

## 認知心理学の博物館活動への応用を目指して —自然史教育心理学への序章—

### Aim to Cognition Psychology Applied to Museum Activity —Introduction to Educational Psychology of Natural History—

小出良幸

Yoshiyuki KOIDE

**Abstract.** Literacy in museums of natural history achieves the activities of science education and exhibition. These activities are constructed by the reorganization of interaction between human and material. In this paper, I compile sensory physiology and psychology. The sensations are vision, audition, olfaction, gustation, soma and time. I review, furthermore, psychological applications of artists. The reason why I compile is cognition psychology reveals the mechanism of the interaction of human and material. When the results of cognition psychology would be applied to science education and exhibition in the museums, we should establish 'educational psychology of natural history'.

**Key words:** Educational psychology of natural history, Natural history museum, Science education, Science literacy, Exhibition, Sensation, Perception, Cognition, Psychology

#### I はじめに：なぜ、認知心理学なのか

心理学とは、「こころの科学」である。そして、科学的に「こころ」、つまり人の本質を分析しようというものである。心理学は、非常に多様な内容を含んでいる学問分野である。心理学の一部に、知ることや認識するという「こころ」の作用を研究する分野として、知覚心理学や認知心理学がある。以下では、両者を併せて、認知心理学と呼ぶ。認知心理学では、人がものごとのどのような刺激を受け取り、その刺激をどのように感じ、どのように知覚・認知し、そして行動するのかを系統的に解析していく学問である。したがって、認知心理学はものごとと人とのかわりを科学的解明している学問とも言える。

認知心理学は、非常に多岐にわたった研究がおこなわれている。認知心理学がカバーしている領域は広い。教育の分野では教育心理学として認知心理学の成果が取り

入れられているが、他の領域で充分取り入れられているわけではない。たとえば、自然史教育心理学などは誰も考えていないし、体系化されてもいない。

博物館においても、認知心理学の成果は非常に重要な情報や方法論をもたらすはずである。なぜなら、博物館特に自然史博物館での科学普及や展示は、実物資料との接触を通じて、自然をわかりやすく市民に伝えるものだからである。その伝達手段として、認知心理学の成果が役に立つと考えられる。

しかし、認知心理学的視点をもって、自然史博物館の科学教育や展示がおこなわれているわけではない。主に学芸員の個人的能力の範疇で、科学教育や展示がおこなわれている。つまり、一種の職人芸として、教育や展示がおこなわれているのである。才能のある人は、無意識に認知心理学的効果を利用しているはずである。しかし、すべての学芸員が優れた職人とは限らない。また、そのような学芸員の技術や経験が、教科書として体系化されているわけではないため、教科書から学ぶわけにはいかない。芸術家が直感的に作品を制作していくときに、無意識に認知心理学の効果を利用しているように、学芸員も認知心理学の効果を使っているのである。

小出良幸 (Yoshiyuki Koide)  
神奈川県立生命の星・地球博物館  
〒250-0031 神奈川県小田原市入生田 499  
Kanagawa Prefectural Museum of Natural History  
499, Iryuda, Odawara, Kanagawa 250-0031, Japan  
koide@pat-net.ne.jp

学芸員養成のための一つのコースとして、博物館学講座がある。教員養成のようにカリキュラムにのっとって実習や学習をしても、一定の技量を身につけているかどうかの検定や判断する仕組みはない。また、教育する側の博物館の学芸員が、身に付けるべき技能の体系化をしているわけでもない。

博物館独自の科学教育の方法論として「自然史教育心理学」が完成するまで、とりあえず、認知心理学の成果をダイレクトに利用することが、体系化のための一番の近道かもしれない。この論文は、そのための第一歩として、認知心理学の体系において、自然史博物館の科学普及や展示に関係しそうな部分を基礎知識としてまとめたものである。そして、技能の極致として芸術家たちの認知心理学の応用や試みにおける成功例を示す。このような総説が博物館に従事する学芸員の知の体系化のための一助となれば幸いである。

本研究は、文部省科学研究費と文部省南関東博物館ネットワーク事業、神奈川県生命の星・地球博物館の調査研究費の援助を受けている。

## II 感覚とは

ものごとを感覚し、知覚し、認知するには、それなりのメカニズム（生理学）がある。各感覚には、特徴（心理学）があり、感覚の仕組み（精神物理学）があり、錯覚も起こすのである。以下では、その概要をまとめる。

### 1 感覚・知覚・認知：定義

「感覚（sensation）」とは、「外界の物理化学的エネルギーを感覚器官で感知することである」（松田，1995）。

人とは外界の環境との最初の接点が感覚となる。「感じる」のは、外界の刺激に反応して、体内の機能を調節して、恒常的に維持するためである。感覚とは、初歩的で要素的、主観的であるといえる。

「知覚（perception）」とは、「現存する外界の事物や事象、ないしはそれらの時間・空間的な状態・変化を各種の感性過程を通して、直接知ること」（鳥居，1982）と定義される。知覚は、感覚より高次の働きで、総合的、客観的であるといえる。

「認知（cognition）」とは、「知ること（knowing）の行為と能力を意味する」（大山，1990）。認知の概念は、知覚より広義で、多義である。最近では、学習や記憶、思考、意味や概念の理解などのより高次の精神機能も含めて認知と総称されることがある。

### 2 感じるメカニズム：生理学

感じる仕組みは、ある程度解明されている（図1）。感じるメカニズムは、その機能によっていくつかの系に分けられる。入力系、感覚系、中枢系そして出力系である。ここでは、出力系以外の系において重要と考えられる内容をまとめる。刺激と受容器は入力系として、受容器とニューロンは感覚系として、脳、ニューロン、脳、記憶は中枢系として位置付けられる。

#### i 刺激

外界からの情報収集は、物理化学的エネルギーによって行われている。感受できる外界のエネルギーとして、光エネルギーと音エネルギー、熱エネルギー、化学的エネルギー

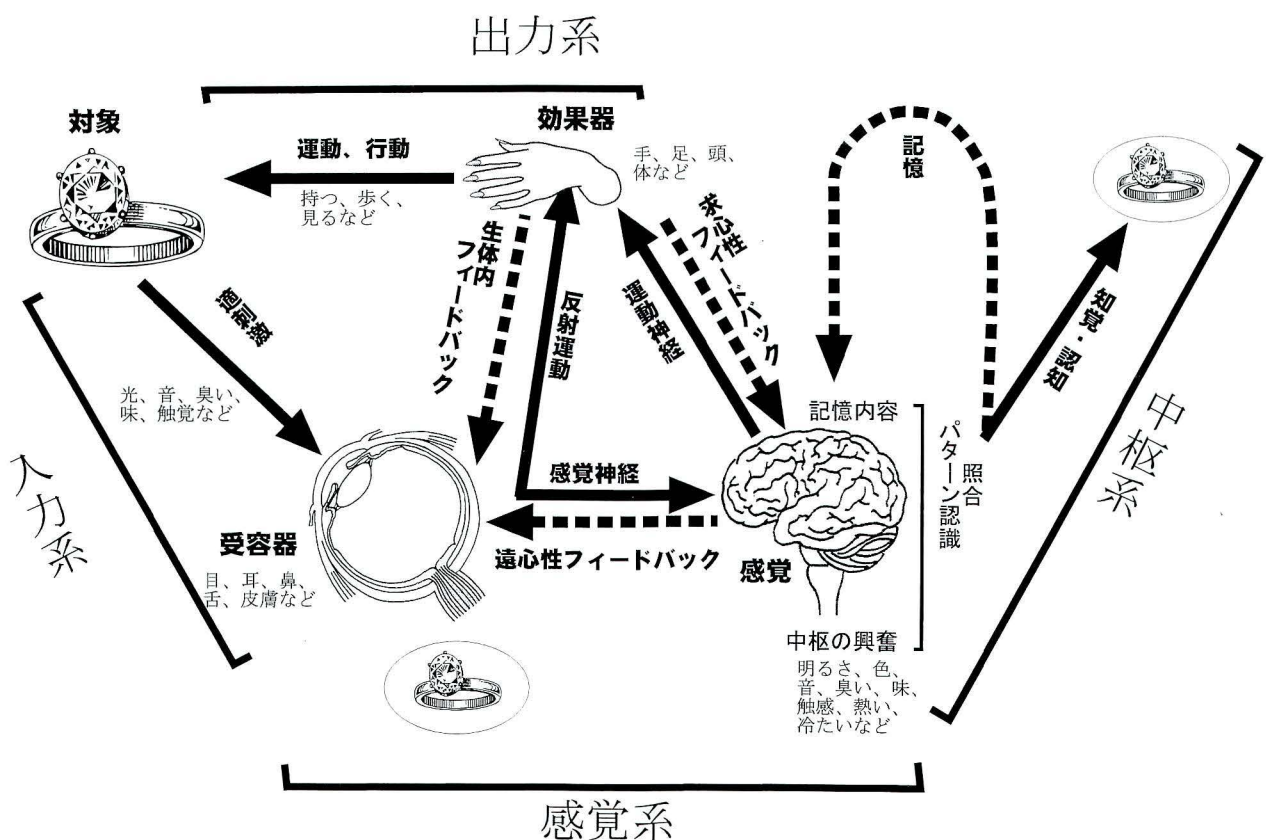


図1. 対象の認知と運動の過程。人は、対象（もの、できごと）からの刺激を受け入れ（入力系）、感じ（感覚系）、認知し（中枢系）、運動や行動に移す（出力系）。このような過程を概念的にまとめた。



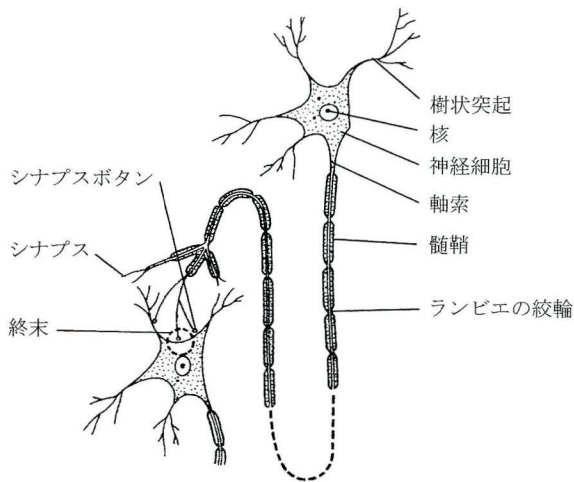


図2. ニューロン（神経細胞）。図は、山下（1988）を改変。

ギー、機械的エネルギーがある。

しかし、エネルギーのすべてが感受されるわけではない。例えば、人が感受できるのは、光エネルギーでは、電磁波（electromagnetic spectrum）と総称されるもののうち、可視光（visible spectrum）と呼ばれる波長を持つ範囲のものだけである。

心理学では、人の感覚器官に感受されるエネルギーまたはエネルギーの変化を刺激（stimulus）という。刺激は、人の感覚機能との関わりで定義される。

## ii 受容器

外界の刺激を感覚受容器（sensory receptor）で感知する。感覚受容器は、ニューロンの一部分で、ニューロンに活動電位を発生させることのできる特殊な細胞である。受容器は、神経終末が特殊化したものと、独自の細胞によるものとがある。受容器は、数ある刺激のうち、ある特定の刺激にのみに鋭敏に反応する。受容器毎に鋭敏に反応する刺激を、適刺激（adequate stimulus）と呼ぶ。

受容器は、刺激のエネルギーを電気的变化に変換する役目をもっている。生体の電気特性は、電流密度が小さい範囲（1 mA/cm<sup>2</sup>程度以下）では、興奮現象が生じない。線形な電気材料（導電・誘電材料）と同じ受動的性質を持つ。電流密度が大きくなると、神経細胞や筋細胞が興奮する。非線形な跳躍現象がおきる電氣的等価回路のような能動的性質を持つ。

細胞膜での能動輸送は、ポンプ作用により、外側にはNa<sup>+</sup>が多く、内側にはK<sup>+</sup>が多い。受容器に刺激が加わると、その大きさに比例して、細胞膜に脱分極（depolarization）が生じる。電氣的に細胞の外側が陽性、内側が陰性となる。この電位差は、膜電位（depolarization potential）、発動機電位（generator potential）あるいは受容器電位（receptor potential）と呼ばれる。

静止状態での膜電位は、静止電位と呼ばれ、約-70～90 mVである。興奮により発生する膜電位は、活動電位と呼ばれ、約+40 mVで、数msec程度持続する。興奮を起こす最小の刺激（閾値、しきい値）は、限界刺激と

呼ばれる。活動電位は、伝達された信号には関係なく、一定である。ただし、信号が強い場合や持続する場合は、発生頻度が高くなる。信号がなくても、自発性活動を行う細胞もある。

跳躍現象（脱分極）は、電位が増加すると、透過性が増加し、Na<sup>+</sup>イオン流入し、結果として、再度電位が増加する。そして、感覚神経線維にインパルス（impulse）を発生する。跳躍現象は、一種の正帰還作用である。しかし、数msecでK<sup>+</sup>イオンが流出して、元の電位に戻る（再分極）。

興奮部は、非興奮部に対して外側が陰性なので、興奮部に電流が流れ込む。この局所電流により非興奮部が刺激され興奮する。これにより興奮が周囲に伝導し、広がることになる。

## iii ニューロン

脳や神経系は、神経細胞（ニューロン、neuron）が基本的単位として構成されている（図2）。核のある神経細胞体には、多くの樹状突起（dendrite）が広がり、他の神経細胞の樹状突起と接している。神経細胞からは、長い軸索（axon）が伸びており、軸索の多くは電気抵抗の高い皮膜である髄鞘（myelin sheath）に覆われている。髄鞘は1～3 mmおきぐらいに途切れており、電気抵抗の低い細胞膜が露出しており、ランビエの絞輪（Ranvier's node）と呼ばれる。軸索の先端にシナプス（synapse）があり、他の樹状突起と接している。1個のニューロンには、数千のシナプスと連絡している。シナプスの終末部はシナプスボタン（小頭）となり、シナプス後神経細胞に密着している。しかし、直接は接触せず、電氣的に絶縁されている。

軸索の中は、閾値以上の刺激が伝わるとパルス（pulse）状の信号が伝達される。シナプスと軸索の間にはわずかな隙間があり、シナプスの末端から伝達物質（transmitter substance）が放出される。伝達物質には、興奮性（excitatory）と抑制性（inhibitory）の2種類の

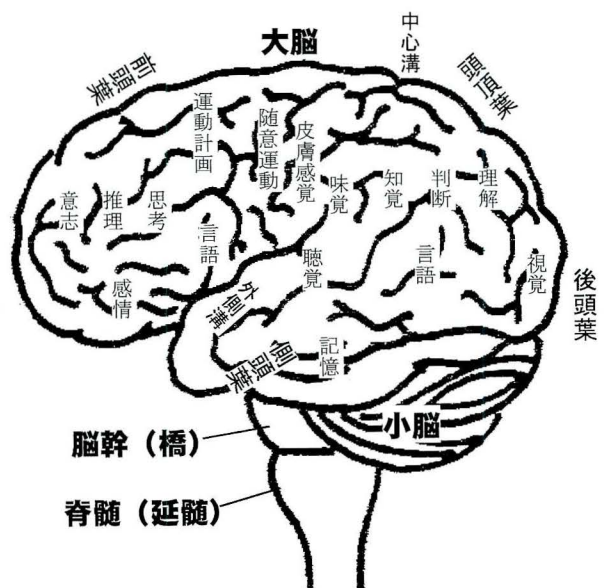


図3. 脳の構造と処理機能。脳の左半球から見た脳の部位と処理機能の概略を示した。脊髄は内部に延髄を持ち、脳幹には橋から中脳に続く。中脳は視床に接する。



表 1. 記憶.

|      | 記憶期間 | 容量  | 分類       | 特徴              |
|------|------|-----|----------|-----------------|
| 長期記憶 | 長期   | 無制限 | 宣言型      | 複雑で高次の知識構造をもつ   |
|      |      |     |          | 学習に関する記憶        |
|      |      |     | 手続き型     | 意味記憶            |
|      |      |     |          | 名称や抽象的なものに関する記憶 |
|      |      |     |          | エピソード記憶         |
| 短期記憶 | 数分   | 少量  | 機械的リハーサル | 特定の出来事に関する記憶    |
|      |      |     |          | 動作に関する記憶        |
|      |      |     | 精緻化リハーサル | 学習による運動         |
|      |      |     |          | 条件反射            |
|      |      |     |          | 繰り返しによる無意識の運動   |
| 感覚記憶 | 一瞬   | 少量  |          | 符号化・暗号化がおこなわれる  |
|      |      |     |          | 単純な繰り返し         |
|      |      |     |          | 語呂合わせ、長期記憶化     |
|      |      |     |          | イメージとして記憶       |

ものがある。神経細胞が持つ多数のシナプスの興奮性および抑制性の電位が、時間的、空間的に加え合わされたものが、閾値を越えると、活動電位が発生、他に伝達される。つまり、多数のシナプスから受け取った信号は、総和によって決まる。興奮信号が多ければニューロンは興奮のパルスを、少なければ抑制信号をシナプスに送る。

ニューロン同士のネットワークは複雑である。ニューロンのモデルは、空間的加算と閾値処理だけに単純化したもので、計算能力は汎用計算機と同等である。

ニューロンの結合の形成には、3つの時期がある。生まれながら備わっている反射的なもの、誕生後きわめて初期に形成される初期学習に関するもの、そしてその後の成長過程で形成され学習・経験に関するものがある(八木, 1997)。

神経回路網のモデルは、ニューロンに対応した多数のユニットを結合させ、ネットワークを構成するものである。フィードバック結合を含むか含まないか、さらには、階層的であるか、相互結合的であるか、などにより、分類される。

iv 脳

受容器で感知した適刺激は、それに連なる感覚神経(sensory fiber)で、符号化された情報として、中枢へ送られる。脳で情報処理をして知覚される(八重嶋ほか, 1986)。刺激の情報が脳に達して初めて、感覚が知覚される。そして、刺激を受けた部位での知覚と認知される(感覚の投影)。

生命維持に必要な基本的な活動を下位の脳で、高度の精神活動は上位の脳でおこなっている。脳(図3)は、大脳、間脳、中脳、延髄そして小脳の5つに分かれている。

脊髄は内部に延髄を持ち、脳幹には橋から中脳に続く。中脳は視床に接する。間脳は、視床と視床下部に分けられる。大脳は新皮質が発達しており、その一番下部は縁辺系と呼ばれ、情動だけでなく、記憶にも関連している。新皮質では、もっとも高度の心理活動がおこなわれる。

脳は、左右に分かれており、身体の左側の機能は右脳が、右側は左脳で処理されている。認知的な作用は、左右の皮質で大きく異なっており、大脳半球の機能的非対称性(functional asymmetry)と呼ばれている。右脳は、空間の構成、非言語材料の識別、情動の理解、形態

処理、全体的処理、並列処理、心像性操作をおこない、左脳は発語、言語材料の識別、意味の理解、音韻処理、分析の処理、系列的処理、言語性操作をおこなっている(八木, 1997)。

大脳は、中心溝を境に、前後に分かれる。中心溝より前側では、運動中枢はじめ、意思的行動や運動のプログラム出力の制御がおこなわれている。中心溝より後側では、刺激に対する知覚がおこなわれている。

v 記憶

記憶の機能は、方法を覚えこむ記銘(memorization)と覚えておく保持(retention)、そして思い出す想起(remembering)である。取り出しの機能には、再生(recall)、再認(recognition)、再構成(reconstruction)がある。

記憶の保持には、感覚記憶(sensory memory)と短期記憶(short-term memory)、長期記憶(long-term memory)の3種がある(表1)。

感覚記憶は、電話番号や数字を瞬間的に記憶するものである。感覚器官から入ってきた情報を、認識するまでの保持される記憶である。Sperling (1960)は、部分報告法(partial report technique)という手法を用いて、感覚記憶の存在を示した。感覚記憶の特徴は、保存時間がごく短いこと、イメージとして保存されること、情報の符号化や置き換えがなされないこと、かなり鮮明に保存されることである。残像もこの感覚記憶である。

短期記憶は、1次記憶(primary memory)、作業記憶(working memory)、直接記憶(immediate memory)などとも呼ばれる。感覚記憶に入った情報の一部は、パターン認識で符号化され、短期記憶となる。

短期記憶の特徴は、保存時間が短いこと、何らかの符号化・暗号化がおこなわれていること、記憶容量に限界があること、何らかの見出しとともに保存されること、役割が終わると記憶は消えることなどが挙げられる。

短期記憶で覚えていられるのは、5〜9チャンク(chunk)といわれている。チャンクとは一塊になった情報のことである。

短期記憶は、リハーサルという過程によって、繰り返し循環され、短期記憶に長く保持できる。リハーサルには、単に繰り返すだけの機械的リハーサルと意味づけし



たり語呂合わせしたりする精緻化リハーサルがある。精緻化リハーサルによって長期記憶へと変更できる。

長期記憶は、宣言型記憶 (declarative memory) と手続き型記憶 (procedural memory) の2つに大別される。宣言型記憶は、主に言語にかかわる記憶であり、手続き型記憶は動作にかかわる記憶である。宣言型記憶は、意味記憶 (semantic memory) とエピソード記憶 (episodic memory) に、手続き型記憶は技能 (skill) と条件反射 (conditioned response) に細分される。

宣言型記憶のうち意味記憶は、名称の記憶で、数式や概念の抽象的なもの含まれる。エピソード記憶は、特定の出来事の記憶で、出来事に関連する日時や場所、事柄を含む。思い出というものは、すべてエピソード記憶である。

手続き型記憶は、主に学習というテーマで研究されている (八木, 1997)。技能は、運動や楽器演奏など、練習によって運動能力が向上することである。宣言型記憶が1回の試行で覚えられるのに対し、技能は段階的に覚えていくものである。条件反射は、訓練や繰り返しによって意識せずに運動するものである。パブロフの条件反射は有名である。

長期記憶は、複雑な高次の知識構造をもっていると考えられている。このような構造のことを、スキーマ (schema)、あるいはフレーム (frame)、スクリプト (script) と呼ばれる。スキーマとは、過去の経験や環境についての構造化された知識である。スキーマは、下位 (サブスキーマ) から上位のスキーマまで、複雑な階層性構造を持つ。

3 感覚の種類

人の感覚は、古くから、5感あるいは5官と呼ばれてきた。アリストテレス以来、視覚、聴覚、味覚、臭覚、触覚の5感が、一般的な感覚とされている (荻阪, 1969)。その後、触覚は単一感覚ではなく、温感、冷感、触感 (圧感)、痛感などが複合したものであることがわかった。また5感以外にもさまざまな感覚が加えられた。感覚の分類は、今でも定まらない。

本稿では、視覚、聴覚、嗅覚、味覚、体性感覚、時間感覚の6つに大別する (表 2)。

体性感覚は、皮膚感覚と深部感覚、平衡感覚に分けられる。皮膚感覚は、さらに触感 (圧感)、温感、冷感、痛感、振動感覚などに細分される。深部感覚は、運動感覚 (自己受容感覚) と内臓感覚などに細分される (鹿取・杉本, 1996)。それぞれの感覚についての詳細は、後述する。

4 感覚の特徴：心理学

ものごとを認知するとは、ものごとの属性を体験することである。ものごとは、さまざまな感覚を通して、「属性の集合体」として統合されて認知される (鹿取・杉本, 1996)。そこには、さまざまな特徴や特異性が生まれる。

i 視覚優位

ある対象物を認知するとき、一般には適刺激が何種類もあり、さまざまな受容器で感知されることがある。ひとつの対象からの多様な刺激に対して、各受容器間に相互作用が生じる。受容器ごとにそれぞれの役割分担がおこなわれており (丸山, 1969)、総合して認知作業がおこなわれる。

表 2. 感覚の種類.

| 種類      | 適刺激                      | 受容器                                                     | 中枢                 | 感覚                               |
|---------|--------------------------|---------------------------------------------------------|--------------------|----------------------------------|
| 視覚      | 光<br>(約 380-780 nm の電磁波) | 網膜内の桿体と錐体                                               | 後頭葉の視覚領野           | 明るさ、色                            |
| 聴覚      | 音<br>(約 15-20000Hz の音波)  | 内耳蝸牛の基底幕                                                | 側頭葉の聴覚領野           | 音                                |
| 嗅覚      | 揮発性物質<br>(刺激源からの気体や微粒子)  | 嗅腔内の臭細胞                                                 | 嗅皮質<br>(嗅脳)        | 臭い (腐敗臭、花香性、果実性、焦臭性、薬味性、樹脂性など)   |
| 味覚      | 水溶性<br>(唾液に溶ける物質)        | 舌の味蕾にある味細胞                                              | 前頭葉中心後回の<br>体性感覚領野 | 味 (甘、酸、苦、塩など)                    |
| 体性感覚    |                          |                                                         |                    |                                  |
| 皮膚感覚    |                          |                                                         |                    |                                  |
| 触 (圧) 感 | 皮膚に加えられる機械圧              | 皮膚下の各種細胞の小体<br>(ルフィニ終末、パチニ小体、<br>マイスナー小体、<br>メルケル触覚盤など) | 前頭葉中心後回の<br>体性感覚領野 | 触感、圧感                            |
| 温感      | 温度刺激、電磁波の熱線部             | 皮膚下のルフィニ小体                                              | 体性感覚領野             | 暖かさ、熱 (ものの温度)                    |
| 冷感      | 温度刺激、電磁波の熱線部             | 皮膚下のルフィニ小体                                              | 体性感覚領野             | 冷たさ                              |
| 痛感      | 強い機械圧、化学薬品、電流など          | 皮膚下の自由神経終末など                                            | 体性感覚領野             | 痛み                               |
| 振動感覚    | 連続した機械圧                  | 皮膚下の各種細胞の小体                                             | 体性感覚領              | 連続した圧感                           |
| 深部感覚    |                          |                                                         |                    |                                  |
| 運動感覚    | 筋、腱、関節部の緊張変化<br>(自己受容感覚) | 筋、腱内の受容体                                                | 前頭葉中心後回の<br>体性感覚領野 | 身体運動状態、手足の位置 (緊張感、弛緩感)、身体全体や部分感じ |
| 内臓感覚    | 内臓諸器官の内部生理的<br>バランスの変化   | 自律神経                                                    | 前頭葉中心後回の<br>体性感覚領野 | 身体内部の痛みや諸器官の状態                   |
| 平衡感覚    | 身体の傾き、全身の加速運動            | 内耳前庭器官                                                  | 不明<br>(または多部位)     | 重力に対する身体の位置や<br>全身運動の感じ          |
| 時間感覚    | 刺激の変化                    | 不明                                                      | 不明                 | 生体のリズム、体内時計                      |

表 3. 注意の分類.

|       |                     |
|-------|---------------------|
| 活動様式  |                     |
| 末梢的   | 肉体的行動を伴う            |
| 中枢的   | 認知的活動を伴う            |
| 支配的要因 |                     |
| 内的    | 瞬間的心理状態を反映する        |
| 外的    | 刺激や環境の影響を受ける        |
|       | 強度、大きさ、対比、反復、運動、新奇性 |

感覚の中で感覚器ごとの情報がくい違うとき、視覚からの情報が優先される。このような情報処理の方式を、視覚優位、あるいは視覚優先と呼ばれる。これは、人が視覚情報に頼って生きていることを示している。

視覚以外の感覚が正しい情報を送っていても、間違っただけの視覚情報が優先されることがある。このような情報処理の方式によって、錯覚が発生する。

ii 選択的知覚

刺激を感知していても、すべての刺激に対して同じ反応するのではなく、一部の刺激にのみに反応することが多い。このような選択的知覚を「注意 (attention)」という (表 3)。

注意によって、知覚する刺激の焦点と、刺激の周辺部が形成される。注意されるものは、周辺から際立つ。注意における焦点と周辺部は、後述の図と地に対応する。

注意には、その活動様式において、末梢的注意活動と中枢的注意活動の2つに区分される (村田, 1987)。末梢的注意活動とは、肉体的行動を伴うもので、ものを見比べたり、目的のものに顔を向けたりする行動である。中枢的注意活動とは、ものの色だけに注目したり、位置だけに注目したりする認識的活動である。

注意を支配する要因には、内的要因と外的要因がある。

内的要因とは、瞬間的な内的状態 (心理状態) によって、知覚に影響を受けることである。ロールシャッハ検査は、この原理を利用している。

外的要因とは、刺激や環境に左右されるものである。強度と大きさ、対比、反復、運動、新奇性などが挙げられる (村田, 1987)。「強度と大きさ」とは、色彩が強烈なものや、大きいものが注意を引くことである。「対比」とは、周囲のものとは区別できるようなものが注意を引くことである。「反復」とは、何度も連呼されたり、反復されたりすると注意を引くことである。「運動」とは、静止しているものより運動しているもののほうが注意を引くことである。「新奇性」とは、ギョッとすることや型破りなことが注意を引くことである。

iii まとまり：図と地、主観的輪郭、群化

まともりを持って、際立って見える部分を図 (figure)、その背後に切れ目がなく広がっているように見える部分を地 (ground) という。境界線によって、領域が分離することを図・地分化という。これによって形の知覚が成立する (今井, 1986)。図として見る時、その領域はひきしまり、より近くにあるように見える (鹿取・杉本, 1996)。

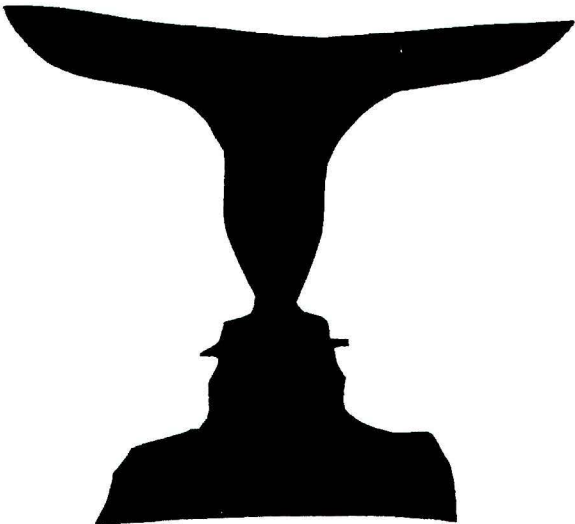


図 4. 多義図形. ルビンの反転図形は、図と地が入れ替わる多義図形としてよく知られる。黒のテーブルが、見方を変えると、向き合った人の顔に見える。このように見方によって別の図形に見えるものを多義図形と呼ぶ。

図と地の分化は一義的なものではなく、反転が起こる。図と地が、一通りではなく、いく通りかに知覚されるものを多義図形と呼ばれる。ルビンの反転図形 (図 4) が多義図形として、有名である。

知覚の作用によって、実際にはないものが見えることがある。このような知覚作用に、主観的輪郭というものがある。主観的輪郭 (subjective contour) とは、物理的には存在しない境界線が、あたかもあるように見えることである (図 5)。主観的輪郭は、経験や知識に依存せず、刺激の特徴によって自動的に働く知覚である。

視野の中のものは、バラバラのものとしてではなく、まとまりをもったもの、体系化されたものとして知覚さ

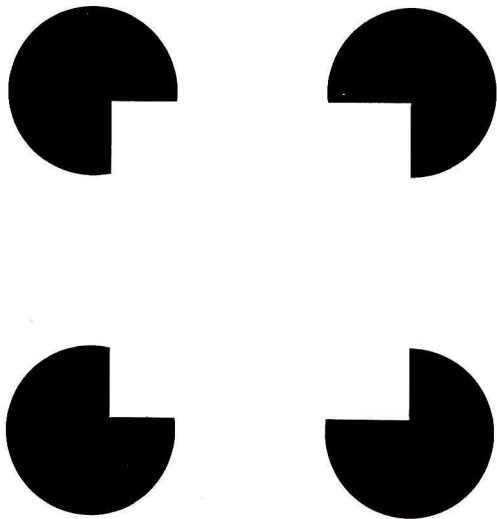


図 5. 主観的輪郭. 4つの黒い丸の上に白い四角が乗っているように見える。この時、知覚のレベルで、ないはずの輪郭をあるとみなして四角形が見えているのである。このようにないはずの輪郭が見えることを主観的輪郭と呼ぶ。



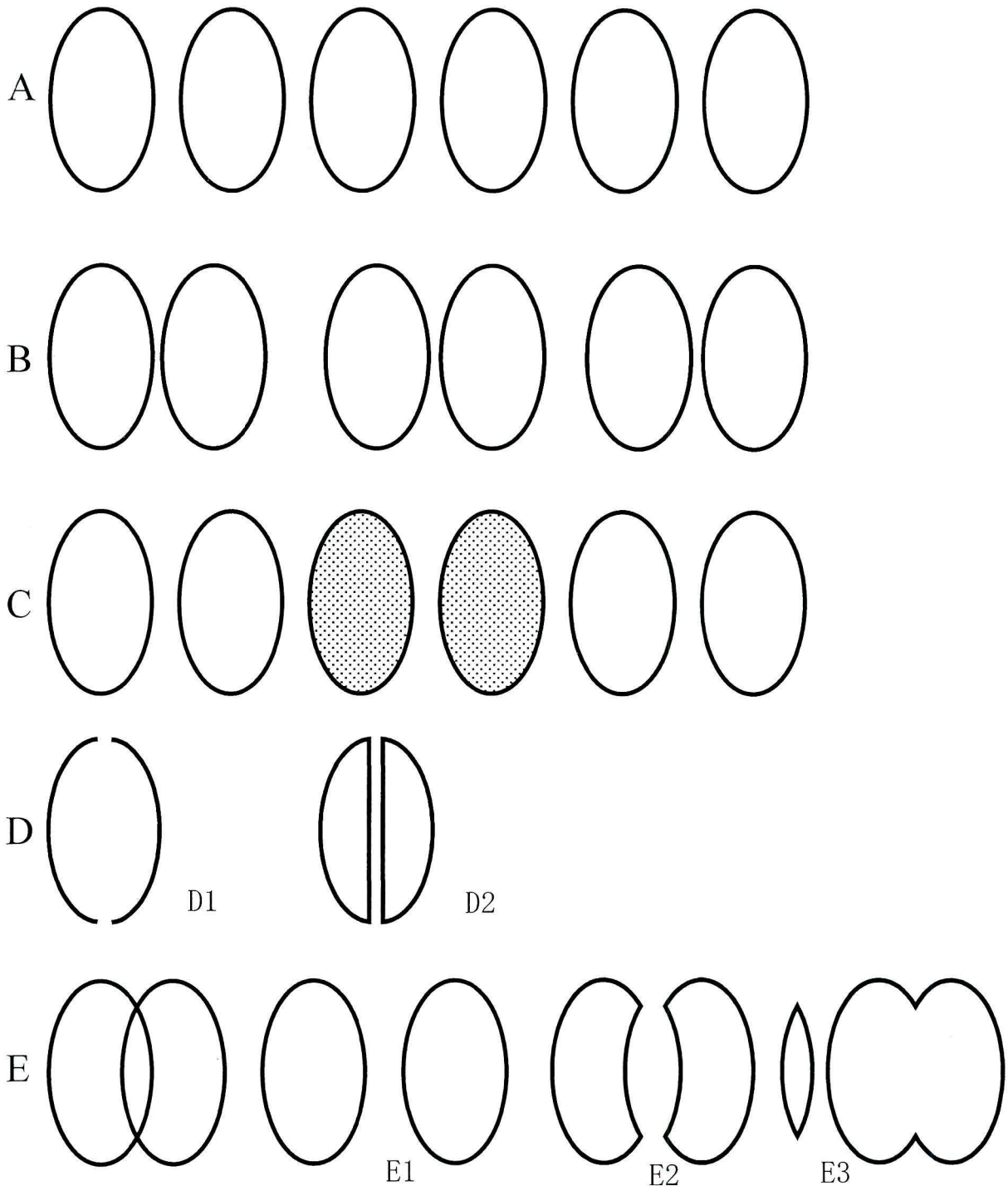


図 6. 群化。等間隔におかれた図形 (A) は、すべて独立の 5 個の楕円に見える。2 個が近づく (B) と、2 個ずつの楕円が 3 つのグループになっているように見える (近接の要因)。等間隔でも色のついた 2 個 (C) は、グループをつくって見える (類同の要因)。開いた空間より閉じた空間 (D) の方がまとまって見える (閉合の要因)。E の図は、E1、E2、E3 の 3 通りの解釈が可能であるが、E1 の 2 つの楕円が重なったものとみなしてしまう (よい形の要因)。このような群れをつくりやすい傾向を群化という。

れる (鹿取・杉本, 1996)。このような知覚の作用を、群化 (clustering) と呼ぶ。

群化の決定要因は、Wertheimer (1923) が研究した。群化の要因として、近接 (proximity)、類同 (similarity)、対称 (symmetry)、閉合 (closure)、よい形 (good figure)、よい連続 (good continuation) がある (Wade, 1982)。

近接の要因とは、図 6 の A のような楕円の集合があるとき、空間的に接近しているものはまとまりやすいというものである (図 6 の B)。類同の要因とは、形は色・大きさなどが類似しているものはまとまるというものである (図 6 の C)。対称の要因とは、類同の原理とともに働き、近接の原理とは相反している。対称的なものはセットとして見やすい。閉合の要因とは、閉じた空間が

# EARTHA

図7. パターン認識の情報処理. 2文字目と5文字目は同じ文字だが、AともHとも解釈できる. データ駆動型情報処理では、2, 5文字目は同じと判断して、EARTAまたはEHRTHとなり、意味不明の英単語となる. 概念駆動型情報処理では、あらかじめEARTHではないかと考え2文字目がA, 5文字目がHと読めると判断するものである.

ある方(図6のD2)が、開いた空間より(図6のD1)まとまる傾向を示すというものである。よい形のもの集まりのほうが、いびつな形のものより、まとまって知覚されやすい。図6のEは、E1、E2、E3などの部品の組み合わせと見ることができる。しかし、2つの楕円の組み合わせたもの(E1)と考える。良い連続の要因とは、なめらかに連続しているものはまとまりやすいというものである。

群化の作用によって、別の図形が隠れた見なくなることがある。このような図形を埋没図形(embedded figure)という。埋没図形の性質を利用することによって、かくし絵を描くことができる。

#### iv 知覚の恒常性

外界の刺激がわれわれの受容器に作用して生ずる興奮は、時々刻々変化する。ところが受容器に作用する刺激の本体が一定である限り、われわれは不変のものとして認識する。知覚は、無限の微細な変化を無視して、比較的恒常性のある環境像を生み出すことにより、適応を円滑にしている。

強い刺激(近刺激)より弱い刺激(遠刺激)に忠実に、という原則に従った現象は、知覚の恒常性(perceptual constancy)と呼ばれる(村田, 1987)。知覚の恒常性は錯覚の一種ではあるが、極めて顕著である。知覚の恒常性は、視覚において顕著に見られる。1つの物体が、視覚を通して知覚される位置、大きさ、形、色、明るさなどの情報は、状況や環境が異なると、網膜には違って映っているのにもかかわらず、知覚としては同じと判断されることがある。

同じ物体でも近くのは大きく、遠くのは小さくなる。しかし、同じ物体と判断することができる(鹿取・杉本, 1996)。このような作用には、形の恒常性と大きさの恒常性が働いている。青い光の中でもりんごは赤く感じ、白い紙が暗いところでも白く見えるのは、視覚の恒常性に依るものである。それぞれ、色の恒常性と明るさ(白さ)の恒常性と呼ばれる。

#### v パターン認識

知覚された複雑な情報が何かという判断をするために、パターン認識(patterns recognition)がおこなわれる。パターン認識には、鋳型照合モード(template mode)と特徴分析モード(analytical mode)の2つがある(今井, 1986)。

鋳型照合モードは、以前のパターンが鋳型として記憶されており、鋳型と今見ているものの情報が照合されて、

同じと認識されるのである。例えば、ティラノザウルスの化石骨格標本が、前から見ても、横から見ても、ティラノザウルスと判別できるのは、鋳型照合モードである。

特徴分析モードというのは、パターンを分析して、要素の集合として照合を試みるものである。例えば、はじめて訪れた山でも、それを火山と認識することができたとする。これは、今まで見た火山のいくつもの特徴を抽出して作成した定義と照合して、今見ている山とが一致した結果、火山と判定できるのである。

パターン認識の情報処理には、データ駆動型(data-driven processing)と概念駆動型情報処理(concept-driven processing)の2つがある(今井, 1986)。

データ駆動型情報処理には、判断するまでは、予断や仮定をせず情報処理をするものである。例えば、図7の英単語は、2文字目と5文字目は同じ文字である。そしてHかAと判断できる。したがってこの英単語はEHRTHもしくはEARTAという読み方をするしかない。最終的には意味不明の単語と判断される。つまり、データ駆動型処理とは、データに忠実に情報処理をおこなってパターン認識をおこない、判断することである。データ駆動型処理は、データ推進型処理とかボトム・アップ型(bottom-up)処理とも呼ばれる。

概念駆動型情報処理は、図7の単語を見た時、まず意味は何かと考え、EARTHという予断をする。その予断のもとに、2文字目をA、5文字目をHと読めるかどうか判断して、その予断が正しいと認知する。このような不確定なパターン認識のもとに情報処理をおこなうことを、概念駆動型という。概念駆動型処理は、トップ・ダウン型(top-down)処理とも呼ばれる。

#### 5 感じる仕組み：精神物理学

感覚を生じさせるために必要な最小の物理・化学的刺激強度を、閾値(threshold)または絶対閾値(absolute threshold)という。外界に刺激が存在することを検出する限界であるので、検知閾とも呼ばれる。閾値は刺激変化の方向(漸増・漸減など)によって、確率的なバラツキはあるが、平均値が用いられる。異なると認められる最小の刺激差異を、弁別閾(differential threshold)または識別閾という。通常、刺激の強い方への変化が弱い方への変化よりやや大きい、その平均値を弁別閾とする。

感覚の強度に目盛りを打つことを、感覚尺度(sensory scales)の構成という。感覚という主観的なものを数量化することは不可能という哲学上の立場もあったが、今では可能とされ各種の方法が考案されている。

ある大きさの刺激強度(R)と識別できる刺激強度(R' = R +  $\delta R$ )の間には、 $\delta R$ はRが大きくなるにしたがって、増加するという規則的な関係がある。ここで、 $\delta R$ は絶対識別閾(absolute threshold)と呼ばれる。この規則的な関係は、

$$\delta R/R = c$$

と表される。cは、ウェーバー比(E. H. Weber ratio)あるいは相対識別閾(relative threshold)と呼ばれる。

上の2つの刺激強度(RとR')に対する感覚を、EとE'とする。感覚の差 $\delta E$ ( $\delta E = E' - E$ )は、感覚の強



さにかかわらず一定と仮定すれば、

$$\partial E = K (\partial R/R)$$

となる。ここで  $K$  は定数である。両辺を積分すると、

$$E = K \log R + C$$

となる。ここで、 $C$  は積分定数である。この式から、感覚は刺激の対数に比例することがわかる。この関係は、フェヒナー (G. T. Fechner) が、ウェーバーの式から導いたもので、ウェーバー・フェヒナーの精神物理法則と呼ばれる。

フェヒナー以後、感覚尺度には3つの三系統の試みがおこなわれた。

第一は、刺激閾から数えて弁別閾何個分上であるかによって、強弱を数量化しようとする考え方で、jnd 尺度と呼ばれる。

第二は、サーストン (L. L. Thurstone) の提案に基づき、感覚のバラツキ度を単位にした相対量で数値化を試みる。感覚の差の判断に基づく方法である。

第三は、スチーブンス (S. S. Stevens) の提案に基づく、感覚量の直接評定である。標準刺激に対する感覚強度を10、100などと定義する時、任意の刺激の起こす感覚強度が、その何倍かまたは何分の一かという比の判断に基づく。

ウェーバー・フェヒナーの精神物理法則は、現在では、べき関数 (power function) の方がより正確であるとされている。感覚の強さは ( $S$ ) は、刺激の強さ ( $I$ ) に対して

$$S = k \cdot I^n$$

または、

$$\log S = n \cdot \log I + k'$$

という関係がある。 $n$  は物質によって異なる。この経験則に基づく関係式は、べき関数の法則と呼ばれる。Stevens (1959) によって始められたマグニチュード推定法に由来しているため、スチーブンスの法則と呼ばれることもある。

食品、化粧品、医療品などの品質を主観的に評価する時に、上記の計量心理学的手続きは重要な役割を演ずる。

## 6 誤った感覚：錯覚

錯覚 (illusion) とは、外界のものごとを、その客観的性質とは違って知覚・認知することをいう。心理学という錯覚とは、感情的要因によって影響されるものではなく、通常の常態で誰にでも生じる現象である。

注意すれば間違わないというようなものや、夜の枯れ尾花を幽霊と見誤るのは、心理学では錯覚とはいわない。刺激のないのに知覚する幻覚 (hallucination) や異常な心理・肉体状態での知覚の妄想 (delusion) とは区別される。

以下では、視覚における錯覚と、聴覚における錯覚、触覚における錯覚、運動感覚における錯覚、時間感覚における錯覚について述べる。

### i 錯覚のいろいろ

錯覚はいろいろな感覚において起こっているのだが、視覚における錯覚の研究が一番進んでいる。

視覚における錯覚を、錯視 (optical illusion、visual

illusion) と呼ぶ。錯視には、以下のようなものがある (今井, 1984)。

- ・月の錯視 (moon illusion)
- ・逆理図形 (不可能図形、矛盾図形) による錯視 (impossible figure、paradoxical figure)
- ・対比錯視 (illusion of contrast)
- ・勾配の錯覚 (gradient illusion)
- ・方向付けの錯視 (directive illusion)
- ・幾何学的錯視 (geometrical optical figure)
- ・多義図形 (曖昧図形) による錯視 (ambiguous figure)

このうち月の錯視は古くから知られる。中天に月があると小さく見えて、地平線に近いと大きく見える現象である。これは、誤った奥行き情報が付加されるためである (鹿取・杉本, 1996)。水平線近くの月は他のものも目に入り近く感じ、中天では他のものが目に入らないため遠く感じるのである。

逆理図形による錯視は、奥行きの特徴を持つ2次元図形の各部分をみると解釈可能だが、全体としてみると、3次元的には不可能な図形である。このような逆理図形が示されたとき、空間的に誤って解釈される場合 (Penrose の三角形) と矛盾した奥行きの特徴をもつ場合 (干草かきと呼ばれる図) がある。

対比錯視とは、明るさの対比や色の対比、図形の大きさの対比、湾曲の対比などによって錯覚が起こる現象である。

勾配の錯覚とは、下り坂なのに上りに見えたり、ゆるい上りがけわしく見えたりする現象である。坂道における交通事故の原因となることがある。

方向付けの錯視とは、空間や位置が誤って知覚されることである。正しい方向と逆だったり、90度違ったりすることがある。

幾何学的錯視と多義図形による錯視は多くのことが知られているので、以下で詳細に述べる。

### ii 幾何学的錯視

線分や図形の幾何学的配置により、図形の特性の距離、面積、湾曲、方向などが、実際とは違って知覚されることがある。このような錯視を、幾何学的錯視という。

Oppel が 1855 年に分割距離過大視の研究 (図 8 の A) をして以来、多くの幾何学的錯視の研究がなされてきた。ほとんどは 1900 年頃、遅くとも 1930 年代に幾何学的錯視のほとんどが発見された (大山, 1970)。幾何学的錯視は、発見者や考案者の名前が付けられることが多い。

幾何学的錯視の合理的な分類はまだ確立されていない (今井, 1982)。以下では、便宜的な分類を示す。

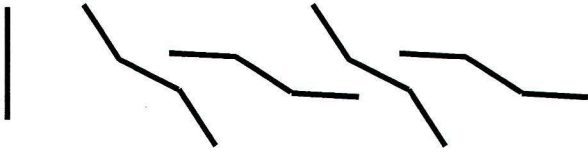
鋭角を過大視し鈍角を過小視する錯視として、Zollner の図形 (図 8 の B)、Hereing の図形 (図 8 の C)、Poggendorff の図形 (図 8 の D)、Wund の図形 (図 8 の E) などがある。

周囲との同化による大きさの錯視として、Muller-Lyer の図形 (図 8 の F)、Delnoeuf の図形 (図 8 の G)、Sander の図形、Lipps の図形 (図 8 の H) などがある。

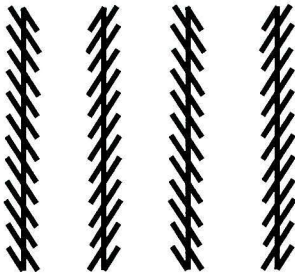
周囲との対比による錯視として、Ponzo の図形 (図 8 の I)、Ebbinghaus の図形 (図 8 の J)、Jastrow の図形 (図 8 の K)、Fraser の図形 (図 7 の 8) などがある。



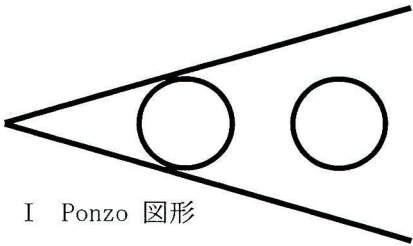
A Oppel-Kundt 図形



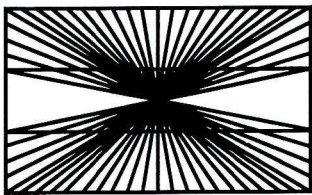
H Lipps 図形



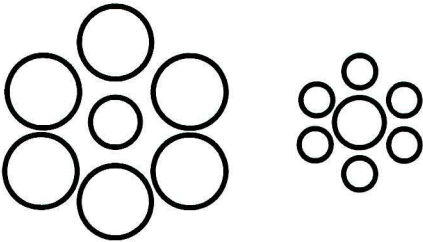
B Zollner 図形



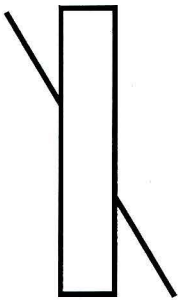
I Ponzo 図形



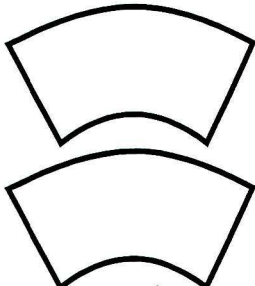
C Hereing 図形



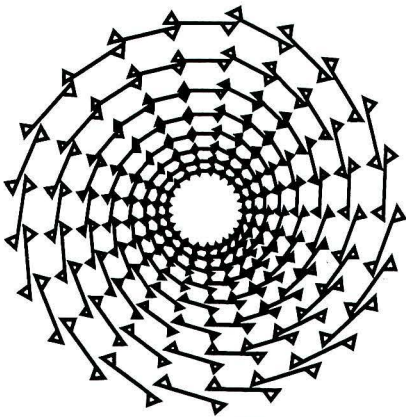
J Ebbinghaus-Titchener 図形



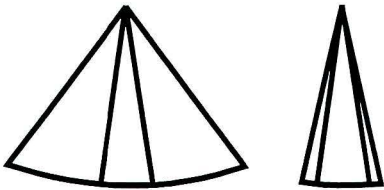
D Poggendorff 図形



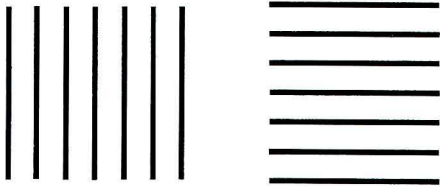
K Jastrow 図形



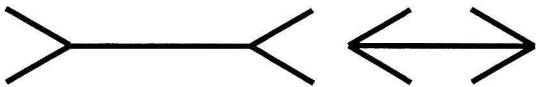
L Fraser 図形



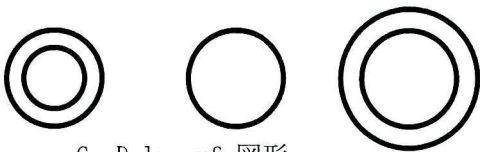
E Wundt 図形



M Helmholtz 図形



F Muller-Lyer 図形



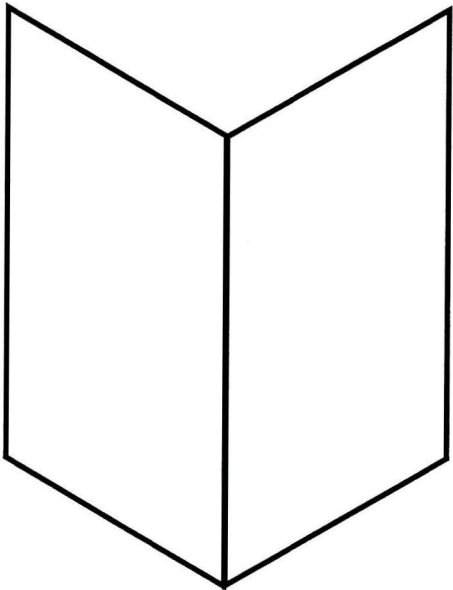
G Delnoeuf 図形



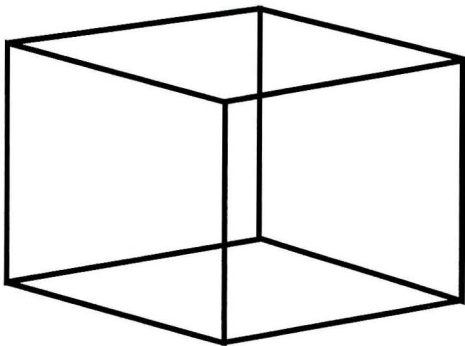
N 水平垂直錯視図形

図 8. 幾何学的錯視. 心理学の研究史上, 有名な幾何学的錯視の例を示した. 詳しくは本文参照のこと.





A Mach の本



B Necher の立方体

図 9. 多義図形の錯視。平面図が立体的に見える図形では、空間的位置が視点によって変化する多義図形がある。Aは開いている本の中がこちらを向いているように見えたり、表紙・背表紙がこちらを向いているように見えたり変化する。Bでは、立体の奥行きが変化する例で、上面が見えているようにも、底面が見えているようにも変化する。

分割距離の過大視傾向による錯視として、Helmholt の図形（図 8 の M）が有名である。

このような幾何学的錯視は、注意すればだまされないというものではなく、誰でもそう見えてしまうのである。このような錯視の研究から視覚の原理を探る手がかりとされている。

われわれの空間知覚には、異方性がある。図 8 の N では同じ長さの垂直と水平の線分のうち、垂直の線分の方が長く見える。このような垂直水平錯覚は、異方性によるものである。また、顔の写真を上下逆さまにすると表情が変化したり、見分けられなかったりする。これも空間知覚の異方性である（八重嶋ほか、1986）。

平面に書かれた単純な図形でも、知覚・認知の段階で、立体にも見えることがある（図 9）。

iii 多義図形（曖昧図形）による錯視

図・地が反転したり、図・地がいく通りかに知覚されたりするものを、多義図形と呼ぶ。

多義図形の図として分化が起こる要因として、刺激の構造的要因と経験的要因が存在する（今井、1986）。

刺激の構造的要因とは、パターンの良さの要因と閉合の要因、面積の要因などが考えられる。パターンの良さの要因とは、図として知覚されやすいのは、色の濃いもの、規則性が高いもの、対称性がよいもの、単純なもの、まとまって見える傾向にある。ルビン（E. J. Rubin）の反転図形は、色の濃い部分が図として知覚されやすいものである。バーンゼンの図・地の反転図形は対称性と非対称性によって知覚される図が反転されるものである。このような法則は、プレグナンツの法則と呼

表 4. 奥行き知覚.

| 要因       | 分類         | 内容                                            |
|----------|------------|-----------------------------------------------|
| 生理的（肉体的） | 水晶体の調節     | ピントを合わせるために水晶体のふくらみを変える（約 2 メートルまで）           |
|          | 輻輳         | 輻輳角をつくるための動眼筋の緊張の度合い（約 20 メートルまで）             |
|          | 両眼視差       | 右目と左目の視差を利用、実体鏡はこの効果を利用                       |
|          | 運動視差（流れ勾配） | 観察者が横に移動しているとき、凝視点より遠いものは進行方向に、近いものは後方に動いて見える |
|          |            |                                               |
| 心理的（物理的） | 相対位置       | 並んだ図形で相対的位置の違いによって遠くに見えることがある                 |
|          | 大きさ        | 小さいものは遠くに見える                                  |
|          | きめの勾配      | きめが細くなるほど遠くに見える                               |
|          | 遠近法        | 2 次元で 3 次元的空间を表現する手法                          |
|          | 重なり        | 重なり隠されたほうが遠くに見える                              |
|          | 陰影         | 影によって立体感を感じる                                  |
|          | 濃淡の勾配      | 濃淡が系統的に変化することによって立体感を感じる                      |
|          | 色合い        | 色合いの鮮やかなものが手前に感じる                             |
|          | 濃淡         | 濃度の濃いものが薄いものより近くに見える                          |

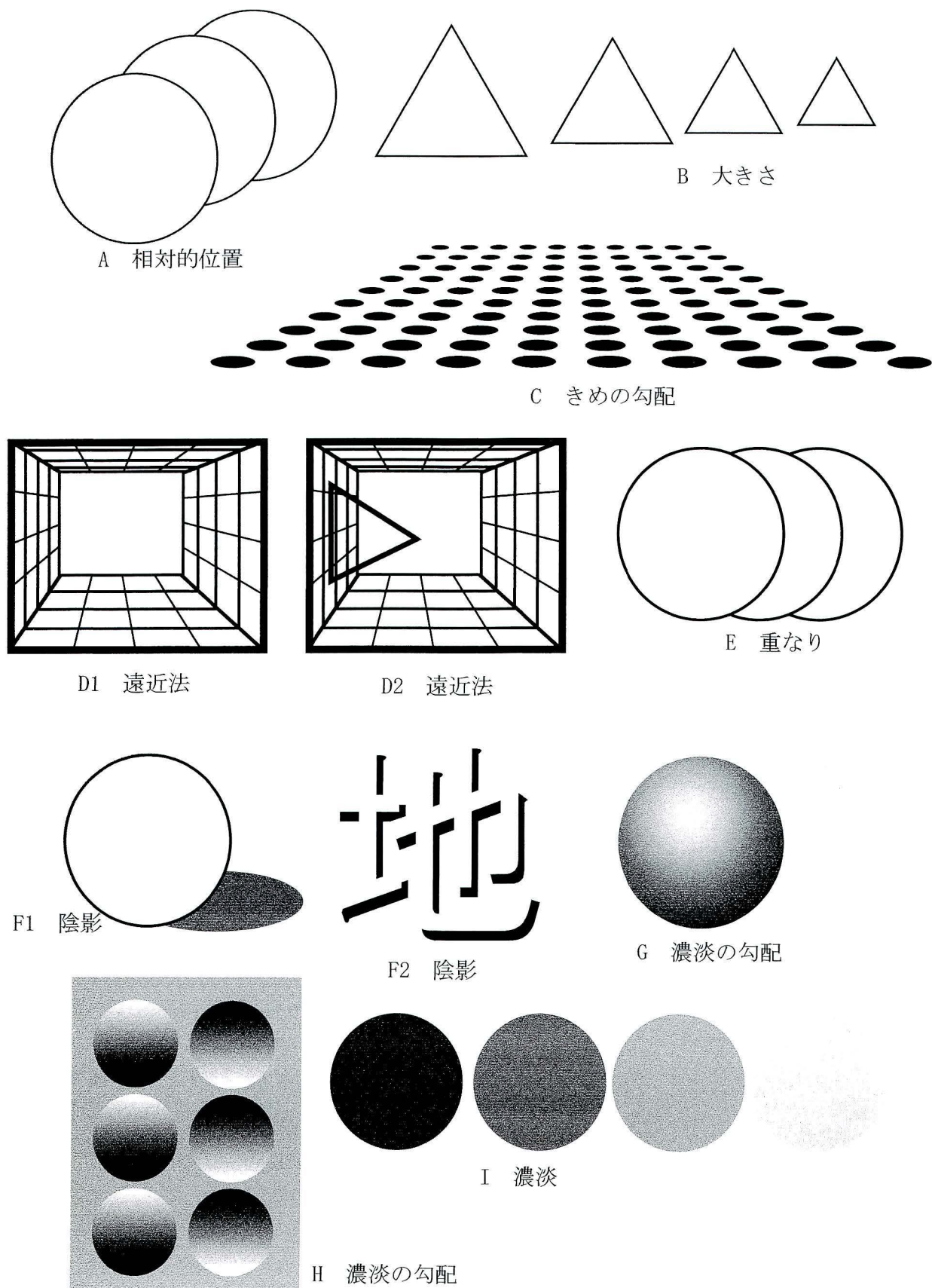


図 10. 奥行き知覚の心理的要因. 奥行き知覚を生じる心理的要因の例として, AとBは相対位置, Cはきめ勾配, Dは遠近法, Eは重なり, Fは陰影, GとHは濃度の勾配, Iは濃淡の例を示した.

ばれる。閉合の要因とは、囲まれている領域は図になりやすいということである。面積の要因とは、小さな領域は図になりやすいというものである。Machの本（図9

のA）やNecherの立方体（図9のB）、シュレーダーの階段は、遠近がどちらでも解釈され、立体感が変化するものである。



経験的要因とは、事前の経験によって見えるものと、別の経験によって見えるものが違うというものである。ボーリングの若い婦人と老婦人の図は有名である。

#### iv 奥行き知覚

網膜の像と知覚との間には1次関数的な1対1の対応関係ではなく、複雑な関係がある。奥行き知覚 (depth perception) とは、網膜が2次元の像を映しているのに、空間的な広がりを知覚する。つまり、奥行きとは、知覚の上でつくられていることになる。

奥行きの規定要因は、大きく分けると、生理的要因および心理的要因がある。

生理的要因は、肉体的要因とも呼ばれ、水晶体の調節、輻輳、両眼視差、運動視差がある (表4)。

網膜上の像の焦点を合わせるために水晶体のふくらみを変える。水晶体の調節とは、この調節作用を感知して奥行きの知覚とするものである。この要因は、2メートルぐらいまで有効である。

対象物を見るとき、両眼の視線はその対象物で交わる。対象物が近いほど視線がはさむ角 (輻輳角) は大きくなる。輻輳角をつくるため、動眼筋の緊張の程度が、奥行き知覚の手がかりとなる。輻輳による奥行きは、20メートルぐらいまでである。

両眼視差は、右目と左目の像の違いから奥行きを知覚するものである。この要因を利用して立体視をさせる道具が実験鏡である。

乗り物に乗って景色を見ると流れているように見える。この時、近くの景色は後方に流れ、離れるにつれて遅くなり、ある点から列車と一緒に動いているように見える。このような要因は、運動視差または流れ勾配ともいわれる。

心理的要因として、相対位置、大きさ、きめの勾配、遠近法、重なり、陰影、濃淡の勾配、色合い、濃淡などがある (図10)。

相対位置は、視点が上からだと下にしたものは遠くに、視点が下からだと上にしたものが遠くに見える (図10のA)。小さいものは遠く、大きいものは近くに見える (図10のB)。

きめの勾配 (図10のC) とは、きめの細かいテクスチャーの方が遠くに見えることである。

遠近法とは、2次元で3次元的空间を表現する手法である (図10のD1)。そのためには、平面に重なり大きさ、きめ勾配の要因を利用し、平行線が収束するという効果が加えられている。これは透視法と呼ばれ、視点と消点、視錯面 ( $45^{\circ} \sim 60^{\circ}$  程度) などを変えることによって作画することができる。1点、2点、3点透視あるいは線状透視図法がある (Ching, 1985; 1987)。遠近法の背景に置かれた図形は、遠近法の効果によって歪んで見える (図10のD2)。

重なり (図10のE) とは、重なり隠されたほうが遠くに見えることである。

陰影 (図10のF1) とは、影によって立体感を感じることである。図と地の区分にも関係する例だが、図10のF2は、「地」文字は実際には書かれていないが、陰影による図と地の分化が起こり、文字が見え、奥行き知覚

が生じてくる。

濃淡の勾配 (図10のG) とは、濃淡が系統的に変化することによって立体感を感じることである。図10のHは、天地を逆にすれば、凹凸が逆になる。

色合いとは、色合いの鮮やかなものが手前に感じることである。

濃淡 (図10のI) とは、濃度の濃いものが薄いものより近くに見えることである。

#### v 聴覚における錯覚

音の錯覚として、オーボエの音が常に実際に鳴っている位置より遠くに聴こえることや、高い音は低い音より約7センチ高い位置で鳴っているように聴こえることが、古くから知られている (鈴木, 1997)。近年では、音の錯覚として、無限音階の存在が明らかになった (Shepard, 1964)。無限音階とは、無限に上昇する感覚を生じさせる音である。

西村 (<http://adlib.rsch.tuis.ac.jp/~akira/demo/circular.html>) は、無限音階の作成法を紹介している。

Shepard (1964) は、オクターブ間隔の成分音で構成される調波複合音のピッチを120セント (cent) ごとに上昇させ、無限音階を作成した。Shepardはこのようなピッチ感覚をもたらす要因として、それぞれの部分音の周波数が近づく方法に複合音のピッチの動きを感じる、という近接の要因が働いているとした。また、このような音は、音の音色的な高さ (tone height) を一定に保ち、音の調性的な高さ (tone chroma) の円環に沿ってピッチがオクターブで循環することをあらわしている、と指摘している。

一方、Burns (1981) は、成分音の間隔がオクターブでない非調波複合音を用いても、Shepard Tone と同様な知覚内容をつくり出すことができることを示した。つまり、オクターブの等価性や tone chroma の円環は、このような音の知覚の説明には不必要であり、分析的な聴取態度によって、聞き取る成分音のピッチにおける近接の要因が、重要であることを示唆している。また、このような音に慣れることにより、上昇し続けるピッチが途中で急に下がるように聞こえやすくなり、その手がかりには個人差が大きいことも示している。

西村ほか (1994) は、成分音のピッチに近接の要因が働かないような調波複合音でも、ピッチが上昇し続けるように聞こえる音を作成している。このことは、物理的には存在しない複合音の基本音の高さにも、近接の要因が働くことを示している。

#### vi 触覚における錯覚

触覚における錯覚として有名なものとして、アリストテレスの錯覚とよばれるものがある。これは、人差し指と中指を交差させ、その間に細い棒をはさむと、1本の棒が2本に感じられる現象である (今井, 1984)。

2点同時に皮膚を刺激するとき、2点が近いとき2点の中間に刺激が加えられたと感じる (岩村, 1982)。この時に刺激は1点のときより強く生じる。漏斗現象 (funneling) と呼ばれるものである。2点にちょうど識別できる距離の感覚は1点のみの刺激より小さく感じる。これは隠蔽効果 (masking) という。



## vii 運動感覚における錯覚

運動感覚にも錯覚は起こる。大きさや重さの錯覚はよく知られており、シャルパンティエの錯覚 (Charpentier's illusion) と呼ばれている。同じ重さのものでも、体積の大きいものは重く感じられる現象である (今井, 1984)。

弛緩下筋に 100 Hz の振動刺激を与えると、動いたような錯覚が起こる。関節をおおう皮膚も関節の動きを感じている。したがって、運動感覚は、関節や筋、皮膚の受容器が複合して発生し、脳の記憶も重要な働きをしているらしい。

運動しているものに対して、あるいは動きに対しても錯覚が生じる。実際運動 (real movement)、仮現運動 (apparent movement)、ベータ運動 (beta movement)、誘導運動 (induced movement)、自動運動 (autokinetic movement)、運動残効 (motion aftereffect)、車輪の錯視 (wagonwheel illusion) などがある。

実際に動いている物体は、周囲の状況によって著しく変化する (八重嶋ほか, 1986)。周囲の枠組みが大きくなるほど物体の速度が遅く感じる。このような現象を、実際運動という。枠組みを 10 倍大きくすると、もともと同じ速度を感じるには 6.8 倍にしなければならない。

仮現運動とは、実際には動いていないものが動いているように見える錯覚である。踏み切りの点滅信号機のように離れた 2 つの光点が適切な間隔で点滅すると、1 つの光点が往復しているように見える現象である。アニメーションや映画、テレビ画面のように、静止画がすこしづつ動くことによって連続したみかけの運動に見えるものを、ベータ運動あるいはシネマ性運動と呼ばれ、仮現運動の典型的なものである (八重嶋ほか, 1986)。刺激の強度、空間感覚、提示時間、時間間隔などによってかなり規則的に変化するがわかっている。

誘導運動は、実際には動いていないものが動いて見える現象である。流れる雲が月にかかると、月の方が動いて見える (今井, 1986)。隣の電車が動いているのに、自分の乗った電車が動き出したと思うことがある。また、橋の上に立って流れを見つめていると、自分が上流に向かっていくように感じることもある。背景を動かして、前の人が動いているように見せる動画もこのような誘導運動の効果を利用している (八重嶋ほか, 1986)。このように、枠組みとなるものが動くと、実際には動いてない対象物が動いているように見えることがある。

自動運動は、枠組みがない場合、対象物がふらふらと動いて見える現象である。例えば、暗闇で 1 個の小さな光を見つめていると、その光点がふらふらと動いているように見える (八重嶋ほか, 1986)。眼球運動との関連が予想されるが、複雑な関係だと考えられている (田中, 1988)。

運動残効とは、運動するものをじっと見ていたあと、静止した部分を見ても、動いているように見える。運動残効は、運動残像 (movement afterimage) ととも呼ばれ、滝の錯覚 (fall illusion) やうずまき残効 (spiral aftereffect) などがある。滝の錯覚とは、滝をじっと見た後、別の静止面が滝と反対方向に動くように見える現

象である。うずまき残効とは、回転するらせん模様を見つめたあとで、静止した円盤が膨張したり収縮したりする現象である。

車輪の錯視は、馬車の車輪、現在では車のタイヤの方が一般的だが、進行方向とは逆に回転しているように見える現象である。

## viii 時間感覚における錯覚

ある一定時間でも、その時間内に注目すべき現象が少ないと短く、多いと長く感じる。このような効果にカップパ効果 ( $\kappa$ -effect) とタウ効果 ( $\tau$ -effect) と呼ばれるものがある (相場, 1997)。

カップパ効果 ( $\kappa$ -effect) とは、空間が主観的時間に影響を与えるものである。同じ時間間隔で点滅する 3 つの明かりが、違った間隔で置かれると、空間距離の長いほうが長く感じる現象である。空間の広がりと同じ方向に時間も延びていくことである。

タウ効果 ( $\tau$ -effect) は、カップパ効果の反対で、時間が主観的空間への影響である。等間隔におかれた 3 つの明かりが、それぞれ違った時間間隔で点滅するとき、点滅の間隔が短いほうが空間的に近く感じ、時間が長いほうが離れて感じる。

## III 認知心理学とはどんな学問か

認知心理学がどんな学問か知るために、以下では心理学の起源とその発展、認知心理学にいたる流れをまとめる。さらに、認知心理学のカバーする分野を整理する。

## 1 心理学の歴史

心理学の起源は、ギリシア時代の自然哲学までさかのぼる。アリストテレスの「靈魂論」は最古の体系立った心理学書であるとされている。最初に今日のような心理学という用語を用いたのは、18 世紀のヴォルフ (C. Wolff) である (今井, 1986)。

19 世紀の欧米では、実証主義の気運が起こり、科学が活性化した。そのなかに、生物の身体的構造だけでなく、動物の行動をも実証科学的に研究をおこなう風潮がおこった。G. J. Romanes や C. R. Darwin などがその先駆者となる (鹿取・杉本, 1996)。

現代心理学の源流として 4 つの流れがあり、19 世紀後半にヴント (W. M. Wundt) が科学的心理学として体系立て、今日にいたっている (今井, 1986)。

4 つの流れの 1 つ目は、イギリス経験論である。イギリスの経験論は、ロック (J. Locke) から、ヒューム (D. Hume)、ミル (J. S. Mill) を経て、スペンサー (H. Spencer) までの 200 年間にわたって連想心理学 (association psychology) として発展してきた。連想心理学とは、観念と感覚の連想による組み合わせで、複雑で高等な精神現象である。かなり機械論的な連合主義の一種である。元来は内観法だけを武器としたが、後には実験法と結び付く。認識の起源とその成立過程を解明しようとするものである。この流れがヴントによる実験心理学の体系につながる。

現代では連想心理学は、連想概念そのものの見直しが行われ、われわれが比較的少数の単語しか知らなくて



も、かなり複雑な推理が可能な状況を模した「連想機能を持つコンピューター」の開発まで企てられている。

2つ目の潮流は、神経生理学に由来するものである。実験生理学の父ミュラー (J. Muller) が1833から7年をかけて書き上げた著書「人体生理学提要」は、感覚と生理学を結びつける重要な役割を果たした。19世紀後半になると、神経や脳の研究あるいは観測手法の発展により、感覚の生理学は大きく進歩した。

第3の潮流は、フェヒナー (G. T. Fechner) による1860年出版の「精神物理学」で集成された研究である。その内容は感覚の測定で、実験心理学の確立に重要なものとなった。フェヒナーによって、精神物理学が創設された (鹿取・杉本, 1996)。

第4の潮流として、個人差の研究がある。天文学者のベッセル (F. W. Bessel) が先鞭をつけた。反応速度には個人差があり、精神能力の差が計測できるのではないかと考えられた。個人差の測定とその統計的分析法は、やがて能力の相関や、因子分析法、そして計量心理学あるいは数理心理学となり、現在のコンピューター科学や数理学へとつながる。

このような潮流は、ニュートン物理学の力学的自然観に強く影響を受けている。還元主義的科学の風潮の中に心理学もあったわけである。

19世紀後半に、ヴントは「生理学的心理学綱要」を体系化し、心理学実験室を開設し、心理学の専門誌を刊行した。さらに、生理学的心理学の範囲を超える人の高次精神過程について、1900年から20年を要して出版された「民族心理学」で、心理学の独立と体系化を達成した。

ヴント心理学は、経験科学として、従来の形而上学的な観念を排除した。自然科学が経験内容を経験主体から切り離して考える間接的経験の学問とすれば、心理学は経験の全内容を主体との直接関わりとして考える直接経験の学問と意義付けた。そして「意識—内観」と「要素—連合」の理論を確立した。

ヴント心理学は、ブレンターノ (F. Brentano) の作用心理学、エビングハウス (E. Ebbinghaus) やミュラー (G. E. Muller) の実験心理学、ヴェルツブルグ大学のキュルペ (O. Kulpe) を中心とするヴェルツブルグ学派などに多大な影響を与えた (鹿取・杉本, 1996)。

その後、ヴント心理学における要素—連合主義の批判の中心となったのが、ベルリン学派のゲシュタルト心理学である。ウェルトハイマー (M. Wertheimer) の仮現運動がその始まりである (1912)。

ゲシュタルト心理学 (Gestalt psychology) とは、精神現象を、概念と感覚という要素の結合ではなく、全体は部分の総和以上のものとなるとき、その全体を直接記述することから出発すべきだと主張するものである。ゲシュタルト学派は、視覚に知識や認知的推論とは独立におこる現象があり、知覚固有の現象の法則を見出そうとした (鹿取・杉本, 1996)。ちなみにゲシュタルトとは、ドイツ語のGestaltで、形態やまとまりある構造を持ったものという意味である。

その成果が最も顕著だったのは、知覚過程の現象学的記述だが、この派のケーラー (W. Kohler) やコフカ (K.

Koffka) たちは、記憶、思考などにもこの原理を適用し、連合派の枠組みからは達成できなかったいろいろな事実を解明した。また、どの学派も十分に扱えなかった意志行動については、集団力学を唱えたレビン (K. Lewin) が実験的に貢献をした。このゲシュタルトも条件発生的究明が、実験現象学へとつながる。

ヴント心理学の意識—内観主義の批判を中心となったのは、エンジェル (J. R. Angell) のシカゴ学派である。彼の考えは、生活体と適応活動における心の機能や効能を重視する機能主義であった。機能主義から意識面を抜き去れば「行動主義」となり、認識論へいけばプラグマティズムとなる。

行動主義とは、ワトソン (J. B. Watson) によって、心理学は純粋に客観的な自然科学の一部となるべきだと考えられた。刺激—反応という単位で複雑な行動を分析されなければならない。彼の理論は、「S-R心理」とも呼ばれる。

1930年頃には、新行動主義あるいは操作的行動主義とも呼ばれる「S-O-R心理学」へと移行した。S-O-R心理学とは、生活体の内的諸過程を媒介変数として、独立・従属変数から操作的に概念化することである。スチーブンス (S. S. Stevens) は、「心理学と科学の科学で物理学で生じた操作主義を心理学へと持ち込んだものである。

現在、新行動主義の流れは、学際的な行動科学へととなり、行動療法などの利用がなされている。

20世紀初頭のフランスでは、フロイト (S. Freud) を中心に無意識の重視という「意識なき心理学」が提唱され、精神分析学の基礎となった。結果として、ヴントの意識—内観主義を批判することとなった。フロイトの説は、当初臨床治療の技法を用いたが、しだいに臨床を離れて、一般的なパーソナリティ理論となり、現代の人間観を代表する学説の一つにまでなった。

フロイト派はその後、アドラー (A. Adler) の個人心理学やユング (C. G. Jung) の分析心理学、フロム (E. Fromm) の新フロイト派、マズロー (A. H. Maslow) の人間主義心理学へと発展していった (今井, 1986)。

1960年代になると、新行動主義やゲシュタルト学派の流れである実験現象学は認知心理学へとなる。その背景には、コンピューターの急速な進歩と情報理論の発達があった (今井, 1986)。

## 2 認知心理学

認知心理学 (cognition psychology) は、認知に関する心理学と認知論の立場に立つ心理学の2通りの意味を持つ (大山, 1990)。前者には知覚心理学や学習心理学などと並ぶような心理学となり、後者はゲシュタルト心理学や行動心理学と並ぶものである。本稿では、前者の意味で用いている。

認知心理学とは、内部過程を客観的方法で解明することが特徴づけられる。各種実験的方法が開発され、現象の規定因の解明を目指している。近年では仮説的理論モデルを示し、その有効性を実験的に検証しようという方向性で研究が進められている。これは、コンピューターの発達により進んでいる。このような仮説



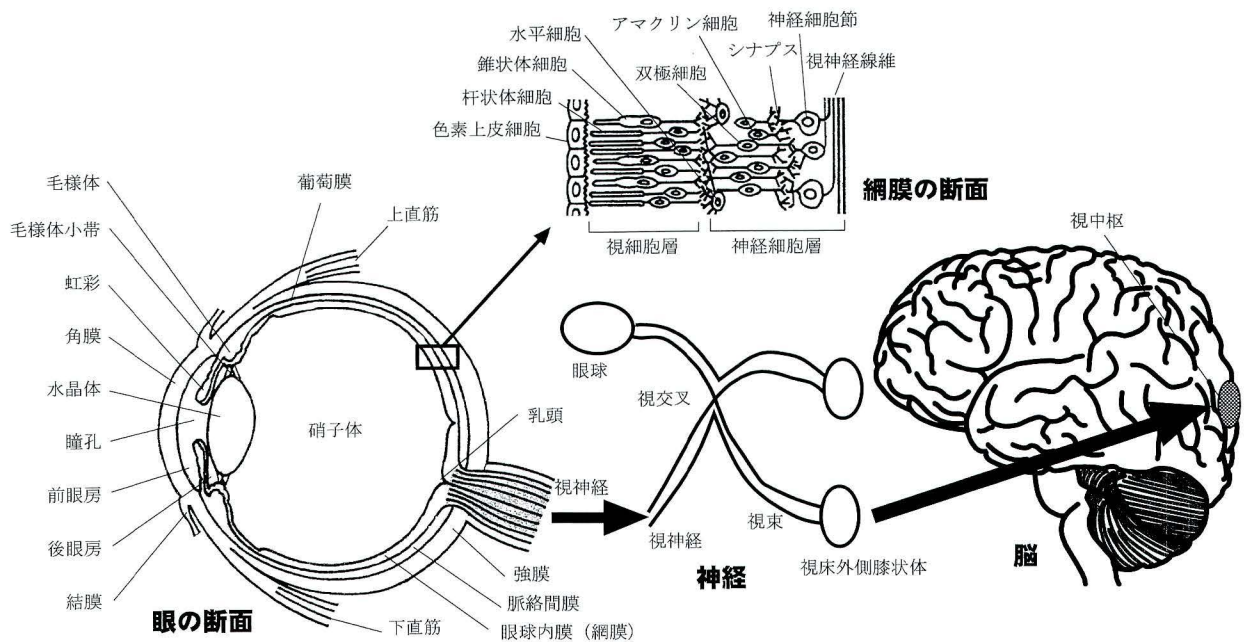


図 11. 視覚の情報処理システム。図は、Zilli (1981) を基に作成した。

→実証というプロセスを加えることによって、実験的方法だけでは難しい理論モデルを補うことが可能になった（大山，1990）。

ただし、このような複雑なプロセスを経た研究は、どこまでが実証的事実で、どこからが仮説的モデルかを区別して評価していく必要がある。

感覚および知覚についての知識を実用的応用する技術および科学を知覚的工学（perceptual engineering）あるいは知覚工学、応用知覚心理学と呼ぶ（秋田，1989）。認知心理学の応用分野として、教育心理学、産業心理学、臨床心理学、交通心理学、環境心理学、老人心理学などがある（大山，1990）。

特に、教育心理学は、著者の着目するところである。しかし、教育心理学の目指すところは、知識の獲得と問題解決のメカニズムや、教科や教室での適用過程に重点が置かれている（Gagne, 1985）。

実際に知覚工学の応用として、色彩感覚は、色彩環境として都市計画や建築室内のインテリアへ応用されている（柳瀬，1989）。また、明るさ感覚は、照明工学として、灯や照明の仕方、背景や雰囲気づくり方などに利用されている（河合，1989）。音響工学では、音感を音楽や音響装置、あるいは騒音対策などに利用している（難波，1989）。空間知覚は、都市設計、建築室内設計などの建築の分野に応用されている（乾，1989；中村，1989；近藤，1989；白石，1989）。また、嗅覚はアロマセラピー（aromatherapy）に（外池，1989）、味覚はうま味調味料などの食品開発に（山口，1989）、触覚は織物の風合いの決定に（熨斗，1989）、温感暖房の設計（花岡，1989）などに利用されている。

#### IV 視覚

ものの形や色、外界の明暗など、光による情報を感じる感覚を視覚という。ここでは、視覚の概要をまとめる。

##### 1 見えるということ：生理学

視覚には、光が必要である。ここでいう光とは、電磁波を意味する。視覚の主要器官は眼である（図 11）。瞳孔から入った光は、水晶体を通り、網膜に達する。光が網膜に到達すると、視細胞の光化学的変化が起こり、生物物理化学的な一連の過程を経て、信号として中枢に送られる。脳はこの信号を解釈して、知覚し、認知する（秋田，1982）。

眼球は、重量約 7.43 g、前後径約 24.2 mm のほぼ球形をしている。頭蓋骨の骨性眼窩内にあり、前方は眼瞼、周囲は眼窩脂肪体に包まれている。眼球は、外側から、強膜、脈絡間膜、眼球内膜の 3 層の壁からなる。このうち、眼球内膜が網膜となっている。眼球内部は、硝子体（晶子体）と呼ばれるゼラチン様物質で満たされている。

脈絡間膜は、眼球の前方では、肥厚して毛様体となり、その内側では、虹彩となっている。虹彩の中央部には円孔があり、瞳孔となる。瞳孔の後方には水晶体があり、毛様体小帯によって支えられている。

光は、虹彩によって光量が調整され、瞳孔を通して入ってくる。水晶体によって屈折され、網膜に結像する。

視覚の光受容器は、網膜の中の視細胞と呼ばれ、約 1 億 2000 万個の桿体と約 6000 万個の錐体の 2 種類がある。錐体は中心窩に集中し、逆に桿体は周辺部に多い。視細胞には感光物質が含まれている。感光物質は、光を吸収することにより、その物質の構造が変化し、視細胞の  $\text{Na}^+$  透過性が減少し、過分極（受容体電位）が生じる（小林，1992a）。

錐体は、明所で機能し、空間分解能と時間分解能が高く、色識別機能を持っている。錐体には、光の吸収度の異なる 3 種類の感光物質があり、それぞれ別の錐体に含まれている。サイアレノープは 440～450 nm の青の光を吸収する色素で、クロロレープは 525～535 nm の緑の光を吸収する色素、エリスロープは 555～565 nm の



赤の光を吸収する色素である。この中で抽出されているのは、562 nmの最大吸収波長をもつ、ヨドプシンである。ヨドプシンは、レオナールとオプシンの結合物である。錐体が3種の光を区別することから、色覚に関与していると考えられている。

桿体は、暗所でも機能し、感度が高く、分光速度の最大値は505nmの波長にある。桿体にある感光物質は、ロドプシン（視紅）と呼ばれるものである。ロドプシンは、レチナールとオプシンとの結合物で、ロドプシンに光があたると、2つの結合が切断される。

視細胞で受けた情報は、視神経に伝達されて、視交叉を経て、視床外側膝状体に達する。外側膝状体のニューロンの軸索を通り、後頭葉内側面の線条野に達する。線条野からさらに周囲の視覚連合野（視中枢）に伝わって高次の処理を受ける（鹿取・杉本, 1996）。

## 2 光とは

光とは、電磁波の一種で、一般に人が知覚できるものを可視光と呼ぶ。視覚を刺激する範囲の電磁波の波長は、380～780 nmである。

光の物理的な基本的特性として、波長(wavelength)、強度(intensity)、純度(purity)の3つがある。波長( $\lambda$ )とは、ある瞬間における媒質の各点の変異を連ねた曲線(波形)の山と山や谷と谷の距離をいう。波長は、光速( $c$ ;  $3.00 \times 10^8$  m/s)を振動数( $f$ ; Hz)で割って求められる。波形の山もしくは谷の高さを、強度あるいは振幅という。純度とは、主波長に混入している他の波長の比率で表される。

心理学では、光の性質を記述するにあたり、いくつかの物理量が用いられている。電磁波の単位時間当りの放射エネルギー(W)を放射束という物理量で表す。光の単位時間当りの光量(lm, ルーメン)を光束という心理物理量で表す。光に対する視覚の感度は波長によって異なるという特性があり、視感度曲線 $K(\lambda)$ で表す。人の視覚の最大感度波長555 nmで $K$ を規格化したものを比視感度曲線 $V(\lambda)$ と呼び、

$$K(\lambda) = K_m \cdot V(\lambda)$$

で表される。ここで $K_m$ は、683 lm/Wという定数である。電磁波から光束への変換は、

$$\text{光束 (lm)} = \text{放射束 (W)} \times K(\lambda)$$

という関係式でおこなえる。

## 3 色覚とは

光の物理的特性だけを人は感じているのではない。色は人の付帯的体験である（大山, 1994）。もちろん、色と光には密接な関係があり、色は光の特性に依存しているが、それだけではない。

色の感覚は、色相(hue)と、飽和度(saturation)、明るさ(brightness)の3つの属性で記述できる（松田, 1995）。このような3つを色の基本的属性と呼ぶ。

色相は、色名によって定義される光の性質で、色調とも呼ばれる。色相は、色の見え方の質的な違いを表しており、色の心理学的属性の代表的なものである。色相の違いは、網膜に達する光の主波長(dominant

wavelength)によって決まる。

主波長の純度は落ちると、視覚的には色相の鮮やかさが低下する。このように心理的次元で変化する色の属性を飽和度という。飽和度は、彩度(chromatic value)とも呼ばれる。彩度は、物質の色に対して用いられることが多く、無彩色に比べてその色相をどの程度含んでいるかという、色の純粋さの程度をあらわす用語である。

光の輝度が変わると、色相は変わらないまま明るさが変化する。明るさとは、光の知覚された強さである。色の強度に相当するもので、明るいから暗いにわたる変化である。物質の色の場合は、物質の反射率(reflectance)が、色相の明るさを決め、明度(lightness)とも呼ばれる。

人が受光できるもっとも感度のよいところでは、2 nmほど離れた2つの光を区別できる。したがって約150種の色相が区別できるうえに、150の色相における明るさと飽和度の差を区別できるので、人は膨大な色の区別が可能である。

波長の異なった2種類以上の色が同時に見えると、別の色と認識される。異なったスペクトル光を加えてつくった混色であることから、加法混色と呼ばれる。一般に3つの十分隔たった波長によって、どのような色の混色をつくることができる。

絵の具や色素の混合によっても異なった色をつくることができる。色素とは吸収特性の違いによるものである。混色は2重の吸収を受けた後の色で、減法混色と呼ばれる。

混色によって白色になる2つの色を、互いに補色関係にあるという。補色に近い色を接して置くと、互いに飽和度を強め、鮮やかさを増す。このような関係を同時対比という。ある色を見た後、補色関係にある色を見ても対比現象が起き、継時対比と呼ばれる。

強い光を受けた後、光がなくなっても像が網膜に残ることがある。このような現象を残像という。残像には、同じ色の像が短時間出現する陽性残像と、その後補色の像が出現する陰性残像がある。

色覚は、分光感度の異なる2種類以上の錐体の存在によって、始めて認知される。通常、人には3種類の錐体が備わっていると考えられている。しかし、18世紀末のダルトン(J. Dalton)以来、3色型、2色型、1色型の個人差があることが知られており、色盲と呼ばれる。

## 4 明暗

明るいところから暗いところに行くと、しばらく見えなくなるが、そのうち見えるようになる。このような現象を暗順応(dark adaptation)という。暗順応は、約8分間に急速な順応(第1相)と、その後30分～1時間要するゆっくりとした順応(第2相)に分かれる。この暗順応曲線の屈曲点をKohlrausch曲点という。

急速な暗順応は錐体におけるヨドプシン合成により、ゆっくりとした暗順応は桿体におけるロドプシンの合成によるものである。桿体にロドプシンが多く合成されると、網膜の光感度は明所での1万倍良くなる。



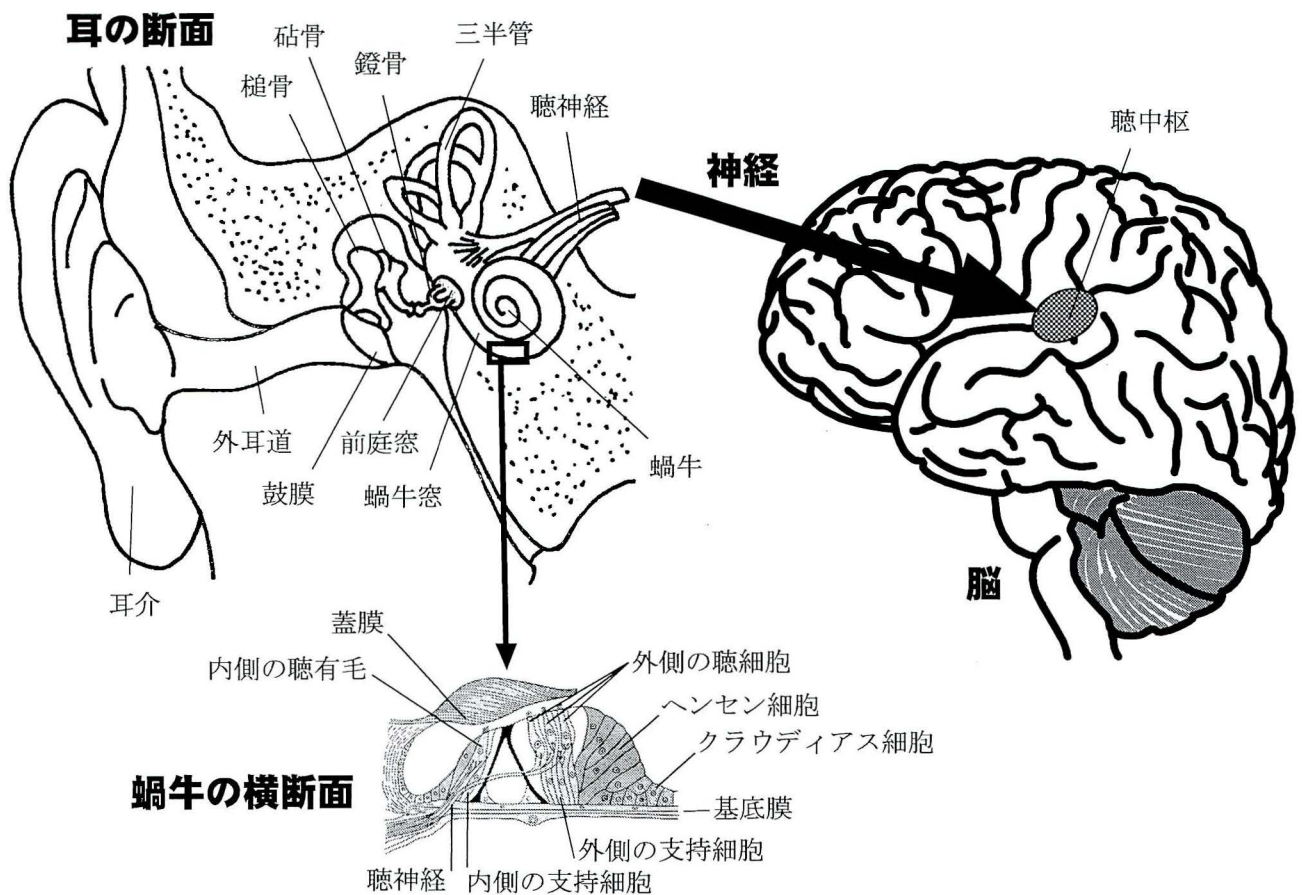


図 12. 聴覚の情報処理システム、図は、Zilli (1981) と小林 (1992) を基に作成した。

急激に明るいところに行くと、まぶしく感じるが、しだいに普通に見えるようになってくる。これを明順応 (light adaptation) と呼ぶ。明順応では、ロドプシンやヨドプシンの分解によるもので、両物質の量が減少すると網膜の光感受性が低下する。明順応は、30 秒～1 分で完了する。

## 5 芸術家達の挑戦

心理学発展より以前から、芸術家や建築家は、人の視知覚と錯覚を応用していた。

B.C.2～3 世紀のギリシア建築、例えば、パルテノン宮殿は柱の線が錯覚で少し曲がって見えるので、わざと反対側に曲げて、まっすぐに見えるようにつくられている。

15～17 世紀のルネサンス後期には、ミケランジェロやボッロミーニなどのローマの画家や建築家は、奥行きや大きさを大きくする遠近法の錯覚を利用していた。

17 世紀のオランダの画家は、「遠近法観」や「覗きからくり」と呼ばれる箱の内壁に絵を描いた (Shepard, 1990)。片目で覗き穴を通して見える3次元的光景が、箱の大きさよりはるかに大きく見えるものである。

ルネサンス以降、画家は線遠近法、大気遠近法、あるいはわざと逸脱するなどの手法を発展させた。

Shepard (1990) は、だまし絵の効果的手法として、線遠近法、大気遠近法、隠蔽、地平線に対する近さがあるとした。クボヴィー (Kubovy, 1986) は、遠近法による作品が立体的に見えるためには、次のような、注意点

が必要であるとした。

絵の面自体のきめがわからない程度に離れてみると、両眼視差による違いから無視できるほど離れること、あるいは片目で見ること、運動視差が生じないように静止してみること、観察位置が遠近法の距離と向きが同じであること、絵の縁が見えないこと、絵の中の明暗は照明と合致することである。

これは、まさに博物館におけるジオラマの作成における注意点とも、読み替えることができる。

印象派、点描派、キュービズム、シュールレアリズム、抽象表現主義、オプアートなども人の視覚への実験的挑戦とみなせる。特にオプアート (Op Art) と呼ばれるものは、芸術と科学の融合したものである。オプアートは、1960年代初期に、バサリー (Victor Vasarely) によって始められたオプティカル・アート (Optical Art) を省略したものである。心理学的効果を非常によく利用している (Wade, 1982)。

絵画における代表的な実験者として、レオナルド・ダ・ヴィンチ、ウィリアム・ホガース、パブロ・ピカソ、サルヴァドール・ダリ、パヴェル・チェリチェフ、ジョセフ・アルパース、ヴィクトール・ヴァザルリ、ブリジット・ライリーなどが挙げられる。なかでも、オランダのモーリッツ・エッシャーとベルギーのシュールレアリズム画家ルネ・マグリットは、視覚トリックを意図して利用した作品を数多く発表した。

最近では、ホログラフやコンピューターを使ったバー



チャルリアリティー (Virtual reality、仮想現実)、3D 映像なども利用されてきている。

## V 聴覚

空気中の振動を感じる知覚を聴覚という。ここでは、聴覚の概略をまとめる。

### 1 聞こえるということ：生理学

聴覚には、その機能から、音刺激を受容器まで伝える伝音系と、受容器と神経系および中枢を合わせた感音系に大別することができる。

伝音系は、外耳、中耳、そして内耳からなっている (図 12)。外耳は耳介、外耳道および鼓膜から、中耳は鼓室と耳小骨から、内耳は前庭三半規管と蝸牛からなっている。

外耳の耳介は、集音機能を持つ。外耳道は約 35 mm の長さがあり、音圧を減衰させることなく鼓膜まで伝える。鼓膜は、外耳と中耳の境界にある薄い膜である。鼓膜は中央部分で内側に凹の形態をしており、音によって鼓膜が振動する仕組みになっている。中耳では、鼓膜の振動を耳小骨と総称される槌骨、砧骨そして鐙骨の 3 つの小さな骨が音を伝達する。ここで音圧は、元の音の約 15 倍に増幅される。

耳小骨の振動は、内耳の前庭の前庭窓から、三半規管と蝸牛に伝わる。三半規管は音知覚ではなく、主として平衡感覚に関与している。蝸牛は 2.75 回巻かれた約 3 cm の巻貝状の管である。蝸牛の横断面は、前庭膜と基底膜によって 3 つの階に分けられている。上から前庭階、蝸牛階、鼓室階になる。前庭階と鼓室階は外リンパで、蝸牛階は内リンパで満たされている。前庭窓の振動は、外リンパを振動させ、蝸牛頂まで至り、蝸牛孔をとおり、鼓室階に伝わる。そして、蝸牛窓から基底膜にある有毛細胞 (聴細胞) に伝わり、聴神経 (蝸牛神経) への刺激となり、音が受容される。

聴細胞からの音の伝達は、感音系となる。有毛の聴細胞は、内側有毛細胞 (約 3,500 個) と外側有毛細胞 (約 12,000 個) からなり、頂部を覆うように蓋膜がある。このような一連の器官を、コルチ器という。

聴有毛には、長短 2 種の線維がある。短い線維は高い周波数の音に、長い線維は低い音に反応する (八重嶋ほか, 1986)。基底膜上の聴細胞によって信号に変換され、聴神経 (蝸牛神経) を通して聴覚中枢に送られる。

外リンパの振動によって、基底膜が振動して、コルチ器も振動する。コルチ器の振動は、聴有毛と蓋膜との摩擦によって、聴有毛の方向が変化する。その後、聴有毛の方向によって受容器電位が生じる。

受容器電位は、シナプスを通じて聴神経に伝わり、蝸牛神経核に至る。その後、第二次ニューロンから上オリブ核、第三次、第四次のニューロンを経て、大脳皮質側頭葉聴野に伝わる。

このような一連の音の伝達経路以外に、2,000 Hz 以上の高周波の音は、その一部が頭蓋骨から直接内耳に伝わる。あるいは、耳小骨を振動させて、内耳に伝わる。このように音の伝達を骨伝導と呼ぶ (小林, 1992b)。

## 2 音とは

音とは空気の振動で、振動とは空気の粗密による密度変化である。その変化は、 $2 \times 10^{-7} \sim 10^{-8} \text{Pa}$  程度で、毎秒 20 ~ 20,000 回 (Hz) 変動している。

JIS-Z 8106 の音響用語 (一般) では、音または音響とは、「(1) 弾性波で、正常な聴力を持つ人に、聴覚的感觉を起こす周波数範囲のもの、(2) 上の弾性波によって起こされる聴覚的感觉」と定義されている。(1) を音刺激、(2) を音感覚と呼ぶ。

音刺激と音感覚に対応している音の属性は、高さ (pitch) と大きさ (loudness)、音色 (timbre) である (八木, 1997)。強さ (amplitude) と回数 (time) だけが、あらゆる音の基本要素であるという考えもある (鈴木, 1997)。ここでは、音を高さ・大きさ・音色の 3 つ要素で考える。

音に関するこの知覚は、大きく分けて二つの現象として起こる (鈴木, 1997)。一つは現実の音知覚で、実際に聴こえる音に対する聴感覚の能力である。もう一つは内的音知覚と呼ばれるイメージとしての音の知覚、認知である。音知覚あるいは音楽的知覚には、音高知覚、音程知覚、音色知覚、音長知覚、音量知覚、協和知覚、音数知覚、空間知覚、音構造知覚などが知られているが、それらは個々の能力ではなくゲシュタルトとしての音に対するその時その時に有機的かつ総合的に生ずる能力である (鈴木, 1997)。

聴覚の精神物理学的研究は定常音が用いられてきた。定常音とは、刺激を与えている時、時間的変化を伴わない音である。定常音による実験によって、1930 年代にすでに高さ、大きさの弁別閾、等価値、可聴範囲、空間定位、マスキングなどの基礎的研究がなされた (難波, 1982)。

### i 音の高さ

音の高さ (音高) とは、振動の周波数 (振動数、Hz) の違いである。周波数  $f$  と波長  $\lambda$  (m) には、

$$v = f \cdot \lambda$$

という関係がある。ここで、 $v$  は音速 (m/s) である。音楽においては、周波数が 2 倍になるとオクターブ高くなるという。

音の高さは、音楽の世界ではピッチ感覚 (pitch following) と呼ばれる。楽器のチューニングする時などに必要とされる能力である。音高知覚には、感覚的な「絶対音感」と、認知的な「相対音感」がある。絶対音感による音の高さの知覚は単純な聴覚訓練によるものであり、相対音感による音の高さの知覚は音程認知による知的認知の領域である (鈴木, 1997)。

絶対音感をもつ者は、特定の基準音に依存することなく、その高さを言い当て、イメージすることができる。絶対音感にはいくつかの種類がある。例えば、特定の楽器などの音だけに働くもの、特定の音域 (周波数帯) だけに働くもの、特定の音の高さだけに働くものなどである。会話に用いる音声は、それぞれの人によって異なる音色と基準音があり、誰が話しているのかは眼を閉じていてもわかる。したがって、ある種の絶対音感は、誰にでも備わっている能力でもある。



音階による音高認識は、後天的学習により、音楽的経験を通して、少しずつスキーマを形成している。音高認識のメカニズムは、聴覚刺激を自分の持つ音高テーブルと照合して何の音が鳴ったと認知している。

オーケストラの演奏のような場面では厳密なピッチを出している楽器など殆どなく、それぞれが微妙にずれることから起こるコーラス効果の方がむしろ心地よく聞こえる（鈴木, 1997）。

二つの音高の差を音程という。音程は、基準となるピッチに基づいて識別される。明るく力強い印象を与える会話は、単語のピッチ変化の幅が通常の会話より大きく、アクセントも強調される。葬儀の挨拶のような場合は、逆に縮小される傾向がある。その表現が気持ちとして相手に伝わるのが、ニュアンスと呼ばれるものである。悲しみを表すニュアンスの場合、音程の幅は通常より縮められる。このような音程で構成される音階を短音階と呼ぶ。

音階は、自然倍音による協和音程によってつくられている。同時に複数のピッチが発生する場合、協和する音程とそうでないものがある。協和する音程による完全四度や完全五度のような完全協和音程がえられ、その組み合わせだけでできる音階を純正調音階と呼ぶ。この調律方法は、ピタゴラス音階が有名であるが、近年はあらゆる調で演奏できる平均律が用いられている。

純粋倍音による響きには透明感があり美しいが、和音が和音としてではなく音色の一種のように聞こえてしまう欠点がある。最悪の場合、あまりに融け合いすぎて、必要な音がマスキングされて聞こえなくなることも起こる（鈴木, 1997）。

## ii 音の大きさ

音の大きさは、音量あるいは音圧と呼ばれる。Paの単位では、人が聞き取れる大きな音は、小さな音の105倍ほどの値となる。対数を使って音圧を表わすと、人の聞き取れる音は、0～120 (dB) の範囲と表わすことができる。

正常な可聴周波数は16～20,000 Hzである。音量として、100 dBを超えると不快感が生じ、140 dBが最大の可聴域となる。140 dBを超えると、痛覚が生じる。

日常生活における騒音は、一部の例外を除いて、複雑な周波数構造、時間構造を持つ。大きい音は、騒音になりやすい。JIS-Z 8106の音響用語（一般）では、騒音は、「望ましくない音。例えば音声、音楽などの伝達を妨害したり、耳に苦痛、傷害を与えたりする音」としている。

年齢の増加に伴って、高音の可聴限界は低下する。つまり、年をとると「耳が遠くなる」。聴力が、加齢のためではなく、著しく低下していると、難聴という疾患となる。

音の大きさは、基底膜の振幅の違いが、インパルスの頻度の違いとして現される。音の大きさとインパルスの頻度は、1対1という対応をするわけではなく、聴覚中枢で興奮するニューロン数によっても識別されている可能性がある（小林, 1992b）。

音量知覚には、絶対音量知覚と相対音量知覚の二種類がある（鈴木, 1997）。

絶対音量知覚とは、dB等の単位で表される絶対的な音量に関する知覚である。聴覚の感度の個体差にもよるが、ほぼ0 dBから120 dBまでの音量における任意の音量を特定できる能力である。3 dBごとに音のエネルギーは2倍になるので、音楽家でなくても、12 dB刻み程度なら識別できる。

相対音量知覚とは比較対象となる基準音量との差を認知する能力である。この差の識別精度がスペクトルの識別能力と大きく関わっている。相対音量知覚は同時にいくつか聞こえる音同士の比較だけでなく、クレッシェンド等の時系列変化に対しても作用する相対音量知覚は極めて認知的であると言える。

## iii 音色

音色は、JIS-Z 8109 音響用語（音声聴・音楽）において、「聴覚状の音の性質の一つで、二音の大きさおよび高さがともに等しくてもその二音が異なった感じを与える時、その相違に対応する性質」と定義される。さらに「音色は音のスペクトル、波形、音圧およびそれらの時間変化などに関係がある」としている。この定義では、大きさおよび高さ以外は、すべて音色に含まれる。

音色の要因として、基本周波数と振幅エンベロープが重要であり、部分音構造は知覚空間の上では重要でないとされる（難波, 1982）。ヘルムホルツ (Helmholtz) は、音色の相違が音刺激の波形の相違によるものと考え、波形は、音のスペクトル構造（部分音構造）、音の時間的成長と減衰のパターン（時間的エンベロープ）、随伴雑音、位相などによって規定されるとした。またヘルムホルツは、複合音（楽音）の音色は、部分音の数と部分音の相対的強さのみに規定され、位相の差は無関係であるとした。この結論は「位相の法則」と呼ばれる。

音色とは基本波と倍音の含まれかた、つまりスペクトラル (spectral) によって決まる。この基本波に対する倍音の含まれかたは、それぞれの倍音の音量で決まる。

人は、多くの音の特徴を、その鳴り始め（アタック、attack）の瞬間的な音色や音量変化によって区別している。その時間はわずか1000分の1秒とも言われるが、その時間内に識別が完了しない場合もわからない音として処理される（鈴木, 1997）。アタック時における各倍音の音量の時系列変化をアタックのエンベロープという。スペクトラルは、含まれる倍音の音量の違いである。倍音の次数が増えていくと音色は明るくなる（大山, 1990）。音色は、主としてアタックのエンベロープ (envelope) とスペクトラルの2要因で決定される。

本来聴覚は、総合的な倍音の合成結果としての音と、実際に「ド・ミ・ソ」等の複数の音による複合音は区別しない。しかし、スキーマが形成されると、一見同じように聞こえる合成音と複合音も区別されるようになる。このようなパターン認識を伴う聴覚は、認知的である（鈴木, 1997）。

「～のような音」という言い方は音色に対してしばしば用いられるが、この「～のような」という部分こそがその音色を認知するスキーマを代表したものである（鈴木, 1997）。音色に関する知覚は、聴いたことのある音を元にした鋳型照合モードによるパターン認識である。



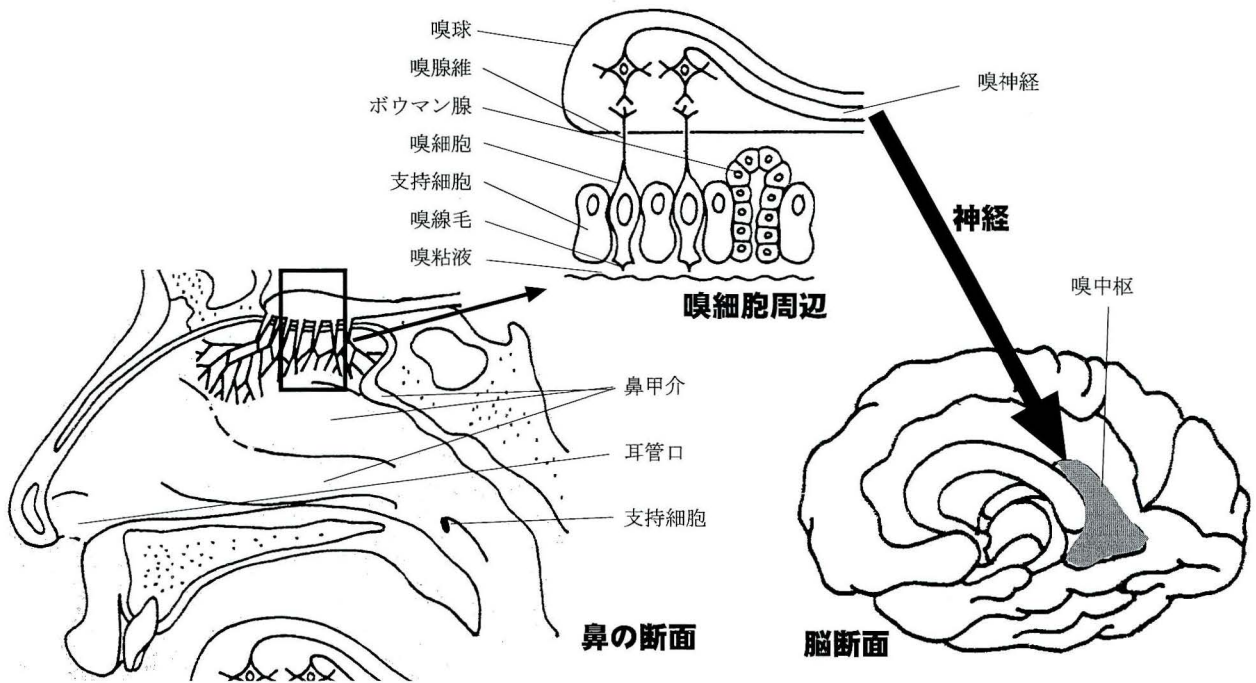


図 13. 嗅覚の情報処理システム。図は、Zilli (1981) を基に作成した。

音色知覚のベースとなるのは音高知覚である。なぜなら、スペクトルの違いが音色の違いであり、そのスペクトルに含まれるあらゆる音の高さを知覚できなければならないからである（鈴木, 1997）。

### 3 音による空間知覚

音が空間のどこで鳴っているかを知覚するには、以下の3つの手がかりが必要である（村田, 1987）。

- ・両耳に達する音波の時間差
- ・両耳に働く音の周波数の位相差
- ・両耳の受ける刺激の強度差

これら3つの情報は、日常生活では同時に与えられる。

視覚障害者が、エコーだけで、詳細に周囲の状況を把握する時に用いる能力を、定位感覚という。方向と距離の要素を含む空間を音場（アコースティック、acoustic）と呼ぶ。このアコースティックな音は、反射音を含む空間の様々な情報を含んでいる。認知的聴覚は、このアコースティックな音のイメージを仮想の空間として再現する能力である。

### 4 音楽家の挑戦

バッハ（J. S. Bach）は、前述の無限音階の原理を気づいていたらしく、彼の楽曲には、無限音階の効果が利用されている（Hofstadter, 1979）。例えば、幻想曲とフーガ イ短調「大フーガ」（BWV. 593）の中ほどの楽節に、無限音階の部分がある。

現在の音楽家も、無限音階を取り入れている。現代の音楽家の例として、YMO と Pink Floyd を示す。

YMO（Yellow Magic Orchestra）の「BGM」というアルバム（CD）に「来たるべきもの（L00M）」という曲がある（[http://www2s.biglobe.ne.jp/~n\\_isago/kizaimemo.ht](http://www2s.biglobe.ne.jp/~n_isago/kizaimemo.ht)）。この曲をステージ演奏では、無限音階

発生器をシンセサイザーにつけて使われた。この機材は可聴帯域のほとんどをカバーするオクターブの分周器である。オシレータの鋸歯状波を使ってピッチを動かし、ちょうど1オクターブで波形がターンして変わるような変調をかけると、上向きの鋸歯状波だと永遠に上昇していく音が、逆に下向きの波形で変調すると永遠に奈落の底に落ちていく音が得られる。音程の上昇や下降のスピードや、気になりやすい可聴帯域の上側と下側はコンソール卓のハイカットとローカット・フィルターで切って取り除くことができる。

Pink Floyd のアルバム「Meddle (1971)」の Echos という曲のスタジオ盤にも、無限音階と思われる部分があることが知られている（<http://www2u.biglobe.ne.jp/~harehare/pinkfloyd/pinkfloyd.htm>）。

## VI 嗅覚

現代生活では、視聴覚の働きがきわめて大きく、嗅覚の占める割合は小さくなっている。嗅覚は、原始的生活では死活にかかわる重要な役割を果たしてきたが、生活が豊かになると、芸術や精神面での活用が重要になっている。例えば、香料や香水、日本の香道など生活に潤いを与える役目は果たしているし（高木, 1982）、匂いが精神を静め安らぎを与えるような効果があることも知られている。

### 1 臭うということ：生理学

人の臭いの受容器は、鼻腔天蓋部および鼻中隔にある嗅粘膜（嗅上皮）にある嗅細胞である（図 13）。

嗅細胞と支持細胞、基底細胞および嗅腺（ボウマン腺）などから嗅上皮は構成されている。支持細胞は7～8角形の断面を持ちその頂点に嗅細胞がある。嗅上皮は片側で約 250 mm<sup>2</sup> の面積があり、1,000 万～2,000 万



個の嗅細胞がある。嗅細胞は嗅上皮から $1\mu\text{m}$ ほど突出し、数本の嗅線毛が出ている。この嗅線毛が臭いの受容器である。嗅線毛はボウマン腺から分泌された粘液中にある。臭いの刺激物質は、気化するかエアロゾルとして嗅上皮に達する。そして、粘膜上で粘液に溶解込み、嗅線毛に達する。

嗅細胞から出る嗅神経は、篩骨を通り頭蓋腔に入り嗅球に終わる。これを第1次嗅中枢という。

嗅球は脳前頭葉の下にある。嗅球に入った嗅神経は、糸球（嗅糸状体）に入る。糸球から僧帽細胞や房飾細胞の主樹状突起がからまりあって栗のいが状になった組織である。嗅細胞からの情報は僧帽細胞と房飾細胞へと伝わる。

嗅球から出る求心性線維は、一つが嗅索として梨状囊や扁桃核をへて前頭葉や海馬などに達し、他方は前交連を経て反対側の嗅球やその他の核にいたる。

その他に補助的嗅神経として、三叉神経、舌咽神経および迷走神経がある。補助的嗅神経である三叉神経は、鼻腔の前部、外側部と鼻孔部で臭いを感じる。舌咽神経は咽頭上部で、迷走神経は咽頭下部の喉頭蓋で臭いを感じる（Henkin, 1967）。

## 2 臭いの種類

臭いは、原臭（基本臭ともいう）から組み立てられているのであろうか。古くから議論されているが決着はみえていない（Engen, 1982）。

古くは、日本では貝原益軒が、香（かうばし）、くさし、焦（こげくさし）、腥（なまぐさし）、腐（くちくさし）の5種を分類している。

西洋ではリンネ（Linnaeus）が1756年に7種（芳香性、香氣高い、神々しい妙なる、ニンニク、ヤギ、いやな、催嘔性）に分けている。Henning（1924）は、三角柱状のプリズムの6頂点に原臭があるとした。6個の原臭は、花臭（ジャスミンが代表的）、果実臭（オレンジ）、悪臭（腐敗臭）、薬味臭（コショウ）、樹脂臭（松脂）、焦臭（コールタール）である。心理的秩序では、匂いは5面のどこかに位置付けられ、プリズム内に入る匂いはないと仮定された。

近年ではAmoore（1962）の立体化学説による7種がある。Amooreの7種は、電子顕微鏡で実証できないので否定されている。Amoore（1979）は、嗅盲の研究から、8種の原臭を候補にあげられている。

有機工学では、有機化合物200万種のうち2割に臭いがあるとされており、40万種程度の種類があると推定されている。非常に多様は臭いが、原臭によって組み立てられているのかどうかもわかっていない。

このように、原臭については古くから議論されているが、決着はみえていない。臨床的に嗅覚テストに用いられる匂いは、花臭、果実臭、汗臭、焦臭、糞臭、樟脳臭、麝香、石炭酸臭、酢臭、にんにく臭の10種である。

## 3 臭いの閾値

嗅覚には閾値（刺激閾）がある。閾値は臭い物質の最小量である。嗅覚の閾値は、体調、天候、温度、湿度な

どによって変動する。人がもっとも敏感なのは、スカトール（ $4 \times 10^{-10} \text{ mg/l}$ ）やメルカプタン（ $4 \times 10^{-8} \sim 10^{-10} \text{ mg/l}$ ）、麝香（ $5 \times 10^{-6} \text{ mg/l}$ ）などの臭いである。人は低濃度の弁別能力は低く、約30%の濃度変化がなければ弁別できない。犬の嗅覚は人のものより8～6桁ほど鋭感である。

嗅覚は非常に順応しやすく、同じ臭いもしばらく嗅いでいると感じなくなる。臭いの順応、同一の臭いに対する選択的疲労とされ、他の臭いに対する感受性は変化しない（栗原, 1992a）。

嗅覚の感受性は、個人差のほかに、生理的、心理的条件によっても変化する。また、感受性の異常として、嗅覚過敏症、嗅覚減衰症、嗅覚幻覚などがある。色に対して色盲や色弱があるように、臭いにも嗅盲や嗅弱がある（高木, 1982）。刺激性の臭いに対する涙やくしゃみは、鼻粘膜にある痛覚神経の刺激により、嘔吐は嗅脳基底部の刺激によって生じる。

## 4 匂いの芸術

人は匂いを、珍重してきた。香水や香木などの例のように、匂いを芸術にまで高めてきた。日本では香道がある。

香道は、香をたいて楽しむ芸道である。香合（こうあわせ）・薫物合（たきものあわせ）・継（たきつぎ）香などの香遊びは、室町末期から茶道の成立と重なりながら、文学と結び付いた組香中心の香道に成長した。香道で薫物（たきもの）に用いる香木は、竜脳・沈香・白檀・伽羅などがある。

西洋でも、ハーブ（herb）として、香りが楽しまれてきた。ハーブは、固有の香りや色、味と薬効などを持つ植物のことで、民間薬的な使い方がなされることもある。ハーブの語源はラテン語の緑の草“herba”といわれる。ラベンダー、コリアンダー、カモミール、バジル、セージ、ローズマリー、タイム、ペパーミント、チャービル、チコリ、レモンバーム、ナススタチウムなどがよく用いられている。シソ、セリ、ヨモギ、タデなどは日本のハーブである。

スパイスとは、主に熱帯地方に育つ植物の実や根、木の皮、種などを乾燥保存したものである。温帯でも育つものとして、八角茴香や山椒の実、サフラン（花のめしべ）、陳皮（みかんの皮）、月桂樹の葉などがある。

匂いの心理的効果を利用したものにアロマセラピー（aromatherapy）がある。アロマセラピーとは、aromadbch（芳香）とtherapy（療法）からなる用語で、芳香性物質を利用した病気の治療法である。古くは、宗教的な目的で使用された焚香料や化粧料などに、その起源をたどることができる。アロマセラピーは、嗅覚を刺激することによる外用法を主体とするものである。芳香性生薬中の精油や味覚刺激物質、ハーブ類の香味成分などを、外用薬として治療に利用した。これらの芳香性物質の効能として、覚醒、催眠、鎮静作用がある。心理的応答効果が大きく、特にストレスに伴う心身症に有効な治療法としても注目されている。



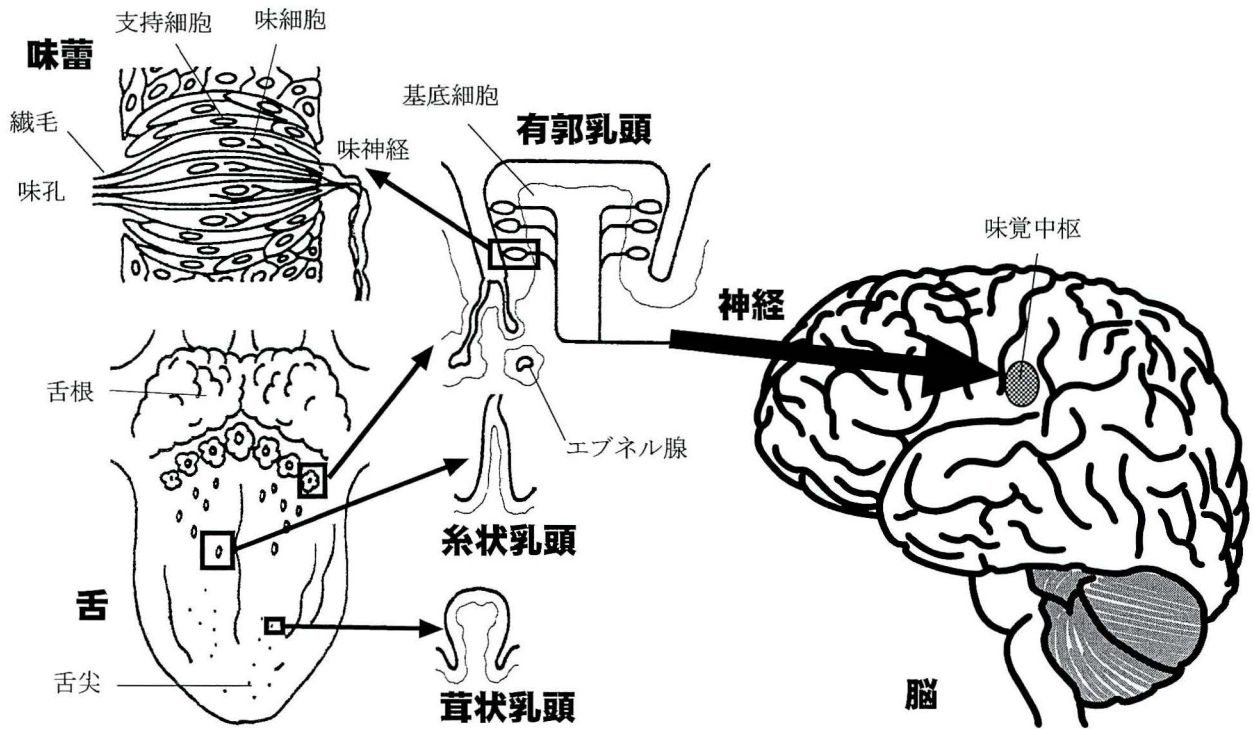


図 14. 味覚の情報処理システム、図は、Zilli (1981) を基に作成した。

## VII 味覚

食生活が豊かになった現代、多くの味覚を味わうことが可能になった。しかし、その基本となる味は、たった4つで、その混合によって多様な味がつけられている。ここでは、味覚の概要を示す。

### 1 味わうとは：生理学

食物を食べたとき、嗅覚、温度感覚、触・圧覚、痛覚などが複合して生じる口腔内感覚を、フレーバー (flavor) と呼ぶ。フレーバーは総合的な感覚で、味覚はその一部で区別しなければならない (佐藤, 1982)。

味覚の受容器は、口腔内にある味蕾にある (図 14)。味蕾は、舌の表面にある有郭乳頭、糸状乳頭 (葉状乳頭)、茸状乳頭に多く分布する。味蕾の数は、約 10,000 個あるが、舌の中央部にはない。

味蕾は、支持細胞、味細胞、基底細胞より構成されている。一つの味蕾には、約 40～50 個の味細胞があり、その先端に小突起 (繊毛) が、味孔に突出している。この繊毛が受容器である。

味の刺激物質は、水溶液として味孔を通り、繊毛に達する。繊毛は刺激によって、脱分極性の電位変化 (受容器電位) が生じる。受容器電位は、水洗いによって、すぐに消失する。そのため、刺激物質と繊毛との結合はそれほど強くないと考えられている (小林, 1992c)。

味覚は、舌全体で生じるものだが、舌の部位により、その感受性は異なる。甘味は、舌の前方 (舌尖)、塩味は舌尖と外側縁 (舌縁)、酸味は絶縁、苦味は舌の後方 (舌根) において敏感である。これは、各味に対する反応性の異なる味細胞があり、4つの味ごとに反応の良い味細胞が集中していることによる。

味覚の受容器は、一つの基本味にのみ選択的に反応す

るのではなく、一つの受容器は2種類以上の基本味に反応することが知られている。ただし、一つの味に対しては強く反応するが、他の味に対しては、反応がにぶいという感受性の違いを持っている。

味細胞で受けた刺激は、舌の前の 2/3 では鼓索神経、後の 1/3 では舌咽神経と迷走神経を経て、延髄の弧束核に至り、ニューロンを交替する。第二ニューロンは交叉して、対側の内側毛帯を経て、視床腹側核で第三ニューロンと交替する。第三ニューロンが大腦皮質の体性感覚野の最下部にある味覚中枢に達する。ただし、人の場合、大腦皮質には味覚のみを感じる味覚野はないとされている (小林, 1992c)。

### 2 味の種類

味の基本味は、19世紀末にドイツの心理学者 Kiesow (1896) が、塩味、酸味、甘味、苦味をあげた。その後、4基本味を頂点とした味四面体を考え、その混合によってすべての味が構成されているとされた (Skramlik, 1926)。その後、McBurney (1974) は4つの基本味であるという証拠を11個あげた (佐藤, 1982)。

現在では、基本味を純粹に示す物質として、塩味は食塩、酸味は塩酸 (またはクエン酸、酒石酸)、甘味はショ糖、苦味は塩酸キニーネ (または硫酸キニーネ、カフェイン) が用いられている (佐藤, 1982)。

### 3 味覚と刺激

基本味に対する感受性について不明な点も多いが、一つの味刺激に対して、味覚は温度、作用面積、作用時間により強さが左右される。

味覚の閾値は、物質によって異なる。一般に味覚の閾値は、臭いのものほど、より高い。閾値上の刺激は、4



つの基礎的な味に共通の尺度として、比を判断する「ガスト尺度」と、差を判断する「ダウ尺度」がある。

味覚の閾値は、個人差や一個人でも1日の間や体調などによって変動がある。味盲もあり、劣性だが遺伝することが知られている。

味覚には2種の閾値がある。溶液の濃度を上げていくとき、水と味が区別できる最小濃度（検知閾値）と溶液自身の味が判別できる最小濃度（認知閾値）がある。通常、後者は前者の2.0～3.5倍の濃度である。

味覚の強さは、溶液濃度を増せば大きくなる。しかし、濃度増大と味覚強度の増大の程度は物質によって異なる。基準物質たとえばショ糖濃度と測定物質の濃度を比較して、基準物質の濃度（等価濃度）で相対的に示される。等価濃度  $S$  と基準物質濃度  $C$  は一般に

$$S = k \cdot C^n$$

で示される。 $n$  と  $k$  は定数で、 $n$  は物質依存のものである。このような効果を利用したものが、サッカリンなどの甘味料である（小林, 1992c）。サッカリンは  $n$  が 1.7 で、ショ糖より5倍ほどの甘味がある。

温度による閾値の変化は22～32℃に最大の感受性を持つように変化する。しかし、味覚の強さと濃度の関係には温度は影響しない（佐藤, 1982）。

味覚は順応しやすい。同じ味を感じるには、濃度が高くならなければならない。

味覚の刺激面積（ $A$ ）と味覚閾値（ $C$ ）の間には

$$C \cdot A^m = k$$

の関係がある（佐藤, 1982）。 $m$  と  $k$  は定数で、 $m$  は物質依存のものである。つまり、 $m > 1$  の時、面積が増加すると味覚の閾値も増加するということである。

刺激時間（ $t$ ）と味覚閾値には

$$t \cdot C^n = k$$

の関係がある（佐藤, 1982）。 $n$  と  $k$  は定数で、 $n$  は物質依存のものである。刺激時間が短いと味を感じるには高濃度を必要とするということである。

舌の片側に与えられた刺激と反対側に与えられた刺激によって増加されることがある（佐藤, 1982）。これは対比あるいは同時的対比と呼ばれる現象である。時には弱い方の刺激を隠蔽する効果も見つかっている。

味覚には、後味といわれる現象がある。味のもととなる物質を口から取り出しても、同じ味が持続する。通常は1、2秒で消えるが、甘味タンパク質（モネリン）には1時間以上も持続するものもある。

異質の味を混合すると、多くの場合、それぞれの味の抑制が起こるが、それぞれの味は保存される。2種の味のうち、一方もしくは両方の濃度が低い時、味の増強が起こる。料理における甘味を増すために加えられる塩は味の増強の効果が利用されている。

味覚の閾値は、3歳から6～20歳までは減少し、50歳まで不変でわずかに上昇する程度だが、60歳以上になると急激に上昇する（佐藤, 1982）。

## VIII 体性感覚：皮膚感覚

体性感覚とは、皮膚や体内の深部組織にある受容器から起こるさまざまな感覚の総称である（岩村, 1982）。体

性感覚は、皮膚感覚と深部感覚とに分けることができる。これは、受容器の存在する部位による分類である。

### 1 感じるということ：生理学

触感、冷感、温感、痛感などの感覚には、特に鋭いところが小さな点状に独立して分布しており、これらを感覚点と呼ぶ。触点や痛点は密に分布しており、温点や冷点はまばらに分布している（岩村, 1982）。感覚点は、直下まではその近くに受容器の神経網があつて効率よく刺激を感受している。

皮膚は、体毛におおわれた有毛部と、体毛のない無毛部からなる（図15）。有毛部は外部からの刺激を受けるだけだが、指や手掌のような無毛部は積極的な触感作用を営む。そのため無毛部の皮膚は鋭敏な感受性を持つ。

無毛部の皮膚には、表皮が真皮に出たところに、メルケル（Merkel）盤が、逆に真皮が表皮に突出したところにマイスナー（Meissner）小体がある。真皮より深部の皮下組織にルフィニ（Ruffini）小体、（ファーター）・パチニ（Vater-Pacini）小体がある。これら4つの受容器は、皮膚の機械的刺激つまり接触、圧迫、振動に反応する。

有毛部の皮膚は、毛根近くにピンクス（Pinkus）の毛盤と呼ばれる構造の下に複数のメルケル盤が集まっている。毛根の変化を感知できるようになっている。非常に感度のよい受容器がある。外耳道、鼻部、顔面、肛門、外生殖器のまわりの毛は、特に感受性が高い。

その他に、皮膚には自由神経終末が多数存在する。自由神経終末は、強い機械刺激や、化学物質、温熱などの刺激に反応する。

自律神経を除く、すべての末梢神経を含む言葉として体性神経ということがある（岩村, 1982）。

人体には、約400個の骨格筋からなる。筋の種類としては、骨格筋、心筋（横紋筋）、そして内臓筋（平滑筋）がある。骨格筋は、骨に付着し、関節の屈伸をさせる。心筋は、心臓を形作る。内臓筋は、内蔵、血管、皮膚などを構成する。屈筋が収縮すれば、関節が屈曲し、伸筋が収縮すれば関節が伸展する。拮抗筋は、互いに拮抗的に働く筋である。

筋線維は、アクチン（細い線維）とミオシン（太い線維）からなる。筋の収縮は、運動神経系の命令により、アクチンがミオシンに沿って滑走することによって起こる。

筋は多数の横紋筋線維からなり、脊髄前角運動細胞の軸索によって支配されている。筋線維（錘外筋線維）中に筋紡錘と呼ばれる受容器が存在する。

筋紡錘は、筋の伸張で刺激を受け、収縮によって活動が弱まる。筋紡錘は、筋の収縮・弛緩の状態を脊髄前角細胞に知らせ、反射的に筋の収縮をおこなう。

骨格筋にはその他にも、自由神経終末で圧迫やつねり、痛みを感じ、パチニ小体では振動刺激を感じる。骨格筋の両端にある腱の中に、腱紡錘という神経終末がある。腱紡錘は、筋の収縮と伸張の両方感知する。

関節を含む関節囊や靭帯には、ルフィニ終末とパチニ小体、ゴルジ・マツツォニ小体がそれぞれある。また、痛感を伝える自由神経終末がある。パチニ小体は、速順



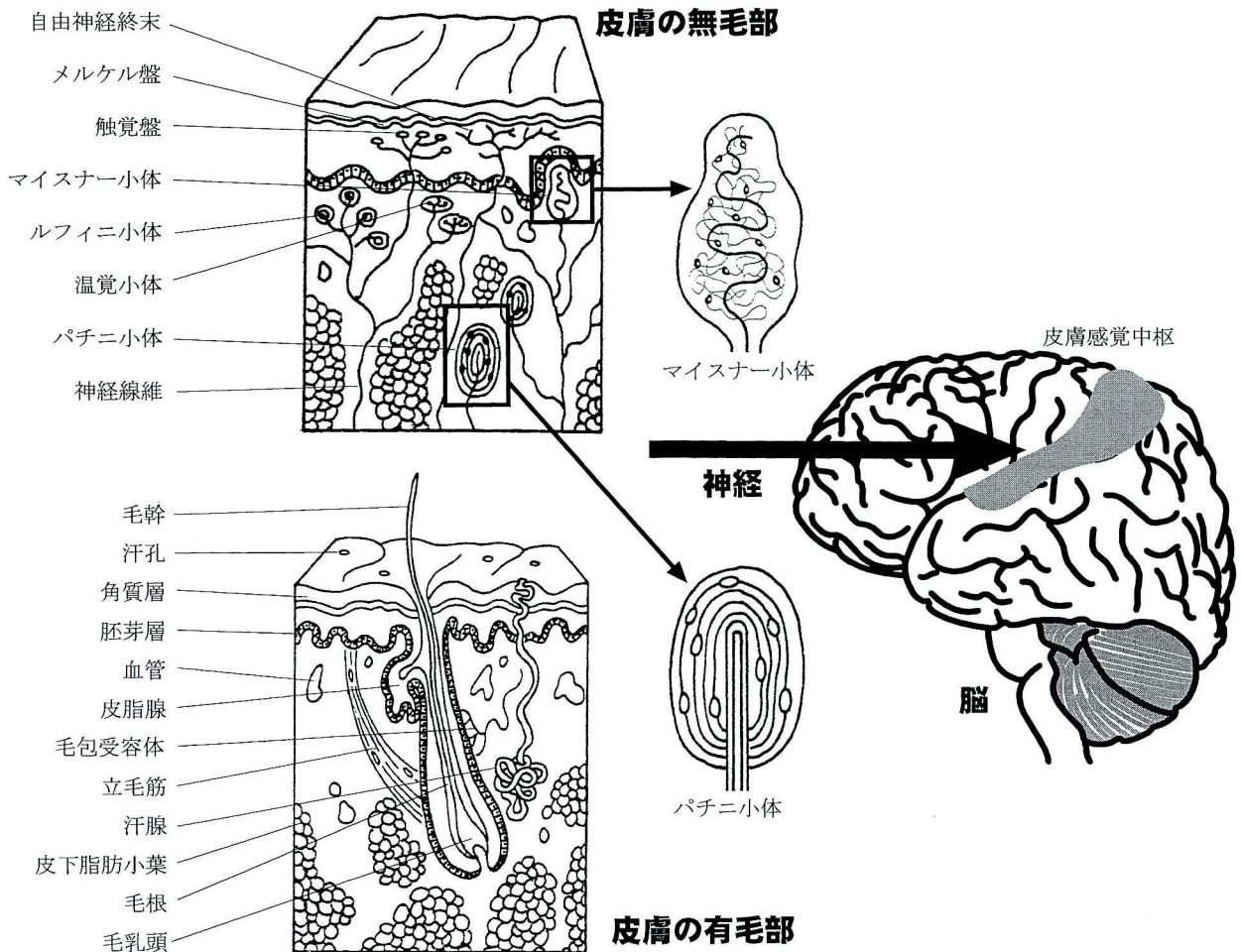


図 15. 皮膚感覚の情報処理システム. 図は, Zilli (1981) を基に作成した.

応型で、関節の動きの速さを感じる。ゴルジの終末も、速順応型で、関節の動きの方向と速さを感じる。ルフィニ終末は、遅順応型で、関節の動き、その方向、速さ、角度、位置の情報を伝える。

受容器の順応（なれ）の遅いものは、メルケル盤やルフィニ小体で、速いものは、パチニ小体、マイスナー小体、体毛受容器である。触・圧覚が繰り返されると振動感覚が起こる。順応の速い受容器は、刺激の強さが変化している時のみ変化し、変化がなくなると馴れてしまって応答しない。しかし、振動刺激に忠実に反応することができる。

速順応型の受容器の方が遅順応型受容器より多くなっている。生物によって刺激の強さや持続を知るより、刺激の有無を知ることの方が重要であるからであろう（岩村, 1982）。

同一タイプの受容器の興奮が複数集まって末梢神経に入る。自由神経終末や末梢神経などの一次性求心線維は感覚神経として、後根から脊髄に入るか、脳神経を介して脳幹に入る。脊髄に入った一次性求心性線維は運動のために介在ニューロンにも情報を伝える。そのため、脳を経ずに反射的に運動することができる。

温感と痛感に関する線維は、外側延髄視床路を通る。そして、視床の特殊感覚中継核に終わる。特殊感覚中継核は、大脳の中心後回にある体性感覚野 I (SI) と大脳

外側溝の壁にある体性感覚野 II (SII) とに連絡しており、刺激は最終的に大脳に伝わる。

関節受容器は、位置について記憶が働き、遅い順応速度を持つ。しかし、その受容器の正体は不明である。筋受容器のまた特定されていない。

体性感覚は、各種の受容器から入った信号は、末梢神経、脊髄後根から脊髄に入り、後索や脊髄視床路の伝導路を経て、大脳皮質、体性感覚野に伝えられる。体性感覚野は頭頂葉、中心後部（第 1 体性感覚野）にある。その前方には、中心溝をはさんで、運動野と後方には頭頂連合野があり、頭頂連合野の外側部に第 2 体性感覚野がある。両体性感覚野とも視床腹後側核からの投射を受ける。

## 2 温感

温度刺激に対する受容器は、冷受容器 (cold receptor、冷点) と、温受容器 (warm receptor、温点) がある。冷点の方が温点より密度が大きく、4～10 倍ある（栗原, 1992b）。冷点は口唇、胸、腹に多く、温点は顔面や指に多い。

温度受容器は、無髄神経終末で、皮膚の絶対温度を感じる。温度感覚の求心性線維は A δ 線維と C 線維である。A δ 線維は冷神経線維で C 線維は温神経線維である。これらの神経線維は、外側脊髄視床路と視床放線



経て、中心後回に至る。

皮膚の温度感覚は、皮膚の絶対温度、その変化の速さ、刺激される皮膚の広さによって決まる。温度感覚には、体験的に微温、温い、熱い、熱痛、涼しい、冷たい、冷痛の諸段階がある（岩村, 1982）。32～33℃程度では冷温感が生じないが、冷感では26～30℃で、温感では37～47℃が最大に興奮する。刺激が強すぎる時は痛みや不快感を起こす。温度感覚は、温度が上昇していくときには温かさが起こり、下降していくときには冷たい感覚が起こる。また、冷神経線維には45℃以上でも興奮するものがあり、冷感を生じることがある。これを逆説的冷感覚あるいは矛盾冷覚と呼ぶ。

### 3 痛感

痛感とは、生体に対する危険信号である。急激な痛感刺激には、反射的に逃避行動がとられる。

痛感とは独立した感覚で、無髄神経自由終末で、体のほとんどの部位に存在する。皮膚や粘膜の表面に生じるものを表面痛（superficial pain）という。

痛感には、速い痛覚伝導路と遅い痛覚伝導路がある。一つの刺激に対し、まず刺すような痛みが生じ、1秒後くらいに鈍いような痛みが生じる。速い痛感ではA $\delta$ 線維が、遅い痛感ではC線維が伝達すると考えられている（栗原, 1992b）。

### 4 運動感覚

自分の四肢の状態を感知しているか、自己受容感覚あるいは運動感覚と呼ばれる。運動感覚は、位置、動き、力、重さの感覚に区分される。（岩村, 1982）

運動には、反射（運動）と随意運動がある。

反射は、学習によるものではなく生得的なもので、刺激によって起こる。反射は、一定の様式で起こり、予測可能ではあるが、意識は直接関与しない不随意な応答である。生存に必要な恒常性を維持するために、反射は必要な機能である。

反射の経路として反射弓がある。反射の受容器は、感覚刺激を神経インパルスに置き換える。求心性ニューロンは、神経インパルスを反射中枢へ伝える。反射中枢は、運動行動を起こす神経インパルスに変換する。遠心性ニューロンは、反射中枢からの神経インパルスを効果器に伝える。効果器は、神経インパルスに従って応答運動を起こす。

反射中枢による分類として、脊髄反射、延髄・橋の関与する反射、中脳と視床の関与する反射、大脳皮質の関与する反射の4つがある。

脊髄反射には、伸張反射と屈曲反射がある。伸張反射とは、筋を引き伸ばしたとき、その筋を動かす運動ニューロンが興奮して筋を収縮させるものである。屈曲反射とは、四肢の皮膚への傷害性刺激により、その肢が屈曲して体幹に引き寄せられることである。

延髄・橋の関与する反射は、静的姿勢制御の反射である。中脳と視床の関与する反射は、立ち直り反射である。大脳皮質の関与する反射は、種々の感覚情報を統合し、複雑な反応を起こす。

随意運動の特徴は、意思による精神的刺激への反応で、それ自体に目的があり、自覚しておこなわれる。姿勢保持機構と比較して連続的でない。

運動を司る中枢神経として、大脳連合野と前運動野、運動野（運動皮質）、基底核、小脳での働きがある。

大脳連合野は、意図する運動が円滑に達せられるような運動パターンを選択する。前運動野は、多くの筋の協調的活動に参与する。運動野は、対側身体部位の筋収縮を起こす機能局在がある。基底核は、自動的運動、リズム運動、四肢の共同運動などに参与し、運動の意思を運動プログラムに変換する。小脳は、随意運動の誤差の調整機能（フィードバック制御）と運動の計画・プログラミング（フィードフォワード制御）をおこなう。

運動に関する研究の成果は、制御工学的なモデルとして利用されている。制御工学的なモデルは、基本的には、フィードバック制御系である。しかし、時間的にフィードバックの働く余地がない、あるいは、フィードバックを待っている間は制御が間に合わない場合には、フィードフォワード制御が必要である。システムの出力を観測することなく、あらかじめ諸条件を考慮して綿密な計算のもとに制御を行う。

### 5 内臓感覚

内臓感覚として、渇き、食欲、性欲、尿意、便意、嘔気などがある。内臓には、温度受容器と圧受容器はない。痛感受容器は見られ、皮膚より数は少ない。内臓感覚は、内臓に分布している求心性神経が刺激されて生じる。

皮下深部組織のものを深部痛という。また、内臓器官や胸、腹膜などの刺激によるものを内臓痛（visceral pain）という。内臓の異常が支配領域の同じ皮膚分節に痛みが投射されて、連関痛が生じる。

管腔臓器（腸管、尿管など）では壁の伸展で感受性が高くなり、脳の狭窄や尿管結石では強い仙痛が、内臓の炎症では激痛が生じる。内臓痛によって、その臓器を支配している自律神経によって、嘔吐や吐気などが生じる。

深部痛のうち、骨膜における機械的刺激に対する閾値は、最も低い。筋の閾値は高い。筋痛は、血行障害や持続的筋収縮の際に生じる。筋痛を起こす物質は、P因子（pain factor）と呼ばれ、カリウムと考えられているが、実体は明らかでない。

内臓痛のうち、胸や腹部の情報は、交感神経系と、第1胸神経から第2腰神経に至るまでの脊髄後根を介して、中枢に伝わる。食道と気管、咽頭の痛みは、迷走神経を通じて、骨盤の内臓痛は仙部副交感神経を通じて伝わる。

### 6 平衡感覚

姿勢が崩れようとする時、正しい姿勢を保つ反射が起こる。姿勢を正しくする仕組みは、多数の反射の複合感覚である（福田, 1969）。

姿勢反射は身体が静止している時の体位反射、運動時の姿勢の反射的变化を運動反射、一方向に動く視刺激によって起こる視機性運動反射の3つに分けられる。

体位反射は、姿勢に及ぼす頭部反射、代償性眼偏位の反射、立ち直り反射に区分され、それぞれもっと詳しく



検討・分類されている。運動反射には、回転反射、直線運動反射、交叉性伸展反射がある。

前庭器官では、直進運動を感じる。有毛細胞に平衡砂があり、その慣性によって感知する。三半規管は、回転運動を感じる。3つの半規管が互いに直角に配置されている。半規管内のリンパの慣性によって感知する。

## 7 芸術家の挑戦

芸術家は古くから、平衡感覚や運動感覚の様子を直感で捉え、作品に残している。

古代ギリシア彫刻には体位反射の位置反射一つである頸反射が表現されている。ギリシア彫刻ミロンの円盤投げの像には、運動反射における緊張性頸反射が刻まれている。日本でも、仁王像などの仏像彫刻や俵屋宗達の雷神図には運動反射による緊張性頸反射が現されている。

芸術家は、このような反射状態にある肢体を示すことによって、緊張感を表現できることを示した。

## IX 時間感覚

時間を感じる受容器はいまのところ知られていない。しかし、生体時計とか体内時計というもので呼ばれているが、その存在は、生理学的・生化学的方法によって確かめられている (Sunders, 1977)。ここでは、時間に関する感覚についてまとめる。

### 1 時間とは：物理学

「時間とは何か」という根本的問題は、哲学でも物理学でも心理学でもまだ一致を見ていない。ここでは、まず、物理的時間についてまとめる。

ニュートン力学では、時間とは外界の事象と関連せず一様に流れるという概念が導入された。相対性理論では、ミンコフスキー時空の1つの次元として組み込まれた。ミンコフスキー時空は、ローレンツ変換に対して対称であるから、時間は3次元空間と対等なものとみなされる。しかし、物理学において、時間はその反転に対して、対称でないという不可逆性が認められる。エントロピー増大の法則や素粒子の相互作用での時間反転性の破れ、素粒子力学の測定過程、膨張宇宙での時空構造の起源など、時間は空間と対等でない面がある (長倉ほか編, 1998)。

現在、物理的な時間間隔の単位「秒」は、1967年10月パリの第13回国際度量衡総会において「秒は、セシウム133の原子の基底状態における2つの超微細準位間の遷移に対する放射の9,192,631,770周期の継続時間とする」と決められた (国立天文台編, 1998)。この基準による時間を、原子時と呼ぶ。太陽や地球の動きで、現代の科学が必要とする精度が、正確に定義できないために、原子時を使うようになった。恒星時における1秒に合わせて、原子時は定義されている。

### 2 時の流れ：心理学

時間を直接感じる受容器は知られていない。今のところ、時間そのものが知覚されるのではなく、事象が連続的に順序だてて起こることから、認知的に知覚していると考えられる。

時間の知覚の特徴は、周期的事象のあることと非対称性である (松田ほか編, 1996)。

時間の周期的事象とは、規則的に繰り返しが起こることである。歴史や文化、個人、民族を超えた共通の認知レベルで周期的事象が起こる。生物時計は、一般に周期的事象を示すものと考えられる。

時間の非対称性とは、事象の空間的な順番は入れ替えが不可能であるということである。物理学的時間の不可逆性は、この非対称性に通じる。このような不可逆性が、心理学的時間に、過去・現在・未来という区分をもたらす。心理学的時間は、記憶と密接な関係がある。物理的時間や事象の変化によって区切りをもたらされるが、心理的時間は今知覚している事象の変化だけでなく、記憶されている事象の変化も認知する。

心理学という時間知覚は、心理学的時間のうち、心理的現在 (psychological present) を中心とした短い時間範囲を対象としている。視覚、聴覚、触覚のいずれにおいても、30～40 msecの時間が、順番の同定には必要である (Poppel, 1985)。この時間間隔は、脳内の認知のために必要な最低時間である。脳内の認知メカニズムでは、約3秒の限界内で一つの単位に統合している。

時間は知覚の影響を受けやすい。ある時間の中にいくつもの要素が含まれていると長く、含まれてないと短く感じる。例えば、純音を3秒聞くと長く感じ、高低が変化する音を3秒聞くと短く感じる。

心理的現在を越えた長い心理的時間は、時間評価 (time estimation) として扱われる。時間評価は、数10分、数時間、数日、長いときは数年がその研究対象となる。時間知覚では、判断すべき内容があらかじめ知っている (prospective) 場合がほとんどだが、時間評価では、あらかじめ知らないこと (retrospective) も扱う必要がある。両者では、心理学的時間の構成において、注意や記憶のかかわり方が大きく異なる。

時間評価のモデルはさまざまなものがある (松田ほか編, 1996)。内的時計を想定するモデル、情報処理と関連づけたモデル、内的時計と情報処理の両方を取り入れたモデルなどあるが、まだ決定的モデルはない。

時間知覚におけるモデルとして、感覚的処理モデル (sensory processing model) と認知的処理モデル (cognitive processing model) の2つに大別される。

感覚的処理モデルは、何らかの内的タイマー (internal timer) あるいは内的時計 (internal clock)、ペースメーカー (pacemaker) を人が持っているという仮定のもとにつくられている。この内的タイマーにより、刺激の時間の長さが測定され、時間知覚をもたらすということである。この内的タイマーは、発するパルスの数を数えるというモデルと、時間量子 (time quantum) と呼ばれる単位時間の数によるというモデルの2つがある。

認知的処理モデルでは、時間の中に含まれている時間 (nontemporal) とは無関係な情報処理によって、時間が知覚されるというものである。時間が長ければ、その中に含まれる情報が増え、処理時間も必要となる。この長さが時間の長さに対応する。もし、この情報の中に、



不要の情報が少なく時間の情報のみで構成されている場合、時間は短く認知される。このような現象を、充実時間程錯覚 (filled-duration illusion) と呼ばれる。このモデルでは、時間と無関係な情報の量によって長く感じるという「記憶－蓄積モデル」(memory-storage model) と、時間経過の中で無関係な情報の変化をどの程度意識できたかという「記憶－変化モデル」(memory-change model) の2つがある。

さらに、両モデルの両方が時間知覚には関与しているという考えがあり、注意モデル (attention model) や容量モデル (capacity model)、統合モデル (integrative model) などと呼ばれている。このようなモデルでは、感覚処理過程としてタイマーと、認知的処理過程として時間と無関係な情報を処理をする情報処理系の2つの処理過程から心理的時間が構成されると仮定されている。

### 3 リズムとテンポ、タイミング、間 (ま)

行動には、単発で終わってしまうものの以外に、連続した動作がある。このような連続動作には、リズムやテンポが存在する。

生体内のリズムには、自然界の周期 (図 16) に共鳴していると考えられるものが多い。このような外界のリズムから隔離されると、生物固有の生体リズム、つまり自由継続リズムが出現する。逆に自由継続リズムにもかかわらず、生体が外界のリズムに共鳴すれば、同調化因子によっていると考えられる (相場, 1982)。同調化因子は、明、暗、温度、湿度、干満などがある。自由継続リズム自体も自然界のリズムと大きくずれることはない。

人の体温、睡眠、覚醒、摂食、排便は日周期、月経、

排卵は月周期、血圧の年周期、ある種の精神病に見られる数年の周期などが見られ、原因は定かでないが体内時間の存在が考えられる。

生体時間は、日、月、年などの比較的長い周期に対応していたが、もっと短い時間間隔を私たちは持っている可能性がある。その一つの例が、音長感覚である。

リズムより、行動に密接な時間感覚を、体内テンポという。ある長さの音を聴いた後、正確にその長さを模倣することができるのもこの体内テンポのおかげである。その誤差は音楽家の場合、ほとんどない。10分の1秒程度の誤差では、専門家でなくても判断できる。音楽では、これを絶対音長知覚と呼ぶ (鈴木, 1997)。

体内テンポには、体と個人を取り巻く生理的最適状態が深くかかわっている。生理的最適状態とは、歩行などのスピードが、環境に束縛されずに一人で歩いているとき、個人特有のテンポを持つことである。音楽では、人をリラックスさせるリズムやテンポがある。このテンポが極度に乱された状態が長く続くとストレスを生じる。

タイミング (timing control) とは、反応のために最も有効な時間間隔の条件をつくり出すことである (Conrad, 1955)。単に与えられた効率的な時間利用法ではなく、外在するリズムやテンポに、意識的にうまく合わせる作用である。タイミングは、過去の心理的時間と予期する未来の心理学的時間、しかも両時間はそれほど離れてない時間間隔であることが重要な条件となる。

タイミングが合わないと、間 (ま、pause) が生じる。間とは、不都合なずれや無駄な空白だけでなく、適度の間は快適さを生じる。技芸では、間は、休止期に配慮を続け、緊張を持続した状態をいう。それを日本の伝統芸

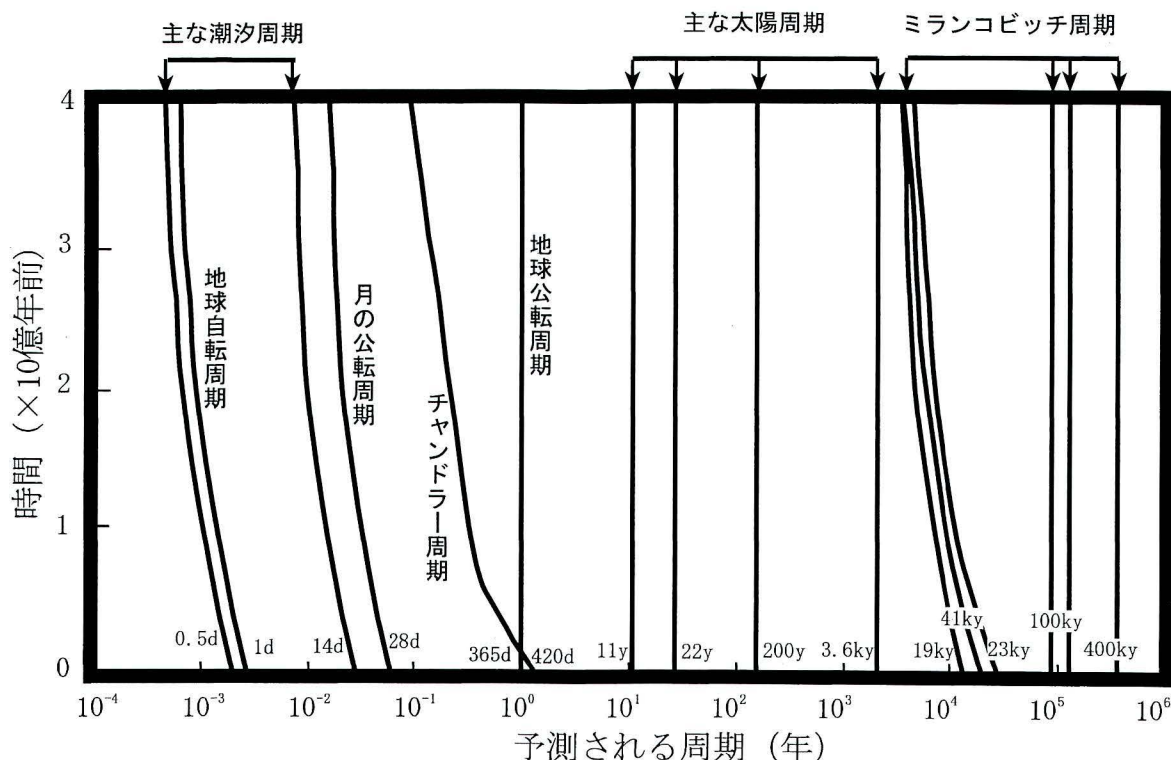


図 16. 自然界のリズム、天文学的に生じるリズムを、予測される周期(年)と地球の力学的扁平率と関係で示した(伊藤(1993)を改変)。各リズムにつけられた名称も示した。地球の力学的扁平率とは、時代とともに変化する値で、値が大きいほど古い時代を示し、小さいと新しい時代を示す。現在は一番下の横軸上である。



能では「せぬひま」と呼ばれる（塩沢, 1986）。感情的表現である間は、技の訓練を通じて時間や空間のなかに具体的につくり出される。間は、非常に主観的で多義的であるが、最終的には外的刺激から離脱した個人の自由意志による時間感覚による活動であり、それが他の人にも共感を得るものである（松田ほか編, 1996）。

タイミングや間は、訓練によって習得され、熟練していく。タイミングや間が合うと、質の高い効果が生じる。良いタイミングや間を生み出す熟練者には、筋緊張の減少、多重課題の遂行、注意の分散、運動要素間の協応（coordination）、行為の自動化、柔軟性、即興（improvisation）などがおこなえる。

#### 4 芸術家の挑戦

音楽のリズムは、まさに人の時間感覚に訴えている。一定のテンポからずれるのだが、不快感がなく心地よさを生じるテンポがある。音楽家や歌手は、このようなテンポの勘所をうまくつき、感動を与える。

音楽のリズムに必要なのは、相対音長知覚である（鈴木, 1997）。相対的音長知覚は、複数の音符の長さを比較して、それぞれの音の音価を認知する能力である。テンポ・クロックの自己生成は、一定の単位時間の中に自分の体内時計を合致させることによって成立する。音楽家は、このような能力を、訓練や才能によって会得している。

クラシック音楽にはしばしばフェルマータが登場するが、演奏中このフェルマータが出現すると、拍を数えることなく、間的一种と考えられる。フェルマータは、楽曲に余韻や区切りを与える。

日本の伝統芸能でよく使われる間は、テンポ・クロックを利用した感覚である。良い間で進行する演劇や芸能は、視聴者が心地よく舞台にのめり込ませる作用を生じる。日本の伝統芸能では、間に関する美意思が特徴の一つになっている。「人の心、精神による時間の破碎・断絶が、すなわち“間”なのである」（武智, 1979）。

間のモデルとして、「守一破一離」という階層性がある。これは、古くから日本舞踊の基本的な間といわれているものである。音楽のリズムに乗る常間（定間）が「守」のレベルで、次にいかに間を破るかという「破」というレベルになり、最後に間から離れる「離」というレベルに達する。このような階層性は、熟練（expert）過程と似ている。「守」のレベルは、外的事象（刺激）への同期で、「破」のレベルは外的事象の予期し意図的にずらす能力の習得で、「離」のレベルは外的事象に依存しない独創的な即興がおこなえる能力である。

即興とは、限られた時間内である結果を生み出すための数多くの手続きや方法が、ただちに利用できる状態である。

#### X さいごに

科学教育とは、科学の成果を広く一般市民に伝えるためのシステムである。システムを展開する機関として、学校や図書館、教育センター、博物館、そして観覧会やシンポジウム、講演会などを催す各種団体、組織など

がある。各種のシステムがあることにより、市民の多様な学習の機会を増やし、生涯学習を社会全体として構築することになる。

自然史系博物館も科学教育システムの一つであり、科学教育において果たす役割は大きい（小出ほか, 1999a）。小出（1999b）は、博物館の特徴を、実物資料中心になっていること、実物資料に附随する専門的情報が学芸員によって収集されていること、対象とする階層が多様で限定できないことをあげている。このような特徴を持つ博物館では、独自の科学教育に対する考え方が生まれ、体系化されようとしている（小出, 1999b; 小出ほか, 1999b）。

博物館では、展示という手法が、実物資料と人とが接触するとき重要である。人は実物資料を見たり、触ったりして、その実物を感じて、知ることになる。さらに、ラベル解説、他の資料や展示ストーリーなどの附随情報から、より深く実物資料の持つ科学的意味を認識する。

実物資料を人に「見せ」、科学的意味を「伝える」ためには、様々な工夫をこらさなければならない。そのためには、人がものごとをどう認知するかを考える認知心理学の本稿でまとめたような成果を利用する必要がある。

偉大な音楽家や芸術家は、直感的・本能的に知覚や認知の本質あるいは盲点を見抜いて、作品として表現してきた。そして、このような作品が成功すると、人々に感動や驚き、神秘性などの人間的な感情をわきおこしてきた。

人にもものごと伝える新しい手法を開発するために、認知心理学の成果を応用すれば、よりよく伝えることができるはずである。自然史博物館の科学教育でも、偉大な音楽家や芸術家にはおよばないが、新しい可能性が拓けるであろう。長い博物館活動から、多くの経験と知識が蓄えられているはずである。それを認知心理学的見地に基づいて体系化すれば、最終的には、認知心理学から独立し、教育心理学とは全く違う、博物館独自の科学教育の方法論が体系化できるであろう。そして最終的な目標として「自然史教育心理学」の体系化へと繋がるはずである。

#### 文献

- 相場覚, 1982. 時間. 相場覚編, 現代基礎心理学知覚Ⅰ. 東大出版会, 東京, 231-262.
- 相場覚, 1997. 時間知覚. 相場覚・鳥居修晃編, 知覚心理学. 放送大学教育振興会, 東京, 178-198.
- 秋田宗平, 1982. 視覚現象の基礎—変容域—. 相場覚編, 現代基礎心理学知覚Ⅰ. 東大出版会, 東京, 11-46.
- 秋田宗平, 1989. 知覚工学とは何か. 大山正・秋田宗平編, 応用心理学講座7知覚工学. 福村出版, 東京, 1-4.
- Amoore, J.E., 1962. The stereochemical theory of olfaction. *Proc. Sci. Sec. Toilet Goods Ass.*, **37**: 1-23.
- Amoore, J.E., 1979. Divectious for Preparing aqueous solutions of primary odorants to diagnose eight types of specific anosmia. *Chem. Senses and Flavour*, **4**: 153-161.
- Burns, E. M., 1981. Circularity in relative pitch judgments for inharmonic complex tones: The Shepard demonstration revisited, again. *Perception and*



- Psychophysics*, **30**: 467-472.
- Ching, F. D. K., 1985. *Architectural Graphics*. 太田邦夫訳, 1993. 建築製図の基本と描きかた. 107 p., 彰国社, 東京.
- Ching, F. D. K., 1987. *Drawing A creative Process*. 太田邦夫訳, 1994. 建築ドローイングの技法. 111 p., 彰国社, 東京.
- Conrad, R., 1955. Timing. *Occupational Psychology*, **29**: 173-181.
- Engen, T., 1982. *The Perception of Odors*. Academic Press, New York. 吉田正昭訳, 1990. 匂いの心理学. 220 p., 西村書店, 新潟.
- 福田精, 1969. 姿勢反射. 荳阪良二編, 講座心理学感覚. 東大出版会, 東京, 203-222.
- Gagne, E. D., 1985. *The Cognitive Psychology of School Learning*. Foresman, Glenview. 赤堀侃司・岸学訳, 1989. 学習指導と認知心理学. 527 p., パーソナルメディア, 東京.
- 花岡利昌, 1989. 床暖房の温感. 大山正・秋田宗平編, 応用心理学講座7知覚工学. 福村出版, 東京, 196-223.
- Henkin, R. I., 1967. The definition of primary and accessory areas of olfaction as the basis for a classification of decreased olfactory acuity. In T. Hayashi ed., *Olfaction and Taste*. 2. Pergamon Press. 235-252.
- Henning, H., 1927. *Der Geruch*. 100 p., Leipzig, Barth.
- Hofstadter, D. R., 1979. *Godel, Escher, Bach*. Basic Book Inc., New York. 野崎昭弘・はやしはじめ・柳瀬尚紀訳, 1985. ゲーデル、エッシャー、パッサロ. 766 p., 白洋社, 東京.
- 今井四郎, 1986. 知覚の世界. 北尾倫彦・小嶋秀夫編, 心理学への招待. 有斐閣, 東京. 83-97.
- 今井省吾, 1982. 因子分析法による幾何学的錯視の分類. 都立大文学報, **152**: 1-18.
- 今井省吾, 1984. 錯視図形—見え方の心理学—. 245 p., サイエンス社, 東京.
- 乾政男, 1989. 空間環境. 大山正・秋田宗平編, 応用心理学講座7知覚工学. 福村出版, 東京, 139-154.
- 乾敏郎, 1995. 知覚と運動. 乾敏郎編, 認知心理学Ⅰ. 知覚と運動. 東大出版会, 東京, 1-13.
- 熨斗秀夫, 1989. 織物の風合い. 大山正・秋田宗平編, 応用心理学講座7知覚工学. 福村出版, 東京, 184-195.
- 伊藤孝士, 1993. ミランコピッチクロックの進化. 月刊地球, **15**: 316-323.
- 岩村吉晃, 1982. 体性感覚. 相場覚編, 現代心理学知覚Ⅰ. 東大出版会, 東京, 107-134.
- 鹿取廣人・杉本敏夫編, 1996. 心理学. 296 p., 東京大学出版会, 東京.
- 河合悟, 1989. 照明環境. 大山正・秋田宗平編, 応用心理学講座7知覚工学. 福村出版, 東京, 99-115.
- Kiesow, F. 1896. Beitrage zur physiologischen Psychologie des Geschmacksinnes. *Philosophische Studien*, **12**: 255-278.
- 小林啓三, 1992a. 視覚. 中野昭一・重田定義, 図説からだの事典. 朝倉書店, 東京, 66-73.
- 小林啓三, 1992b. 聴覚. 中野昭一・重田定義, 図説からだの事典. 朝倉書店, 東京, 74-77.
- 小林啓三, 1992c. 味覚. 中野昭一・重田定義, 図説からだの事典. 朝倉書店, 東京, 78-79.
- 小出良幸, 1999a. 地球科学と教育を取り巻く現状分析—博物館の新しい地学教育を目指して 1—. 地学教育, **261**: 127-147.
- 小出良幸, 1999b. 博物館の現状分析と目標—博物館の新しい地学教育を目指して 2—. 地学教育, **262**: 169-176.
- 小出良幸・平田大二・山下浩之・新井田秀一・佐藤武宏・田口公則, 1999a. 地球科学の新しい教育法試案—博物館における地球科学教育の刷新へのケーススタディー. 神奈川県立博物館研究報告, (28): 29-55.
- 小出良幸・平田大二・山下浩之・新井田秀一・佐藤武宏・田口公則, 1999b. 博物館での新しい取り組み—博物館の新しい地学教育を目指して 3—. 地学教育, **263**: 213-222.
- 国立天文台編, 1998. 理科年表. 1058 p., 丸善, 東京.
- 近藤公夫, 1989. 庭園・景観. 大山正・秋田宗平編, 応用心理学講座7知覚工学. 福村出版, 東京, 235-245.
- Kubovy, M., 1986. *The Psychology of Perspective and Renaissance Art*. 100 p., Cambridge Univ. Press, Cambridge.
- 栗原敏, 1992a. 嗅覚. 中野昭一・重田定義, 図説からだの事典. 朝倉書店, 東京, 80-81.
- 栗原敏, 1992b. 体性感覚. 中野昭一・重田定義, 図説からだの事典. 朝倉書店, 東京, 58-65.
- 丸山欣哉, 1969. 感覚間相互作用. 荳阪良二編, 講座心理学感覚. 東大出版会, 東京, 267-297.
- 松田文子・調枝孝次・甲村和三・神宮英夫・山崎勝之・平伸二編, 1996. 心理学的時間—その広くて深いなど. 551 p., 北大路書房, 京都.
- 松田隆夫, 1995. 視知覚. 270 p., 培風館, 東京.
- McBurney, D. H., 1974. Are there primary tastes for man? *Chemical Senses and Flavor*, **1**: 17-28.
- 長倉三郎・井口洋夫・江沢洋・岩倉秀・佐藤文隆・久保亮五編, 1998. 理化学辞典第5版. 1854 p., 岩波書店, 東京.
- 西村明・津村尚志・中島祥好, 1994. 高次の倍音でつくられる複合音のピッチの循環性について. 聴覚研究会資料, H-94-7.
- 村田孝次, 1987. 教養の心理学. 206 p., 培風館, 東京.
- 中村昌生, 1989. 和風建築. 大山正・秋田宗平編, 応用心理学講座7知覚工学. 福村出版, 東京, 224-234.
- 難波精一郎, 1982. 聴覚. 相場覚編, 現代基礎心理学知覚Ⅰ. 東大出版会, 東京, 75-105.
- 難波精一郎, 1989. 音響環境. 大山正・秋田宗平編, 応用心理学講座7知覚工学. 福村出版, 東京, 116-138.
- 大山正, 1970. 視知覚の基本体制. 大山正編, 講座心理学知覚. 東大出版会, 東京, 25-138.
- 大山正, 1990. 現代の心理学. 大山正ほか, 新版心理学のあゆみ. 有斐閣新書, 東京, 183-205.
- 大山正, 1994. 色彩心理学入門. 235 p., 中央公論社中公新書1169, 東京.
- 荳阪良二, 1969. 序論. 荳阪良二編, 講座心理学感覚. 東大出版会, 東京, 1-18.
- Oppel, J. J., 1855. Über geometrich-optisch Tauschungen. *Jahresbericht des Frankfurter Vereins*, 37-47.
- Poppel, E., 1985. Grenzen des Bewusstseins. Über Wirklichkeit und Welterfahrung. Stuttgart, Germany. Deutche Verlag-Anstalt GmbH. 田山忠行・尾形敬次訳, 1995. 意識の中の時間. 264 p., 岩波書店, 東京.
- Sunders, D. S., 1977. An introduction to biological rhythms. Bishop Briggs. 宇尾淳子訳, 1978. 生物リズム学入門. 196 p., 理工学社, 東京.
- 佐藤尚康, 1982. 味覚. 相場覚編, 現代基礎心理学知覚Ⅰ. 東大出版会, 東京, 166-188.
- Shepard, R. N., 1964. Circularity in judgements of relative pitch. *Jour. Acoustical Soc. Amer.*, **36**: 2346-2353.
- Shepard, R. N., 1990. Mind sights. 鈴木光太郎・芳賀康郎訳, 1993. 視覚のトリック. 221 p., 新曜社, 東京.
- 塩沢邦彦, 1986. 間の哲学. 146 p., リーベル出版, 東京.
- 白石成人, 1989. 橋. 大山正・秋田宗平編, 応用心理学講座7



- 知覚工学. 福村出版, 東京, 246-264.
- Skramlik, E. von, 1926. Handbuch der physiologie der Niedern Sinne. Georg Thieme. (quoted by D. H. McBurney, 1978).
- 外池光雄, 1989. 香り. 大山正・秋田宗平編, 応用心理学講座 7 知覚工学. 福村出版, 東京, 156-170.
- Sperling, G., 1960. The information available in brief visual presentations. *Psychological Mon.*, **74**: 129.
- 鈴木寛, 1997. S. M. L. の音楽科教育(Ⅱ). 兵庫大学鈴木ゼミ研究紀要, **7**: 83-94.
- Stevens, S. S., 1959. The quantification of sensation. *Daedalus*, **88**: 606-621.
- 武智鉄二, 1979. 間. 現代のエスプリ, **141**: 142-152.
- 高木貞敬, 1982. 嗅覚. 相場覚編, 現代基礎心理学知覚Ⅰ. 東大出版会, 東京, 135-165.
- 田中平八, 1988. 感覚・知覚. 田中平八編, 現代心理学用語事典. 垣内出版, 東京, 2-33.
- 鳥居修晃, 1982. 知覚・認知の機能. 鳥居修晃編, 現代基礎心理学知覚Ⅱ. 東大出版会, 東京, 1-12.
- 八重島建二・鈴木正彌・小嶋秀夫・後藤倬男・木田光郎・伊藤義美・辻敬一郎・斉藤洋典・長田雅喜・田畑浩, 1986. 現代心理学. 274 p., 培風館, 東京.
- 八木昭宏, 1997. 知覚と認知. 147 p., 培風館, 東京.
- 山口静子, 1989. うま味. 大山正・秋田宗平編, 応用心理学講座 7 知覚工学. 福村出版, 東京, 171-183.
- 山下利之, 1988. 生理学的基礎. 田中平八編, 現代心理学用語事典. 垣内出版, 東京, 236-259.
- 柳瀬徹夫, 1989. 色彩環境. 大山正・秋田宗平編, 応用心理学講座 7 知覚工学. 福村出版, 東京, 76-98.
- Wade, N., 1982. The art and science of visual illusion. 近藤倫明・原口雅浩・柳田多聞訳, 1989. ビジュアル・イリュージョン—芸術と心理学の融合—. 301 p., 誠信書房, 東京.
- Wertheimer, M., 1912. Experimentelle Studien über das Sehen von Bewegung. *Zeitschrift für Psychologie*, **61**: 161-278.
- Wertheimer, M., 1923. Untersuchungen zur Lehre von der Gestalt, II. *Psychologische Forschung*, **4**: 301-350.
- Zilli, A., 1981. Alla Scoperta Del Corpo Umano. 稲垣洋子訳, 1982. すばらしい人間の体11 私たちは感覚器です. 24 p., リブリオ出版, 東京.

## 摘 要

小出良幸, 2000. 認知心理学の博物館活動への応用を目指して—自然史教育心理学への序章—. 神奈川県立博物館研究報告(自然科学), (29): 1-31. (Y. Koide, 2000. Aim to Cognition Psychology Applied to Museum Activity —Introduction to Educational Psychology of Natural History—. *Bull. Kanagawa prefect. Mus. (Nat. Sci.)*, (29): 1-31.)

自然系博物館では科学教育がおこなわれている。博物館の科学教育は、普及活動や展示などの手法が中心となっている。このような手法は、人の実物資料の接触を通じて、自然をより良く理解するためにおこなわれる。しかし、その手法は、体系化されていない。認知心理学は人との相互作用を解明する学問である。認知心理学の成果を博物館の科学教育に応用すれば、今までにない体系だった成果が得られる可能性がある。この論文では、その最初のステップとして、博物館の科学教育に利用できそうな、認知心理学の成果と、芸術家の認知心理学的効果の利用例を総括する。

(受付: 1999 年 10 月 15 日; 受理 2000 年 1 月 20 日.)