

## 視覚における情報統合

### R S V P 課題などにみられる視覚情報の結合錯誤

関根道昭

電気通信大学 大学院情報システム学研究科

〒182-8585 東京都調布市調布ヶ丘 1-5-1

#### 1. はじめに

世界は私たちが見ているままの姿で実在していると信じているとしたら、その信念は誤りである。眼から入力された視覚情報は、脳の中で色や形などの特徴ごとにバラバラに登録された後に再構成されている。従って、私たちが見ているのは再構成された結果の世界である。

脳内では、輝度、色、テクスチャ、運動、両眼視差などの特徴が別々に登録される。これらの視覚情報は、物体の輪郭や形を伝達する材料という意味で“表面媒体 (surface medium)”と呼ばれたりする<sup>1)</sup>。また、特徴を専門的に処理する独立した装置をモジュールという。各モジュールの出力結果が最終的に合成され、我々が見ているような視覚表象が形成されると考えられる。個々のモジュールの出力をどうやって正しく統合するかは“統合問題”という視覚研究における大きな問題の一つである。本稿では、統合問題を考察する上で、大いに参考となる“結合錯誤”について紹介する。結合錯誤とは、モジュール間の誤った統合であり、ここでは、R S V P 実験における事例を中心に解説する。

#### 2. モジュール性に関する古典的実験

視覚処理のモジュール性が示唆される現象は古くから知られている。色や形などの視覚

情報が脳の中で別々に処理されていることを示す古典的な現象としてストループ効果がある。ストループ効果では、言葉の意味とは異なる色のついた色名单語の色を命名する際に、単なるパッチの色名を呼称するよりも反応が遅くなる現象が観察される<sup>2)</sup>。

また、文字と色に関する現象で、最近、神経心理学的観点から分析が進んでいるものに共感覚現象がある。ここで言う共感覚とは、ある文字を見た場合に必ずその文字に随伴して、特定の色をリアルに感覚することである<sup>3)</sup>。例えば、Aという文字を見ると必ず暗い赤に感じる人がいるという。

ストループ効果と共感覚現象はどちらも色と形(文字)の分析が独立して働き、その出力結果が統合されるために生じると考えられる。ストループ効果の場合、文字の色や形の単純な処理と言うよりは、色や文字における意味や音韻の処理も関連している。共感覚現象については、文字の形やその意味が色の処理経路と連絡していることが考えられる<sup>3)</sup>。

#### 3. 空間的結合錯誤

視覚処理のモジュール性とその統合過程に関する有名な理論の一つに特徴統合理論がある<sup>4)</sup>。この理論は、色や方位などの視覚属性が専門的な空間マップに登録されたあと、空間マップをスキャンする注意によって結合され

ると主張したものである。注意の働きはスポットライトに例えられ、スポットライトのビームに照らされた特徴のみが結合される。逆に、ビームの照射から外れた位置にある特徴は“自由浮動”の状態にあり、ランダムな組合せで結合されるとい<sup>9)</sup>。Treisman<sup>6)</sup>は、赤のX、青のS、緑のTを瞬間的に提示し、ランダムドットでマスクした。これを観察した被験者は、約3分の1の確率で赤のS、緑のXのような誤った組合せを報告した。この実験のように、個々の特徴が注意によって定位されない場合は特徴同士の“幻の結合”が生じる。幻の結合は空間的に散在する特徴の組合せの錯誤であるため、これを空間的結合錯誤と呼ぶことができる。

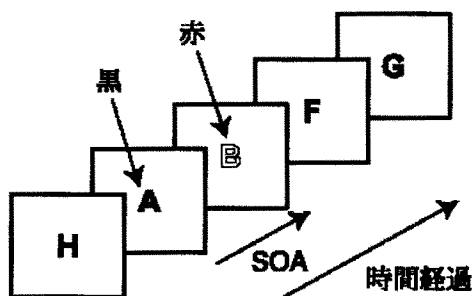


図1 RSVP実験における手続きの例。

#### 4. 時間的結合錯誤

特徴統合理論が空間的な位置に基づく特徴モジュールの統合過程を説明することに対し、位置ではなく時間的な同一性を手がかりとした特徴統合も考えられる。この視覚情報処理の時間的特性を調べる有力な道具の一つとしてRSVP (Rapid Serial Visual Presentation, 日本語では高速系列提示) 課題と呼ばれる実験パラダイムが注目されている。RSVP課題とは、ディスプレイ上の同一位置に連続して高速に刺激を提示し、その中からある特徴(ターゲット定義特徴)で定義されたターゲットの文字名など(課題特徴)の報告を求めるものである(図1)。各刺激項目の提示時間は100ms前後に設定される。RSVP実験ではターゲット定義特徴や課題特徴の種類に応じて様々なエラーが生じ、エラーのパターンを分析することで、特徴モジュールの時間的特性を推測することが可能となる。

Broadbent<sup>7)</sup>は黒いアルファベットで書かれた単語の系列中の赤い単語をターゲットとして被験者にその単語を答えさせる実験を行った。その結果、被験者が実際のターゲットの後に提示された単語を誤って答える傾向が示された。このようなエラーの傾向をポストパターンと呼ぶ(図2左)。また、緑の漢字熟

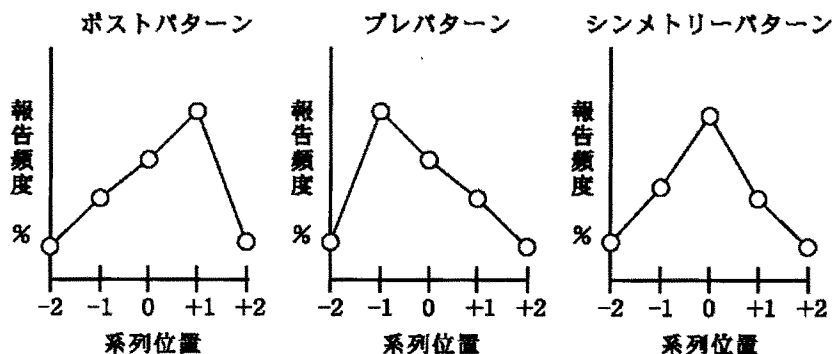


図2 RSVP実験における代表的なエラーのパターン。横軸はターゲットの位置(0)に対する相対的な位置を示す。例えば、-1はターゲットよりも1つ手前の位置に相当する。0における報告頻度は正回答(Hit)を意味する。Hit率が最も高く、エラー率が前から後ろに偏って分布することもある。

語の中から赤い熟語を答える場合<sup>8)</sup>、あるいは写真の系列の中から枠の着いた写真の内容を答える場合<sup>9)</sup>などには、ターゲットの前に提示された単語を答える傾向がある。これをプレパターンと呼ぶ(図2中)。さらに、アルファベットの中の数字を答える場合のようにカテゴリで定義された場合は、ターゲット項目の前後の項目を同程度の頻度で誤報告するシンメトリパターン(図2右)が生じる<sup>10)</sup>。

このようなエラーが生じる場合に、実際に後ろや前の項目がターゲット定義特徴で装飾された文字として知覚されることが多い。例えばR S V P系列中にG→K→Sと提示され、Kが赤でGとSが黒の場合、赤いSが知覚される。そのため結合錯誤は、記憶などの知覚以外の認知的要因により生じているのではなく、特徴モジュールの出力結果の誤結合として解釈することが可能である。

### 5. 時間的結合錯誤の処理モデル

それではなぜこのような結合錯誤が生じるのであろうか。Broadbent<sup>7)</sup>はポストパターンを生じさせる理由として、系列処理モデルを提案した。これは、事前にターゲットの同一性に関する十分な情報が与えられている場合、ターゲット定義特徴の検出が終わった後

で、初めてターゲット報告特徴が処理されると考えるモデルである。例えば、黒い文字系列の中から赤い文字を報告する場合、被験者はまず色の特徴に注目し、黒の中から赤を見つけた時点で初めて形(文字)の処理に移行する。仮に色の処理が形の処理よりも遅く、色の検出が一項目の提示時間内に終了しないとすると、色が検出された時点で、すでに次の項目の形が提示されていることになるため、色と形の誤結合が生じる(図3)。

これに対し、KeeleとNeil<sup>11)</sup>は、並列処理モデルを提案している。このモデルでは、色と形が並行して処理され、同時に活性化している特徴情報同士が注意によって結合されると考える。ここでもやはり、色の処理は形の処理よりも時間がかかると仮定すると、ターゲットの色情報が活性化した時点では、次の項目の形情報が活性化しているため、前の項目の色と後の項目の形が結合することになる(図4)。

系列モデルと並列モデルは、どちらも処理速度が遅いモジュールの出力が、処理速度の速いモジュールの出力と結合し、結合錯誤が生じると説明する点では共通している。アルファベットのような単純な図形は色よりも速やかに処理されるため、ポストパターンが生

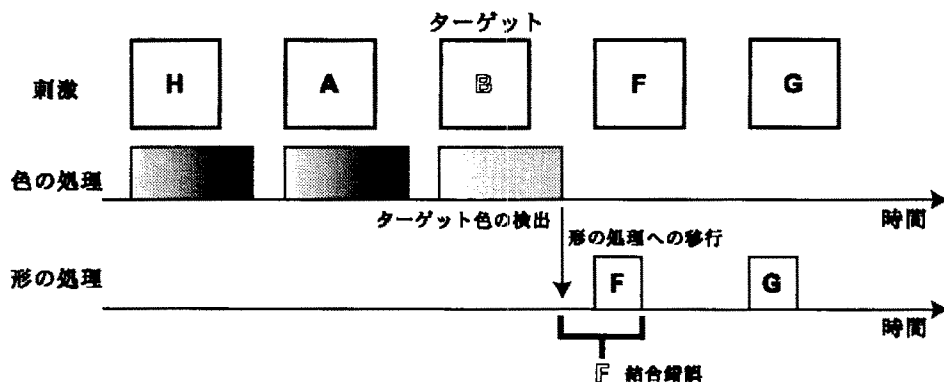


図3 ポストパターンの系列処理モデル<sup>7)</sup>。横軸は時間の流れを示す。色の処理における濃淡は淡い色が処理の開始を示し、濃い色が処理の終了を示す。ターゲット色が検出された直後に形(文字)の分析に移行し、その時点ではすでに次の項目が提示されているため結合錯誤が生じる。

じる。この説明が正しいとすれば、形が複雑な図形の処理は色の処理よりも時間がかかり、エラーのパターンが逆転することが予想される。下村・横澤<sup>12)</sup>は、文字の複雑さがエラーパターンに及ぼす影響について調べている。まず、アルファベットとひらがなと漢字について同じ実験条件でエラーのパターンを比較した。その結果、アルファベットではポストパターン、ひらがなではシンメトリーパターン、漢字ではプレパターンが生じた。さらに、漢字を画数によって単純な漢字(2-7画)と複雑な漢字(12-23画)に分類し、これらを比較したところ、単純な漢字ではポストパターンが、複雑な漢字ではプレパターンが生じた。そのため、色の処理時間が一定でも、形の処理時間は文字の複雑さに応じて変化するために、結合錯誤のパターンが変化すると考えることができる。

#### 6. 処理モデルの問題点

結合錯誤現象がモジュールの処理時間によって全て説明可能かというところではなく、解決の難しい問題が残されている。例えば、McLeanら<sup>13)</sup>は、ターゲット定義特徴と反応特徴を交代して実験を行っている。アルファベット系列の中から特定の色の文字を報

告されるとポストパターンが観測される。McLeanらは、特定の文字を見つけたらその文字の色を報告させる実験を行ったところ、やはりポストパターンが生じることを発見した。色の処理時間がアルファベットの処理時間よりも常に長いと仮定すると、後者の条件におけるポストパターンは説明できないことになる。

#### 7. 刺激の意味や親近性の影響

R S V P 実験では、文字や写真など複雑で、意味を判別可能な刺激が用いられていることが多い。そのため、刺激に対する知識や親近性がエラーの生成に影響を与える事例も報告されている。例えば、Kikuchi<sup>7)</sup>は漢字熟語の文字系列におけるエラーに親近性が及ぼす影響を分析している。熟語には県名や大学名など、それ自身で意味を判読できるものが用いられた。その結果、日本人の被験者の場合はプレパターンが観測されたが、非漢字圏の被験者の場合はシンメトリーパターンが生じた。

また、横澤・下村<sup>14)</sup>は、やはり熟語を用いたエレガントな実験を行っている。彼らの実験では、ターゲットとその直前、直後項目の左右の文字をどのように組合わせても、他の

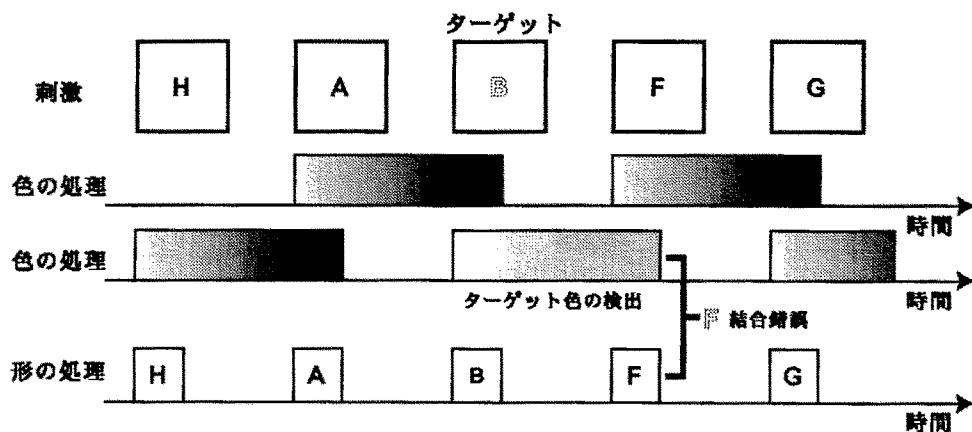


図4 ポストパターンの並列処理モデル<sup>11)</sup>。色の処理が2行に分かれているが、これは図解の都合の問題で実際は一つの直列的な処理と見なされる。色と形は並列的に処理されるが、色は形よりも時間がかかるため、ターゲット色を検出した時点で次項目の形の処理が終了しており、その結果結合錯誤が生じる。

熟語を構成するように工夫された。例えば、規律→法則→原案という系列で法則がターゲットだったとすると、前後の文字の組合せで、規則、法律、法案、原則などの単語を作ることができる。彼らはこのような実際に提示していない2文字の誤った組合せを、特徴間の錯誤と区別するために“錯合”と呼んだ。その結果、漢字熟語の実験において現れるプレパターンの錯誤以外に、意味の通る錯合熟語が報告される割合が高かった。さらに、漢字の部首の組合せにおいても同様の錯合漢字（投→肢→柿において技、股、枝など）を観察している。

形の処理時間が形の複雑さによって一意的に決まるのであれば、エラーパターンが変化したり、意味の通じる錯合が生じることはないと思われる。RSVP実験事態では色や形が機械的に処理されるだけではなく、刺激の意味や刺激に対する知識が特徴の処理に影響を与えていると解釈できる。

## 8. RSVP実験の長所と問題点

以上、RSVP実験における様々な結果を紹介してきた。概観するとRSVP実験の長所として次のような点が考えられるであろう。

1. 視知覚や視覚認知に関する多重構造を持つ処理を分離することが出来る。例えば、色と形、アルファベットの大文字と小文字、漢字とその構成要素などの処理をそれぞれ分離することができる。

2. 分離された処理の処理速度や処理間の相互関係を推測することが出来る。

3. 刺激の処理単位を推測できる。熟語は漢字単位で、漢字は部首単位で処理されていることが分かる。

一方でRSVP実験には次のような問題点がある。McLeanら<sup>13)</sup>が指摘するように、同じ刺激を用いてもターゲット定義特徴と報告特徴の組合せを交代したり、Kikuchi<sup>8)</sup>が示したように被験者の持つ文化的背景によって観測

されるエラーのパターンが影響を受けることもある。

## 9. RSVP実験と視覚モジュール

RSVP実験により視覚モジュールの時間特性をどこまで解明することが出来るであろうか。ここでいうモジュールが、細分化された特殊な視覚処理を分担し、その出力結果や処理時間が常に一定で、その生理学的なメカニズムが明白なものと想定すると、RSVP実験によりモジュールの特性を研究するには、問題があると思われる。森田<sup>14)</sup>は、RSVP実験により特徴統合の時間特性やメカニズムについて調べることに限界があると述べている。

少なくともこれまでに紹介したRSVP実験は、基本的なモジュールの特性を考察するのに適していない。例えば、従来のRSVP実験で用いらた材料は、文字や絵画などの比較的複雑な刺激が多い。また、RSVP実験における各項目の提示時間は、閾値の測定を目的とするような心理物理実験よりもはるかに長い条件が多い。また、一般的なRSVP実験において、一度に10項目以上が提示されることを考えると、全体の提示時間は項目数に比例して長くなる。このような刺激の種類や提示時間の条件設定は、エラーパターンに知識や親近性などの認知的要因が影響しやすくなる理由の一つである。

とはいえ、RSVP法により基本的な特徴モジュールの特性を目指した詳細な研究はそれほど多くないため、このあたりには研究の余地があるように思われる。最近、森田ら<sup>14)</sup>は、円盤とそれを分割する円弧に色を重ねた図形が統合される過程をRSVP実験により解明している。この例のように、RSVP実験によりモジュールの時間特性を調べるには、単純な図形を用いることが望ましい。文字や絵画などの複雑な図形は、その図形を構成する下位モジュールがいくつも想定されるためである。また単純な図形を扱う場合で

も、課題や刺激に対する学習効果に応じて時間特性が変化する可能性があることを念頭におかなければならない。

#### 10. R S V P 実験と視覚的注意

R S V P 実験は本来、読書や物体認知のメカニズムを研究する材料として登場したパラダイムである。眼球は1秒間に3回から4回のサッケード運動をするため、1秒間に取り込まれる情報は3、4個ということになる。R S V P 実験は、眼を動かさない状態での連続的な情報処理を模擬しているように思われる。そのため、この手法は従来、注意や高次の認知機能を調べる道具として用いられてきた。

1990年代のR S V P 実験は視覚的注意の研究に多大な影響を与えた。例えば、R S V P 系列の中から二つのターゲットを検出する場合、第1ターゲットから第2ターゲットまでの時間間隔が短いときは、後者を見落とししてしまう。これを注意の瞬き (Attentional Blink) という<sup>17)</sup>。この実験は、注意には情報を入力する段階と、それを同定する段階の2段階があることを示している<sup>18)</sup>。また、R S V P 系列のターゲットの検出から500 ms 以内の時間帯は、周辺視野に提示されたガボールパッチの方位の弁別に失敗する<sup>19)</sup>。注意が時空間的な一点に集中することにより、他の視覚機能が強く妨害されることが伺える。

また、R S V P 法のバリエーションと見なされる実験として、変化の見落とし (Change Blindness) という現象が最近注目を集めている<sup>20)</sup>。これは、同じ景色を写した2枚の風景画像を空白画面をはさみながら高速に交互に提示するとき、一方にはオブジェクトの明白な欠落があったとしても (例えば、公園の画像で1枚には木が一本足りないような場合)、時間をかけて入念に観察しないと、その変化には気づかないというものである。この現象も、画像表象を統合するときに注意が重要な役割を果たしていることを示唆してい

る。

注意の瞬きや変化の見落としのいずれも、時間制限のある中で複数の情報を連続的に処理しなければならないという点で同じ種類の課題であるといえる。ただし、前者は短時間で強制的に機能するボトムアップ的な注意の側面が強く影響し、後者は記憶や認知に関わりの深いトップダウン的注意が関与していると思われる。また、R S V P のターゲットを検出するには、一定時間注意を一点に集中しておく必要があることから、持続的注意が大きく関与していることが伺える。

このようにR S V P 実験のセッティングには、様々な注意の機能が関与している。前節において、R S V P 法は基礎的な視覚モジュールの特性解明には適さないと述べた。R S V P 実験のエラーパターンに影響を与える注意や知識などのトップダウン的側面は、単なるアーチファクトとは限らない。むしろ、基本的なモジュールに対してトップダウン的メカニズムが強い影響を与えている可能性があることを最後に指摘しておきたい。

#### 11. おわりに

本稿では、高次視覚情報処理における統合過程をR S V P 実験における時間的結合錯誤の観点から考察した。また、色や形などの基本的視覚特徴の結合錯誤に単語の意味や視覚的注意といった高次機能の影響が大きいことを説明した。R S V P 実験により基礎的なモジュールを研究するには、刺激の種類や提示時間を工夫する必要があることを述べた。基礎的な視覚モジュールはトップダウン的処理の影響を受け、その時間的特性が変化する可能性を指摘した。

#### 文 献

- 1) P. Cavanagh, M. Arguin and A. M. Treisman: Effect of surface medium on visual search for orientation and size features. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 16, 479-491,

- 1990.
- 2) 嶋田博行：ストループ効果：認知心理学からのアプローチ。培風館，1994.
  - 3) P. G. Grossenbacher and C. T. Lovelace: Mechanisms of synesthesia: cognitive and physiological constraints. *Trends in Cognitive Science*, 5, 36-41, 2001.
  - 4) A. M. Treisman and G. Gelade: A feature-integration theory of attention. *Cognitive Psychology*, 12, 97-136, 1980.
  - 5) A. M. Treisman: Properties, parts, and objects. K. R. Boff, L. Kaufman and J. P. Thomas (Eds.): *Handbook of perception and human performance (Chapter 35)*. Wiley, New York, 1987.
  - 6) A. M. Treisman and H. Schmidt: Illusory conjunctions in the perception of objects. *Cognitive Psychology*, 14, 107-141, 1982.
  - 7) D. E. Broadbent: Colour, localisation and perceptual selection. *Psychologie Experimentale, et Comparee*, Presse Universitaire de France, Paris, 95-98, 1977.
  - 8) T. Kikuchi: Detection of kanji words in a rapid serial visual presentation task. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 22, 332-341, 1996.
  - 9) H. Intraub: Visual dissociation: An illusory conjunction of pictures and forms. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 11, 431-442, 1985.
  - 10) D. H. Lawrence: Two studies of visual search for word targets with controlled rates of presentation. *Perception and Psychophysics*, 10, 85-89, 1971.
  - 11) S. W. Keele and W. T. Neil: Mechanisms of attention. E. C. Carterette and M. P. Friedman (Eds.): *Handbook of Perception IX*. Academic Press, New York, 1978.
  - 12) 下村満子，横澤一彦：高速提示された刺激の時間的統合錯誤：ターゲットの複雑性操作による効果。 *心理学研究*, 68, 449-456, 1998.
  - 13) J. P. McLean, D. E. Broadbent and M. H. P. Broadbent: Combining attributes in rapid serial visual presentation tasks. *Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 35A, 171-186, 1982.
  - 14) 横澤一彦，下村満子：高速系列提示される漢字及び部首における錯合。 *心理学研究*, 69, 216-222, 1998.
  - 15) 森田ひろみ：特徴統合における注意の役割。日本視覚学会（編）： *視覚情報処理ハンドブック*。朝倉書店，464-468, 2000.
  - 16) 森田ひろみ・森田昌彦：形と色の統合における局所結合の働き。 *心理学研究*, 69, 358-366, 1998.
  - 17) J. E. Raymond, K. L. Shapiro and K. M. Arnell: Temporal suppression of visual processing in an RSVP task: An attentional blink? *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 18, 879-860, 1992.
  - 18) M. M. Chun and M. C. Potter: A two-stage model for multiple target detection in rapid serial visual presentation. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 21, 109-127, 1995.
  - 19) J. S. Joseph, M. M. Chun and K. Nakayama: Attentional requirements in a 'preattentive' feature search task. *Nature*, 387, 805-807, 1997.
  - 20) R. A. Rensink, J. K. O'Regan and J. J. Clark: To see nor not to see: The need for attention to perceive changes in scenes. *Psychological Science*, 8, 368-373, 1997.