

研究種目：若手研究 (B)  
 研究期間：2007～2009  
 課題番号：19700250  
 研究課題名 (和文) 図地分離を中心とした形態視の情報処理のメカニズムの研究  
 研究課題名 (英文) A study on the mechanism of visual information processing in form channel laying the basis on figure-ground separation  
 研究代表者  
 菊池 眞之 (KIKUCHI MASAYUKI)  
 東京工科大学・コンピュータサイエンス学部・講師  
 研究者番号：20291437

## 研究成果の概要 (和文)：

眼に映る像より、空間的に手前に位置する領域と、その背後に広がる領域とを解釈する過程である図地分離は視覚情報処理の中核に位置づけられると考えられている。本研究では図地分離を中心とした形態視の情報処理機構を解明すべく心理実験ならびにモデル研究に取り組んだ。図地分離と輪郭統合や可視・遮蔽輪郭の位置知覚、パターン認識等の様々な視覚機能との間の関係を見出した。また、モデルを自動生成する枠組みを考案した。

## 研究成果の概要 (英文)：

It is generally accepted that the process of figure/ground separation, which distinguishes spatially frontal regions and backward regions spreading behind the frontal regions in 3D space from the 2D retinal image, can be regarded as centered on the visual information processing. This study performed some psychophysical experiments and modeling researches aiming to reveal the mechanism of information processing of form channel laying the basis on the figure/ground separation. We found the relations between figure/ground separation and some visual functions such as contour integration, perceptual position of visible/invisible contour, and pattern recognition. In addition, we investigated the method generating models of the form channel automatically.

## 交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2007 年度	1,800,000	0	1,800,000
2008 年度	800,000	240,000	1,040,000
2009 年度	700,000	210,000	910,000
年度			
年度			
総計	3,300,000	450,000	3,750,000

研究分野：総合領域

科研費の分科・細目：情報学・認知科学

キーワード：脳・神経，モデル化，実験系心理学，図地分離，形態視

## 1. 研究開始当初の背景

図地分離は視覚情報処理の基盤に位置付けられる重要なプロセスであることが示されていた。その図地分離自体は複数のゲシュタルト要因の統合により成立すると古くか

ら考えられてきている。図地分離の情報処理原理を説明するモデルとしては、複数のゲシュタルト要因分析ネットワーク同士を統合したモデル等、様々なモデルが提案されている。他の視覚機能との相互作用も考慮すると、

図地分離に関係する一連のネットワークは大規模かつ複雑になると考えられ、それに対する適切な情報処理原理の解明は困難をきたすことが予見された。

## 2. 研究の目的

上述のような複雑かつ大規模な図地分離を中心とした視覚情報処理のメカニズムを解明することを目的とした。図地分離は運動視とも関係があることを見出していたが、範囲を広げすぎると扱いが難しくなるため、形態視の処理系に焦点を宛て解明を目指すこととした。さらには、研究者の主観によらない自動的なモデル生成法の確立により、図地知覚分野のみならず、視覚科学、さらには脳科学全体の発展のスピードを速めることに貢献することも目指すこととした。

## 3. 研究の方法

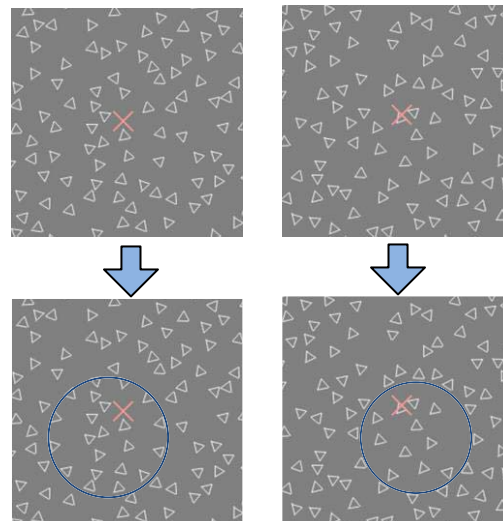
図地分離にまつわる形態視関連の様々な心理物理実験を実施し、情報処理メカニズムを明らかにするためのヒントとなる知見を獲得する。具体的には、形状認知の源となる輪郭知覚と図地分離の関係、パターン認識と図地分離との関係に焦点を当てた各種実験を遂行する。測定方法としては、恒常法や階段法を用いる。一部の実験では図地関係を液晶シャッター眼鏡によって両眼視差を与えることで規定する。

上記により集められた知見をコンシステントに説明する情報処理原理を解き明かすべく、神経回路モデルを構成する。従来のモデリングアプローチでは研究者の知識と経験に基づく勘やひらめきによりモデルが発想・構成されるという面があったが、脳は研究者の発想の限界を超えた方法を採用している可能性もあり得る。そこで本研究では既知の知見を制約条件として与えつつ進化的計算を用い神経回路モデル群を自動生成させ、評価値の高いモデルを解析して上昇処理の本質を把握する、という方法を確立することを目指した。遺伝的アルゴリズムによる同時多点探索を行うが、各点すなわち個体は1つの神経回路モデルとなる。これは多量の計算量となるため、並列計算にて実現することが望まれる。PC クラスタ、GPGPU の2つの角度から実現方法について模索した。

## 4. 研究成果

図地分離と輪郭統合との関係に関し、図地分離の結果が輪郭統合に影響を与える場合が存在することを研究代表者らによる先行研究で見出していた(Kikuchi & Oguni, 2005)が、本研究では図としての性質を有するローカルなパターン（実験では正三角形）群を規則的に配置することで構成される滑らかかつ長い輪郭がグローバルな図を構築する場

合に、輪郭に対するローカルな図の方向とグローバルな図の方向とが一致した場合に高い輪郭検出率となり、ローカル・グローバル両図方向が相反した場合には輪郭検出率が低くなることを心理物理実験によって見出した。図地の脳内表現である border-ownership coding（輪郭に対する図の存在側に関する選択性を有する細胞によって図地関係をエンコードすること）の新たに発見された特性の1つであり、図地情報処理過程を解き明かすヒントとなる。



大域的・局所的 border-ownership 信号の相互作用の現象を捉えた心理実験刺激。右図：大域的・局所的 ownership 極性が一致する場合。左図：両 ownership 極性が相反する場合。上図：呈示パターン（中心付近）。下図：刺激内の検出すべき輪郭位置にマーキングした図。左上に含まれる大域的輪郭は右上のものに比べ検出が容易である。

また、輪郭に付与された図方向についての属性が、輪郭の知覚位置に影響を与えることについても本研究で見出した。まず、古典的錯視パターンである Müller-Lyer 錯視の効果の起源が輪郭に対する図方向、すなわち border-ownership にあるものとの仮説を立て、図形残効を利用して解明に挑んだ。平行に配置される1対の線分が、それぞれ図の一部を構成するようなパターンを長時間呈示する。その際、輪郭ペアに対し図は外側あるいは内側に存在するよう配置する。これを第1刺激として一定時間呈示し、その後、図を取り除いて本来の線分ペアのみを第2刺激として呈示とする。この際、比較刺激として逆向きの図方向を与えていた別の輪郭ペアも第1, 2刺激ともに呈示し、それらが主観的に等距離となるような比較刺激の輪郭間距離を恒常法によって求めた。その結果、第1刺激にて ownership を与えていた側と反対側に輪郭位置が変位して知覚されることが明

らかになった。これは第 1 刺激において border-ownership 細胞が疲労したため、結局、ownership の側への輪郭位置のシフトの現象が存在することになる。実験に用いた刺激が Müller-Lyer 錯視を単純化したものとみなせ、border-ownership がこの錯視現象の源であると考えることができる。ただし、第 1 刺激の図形が第 2 刺激にて呈示する線分群と一致していなくても同様な傾向が生じることも見出しており、これが border-ownership 細胞の疲労ではなく図形位置のエンコード細胞の疲労によるものなのか、それとも第 1 刺激固視中の固視微動性眼球運動等の要因によるもので、現象の源はやはり border-ownership 細胞の図方向極性によるものなのかを見極めるには今後の更なる検証が必要である。

一方、特殊な錯視の起源の解明ではなく、一般図形の輪郭の知覚的位置について調べべく、図形残効を用いずに ownership 極性の相反する 2 つの輪郭を主観的に同一直線状配置となるよう被験者に階段法で調整してもらう心理物理実験も実施した。図としての知覚の起源が両眼視差である場合や、2 次元の閉合性等のゲシュタルト要因である場合である場合のいずれも、図方向への輪郭知覚位置のシフトが見出された。したがって一般性のある性質として考えることができる。

輪郭位置に関しては、一部が遮蔽されたパターンの輪郭の知覚であるアモーダル補完に関しても調べた。可視・不可視輪郭の境界である T-junction より、輪郭可視部を延長したような「良い連続の要因」に基づく解釈と、図形の全体的規則性を踏まえた場合の良い連続の要因に基づく場合とは異なる解釈のいずれが優勢になるのかを、注意のスポットライトの空間的範囲を文字判別課題によって制御することで調べた。その結果、注意の空間的範囲次第で補完される輪郭が変化することが示唆された。

輪郭知覚に関連し、ガボール・パッチのコントラスト検出閾は共線的に配置されるガボール・パッチにより影響を受けることが報告されている (Polat & Sagi, 1994)。本研究ではこれら共線的に配置されるガボール・パッチがターゲットのガボール・パッチを含まないような図の一部となる場合でも、この現象が観測されるかを心理物理実験により調べた。その結果、図を構成する刺激配置の場合と、共線的配置のみの場合とで違いが見られないことが明らかになった。ただし、被験者数が十分に多いとはいえないこと、またガボールパッチによって描画される図形に方位が不連続に変化する頂点が含まれ、それが輪郭の saliency を低めている可能性も考えられるので、今後は方位が空間的に滑らかに変化するパターンを用いた検証を行う必要

がある。

パターン認識の元となる物体形状のエンコーディング様式に関し、視覚系は輪郭の特徴そのものを符号化するのではなく、輪郭を中心軸変換して得られるスケルトンをエンコードしていることを示唆する心理学・生理学的知見が報告されている。しかし、スケルトンとしてエンコードすることの計算論的メリットについては自明ではない。そこで本研究では視覚系のパターン認識のニューラルネットワークモデルとして代表的存在である Neocognitron を用い、物体の輪郭自体を学習・認識させる場合と、スケルトンを学習・認識させる場合との認識率の違いを、パターンに様々な変形を施しつつ調べた。その結果、ノイズへの耐性はスケルトンが勝ったが、他の幾何的変形に対してはパターン輪郭自体を用いたほうが認識率が高かった。この実験結果からはスケルトンの有用性が自明ではなく、引き続き検証を重ねる必要性もある一方で、視覚系でスケルトンがエンコードされていない可能性についても併せて吟味を進めてゆく必要がある。

神経回路モデルの自動生成については、PC クラスタおよび GPGPU の 2 つのタイプに関して検討を進めた。前者についてはクアドコア CPU をデュアル搭載したマシンを 5 台相互接続し、MPI による並列計算のためのシステムを構成した。一方、後者についてはクアドコア CPU に 480 個の Streaming Processor を搭載したビデオカードを接続した PC システムにて、CUDA 言語を用いた図地分離ニューラルネットワークの並列計算のシミュレーションに成功した。今後はこれまでに築いた基盤をもとに、更なる展開を進めてゆくことが必要である。

## 5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計 18 件)

- ① 小澤里奈, 菊池眞之, “物体輪郭とスケルトンの認識率及びエンコーディング・コストの比較”, 映像情報メディア学会技術報告, 査読無し, HI2010-50, vol. 34, no. 11, pp. 5-8, (2010)
- ② 吉峰万尋, 菊池眞之, “図形残効による Müller-Lyer 錯視現象と図地分化の関係の解明 —位置エンコード細胞の疲労による影響の可能性—”, 日本神経回路学会第 19 回全国大会講演論文集, 査読有り, pp. 130-131 (2009)
- ③ M. Kikuchi and T. Saito, “Psychophysical evidence for the interaction between local and global

border-ownership signals on a closed contour”, SCIS&ISIS2008, 査読有り, pp.154-159 (2008)

- ④ M. Kikuchi and K. Masuda, “Effect of figural context on contrast-detection threshold of collinear Gabor patches’ ’, *ECVP2007 (European Conference on Visual Perception)*, 査読有り, in *Perception*, vol. 36 Supplement, p. 77 (2007)

[学会発表] (計2件)

- ① 菊池真之, 庵下摩耶, 吉峰万尋, “輪郭の知覚位置と border-ownership 極性の関係”, 映像情報メディア学会ヒューマンインフォメーション研究会, HI2010-51, 東京 (2010. 3. 1)
- ② 菊池真之, “視覚認知のメカニズムー図地分離とパターン認識ー”, 慶應義塾大学大学院政策・メディア研究科 認知・脳科学論 招待講演, 神奈川 (2007. 6. 15)

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

菊池 真之 (KIKUCHI MASAYUKI)  
東京工科大学・コンピュータサイエンス学部・講師  
研究者番号 : 20291437

### (2) 研究分担者

### (3) 連携研究者