

平成11年度

修士論文

# 注意のダイナミクスに基づく知覚反転のモデル

電気通信大学大学院 情報システム学研究科  
情報ネットワーク学専攻  
ヒューマンインターフェース学講座

9851034 安河内 建

指導教官

阪口 豊  
出澤 正徳  
磯野 春雄

平成12年2月2日 提出

# 修士論文の和文要旨

大学院情報システム学研究科		博士前期課程	情報ネットワーク学	専攻
氏名	安河内 建		学籍番号	9851034
論文題目	注意のダイナミクスに基づく知覚反転のモデル			
要旨	<p>本研究の目的は、人が複数の領域から構成される対象の構造を知覚するとき、視覚的注意の働きによって、知覚が動的に変化する過程を理解することである。</p> <p>具体的には、見方によって図と地が反転して知覚される3次元多義図形を題材として、その知覚が反転する過程を模擬する神経回路モデルを構成した。</p> <p>従来の研究では、注意のメタファーとして、スポットライト説やズームレンズ・モデル、分配モデルといったものが提案されてきたが、いずれの説においても、注意の働きは、注意が向けられた領域の情報処理が促進されるという形で捉えられることが多かった。しかし、注意と知覚の関係はそのような一方向なものではなく、むしろ、注意が知覚に影響を与え、知覚が注意に影響を与えるといった双方向なものであると考えられる。そして、そのような注意と知覚のループこそが動的な知覚現象を生み出す原因であると考えられる。本研究の狙いは、このような考え方の可能性、有効性を神経回路モデルを用いて示すことにある。モデルは以下のような構造をもつ。まず、対象の面構造を表現するために、結合MRFモデルを参考に相互作用ネットワークを構成し、緩和計算を行うことで、神経回路モデルを構成した。</p> <p>また、注意の動きを規定する仮説として1) 注意の中心から注意が減衰しながら伝播する、2) 注意は図と地の境界線を越えて伝播しない、3) 一度注意を向けたところには注意が向きにくくなる（復帰抑制）の三つを設けた。このモデルを計算機上に実装し、モデルの振舞いを数値実験により観察した。その結果、図地反転の知覚持続時間の分布が心理実験の結果と類似することが明らかになった。このように、本研究では、注意の動きを媒介とすることにより、知覚が動的に変化していく過程を模擬することができた。今後さらにモデルを発展させることにより、同一の原理で他の知覚反転現象を説明することを試みたい。</p>			

## 目次

第1章 序章	
1.1 はじめに	2
1.2 背景	
1.2.1 視覚的注意	4
1.2.2 図地反転図形	7
第2章 注意と知覚のモデル	
2.1 モデルの概略	
2.1.1 モデルの基本概念	9
2.1.2 モデルの動作	12
2.2 面の表現と構成	
2.2.1 結合MRFモデル	14
2.2.2 緩和計算	15
2.3 モデルの構造	17
2.4 実際に用いる視覚刺激	18
2.5 前処理	19
2.6 注意の広がりと領域の分割	19
2.7 図と地の分離と属性の充填	21
2.8 注意の履歴値と注意の移動	23
第3章 実験と考察	
3.1 実験	
3.1.1 先行実験	24
3.1.2 計算機実験	26
3.2 実験結果の考察	
3.2.1 知覚持続時間の頻度	28
3.2.2 領域を分ける切断素子の活動	33
3.3 まとめ	35
参考文献	36
謝辞	38

# 第1章 序論

## 1.1 はじめに

本研究の目的は、人が複数の領域から構成される対象の構造を知覚するとき、視覚的注意の働きによって、知覚が動的に変化する過程を理解することである。

対象から得られる視覚情報が少ないとき、例えば対象の輪郭のみ与えられたときなど、人は輪郭の内部領域の情報を脳内で補完して知覚することができる。これは輪郭から奥行きなどの情報が滑らかに充填されるためと説明できる。しかし、複数の知覚が成立する多義図形などを知覚する場合はどうであろう。多義図形は同時に両方の図形を知覚することが出来ないため、1つの図形のみ属性の充填が起こる。ではどのようにして一方の領域が選ばれ、知覚は時系列に変化するのか、これは単に属性の充填だけでは説明できない。

この現象が、脳内でどのように処理された結果起こるかという、納得できる説明はなされていない。よって本研究では多義図形、特に奥行き情報を持った図地反転図形が知覚される過程の説明を試みる。

図地反転図形を観察してみればわかるように、通常図として知覚されるのは、自分が注意を向けた先の領域である。自分の意志で注意を向ける先を変えれば、その先の領域が図として知覚される。逆に、同じ知覚を持続しようと努力しても図地が反転してしまう場合には、それに先だって注意が移動していることに気づく。

このような観察があるにもかかわらず、図地反転を注意の移動と関連づけて説明するモデルは、筆者の知る限り提案されていない。研究の狙いは、注意の動きに立脚して図地反転を説明するモデルを構築するとともに、「注意と知覚のダイナミクス」という観点から視覚的注意の動的過程を理解することである。

視覚的注意のメタファーには、スポットライト説、ズームレンズ・モデル、分布モデルなどの考え方があり、これらは主に比較的狭い領域に注意を向けることを前提としており、比較的広い領域に注意を向けることを想定していない。比較的広い領域に注意を向けるときには、オブジェクトベースの注意、つまり、ある位置に注意を向けるのではなく、ある物体に基づいて注意を向けるといった考え方であれば説明が可能である。

図地反転現象の知覚を、神経回路モデルにおける緩和計算によって近似的に実現する。具体的には、緩和計算の場として結合マルコフ確率場(Markov Random Field)モデルを参考にする。MRFモデルは不連続な部分のある情報の充填を扱うことができ、図地反転図形のような複数の領域からなる図形を扱うことに適している。このモデルに注意の分布や変化といった概念を加え拡張する。MRFモデルでは不連続を表す線過程(line process)の出現位置を元の画像から検出しているが、本研究では視覚刺激から線の位置が得られるものとして、MRFモデルでの検出は行わず、主に知覚される面の属性の分布や、情報の充填のために用いる。また、線過程にあたる素子を本研究では切断素子と呼ぶ。

本論文では、第1章で、注意と図地反転図形についての代表的な研究成果を概観し、第2章では、本研究における注意を定義し、MRFモデルに組み込み、図地反転を説明可能なモデルを提案する。第三章では、計算機実験を通してモデルの動作を確かめる。

## 1.2 背景

### 1.2.1 視覚的注意<sup>[1][2]</sup>

心理学における注意の実験では、複数の刺激の中から目標刺激を選択したとき、その目標を判断する時間が短くなったり、判断の正答率が上昇した場合、その目標に注意が向いていると考える。このような実験によりいくつかの注意モデルが提案された。代表的な視覚的注意のメタファー(たとえ)に、スポットライト説がある。

#### a) スポットライト説

視覚的注意がある空間的な範囲を持ち、凝視点とは分離して視野内を移動するという現象を「スポットライト」にたとえ、スポットライトの特性を探ろうという研究が行われている(Posner, Snyder, & Davidson, 1980)<sup>[3]</sup>。Posner は、被験者に対し2つの空間位置に同時に注意をするように要求したところ、2つの位置が隣接している場合には両位置に同時に注意ができたが、離れている場合には同時に注意ができなかった。このことは、空間的に離れた位置にスポットライトを分割できないことを示している。つまり、スポットライトは単一の範囲をもち、非隣接領域に分割できない。

スポットライトの大きさは Eriksen によって検証されている。

#### b) 注意の大きさ

3つの文字を並べて表示し、その中心の文字をつねに答えさせると、被験者は目標が中心の文字であることがわかっているにもかかわらず、両脇の妨害刺激である文字が視角1度以内に存在する場合には、目標への反応が遅れる。視角1度以上離れているときには、そのような干渉はなくなる。このことから、スポットライトの大きさは視角1度の大きさであると考えられる。(Eriksen & Eriksen, 1974)<sup>[4]</sup>。

スポットライトの移動については、移動速度が一定であるという考え方と、移動時間が一定であるという考え方がある。

### c) スポットライトの移動速度

#### i) アナログ一定速度移動説

Tsal(1983)<sup>[6]</sup>は、先行手がかりを提示し、被験者にその周辺に提示するターゲット(文字)を弁別させ反応時間を測ったところ、ある程度提示時間間隔が長くなると、反応時間が一定になることが判明した。一定になるまでの反応時間は、先行手がかりとターゲットの距離に比例する。反応時間が一定になるのは注意が先行手がかりに到達しているためと解釈された。この結果から注意のスポットライトは定速度(視角1度あたり8ミリ秒)で移動していると推定される。

#### ii) 不連続一定時間移動説

同時に提示された2刺激の異同判断を行う際に、2刺激間の距離に影響されないことから、注意の移動時間は一定である(Kwak, Dagenbach, & Egeth, 1991; Sagi & Julesz, 1985)<sup>[6][7]</sup>。

スポットライト説を改良したズームレンズ・モデル、分布モデルなどの考え方も提案されている。

### d) ズームレンズ・モデル

Eriksenら(Eriksen & St. James, 1986)<sup>[8]</sup>;(Eriksen & Yeh, 1985)<sup>[9]</sup>の説によると、注意は広視野低解像度と狭視野高解像度の間を連続的に変化するズームレンズのようなものである。ここでは、注意が一種の限界容量をもった処理資源と考えられ、一定の資源が、視野の広さと処理の精度との間でのトレードオフの制約の中で分配されると考えた。

スポットライト説では、凝視点の位置にスポットライトがあるとする、離れた位置の先行刺激を検出できないという矛盾があるが、ズームレンズ・モデルでは、広視野低解像度の注意によってこの矛盾を解決できる。

#### e) 分布モデル(勾配モデル)

熊田・菊地(1988, 1990)<sup>[10, 11]</sup>によると注意の分布は、通常は凝視点をピークとして、周辺ほど低くなるような勾配をもっており、視野内の同時処理すべき対象の個数が多くなるに従って形が小さくなる。また、先行手がかりが提示されるとその付近に注意が移動し、その後提示される刺激の処理を促進することでスポットライト説の矛盾を解決できる。

ズームレンズ・モデルや分布モデルは、凝視点から離れた位置についても注意を向けることでスポットライト説の矛盾を説明したが、それらは全て比較的狭い領域に注意が向くことを前提にしている。しかし比較的広い輪郭を持った領域に注意を向けることは想定していない。このような領域への注意は、オブジェクトベースの注意の考えた方、つまり、ある位置に注意を向けるのではなく、ある領域に注意を向けるといった考え方をを用いれば説明ができる。

#### f) オブジェクトベースの注意

スポットライト説などは空間の位置に基づいて動作する空間ベースの考え方であるが、それに対してオブジェクトベースの考え方もある。

Driver と Baylis(1989)<sup>[12]</sup>は、刺激文字が運動することによって群化する刺激を用いた。

この実験では、位置が離れていても目標刺激と群化する文字の方が、位置は近くても目標刺激と群化しない文字よりも、目標刺激に強く干渉することを示した。

Rock と Gutman(1981)<sup>[13]</sup>は、空間的に同じ位置に色の異なる2つの線画を重ねて提示し、被験者がそのうちの一方の物体に注意を向けることができることを示した。これは、被験者が特定の視野領域に注意すると考えるスポットライト説などの空間ベースの理論では説明できない。

注意の様々な性質が明らかにしてきたが、現実の知覚においてどのように適用するかといった問題を十分に検討した研究は少ない。

注意はダイナミックな活動であり、時間経過や刺激によって、状態が大きく変化する。注意の状態が大きく変化すれば、知覚内容も常に流動するはずである。

本研究では、図地反転図形を例題として、注意と知覚の関係を探索するとともに、注意のダイナミズムについて考察する。

注意のモデルを構築する前に、まずは、知覚の対象である図地反転図形の特徴を述べる。



### 1.2.2 図地反転図形<sup>[14]</sup>

客観的には同一の刺激図形でありながら、知覚的には2つ以上の形が成立する図形を多義図形という。ルビンのつぼ(図 1.2.2-1)のように図となる領域と地となる領域が交替する図形も多義図形の1つでこのような図形を図地反転図形という。

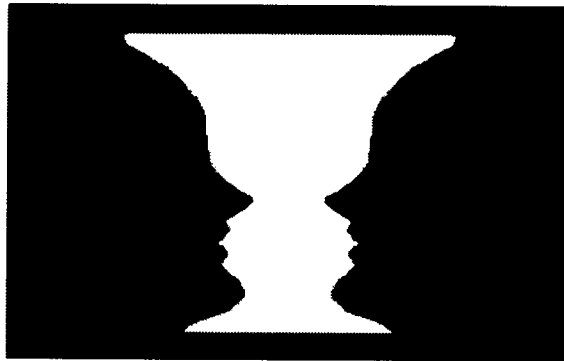


図 1.2.2-1 Rubin のつぼ

2対の顔が知覚されるとき、中央のつぼは知覚されず、つぼが知覚されるとき、2対の顔は知覚されない。

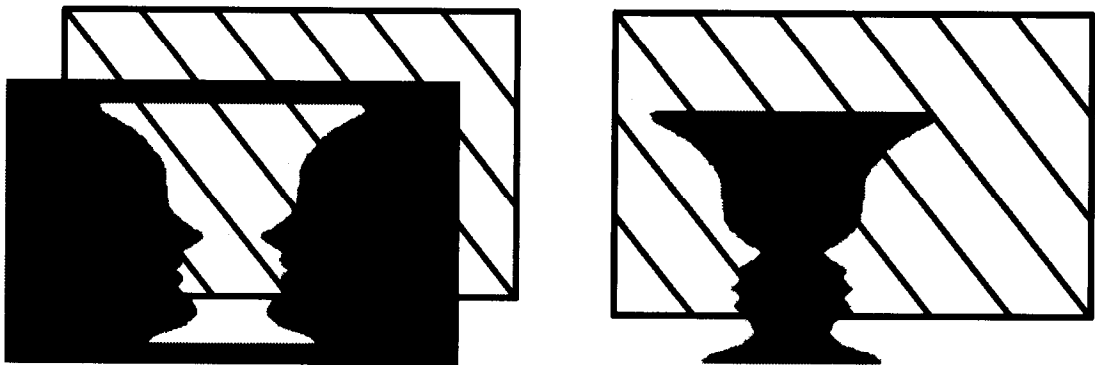


図 1.2.2-2 3次元的な知覚

図となった領域は境界線を所有し、地となった領域は、図の後ろに広がっている背景として知覚される。

図地反転現象について最も研究が行われているのは、図になりやすさについてである。

ゲシュタルト心理学的研究により、図になりやすさを規定するさまざまな刺激要因が明らかにされてきた。例えば、中心にある領域、より明るい領域、より面積の小さい領域、閉じた領域、より規則的な形をした領域、そうでない場合に比べて図になりやすいと言われている。

図地反転図形は、複数の領域と、それらを分ける境界線、そして輝度などの属性といった要素からなる。

境界線は、普通一方の側にだけ境界線として作用するが、他方の側には境界線として作用しないという片側性がある(Metzger, W., 1968)<sup>[15]</sup>。

この片側性によって境界線は一方の領域の末端として所有され、その領域の輪郭となる。輪郭によって定位された領域が図として知覚される。

境界線が作用されない領域の属性は図となった領域の下にまで拡がっている印象をあたえるこの領域が地となる。

図にはどのような性質があるのだろうか。

一般に図は観察者の方に近く定位される(Rubin)。これは地が図の背景となるためである。

また、図は地より高解像度であることが、報告されている。Naomi Weisstein と Eva Wong (1986)[16] は、Rubin のつぼの顔またはつぼのどちらかの領域内に、垂直線またはわずかに傾いた線を瞬時に表示し、被験者がどちらの線を見たかを答えさせるという実験を行った。被験者は、地になっている領域に線が表示される時よりも、図になっている領域に線が表示される時の方が3倍以上正確に答えることができた。この結果は、図になっている領域に注意が向いていることを示唆している。

では、図地反転はどのようにして起こるのであろうか。

図地反転現象を神経回路網で説明するモデルに、ニューラルカオスネットワークを用いたものがある(西村晴彦, 長尾夏樹, 松井伸之, 1997)<sup>[17]</sup>。ここで用いられているカオス・ニューロンは、実際の神経細胞に見られる不応性(ニューロンの発火状態が続くと、それに応じて発火しにくくなる現象)とアナログ的な入出力特性、および時間とともに指数関数的に減衰する履歴性を有している。このニューロ素子を用いホップフィールド型ニューラルネットワークを拡張している。

このような履歴性を参考にし、本研究では注意の分布を考慮したモデルを構成する。

## 第2章 注意と知覚のモデル

### 2.1 モデルの概略

#### 2.1.1 モデルの基本概念

序論で紹介したモデルを基に、注意の分布から対象の構造を知覚するモデルを提案する。

図地反転を視覚的注意の動作に基づき説明するには、まず目標は複数ある図の候補の中から一つの図を選択することである。図が一つの物体であるとするならば、物体ベースの注意が適切である。しかし、現行の物体ベースモデルでは、図地の反転といった知覚のダイナミズムを考慮していない。そこで本研究では、物体ベースモデルと空間ベースモデルのスポットライト説、および分布モデルを折衷したモデルを考案する。ここで注意を、注意の中心と注意の分布に分けて考える。つまり、注意は、ある一点を中心として減衰しながら隣接点に伝播することで空間的な広がりを持つ。また注意は物体の輪郭を越えて伝播することはできない。よって注意は物体の形にそって分布する。

よって注意は、視覚刺激の形にそって分布するものとする。注意が注意の中心から、領域の境界線を越えずに隣接点に伝播するとすれば、視覚刺激の形にそって注意を向けることが可能となる。

注意の中心は時間の経過とともに注意がそれまで注意があまり向いていない位置へ復帰抑制によって移動すると考えることができる。

i) Posner と Cohen(1984)[18]によると、先行手がかりを与えてターゲット(光点)の検出時間を測定した結果、先行手がかりが提示されてからターゲットが提示されるまでの時間間隔が300ミリ秒以下の場合にはターゲットの検出時間は短くなるが、300ミリ秒より長くなった場合には逆に検出時間が長くなる。この現象は、すでに注意した領域に被験者が再び注意することを防ぐ効果があり、復帰抑制(inhibition of return)と呼ばれる。

つまり、脳内には、最近注意が向いていたかという履歴値が保持されていることになる。この注意の履歴値は、どのくらい注意が向けられているかを表すために時間とともに注意を足し、また注意が向けられてからどのくらいの時間が経過したかを表すために時間とともに減衰する。

注意の中心は、この注意の履歴値が低い位置へ移動する。

また、一定速度移動説に基づき、注意の中心の移動速度は一定とする

本研究における注意は次のように定義する。

- a)注意の最も向いている位置を注意の中心とする。
- b)注意の分布は連続値である。
- c)注意は、注意の中心から隣接点に伝播する。
- d)注意は、時間とともに減衰する。
- e)注意の中心における注意の大きさは常に最大値である。
- f)注意の伝播は、境界線を越えられない。
- g)注意の履歴値は、時間とともに注意が足し合わされ、時間とともに減衰する。
- h)注意の中心は、自身を含めた隣接点の、注意の履歴値が最も小さい位置に移動する。

ある領域が図となり輪郭を所有する流れは次のようになる。

- i)注意がある閾値を越えた位置の一群を図と呼ぶ。
- j)注意がより向いている領域が境界線を所有する
- k)図が境界線を所有したとき、境界線は図の輪郭となる。

注意と境界線の関係は、各素子の間に切断素子(属性の充填を切断する素子)を用意し、次のように処理する。

k)境界線の位置とその隣接点の位置における注意の大きさを比較し、境界線の位置における注意が大きいとき、境界線の位置と隣接点の間の切断素子が活動し、隣接点の位置における注意が大きいときは、切断素子は活動しない。

注意の定義における“注意の伝播は、境界線を越えられない”というのは、注意の伝播がこの“切断素子”を越えられないという意味である。

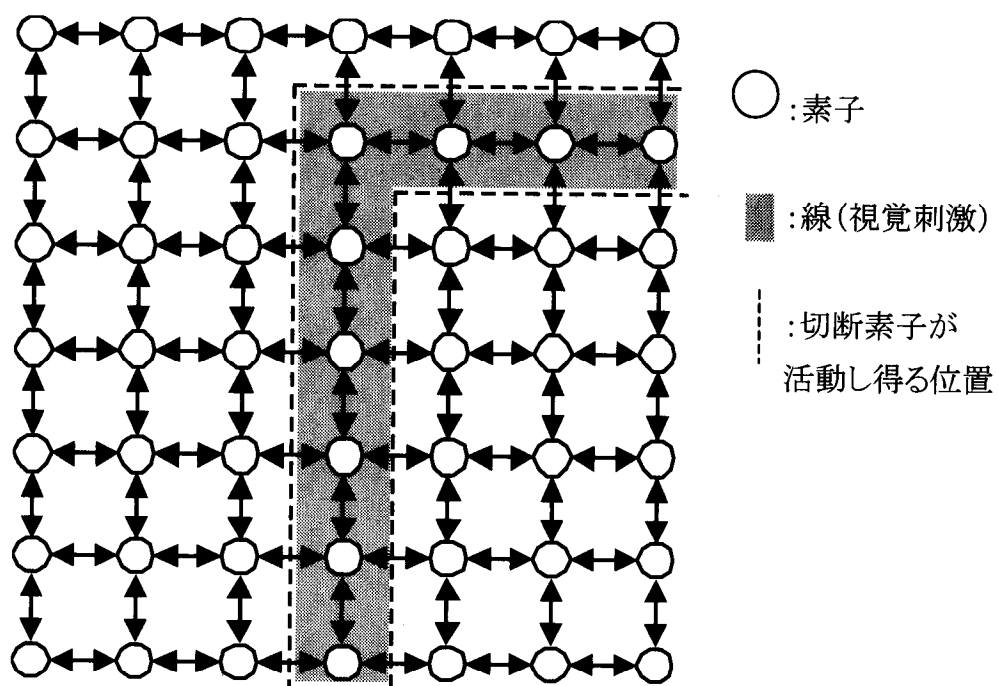


図 2.1.1-1 構造の内部表現 (相互結合型ネットワーク)

素子は格子状に配置され、切断素子は各素子の間に配置される。

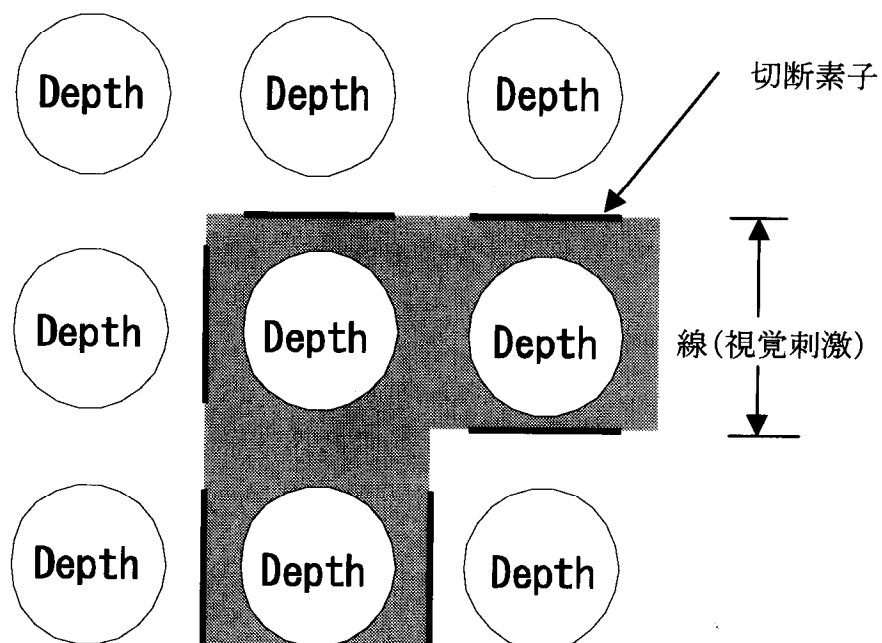


図 2.1.1-2 属性を格納する位置と線、切断素子の配置

構造の知覚は、視覚刺激からの情報を基に、属性の充填、領域の分割、注意の分布、注意の変化といった値から内部表現を更新することで表現する(図 2.1.1-3)。

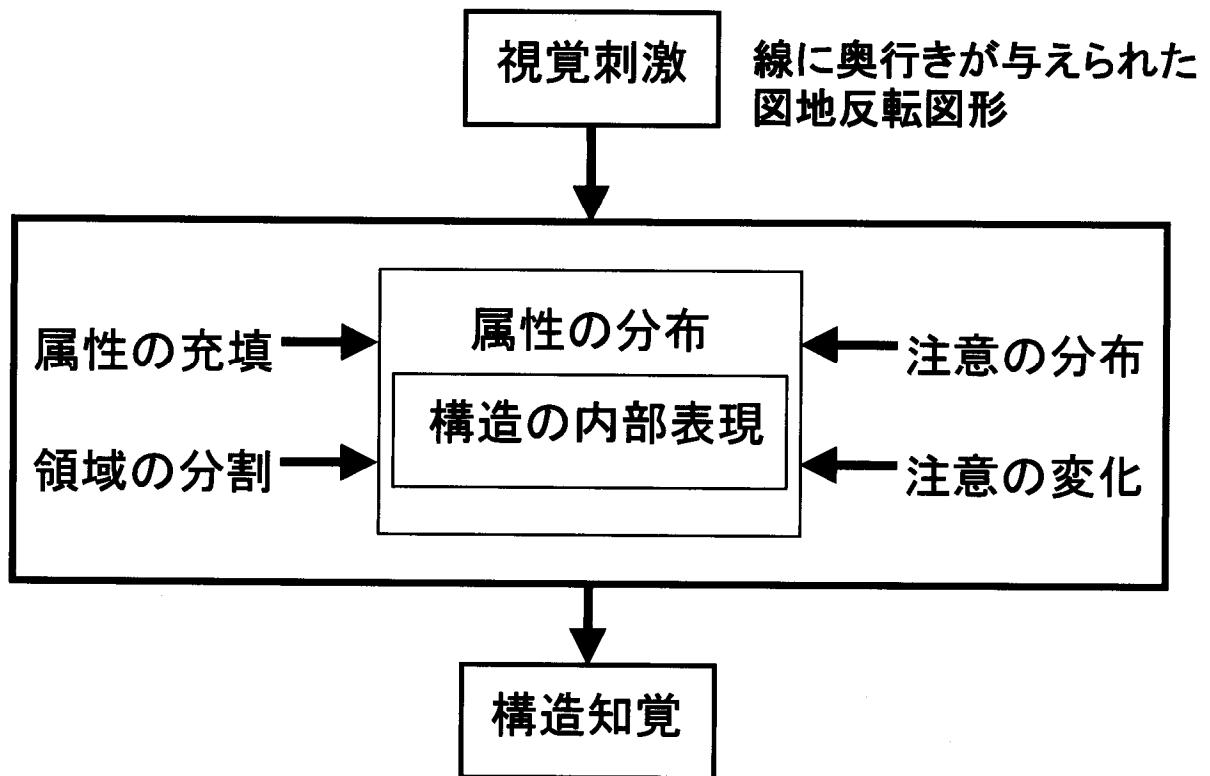


図 2.1.1-3 モデルの概要

### 2.1.2 モデルの動作

時点  $t$  を、時点  $t$  における注意を  $A_{ij}(t)$ 、時点  $t$  における注意の中心の位置を  $(C_x(t), C_y(t))$ 、時点  $t$  における注意の履歴値を  $h_{ij}(t)$  とする。

それぞれの初期値は次のようにする。

$$(C_x(0), C_y(0)) = (j_{\max} / 2, j_{\max} / 2)$$

$$A_{ij}(0) = \begin{cases} 1 & i = C_x, j = C_y \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$h_{ij}(0) = 0$$

$t$  は緩和計算と同期してインクリメントする。

ある任意の位置  $(i, j)$  とその隣接点の集合を  $N_{ij}$  とする、ただし位置  $(i, j)$  自身を含まない隣接点の集合を  $N_{ij}^0$  とする。

$$N_{ij} = \{(p, q) \mid |p - i| + |q - j| \leq 1\}$$

$$M_{ij} = \{(p, q) \mid A(p, q) > A(i, j), (p, q) \in N_{ij}^0\}$$

このとき、点  $(i, j)$  と点  $(p, q)$  の境界  $(u, v)$  に位置する切断素子  $L_{uv}$  の活動度は次式で与えられる。

$$L_{uv} = \begin{cases} 1 & A_{ij} \geq A_{pq} \\ 0 & A_{ij} < A_{pq} \end{cases}$$

このとき  $a$  を減衰係数とすれば、時点  $t$  における注意の分布値は次式に従い伝播する。

$$A_{ij}(t) = \frac{a}{m_{ij}} \sum_{p, q \in M_{ij}} A_{pq}(t-1)(1 - L_{uv})$$

$$0 \leq A_{ij}(t) \leq 1$$

$$A_{C_x, C_y}(t) = 1$$

ただし  $m_{ij}$  は  $M_{ij}$  の要素数、 $0 < a < 1$  とする。

$b$  を減衰係数とすれば, 時点  $t$  における注意の履歴値は次式で表すことができる。

$$h_{ij}(t) = bh_{ij}(t-1) + A_{ij}(t)$$

$$h_{ij}(t) \geq 0$$

$$\text{ただし } 0 < b < 1$$

$A_{ij}(t)$  が常に1のとき  $h_{ij}(t)$  は最大値  $\max h_{ij}(t)$  に漸近する。

$$\begin{aligned} \max h(i, j; t) &= 1 + b + b^2 + b^3 + b^4 + \cdots + b^n \\ &= \lim_{n \rightarrow \infty} \frac{1 - b^n}{1 - b} \\ &= \frac{1}{1 - b} \end{aligned}$$

時点  $t+1$  における注意の中心の位置は, 次式に従い移動する。

$$(C_x(t+1), C_y(t+1)) = \arg \min_{p, q \in N_{C_x(t)C_y(t)}} h_{pq}(t)$$

ただし右辺の値が2つ以上あるときは, ランダムに1つ選ぶ

図と地を表す面場を用意し, 図のレイヤーを  $F_{ij}$ , 地のレイヤーを  $G_{ij}$  と呼ぶことにする。注意の大きさを閾値  $z(0 < z < 1)$  で処理し, 図または地のレイヤーに奥行き  $D_{ij}$  を格納する。ただし, 図ではない位置では, 図のレイヤーは更新せず, 図になった位置と同じ位置にある地のレイヤーは奥行き0を格納する。

$A_{ij} \geq z$  を満たすとき

$$F_{ij} = D_{ij}$$

$$G_{ij} = 0$$

$A_{ij} < z$  を満たすとき

$$G_{ij} = D_{ij}$$



## 2.2 面の表現と構成

### 2.2.1 結合MRFモデル<sup>[19] [20]</sup>

対象物からの観測データには不可避の雑音が含まれているため、真の値を推定するためには、この雑音を取り去る必要がある。雑音の加わった画像から元の画像を推定するとき、観測点の輝度を滑らかにつなぐ方法がよく用いられる。しかし、この方法だけでは、画像の不連続である領域でも誤って滑らかにしてしまう。そこで、不連続がある場合それを切断する線過程を持たせることで画像の境界部分を抽出することができる。すなわち、滑らかさと不連続を同時に扱えるのがMRFモデルである。

MRFモデルは、滑らかさと線過程を持つエネルギー関数に従って確率的緩和法を用いることにより、エネルギーを最小化することで、雑音の加わった劣化画像からもとの画像を推定することが可能である。滑らかさのエネルギーは隣り合う要素の持つ輝度の差の2乗とし、線過程のエネルギーは、格子点の近傍系の配列に対して割り当てている。

本研究では、観測点の輝度を奥行きに置き換えることで、濃淡画像の処理モデルを奥行き画像の処理モデルに置き換え、立体構造を表現することを考える。また、線過程は、2値とし、線過程によるエネルギーは評価関数に加えない。つまり格子点の近傍系の配列や線過程の総数などは考慮しない。線過程は、属性の充填をさえぎる本来の意味と、注意の伝播を止める切断素子であり、その活動位置により境界線の所有すなわち領域の輪郭を表す指標として用いる。

### 2.2.2 緩和計算

以下に、アルゴリズムを数式で記述する。縦方向の線過程を  $V(i,j)$ 、横方向の線過程を  $H(i,j)$ 、情報のない空間を含む各点の深さを初期状態では奥行き0で  $D$  に与える。  $x_{\alpha}$  は真の値(入力情報)であり、この項はドットが観測される場合のみ存在する。結合 MRF モデルにおける各エネルギーを次のように定義する。

$$\begin{aligned} \text{LineEnergy} = & \sum_{i=0}^{i_{\max}} \sum_{j=0}^{j_{\max}} (D_{i-1,j} - D_{i,j})^2 (1 - V_{i-1,j}) + (D_{i+1,j} - D_{i,j})^2 (1 - V_{i,j}) \\ & + \sum_{i=0}^{i_{\max}} \sum_{j=0}^{j_{\max}} (D_{i,j-1} - D_{i,j})^2 (1 - H_{i,j-1}) + (D_{i,j+1} - D_{i,j})^2 (1 - H_{i,j}) \end{aligned}$$

$$\text{ErrorEnergy} = \sum_{i=0}^{i_{\max}} \sum_{j=0}^{j_{\max}} (D_{i,j} - x_{\alpha i,j})^2 \quad \text{ただし } x_{\alpha i,j} \text{ が存在する位置のみ}$$

$$\text{GroundEnergy} = \sum_{i=0}^{i_{\max}} \sum_{j=0}^{j_{\max}} (D_{i,j})^2 \quad \text{ただし地である位置のみ}$$

$$\text{Energy} = A\text{LineEnergy} + B\text{ErrorEnergy} + C\text{GroundEnergy}$$

A, B, Cは係数

深さは、Energy に関する最急降下法により

$$\frac{dD_{i,j}}{dt} = - \frac{\partial \text{Energy}}{\partial D_{i,j}}$$

に従って更新する。これを展開すると以下のようなになる。

$x_{\alpha i,j}$  が存在する位置のとき “線の位置では、線の奥行きに引かれる。”

$$\begin{aligned} \text{NewDepth}_{i,j} = & D_{i,j} \\ & + dA((D_{i-1,j} - D_{i,j})(1 - V_{i-1,j}) + (D_{i+1,j} - D_{i,j})(1 - V_{i,j}) + (D_{i,j-1} - D_{i,j})(1 - H_{i,j-1}) + (D_{i,j+1} - D_{i,j})(1 - H_{i,j})) \\ & - dB(D_{i,j} - x_{\alpha i,j}) \end{aligned}$$

$A(i,j) < z$  のとき ( $0 < z < 1$ ) “地は奥行き0に引かれる。”

$$\text{NewDepth}_{i,j} = D_{i,j} - dC D_{i,j}$$

それ以外 “隣接点との間に線過程(切断素子の活動)がないとき隣接点の奥行きに引かれる。”

$$\begin{aligned} \text{NewDepth}_{i,j} = & D_{i,j} \\ & + dA((D_{i-1,j} - D_{i,j})(1 - V_{i-1,j}) + (D_{i+1,j} - D_{i,j})(1 - V_{i,j}) + (D_{i,j-1} - D_{i,j})(1 - H_{i,j-1}) + (D_{i,j+1} - D_{i,j})(1 - H_{i,j})) \end{aligned}$$

ただしdは微少な値。

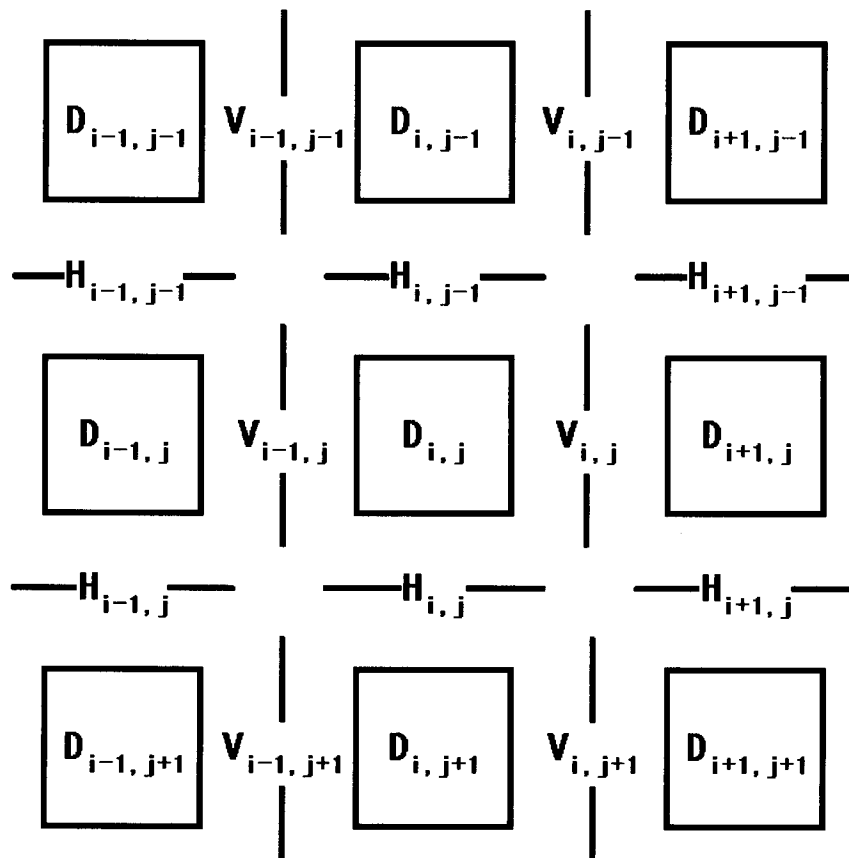


図 2.2.2-1 奥行きデータと不連続を示す線過程

D:属性 H:水平方向の線過程, V:垂直方向の線過程

## 2.3 モデルの構造

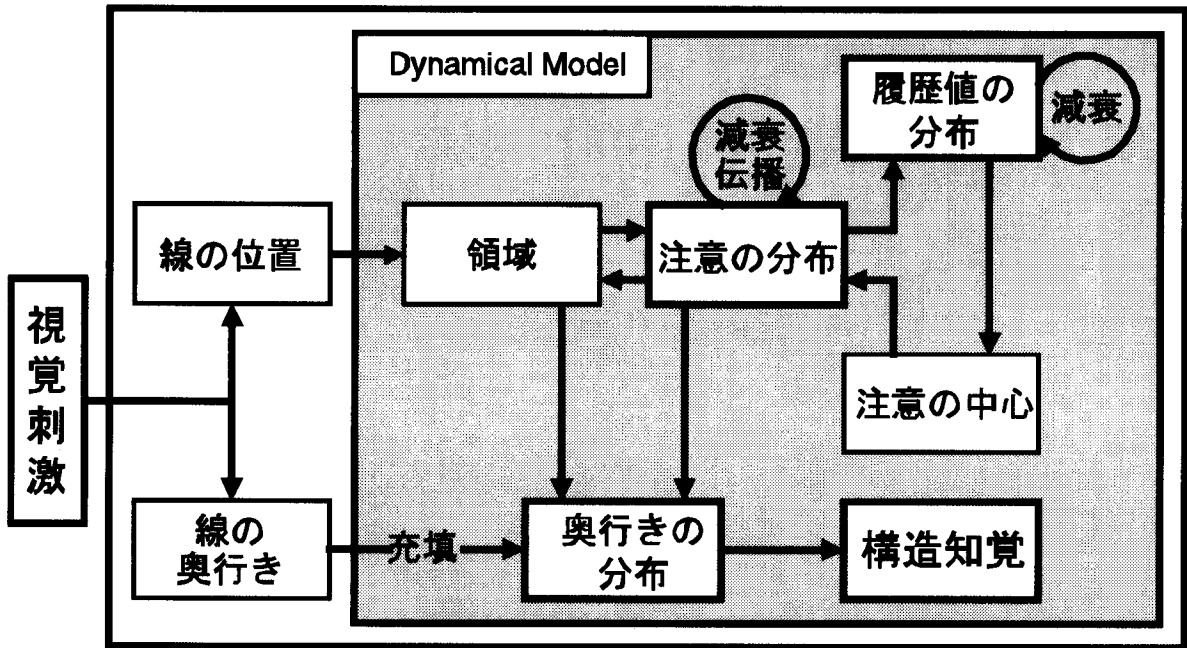


図 2.3-1 モデルの構造

視覚刺激: 図地反転図形を線に奥行きを与え提示する。

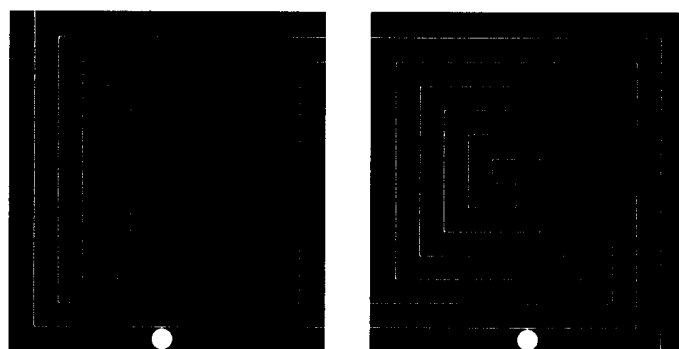
前処理: 線の位置と奥行きが計算される。

構造知覚: 線は、より注意が向いている領域の輪郭(線の所有)となる。注意の大きさがある閾値を越えている点の集合が図となる。図は輪郭から奥行き情報が充填される。注意の大きさがある閾値を越えない点の集合が地となり、図の背景(図より奥)になる。

図地反転: 注意の履歴値が低い位置に注意が移動する。注意が向いている領域が変わることで、線が新たに注意の向いた領域の輪郭となる。

## 2.4 実際に用いる視覚刺激

本研究では、3次元構造の知覚について考える。これはそもそも図地反転現象が立体的な知覚を引き起こすことを考えると、2次元の構造知覚においても最終的に3次元での記述が可能であり、より一般化したモデルを構築できるためである。よって奥行き情報は線に与える。2つの領域が同じ形をしている場合、図になりやすさが等しいことから、本研究では図2.4-1に示した図形を視覚刺激として用いる。



右目用

左目用

図 2.4-1 本研究で用いる視覚刺激

注意の向けられた領域は線から奥行き情報を充填し図となる

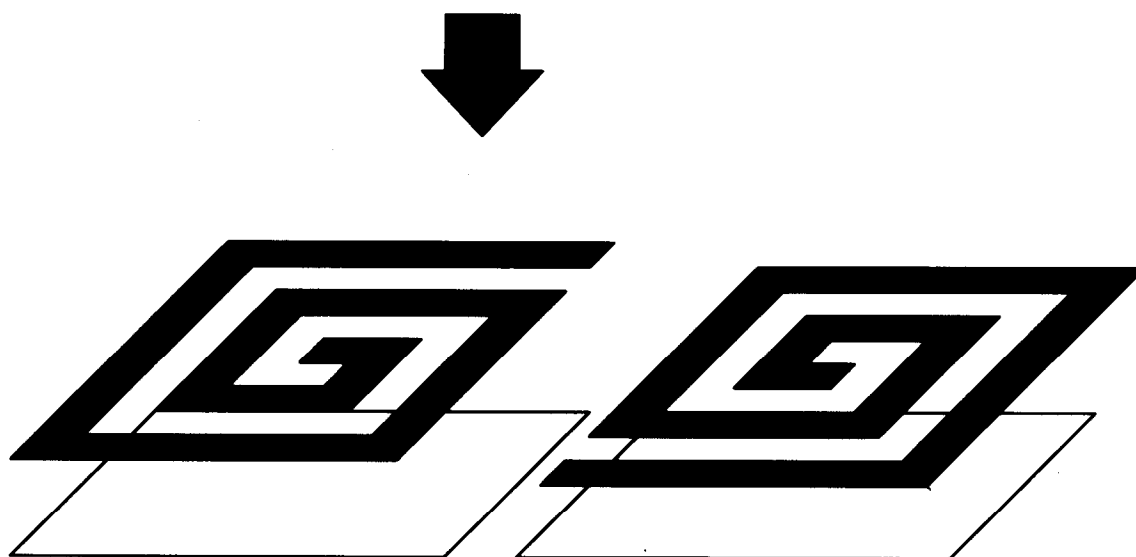


図 2.4-2 2種類の見え方

黒の領域が図となり手前へ、白は地になる

## 2.5 前処理

外界から得られた視覚情報を位置情報と奥行き情報に変換する。本研究では、この変換がすでに行われているものとする。ここで得られる情報は、線の位置と奥行きである。

## 2.6 注意の広がりと領域の分割

注意が最も向いている位置を注意の中心とする。注意の中心における注意の大きさは常に一定の大きさである。これは注意の中心に“処理資源(1章 2.1 節 d 参照)”が供給されているためである。注意は、注意の中心から隣接する位置に伝播し、減衰する。ただし切断素子が活動している位置を越えて伝播しないものとする。よって、1つの領域内に注意の中心がある場合、注意はその領域内に伝播される。

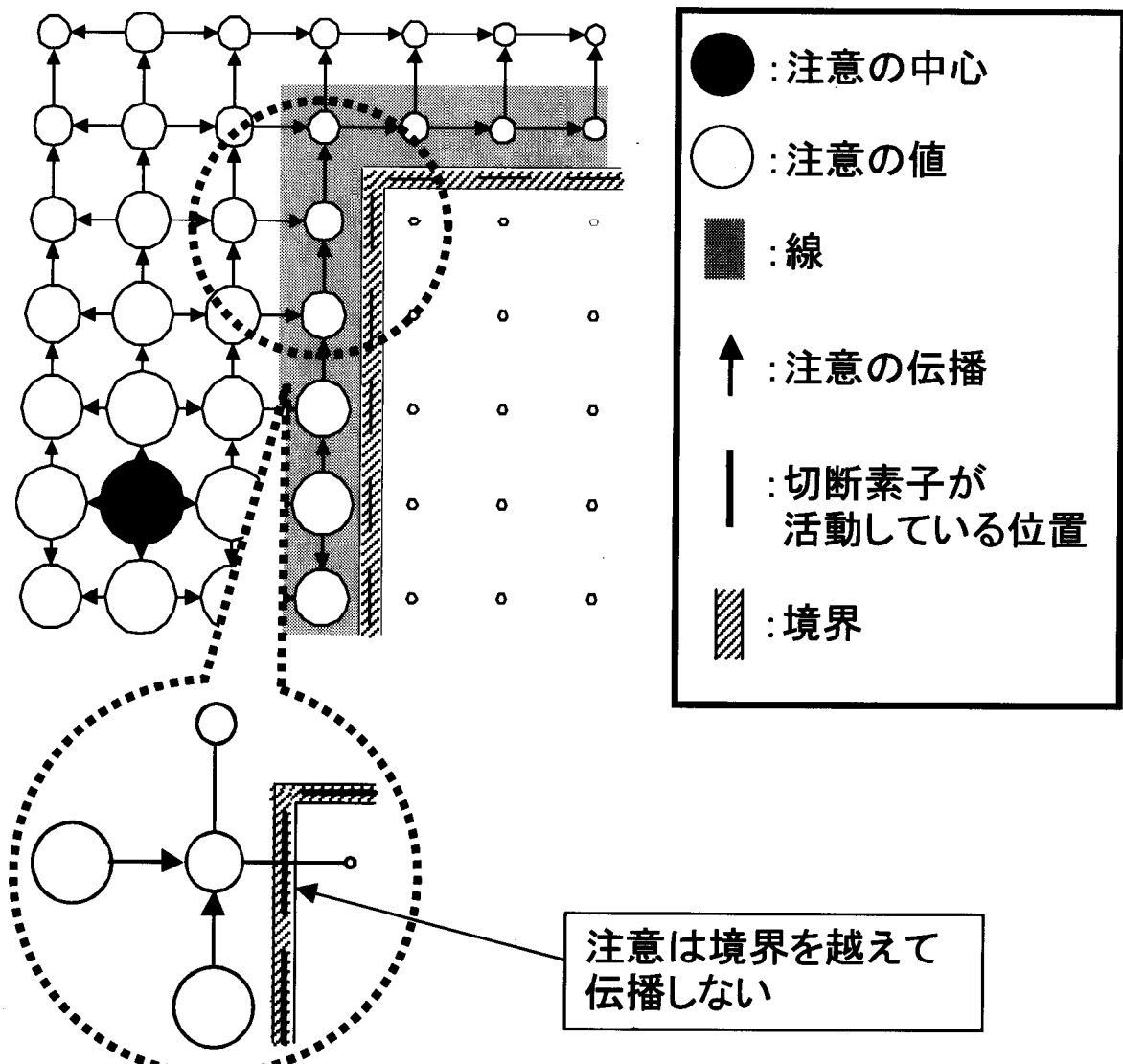


図 2.6-1 注意の分布と伝播

円の大きさが注意の強さを表している。

注意の伝播が線(奥行き情報が存在する位置)まで達すると、境界線の位置とその隣接点の位置における注意の大きさを比較し、注意が大きい領域が線を所有するように切断素子が活動する。これによって属性(奥行き)の充填も遮断される。

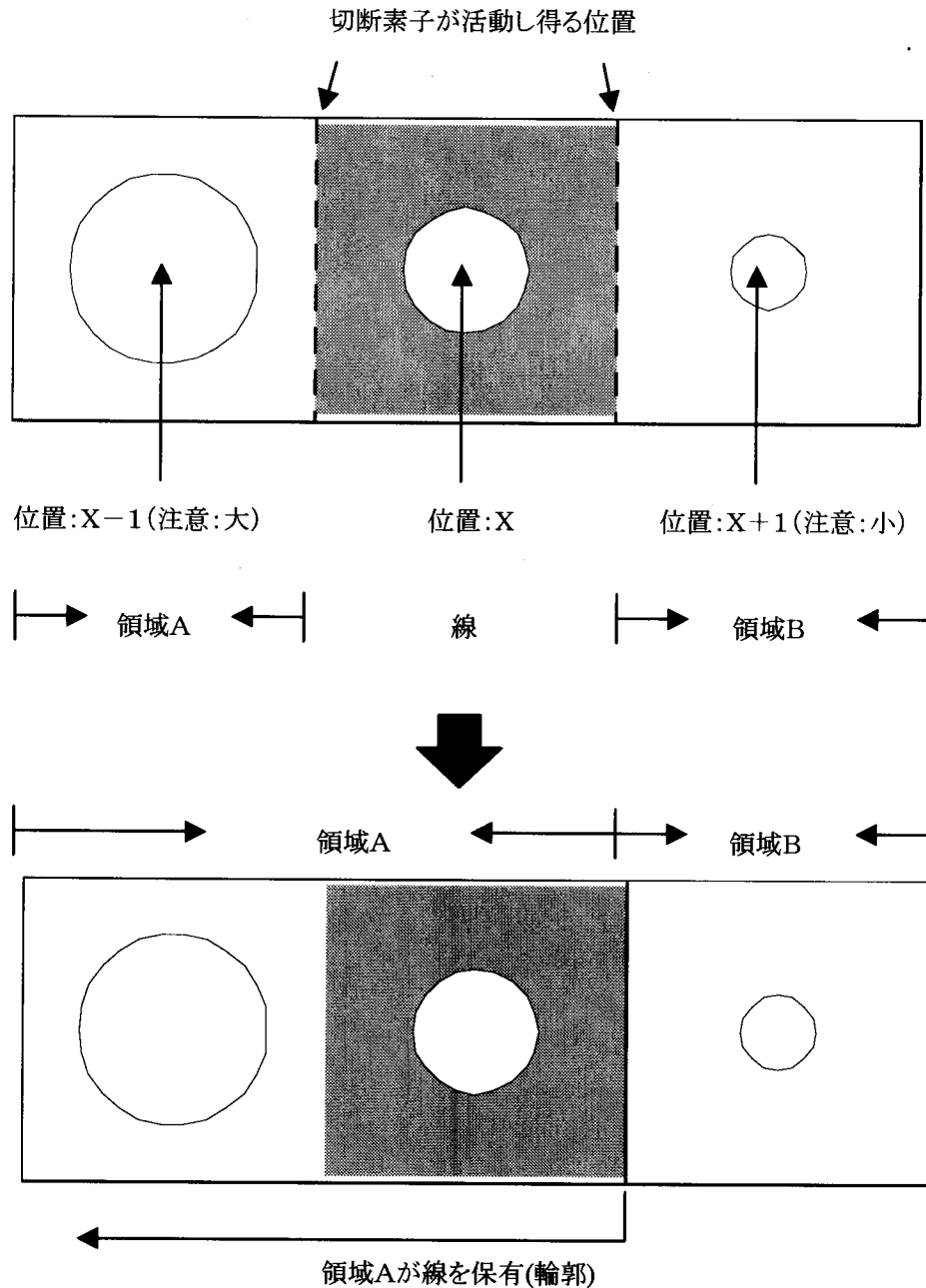


図 2.6-2 領域の分割

注意の大小比較は線上の位置(X)とその隣接点の位置(X-1), (X+1)それぞれについて行う。この場合、位置(X)が領域Aの一部となることで輪郭線が領域Aの輪郭となる。ただし隣接点も線上の位置のときは、切断素子が活動しない。

このような局所的な演算を行なうことで、全体として図 2.6-3 のように領域を分けることが可能となる。このとき注意が多く向いている領域が線を所有し、注意の強さがある閾値を越えた点の集合が図となる。

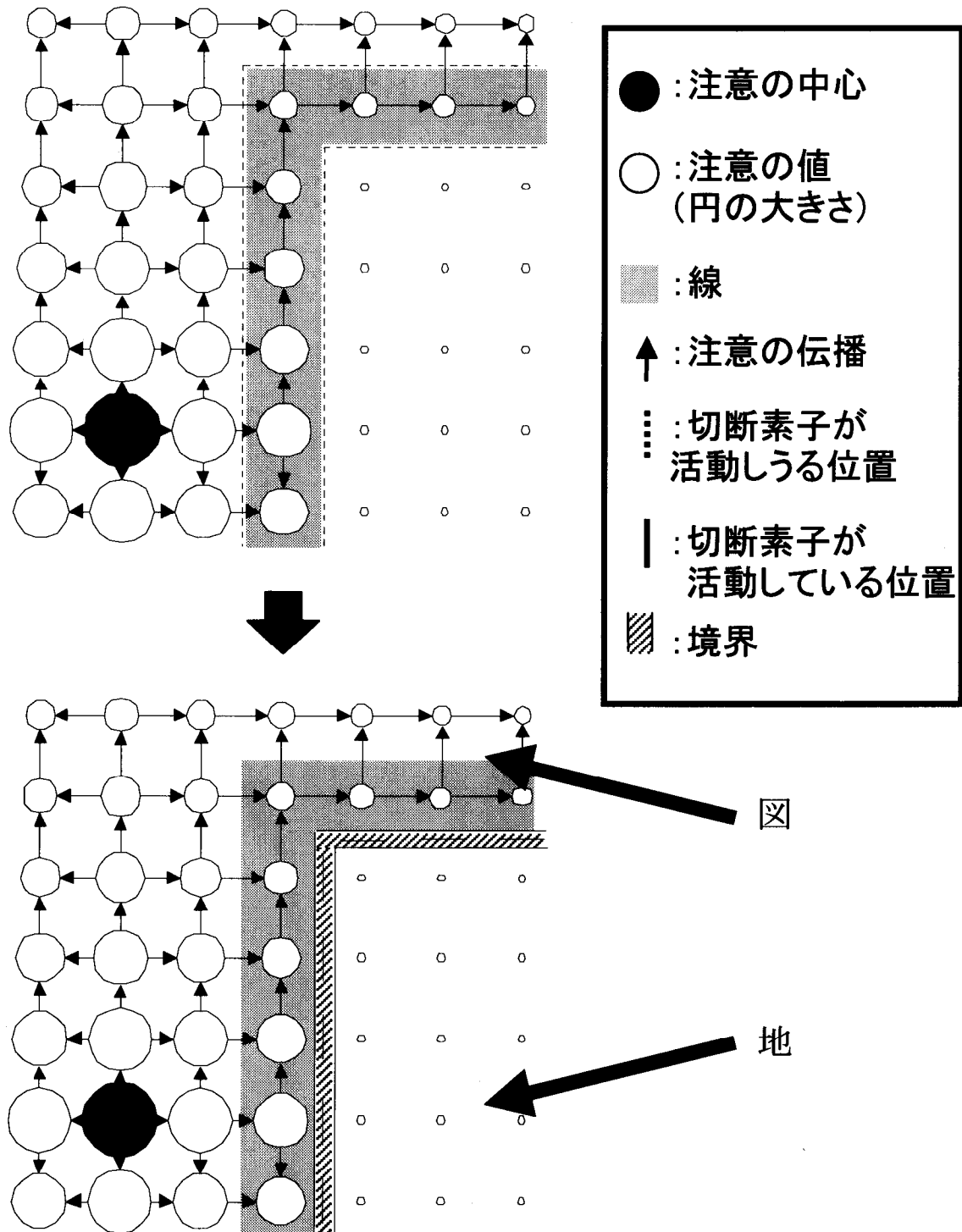


図 2.6-3 図の知覚



## 2.7 図と地の分離と属性の充填

注意の大きさがある閾値を越えた位置の一群が図, 越えない位置の一群が地となる  
本研究では, 脳内に「面を表す場」としての構造の内部表現があることを想定している。  
「面を表す場」は知覚している奥行き分布からなる。

図と地の奥行き分布を表すレイヤーをそれぞれ用意し, 「面を表す場」から図になった一群に対応する位置の奥行き分布を, 図のレイヤーの奥行き分布に割り振り, 地になった一群に対応する位置の奥行き分布を, 地のレイヤーの奥行き分布に割り振る。

図のレイヤーが輪郭線を所有する場合, 輪郭線から奥行きが滑らかに充填される。地のレイヤーは, 図の背景となるように滑らかに充填する。ただし背景面にはそもそも奥行きの手がかりがないので, 図のすぐ後ろとも, 無限遠とも知覚できる。本研究では, 地の奥行きを基点0とし, 図は正の値をとることにより観察者の近くに位置する。地レイヤーは図よりも小さい値となる(奥行き0に引かれる)。これは Rubin の“図は観察者の近くに提示される”という原理を実現する。

地は図の背後に広がっているように知覚されることから, 地のレイヤーの隠蔽されている部分には, 奥行き0を割り振る。

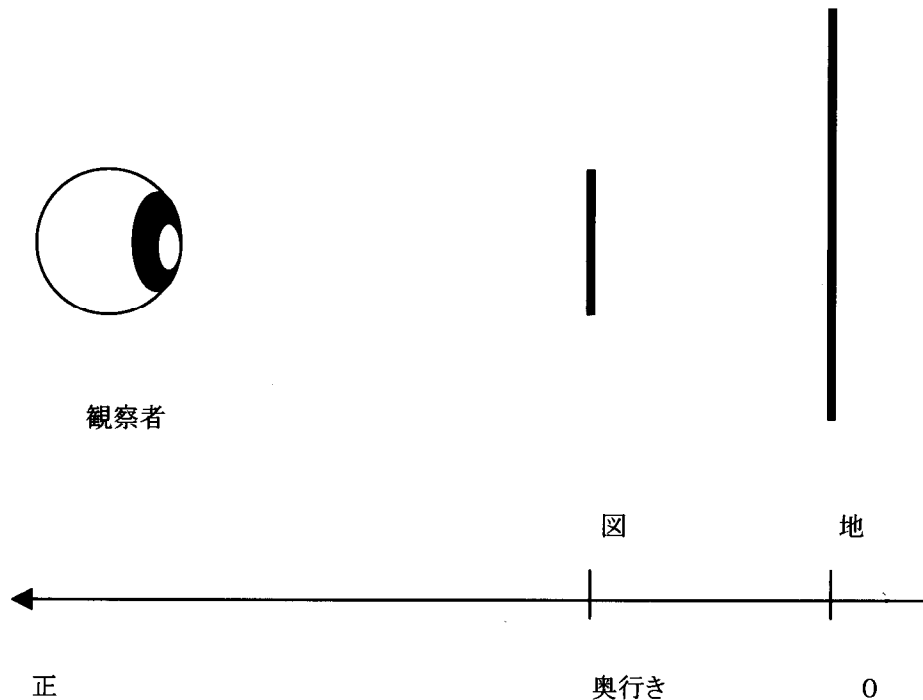


図 2.7-1 座標系

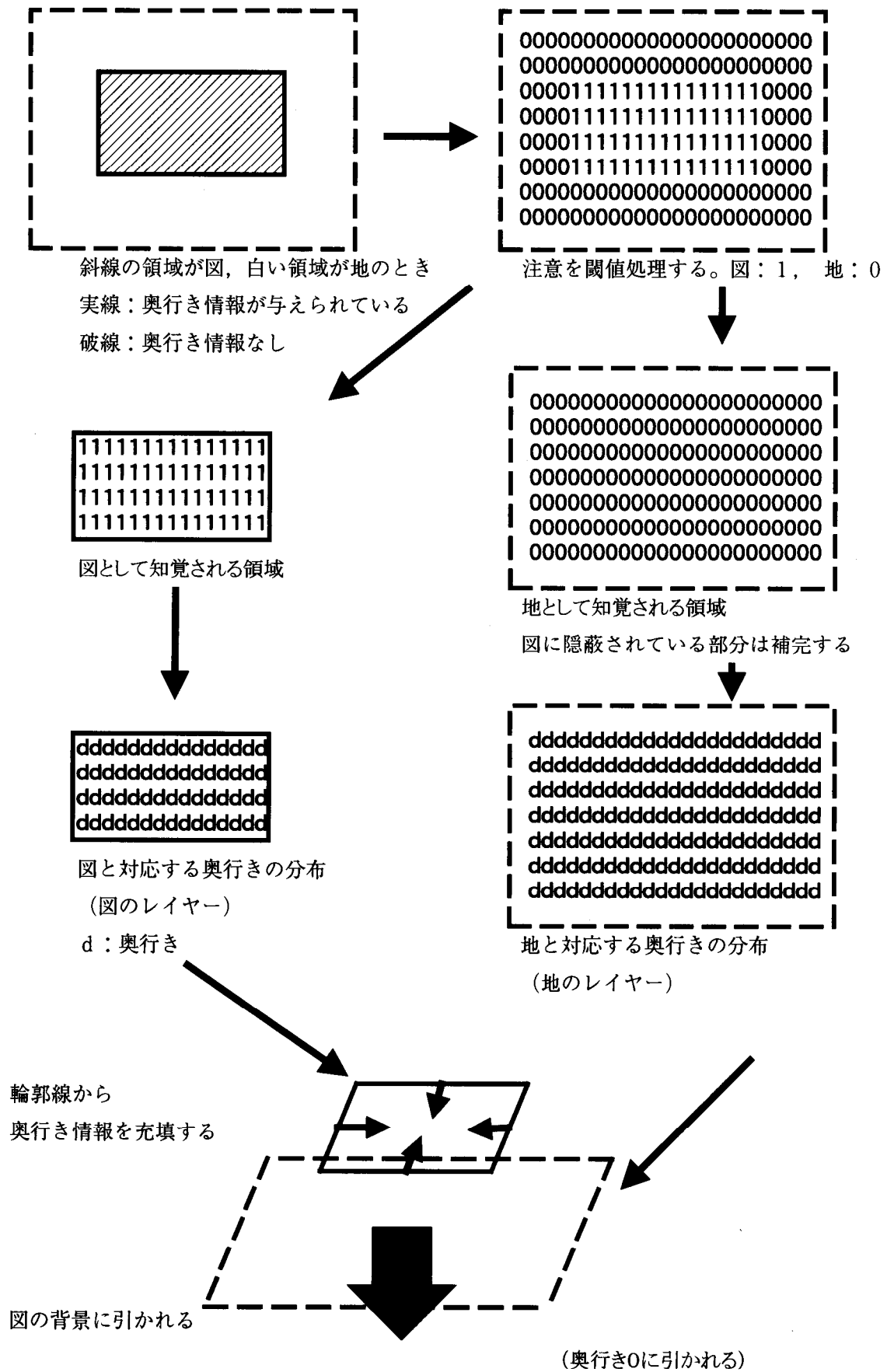


図 2.7-2 図と地の分離と属性の充填

## 2.8 注意の履歴値と注意の移動

図地の反転がおこるのは注意がそれまで図であった領域からそれまで地であった領域に移動したためと考えることができる。では何によって注意が移動するのか。

注意は、輝度や色などさまざまな情報に引き付けられると考えられるが、このような要素がない場合にも図地の反転は起こる。

ことから本研究において、すでに注意した位置に再び注意することを防ぐ性質(復帰抑制 Posner & Cohen, 1984) [11]から、注意の中心は同じ位置に止まってはられないものとする。

そうすると、脳内には最近注意がどのくらい向いているかという注意の履歴値が保持されていることになる。注意の中心は、隣接点の中で最も注意の履歴値が低い位置に移動する。

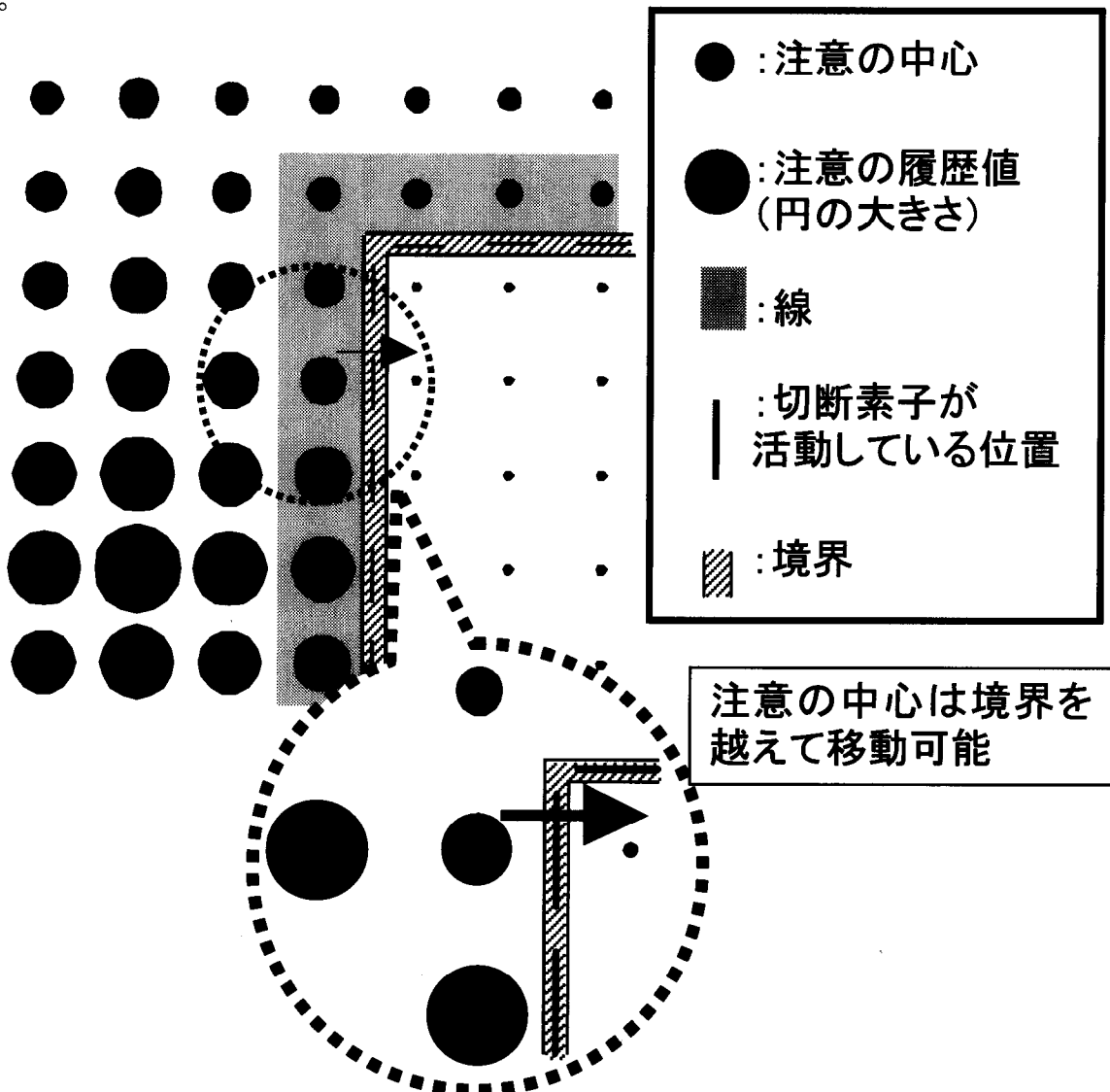


図 2.8-1 注意の履歴値と注意の中心の移動

注意の中心は、隣接点の中で注意の値が最も低い位置に移動する。

## 第3章

### 3.1 実験

#### 3.1.1 心理実験

奥行きが異なる2つの領域を分ける線にのみ、奥行き情報が与えられた場合、2つの領域の奥行きが反転する。図 3.1.1-1 の中心を固視点とし13分間観察した結果の図の状態変化を図 3.1.1-2, 知覚持続時間の出現頻度を図 3.1.1-3 に示す。この結果が示すように、一般に、図と地の知覚持続時間の出現頻度分布はガンマ分布に従うことが知られている。

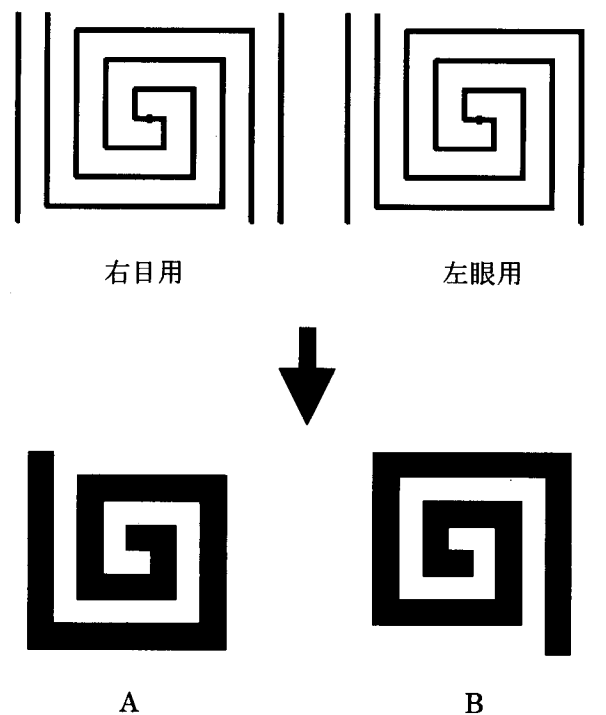


図 3.1.1-1 提示した視覚刺激と知覚される図

2種類の知覚をA, Bと呼ぶ。

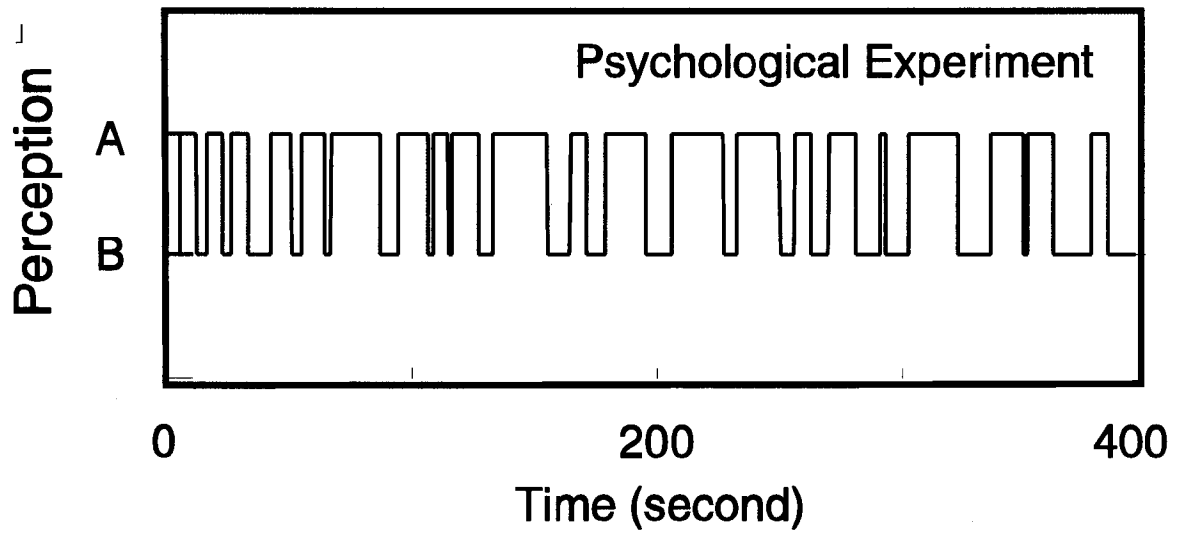


図 3.1.1-2 知覚する図の状態変化

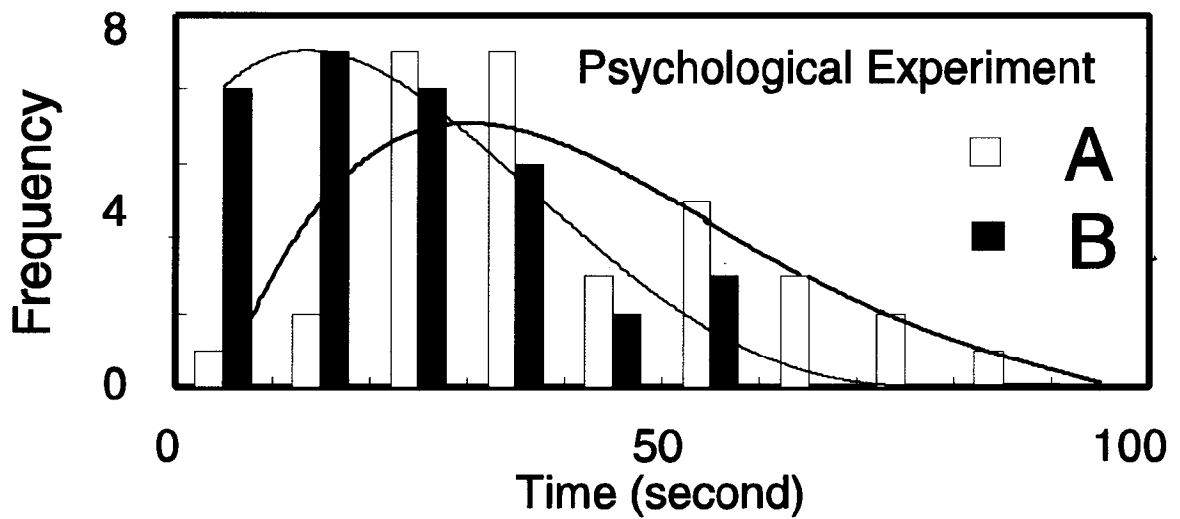


図 3.1.1-3 知覚持続時間の出現頻度分布

知覚持続時間の出現頻度はガンマ分布に近似できる。

### 3.1.2 計算機実験

5000 ステップ

面を表す場 (30×30)

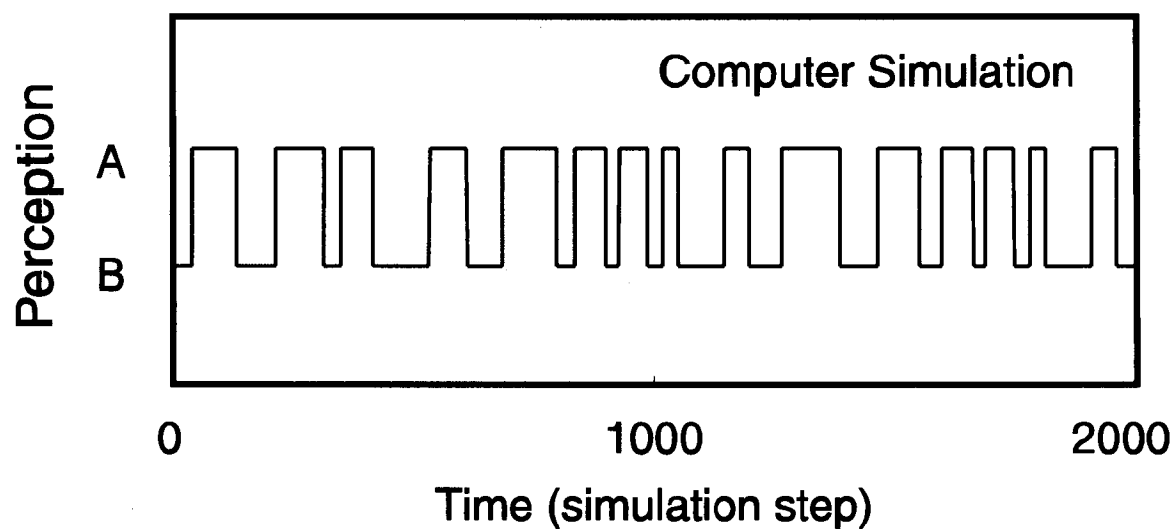


図 3.1.2-1 知覚する図の状態変化  
周期的に状態が変化している

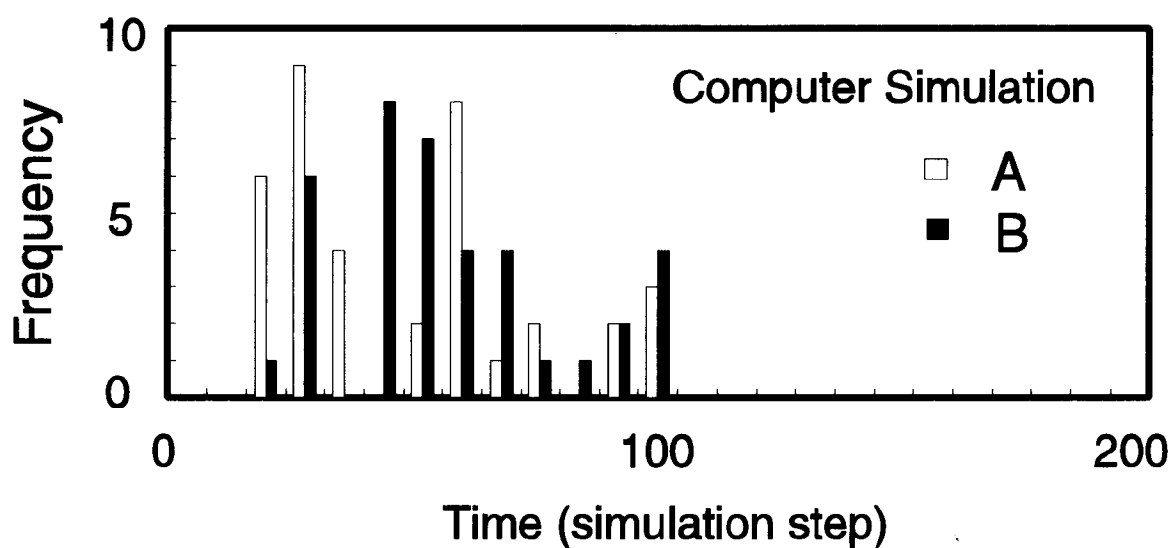


図 3.1.2-2 知覚持続時間の出現頻度分布

大まかな形はガンマ分布に似ているが、同じ知覚が長く続いていることが読み取れる。

注意の中心がランダムに動いたとき

30×30

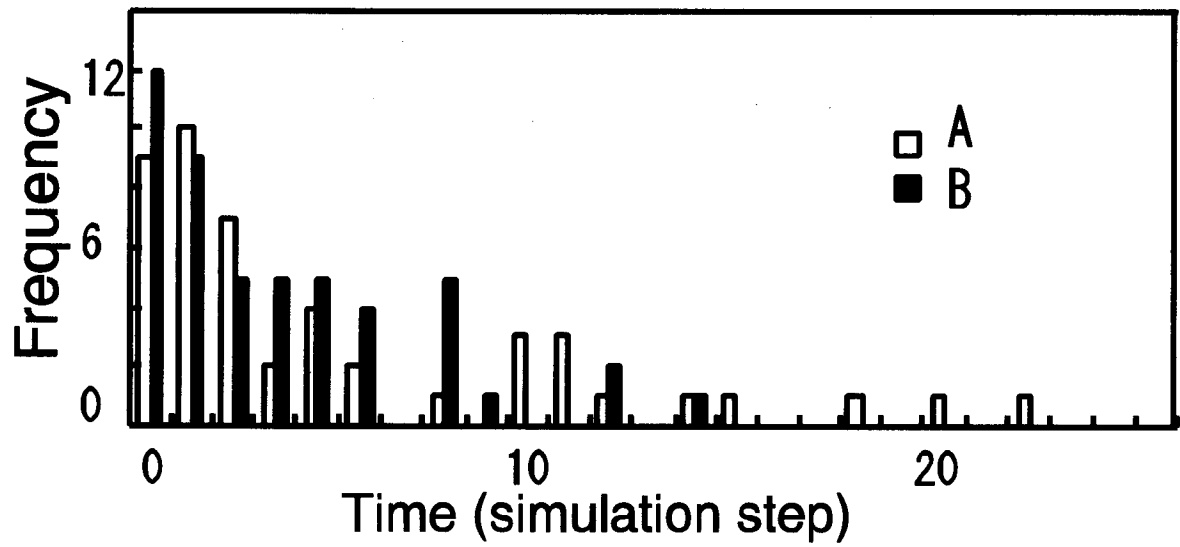


図 3.1.2-3 知覚持続時間の出現頻度分布

指数的に減少している

## 3.2 実験結果の考察

### 3.2.1 知覚持続時間の頻度

注意の中心をランダムに動かした場合(図 3.2.1-3), 知覚持続時間の頻度の分布は時間に対して指数的に減少している(指数関数はガンマ関数の中に含まれる)。

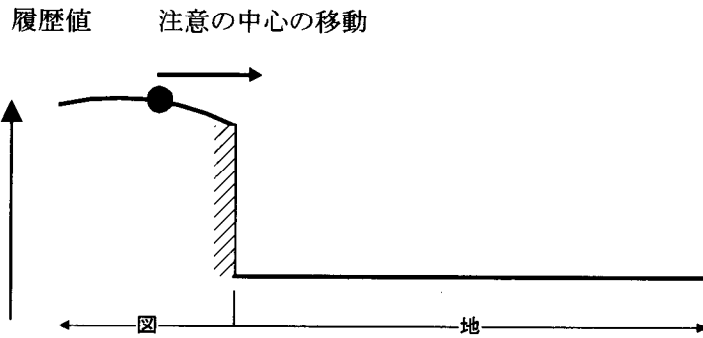
指数関数をガンマ分布に変形し近似することを考えると, 知覚継続時間が短い場合を減らせば, ある程度の近似ができるのではないだろうか。

今回のシミュレーションの結果がガンマ分布に近い分布となった理由を考察すると, 知覚継続時間が短い場合を減らすことができたからではないかと考えられる。

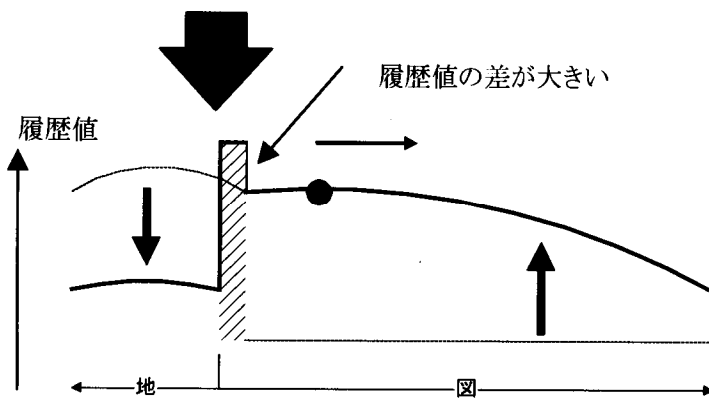
それは2つの原因による。

一方は, 線が2つの領域のどちらが図になっても所有されるので, 線の位置での注意の履歴値が他のそれより高い状態になることが多いためである。注意の中心は, 履歴値が低い隣接点に移動するため, 線を短時間では越えにくいことになる。

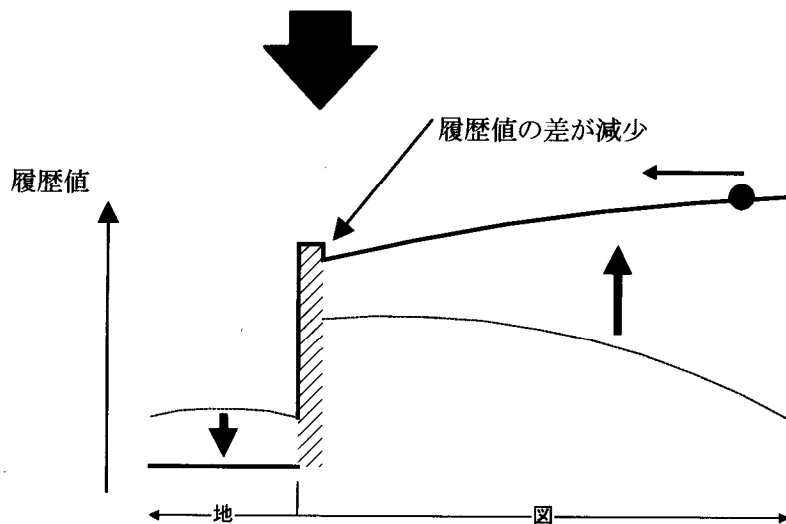




注意の中心が注意の履歴値が低い領域に移動し線を越え図と地が反転する。



図と地が反転しても線の位置における注意の履歴値は減衰しない(常に注意が向いている)。



注意の中心が線から離れるか時間が経過すると、新たに図になった領域の注意の履歴値と線上の注意の履歴値との差が減少し、注意の中心が線を越えやすくなる。

図 3.2.1-1 線の注意の履歴値

他方は、2つの領域が同時に図となる場合があるためであると考えられる。

つまり注意の中心が、図であった領域から地であった領域に移動したとき、それまで図であった領域の注意の大きさが減衰し、図であるための注意の閾値以下となるまでに数ステップかかるため、その間に注意の中心が地になろうとしている領域に戻れば、図地の反転が起こらないことになる。つまり、注意の中心が線を越えてもすぐに戻ってくれば、図地反転が起こらないため、知覚継続時間が短い場合が減少する結果となる。

しかし、実際の視覚では、図地反転図形で2つの領域が同時に図とならないことを考えると説明が難しい。しかし視覚刺激によっては、両方が図になる場合や、両方とも図にならない状態もありうる。このような場合は、注意の中心が線を越えても図地反転が起こらない現象は起こりうると思われる。

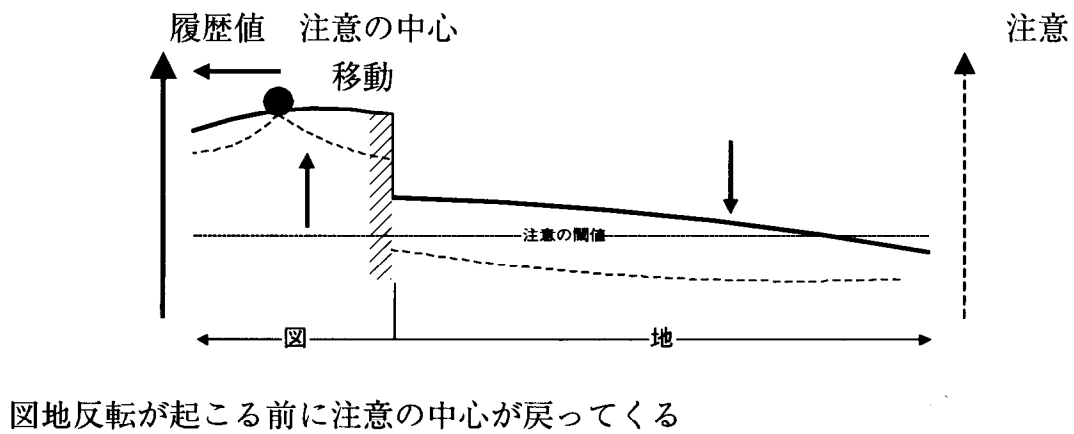
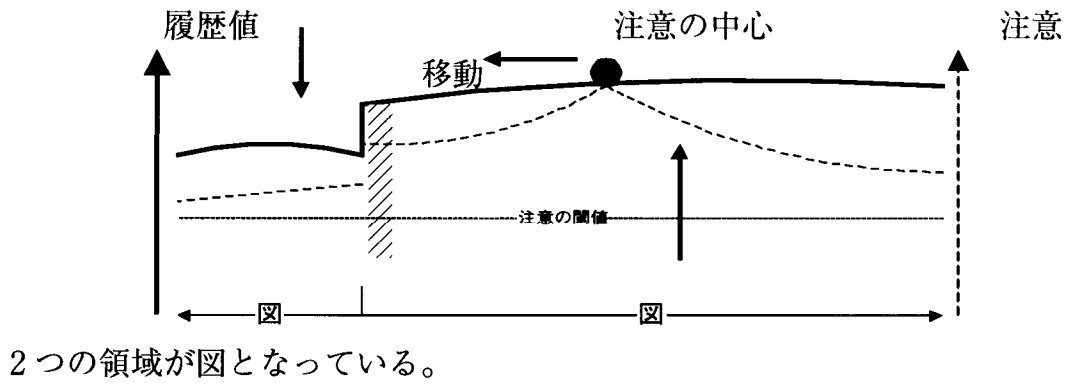
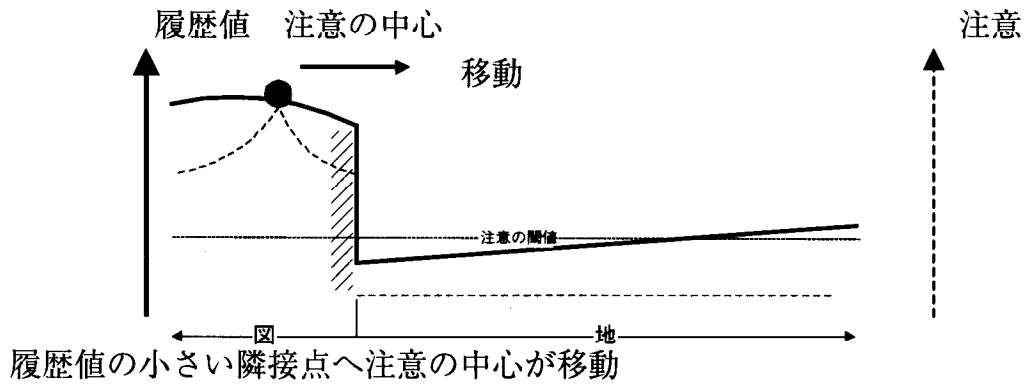


図 3.2.1-2 ㊦地反転が起こらない場合

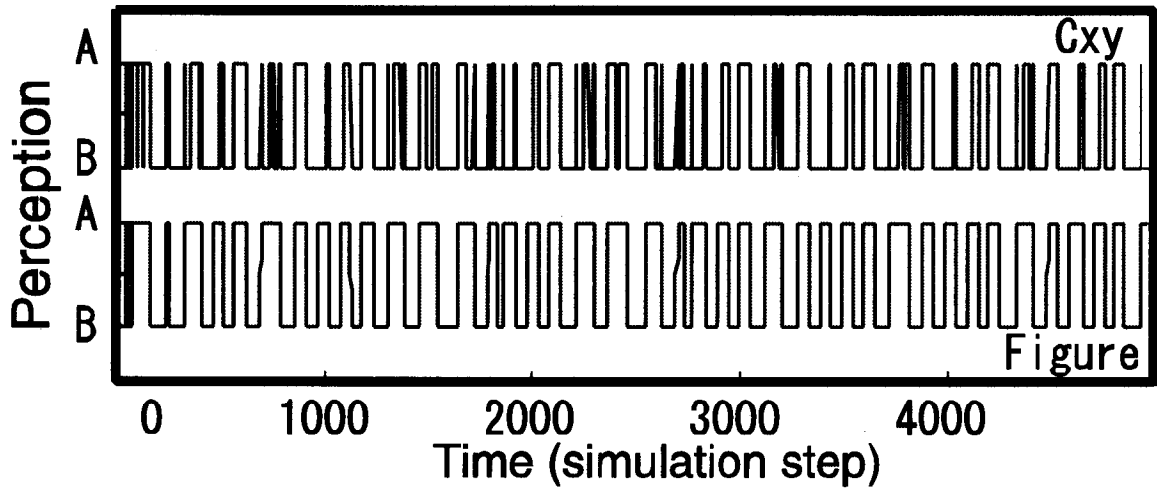


図 3.2.1-3

C x y : 注意の中心の位置と重なる領域  
 F i g u r e : 現在の知覚されている領域  
 注意の中心は頻繁に線を越えている。

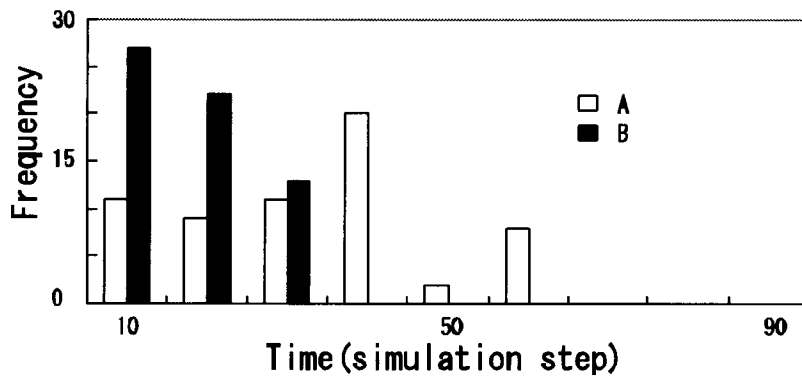
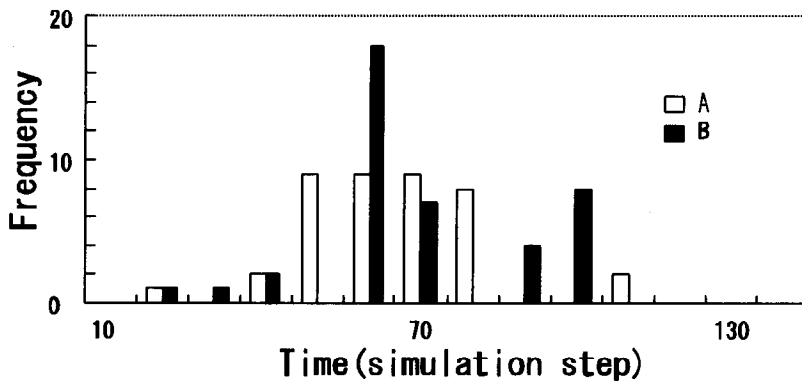


図 3.2.1-4 注意の中心の位置と重なる領域



### 3.2.2 領域を分ける切断素子の活動

線と隣接点の注意を比較した場合、視覚刺激の形によるが境界線の両側の切断素子が活動することがある。これは狭い範囲で算出したためであると考えられる。よって隣接点の範囲を広げたところ、余分な切断素子の活動は少なくなった。

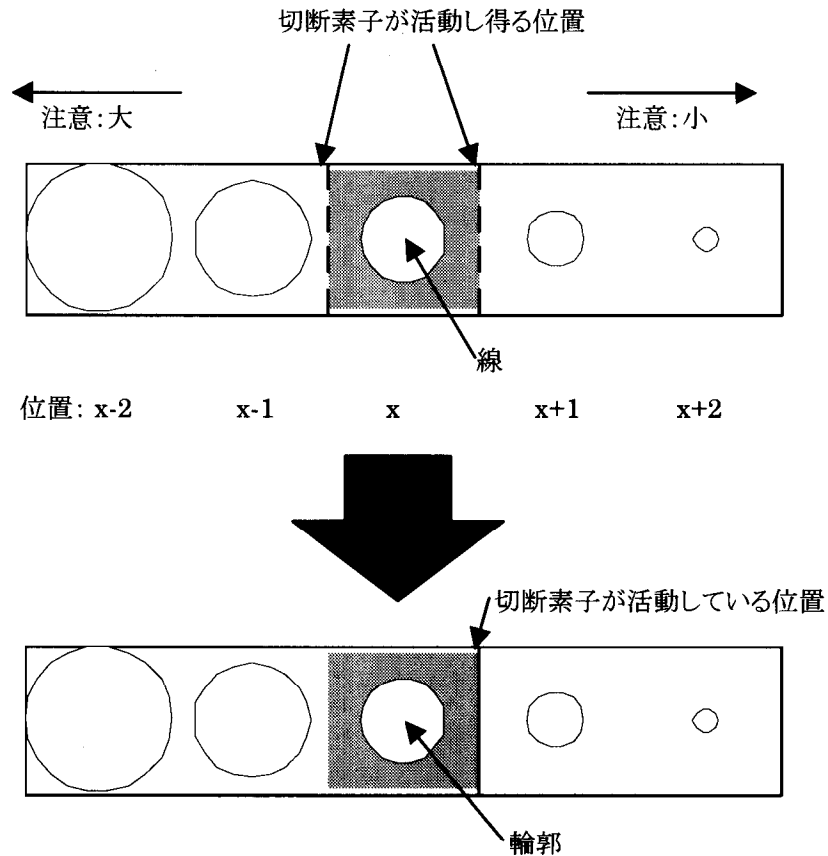


図 3.2.2-1 領域の分割2(より広い範囲で注意の大小を比較する)

線上の位置を  $x$ 、注意の大きさを  $A(x)$  としたとき、

$A(x-1) + A(x)$  と  $A(x+1) + A(x+2)$  の大小比較と、

$A(x) + A(x+1)$  と  $A(x-1) + A(x-2)$  の大小比較を行う。

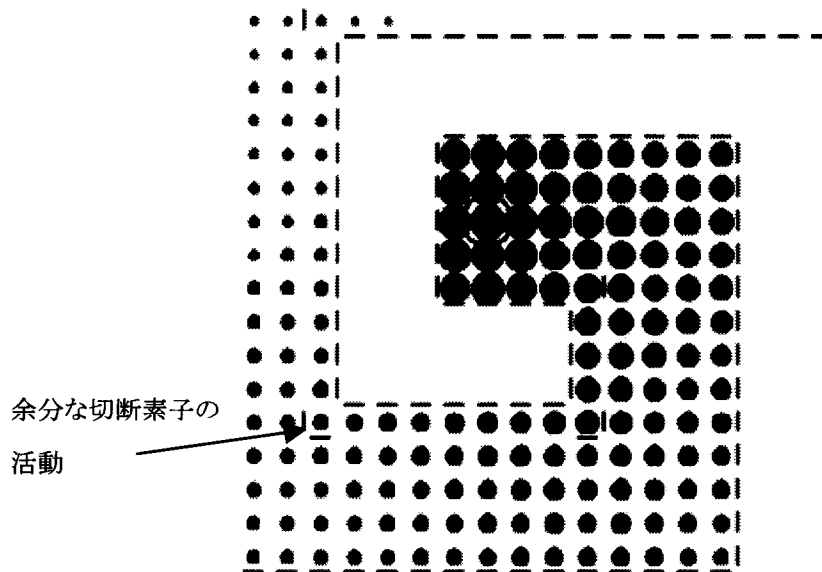
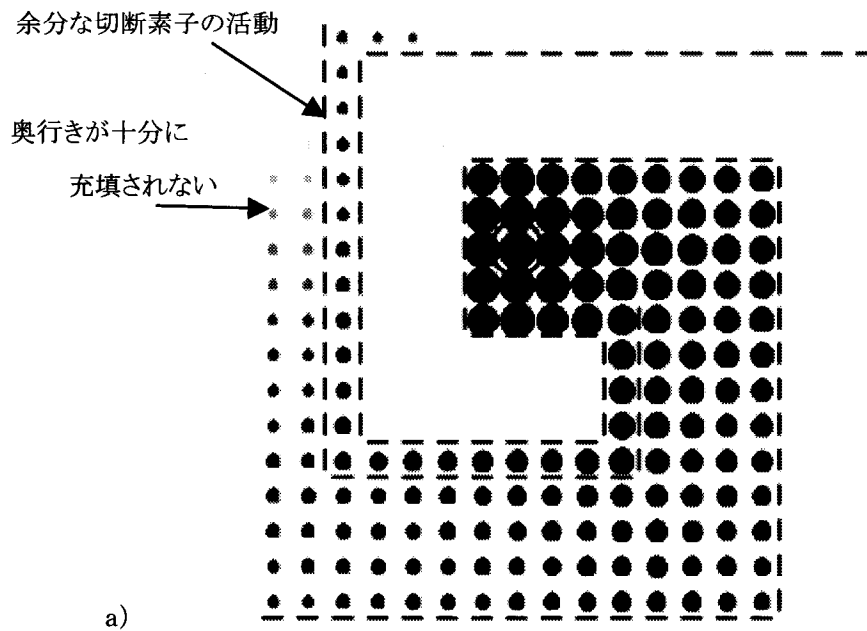


図 3.2.2-2 切断素子が活動している位置(シミュレーション画面)

切断素子の活動を破線, 注意の大きさを黒丸の大きさ, 奥行きを黒丸の輝度(黒いほど手前)で表す。

a) 線の位置と隣接点の位置で注意の大小を比較。

余分な切断素子の活動が多いため奥行きへの充填にも影響がでている。

b) より広い範囲で注意の大小を比較。

隣接する2点の注意の和を比較しているが, 頂点にはまだ余分な切断素子の活動が見られる。

### 3.3 まとめ

本研究は、注意の分布が変化することにより、図と地が反転するという神経回路モデルを提案した。従来の注意のモデルと異なる点は、注意が領域に沿って伝播し、注意の分布と領域の形を対応付けることで、注意が向いている位置が図となることを説明した点である。

計算機でシミュレートした結果、図と地を反転させることができた。しかし、図と地の反転が一定の周期で起きたり、注意の中心が一定の軌跡たどることが多く、そうしないためには、注意の解像度などの様々なパラメータを視覚刺激に合わせてうまくバランスをとって設定しなければならなかった。

これは注意の中心の移動を注意の履歴値と、注意が中心(視線方向)に向きやすいという考え方のみから算出していることが大きな要因であると考えられる。よって実際の視覚に近づけるためには、図になりやすさや何が注意を引きつけるのかといったことも考慮する必要がある。

今回のモデルでは複数の領域がそれぞれ別のオブジェクトとして知覚されるが、実際は、複数の領域を一つのオブジェクトとして知覚することが可能である。例えば、面の奥行きなどの物理的なパラメータが等しい領域や、近接、共通運命、よい連続といった要因で群化が起こった場合などは、同一の“面を表す場”で扱うべきであろう。

さらに、ズームレンズ・モデルのように注意の解像度を変え、オブジェクト全体や、オブジェクトの一部に注意を向けることができれば、より複雑な知覚現象が説明できる。

また、オブジェクトベースの注意についてモデル化したため、オブジェクト外に注意が伝播しない。これはスポットライト説が離れた位置の先行刺激を検出できないという矛盾と同じ問題である。この問題を解決するには、注意の伝播が線を越えられないという定義を、注意の伝播が線を越えるときは大きく減衰するといった定義に変えることで対応できる。

今回、構造の内部表現は図 2.1.1-1 のような配置でモデル化したため縦または横向きの線しか扱うことができないが、斜め方向についても拡張していきたい。

## 参考文献

- [1]熊田孝恒, 横澤一彦: 特徴統合と視覚的注意, 心理学評論, 37(1), 19-43, (1994).
- [2]乾敏郎: 認知心理学 1 - 知覚と運動, 東京大学出版会, (1995).
- [3] Posner, M. I., Snyder, C. R. R., & Davidson, B. J.: Attention and the detection of signals. *Journal of Experimental Psychology: General*, **109**, 160-174, (1980).
- [4] Eriksen, B. A. & Eriksen, C. W.: Effects of noise letters upon the identification of a target letter in a nonsearch task. *Perception & Psychophysics*, **16**, 143-149, (1974).
- [5] Tsal, Y: Movements of attention across the visual field. *Journal of Experimental psychology: Human Perception & Perception and Performance*, **9**, 523-530, (1983).
- [6] Kwak, H., Dagenbach, D., & Egeth, H.: Further evidence for a time-independent shift of the focus of attention. *Perception and psychophysics*, **49**, 473-480, (1991).
- [7] Sagi, D. & Julesz, B.: Fast noninertial shifts of attention. *Spatial Vision*, **1**, 141-149, (1985).
- [8] Eriksen, C. W., & St. James, J. D.: Visual attention within and around the field of focal attention: A zoom lens model. *Perception & psychophysics*, **40**, 225-240, (1986).
- [9] Eriksen, C. W., & Yeh, Y.: Allocation of attention in the visual field. *Journal of Experimental Psychology: Human perception and performance*, **11**, 583-597, (1985).
- [10] 熊田孝恒, 菊地正: 位置の再認における空間的注意の分布, 心理学研究, **59**, 99-105, (1988).
- [11] 熊田孝恒, 菊地正: 位置の再認における空間的注意の分布(II) - ある位置にあらかじめ注意を向けた場合について -, 筑波大学心理学研究, **12**, 21-27, (1990).
- [12] Driver, J., & Baylis, G.C.: Movement and visual attention: the spotlight metaphor break down. *Journal of Experimental Psychology: Human perception and performance*, **15**, 448-456, (1989)
- [13] Rock, I., & Gutman, D.: The effect of inattention on form perception. *Journal of Experimental Psychology: Human perception and performance*, **7**, 275-285, (1981)
- [14] 大山正, 今井省吾, & 和気典二: 新編 感覚・知覚心理学ハンドブック, (1994).
- [15] Metzger, W., 盛永四郎 訳: メッツガー 視覚の法則, 岩波書店, (1968).
- [16] Weisstein, N., Wong, E.: Figure-ground organization and the spatial and temporal responses of the visual system. In E. C. Schwab & H. C. Nusbaum (Eds.), *Pattern recognition by humans and machines*. (Vol. 2). New York: Academic Press. (1986).



- [17] 西村晴彦, 長尾夏樹, 松井伸之:ニューラルカオスに基づく認知交代モデル, 認知科学, 4(3), 111-119 (1997).
- [18] Posner, M. I. & Cohen, Y. : Components of visual orienting. In H. Bouma & D. G. Bouwhuis (Eds.), *Attention and performance X*, (pp. 531-556). Hillsdale, NJ : Lawrence Erlbaum, (1984).
- [19] 川人 光男:脳の計算理論, 産業図書, (1996).
- [20] Geman, S.,Geman, D.:Stochastic relaxation, Gibbs distributions, and the Bayesian restoration of images. *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, 6, 721-741, (1984).

## 謝辞

2年間という短い間でしたが、指導教官の阪口先生、出澤先生をはじめ研究室のみなさんに大変お世話になりました。

特に助手の関根先生には、心理学的な側面から見た“視覚的注意”の概念など教えていただき、本論文を執筆するにあたり大変参考になりました。

また、赤司、渡辺、萩原、須藤、中根、倉田、近藤、各氏には研究以外の面でも、いろいろとお世話になりました。

みなさんの今後の活躍を期待しています。