

# 視覚情報処理の基礎過程

Basic Processes in Visual Perception

横澤 一彦\*

Kazuhiko YOKOSAWA

視覚情報処理の基礎過程に関する研究について、特徴抽出、特徴統合、注意、感性などの観点から最近の進展を解説する。特に、視覚探索課題を中心とした心理学的実験と知覚モデルのシミュレーション実験によって明らかにされてきた視覚系のパターン情報処理メカニズムについて述べる。さらに、人間の視覚情報処理過程の解明だけでなく、さまざまな視覚情報処理のシステムとこのような研究との関わりについて述べる。

## 1. はじめに

われわれは物体を苦もなく素早く視覚認識できるので、いかに高度な処理を常にしているかを意識しにくい。しかし、パターン認識システムをはじめとするさまざまな視覚情報処理システムの開発が試みられた結果、多くの場合それが非常に困難な問題であることを知ることになった。さらに、生理学、解剖学的研究が進み、脳は大脳皮質の多くの部分を視覚の問題に当てることによって解いていることも明らかになってきた。

視覚系の情報処理過程は、初期視覚と呼ばれる低次段階の処理から明らかにされつつある。この初期視覚とは、いわゆる知識処理を含まない知覚過程であり、もっと簡単に言えば、人間が一目で分かる程度の処理レベルである<sup>1)</sup>。

このような初期視覚で処理される明るさ、色、運動、奥行きなどの特徴がかなり独立した特徴モジュール単位で処理されていることは、生理学的研究と共に視覚探索課題を中心とした心理学的研究によって明らかにされてきた<sup>2),3)</sup>。視覚探索とは、複数の妨害刺激中にある目標刺激の有無を判断させる実験課題である。カムフラージュ研究など関連した応用研究は以前から行われてきた<sup>4)</sup>が、この研究が注目されてきたのは、空間的並列処理限界を観測できることがわかったのはごく最近であり、生理学における“微小電極”に相当する心理学における新しい研究手法となっている。すなわち、妨害刺激の個数によらず、目標刺激の探索時間が一定であるとき、視覚系の空間的並列処理が行われていると考える。多くの場合、単一の特徴モジュールで目標を定義できるとき探索時間が一定になることから、視覚系の特徴モジュールと空間的並列処理限界との関連を調べるために視覚探索

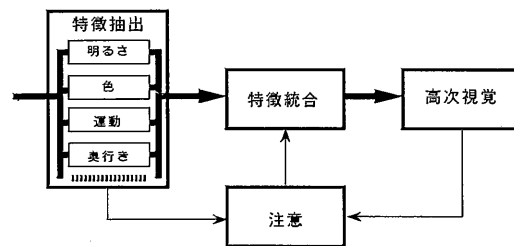


Fig. 1 視覚情報処理過程

研究が精力的に行われている<sup>2),3),5)</sup>。ちなみに、英国において視覚探索国際会議 (International Conference on Visual Search) が4年前から隔年で開催されている。

ここでは、視覚情報処理過程解明における中心課題を視覚探索研究を軸に解説する。すなわち、視覚情報処理過程を Fig. 1 に示すような枠組でとらえ、初期視覚で抽出される特徴、その特徴の統合、特徴統合すべき領域選択処理としての注意、さらに意味処理や感性情報処理を含む高次処理などに関する心理学的実験と知覚モデルのシミュレーション実験の融合的研究を紹介する。

## 2. 初期知覚

ここでは、初期知覚を3つの機能 (特徴抽出、特徴統合、注意) に分けて述べる。

### 2.1 特徴抽出

明るさ、色、運動、奥行きなどの特徴は、すでに生理学的な研究からも視覚系の初期段階での抽出で確認されている。このように、従来初期特徴と考えられているのはいずれも局所的に定義される特徴であるが、全体的特徴や抽象概念についても調べ、総合的に特徴抽出過程を検討することが必要である。

たとえば、線分の配置で生ずる全体の規則性という特

\*東京大学生産技術研究所 第3部

徴による目標探索への干渉が考えられる。妨害刺激配置の規則性と目標配置の規則依存性について、Fig. 2 のような直線群中の目標円弧の探索課題を行い、直線を同心円上に配置した規則配置とランダム配置との比較を行った。その結果、Fig. 2 左のように妨害刺激配置が規則的で、目標配置がその規則から逸脱しているときに探索の促進現象を確認した<sup>6)</sup>。さらに、Fig. 2 右のように妨害刺激配置が規則的で、目標刺激がその規則に沿っているときに探索の遅延現象が得られた<sup>7)</sup>。

さらに抽象的な概念として、対称性の探索実験では他の初期特徴と同じ様な現象が確認された<sup>8),9)</sup>。実験では、Fig. 3 のような非対称図形中の対称図形の探索と、対称図形中の非対称図形の探索を調べた。この結果、いずれの場合も逐次処理を示す探索特性が得られたが、対称図形の探索の方が非対称図形の探索より速い、一種の探索非対称性が得られた。このような全体的特徴や視覚的抽



Fig. 2 刺激配置の効果<sup>7)</sup>

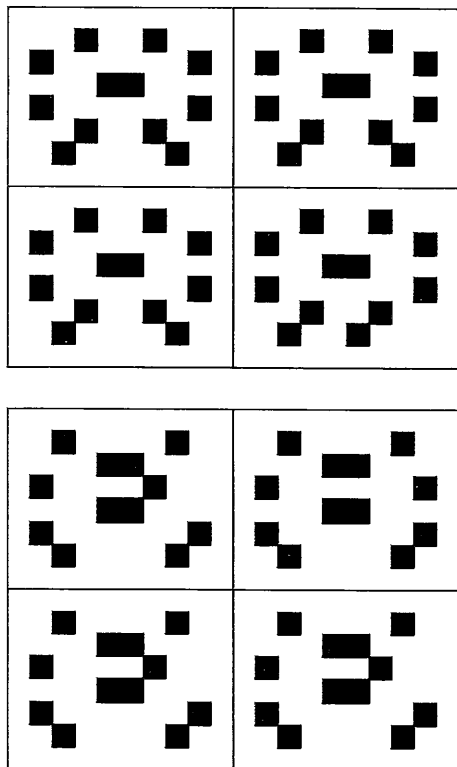


Fig. 3 対称図形と非対称図形の探索<sup>8)</sup>

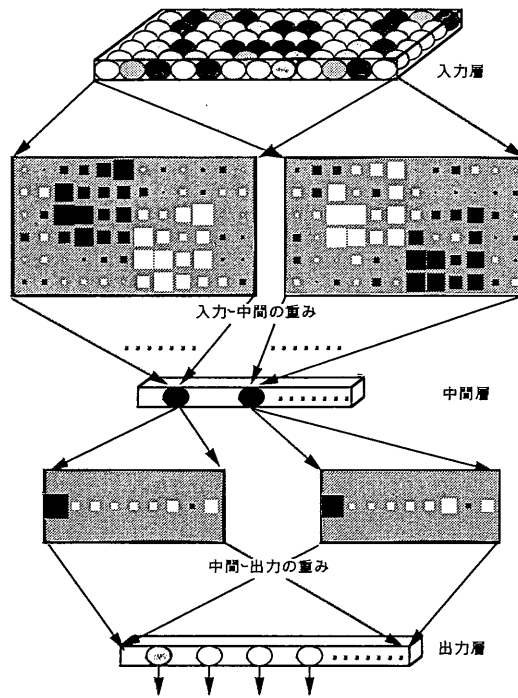


Fig. 4 運動検出ニューラルネットワーク

象概念が、他の初期視覚特徴と現象として同レベルに議論できることが明らかになったが、その処理過程については今後とも研究を続けなければならない。

初期視覚で抽出される特徴の種類と共に、具体的な抽出アルゴリズムや入出力関係を明らかにしなければならない。初期視覚特徴の一つとして、局所的運動検出を3層ニューラルネットワークによって試みた<sup>10),11)</sup>。ネットワークには、2枚の位置ずれを含むパターンを学習させる。Fig. 4 は、6×6 画像が2枚並べて入力された状態を表している。その結果、入力層から中間層への接続が、特定の運動を抽出するのに必要な領域のみ成長し、Fig. 4 のような対応する位置毎に差分をとる構造が出来上がった。さらに1つの運動に対して符号が反転した2種類の受容野と呼べるような構造ができた。これらの中層層はバイアスが大きいので、積和入力がゼロ近くなる特定の運動に関してあわせて2倍の出力となるが、それ以外の運動に対しては少なくとも一方の出力が低下する。これは、生体におけるオン中心型細胞とオフ中心型細胞に対応した関係が自動的に学習されたことを示している。さらに、生体ではこのような局所領域の運動抽出と同様に階層的処理によって大局的な運動が求められており、正確な運動抽出が行われていると考えられる。

2.2 特徴統合

別々の特徴モジュールで抽出された特徴が、次の統合過程において、選択的に、もしくは自動的にすべて統合

されるはずである。たとえば、Fig. 5 のような六角形中の五角形の探索という形状探索課題で、探索情報として全く必要ない内部テクスチャを操作することによって、その問題を明らかにすることができる<sup>12)~14)</sup>。人間が形状のみを選択的に探索できるならば、テクスチャの違いが探索特性に影響しないと考えられる。逆に、テクスチャの処理結果が自動的に形状の処理結果と統合されるならば、探索特性に影響するであろう。結果は、実験課題とは無関係と思われるテクスチャが、自動的に統合され形状探索に影響を及ぼすことが明らかになった。特に、Fig. 5 のようにテクスチャが不定のときに長い探索時間が得られた。

これまでの研究から、各特徴が空間的に並列に、しかもモジュール単位に抽出され、さらに自動的に統合される初期視覚過程をイメージすることができる。そこで、独自の並列画像処理システム上に、明るさ、色、運動な

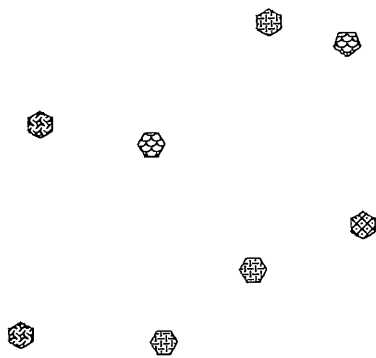


Fig. 5 形状探索と内部テクスチャ

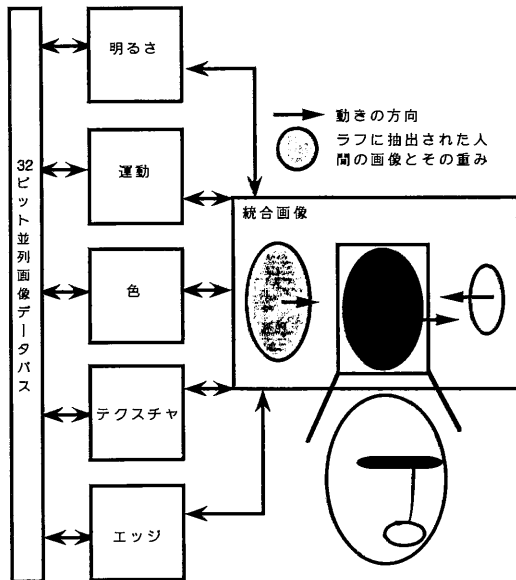


Fig. 6 初期視覚過程のシミュレーション

どに対応した特徴モジュールを複数構成し、各モジュールの出力の統合に基づく初期視覚過程のシミュレーションが実時間で行われている<sup>15)~17)</sup>。この並列画像処理システムは、トランスペュータをベースとした画像処理プロセッサ48台よりなる。たとえば情景中の顔画像の認識という高度な処理をこのシステムに要求しても、Fig. 6 のように色や運動などに分離した特徴で顔を容易に記述できることから、不要な情報を初期段階で捨て去ることができ、処理が軽減されるという利点があることがわかった。

### 2.3 注意

注意の移動によって、ある認識対象が特徴統合され、別の対象は無視される。この注意の制御に関する研究も進んでいる。

視覚探索課題で、妨害刺激の一つとしてポップアウト(空間的並列処理によって抽出できる刺激)を含めることによって、逐次処理が必要な目標探索への効果を妨害刺激数や距離の関数として検討した<sup>18)~20)</sup>。Fig. 7 の場合、垂線が目標、右上がり斜線がポップアウトとなる。結果は、ポップアウトの存在が不在のときに比べ目標の探索時間を増加させた。そのうえ、ポップアウトから近い目標は遠い目標より短時間で見つけられるが、ポップアウトが不在の場合に比べ長時間となった。この結果は次のように説明できる。ポップアウトの目立ち易さは、他の刺激より高いので、それに注意が向けられる。その後、近傍領域の抑制が起こり、他の刺激に注意が移る。したがって、ポップアウトに近い目標でも短時間で検出されず、ポップアウトの付加は反応時間の増加をもたらすと説明される。このように、妨害刺激としてのポップアウトの存在は注意の制御を可能とする。

注意のモデルとしては、このような注意移動を制御する関数を記述しなければならない。これまでの注意研究で得られた基本的特性は、単一焦点で一定の処理限界があるが、ズームレンズのように空間的解像度を随時変え



Fig. 7 背景ポップアウト<sup>19)</sup>



Fig. 8 注意のモデルに基づく画像伝送<sup>21)</sup>

ながら、注意位置が自動的に遷移する過程である。そのような基本特性に加え、注意モデルには少なくとも2つの過程が含まれると考える<sup>21)</sup>。ボトムアップ過程では、階層画像ピラミッドの4分木表現に対して注意関数による優先順位を決定する。注意関数の算出にエッジ情報を用いる。さらに、あらかじめ与えられた目標刺激との類似度を算出するトップダウン過程を考慮した。シミュレーションの結果、限られた時間で常に最適な情報が送られるという注意の基本特性が実現されていることを確認した。それと共に、凝視点の移動にも類似した軌跡である注意移動の空間的近接性が保持されることがわかった。Fig. 8はモナリザの顔部分に対して注意モデルによって送られた情報の途中経過であるが、目や口元の詳細情報を初期段階で送っていることを示している。

### 3. 高次視覚と感性

高次の視覚情報処理として、文字、特に漢字を取り上げた研究を紹介する。漢字は、固有の形状、音韻、意味を有する特異な符合体系であるので、視覚系の処理過程の研究にさまざまな手がかりを与えてくれる研究対象である。

#### 3.1 視覚的文字処理単位

目標刺激を複雑にすれば、視覚探索の研究手法でさらに高次の視覚特性を調べることができる。たとえば、文章中から誤字を探すという文章校正課題を、視覚的処理単位の同定を目的とする研究として考えてみる<sup>22)~29)</sup>。Fig. 9のような探索課題では、誤字が目標刺激となる。この文章校正中、“微”と“微”のように誤字と正字が形態的に類似し検出が困難なとき、刺激文全体を一度に提示するよりもFig. 9下のように単語単位で継時提示の方が誤字検出率が高くなる。このことは、人間が単語単位のととき処理が効率的であることを反映している。

単語単位の処理を反映したいくつかの現象はこれ以外にもある<sup>30)~32)</sup>。たとえば、2つ続けて提示された2漢

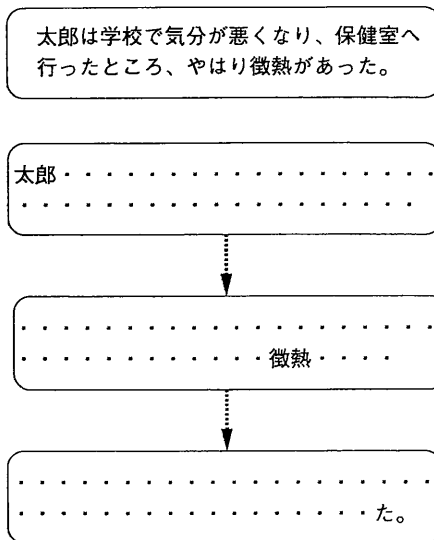


Fig. 9 継時分割提示による誤字探索<sup>23)</sup>

字単語の同定課題において、単語全体の照合時間は単語中の1文字の照合時間とほぼ同じ時間である。ところが、2漢字の非単語を使った同定課題では、非単語全体の照合時間の方が非単語中の1文字の照合時間よりも有意に長くなる。これも、単語単位の処理を反映した現象であり、各文字が、全体照合の2漢字単語では並列的に、非単語では逐次的に照合されるためと考えられる。すでに、このように現象を基に、単語単位に文書画像から情報検索するシステムを提案し、単語単位での効率的な検索を実現している<sup>33)</sup>。

#### 3.3 感性情報

高次視覚情報処理の場合、いわば感性情報処理というべき研究も必要である。たとえば、達筆な字であるとか、下手な字であることをそれこそ感性を感じる。このような文字のきれいさ（ここでは、それを文字品質と呼ぶ）を判断することはそれほど難しいことに感じられないが、すべての文字に当てはまる文字品質を定義することは従来難しいと考えられてきた。ところが、人間がどのように文字品質を決定しているのかを調べると、ある共通の

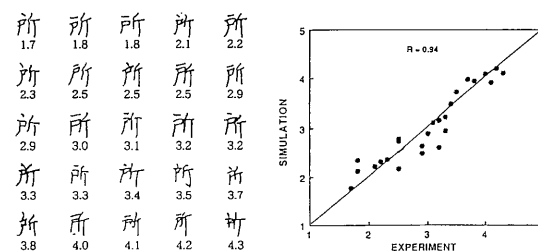


Fig. 10 文字品質の評価<sup>36)</sup>

評価基準を持ち、文字品質を再現性高く安定して評価できることがわかった<sup>34), 35)</sup>。感性を伴う高次視覚を扱う研究では、この再現性の問題が重要である。Fig. 10 左には、手書き漢字“所”に対する5段階評価の平均を示す。

人間の文字品質の評価特性に基づいた文字品質の決定要因の分析によって、(1)ストロークの分布(2)黒画素の分布(3)線の太さ(4)縦横比(5)バランスを反映した定量的品質評価尺度を構成した<sup>36)</sup>。この定量的評価尺度を用いて、手書き文字の品質の客観的な定量評価シミュレーションを行った。Fig. 10 右に示したような結果は、人間による評価の再現性を上回り、客観性の高い文字品質尺度が達成できることを確認した。

#### 4. お わ り に

視覚情報処理の基礎過程について、視覚探索研究を軸に、空間的並列処理限界、注意、感性など新しい観点から解説した。しかしながら、それぞれの研究とそれ以外の研究をつなげるには、さらに研究を進めなければならない。また、高次視覚を含めた視覚情報処理システムの構築はこれからの研究課題である。人間が取り入れる情報の多くが視覚的情報である以上、人間の視覚情報処理過程の解明は、将来のヒューマンインターフェースに直接的に関わるので、今後とも学際的な研究としての意義もますます重要になってくると考えられる。

(1992年9月25日受理)

#### 参 考 文 献

- 1) 横澤：科学，岩波書店，62, 6, 356-362, 1992
- 2) 横澤：認知科学会 P & P 研究分科会資料，10-1, 1990
- 3) 横澤：数理科学，サイエンス社，2, 66-69, 1992
- 4) 横澤：数理科学，サイエンス社，4, 63-67, 1992
- 5) 横澤：数理科学，サイエンス社，9, 76-79, 1992
- 6) 横澤：基礎心理学会第10回大会，1991
- 7) 横澤：基礎心理学会第11回大会，1992
- 8) 川津，横澤：日本心理学会第56回大会，1992
- 9) Kawazu & Yokosawa: submitted, 1992
- 10) 渥美，横澤，安田：秋季信全大，D-23, 1992
- 11) 渥美，横澤，安田，高木：神経回路学会第3回大会，1992
- 12) 横澤：日本心理学会第55回大会，1991
- 13) 横澤：第6回生体・生理工学シンポジウム，1991
- 14) Yokosawa: XXV International Congress of Psychology, 1992
- 15) 長谷川，横澤，石塚：第7回生体・生理工学シンポジウム，1992
- 16) 長谷川，横澤，藤木，石塚：第8回ヒューマンインタフェースシンポジウム，1992
- 17) 長谷川，横澤，石塚：情処全大，1992
- 18) 横澤，Lindenbaum：認知科学会第9回大会，1992
- 19) Yokosawa & Lindenbaum: Third International Conference on Visual Search, 1992
- 20) 横澤：日本心理学会56回大会，1992
- 21) 横澤：第7回生体・生理工学シンポジウム，1992
- 22) 下村，横澤：日本心理学会54回大会，1990
- 23) Yokosawa & Shimomura: Second International Conference on Visual Search, 1990
- 24) 下村，横澤：認知科学会7回大会，1990
- 25) 下村，横澤：認知科学会8回大会，1991
- 26) 下村，横澤：日本心理学会第55回大会，1991
- 27) 下村，横澤：基礎心理学会第11回大会，1992
- 28) Shimomura & Yokosawa: XXV International Congress of Psychology, 1992
- 29) Shimomura & Yokosawa: submitted, 1992
- 30) 下村，横澤：基礎心理学会第9回大会，1990
- 31) Shimomura & Yokosawa: 22nd International Congress of Applied Psychology, 1992
- 32) Shimomura & Yokosawa: Perception & Psychophysics, 50, 19-27, 1991
- 33) 横澤：信学論，J73-D-II, 2, 191-199, 1990
- 34) 加藤，森，横澤：春季信全大，D-488, 1990
- 35) 横澤，加藤：基礎心理学会第9回大会，1990
- 36) 加藤，横澤：信学論，J75-D-II, 9, 1573-1581, 1992