

視知覚研究における一般的視点の原理アプローチ

北崎 充晃

東京大学大学院 人文社会系研究科 心理学研究室

〒113 東京都文京区本郷 7-3-1

1. 順光学と逆光学

実世界における光景（対象物体の三次元構造及び三次元運動）は、網膜上の二次元動画像へと光学的変換を受ける。ある対象の三次元構造とその運動及び観察者の視点の位置が与えられれば、網膜上二次元動画像は一意に決定される。この三次元から二次元への投影変換は、「順光学過程」と呼ばれる。しかし、生体の視知覚処理系は、これとは逆の変換（二次元から三次元への変換）を行わなければならない。言葉をかえれば、生体の視知覚系にとって入手可能な情報は網膜上二次元動画像であり、そこから対象物体の三次元構造・運動が復元されねばならない。なぜなら我々が知覚しているものは、二次元画像でも三次元奥行き手掛かりそのものでもなく、いきいきとした三次元世界であるから。この二次元から三次元への逆変換は、「逆光学過程」と呼ばれる。そしてこの逆光学過程は一対多の投射であり、解は一意に定まらない（不良設定問題；Poggio et al.¹⁾）。よって必然的に、三次元構造・運動知覚は、他の多くの視知覚のモジュールと同様に、曖昧性解決の処理過程であるといえる。

ひとつ簡単な例を挙げてみよう（図1参照）。三次元実世界に「立方体」があるとすると、その二次元投影像は、視点の位置によって以下の三つに分類される。(1) 一つの矩形、(2) 隣り合う二つの矩形、(3) すべてが隣り合う三つの矩形。この過程（三次元→二次元）

が順光学である。観察者の視点の位置と三次元物体の情報があれば、解としての二次元投影像は、一意に定まる。一方、ある二次元画像からそれを投影画像とする三次元構造（光景）をもとめる（知覚としての逆光学過程）際には、無限数の対応が考えられる。例えば、二次元画像が「一つの矩形」である場合、それに対応しうる対象の三次元構造は、(a) 薄い四角形の紙、(b) 立方体、(c) 円柱、(d) 三角柱など無限にある。つまり、与件としての二次元画像以外になんらの付加情報あるいは制約条件もなければ、解は一意に定まらない。しかし、日常生活において我々は、ある一つの二次元画像から特に苦労もなくある一つの三次元光景を知覚する。例えば、二次元画像の「一つの矩形」からは、(a) 薄い四角形の紙を知覚するが、他の三次元光景は知覚しない。

このような不良設定問題を視知覚処理系はどのようにして解いているのか。理論的には、計算制約条件を導入することで解を制限することが可能である。そして、視知覚の研究は、実際に人間の視覚処理系に組み込まれている制約条件を発見することであるともいえる。ゆえに、発見すべき制約条件は、どんなに制約力があり計算が容易になるとしても、実世界によって規定されていなかったり、生体にとってありえない仮定であってはならない。むしろ、この世界の構造を適切に反映し、観察者としての生体がそれに従うこ

とにより生存確率が高くなるような性質のものでなければならない (Marr²⁾; Richards³⁾)。この論文では、このような条件をみたす制約条件として「一般的視点の原理」を取り上げ、その生態学的妥当性、有効性、適用性 (筆者らが行った三次元運動知覚への適用を含む)、限界を概観し、従来の計算制約条件との関係について論じることを目的とした。

2. 一般的視点の仮定

「視知覚処理系は、観察者の視点が対象に対して偶然的な位置にあるとは仮定せず、一般的な位置にあると仮定する」というのが一般的視点の仮定である。

我々は、本質的に動きながらこの世界の中で知覚・探索して生活している。ゆえにある物体をさまざまな視点から眺め、さまざまな「見え」を経験している。そのさまざまな見えは、視点と対象物体との関係によって、「偶然的な見え」と「一般的な見え」とに分けられる。あるいは、連続的に「もっとも偶

然的な見え」と「もっとも一般的な見え」とのあいだのどこかに位置づけられる。このことは、アスペクトグラフと位相幾何学的分類 (Koenderink & van Doorn^{4,5)}) によってより直感的に理解できる。ある物体の周囲に可能なすべての視点を意味する「視点球」を考える。その視点からどのような位相幾何学的分類による見えが得られるかによって視点球を区分けしたものがアスペクト・グラフである。この場合、見えによって区分けされた領域の面積は、視点の一般性/偶然性に対応する。つまり、非常に限られた視点位置 (領域) しか有さない見えは、偶然的なのであり、広い視点領域で得られる見えは一般的である。また別の言葉で言うならば、「視点の少しの移動に対して、見えが位相幾何学的に変化しない (安定している) なら、それが一般的な見えであり、劇的に変化する (不安定である) なら、それは偶然的見えである」といえる。そして、一般的見えの仮定に基づいて、我々は、一般的見えからはそれを生じる

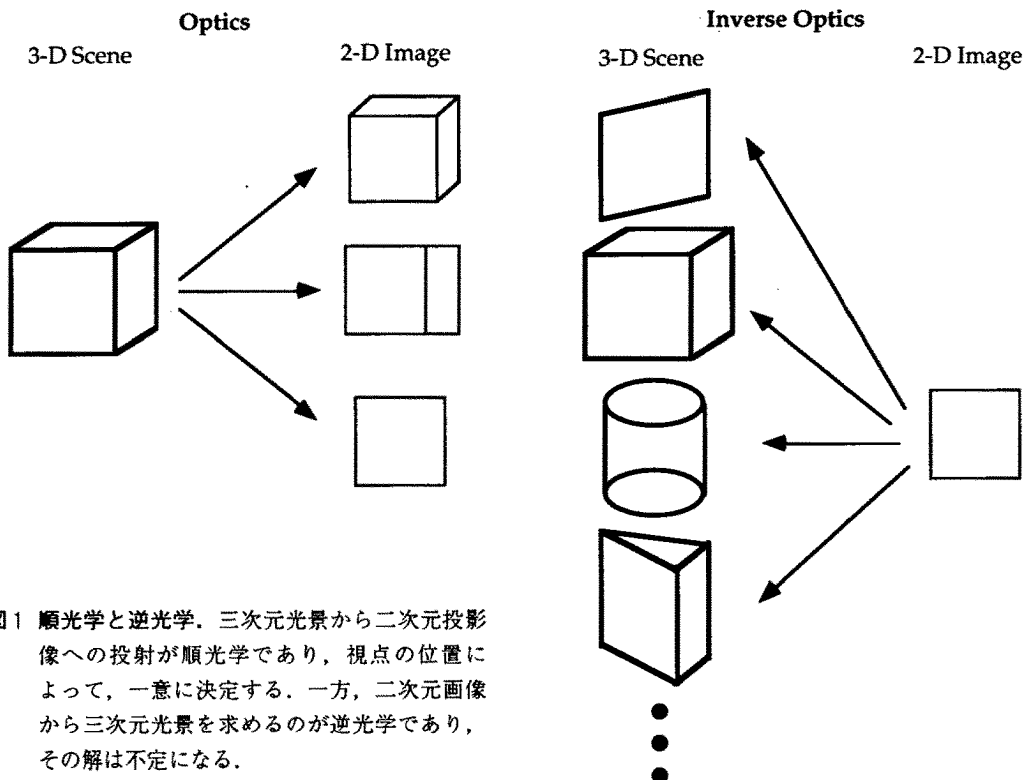


図1 順光学と逆光学。三次元光景から二次元投影像への投射が順光学であり、視点の位置によって、一意に決定する。一方、二次元画像から三次元光景を求めるのが逆光学であり、その解は不定になる。

実空間の物体／光景を知覚するが、偶然的見えからはもとの物体を知覚できない。むしろ、その見えを一般の見えとして生じる別の物体／光景を知覚する。これが、一般の見えの原理である。

先ほどの例についてアスペクト・グラフを考えれば、実空間の立方体においては、たった6点からしか「(1)一つの矩形」の見えは得られない、また3本の線上からしか「(2)隣り合う二つの矩形」の見えは得られない。そして、その他の広い領域からは、「(3)すべてが隣り合う三つの矩形」の見えが得られる(図2a)。よって、前二者((1),(2))が立方体の偶然的見えであり、後者((3))がその一般の見えである。一方、実空間の薄い四角形の紙においては、「一本の線」が偶然的見えであり、「一つの矩形」が今度是一般の見えである(図2b)。ゆえに、「一つの矩形」の見えからは、それを偶然的見えとする「立方体」は知覚されず、それを一般の見えとする「薄い四角形の紙」が知覚される。そして、「すべてが隣り合う三つの矩形」の見えからは、それを一般の見えとする「立方体」が知覚される。

3. 生態学的妥当性

視覚処理系は、なぜ視点が偶然的な位置にあるとは仮定せずに、一般的な位置にあると

仮定するのか。そのことにどのような妥当性があるのか。それは、文字どおり一般的な見えが一般的であることに規定される。我々は、日常生活で自由に動き回りながら知覚し探索しているとき、非常に高い確率で一般的な見えに遭遇する。つまり、さまざまな視点からある光景を観察するときに、非常に多くの視点の範囲から、一般的な見えを得る。ゆえに、ある二次元画像を与えたときに、それをある三次元光景の一般的な見えと解釈する方が、別の光景の偶然的見えと解釈するよりも、当たる確率が高いのである。したがって、このような視知覚系のふるまいは、生態学的妥当性が高いといえる。

4. 物体認識における視点不変性

日常生活において、さまざまな三次元物体をわれわれはどのように認識しているのか。一般的なコーヒー・カップを例にとってみても、横から眺めた場合と、真上から眺めた場合では、その「見え／像」はあまりにも違う(図3)。ある方向からの見えからは認識が非常に難しい場合がある。また、視点の位置によって見えは非常に大きく変化しうるのに、多くの場合、われわれは正しく物体認識を行う。もし、見え／像の単純なテンプレート・マッチングによって三次元物体の認識が行われていると仮定するなら、記憶表象に

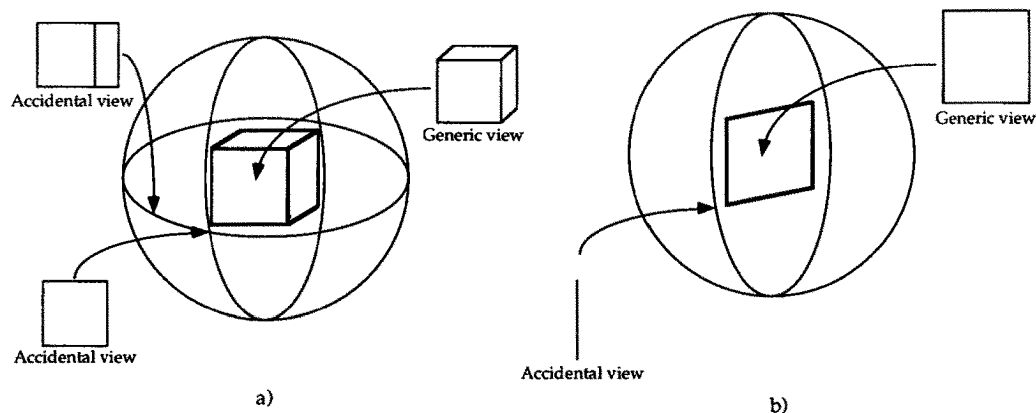


図2 アスペクト・グラフの例。それぞれ中心にあるのが三次元光景中の物体であり、そのまわりの球が全ての可能な視点を仮定している。その視点を、そこから得られる見えのカテゴリーによって分類したものが、アスペクト・グラフである。

は、全ての物体に関するあらゆる方向からの無限数の見えが貯蔵されていなければならないことになる。この考えは、生体の記憶容量の限界や検索の効率・速度を鑑みるに、あまりありそうではないと考えられている。

そこで、ひとつには、「視点に依存しない物体表象」が仮定されている (Marr & Nishihara⁶⁾; Biederman⁷⁾)。Marr & Nishihara⁶⁾は、計算理論の立場から物体認識のために必要な表現/表象の検討を明示的に問題化し、そのためには観察者の視点に依存しない物体中心座標系の表現/表象が必要であること示した (Marr²⁾も参照のこと)。そして、一般化円錐 (軸をもつ形状要素) を用いて、モジュール性を有し階層構造を持つ三次元モデル記述を提案した。Biederman^{7,8)}は、観察者の視点に依存しない構成要素を仮定し、その組み合わせによって複雑な三次元物体が認識されると考えた。そのような視点不変性をもつ要素はジオンと呼ばれ (Hummel & Biederman⁹⁾)、非常に少ない (20程度) 種類しか必要とされない。また、そのジオンの組み合わせ方 (接続法、あるいは空間的相互関係) は、ジオン構造記述と呼ばれている。

このような完全に視点に依存しない表象によるアプローチに対して、いくつかの視点に依存する見え/像に基づき、それらからの変形やそれらの補間によって、見えとのマッチングを行う折衷的な方法 (Ullman¹⁰⁾; Tarr & Pinker¹¹⁾; Bulthoff, Edelman & Tarr¹²⁾) も提案されている。

上記のように、物体認識においては、視点の位置と物体との関係、表現の座標系 (観察者中心座標か物体中心座標か)、あるいは見え/表象の視点不変性 (視点依存性) の問題が、特に近年、中心的に扱われてきている。また、マシン・ビジョンにおいても、視点と対象物体との関係を重視した理論が多数提案されている (例えば、Binford¹³⁾; Lowe¹⁴⁾; Malik¹⁵⁾; Witkin & Tannenbaum¹⁶⁾)。推察されるとおり、ここでジオンに代表される視点不変性は、見えの一般性と同等の概念である。完全に視点不依存的な物体認識アプローチも部分的に視点依存性を導入した物体認識アプローチも共に、認識すべき物体とそれに対する視点の位置・視線の方向との関係によって、生体の認識のパフォーマンスが異なることが実験的な事実としてある。この章の最初に例としてあげた「真上から眺めたコーヒー・カップ」は、それをコーヒー・カップとして認識するのが非常に難しい。いずれの物体認識理論においても、このような見え/像は、コーヒー・カップとして貯蔵されている表象 (それが完全に視点不変な1つの見えであれ、いくつかの代表的な見えのセットであれ) とかけ離れすぎているため、認識が難しいと説明される。一般的視点の原理のアプローチからは、このような見えが偶然的であることから、その認識が難しいと説明される。したがって、本論文が取り扱う「一般的視点の原理」の研究は、物体認識やマシン・ビジョンにおける「視点不変性」のアイデ

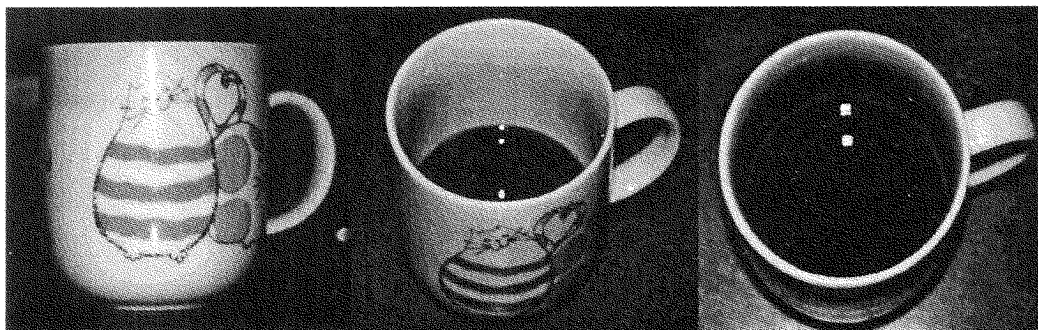


図3 さまざまな視点からの見え。コーヒー・カップをさまざまな視点から眺めると、場合によって非常に違った見えが得られる。

アを、初期視知覚処理を含めた広い範囲の視知覚処理に適用しようとするところから始まっている。

5. 初期視覚における「一般的見え」の適用

一般的視点の原理あるいは一般的見えの仮定は、初期視知覚処理に関して、いくつかのモジュールに適用されてきている：シルエットからの三次元形態知覚 (Richards, Koenderink & Hoffman¹⁷⁾), 肌理のないステレオグラムにおける表面の知覚 (Nakayama & Shimojo¹⁸⁾), 線画の知覚 (Albert & Hoffman¹⁹⁾), 主観的輪郭線の知覚 (Albert²⁰⁾), 陰影からの構造復元 (Freeman^{21,22)}), そして色の恒常性 (Brainard & Freeman²³⁾)。また、筆者等は、これまでの研究がすべて静的な現象を扱っているのに対して、動的な側面を探るため、運動からの構造復元への適用を試みた (北崎と下條²⁴⁾; Kitazaki & Shimojo²⁵⁻²⁷⁾; Kitazaki^{28,29)})。

Richards, Koenderink & Hoffman¹⁷⁾は、シルエットから三次元形態を知覚する視覚処理の計算理論を構成する際に、制約条件のひとつとして「シルエットにそのなんらの証拠もない場合には、三次元表面の曲率の変化を仮定しない」というルールを導入している。彼ら

が述べているように、この制約条件は、「観察者の見えは、一般的であり、偶然的に生じてはならない」という一般の見えの仮定の延長上にある。つまり、三次元物体にあるへこみやでっぱりが物体それ自身に遮蔽され、シルエットにその証拠が現れないような偶然的な見えから、視知覚系がそのへこみやでっぱりを推定することはないということである。

Nakayama & Shimojo¹⁸⁾は、肌理のない曖昧性の高いステレオグラムにおいて、見えの一般性によって表面の知覚 (曖昧性解決) が説明されることを示した。例えば、図のように、実世界の表面構造として、白い大きな十字の前に「曲がった十字」、「直交して重なった2本の帯」、あるいは「透明な円」を仮定すると、順光学的分析により投影される二次元像が決定される (マトリックスを垂直方向にたどる)。視点と表面の関係によって、図4に示されたような3つのカテゴリカルな見えがあり、それぞれに見えが一般的 (G) か偶然的 (A) かが示されている。すでに述べたとおり、視点の多少の移動に対して見えが劇的に変化せず安定したものが一般の見えである。また、図中0と示されているのは、不可能な見えである。ここで、知覚としての

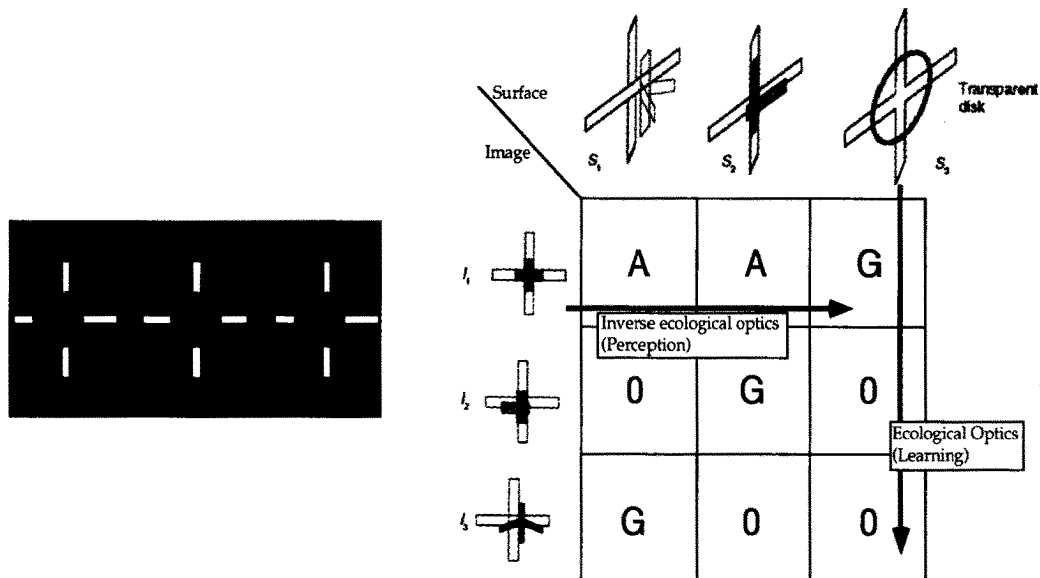


図4 テクスチャのないステレオグラム (Nakayama & Shimojo¹⁸⁾ を一部改変)。左のステレオグラムは、右のマトリックスの最上段の像である。右のマトリックスは、順光学・逆光学分析の例である。

逆光学的分析を行う（マトリックスを水平にたどる）と、ある見えに対して対応しうる実空間の表面構造の一般性が比較できる。そして、一般的視点の原理に基づけば、そのなかで最も一般的な光景（表面）が知覚される。例えば、最上段の像に関しては、白い大きな十字の前の「曲がった十字」、**「直交して重なった2本の帯」**、及び**「透明な円」**の全てが対応しうるが、透明な円のみにとってこの像は一般性が高く、そのように知覚されることが予想される。実際、われわれは、他にもない透明な円を知覚する。この現象は、視差をもたらす端点・端辺の線形補間等では説明できず、一般的視点の原理以外では適切な説明が不可能である。彼らは、この見えの一般性が、日々の経験（つまり、順光学過程）において学習されうることを指摘し、強調した。この学習可能性が、一般的視点の原理の説明力を保証し、その環境適応性を高めていると考えられる。

Freeman^{21,22)}は、陰影からの構造復元の問題に関して、視点の微少移動に起因する陰影の変化量を見えの一般性の指標として用い、一般的視点の原理を定量的に適用することに成功した。既述したとおり、視点の微少移動によって、見えが劇的に変化するものは偶然的見えであり、安定しているものが一般的見えである。

筆者等は、まず、単純線分の回転・並進・伸縮、および交差した二本線分の回転の三次元運動知覚へ一般的視点の原理の適用を試みることで、動的な見えの一般性を調べた（北崎と下條²⁴⁾；Kitazaki & Shimojo^{25, 26)}。例えば、ある線分が実空間で任意に三次元回転運動をしている仮定すると、視点の位置によって、「二次元回転：方位の変化のみの見え」、「二次元伸縮：長さの変化のみの見え」、及び**「二次元回転+伸縮の見え」**の3種類の見えが得られる。前二者は非常に限られた視点の範囲でしか得られないが、後者は、広い範囲で得られ、多少の視点の移動に

対して、そのカテゴリカルな見えは変化しない。ゆえに、後者の見えが一般の見えとなる。実際、「二次元回転+伸縮の見え」の見えを観察者に呈示すると、他にも可能な見え（例えば、中点は停止したまま前額平行面上でのみ回転しつつ伸縮する線分、あるいは前額平行面上でのみ回転しながら接近・後退する線分など）が複数あるにも関わらず、中点が停止した奥行き回転が知覚される。このように回転・並進・伸縮の三次元運動とその組み合わせ全てに関して、定性的ではあるが網羅的な分析と実験を行った。その結果、多くの場合、観察者の知覚は、一般的視点の原理からの予想と一致した。次に、線分という分析対象があまりに単純化されているという批判を受けて、より複雑な物体としてランダム・ドットからなる球の表面を用いて、その三次元回転運動に関して、同様の分析と実験を行った（Kitazaki²⁸⁾；Kitazaki & Shimojo²⁷⁾。結果は、概ね一般的視点の原理からの予想と一致するものであったが、従来の自然制約条件（剛体性の仮定、Ullman^{30,31)}）あるいは二次元相対運動仮説（Loomis & Eby³²⁾；Liter, Braunstein & Hoffman³³⁾）の影響を排除しきれないものであった。また、単純線分から球表面へと一般的視点の原理の適用範囲を拡張する方向性とは別に、局所的な見えの一般性が大局的に相互作用しうるのかについて調べ、理論の拡張を図った（Kitazaki²⁹⁾）。

このように、一般的視点の原理は、視覚のさまざまなモジュールに適用可能な理論であり、領域固有ではない一般的な理論あるいはフレームワークとして期待される。

6. ベイズ推定理論：自然制約条件と一般的視点の原理の統合

最近、人間の視知覚を説明する一般的なフレームワークとして、「ベイズ推定」が検討されている（Nakayama & Shimojo¹⁸⁾；Freeman²²⁾；Knill, Kersten & Yuille³⁴⁾）。視知覚処理は、次のように定式化できる：

$$p(S/I) = p(I/S) p(S) / p(I)$$

ここで、S は実世界における光景、I は視覚入力としての二次元像である。左辺は、ある二次元像が与えられたときのある光景の条件付き確率である。よって、視知覚処理が行うべきことは、その二次元像が視覚入力として与えられたときに、この確率が最も大きくなる光景を選択することである。右辺は、そのために必要な計算であり、光景の事前確率 $p(S)$ 、ある光景から得られる二次元像の条件付き確率 $p(I/S)$ 、二次元像の事前確率 $p(I)$ からなる。視知覚の曖昧性解決問題を解くという点（左辺がもっとも大きくなる S を選択すること）で重要なのは、光景の事前確率 $p(S)$ とある光景から得られる二次元像の条件付き確率 $p(I/S)$ である。前者は、生態環境において実際にある光景の生起確率の分布であり、ここでは、観察者が有している環境／世界の構造に対する先験的な知識を体現したものであると考えられる。これは、剛体性の制約条件 (Ullman³⁰⁾) やなめらかさの制約条件 (Marr & Poggio³⁵⁾) などの従来の自然制約条件と同等のものである。一方、後者は、ある光景から得られる二次元投影像の条件付き確率であり、あるいは光景の尤度である。これは、まさに見えの一般性に対応する。

Nakayama & Shimojo¹⁸⁾ は、ある光景から得られる二次元像の条件付き確率 $p(I/S)$ を求める過程を生態順光学（三次元から二次元への投影）とし、経験によって、見えの一般性が学習されると仮定した。そして、実際の知覚場面では、生態逆光学過程として、ある二次元網膜像が与えられたときの三次元光景の条件付き確率の分布 $p(S/I)$ が必要になる。彼らは、生態が光景の事前確率の知識に依存する危険性（事前確率／先験的仮定に依存した場合、生態の環境が変化した場合に、あたらしい環境に適応するすべがない）を考慮し、上記の式から、光景の事前確率 $p(S)$ を取り除いた。一方、Freeman²²⁾ は、定式化にあたって、見えの一般性（条件付き確率）とともに、光

景の事前確率、画像と光景との整合度を組み込んでいる。ただし、シミュレーションにおいては、光景の事前確率は等しく仮定している。筆者等は、積極的にこれらの二つの項をモデルに組み込むべきだと考えている (Kitazaki & Shimojo²⁷⁾) :

$$p(S/I) = (\text{Genericness of I})(\text{Natural Constraint for S})$$

つまり、条件付き確率としての見えの一般性と事前確率としての光景特性に関する自然制約条件の両者から、最終的な解が得られるであろう。筆者等の回転運動する球表面の知覚のデータ (Kitazaki²⁸⁾; Kitazaki & Shimojo²⁷⁾) は、この仮説をいくらか支持するものである。そして、このフレームワークは、視覚の各モジュールに固有のものではない一般的な理論に貢献するものと期待される。しかしながら、この試みはいまだ始まったばかりであり、理論的にも実証的にもさらなる研究が求められるであろう。

文 献

- 1) T. Poggio, V. Torre and C. Koch: Computational vision and regularization theory. *Nature*, 317, 314-319, 1985.
- 2) D. Marr: *Vision*. Freeman, New York, 1982.
- 3) W. A. Richards: *Natural computation*. MIT Press, Cambridge, 1988.
- 4) J. J. Koenderink and A. J. van Doorn: The singularities of the visual mapping. *Biological Cybernetics*, 24, 51-59, 1976.
- 5) J. J. Koenderink and A. J. van Doorn: The internal representation of solid shape with respect to vision. *Biological Cybernetics*, 32, 211-216, 1979.
- 6) D. Marr and H. K. Nishihara: Representation and recognition of the spatial organization of three dimensional structure. *Proceedings of the Royal Society of London B*, 200, 269-294, 1978.
- 7) I. Biederman: Human image understanding: recent research and a theory. *Computer Vision, Graphics, and Image Processing*, 32, 29-73, 1985.
- 8) I. Biederman: Recognition by components: a theory of human image understanding. *Psychological Review*, 94, 115-147, 1987.
- 9) J. E. Hummel and I. Biederman: Dynamic binding in

- a neural network for shape recognition. *Psychological Review*, 99, 80-517, 1992.
- 10) S. Ullman: Aligning pictorial descriptions: an approach to object recognition. *Cognition*, 32, 193-254, 1989.
 - 11) M. J. Tarr and S. Pinker: Mental rotation and orientation-dependence in shape recognition. *Cognitive Psychology*, 21, 233-282, 1989.
 - 12) H. H. Bulthoff, S. Y. Edelman and M. J. Tarr: How are three-dimensional objects represented in the brain. *Cerebral Cortex*, 3, 247-260, 1995.
 - 13) T. O. Binford: Inferring surfaces from images. *Artificial Intelligence*, 17, 205-244, 1981.
 - 14) D. G. Lowe: Perceptual organization and visual recognition. Kluwer Academic Publishers, Norwell, Mass, 1985.
 - 15) J. Malik: Interpreting line drawings of curved objects. *International Journal of Computer Vision*, 1, 73-103, 1987.
 - 16) A. P. Witkin and J. M. Tannenbaum: On the role of structure in vision. *J. Beck, B. Hope and A. Rosenfeld (ed): Human and Machine Vision*. Academic Press, New York, 481-543, 1983.
 - 17) W. A. Richards, J. J. Koenderink and D. D. Hoffman: Inferring three-dimensional shapes from two-dimensional silhouettes. *Journal of the Optical Society of America A*, 4, 1168-1175, 1987.
 - 18) K. Nakayama and S. Shimojo: Experiencing and perceiving visual surfaces. *Science*, 257, 1357-1363, 1992.
 - 19) M. K. Albert and D. D. Hoffman: Generic visions. *Scientific American*, in press, 1996.
 - 20) M. K. Albert: Parallelism and the perception of illusory contours. *Perception*, 22, 589-595, 1993.
 - 21) W. T. Freeman: Exploiting the generic view assumption to estimate scene parameters. *MIT Media Laboratory Vision and Modeling Technical Report*, 196, 1-29, 1992.
 - 22) W. T. Freeman: The generic viewpoint assumption in a framework for visual perception. *Nature*, 368, 542-545, 1994.
 - 23) D. H. Brainard and W. T. Freeman: Bayesian method for recovering surface and illuminant properties from photosensor responses. *Human Vision, Visual Processing, and Digital Display V*. SPIE, San Jose, California, 2179, 364-376, 1994.
 - 24) 北崎充晃, 下條信輔: 単眼運動視からの線分の三次元運動知覚: “一般的視点の原理”に基づく分析. *VISION*, 5, 63-64, 1993.
 - 25) M. Kitazaki and S. Shimojo: The "Generic View Principle" for 3D motion perception: optics and inverse optics of a single straight bar. *Investigative Ophthalmology and Visual Sciences*, 34, 1029, 1993.
 - 26) M. Kitazaki and S. Shimojo: 'Generic View Principle' for three-dimensional-motion perception: optics and inverse optics of a single straight bar. *Perception*, 25, 797-814, 1996.
 - 27) M. Kitazaki and S. Shimojo: Three-dimensional structure perception of paired- and unpaired-dot spherical surfaces: the effect of the vantage point and the rotation axis predicted by the generic-view principle. Submitted, 1997.
 - 28) M. Kitazaki: Generic view principle for 3D motion perception: an application to volumetric object. *Investigative Ophthalmology and Visual Sciences*, 37 (ARVO supplement), s179, 1996.
 - 29) M. Kitazaki: Generic views of rotating inner bars capture accidental view of a rotating outer cube. *Investigative Ophthalmology and Visual Sciences*, 38 (ARVO supplement), s76, 1997.
 - 30) S. Ullman: The interpretation of structure from motion. *Proceedings of the Royal Society of London B*, 203, 405-426, 1979.
 - 31) S. Ullman: Maximizing rigidity: the incremental recovery of 3-D structure from rigid of nonrigid motion. *Perception*, 13, 255-274, 1984.
 - 32) J. M. Loomis and D. W. Eby: Relative motion parallax and the perception of structure from motion. *The Workshop on Visual Motion*. IEEE Computer Society Press, Irvine, CA, 204-211, 1989.
 - 33) J. C. LITER, M. L. Braunstein and D. D. Hoffman: Inferring structure from motion in two-view and multiview displays. *Perception*, 22, 1441-1465, 1993.
 - 34) D. C. Knill, D. Kersten and A. Yuille: Introduction: A Bayesian formulation of visual perception. *D. C. Knill and W. Richards (ed): Perception as Bayesian inference*. Cambridge University Press, Cambridge, 1-21, 1996.
 - 35) D. Marr and T. Poggio: Cooperative computation of stereo disparity. *Science*, 194, 283-287, 1979.