

学位論文

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

高村真広

目次

| | | |
|-------|----------------------------------|----|
| 第 1 章 | 背景と目的 | 2 |
| 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 | 2 |
| 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 | 16 |
| 第 3 節 | 本研究の目的 | 22 |
| 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 | 24 |
| 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) | 24 |
| 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) | 41 |
| 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) | 50 |
| 第 3 章 | 総合考察 | 60 |
| 第 1 節 | 本研究の成果と意義 | 60 |
| 第 2 節 | 今後の課題 | 65 |
| 引用文献 | | 67 |

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

本研究の背景

言葉の意味処理とは，言葉によって表現される情報にアクセスすることであり人間に特有かつ中心的な活動であるといえる。たとえば，我々は一日の多くの時間，テレビ，インターネットや書籍などのメディアに触れて情報を得る(小林・諸藤・渡辺，2010)。また他者との会話においても，もちろん言葉の意味処理が行われる。

言葉の意味処理においては，すでに知っている個々の単語の意味へのアクセス，すなわち単語レベルの意味処理がその基礎となっていると考えられる。たとえば，タヌキという動物を知っている人にとって“タヌキ”という単語はそれ自体で“茶色い”，“尻尾がある”などの特徴をもつ動物を意味する。本研究ではこうした単語の意味処理における処理の性質を検討する。検討する問題は，そのような単語レベルの意味処理に感覚情報の処理が関与するか否かである。たとえば，先ほどのタヌキという単語の意味処理での“茶色い”，“尻尾がある”といった情報は，実際のタヌキを見たときのように視覚的な情報として活性化するのであろうか。あるいは，タヌキを見たときに生じる感覚処理とはまったく別の形式の情報のみで表現されるのであろうか。意味処理という，我々人間にとっての基盤的な認知能力がどのような性質の処理によって成り立っているのかを明らかにすることは，人間の心のメカニズムを明らかにする上で重

要なステップになりうると考えられる。

本研究における単語処理過程のモデル

本研究では単語レベルの意味処理について検討する。そのためここでは意味処理を含む単語の処理過程について整理する。本研究では実験刺激に音声単語を用いるため、音声単語の処理や産出に関わるモデルを参考にしている。

音声単語の認知モデルを概観した天野(1999)によると、音声処理過程の一般的な捉え方は Figure 1 のようなものである。すなわち、ある音声単語の意味を処理するまでには、音を音韻に変換する過程、音韻の集まりを単語として認知する過程、そしてその単語の意味を活性化する過程、という複数の階層の処理が存在することが仮定される。そして、それらの階層間の相互作用によって音声処理が成り立つと考えられている。たとえば、単語認知をつかさどる単語処理レベルは音韻処理レベルからのボトムアップ情報を利用し、かつ、単語処理レベルの処理は、意味・統語処理レベルからの影響を受ける(天野, 1999)。

また、単語産出過程の研究でも同様に、Figure 2 に示すような、音韻処理、単語処理、意味処理を含む複数の階層およびそれらの間での相互作用が仮定されており(Dell, Schwartz, Martin, Saffran, & Gagnon, 1997), 単語認知と処理段階を共有した、異なる方向での処理が生じると考えられている(Price, Indefrey, & van Turenhout, 1999)。これらを参考に、本研究では単語の処理過程を Figure 3 のような図式で捉える。

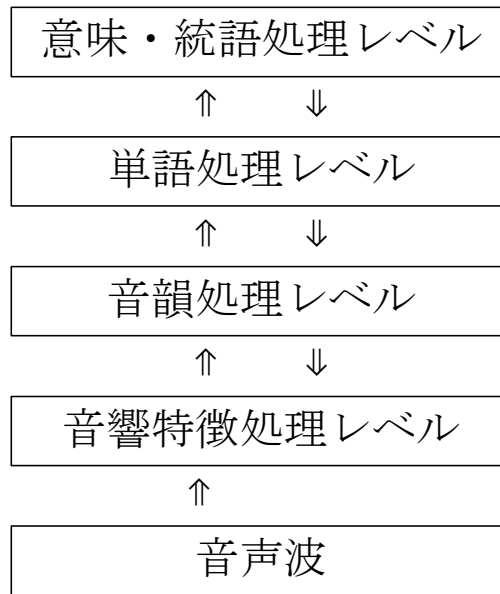


Figure 1. 音声認知過程の概念図(天野, 1999 から引用)

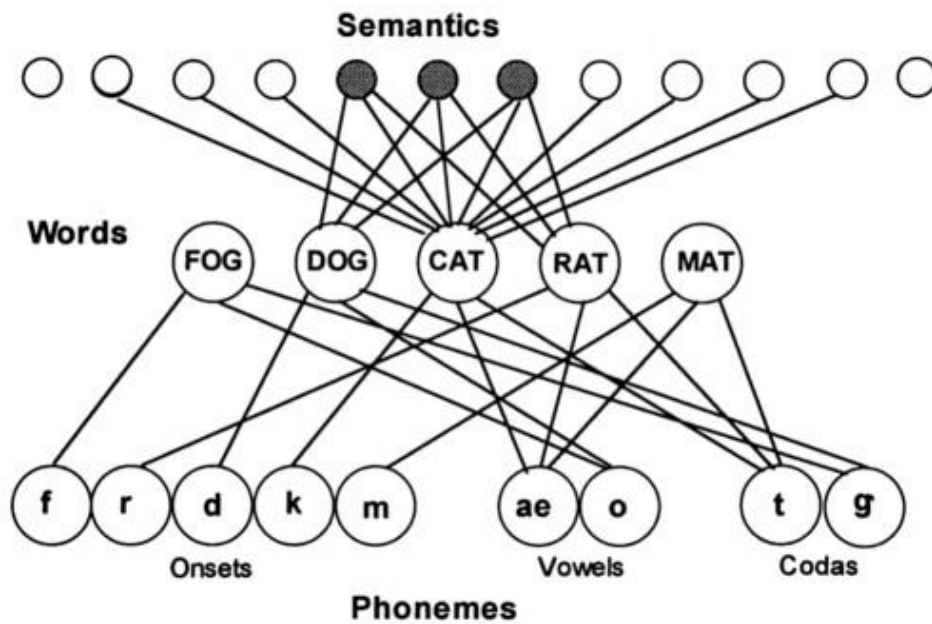


Figure 2. 単語産出のネットワークモデル(Dell et al., 1997 から引用)。線で示された結合は興奮性であり双方向である。意味表象 cat, dog, rat に共通する意味特徴をグレーで示している。

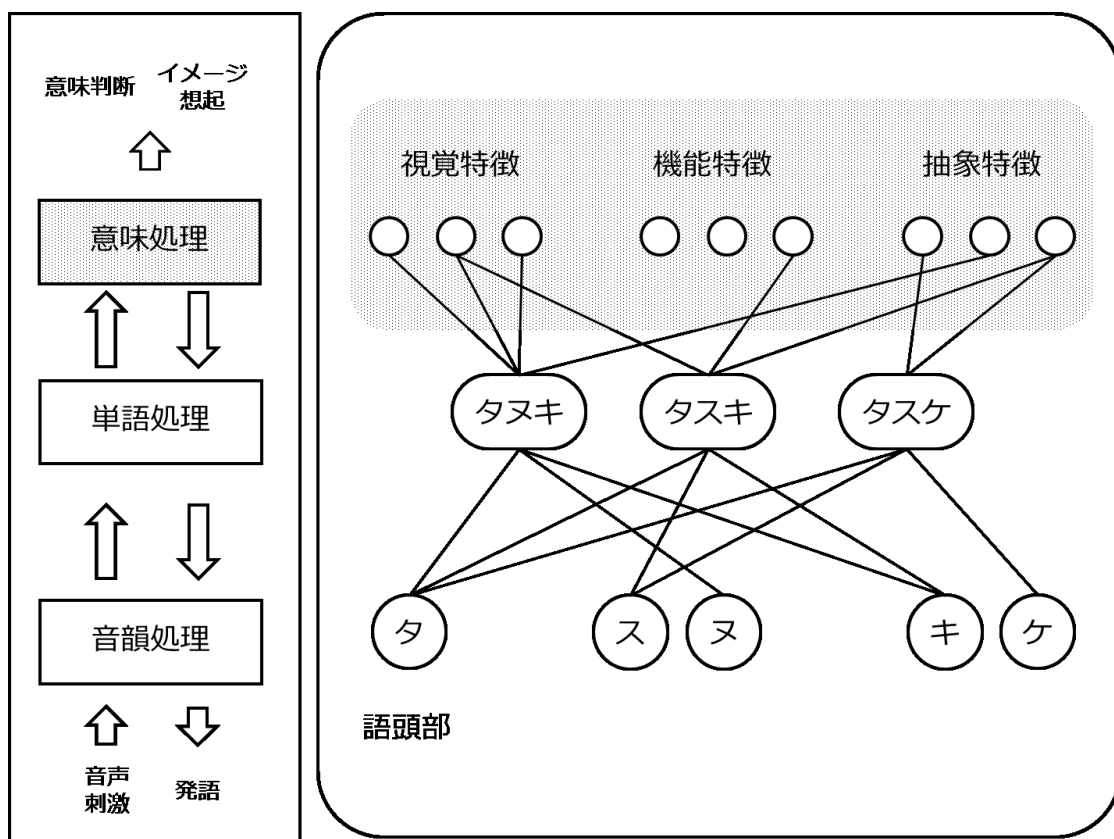


Figure 3. 本研究で仮定する音声単語処理過程

たとえば，“タヌキ”という単語を聞いてその意味を判断する課題を考える。まず音声刺激が“タ”，“ヌ”，“キ”という音韻表象を活性化させる。次に，それらの音韻表象の活性化によって，その活性化パターンにマッチした“タヌキ”という特定の単語表象が活性化する。その後，“タヌキ”という単語表象と結びついたさまざまな特徴(e.g. 形，色，鳴き声，生態)が活性化する。それらの特徴の活性化パターンを単語の意味表象と考える。この意味表象が活性化した段階で，タヌキという単語の意味についての処理(e.g. “形があるか(具体的なものであるか)否か”，“茶色いか否か”)が行われると考える。また，意味処理によって色や形などの特徴が活性化することで，単語から心的イメー

ジを想起することが可能になる。心的イメージの想起は、対象が存在しない状態で生じる対象の色や形といった意識体験の再活性化(Miyashita, 1995)などと定義される。つまり心的イメージ想起は特徴情報の活性化に加えて、その意識化過程を含む処理である(Kosslyn, 1994)。一方で、意味的プライミング(e.g. Neely, 1977)の研究からも示唆されるように、意味処理は意識的過程から独立した自動的な処理が行われうることが示されている。意味処理過程とイメージ想起過程を厳密に区別することは難しいが、言語刺激からの心的イメージ想起は、少なくとも意味表象へのアクセスを前提にしていると考えられる。そのため、両者に特有の処理過程は、意味処理が先行する形で段階的に生じると考えられる。まとめると、本研究では、言葉の意味判断の実行や心的イメージの想起といった制御的処理(Figure 3 左上)に先行する、単語の意味を表現する特徴パタンの活性化を意味処理と捉え(Figure 3 網掛け部分)、その処理の性質について検討を行う。

心的視覚イメージにおける視覚体験の生成には視覚システムが関与していると考えられており(e.g. Kosslyn, 1994)、そのことを示唆する知見が多く得られている(e.g. Craver-Lemley & Reeves, 1992; Ishai & Sagi, 1995; Kosslyn, Thompson, Kim, & Alpert, 1995; Pearson, Clifford, & Tong, 2008)。一方で、意味処理レベルで活性化する視覚的な特徴(e.g. “茶色い”)の情報処理に視覚システムが関与しているか否かは、意味処理システムの性質についての中心的な問題として議論がなされている(e.g. Saffran & Sholl, 1999)。

言葉の意味処理に関する理論

言葉の意味処理については多くの研究がこれまでに行われているが、その性質について十分に解明されているとは言いがたい(Saffran & Sholl, 1999)。言葉の意味処理についての問題の一つには、意味表象の性質に関する議論がある。

ある理論では、意味表象として抽象的・非感覚的な性質を仮定する(e.g. Caramazza, Hills, Rapp, & Romani, 1990)。つまり意味システムを感覚システムや運動システムから独立したものとして捉える。一方、別の理論では意味表象に視覚モダリティなどの感覚表象、運動表象が含まれることを仮定する(e.g. Barsalou, 1999; Martin, 2007)。つまり感覚システムや運動システムが意味処理システムの一部をなすと考える。特に、具象単語の意味表象について、その具象単語の意味する対象と相互作用する際に用いられる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。

感覚的な意味表象を仮定する理論にせよ仮定しない理論にせよ、これまでに報告されてきた言葉の意味処理に関する様々な知見を説明するものとして構築されている。意味システムの性質についての重要な知見の源泉のひとつは、神経心理学的研究であり、特に、意味カテゴリ特異的な失語症の症例が注目されてきた。

カテゴリ特異的な失語症とその説明

脳血管障害や脳炎などを原因とする局所的脳損傷によって、

それまでに獲得した言語能力に障害が生じることがある。代表的な症例としては、左下前頭回(ブローカ野)の損傷によって発話の障害が生じたルボルニュ氏等の症例、また、左上側頭回(ウェルニッケ野)の損傷によって理解の障害が生じたSR氏等の症例がある(山鳥, 2011)。その後、それら古典的言語野以外の領域損傷による、特定の意味カテゴリに限定した失語症の例が報告されている。たとえば、Farah & McClelland (1991)は、動物に特異的な意味障害を報告している。JBR氏の症例では、動物(e.g. オウム)の写真を見てそれがどのような物であるのかを言えず、一方で、道具(e.g. テント)についてはその説明ができた(“temporary outhouse, living home”)。

こうした意味カテゴリ特異的な意味障害の事例から意味処理システムの構造を考える場合、もっとも直感的な解釈とは、異なるカテゴリの言葉の意味がカテゴリごとに異なる領域に貯蔵されていると考えることである。Caramazza et al. (1990)の理論はこのような考えに基づく。彼らは、さまざまなカテゴリの言葉の意味表象は単一の意味システムの中で処理され、類似した意味カテゴリ同士の表象が近接して貯蔵されていると考える。その意味システムは感覚システムや運動システムからは独立したものであり、ある言葉の意味表象は、非感覚的性質のものである。それらの意味表象は、そのモダリティによってではなく、意味的関連性によって分布する。それは、単語の意味が学習される際、関連する情報は近接した領域の神経活動によって表現されるという仮定に基づく。結果、ある領域が損傷された際には、意味的に似た情報、すなわち特定のカテゴリの意味

情報の処理に障害が生じることを予測，説明する。

一方で，Barsalou (1999)や Farah & McClelland (1991)では，意味システムへの感覚システムや運動システムの関与を仮定することで，カテゴリ特異的な障害を説明する。すなわち，ある特定の感覚システムや運動システムに関わる部位の障害によって，そのモダリティに依存した意味カテゴリの障害が生じると考える。彼らは，単語の意味を学習する際，その対象との相互作用において生じる感覚システムや運動システムにおける神経活動が集積されることで意味表象が形成されると考える。タヌキを例にとると，その意味表象は，タヌキを見た時の視覚システムの状態，タヌキの鳴き声を聞いた時の聴覚システムの状態，タヌキを抱いたときの触覚システム，運動システムの状態などが長期記憶に保存されることで形成される。その際，カテゴリによって各モダリティの情報の重要性に違いがあるために，各モダリティに関わる脳部位の局所的損傷がカテゴリ特異的な意味障害を引き起こすと考えている (Farah & McClelland, 1991)。たとえば動物の場合，イヌとネコの違い，またはあるネコと別のネコの違いは，主に視覚的特徴の違いによって判断される。このように，動物と対峙する際には，視覚処理が重要となると考えられる。また，道具のような人工物の場合には，それを視覚的に弁別することに加え，それをどのように使用するかという機能的な情報が重要である。このとき，視覚システムに加え，運動システムの関与が重要になる (Martin, 2007)。したがって，動物名についての意味障害には視覚システムの障害が，道具名についての意味障害には運動システムの障害が関与すると考え

られている。

以上のように，意味処理に感覚的表象の関与を仮定しない理論と仮定する理論は，カテゴリ特異的な意味障害についてそれぞれ別の説明を提供する。Barsalou(1999)によれば，それぞれの理論がもつ，意味処理に関するさまざまな既知の現象を説明する能力について差をつけることは難しい。しかし，感覚的表象を仮定する理論の長所として，説明が節約的であることや，具体的で反証可能な仮説を立てた検証がしやすい点が挙げられている(Barsalou, 1999)。

近年になって，脳活動を非侵襲的に画像化する神経イメージング技法が発展した。それにともない，認知処理と脳機能とのさまざまな結びつきについての知見が集積されつつある。以下，意味処理における感覚システムや運動システムの関与を仮定する理論が予測する現象および，その予測に関連したこれまでの神経イメージング技法を用いた研究の知見について述べる。

意味処理に感覚システムの関与を仮定することによる予測

意味処理に感覚システムや運動システムの関与を仮定するならば，単語の意味処理を行う際に，それらのシステムに関連する脳領域の活性化が生じることが予測される。それは具体的には以下の2種類の現象を予測する。一つは，具象単語と抽象単語とで意味処理時に活性化する脳部位が異なること，もう一つは，具象単語の間でもその意味カテゴリによって活性化する脳部位が変化することである。

具象単語，たとえば“ライオン”や“ハンマー”などの単語

が意味する対象は、視覚や聴覚といった五感で捉えられる物体である。具象単語の意味表象の形成においては、対象との相互作用において利用される感覚システムや運動システムの神経活動が蓄積される。また、後にその名前からその対象を想起する際には、学習時に活性化した感覚システムや運動システムの表象が活性化することで、その対象のさまざまな特徴が表現される。また、動物のように主に視覚的特徴によって表現される意味表象を活性化させる場合には、視覚システムの活性化が強くみられる。一方で、道具のように機能的特徴が重要である意味表象を活性化する場合には、運動システムの活性化が強くみられる。

抽象単語、たとえば“態度”や“困惑”といった単語の意味は、五感で捉えられる物体と直接結びついていない。その意味表象の形成は、言葉を使用する経験を通じてなされる。そのため、その意味表象には具象単語のような感覚的表象や運動的表象は含まれず、抽象単語の意味処理においては具象単語の意味処理の場合とは異なる領域の活性化が生じると考えられる。

具象単語と抽象単語の意味処理時の脳賦活

具象単語と抽象単語の意味処理時に異なる脳領域が活性化することは、複数の研究結果から示唆されている(Binder, Westbury, McKiernan, Possing, & Medler, 2005; Fiebach & Friederici, 2003; Jessen, Heun, Erb, Granath, Klose, Papassotiropoulos, & Grodd, 2000; Kiehl, Liddle, Smith, Mendrek, Dorster, & Hare, 1999; Scott, 2004)。しかし、研究によってそれ

ぞれの単語条件で強い活性化が生じる部位は異なっており、統一された具象単語特有の処理領域あるいは抽象単語特有の処理領域といったものは得られていない。たとえば、Binder et al. (2005)では、語彙判断課題時の脳活動を具象単語条件と抽象単語条件で比較した。結果、具象単語が左右両側の角回、後部帯状回、楔前部といった広範な領域を賦活させたのに対し、抽象単語の処理による活性化は左下前頭回など左半球に局限していた。この結果は、具象語処理時には抽象的な意味処理システム(左半球)に加えて感覚表象にもとづく意味処理システム(右半球)が機能するという考え(Paivio, 1991)に沿ったものと考えられている。同様の結果は他の研究でも得られている。たとえばJessen et al. (2000)は、単語の記憶課題において単語を記銘する際の脳活動を具象単語条件と抽象単語条件で比較した。その結果、具象単語条件で両側の下頭頂領域、楔前部などが活性化した。そして、抽象単語条件では左下前頭回の一部が強く活性化していた。ただし、具象単語条件で両側の活性化、抽象単語条件で左半球の活性化という図式に当てはまらない結果を報告する研究も多い。たとえばKiehl et al. (1999)も具象単語と抽象単語を刺激とする語彙判断課題遂行中の脳活動を検討している。具象単語条件と抽象単語条件を比較したところ、具象単語条件において活動が強くなっていた部位はみられず、抽象単語条件において右側頭部がより強く賦活するという結果を報告している。

また、単語産出時における具象単語と抽象単語での活性化部位の違いも示唆されている。Christoff, Keramatian, Gordonsmith,

& Madler(2009)は、呈示された文字列を並び替えて単語を産出するアナグラム解決課題において、具象単語の検索には左前頭皮質の後部が、抽象単語の検索には左前頭皮質の前部が強く活動することを報告している。

カテゴリの異なる具象単語の意味処理時の脳賦活

動物、道具といった異なるカテゴリの具象単語の意味処理が、異なる脳領域を賦活させることが報告されている(e.g. Damasio, Grabowski, Tranel, Hichwa, & Damasio, 1996; Martin, Wiggs, Ungerleider, & Haxby, 1996)。Martin et al. (1996)は、動物、道具の写真を実験参加者に提示し、その名前を言う課題(命名課題)を実施し、刺激カテゴリ条件による脳賦活の違いを調べた。その結果、動物と道具の命名課題遂行に共通して、左腹側側頭皮質、左下前頭皮質が活性化した。これらの領域は、カテゴリに共通した意味処理や音韻処理に関連すると考えられる。また、カテゴリ特異的な賦活領域としては、動物の命名では内側後頭部(視覚野)が、道具の命名では左前運動野が活性化した。これらのカテゴリ特異的な賦活は、動物の意味処理における視覚システムの処理、道具の意味処理に関する運動システムの処理の関与を示していると考えられる。Damasio et al. (1996)でも、動物、道具の写真の命名課題を実施し、刺激カテゴリ条件による脳賦活の違いを調べた。その結果、動物名の命名によって下側頭皮質の前部、道具名の命名によって下側頭皮質の後部が活性化した。これらの賦活領域は、視覚処理領域や運動処理領域には直接対応しないが、言葉の意味に対応した視覚情報や運動情

報を活性化させる，モダリティ特異的な中間領域(convergence zone)の賦活を反映していると考えられている(Damasio et al., 1996)。

神経心理学的研究と神経イメージング研究の弱点

以上のように，意味処理に感覚システムや運動システムが関与することを示唆する知見が報告されている。しかし，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，種々の要因の統制困難性がある。つまり，症例によって損傷が生じる脳部位や意味障害の評価方法が様々であるという問題がある。また，損傷を受けた部位以外の領域における補償的な機能変化の影響も統制することも困難である。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が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。その点に加えて，陽電子造影法(positron emission tomography: PET)や機能的磁気共鳴画像法(functional magnetic resonance imaging: fMRI)といった脳血流動態の変化から脳活動を評価する技法は，高い空間分解能をもつ反面，時間分解能が低い。つまり，それらの技法を用いた場合，ある認知課題遂行中に脳のどの部分が賦活するかを数ミリから数十ミリの精度で検討できる。しかしその一方で，捉えられた脳賦活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)。たとえば，意

味処理課題中の脳活動が、意味処理における活動ではなく、意味処理の後に生じる心的イメージ想起に関連した脳活動を含んでいるかもしれない。心的イメージの想起によって、心的イメージのモダリティに対応する感覚システムや運動システムの賦活が生じることが報告されている (e.g. Ishai, Underleider, & Haxby, 2000)。心的イメージの形成時間を測定した行動実験によると、具象単語の視覚イメージは 2—3 秒程度で形成される (e.g. D'Angiulli & Reeves, 2002; 高村・宮谷, 2008)。そのため、たとえば動物の意味処理において生じる視覚システムの脳活動が、視覚イメージを意識に思い浮かべることによって生じるのか、それとも視覚イメージを思い浮かべる前の意味処理の段階で生じているのかが区別をなんらかの方法で区別することが必要である。

このような問題を解決するためには、特定の脳機能を選択的に干渉する実験操作方法や、時間分解能に優れた神経活動の測度を用いた検討が有効であると考えられる。脳機能への干渉方法としては、二重課題法と経頭蓋磁気刺激法 (transcranial magnetic stimulation: TMS) がある。二重課題法では、ある認知処理に特定の種類の資源が関与しているか否かを示すために、当該の認知処理課題と同時に、共通の処理資源を要すると仮定される同時課題を行い、その同時課題の有無による干渉効果を調べる。TMS は、頭部表面に強力な磁気刺激を当てることで、表面近くの脳組織に誘導電流を流し、磁気刺激直下の脳機能に影響を与える。また、時間分解能に優れた神経活動の測度として、事象関連電位 (event-related potential: ERP) や脳磁図 (magneto-

encephalography: MEG)がある。これらの技法は、脳の神経活動によって生じる電位または磁場の変動を捉える技法であり、数ミリ秒の時間単位で脳活動の変化を捉えることができる。

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

意味処理における感覚処理や運動処理の関与を検討するためには、神経心理学的研究およびPETやfMRIを用いた神経イメージング研究の知見のみでは不十分であることを前節で述べた。また、二重課題やTMSを用いて統制された擬似的損傷を用いること、脳活動の測定に時間分解能に優れた技法を用いることの有効性を述べた。ここでは、それらの技法を単独あるいは組み合わせて用いた先行研究の知見および、未解決の問題について述べる。

二重課題法を用いた行動実験

感覚システムへの負荷をもたらす二重課題を用いて、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(単語と特徴を対呈示し、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意味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，“BLENDERcanbeloud”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，意味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。

TMS を用いた実験

TMSによる擬似的な脳損傷が単語の処理に及ぼす影響が検討され，具象単語と抽象単語の意味処理の性質の違いが示唆されている。Pobric, Lambon Ralph, & Jefferies (2009)は意味の類似性判断課題を用い，具象単語と抽象単語の意味処理に，脳への磁気刺激が及ぼす影響を調べた。意味類似性判断課題は，画面上部中央に1つのターゲット単語を，画面下部左右に2つの単語を呈示し，ターゲット語と意味が同じ単語を選択する課題であった。彼らは，先行研究のレビューから左右の側頭極を意味処理システムのうち非感覚的表象の座とみなし，その部位に対する磁気刺激の影響を調べた。その結果，抽象単語の判断のみが側頭極への磁気刺激によって妨害を受けた。したがって，具象単語と抽象単語の意味処理に関わるシステムは異なり，後者は非感覚的な意味表象に強く依存していることが示唆された。Papagno et al. (2009)も TMS を用いた実験から，具象単語と抽象単語の意味処理に異なる脳領域が関与することを示唆する結果を報告している。

ERP を用いた実験

ERP を用いて具象単語と抽象単語の処理の違いを調べること

で、具象単語の意味処理への感覚処理の関与が検討されている。複数の研究において、具象単語と抽象単語が惹起する ERP が乖離することが示されている (e.g. Nittono, Suehiro, & Hori, 2002; Van Schie, Wijers, Mars, Benjamins, & Stowe, 2005; West & Holcomb, 2000)。しかし、その ERP の乖離が具象単語の意味処理における視覚処理を反映するか否かという解釈については研究間で相違がある。

West & Holcomb (2000) は、刺激文を視覚呈示して、その文末の単語について心的イメージを想起しやすいか否かの判断を求める心像性判断課題を実施した (e.g. "It is easy to create a mental image of shoes.")。文末単語が具象単語である条件と抽象単語である条件で終末単語が惹起する ERP を比較した結果、前期(単語呈示後 300—550 ms) と後期(550—800 ms) の 2 つの時間窓で、具象単語条件の電位が抽象単語条件よりも陰性にシフトした。前期の効果は中心部から広範に分布し、後期の効果は前頭部の電極で優勢であり、頭皮上分布が異なっていた。彼らは、前期と後期の効果について潜時帯と頭皮上分布の変化にもとづいて解釈を行い、具象単語の意味処理には視覚処理を含まないと結論づけた。つまり、前期シフトは、意味処理過程を反映し、視覚情報の処理を含まない。一方で、後期シフトは、意味処理後に生じる視覚イメージ想起に関する処理を反映しており、視覚処理を含むという考察がなされた。

Nittono et al. (2002) の実験では、単語を単独で視覚呈示する形式で心像性判断課題を実施し、具象単語条件と抽象単語条件の ERP が比較された。結果、West & Holcomb (2000) と同様、2

つの時間窓(300—495 ms, 700—895 ms)で ERP シフト効果が確認できた。しかし, West & Holcomb(2000)とは異なり, 前期と後期の陰性シフトの頭皮上分布のパターンは共通であり右半球で大きかった。このことから, 具象単語条件において生じた陰性シフトが反映する処理は, 前期と後期で共通した性質のものであると考察された。したがって, 具象単語の意味処理段階における視覚処理の関与が示唆された。

上記の研究(Nittono et al., 2002; West & Holcomb, 2000)では, 具象単語の意味処理段階に視覚処理が関与するか否かについて, ERP で条件差の生じる潜時帯および頭皮上分布から考察している。それに対して Van Schie et al. (2005)では, ERP と二重課題法を組み合わせることで, 具象単語処理における視覚処理の関与について直接的な検討を行っている。

Van Schie et al. (2005)は, 音声単語の語彙判断課題を実施し, 具象単語と抽象単語が惹起する ERP を比較した。また, 語彙判断中に無意味図形保持を行わせる条件と行わせない条件を設け, 視覚処理の妨害の有無を操作した。実験の結果, 具象単語と抽象単語に対する電位は複数の時間窓において乖離した。前期には具象単語条件の前頭部の陰性シフト(950—1600 ms), 後期には緩やかな左前頭の陽性シフト(1700 ms 以降)や両側後頭の陰性シフト(1400 ms 以降)がみられた。そして, これらの効果のうち, 後期の左前頭陽性シフトのみが, 視覚妨害課題を行った際に消失した。これらの結果から Van Schie et al. (2005)は, 具象単語条件における前期の電位シフトには視覚処理の関与しない意味処理が反映され, 後期の左前頭陽性シフトおよび後頭陰

性シフトには視覚処理を含む処理が反映されていると結論した。すなわち，前期の時間帯に生じる具象単語の意味処理には視覚システムが関与しないことが示唆された。

これまでの知見の問題点

以上のように，二重課題法や TMS 等の視覚妨害手続きや ERP を用いた研究によって，具象単語の意味処理における視覚システムの関与を示唆する証拠が示されている。しかし，ERP 研究における結果の不一致もみられる。この結果の不一致には，意味処理課題において文を呈示するか単語を単独で呈示するかといったさまざまな方法の違いが影響している可能性がある。各種の方法上の改善が考えられるが，意味処理における視覚システムの関与の有無を明確に検討するという本研究の文脈では，視覚妨害手続きの改善がもっとも重要であると考えられる。

具象単語の処理における視覚処理の関与について二重課題法の手続きで検討した研究 (e.g. Van Schie et al., 2005; Vermeulen et al., 2008) では，図形の記憶課題が妨害課題として用いられている。このように記憶という処理を含む課題では，視覚処理そのもの以外への負荷が生じていると考えられ，視覚処理の有無を検討するには不十分である。視覚図形の短期的保持に関わる脳活動を調べた神経イメージング研究によると，視覚野の他，前頭葉―頭頂葉ネットワークを含む広範な領域が関与することが示されている (Smith & Jonides, 1999)。また，記憶課題の刺激として縞模様のように単純で無意味な視覚刺激を用いた場合にも，さまざまな記憶方略 (e.g. 縞の数をかぞえる，縞

の間隔を記憶する、言語的に符号化する)がとられることが報告されている(e.g. 斎藤他, 2009)。つまり、視覚妨害課題が記憶処理を含むと、その課題に関与する脳機能が不明瞭になると考えられる。

また、TMSを用いて干渉効果を生じさせた研究では、その干渉が脳部位ベースであり、あるモダリティの処理を干渉しているか否かについては言及が難しい。たとえば、左側頭部への刺激によって意味処理が阻害されたとしても、それが視覚処理に対する干渉によって生じた意味処理の妨害効果であるのか否かを結論するのは困難である。また、磁気刺激による干渉の原理上、側頭部内側の視覚野など深部の組織を干渉の標的にすることが難しい。

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、視覚的妨害刺激の意識的保持を含まない受動的な課題であり、かつ意味を持たない視覚処理にもとづく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。これまでに、DVNの呈示が視覚イメージ形成を妨害する効果をもつことが示されている(Baddeley & Andrade, 2000; McConnell & Quinn, 2000; Quinn & McConnell, 1996)。また、視覚ノイズの視覚的属性の操作(e.g. 変化するドットの密度)によって、視覚イメージ形成への妨害効果の強さが変化することから、DVNが視覚処理にもとづく干渉効果を生じさせることが確かめられている(McConnell & Quinn,

2004)。具象単語の処理に対する影響については、Parker & Dagnall (2009)が検討を行い、DVNの呈示によって、具象単語の再生成績や再認成績が低下することを報告している。しかし、DVN呈示による妨害効果を調べた研究として、意味処理課題の反応時間や単語処理中の脳活動といった側面への影響について検討した報告はまだない。

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、無意味な視覚ノイズの注視以外の能動的な処理を含まない視覚妨害課題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。また、ERPの時間分解能の高さを生かし、具象単語の処理においてどの時間帯に視覚情報処理の関与が始まるかについての情報が得られるであろう。

ただし、具象単語の意味処理によって視覚イメージ形成が引き起こされる状況では、意味処理の段階(Figure3 網掛け部分)で視覚処理が開始されているのか否かについて、ERP上で効果

が現れる時間帯の情報のみから明確に結論付けるのは困難である。そのため、別の方法によって視覚妨害効果が生じる過程の特定が必要である。

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、それとも、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検討する。その目的のために、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よりも陰性の電位を惹起することが報告されている。この具象単語と抽象単語が惹起する ERP 間の乖離は、単語に対する処理として文字探索等の表層的処理(e.g. “The letter ‘x’ appears in the word aluminum”等の文の正誤判断)を行う場合には生じないことが示されている(West & Holcomb, 2000)。また、乖離の生じる潜時帯が、意味処理過程を反映すると言われていた ERP 成分 N400(Kutas & Hillyard, 1980)とほぼ一致する。これらのことから、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(e.g. Nittono et al., 2003; 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影響を受け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

実験参加者 成人の男女 14 名（男性 5 名，女性 9 名）が実験に参加した。参加者の平均年齢は 23.6 歳（範囲：18—33）であり、全員、課題遂行に支障のない視力または矯正視力、および聴力を有していた。脳波の加算平均処理の結果、2 名を分析から除外し、12 名のデータを分析に用いた。12 名全員が右手利き

であった。

課題 単語の心像性評定課題を実施した。参加者は音声単語を聴取し、その単語が示す対象の視覚イメージのつくりやすさを5段階で評定した。また、評定課題がすべて終了した後に評定課題で呈示した単語の偶発再生課題を実施した。単語再生課題における具象性効果が視覚ノイズ呈示によって消失することを示した Parker & Dagnall(2009)の実験手続きにならい、再生課題の前に5分間の挿入課題を実施した。挿入課題として、素数をできるだけ多く産出する素数計数課題を実施した。

刺激 心像性評定課題で呈示する刺激として、杉村・栗山(1972)のリストから抽出した具象名詞50語(例:新聞)および抽象名詞50語(例:安心)の音声刺激を作成した。抽出した具象単語の具象性、心像性は抽象単語よりも有意に高く、値の重複はなかった(平均具象性(*SD*): 具象単語 93.2%(4.2), 抽象単語 16.9%(10.0), $t(98)=49.25, p<.001$; 平均心像性(*SD*): 具象単語 97.2%(2.7), 抽象単語 38.1%(15.8), $t(98)=25.81, p<.001$)。また、天野・近藤(1999)に基づく音声単語親密度においてはリスト間に差はなかった(平均親密度(*SD*): 具象単語 6.1(0.2), 抽象単語 6.2(0.3), $t(98)=0.44, ns$)。以上のように抽出した語を男性日本語話者の声でデジタル録音して音声刺激を作成した。音声刺激の平均音圧は約 60 dB/SPL であった。

心像性評定課題では、具象単語50試行、抽象単語50試行の他に、純音を呈示する50試行を設けた。この手続きは、Nittono et al. (2002)の手続きを参考にしたものである。Nittono et al. (2002)によると、ERP 陰性成分の変化を検討する実験において

目的の陰性成分の観察を困難にする要因として、陽性電位(P3)の重畳がある。彼らは、刺激に対して惹起されるP3の大きさが刺激の呈示頻度と逆相関することを利用し、単語の他に低頻度刺激としてアスタリスクを呈示する試行を設けることで、高頻度刺激(単語)に対するERPへのP3の重畳を減らした。本研究では、音声単語に対する低頻度刺激として440Hzの純音(音圧65 dB/SPL, 持続時間600 ms)を使用した。

視覚ノイズ群における視覚ノイズは、Quinn & McConnell (1996)のDVNに準拠した。DVNは、正方形の領域に縦80個×横80個のドットがランダムに配置された白黒のドットパターンである。1つのドットの状態は白または黒であり、白と黒の割合を50:50に保ったまま、ドットの状態がランダムに変化する。本研究では1秒間につき2000個の割合でドットの状態を変化させた。使用した液晶画面の更新レートは60 Hzであった。統制条件では、DVNを構成する白黒ドットの間色である灰色で塗りつぶした四角形を呈示した。視覚ノイズおよび統制条件の灰色の四角形は背景を黒とした液晶画面に呈示した。両刺激とも画面上の大きさは縦18 cm, 横17 cmであり、観察距離は70 cmであった(視角にして縦14.7° × 横13.9°)。

手続き 電極の装着後、参加者に実験課題の説明を行った。参加者が行う課題は、液晶画面の中央を注視しながら、液晶画面の左右に設置したスピーカーから聞こえる単語について、その指示対象のイメージの作りやすさを評定することであると告げた。また、単語ではなく純音を呈示する場合もあり、その場合は純音を無視するように教示した。試行の流れを図として

Figure 4 に示す。各試行の開始は参加者ペースであり，参加者のキー押しによって開始した。キー押しから 1 000 ms 後に，単語音声または純音を呈示した。音刺激のオンセットの 3 000 ms 後に，ビープ音(1 000 Hz 純音，音圧 65 dB/SPL)を 100 ms 呈示した。参加者には，ビープ音が呈示されるのを待ってから心像性評定を行うよう教示した。心像性の評定は 5 段階で，1 から 5 の数字が割り当てられたキーを押すことで行った。数字が大きいほど，イメージが作りやすいことを意味した。純音の呈示試行では，ビープ音呈示後にいずれかのキーを押すことで試行を終了した。具象単語，抽象単語，純音を呈示する試行はランダムな順序で実施した。最初に練習試行を 6 試行行った後，本試行 150 試行を実施した。

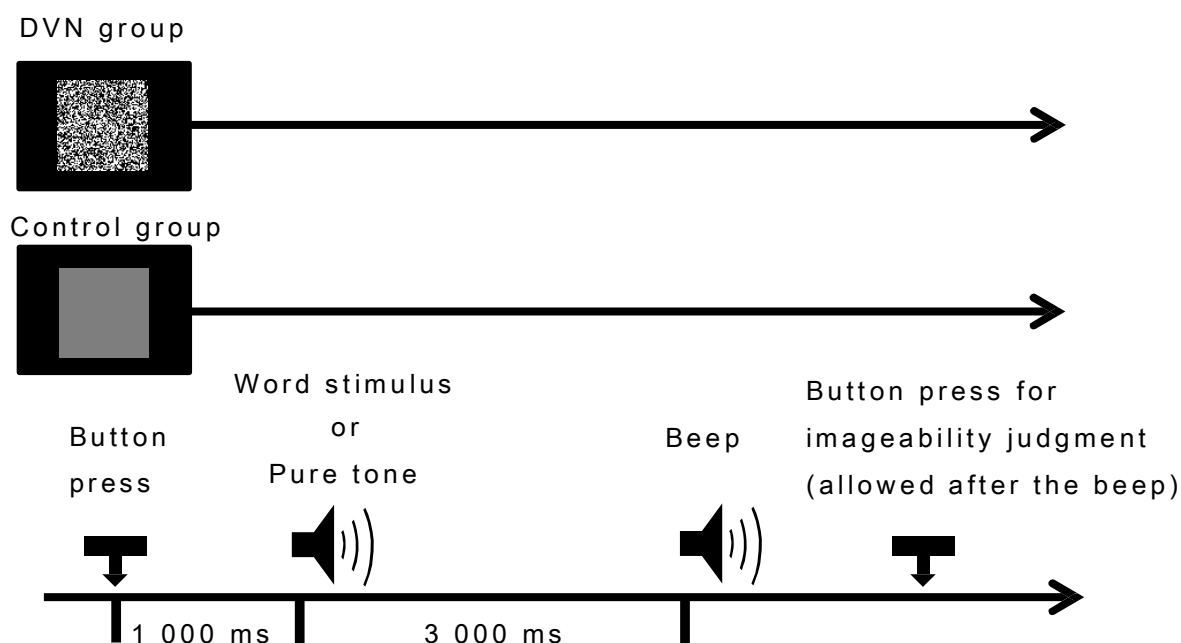


Figure 4. 心像性判断課題の試行の流れ

Note. DVN: dynamic visual noise

評定課題の終了後，素数をできるだけ多く紙に書く課題を5分間実施した。素数課題の終了後，評定試行で聞いた単語を自由再生する偶発再生課題を実施した。単語の再生は筆記で行わせ，制限時間は設けなかった。実験の最後に，参加者が偶発再生課題を予期していたか否かを確認した。確認の結果，偶発再生を予期していた参加者はいなかった。また，素数計数課題の成績を集計し群間で比較した結果，群間差はなかった。

脳波の記録と分析 頭皮上の24部位 (Fp1, Fp2, F3, F4, F7, F8, Fz, AT7, AT8, C3, C4, Cz, T7, T8, P3, P4, P7, P8, Pz, PO7, PO8, O1, O2, Oz) および，左右耳朶，左右マストイドから電位を導出した。また，左右眼窩外側，左眼窩下に電極を設置し，水平・垂直眼球電図を同時記録した。すべて銀・塩化銀電極を用いて，電極間抵抗値を5 k Ω 以下に保ち，デジタル脳波計（日本光電 EEG-1100）によってサンプリング周波数1 000 Hzで記録した。記録した脳波は分析時に左右マストイドの平均電位に再基準化し，遮断周波数0.03 Hzのローカットフィルタ（6 dB/oct）および遮断周波数30 Hzのハイカットフィルタ（6 dB/oct）で処理した。加算平均は，具象単語と抽象単語ごとに行い，音声呈示のオンセット前100 msからオンセット後2 000 msまでの2 100 msを加算区間として加算した。基線は音声呈示前100 msの平均電位とした。加算においては，加算区間において ± 100 μ V以上の電位が混入した試行を除外した。最終的に，1条件の加算回数が10回に満たなかった1名およびアルファ波の混入が多く明瞭な加算波形が得られなかった1名のデータを分析から除外した。

統計的検定 行動指標のデータはすべて，2 (DVN群，統制群)

×2(具象単語, 抽象単語)の2要因混合計画の分散分析によって分析した。ERPデータは, 正中線電極(Fz, Cz, Pz)について, 2(DVN群, 統制群)×2(具象単語, 抽象単語)×3(F, C, P)の3要因混合計画の分散分析, 外側電極(F3, F4, C3, C4, P3, P4)について, 2(DVN群, 統制群)×2(具象単語, 抽象単語)×3(F, C, P)×2(左, 右)の4要因混合計画の分散分析を行った。自由度2以上の参加者内要因を含む分析の際には, タイプIエラー率の増大を防ぐために, Huynh-Feldtの ϵ で自由度の調整を行った。

電源分析 頭皮上脳波の電位マップから, 頭蓋内の電源位置を推定する手法(Pascual-Marqui, 2002)が開発されている。本研究ではこの技法を用いて具象単語と抽象単語の処理の違いに関する脳領域の推定を試みた。

結果

行動指標

心像性評定値, 評定所要時間, 偶発再生成績の平均値を, 群と単語条件ごとに集計した(Table 1)。

心像性評定 単語に対する心像性評定について単語の主効果が有意($F(1,10)=247.68, p<.001$)であり, 具象単語(群間平均で4.8)は抽象単語(2.6)よりもイメージを形成しやすいと評定された。群の主効果や群×単語の交互作用は有意ではなかった(群: $F(1,10)=3.57, p<.10$, 交互作用: $F(1,10)=0.49, ns$)。

評定所要時間 反応開始の合図のビーブ音から評定キー押しまでの時間を計測し, 分析を行った。結果, 単語の主効果が有意であり($F(1,10)=18.47, p<.01$), 具象単語に対する評定時間

(群間平均で 1081 ms)は抽象単語に対する評定時間(1481 ms)よりも短かった。群の主効果や群 × 単語の交互作用は有意ではなかった(群 : $F(1,10)=1.16, ns$; 交互作用 : $F(1,10)=0.01, ns$)。

偶発再生成績 いずれの効果も有意ではなく(群 : $F(1,10)=0.01, ns$; 単語 : $F(1,10)=0.77, ns$; 交互作用 : $F(1,10)=0.02, ns$) , 具象単語(群間平均で 11.6 語)が抽象単語(10.6 語)よりも多く再生される効果は確認できなかった。

Table 1

3 種類の行動指標の平均値と標準偏差 (SD) についての
群と単語条件別の集計

| | DVN group ($n=6$) | | Control group ($n=6$) | |
|-------------------------------------|---------------------|---------------|-------------------------|---------------|
| | <i>M</i> | (<i>SD</i>) | <i>M</i> | (<i>SD</i>) |
| Imageability rating | | | | |
| Concrete | 4.9 | (0.1) | 4.7 | (0.4) |
| Abstract | 2.8 | (0.5) | 2.4 | (0.4) |
| RTs for rating (ms) | | | | |
| Concrete | 978 | (408) | 1185 | (264) |
| Abstract | 1368 | (395) | 1595 | (447) |
| Numbers of recalled words (max. 50) | | | | |
| Concrete | 11.7 | (6.4) | 11.5 | (5.9) |
| Abstract | 10.8 | (6.0) | 10.3 | (5.8) |

Note. DVN: dynamic visual noise

ERP

DVN 群と統制群における総加算平均波形を Figure 5, Figure 6 に示す。群にかかわらず，具象単語と抽象単語は単語呈示後約 200 ms で陰性の，約 300 ms で陽性の電位を惹起し，それに続く区間において単語条件間で差が生じた。具象単語条件から抽象単語条件の電位を引き，群ごとに差波形を算出した(Figure 7)。単語条件による電位変化は DVN なしの統制条件で顕著であり，具象単語が抽象単語に対して陰性となった。具象性による陰性シフトが生じている区間を同定するために，2100 ms の分析区間の 100 ms ごとの平均電位に対して，具象単語と抽象単語の間で対応のある t 検定($p < .05$)を，それぞれの群と電極ごとに実施した。統制群における検定の結果，2つの区間以上連続して有意差があり，その差が複数の部位で有意であった，2つの区間(600—900 ms, 1400—1600 ms)を抽出した(Figures 5-7 に前期区間と後期区間の潜時帯を網掛けで示す)。DVN 群における検定の結果では，連続して有意差が生じた区間はなかった。そのため，統制群における検定結果に基づき抽出したこれら 2つの区間平均電位について，正中線電極，外側電極ごとに分析した。

潜時 600—900 ms 区間のそれぞれの部位における単語の効果を示すため，具象単語条件から抽象単語条件の区間平均電位を引いた値を Figure 8 に示す。正中線電極において，単語の主効果が有意であり($F(1,10)=7.10, \eta_p^2=.41, p < .05$)，具象単語に対する電位は抽象単語よりも陰性であった。群×単語の交互作用が有意であり($F(1,10)=5.28, \eta_p^2=.35, p < .05$)，DVN 群においては単

語の効果がみられず ($F(1,5)=0.04, \eta_p^2=.01, ns$), 一方, 統制群における単語の効果は有意であった ($F(1,5)=28.14, \eta_p^2=.85, p<.01$)。したがって, 統制群でのみ具象単語に対する有意な陰性シフトが出現した。群の主効果 ($F(1,10)=0.73, \eta_p^2=.07, ns$) はなかった。

外側電極においても正中線電極と同様に, 単語の主効果が有意 ($F(1,10)=6.40, \eta_p^2=.39, p<.05$) である一方で, 群の主効果はなかった ($F(1,10)=1.35, \eta_p^2=.12, ns$)。群×単語の交互作用は有意傾向 ($F(1,10)=4.41, \eta_p^2=.31, p<.10$) であった。また, 単語×左右の交互作用が有意 ($F(1,10)=6.06, \eta_p^2=.38, p<.05$) であり, 具象単語における陰性シフトは右半球の電極で有意に出現し ($F(1,10)=9.29, \eta_p^2=.48, p<.05$), 一方, 左半球の電極では, 陰性シフトは有意ではなかった ($F(1,10)=1.69, \eta_p^2=.15, ns$)。

視察によると, 潜時 1 400—1 600 ms 区間の電位は DVN 群では具象単語条件が抽象単語条件に対して陽性に, 統制群では具象単語条件が抽象単語条件に対して陰性にシフトした。しかし, 正中線電極, 外側電極において単語の主効果および群×単語の交互作用は有意ではなかった (正中線電極: $F(1,10)=0.01, \eta_p^2<.01, ns$; $F(1,10)=3.92, \eta_p^2=.28, ns$, 外側電極: $F(1,10)=0.00, \eta_p^2<.01, ns$; $F(1,10)=2.62, \eta_p^2=.20, ns$)。

また, 分散分析において具象単語条件と抽象単語条件との間で電位差が有意となった単語呈示後 600-900ms の区間について, 電位変化が生じた部位を sLORETA 解析 (Pascual-Marqui, 2002) によって推定したところ, 左下前頭回付近に電源が推定された。

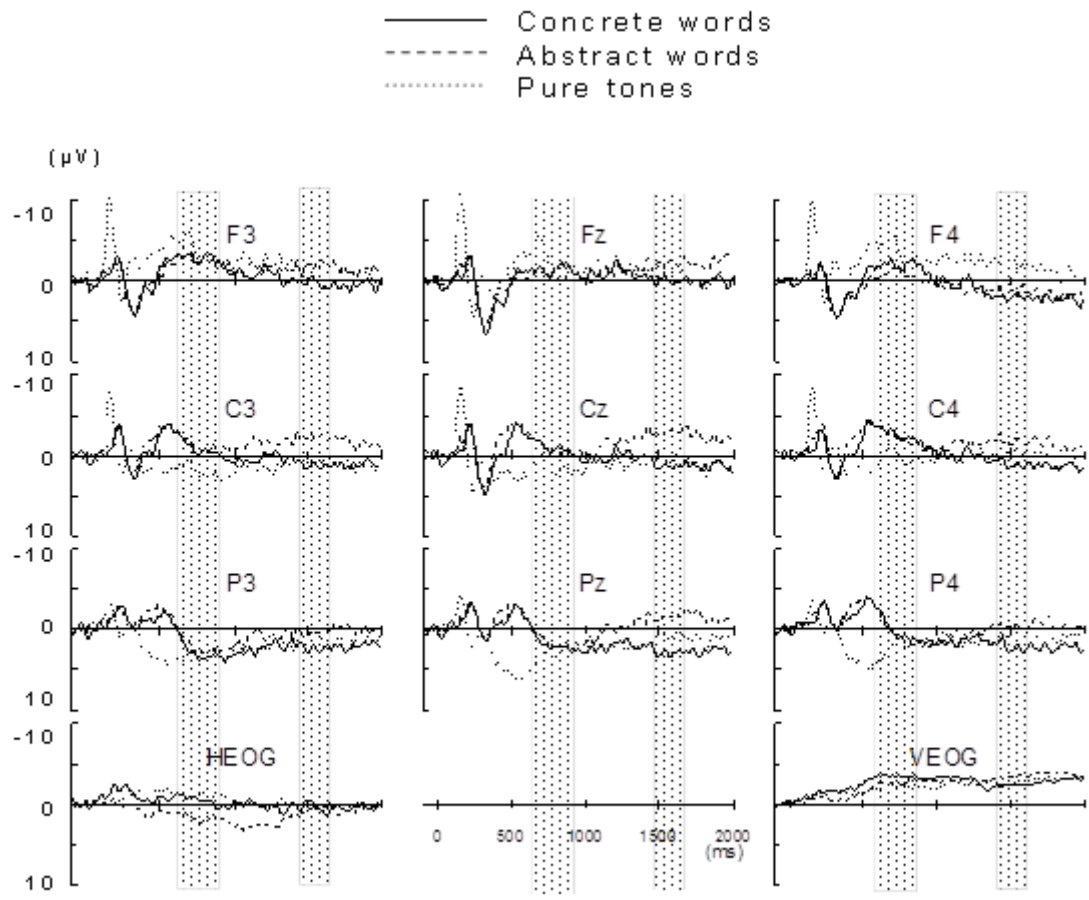


Figure 5. DVN 群 6 名における ERP 総加算平均波形。具象単語条件を実線，抽象単語条件を破線，純音条件を点線で示している。

Note. DVN: dynamic visual noise

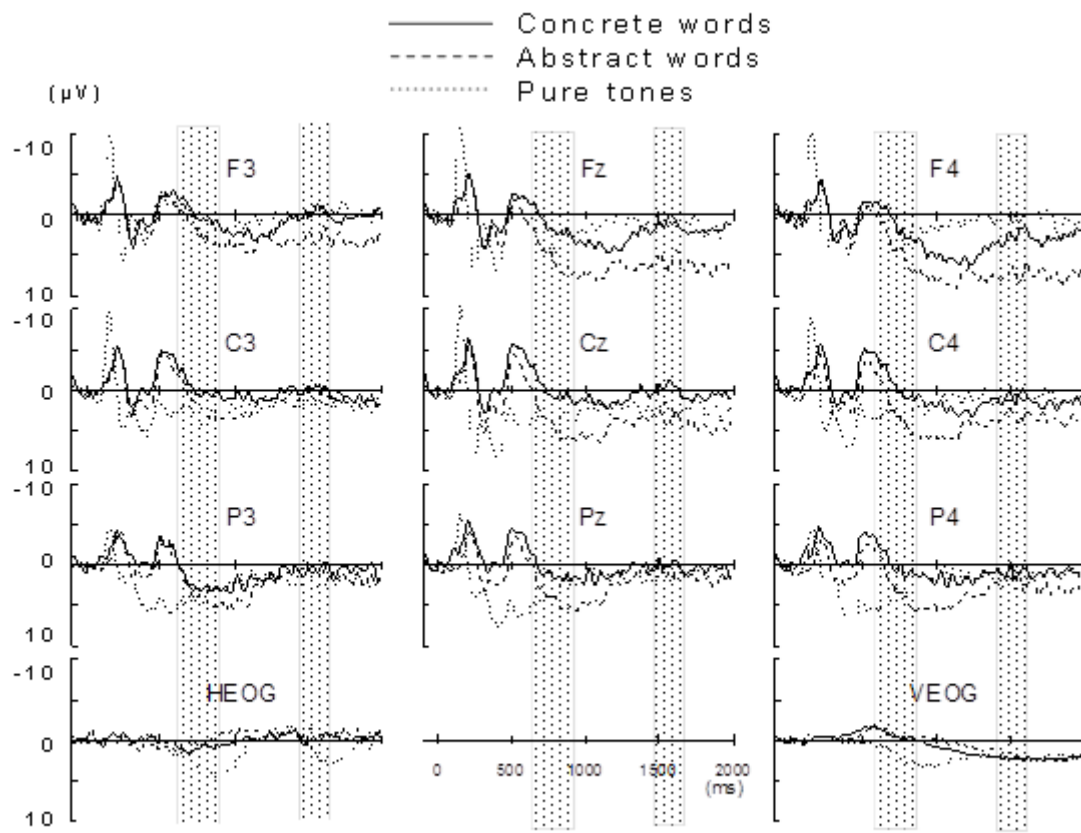


Figure 6. 統制群 6 名における ERP 総加算平均波形。具象単語条件を実線，抽象単語条件を破線，純音条件を点線で示している。

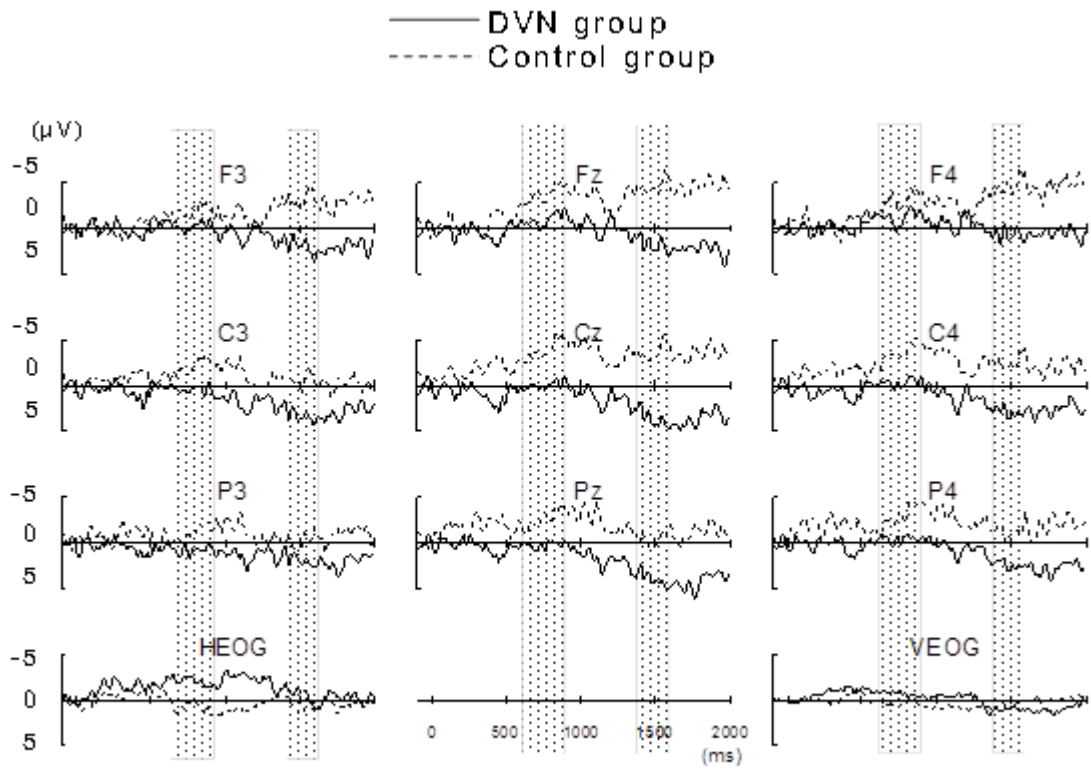


Figure 7. DVN 群 (実線) および統制群 (破線) の総加算平均波形について、具象単語条件から抽象単語条件の波形を差し引いて得た差波形。Note. DVN: dynamic visual noise

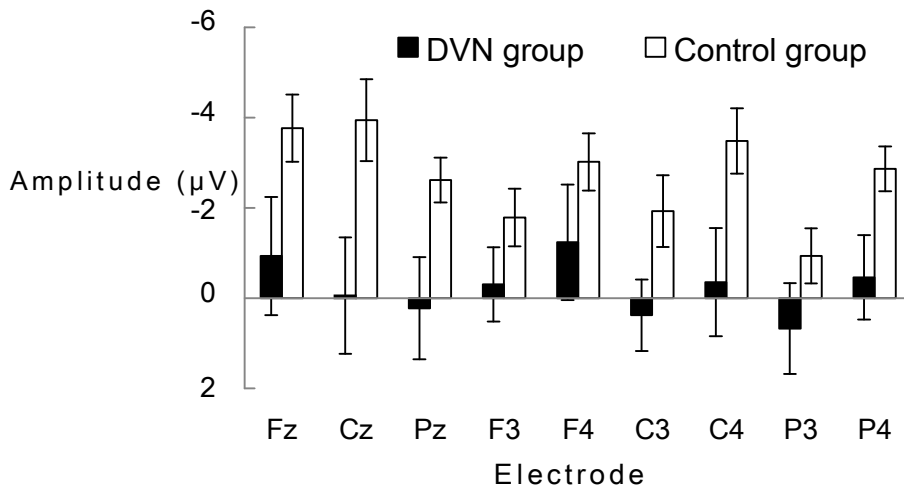


Figure 8. 具象単語条件から抽象単語条件を差し引いた差波形における各群の区間平均電位(単語呈示後 600—900 ms)。横軸は電極位置であり、グラフの縦線は標準誤差を表す。

Note. DVN: dynamic visual noise

考察

具象単語と抽象単語の処理の違いについて時間経過を含めて調べるため、具象単語と抽象単語が惹起する ERP の間で生じる電位差が反映する処理の性質を、視覚イメージ処理の妨害が電位に及ぼす影響から検討した。

具象単語と抽象単語の音声単語が惹起した ERP を比較したところ、視覚イメージの妨害を行わない統制群において、単語呈示後 600—900 ms, 1400—1600 ms という 2 つの時間窓で具象単語条件の電位が抽象単語条件に比べて陰性にシフトした。一方、視覚ノイズを呈示して単語処理時の視覚イメージの処理を妨害した DVN 群では具象単語条件の陰性シフトは生じなかった。

前期の陰性シフト効果は、統制群において統計的に有意な効果が生じたが、DVN 群では有意ではなく、視察上でも、DVN 群では具象単語の陰性シフト効果が生じていなかった。すなわち、前期の陰性シフト効果は視覚イメージの妨害によって消失することが示された。この結果は、具象単語条件の電位において前期の時間窓で生じる陰性シフトが、具象単語処理における視覚処理を反映することを示唆し、この陰性シフトには、具象単語と抽象単語に対する質的な処理の違いが反映されていることが示唆された。また、前期の陰性シフト効果は左右の大脳半球で異なり、右半球でのみ有意な効果が生じた。従来の ERP 研究では、具象性による陰性シフト効果の左右差のパターンは研究によってさまざまであったが、単語に対する心像性評定課題、陽性電位除去手続きなど、本研究が多くの部分で手続きを踏襲

した Nittono et al. (2002) では、本研究と同様に、具象単語条件の陰性シフトの右半球優位性が示されている。このことは、本研究の統制群と Nittono et al. (2002) における ERP が共通の認知過程を反映している可能性が高く、DVN 群において消失した電位差が、具象単語と抽象単語の意味処理に基づくものであったことを示唆する。また、この前期 ERP 効果の開始時点は、単語呈示後 600ms であった。心的イメージ想起にかかる時間を調べた行動実験の結果 (e.g. D'Angiulli & Reeves, 2002; 高村・宮谷, 2008; 2-3 秒) と比較すると、本研究での ERP の効果は、心的イメージがすでに惹起されているとは言えない程度に早期で生じていると言えると思われる。ただし、意味処理の開始時点としては遅い潜時であると考えられるので、この効果が意味処理段階を確実に反映したものであるかは明確に結論できない。

後期の陰性シフト効果は、本研究では分散分析の結果、有意とはならなかった。そのため、具象単語条件における後期の陰性シフトが前期の陰性シフトと同様の視覚処理を反映しているか否かを示すことはできなかった。有意な陰性シフトが生じなかった原因として、後期の電位が参加者のイメージ形成能力の個人差によって安定しなかった可能性を考えることができる。単語から視覚イメージを形成する能力には個人差がある事がわかっており、特に、抽象単語の視覚イメージを形成する能力や方略が個人ごとに異なることが示唆されている (高村・宮谷, 2008)。一般に、抽象単語から視覚イメージを形成する場合、具象単語から形成するよりも長い時間を要し、イメージの鮮明度が低くなるが、高村・宮谷 (2008) の実験参加者の一部では、視

覚イメージ形成時間や鮮明度の高さにおいて、抽象単語と具象単語との間に有意な違いがみられなかった。すなわち、抽象単語からのイメージ形成能力が高い参加者が一部にみられた。このような特性をもつ参加者がイメージ形成課題において抽象単語を処理するときには、具象単語に類似した処理が行われ、迅速にイメージ情報の活性化が生じると考えられる。単語が惹起する前期と後期の時間窓の電位が、個人の視覚イメージ形成能力を反映するのかという問題について、個人ごとの抽象単語イメージ形成能力と単語呈示時に惹起される電位との相関を調べる実験によって検討できると考えられる。

本実験の結果から、具象単語処理の過程で視覚処理が生じ、その処理が少なくとも前期の時間窓の電位に反映されることが示唆された。この結論は、単語がもつ意味の感覚モダリティの違いによって、単語に対する脳磁界反応が呈示後 150 ms で乖離することを示した Pulvermüller, Assadollahi, & Elbert (2001) など、単語処理における早期の感覚情報処理を示唆する知見と符合する。前期の時間窓における視覚処理の存在を否定した先行研究では、頭皮上分布 (West & Holcomb, 2000) や同時課題の影響 (Van Schie et al., 2005) を根拠としていた。本研究では、視覚処理の妨害が電位に及ぼす影響を、同時課題に DVN 呈示を用いて検討することで、視覚処理の存在を適切に検出することが可能となったと考えられる。

また、本研究で視覚処理妨害によって消失した具象単語処理に特有の電位成分 (統制群における単語呈示後 600—900 ms) の発生源を推定した結果、左下側頭回に推定された。この領域は、

様々な言葉の意味処理課題の遂行中に賦活することが知られており、意味処理と深いかかわりがあることが示唆されている (Price et al., 1999)。また、この領域は単語の意味内容や言葉の入力モダリティにかかわらず一貫して活動することから、言葉の意味処理に一般的な、意味表象の操作や保持といった実行機能を果たしていると考えられている (Price et al., 1999)。先行研究では具象単語の意味表象と、たとえば左後側頭皮質 (Damasio et al., 1996) や内側後頭皮質 (Martin et al., 1996) などとの関連が示唆されていたが、それらとは異なる部位において視覚妨害の効果が示されたことになる。しかし、視覚妨害課題が視覚システムにおいて生じる意味処理を妨害するとすれば、左前頭部の処理に影響すると同時に、それらの領域の意味表象の活性化を妨害すると考えられる。ただし、この予測と電源推定結果との不一致は、脳波指標の特性から、以下のような解釈が可能であると考えられる。ERP は、特定の事象に関連した脳波の変化を加算平均処理によって抽出したものである。そして、脳波とは大脳皮質にある錐体神経細胞の同期的活動が形成する電流双極子がもたらす頭皮上の電圧変化を記録したものである。すなわち、頭皮上で観察される脳波は、電流双極子の規模(同期活動の強さ)によって変化する一方、その向きや深度によっても変化する (Kutas, Federmeier, & Sereno, 1999)。たとえば、側頭皮質に特有の折りたたまれた構造によって、その領域の脳波活動が減弱または打ち消し合ったために、視覚妨害の効果がうまく観察できなかった可能性がある。その場合、側頭皮質および前頭皮質の両方で意味処理の妨害が起きていても、前頭皮質のみで ERP

変化が観察されることになる。この側頭皮質等での処理に DVN 呈示による視覚妨害が及ぼす影響については、電流と直交する磁場を捉える MEG や、脳血流動態を測定する fMRI 等の技法によって捉えることができるかもしれない。本研究では具象単語の意味処理における前頭での制御的処理(活性化した意味表象の一時的保持や操作)が DVN による影響をうけることが示された。このことは、ERP への効果は現れなかったものの、視覚システムにおける意味表理の活性化段階でも DVN の影響による妨害が生じている可能性を示唆すると考えられる。

結論

具象単語と抽象単語が惹起する ERP 成分間に生じる条件差は、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。この意味判断課題への回答は心的イメージ想起に依存しないため、この課題の反応時間はイメージ処理過程の影響を受けず、意味表象へのアクセス過程を反映すると考えられる。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。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 課題遂行に支障のない視力および聴力を有する大学生の男女 12名(男性 1名, 平均年齢 18.6歳)が実験に参加した。全員が右手利きであった。

実験課題 具象名詞および抽象名詞を音声呈示し, その単語の意味が具体的であるか, 抽象的であるかを判断する意味判断課題を実施した。

実験計画 意味判断課題で呈示する刺激語のカテゴリ(動物名, 道具名, 抽象単語)と, 課題中に実施する二重課題(DVN, タッピング, 課題なし(統制条件))を参加者内で操作した。

刺激 動物名(例: ライオン, 72語), 道具名(例: ものさし, 72語), 抽象単語(例: 本能, 144語)を, 天野・近藤(1999)のデータベースから抽出した。刺激は 3—5 モーラの長さの日本語名詞とし, 音声単語親密度のカテゴリ内平均値がカテゴリ間で有意に異ならないようにした。抽象単語リストの単語の音声単語心像性は, 動物名リストおよび道具名リストのどの単語よりも低くなるように選択した。各単語の音声刺激は, 女性の声で録音された, 天野・近藤(1999)のデータベースに付属のものを用いた。

二重課題 DVN 条件では, 視覚妨害刺激として, Quinn & McConnell (1996)の DVN に準ずる, 動的に変化するランダムド

ットパターン刺激を用いた。DVN は、正方形の領域に縦 80 個×横 80 個のドットがランダムに配置された白黒のドットパターンである。1 つのドットの状態は白または黒であり、白と黒の割合を 50:50 に保ったまま、ドットの状態がランダムに変化する。本研究では 1 秒間につき 2 000 個の割合でドットの状態を変化させた。使用した液晶ディスプレイの更新レートは 60 Hz であった。タッピング条件および統制条件では、DVN を構成する白黒ドットの間色である灰色で塗りつぶした四角形をディスプレイに呈示した。視覚ノイズおよび灰色の四角形は背景を黒とした液晶ディスプレイに呈示した。両刺激とも画面上の大きさは縦 18 cm、横 17 cm であり、観察距離は 70 cm であった(視角にして縦 14.7° ×横 13.9°)。参加者は、ディスプレイを注視しながら意味判断課題を実施した。

運動処理を妨害する二重課題条件としてタッピング条件を設けた。タッピング条件では、右手人差し指で消音パッドをタッピングし続ける動作を行わせた。タッピングは課題の間、中断をせず、できるだけ早く、できるだけ一定のペースで行うよう教示した。DVN 条件および統制条件では、右手を動かさないよう、消音パッドの上に置いたままで課題を行うよう教示した。実験中、タッピング動作が適切に行われているかを、机に設置した Web カメラを通じて実験者がオンラインで監視した。

手続き 試行の開始時に、純音(440 Hz, 200 ms)を呈示した。純音呈示の 1 000 ms 後に、音声単語を呈示した。参加者は、その単語が具体的対象をもつ具象単語であるのか、抽象単語であるのかを判断し、対応するキーを押して反応した(Figure 9)。キ

一押しは左手の中指と人差し指で行い，それぞれの判断のキーへの割り当ては，参加者間でカウンターバランスをとった。

反応許容時間は 3 000 ms であり，単語オンセットの 3 000 ms 後に純音(1000 Hz, 200 ms)を呈示し，試行終了を合図した。試行終了の合図の 1 000 ms 後，再び開始の純音を呈示し，連続的に試行を実施した。1 ブロックは 32 試行からなり，3 ブロックごとに二重課題条件を切り替えた。DVN 条件では，ディスプレイに動的なノイズパターンを呈示し，課題遂行中，常に観察させた。タッピング条件では，ディスプレイにノイズを呈示せず，灰色の画面上に注視点のみを呈示し，観察させた。また，右手人差し指で連続タッピングを課題実行中に行わせた。統制条件では，ノイズを呈示せず，タッピングも課さなかった。二重課題条件の順序は参加者間でカウンターバランスをとった。

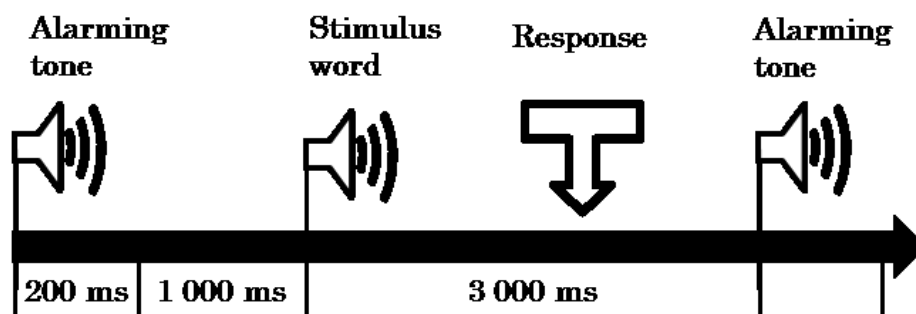


Figure 9. 意味判断課題の試行の流れ

結果

各カテゴリの単語に対する反応のうち，反応が条件に一致したもののみを抽出し，参加者ごとに平均反応時間を算出した (Figure 10)。つまり，抽象単語のうち，抽象的であると判断さ

れた試行および、動物名、道具名のうち、具体的であると判断された試行のみを分析に用いた。分析では、まず、以下の仮説について検討を行った。a)動物名の意味判断は、視覚ノイズの呈示によって遅延する。b)道具名の意味判断は、タッピングによって遅延する。

仮説 a の検討 動物名に対する判断時間について、統制条件(1 081 ms)と視覚ノイズ条件(1 083 ms)間に有意な差はなかった($t(11)=0.11$, $d=0.02$, *ns*)。

仮説 b の検討 道具名に対する判断時間について、統制条件(1 149 ms)とタッピング条件(1 168 ms)間に有意な差はなかった($t(11)=0.77$, $d=0.13$, *ns*)。

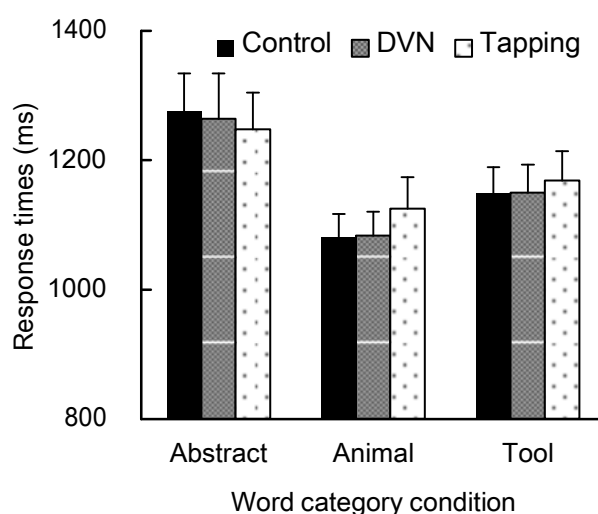


Figure 10. 妨害条件と単語のカテゴリ条件ごとの意味判断課題(実験 2-1)の反応時間。(グラフの縦線は標準誤差を表す)

Note. DVN: dynamic visual noise

考察

具象単語の意味処理における視覚システムおよび運動システムの働きを検討するために、意味処理と同時に行う視覚課題や運動課題が意味判断課題の反応時間にもたらす干渉効果を調べた。その結果、同時課題の種類や単語のカテゴリにかかわらず、干渉効果は生じなかった。したがって、動物名の処理における視覚システムの関与や道具名の処理における運動システムの関与を裏付けることはできなかった。このことは、本実験で用いた同時課題が生じさせる視覚処理や運動処理が、動物名や道具名の意味処理と無関連であることを示唆する。

しかし、DVNやタッピングが意味処理にもたらす妨害効果の有無について結論を出すためには、本実験の手続きを改善した検討が必要であると考えられる。実験後の内省報告において、単語によっては意味判断が困難であったことや、意味判断のボタン押しの動作がタッピングの動作と干渉したことの報告があった。これらの報告は、本実験において、明示的に抽象単語判断を行わなければいけないという課題の複雑さの問題、同時課題による意味処理以外の処理への干渉という問題が生じていたことを示唆する。実験 2-1 において、これらの問題が、感覚的、運動的同時課題が意味判断課題にもたらす干渉効果の検出を困難にした可能性がある。そのため、実験 2-2 において、実験 2-1 の手続きを改良した上で仮説の再検討を行う。

実験 2-2

実験 2-2 では、意味判断課題を単純にし、また反応方法を、

タッピング動作との干渉が小さいフットペダルに変更することで、再度以下の仮説について検討を行った。a)動物名の意味判断は、視覚ノイズの呈示によって遅延する。b)道具名の意味判断は、タッピングによって遅延する。

方法

実験参加者 課題遂行に支障のない視力および聴力を有する大学生または大学院生の男女 6名(男性 4名, 平均年齢 20.5歳)が実験に参加した。全員が右手利きであった。

実験課題 音声単語の意味判断課題(具象—抽象判断)を実施した。実験 1とは異なり、聴取した単語について、その単語がなんらかの具体的な対象物をもつと思われる場合に反応を求める課題であった。聴取した単語が抽象単語であるという明示的判断およびその場合の反応は求めなかった。

刺激 実験 1と同一の刺激を用いた。すなわち、動物名 72語, 道具名 72語, 抽象単語 144語の単語音声を呈示した。

手続き 反応方法以外は実験 1と同様の手続きで実験を行った。参加者は、音声呈示される単語が具体的な対象をもつ語であると思ったときのみ、フットペダルを踏んで反応した。反応許容時間は 3 000 ms であった。

結果

動物名および道具名に対してフットペダルを踏んで反応した試行のみを抽出し、条件ごとの平均反応時間を算出した(Figure 11)。

仮説 a の検討 動物名に対する判断時間は、統制条件(1 028

ms)よりも視覚ノイズ条件(1 097 ms)で有意に延長していた($t(5)=3.28, d=0.65, p<.05$)。

仮説 b の検討 道具名に対する判断時間について、統制条件(1 080 ms)とタッピング条件(1 132 ms)との間に有意差はなかった($t(5)=1.18, d=0.47, ns$)。また、タッピング条件においてのみ、道具名に対する判断時間(1 132 ms)が動物名に対する判断時間(1 040 ms)よりも延長した($t(5)=3.37, d=0.96, p<.05$)。

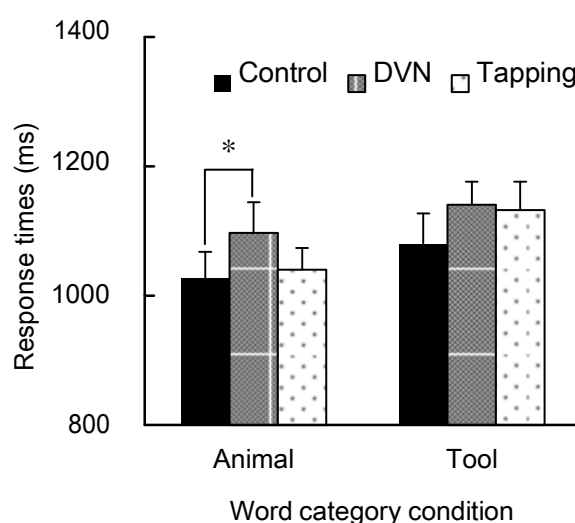


Figure 11. 妨害条件と単語のカテゴリ条件ごとの意味判断課題(実験 2-2)の反応時間。(グラフの縦線は標準誤差を表す)

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

考察

意味処理における感覚システムや運動システムの働きを検討するために、意味処理時の視覚同時課題、運動同時課題が意味処理課題にもたらす干渉効果を調べた。課題の反応方法にフットペダルを用い、タッピング動作と反応ボタン押しの間の運動干渉といった影響要因を排除することで、仮説を支持する結

果を得た。すなわち、DVN 呈示によって動物名の判断のみが遅延した。これは、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を示唆している。

また、タッピングによる道具名の判断の遅延については、道具名判断における統制条件とタッピング条件の反応時間の間に有意差はみられなかった。しかし、タッピング条件でのみ、道具名の判断時間が動物名の判断時間に比べて有意に長くなるという、間接的に仮説を支持する結果となった。これは、道具名の意味処理が、動物名の意味処理に比べてより強く運動処理に依存しているために、タッピング動作遂行時という、運動処理資源の限られた状態において、動物名と道具名の意味処理の効率に差が生じた結果であると解釈できる。

結論

具象単語の意味処理に、単語の意味に対応したモダリティの同時課題が干渉することを示唆する結果が得られた。この結果は、単語が意味する対象との相互作用において重要な処理モダリティの表象が意味表象を構成するという理論に沿ったものであり、具象単語の意味処理に視覚システムや運動システムが関与することを示唆する。

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、この妨害効果は、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検出できなかった。このことは、視覚という単一の感覚モダリティに対する妨害が意味アクセス過程にもたらす干渉効果の限界を示しているかもしれない。たとえば、ある動物に関する知識は視覚モダリティのみではなく、鳴き声等の聴覚表象、毛並みの肌触り等の触覚表象などによっても表現されている (Lambon Ralph, Sage, Jones, & Mayberry, 2010)。ある具象単語の意味処理を行う際には、視覚的な妨害を受けていても、特定の単語表象が活性化することで、その視覚以外のモダリティの意味表象が活性化する。そのことによって単語の具体性の判断という意味処理がある程度可能となり、視覚処理の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と考えられる。この考えを支持する結果として、実験 2-2 において道具名の意味処理に対して有意な視覚妨害効果がみられなかったことが挙げられる。Farah & McClelland (1991) から示されるように、動物名の意味表象にかぎらず、道具名の意味表象も視覚モダリティの表象を含んでいると考えられる。しかし、動物名の場合とは異なり道具名は運動表象を多く含んでいる。そのために道具名の意味処理においては運動表象が強く関与することで、視覚モダリティに対する妨害が強い干渉効果を生じさせなかったと考えられる。

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異なる過程を通じて意味処理が行われると考えられる。すなわち、単語の産出においては、意味表象の活性化にもとづき、ある単語表象が活性化されて選択される。そして、選択された単語表象の音韻表象の活性化を経て単語が出力される(Price et al., 1999)。

ここで、Figure 3の図式を用いて言語流暢性課題における処理の流れを整理する。たとえば、“タ”という文字で始まる言葉を産出する事態を考える。まず、“タ”という手がかり刺激によって“タ”という音韻表象が活性化する。次に、“タ”で始まる複数の単語表象が活性化される。このとき、もっとも強く活性化した単語表象が選択され、その音韻表象の活性化、発話に進むことになる。単語表象の活性化は、それぞれの単語表象自体の活性レベルと、意味表象から受ける活性化拡散によって決定されると考えられる(Dell et al., 1997)。

意味処理に視覚処理が関与するならば、単語産出時に視覚処理が妨害されていることによって視覚モダリティの意味表象の活性化が妨害される。その結果として、視覚表象と結びついた単語表象の活性レベルが、視覚妨害のないときよりも低下し、単語の出力も妨害されることが考えられる。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、視覚妨害の影響の有無から意味表象の性質についての仮説を検討することがで

きると考えられる。意味処理が視覚的性質をもつという仮説から、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ことが予測される。

また、言語流暢性課題時の処理過程については、神経イメージング研究でも検討がなされている。言語流暢性課題遂行中の脳血流変化を fMRI や近赤外分光法 (near-infrared spectroscopy: NIRS) を用いて調べた研究によると、単語産出時に主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 (Kakimoto, Nishimura, Hara, Okada, Tanii & Okazaki, 2009; Suto, Fukuda, Ito, Uehara, & Mikuni, 2004)。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。本実験では、言語産出課題中の脳活動を NIRS によって計測する。NIRS を用いる理由として、言語流暢性課題を用いた先行研究が豊富であること、MRI 測定の場合に生じるような音響ノイズがなく、参加者の発話およびその記録が容易であることがある。

方法

実験参加者 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)。全員右手利きであった。

課題 本実験で用いた単語産出課題は、一般的な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名詞を、具象単語か抽象単語に限定して産出する課題であった。つまり、たとえば“具象単語・い”という指示をした場合、“いぬ”“いす”“いかだ”等の名詞を産出することを求めた。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。産出する際の制限として、人名、国名などの固有名詞および、すでに一度言った言葉の反復を避けるよう教示した。

刺激 産出課題で呈示した手がかり刺激は、“あ”“い”“お”“か”“き”“こ”“お”“は”の8文字であった。これらの文字は、50音文字のうち、天野・近藤(1999)の単語親密度コーパスにおいて、その文字を頭文字とする音声親密度6以上の名詞が多い順に抽出した。実験に用いた8文字に次いで親密度の高い語が多かった“さ”“せ”“た”“と”を練習用の文字に用いた。

二重課題 産出課題中の視覚処理を妨害する条件として視覚ノイズ条件、妨害のない条件として統制条件を設けた。視覚ノイズ条件ではDVNを観察し、統制条件では実験1や2と同様の灰色画面を観察した。

手続き 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。NIRSのベースライン測定のために、産出課題の前後にそれぞれ30秒間と70秒間、“あいうえお”という言葉を繰り返し発話する課題を実施した。

脳血流反応の記録 光トポグラフィ装置(Hitachi, ETG-4000)を用いて、左前頭部から左側頭部にかけての22chから脳血流反応を記録した。3×5の格子状に並んだプローブを伸縮性のある帽子に取り付けることで頭部に固定した(Figure 12)。設置位置は、国際10-20法を基準とし、F7とCh4の位置を合わせた。

Okamoto, Dan, Sakamoto, Takeo, Shimizu, Kohno, Oda, Isobe, Suzuki, Kohyama, & Dan(2004)によると, F7 上のプローブは左下前頭回近傍の活動を捉える。したがって, この実験では左下前頭回から左前側頭回にかけての脳血流反応を記録した。

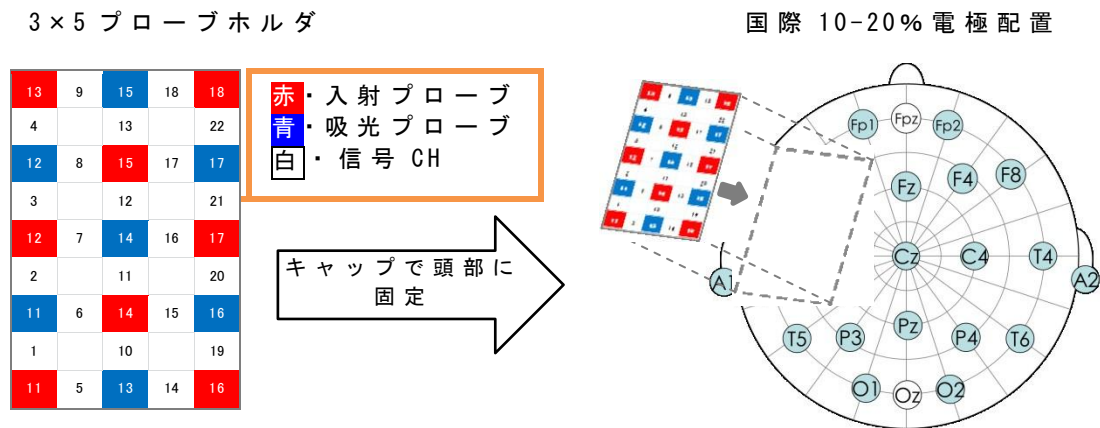


Figure 12. NIRS プローブ配置と頭部への装着のイメージ

結果

単語産出数 単語の産出数(Figure 13 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, 単語の種類効果が有意($F(1,7)=23.02, \eta_p^2=.77, p<.01$)で, 具象単語条件で抽象単語条件よりも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 脳血流反応については, 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(Ch3)において，視覚妨害の有無の有
 有意差が連続してみられた(Figure 13 右)。連続した有意差の生
 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条件と
 統制条件の間に有意差があった($t(5)=2.83, d=0.98, p<.05$)。一方，
 抽象単語条件では，同様の比較において有意差は見られなかつ
 た($t(5)=-0.18, d=0.53, ns.$)。

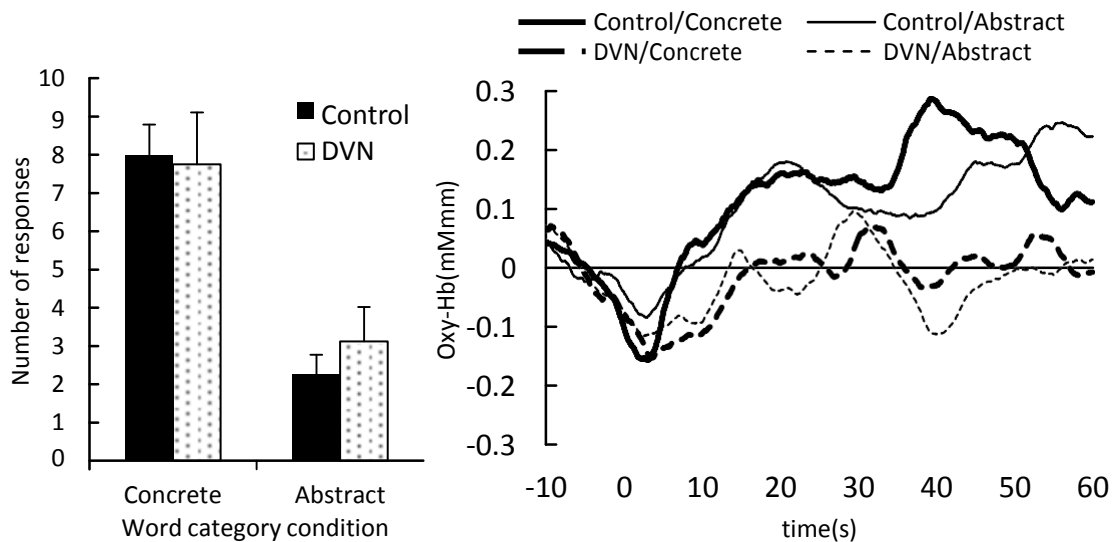


Figure 13. 実験3の各単語条件，視覚妨害条件における単語産出
 量(左)と脳血流反応(右)の結果。

Note. DVN: dynamic visual noise, Oxy-Hb: 酸化ヘモグロビン

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
 響を検討した。まず，本課題の具象単語および抽象単語の産出
 において，左前頭部の酸化ヘモグロビン量の増加がみられた。

これは、一般的な言語流暢性課題遂行中の脳活動に沿った結果である。本実験の脳血流反応の測定では“あいうえお”という所定の言葉を発話しつづけるベースライン条件を用いている。したがって、産出課題中のこの脳活動は単純な運動や音韻処理ではなく、単語の意味過程を反映していると考えられる。その結果、具象単語の産出時には視覚妨害によって左前頭部の脳血流反応に有意な減衰が生じた。それに対して、抽象単語の産出時には視覚妨害による同部位の反応減衰は有意ではなかった。これは、具象単語の産出における意味処理と抽象単語の産出における意味処理では、視覚処理の関与の度合いが異なることを反映していると考えられる。有意な反応減衰の見られた具象単語産出時において、より視覚処理の関与が強いことが示唆された。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 et al., 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大きく関与することを示唆する結果であると考えられる。

ただし、波形の視察上、具象単語産出条件だけではなく、抽象単語産出条件でも DVN 呈示による反応減衰がみられる。その減衰効果は統計的には有意でなかったが、中程度の効果量があった($d=0.53$)。この結果についての一つの解釈として、抽象単語産出条件でも、具象単語が活性化していたという可能性が考えられる。本研究の課題では、ブロックの開始時に産出する単語カテゴリを具象単語か抽象単語かに指定し、かつ、音韻を起点とした検索を行う。そのため、抽象単語のみを活性化する

というトップダウンでの抑制がある状態でも、音韻表象からの自動的な活性化によって具象単語およびその意味表象が活性化しうる。そうした具象単語の意味表象の活性化によって、ノイズの有無が脳活動に変化をもたらした可能性が考えられる。この考えが正しければ、抽象単語条件では、具象単語の活性化を抑制する制御が強く生じていたことになる。また、この制御過程は、具象単語の活性化が弱まるノイズ呈示条件において緩和されることが予測される。本実験では計測機器の制約上、左前頭部のみにプローブを設置したが、中心部等、別の脳領域の活動を同時に計測することで、たとえば表象の抑制機能を含めた、言語産出課題における意味処理の動態をさらに詳しく検討できると考えられる。

また、本実験の単語産出量に関して、視覚ノイズ呈示によって具象単語の産出量のみが減少するといった、理論的予測に沿った結果は得られなかった。その原因としては、今回用いた産出課題の複雑性が影響しているかもしれない。通常、単独で適用される産出のルール(e.g. 特定の頭文字で始まる語を産出、特定のカテゴリの語を産出)を組み合わせるために、複雑な課題となり参加者のパフォーマンスが安定しなかった可能性がある。意味の活性化過程を検討する場合には、なるべく認知的負荷の低い状態で具象単語と抽象単語それぞれの産出を行わせるような手続きが望ましいと考えられる。このような手続きを開発することは、先ほど改善点として挙げた、より広範囲にわたる部位の脳活動を測定することと共に、今後の課題といえる。

結論

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。

第 3 章 総合考察

第 1 節 本研究の成果と意義

具象単語の意味処理への視覚処理の関与

本研究では、言葉の意味処理という我々人間にとっての基本的な認知能力がどのような性質の処理で成り立つのか、その一端を解明するための研究を行った。意味処理研究における大きな問題は、意味処理に感覚システムや運動システムといった、モダリティ特異的な処理システムが関与している (e.g. Barsalou, 1999) のか、あるいは、意味処理が非感覚的表象にもとづく単一のシステムの処理によって成り立つ (e.g. Caramazza et al., 1990) のかということであった。これまでに、言葉の意味処理における感覚システムや運動システムの関与を示唆する様々な実験結果が得られていた。しかし、具象単語の意味処理課題の際に生じた視覚領野の活性化が、本当に意味処理過程と結びついていたのか、また、具象単語の意味処理に影響を及ぼした視覚同時課題が、本当に視覚処理そのものに焦点化されていたのか、といった問題が残されていると考えられた。

本研究では、上記の問題を克服し、具象単語の意味処理における視覚システムの関与の有無について検討するため、3つの実験を実施した。そして、具象単語の意味処理に視覚システムが関与することを示唆する結果を得た。以下、3つの観点から本研究の成果について考察する。

1. 具象単語処理に、視覚処理そのものが関与するか

具象単語は視覚をはじめとして、その対象の意味に応じた感

覚表象によって表現されていると考えられる。それならば、視覚システムに負荷をかけることで、具象単語の意味処理に干渉効果が生じることが予測される。先行研究では、視覚妨害課題として無意味図形の記憶課題が用いられていた。しかし記憶という処理を含むためにさまざまな認知処理が介在することで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、視覚ノイズの注視という、視覚的であり記憶負荷のない課題を用いて、視覚処理そのものに対する負荷が具象単語の意味処理に及ぼす影響を検討した。異なる測度を用いた3つの実験において、この視覚ノイズ注視課題を共通して用いた。その結果、意味処理課題のERP(実験1)、反応時間(実験2)、脳血流反応(実験3)といったさまざまな測度において、視覚妨害効果が現れることを示した。このことによって、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。

2. 具象単語処理において視覚処理はいつ生じるか

具象単語の意味処理を行う課題において視覚処理の兆候が見られたとしても、それが意味処理段階を反映しているのか、実は意味処理そのものではなく、意味処理にもとづいて生じる視覚イメージ想起を反映しているのかという問題があった。この問題は特にMRI等を用いた神経イメージング研究で生じる。

本研究の実験1ではERPを用いることで、音声単語の呈示から心的イメージの想起が起こるまでの短い時間間隔における視

覚処理の存在の検討を試みた。先述の通り、視覚ノイズによる干渉効果との関連から、具象単語処理時の視覚処理を反映すると考えられる成分を見出した。そしてその潜時は単語呈示後 600—900 ms であった。この潜時は、イメージ想起の所要時間や先行研究の一部 (Van Schie et al., 2005) で特定された意味処理を反映する成分 (950—1600 ms) よりも早期であると考えられるが、他の ERP 研究で意味処理過程を反映するとされる成分の潜時帯 (e.g. N400) に匹敵するタイミングであるとは言いがたい。したがって、実験 1 で得られた ERP 成分潜時のみからは、この成分が意味処理段階の処理を含んでいるのかは明確に結論できなかった。

一方、実験 2 では意味判断課題の反応時間を指標とした。この意味判断への回答はイメージ想起に依存しないため、意味判断に要する時間は、イメージ処理過程の影響を受けないものと考えられる。つまり、この反応時間が妨害によって延長すれば、それは意味処理過程への影響と考えることができる。先述の通り、動物名の意味判断が、視覚ノイズ注視課題によって遅延したことから、動物名の意味処理に視覚処理が関与することを示唆する結果となった。すなわち、具象単語の意味処理段階において視覚処理が生じることを示唆している。

またこの結果は、間接的にはあるが、実験 1 において得られた ERP 効果が意味処理過程の一部を反映する可能性を支持すると考えられる。

3. 具象単語処理において視覚処理はどこで生じるか

本研究の実験 1 と 3 では、ERP と NIRS という 2 種類の脳活動計測技術によって、具象単語処理における視覚処理妨害の影響を測定した。

そして、いずれの測度においても、具象単語の意味処理過程に対する視覚処理妨害の影響が、左前頭部で確認された。この領域は、意味処理全般に関わる、情報保持や操作といった実行機能に関与すると言われている (Price et al., 1999)。先行研究において動物等の具象単語の処理に特有の活性化がみられたのは左後側頭部 (e.g. Damasio et al., 1996) や内側後頭部 (e.g. Martin et al., 1996) 等の領域であったが、本研究の ERP の結果においてはそれらの部位に電源は推定されず、NIRS においては測定部位としてカバーできなかった。

この結果の解釈の一つは、左前頭部で活性化した意味表象が視覚的な性質を保持していたため、視覚ノイズによって活動が低下したというものである。もう一つの解釈は、左前頭部で活性化した意味表象は視覚的な性質を持たないが、別の領域からの入力が視覚ノイズによって低下したことで、左前頭部の活動も低下したというものである。いずれの解釈をとるにせよ、具象単語の意味処理において視覚表象が関与することは同じである。しかし、意味システムの構造は大きく異なる。この問題については、広い領域をカバーできる脳活動計測技法を用いて同様の実験を行うことによって答えを出すことができると考えられる。

意味処理への視覚処理の関与の脳内メカニズム

本研究で、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といわれている(Koch, 2004 土屋・金井訳 2006)。この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るような、比較的初期の階層の視覚領域が関与する可能性を示唆している。一方視覚イメージ体験において、初期の階層の視覚領域の関与が示唆されている(Kosslyn, 1994)。ただし、つねに視覚イメージの形成に低次視覚領域が関与するのではなく、形成する視覚イメージの解像度によって、初期の視覚領域が用いられるかどうかの調整がなされるといわれている(Kosslyn & Thompson, 2003)。意味表象においても視覚イメージと同様に、表現すべき特徴の性質に応じて、関与する視覚表象のレベルが変化する可能性が考えられる(Damasio et al., 1996)。しかし、本研究のように具象単語の意味処理の脳内過程について、視覚ノイズによる干渉効果から調べた研究はまだ他にみられない。今後、ERPやNIRS以外の技法によるデータが得られれば、具象単語の意味処理に関わる視覚処理過程の詳細について検討が可能になるであろう。

第 2 節 今後の課題

意味処理システムの精緻化

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といえる。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、意味処理にさまざま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。本研究で意味処理への干渉効果をもたらした視覚妨害課題は無意味で単純な視覚処理にもとづくものであり、このような結果を、視覚的表象の関与を仮定せずに説明することは困難である (Vermeullen et al., 2008)。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。

意味処理研究の応用場面

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、様々な応用可能性をもっていると考えられる。たとえば神経活動から対象者の知覚や思考の状態を読み取るマインド・リーディングの技術(e.g. Miyawaki, Uchida, Yamashita, Sato, Morito, Tanabe, Sadato, & Kamitani, 2009)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可能性がある。また、リアルタイムで脳活動を対象者にフィードバックすることで脳機能の自己制御を促すニューロフィードバック技術(e.g. Shibata, Watanabe, Sasaki, & Kawato, 2011)との連携は、失語症からの回復訓練をサポートする有力な技術になるかもしれない。

冒頭でも述べたように、言葉の意味処理は人間にとって中心的な活動であり、その能力が維持できるか否かは QOL にも大きく関わるであろう。今後、学術研究および工業技術の発展により、人間の意味処理システムの理解や言語能力の補綴技術の開発がともに進んでゆくことが望まれる。

引用文献

- 天野成昭 (1999). 音声単語認知モデルの動向 心理学研究, **70**, 228-240.
- 天野成昭・近藤公久 (1999). NTT データベースシリーズ 日本語の語彙特性 第1巻 親密度 三省堂
- Baddeley, A. D., & Andrade, J. (2000). Working memory and the vividness of imagery. *Journal of Experimental Psychology: General*, **129**, 126-145.
- Barsalou, L. W. (1999). Perceptual symbol system. *Behavioral and Brain Sciences*, **22**, 577-660.
- Binder, J. R., Westbury, C.F., McKiernan, K. A., Possing, E. T., & Medler, D. A. (2005). Distinct brain systems for processing concrete and abstract concepts. *Journal of Cognitive Neuroscience*, **17**, 905-917.
- 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.
- Craver-Lemley, C. & Reeves, A. (1992). How visual imagery interferes with vision. *Psychological Review*, **99**, 633-649.
- Damasio, H., Grabowski, T. J., Tranel, D., Hichwa, R. D., &

- Damasio, A. (1996). A neural basis for lexical retrieval. *Nature*, **380**, 499-505.
- D'Angiulli, A. & Reeves, A. (2002). Generating visual mental images: Latency and vividness are inversely related. *Memory & Cognition*, **30**, 1179-1188.
- Dell, G. S., Schwartz, M. F., Martin, N., Saffran, E. M., & Gagnon, D. A. (1997). Lexical access in aphasic and nonaphasic speakers. *Psychological Review*, **104**, 801-838.
- 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.
- Fiebach, C. J., & Friederici, A. D. (2003). Processing concrete words: fMRI evidence against a specific right-hemisphere involvement. *Neuropsychologia*, **42**, 62-70.
- Ishai, A., & Sagi, D. (1995). Common mechanisms of visual imagery and perception. *Science*, **268**, 1772-1774.
- Ishai, A., Ungerleider, L.G., & Haxby, J.V. (2000). Distributed neural systems for the generation of visual images. *Neuron*, **28**, 979-990.
- Jessen, F., Heun, R., Erb, M., Granath, D.-O., Klose, U., Papassotiropoulos, A., & Grodd, W. (2000). The concreteness effect: Evidence for dual coding and context availability. *Brain and Language*, **74**, 103-112.
- Kakimoto, Y., Nishimura, Y., Hara, N., Okada, M., Tani, H., &

- Okazaki, Y. (2009). Intrasubject reproducibility of prefrontal cortex activities during a verbal fluency task over two repeated sessions using multi-channel near-infrared spectroscopy. *Psychiatry and Clinical Neurosciences*, **63**, 491-499.
- Kiehl, K. A., Liddle, P. F., Smith, A. M., Mendrek, A., Forster, B. B., & Hare, R. D. (1999). Neural pathways involved in the processing of concrete and abstract words. *Human Brain Mapping*, **7**, 225-233.
- 小林利行・諸藤絵美・渡辺祥子 (2011). 日本人の生活時間・2010—減少を続ける睡眠時間, 増える男性の家事— 放送研究と調査, **4**, 2-21.
- Koch, C. (2004). *The quest for consciousness: A neurobiological approach*. Colorado: Roberts & Company Publishers.
- (コッホ, C. 土屋尚嗣・金井良太(訳) (2006). 意識の探求 神経科学からのアプローチ 岩波書店)
- Kosslyn, S. M. (1994). *Image and brain: The resolution of the imagery debate*. Cambridge, Massachusetts: MIT/Bradford.
- Kosslyn, S. M., & Thompson, W. L. (2003). When is early visual cortex activated during visual mental imagery? *Psychological Bulletin*, **129**, 723-746.
- Kosslyn, S. M., Thompson, W. L., Kim, I. J., & Alpert, N. M. (1995). Topographical representations of mental images in primary visual cortex. *Nature*, **378**, 496-498.
- Kutas, M., Federmeier, K. D., & Sereno, M. I. (1999). Current

- approaches to mapping language in electromagnetic space. In C. M. Brown & P. Hagoort (Eds.), *The neurocognition of language*. New York: Oxford University Press. pp. 359-392.
- Kutas, M., & Hillyard, S. A. (1980). Reading senseless sentences: Brain potentials reflect semantic incongruity. *Science*, **207**, 203-205.
- Lambon Ralph, M. A., Sage, K., Jones, R. W., & Mayberry, E. J. (2010). Coherent concepts are computed in the anterior temporal lobes. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, **107**, 2717-2722.
- Martin, A. (2007). The representation of object concepts in the brain. *Annual Review of Psychology*, **58**, 25-45.
- Martin, A., Wiggs, C. L., Ungerleider, L. G., & Haxby, J. V. (1996). Neural correlates of category-specific knowledge. *Nature*, **379**, 649-652.
- McConnell, J., & Quinn, J. G. (2000). Interference in visual working memory. *The Quarterly Journal of Experimental Psychology*, **53A**, 53-67.
- McConnell, J., & Quinn, J. G. (2004). Complexity factors in visuo-spatial working memory. *Memory*, **12**, 338-350.
- Miyashita, Y. (1995). How the brain creates imagery: Projection to primary visual cortex. *Science*, **268**, 1719-1720.
- Miyawaki, Y., Uchida, H., Yamashita, O., Sato, M., Morito, Y., Tanabe, H. C., Sadato, N., & Kamintai, Y. (2009). Visual image reconstruction from human brain activity using a

combination of multiscale local image decoders. *Neuron*, **60**, 915-929.

Neely, J. H. (1977). Semantic priming and retrieval from lexical memory: Roles of inhibitionless spreading activation and limited-capacity attention. *Journal of Experimental Psychology: General*, **106**, 226-254.

Nittono, H., Suehiro, M., & Hori, T. (2002). Word imageability and N400 in an incidental memory paradigm. *International Journal of Psychophysiology*, **44**, 219-229.

Okamoto, M., Dan, H., Sakamoto, K., Takeo, K., Shimizu, K., Kohno, S., Oda, I., Isobe, S., Suzuki, T., Kohyama, K., & Dan, I. (2004). Three-dimensional probabilistic anatomical cranio-cerebral correlation via the international 10-20 oriented for transcranial functional brain mapping. *Neuroimage*, **21**, 99-111.

Paivio, A. (1991). Dual coding theory: Retrospect and current status. *Canadian Journal of Psychology*, **45**, 255-287.

Papagno, C., Fogliata, A., Catricala, E., & Miniussi, C. (2009). The lexical processing of abstract and concrete nouns. *Brain Research*, **1263**, 78-86.

Parker, A., & Dagnall, N. (2009). Concreteness effects revisited: The influence of dynamic visual noise on memory for concrete and abstract words. *Memory*, **17**, 397-410.

Pascual-Marqui, R. D. (2002). Standardized low-resolution brain electromagnetic tomography (sLORETA): Technical details.

Methods Find Exp Clin Pharmacol, **24D**, 5-12.

Pearson, J., Clifford, C. W. G., & Tong, F. (2008). The functional impact of mental imagery on conscious perception. *Current Biology*, **18**, 982-986.

Pobric, G., Jefferies, E., & Lambon Ralph, M. A. (2007). Anterior temporal lobes mediate semantic representation: Mimicking semantic dementia by using rTMS in normal participants. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, **104**, 20137-20141.

Pobric, G., Lambon Ralph, M. A., & Jefferies, E. (2009). The role of the anterior temporal lobes in the comprehension of concrete and abstract words: rTMS evidence. *Cortex*, **45**, 1104-1110.

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.

Pulvermüller, F., Assadollahi, R., & Elbert, T. (2001). Neuromagnetic evidence for early semantic access in word recognition. *European Journal of Neuroscience*, **13**, 201-205.

Quinn, J. G., & McConnell, J. (1996). Irrelevant pictures in visual working memory. *The Quarterly Journal of Experimental Psychology*, **49A**, 200-215.

斎藤 恵一・安藤 貴泰・百瀬 桂子 (2009). 機能的 MRI を用いた視

覚性ワーキングメモリ課題における脳活動の検討 バイオ
メディカル・フレンジ・システム学会誌, **11**, 87-91.

Saffran, E. M., & Sholl, A. (1999). Clues to the functional and
neural architecture of word meaning. In C. M. Brown & P.
Hagoort (Eds.), *The neurocognition of language*. New York:
Oxford University Press. pp. 241-272.

Scott, S. K. (2004). The neural representation of concrete nouns:
What's right and what's left? *Trends in Cognitive Sciences*, **8**,
151-153.

Shibata, K., Watanabe, T., Sasaki, Y., & Kawato, M. (2011).
Perceptual learning incepted by decoded fMRI neurofeedback
without stimulus presentation. *Science*, **334**, 1413-1415.

Smith, E. E., & Jonides, J. (1999). Storage and executive processes
in the frontal lobes. *Science*, **283**, 1657-1661.

杉村 健・栗山広治 (1972). 刺激の具体性と心像性 奈良教育
大学紀要(人文・社会科学), **21**, 223 -236.

Suto, T., Fukuda, M., Ito, M., Uehara, T., & Mikuni, M. (2004).
Multichannel near-infrared spectroscopy in depression and
schizophrenia: Cognitive brain activation study. *Biological
Psychiatry*, **55**, 501-511.

高村真広・宮谷真人 (2008). 抽象単語から形成される視覚イメ
ージの諸特性 広島大学心理学研究, **8**, 191-196.

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.

山鳥 重 (2011). 言葉と脳と心—失語症とは何か— 講談社
現代新書