

視覚的文脈効果の神経機構：人間行動学の基礎として

江島 義道*・高橋 成子**・大谷 芳夫*

* 京都工芸繊維大学

〒606-8585 京都市左京区松ヶ崎橋上町1

** 京都市立芸術大学

〒610-1197 京都市西京区大枝沓掛町13-6

1. 文脈効果研究の意義

文脈効果は、錯視現象と並んで、人間の知覚の特徴をなすものとして、視知覚研究において大きなテーマであり、古くから多くの研究者が挑んできた領域である。また、文脈効果の諸現象は、人間の視覚のメカニズムを明らかにする重要な手がかりを与えるだけでなく、人間の行動の理解にとって重要な基礎的知見を与える。経済において、人間の判断や選択といった行動の「非合理」な特異性を重視する行動経済学分野での Kahneman (ノーベル経済学賞受賞者)ら¹⁾、Ariely²⁾、や Motterlini³⁾の研究はその好例である。彼らは、日常的な人間の判断の「不合理性」をクローズアップするために、以下に示すような質問に対する判断を求めるといった実験を積み重ねている。

次のような質問に判断(選択)を求められたとき、読者はどの選択肢を選ぶだろうか。

問題1 いずれかを選択してください。

- ① 50ドルの料金でウェブ版雑誌だけを購読する。
- ② 125ドルの料金で印刷版雑誌を購読する。
- ③ 125ドルの料金でウェブ版と印刷版の雑誌双方を購読する。

問題2 いずれかを選択してください。

- ① 50ドルの料金でウェブ版雑誌だけを購読する。

- ② 125ドルの料金でウェブ版と印刷版の雑誌双方を購読する。

問題3 携帯電話を購入しに行った。値段は9000円であった。購入しようとしたとき、友人が、「歩いて10分のところの店では8000円で販売している」ことを教えてくれた。このようなときあなたはどのようにしますか。

問題4 デジタルテレビを購入しに行った。値段は19万9000円であった。購入しようとしたとき、友人が、「歩いて10分のところの店では19万8000円で販売している」ことを教えてくれた。このようなときあなたはどのようにしますか。

問題5 いずれかを選択してください。

- ① 10万円貰える。
- ② 50%の確率で「20万円貰える」か「何も貰えない」。

問題6 いずれかを選択してください。

- ① 10万円を損する。
- ② 50%の確率で「20万円を損する」か「何も損しない」。

これらの質問に対して、つぎのような選択の傾向があると述べられている。問題1では、①か③のいずれか、問題2では、①か②のいずれかが選択される。ここで興味深い点は、問題2では、①を選択する人が問題1の場合にくらべてより多かった点である。問題3と問題4では、10分歩いて1000円安い品物を求めることを選択する人も、そのまま高い品物を購買することを選択する人もあるが、興味深い点は、問題4の場合は、10分歩いて1000円安い品物を購買

することを選擇する人が、問題3に比べて、少なかった点である。問題5と問題6では、いずれの選択肢も確率的期待値は同じであるが、問題5では①を選擇する人が、問題6では②を選擇する人が多いと報告されている。

このような傾向がおこる理由については、Kahnemanら、ArielyやMotterliniの研究や著書に述べられている。そこでは、文脈が人間の判断や選擇行動に大きく影響し、その行動の特徴については、知覚研究や認知研究で得られている知見がその理解を深めるのに大きなヒントを与えている。日常的に行われる人間の即断的な判断・選擇は、いわゆる「合理性」に欠けるが、それは、知覚における対比効果を含む文脈効果の現象と共通の特徴をもち、知覚における心理物理法則に対応する「量的評価」に基づいていると考えると、納得のいくものとなることが示されている。

図1に示したのは、このような人間の即断的判断のメカニズムを説明するためにKahnemanらが提唱した人間の知覚-認知モデル⁴⁾である。彼らは、判断過程においては、2つの認知システムが関与すると考え、それぞれを認知システム1(直感 Intuition)と認知システム2(推論 Reasoning)と名づけた。認知システム1は知覚過程と類似あるいは共通のプロセスをもつもので、刺激の持つ統計的規則性、文脈情報、そして、過去経験情報をフルに活用して、迅速で負荷の少ない形で、曖昧性・不安定性・不確実性のない安定した世界を認識するシステムであるとした。これらに対して、認知システム2(reasoning)は、時間をかけてルールに則った情報処理を行い、曖昧性・不安定性・不確実性をも含む合理的な情報処理を行うシステムである。日常の状況での即断的判断は、いわゆる「合理的で」「ルールに則った」認知システム2ではなく、知覚過程と共通の特性をもった認知システム1の処理によって行われる。知覚システムは知覚体験を引き起こすが、認知システム1は、選択肢に対する「印象」「直感的印象」を形成し、これが人々の判断の基となる。Kahneman

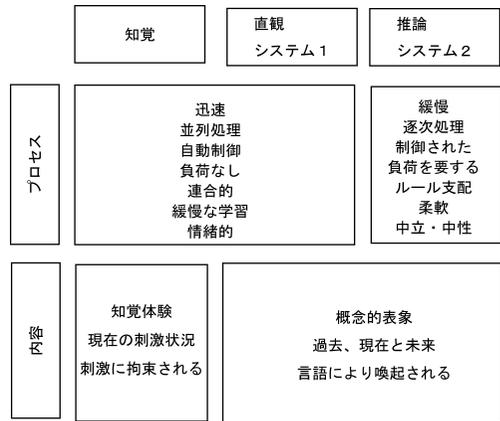


図1 Kahneman⁴⁾の2つの認知システムの処理過程(プロセス)と内容。

らはこのような認知システムのモデルに基づき、認知システム1の特性をProspect Theoryとして理論化した。認知システム1は、その処理過程が知覚と同様のものであるため、それによる情報処理の結果は、様々な知覚現象と同様の特性をもつ。従って、Prospect Theoryにおいては、対比現象にみられる知覚の準拠依存性、単眼奥行き手がかりの統合による大きさ効果で見られる属性置換、そして、ウェーバー・フェヒナーとスティーブンスの法則が重要な役割を果たしている。彼らの理論は、人間の経済行動の不合理性の根拠を明らかにし、その後の行動経済学、そして最近の神経経済学(Neuroeconomics)の礎となった。

以上のように、文脈効果がどのような神経機構によって起こるかに関する理解は、人間の行動の特性を理解するために、極めて重要であると考えられる。筆者らは、視覚研究を通して、知覚だけでなく行動全般の文脈効果の神経機構を明らかにしたいと思っている。筆者らが、これまで行ってきた文脈効果に関する研究は、以下のとおりである。

- (1) 空間周波数の対比効果⁵⁾
- (2) 色対比効果
- (3) メタコントラスト現象
- (4) 円弧の知覚的統合⁶⁾
- (5) アモーダル知覚

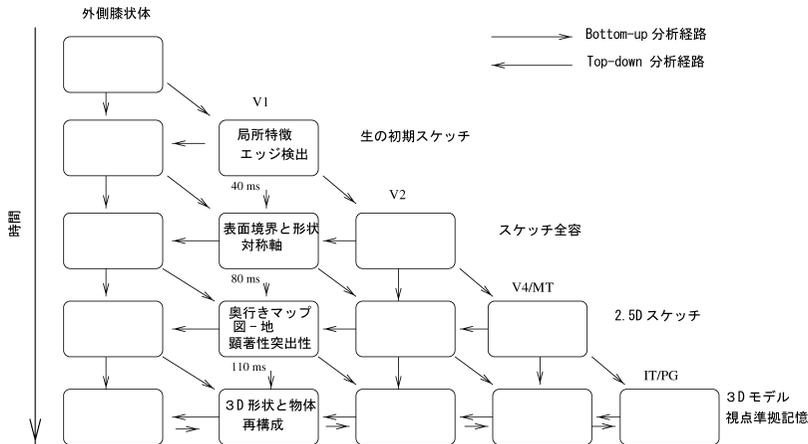


図2 Lee⁷⁾のモデル。

刺激提示後の時間経過の中で様々な皮質領域が異なる視覚情報処理に関わることで、初期視覚領野が様々なレベルの視覚的推論に関与していることを示すモデル。異なる段階の処理が複数の領野で同時に起こり、それらはフィードバック・フィードフォワードによって強く結びついている。Lee⁷⁾に基づいて作成。

(6) トンネル効果

(7) 高次視覚的文脈（光景の文脈）

ここでは、トンネル効果と高次視覚的文脈に関する研究結果を報告する。

2. 視覚的文脈効果のモデル

文脈効果がどのような神経機構によって起こるのかという理解は、人間の脳による情報処理の特徴を把握するのに不可欠である。視覚における文脈効果は、大きく2つに分けて考えることができる。まず、刺激特徴のもつ視覚的文脈は、明るさ、方向、色などの刺激特徴の時・空間配置により刺激諸特徴が統合される知覚過程にみられる効果で、その処理は、視覚領野における腹側系、背側系で担われていると考えられている。視覚領野における文脈効果の処理の基本は、中心-周辺受容野における、周辺信号による中心信号の変調メカニズムと考えられる。図2に示したのはLee⁷⁾による視覚領野における文脈情報処理のモデルである。変調信号は、高次過程からのフィードバックによるものと考えられている。もう一つの文脈効果は、意味的文脈で、先行経験による知識、記憶などが知覚に影響する現象である。意味的文脈は前頭葉領野で担われていると考えられる。前頭葉

領野における意味的文脈の処理については、図3に示すように、前-後軸に沿って、特異的な処理がされているというモデルがKoechlinら⁸⁾によって提唱されている。

以下で報告する、トンネル効果の研究は、図2のモデルで示される刺激特徴のもつ視覚的文脈の処理過程に関わるものであり、光景の文脈の研究は、図3のモデルで示される意味的文脈の処理過程に関わるものである。

3. トンネル効果⁹⁾

緩やかに動くある物体が遮蔽物（トンネル）に隠れ、再び現われるとき、我々は単一の持続する物体の連続的な動きを知覚する。この知覚現象をトンネル効果と呼ぶ。トンネル効果は、非常に単純な刺激が知覚的恒常性という高次の知覚体験を引き起こす現象である。本研究では、トンネル効果が人の視覚システムのモジュラープロセスをどの程度反映しているかを、脳イメージングによって検討した。最近のTMS（経頭蓋的磁気刺激）研究では運動知覚におけるV1の活動の役割が明らかとなっている。V1の神経細胞が刺激文脈によって動的に変調されていることについては多くの研究が明らかにしている。このようなV1神経細胞の動的な特性は、V1が

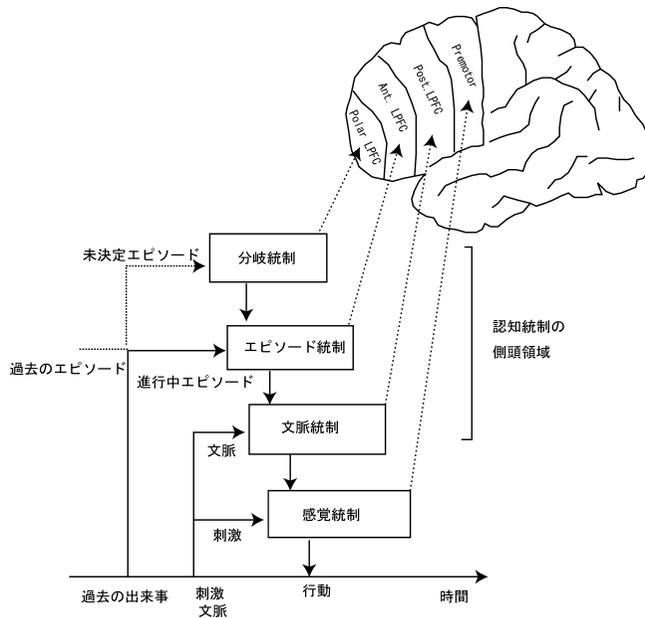


図3 Koechlinらのモデル。

前頭葉が担う実行機能についての情報理論的なモデル。

認知的統制は、3つのレベルの統制過程（文脈、エピソード記憶、分岐）に従って作動し、これらに関わる前頭葉領域は、前-後ろ軸にそって位置する。Koechlinら⁸⁾に基づいて作成。

視環境の複雑な特徴を分析し高次の認知的影響を媒介する過程に含まれることを示唆している。トンネル効果の知覚経験をしている時にV1に脳活動がみられるかどうかを調べるために、図4に示すように、V1のレチノトピーに対応した刺激布置を用いて実験を行った。遮蔽物でのアモダルな物体知覚がおこるV1のレチノトピックな領域での特定位置を同定する、fMRIローカライザー手法を用いた。トンネル効果の知覚を引き起こす運動刺激提示エポックと、トンネル効果を引き起こさないフリッカー刺激エポックのブロックデザインによって、トンネル効果の知覚に対応した脳活動領域を同定した。また、トンネル効果の知覚でみられる脳活動が、刺激のコントラストに依存するかどうかを検討するために、トンネル効果によって賦活された脳領域(ROI)についてコントラスト反応関数も測定した。

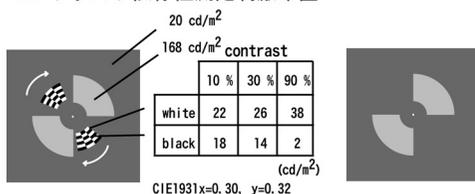
結果は、V1の脳活動が、トンネル効果の知覚において遮蔽された物体のアモダル知覚に対

応して起こることを明らかにした。さらに、図5に示すように、物体刺激のコントラストを増加させると、V1非遮蔽領域（物体刺激によって直接刺激される）の脳活動がコントラストの対数に対して線形的に増加するが、それに対応してV1遮蔽領域（遮蔽された物体のアモダルな知覚に対応）でも線形的な脳活動の増加がみられた。遮蔽された物体のアモダル知覚に対応するV1の脳活動がコントラスト依存性を示すことは、V1の神経活動がトンネル効果の運動物体コントラストに強く結びついていることを意味している。従って、V1は、トンネル効果における遮蔽された物体の表象に寄与していることができる。また、トンネル効果の知覚によって、MTおよび背側系の領域(KO, IPS)が賦活されたが、このことは、人の視覚系での運動情報処理過程と形情報処理過程の分岐を示している。

V1の神経細胞においては、受容野外に提示される刺激が変調効果を及ぼすことが大きな特



コントラスト依存性測定刺激布置



アモータル知覚領域特定のための刺激布置

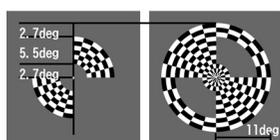


図4 トンネル効果についてのfMR実験に用いた刺激と実験パラダイム。

上：トンネル効果エポック（右）とコントロール（左）のブロックデザイン。

中：コントラスト反応関数の測定のための刺激布置および刺激条件。

下：アモータル知覚の起こる遮蔽領域に対応するレチノトピック領域同定のための刺激条件。

徴となっている。V1における視野表象は、受容野が小さく、レチノトピックな座標の故に、空間的に精緻な表象となっている。また、V1において時-空間次元での中心-周辺変調は、連続的な運動軌跡の外挿・内挿において重要な役割を果していることが示されている。我々の実験結果の導く仮説は、文脈変調として現われる遅延フィードバックは、V1が外界の物体表象などといった視覚場面の知覚的解釈に関わることを可能にするというものである。V1は遮蔽された物体の空間的な位置同定のための高解像度マップを提供することができる。この意味で、V1は、MT、KOや頭頂領域に亘る運動情報を統合するマスターマップとして機能するということができる。

4. 高次視覚的文脈（シーンの文脈）

Koehlerらによれば、高等動物は、刺激の局所的な情報だけでなく内的な計画や意図にもとづいて行動し、この行動は、前頭前野の機能によって担われている。これは、前頭葉の側頭皮質にそって前頭葉前部（前頭極）から後部（前運動野）にいたる領域の脳活動によって行われているとされる。図3に示したように、内的な計画や意図は、3段階の制御過程の処理によって、行動に反映される。第一段階は、前頭極に内在すると考えられる機能で、新たなコンテキストと刺激が与えられる以前のエピソードによって規定されるものである。第二段階は、前頭葉の前部の機能で、第一段階の影響を受けながら、近過去の出来事でエピソードが変更される過程である。第三段階は、前頭葉の後部の機能で、第二段階の影響を受けながら、新たな刺激文脈に対応して、文脈が変更される過程である。第四段階は、運動前野の機能で、第三段階の影響を受けながら、新たな刺激によって感覚が規定されるものである。

筆者らは、脳イメージング（fMRI）を用いて、意味的文脈の処理過程について検討した。実験では、色の物体（野菜や果物）、物体同士の動的遮蔽場面、線遠近法の手がかりを含む3D奥行き場面という3種の意味カテゴリーの文脈条件で、被験者が1-back課題をしている時の脳活動を測定した。その結果、前頭葉の側頭後部領域に、3カテゴリーすべての文脈で賦活される部位が左右半球の対称な位置に見られた。また、前頭葉の側頭前部領域では、右半球にのみカテゴリーに特異的に賦活する領域がみられた。

以上のことは、Koehlerらが提唱する前頭葉側頭部では前-後軸で情報処理が異なるという仮説には対応するが、それぞれの領域がどのような意味的文脈の処理を行っているかについてはさらなる研究が必要であることを示している。

謝辞 本研究で紹介した脳イメージング測定実験は、澤本伸克、福山秀直、番浩志（以上京

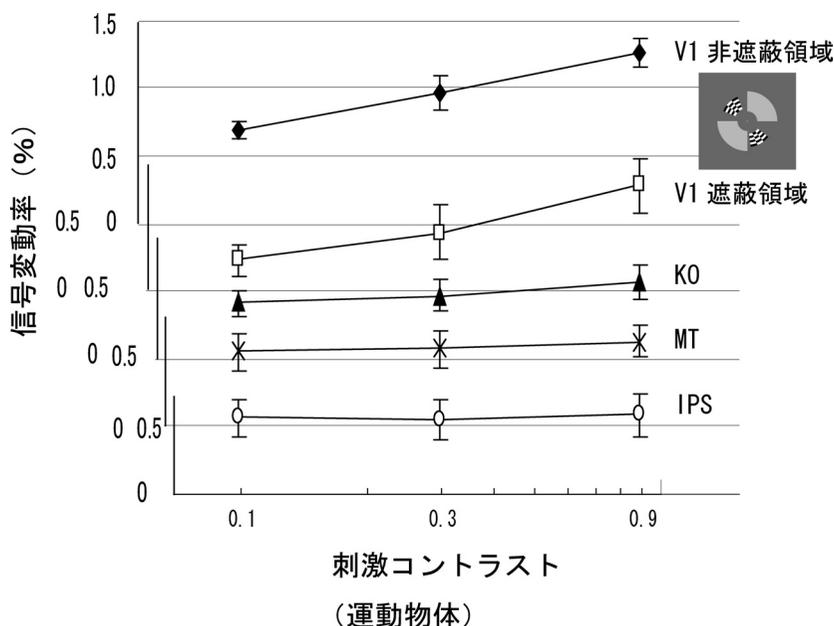


図5 fMRI測定から求められた脳領域(ROI)のコントラスト反応関数。信号変動率(%)を格子パターン扇状刺激のコントラストの関数としてプロットしたもの。結果は、各領域で16名の被験者の平均とSEを示している。

都大学)との共同研究として行ったものである。本研究は一部、科学研究費補助金基盤研究(C)(20530663)の補助を受けている。

文 献

- 1) D. Kahneman and A. Tversky: Prospect theory of decision making. *Econometrica*, **47**, 263–291, 1979.
- 2) D. Ariely: *Predictably irrational: The hidden forces that shape our decisions*. HarperCollins, New York, 2008. ダン・アリエリー(著), 熊谷淳子(訳): 予想通りに不合理—行動経済学が明かす「あなたがそれを選ぶわけ」. 早川書房, 2008.
- 3) M. Motterlini: *Economia emotiva*, RCS Libri, Milano, 2006. マッテオ・モッテルリーニ(著), 泉典子(訳), 経済は感情で動く. 紀伊国屋書店, 2008.
- 4) D. Kahneman: A perspective on judgment and choice mapping bounded rationality. *American Psychologist*, **58**, 697–720, 2003.
- 5) Y. Ejima, S. Takahashi, H. Yamamoto and N.

Goda: Visual perception of contextual effect and its neural correlates. S. Funahashi (ed): *Representation and brain*. Springer, Tokyo, 3–20, 2007.

- 6) H. Ban, H. Yamamoto, M. Fukunaga, Nakakoshi, M. Umemoto, C. Tanaka and Y. Ejima: Toward a common circle: interhemispheric contextual modulation in human early visual areas. *Journal of Neuroscience*, **26**, 8804–8809, 2006.
- 7) T. S. Lee: Computations in the early visual cortex. *Journal of Physiology Paris*, **97**, 121–139, 2003.
- 8) E. Koechlin and C. Summerfield: An information theoretical approach to prefrontal executive function. *Trends in Cognitive Science*, **11**, 229–235, 2007.
- 9) S. Takahashi, H. Ban, Y. Ohtani, K. Sawamoto, H. Fukuyama and Y. Ejima: Neural mechanism for perceptual permanency: an fMRI study of tunnel effect. *Gestalt Theory*, **30**, 39–52, 2008.