

博士学位論文審査要旨

2020年1月8日

論文題目：A Study on Sound Symbolism: The Cognitive and Neural Mechanism Underlying the Sound-meaning Correspondence in Language
音象徴に関する研究：言語における音と意味の対応関係を支える認知科学的仕組みとその神経機構

学位申請者：板垣 沙知

審査委員：

主査：生命医科学研究科 教授 飛龍 志津子

副査：生命医科学研究科 准教授 小林 耕太

副査：白梅学園大学 子ども学研究科 准教授 松田 佳尚

要旨：

ヒトは言語を用いたコミュニケーションをおこない、言語はヒトをヒトたらしめるものである。我々は言語を習得する過程で音と意味の対応関係を学ぶが、自然言語においてはこの対応関係は任意のものであると考えられてきた。しかし、この対応関係が任意のものではないとする考え方もあり、その一つが音象徴である。音象徴とは、音そのものが特定の印象を有する現象のことを指す。音象徴が何によって引き起こされるのか、どのように獲得されるのかは、まだ明らかになっていない。音象徴には音響的特徴量だけではなく発話の運動経験や、言葉を聞く経験が重要な役割を果たすと考えられる。一方で、音象徴が言語学習や言語獲得に貢献する可能性も考えられる。そこで、本研究では音象徴に貢献する脳領域や言語発達時期に着目し、音象徴の生理メカニズムおよび言語獲得のメカニズムの解明を目指した。

本研究では、音象徴の神経機構を明らかにするために脳活動を機能的磁気共鳴画像法により計測した。その結果、音象徴に関連する認知課題の遂行時には、前帯状皮質や音韻知覚に関連する左中側頭回および右上側頭回が賦活することが確認された。さらに、音韻知覚に関与する運動（発話）領域も音象徴に関連して活動することが分かった。このことから、音象徴には音韻知覚、特に知覚・運動関連領域の活動が寄与する可能性が示された。

また、言語発達と音象徴の関係を明らかにするために言語発達時期である生後9～15ヵ月児の乳幼児を対象に音象徴に関連する行動反応を計測した。その結果、音の種類によって音象徴の獲得時期が異なり、純音、単音節音、複数音節音の順番で獲得されることが分かった。

本論文の結果から、語音（音素）の知覚に関連する知覚・運動皮質が音象徴に貢献し、乳幼児においては言語発達に伴い構音に関与する神経ネットワークが完成されるのに伴って音象徴が獲得されることが示唆された。本論文で得られた成果は、音象徴が言語獲得の生物学的な基盤として機能する可能性を示している。これらの知見は、言語の発達や学習を補助する技術の開発や、言語以外の音を用いたインターフェイスの発展にも重要な寄与を果たしえる。よって、本論文は博士（工学）（同志社大学）の学位論文として十分に価値あるものと認める。

総合試験結果の要旨

2020年1月8日

論文題目：A Study on Sound Symbolism: The Cognitive and Neural Mechanism Underlying the Sound-meaning Correspondence in Language
音象徴に関する研究：言語における音と意味の対応関係を支える認知科学的仕組みとその神経機構

学位申請者：板垣 沙知

審査委員：

主査：生命医科学研究科 教授 飛龍志津子

副査：生命医科学研究科 准教授 小林耕太

副査：白梅学園大学 子ども学研究科 准教授 松田 佳尚

要 旨：

本論文提出者は、2017年4月に本学大学院生命医科学研究科医工学・医情報学専攻医情報学コース後期課程に入学し、本学のリサーチアシスタントならびに日本学術振興会の特別研究員（DC1）として、各年度において精力的な研究活動を展開してきた。また、本研究科修了に必要な所定の単位を修得するとともに、英語の語学試験にも合格し、学位取得について十分な能力があると認定されている。

本論文の主要部分は、Scientific Reports 誌や Acoustic Science and Technology（日本音響学会誌）に掲載済みであり、博士後期課程在学中に5報の国際会議ならびに6報の国内会議において研究成果を報告している。研究活動の質の高さは関係学会から高く評価されており、これらの発表のうちの1報は最優秀賞（新学術領域「共創言語進化」第3回全体会議）を受賞している。2020年1月8日午後3時から約1時間にわたり提出論文に関する学術講演会（博士論文公聴会）が開かれ、種々の質疑応答が行われたが、提出者の説明によりいずれも十分な理解が得られた。

さらに公聴会終了後、論文に関係した諸問題について、審査委員による口頭試験を実施した結果、提出者の十分な学力を確認することができた。

よって、総合試験の結果は合格であると認める。

博士學位論文要旨

論文題目： A Study on Sound Symbolism: The Cognitive and Neural Mechanism Underlying the Sound-meaning Correspondence in Language

音象徴に関する研究：言語における音と意味の対応関係を支える認知科学的仕組みとその神経機構

氏名：板垣 沙知

要旨：

様々な動物が鳴き声などを用いて互いにコミュニケーションをとっている。中でも、ヒトは言語をコミュニケーションに用いる動物であり、言語はヒトをヒトたらしめるものである。我々はいくつかの段階を経て言語を習得しており、まず音(言葉)と意味の対応関係を覚えることから始め、その後文法を学習することで複雑な文章を操ることができるようになっていく。これまで、自然言語における音と意味の対応関係は、任意の関係であるとされてきた。一方で、この音と意味の対応関係が完全な任意のものではないとする考え方があり、完全な任意性を否定するもの1つとして Sound symbolism という現象がある。

Sound symbolism とは、音そのものが特定の印象を有する現象のことを指す。つまり、我々が音そのものに何かしらの印象を抱いているということである。この Sound symbolism の有名な実験の例として、“maluma-takete effect” や “bouba-kiki effect” がある。これらの実験では、被験者はそれぞれの言葉にあうサイズや形状を選択することが求められた。被験者の多くが “maluma” や “bouba” という言葉に対してサイズが大きいモノや丸い図形を選び、一方で “takete” や “kiki” という言葉にはサイズが小さいモノや尖った図形を選ぶことが報告されている。言い換えれば、言葉と特定の印象が結びついており、“maluma” や “bouba” といった言葉に抱く印象と “takete” や “kiki” という言葉に抱く印象が異なるということである。様々な先行研究により、Sound symbolism は被験者の母語に関わらず観察されることや言語獲得以前の乳幼児においても観察されることが報告されている。しかしながら、Sound symbolism が何によって引き起こされているのか、また Sound symbolism がどのように獲得されるのかといったことはまだ明らかになっていない。Sound symbolism には言葉の音響的特徴量だけではなく発話に関わる運動経験や環境音や擬音語、擬態語といった言葉への経験が重要な役割を果たすだろう。一方で、Sound symbolism が言語学習や言語獲得に貢献する可能性も考えられる。そこで、本研究では Sound symbolism に貢献する脳領域や言語発達時期における Sound symbolism に着目し、Sound symbolism のメカニズムや言語獲得のメカニズムの解明を目指した。

第1章では、様々な種類の Sound symbolism について紹介するとともに、Sound symbolism を引き起こすと考えられる要因を整理し、研究の動機、目的について述べた。

第2章では、Sound symbolism の神経機構を明らかにするために脳機能計測を用いた研究について示した。まず、機能的磁気共鳴画像法(functional magnetic resonance imaging, fMRI)を用いた Sound symbolism の実験手法を確立した。単音節を2つ繰り返した単語のような音声 “bobo” および “pipi” を音刺激として使用し、被験者はこれらの音声を聞きながら視覚的な大きさ判断をするように求められた。音刺激から想起される印象と視覚刺激から想起される印象が一致している場合を一致条件とし、一致していない場合を不一致条件として大きさ判断にかかる反応時間を比較した。その結果、一致条件よりも不一致条件において反応時間が長くなった。すなわち、Sound symbolism に則した組み合わせの方が反応を促進させたことが示唆された。同時に計測された脳活動から、不一致条件において両側の前帯状皮質が賦活することが分かった。

この領域は、対立課題を遂行している際に賦活することが報告されている。さらに、音韻知覚に関連すると報告されている左中側頭回や右上側頭回も不一致条件においてより賦活することが分かった。これらの結果から、不一致条件では対立課題のように知覚されており、単音節を重ねた音刺激でも Sound symbolism が観察されることや音韻知覚に関連する脳領域が Sound symbolism に貢献することが示唆された。

第3章では、音韻知覚と Sound symbolism の関係を認知学的な手法により計測した研究結果を示した。自然に発話された2つの単音節の間を10%ごとに各単音節の割合を変えてモーフィングした音韻連続体が合成された。すなわち、1つのペアに対して2つのオリジナル音声とモーフィングにより作成された9つの中間音声の合計11種類の音声が音刺激として使用され、実験は2つのペア(/ba/と/pi/のペアと/a/と/i/のペア)により実施された。被験者は、第2章での実験と同様に、音声を聞きながら視覚的な大きさ判断をすることが求められた。その結果、音声がはっきりと一つの単音節として知覚されている場合、一致条件よりも不一致条件において反応時間が長くなった。さらに、この反応時間の差は音刺激が母音と子音の組み合わせよりも母音のみの方が大きくなった。このことから、Sound symbolism は母音による効果の方が大きいことが示唆された。音韻の識別が難しくなる中間音声においても、2つの単音節のうち実際に合成音声に占める割合が大きい方の単音節から想起される印象と視覚刺激から想起される印象が結びつくことで、一致条件の方が不一致条件よりも反応時間が短くなった。この傾向は、音刺激のペアに関わらず観察された。これらの結果から、音声の音響的特徴量だけでなく聞こえてきた音声がある1つの単音節として知覚されることが Sound symbolism において重要であることが示唆された。

第4章では、第2章及び第3章で得られた知見に基づき、音韻知覚に関する脳領域と Sound symbolism に関する脳領域を比較した。この章では被験者は2つの実験に参加した。実験1において被験者は、第2章及び第3章の実験と同様に、音刺激として呈示された単音節(/bo/, /bi/, /po/, /pi/)を聞きながら視覚的な大きさ判断をすることが求められた。実験2では、実験1と同一の単音節を使用し、被験者は聞こえてきた音声を聞き分けることが求められた。これらの実験ではfMRI法による脳機能計測が行われた。実験1の結果、一致条件よりも不一致条件での反応時間の方が長くなり、反応時間の差を比較すると子音よりも母音において統計的有意差がみられた。すなわち、第3章で得られた結果と同様に、Sound symbolism は母音の効果をより受けることが示唆された。Sound symbolism に貢献する脳領域として、左中心後回が不一致条件においてより賦活した。第2章で観察された前帯状皮質も不一致条件においてより賦活したが、その活動は第2章で観察されたほど大きいものではなかった。被験者が行うタスクが第2章よりも複雑になっていることがこの活動量の差に影響を与えたためと考えられる。また、低次視覚野において一致条件の方が不一致条件よりも賦活量が大きいことが確認された。このことから、Sound symbolism は視覚野の低次において処理されていることが示唆された。実験2の結果から、左中心後回が音韻知覚時に賦活することが確認された。この領域は、実験1で観察された領域と重なる領域であり、舌の動きなど発話にも貢献する領域であった。これらのことから、音声を聞いているだけでも発話に関する運動領域が賦活し、さらに Sound symbolism にも貢献することが示唆された。すなわち、Sound symbolism に対して音声の音響的特徴量だけでなく、音韻知覚やそれに伴う発話関連の運動も重要な役割を果たすことが示唆された。

第5章では、Sound symbolism が言語獲得や言語発達に貢献するかどうかを明らかにするために、言語発達時期の乳幼児における Sound symbolism を調べた。実験では、関心のある方を長く見るという乳幼児の特性を利用して、乳幼児の視線の動きを視線計測装置により計測した。この章でも2つの実験を行い、実験1では日本語音韻、トーンバースト、そして実験2では聞き馴染みのない単語を音刺激として使用した。視覚刺激には、実験1では輪郭の異なる図形や大きさの異なるボールの絵を使用し、実験2では目の形が異なる顔のようなイラストを使用した。被験者は、多くの乳幼児が初語を話し始めるとされている生後12ヵ月頃とその前後として9ヵ月

児、12 ヶ月児、15 ヶ月児の乳幼児を対象とした。実験 1 の結果、音刺激がトーンバーストの場合は視覚刺激の条件に関わらず、また被験者の月齢に関わらず不一致条件への注視時間が長くなった。一方で、音刺激が日本語音韻の場合、視覚刺激の条件に関わらず 9 ヶ月児では一致条件への注視時間が長くなり、12 ヶ月児と 15 ヶ月児では不一致条件への注視時間が長くなった。これらの結果から、トーンバーストにおける Sound symbolism は 9 ヶ月児やそれ以前に獲得され、日本語音韻における Sound symbolism は 12 ヶ月前後で変化することが示唆された。実験 2 の結果、音刺激が単語の場合には一致条件と不一致条件で注視時間に一貫した傾向は観察されなかったことから、単語における Sound symbolism は 15 ヶ月児の時点ではまだ獲得されていないと考えられる。これらのことから、Sound symbolism は音の種類により獲得される時期が異なることが示唆された。

第 6 章では、言語発達時期の乳幼児における Sound symbolism を乳幼児の自発的な選択行動から検討した。第 5 章とは異なり、乳幼児の手伸ばし行動により乳幼児における Sound symbolism を評価した。第 5 章と同一の日本語音韻が音刺激として使用され、3D プリンタで出力された輪郭の異なる物体が視覚および触覚刺激として使用された。被験者は第 5 章と同じ月齢の乳幼児を対象とした。その結果、9 ヶ月児と 12 ヶ月児は一致条件の方へまず手を伸ばす行動を示し、15 ヶ月児は不一致条件の方へまず手を伸ばす行動を示した。これにより、日本語音韻における Sound symbolism は 12 ヶ月前後で変化することが示唆された。

第 7 章では、本論文の成果を総括し、今後の課題や展望について述べた。本論文では、Sound symbolism に貢献する脳領域の同定や言語発達との関係について研究を行ってきた。本論文の結果から、音素の構音に関する運動皮質が Sound symbolism に貢献し、Sound symbolism の効果と言語発達が相互に作用することが示唆された。本論文による発見は、言語発達と言語習得のメカニズムを解明することを目的とした研究へ新しい知見を提供できると考えられる。今後の展望としては、Sound symbolism が言語学習を促進しうるのかといったことや言語発達過程における Sound symbolism をさらに検討することで、言語獲得に対して Sound symbolism が果たす役割について明らかにしていくことが期待される。