

日経225先物市場の価格形成にみられる決定論的構造

—投資家への説明と市場政策を考える—

足立 光生

Mitsuo Adachi

概要

現在わが国では、証券先物市場に参画する投資家が後を絶たない。2006年に大阪証券取引所に日経225miniが上場され、個人投資家も先物市場に高い関心を持ち始めている。新規参加者は先物取引の諸制度を理解するだけでなく、その価格形成ならびにリスク管理においても周到な準備が必要であろう。では、先物市場における価格形成には具体的にどのような特性が存在するのか。本稿では先物市場における超短期間の価格形成を対象として、日経225先物市場のTickデータに相関次元、ならびにリアプノフスペクトラムの計測を行った結果、先物の価格形成が特定の割合で決定論的な法則に従う可能性を指摘した。さらにBP(バックプロパゲーション)法に基づきニューラルネットを構築して予測を行うことで、市場の決定論的予測の有効性についても示した。本稿のおわりには、このような先物市場の構造に対するリスク管理と投資家保護のために講じるべき市場政策について論じる。

1

はじめに

2006年7月に大阪証券取引所に日経225miniが上場されて以来、わが国で証券先物市場に再び注目が集まっている。新規に設立された日経225miniは国内で初めての個人投資家向け証券先物として、株の短期売買に慣れ親しんできた個人投資家に人気を博している。2006年10月には日経225miniの売買高は、旧来から大阪証券取引所に上場されている日経225先物市場(日経225mini上場以来、ミニに対してラージとよばれている)の売買高を超えた。

このように加熱ぎみの投資家の傾向に対して、投資家保護の視点から先物取引のリスクについて十分に説明されているのだろうか。例えば日経225miniのリスクについて大阪証券取引所は、元本および利益が保証されていない事、証拠金の追加差入れが必要な場合がある事、証拠金以上に損失が膨らむ可能性がある事、債務不履行時に強制的に決済されることがある事、取引の状況に異常がある場合には規制措置が発動されることがある事、意図したとおりの取引ができないことがある事の6点を挙げることによって、投資家への注意を呼びかけている¹⁾。これらの説明は証拠金取引と差金決済から派生する先物取引のリスクへの説明としては的確であろう。また、説明のなかには1995年のベアリングズ事件による日経225先物市場の混乱を踏まえたものもあり、大阪証券取引所らしさがうかがえる。

ただし、これらの注意事項に付随して、先物市場の特性、とりわけ価格変動に関して投資家に説明する必要はないのだろうか。当たり前のことであるが、投資家が先物市場に参入する最大の理由は市場からのリターン追求であり、投資家の関心事は市場の価格変動にあることは間違いない。とくに「先物は難しい」とか「先物市場は玄人相場である²⁾」といった言葉が先物市場で一般的にいわれている。これらの言葉は抽象的である反面、日中の先物市場の値動きのなかには複雑な様相を呈する場合があり、先物市場における市場特性を少なからず指摘している言葉と考えられる。

それでは、先物市場の特性をいかに表現し、かつ立証するべきか。市場特性の表現方法には様々なアプローチがあると考えられる。経済学的枠組みから考えた場合、市場トレーダーの行動に関する経済学的モデルとしては、Grossman and Stiglitz[1980]やKyle[1985]等を起源として様々なモデルが提示されている。また、経済学的枠組みとは別に、市場関係者の戦略を基に市場解析を行う方法としてはエージェントアプローチ、特に代表的な方法として人工市場の構築(LeBaron[2000]、LeBaron[2001]等)が挙げられる。こうしたアプローチに対して、統計学的手法を駆使して経済時系列や金融時系列において市場バイアスを見いだす研究もある。たとえば市場バイアスの存在有無を決定論的構造の存在有無として考察したものにScheinkman, J.A. and B. LeBaron[1989]等がある(金融時系列の決定論性に関するサーベイとしてはLeBaron[1994]が詳しい)。このような決定論的アプローチは局所的な考察になる可能性は高いものの、特定の市場における投資家への説明力としては依然重要であることには間違いない。よって、本稿ではファンダメンタル要因が生起しないほどの超短期間における価格形成を対象として、「市場参加者の売買行動様式によって市場バイアスが形成される可能性」を先物時系列から検証していく³⁾。

第1章では、日経225先物市場におけるTickデータ(短期における価格データ)を使い、先物市場の構造を検証した。ここでは外部的要因の少ない2003年7月から8月の日経225先物を選択した。最初に選択したデータが売り注文と買い注文の間にほとんど乖離がなく、流動性が満たされていることを視覚的に検証した後で、同データを使用して先物の価格形成に市場バイアスが見られるか否かを日毎に検証した。市場バイアスを確認する方法として相関次元(Grassberger and Procaccia[1983])を埋め込み、次元を上げて計測していく際に次元数が飽和すること、ならびにリアプノフスペクトラムのなかに正のリアプノフ指数を含むかを検証した。

第2章では、市場が決定論的構造を示している場合に、次の価格形成が予測可能か否かの検証を行った。かりに市場が決定論的な構造を持つ場合、事前に当情報を事前に知り得るプレイヤーはリターンをあげる可能性を意味する。当章では市場情報を学習する事によってネットワークを構築するニューラルネット(Neural Network)を使う。決定論性がみられた日の途中時点までの時系列をBP法(バックプロパゲーション法)によってニューラルネットに学習させることによってネットワークを構築して、それ以降の予測を行う。

「おわりに」では先物市場の特性に関する市場リスク管理、ならびに投資家への説明に関して講じられるべき政策を考える。

1. 先物市場における日中の価格形成

先物市場の特性は、新たなファンダメンタルズの要因等が市場に出現しないほどの超短期間の市場において検証することが望ましい。本章では実際のザラ場におけるTickデータを使って、先物市場の価格形成に何らかのバイアスがないかを検証する。

1.1. データの選択

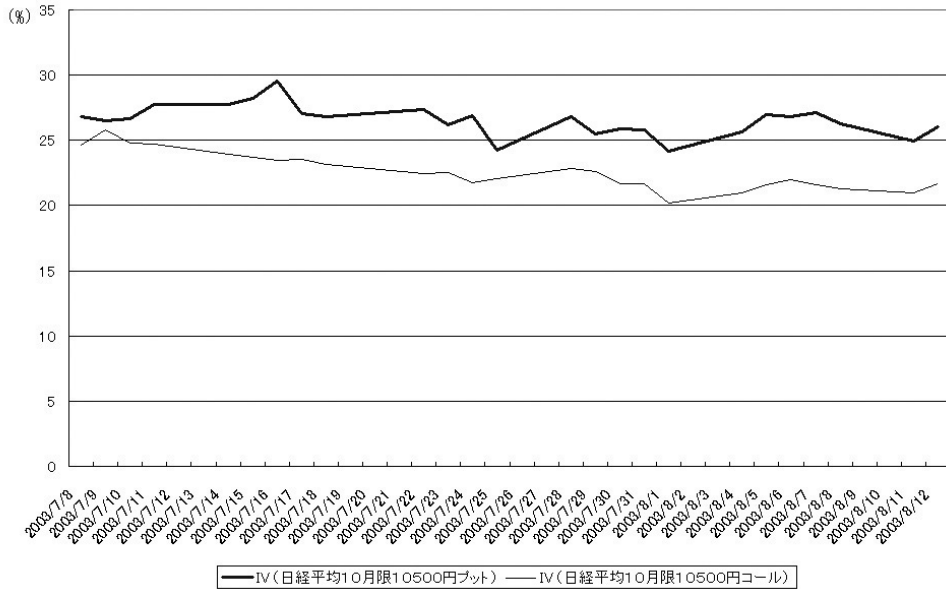
先物の種別と時期における選択基準として、

- (対象とする先物)ビッドサイドとオファーサイドの乖離が少なく流動性の高い銘柄
- (対象とする時期)ファンダメンタルズ等の市場変化が比較的少なく、市場の内部要因を検証できる時期

が必要である。第1に、対象とする先物として日経225先物(大阪証券取引所)を選択した。先物が対象とする「日経225平均」はわが国を代表する修正平均株価であり、1949年以来50年以上にわたり国内の株価動向を表す指標として注目を集めている。1989年にはその先物として、日経225先物が大阪証券取引所に上場された。それ以降、日経225先物市場は、日経225採用銘柄を代表とする国内株式の価格形成の先導役となっている。

第2に、対象とする時期について外部要因にあまり影響されない時期を探索し、2003年7月8日から 2003年8月12日までの25日間の営業日におけるTickデータ⁴⁾を使った。この時期は、たとえば図1の当時のインプライドボラティリティの推移を見ても明らかのように、比較的穏やかな相場状況であり、市場の内部要因を検証するには適切な時期であるといえる。時期を8月12日までとするのは、13日以降は市場が夏休みに入るため、必要以上に閑散となる可能性を排除するためである⁵⁾。

図1 インプライドボラティリティ(2003/7/8 - 2003/8/12)



1.2. 選択したデータに対する流動性の検証

選択した期間においては日中の流動性が確保されていることを検証しておく必要がある。まず25日間のデータを価格変動と価格変動幅から大局的に考察する。例として図2ならびに図3は、2003年7月8日と2003年7月23日の日中の価格変動と価格変動幅を表したものである。縦左目盛りは価格を、縦右目盛りは価格の変動幅を表している。

価格の刻み幅は10円なので、ビッドとオファーの乖離が大きい(流動性が低い)場合、価格変動は刻み幅の絶対値(10円)以上に動くはずである。逆に流動性が高い場合、刻み幅の絶対値は10円となる。例として図2ならびに図3より刻み幅は絶対値10円のケースが圧倒的に多く、流動性が十分に供給されていると考えられる。それ以外の23日間の価格変動と価格変動幅においても、上記2例と同様であった。

以降では、目に見えない市場バイアスとして決定論性の検証を行う。具体的には上で選択した25日間のTickデータに基づき、相関次元計測とリアプノフスペクトラム推定を行い、どのくらいの割合で決定論的構造がみられるのかについて検証を行う⁶⁾。

図2 2003年7月8日の日経平均先物の日中の価格変動と変動幅

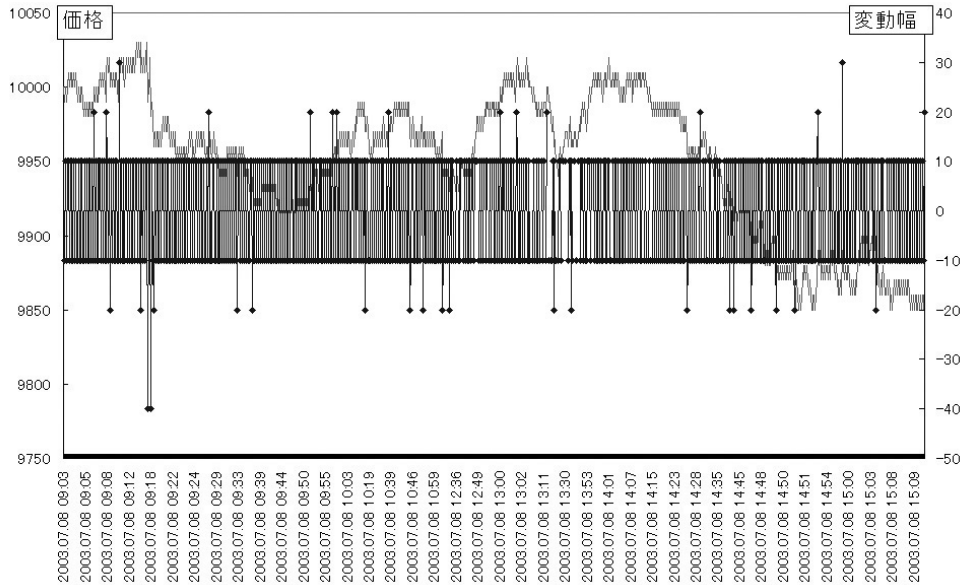
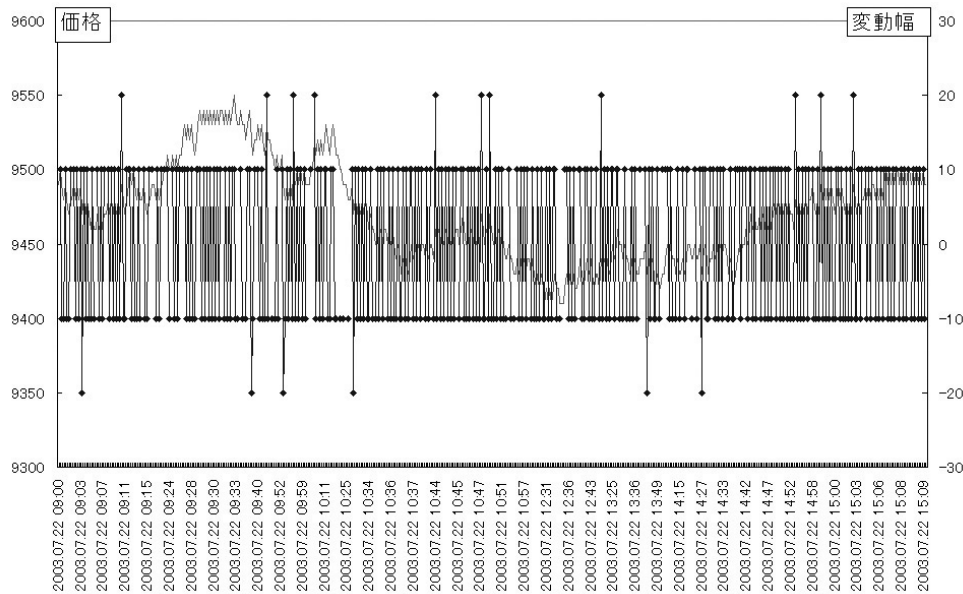


図3 2003年7月22日の日経平均先物の日中の価格変動と変動幅



1.3. 相関次元の測定

フラクタル次元 (Fractal Dimension) の一種である相関次元 (Correlation Dimension) は、その飽和によってアトラクタの存在、すなわち決定論的構造の一種である自己相似性を示唆する。そこで該当データに対して相関次元の推定を行う⁷⁾。埋め込みを行うためのラグの決定については、各時系列の自己相関係数をラグごとに計測し、際限なく0に接近したラグを採用した(方法の一例として7月18日のラグの決定例を図4に示す。ここではもっとも0に接近するラグは156となる)。このようにして得られた25日間のラグについては巻末付録B参考資料2表4を参照せよ。25日間のラグは大きな数値(平均値170.88)となるが、Ramsey, Sayers, and Rothman[1990]の検証等を参考にすれば、妥当な水準と考えられる。

また、該当データはデータ数が少ない割にはラグが大きいいため、次元の埋め込みに関しては大きな次元が採用できず、飽和をきちんと確認できるものが少なかった(たとえば飽和が確認できたものとして7月30日の例を図5、飽和が確認できなかったものとして8月5日の例を図6に挙げる。ここにおいては25日中18日において飽和が確認された(詳細は後述の表2を参照せよ)。

図4 ラグの設定(7月18日の例)

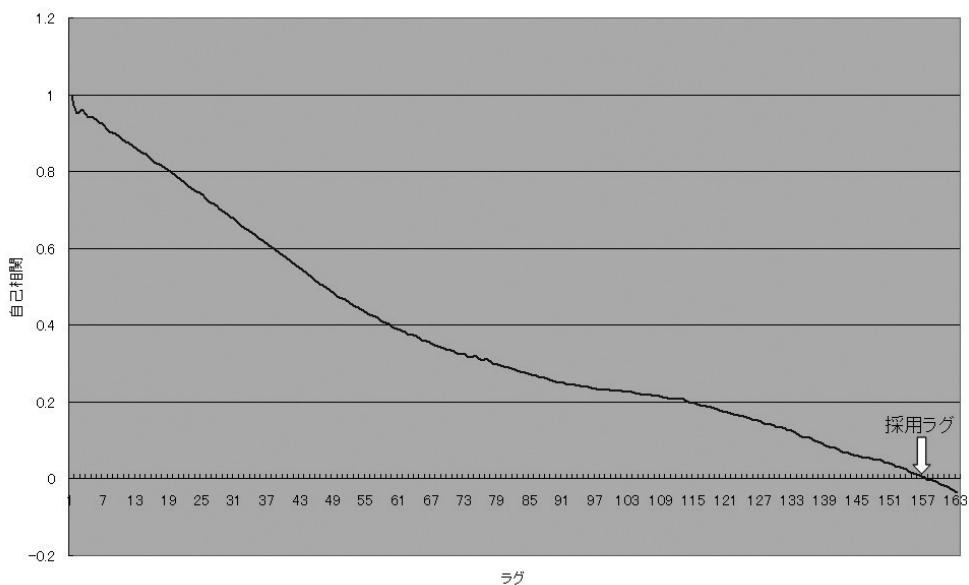


図5 相関次元の飽和が確認できるもの(2003/07/30)

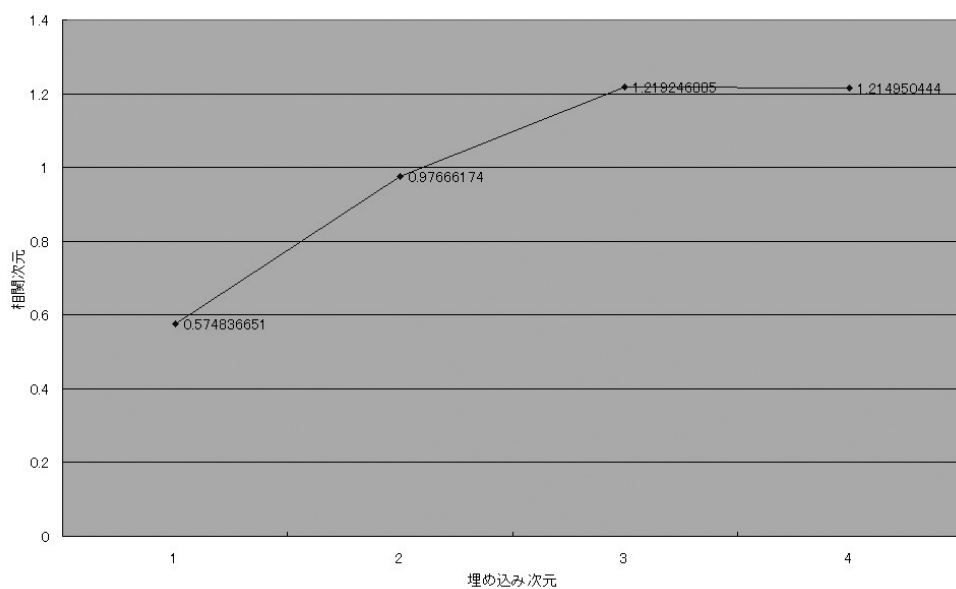
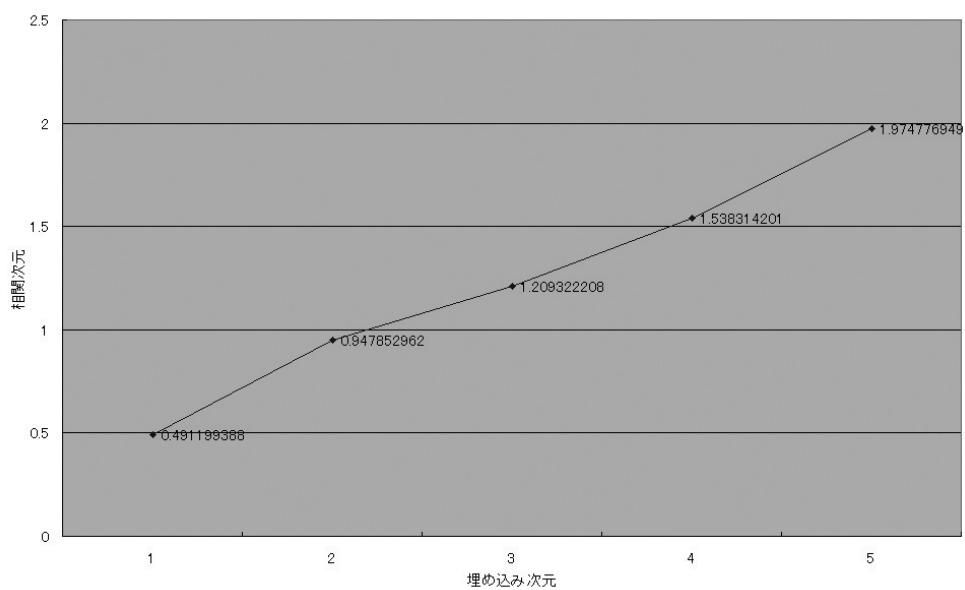


図6 相関次元の飽和が確認できないもの(2003/08/05)



1.4. リアプノフスペクトラム

決定論的構造を利用した予測は短期的には可能であるものの、長期ではその軌道が不安定になることから不可能であるとされている。そこで長期予測不可能性を定量的に評価するための代表的な手法であるリアプノフ指数、そしてその組であるリアプノフスペクトラムを3次元において推定する⁸⁾。またリアプノフ指数に一つでも正の数があれば軌道不安定現象をもたらすものとして決定論的であるとした。25日間の計算結果が表1である⁹⁾。

表1 リアプノフスペクトラム解析

| 月日 | リアプノフ指数1 | リアプノフ指数2 | リアプノフ指数3 |
|------|--------------|--------------|--------------|
| 7/8 | 0.048228514 | -0.442116717 | -1.601092785 |
| 7/9 | 0.008535818 | -0.357210061 | -0.848424914 |
| 7/10 | -0.209171336 | -0.718772086 | -2.144637568 |
| 7/11 | -0.06741124 | -0.564034006 | -1.619256056 |
| 7/14 | -0.003981129 | -0.585488106 | -1.289552944 |
| 7/15 | 0.063818897 | -0.483395363 | -1.556822294 |
| 7/16 | -0.102540073 | -0.613338492 | -1.793032343 |
| 7/17 | 0.062345803 | -0.401927711 | -1.473631337 |
| 7/18 | -0.063780432 | -0.457736433 | -1.268438845 |
| 7/22 | -0.058617162 | -0.460806517 | -1.505227811 |
| 7/23 | -0.028440031 | -0.31393545 | -0.566137523 |
| 7/24 | 0.034878897 | -0.783706076 | -2.331533382 |
| 7/25 | 0.064837982 | -0.702740374 | -1.40967514 |
| 7/28 | -0.124090015 | -0.522705081 | -1.812800732 |
| 7/29 | -0.03764944 | -0.543856237 | -1.977839581 |
| 7/30 | 0.072927801 | -0.527308496 | -1.610835115 |
| 7/31 | -0.109317041 | -0.537187331 | -1.513718079 |
| 8/1 | -0.091507979 | -0.498651075 | -2.061388042 |
| 8/4 | 0.122569114 | -0.305285031 | -1.325308703 |
| 8/5 | 0.042614046 | -0.245088775 | -0.737049899 |
| 8/6 | 0.131376876 | -0.213167247 | -0.582405 |
| 8/7 | -0.157083807 | -0.416179841 | -1.477422044 |
| 8/8 | -0.043652109 | -0.638816228 | -1.384237592 |
| 8/11 | 0.044050715 | -0.569238708 | -2.619827597 |
| 8/12 | -0.163627775 | -0.523347115 | -1.223285901 |

1.5. 決定論性の検証のまとめ

本章で行った決定論性の検証結果をまとめると表2となる。

①相関次元の飽和は18件であり全体の72%、正のリアプノフ数は11件であり全体の44%となった。決定論性を満たす条件として「①相関次元の飽和U ②正のリアプノフ数」を考えた場合、25件中6件であり、全データに対する割合は24%である。市場変動の約4分の1が決定論的な価格変動をすることが判明した。

表2 相関次元とリアプノフスペクトラムの結果

| 月日 | ① 相関次元の飽和 | ② 正のリアプノフ数 | ①U② | ①∩② |
|-------|-----------|------------|-----|-----|
| 07/08 | ○ | ○ | ○ | ○ |
| 07/09 | | ○ | ○ | |
| 07/10 | ○ | | ○ | |
| 07/11 | ○ | | ○ | |
| 07/14 | ○ | | ○ | |
| 07/15 | | ○ | ○ | |
| 07/16 | ○ | | ○ | |
| 07/17 | | ○ | ○ | |
| 07/18 | | | | |
| 07/22 | ○ | | ○ | |
| 07/23 | ○ | | ○ | |
| 07/24 | ○ | ○ | ○ | ○ |
| 07/25 | ○ | ○ | ○ | ○ |
| 07/28 | ○ | | ○ | |
| 07/29 | ○ | | ○ | |
| 07/30 | ○ | ○ | ○ | ○ |
| 07/31 | | | | |
| 08/01 | ○ | | ○ | |
| 08/04 | ○ | ○ | ○ | ○ |
| 08/05 | | ○ | ○ | |
| 08/06 | ○ | ○ | ○ | ○ |
| 08/07 | ○ | | ○ | |
| 08/08 | ○ | | ○ | |
| 08/11 | | ○ | ○ | |
| 08/12 | ○ | | ○ | |
| (結果) | 72% | 44% | 92% | 24% |

2. 決定論的構造と予測

前章では日経225先物のTickデータに対して相関次元とリアプノフスペクトラムを使い検証を行った結果、時系列の一部に決定論的構造が確認できた。ただし、決定論的構造があれば次の価格形成への決定論的予測が機能するはずであろう。そこで本章では予測モデルの具体化を目指して予測を行った。

2.1. ネットワーク構築

決定論的構造をもつ時系列を予測するモデルとして、BP (Back Propagation, バックプロパゲーション法) 等を学習関数として持つニューラルネット (Neural Network) が有効であると考えられる。ニューラルネットは金融の分野に関する応用の有意性は広く検証されている (たとえばChen, Chianglin and Chung [2001] やNASDAQ取引市場に対してニューラルネットによる予測を行った拙稿Adachi[2004]等)。また1990年頃からわが国の金融機関でも金融市場の予測に応用されてきたことが有名である。

本稿では第1章で戦略関数を8つに限定した経緯から、基本的には8要素をモデルの基底と考え、本章では入力層 (Input Layers)、中間層 (Hidden Layers) のニューロン数をそれぞれ8個とするネットワークを構築した。また非線形予測の結果をはっきりと明示するために出力層 (Output Layers) のニューロン数を1個とした。

入力層のニューロンを P_i (ただし $i = 1, \dots, 8$)、その出力を \hat{P}_i 、中間層のニューロンを Q_j (ただし $j = 1, \dots, 8$)、その出力を \hat{Q}_j 、出力層のニューロンを ϕ 、その出力を $\hat{\phi}$ とする。ここで出力 \hat{P}_i の重みを μ_{ij} (64個)、 \hat{Q}_j の重みを ω_j (8個) とする。また、 Q_j における閾値を λ_j 、 ϕ における閾値を $\tilde{\lambda}$ とする。ロジスティック関数を $LG(x) = \frac{1}{1 + \exp(-x)}$ として、 \hat{Q}_j と $\hat{\phi}$ について、

$$(2.1) \quad \hat{Q}_j = LG\left(\sum_i \mu_{ij} \hat{P}_i + \lambda_j\right)$$

$$(2.2) \quad \hat{\phi} = LG\left(\sum_j \omega_j \hat{Q}_j + \tilde{\lambda}\right)$$

とするモデルを考える。BP法は教師信号と出力値との誤差を二乗した二乗誤差を最小化させるために最急降下法を使いながらパラメータを推定する。

2.2. モデルと予測

ここでは検証の一例として8月6日の途中時系列までをBP法でネットワークに学習させ、ネットワークを構築し予測を行わせる。具体的には、寄りつき以降14時台の最後に寄りついた価格までをBP法で学習するネットワークを作り、15時以降の予測を行う (本邦証券市場は15時までの取引を行っている銘柄が大多数であるが、日経225先物に関して取引は15時10分まで行われている)。オーバーフィットペナルティを0.001として寄りつきから14時59分台の最後の価格までをBP法で学習させた結果、出力層のニューロンにおける出力 $\hat{\phi}$ は以下のように推定された。ただし実際に予測に用いる場合は日経平均先物の価格変動は10円刻みなので、予測の際は $\hat{\phi}$ を四捨五入した。

$$(2.3) \quad \hat{\phi} = 10.4488981239869 \times \begin{pmatrix} 1.30787103925217 \cdot Q_1(M) \\ +0.582944559298952 \cdot Q_2(M) \\ +0.846600128574116 \cdot Q_3(M) \\ +1.7304969705696 \cdot Q_4(M) \\ -1.08686507179595 \cdot Q_5(M) \\ -0.605850657165913 \cdot Q_6(M) \\ +0.838428417486991 \cdot Q_7(M) \\ +2.65597088450876 \cdot Q_8(M) \\ -3.30540836000871 \end{pmatrix} + 0.110759493670886$$

ただしロジスティック関数として、 $LG(x) = \frac{1}{1 + \exp(-x)}$ また $M(t-1, t-2)$ を $t-1$ 期と $t-2$ 期の間の価格変動として、

$$(2.4) \quad Q_1(M) = LG \begin{pmatrix} 12.0006465431449 \cdot \frac{M(t-1, t-2) - 0.110759493670886}{10.4488981239869} \\ +0.526358693483946 \cdot \frac{M(t-2, t-3) - 0.110759493670886}{10.4488981239869} \\ +9.07197445833474 \cdot \frac{M(t-3, t-4) - 0.110759493670886}{10.4488981239869} \\ +7.98540249338754 \cdot \frac{M(t-4, t-5) - 0.110759493670886}{10.4491861013356} \\ +5.97602372649721 \cdot \frac{M(t-5, t-6) - 0.110759493670886}{10.4491861013356} \\ -1.52327659592825 \cdot \frac{M(t-6, t-7) - 0.110759493670886}{10.4488981239869} \\ -0.0791139240506329 \cdot \frac{M(t-7, t-8) - 0.0474683544303798}{10.4491861013356} \\ -7.56046572969646 \cdot \frac{M(t-8, t-9) - 0.0949367088607595}{10.4262791078133} \\ -5.14587142704583 \end{pmatrix}$$

11

$$(2.5) \quad Q_2(M) = LG \begin{pmatrix} -8.3549781681667 \cdot \frac{M(t-1, t-2) - 0.110759493670886}{10.4488981239869} \\ -0.305887321314153 \cdot \frac{M(t-2, t-3) - 0.110759493670886}{10.4488981239869} \\ +3.93354121497329 \cdot \frac{M(t-3, t-4) - 0.110759493670886}{10.4488981239869} \\ -3.20975455796418 \cdot \frac{M(t-4, t-5) - 0.0791139240506329}{10.4491861013356} \\ +1.27249200505615 \cdot \frac{M(t-5, t-6) - 0.110759493670886}{10.4491861013356} \\ +0.495492878453142 \cdot \frac{M(t-6, t-7) - 0.0791139240506329}{10.4488981239869} \\ -0.947494009627059 \cdot \frac{M(t-7, t-8) - 0.0474683544303798}{10.4491861013356} \\ -4.65919401947326 \cdot \frac{M(t-8, t-9) - 0.0949367088607595}{10.4262791078133} \\ +2.11749146863905 \end{pmatrix}$$

(2.6)

$$\mathbb{Q}_3(M) = LG \left(\begin{array}{l} 8.49311510636223 \cdot \frac{M(t-1, t-2) - 0.110759493670886}{10.4488981239869} \\ -3.78144983970714 \cdot \frac{M(t-2, t-3) - 0.110759493670886}{10.4488981239869} \\ -10.1448250275482 \cdot \frac{M(t-3, t-4) - 0.110759493670886}{10.4488981239869} \\ -4.48408363284265 \cdot \frac{M(t-4, t-5) - 0.110759493670886}{10.4491861013356} \\ +9.77579650117918 \cdot \frac{M(t-5, t-6) - 0.110759493670886}{10.4491861013356} \\ -7.15657171858249 \cdot \frac{M(t-6, t-7) - 0.110759493670886}{10.4488981239869} \\ +5.27946040397652 \cdot \frac{M(t-7, t-8) - 0.0474683544303798}{10.4491861013356} \\ +9.97192108975076 \cdot \frac{M(t-8, t-9) - 0.0949367088607595}{0.4262791078133} \\ +8.65741719578274 \end{array} \right)$$

(2.7)

$$\mathbb{Q}_4(M) = LG \left(\begin{array}{l} 1.1566695546029 \cdot \frac{M(t-1, t-2) - 0.110759493670886}{10.4488981239869} \\ -1.00961574642897 \cdot \frac{M(t-2, t-3) - 0.110759493670886}{10.4488981239869} \\ +0.463709986215145 \cdot \frac{M(t-3, t-4) - 0.110759493670886}{10.4488981239869} \\ +0.522624079822711 \cdot \frac{M(t-4, t-5) - 0.110759493670886}{10.4491861013356} \\ +0.159130864117476 \cdot \frac{M(t-5, t-6) - 0.110759493670886}{10.4491861013356} \\ +0.899863896685185 \cdot \frac{M(t-6, t-7) - 0.110759493670886}{10.4488981239869} \\ -0.542206017882873 \cdot \frac{M(t-7, t-8) - 0.0474683544303798}{10.4491861013356} \\ -0.726274940441625 \cdot \frac{M(t-8, t-9) - 0.0949367088607595}{10.4262791078133} \\ +0.312690669747453 \end{array} \right)$$

(2.8)

$$\mathbb{Q}_5(M) = LG \left(\begin{array}{l} -0.832327580786404 \cdot \frac{M(t-1, t-2) - 0.110759493670886}{10.4488981239869} \\ -2.18062453357391 \cdot \frac{M(t-2, t-3) - 0.110759493670886}{10.4488981239869} \\ +14.2123206609629 \cdot \frac{M(t-3, t-4) - 0.110759493670886}{10.4488981239869} \\ +7.69173452752421 \cdot \frac{M(t-4, t-5) - 0.110759493670886}{10.4491861013356} \\ +1.88817933115655 \cdot \frac{M(t-5, t-6) - 0.110759493670886}{10.4491861013356} \\ -1.54721867468285 \cdot \frac{M(t-6, t-7) - 0.110759493670886}{10.4488981239869} \\ -4.46433224961548 \cdot \frac{M(t-7, t-8) - 0.0474683544303798}{10.4491861013356} \\ -2.62880170998375 \cdot \frac{M(t-8, t-9) - 0.0949367088607595}{10.4262791078133} \\ +4.75463330434576 \end{array} \right)$$

(2.9)

$$\mathbb{Q}_6(M) = LG \left(\begin{array}{l} 10.8502216738289 \cdot \frac{M(t-1, t-2) - 0.110759493670886}{10.4488981239869} \\ +6.19693753208913 \cdot \frac{M(t-2, t-3) - 0.110759493670886}{10.4488981239869} \\ -2.51470041393928 \cdot \frac{M(t-3, t-4) - 0.110759493670886}{10.4488981239869} \\ -6.06537434522952 \cdot \frac{M(t-4, t-5) - 0.110759493670886}{10.4491861013356} \\ +9.79330358120585 \cdot \frac{M(t-5, t-6) - 0.110759493670886}{10.4491861013356} \\ +12.0396003903856 \cdot \frac{M(t-6, t-7) - 0.110759493670886}{10.4488981239869} \\ +5.49743292975321 \cdot \frac{M(t-7, t-8) - 0.0474683544303798}{10.4491861013356} \\ -5.32762778136576 \cdot \frac{M(t-8, t-9) - 0.0949367088607595}{10.4262791078133} \\ +4.43386573008435 \end{array} \right)$$

(2.10)

$$\mathbb{Q}_7(M) = LG \left(\begin{array}{l} -5.90967664319465 \cdot \frac{M(t-1, t-2) - 0.110759493670886}{10.4488981239869} \\ +3.54854556849056 \cdot \frac{M(t-2, t-3) - 0.110759493670886}{10.4488981239869} \\ -1.08772423198068 \cdot \frac{M(t-3, t-4) - 0.110759493670886}{10.4488981239869} \\ +3.13153770084263 \cdot \frac{M(t-4, t-5) - 0.110759493670886}{10.4491861013356} \\ -0.0940498769371503 \cdot \frac{M(t-5, t-6) - 0.110759493670886}{10.4491861013356} \\ +8.54548821689297 \cdot \frac{M(t-6, t-7) - 0.110759493670886}{10.4488981239869} \\ +1.95345983765536 \cdot \frac{M(t-7, t-8) - 0.0474683544303798}{10.4491861013356} \\ +10.3482152027669 \cdot \frac{M(t-8, t-9) - 0.0949367088607595}{10.4262791078133} \\ +10.9424366175228 \end{array} \right)$$

13

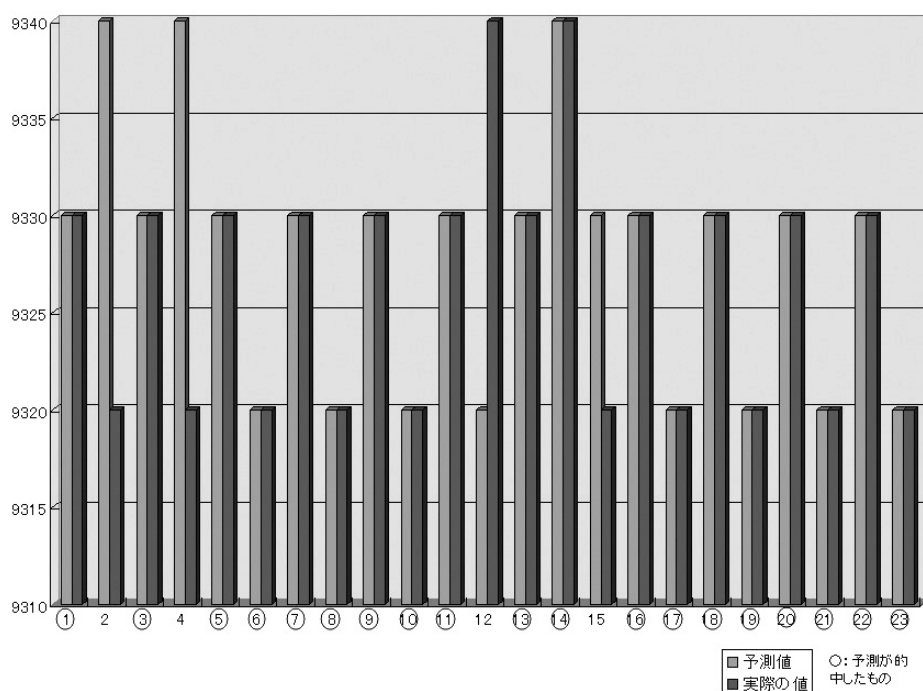
(2.11)

$$\mathbb{Q}_8(M) = LG \left(\begin{array}{l} -5.46681879529367 \cdot \frac{M(t-1, t-2) - 0.110759493670886}{10.4488981239869} \\ +1.34940785055915 \cdot \frac{M(t-2, t-3) - 0.110759493670886}{10.4488981239869} \\ +0.31574897405588 \cdot \frac{M(t-3, t-4) - 0.110759493670886}{10.4488981239869} \\ -3.29256518411131 \cdot \frac{M(t-4, t-5) - 0.110759493670886}{10.4491861013356} \\ -2.17399352687388 \cdot \frac{M(t-5, t-6) - 0.110759493670886}{10.4491861013356} \\ -0.733086429346756 \cdot \frac{M(t-6, t-7) - 0.110759493670886}{10.4488981239869} \\ -0.238997070792672 \cdot \frac{M(t-7, t-8) - 0.0474683544303798}{10.4491861013356} \\ +0.637651445855319 \cdot \frac{M(t-8, t-9) - 0.0949367088607595}{10.4262791078133} \\ +0.605661029304594 \end{array} \right)$$

2.3. 予測

得られたネットワークを使って15時以降、次の価格変化を20期ほど予測した(結果は図7)。予測開始直後(2期、4期)は大きく予測を外すこともあったが、その後予測の軌道は正確となっていった。ただしそれ以降では、時間を発展するうえでまた予測を外す頻度が大きくなっていった。短期間(予測開始から5~20期くらい)の予測は可能であるが、長期には予測不可能性をもつことは他の決定論的フレームワークとも合致する点である。もし相関次元やリアプノフスペクトラムによって市場に決定論性がみられるならば決定論的方法で予測が有意であることを示したといえる。

図7 ニューラルネットによる予測と実際(8月6日の例) 14時59分台までの動きを学習し、15時からの価格変動の予測を行ったもの



3. おわりに —投資家への説明と資本市場政策

本稿では、証券先物価格変動に市場バイアスが形成されているかを決定論的視点から検証した。第1章で日経225先物市場の日中の価格形成において一定の確率の下で決定論的になる可能性を示唆した。また、第2章では市場バイアスの存在を情報として得た市場参加者が、市場動向を予測可能であることを示唆した。本稿は市場バイアスの存在可能性を決定論的視点から検証したが、市場で決定論構造がいつ具現するか、また決定論的構造がどのような間隔で存在しているか、等の課題については解明していない。これらの問題については、より長期の日数にわたってTickデータを詳細に

検討する必要があるため今後の課題としたい。

最後に、本稿の結果から得られる現実へのインプリケーションを2点にまとめる。第1に、本稿が示した市場バイアスは(各種アプローチそれぞれにおいて様々な解釈が可能であろうが)その存在可能性を否定できないものであろう。こうしたバイアスの存在について今後さらに検証されることが望ましい。また今後様々な市場バイアスが検証されていくとすれば、証券取引所はそうした市場バイアスについて明記し、投資家に注意を喚起することが必要となろう。本邦証券先物市場において新規参加者が増加する昨今、(ラフな言い方をすれば)玄人相場化している市場の状況を伝える事が可能である。また万が一、バイアスに関する情報が証券取引所の説明責任を超えることになる場合でも、投資家保護という高い視点に立脚し、関連省庁が説明責任を果たしていく必要があると思われる。

第2に、本稿が示したように、かりに先物の市場バイアスが決定論的構造のフレームワークで説明する事が明確になれば、従来の市場リスク管理法に対しては工夫・改良が必要である。実務ではBlack and Scholes[1973]に由来する一般的な市場リスク管理法(デルタヘッジ等)が、日中の超短期間における市場リスク管理においても有効であるとされている。こうした方法は金融時系列を確率過程と見なすことによってボラティリティベースのリスク管理を目標として、市場予測の可能性を予め放棄している点に特徴がある。ただし、時系列に決定論的構造が確認できる場合の市場リスク管理法は市場予測可能性を放棄する従来の方法ではなく、市場予測可能性の信頼から始まる筈である。その意味でたとえば、複雑系工学が提唱するような各種の視点に立脚する技術開発を積極的に考えていく必要を感じる。本稿の結果は、超短期間においては人間の発想やアイデアの幅には限界があり、そこには通常の日常生活における思考よりもシンプルな思考が展開されるため、戦略ゲームが特定の袋小路に陥る(決定論的になる)ことを示唆しているといえよう。このような市場リスク管理を行うためには、人間の脳のメカニズムの解明を含めてより原理的な視点からモデルを構築していく必要があるのではないだろうか。

付録A参考資料1
表3 基礎統計データ(日経225先物)

| 月日 | データ数 | 平均値 | 中央値 | 最頻値 | 標準偏差 |
|------|------|-------------|------|------|-------------|
| 7/8 | 948 | 9950.400844 | 9960 | 9960 | 46.31337724 |
| 7/9 | 871 | 9908.392652 | 9900 | 9880 | 52.0626249 |
| 7/10 | 1010 | 9983.930693 | 9980 | 9940 | 40.40546662 |
| 7/11 | 999 | 9692.772773 | 9680 | 9650 | 60.91502853 |
| 7/14 | 687 | 9735.03639 | 9740 | 9740 | 32.29271394 |
| 7/15 | 756 | 9837.910053 | 9850 | 9880 | 45.18245401 |
| 7/16 | 891 | 9720.617284 | 9720 | 9730 | 43.99898484 |
| 7/17 | 669 | 9541.434978 | 9540 | 9550 | 27.29914185 |
| 7/18 | 694 | 9526.541787 | 9530 | 9530 | 33.86375145 |
| 7/22 | 510 | 9470.686275 | 9470 | 9480 | 31.97677829 |
| 7/23 | 575 | 9599.982609 | 9600 | 9600 | 18.51168884 |
| 7/24 | 575 | 9660.852174 | 9660 | 9670 | 34.18239748 |
| 7/25 | 496 | 9636.975806 | 9640 | 9670 | 34.66036393 |
| 7/28 | 445 | 9811.303371 | 9800 | 9790 | 29.35661615 |
| 7/29 | 522 | 9864.616858 | 9860 | 9840 | 30.7354938 |
| 7/30 | 761 | 9728.212878 | 9750 | 9790 | 68.07860698 |
| 7/31 | 734 | 9572.643052 | 9570 | 9570 | 35.10795045 |
| 8/1 | 627 | 9579.936204 | 9580 | 9580 | 32.37651518 |
| 8/4 | 687 | 9482.459971 | 9480 | 9470 | 22.82340141 |
| 8/5 | 875 | 9360.64 | 9360 | 9330 | 32.14386995 |
| 8/6 | 776 | 9325.953608 | 9320 | 9310 | 24.30171453 |
| 8/7 | 525 | 9279.104762 | 9280 | 9250 | 30.38805128 |
| 8/8 | 662 | 9310.468278 | 9310 | 9320 | 27.51852172 |
| 8/11 | 624 | 9422.179487 | 9420 | 9420 | 42.74370027 |
| 8/12 | 450 | 9571 | 9570 | 9580 | 24.8133343 |

付録B参考資料2

表4 自己相関

| 月日 | ①推定ラグ | ②自己相関 |
|-------|--------|-----------|
| 07/08 | 160 | 0.0042 |
| 07/09 | 210 | 0.0048 |
| 07/10 | 206 | 0.0043 |
| 07/11 | 320 | 0.0023 |
| 07/14 | 192 | 0.0031 |
| 07/15 | 255 | 0.0005 |
| 07/16 | 191 | 0.0018 |
| 07/17 | 248 | 0.0014 |
| 07/18 | 156 | 0.005 |
| 07/22 | 106 | 0.0032 |
| 07/23 | 104 | 0.0044 |
| 07/24 | 83 | 0.0018 |
| 07/25 | 158 | 0.0046 |
| 07/28 | 123 | 0.0053 |
| 07/29 | 153 | 0.0021 |
| 07/30 | 249 | 0.0019 |
| 07/31 | 140 | 0.0054 |
| 08/01 | 147 | 0.0032 |
| 08/04 | 120 | 0.0081 |
| 08/05 | 212 | 0.0005 |
| 08/06 | 130 | 0.0005 |
| 08/07 | 149 | 0.0006 |
| 08/08 | 133 | 0.0131 |
| 08/11 | 233 | 0.00018 |
| 08/12 | 94 | 0.0026 |
| 平均値 | 170.88 | 0.0033952 |

【参考文献】

- [1] Adachi, M. [2004] “Applying Neural Networks to the Extraction of Available Investment Information from the Previous Day’s Stock Market”, *NUCB Journal of Economics and Information Science* (名古屋商科大学総合経営・経営情報学部論集) 48, No2, 13-22
- [2] Black, F. and M. Scholes [1973] “The Pricing of Options and Corporate Liabilities”, *Journal of Political Economy* 81, 637-659
- [3] Chen, A.P., Chianglin C.Y., and H.P.Chung [2001] “Establishing an Index Arbitrage Model by Applying Neural Networks Method - A Case Study of Nikkei 225 Index”, *International Journal of Neural Systems* 11, 489-496

- [4] Grassberger, P. and I. Procaccia [1983] “Measuring the Strangeness of Strange Attractors”, *Physica D* 9, 189-208
- [5] Grossman, S. and J.E. Stieglitz [1980] “On the Impossibility of Informationally Efficient Markets”, *American Economic Review* 70, 393-408
- [6] Kyle, A.S. [1985] “Continuous Auctions and Insider Trading”, *Econometrica* 53, 1315-1335
- [7] Lebaron, B. [1994] “Chaos and Nonlinear Forecastability in Economics and Finance”, *Philosophical Transactions of the Royal Society of London (A)* 348, 397-404
- [8] Lebaron, B. [2000] “Agent Based Computational Finance: Suggested Readings and Early Research”, *Journal of Economic Dynamics and Control* 24, 679-702
- [9] Lebaron, B. [2001] “A builder’s guide to agent-based financial markets”, *Quantitative Finance* 1, 254-261
- [10] Ramsey, J.B., Sayers, C.L., and P. Rothman [1990] “The Statistical Properties of Dimension Calculations Using Small Data Sets”, *International Economic Review* 31, 991-1020
- [11] Scheinkman, J.A. and B. Lebaron [1989] “Nonlinear Dynamics and Stock Returns”, *Journal of Business* 62, No3, 311-337
- [12] Wang, C. [2003] “The behavior and performance of major types of futures traders”, *Journal of Futures Markets* 23, 1-31

註

- 1) 大阪証券取引所ホームページより。
- 2) 先物市場は玄人相場であるという従来の考えに対して、新興の日経225mini市場は個人投資家が取引者の半分以上を占めているので素人相場である、という考え方もある。ただし、玄人相場となる日経225先物市場、シンガポール証券取引所(SGX)からの価格裁定が当市場にも常に入るため、価格変動は独立しているわけではない。
- 3) 万が一価格形成にファンダメンタルズを配慮してしまうと、市場の特性を識別することは困難であると考えられる。
- 4) これらのデータについては株式会社Quickから提供を受けた。
- 5) これらの基礎統計データは付録Aを参照せよ
- 6) 本稿では行っていないが、決定論的構造の判断には視覚的な判断、たとえば

リカレンスプロットの重要性も加味すべきであろう。

- 7) Grassberger and Procaccia [1983]の相関次元は、旧来行われていた次元測定(容量次元や情報次元等)に対して、ヘヴィサイド関数を導入することによる計測方法を提供した。方法は以下の相関積分を計算した後、相関次元を測定していく。

(相関積分)

T 個の時系列(Z_1, Z_2, \dots, Z_T)が与えられた時、2体相関関数の積分を求めることができる。

n 次元空間における立方体の一辺の長さ、または n 次元球の半径を l として、

その相関積分($C(l)$)を

$$C(l) = \lim_{T \rightarrow \infty} \frac{2}{T(T-1)} \sum_{i < j} \zeta(Z_i, Z_j)$$

とおく。ただし、 $|Z_i, Z_j|$ を Z_i, Z_j のノルムとして、

$$\|Z_i, Z_j\| < l \text{ の場合、 } \zeta(Z_i, Z_j) = 1$$

$$\|Z_i, Z_j\| \geq l \text{ の場合、 } \zeta(Z_i, Z_j) = 0$$

(相関次元)

相関次元を $D(l)$ とすれば、

$$D(l) = \lim_{l \rightarrow \infty} \frac{\log C(l)}{\log l}$$

- 8) T 個の時系列(Z_1, Z_2, \dots, Z_T)が与えられた時、3次元系における写像 g を考えて、

$$Z_{t+1} = g(Z_t),$$

Z_t における g のヤコビアン行列を G_t として、

$$G_t = \begin{bmatrix} \frac{\partial g_1}{\partial z_1} & \frac{\partial g_1}{\partial z_2} & \frac{\partial g_1}{\partial z_3} \\ \frac{\partial g_2}{\partial z_1} & \frac{\partial g_2}{\partial z_2} & \frac{\partial g_2}{\partial z_3} \\ \frac{\partial g_3}{\partial z_1} & \frac{\partial g_3}{\partial z_2} & \frac{\partial g_3}{\partial z_3} \end{bmatrix}$$

とする。さらに、

$$\mathfrak{S}(M) = \left\{ \left(\prod_{t=0}^M G_t \right)^\dagger \left(\prod_{t=0}^M G_t \right) \right\}^{\frac{1}{2M}}$$

として、 $\mathfrak{S}(M)$ の固有値を求める。計算のために $M=100$ とした。

- 9) 25日間のなかには特異行列のため、ヤコビ行列を推定できない日(7月9日、8月4日)が存在した。この場合はラグを一期ずつ減らす事で計算した。