

知覚と行為のための視覚情報処理過程

近江政雄

Gibson¹⁾は、観察者にいっさいの制限を加えない自然な視覚の重要性を強調し、観察者に加える制限に応じた、断片視 (snapshot vision)、開口視 (aperture vision)、環境視 (ambient vision)、移動視 (ambulatory vision) の4種類の視覚について述べている。断片視とは、眼球が静止している場合の視覚である。視覚の心理物理学の実験室では、観察者の頭部を固定し、固視点を見つめさせて、視覚刺激を短時間呈示する、というパラダイムで実験が行われることが多い。刺激の呈示時間が十分に短ければ、その間に眼球は運動しないから、網膜上の定められた場所に視覚刺激が与えられることになる。これらの実験室で研究されているのは断片視のメカニズムにすぎず、それはわれわれの自然な視覚とは無縁のものであるというのが、Gibsonの主張である。

さて、刺激の呈示時間が長くなると、観察者に特に固視点を強制しないかぎり、眼球運動が起こり、刺激の各部分が走査されることになる。この状況は、アパーチャーを通して周りの環境をみるのに似ているので、開口視と名付けられる。さらに、頭部を固定されていなければ、観察者は頭を自由に動かして周りの環境を見回すことができる。このときの視覚が環境視である。最後に、観察者に自由に動きまわることが許した場合の視覚が移動視である。Gibsonの主張は、生態学的にもっとも自然な視覚は移動視であるということであり、断片視のみに基づく視覚情報処理過程の研究方法を批判した。

これらの、4種類の視覚は眼球、頭部、身体の運動についての情報によって結合され、視覚情報と運動情報の情報統合に伴って視覚の座標系が変換される²⁾。開口視におい

ては断片視によって得られたスナップショットが重ね合わされる。そのとき、眼球運動についての情報が使われ、網膜中心座標系から眼球中心座標系への変換が起こる。開口視から環境視への過程では、頭部運動についての情報が使われ、眼球中心座標系から頭部中心、すなわち視線中心座標系への変換が起こる。環境視から移動視への過程では、身体運動についての情報が使われ、視線中心座標系から身体中心座標系への変換が起こる。それぞれの運動についての情報は、運動を生起するための運動情報のみならず、運動を知覚する前庭感覚系、体性感覚系などの内部感覚系、さらには視覚系の情報によってももたらされる。したがって、これらの過程では、視覚情報と運動情報の統合が起こるとともに、さまざまな感覚情報との情報統合も起こる。

Gibsonの主張には、このような情報統合や座標系変換を実現する脳内のメカニズムについての考察は含まれていない。むしろ、視覚情報処理過程の脳科学的機序を無視しているところに、Gibsonの独創性があるのであろう。しかしながら、最近になって、まさにGibsonの主張を裏付けるかのような事実が判明してきた。本稿の目的は、その内容について解説することにあるが、その前にまず視覚研究の歴史においてしばしば登場する視覚情報処理過程の二分性 (dichotomy) について触れなくてはならない。

1. 視覚情報処理過程の二分性

視覚のメカニズムは、2種類の独立な情報処理過程から成り立っているというのが、視覚情報処理過程の二分性の考えである。網膜においては、光刺激の受容体である視細胞として、錐体と桿体の2種類が存在する。錐体は主に網膜の中心部に分布し、空間分解能が高く、色情報を処理することができる視細胞である。これに対して、桿体は網膜の周辺部に分布し、光に対する感度が高い視細胞である。

金沢工業大学人間情報システム研究所 (〒924-0838 松任市八東穂3-1)
E-mail: ohmi@mattolab.kanazawa-it.ac.jp

したがって、視覚のメカニズムは、外界の大まかな情報をすばやく察知する棹体システムと、外界の情報の詳細を処理する錐体システムの2種類の情報処理過程から成り立っているというのが、視覚情報処理過程の棹体と錐体の二分性である³⁾。

しかしながら、外界の大まかな情報、すなわち環境についての情報は、Gibsonが提唱した環境視とも密接なかかわりを持ち、その情報処理は決して棹体システムのみ委ねられているわけではない。さらに、網膜から大脳の第1次視覚野(V1)に向かう情報伝達経路には、外側膝状体(lateral geniculate body)を経る皮質経路(cortical pathway)と、上丘(superior colliculus)を経る皮質下経路(subcortical pathway)があり、皮質経路では詳細な情報の処理が、皮質下経路では大まかな情報の処理が行われている⁴⁾。したがって、視覚情報処理過程の棹体と錐体の二分性は、Leibowitz and Postが提唱した、中心視(focal vision)と環境視の二分性として一般化される⁵⁾。

ところで、錐体システムによる視覚情報処理は、その時間的応答に応じて2種類のシステムに分けられる。もともとは、ネコの網膜の神経節細胞が、刺激に対する時間的応答の速さによってX細胞とY細胞に大別されるという神経生理学研究の結果に基づくものであるが⁶⁾、それを支持する心理物理学実験結果もある⁷⁾。視覚のメカニズムが、X細胞システムに対応した刺激呈示の立ち上がり立ち下がりに対応するトランジェントシステムと、Y細胞システムに対応した刺激が呈示されている期間中応答し続けるサステインドシステムの2種類の情報処理過程から成り立っており、トランジェントシステムは空間分解能が低く、サステインドシステムは空間分解能が高いというのが、視覚情報処理過程のトランジェントシステムとサステインドシステムの二分性である。

一方、サルの大脳視覚系の神経生理学および神経解剖学研究の結果から、網膜の神経節細胞から第1次視覚野に至るまでの情報処理過程が、マグノシステム(magno system)とパーボシステム(parvo system)から成り立っていることが明らかになった⁸⁾。それぞれのシステムは、外側膝状体での神経細胞の大きさから名付けられたものであるが、マグノシステムでは運動や奥行きに関する情報が処理され、パーボシステムでは形状や色に関する情報が処理されるというのが、視覚情報処理過程のマグノシステムとパーボシステムの二分性である⁹⁾。

視覚情報の処理は第1次視覚野において完了するのではない。視覚野からの情報は、さらに側頭葉(temporal cortex)、頭頂葉(parietal cortex)、前頭葉(frontal cortex)

へ伝えられる。その大脳視覚情報処理の過程においても、腹側視覚路(ventral stream)と背側視覚路(dorsal stream)の二分性がみられることを提唱したのが、Underleider and Mishkinである¹⁰⁾。

2. 腹側視覚路システムと背側視覚路システムの二分性

2.1 物体を知覚するシステムとその位置を知覚するシステム

Underleider and Mishkinは、大脳での視覚情報処理経路を、視覚情報処理の様式が異なる腹側視覚路と背側視覚路に二分したモデルを提唱した。かれらのモデルの基礎となっているのは、サルの大脳における神経生理学および神経解剖学研究の結果であり、腹側視覚路では物体の形状の弁別、すなわち形態視(pattern vision)がなされるのに対して、背側視覚路では物体の位置の判断、すなわち空間視(spatial vision)がなされ、大脳には2つの独立した視覚情報処理経路が存在することが明らかになっている。腹側視覚路は、形態視をつかさどることからWHATメカニズム、背側視覚路は、空間視をつかさどることからWHEREメカニズムともよばれる。

腹側視覚路は視覚野から側頭葉に向かう経路であり、大略して、第1次視覚野から、第2次視覚野(V2)、第4次視覚野(V4)を経て下側頭葉(infero temporal cortex)に到達する。一方、背側視覚路は後頭葉の視覚野から頭頂葉に向かう経路であり、大略して、第1次視覚野から、第2次視覚野、第3次視覚野(V3)、第5次視覚野(MT)を経て後頭頂葉(posterior parietal cortex)のMST (medial superior temporal area)野に到達する¹¹⁾。

腹側視覚路を構成する神経細胞は、サステインドな応答を示し、空間的分解能が高く、物体の形状や色、局所的な運動や奥行き情報に選択性をもっている。一方、背側視覚路を構成する神経細胞は、トランジェントな応答を示し、視野全域での運動や奥行き情報に選択性をもっているが、空間的分解能が悪く、物体の形状や色に対する選択性をもたない。

BearはUnderleider and Mishkinの腹側視覚路システムと背側視覚路システムにさらに前頭葉への経路を加えたモデルを提唱した¹²⁾。すなわち、腹側視覚路は側頭葉からさらに海馬(hippocampus)、扁桃体(amygdala)を経て前頭眼窩野(orbitofrontal cortex)に到達し、背側視覚路は頭頂葉からさらに帯状回(cingulate gyrus)を経て背側前頭葉(dorsolateral frontal cortex)に到達すると考えられている。

2.2 物体を知覚するシステムと行為をするためのシステム

Milner and Goodale は、Underleider and Mishkin のモデルによる大脳視覚情報処理における腹側視覚路と背側視覚路の二分性を、それぞれの視覚情報処理経路が果たす役割に着目して解釈した¹³⁾。すなわち、腹側視覚路における形態視、背側視覚路における空間視という視覚情報の分析のタイプの違いは、それぞれのシステムが担う情報処理の役割の違いによるものであるというモデルを提唱した。Milner and Goodale は、腹側視覚路が担う役割として視覚による物体の知覚を、背側視覚路が担う役割として視覚による行為の制御を提唱した。

その根拠となっている行為は、われわれが物体を操作する行為である。われわれが物体を操作するときには、まず手を物体に向けて動かし、物体をつかむ。前者を到達運動 (reaching movement)、後者を把持運動 (grasping movement) とよぶ¹⁴⁾。到達運動に必要な視覚情報は、物体が3次元空間の中でどこにあるかという物体の位置についての空間的な情報である。到達運動を行うためには、物体の位置が自己中心座標系によって表現されていることが必要であり、それは Underleider and Mishkin のモデルでは WHERE メカニズム、すなわち背側視覚路によって担われることになる。

これに対して、把持運動に必要な視覚情報は、物体の大きさや形状についての情報である。把持をするための指は、それに先だって物体よりも若干大きな間隔に広げられる。これを把持運動におけるプリシェーピング (preshaping) とよぶが、このためには物体の形状や大きさといった情報が必要であり、それは Underleider and Mishkin のモデルでは WHAT メカニズム、すなわち腹側視覚路によって担われることになる。

ところで、物体の大きさについての知覚はポンゾ錯視やエビングハウス錯視のような幾何学的錯視によって変化する。これは、WHAT メカニズムの働きであるから、把持運動のプリシェーピングは物体の錯視された大きさに影響されることが予測される。ところが実際には、物体の大きさに錯視が生じている場合でも、把持運動のプリシェーピングは物体本来の大きさを反映することが示された。

Milner and Goodale のモデルでは、腹側視覚路の役割は、Underleider and Mishkin のモデルによるものと同じである。すなわち、腹側視覚路では物体を知覚、認識し表現を形成するために必要な視覚情報処理が行われる。物体の認識を可能にするためには、その大きさや位置がどのように変化した場合にも、同じ物体に対しては常に同じ心的

表現が形成される、という不変性が必須である。それゆえに、視覚的知覚の情報処理の目的は、物体中心座標系において視覚情報の構造を得ることであり、物体の大きさや位置といった性質は、あまり重要でない。

Milner and Goodale は、背側視覚路の役割は、物体を対象とした行為を制御するための視覚情報の分析をつかさどるものであると考えた。正確な動作を可能にするためには、物体を正確に認識することよりもむしろ、自己中心座標系において物体の位置や大きさが正確に校正されることが重要である。

したがって、Milner and Goodale のモデルによれば、腹側視覚路と背側視覚路の二分性とは、物体を知覚するためのシステムと行為をするためのシステムの二分性である。よって、腹側視覚路は Underleider and Mishkin のモデルと同じく WHAT メカニズムとよばれるが、背側視覚路は WHERE メカニズムではなく HOW メカニズムとよばれる。

WHAT メカニズムと HOW メカニズムの存在は、サルの大脳領域の破壊実験の結果やヒトの損傷患者が示す特異な行動からも実証されている¹⁵⁾。腹側視覚路が到達する側頭葉に損傷を受けると、物体の形状や色の認識、特に顔の認識が障害される。さらに、形状の局所的な側面に注意したり、それらを統合したりすることが困難になる。しかしながら、物体への手による到達運動、追従眼球運動、視線の移動などは障害されない。驚くべきことに、側頭葉に損傷を受けた患者は、物体をまったく認識することができないにもかかわらず、その物体を把持できるような形状に手の形を合わせる事ができる¹⁶⁾。

これに対して、背側視覚路が到達する後頭頂葉に損傷を受けると、視覚情報を必要とするさまざまな運動に障害が生じる。たとえば、物体への手による到達運動、追従眼球運動、視線の移動などが障害を受ける。これに対して、物体の形状や色の認識、特に顔の認識は障害されず、サッカーボールによる視覚探索も障害されない¹⁷⁾。

さらに、錯視図形を使用した心理物理学実験においても Milner and Goodale のモデルの正当性が実証されている。物体を知覚するためのシステムは、さまざまな幾何学的な手がかりの影響を受けるので、物体の知覚では幾何学的錯視が起こる。これに対して、行為をするためのシステムは幾何学的錯視に対して頑健であり、錯視が生じているときでも物体の本来の情報を抽出することができる。目標とする物体の知覚される大きさがエビングハウス錯視によって変化していても、その物体を把持するための親指と人さし指の間隔は一定であることが示されている¹⁸⁾。

3. 物体を知覚するためのシステムと行為をするためのシステムの拡張

3.1 腹側視覚路システムと背側視覚路システムの相互作用

腹側視覚路システムと背側視覚路システムは完全に独立なわけではなく、それらの間には相互作用がみられる。2章2節では、われわれが物体を操作する手の運動について、物体を把持して操作するという行為のうちで、物体に手を近づける到達運動と、物体を指で把持する把持運動が、背側視覚路における視覚情報処理に基づいて制御されることを述べた。物体を操作するという行為は、物体を把持することによって完了するのではない。操作を円滑に行うためには、操作中の滑りを防ぐのに必要最小限な力で物体を把持しつづけなくてはならない。そのためには、把持に先だって、物体の質量を視覚情報によって予測して、必要な把持力を発生させることが必要となる。

把持運動の制御にとって必要な視覚情報には、さまざまなものがある。物体の大きさ、位置、重心などの外的特性についての情報は、記憶されている知識にアクセスする必要はなく、視覚情報から直接的に求められ、背側視覚路によって情報処理されると考えられる。

しかしながら、物体の質量のような内的特性は、視覚情報のみによっては特定することができない。物体を構成している材料の密度についての知識や、物体の質量について経験によって学習された知識を参照してはじめて、物体の質量の特定が可能になる。言い換えれば、物体の質量は高次の認識や知覚の過程との相互作用が不可欠であり、そのため腹側視覚路の関与が必要となると考えられる。すなわち、把持運動におけるプリシェーピングとは異なり、把持力を予測するためには知覚システムである腹側視覚路での視覚情報処理が重要な役割を果たすことになる。

把持運動における把持力を評価するために、垂直方向の把持力の間接的な評定として、物体への接触から垂直方向への移動開始までの遅れ時間を測定した実験結果によれば、幾何学的錯視によってより大きく知覚された物体ほど遅れ時間がより短くなることが示された¹⁹⁾。また、ポンゾ錯視における物体の把持に伴う把持力の大きさを測定した実験結果によれば、錯視によって物体の見かけの大きさが増加すると、把持力は大きくなるが、プリシェーピングにおける指の間隔は変化しないことが示された²⁰⁾。さらにポンゾ錯視によって把持アパーチャーの最大値は影響されないが、運動時間と腕の速度の最大値は物体の大きさについての錯視に影響されることが示された²¹⁾。

これらの実験結果は、把持運動のプリシェーピングにお

いては背側視覚路による物体の本来の大きさについての視覚情報が使われ、把持力の予測的スケールリングにおいては、腹側視覚路による物体の知覚された大きさについての視覚情報が使われることを示している。すなわち、物体についての情報のうち、物体の大きさなどの外的な性質は背側視覚路によって視覚情報処理され、物体の質量などの内的な性質は腹側視覚路によって視覚情報処理されて、これらの情報の相互作用によって、われわれが物体を手で操作するという行為が実現すると考えられるのである。

3.2 3次元空間における腹側視覚路システムと背側視覚路システムによる情報処理領域

われわれは、3次元空間の中でさまざまな知覚や行為を行って生活している。われわれの身体の周りの3次元空間を、行動に応じて複数の領域に分割するさまざまなモデルが提唱されているが²²⁻²⁵⁾、これらのモデルは、Gibsonの生態学的視覚論における非脳科学的、ないしは反脳科学的ともいえる主張に対して、3次元空間の異なった領域での行動を実現している脳機能を理解することによって答えようとする試みであると考えられる。ここでは、Milner and Goodaleのモデルにおける大脳における2種類の視覚情報処理過程、すなわち知覚と行為をつかさどる視覚情報処理過程のそれぞれが、3次元空間のどのような領域において機能していると考えられているかについて述べる。

3次元空間を分割するモデルには、それぞれの3次元空間領域における行動に対応した知覚、運動、座標系、さらにはそれらの脳科学的機序である大脳における視覚情報処理経路についての提唱が含まれる。それぞれのモデルによって、分割の様式や領域の名称などにマイナーな違いがみられるものの、本質的な差はない。そこで、最も包括的であると考えられるPrevicのモデルのターミノロジーにしたがって、それぞれの領域についての議論を進めることにする。

Milner and GoodaleのモデルにおけるHOWメカニズムが機能する領域が、Previcのいうペリパーソナル領域(peripersonal realm)である。この領域は、われわれが手を動かして、物体に到達し、把持し、操作するという行動を行う領域であり、その範囲は、身体の前方向ほぼ1m以内、水平方向の広がりや左右30度程度、すなわちわれわれの手が届く範囲である。この領域での視覚情報処理は、身体中心座標系において行われる。なお、その視野は下方向のほうが広いという下視野の優位性がみられるが、これはわれわれの手が眼よりも下方にあるという生態学的事実に起因していると考えられる。

ペリパーソナル領域での行動にとっては、物体を認識することや、それを記憶することは必要でない。奥行きと運動についての視覚情報処理は必要であるが、物体の詳細な奥行きや運動についての情報ではなく、全域的な形状、奥行き、運動情報の処理がなされる。したがって、ペリパーソナル領域に対応した大脳における視覚情報処理経路は背側視覚路であり、Milner and Goodale のモデルにおける HOW メカニズムである。

Milner and Goodale のモデルにおける WHAT メカニズムが機能する領域が、Previc のいうフォーカルエクストラパーソナル領域 (focal extrapersonal realm) である。この領域は、物体、顔などの視覚対象を探索し、認識する行動が行われる領域である。その範囲は、身体の前方の、両眼が輻輳している面である輻輳面にアンカーされた比較的狭い中心視領域である。輻輳面内では、固視点から離れるにつれて視力が急激に低下するから、この領域の面内の広がりや固視点を中心に半径 15 度程度である。奥行き方向には、この領域は絶対的な範囲をもっているのではなく、両眼の輻輳に応じて移動する。この領域での視覚情報処理は、網膜中心座標系において行われる。

フォーカルエクストラパーソナル領域での行動にとっては、物体を認識し記憶することが必要である。そのため、物体、顔、文字などを対象とした局所的な情報処理が行われ、高解像度の輪郭特徴や色情報が抽出される。したがって、フォーカルエクストラパーソナル領域に対応した大脳における視覚情報処理経路は腹側視覚路であり、Milner and Goodale のモデルにおける WHAT メカニズムである。物体の詳細な構造を知覚するためには高い視力が要求されるので、物体のイメージが中心窩 (fovea) によって捉えられる必要があり、そのため眼球運動によるフォビエーションのメカニズムが腹側視覚路における情報処理には含まれる必要がある。

これまでの視覚の研究における主要な課題は知覚であり、それはフォーカルエクストラパーソナル領域での視覚情報処理、すなわち Underleider and Mishkin のモデルや、Milner and Goodale のモデルにおける WHAT メカニズムを対象とするものであった。手の到達運動や把持運動のような行為についての研究は、そもそも視覚の研究としてではなく、運動制御メカニズムの研究課題として行われてきた。行為のために必要な視覚の研究を、ペリパーソナル領域での視覚情報処理、すなわち Milner and Goodale のモデルにおける HOW メカニズムの研究として位置づけたのは、Milner and Goodale の功績である。視覚 (vision) = 知覚 (perception) という視覚研究パラ

ダイムから、視覚 (vision) = 知覚 (perception) + 行為 (action) という視覚研究パラダイムへの顕著な変革をもたらした²⁶⁾。

3.3 腹側視覚路システムと背側視覚路システムを超えた 3次元空間領域

ペリパーソナル領域は身体の前方の手が届く範囲の領域である。フォーカルエクストラパーソナル領域は固視している点の周りの狭い領域である。それらは、われわれの 3次元空間のうちのごく一部である。広大な 3次元空間における視覚情報処理の生態学的な重要性を明確にしたのが Gibson であり、そのシェーマを視覚情報処理過程における中心視と環境視の二分性として一般化したのが、Leibowitz and Post である。

3次元空間を行動に応じて複数の領域に分割する最近のモデルでは、Leibowitz and Post の環境視を、さらに 2つの領域に分けて議論している。3章2節と同様に Previc のターミノロジーにしたがえば、第 1 の領域はアクションエクストラパーソナル領域 (action extrapersonal realm) であり、第 2 はアンビエントエクストラパーソナル領域 (ambient extrapersonal realm) である。

アクションエクストラパーソナル領域では、環境における物体や場所と関連づけて、自己定位とナビゲーションという行動が行われる。この領域は広大であり、水平方向には制限がなく、奥行き方向の範囲は 2~30 m にまで及ぶ。この領域での視覚情報処理は、Gibson の移動視に対応し、視線中心座標系において行われる。

アクションエクストラパーソナル領域での行動は、エピソード、すなわち特定の場所やできごとの記憶に関連しており、ナビゲーションや場所の定位に役立つような環境の粗い表現が必要である。そのため、物体の運動、奥行き、形状についての詳細な知覚はされず、幾何学的パースペクティブやテクスチャーなどの絵画的奥行き手がかりに基づいた全域的な情報処理が行われる。アクションエクストラパーソナル領域に対応した、大脳における視覚情報処理は、腹側視覚路の内側に存在する第 2 の腹側視覚路によってつかさどられていると考えられており、また海馬の関与が大きい。

海馬は、アクションエクストラパーソナル領域での情報処理のコーナーストーンであり、空間記憶や作業記憶、注意、自発的眼球運動などの高次感覚情報処理の場である。なお、従来から、海馬において環境中心座標系での空間記憶がなされているとよくいわれているが、海馬の場所細胞では環境中心座標系でなく、むしろ視線中心座標系によって情報処理が行われており、われわれの空間記憶は視線中

心座標系におけるビューに依存していると考えたほうがよさそうである²⁷⁾。

外部環境から情報を獲得するための外部感覚としての視覚については、大脳におけるこれら3つの独立したシステムによって、われわれの行動を実現するための情報処理が行われていると考えることができる。しかしながら、視覚には外部感覚としてのみならず、われわれの身体内部の情報を獲得するための内部感覚としての機能もある。それを実現するのが、アンビエントエクストラパーソナル領域である。

アンビエントエクストラパーソナル領域では、重力に支配された地球環境において身体を適切に定位して、自己運動中の姿勢と環境の知覚を安定させるという行動が行われる。この領域は視野全体に広がり、視野と奥行き方向の双方について周辺部の寄与が大きい²⁸⁾。遠くの周辺部の情報に対する依存性は、そこでの視覚的な運動が自己運動に起因するものであるからである。すなわち、身体感覚が延長された内部感覚系としての視覚は、視覚世界の最も遠いところからの情報に依存しているのである。この領域での視覚情報処理は、Gibsonの環境視に対応し、重力中心座標系において行われる。

アンビエントエクストラパーソナル領域での行動においては、空間定位と姿勢制御の維持を担う水平線手がかり、パースペクティブ、オプティカルフローなどの情報処理が必要であり、物体の運動、奥行き、形状についての詳細な知覚はされない。アンビエントエクストラパーソナル領域での視覚情報処理経路は第2の背側視覚路であるとの指摘もあるが²⁹⁾、そのメカニズムはよくわかっていない。

Milner and Goodaleのモデルを中心に、われわれの視覚系に独立して存在する、物体を知覚するシステムと行為をするためのシステムの、神経生理学、神経解剖学、行動学による特性について述べてきた。Gibsonによる生態学的視覚論の提起以来、われわれの視覚システムを理解するうえで、行動のための知覚、知覚による行動という行動知覚循環の重要性がしばしば指摘されてきた。知覚のためのシステムと行為のためのシステムはそれぞれに独立して存在するものであり、視覚システムはこれら双方に関与し、またこれら双方に基づいているという、Milner and Goodaleのプロポーザルは、視覚研究のパラダイムに変革をもたらした。本稿ではあえて触れなかったが、Milner and Goodaleのモデルに反するような実験結果も報告されている。確実な実験的事実に基づく、さまざまな立場から議論が統合されることによって、視覚システムにおける情

報統合メカニズムの本態が明らかにされていくことになれば、Milner and Goodaleのプロポーザルは、その使命を十二分に果たしたと評価できるであろう。

文 献

- 1) J. J. Gibson: *The Ecological Approach to Visual Perception* (Houghton Mifflin, Boston, 1979).
- 2) 近江政雄：“多層の座標系構造に基づく空間知覚：視覚誘導運動を例として”，*Vision*, **3** (1991) 185-193.
- 3) 佐藤宏道：“2. 視覚系生理の基礎 2.1 網膜から一次視覚野”，視覚情報処理ハンドブック，日本視覚学会編（朝倉書店，東京，2000）pp. 53-63.
- 4) 本田仁視：“視覚行動のサブシステム：Optic flowをめぐる”，*Vision*, **11** (1999) 124-128.
- 5) H. W. Leibowitz and R. B. Post: “The two modes of processing concept and some implications,” *Organization and Representation in Perception*, ed. J. Beck (Erlbaum, Hillsdale, 1983) pp. 343-363.
- 6) C. Enroth-Cugell and J. G. Robson: “The contrast sensitivity of retinal ganglion cells in the cat,” *J. Phys.*, **187** (1966) 517-552.
- 7) D. J. Tolhurst: “Sustained and transient channels in human vision,” *Vision Res.*, **15** (1975) 1143-1149.
- 8) 小松英彦：“2. 視覚系生理の基礎 2.2 V1以外の視覚領野の構成と機能分化”，視覚情報処理ハンドブック，日本視覚学会編（朝倉書店，東京，2000）pp. 64-68.
- 9) M. Livingstone and D. Hubel: “Segregation of form, color, movement, and depth: Anatomy, physiology, and perception,” *Science*, **240** (1988) 740-749.
- 10) L. G. Underleider and M. Mishkin: “Two cortical visual systems,” *Analysis of Visual Behavior*, eds. D. J. Ingle, M. A. Goodale and R. J. Mansfield (MIT Press, Cambridge, 1982) pp. 549-580.
- 11) 三上章充：“2. 視覚系生理の基礎 2.3 V1以降”，視覚情報処理ハンドブック，日本視覚学会編（朝倉書店，東京，2000）pp. 68-88.
- 12) D. M. Bear: “Hemispheric specialization and the neurology of emotion,” *Arch. Neurol.*, **40** (1983) 195-202.
- 13) A. D. Milner and M. A. Goodale: *The Visual Brain in Action* (Oxford Press, Oxford, 1995).
- 14) 川人光男：脳の数理論（産業図書，東京，1996）pp. 75-118.
- 15) M. J. Farah: *Visual Agnosia* (MIT Press, Cambridge, 1990).
- 16) D. N. Levine, J. Warach and M. J. Farah: “Two visual systems in mental imagery: Dissociation of “what” and “where” in imagery disorders due to bilateral posterior cerebral lesions,” *Neurology*, **35** (1985) 1010-1018.
- 17) M. T. Pirenin and A. Vighetto: “Optic ataxia: A specific disruption in visuomotor mechanisms: I. Different aspects of the deficit in reaching for objects,” *Brain*, **111** (1988) 643-674.
- 18) S. Aglioti, M. A. Goodale and J. F. X. DeSouza: “Size-contrast illusions deceive the eye but not the hand,” *Curr. Biol.*, **5** (1995) 679-685.
- 19) E. Brenner and J. B. Smeets: “Size illusion influences how we lift but not how we grasp an object,” *Exp. Brain Res.*, **111** (1996) 473-476.
- 20) S. R. Jackson and A. Shaw: “The Ponzo illusion affects grip-force but not grip-aperture scaling during prehension

- movements," *J. Exp. Psychol., Hum. Percep. Perform.*, **26** (2000) 418-423.
- 21) D. A. Westwood, A. Dubrowski, H. Carnahan and E. A. Roy: "The effect of illusory size on force production when grasping objects," *Exp. Brain Res.*, **135** (2000) 535-543.
- 22) O. -J. Grusser: "Multimodal structure of the extrapersonal space," *Spatially Oriented Behavior*, eds. A. Hein and M. Jeannerod (Springer-Verlag, New York, 1983) pp. 51-62.
- 23) G. Rizzolatti and R. Camarda: "Neural circuits for spatial attention and unilateral neglect," *Neurophysiological and Neuropsychological Aspects of Spatial Neglect*, ed. M. Jeannerod (North-Holland, Amsterdam, 1987) pp. 289-313.
- 24) J. E. Cutting and P. M. Vishton: "Perceiving layout and knowing distances: The integration, relative potency, and contextual use of different information about depth," *Handbook of Perception and Cognition*, eds. W. Epstein and S. Rogers (Academic Press, San Diego, 1995) pp. 69-117.
- 25) F. H. Previc: "The neuropsychology of 3-D space," *Psychol. Bull.*, **124** (1998) 123-164.
- 26) M. Georgeson: "Vision and action: You ain't seen nothin' yet...," *Perception*, **26** (1997) 1-6.
- 27) S. Gilner and H. A. Mallot: "Navigation and acquisition of spatial knowledge in a virtual maze," *J. Cognit. Neurosci.*, **10** (1998) 445-463.
- 28) 近江政雄: "視覚誘導自己運動感覚", *光学*, **21** (1992) 665-670.
- 29) S. Nascimento-Silva, R. Gattass, M. Fiorani and A. P. B. Souza: "Differential input from area V2 to areas V4, MT and PO in cebus," *Soc. Neurosci. Abstr.*, **21** (1995) 903.

(2001年2月7日受理)