した学生の

⁶³ 6.3.1.c.で述べるように、修士課程への進学選択は学士課程 3 年次であると仮定する。

半数以上は企業へ就職する。学生は研究開発を活発に行う大企業へ就職することを志向する。企業の研究開発が活発であれば、研究志向が強い学生のなかに博士課程へ進学せずに修士卒で企業に就職して企業研究者になる進路を選択するものが増えると考えられる。

そこで日本を代表する電機・半導体産業に属する複数の企業の論文数（全分野）の合計を物理産業に属する企業の研究開発の活発度の代替変数とし、これを企業の研究指標とする。選んだ企業は物理論文の発表数が上位 9 位までの日本企業である：NTT、日立製作所、NEC、東芝、三菱電機、富士通、パナソニック、ソニー、キャノン。

論文の研究分野は物理分野に限定せず全分野を対象とし、著者が所属する組織名を 9 社ごとに指定したうえで、国・地域は日本に限定した。Web of Science に掲載された英語で書かれた学術論文の著者にこれらの企業の日本の研究部門に所属する著者が少なくともひとり含まれる論文を企業ごとにカウントし、そのあとで 9 社の論文数を合計した。企業同士の共同研究論文があれば、重複が排除される。この指標に期待することは、これらの企業の国内における研究開発の活発度の指標である。

図 6-4 に 9 社の論文数合計の推移（1975-2014）を示す。論文数は 1975 年から単調に増加し、1994 年に 3,000 報に達した。その後 1996 年に約 3,200 報となり、1999 年まで 3,000 報前後で推移した。しかし、2000 年から突然減少して 2014 年に約 1,500 報に半減した。

学生が企業の研究開発に触れる機会はずぎの 4 つの場合が考えられる：(1)企業が発表した論文を読む、(2)学会に参加して企業の研究者の発表を聞く、(3)大学の研究室で企業の研究者と交流する、(4)大学の指導教授や研究員、卒業生を通じて企業の研究開発の様子を聞く。学生は学士課程 4 年次（B4）に研究室に配属されてはじめてこれらの機会に接する。

企業の論文数（CA）は概ね 2 年前の研究・開発動向を反映する変数である。そして企業の研究・開発動向は企業の経営状況に強く影響される。つまり、CA は 2 年ほど前の企業の経営状況を反映する情緒的な情報を代替する変数であるといえる。

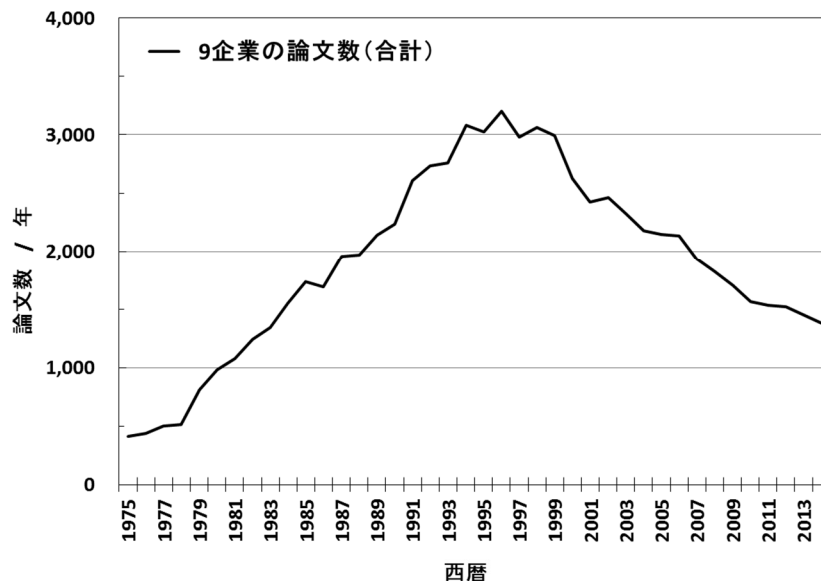


図 6-4 日本の電機・半導体企業 9 社の論文数の推移

【注 1】NTT、日立製作所、NEC、東芝、三菱電機、富士通、パナソニック、ソニー、キャノン。【注 2】論文の発行年が 1975-2014 年、言語が English、ドキュメントタイプが articles、国/地域が Japan、研究分野が「指定なし」。【注 3】出典は Web of Science, SCI-EXPANDED。検索日は 2017 年 10 月 20 日。

CA が増えることは研究・開発活動に積極的に資源を投入したことを意味する。研究・開発投資が増えることは、定性的・情緒的情報で表現すれば企業の経営状況が上向きであることに対応する。この定性的・情緒的情報は就職志向の学生に就職に対するより大きなインセンティブを与える。進学志向の学生も就職志向に転向する可能性が高まる。

企業の論文数 (CA) が減ることは研究・開発活動が後退したことを意味する。研究・開発活動の活発度はその投資額に比例するので、企業の論文数の減少は経営者が研究・開発投資を抑制した結果であると考えられる。経営状況が後退したとき、多くの企業で最初に節減すべき費用として検討される科目は研究・開発費である。

このような企業の経営判断は学生が把握する定性的・情緒的情報に対応する。学生が B4 のとき知ることができる企業の研究指標として B4 のときの企業の論文数を採用する。

企業論文数 (CA)、すなわち企業の研究指標は AD (修士卒者の博士進学者率) に対してマイナス効果が期待できる。企業が論文数 (CA) を増やすことは企業の経営状況が上向きであることを意味するので、修士課程の学生に対して企業からのプル要因が強くなる。もと

もと就職志向がある学生は就職志向をさらに強め、博士進学を志向する学生も就職志向へ転向する可能性が高まる。その結果、進学者率 AD が低くなる。企業は論文数 (CA) を増やせば修士課程で専門知識を修得した学生を獲得し易くなり、戦力を補充して研究・開発の継続性を維持することができる。

入学者率 ED が対象とする学生は就職か進学かの選択の末に物理学専攻以外の分野から物理学専攻へ専門分野を変えて入学した学生を含む。すなわち物理学に対する関心が高い学生が多いと考えられる。企業の論文数は物理学を含む全分野の論文数である。ED が物理学に高い関心をもつ学生の意識を反映するならば、企業の研究指標は ED に対して有意ではないと考えられる。

【仮説 Div】企業の研究指標に期待する進学者率 AD への作用はマイナス効果である。しかし、企業の研究指標は入学者率 ED に対して有意ではない。

(v) 日本の物理論文数 (JA) : 大学の物理学研究指標

日本の論文の約 90%は大学研究者が関わった論文である。博士課程へ進学する学生は研究志向が強く、大学研究者になることを目指す学生は必ず進学する。大学における物理学分野の研究が活発であれば、研究志向が強い学生の博士進学を促進すると考えられる。大学における物理学研究の活発度の指標として、日本の物理論文数 (JA) を採用する。

進学者率 AD が対象とする学生の多くは修士課程で物理学を専攻した学生である。したがって日本の物理論文数(JA)、すなわち大学の物理学研究指標は AD に対してプラス効果であると考えられる。また ED が対象とする学生は就職か進学かの選択の末に物理学専攻以外の分野から物理学専攻へ専門分野を変えて入学した学生を含む。ED がそのような学生の意識を反映すると考えれば、日本の物理論文数(JA)、すなわち大学の物理学研究指標は入学者率 (ED) に対してプラス効果である可能性が高いと考える。

【仮説 Dv】大学の物理学研究指標に期待する進学者率 AD と入学者率 ED への作用はプラス効果である。

c. 説明変数の選択 : AD と ED

家計所得 (IC5) は家庭における経済活動に関わる変数である。費用と損失 (CL) は家庭

における経済活動（放棄稼得）と教育活動（授業料）に関わる変数である。また物理企業 9 社の論文数 (CA) は企業における研究活動に関わる変数であり、物理企業 7 社の売上高 (CS) は企業における開発活動と経済活動に関わる変数である。そして日本の物理論文数 (JA) は主に大学における研究活動に関わる変数である。

博士課程への進学者率 (AD) を説明する変数として、企業の売上高 (CS) 以外の 4 変数を選択した：家計所得 (IC5) はプラス効果；費用と損失 (CL) はマイナス効果；企業の研究指標（物理企業 9 社の論文数 CA）はマイナス効果；大学の物理学研究指標（日本の物理論文数 JA）はプラス効果が期待される。

博士課程への入学者率 (ED) を説明する変数として、企業の論文数 (CA) と売上高 (CS) 以外の 3 変数を選択した：家計所得 (IC5) はプラス効果；費用と損失 (CL) はマイナス効果；大学の物理学研究指標（日本の物理論文数 JA）はプラス効果が期待される。

図 6-5-1 に博士課程への進学者率 (AD)、図 6-5-2 に入学者率 (ED) を被説明変数とする重回帰モデルを示す⁶⁴。

従来研究（例えば Nakata, Y., and Mosk 1987；荒井 1990）によれば、家計所得 (IC5) と費用と損失 (CL) の 2 変数は進学率の決定因子として影響する。AD は修士課程で物理学を専攻する学生が博士課程への進学を志向する指標である。将来の職業として大学あるいは企業の研究者のどちらかを目指している学生は物理企業の研究活動と日本全体の物理学の研究動向に強い関心があると考えられるので、企業の研究指標（企業の論文数 CA）と大学の物理学研究指標（日本の物理論文数 JA）を説明変数として採用する。売上高は企業の研究活動を支える指標であるけれども、博士課程への進学選択に臨む学生にとって企業の経営指標（企業の売上高 CS）は重要な変数ではないと考える。

進学者率 AD は上級課程への進学志向の指標であり、入学者率 ED は物理専攻への進学志向の指標である。入学者 (ED) には物理学専攻の学生を多く含むと考えられるが、修士課程で物理学以外の分野を専攻した学生あるいは海外留学生が含まれることを考えると、AD と比べると ED は大学の研究者を目指す学生の意識をより強く反映すると考えられる。そ

⁶⁴ 図では四角で囲った変数間に単方向の直線矢印を引き、従属関係を示した。誤差は円で囲った。円弧の双方向矢印は説明変数どうしの相関関係を意味する。すべての相関関係を図示すると見にくくなるので、JA とその他の 5 変数のあいだの相関関係だけを図に示した。

うであるならば、企業の論文数（CA）と企業の売上（CS）はEDの説明変数として有意でない可能性がある。入学者（ED）は就職か進学かの選択と同時に、物理学専攻か他分野の専攻かを意識していた学生の意識を反映すると考えれば、進学者（AD）は大学と企業双方の物理学分野の研究動向に関心があった学生であり、入学者（ED）は大学の物理学分野の研究に関心があると考えられる。ADの説明変数として企業の論文数（CA）と日本の物理論文数（JA）は有意となる可能性があり、EDの説明変数として日本の物理論文数（JA）が優位となる可能性があると考えられる。

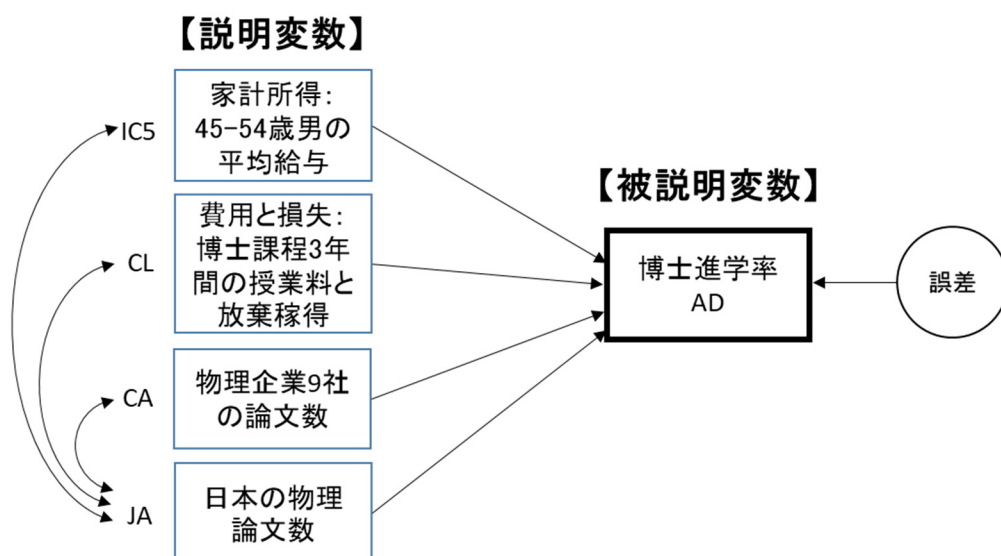


図 6-5-1 博士課程への進学率を被説明変数とする重回帰モデル 1

【注 1】被説明変数は進学者率 AD。説明変数は家計所得（45-54 歳男の平均給与；IC5）、費用と損失（大学院博士課程 3 年間の授業料と放棄稼得；CL）、物理企業 9 社の論文数（CA）、日本の物理論文数（JA）。【注 2】○は誤差、円弧の双方向矢印は相関関係を意味する。図が見にくくなるので、JA とそれ以外の 3 変数との相関関係のみ図示した。単方向の直線矢印は説明変数から被説明変数への従属関係。

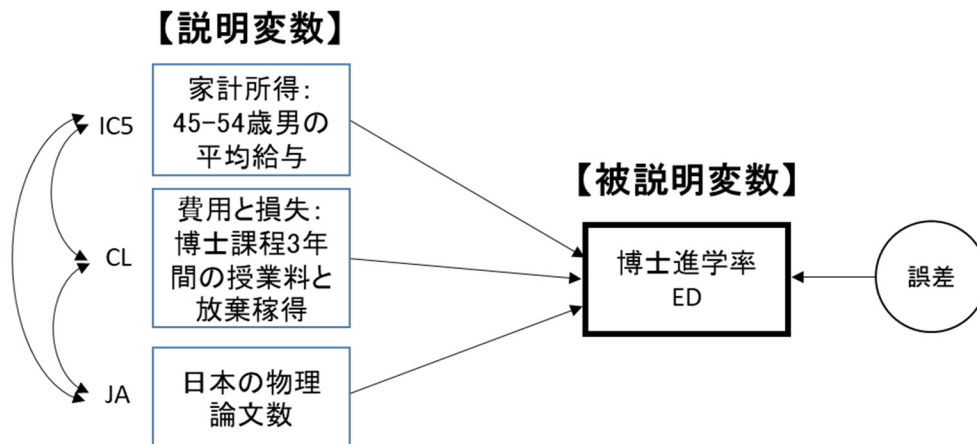


図 6-5-2 博士課程への進学率を被説明変数とする重回帰モデル 2

【注 1】被説明変数は入学者率 ED。説明変数は家計所得（45-54 歳男の平均給与；IC5）、費用と損失（大学院博士課程 3 年間の授業料と放棄稼得；CL）、日本の物理論文数（JA）。

【注 2】○は誤差、円弧の双方向矢印は相関関係を意味する。単方向の直線矢印は説明変数から被説明変数への従属関係。

d. 博士課程への進学選択のタイミングと説明変数の時間差モデル

1990 年代半ばまでに高等教育進学モデルが「修士・博士並列モデル」から「修士優位モデル」へ変質したと仮定する。修士課程への進学を選択した学生は学士課程か修士課程に在学する間に改めて博士進学を選択する。修士 2 年（M2）の夏に入学試験があるので M2 になってから選択することは考えにくい。

理系大学院博士課程を修了した 10 名の研究者（企業研究者 8 名と大学研究者 2 名；9 名は 30-40 歳代前半⁶⁵）に「博士課程に進学したいと考えた学年はいつか」をインタビューして尋ねたところ、10 名全員が「卒論研究のために研究室に配属された大学 4 年次だった」と回答した。その理由は「研究室に配属されて大学院生や大学研究員から初めて指導を受けたことで研究の面白さと深さを実感したからだ」という理由を全員が挙げた。

大学 4 年次は博士課程入学の 3 年前であり、博士課程の入学試験まで 2 年間の余裕がある。また実体験をしたうえでの選択であるから進学選択のタイミングとして合理的である。

⁶⁵ もっとも年長者が博士課程を修了した年が 1979 年度であるが、そのほかの 9 名は 1996-2016 年度である。

進学選択の時期は学士課程 4 年次であると仮定して重回帰分析を進めることにする。

6.2.2. 重回帰分析の結果：博士課程進学率

a. 博士課程進学者率 AD

博士課程進学者率 (AD) を被説明変数として、4 つの説明変数 (家計所得、費用と損失、企業の論文数、日本の物理論文数) を用いた重回帰分析を行った。企業の論文数は企業の研究指標であり、日本の物理論文数は大学の物理学研究指標である。博士課程 1 年次 (D1) より 3 年前の学士課程 4 年次 (B4) に博士課程への進学を選択すると仮定した。分析ではすべての変数を対数変換して用いた。結果を表 6-2-1 にまとめて示す。

4 つの説明変数を用いた分析を Predict A とした。この分析で t 値の絶対値がもっとも小さい日本の論文数を除外し、残りの 3 変数 (家計所得、費用と損失、企業の論文数) を用いて行った分析を Predict B とした。Predict B では F 値の有意確率はゼロであり、すべての係数がゼロであるという帰無仮説を棄却することができ、また補正決定係数 (補正 R^2) は 0.799 で比較的高い値であった。3 つの変数すべての t 値の絶対値が 2 以上で有効であった。

家計所得 (IC5) の係数はプラスであり、家計所得が多いほど進学率が高くなる。費用と損失 (CL) の係数はマイナスであり、学費の直接経費と放棄稼得が多いほど進学率が低くなる。物理企業の論文数 (CA) の係数はマイナスであり、企業の研究開発が活発であるほど修士卒者の企業志向が高まり、博士課程進学者率 AD は低くなる。AD は物理学専攻の修士卒者の進学率であるから、物理企業の研究開発の活発度が進学志向に影響することは合理的である。これら 3 つの説明変数の効果は仮説と整合的である。

日本の物理論文数 (JA) は進学者率 AD に対してプラス効果を期待したが、有意ではなかった。これは B4 学生が物理学全体の研究動向ではなく、物理学分野の特定領域の研究動向に高い関心を寄せていることを示唆すると考える。

進学者率 AD にもっとも大きなマイナスの影響を与える要因は進学に伴う費用と損失 (CL) である。CL は学費の直接経費 (授業料) と放棄稼得の合計である。直接経費は企業活動と関係しないが、製造業の業績が好調で新卒社員の初任給が高くなれば放棄稼得は増大し、進学者率 AD を低下させる。

表 6-2-1 博士課程進学者率 AD の重回帰分析：学士課程 4 年次選択モデル

分析 変数(時間差:年)	Predict A	Predict B
定数	-14.22 *	-16.68 ***
家計所得(-3)	3.147 *	3.672 ***
費用と損失(-3)	-1.620 *	-2.253 ***
企業の論文数(-3)	-0.2975 n.s.	-0.3809 *
日本の論文数(-3)	-0.1643 n.s.	-
補正R ²	0.7964	0.7993
標準誤差	0.07	0.07

表 6-2-2 博士課程入学者率 ED の重回帰分析：学士課程 4 年次選択モデル

分析 変数(時間差:年)	Predict A	Predict B
定数	-7.585 *	-7.558 **
家計所得(-3)	1.895 ***	1.949 ***
費用と損失(-3)	-1.488 *	-1.619 ***
日本の論文数(-3)	-0.040 n.s.	-
補正R ²	0.7021	0.7163
標準誤差	0.08	0.08

注1: 1990-2012年度までの時系列分析。

注2: 変数欄の上段: 係数; 下段: n.s., not significant; *, p<0.05; **, p<0.01; ***, p<0.001。

注3: 変数欄の()内は時間差の年数、マイナスは博士課程入学年度より前の年数。

注4: 家計所得(LIC5、年齢階層が45-55歳男性の平均給与); 費用と損失(LCL、博士課程3年間の授業料と放棄稼得); 企業の論文数(LCA、物理企業9社の英語論文で国/地域が日本、研究分野の指定なし、物理企業9社はNTT、日立製作所、NEC、東芝、三菱電機、富士通、パナソニック、ソニー、キャノン); 日本の論文数(LJA、物理学分野の英語論文数)。

注5: 分析ではすべての変数を対数変換して用いた。略号の先頭のLは対数であることを意味する。

進学者率 AD にプラスの影響を与える要因は家計所得 (IC5) である。IC5 は製造業を含む様々な職種・業種におけ 45 歳から 54 歳の男性 (修士課程学生の父親世代) の平均給与である。IC5 が進学者率 AD に対してプラス効果をもつことは、日本経済全体が好調で平均給与が高くなれば博士進学者率が高くなるという合理的な説明を支持する。

図 6-6-1 に実際の博士課程進学者率 (real : AD ; 赤実線) と回帰式で予測した進学者率 (Predict B ; 青実線)を示す。Predict C (3 説明変数) は 1990 年代前半の大きな台形と 2000 年、2003 年、2010 年頃の 3 つの山をよく再現している。

博士課程への進学者率 AD と企業の研究指標との関係を整理すると、(1)企業の論文数 CA が増加すれば、進学者率 AD は低下し、修士卒者の企業就職者率が増える。(2) 企業の論文数 CA が減少すれば、進学者率 AD が増加し、修士卒者の企業就職者率が低下する。

図 6-1a に示したように、博士進学者率 AD は約 40 年のあいだ、大きなトレンドでみると低下している : (a)1970 年代から 80 年代初めまで低下し、(b)80 年代前半から 90 年代前半の 10 数年のあいだ、一時停滞したあと、(c)90 年代後半から再び低下し続けている。

進学者率 AD と有意だった 3 つの要因との関係はつぎのように整理できる : (a)の期間は、家計所得 (IC5 ; プラス効果) が増加した一方で、費用と損失 (CL ; マイナス効果) と企業論文数 (CA ; マイナス効果) が増加したため、進学者率 AD は低下した ; (b)の期間は家計所得 IC5 のプラス効果と企業論文数 CA のマイナス効果が拮抗したため、進学者率 AD がほぼ一定を維持した ; (c)の時期は家計所得の減少が進学者率 AD の低下を支配した。学士課程 4 年次の学生は、家計所得 (IC5) 費用と損失 (CL) と企業の研究指標 (企業の論文数 CA) の 3 つの説明変数を判断材料として合理的に博士課程への進学を判断する。

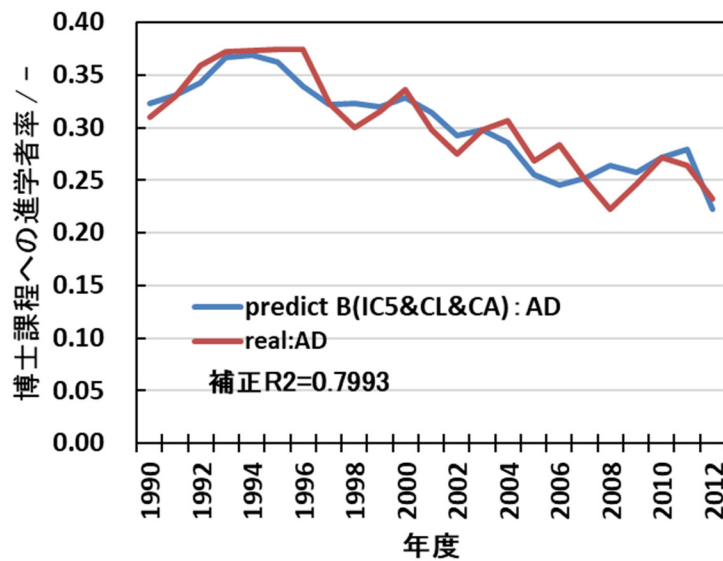


図 6-6-1 博士課程への進学者率 AD の重回帰分析：Predict B（表 6-2-1）で予測した博士課程への進学者率 AD

【注 1】赤実線は実際の博士課程への進学者率 AD（理学研究科物理学専攻修士課程修了者の進学者率）、青実線は回帰式で予測された AD。【注 2】重回帰分析で用いた説明変数は家計所得（IC5；当該度から 3 年前の 45～54 歳男の平均給与；国税庁（2017）『民間給与実態調査』）、費用と損失（CL；当該度から 3 年前の製造業の新規学卒者の初任給と大学院授業料の 3 年分の合計）、企業の論文数（CA 出典、文科省資料と厚生労働省『賃金構造統計調査』）；企業の論文数（CA、当該度から 3 年前の物理企業 9 社の論文数合計；分野指定なし；出典、Web of Science）。

b. 博士課程入学者率 ED

博士課程入学者率（ED）を被説明変数として、3 つの説明変数（家計所得、費用と損失、日本の物理論文数）を用いて重回帰分析を行った。結果を表 6-2-2 にまとめて示す。図 6-6-2 に実際の博士課程入学者率（real：ED；赤実線）と回帰式で予測した入学者率（Predict B；青実線）を示す。

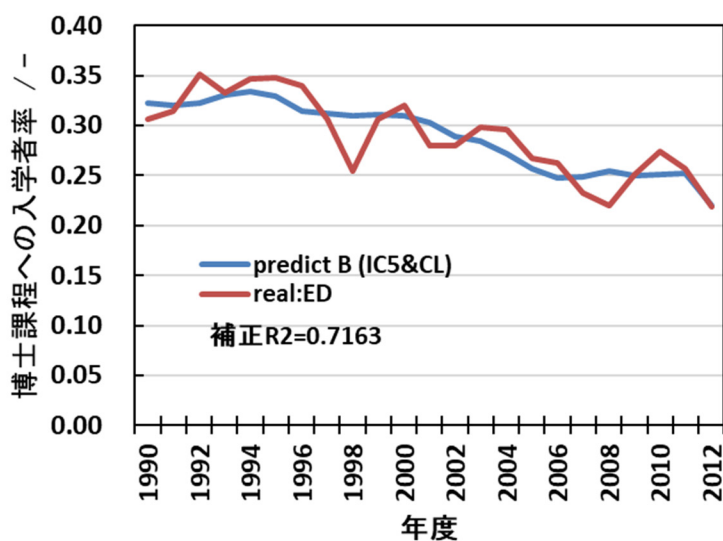


図 6-6-2 博士課程への入学者率 ED の重回帰分析：Predict B（表 6-2-2）で予測した博士課程への入学者率 ED

【注 1】赤実線は実際の博士課程への入学者率 ED（理学研究科物理学専攻博士課程への入学者率）、青実線は回帰式で予測された ED。【注 2】重回帰分析で用いた説明変数は家計所得（IC5；当該年度から 3 年前の 45～54 歳男の平均給与；国税庁（2017）『民間給与実態調査』）、費用と損失（CL；当該年度から 3 年前の製造業の新規学卒者の初任給与と大学院授業料の 3 年分の合計）、企業の論文数（CA 出典、文科省資料と厚生労働省『賃金構造統計調査』）；企業の論文数（CA、当該年度から 3 年前の物理企業 9 社の論文数合計；分野指定なし；出典、Web of Science）。

入学者率 ED は修士課程（物理学専攻）以外から博士課程へ進学した学生を含む進学率であり、物理学専攻への進学志向の指標である。日本の物理学全体の研究活動への関心が高いことを期待したが、ED に対して大学の物理学研究指標（日本の物理論文数 JA）は有意ではなかった。JA が有意でない原因は、ED の対象となる学生はすでに物理学の特定領域に高い関心をもつためであると考えられる。

Predict B は家計所得（LIC5）と費用と損失（LCL）の 2 変数を用いた分析である。2 変数ともに有効で、家計所得の係数はプラス、費用と損失の係数がマイナスである。学生が進学選択において経済的に合理的な判断をしていることがわかる。これらの結果は仮説と整合的であった。Predict B は実際の ED の細かな増減を再現していないが、2 変数で全体的な減少傾向と大まかな増減を再現している。

6.3. 修士課程進学率の決定要因：重回帰分析

1970年代から約40年のあいだ、博士課程進学者率（AD）は1990年代前半を除いて減少したが、学士課程から修士課程への進学者率（AM）は僅かな増減を繰り返しながらも大きく減少することなく増え続けた（図6-1）。その結果、1970年代初めに20%弱だった修士進学者率（AM）は2012年に約56%に達し、学卒者の半数以上が修士課程へ進学するようになった。1973-2012年の39年間における一年当たりの増加率は2.8（%/年）と高かった。

本節では博士進学率の分析にならって、1990-2012年における修士課程への進学者率AMと入学者率EMを被説明変数として重回帰分析を行い、博士課程進学率（ADとED）が減少し続けた状況で修士課程進学率（AMとEM）が増加し続けた要因を明らかにする。

6.3.1. 重回帰モデル：修士課程進学率

a. 被説明変数：AMとEM

図6-7-1にAMの元データとなる物理学科卒業者数（B4、点線、右軸）とB4の内数である修士進学者数（m1）の推移と、それらから求めた進学者率（AM；太実線）の推移を示す。m1は物理学科の学士卒業生が他専攻の修士課程へ進学する場合を含む。

図6-7-2に物理学科卒業者数（B4、点線、右軸）と翌年度に修士課程（物理学専攻）へ入学した学生数（M1；男女）の推移と、それらから求めた入学者率（EM；太実線）の推移を示す。AMとEMは図6-1のAMとEMと同じであるが、百分率（%）ではなく比率（無次元）である。

AM（図6-7-1太実線）の推移を概観すると、1990年代前半にAMは0.3から0.45付近まで急激に増大したあと、90年代半ばから2000年代初頭までほぼ0.45で推移した。2003年から再び増加して2010年に0.55を越えた。m1（進学者数、破線）は1990年代半ばまで増加し、1996年に1722人で極大となった。その後僅かな増減を繰り返しながら2012年まで1500人を下回ることなく推移した。2012年は約1600人であった。B4は1990年代初頭に約3600人強であった。1996年に4000人を越えてピークに達したあと、2009年に3000人を下回り、2012年には約2950人まで減少した。このように1990年代半ば以降にB4が減少したにも関わらず、m1がほぼ一定値を維持した結果、AMは1990年代半ば以降も増加した。

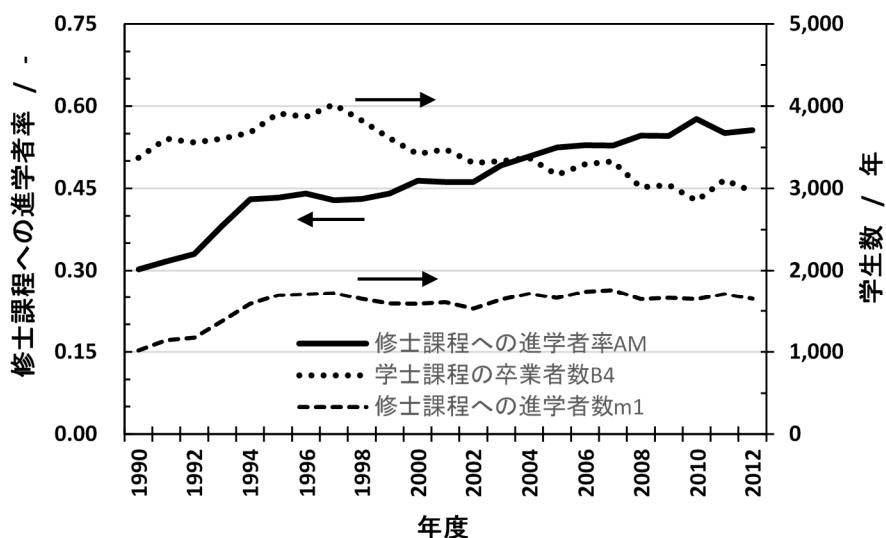


図 6-7-1 学士課程（物理学科）卒業者の修士課程への進学者率（AM）の推移(1990-2012)

【注 1】対象は国公私立大学の男女。実線は修士課程への進学者率（AM）、点線は学士課程の卒業生数（B4）、破線は学士課程卒業者のうちの修士課程への進学者数（m1）。【注 2】当該年度の AM は前年度 B4 に対する前年度 m1 の比率。1996 年度の修士課程への進学者率は 1995 年度の学士課程の卒業生数 B4 に対する 1995 年度の修士課程への進学者数 m1 の割合である。【注 3】学生数の出典は文部省・文部科学省「学校基本調査」による。

EM（図 6-7-2）の推移を概観すると、1990 年代前半に EM は 0.3 から 0.4 弱まで急激に増大し、一旦減少したあと、1998 年から 2012 年まで数回の増減を繰り返しながら増加を続け、2010 年に 0.5 弱まで増加した。M1（入学者数、破線）は 1990 年代半ばまで増加し、1996 年に 1477 人で極大となった。2001 年に 1260 人まで減少したが、その後は僅かな増減を繰り返しながら 2012 年まで 1350 人前後で推移した。2012 年は約 1400 人であった。B4（卒業生数）は上述のように 1990 年代半ば以降に減少したが、M1 がほぼ一定値を維持した結果、EM は 1990 年代半ば以降も増加した。

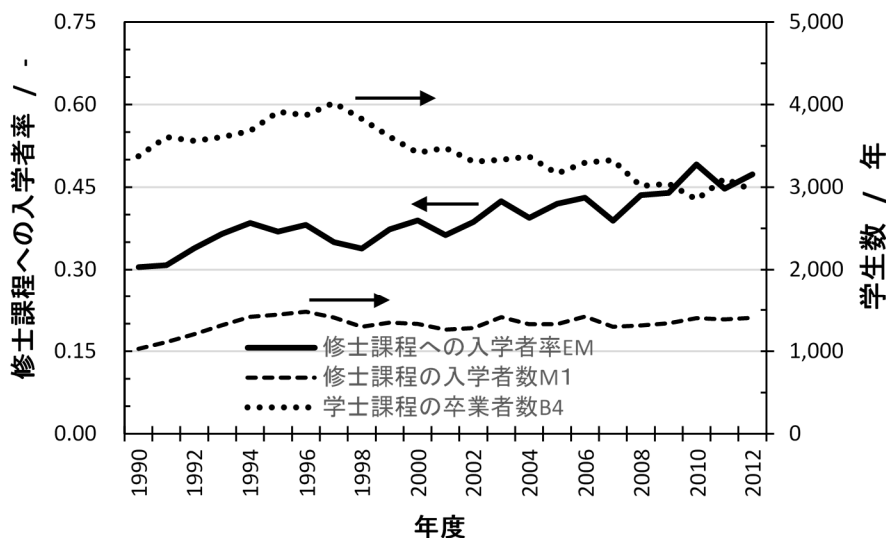


図 6-7-2 修士課程（物理学専攻）への入学者率（EM）の推移(1990-2012)

【注 1】対象は国公私立大学の男女。実線は修士課程への入学者率（EM）、点線は学士課程の卒業生数（B4）、破線は修士課程の入学者数（M1）。【注 2】当該年度の EM は当該年度 M1 の前年度 B4 に対する比率。1996 年度の修士課程への入学者率 EM は 1995 年度の学士課程の卒業生数 B4 に対する 1996 年度の修士課程への入学者数 M1 の割合である。【注 3】学生数の出典は文部省・文部科学省「学校基本調査」による。

b. 説明変数の候補と選択：AM と EM

説明変数の候補は、6.2.1.b.に挙げた 5 つの変数である：(1)家計所得(45-50 歳男の平均給与；IC5)；(2)大学院博士課程 3 年間の授業料と放棄稼得（費用と損失；CL）；(3)物理企業 7 社の売上高（CS；企業の経営指標）；(4)物理企業 9 社の論文数（CA；企業の研究指標）；(5)日本の物理論文数（JA；大学の物理学研究指標）。

修士課程への進学率 AM と EM を説明する変数として、上記の 5 変数を選択した。

従来研究により家計所得（IC5）と費用と損失（CL）の 2 変数は進学率の決定因子として影響すると言われている。

【仮説 Mi】 進学率 AM と入学者率 EM に対する家計所得（IC5）の作用はプラス効果である。

【仮説 Mii】 進学率 AM と入学者率 EM に対する費用と損失（CL）の作用はマイナス効

果である。

分析対象期間の1990年代初頭から2000年代のあいだ、学部卒者に占める修士進学者の割合が急増した：1990年代前半における学士卒就職者の割合は約70%であり、修士進学者は約30%であったが、2000年代には学士卒就職者が40%、修士進学者が60%になった。

AMは物理学を専攻する学生が学士課程3年次に就職か修士課程へ進学かを選択するときの進学志向の指標である。企業の採用基準が学卒者から修士卒者に移行する中で、進学を志向する学生の多くは企業に就職することが目標となり、企業の研究・開発活動と生産・販売活動に高い関心をもつようになる。

したがって、AMの説明変数として企業の売上高（CS、企業の経営指標）は有意であり、マイナス効果を持つことが期待される。企業の論文数（CA、企業の研究指標）も有意であり、マイナス効果を持つことが期待される。

学士課程の学生は専門分野が特定されていないので、広く物理学分野全般の研究活動に関心をもつと考えられる。したがってAMの説明変数として日本の物理論文数（JA、大学の物理学研究指標）も有意であり、プラス効果が期待される。

【仮説 Miii】進学者率 AM に対して企業の経営指標と企業の研究指標はマイナス効果であり、大学の物理学研究指標はプラス効果である。

入学者率 EM は物理学科以外の学科から物理学専攻へ入学した学生を含む。物理学分野の研究に高い関心をもつことは企業へ就職する意識を希薄にする可能性がある。しかし、EM は物理学専攻へ実際に進学した学生（他専攻からの進学を含めて）の意識を反映すると指標であり、学生が修士優位モデルへの移行を理解していたと考えれば、物理系企業の売上高（経営指標）が EM に対して有意になる可能性を否定できない。これらの学生も修士課程を修了して企業へ就職する可能性が大きいので、企業の経営指標の作用はマイナス効果であり、企業の研究指標の作用はマイナス効果が期待される。

入学者率 EM の対象は物理学以外の学科の卒業者を含む。他分野から物理学分野へ移行した学生は、AM の対象である学生より物理企業の研究と物理学分野全般の研究に対する関心がより高い可能性があると考えられる。したがって高等教育進学モデルが修士優位モデルへ移行しつつあった状況を見ると、EM は日本の論文数（JA）に対して有効であり、プラス

効果をもつ可能性が高い。

【仮説 Miv】 入学者率 EM に対して企業の経営指標と企業の研究指標はマイナス効果であり、大学の物理学研究指標はプラス効果である。

図 6-8 に修士課程進学率 (AM または EM) を被説明変数とする重回帰モデルを示す。費用と損失 (CL) は修士課程の在学年数 2 年間分の授業料と放棄稼得の合計とした。

大学院入学料は 2 年間分の授業料の 3 割弱であり、また入学料の増加率 (年率 2.7% ; 1990-2002 年) は授業料の増加率 (年率 3.1% ; 1990-2007 年) より低かった。入学料の増加の負担感は授業料の増加に比べて小さいと考え、進学費用として授業料だけを考慮した。

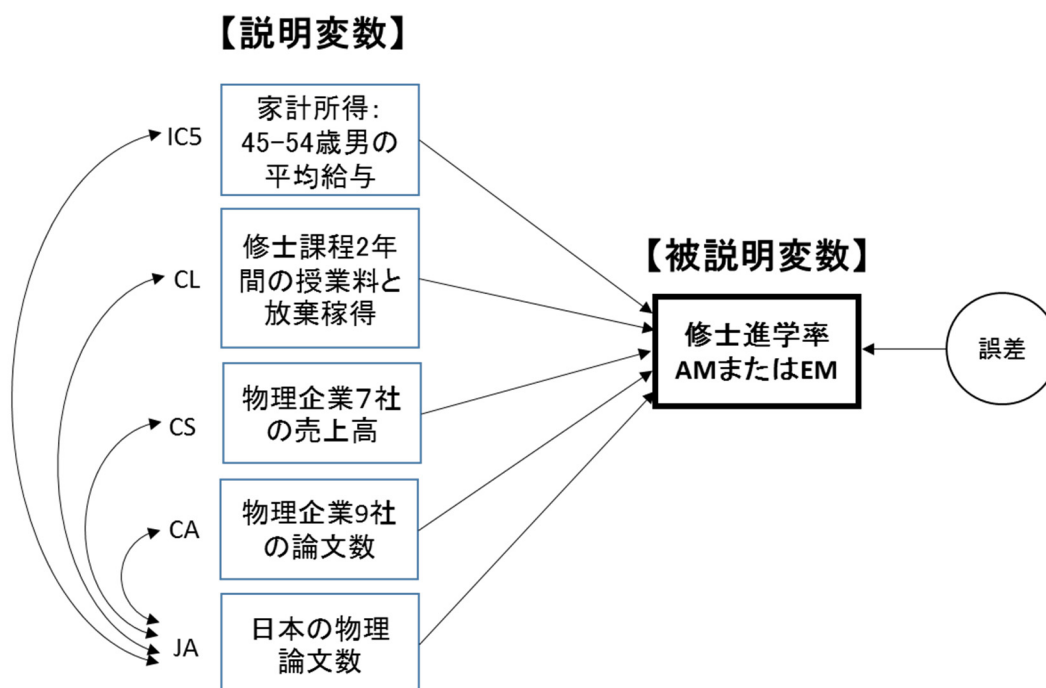


図 6-8 修士課程への進学率 (AM、EM) を被説明変数とする重回帰モデル

【注 1】被説明変数は理学研究科物理学専攻修士課程への進学率 (AM) または入学者率 (EM)。説明変数は家計所得: 45-54 歳男の平均給与 (IC5)、修士課程 2 年間の授業料と放棄稼得 (CL)、物理企業 7 社の売上高 (CS)、物理企業 9 社の論文数 (CA)、日本の物理論文数 (JA)。【注 2】○は誤差、円弧の双方向矢印は相関関係を意味する。図が見にくくなるので、JA とそれ以外の 4 変数との相関関係のみ図示した。単方向の直線矢印は説明変数から被説明変数への従属関係。

c. 修士課程への進学選択のタイミングと説明変数の時間差モデル

博士課程への進学選択のタイミングは学士課程 4 年次であると仮定した。しかし、博士課程進学の場合、多くの学生は最初に修士課程進学を選択し、そのあと博士課程進学を検討すると思われる。また大学院入学試験の準備期間を考慮すれば、学士課程 4 年次になって初めて修士課程への進学選択をする学生は少数であると推測される。したがって、修士課程への進学選択のタイミングは学士課程 4 年次以前であると考えられる。

ここでは以下の理由で学生は学部 3 年次に修士進学を選択すると仮定して分析を進める。6.1.3.で述べたように物理学分野における高等教育進学モデルが 1990 年代初頭に「修士優位」モデルへ変質したとすれば、これは修士進学を前提に大学に入学する学生の割合が

高くなったことを示唆する。図 6-7 の AM から学部卒者の就職者率が年々低下したことが判るが、就職者率は 2003 年まで 50%を越えており、2012 年においても約 45%の学卒者は就職した。就職志向の学生が半数近くいた事実を考慮すれば、学部 1 年次あるいは 2 年次で修士進学を選択する学生は増える傾向があったとしても、大部分の学生は 3 年次に修士進学の選択をすると仮定することは妥当であると考えられる。

6.3.2. 重回帰分析の結果：修士課程進学率

a. 修士課程進学者率 AM

進学者率 (AM) を被説明変数として、5 つの説明変数 (家計所得 IC5、費用と損失 CL、企業の売上高 CS、企業の論文数 CA、日本の物理論文数 JA) を用いて重回帰分析を行った。

6.2.1.で行なった AD の分析と同じようにすべての変数は対数変換して用いた。

修士課程 1 年次 (M1) より 2 年前の学士課程 3 年次 (B3) に修士課程への進学を選択すると仮定した。したがって、すべての説明変数の値は当該年度の 2 年前の値を用いた。たとえば、1990 年度の AM は 1988 年度の IC5、CL、CS、CA、そして JA を説明変数とする回帰式で計算する。結果を表 6-3-1 にまとめて示す。

5 つの説明変数をすべて用いた分析を Predict a とした。この分析で t 値の絶対値がもっとも小さい変数 (家計所得) を除外し、4 つの説明変数を用いた分析を Predict b とした。順次、t 値の絶対値がもっとも小さい変数を除外して Predict e まで 5 例の分析を行った。

Predict d は費用と損失 (CL) と企業の論文数 (CA ; 企業の研究指標) の 2 変数で行なった。F 値の有意確率はゼロであり、すべての係数がゼロであるという帰無仮説を棄却することができ、また補正決定係数 (補正 R²) は 0.9653 で高い値であった。

費用と損失の係数はプラスであり、費用と損失が多いほど修士課程進学率が高くなるという予想外の結果であった。進学することにより、将来的に費用と損失を取り戻せると判断できる状況であれば、費用と損失がプラス効果になることがある。このケースでは投資モデルが有効であることを認めなければならない。

企業の研究指標 (企業の論文数) の係数はマイナスで、仮説と整合的であった。これは企業の論文数が増える、すなわち企業の研究・開発が活発であれば、学部卒者の企業志向が高まり、修士課程進学者率 AM は低くなることを意味しており、合理的であると考えられる。

表 6-3-1 修士課程進学者率 AM の重回帰分析：学士課程 3 年次選択モデル

分析 変数(時間差:年)	Predict a	Predict b	Predict c	Predict d
定数	-11.70 ***	-10.47 ***	-11.07 ***	-11.78 ***
家計所得(-2)	0.3836 n.s.	-	-	-
費用と損失(-2)	1.637 **	1.899 ***	2.056 ***	2.011 ***
売上高(-2)	-0.2145 n.s.	-0.1558 n.s.	-0.1353 n.s.	-
企業の論文数(-2)	-0.2159 n.s.	-0.1615 **	-0.1727 **	-0.218 ***
日本の論文数(-2)	0.1108 n.s.	0.0549 n.s.	-	-
補正R ²	0.9644	0.9657	0.9666	0.9653
標準誤差	0.03	0.03	0.03	0.03

表 6-3-2 修士課程入学者率 EM の重回帰分析：学士課程 3 年次選択モデル

分析 変数(時間差:年)	Predict a	Predict b
定数	-14.33 ***	-14.93 ***
家計所得(-2)	2.117 *	2.366 ***
費用と損失(-2)	0.2221 n.s.	-
売上高(-2)	-0.3516 n.s.	-0.3923 **
企業の論文数(-2)	-0.5769 ***	-0.6102 ***
日本の論文数(-2)	0.1427 n.s.	0.1946 ***
補正R ²	0.9012	0.9059
標準誤差	0.04	0.04

注1: 1990-2012年度までの時系列分析。

注2: 変数欄の上段: 係数; 下段: n.s., not significant; *, p<0.05; **, p<0.01; ***, p<0.001。

注3: 変数欄の()内は時間差の年数、マイナスは博士課程入学年度より前の年数。

注4: 家計所得(LIC5、年齢階層が45-55歳男性の平均給与); 費用と損失(LCL、博士課程3年間の授業料と放棄稼得); 売上高(LCS、物理企業7社の売上高、物理企業7社は日立製作所、NEC、東芝、三菱電機、富士通、パナソニック、ソニー); 企業の論文数(LCA、物理企業9社の英語論文で国/地域が日本、研究分野の指定なし、物理企業9社はNTT、日立製作所、NEC、東芝、三菱電機、富士通、パナソニック、ソニー、キャノン); 日本の論文数(LJA、物理学分野の英語論文数)。

注5: 分析ではすべての変数を対数変換して用いた。略号の先頭のLは対数であることを意味する。

家計所得（IC5）は Predict a において有効でなかった。博士課程進学率（AD、ED）と次の b. で示す修士課程入学者率 EM の分析では、家計所得はプラスの係数で有効である。

AM の分析では 3 つの大きな特徴が見られた：(1) 家計所得が有効でないこと、(2) 費用と損失の係数がプラスであること、そして(3) 企業の論文数の係数がマイナスであること。(1)は強い進学志向の反映であると考えられるが、(3)は反対に就職志向を反映している。進路選択において物理学科卒業者に相反する意識が混在していると理解することができる。

図 6-9-1 に実際の修士課程進学者率（real : AM ; 赤実線）と回帰式で予測した進学者率(Predict d ; 青実線)を示す。Predict d の回帰モデルは実際の AM をよく再現した。

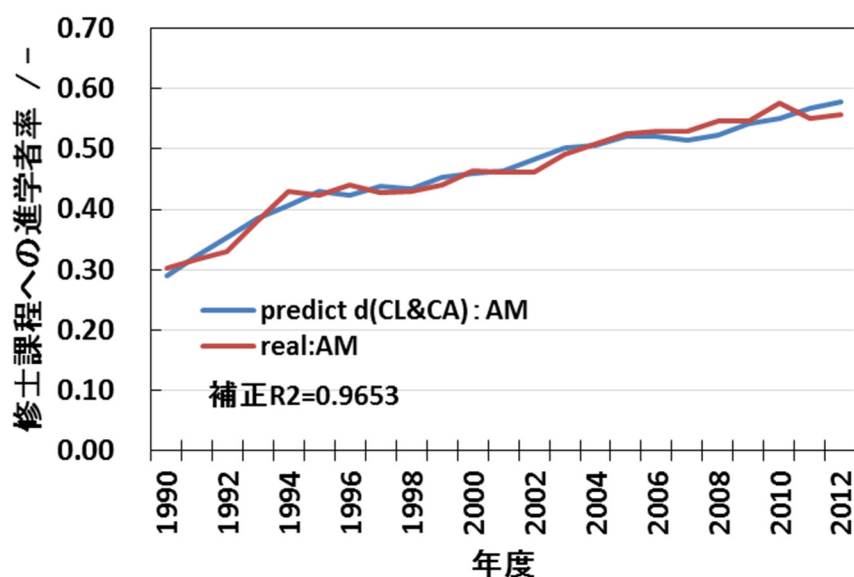


図 6-9-1 修士課程への進学者率 AM の重回帰分析：Predict d（表 6-3-1）で予測した修士課程への進学者率 AM

【注 1】赤実線は実際の修士課程への進学者率 AM（理学部物理学科学士課程卒業者の進学者率）、青実線は回帰式で予測された AM。【注 2】重回帰分析で用いた説明変数は家計所得（IC5；当該年度から 2 年前の 45～54 歳男の平均給与；国税庁（2017）『民間給与実態調査』）、費用と損失（CL；当該年度から 2 年前の製造業の新規学卒者の初任給と大学院授業料の 2 年分の合計）、企業の論文数（CA 出典、文科省資料と厚生労働省『賃金構造統計調査』）；企業の論文数（CA、当該年度から 2 年前の物理企業 9 社の論文数合計；分野指定なし；出典、Web of Science）。

b. 修士課程入学者率 EM

入学者率 (EM) を被説明変数として、AM と同様に 5 つの説明変数を用いて重回帰分析を行った。修士課程 1 年次 (M1) より 2 年前の学士課程 3 年次 (B3) に修士課程への進学を選択すると仮定した。結果を表 6-3-2 にまとめて示す。

Predict b は家計所得 (IC5) と企業の売上高 (CS ; 企業の経営指標)、企業の論文数 (CA ; 企業の研究指標)、日本の物理論文数 (JA ; 大学の物理学研究指標) の 4 変数で行なった。F 値の有意確率はゼロであり、すべての係数がゼロであるという帰無仮説を棄却することができ、また補正決定係数 (補正 R^2) は 0.9059 で高い値であった。

家計所得の係数はプラスであり、仮説と整合的であった。学生が進学選択において経済的に合理的な判断をしていることがわかる。企業の論文数の係数はマイナスで、仮説と整合的であった。これは AM、AD の分析結果と同じであった。

EM で特徴的なことは、企業の経営指標 (売上高 ; CS) の係数がマイナス、大学の物理学研究指標 (日本の論文数 ; JA) の係数がプラスで有効なことである。これは仮説と整合的であった。これら 2 つの変数は AD、ED、AM の分析で有効ではなかった。

EM の大きな特徴は、つぎの 4 つである : (1) 家計所得の係数がプラス、(2) 企業の売上高と論文数の係数がマイナス、(3) 日本の論文数の係数がプラス、(4) 費用と損失が有意でないこと。修士課程 (物理学専攻) へ入学する学生は、家計所得を反映する合理的な判断と企業の業績と研究開発活動に注目しながら、日本全体の科学・技術の動向も考慮して合理的な判断をして進学することがわかる。このように考えると、費用と損失が有効でないことは、強い進学行動の現れと理解することができる。

図 6-9-2 に実際の修士課程入学者率 (real : EM ; 赤実線) と回帰式で予測した入学者率 (Predict b ; 青実線) を示す。Predict b の回帰モデルは実際の EM をよく再現した。

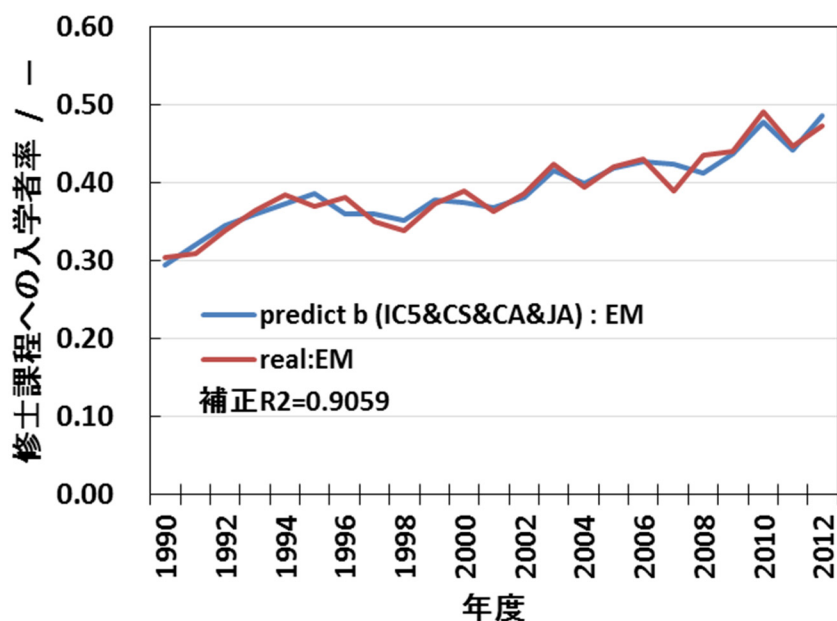


図 6-9-2 修士課程への入学者率 EM の重回帰分析：Predict b（表 6-3-2）で予測した修士課程への入学者率 EM

【注 1】赤実線は実際の修士課程への入学者率 EM（理学研究科物理学専攻修士課程への入学者率）、青実線は回帰式で予測された EM。【注 2】重回帰分析で用いた説明変数は家計所得（IC5；当該年度から 2 年前の 45～54 歳男の平均給与；国税庁（2017）『民間給与実態調査』）、費用と損失（CL；当該年度から 2 年前の製造業の新規学卒者の初任給と大学院授業料の 2 年分の合計）、企業の論文数（CA 出典、文科省資料と厚生労働省『賃金構造統計調査』）；企業の論文数（CA、当該年度から 2 年前の物理企業 9 社の論文数合計；分野指定なし；出典、Web of Science）。

6.4. 博士課程への進学と修士課程への進学：進学者率と入学者率

6.4.1. 進学者率 AD と AM

博士課程への進学者率 AD（表 6-2-1）と修士課程への進学者率 AM（表 6-3-1）の結果を比べると、両者には 2 つの相違点と 1 つの共通点がある：(1) AM は家計所得（IC5）の影響を受けないが、AD は強いプラスの影響を受ける。(2) AM は費用と損失（CL）から強いプラスの影響を受けるが、AD は強いマイナスの影響を受ける。(3) AM と AD は両方とも企業の論文数（CA）からマイナスの影響を受ける。

(1)は、博士課程への進学選択では家計所得が重要な要因となるけれども、修士課程への

進学選択では家計所得の増減に関わらず進学を希望する学生が増えたことを示唆する。(2)は、学部卒者が修士進学によって発生する費用と損失に対する見返りが期待できると判断したと考えられる。(3)の企業の論文数(CA)の効果を考えるとき、学生がCAの具体的数値を直接知る機会がないことと、CAは企業の研究・開発動向の代替変数であることの2点を理解することが必要である。この点について6.6.で議論する。

a. 家計所得 (IC5) の効果

多くの理系学生は習得した専門知識を直ちに活用できる研究や開発を志向しており、文系学生にくらべると大学院進学に対して積極的であると考えられる。確かに1990-2012年のあいだ、AM(学卒者の修士進学者率)は継続的に増加した(図6-1a)。

AMが20%前後だった1970年代は「修士・博士並列モデル」の時代である。この時代の特徴は、(1)学士課程と修士課程のあいだに高い壁があり、(2)修士進学者の多くは博士課程へ進学したことである。「修士・博士並列モデル」は(2)の特徴に由来するが、(1)を踏まえれば、「修士・博士並列モデル」は「学士優位モデル」でもある。

AMが40%に到達したのは1993年であり、50%を越えたのは2004年であった。1990-2012年の分析によれば、「AMは家計所得(IC5)の影響を受けない」。これは1990年半ば頃までに「学士優位モデル」から「修士優位モデル」への移行が進んだという仮定を支持する。大学院改革や大学独立法人化などの政策が実施されたのは1990年代であったことを考えれば、これらの事実は「修士・博士並列モデル」(すなわち「学士優位モデル」)が崩壊して「修士優位モデル」が成立した契機は1980年代の政策であった可能性を示唆する。さらにいえば、1990-2012年の分析によれば、「ADは家計所得(IC5)から強いプラスの影響を受ける」。これは、1990年代以降に実施された大学院改革や大学独立法人化などの政策は家庭から大学(大学院博士課程)へ子供を送り込む家庭システムの機能に影響を及ぼさなかったことを示唆する。

b. 費用と損失 (CL) の効果

(i) 修士課程への進学選択

学生が6.1.3.a.に掲げた①から③を認識していたと考えることがAMに対してCLがプラスの係数であることを理解するポイントである。CLは修士2年間に必要な授業料とその間

の放棄稼得⁶⁶の合計である。

図 6-10 に修士課程の進学選択に関わる 4 つの経済指標の推移を示す: CL、IC5 (URL19)、国立大学授業料 (年間; 以後、授業料; URL20)、製造業における新規学卒者の初任給 (年間; 以後、学卒初任給; URL21)。授業料は 1987 年から 2007 年まで 2 年ごとに改定され増え続けた。一方、学卒初任給は 1993 年以降の伸び率が小さくなったが、わずかに上下しながらも緩やかに上昇した。その結果、学卒初任給に対する授業料の比は、1990-2012 年のあいだに約 6 倍から 4.5 倍まで徐々に低下したが、学卒初任給は依然として授業料の数倍であった。そのため CL (太実線) は概ね学卒初任給与 (点線) の変動に対応して推移した。その結果、CL は 1990 年代初頭 (バブル期終盤) まで急激に増加し、その後 2000 年初頭まで緩やかに増加したあと、僅かな増減を繰り返しながら 2015 年までほぼ 590 万円前後を維持した。

1990 年代末から家計所得 (IC5) は減少したが、これは修士進学者率 AM に対してマイナス効果をもつ有効な決定要因にならなかった。学生が修士進学の特長を納得していたと考えれば、修士課程進学決定要因は家計所得 (IC5) ではなく、学卒初任給に対応して変動した費用と損失 (CL) であることが理解できる。

⁶⁶ 就職していたら得られたであろう 2 年間分の収入; 計算では 2 年目の昇給は考慮せず、修士課程に進学した年の製造業における新規学卒者初任給の 2 年分を放棄稼得とした。

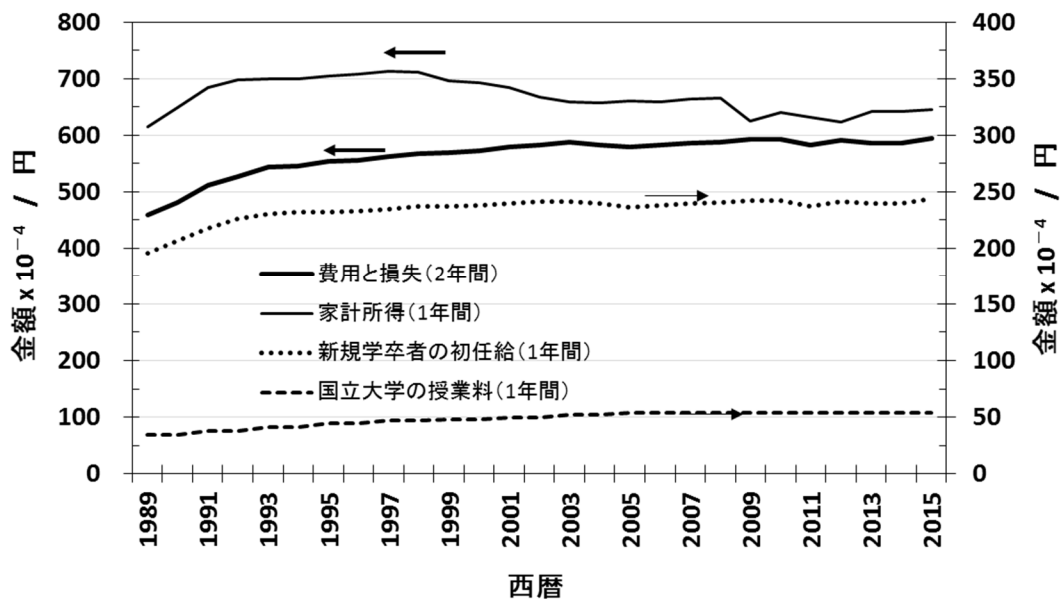


図 6-10 修士課程の進学選択に関わる経済指標の推移

【注 1】太実線は費用と損失 (CL; 修士課程に在学する 2 年間の授業料と放棄稼得の合計; 左軸)、細実線は家計所得 (IC5; 45~54 歳男の平均年収; 左軸) 点線は製造業における新規学卒者の初任給 (年収)、破線は国立大学授業料 (年間)。**【注 2】** 出典は以下の通りである: 家計所得 (URL24; 国税庁 (2017) 「民間給与実態調査: 1 年勤続者の年齢階層別給与と所得者数・給与総額・平均給与」における 45~49 歳と 50~54 歳の 2 階層の男の平均値)、国立大学授業料 (URL25; 文部科学省 「参考資料 国公立大学の授業料等の推移」)、初任給 (URL26; 厚生労働省 賃金構造統計調査「産業別新規学卒者の初任給の推移 (大学卒、製造業)」; 2005 年以前の大学院卒データは利用できないので大卒初任給を用いた)。

(ii) 博士課程への進学選択

同様に、学生が 6.1.3.a.に掲げた①から③を認識していたと考えることが博士進学者率 AD に対して費用と損失 (CL) がマイナスの係数であることを理解するポイントである。企業への就職を志向する多くの学生にとって、上記①から③は博士進学モチベーションを高めない。

筆者の経験では、博士号をもつ博士卒者が企業に就職した場合、その初任給は博士課程に在籍した年数分 (3 年) だけ先に入社した修士卒者の給与とほぼ同額であった。多くの日本の企業では、博士号を取得したことが研究者としての付加価値 (プレミアム) として評価されることが少ないようである。

c. 企業論文数 (CA) の効果

(i) 修士課程への進学選択

修士課程への進学選択の年に B3 学生が具体的な CA(企業の論文数)を知る機会はない。学生は前年度あるいは前々年度の採用状況や教員、家族、友人などから聞いた企業の評判あるいは新聞・マスコミの報道から企業の研究・開発の状況を定性的あるいは情緒的な情報として把握すると考えられる。

1990年に学卒就職者が多数(69.0%)だった。2012年に修士進学者率 AM は 55.6%になったが、依然として 44.4%の学卒者は企業へ就職した。1990-2012年のあいだ、約半数の学卒者が就職志向であり続けた。これは学卒者における就職志向者の意向が無視できるほど小さくないことを伺わせる。就職志向の学生は、修士卒者のメリットは理解しながらも家計所得(IC5)や費用と損失(CL)を考慮してできるだけ早く企業に就職して研究・開発あるいは生産の現場で経験を積もうという意向をもつ学生である。

学生が B3 年次に就職か大学院進学かを選択をするとき、参考にする採用状況や周囲の評判や新聞・マスコミ情報はいずれも定性的・情緒的な情報である。採用数の情報は数値データであるが、学生は採用数やその変動を長期にわたって見るわけではなく、直近の採用数の増減に着目する。したがって採用数の情報ではあるが、情緒的な情報として受け止められると考えられる。

(ii) 博士課程への進学選択

企業が論文数(CA)を減らせば、博士進学者率 AD は高くなる。博士課程へ進学する修士卒者が増え、その年に就職する修士卒者が減るが、3年後に研究者の基礎訓練を受けた多くの博士卒者が誕生することを意味する。企業がこの事態(ADが高いこと)を積極的に捕らえれば、3年後に企業の研究・開発を支える研究者として博士卒者を採用する可能性が高まり、研究・開発の継続性と発展のために必要な優秀な人材を確実に採用することができる。

このような事実関係を理解すれば、家計所得(IC5)と費用と損失(CL)の動向と合わせて企業の論文数(CA)の変化を把握することにより、企業は学生(学卒者、修士卒者、博士卒者)を採用する時期と対象者をより合理的に決めることができる。問題は企業の経営者が研究者としての博士卒者の能力を評価し、その必要性と可能性を理解することである。

6.4.2. 入学者率 ED と EM

修士課程への入学者率 EM と博士課程への入学者率 ED は物理学専攻への進学行動の指標である。EM は、家計所得（プラス効果）と企業の経営指標（マイナス効果）、企業の研究指標（マイナス効果）、大学の物理学研究指標（プラス効果）の 4 つの変数で説明される。ED は、家計所得（プラス効果）と費用と損失（マイナス効果）の 2 つで説明される。EM が有効な説明因子を 4 つもつものに対し、ED は 2 つの経済指標だけで単純で合理的な理解ができる。

家計所得は EM に対してもっとも強く影響（プラス効果）を与える。これは現実的な判断である。費用と損失は、プラス効果とマイナス効果のどちらであっても将来的な収入の見込みに対する判断である。費用と損失が大きければマイナス効果であるとは限らない。進学することにより、将来的に費用と損失を取り戻せると判断できる状況であれば、費用と損失がプラス効果になることがある。AM における費用と損失の効果がその例である。このケースでは投資モデルが有効であることを認めなければならない。

実際の進学行動に際して、学生は長期的な収益見込みより直近の企業の活動（売上高、論文数）からマイナス効果を受ける。EM と ED がどちらも家計所得からプラス効果を受けるのはこのためである。一方、費用と損失は EM にまったく影響しない。これより修士課程の物理学専攻への進学志向が強かった学生にとって、費用と損失がプラス効果といえないにしてもマイナス効果をもつことはないという現実的な判断をしていることが伺える。

EM に対して企業の売上高（企業の経営指標）は有効であるが、ED に対して有効ではない。先に 6.3.2.b. で指摘したように「修士課程（物理学専攻）へ入学する学生は、家計所得を反映する合理的な判断と企業の業績と研究開発活動に注目しながら、日本全体の科学・技術の動向も考慮して合理的な判断をして進学する」といえる。

また企業の論文数（企業の研究指標）は EM に対してマイナス効果があるが、ED に対して有効ではない。この結果は、修士課程（物理学専攻）へ進学行動を起こす学生（EM の対象者）の興味・関心の幅が広く、博士課程（物理学専攻）へ進学行動を起こす学生（ED の対象者）の関心が企業活動（研究開発・営業）にないことを示唆する。さらに修士課程へ進学行動を起こす学生（EM）が日本全体の科学・技術の動向にも関心がある一方で、博士課程へ進学行動を起こす学生（ED）は関心が特定領域に集中していることが原因である可能性がある。

6.5. 進学者率と入学者率の比較：博士課程と修士課程

6.5.1. 博士課程への進学率 AD と ED

AD と ED を比較すると、AD は家計所得（プラス効果）と費用と損失（マイナス効果）、企業の論文数（マイナス効果）で説明されるが、ED は家計所得（プラス効果）と費用と損失（マイナス効果）で説明され、企業の論文数は有効な因子ではない。AD と ED が家計所得（プラス効果）と費用と損失（マイナス）に影響されることは合理的である。家計所得が多ければ進学に積極的になり、費用と損失が多ければ進学に消極的になるという結果は、家計流動性と大学の直接費用が進学率に対して支配的であるという従来研究（Nakata, Y., and Mosk 1987；荒井 1990）の結果を支持する。

AD（進学者率）は企業の論文数からマイナスの影響を受ける。これは、企業の論文数は企業の研究指標であると考えれば、研究開発を活発に行う企業に修士卒の段階で就職しようとする行動の現れとして理解することができる。大企業ほど研究開発が活発であるとなれば、企業の論文数の AD に対するマイナス効果は、学生が博士課程への進学選択の段階で大企業に就職できる可能性を積極的に追求しているためであると考えられる。

6.5.2. 修士課程への進学率 AM と EM

AM と EM を比較すると、AM は費用と損失（マイナス効果）と企業の論文数（マイナス効果）で説明される。EM は、家計所得（プラス効果）と企業の売上高（マイナス効果）、企業の論文数（マイナス効果）、日本の物理論文数（プラス効果）で説明される。

AM と EM に共通の要因は企業の論文数（マイナス効果）である。これは、学生が研究開発を活発に行う大企業へ就職することを志向し、実際の進路選択において研究開発の活発な企業の動向に影響されたことを示唆する。

家計所得は AM にまったく影響しないが、EM に対してもっとも強く影響（プラス効果）を与える。反対に費用と損失は AM に強く影響（プラス効果）を与えるが、EM にまったく影響しない。ここで重要なことは、費用と損失がプラス効果をもつことをどのように解釈するかである。

AM は進学志向の指標であるから、AM に対する費用と損失のプラス効果は、進学志向をもつ学生は進学による直接の費用を払っても将来的な収入の見込みが期待できると判断したことを示唆すると考える。一方、実際の進学行動（EM）に際して、学生は長期的な収益見込みより直近の企業の活動（企業の売上高 CS、企業の論文数 CA）からマイナス効果を

受け、家計所得 IC5 からプラス効果を受ける。これらの事実から、AM では進学による長期的な収益達成を期待するが、EM では学生はより現実的な判断をしていることが伺える。

企業の売上高 (CS; 企業の経営指標) は学卒者の進学志向 (AM) に対して効果がないが、企業の論文数 (CA; 企業の研究指標) は学卒者の進学志向 (AM) に対してマイナス効果がある。これは理系学生が企業経営より研究開発活動により高い関心をもっているためであると考える。

日本の物理論文数 (JA) が学卒者の進学行動 (EM) に対してプラス効果をもつ。日本の論文の約 90% は大学研究者が関わった論文であるから、大学の研究活動が活発になれば、学卒者が修士課程への進学行動をとることが期待できる。

6.6. 企業の論文数と進学率：経営状況を起点とする出来事の連鎖

企業の論文数 (CA) は学生が直接知ることができる指標ではないが、CA と AM、CA と AD の間にマイナスの相関関係がある。これはつぎに示す(a)-(d)の出来事の連鎖が 3 つの主体 (大学、企業、家庭) に存在するためであると考える：(a) 企業の経営状況の変化が経営者の経営判断に反映される (企業の経営状況と経営判断は対応する)；(b) 経営判断により研究開発費が増減されると企業の論文数 (CA) がそれに呼応して変動する (経営判断と研究開発費、CA は対応する)；(c) 企業の経営状況と企業に関する定性的・情緒的な情報は対応する；(d) 企業に関する定性的・情緒的な情報が進学率 (AM と AD) に影響する (定性的・情緒的な情報と進学者率は対応する)。(a)-(b)は企業における出来事、(c)は家庭における出来事、(d)は大学における出来事である。

図 6-11 に企業の経営状況を起点とする 2 つの出来事の連鎖と、企業の論文数と進学率の関係を示す。図には 2 つの出来事の連鎖が左右に描かれている：第 1 は、企業の経営状況に基づき経営者が経営判断を行い、その経営判断により研究開発費が増減され、それが企業論文数の増減として顕在化する連鎖である。第 2 は、企業の経営状況が企業の定性的・情緒的な情報として流布し、それが進学率の増減として顕在化する連鎖である。因果関係を→で表すと、第 1 の連鎖は、経営状況→経営判断→研究開発費→企業論文数であり、第 2 の連鎖は、経営状況→定性的・情緒的な情報→進学率である。

企業の経営状況を起点とする 2 つの出来事の連鎖の結果として企業論文数と進学率の間に間接的な関係が成立すると考える。

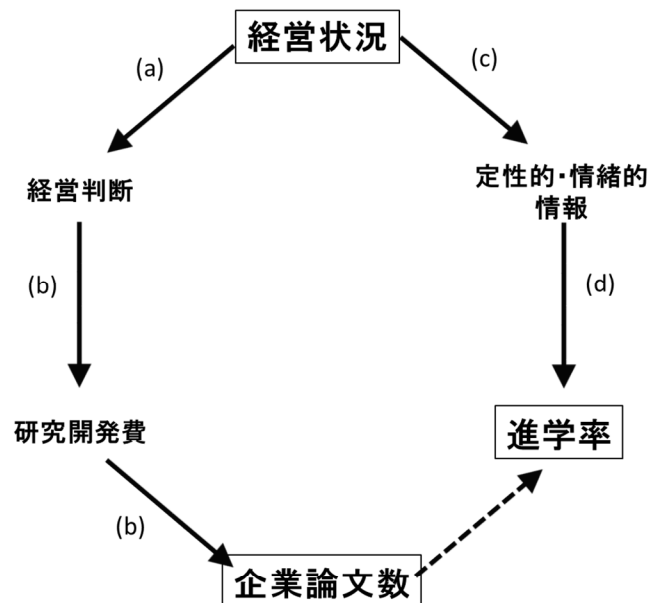


図 6-11 企業の経営状況を起点とする社会における連鎖：企業論文数と進学率の関係

【注 1】実線矢印は起点から終点への直接的な関係；破線矢印は間接的な関係。【注 2】(a)は「企業の経営状況の変化が経営者の経営判断に反映される」、(b)は「経営判断により研究開発費が増減されると企業の論文数がそれに呼応して変動する」、(c)は「企業の経営状況と企業に関する定性的・情緒的な情報は対応する」、(d)は「企業に関する定性的・情緒的な情報が進学率に影響する」。【注 3】経営状況、経営判断、研究開発費、企業論文数は「企業」における出来事；定性的・情緒的な情報は「家庭」における出来事；進学率は「大学」における出来事。

6.7. 日本の科学・技術の発展における企業の役割

サイエンス型産業の企業は 2 つの役割を果たしてきたと考えられる。ひとつは人々の役に立つ製品とサービスの提供である。他のひとつは自らの企業を維持・発展させるために優秀な学生を雇用し、研究・開発活動のなかで人材として育成することである。

進学者率（AM と AD）の重回帰分析は、企業の研究・開発活動の指標である企業の論文数（CA）が学生の進学選択における決定因子として有効であることを明らかにした。この事実は企業の経営状況が家庭を介して大学における高等教育の普及・推進と密接に連絡していることを示唆する。これは社会における知識と人の流れのなかでサイエンス型産業の

企業が果たす 3 つめの重要な役割である。

サイエンス型産業の企業が果たす 3 つの役割を「知識と人」社会循環モデルに即して言えば、つぎのように表現することができる：「企業は家庭や大学と一体となって社会を構成し、知識と人の円滑な循環に貢献する」。

7. 提言「知の進化」における企業の役割

本章（第7章）は提言編である。ここでは第4章から第6章の結果を踏まえて、3つのリサーチ・クエスチョン—「知の進化はどのように進むのか」（7.1.、7.2.、7.3.）、「論文数の停滞は何を意味するのか」（7.4.）、「研究者はなぜ論文を書くのか」（7.5.、7.6.）—に対する総合的な見解を述べる。

7.1.ではサイエンス型産業を取り巻く社会の構造と機能を取り上げ、「知の進化」における企業の役割について考察する。7.2.では「知の進化システム」を提案する。7.3.では「知の進化システム」に基づいて第6章の分析結果を評価し、サイエンス型産業の企業の役割について考察する。7.4.では、第5章と第6章において社会構造の視点で検討した論文数の減少の問題を機能システムの視点から検討して解決の糸口を探り、機能システムの相互浸透による理想的なコミュニケーションの連鎖について提案する。7.5.では「知の進化システム」における大学と企業における研究を比較し、企業研究の特徴について論じる。そして最後に7.6.では、知識生産における知識システムと社会システムの連携について考察を進め、「なぜ論文を書くのか」の解を探る。

7.1. サイエンス型産業を取り巻く活動領域

社会循環モデルは経済循環図が描く財、サービス、資金、労働力が循環する動的な構造を“知識と人の循環”という視点で見直し、経済循環における主体を知識と人の循環に相応しい主体に置き換えて整理した結果である。すなわち、経済循環図の3つの経済主体である政府、企業、家計を大学、企業、家庭に変え、3つの経済主体の間を循環する財、サービス、資金、労働力などを大学、企業、家庭の間を循環する知識と人に置き換えた。

7.1.1. 「知識と人」社会循環モデルの動的構造と階層構造

図7-1に「知識と人」社会循環モデルの動的構造（a）とこのモデルの背後にある階層構造（b）を示す。動的構造とは3つの主体（大学、企業、家庭）のあいだを「知識と人」が一定の方向に循環する様相を意味する。各主体は隣接する主体の活動の影響を相互に様々な形、すなわち人または情報の直接的あるいは間接的な移動や伝達により受け取る。階層構造とは各主体の内部に留まって活動する人の集合である。「知識と人」社会循環モデルの各主体の構成単位は人である。図7-1はつぎの3点を表現している：

- (1) 知識と人の流れに着目して抽出した大学、企業、家庭が循環構造の主体である。
- (2) これら3主体のあいだを知識と人が循環する動的構造が存在する。
- (3) それぞれの主体の背後にある階層構造に人が存在し、各主体の活動を支える。

「知識と人」社会循環モデルに描かれた円環のうえを「知識と人」が好循環するためには、大学、企業、家庭がそれぞれ活発に活動して、上流⁶⁷の主体から知識あるいは人を受け入れ、各主体の中でその知識を更新し人を成長させて、さらに下流の主体へそれらを送り出す必要がある。ある場面では、知識と人が共に連れ添うように、また別の場面では互いに入れ替わりながら（知識が人になり、あるいは人が知識になり）、3つの主体のあいだを循環する。この動的構造の背後には人が存在し、各主体の活動を担っている。

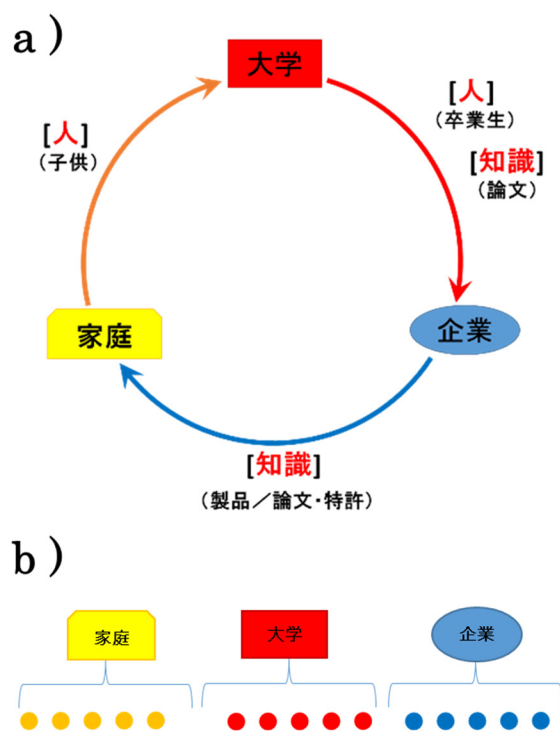


図 7-1 「知識と人」社会循環モデル：a) 「知識と人」が循環する動的構造；b) モデルの背後にある階層構造。

⁶⁷ 右回りの円弧矢印の起点を上流、終点を下流と呼ぶ。

7.1.2. 「知識と人」社会循環モデルの3主体と機能システムの関係

a. 主体が果たす役割範囲

各主体の役割は多岐にわたるので、位相空間に写像して機能システムに落とし込むといっても簡単ではない。例えば、大学は教育と研究の2つの大きな役割があるといわれるが、教育は対象によって学生の教育と地域貢献としての教育に分類される。大学における研究は大きく2つにわけても社会科学や人文科学など文系分野の研究と物理学や工学、農学など理系分野の研究があり、それぞれはさらに細分化されている。大学における研究には共通の目的や考え方がある一方で、分野ごとに研究対象や手段などが相違しており、一つにまとめて議論を進めることは困難である。

企業の役割について考える場合も同様である。業種により、あるいは企業の規模により役割は多岐にわたる。技術系企業であれば、製造業に属する企業であっても研究・開発から製造、販売まで一つの企業ですべてを行う企業がある一方で、研究だけ行う企業、研究は行わずに技術開発と製造を主に行う企業、研究も開発も行わずに委託されて製造だけ行う企業など、様々な形態が存在する。

家庭はその構成員の人数や性別、年齢の違い、居住する地域、世帯主の収入と職種の違いなどにより実態は多様であり、その役割も多岐にわたる。働いて収入を得ること、住居を構え、必要な生活用品や衣服、食料品を購入して健康で安全な生活を維持すること、子供を産み育て教育すること、地域社会と交流し、税金を納め、選挙に参加して国民としての義務を果たすことなど、家庭の役割の幅は非常に広い。

議論の方向を定めて考察を進めるために、3つの主体の役割を本論の主題である「サイエンス型産業の企業」と関連する役割に絞って検討を進める。具体的には、企業はサイエンス型産業に属する一定規模の企業であって、研究から製造、販売までを自社で行う企業に限定する。大学の役割は理系分野の学生を対象とする教育と自然科学分野の研究に限定する。そして家庭の役割は健全な環境で子育てを行い、子供に通常の義務教育と大学・大学院へ進学する機会を与えることに限定する。

b. 3つの主体の機能システムと高次機能システム

このように3つの主体の役割（機能）を限定したうえで、循環モデルにおける主体同士の

関係性⁶⁸を担保するために、その主体の主要な機能であり、かつ循環モデルで隣接する主体と共通する機能を主体ごとに2つずつ選定した⁶⁹。その結果が研究システム、開発システム、経済システム、教育システムの4つの機能システムである。各主体はこれらのうちの2つあるいは3つの機能システムが相互浸透により複合化した高次システムの機能に対応した役割を果たす。

2つの機能システムAとBが相互浸透して複合化した高次システムを(A&B)と表記すると、大学が果たす機能は、教育システムと研究システムが複合化した高次システム(教育&研究)⁷⁰の機能である。この高次機能システムが組織体システム(3.3.)としての大学システムである。同様に企業は研究システムと開発システム、そして経済システムが複合化した高次機能システム(研究&開発&経済)であり、これが企業システムである。また家庭は経済システムと教育システムが複合化した高次機能システム(経済&教育)であり、これが家庭システムである。

7.1.3. 4つの活動に対応する機能システムの条件

a. 研究活動と研究システム

研究とは、新しい事実の発見と究理(原理を究めること)である。その結果、新しい知識が得られる。新しい事実を発見し、だれも見なかったものを見えるようにし、だれも考えなかった新しい知識を創り出す活動が創造である。すなわち研究活動の目的は「知識の創造」である。

コミュニケーションの3要素の“情報”は、コミュニケーションの当事者にとって新しい事実(世界的な発見や理論だけではない)である。“伝達”の手段は、主体Aが意図をもって新しい事実が正しいことを発表することと考えれば、研究活動における典型的な“伝達”は論文発表である。そして“理解”は、主体Bが査読者として論文掲載を承認すること、主体Bが研究者として自らの論文に引用することなどである⁷¹。研究活動におけるコミ

⁶⁸ 「主体同士の関係性」とは、一つの主体からつぎの主体へ知識あるいは人が移動することをいう。家庭と大学は教育活動という共通の活動によって関係性をもっている。この関係性によって家庭から大学へ子供が進学する。

⁶⁹ これにより3つの主体間の関係性が担保され、3つの主体間を知識と人が移動できる。

⁷⁰ 本文では、教育システムと研究システムが相互浸透した高次システムを(教育&研究)のように「システム」を省略して表わす。

⁷¹ 口頭発表における“理解”は、論文投稿と比べると緩やかな承認(講演題目の登録、予稿受理、討論における質疑応答)である。書籍の出版の場合、市場の評価である。

コミュニケーションの構成要素は承認された新しい事実⁷²、すなわち知識である。知識を他者が認識できる形にしたものが論文である。このように研究活動のコミュニケーションの 3 要素を規定することができる。

研究活動が機能システムであるためには、別にオートポイエーシス・システムの 4 条件—①自律性、②個性性、③境界の自己決定、④入出力不在—を備える必要がある：

- 研究活動はそれ以外の様々な活動から影響を受けながらも、それらを調整して研究活動の目的（知識の創造）を果たしている。したがって①自律的である。
- 研究活動は徹底的な論理（仮説検証）と独自の規律（実証と再現性、知識の公開、先駆者への敬意、科学倫理など）に従い、恒常性を保ちながら展開している。したがって、他の活動と比べて②個性性があり、③境界を自己決定している。
- 研究活動はコミュニケーションの連鎖によって知識を創り出している。これは、④入出力の不在である。

このように研究活動はコミュニケーションの 3 要素とオートポイエーシス・システムの 4 条件を備えているので、「研究システム」である。研究システムは、「新しい知識を創り出す」という機能を担う。研究は自然界や社会を観察の対象とし、人文・社会科学、自然科学、技術などの分野において様々な現象（事実）が発現するメカニズムを解明して、新しい知識を生み出す。これが「知識の創造」である。研究システムの代表的な流通メディアは論文であり、象徴メディアは真実である。

b. 開発活動と開発システム

開発とは、知識あるいは事実を人々の生活に役立てるために必要な物やサービスを提供する具体的な方法や手段を創り出すことである。開発活動において対象となる知識は研究活動で創造された新しい知識だけでなく、すでに周知の知識も含まれる。同様に事実は新しく発見された事実と周知の事実の両方である。開発活動の目的は、「知識あるいは事実を人々が利用できる形に具体化すること」である。このようにして出来上がった具体的な形が技術である。すなわち開発とは「知識あるいは事実を技術として具現化し、利用価値を生み

⁷² “新しい” は「真理に近づきつつある」という意味である。

出すこと」である。

具現化の典型的な方法が革新である。革新とは、すでにあるものの改良・改善・組み合わせの変更⁷³である。ここで重要なことは、開発には、①知識の具現化と、②事実の具現化の2種類があることである。①と②の違いは、開発の前段（入り口）にある。

①は研究の成果である知識に基づくので、開発活動の前に研究活動による知識の創造が必須である。知識を創造する主体（研究活動の主体）が大学であっても、開発活動を行う企業であっても、あるいはほかの企業であっても構わない。具現化する知識は新しい知識でも周知の知識でもよいが、知識を具現化するその前に開発活動は研究活動がなければ始まらない。

②は事実に基づくので開発活動の前に研究活動を必要としない。しかし、開発活動のなかで新しい事実を発見すること、あるいは周知の事実を再認識する必要がある。

開発活動におけるコミュニケーションの3要素のうち、“情報”は「知識あるいは事実の具現化と革新」のための新しい発想（アイデア）である。“伝達”は主体Aが意図をもって発想を表現すること、すなわち製品や製造方法の設計である。この表現の手段は図面、試作品、文章、音声、写真・映像など様々である。“理解”は設計の内容を主体Bが試作品や試験工程などの具体的な技術に仕上げることである。したがって、開発活動における構成要素は完成された技術である。

開発活動においてコミュニケーションの3要素を規定することができる。開発活動が機能システムであるためには、オートポイエーシス・システムの4条件（①自律性、②個性、③境界の自己決定、④入出力不在）を備える必要がある：

- 開発活動はそれ以外の様々な活動の影響を受けながらも、それらを調整して開発活動の目的（知識あるいは事実の具現化と革新）を果たしている。したがって①自律的である。
- 開発活動は独自の論理（組み合わせの変更、イノベーションなど）と独自の規律（性能の信頼性、知的財産権等の保障、技術倫理など）に従い、恒常性を保ちながら展開している。したがって、他の活動と比べて②個性があり、③境界を自己決定している。

⁷³ 例えば、Schumpeter（1926=1977:180-185）の“新結合”は組み合わせの変更である。

- 開発活動はコミュニケーションの連鎖によって技術を創り出している。これは、④入出力の不在である。

このように開発活動はコミュニケーションの 3 要素とオートポイエーシス・システムの 4 条件を備えているので、「開発システム」である。開発システムは、「知識あるいは事実を新しい発想により役立つ技術として具体化し、さらに革新する」という機能を担う。開発は人が関与する分野を対象とし、発想を具体化して、新しい技術を生み出す。これが「技術の革新」である。開発システムの代表的な流通メディアは特許であり、象徴メディアは効用である。

c. 経済活動と経済システム

経済活動とは「人々の生活に役立つ製品を作り、届け、消費すること」である。

コミュニケーションの 3 要素の“情報”は、製品である。“伝達”は主体 A が意図をもって製品を市場に提案すること、すなわち上市である。“理解”は主体 B が製品を購入することである。経済活動におけるコミュニケーションの構成要素は、人々が購入した製品の利便性を享受することである。経済活動によりコミュニケーションが繰り返し起これば、人々は製品を購入して使用し、その利便性を繰り返し享受する。従って経済活動における構成要素は利便である。

経済活動においてコミュニケーションの 3 要素を規定することができる。経済活動が機能システムであるためには、オートポイエーシス・システムの 4 条件（①自律性、②個性、③境界の自己決定、④入出力不在）を備える必要がある：

- 経済活動はそれ以外の様々な活動の影響を受けながらも、それらを調整して経済活動の目的（知識の実現）を果たしている。したがって①自律的である。
- 経済活動は独自の論理（需要の均衡）と独自の規律（倫理など）に従い、恒常性を保ちながら展開している。したがって、他の活動と比べて②個性があり、③境界を自己決定している。
- 経済活動はコミュニケーションの連鎖によって利便を創り出している。これは、④入出力の不在である。

このように経済活動はコミュニケーションの 3 要素とオートポイエーシス・システムの 4 条件を備えているので、「経済システム」である。経済システムは、市場に製品を提供することにより、利便性を社会に行き渡せ、人々の生活の向上を図り、豊かな生活を実現するという機能を担う。これが「利便性の享受」である。経済活動の流通メディアは製品であり、象徴メディアは豊かな生活を象徴する富、すなわち貨幣である。

d. 教育活動と教育システム

教育とは、次代を担う人材を育成することである。社会システム理論に沿った表現をすれば、社会で行われるコミュニケーションに参加できるだけの態度や能力をもつ人を育てることである（井庭 2011 : 30）。学校や大学における教育だけではなく、家庭における躰や地域における生涯学習やスポーツ指導も含む。家庭では、親が子供を養育し、社会人としての基礎的な知識を伝授すると共に、製品を消費して科学・技術の成果が人々の生活を改善し支える現場を実体験させる。すなわち、教育とは子供たちに知識を体験させ、知識を継承することである。

コミュニケーションの 3 要素のうち、“情報”は、主体 A（教育の対象となる若者）が発する好奇心や興味・関心、すなわち学びたい、知りたいという願望あるいは希望である。“伝達”は主体 A が意図をもって進学（教育の機会）を選択することである。“理解”は主体 B（ここでは教育をする者）が主体 A の好奇心や願望を受容し、教育の機会を与えることである。教育における構成要素は、教育により成長した人である。

教育活動においてコミュニケーションの 3 要素を規定することができる。教育活動が機能システムであるためには、オートポイエーシス・システムの 4 条件（①自律性、②個性、③境界の自己決定、④入出力不在）を備える必要がある：

- 教育活動はそれ以外の様々な活動の影響を受けながらも、それらを調整して教育活動の目的（次代を担う人材の育成）を果たしている。したがって①自律的である。
- 教育活動は独自の論理（教育学）と規律（哲学、倫理学など）に従い、恒常性を保ちながら展開している。したがって、他の活動と比べて②個性があり、③境界を自己決定している。
- 教育活動はコミュニケーションの連鎖によって人を創り出している。これは、④

入出力の不在である。

このように教育活動はコミュニケーションの 3 要素とオートポイエーシス・システムの 4 条件を備えているので、「教育システム」である。教育システムは、「若者に知識と経験を伝えて人材を育成する」という機能を担う。教育は自らの意志で知識と経験を受け継ぐ人材を育てる。これが「人材の育成」である。流通メディアは人材であり、象徴メディアは人材がもつ可能性である。

7.1.4. 4 つの機能システムの特徴

前項で検討した 4 つの活動に対応する機能システムの特徴を表 7-1 と表 7-2 に示す。表 7-1 に研究活動、開発活動、経済活動、教育活動の目的とコミュニケーションの 3 要素・構成要素（システムが繰り返し生産するもの）をまとめる。4 つの活動についてコミュニケーションの 3 要素を規定することができるので、これら 4 つの活動はいずれも機能システムである。表 7-2 に各機能システムのコミュニケーション・メディアをまとめる。

表 7-1 活動の目的とコミュニケーションの 3 要素・構成要素

システム	活動の目的	コミュニケーションの 3 要素			構成要素
		情報	伝達	理解	
研究	知識の創造	事実	発表	承認	知識
開発	知識の具現化・革新	発想	設計	試作	技術
経済	知識の実現	製品	提案	購入	生活
教育	知識の体験・継承	好奇心	選択	受容	人材

表 7-2 機能システムのコミュニケーション・メディア

システム	メディア		
	言語	流通	象徴
研究	言語	論文	真実
開発		特許	効用
経済		製品	貨幣
教育		人材	可能性

7.2. 3つの主体に対応する高次機能システム

「知識と人」社会循環モデル（図 2-4）を提案するきっかけは「社会全体で知識を発展させる普遍的な仕組み、すなわち『知の進化』と呼ぶに相応しい動的な構造が社会に存在する」（1.3.2.）と考えたことである。「知識と人」社会循環モデルは社会全体で知識を発展させる「知の進化」を描いた社会構造モデルである。

本章の目的は「知の進化」におけるサイエンス型産業の企業の役割を社会の構造（「知識と人」社会循環モデル）と機能（機能システム）の両面から明らかにすることである。そのためには「知識と人」社会循環モデルの 3 つの主体が果たす役割を機能システムに対応させる必要がある。

そこで前項（7.1.）では、各主体の役割（機能）が 4 つの活動（研究活動、開発活動、経済活動、教育活動）のうちの 2 つあるいは 3 つの組み合わせであると考え、さらにこれら 4 つの活動がそれぞれ機能システムであることを確かめた。その結果、研究システム、開発システム、経済システム、教育システムは独自のコミュニケーションの 3 要素（情報・伝達・理解）をもち、オートポイエーシス・システムの 4 条件（①自律性、②個性性、③境界の自己決定、④入出力不在）を備えており、流通メディアと象徴メディアが存在することがわかった（表 7-1、7-2）。

本節では、3 つの主体に対応する高次機能システムの特徴を総括する。

7.2.1. 科学領域における大学の活動：大学システム（教育&研究）⁷⁴

科学⁷⁵とは、「学問的知識」であり、「自然や社会など世界の特定領域に関する法則的認識を目指す合理的知識の体系または探究の営み」である。本研究では、科学は自然科学を指す。したがって科学領域とは自然科学に関わる活動の領域である。

科学領域の活動には、研究、調査、教育、社会貢献などの様々な活動がある。科学領域の主体である大学の使命は一般に教育と研究であると言われてきた。現代においては、大学の社会貢献(地域社会・経済社会・国際社会等、広い意味での社会全体の発展への寄与)が強調されるようになった (URL23)。社会貢献は大学が果たすべき第3の役割として重要であるが、ここでは大学の本来の使命である教育活動と研究活動の2つを取り上げる。

大学の役割としての教育の目的は、学生を社会に受け入れられる能力を備えた人に育てることである。大学における教育の実践に関わる機能システムが教育システムである。教育システムは家庭における教育活動と共通する機能をもつ。

大学のもうひとつの役割である研究は、大学の研究者が行う。大学における研究の実践に関わる機能システムが研究システムである⁷⁶。研究システムは企業における研究活動と共通する機能をもつ。

本研究では、研究システムと教育システムが相互浸透により複合化した高次機能システムを独自に組織体システムとしての大学システムと定義する。大学システムは科学領域の主体である大学が発揮する高次機能システムである。

7.2.2. 技術領域における企業の活動：企業システム（研究&開発&経済）

技術⁷⁷とは、自然に人為を加えて人間の生活に役立てるようにする手段であり、またその

⁷⁴ (教育&研究)は高次機能システムを意味する。(研究&開発&経済)、(経済&教育)も同様である。

⁷⁵ 科学とは、①学問的知識。学。個別の専門分野から成る学問の総称。②自然や社会など世界の特定領域に関する法則的認識を目指す合理的知識の体系または探究の営み。実験や観察に基づく経験的実証性と論理的推論に基づく体系的整合性をその特徴とする。研究の対象と方法の違いに応じて自然科学・社会科学・人文科学などに分類される。狭義には自然科学を指す。(URL22)

⁷⁶ 学生は教育の一貫で研究に参加しているので研究者ではない。ただし、日本の政府統計では博士課程(後期)の大学院生は研究者に含める (URL 9)。

⁷⁷ 技術とは、①物事を巧みにしとげるわざ。技芸。②自然に人為を加えて人間の生活に役立てるようにする手段。また、そのために開発された科学を実際に応用する手段。(URL24)

ために開発された科学を実際に応用する手段である。すなわち、技術は自然科学の知識や自然界における事実（知見）を活用して得られる具体的な物を創り出す手段あるいは方法を意味する。したがって技術領域とはそのような具体的な物を産み出す手段や方法とそれらに関する知識を対象とする活動領域である。より具体的に内容を示せば、技術領域とは人々の生活において役立つ製品を設計し、その製造方法を確立し、実際に製造して販売し流通させる産業と経済の活動である。

サイエンス型産業は技術領域に属する産業のひとつである。サイエンス型産業のもっとも大きな特徴は科学領域の一部の活動（研究）とすべての技術領域の活動（設計、製造、販売、流通）に関わることである。サイエンス型産業の定義は研究活動に関わるという特徴を象徴的に表している：「サイエンス型産業とは科学の成果を基盤とする産業である」⁷⁸。ここで「科学の成果」は科学領域の研究活動の成果である。すなわち、サイエンス型産業の企業が技術領域で活動するためには、科学領域との共通基盤となる研究活動を備え、科学領域と密接な繋がりをもつことが不可欠である。

共通基盤を備えることを高次機能システムのレベルで言い換えれば、大学システムと企業システムが相互浸透することである。さらに機能システムのレベルで言い換えれば、大学の研究システムと企業の研究システムが相互浸透することである。逆にいえば、大学システムと企業システムがどちらも研究システムを備えているから相互浸透できるといえる。

このようにサイエンス型産業の企業は、研究活動（科学研究と技術研究）、開発活動（技術開発）、さらに経済活動（製造・販売）を含む技術領域全体で活動する。注意すべきことは、技術領域で活動する企業がすべてサイエンス型産業の企業ではないことである。研究活動（技術研究）を行わず、開発活動（技術開発）と経済活動（製造・販売）を主に行う企業も技術領域で活動する企業である。2種類の企業の共通点はどちらも技術開発を行なうことである。

サイエンス型産業の特徴は、技術研究と技術開発の両方を行なうことである。大学以外の主体で研究をするのはサイエンス型産業の企業だけである。これがサイエンス型産業のもっとも重要な特徴である。本研究における“企業”は一貫してサイエンス型産業の企業を指す。

本章では、「知識と人」社会循環モデルと社会システム理論を照応させながら、サイエン

⁷⁸ 本論文の 2.2. 参照。

ス型産業に属する企業の役割について議論を進める。その際、重要なことは、サイエンス型産業の企業の活動領域とそれに隣接する活動領域の関係性—たとえば 2 つの活動領域に共通する要因⁷⁹やコミュニケーションの連鎖—に注目することである。

上述のように研究活動は科学領域と技術領域に共通する活動である。開発活動は技術領域の中心的な活動である。経済活動は技術領域とつぎに述べる生活領域に共通の活動である。技術領域における経済活動は製品の製造・販売であり、生活領域に関わる経済活動は流通と消費である。

このような基準で考えると、サイエンス型産業と関わりが深い技術領域の活動は研究活動（技術研究）・開発活動（技術開発）・経済活動（製造・販売）の 3 つである。サイエンス型産業の企業は科学領域と技術領域において研究を行い、その成果を応用して技術領域において開発により具体的な製品の設計を行い、さらに経済領域において製品を生産し、製品を市場に提供して利益を得る。

これらの活動の実践に関わる機能システムが研究システム、開発システム、経済システムである。研究システムと開発システム、経済システムが相互浸透により複合化した高次機能システムを独自に企業システムと定義する。企業システムは技術領域の主体である企業が発揮する高次機能システムである。

7.2.3. 生活領域における家庭の活動：家庭システム（経済&教育）

生活とは、人々の生命と暮らしを具体的な物あるは具体的な手段を用いて支える実践的な活動である。科学領域で大学が創造し、技術領域で企業が具現化（具体化）した知識—具体的に役立つ物やサービス—を用いて人々の生活を豊かにする活動領域が生活領域である。生活領域の主体は家庭である。家庭では人々がこれらの進化した知識の便益を享受する。

技術領域で製造された製品は、生活領域の流通・販売を経て、消費者が購入して利用する。日々の暮らし全般の活動、すなわち生計を立て（家計）、衣食住の処理や子育て（家政）、教育・娯楽、健康など様々な活動がこの領域に含まれる。

生活領域における重要な活動は、勤労・貯蓄・消費など家庭における生活の実践を維持するため不可欠な経済活動である。生活領域におけるもうひとつの重要な活動が娯楽などの家庭における教育である。家庭における教育は社会の安定的発展の大元であり、すべての教

⁷⁹ 目的、方法、構成員、活動の場など。

育の基盤である。生活領域における教育は科学教育に限定されるわけではないが、本研究では科学教育の価値と必要性を前提とした教育活動を考える。

このような基準で生活領域の複数の活動のなかから、サイエンス型産業と関わりが深い活動を 2 つ選定すれば、経済活動と教育活動である。この 2 つの活動を行う主体が家庭である。

企業の製品は市場で評価され、その評判はマスコミの報道を通して家庭へ流れる。家庭では子供たちが最先端の技術が搭載された製品を使い、企業の研究活動や科学や技術の進歩に関心をもつ。このように家庭の活動は、知識が実現された製品やサービスを楽しんで暮らしを営み、子供たちに安定した生活と教育の機会と健全な環境を与えて、子供たちの大学・大学院への進学を支援する。

経済システムと教育システムが相互浸透により複合化した高次機能システムが家庭システムである。家庭システムは生活領域の主体である家庭が発揮する高次機能システムである。

7.3. 社会システムにおける知識の伝播：「知の進化」システム

7.3.1. 「知の進化」システムの条件

図 7-2 に実空間に存在する 3 つの主体（大学、企業、家庭）を位相空間に投影するイメージを示す。図の下部に描いた実空間の 3 主体の階層構造の中に人が存在する（図では赤、青、黄色の点）。図の上部に描いた位相空間では、人は生物としての生命システムと知識生産を担う知識システムの複合体である。生命システムは知識の生産に直接関わらないので、この図に描かれていない。位相空間に描かれた 5 つの球体が 3 つの主体と人がもつ 5 つの機能システム（研究システム、開発システム、経済システム、教育システム、知識システム）である。位相空間の機能システムは互いの環境に存在するので、5 つの球体は独立した球体として図に描かれている。

実空間に存在する社会構造を描いた「知識と人」社会循環モデルでは、知識と人が一つの主体から次の主体へ移動する様子を一方向の矢印（→）で描いている。この主体から主体への知識と人の移動は、位相空間では高次機能システム同士の相互浸透に対応すると考えられる。例えば、実空間における大学から企業への知識と人の移動は、位相空間における高次機能システムレベルで言えば大学システムと企業システムの相互浸透であり、機能システムレベルで言えば大学の研究システムと企業の研究システムが相互浸透に対応する。

4つの機能システム（研究システム、開発システム、経済システム、教育システム）が相互調整的に連動して“知”の循環の連鎖を「知の進化」と呼び、それが作動する複合システムを「知の進化」システムと名づける。「知の進化」システムが成立する条件は、隣接する4つの機能システム同士が相互浸透することである。

大学の研究システム（科学研究）によって創造された知識が企業の研究システム（技術研究）に入り、別の知識が創造され、その知識が企業の開発システム（技術開発）に入り、技術革新を起こして新しい技術が生まれ、その技術が企業の経済システム（製造・販売）を経由して新しい製品となり、家庭の経済システム（購入）に入り、人々が利便性を享受して豊かな暮らしが実現する。そして豊かな家庭の教育システム（育成）によって育まれた子供が大学の教育システム（教育）に入り、科学・技術の知識と方法を学び、一人前の社会人（人材）として貢献する。

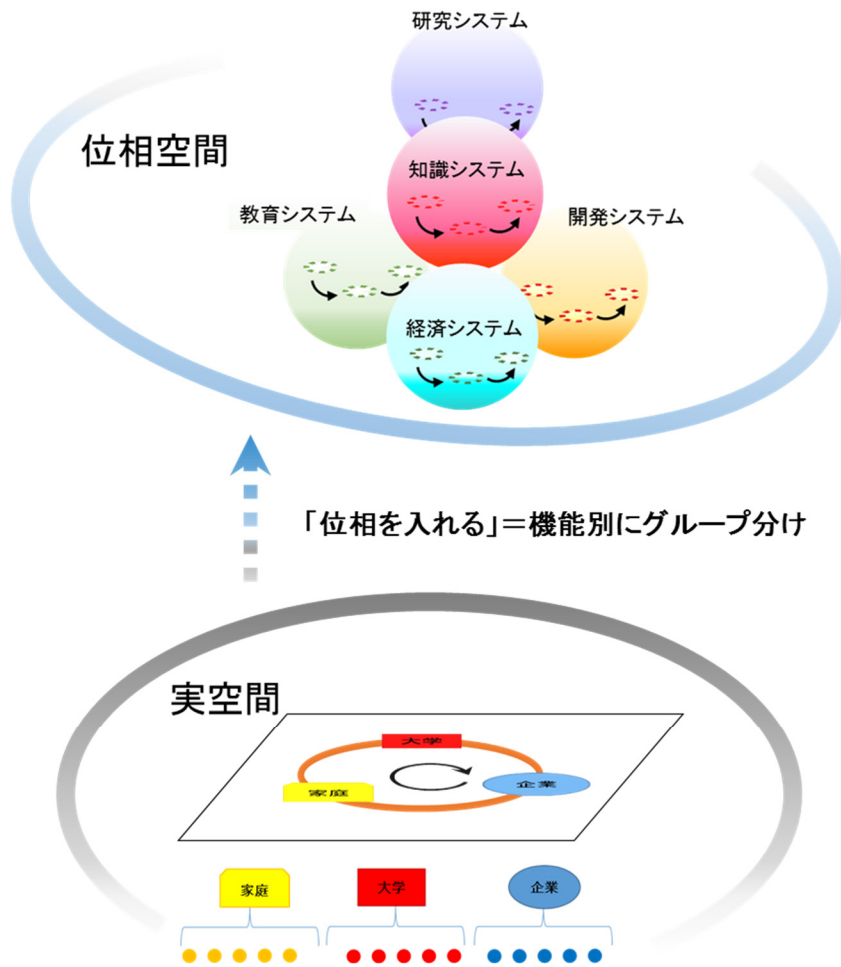


図 7-2 実空間と位相空間の関係

表 7.1 に示した 4 つの活動の目的、すなわち「知識の創造」(研究システム)、「技術の革新」(開発システム)、「利便性の享受」(経済システム)、「人材の育成」(教育システム) が連動する⁸⁰。これが「知の進化」システムである。

7.3.2. 実空間の 3 主体と位相空間の 4 機能システム

知識システムは原知識(3.10.2.)を生産し、意図をもって言語を用いて原知識を構造化する。原知識が言語によって構造化されて知識になることが社会システム(研究、開発、経済、教

⁸⁰ 4 つの活動目的を「知の進化」に準じて「知識」に関わる活動であることを明示すれば、「知識の創造」、「知識の具現化」、「知識の実現」、「知識の継承」と言い換えることができる。

育)へ知識が伝播し、社会システムでコミュニケーションの創発が起こる大前提である。

知識システムと社会システムをつなぐ有力な手段が言語であり、「言語による構造化」がなければ、社会システムにおけるコミュニケーションの創発は起こらない。別の言い方をすれば、「言語による構造化」を接点として知識システムと社会システムが接続され、4つの機能システムが相互浸透により複合化されて協調的に作動し、「知の進化」が進むのである。

図 7-3 に実空間の 3 主体と位相空間の機能システムの関係のイメージを示す。図の外周部の輪が実空間、中心部の円が位相空間である。実空間は大学が主体である科学領域、企業が主体である技術領域、家庭が主体である生活領域に分かれる。2つの領域で共通する活動を両領域の境界に表示した。たとえば、研究活動を科学領域と技術領域の境界に記した。実空間の活動は位相空間の機能システムと対応しているので、各活動のすぐ内側の中心円内に対応する機能システムを配置した。図では知識システムは省略した。

研究、開発、経済、教育は社会システムに属する機能システムであり、同じ原理で作動する。この作動原理はコミュニケーション(情報・伝達・理解)の創発である。知識システムは社会システムに属さない。その作動原理はコミュニケーションの創発ではなく、言語による思考の構造化である。

表 7-1 に示したように、研究システム、開発システム、経済システム、教育システムの情報は独自の内容であるが、それらに対応する言語による構造化の方式は共通である。具体的な方式は、文章(文字、音声)、身振り(手話、舞踊)、記号(数学)、図面(設計図)、芸術表現(音楽、絵画、デザイン、映像)や文章(工程のマニュアル)である。ルーマンが「コミュニケーション・メディア」(3.5.2.)と呼んだのは、この言語による構造化の方式である。

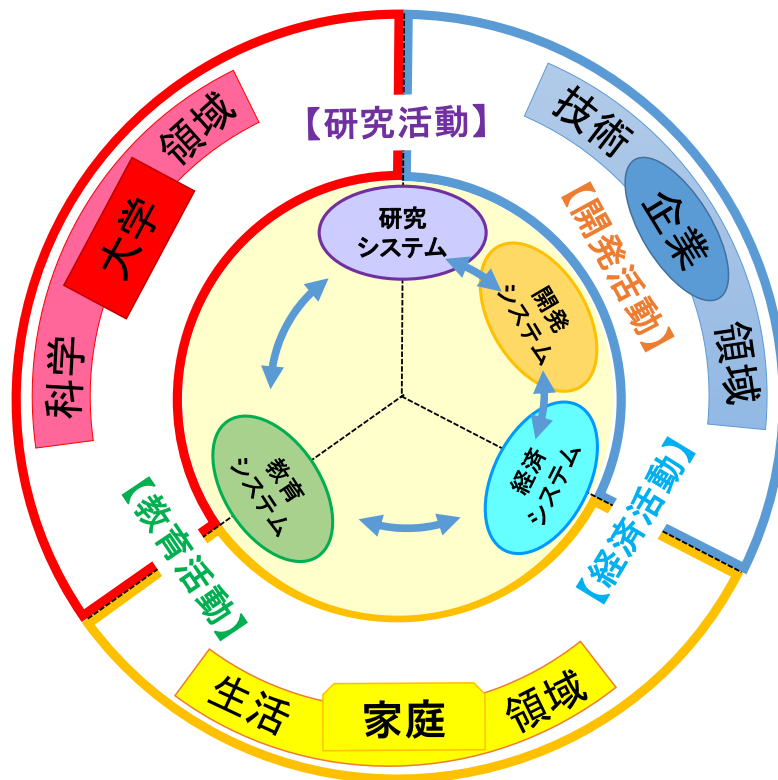


図 7-3 実空間の 3 主体と位相空間の機能システムの関係

【注】外周部は実空間である。そこに 3 主体（大学、企業、家庭）と 3 領域（科学、技術、生活）と 4 活動（研究活動、開発活動、経済活動、教育活動）を表示している。中心部は位相空間である。そこに社会システムの 4 機能システム（研究システム、開発システム、経済システム、教育システム）を表示している。心理システム（知識システム）はこの図に描かれていない。機能システム間の両矢印は相互浸透を意味する。

社会システムの中でコミュニケーションの連鎖が起こるとき、研究システムでは構成要素として知識が繰り返し生産され、開発システムでは構成要素として役立つ技術が繰り返し生産され、経済システムでは人々が幸福に満たされた豊かな生活を送るなかで利便性が繰り返し享受され、教育システムでは大きな可能性をもつ人材が繰り返し生産される。

本研究の目的は、「知識と人」社会循環モデルに基づいて、社会における知識と人の循環と知の進化のプロセスを明らかにすることである。社会システム理論を人間の機能である知識システムまで拡張して考えることにより、社会循環モデルのなかに知識システムを明確に位置づけることができる。すなわち、実空間において 2 つの事象として観察される「知

識と人の循環」と「人による知識の生産」が位相空間においては、4つの機能システム（研究、開発、経済、教育）と知識システムが言語による構造化を接点として接続される状態に対応する。

この事実は、知識システムで生産された原知識が「言語による構造化」を経て社会システムへ接続されることが知の進化プロセスの前提であることを示唆している。知識システムにおける言語による構造化が社会システムにおけるコミュニケーションの創発の前提である。「言語による構造化」が「知識と人」を好循環させる必要不可欠な鍵であることが理解できる。

7.4. サイエンス型産業の企業の役割

7.4.1. 研究者と創造人の同義性：論文数と創造的な知的活動の照応

研究者とは「新しい理論や学説または革新的な手段によって問題を解決するもの」である(4.4.1.)。つまり研究者の要件は「だれも提唱したことのない理論や学説、だれも考えたことのない新しい手段を考えだすこと」である。これは研究者が創造的な人—“創造人”—であることと同義である。

研究者の創造性を担保するひとつの有効な手段が学術論文誌への論文掲載である。そこで本研究では研究者をつぎのように定義した：「研究者とは、自ら科学または技術の研究をする人であって、研究成果を発表した論文の著者である」。

この定義に基づいて論文の著者を研究者に読みかえ、論文数の減少から研究者数が減少したと結論することに対して批判があるだろう。しかし、これは単なるトートロジーではない。この定義の意義は、論文数を“創造人”という異なる質の変数に変換する可能性を示したことである。この研究者の定義は、論文数の減少という捉えどころのない現象を創造的な知的活動の衰退という明解な現象として捉える基盤を提供する。

7.4.2. 企業の知的活動が日本の研究と教育に及ぼす影響

サイエンス型産業に属する企業の役割は、科学・技術の研究成果を活用して、社会に役立つ製品を提供し、企業に利益をもたらすことである。本研究はサイエンス型産業の役割がこれだけに留まらない可能性を示した。大学院への進学率の決定要因を分析したところ、企業の論文数が修士課程と博士課程への進学率を決定する有効な要因の一つとして作用する事実が明らかになった。

この事実は、サイエンス型産業が日本の科学・技術の研究と教育に強く関わっていることを示唆する。学生の進学選択と企業の研究・開発活動の関係を「知識と人」社会循環モデルと社会システム理論に基づいて考察することにより、社会の知的活動における企業の研究・開発活動の位置づけを明確にすることができると考える。

a. 日本の経済状況が大学院進学率へ及ぼした影響

博士課程進学率の決定要因の重回帰分析（6.2）では、企業の論文数は博士課程進学者率 AD に対してマイナス効果を持つことが示された。また修士課程進学率の決定要因の重回帰分析（6.3）においても企業の論文数は修士課程進学者率 AM と修士課程入学者率 EM に対してマイナス効果を持つことがわかった。これらの結果は、企業の論文数が増えることは学卒者、修士卒者のどちらに対しても企業への就職を後押しする傾向があることを意味する。

6.1.において、物理学専攻への修士進学者率と博士進学者率の経年推移を比較すると、修士進学者率は 1975 年から 2012 年まで一貫して増加したが、博士進学者率は同じ時期に減少し続けた（図 6-1）。さらに図 6-2 で修士卒者（理学研究科・工学研究科）が就職氷河期と呼ばれたバブル崩壊後も大量に物理系企業に採用され続けた事実を示した。これは、修士進学者率が増加し続けた背景には、バブル崩壊後も修士卒者が企業へ就職できる有利な状況が続き、学卒者の進学選択を後押しする経済状況が存在したことを裏付ける。

1990 年代初頭のバブル崩壊のあと、企業の論文数が減少した。進学者率の重回帰分析の結果によれば、修士進学者率と博士進学者率がともに増加する効果を期待できるはずであるが、この時期に修士進学者率は増加したものの博士進学者率は減少し続けた。

博士進学者率が増加しなかった理由は高等教育進学モデルの変質を考えれば理解できる：日本では 1980 年代までの高度成長期に科学・技術が急速に発展し、その成果が社会へ普及した。これにより企業の現場の様相も一変し、高等教育を履修した修士卒者に対する産業界の需要が高まった。その結果、1990 年代初頭に学士課程と修士課程の一貫性が高まる一方で、修士課程と博士課程の連続性が希薄になったと考えられる。すなわち修士進学者率と博士進学者率がまったく反対に推移した原因は、1990 年代半ば頃に高等教育進学モデルが「修士・博士並列モデル」（修士課程と博士課程の連続性が強い）から「修士優位モデル」（学士課程と修士課程の一貫性が強い）へ変質したためである。

1970 年代半ばから 2010 年代初頭まで 30 数年のあいだ、日本の経済状況は激しく変動し、あらゆる方面に大きな影響を与えた。本研究の主題である知識と人の社会循環も例外な

く大きな影響を受けた。高等教育（大学・大学院）に対する産業界の人材需要が変化し、その変化に合わせて学生の進学選択の基準が複雑に変化した。

経済環境の変化に加えて、産業・経済政策や科学・技術政策が連続的に並列して実施され、日本の科学・技術・産業・経済・教育における活動と機能は相互に影響を及ぼし合いながら混沌とした状況のまま現在に至っている。

b. 大学院進学率を決定する経済指標と研究指標

このような複雑な状況のなかでこれからの日本の科学・技術を担う学生がどのような基準で大学院への進学を選択するかを明らかにすることは、科学・技術政策やサイエンス型産業の企業の経営に資すると考える。

大学院への進学率の決定に際して、経済指標である家計所得（IC5）や進学の費用と損失（CL）が有効であることは学生が進学選択に際して経済的に合理的な選択をしていることを反映している。一方、企業の論文数（CA）が進学率の決定要因として有効であることは、科学・技術に携わるサイエンス型産業の企業にとって大きな意味をもつが、CAは学生が直接、知ることがない企業の研究指標である。すなわちCAは科学研究あるいは技術研究に対する企業の積極的な取り組みを代替する指標であるが、学生は企業の研究・開発の実態を知るほかの手段をもっていると考えべきである。

(i) 企業の論文数（CA）に相当する情報交換の手段

修士課程への進学を選択する学部3年次、あるいは博士課程への進学を選択する学部4年次の学生がCAと同等の情報を得る手段は研究室での情報交換である。学生にとって研究室を通して得られる情報をもっとも身近で信頼性が高い情報である。

一般に大学院の学生は専門性が高いので、進路選択に際して企業の一般的な情報ではなく、自分の専門性を活かせる特定企業の研究・開発に関する情報を参考にすると考えられる。学生は卒論研究のために学部3年次に研究室に配属されるので、研究室で指導教員や企業に就職した研究室の先輩から直接、あるいは学生同士で間接的に企業の研究・開発の実態を聞く機会がある。

物理学専攻の学生もマスコミ・新聞で報道される一般的な企業情報より自分が希望する企業に就職した研究室の先輩から聞く直接的な情報を進路選択の際に参考にする場合が多いと考えられる。このとき話題になる企業の研究・開発の様子はその年に進行中の出来事と

いうより、2年ほど前の実態を反映する話であると考えられる。

CAが決定因子として有効であることは、論文が掲載されるまでの時間差がほぼ2年であることを考慮すると理解できる。なぜなら研究室の卒業生から聞く企業の様子は約2年前の企業の研究・開発の成果であり、それはこの年に発表された論文数と高い相関があると考えられるからである。

(ii) 決定要因として有効でなかった要因：日本の論文数と企業の売上高

重回帰分析では研究指標として物理学分野の日本全体の論文数(JA)の効果を検討した。物理学専攻の学生集団は専門性が高く研究志向が強いと考えられるが、JAは修士進学者率AM、博士進学者率AD、博士入学者率EDに対してまったく有効ではなかった。JAは物理学研究全体の動向を代替する変数である。CAが有効でJAが有効でなかったことから、物理学専攻の学生が日本の物理学研究の動向より特定の物理企業の研究・開発の動向に高い関心があると理解することができる。この事実は多くの学生が企業への就職を目指していることを示唆している。

また企業の経営指標として物理企業の売上高(CS)の効果を検討したが、CSは博士入学者率EMを除いて有効ではなかった。分析対象が研究志向の強い学生集団であるとはいえ、企業の経営指標より企業の研究指標が有効だったことは学生の判断基準を知るうえで参考になる。

サイエンス型産業の企業はこれら2点を踏まえて専門性の高い学生の採用における研究指標の位置づけを再度、確認する必要がある。

(iii) 博士卒者の能力と可能性の正当な評価：「博士優位モデル」の確立

博士進学率の減少は日本の科学・技術の将来にとって深刻である。バブル崩壊のあと企業の論文数(CA)が減少した。CAは進学率に対してマイナス効果であるから、この時期は博士進学率が増加する環境であった。それにも関わらず、博士進学率は減少し続けた。

すでに多くの指摘があるように博士卒者の就職状況が不安定であり、これは進学率が増加しなかった大きな原因の一つである。今回の分析では、博士課程への進学に際して、学生は家計所得(IC5)や進学のコストと損失(CL)を考慮することがわかった。これは経済的に極めて合理的な選択を反映している。一方で企業の研究指標がマイナス効果をもつことは学生が高い研究志向をもつことを前提とすれば、これは研究に対する極めて本質的な判断

である。

博士進学率が減少したことは、学生が研究に対する本質的な選択より経済的合理性を優先したことを示唆する。学生が経済的合理性を克服してこの本質的な選択を優先するためには、博士課程の学生に対する経済的支援を強化して博士進学率を高めると同時に、高等教育進学モデルを学士課程と修士課程の一貫性が強い「修士優位モデル」から修士課程と博士課程の連続性が強い「修士・博士並列モデル」へ変化させることが必要である。これにより1970年代の「修士・博士並列モデル」がもっていた「学士優位モデル」の一面を改め、新しい「博士優位モデル」を確立する必要がある。

修士課程の学生が企業の研究・開発動向に強い関心をもち、企業への就職を希望している現状を踏まえれば、「博士優位モデル」の確立に向けて企業ができることは研究・開発の動向に関わらず、博士卒者の採用を増やすことがもっとも確実である。世界的な規模で研究・開発が急速に発展する現状を見れば、企業は戦略的に高い専門性をもつ博士卒者の採用を増やさなければ競争の舞台に立つことすら出来なくなる。

博士卒者の採用を増やす前提として企業に求められるもっとも重要なことは、企業が博士卒者の能力と可能性を正しく評価できることである。そのために知識と人の循環構造と知的活動における企業の役割の広がりを理解することが役立つと考える。

7.5. 物理論文数の減少と社会循環モデル・機能システムの関係

7.5.1. 社会循環モデルと物理論文数の減少に関わる3つの問題

本研究では物理論文数の減少について「知識と人」社会循環モデルに基づいて人と組織に関わる3つの問題を検討した：第1の問題は物理系大学院進学予備群を母集団とした検討(5.2.)、第2の問題は教育を行う組織である大学院への進学率の検討(5.3.、6.4.、6.5.)、第3の問題は人材を受け入れる企業の経営と研究の検討(5.1.)である。

第1の物理系大学院進学予備群の検討では、1970年代半ばから2010年代初めまで40年間にわたって高校の生徒数における物理系予備群の比率はほとんど変わらなかったが、世代人口が減少したことで物理系予備群の人数は減少したことを明らかにした。

第2の大学院進学率の検討では、修士進学者率と博士進学者率の推移の様子は正反対であったが、それらの背景に共通する経済的に合理的な判断が存在したことを明らかにした。

第3の企業の経営と研究の検討では、経営者がバブル崩壊のあと経営を最優先させるために企業の研究・開発の体制(組織と予算)を縮小し、企業研究者が開発に配置換えされる

などの事態が起こった結果、企業の研究力が大幅に後退して企業の論文数はバブル崩壊以降、減少し続けたことを明らかにした。

企業は従来から博士卒者の採用に消極的であった。修士卒就職者数はバブル崩壊後も多数を占めている（図 6-2）が、バブル崩壊以降、サイエンス型産業の企業が十分な研究環境（課題、人員、設備、予算）を確保することができず、採用した大学院修了者（修士卒・博士卒）が研究以外の活動に動員される事態の常態化が懸念される。

7.5.2. 機能システムの相互浸透と物理論文数の減少に関わる 3 つの問題

物理論文数の減少に関わる 3 つの問題を機能システム（図 7-3 の中心部；位相空間）に対応させ、問題解決の糸口を探ることを考える。2 つの機能システム A と B が相互浸透して複合化した高次システムを（A&B）と表記する。

第 1 の問題は家庭システム（経済&教育）における子供の健全な育成と感性豊かな教育に関わる。科学に憧れを抱く若い世代を育て、大学や大学院に進学する学生を増やすことが課題である。第 2 の問題は大学システム（教育&研究）における大学教育の充実に関わる。多様な人材が科学を学ぶ若者層を構成し、その中から科学の最先端で活躍できる多数の研究者を輩出することが課題である。第 3 の問題は企業システム（研究&開発&経済）の発展に関わる。企業は大学が育てた若者層を継続的に受け入れる体制を整えることが課題である。

相互浸透している 2 つの機能システムはそれぞれが独自の構成要素を産出している。どのような機能システムの組み合わせでも相互浸透が成立するわけでない。2 つの構成要素のあいだに共通項あるいは因果関係があるときに相互浸透が成立すると考えることは合理的である。たとえば、相互浸透が成立するとき、1 つの機能システムが連続的に産出する構成要素がもう 1 つの機能システムの構成要素の産出に共通項を介して連動すると考えることは 1 つの考え方である。

7.5.3. 機能システムの相互浸透によるコミュニケーションの連鎖

図 7-4 にこのような考え方にしたがって作成した 4 つの機能システムの相互浸透によるコミュニケーションの連鎖を示す。作図にあたって、表 7-1 の各システムのコミュニケーションにおける情報と構成要素、そして表 7-2 の象徴メディアを参照した。教育システムが構成要素として新しい人材（構成要素）を生み出すところから描写する：

- 教育システムで人材が次々に育つ。新しい人材が育つと様々な新しい可能性が生まれる。新しい可能性は研究システムに影響を与え、新しい知識を生み出す契機となる。
- 研究システムで新しい知識が次々と発生すると、それらはより具体的な知識となる。具体的な知識は開発システムに影響を与え、新しい技術を生み出す契機となる。
- 開発システムで新しい技術が次々と生まれると、それらは役立つ製品になる。役立つ製品は経済システムに影響を与え、豊かな生活を築く契機となる。
- 経済システムで豊かな生活が実現されると、若者は未来への展望を開き、様々な出来事に対する好奇心を喚起する。好奇心は教育システムに影響を与え、新しい人材が生まれる契機となる。
- 教育システムで新しい人材が次々に育つ...この繰り返しである。

このように位相空間において 4 つの機能システムが相互浸透を繰り返して円環状に連絡したとき、実空間では知識と人が好循環する理想的な社会が実現する。

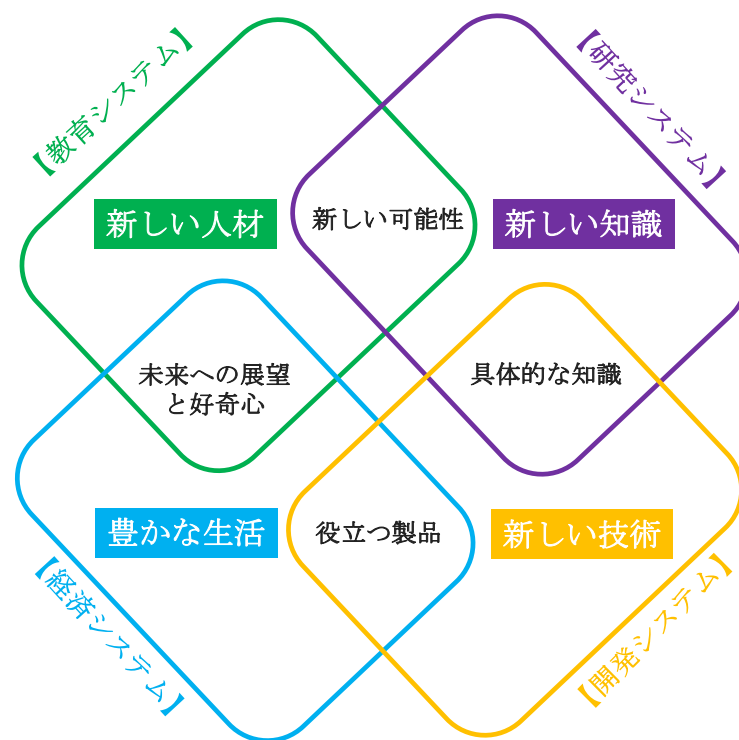


図 7-4 4つの機能システムの構成要素と相互浸透が成立するための共通項

【注1】4つの四角は研究・開発・経済・教育の各機能システムである。各機能システムの構成要素は、研究システムから右回りに「新しい知識」、「新しい技術」、「豊かな生活」、「新しい人材」である。【注2】。隣り合う四角の重なりは相互浸透を意味する。この重なりに2つの機能システムの共通項を示す。研究システムと開発システムの共通項は「具体的な知識」、開発システムと経済システムの共通項は「役立つ製品」、経済システムと教育システムの共通項は「未来への展望と好奇心」、教育システムと研究システムの共通項は「新しい可能性」である。

7.5.4. 科学・技術による社会の発展と科学と技術の違い

a. 科学・技術による社会の発展

「知識と人」社会循環モデルを用いて、社会が科学と技術により発展するメカニズムを検討した。科学・技術は大学における研究が端緒となって発展するけれども、それが社会に広がり、社会全体が進歩する過程では企業と家庭が連携して知識と人の円滑な流れを維持し

ていることである。企業は科学・技術の成果を具体的な製品やサービスとして実現して社会に提供し、家庭は子供たちが成長するために安定した生活と教育の環境を与え、大学・大学院への進学を支援する。

このように科学と技術は科学・技術のように対概念として扱われることが多いが、両者に関わる主体と役割は異なる。科学領域と技術領域における研究・開発・経済・教育の諸活動を行なう主体とその機能を理解することは、科学と技術による社会の発展を考えるうえで重要である。

b. 科学と技術の違い：対象・目的・方法

科学を自然科学に限定し、人の介在の有無を条件として科学と技術を区別する。科学の対象は、宇宙、自然現象、生物、数理など人の営為が介在せずに存在する世界である。一方、技術の対象は、人が創り出した物や物を作る方法、物を作る現場、その現場で起こる現象など人の営為が介在する世界である。

表 7-3 に科学と技術が対象とする世界の違いと活動の目的と方法、その名称と目標、活動の主体を山口（2016：107）の見解を参考にしてまとめて示す。人は科学と技術が対象とする世界において、2つの目的を掲げて活動する：1つ目の目的は、新しい事実を発見し、その事実が確かであることを示し、あるいは論理を積み重ねて矛盾することなく合理的にその事実を解明することである。この目的を総称して「事実の確定」とする。この目的を達成するために行なう活動の方法を「研究」と呼ぶ。確定された事実を知識と呼ぶなら、研究の目標は「知識の創造」である。2つ目の目的は、合理的で具体的な目標を明確に示し、発見した事実を人が利用できる物や形に具体化することである。この目的を総称して「事実の具体化」とする。2つ目の目的を達成するために行なう活動の方法を「開発」と呼ぶ。確定された事実を知識と呼ぶなら、開発の目標は「知識の具現化」である。

科学の目的は、人の営為が介在しない世界を対象として研究（事実の確定）を行なうことである。これを科学研究と呼ぶ。科学研究の目標は「知識の創造」である。科学研究の主体は大学と企業である。技術の目的は2つである。1つは人の営為が介在する世界を対象とする研究（事実の確定）であり、他の1つは人の営為が介在する世界を対象とする開発（事実の具体化）である。前者を技術研究と呼び、その目標は「知識の創造」である。技術研究の主体は大学と企業である。後者を技術開発と呼び、その目標は「知識の具現化」である。技術開発の主体は企業である。

科学は人の営為が介在しない世界を対象とするので、事実の具体化（開発）を目的とする活動は存在しない。したがって科学開発という組み合わせはない。

表 7-3 科学と技術が対象とする世界と活動の目的（方法）と名称・目標・主体

領域	対象	活動目的(方法)	
		事実の確定(研究)	事実の具体化(開発)
科学	人が介在しない世界	<科学研究> 【知識の創造】 大学・企業	<なし>(注2)
技術	人が介在する世界	<技術研究> 【知識の創造】 大学・企業	<技術開発> 【知識の具現化】 企業

【注 1】 上段は<名称>、中段は【目標】、下段は（主体）。

【注 2】 <科学開発>という活動は存在しない。

【注 3】 山口（2016：107）の見解を参考にして筆者がまとめた。

7.6. 「知の進化」における企業の役割：企業研究の特徴

7.6.1. 大学と企業における研究

大学研究者と企業研究者が置かれた環境を比較すると、それぞれ長所短所がある。

大学では科学と技術の研究を行なう。大学における研究の特徴は、研究者が自由な発想で整った環境（研究設備、スタッフ、予算など）のなかで研究できることである。そのため研究者は効率よく研究を進めて成果を上げ、多くの論文を発表することが求められる。

企業でも科学研究と技術研究の両方を行うが、知識の具現化の役割が大きい。そのため企業では多くの技術研究者が技術研究を行なう。企業における科学研究では実用的な目標が設定され、研究を進める方向にある程度の制約が設けられることがある。このような研究を純粋な基礎研究と区別するために目的基礎研究と呼ぶことがある。企業研究者はその制約の範囲内で、自由に発想して効率よく研究を進めることが求められる。

7.6.2. 企業における技術研究の特徴：多様な領域との関わりと生産現場の価値

企業における技術研究には 2 つの際立った特長がある：1 つ目は技術研究者が関わる領

域の多様性である。7.1.2.で述べたように、企業システムは、4つの機能システムが複合化した高次システム（研究&開発&経済&知識）である。企業は科学研究から技術研究、技術開発、技術生産、製品販売までの広い領域で様々な活動を行なう。

大学の研究者の関心は大学システムの機能である科学研究と技術研究である。企業システムも技術研究と技術開発に関わるが、企業の研究者（多くは技術研究者）は中心的な役割である技術研究（研究システム）に加えて、科学研究（研究システム）や技術開発（開発システム）さらには生産技術・製品販売（経済システム）などの多様な領域に関心を持ちながら研究を進める。これが大学の研究者（科学研究と技術研究）にはない第1の特徴である。

2つ目の特徴は、企業の技術研究者は生産現場で新しい現象に遭遇する可能性があることである。当然のことであるが、生産現場には企業の従業員しか立ち入ることができない。生産現場では日ごと様々な現象が発生しており、従来の知見では解決できない難しい課題も多い。企業の研究者は大学の研究者や他企業の研究者が決して出会うことがない新しい現象に自社の生産現場で遭遇する可能性がある。これが大学の研究者（科学研究と技術研究）にはない第2の大きな特徴である。

企業では目標を明確にして研究すること、そしてその成果を具体的な形で社会に提供することが強く求められる。研究のフロンティアは宇宙の果てや原子内部の極微の世界、暗黒の深海とは限らない。小さな変化であっても説明できないまま放置しないことが科学と向き合う基本姿勢である。企業研究者が現場で発見した小さな事実を究明した結果が学術論文となり、多数の論文博士を誕生させた。⁸¹

企業の研究者と研究員の特権は生産現場で遭遇する現象を根気よく掘り下げて研究することである。生産現場で研究の種を発見し、新しい発想で研究に取り組むという特徴は、企業における研究の原点である。

7.7. なぜ論文を書くのか

7.7.1. 知識の空間的・時間的な広がり

科学・技術の研究には様々な組織とその構成員が参加する。多くの場合、研究は複数の組織に所属する複数の研究者が共同で行う活動である。研究を進める過程では組織のあいだには人の流れがあり、知識は人から人へ、組織から組織へ広がる。さらに科学研究と技術研

⁸¹ 筆者は現場のトラブルや製品の不具合を解決する中で発見した新しい現象が種となって研究が始まり、新しい事業が起こったという逸話を複数の企業関係者から聞いた。

究によって創造された新しい知識は研究成果として論文で発表され、無償で公開される。

研究活動は空間的な広がりだけではなく、時間軸で過去と現在、未来に繋がっている：過去との繋がりとは、ひとりの研究者が独創的な研究を行ったとしても、その独創性は無償で提供された先人たちの研究成果の上に構築された事実である。現在との繋がりとは、研究成果が社会に実装され、人々の生活に役立つ事実である。そして、未来との繋がりとは、社会に実現された研究成果が人々に未来の展望を描いてみせる事実である。

7.7.2. 論文を書く理由（その1）：知識の無償性

科学・技術の研究は、創造された知識を無償で与え合う協調的で相互依存的な活動である。これが研究における知識の無償性である。研究者とは先人たちが築き上げた巨大な知識の山を無償で譲り受け、その頂上に小さな石をひとつ積み上げる努力をする人たちである。そしてその姿を未来の研究者が登山口に立って眺めている。「無償で譲り受ける」という表現は2つの意味で正確ではない。ひとつは、多くの研究者が「先人の知識は自分のものだが、無償で譲られたわけではない。教育費や書籍代などの対価は支払った」と勘違いしていることである。先人たちに対価を支払ったわけではない。もうひとつは、譲り受けたという表現は不正確である。「無償で借り受ける」がより正確である。知識は決して個人が所有するものではない。

私たちは知識に対価を支払ったことがないと理解したうえで、上述の表現をより正確に書き直せば、「研究者とは先人たちが築き上げた巨大な知識の山を無償で借り受け、その頂上に小さな石をひとつ積み上げる努力をする人たちである」。

これが知識の創造という研究活動に携わる研究者の視覚的な比喩である。“小さな石”は研究者が創造した新しい知識が形となった論文である。研究者は知識を介して過去の研究者と結ばれ、知識を介して現在の人々と結ばれ、知識を介して未来の研究者と結ばれる。

この事実こそが「なぜ論文を書くのか」という問いへの1つ目の答えである：「先人から無償で借り受けた知識から創造された知識は、無償でつぎの世代へ伝える」。論文を書くことは、創造された知識を無償で伝える唯一の方法である。

7.7.3. 言語による構造化と対象化

知識システムは心的システムと神経システムの複合体である(図 3-6)。神経システムの中に様々な記憶が蓄積され、記憶が組み合わせられて知識の原型（原知識）となる。神経システ

ムの中に蓄積した原知識が「言語による構造化」を経て意図をもって社会システム（研究、開発、経済、教育）へ接続され、情報として発信されたときに知識となる（3.10.2.b）。

言語による構造化は知識生産の必須要素である。そして知の進化プロセスの前提は、原知識の「言語による構造化」と知識システムと社会システムとの接続である（図 3-6）。

「言語による構造化」が原知識を知識に換えるのはなぜかを問うとき、言語で構造化された原知識を知識システムの外へ取り出す手段と過程が重要であることに気づかされる。たとえば、原知識を言語で構造化して文章にするとき、文章を紙に書き出して文字に固定し、見える対象にする過程がなければ、社会システムへ接続する手段は限定される。

原知識を文字に固定して身体の外に出す—この行為を「対象化」と呼ぶ。対象化は知識生産のもうひとつの必須要素である。言語による構造化と対象化の 2 つの働きにより、原知識が知識となって社会システムへ接続される。

7.7.4. 論文を書く理由（その 2）：対象化による情報発信と知識の自己進化

対象化されて知識システムの外に出た知識（文字に固定され知識システムの外にある知識）は 2 つの経路をたどる可能性がある：第 1 の可能性は、社会システムに接続され情報として発信され、知の進化プロセスを進む経路である。これが情報発信の役割である。

第 2 の可能性は、自分が自分の書いた文章を読み（実空間での描写）、対象化された知識が再び知識システムに入る経路（位相空間での描写）である。考えたことを身体の外に出し、出したものを再び身体の中に入れる。この繰り返しが自らの思考を進化させ、新たな知識を発信する。これが、対象化がもつ知識の自己進化の役割である。

言語による構造化は、自然言語だけではなく、ボディ・ランゲージや芸術表現なども含む（3.5.2.）と考え、知識生産における「対象化」による知識の自己進化は、人間のすべての行為—学問や芸術、遊びや仕事など—to共通する原理であろう。

対象化には、情報発信と知識の自己進化の 2 つの重要な役割がある。この事実が「なぜ論文を書くのか」という問いへの 2 つ目の答えである：「知識を対象化して自己進化させ、社会へ発信する」。論文を書くことは、知識を自己進化させ、社会進化させる“知の進化”そのものである。

(176,908 字)

1. 進学率の差分データを従属変数とする重回帰分析

時系列データはその時点までに起こった様々な事象の影響を大きなトレンド（流れ）として受けている。各データの変動はこのトレンドの上に重なって観測される。第 6 章で検討した進学率にも様々な社会的な影響が重なっていることが懸念される。

時系列データをそのまま被説明変数にするのではなく、トレンド成分を除去したデータを被説明変数とすることが望ましい。時系列データの差分を取り出し、それを被説明変数とする手法は、トレンド成分の影響を除く簡便で有効な方法である（たとえば、北川 2005）。

この補論では、年度ごとの進学率の差分データを被説明変数として進学率の決定要因を分析する。

1.1. 差分データと予測値

進学率の経年データから 1 年ごとの差分を取り出し、この差分データを被説明変数として重回帰分析を行う。被説明変数は修士進学者率（AM）と修士入学者率（EM）、博士進学者率（AD）と博士入学者率（ED）の年度ごとの差分データである。各進学率の差分を ΔAM 、 ΔEM 、 ΔAD 、 ΔED とする。

修士進学者率 AM を例にしてデータの前処理の手順を説明する。(t+1) 年度の進学者率を $AM(t+1)$ 、その年度の差分データを $\Delta AM(t+1)$ とする。 $\Delta AM(t+1)$ は $AM(t+1)$ と前年度の進学者率 $AM(t)$ との差であるから、式(A-1)となる：

$$\Delta AM(t+1) = AM(t+1) - AM(t) \quad (A-1)$$

重回帰分析で求めた回帰式で予測した(t+1)年度の ΔAM を $\Delta AM_p(t+1)$ とする¹。(t+1)年度における AM の予測値 $AM_p(t+1)$ は式(A-2)で求めることができる：

$$AM_p(t+1) = AM(t) + \Delta AM_p(t+1) \quad (A-2)$$

¹ 添え字の p は predict（予測）された値であることを示す。

1.2. 重回帰分析（差分）の条件

1.2.1. 説明変数

第 6 章で用いた 5 つの説明変数を採用する。すなわち、(1)家計所得(45-50 歳男の平均給与；IC5)、(2)大学院修士課程 2 年間あるいは博士課程 3 年間の授業料と放棄稼得（費用と損失；CL）、(3) 物理企業 7 社の売上高（CS）、(4)物理企業 9 社の論文数（CA）、(5) 日本の物理論文数（JA）である。

1.2.2. 進学選択のタイミング

進学選択のタイミングも第 6 章と同様とする。すなわち、修士進学を選択は修士課程入学年度の 2 年前（学士課程 3 年次）とし、博士進学を選択は博士課程入学年度より 3 年前（学士課程 4 年次）である。

1.2.3. 仮説

2 種類の修士進学率に対して各説明変数が及ぼす効果も第 6 章と同様である：

- 【仮説 Mi】 AM と EM に対する家計所得（IC5）の作用はプラス効果である。
- 【仮説 Mii】 AM と EM に対する費用と損失（CL）の作用はマイナス効果である。
- 【仮説 Miii】 AM に対して企業の経営指標（CS）と企業の研究指標（CA）はマイナス効果であり、大学の物理学研究指標（JA）はプラス効果である。
- 【仮説 Miv】 入学者率 EM に対して企業の経営指標と企業の研究指標はマイナス効果であり、大学の物理学研究指標はプラス効果である。

2 種類の博士進学率に対して各説明変数が及ぼす効果も第 6 章と同様である：

- 【仮説 Di】 AD と ED に対する家計所得（IC5）の作用はプラス効果である。
- 【仮説 Dii】 AD と ED に対する費用と損失（CL）の作用はマイナス効果である。
- 【仮説 Diii】 AD と ED に対する企業の経営指標（CS）の効果は有意ではない。
- 【仮説 Div】 AD に対する企業の研究指標（CA）の作用はマイナス効果である。しかし、ED に対して CA は有意ではない。

- 【仮説 Dv】 AD と ED に対する大学の物理学研究指標 (JA) の作用はプラス効果である。

これらの仮説に従い、修士進学者率 (AM) の差分、 ΔAM と修士入学者率 (EM) の差分、 ΔEM を説明する変数として、5 つの説明変数すべてを採用した。 ΔAM あるいは ΔEM を被説明変数とする重回帰モデルは、図 6-8 の被説明変数を修士進学者率 AM の差分 ΔAM 、あるいは修士入学者率 EM の差分 ΔEM に置き換えた図と同様である。

博士進学者率 (AD) の差分、 ΔAD を説明する変数として、企業の売上高 (CS) 以外の 4 変数を選択した。博士入学者率 (ED) の差分、 ΔED を説明する変数として、企業の論文数 (CA) と売上高 (CS) 以外の 3 変数を選択した。

ΔAD を被説明変数とする重回帰モデルは、図 6-5-1 の被説明変数を博士進学者率 AD の差分 ΔAD に置き換えた図と同様である。 ΔED を被説明変数とする重回帰モデルは、図 6-5-2 の被説明変数を博士入学者率 ED の差分 ΔED に置き換えた図と同様である。

1.3. 重回帰分析 (差分) の結果 : 修士進学率

1.3.1. 修士進学者率 AM

修士進学者率 (AM) の差分 ΔAM を被説明変数として、5 つの説明変数 (家計所得 IC5、費用と損失 CL、企業の売上高 CS、企業の論文数 CA、日本の物理論文数 JA) を用いて重回帰分析を行った。

修士課程 1 年次 (M1) より 2 年前の学士課程 3 年次 (B3) に修士課程への進学を選択すると仮定した。したがって、すべての説明変数の値は当該年度の 2 年前の値を用いた。たとえば、1990 年度の ΔAM は 1988 年度の IC5、CL、CS、CA、そして JA を説明変数とする回帰式で計算する。

結果を表 A-1-1 に示す。また結果の詳細を表 A-1-2 に示す。仮説の通り、 ΔAM は家計所得 IC5、費用と損失 CL、企業の売上高 CS、企業の論文数 CA、日本の論文数 JA の 5 つの説明変数で説明できた。それぞれの変数の符合は理論あるいは仮説と整合しており、重決定係数 R^2 は 0.475 で十分に高い値である。

図 A-1-1 に予測した ΔAM_p 進学者率 AM と実際の進学者率 AM を重ねて図示する。両者はよく一致する。

表 A-1-1 修士課程進学者率 AM の重回帰分析 (差分) : 学士課程 3 年次選択モデル

被説明変数 変数(時間差:年)	AM
切片	-0.193 n.s.
家計所得(-2) IC5	1.34×10^{-4} **
費用と損失(-2) CL	-0.001 **
売上高(-2) CS	-5.4×10^{-6} ▲
企業の論文数(-2) CA	-5.2×10^{-5} **
日本の論文数(-2) JA	9.65×10^{-6} *
決定係数R ²	0.4745
補正R ²	0.3120
有意F	0.0373

注1: 1990-2012年度までの時系列分析。

注2: 変数欄の上段: 係数。

変数欄の下段: n.s., not significant; ▲、 $p < 0.1$; *, $p < 0.05$; **, $p < 0.01$; ***, $p < 0.001$ 。

注3: 変数欄の()内は時間差の年数、マイナスは博士課程入学年度より前の年数。

注4: 家計所得(IC5、年齢階層が45-55歳男性の平均給与)。

費用と損失(CL、博士課程3年間の授業料と放棄稼得)。

売上高(CS、物理企業7社の売上高、物理企業7社は日立製作所、NEC、東芝、三菱電機、富士通、パナソニック、ソニー)。

企業の論文数(CA、物理企業9社の英語論文で国/地域が日本、研究分野の指定なし。物理企業9社はNTT、日立製作所、NEC、東芝、三菱電機、富士通、パナソニック、ソニー、キャノン)。

日本の論文数(JA、物理学分野の英語論文数)。

表 A-1-2 修士進学者率 AM の重回帰分析（差分）の結果

●AM
概要

回帰統計	
重相関 R	0.688852
重決定 R2	0.474517
補正 R2	0.319963
標準誤差	0.014792
観測数	23

分散分析表

	自由度	変動	分散	割された分散	有意 F
回帰	5	0.003359	0.000672	3.070236	0.037314
残差	17	0.00372	0.000219		
合計	22	0.007079			

	係数	標準誤差	t	P-値	下限 95%	上限 95%	下限 95.0%	上限 95.0%
切片	-0.19305	0.097883	-1.97231	0.065068	-0.39957	0.01346	-0.39957	0.01346
IC5	0.000134	3.63E-05	3.676638	0.00187	5.69E-05	0.00021	5.69E-05	0.00021
CL	-0.001	0.000307	-3.25114	0.0047	-0.00165	-0.00035	-0.00165	-0.00035
CS	-5.4E-06	2.61E-06	-2.06474	0.054548	-1.1E-05	1.18E-07	-1.1E-05	1.18E-07
CA	-5.2E-05	1.79E-05	-2.92602	0.009428	-9E-05	-1.5E-05	-9E-05	-1.5E-05
JA	9.65E-06	4.07E-06	2.373445	0.029676	1.07E-06	1.82E-05	1.07E-06	1.82E-05

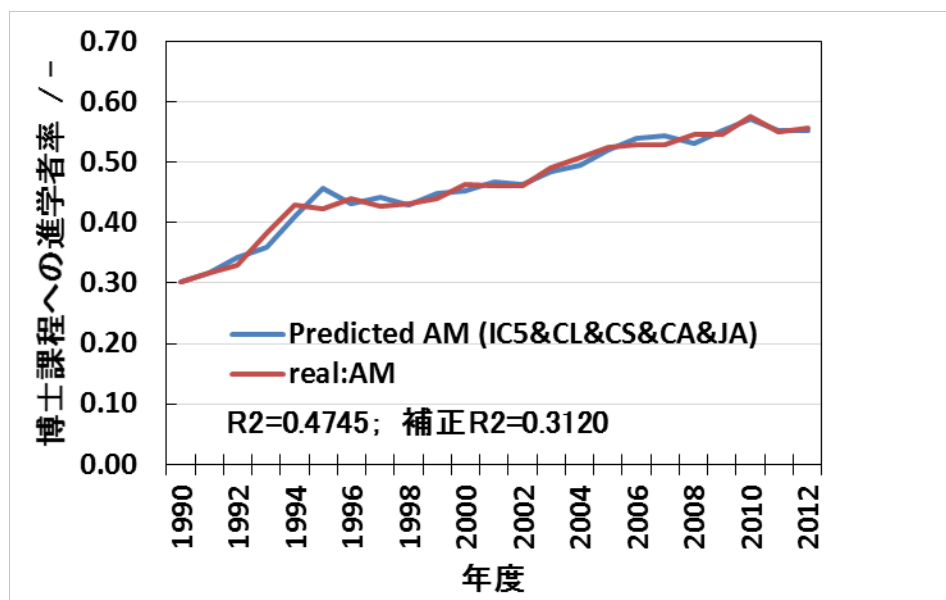


図 A-1-1 修士進学者率 AM の重回帰分析（差分）：表 A-1-1 の係数を用いて予測した進学者率 AM（青実線）と実際の進学者率 AM

1.3.2. 修士入学者率 EM

修士入学者率 (EM) の差分、 ΔEM を被説明変数として、 ΔAM と同様に 5 つの説明変数を用いて重回帰分析を行った。修士課程 1 年次 (M1) より 2 年前の学士課程 3 年次 (B3) に修士課程への進学を選択すると仮定した。結果を表 A-2-1 に示す。また結果の詳細を表 A-1-2 に示す。

ΔEM は家計所得 IC5、費用と損失 CL、企業の論文数 CA、日本の論文数 JA の 4 つの説明変数で説明できた。それぞれの変数の符合は理論あるいは仮説と整合しており、重決定係数 R^2 は 0.375 で高い値である。

修士課程 (物理学専攻) へ入学する学生は、学生自身に関わる経済指標 (IC5 と CL) を反映する合理的な判断と企業の研究開発活動に注目しながら、日本全体の科学・技術の動向も考慮して合理的な判断をして進学することがわかる。

図 A-2-1 の b) に予測した ΔEM_p から求めた EM_p と実際の進学者率 EM を重ねて図示する。両者はよく一致する。参考のために図の a) に EM-a (表 A-2-1) の結果を示す。

表 A-2-1 修士課程入学率 EM の重回帰分析 (差分) : 学士課程 3 年次選択モデル

被説明変数 変数(時間差:年)	EM-a	EM-b
切片	-0.2666 n.s.	-0.2587 n.s.
家計所得(-2) IC5	1.66×10^{-4} *	1.53×10^{-4} **
費用と損失(-2) CL	-1.28×10^{-3} *	-1.19×10^{-3} *
売上高(-2) CS	-1.5×10^{-6} n.s.	-
企業の論文数(-2) CA	-9.4×10^{-5} **	-9.22×10^{-5} **
日本の論文数(-2) JA	1.23×10^{-5} ▲	1.10×10^{-5} ▲
決定係数R ²	0.3796	0.3754
補正R ²	0.1972	0.2366
有意F	0.1181	0.0634

注1: 1990-2012年度までの時系列分析。

注2: 変数欄の上段:係数。

変数欄の下段:n.s., not significant; ▲、 $p < 0.1$; *, $p < 0.05$; **, $p < 0.01$; ***, $p < 0.001$ 。

注3: 変数欄の()内は時間差の年数、マイナスは博士課程入学年度より前の年数。

注4: 家計所得(IC5、年齢階層が45-55歳男性の平均給与)。

費用と損失(CL、博士課程3年間の授業料と放棄稼得)。

売上高(CS、物理企業7社の売上高、物理企業7社は日立製作所、NEC、東芝、三菱電機、富士通、パナソニック、ソニー)。

企業の論文数(CA、物理企業9社の英語論文で国/地域が日本、研究分野の指定なし。物理企業9社はNTT、日立製作所、NEC、東芝、三菱電機、富士通、パナソニック、ソニー、キヤノン)。

日本の論文数(JA、物理学分野の英語論文数)。

表 A-2-2 修士進学者率 EM の重回帰分析（差分）の結果

●EM-a
概要

回帰統計	
重相関 R	0.616131
重決定 R ²	0.379617
補正 R ²	0.197152
標準誤差	0.025227
観測数	23

分散分析表

	自由度	変動	分散	割された分散	有意 F
回帰	5	0.00662	0.001324	2.080489	0.118113
残差	17	0.010819	0.000636		
合計	22	0.017439			

	係数	標準誤差	t	P-値	下限 95%	上限 95%	下限 95.0%	上限 95.0%
切片	-0.26659	0.166929	-1.59705	0.128675	-0.61878	0.085596	-0.61878	0.085596
IC5	0.000166	6.2E-05	2.673632	0.016033	3.49E-05	0.000296	3.49E-05	0.000296
CL	-0.00128	0.000524	-2.44921	0.025454	-0.00239	-0.00018	-0.00239	-0.00018
CS	-1.5E-06	4.45E-06	-0.34014	0.737915	-1.1E-05	7.87E-06	-1.1E-05	7.87E-06
CA	-9.4E-05	3.06E-05	-3.07412	0.006875	-0.00016	-3E-05	-0.00016	-3E-05
JA	1.23E-05	6.94E-06	1.779384	0.09306	-2.3E-06	2.7E-05	-2.3E-06	2.7E-05

●EM-b
概要

回帰統計	
重相関 R	0.612695097
重決定 R ²	0.375395281
補正 R ²	0.236594233
標準誤差	0.02459953
観測数	23

分散分析表

	自由度	変動	分散	割された分散	有意 F
回帰	4	0.006547	0.001637	2.704557	0.063355
残差	18	0.010892	0.000605		
合計	22	0.017439			

	係数	標準誤差	t	P-値	下限 95%	上限 95%	下限 95.0%	上限 95.0%
切片	-0.25874066	0.161213	-1.60497	0.125902	-0.59744	0.079954	-0.59744	0.079954
IC5	0.000153411	4.91E-05	3.126568	0.00583	5.03E-05	0.000256	5.03E-05	0.000256
CL	-0.001190123	0.000435	-2.73403	0.013629	-0.0021	-0.00028	-0.0021	-0.00028
CA	-9.22123E-05	2.94E-05	-3.14044	0.005656	-0.00015	-3.1E-05	-0.00015	-3.1E-05
JA	1.10391E-05	5.64E-06	1.95808	0.065905	-8.1E-07	2.29E-05	-8.1E-07	2.29E-05

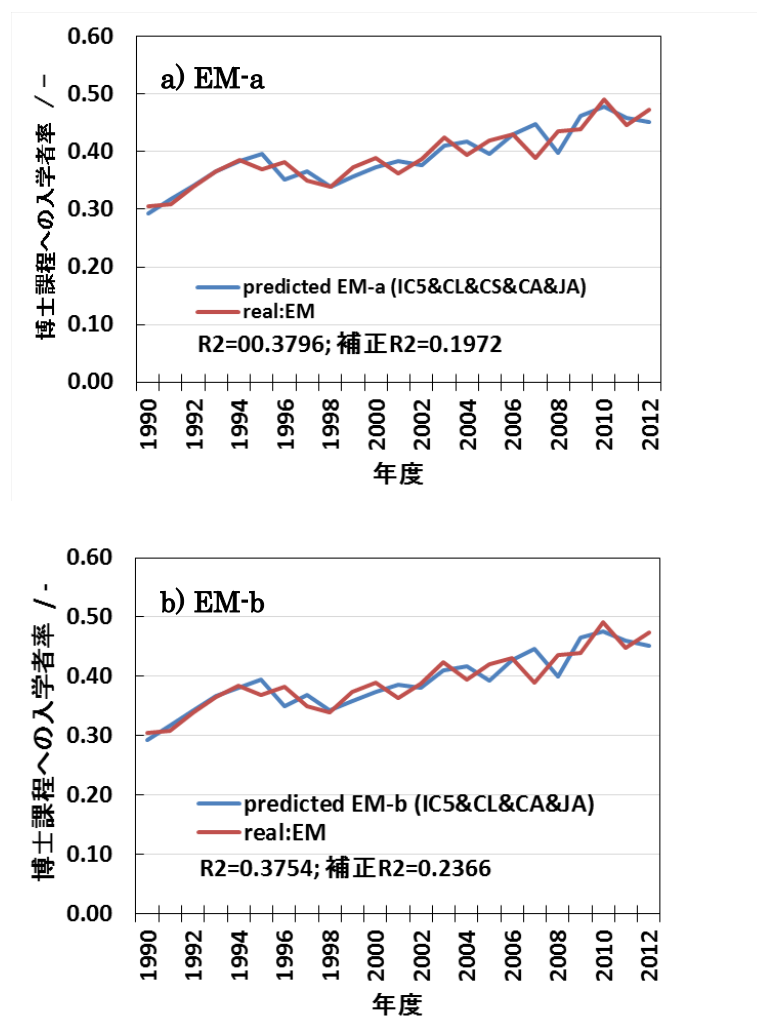


図 A-2-1 修士入学者率 EM の重回帰分析（差分）：表 A-2-1 の係数を用いて予測した入学者率 EM（青実線）と実際の入学者率 EM：a)、EM-a；b)、EM-b。

1.4. 重回帰分析（差分）：博士進学率

1.4.1. 博士進学者率 AD

博士進学者率（AD）の差分 ΔAD を被説明変数として、4つの説明変数（家計所得 IC5、費用と損失 CL、企業の論文数 CA、日本の物理論文数 JA）を用いて重回帰分析を行った。

博士課程1年次（D1）より3年前の学士課程4年次（B4）に博士課程への進学を選択すると仮定した。したがって、すべての説明変数の値は当該年度の3年前の値を用いた。

結果を表 A-3-1 に示す。また結果の詳細を表 A-3-2 に示す。仮説の通り、 ΔAD は家計所得 IC5、費用と損失 CL、企業の論文数 CA、日本の論文数 JA の4つの説明変数で説明できた。それぞれの変数の符合は理論あるいは仮説と整合しており、重決定係数 R^2 は 0.366 で高い値である。

図 A-3-1 に予測した ΔAD_p から求めた AD_p と実際の進学者率 AD を重ねて図示する。両者はよく一致する。

表 A-3-1 博士課程進学者率 AD の重回帰分析(差分)：学士課程 4 年次選択モデル

被説明変数 変数(時間差:年)	AD
切片	-0.1133 n.s.
家計所得(-3) IC5	1.187×10^{-4} *
費用と損失(-3) CL	-7.694×10^{-4} *
企業の論文数(-3) CA	-6.998×10^{-5} *
日本の論文数(-3) JA	1.107×10^{-5} ▲
決定係数 R^2	0.3659
補正 R^2	0.2250
有意F	0.071

注1: 1990-2012年度までの時系列分析。

注2: 変数欄の上段: 係数。

変数欄の下段: n.s., not significant; ▲、 $p < 0.1$; *、 $p < 0.05$; **、 $p < 0.01$; ***, $p < 0.001$ 。

注3: 変数欄の()内は時間差の年数、マイナスは博士課程入学年度より前の年数。

注4: 家計所得(IC5、年齢階層が45-55歳男性の平均給与)。

費用と損失(CL、博士課程3年間の授業料と放棄稼得)。

企業の論文数(CA、物理企業9社の英語論文で国/地域が日本、研究分野の指定なし。物理企業9社はNTT、日立製作所、NEC、東芝、三菱電機、富士通、パナソニック、ソニー、キャノン)。

日本の論文数(JA、物理学分野の英語論文数)。

表 A-3-2 博士進学者率 AM の重回帰分析（差分）の結果

●AD

回帰統計	
重相関 R	0.604928551
重決定 R2	0.365938552
補正 R2	0.225036008
標準誤差	0.021986307
観測数	23

分散分析表

	自由度	変動	分散	割された分散	有意 F
回帰	4	0.005022	0.001255	2.597104	0.071119
残差	18	0.008701	0.000483		
合計	22	0.013723			

	係数	標準誤差	t	P-値	下限 95%	上限 95%	下限 95.0%	上限 95.0%
切片	-0.113303235	0.113815	-0.9955	0.332688	-0.35242	0.125814	-0.35242	0.125814
IC5	0.000118717	4.24E-05	2.797251	0.011907	2.96E-05	0.000208	2.96E-05	0.000208
CL	-0.000769378	0.000274	-2.81145	0.01155	-0.00134	-0.00019	-0.00134	-0.00019
CA	-6.99766E-05	2.57E-05	-2.71829	0.014093	-0.00012	-1.6E-05	-0.00012	-1.6E-05
JA	1.10706E-05	5.36E-06	2.064073	0.053731	-2E-07	2.23E-05	-2E-07	2.23E-05

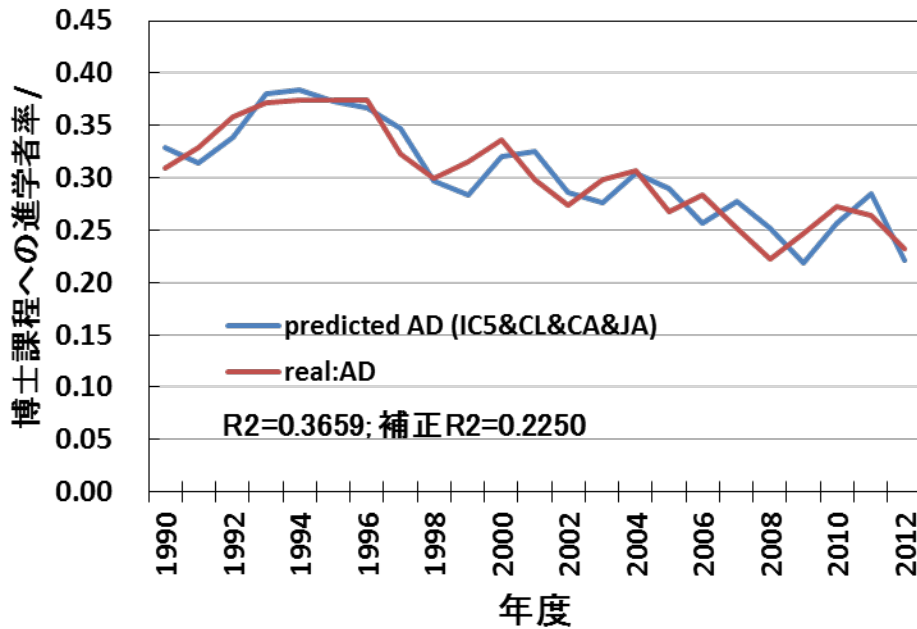


図 A-3-1 博士進学者率 AD の重回帰分析（差分）：表 A-3-1 の係数を用いて予測した入学者率 EM（青実線）と実際の入学者率 AD

1.4.2. 博士入学者率 ED

博士入学者率 (ED) の差分、 ΔED を被説明変数として、3つの説明変数 (家計所得 IC5、費用と損失 CL、日本の物理論文数 JA) を用いて重回帰分析を行った。博士課程1年次 (D1) より3年前の学士課程4年次 (B4) に博士課程への進学を選択すると仮定した。したがって、すべての説明変数の値は当該年度の3年前の値を用いた。

結果を表 A-4-1 に示す。また結果の詳細を表 A-4-2 に示す。 ΔED は家計所得 IC5、費用と損失 CL、企業の論文数 CA の3つの説明変数で説明できると考えた。それぞれの変数の符号は理論あるいは仮説と整合したが、3つの変数で ΔED を説明することができなかった。

図 A-4-1 に予測した ΔED_p から求めた ED_p と実際の進学者率 ED を重ねて図示する。両者の不一致の具合がわかる。

表 A-4-1 博士課程入学者率 ED の重回帰分析(差分) : 学士課程4年次選択モデル

被説明変数 変数(時間差:年)	ED
切片	0.070 n.s.
家計所得(-3) IC5	3.083×10^{-5} n.s.
費用と損失(-3) CL	-4.658×10^{-4} ▲
日本の論文数(-3) JA	9.444×10^{-6} n.s.
決定係数 R^2	0.1442
補正 R^2	0.0091
有意F	0.3865

注1: 1990-2012年度までの時系列分析。

注2: 変数欄の上段: 係数。

変数欄の下段: n.s., not significant; ▲、 $p < 0.1$; *、 $p < 0.05$; **、 $p < 0.01$; ***, $p < 0.001$ 。

注3: 変数欄の()内は時間差の年数、マイナスは博士課程入学年度より前の年数。

注4: 家計所得(IC5、年齢階層が45-55歳男性の平均給与)。

費用と損失(CL、博士課程3年間の授業料と放棄稼得)。

日本の論文数(JA、物理学分野の英語論文数)。

表 A-4-2 博士入学者率 ED の重回帰分析（差分）の結果

●ED
概要

回帰統計	
重相関 R	0.379727152
重決定 R2	0.14419271
補正 R2	0.009065243
標準誤差	0.026572574
観測数	23

分散分析表

	自由度	変動	分散	割された分散	有意 F
回帰	3	0.00226	0.000753	1.067087	0.386462305
残差	19	0.013416	0.000706		
合計	22	0.015676			

	係数	標準誤差	t	P-値	下限 95%	上限 95%	下限 95.0%	上限 95.0%
切片	0.069799725	0.102863	0.678571	0.505591	-0.145494612	0.285094	-0.14549	0.285094
IC5	3.08319E-05	2.29E-05	1.349121	0.193158	-1.70007E-05	7.87E-05	-1.7E-05	7.87E-05
CL	-0.000465797	0.000263	-1.76889	0.092963	-0.001016947	8.54E-05	-0.00102	8.54E-05
JA	9.44392E-06	6.05E-06	1.562056	0.134777	-3.21015E-06	2.21E-05	-3.2E-06	2.21E-05

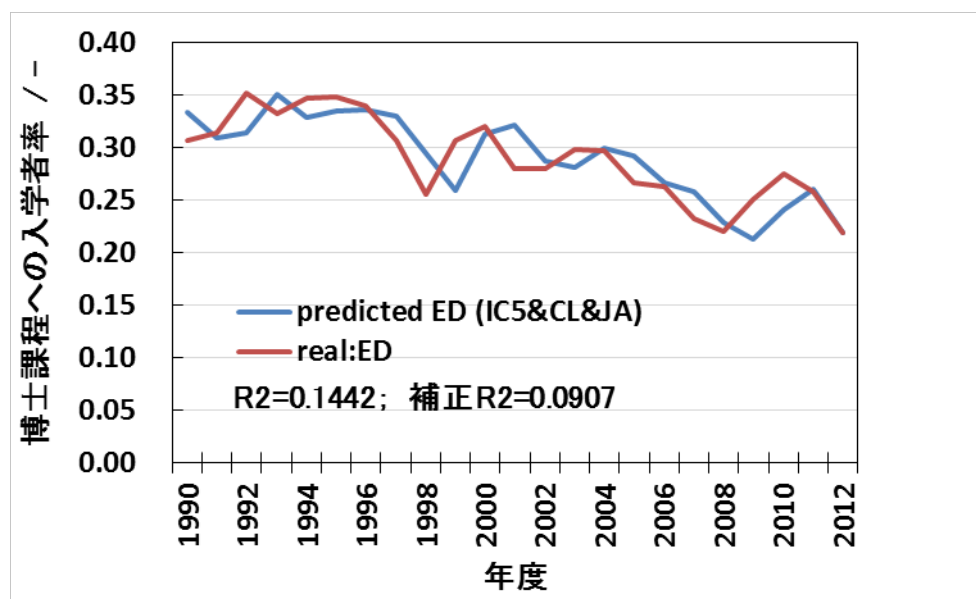


図 A-4-1 博士入学者率 ED の重回帰分析（差分）：表 A-4-1 の係数を用いて予測した入学者率 EM（青実線）と実際の入学者率 ED

2. 時系列データの重回帰分析における差分処理の効果

2.1. 仮説と検証結果の比較

本論の第6章で実施した進学率の重回帰分析における仮説と検証結果を比較するために、仮説に基づく説明変数の符号と検証における係数の符号とその値、そして p 値の有意性を整理した。表 A-5-1 に一覧を示す。表 A-5-1 では p 値の有意性を示す記号に新たに▲を加え、 $0.05 < p < 0.1$ の範囲の変数であることを示した。ピンク地の欄は p 値が有効な経済指標を示し、空色地の欄は p 値が有効な研究指標を示す。灰色地の欄は仮説が期待する係数の符号と検証で得られた係数の符号が不一致であることを意味する。

第6章の検討において、仮説と検証結果が完全に一致した分析はなかった。高い割合で一致した結果は、EM の分析（5 変数のうち 4 変数で符号が一致）と AD の分析（4 変数のうち 3 変数で符号が一致）の 2 例である。係数の符号が一致しなかった分析の多くは p 値が有意でない場合である。例外として AM の分析で CL の符号が仮説と反対でプラス効果を示す例が 1 つあった。本論ではこの結果について AM は消費モデルではなく投資モデルの可能性があると考察した。修士卒者の企業への就職状況が良好だったことを考慮すればその可能性があることは否定できないが、AM の決定係数 R^2 の値が 0.9 以上あることは時系列データがもつトレンドの影響を示す可能性がある。そこで補論では差分データを被説明変数とする重回帰分析を行い、トレンドの影響を除去し、5 つの変数の説明力を検証した。

表 A-5-2 に差分データを用いた重回帰分析における仮説と検証結果の符号と p 値の有意性を整理した。AM と AD の結果ではすべての変数の符号が仮説と検証結果で完全に一致した。決定係数 R^2 の値はいずれも 0.4 程度で十分に高い結果である。差分データを用いた分析の有効性が示された。EM の結果においても 5 変数のうち 4 変数の符号が一致しており、 R^2 の値も 0.3 以上あり、仮説をほぼ支持する結果である。

ED については 3 つの変数のうち、 p 値が有意であった変数は 1 つだけであり、 R^2 は低く、仮説との乖離度が高かった。

2.2. 今後の展望

博士入学者率 ED は他研究科の修士卒者を含む物理学研究科（博士課程）への入学者を対象とする進学率であり、物理学を志向する学生の進学意識を強く反映している。したがって、検討した 3 変数以外に有効な変数があり、ED の対象である学生の進学志向に関わっていると考えられる。この変数がなにかを解明することは、物理学研究科の学生を増やす政策立案

に繋がる可能性がある。

AD、AM、EM では、家計所得 IC5、費用と損失 CL、企業の論文数 CA、日本の論文数 JA の 4 変数が説明変数として有効であった。企業の経済指標と研究指標が有効であることは、学部と修士課程に在籍する多くの学生が企業の研究動向に関心があることを示唆する結果である。また日本の論文数 JA がプラス効果で有効であることは、日本の科学研究の発展が期待できる結果である。

表 A-5-1 進学率の重回帰分析：仮説と検証

変数	修士課程				博士課程			
	進学率 AM		入学率 EM		進学率 AD		入学率 ED	
	仮説	検証	仮説	検証	仮説	検証	仮説	検証
家計所得(IC5)	+	n.s.	+	+2.37 ***	+	+3.67 ***	+	+1.95 ***
費用と損失(CL)	-	+ 2.01 ***	-	n.s.	-	-2.25 ***	-	-1.62 ***
売上高(GS)	-	n.s.	-	-0.39 **				
企業の論文数(CA)	-	- 0.22 ***	-	-0.61 ***	-	-0.39 *		
日本の論文数(JA)	+	n.s.	+	+0.19 ***	+	n.s.	+	n.s.
重決定係数R ²	0.968		0.923		0.827		0.742	
補正R ²	0.965		0.906		0.780		0.716	
有意F	9.63 × 10 ⁻¹⁶		8.86 × 10 ⁻¹⁰		1.95 × 10 ⁻⁷		1.30 × 10 ⁻⁶	

表 A-5-2 進学率の重回帰分析（差分）：仮説と検証

変数	修士課程				博士課程			
	進学率 AM		入学率 EM		進学率 AD		入学率 ED	
	仮説	検証	仮説	検証	仮説	検証	仮説	検証
家計所得(IC5)	+	+1.34 × 10 ⁻⁴ **	+	+1.53 × 10 ⁻⁴ **	+	+1.187 × 10 ⁻⁴ *	+	+3.083 × 10 ⁻⁵ n.s.
費用と損失(CL)	-	-0.001 **	-	-1.19 × 10 ⁻³ *	-	-7.694 × 10 ⁻⁴ *	-	-4.658 × 10 ⁻⁴ ▲
売上高(GS)	-	-5.4 × 10 ⁻⁸ ▲	-	n.s.				
企業の論文数(CA)	-	-5.2 × 10 ⁻⁵ **	-	-9.22 × 10 ⁻⁵ **	-	-6.998 × 10 ⁻⁵ *		
日本の論文数(JA)	+	+9.65 × 10 ⁻⁸ *	+	+1.10 × 10 ⁻⁵ ▲	+	+1.107 × 10 ⁻⁵ ▲	+	n.s.
重決定係数R ²	0.475		0.375		0.3659		0.1442	
補正R ²	0.312		0.237		0.225		0.009	
有意F	0.037		0.063		0.071		0.386	

【注1】 地色のピンクは有効な経済指標、空色は有効な研究指標。地色のグレーは仮説と不一致。

【注2】 仮説の+、-は係数の符合。

【注3】 ▲はp<0.1、*はp<0.05、**はp<0.01、***はp<0.001、n.s.はnot significant、有意でない。

●参考文献および URL リスト

I. 日本語文献

荒井一博(1990)「大学進学率の決定要因」『経済研究』41(3)、241-9。

荒井一博 (1995) 『教育の経済学—大学進学行動の分析』有斐閣。

新井聖子 (2017) 「低下する日本の基礎研究力 海外からの留学生も影響」『エコノミスト』2017年9月5日号、47-9。

有本章「大学院教育に関する研究—回顧と展望—」『大学論集』第36集、83-105。

飯嶋秀樹、山口栄一(2014)「日本の論文数はなぜ減少したのか—その前になぜ論文を書くのか」『研究・技術計画学会年次学術大会講演要旨集』29、691-4。

飯嶋秀樹・中田喜文・山口栄一 (2015) 「サイエンス型産業における持続的発展の研究：『知識と人』産学循環モデル」『研究・技術計画学会年次学術大会講演要旨集』30、332-5。

飯嶋秀樹・中田喜文 (2016) 「サイエンス型産業における持続的発展の研究：『知識と人』産学循環モデルのシステム構造」『研究・技術計画学会年次学術大会講演要旨集』31、585-8。

石井安憲・西條辰義・塩澤修平 (1995) 『入門・ミクロ経済学』、有斐閣。

井庭崇 (編) (2011) 『社会システム理論：不透明な社会を捉える知の技法』慶應義塾大学出版会。

岩澤康裕 (2010) 「科学・技術による力強い日本の構築—わが国の科学・技術の進むべき方向と必要な政策」『生物工学会誌』88(11)、571-75。

江澤洋 (2001) 「理科教育の諸問題：次世代のための警告」『学術の動向』12-6。

江原武一 (2004) 「日本の大学院改革の将来」江原武一・馬越徹 (編) 『大学院の改革』第14章、東信堂。

旺文社教育情報センター (2012) 「新課程「地学」は、“新教科書なき入試”に！ 25年度使用教科書「地学」(発展科目)の発行なく、旧課程「地学Ⅰ」と「地学Ⅱ」で対応！！」『今月の視点』69 (2012年9月)、1-14。

岡部晋典・逸村裕 (2016) 「学生への倫理教育と研究ガバナンス」『情報の科学と技術』6(3)、122-7。

奥井隆雄(2009)「理工系博士課程修了者のキャリア選択に影響する要因に関する分析」『名

- 古屋高等教育研究』第9号、277-97。
- 小塩隆士（2005）『教育を経済学で考える』日本評論社。
- 小田切宏之（2010）『企業経済学 第2版』東洋経済新聞社。
- 柿澤寿信・平尾智隆・松繁寿和・山崎泉・乾友彦（2014）「大学院卒の賃金プレミアム—マイクロデータによる年齢—賃金プロファイルの分析—」『ESRI Discussion Paper Series No. 310』経済社会総合研究所。
- 春日淳一（2005）「ダブル・コンティンジェンシーについて」関西大学『経済論集』55（3）、445-55。
- 春日淳一（2008）『ルーマン理論に魅せられて』文真堂。
- 金子元久（1986）「高等教育進学率の時系列分析」『大学論集』第16集、41-64。
- 唐木宏（1990）「危機に立つ高校物理教育」『パリティ』5(6)、60-3。
- 唐木宏（2000）『第4巻 実践記録；新物理カリキュラムを』講談社出版サービスセンター。
- 神田由美子・村上昭義・福澤尚美・伊神正貫（2017）『調査資料—261 科学技術指標 2017』文部科学省科学技術・学術政策研究所。
- 北川源四郎（2005）『時系列解析入門』岩波書店。
- ギブニー、フランク・B（編）（1995）『ブリタニカ国際大百科事典』ティビーエス・ブリタニカ。
- 金田一京助・佐伯梅友・大石初太郎・野村雅昭（編）（1994）『新選 国語辞典 第七版』小学館。
- 桑原輝隆（編）（2005）『NISTEP REPORT No.90 基本計画の達成効果の評価のための調査 我が国の研究活動のベンチマーキング報告書』文部科学省科学技術政策研究所。
- 経済企画庁国民生活局（編）（1993）『平成4年度 国民生活選好度調査』大蔵省造幣局。
- 河本英夫（1995）『オートポイエーシス：第三世代システム』青土社。
- 後藤晃・小田切宏之（2003）「序論」後藤晃・小田切宏之（編）『日本の産業システム 3 サイエンス型産業』第1章、NTT出版。
- 小林信一（2004）「大学院重点化政策の功罪」江原武一・馬越徹（編）『大学院の改革』、第3章、東信堂。
- 阪彩香・桑原輝隆（2008）『調査資料158 世界の研究活動の動的变化とそれを踏まえた我が国の科学研究のベンチマーキング』文部科学省科学技術政策研究所。
- 阪彩香・桑原輝隆（2010）『調査資料 192 科学研究のベンチマーキング 2010—論文分析

- でみる世界の研究活動の変化と日本の状況ー』文部科学省科学技術政策研究所。
- 阪彩香・桑原輝隆（2011）『調査資料 204 科学研究のベンチマーキング 2011ー論文分析
でみる世界の研究活動の変化と日本の状況ー』文部科学省科学技術政策研究所。
- 阪彩香・桑原輝隆（2012）『調査資料 213 大学ベンチマーキングシリーズ 研究論文に着
目した日本の大学ベンチマーキング 2011ー大学の個性を活かし、国全体としての水準
を向上させるためにー』文部科学省科学技術政策研究所。
- 阪彩香・桑原輝隆（2013）『調査資料 218 科学研究のベンチマーキング 2012ー論文分析
でみる世界の研究活動の変化と日本の状況ー』文部科学省科学技術政策研究所。
- 阪彩香・伊神正貴（2015）『調査資料 239 科学研究のベンチマーキング 2015ー論文分析
でみる世界の研究活動の変化と日本の状況ー』文部科学省科学技術・学術政策研究所。
- 村上昭義・伊神正貴（2017）『調査資料 262 科学研究のベンチマーキング 2017ー論文分
析でみる世界の研究活動の変化と日本の状況ー』文部科学省科学技術・学術政策研究所。
- 島一則(1999)「大学進学行動の経済分析ー収益率研究の成果・現状・課題ー」『教育社会学
研究』第 64 集、101-21。
- 鈴木享(2005)「教科書採択から見た高校物理の履修率」『大学の物理教育』11、133-35。
- 田中勝次（1991）「岡山県における大学進学率の決定要因」『岡山商大経営研究所報』12、
69-88。
- 角田裕之・西澤正己・孫媛（2014）「学術論文の国際比較ートップ 18 ヶ国の論文生産性の
分析」『鶴見大学紀要、第 4 部、人文・社会・自然科学篇』No.51、57-63。
- 鶴岡森昭（1994）「教科書需要からみた高校物理の履修率ー平成 3～5 年度」『物理教育』
42（4）451-3。
- 鶴岡森昭・永田敏夫・細川敏幸・小野寺彰（1996）「大学・高校理科教育の危機：高校にお
ける理科離れの実状」『高等教育ジャーナル（北大）』第 1 号、105-15。
- 中村二郎（1993）「家計属性と進学行動に関する実証分析」『経済研究』44(3)、212-20。
- 長岡貞男・伊神正貴・WALSH,J.P.・伊地知寛博（2011）『科学における知識生産プロセス：
日米の科学者に対する大規模調査からの主要な発見事実 科学技術政策研究所 調査
資料 No.203』文部科学省科学技術政策研究所。
- 永峯英行・山口栄一(2007)「選択と集中のジレンマ」『ITEC Working Paper Series』No.07-
10、1-25。
- 新村出（編）（1955）『広辞苑 第二版』岩波書店。

- 西野孝 (2014) 「複合材料 10 年の動向」『繊維学会誌』70 (9)、434-37。
- 林隆之・富澤宏之 (2007) 「日本の研究パフォーマンスと研究実施構造の変遷」『大学評価・学位研究』5、57-73。
- 林幸秀 (2011a) 「データで見る日本の科学技術 1 数は増やしたいが頭打ちという現実 研究人材の量から質へ」『現代化学』No.479、17-9。
- 林幸秀 (2011b) 「データで見る日本の科学技術 2 基本計画 24 兆円は数字のマジック 伸びない研究開発費」『現代化学』No.480、49-51。
- 林幸秀 (2011c) 「データで見る日本の科学技術 3 総額はアップ、採択率・配分額はダウン 問題の多い競争的資金の運用」『現代化学』No.481、38-9。
- 林幸秀 (2011d) 「データで見る日本の科学技術 4 忙しい教員、減る一方の交付金 進まない大学改革」『現代化学』No.482、48-50。
- 林幸秀 (2011e) 「データで見る日本の科学技術 5 論文数と特許数からみえてくる姿 今の日本の科学技術力は？」『現代化学』No.483、52-4。
- 林幸秀 (2011f) 「データで見る日本の科学技術 6 基礎研究がうまく実らないのはなぜ？ 臨床応用や製薬での課題」『現代化学』No.484、42-4。
- 林幸秀 (2011g) 「データで見る日本の科学技術 7 21 世紀は知の競争時代 主要国の科学技術動向」『現代化学』No.485、32-5。
- 林幸秀 (2011h) 「データで見る日本の科学技術 8 技術で勝って市場で負けないために 国際標準への対応」『現代化学』No.486、52-4。
- 林幸秀 (2011i) 「データで見る日本の科学技術 9 東アジアと穏やかな科学技術協力を 日本は今後どうすべきか」『現代化学』No.487、58-59。
- 物理教育実情調査研究委員会 (1990) 「高校における物理履修率の変遷」『物理教育』38(4)、319-22。
- 増子寛 (2014) 「学習指導要領改訂後の物理教育」『応用物理』83(9)、728-31(2014)。
- 三好登 (2014) 「大学院進学者の類型と学習成果に関する実証的研究—研究大学を事例に—」『大学評価・学位研究』第 16 号、47-61。
- 村田吉彦(1997) 「教科書需要からみた新旧教育課程における理科の履修率」『化学と教育』45(1)、47-8。
- 文部省・文部科学省 (1993-2014) 『学校基本調査報告書 (高等教育機関)』大蔵省印刷局。
- 山口栄一(2003) 「半導体・デバイス産業」後藤晃・小田切宏之(編) 『日本の産業システム 3

サイエンス型産業』第7章、NTT出版。

山口栄一(2006)『イノベーション 破壊と共鳴』NTT出版。

山口栄一(2016)『イノベーションはなぜ途絶えたか—科学立国日本の危機』筑摩書房。

米谷悠・池内健太・桑原輝隆(2013)『大学の論文生産性に関するインプット・アウトプット
分析：Web of Science と科学技術研究調査を使った試み』文部科学省 科学技術政策
研究所。

渡邊暉夫(1997)「大学院博士課程の現状と問題点：大学院重点化をめぐる」『高等教育ジ
ャーナル』2、39-69。

II. 外国語文献

- Freeman, R. B., and Goroff, D. L. (eds.) (2009) *Science and Engineering Careers in the United States: An Analysis of Markets and Employment*, The University of Chicago Press.
- Iijima, H., Sogawa, K., and Kamide, K. (1996) Thermodynamics of Formation of Porous Polymeric Membrane by Phase Separation Method VI. Surpermolecular Structure and Virus Separation Method. *Polymer Journal*, 28, 808~16.
- Iijima, H., and Yamaguchi, E. (2015) Decrease in the Number of Journal Articles in Physics in Japan: Correlation between the Number of Articles and Doctoral Students. *Journal of Integrated Creative Studies*, No.2015-009, 1-20.
- Kamide, K., and Iijima, H. (1994) Recent Advances in Cellulose Membranes. In *Cellulosic Polymers, Blends and Composites*, 198-206, Carl Hanser GmbH & Co.
- Kneer, G., and Nassehi, A. (1993) *Niklas Luhmanns Theorie Sozialer Systeme*. (=1995、館野受男・池田貞夫・野崎和義訳『ルーマン 社会システム論』新泉社。)
- Liu, X., Ramirez, S., Pang, P. T., Puryear, C. B., Govindarajan, A., Karl Deisseroth, K., and Tonegawa, S. (2012) Optogenetic stimulation of a hippocampal engram activates fear memory recall. *Nature*, 484, 381-5.
- Luhmann, N.(1984) *Soziale Systeme: Grundriß einer allgemeinen Theorie*. (=1993、佐藤勉監訳『社会システム論（上）』恒星社厚生館。)
- Luhmann, N.(1984) *Soziale Systeme: Grundriß einer allgemeinen Theorie*. (=1995、佐藤勉監訳『社会システム論（下）』恒星社厚生館。)
- Maturane, H., and Varela, F. (1984) *Der Baum der Erkenntnis*, Editorial Universitaria. (=1997、管啓次郎訳『知恵の樹』筑摩書房。)
- Morikawa, M.(2015) Postgraduate Education and Labor Market Outcomes: An Empirical Analysis Using Micor Data from Japan. *Industrial Relations*, 54(3), 499-520.
- Nakata, Y., and Mosk, C. (1987) The Demand for College Education in Postwar Japan. *Journal of Human Resources*, 22 (3) , 377-404.
- Redondo, R. L., Kim, J., Arons, A. L., Ramirez, S., Liu, X., and Tonegawa, S. (2014) Bidirectional switch of the valence associated with a hippocampal contextual

memory engram. *Nature*, 513, 426-30.

Schumpeter, J. A. (1926) *Theorie der Wirtschaftlichen Entwicklung*, Duncker & Humblot.(=1977、塩野谷祐一・中山伊知郎・東畑精一訳『シュムペーター 経済発展の理論 (上)』岩波書店。)

Walker, E. A., Pettit, J. M., and Hawkins, G. A. (eds.) (1968) Final Report: Goals of Engineering Education, *Engineering Education*, January 1968, 367-446.

III. インターネット (URL)

- 1 内閣府 (2012) 「平成 24 年度年次経済財政報告」内閣部ホームページ (2018 年 5 月 30 日閲覧、http://www5.cao.go.jp/j-j/wp/wp-je12/h10_data01.html)。
- 2 日本学術会議 (2013) 「声明 科学者の行動規範 (改訂版)」日本学術会議ホームページ (2017 年 11 月 7 日取得、<http://www.scj.go.jp/ja/info/kohyo/pdf/kohyo-22-s168-1.pdf>)。
- 3 Thomson Reuters(2016) 「Web of Science™ Core Collection ヘルプ : 研究分野 (分野/分類)」 (2016 年 9 月 26 日閲覧、
https://images.webofknowledge.com/WOKRS523R4/help/ja_JP/INSPEC/hp_research_areas_easca.html)。
- 4 松岡正剛 (2005) 「松岡正剛の千夜千冊 1063 夜 オートポイエーシス」編集工学研究所ホームページ (2016 年 6 月 23 日閲覧、<http://1000ya.isis.ne.jp/1063.html>)。
- 5 川平友規 (2012) 「多様体の基礎のキソ 第 3 章 位相空間の基礎のキソ (ver.20120509)」東京工業大学理学院数学系ホームページ (2016 年 7 月 19 日取得、<http://www.math.titech.ac.jp/~kawahira/courses/kiso/03-isou.pdf>)。
- 6 大辞林 (第三版) 「ダブルコンティンジェンシー」 (2018 年 2 月 2 日閲覧、
https://kotobank.jp/word/%E3%83%80%E3%83%96%E3%83%AB%E3%82%B3%E3%83%B3%E3%83%86%E3%82%A3%E3%83%B3%E3%82%B8%E3%82%A7%E3%83%B3%E3%82%B7%E3%83%BC-321977))。
- 7 理化学研究所(2017) 「広報活動 記憶を思い出すための神経回路を発見ー海馬の二つの局所回路が記憶の書き込みと想起を分担しているー」理化学研究所ホームページ (2018 年 1 月 6 日閲覧、http://www.riken.jp/pr/press/2017/20170818_2/)。
- 8 総務省「日本標準職業分類 (平成 21 (2009) 年 12 月統計基準設定)」政府統計の窓口ホームページ (2017 年 11 月 10 日閲覧、
<http://www.e-stat.go.jp/SG1/htoukeib/TopDisp.do?bKind=20>)。
- 9 総務省統計局 「平成 29 年度科学技術研究調査 用語の解説」総務省統計局ホームページ (2017 年 11 月 11 日閲覧、
http://www.stat.go.jp/data/kagaku/kekka/a3_25you.htm) 。
- 10 厚生労働省 「人口動態調査 我が国の人口動態『平成 27 年我が国の人口動態 (平成 25 年までの動向)』第 1 表 人口動態総覧, 年次別 (明治 32 年以降)、40-4」厚生労働省ホームページ (2015 年 7 月 2 日閲覧、<http://www.mhlw.go.jp/toukei/list/81-1a.html>)。
- 11 文部科学省「大学入学者選抜、大学教育の現状」首相官邸ホームページ (2016 年 3

- 月 4 日取得、<https://www.kantei.go.jp/jp/singi/kyouikusaizei/dai11/sankou2.pdf>)。
- 12 大阪府教育センター「学習指導要領の変遷に見る『理科教育』の移り変わり」大阪府教育センターホームページ (2016 年 5 月 17 日取得、
<http://www.osaka-c.ed.jp/kak/karikenweb/webpdf/webcur/wc10rika/wc1001.pdf>)。
 - 13 文部科学省 (1992) 『学制百二十年史』第五章 高等教育、第七節 大学入学者選抜の改善、一 共通第一次学力試験の導入」文部科学省ホームページ (2018 年 5 月 30 日閲覧、
http://www.mext.go.jp/b_menu/hakusho/html/others/detail/1318393.htm)。
 - 14 文部科学省 (1992) 『学制百二十年史』第五章 高等教育、第七節 大学入学者選抜の改善、二 大学入試センター試験への移行」文部科学省ホームページ (2017 年 8 月 10 日閲覧、
http://www.mext.go.jp/b_menu/hakusho/html/others/detail/1318394.htm)。
 - 15 文部科学省 『大学入学選抜に関する資料』28 頁、センター試験受験者数と大学入試志願者に占めるセンター試験受験者数割合」 (2017 年 8 月 10 日取得、
http://www.mext.go.jp/component/b_menu/shingi/toushin/_icsFiles/afieldfile/2016/06/02/1369232_04_2.pdf)。
 - 16 大学入試センター「受験者数・平均点の推移 (本試験) 平成 2-26 年度センター試験」大学入試センターホームページ (2016 年 4 月 20 日閲覧、
http://www.dnc.ac.jp/data/suii/h02_h08.html)。
 - 17 筑波大学「社会人のための博士後期課程 早期修了プログラム プログラム審査要件：履修に必要な論文数・口頭発表数など」筑波大学ホームページ (2014 年 11 月 28 日閲覧、
<http://www.souki.tsukuba.ac.jp/risyu.html>)。
 - 18 全国大学院生協議会 (2015) 「2015 年度大学院生の研究・生活実態に関するアンケート調査報告書の概要」全国大学院生協議会 Blog (2017 年 10 月 24 日取得、
<http://zeninkyu.blog.shinobi.jp>)。
 - 19 国税庁 (2017) 「民間給与実態調査：1 年勤続者の年齢階層別給与所得者数・給与総額・平均給与」国税庁 HP (2017 年 10 月 15 日取得、
https://www.nta.go.jp/kohyo/tokei/kokuzeicho/jikeiretsu/01_02.htm)。
 - 20 文部科学省 「参考資料 国公立大学の授業料等の推移」、文部科学省 HP (2017 年 10 月 24 日取得、
http://www.mext.go.jp/a_menu/koutou/shinkou/07021403/_icsFiles/afieldfile/2015/12/25/1365662_03.pdf)。
 - 21 厚生労働省 HP 賃金構造統計調査「産業別新規学卒者の初任給の推移 (大学卒、製造業)」 (2017 年 10 月 13 日閲覧、

<http://www.mhlw.go.jp/toukei/list/chinginkouzou.html>)。

- 22 『大辞林 第三版』(2018年4月6日閲覧、
<https://kotobank.jp/word/%E7%A7%91%E5%AD%A6-43288>)。
- 23 中央教育審議会大学分科会(2004)「我が国の高等教育の将来像(審議の概要):我が
国の高等教育の将来像 平成16年9月6日」(2017年9月9日閲覧、
http://www.mext.go.jp/b_menu/shingi/chukyo/chukyo0/toushin/04091601/003.htm)。
- 24 『大辞林 第三版』(2018年4月6日閲覧、
<https://kotobank.jp/word/%E6%8A%80%E8%A1%93-50443>)。

(以上)