社団法人　電子情報通信学会
THE INSTITUTE OF ELECTRONICS,
INFORMATION AND COMMUNICATION ENGINEERS

信学技報
TECHNICAL REPORT OF IEICE.

図地反転知覚における視覚的注意のモデル

大泉　洋路†　　佐藤　俊治††　　三宅　章吾††　　阿曽　弘具†

† 東北大学大学院工学研究科電気・通信工学専攻 〒 980-8579 宮城県仙台市青葉区荒巻字青葉 05
†† 東北大学大学院工学研究科応用物理学専攻 〒 980-8579 宮城県仙台市青葉区荒巻字青葉 04
E-mail: yoji@aso.ecei.tohoku.ac.jp

あらまし　多義図形に対する図地反転知覚は，観察者の注意位置や範囲に依存して図地が反転し，この注意もまた，提示される図形に依存して変化する．本稿では，図地知覚と注意の動的な情報処理過程を説明する神経回路モデルを提案する．提案モデルは，(i) 提示された図形中の輪郭情報から領域間の図地関係を決定する機構，及び (ii) 視覚的注意の影響を (i) に与える機構から構成される．これら 2 つの機構は，図地知覚および注意の状態に応じて相互に影響し合う．数値実験により，図地反転図形を入力とした場合，提案モデルが図地反転現象を再現できること，また様々な条件下で我々の知覚と定性的に一致することを確認した．

キーワード　図地反転知覚，視覚的注意，border-ownership，凸性

Visual Attention Model in Figure-Ground Reversal Perception

Yoji OHIZUMI†, Shunji SATOH††, Shogo MIYAKE††, and Hirotomo ASO†

† Dept. of Electrical and Communications Engineering, Graduate School of Engineering, Tohoku University
05 Aoba, Aramaki, Aoba-ku, Sendai, 980-8579, Japan
†† Dept. of Applied Physics, Graduate School of Engineering, Tohoku University
04 Aoba, Aramaki, Aoba-ku, Sendai, 980-8579, Japan
E-mail: yoji@aso.ecei.tohoku.ac.jp

Abstract　In figure-ground reversal perception for ambiguous figures, figure-ground relationship reverses depending on the position and the range of our attention. Our attention also changes depending on figural features. We propose a neural network model that explains a dynamic process concerning figure-ground perception and visual attention. Our model consists of two mechanisms: (i) one determines figure-ground relationship between regions by use of contour information, and (ii) another gives influence of visual attention on (i). These two mechanisms affect each other according to the states of figure-ground perception and visual attention. Numeral experiments show that the proposed model realizes figure-ground reversal phenomena and the behavior of the model is qualitatively similar to human perception.

Key words　figure-ground reversal perception, visual attention, border-ownership, convexity

1. ま え が き

我々が多義図形を観察する場合，領域間の図地関係が反転して知覚される．例えば，図 1(a) に示した Rubin の杯においては，黒い背景上の白い杯と，白い背景上の向かい合った顔が交互に反転して知覚される．この図地反転現象に対する従来の考えは，図形に対して 2 つ以上の解釈が存在し，高次の認識系においてその 2 つの解釈に対する知覚が競合するために生じるというものであった．また，そのような観点から，図形の解釈を表現するパターンを連想回路網に埋め込み，確率的に振る舞わせることで，図地反転現象の動的な知覚過程を説明するモデルなどが提案された [1] [2].

しかし，近年，脳内の情報処理機構の解明が進むにつれ，図地反転には低次及び高次の数多くの領域が関与していることが明らかになり [3]，図地反転現象に対する解釈も数多く提案された．Nakayama らは幾何学的な図形においても図地の反転が生じることから，図地反転は低次の領域における自動駆動的な機構を反映したものであると述べた [4]．また，図地反転は脳の高次領域が低次の領域に対して能動的に働きかけることで生じる現象であるという説 [5]，多義図形の知覚が観察者の意図に強く依存することから，我々の意識に関る問題であるという説 [6] など，様々な仮説が提唱されている．このように，図地反転現

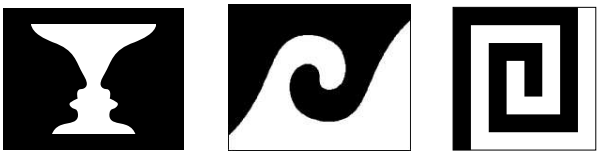


図 1　図地反転を引き起こす図形

象を説明する統一的な理論は未だ提案されておらず，現在は数多くの要因が関連することで生じる現象として捉えられている．

本研究では，数ある要因の一つとして視覚的注意の働きに着目する．我々が図 1(a)∼(c) に示す図地反転図形を観察する場合，まずある領域が図として知覚されるが，注意を向ける先を変えることで，自らが望む領域を図として知覚することができる．逆に，注意を固定させて一つの領域を図として知覚し続けようとしても，図地の反転は生じ，それに伴い注意が新たな図の領域に移動していることに気付く．このように注意と図地反転とは密接に関っている．しかし，視覚的注意と関連付けて図地反転現象を説明するモデルは，これまでほとんど提案されていない．

注意と図地反転との関係を扱った数少ないモデルとしては安河内らにより提案されたモデルが挙げられる [7]．このモデルでは，注意の中心が位置する領域が図として知覚されるという仮定の下で，図地反転知覚における動的な過程を説明している．実際，安河内らのモデルにより，図 1(c) に示す図形において図地反転現象が再現される．しかし，モデルの根拠となる仮定が強過ぎるため，図地反転の生じない刺激において，地の領域に注意が向けられた場合でもその領域を図として出力してしまう．また，このモデルは注意と知覚の関係を単純化して表現した概念的なモデルであり，視覚系のモデルとして満足できるものではない．

そこで，本稿では，より生理学的な観点から図地分離を行う機構を構築し，その機構に対し視覚的注意の機能を導入することで，図地知覚と注意の相互関係を表現する神経回路モデルを提案する．提案するモデルは提示される図形の輪郭情報から図地関係を決定する低次の処理を想定した図地分離機構と，高次における注意の性質や機能を表現した注意の機構の 2 つの機構から成る．そして，2 つの機構が相互に影響し合うことで図地反転を再現するモデルとなっている．

本稿の構成は以下の通りである．**2.** では，本研究における図地反転現象に対する基本的な考え方と提案モデルを構築する上での方針を述べる．**3.** では，本稿で提案するモデルの詳細について述べ，**4.** で数値実験によりモデルの妥当性を検証する．**5.** はまとめである．

2.　本研究のねらい

2.1　本研究における図地反転現象の解釈

注意の脳内機序を調査するこれまでの研究により，注意が初期視覚野の細胞の反応を修飾する機能を持つことが知られている．Motter は先行手掛かり法を用いた実験により，V1，V2，V4 野の多くの細胞で，その受容野に対応する位置にあらかじめ注意を払っている場合，そこに提示された視覚刺激に対してより大きな応答が見られることを報告した [8]．また，Moran らは V4 野の細胞について調査し，目標刺激以外の刺激に注意を向けると，目標刺激に受容野を持つ細胞の反応が微弱となることを報告した [9]．

本稿では，注意が細胞へ及ぼす影響が，図地反転現象を引き起こす一つの要因であると考える．細胞の反応の強調 (抑制) は，その細胞が選択性を持つ視覚特徴が強調 (抑制) されることを意味する．初期視覚野で抽出された特徴情報は，より高次の領域で刺激の大域的な画像理解を行うために利用され，図地知覚においては注意が向けられ強調された特徴情報が，刺激全体の図地関係を決定する際に支配的に作用する．また，図地の決定には輪郭の凸性などの物体形状に関る視覚特徴が強く影響することが知られているが [10]，図 1(b) 及び (c) に示す図地反転図形においては，異なる領域を図として知覚させる特徴 (例えば凸性) が近接して存在している．そのため，注意が移動を繰り返すことにより、図地の反転が生じると推察される．提案するモデルは，このような図地反転のメカニズムを表現するように構築されている．

2.2　図と地の分化

提案するモデルは，領域間の図地関係を決定する図地分離機構と，それに対し影響を及ぼす注意機構の 2 つの機構から成る．本研究では図地分離機構を構築するにあたり，border-ownership の概念を採用する．border-ownership とは，図と地の境界線が図となる領域にのみ所有されるという領域の輪郭所有性を表すものである．border-ownership の決定は輪郭上における両側の領域の図地関係を決定し，図地分離と等価な問題として捉えられる．

Zhou らは単純な図形を刺激とした生理実験により，サルの V1，V2，V4 野に border-ownership の決定を担う細胞が存在することを報告した [11]．この知見を受け，菊池らは初期視覚野での処理を想定した border-ownership の表現モデルを提案した [12]．このモデルには，輪郭の曲率の識別や L-Junction の検出を行う機構が備わっており，それらの処理により得られる輪郭の凸性の情報を用いて，border-ownership が決定される．しかし，菊池らのモデルは図地分離の処理については考察しておらず，図地反転について議論する場合には，各領域が手前または奥に知覚されるといった領域間の相対的奥行きを表現する必要がある．そこで，提案モデルでは，菊池らのモデルにより計算される border-ownership の情報を用いて，領域間の相対的な奥行きを決定する機構として図地分離機構を構築する．

2.3　視覚的注意のモデル

提案モデルにおける注意機構では視野内のある領域に向けられる注意の状態を表現する．注意の空間的な性質や機能を表現するモデルはこれまで数多く提案されており，その代表的なものとして，注意が入力情報に対するフィルターとして働くと考える「フィルターモデル」[13]，大きさ一定の領域が視野内を移動するという「スポットライトモデル」[14]，注意の範囲や密度が動的に変化すると考える「ズームレンズモデル」[15]，注意の分布はある点をピークとしてそこから離れるほど低くなる勾配

を持ち，視覚処理の負荷に応じて形が変化するという「勾配モデル」[16] などが挙げられる．これらのモデルは，いずれも注意の一側面を捉えたものであり，提案モデルにおける注意機構もこれらのモデルで表現される注意の性質を持つ．提案モデルにおける注意の表現については後述する．

2.4 注意の移動特性

図地反転を注意の観点から議論するには，注意が空間上の各位置を次々と移動するメカニズムが必要となる．注意の移動特性に関する研究は，主に視覚心理学の分野において行われている．図地反転に関連する性質としては，復帰抑制と図領域への自発的移動が挙げられる．

復帰抑制とは，我々が注意を固定した位置に留めることができず，注意は我々の意図とは無関係に次々と移動を繰り返す現象を表したもので，Posner らは，すでに注意した空間位置に被験者が再び注意することを防ぎ，新奇な位置へ注意を向けやすくするメカニズムが脳内に存在すると述べた [17]．この復帰抑制の効果により，注意は絶えず移動を繰り返すことになる．

また，図の領域は注意の対象として選択されやすいことが知られている．Driver らは心理研究により図と地を分ける境界線に対してのみ，注意を向けるようにしても図の内部領域に注意が移動してしまうことを報告している [18]．また，Miura らは注意の遠近特性について調べ，刺激が遠距離に現れる場合よりも近距離に現れる方が注意が能率的に働くことを報告した [19]．図の領域は手前に位置するように知覚されるため，Miura らの報告は注意が図を選択しやすいという知見を支持する事実であると考えられる．

これらの事実から，図地反転においては，注意は図の領域へ選択的に移動を繰り返すと考えられる．提案モデルでは，図地分離機構から得られる結果を用いることで注意を図の領域へと移動させる．また，それまでに注意の向けられた位置の履歴を保持することで復帰抑制の効果を実現する．

3. 提案モデル

3.1 モデルの概略

提案するモデルの全体図を図 2 に示す．モデルは図地分離機構と注意機構の 2 つの機構から成る．図地分離機構では輪郭の凸性の情報から領域間の図地関係が決定される．また注意機構では空間上のある領域に対して向けられる注意の状態が表現される．また，2 つの機構は相互に影響し合う．図地分離機構から注意機構に対しては図地分離の結果が伝えられ，注意機構から図地分離機構に対しては，細胞の反応を修飾する効果が与えられる．この機構間の相互作用により各機構の内部状態が時間発展し，図地反転における動的な知覚過程を表現するモデルとなっている．

3.2 輪郭の凸性による図地分離

図地分離機構においては，入力画像の輝度情報から領域間の図地関係が決定される．この機構は，菊池らにより提案された border-ownership の表現モデルに基づいて構築される．

菊池らのモデルの処理の流れを図 3 に示す．まず入力画像が与えられると，各方位成分が抽出され，その後曲率の識別及び L-Junction の検出の処理により輪郭の凸性が評価される．その後，曲率，L-Junction の情報を利用することで，彎曲する輪郭の内側の領域が輪郭を所有するように ownership が割り当てられる．これにより ownership の初期値が得られ，さらに輪郭に沿って ownership の情報を伝搬させることで，連続する輪郭で一貫した border-ownership の表現が得られることとなる．

図地分離機構は，菊池らのモデルに図地の分離を行う層を追加することで構築した．ここで，時刻 t において各位置 $\boldsymbol{n} = (x, y)$ で図地を判定する図地選択性細胞 $u^t_{\mathrm{fig}}(\boldsymbol{n})$ を定義する．この細胞は，位置 $\boldsymbol{n}$ が図となる場合には $u^t_{\mathrm{fig}}(\boldsymbol{n}) > 0$，地となる場合には $u^t_{\mathrm{fig}}(\boldsymbol{n}) = 0$ として各位置が図地のどちらに相当するかを判定する．各細胞の初期値 $u^0_{\mathrm{fig}}(\boldsymbol{n})$ は 0 とする．

$u^t_{\mathrm{fig}}(\boldsymbol{n})$ の更新は以下に示す処理により行われる．

- 位置 $\boldsymbol{n}$ を図として判定する ownership 判定細胞からは興奮性の入力，位置 $\boldsymbol{n}$ を地として判定する細胞からは抑制性の入力を受ける (図 4)．
- 近傍に位置する細胞 $u^t_{\mathrm{fig}}(\boldsymbol{n} + \boldsymbol{\nu})$ との間に拡散結合を持つ (図 4)．但し，異なる領域に属する細胞間では結合しない．これにより ownership 判定細胞からの入力が領域内部へと伝搬する．
- 各細胞は自己抑制性結合を持つ．そのため，上記の入力が無い場合には $u^t_{\mathrm{fig}}(\boldsymbol{n}) \to 0$ となる．

このような処理により彎曲する輪郭の内側の領域において図地選択性細胞が強く発火し，領域間の図地関係が決定される．また，図地分離機構へは，注意機構からの細胞の反応を修飾する効果が与えられるが，これについては後述する．

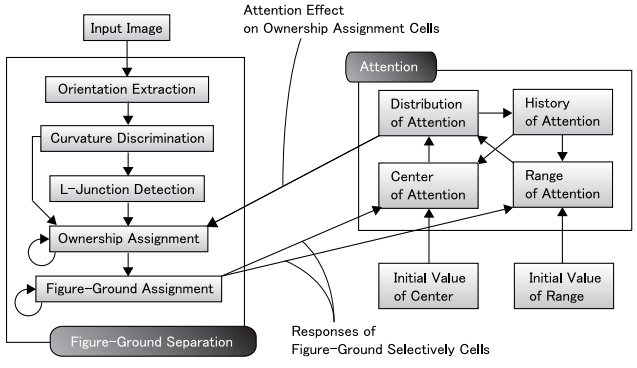


図 2 提案モデルの概要

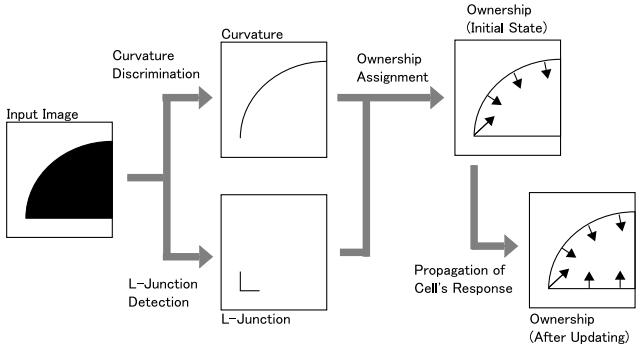


図 3 輪郭の凸性を考慮した border-ownership

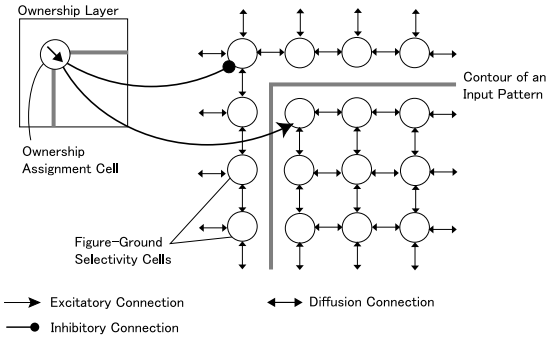


図 4　border-ownership を利用した図地分離

3.3　注意の表現

注意機構においては，注意を「焦点」,「範囲」,「分布値」,「履歴値」の 4 つの要素により表現する．

焦点は注意の向けられる領域の中心を示すもので，$\boldsymbol{n}_{\mathrm{a}}^{t} = (x_{\mathrm{a}}, y_{\mathrm{a}})$ で示される．また，範囲は注意の及ぶ領域の大きさを示すもので，σ_{a}^{t} で示される．ここで，焦点と範囲の初期値は外部入力により決定され，後述する処理により時間とともに更新される．

また，注意の分布値は各位置に向けられる注意の強さを示すもので，フィルターモデル及び勾配モデルの性質を表現するものとして定式化する．まず，勾配モデルとして，中心 $\boldsymbol{n}_{\mathrm{a}}^{t}$，分散 σ_{a}^{t} の Gauss 関数により，焦点の近傍位置には注意が強く向けられ，周辺に離れるに従い減衰する性質を取り入れる．また，フィルターモデルとしての性質は，Gauss 関数に対して一様分布を減算することで注意範囲外の細胞への抑制性の影響を表現する．これらを定式化すると次式のようになる．

$$A^{t}(\boldsymbol{n}, \boldsymbol{n}_{\mathrm{a}}^{t}, \sigma_{\mathrm{a}}^{t}) = (1+A_{\mathrm{inh}}) \exp\left(-\frac{||\boldsymbol{n}-\boldsymbol{n}_{\mathrm{a}}^{t}||}{2(\sigma_{\mathrm{a}}^{t})^{2}}\right) - A_{\mathrm{inh}} \quad (1)$$

A_{inh} は定数で $0 < A_{\mathrm{inh}} \leqq 1$ である．上式により，$||\boldsymbol{n}-\boldsymbol{n}_{\mathrm{a}}^{t}|| < \sigma_{\mathrm{a}}^{t}$ においては $0 < A^{t}(\boldsymbol{n}, \boldsymbol{n}_{\mathrm{a}}^{t}, \sigma_{\mathrm{a}}^{t}) \leqq 1$，$||\boldsymbol{n}-\boldsymbol{n}_{\mathrm{a}}^{t}|| > \sigma_{\mathrm{a}}^{t}$ においては $-A_{\mathrm{inh}} < A(\boldsymbol{n}, \boldsymbol{n}_{\mathrm{a}}^{t}, \sigma_{\mathrm{a}}^{t}) < 0$ となる．注意の分布値の様子を図 5 に示す．

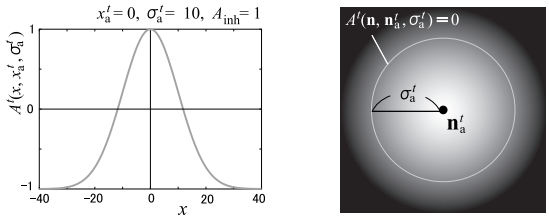
履歴値 $h^{t}(\boldsymbol{n})$ は時刻 t までに位置 $\boldsymbol{n}$ に向けられてきた注意の強さの履歴を示すもので，

$$h^{t+1}(\boldsymbol{n}) = k\left[\beta h^{t}(\boldsymbol{n}) + A^{t}(\boldsymbol{n}, \boldsymbol{n}_{\mathrm{a}}^{t}, \sigma_{\mathrm{a}}^{t})\right] \quad (2)$$

で与えられる．ここで，β は減衰定数で $0 < \beta < 1$ である．また関数 $k[\cdot]$ はステップ関数である．履歴値 $h^{t}(\boldsymbol{n})$ は，位置 $\boldsymbol{n}$ が注意の範囲内であれば分布値が正となるため増加し，注意の範囲外であれば減衰定数 β 及び負の分布値の影響により減少する．

3.4　注意の状態の更新

注意の状態の更新は，**2.4** で述べた注意の移動特性を評価する関数を用意することで行う．具体的には，次式のように評価関数 $E^{t}(\boldsymbol{n})$ が最大となる焦点と範囲を計算・更新する．同時に分布値，履歴値も更新される．



(a) 1-D　　(b) 2-D

図 5　注意の分布値

$$\frac{\Delta \boldsymbol{n}_{\mathrm{a}}}{\Delta t} = \underset{||\Delta \boldsymbol{n}|| \leqq n_{\max}}{\operatorname{argmax}} \left[E^{t}(\boldsymbol{n}_{\mathrm{a}}^{t} + \Delta \boldsymbol{n}, \sigma_{\mathrm{a}}^{t})\right] \quad (3)$$

$$\frac{\Delta \sigma_{\mathrm{a}}}{\Delta t} = \underset{|\Delta \sigma| \leqq \sigma_{\max}}{\operatorname{argmax}} \left[E^{t}(\boldsymbol{n}_{\mathrm{a}}^{t}, \sigma_{\mathrm{a}}^{t} + \Delta \sigma)\right] \quad (4)$$

ここで，$n_{\max}$，$\sigma_{\max}$ はそれぞれ焦点，範囲の最大更新量である．評価関数 $E^{t}(\boldsymbol{n}, \sigma)$ は

$$E^{t}(\boldsymbol{n}, \sigma) = E_{\mathrm{fig}}^{t}(\boldsymbol{n}, \sigma) + E_{\mathrm{hist}}^{t}(\boldsymbol{n}, \sigma) \quad (5)$$

で与えられ，2 つの評価関数 $E_{\mathrm{fig}}^{t}(\boldsymbol{n}, \sigma)$，$E_{\mathrm{hist}}^{t}(\boldsymbol{n}, \sigma)$ の線形和で表される．関数 $E_{\mathrm{fig}}^{t}(\boldsymbol{n}, \sigma)$ は注意を図となった領域へと移動させるための関数であり，

$$E_{\mathrm{fig}}^{t}(\boldsymbol{n}, \sigma) = \frac{1}{4\sigma^{2}} \sum_{||\boldsymbol{\nu}|| < \sigma} A^{t}(\boldsymbol{n}+\boldsymbol{\nu}, \boldsymbol{n}, \sigma) u_{\mathrm{fig}}^{t}(\boldsymbol{n}+\boldsymbol{\nu}) \quad (6)$$

で定義される．図地選択性細胞の発火強度と注意の分布値との畳み込みにより，図地選択性細胞が強く発火している領域に注意が向けられるほど $E_{\mathrm{fig}}(\boldsymbol{n}, \sigma)$ は大きな値を持つこととなる．

また，関数 $E_{\mathrm{hist}}^{t}(\boldsymbol{n}, \sigma)$ は復帰抑制効果により注意が絶えず移動する仕組みを実現するもので，

$$E_{\mathrm{hist}}^{t}(\boldsymbol{n}, \sigma) = -\frac{1}{4\sigma^{2}} \sum_{||\boldsymbol{\nu}|| < \sigma} h^{t}(\boldsymbol{n}+\boldsymbol{\nu}) \quad (7)$$

で定義される．

これら 2 つの関数から成る $E^{t}(\boldsymbol{n}, \sigma)$ を最大とするように焦点，範囲が更新されることで，注意は図地選択性細胞がより強く発火している領域，かつ履歴値のより小さい領域を選択するように更新される．

3.5　注意の細胞への影響

2.1 で述べたように注意は初期視覚野の細胞の反応を修飾する機能を持つ．提案モデルにおいては ownership 判定細胞までの全ての細胞が初期視覚野に存在することを想定しているが，各細胞の反応は ownership 判定細胞に集約されているため，ownership 判定細胞に対してのみ注意の影響を与える．また，その影響は，各位置の分布値の大きさに応じて ownership 判定細胞の発火強度を強調・抑制する仕組みとして実現される．具体的には ownership 判定細胞の反応更新後，次式で示す処理を行うことで，各細胞へ注意の影響を与える．

$$u_{\mathrm{own}}^{t+1}(\psi, \boldsymbol{n}) = \left(1 + A(\boldsymbol{n}, \boldsymbol{n}_{\mathrm{a}}^{t}, \sigma_{\mathrm{a}}^{t})\right) \cdot u_{\mathrm{own}}^{t}(\psi, \boldsymbol{n}) \quad (8)$$

ここで，$u_{\mathrm{own}}^{t}(\psi, \boldsymbol{n})$ は，位置 $\boldsymbol{n}$ の輪郭が ψ 方向の領域に所有される時に反応する ownership 判定細胞の発火強度であ

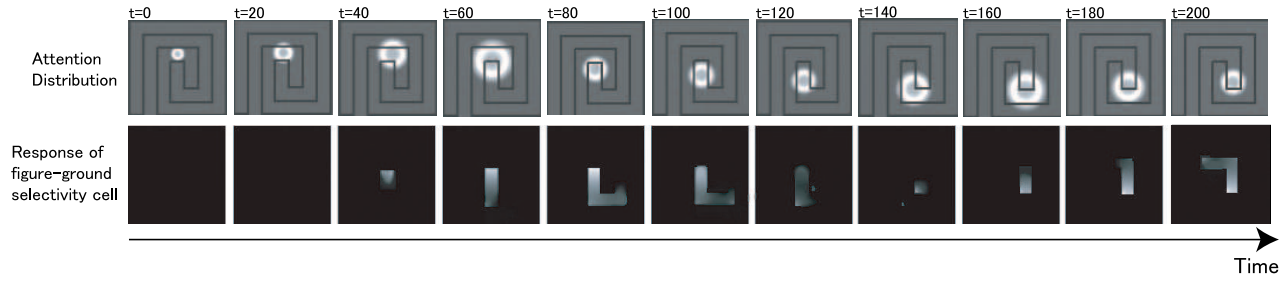


図 6　実験結果 1 ：モデルの時間発展

る．注意範囲内では $0 < A^t(\boldsymbol{n}, \boldsymbol{n}_{\mathrm{a}}^t, \sigma_{\mathrm{a}}^t) \leq 1$，範囲外では $-1 < A^t(\boldsymbol{n}, \boldsymbol{n}_{\mathrm{a}}^t, \sigma_{\mathrm{a}}^t) < 0$ となるため，注意の範囲内の位置に受容野を持つ細胞の反応は強調され，範囲外の位置に受容野を持つ細胞の反応は抑制される．

3.6　モデルの全体的な動作

まず，モデルへの入力として，図地分離機構に図地反転図形を含む画像が与えられる．注意機構へは焦点及び範囲の初期値が与えられ，図地分離機構においては輪郭の凸性の情報から ownership の初期値が計算される．その後，図地分離機構では判定された ownership の情報から各領域内部の図地関係が決定される．注意機構においては図地分離の結果を用いて注意の状態の更新が行われる．また，注意機構は図地分離機構の ownership 判定細胞に対して反応の強調 · 抑制の効果を与え，それが図地選択性細胞へ伝搬されることで図地分離の結果が変化する．

4.　数 値 実 験

提案モデルの妥当性を評価するために数値実験を行う．パラメータは次の通りである; $\beta = 0.95$，$n_{\max} = 3$，$\sigma_{\max} = 3$，$A_{\mathrm{inh}} = 1$.

4.1　モデルの時間発展

図 1(c) に示す画像を入力とした場合の分布値，図地選択性細胞の発火強度の時間変化の様子を図 6 に示す．画像サイズは 512×512 pixel，焦点と範囲の初期値は $\boldsymbol{n}_{\mathrm{a}}^0 = (96, 256)$，$\sigma_{\mathrm{a}}^0 = 10$ とした．$t = 0 \sim 20$ においては，全ての ownership 判定細胞の反応が抑制されているため図地の分離は行われていない．また注意範囲内での平均履歴値を減少するために注意の及ぶ範囲が拡大していく．$t = 40$ において注意が一つの L-Junction に及び，その位置の ownership 判定細胞の反応が強調される．ownership 判定細胞の反応は図地選択性細胞へと伝えられ，L-Junction の内側の領域が図として知覚され始める．その後注意は図となった領域へと移動し，その領域内で移動を続ける．そして $t = 140$ において注意が別の L-Junction に及び，これまでと異なる領域が図として知覚され始める．これが繰り返されることで各領域の図地関係が交互に反転する．

4.2　焦点の違いによるモデルの動作

焦点の位置の違いで図となる領域が変化することを確認する．図 7 左に入力画像を示す．同図右は各位置に焦点を固定させてモデルを動作させた時，A または B のどちらの領域が図として出力されたかを表している．この結果より，焦点近傍の凸な輪

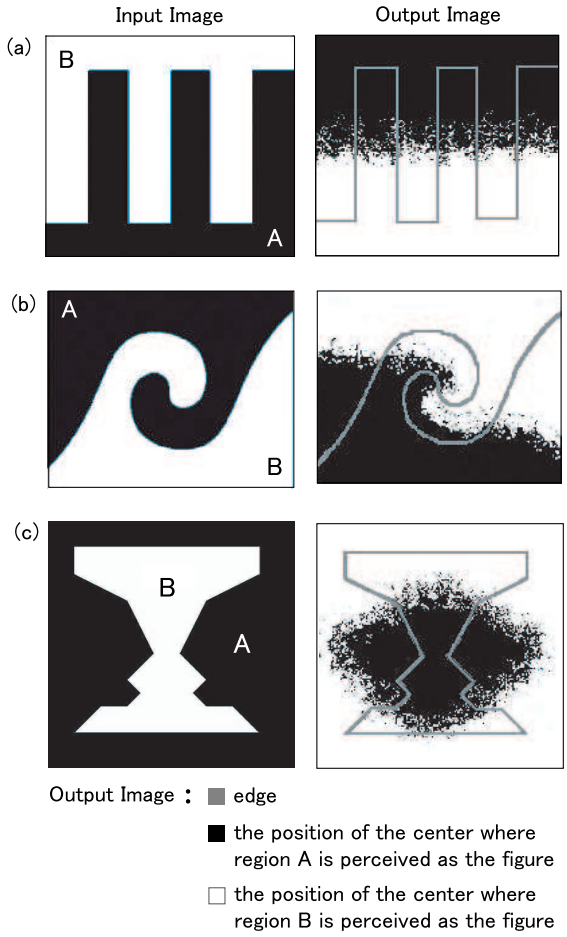


図 7　実験結果 2 ：焦点固定の条件下での図地分離

郭により図として規定される領域が画像全体における図の領域として出力されていることがわかる．また，筆者らが各出力画像において領域 A(領域 B) を出力した位置に注意を向けると領域 A(領域 B) が知覚されることが確認され，モデルの動作が定性的に一致することを確認した．また，図 7(c) は Rubin の杯を単純化した画像であるが，我々は画像中央部に注意を向けると向かい合う顔を知覚し，画像上部または下部に注意を向けると杯を図として知覚する．モデルにおける結果も同様の知覚現象を表しており，Rubin の杯における図地反転が，高次の認識系のみでなく，より低次における輪郭特徴の抽出機構も相互に関って生じる．

4.3　図形形状の変化によるモデルの動作

図 1(c) に示す図形の形状を図 8 左に示すように変化させた

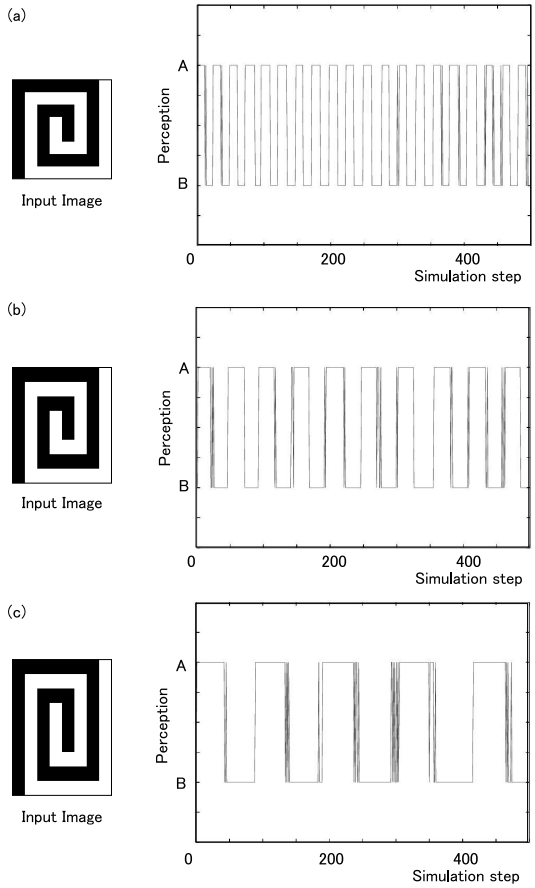


図 8　実験結果３：図形形状の変化による図地反転頻度の変化

ときの図地反転頻度の変化を確認した．図 8 右がその結果で，グラフの横軸は時間 t，縦軸は 2 つの領域のうち図となった領域を表している．(a) から (c) へと図形の形状を変化させることで，モデルにおける図地反転頻度は小さくなっていく．筆者らが同様にこれらの図形を観察した場合にも，図形が縦長になるほど安定した知覚が得られた．今後，より詳細なモデルの動作解析を行い、視覚心理実験結果との対応を調査する必要がある．

5. む　す　び

本稿では，図地分離機構と注意機構との相互関係を表現することにより，視覚的注意の観点から図地反転現象を説明するモデルを構築した．数値実験により，提案モデルが図地反転現象を再現できること，また，様々な条件下で我々の知覚に類似する動作を示すことが確認された．

本稿では，Rubin の杯を単純化した画像についても実験を行ったが，モデルの動作は筆者が期待するようにはならなかった．Rubin の杯においては，2 つの顔の領域が空間的に離れて存在するため，注意が一方の顔の領域に移動すると，他方の顔の領域は図として知覚されなくなる．しかし，我々が向かい合う顔を図として知覚する場合，2 つの顔が同時に図として知覚される．この問題を解決するためには，ある領域が図となった場合には，類似した特徴を持つ他の領域も図となるような処理機構が必要になると思われる．

文　　献

[1] 西村晴彦，長尾夏樹，松井信之，“ニューラルカオスに基づく認知交代モデル,” 認知科学，vol.4，pp.111-119，1997.
[2] 松井伸之，森栄之，鶴野玲治，“多層ニューラルネットワークによる交代想起現象の検討,” 電子情報通信学会論文誌 D-II，vol.J79-D-II，No.11，pp.1906-1912，1996.
[3] A. Kleinschmidt, C. Buchel, S. Zeki and R. S. Frackowiak, “Human brain activity dureing spontaneously reversing perception of ambiguous figures,” Proc. Royal Soc. London，B，vol.265，pp.2427-2433，1998.
[4] K. Nakayama, Z. J. He, and S. Shimojyo, “Visual Surface Representation：A Critical Link between Low-Level and Higher Level Vision,” in “Visual Cognition,” S. M. Kosslyn and D. N. Osherson eds.，MIT Press，1995.
[5] D. A. Leopord and N. K. Loghthesis, “Multistable phenomena: Changing veiw in perception,” Trends in Cognitive Sciences，vol.3，pp.254-264，1999.
[6] I. Rock, S. Hall and J. Davis, “Why do ambiguous figures reverse,” Acta Psychoogica，vol.87，pp.33-59，1994.
[7] 安河内健，阪口豊，“注意の動きに着目した図地反転知覚のモデル,” 電子情報通信学会論文誌 D-II，vol.J84-D-II，No.7，pp.1485-1494，2001.
[8] B. C. Motter : “Focal attnetion produces spatially selective processing in visual cortical areas V1，V2，and V4 in the presence to interruption,” Journal of Neurophysiology，vol.70，pp.909-919，1993.
[9] J. Moran and R. Desimone, : “Selective attention gates visual processing in the extrastriate cortex,” Frontiers in cognitive neuroscience，vol.229，pp.342-345，1985.
[10] G. Kanizsa and W. Gerbino, “Convexity and symmetry in figure-ground organization,” in Vision and Artifact，M. Henle ed.，New York，Springer，pp.25-32，1976.
[11] H. Zhou, H. S. Friedman, and R. von der Heydt : “Coding of border ownership in monkey visual cortex,” The Journal of Neuroscience，vol.20，no.17，pp.6594-6611，2000.
[12] 菊池眞之，明石陽平，“初期視覚における border-ownership の表現機構のモデル,” 信学技報，vol.NC-107，pp.31-38，2000.
[13] D. E. Boadbent：” Perception and Communication,” Pergamon，London，1958.
[14] M. I. Posner, C. R. R. Snyder, and B. J. Davidson, “Attention and the detection of signals,” J. Exp. Psychology：General，vol.109，pp.160-174，1980.
[15] C. W. Eriksen and Y. Y. Yeh,” Allocation of the attention in the visual field,” J. Exp. Psychology：Human Perception and Performance，vol.5，pp.583-597，1983.
[16] T. D. Murphy and C. W. Eriksen, “Temporal changes in the distribution of attention in the visual field in response to precues,” Perception and Psychophysics，vol.42，pp.576-586，1987.
[17] M. I. Posner and Y. Cohen : “Components of visual orienting,” In Attention and Performance X (eds. H. Bouma and D. G. Bouwhuis)，Hillsdale，Erlbaum，pp.531-556，1984.
[18] J.Driver and G. C. Baylis, : “Edge-assignment and figure-ground segmentation in short-term visual matching,” Cognitive Psychology，vol.31，pp.248-306，1996.
[19] T. Miura : “Coping with situational demands: A study of eye movements and peripheral vision performance,” Vision in Vehicles North Holland Press，pp.205-216，1986.