

# ハイパーカラム構造の錯視現象における役割

7N-7

黒木啓之 坂倉守

法政大学工学部

## 1. はじめに

生体の脳の大脳皮質の第一次視覚野では、網膜の局所的な部分(受容野)に入力された像のエッジとその方向性を検出する等の低次の特徴抽出が行われる。その構造を図1に示す。太線の部分はハイパーカラムと呼ばれ、同方向のエッジを認識する細胞が集合し、柱(カラム)状を形成する。さらに、類似した方向のエッジを認識するカラムが隣接して存在するという特異な構造を持つ。

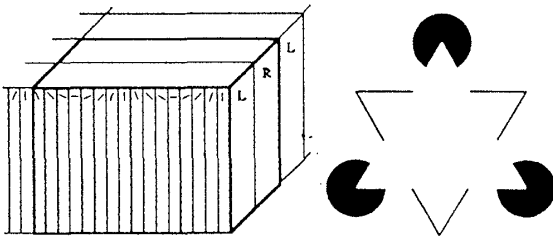


図1: ハイパーカラム構造

図2: カニッツァの三角形

このハイパーカラム構造をモデル化し、生体の脳と類似させ、単にエッジ検出の機能しか持たないもの考えると、通常生体が無意識に行う錯視現象におけるエッジ検出ができない。その例として図2の“カニッツァの三角形”が挙げられる。これは、客観的に見れば3つの黒い扇型と3つの角で構成されているが、実際(主観的)には3つの黒い円と直線で構成される三角形の上に白い三角形が存在するように知覚されてしまう。この白い三角形を構成する輪郭を心理学では“主観的輪郭”と呼ぶ<sup>[1]</sup>。そこで本研究では、この“主観的輪郭”が認識できるハイパーカラム構造神経回路網モデルを構築し、その錯視現象における役割を考える。またこのモデルより、

“カニッツァの三角形”の“主観的輪郭”が認識可能となる。本稿ではそのモデルの概要を述べる。

## 2. モデルの構成

まず初めに、後に示す網膜-ハイパーカラム構造モデルの構成要素となる受容野-ハイパーカラムモデルを構築する。このモデルの構造を図3に示す。以下、モデルは全てボルツマンマシンで構築する。この図において、上は入力層で網膜の受容野に対応し、下は出力層(であるが、学習時出力値を与えないので隠れ層)で1つのハイパーカラムに対応する。また、出力層において水平方向にはそれぞれ12種類の異なる最適方向を認識する細胞が並び、垂直方向にはそれぞれ同方向であるが入力された位置が異なるエッジを認識する細胞が並ぶ。

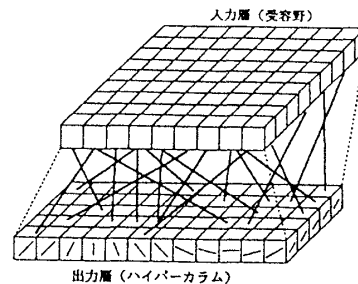


図3: 受容野-ハイパーカラムモデル

このモデルを構築する際、“類似した方向のエッジを認識するカラムが隣接して存在する”構造(出力層の水平方向の細胞群)は、学習により構築する。この時、出力層において隣接する各細胞間に他の結合に比べより大きな結合を施し、ある細胞が発火すると隣接した細胞も発火する構造とする。

この受容野-ハイパーカラムモデルを用いて網膜-ハイパーカラム構造モデルを構築する。それを図4に示す。このモデルは図3を25個用いて構成されているが、入力層は実際の生体の受容野の重複と全ての位置ずれを含むエッジを処理できるように、入力層の受容野をずらせて重ねてある。

A Hypercolumn Structure Covering Over Illusion  
Takashi KUROKI Mamoru SAKAKURA  
Hosei University  
3-7-2 Kajino-cho, Koganei, Tokyo 184, Japan

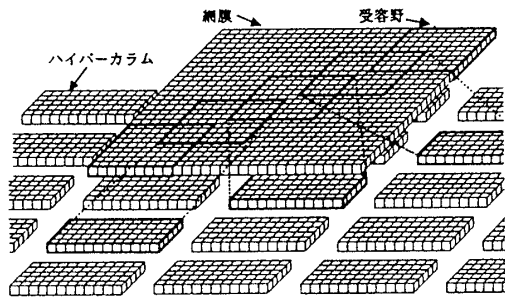


図4：網膜-ハイパーカラム構造モデル

さらに，“カニツァの三角形”における“主観的輪郭”によるエッジ検出は，視野内において同一直線上にあるが分断されている2つの（複数の）線分を1つの直線として認識することのできる結合がハイパーカラム間に必要になる。そこで，以下のように各ハイパーカラム間相互に結合を施す。この時，細胞の数が多いため学習を用いないが，ボルツマンマシンにおける各パターンの出現確率を支配しているエネルギー関数を乱さないように構築するため問題はない。まず同一直線上のエッジであり，しかもそのエッジが隣接しているものを認識する細胞間に小さな正の結合荷重を施す。これは，あまり遠くの細胞には結合はしていないことを意味する。また，各ハイパーカラム内は，その構造上隣接する3個の細胞が常時発火するため，この両端の2つの細胞からも，上で結合を施した細胞に，その値とは幾らか小さな値の結合荷重を施す（これはボルツマンマシンの学習の理論により，相互の細胞が発火していると，その結合が大きくなることから考慮）。さらに，この発火した両端の2個の細胞に結合している小さな正の結合荷重により，余計な細胞が発火する恐れがある。そこで，これら発火するとともに上記のいずれの結合もなされていない細胞と，発火する恐れのある細胞間に負の結合荷重を施す（図5参照）。

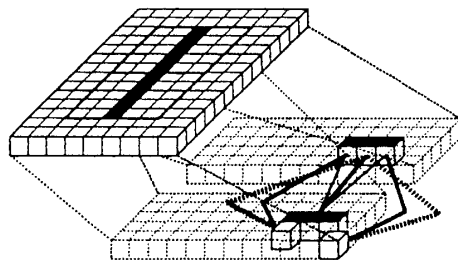


図5：ハイパーカラム間の結合状態

### 3. シミュレーション

構築したボルツマンマシンによる神経回路網モデルを用いて計算機シミュレーションを行った。その例を図6に示す。（a）は入力したカニツァの三角形に対応する不完全な三角形である。（b）はボルツマンマシンの平衡状態において，ある方向の直線の一部として発火した出力細胞に対応する入力層細胞のパターンの発火確率を，正方形の大きさで表示したのものである。所望のとおり，入力した不完全な三角形の欠落部分が補間され，完全な三角形が他の直線パターンより大きな確率で出現されている。

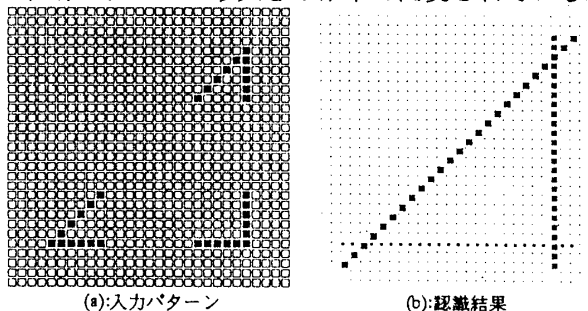


図6：シミュレーション例

### 4. 結論，検討

今回，ボルツマンマシンを用いて網膜-ハイパーカラム構造神経回路モデルを構築した。その際，ハイパーカラム間相互の結合状態のみを特徴づけて構築した。この結合が錯視現象における役割を担い，カニツァの三角形に代表される“主観的輪郭”によるエッジの検出が可能となり，一部ではあるがハイパーカラム構造において錯視現象の知覚が実現できた。

だが，図7に示すように，全く視野内の直線等をキーパターンとせず，“主観的輪郭”が知覚される例も多々ある。今後これら“主観的輪郭”が認識できるモデルを考慮する。

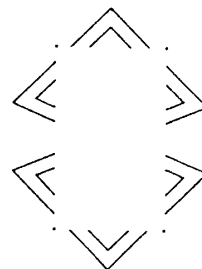


図7：認識できない例

### 参考文献

[1] カニツァ，G.（野口薫監訳）：視覚の文法，p.284，サイエンス社，東京（1985）。