

## 視覚情報処理の原理

乾 敏郎

京都大学文学部

〒606 京都市左京区吉田本町

本講演では筆者らの研究を中心に以下の点について論ずる。

1. 視覚計算が逆問題であることを説明し、逆問題をいかに解いているかを考察する。
2. 視覚系が多く並列に存在するモジュールの計算によってこの逆問題が解かれているが、これらの出力をいかに統合するかという情報統合の原理について考察する。
3. 生理学や解剖学のデータからこれらの計算がどのように神経回路のレベルで解かれているかを考察する。

我々の脳は網膜像から外界の3次元構造を推定している。本講演ではパターン認識については考えずに、いわゆる直接知覚の表現、あるいは行動のための表現について考察することにする。この時外界の構造は自分から対象までの距離や面の形状になる。したがって我々の視覚情報の計算において網膜像が与えられたデータであり、そこから面の形状や奥行きを計算することになる。計算すべき特徴は3次元であり、データは2次元であるから、これはいわゆる光学の逆という意味で逆光学と呼ばれることもある。この逆変換は2次元のデータから3次元の特性の計算になり、一般には解くことができない。これは一般の逆問題に共通して言えることであり視覚計算も不良設定問題である。脳はこの逆変換を自然界が持つある種の物理的法則を計算問題の拘束条件として用いることにより不良設定問題に直して解いていると考えられる。

多くの実験的あるいは理論的研究からこの拘束条件はほとんどの場合、なめらか拘束が基本

になっていることが明らかになってきた。例えば両眼立体視においては面の奥行きのなめらかさが仮定されている。また、運動からの形状復元においては速度ベクトルの変化になめらかさを仮定している。そのほか陰影からの形状復元においても面の向きのなめらかさが仮定されている。計算問題の中になめらか拘束を使うということは次のようなことを意味する。すなわち逆問題の計算は、いわゆるデータポイントが与えられてそれをうまく近似する関数を見つけ出すことに相当するのである。しかしデータを近似する関数はその関数を持つべき性質が与えられないと解けない。この性質を与えるのがなめらか拘束である。したがってデータをうまく近似し、かつなめらかな関数を見つけてくるというのが視覚計算である、という言い方もできる。このなめらか拘束つまりなめらかな関数を生成するために充填過程と言うものの存在が予測できるのである。脳の中ではさまざまな属性に対して、充填過程がうまく働きのこのような逆計算を可能にしているのであろう。では、そのなめらかさの次数とはどのようなものであるのか。私自身はさまざまな属性に対して最も低いなめらかさの評価関数を脳は採用していると考えている。すなわち、1次微分の評価関数である。これを最小化するためには2次微分を計算しなければならない。これは変分法を用いれば簡単に分かる。

一方、網膜と視野の投射関係すなわち網膜皮質拡大因子から計算できる投射関数はいわゆる複素対数変換になっている。つまり、皮質においても網膜の位相は保存された形で投射されているのである。科学でこの微分はそのまま脳の

神経回路の横方向の結合に反映されているはずである。したがってこのような観点に立てば、脳の充填過程における神経回路の結合が予測できるのである。一方、このようななめらか拘束だけを使えば私たちの知覚はすべてなめらかな面しか見えない。しかし、私たちははっきりと面の不連続を知覚することができる。そのために計算理論では拘束条件の適応と言うことを考える。Constraint adaptationである。拘束条件適応をうまくするために不連続を明示するプロセスが脳の中に存在すると予測される。それが線過程である。私たちの脳では線過程と充填過程の強い相互作用によって、面の形状や奥行きが復元されていると考えられる。これらの計算が脳のどの部位でどのようなハードウェアによってなされているかについて考察を行う。

次にモジュールの統合過程について考察を行う。視覚の初期過程の特徴にモジュール性などが挙げられる。我々は多くの手がかりを別個に計算して、網膜像から面の属性を推測しているらしい。ではこれらの統合がどのようになされて私たちに単一の知覚が生まれてくるのであろうか。ここでは両眼立体視とそれ以外のさまざまな単眼奥行き視の手がかりがどのように相互作用するかを心理物理学的データを要約し、そこから推測できる脳の情報統合の計算理論について紹介する。また、これらの統合が脳のどのようなハードウェアによって行われているのかについても推測を行う。