

学位論文要旨

具象単語の意味処理における感覚処理システムの関与

広島大学大学院教育学研究科

教育人間科学専攻

D092916

高村 真広

目 次

第 1 章 背景と目的

- 第 1 節 言葉の意味処理における感覚システムと運動システムの関与
- 第 2 節 意味処理に関与する感覚処理や運動処理に関する従来
の研究と問題点
- 第 3 節 本研究の目的

第 2 章 具象単語の意味処理における視覚処理システムの関与

- 第 1 節 心像性判断課題遂行時の事象関連脳電位を指標とした
検討(実験 1)
- 第 2 節 意味判断課題の反応時間を指標とした検討(実験 2)
- 第 3 節 言語流暢性課題遂行時の脳血流反応を指標とした検討
(実験 3)

第 3 章 総合考察

- 第 1 節 本研究の成果と意義
- 第 2 節 今後の課題

第1章 背景と目的

第1節 言葉の意味処理における感覚システムと運動システムの関与

言葉の意味処理は、人間に特有かつ中心的な認知活動であると考えられる。言葉の意味処理とは、文字や音声といった言語刺激のもつ物理的特徴から離れて、言葉が指示する対象のもつ特徴群、すなわち意味表象にアクセスすることで可能になる処理である。認知心理学の勃興以来、人間の意味表象の性質について数多くの研究が行われ、初期の理論では、抽象的・非感覚的な性質が仮定されていた (e.g. Caramazza, Hills, Rapp, & Romani, 1990)。

しかし、近年になって、具体的な事物の概念が、単一の意味システム内の抽象的な表象によってではなく、感覚システムや運動システムに分散した、それぞれのモダリティの性質を保持した表象の集まりによって表現されていると考える理論 (e.g. Barsalou, 1999) が支持を集めるようになってきている。この理論の背景には、具象単語を処理した時の脳活動パターンが、実際にその対象を見たときに生じる脳活動と類似することを示した神経イメージング研究の知見 (Martin, 2007)、および脳損傷によって生じる単語の意味理解障害において、損傷部位に応じて障害されるカテゴリが変化することを報告した神経心理学の知見 (Farah & McClelland, 1991) がある。しかし、これら神経心理学的研究、神経イメージング研究の知見のみでは、意味処理に感覚システムや運動システムが関与するか否かの十分な検討とはならない。神経心理学研究の限界として、損傷脳部位の位置の統制および、脳損傷がもたらす、非損傷部位の機能変化の統制が困難であるということが挙げられる。また、神経イメージング研究は、あくまで実験時の賦活課題に要する認知処理過程と賦活脳部位との相関関係が示されるのみであるという限界をもつ。それに加えて、

ポジトロン断層撮影 (positron emission tomography: PET) や機能的磁気共鳴画像 (functional magnetic resonance imaging: fMRI) といった技法は、高い空間分解能をもつ反面、時間分解能が低く、記録された脳活動が賦活課題の遂行におけるどの時間帯の認知処理を反映しているかに言及することは困難である (Papagno, Fogliata, Catricala, & Miniussi, 2009)。このような問題を解決するためには、神経活動の測度として時間分解能に優れた事象関連電位 (event-related potential: ERP) 等を用いること、また、意味処理と感覚処理の関係を実験操作によって検討するために、二重課題法を用いることが有効であると考えられる。

第2節 意味処理に関与する感覚処理や運動処理に関する従来の研究と問題点

二重課題法を用いて具象単語の意味処理における感覚情報処理の関与を調べた研究として、Vermeulen, Corneille, & Niedenthal (2008) がある。彼らは、単語の特徴判断課題 (概念と特徴を対呈示し、その真偽を判断する課題) と、視覚または聴覚短期記憶保持課題を組み合わせ、感覚的な処理負荷が対応するモダリティの概念処理に選択的干渉効果をもたらすことを示した。つまり、“LEMON can be yellow” のような視覚特徴判断にかかる時間は、無意味な視覚図形の保持によって延長した。また、“BLENDER can be loud” のような聴覚特徴判断にかかる時間は、純音の保持によって延長した。彼らは、この結果が、概念処理が感覚情報処理に依存することの直接的証拠であると主張している。

また、Van Schie, Wijers, Mars, Benjamins, & Stowe (2005) は、具象単語と抽象単語を聴取した時に生じる ERP について、単語の聴取と同時に実施する無意味な視覚刺激または聴覚刺激の保持課題が電位に及ぼす影

響を検討した。その結果、具象単語の処理を反映する電位成分が、無関連な視覚刺激を保持することによって影響を受けることが示され、具象単語の処理が視覚短期記憶と処理資源を共有することが示唆された。

しかし、これらの研究で用いられた視覚妨害課題は、記憶保持を含む課題であるために、視覚システム以外の資源を必要とする。したがって、意味処理における視覚情報処理そのものの関与を検討するためには、受動的な課題でありかつ無意味な視覚刺激を用いた妨害課題を使用することが望ましい。そのような妨害課題として、実験参加者に動的なランダムドットからなる視覚ノイズ (dynamic visual noise: DVN) を注視させる手続き (Quinn & McConnell, 1996) が開発されている。

第3節 本研究の目的

本研究では、具象単語の意味処理に対する視覚処理の関与を調べるために、視覚ノイズの注視という受動的かつ無意味な視覚刺激の処理が意味処理の諸側面に及ぼす影響を検討する。実験1では、視覚ノイズ注視課題の遂行が、具象単語と抽象単語が惹起する脳電位反応の差に及ぼす影響を検討する。この電位差は、具象単語と抽象単語の意味処理過程の違いを反映すると考えられている。したがって、具象単語の意味処理における視覚情報処理の関与が、抽象単語の処理におけるよりも大きければ、視覚ノイズ注視による視覚情報処理の妨害によって、具象単語条件と抽象単語条件の電位差は減衰すると予測できる。

実験2では、実験1で観察された具象単語処理時の視覚処理の影響が、意味表象へのアクセス過程で生じるのか、意味表象へのアクセス後に行われる視覚イメージ形成過程で生じるのかを明らかにするために、視覚ノイズ注視課題の遂行が、単語の意味判断時間に及ぼす影響を検討する。

本研究では、視覚処理が強く関与する具象単語の意味処理が、視覚ノイズ観察によって遅延することを予測する。

実験3では、視覚ノイズ注視課題の遂行が言語流暢性課題における単語産出および脳血流反応に及ぼす影響を検討する。言語流暢性課題とは、手がかり刺激にあてはまる言葉をできるだけ多く産出する課題である。つまり、実験1, 2の課題のように呈示される単語の意味を活性化するのではなく、単語刺激に依存せずに意味表象を活性化させる課題である。このような形式の意味処理課題においても視覚処理による妨害効果が生じることが示されれば、刺激の呈示モダリティに依存しない意味処理過程そのものに、視覚処理が関与することの証拠となる。

第2章 具象単語の意味処理における視覚処理システムの関与

第1節 心像性判断課題遂行時の事象関連脳電位を指標とした検討(実験1)

具象単語と抽象単語が惹起するERPを比較すると、具象単語は抽象単語に比べ、より陰性の電位を惹起することが報告されており、この具象単語条件と抽象単語条件間の電位差は、両者の意味処理過程の違いを反映すると考えられている(Van Schie et al., 2005; West & Holcomb, 2000)。実験1では、この具象単語条件と抽象単語条件間の電位差が、視覚ノイズの注視による視覚処理妨害によって消失するか否かを調べることで、具象単語の意味処理における視覚処理過程の関与の有無を検討した。

方法 実験には視力、聴力ともに課題遂行に支障のない大学生(男性5名、女性9名、平均年齢23.6歳)が参加した。実験参加者は、スピーカーから呈示される具象単語(e.g. 新聞)または抽象単語(e.g. 安心)の音声を聴取し、その単語から視覚心像を形成する容易さを5段階で評

定する課題を遂行した。実験参加者の半数を課題の最中に動的な視覚ノイズを注視する視覚ノイズ群，残りの半数を灰色の静止画面を注視する統制群に振り分けて，音声単語が惹起する ERP を記録した。記録時の体動などによる波形の乱れが著しかった 2 名の参加者を除外し，各群 6 名ずつのデータを分析に用いた。

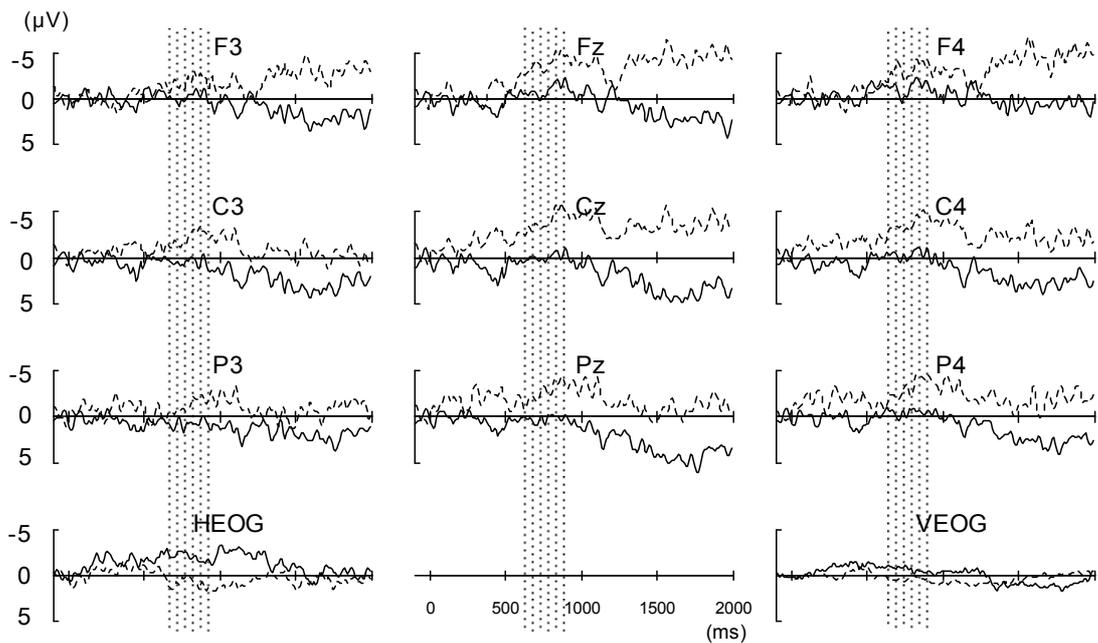


Figure 1. 実験 1 の主な結果。具象単語条件から抽象単語条件の電位を差し引いた差波形を，視覚ノイズ群（実線），統制群（破線）ごとに示した。網掛けは統制群で具象性効果がみられた単語提示後 600—900 ms の区間。

結果 正中線電極から記録した ERP の，単語提示後 600—900 ms 区間の平均電位を算出し，群×単語の 2 要因分散分析を実施した。その結果，群×単語の交互作用が有意 ($F(1,10)=5.28, \eta_p^2=.35, p<.05$) であった。視覚ノイズ群では，具象単語条件と抽象単語条件の間に有意な電位差はなく ($F(1, 5)=0.04, \eta_p^2=.01, ns$)，視覚ノイズによる妨害のない統制群でのみ，具象単語条件の電位が抽象単語条件に比べて有意に陰性となっていた ($F(1, 5)=28.14, \eta_p^2=.85, p<.01$) (Figure 1)。

考察 具象単語と抽象単語が惹起する ERP 成分間に生じる有意差は、視覚ノイズによって視覚処理を妨害したときに消失した。したがって、具象単語条件と抽象単語条件の間に生じる電位差は、両条件の単語処理過程における視覚情報処理の違いを反映しており、具象単語の意味処理に際して、視覚システムにおける処理が生じていることが示唆された。

第 2 節 意味判断課題の反応時間を指標とした検討（実験 2）

実験 1 では、無関連視覚刺激による視覚処理の妨害が、具象単語の意味処理時に生じる脳電位反応に影響を与えることが示された。しかし、このような具象単語処理時の視覚処理の変化が、意味処理過程そのもの、すなわち意味表象へのアクセス過程における変化であるのか、意味表象へのアクセス後に生じた視覚イメージ処理過程における変化であるのかについて、電位成分の潜時等の指標に基づいて結論することはできなかった。実験 2 では、意味表象へのアクセス過程を反映すると考えられる意味判断課題の反応時間を指標として、具象単語の意味へのアクセスに視覚処理が関与するか否かを検討した。意味表象へのアクセスの時点で回答が可能な意味判断課題として、ある単語が具象単語か抽象単語かを二肢強制選択で回答する課題を用いた。そして、視覚妨害効果の検出力を高め、かつ視覚妨害効果が具象単語の意味のアクセスにおける視覚処理の側面への効果であることを示すために、具象単語のカテゴリとして動物名条件および道具名条件を設け、二重課題として、視覚妨害課題の他に連続タッピングによる運動妨害条件を設けた。これは、動物の概念には視覚システムの関与が強く、道具の概念には運動システムの関与が強いことを示したシミュレーション研究（Farah & McClelland, 1991）に基づく。これらのことから、以下のように予測される。第 1 に、動物名

の意味表象へのアクセスには視覚処理が重要であるため、ある動物名が具象単語か抽象単語かを判断するのに要する時間は、視覚妨害によって長くなる。第2に、道具名の意味表象へのアクセスには運動処理も関与すると考えられることから、道具名についての判断時間は運動妨害によって長くなる。また、道具名は動物名よりも多くの運動情報によって表現されていることから、視覚妨害の効果が生じたとしても、その効果は動物名におけるよりも弱い。第3に、抽象単語の場合はその意味表象へのアクセスは視覚処理や運動処理と関連しないため、いずれの二重課題によっても判断時間は長くない。

実験 2-1 方法 実験参加者は、スピーカーから呈示される単語音声について、その意味が具体的であるか抽象的であるかを判断する課題を、3種類の妨害条件の下で遂行した。視覚妨害条件では視覚ノイズの注視を、運動妨害条件では右手人差し指による連続タッピングを行いながら課題を遂行した。統制条件では、いずれの妨害課題も行わずに意味判断課題を行った。刺激語として動物名 (e.g. ライオン)、道具名 (e.g. ものさし)、抽象単語 (e.g. 本能) を呈示した。実験 2-1 には、視力、聴力ともに課題遂行に支障のない大学生 (男性 1 名、女性 11 名、平均年齢 18.6 歳) が参加した。この実験において参加者は意味判断課題の回答を左手のボタン押しで行った。

結果と考察 動物名に対する判断について、視覚ノイズ注視条件における統制条件に対する有意な遅延は生じなかった ($t(11)=0.11$, $d=0.02$, ns)。また、道具名に対する判断について、タッピング動作条件における統制条件に対する有意な遅延は生じなかった ($t(11)=0.77$, $d=0.13$, ns) (Figure 2 左)。

実験 2-2 方法 視力、聴力ともに課題遂行に支障のない大学生 (男

性 4 名，女性 2 名，平均年齢 20.5 歳）が参加した。この実験ではタッピング動作とボタン押し動作の干渉を防ぐため，意味判断課題の反応を，フットペダルによって行うよう課題を変更した。参加者には，聴取した単語が具象単語であるときにのみフットペダルを踏むよう求めた。この判断の際には，その単語が具象単語であるか抽象単語であるかを深く考えるのではなく，その単語が何らかの具体的な対象と結びついていると思えば具象単語として反応するように教示した。

結果と考察 動物名に対する判断について，視覚ノイズ注視条件で統制条件よりも有意に遅延した ($t(5)=3.28, d=0.65, p<.05$) (Figure 2 右)。すなわち，動物名の意味へのアクセスに視覚処理が関与していることが示唆された。また，道具名に対する判断にタッピングの有意な妨害効果はみられなかった ($t(5)=1.18, d=0.47, ns$)。これは，道具名の意味が運動表象に加えて視覚表象でも表現されている (Farah & McClelland, 1991) ために，運動処理が阻害された状態でも，視覚処理によって意味処理が行われた結果と解釈できる。

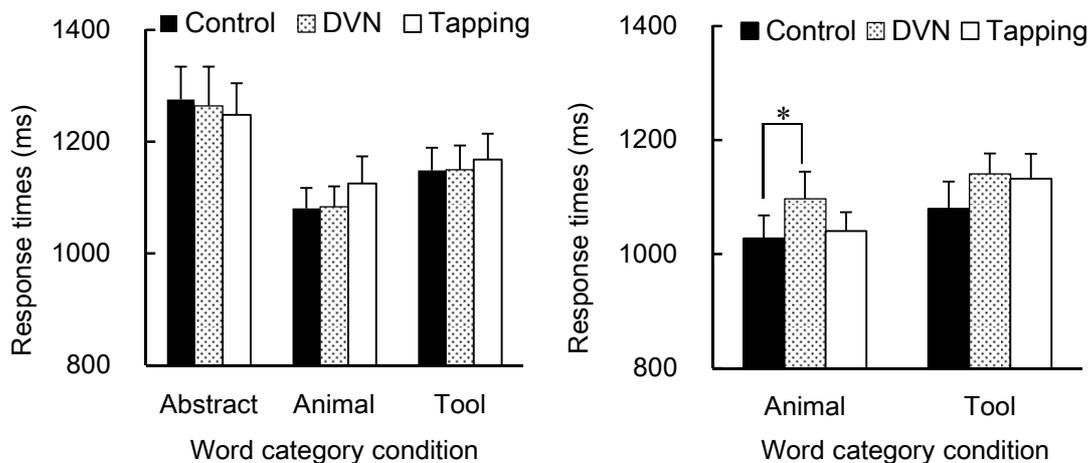


Figure 2. 実験 2-1 (左) と実験 2-2 (右) の結果。意味判断課題における単語のカテゴリと二重課題条件ごとの平均反応時間。

Note. DVN: dynamic visual noise, *: $p<.05$

第3節 言語流暢性課題遂行時の脳血流反応を指標とした検討(実験3)

実験2では、動物名のように視覚情報処理の比重の大きい概念の意味処理が無関連な視覚処理によって妨害を受けた。このことから、具象単語（動物名）の意味表象へのアクセスにとって、視覚情報処理が必要であることが示唆された。ただし、実験2-1のように課題が複雑で、反応段階の運動における干渉の生じやすい状況では、この妨害効果を検出できなかった。これは、聴覚的に呈示される言語情報によって視覚以外のモダリティの表象が活性化され、それらに基づく意味処理がある程度可能になることで、視覚という単一の感覚モダリティに対する妨害が意味処理に及ぼす干渉効果の現れ方が、不安定もしくは小さくなる場合があることを示すと考えられる。

実験3では、意味処理における視覚処理の関与を異なる側面から検討するために、言語流暢性課題を用いた実験を行った。言語流暢性課題では、文字やカテゴリ名などの手がかり刺激が呈示され、実験参加者はその手がかり刺激に当てはまる単語を産出する。このような単語の産出課題では、実験2のような単語の意味理解とは逆方向の意味処理過程が生じる。すなわち、単語の産出においては、まず意味表象の活性化が生じ、その後統語、形態情報の活性化を経て単語が出力される（Price, Indefrey, & van Turennout, 1999）。このように、意味表象の活性化が処理の起点となる課題の場合にも、視覚妨害によって意味表象の活性レベルが低下することで、視覚妨害による処理の妨害が生じることが予測される。たとえば、視覚妨害条件下で言語流暢性課題を行うと、視覚妨害のない条件に比べて、具象単語の産出数が減少すると考えられる。また、言語流暢性課題時の脳血流変化をfMRIや近赤外分光（near-infrared spectroscopy: NIRS）を用いて調べた研究によると、単語産出時に左前頭

部の脳血流反応が増加することが報告されており、この脳活動は意味処理と関連すると考えられている。したがって、単語産出課題中の視覚妨害は、具象単語産出中の脳血流反応に影響を及ぼすと予想される。

方法 視力、聴力ともに課題遂行に支障のない女子学生 8 名が参加した（平均年齢 23.1 歳）。実験課題は、音韻性の言語流暢性検査を改変したもので、指示された文字で始まる単語を、具象単語か抽象単語に限定して産出する課題であった。産出課題の開始時に、文字および産出単語の種類（具象単語・抽象単語）を指示した。産出の時間は 1 分間で、開始から 30 秒経過時に別の文字を指示した。実験参加者は視覚ノイズ（DVN）または統制刺激（灰色画面）が表示されたモニタを注視しながら産出課題を行った。産出単語の種類と視覚妨害の有無は参加者内要因であった。また、産出課題中の脳血流反応を NIRS で測定した。

結果 単語の産出数（Figure 3 左）について、単語×視覚妨害条件の 2 要因分散分析を実施した。結果、単語の種類が有意（ $F(1,7)=23.02$, $\eta_p^2=.77$, $p<.01$ ）で、具象単語条件でより多くの単語が産出された。視覚妨害の主効果（ $F(1,7)=0.61$, $\eta_p^2=.03$, ns ）および交互作用（ $F(1,7)=0.32$, $\eta_p^2=.14$, ns ）は有意ではなく、視覚ノイズ呈示による単語産出への妨害効果は見られなかった。

脳血流反応（Figure 3 右）については、酸化ヘモグロビン量変化を指標とし、アーチファクトの著しかった 2 名を省いて分析を行った。視覚妨害効果が生じる部位と時間帯を検出するために、各部位、各時間点における t 検定を行った。結果、具象単語条件、左前頭部のプローブにおいて、視覚妨害の有無の有意差が連続してみられた。連続した有意差が生じた区間である課題開始後 15—20 秒の平均変化量を抽出して検定を行った結果、具象単語条件においては視覚ノイズ、統制条件間に有意差

があった ($t(5)=2.83, d=0.98, p<.05$) が、抽象単語条件では、有意差は見られなかった ($t(5)=-0.18, d=0.53, ns$)。

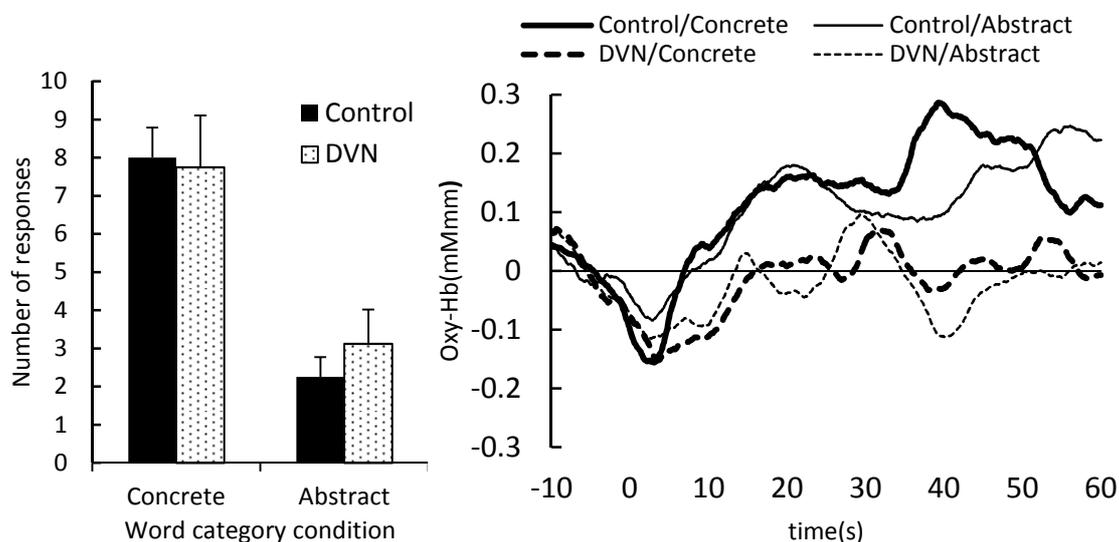


Figure 3. 実験 3 の結果。各単語条件、視覚妨害条件における単語産出量(左)と脳血流反応(右)。

Note. DVN: dynamic visual noise

考察 具象単語と抽象単語の産出課題に視覚妨害課題が及ぼす影響を NIRS によって検討した。その結果、具象単語の産出時には視覚妨害によって有意に左前頭部の反応減衰が生じた。これは、具象単語の検索と抽象単語の検索において、前頭皮質内で異なるモードの処理が生じることを示した先行研究 (Christoff, Keramatian, Gordon, Smith, & Mädler, 2009) に沿った結果であり、また、具象単語処理モードには視覚的な情報処理が関与することを示唆する結果であると考えられる。

第 3 章 総合考察

第 1 節 本研究の成果と意義

実験 1, 2 において、具象単語の意味へのアクセスに視覚システムが

関与することを，単純な視覚妨害課題を用いて明らかにした。先行研究では，視覚妨害課題に記憶課題が用いられていたが，高次な処理を含むために妨害効果の焦点が不明確であり，結論も一致していなかった (Van Schie et al., 2005; Vermeulen et al., 2008)。本研究では，視覚ノイズの観察という，視覚的であり記憶負荷のない課題による妨害効果の存在を示したことで，具象単語によって活性化する意味表象が，視覚システムによって表象される視覚情報を含んでいることの強固な証拠を得た。実験 3 では，具象単語を産出する際の意味処理に対する視覚妨害の効果を検討した。その結果，視覚妨害による単語産出のパフォーマンスへの影響はみられなかったものの，脳血流反応への妨害効果がみられ，具象単語の意味処理に視覚情報処理が関与するという仮説を支持する結果を得た。

また，意味処理に関与する視覚処理が受動的な視覚ノイズによる妨害を受けたということは，意味処理に低次の視覚処理過程が関与している可能性を示唆する。視覚皮質は階層構造をもち，高次の視覚皮質になるほど神経細胞が示す外界の無意味刺激に対する反応性が低下することを考えると，本研究の結果は，具象単語の意味処理に，無意味な視覚ノイズによる処理の妨害を受けうる比較的初期の階層の視覚領域が関与することを示唆している。

第 2 節 今後の課題

これまで，意味処理と感覚処理，運動処理の関連を検討する研究では主に，意味処理に感覚システムや運動システムの処理が関与するか否かという問題が注目されてきた。本研究において，視覚処理の要素が強い具象単語の意味処理に対する視覚処理の関与が示されたことは，意味処理に様々なモダリティの感覚システムや運動システムが関与するという

主張 (e.g. Barsalou, 1999) に沿った結果である。意味処理において、抽象的な情報処理だけではなく、感覚処理や運動処理の関与を仮定する理論の長所は、各モダリティのシステムの神経構造や情報処理の性質を制約条件として、意味処理のシステムの構造について具体的な図式を描けること (Barsalou, 1999) であり、今後の課題は、その図式の精緻化であると考えられる。本研究では、具象単語の意味処理、特に動物名の意味へのアクセスに低次の視覚処理が関与する可能性が示唆された。今後、どのような種類の意味処理に、どのようなモダリティの、どの階層の処理が関与するのかという問いを検討することで、意味処理における感覚処理の役割を明らかにすることが重要であると考えられる。このような人間の意味処理の神経メカニズムの精緻化による知見は、たとえば神経活動から対象者の思考状態を読み取るマインド・リーディングの技術と組み合わせることで、脳損傷等の理由で言葉の表出能力を失った人と意思疎通を行う手段の開発につながるなど、さまざまな応用可能性をもっていると考えられる。

引用文献

- Barsalou, L. W. (1999). Perceptual symbol system. *Behavioral and Brain Sciences*, **22**, 577-660.
- Caramazza, A., Hillis, A. E., Rapp, B. C., & Romani, C. (1990). The multiple semantics hypothesis: Multiple confusions? *Cognitive Neuropsychology*, **7**, 161-189.
- Christoff, K., Keramatian, K., Gordon, A. M., Smith, R., & Mädlar, B. (2009). Prefrontal organization of cognitive control according to levels of abstraction. *Brain Research*, **1286**, 94-105.

- Farah, M. J., & McClelland, J. L. (1991). A computational model of semantic memory impairment: Modality specificity and emergent category specificity. *Journal of Experimental Psychology: General*, **120**, 339-357.
- Martin, A. (2007). The representation of object concepts in the brain. *Annual Review of Psychology*, **58**, 25-45.
- Papagno, C., Fogliata, A., Catricala, E., & Miniussi, C. (2009). The lexical processing of abstract and concrete nouns. *Brain Research*, **1263**, 78-86.
- Price, C., Indefrey, P., & van Turennout, M. (1999). The neural architecture underlying the processing of written and spoken word forms. In C. M. Brown & P. Hagoort (Eds.), *The neurocognition of language*. New York: Oxford University Press. pp. 211-240.
- Quinn, J. G., & McConnell, J. (1996). Irrelevant pictures in visual working memory. *The Quarterly Journal of Experimental Psychology*, **49A**, 200-215.
- Van Schie, H. T., Wijers, A. A., Mars, R. B., Benjamins, J. S., & Stowe, L. A. (2005). Processing of visual semantic information to concrete words: Temporal dynamics and neural mechanisms indicated by event-related brain potentials. *Cognitive Neuropsychology*, **22**, 364-386.
- Vermeulen, N., Corneille, O., & Niedenthal, P. M. (2008). Sensory load incurs conceptual processing costs. *Cognition*, **109**, 287-294.
- West, W. C., & Holcomb, P. J. (2000). Imaginal, semantic, and surface-level processing of concrete and abstract words: An electrophysiological investigation. *Journal of Cognitive Neuroscience*, **12**, 1024-1037.