

生態光学における肌理の役割について(1)

—George A. Kaplan の論文から—

学校教育開発学コース 佐分利 敏 晴

The Function of Textures in Ecological Optics (1):
Referring to George A. Kaplan's Paper

Toshiharu SABURI

This article is a discussion about the theory of visual perception which George A. Kaplan argued in his article. Kaplan wrote this paper under the tuition of J. J. Gibson. The important and unique points of his notes are summarized as these four points.

1. While traditional theory of visual perception was argued with respect to seeing static pictorial displays, Kaplan started his discussion from the kinetic condition on the context of the ecological approach.
2. Contour lines were excluded from not only his theory but also the methods of the experiment he operated.
3. The information about the occlusion and the depth at an edge was found in this experiment, which was only displayed kinetic disruption of adjacent orders at a margin.
4. With adoption of the theory of specification on the context of moving textures, he led a breakthrough from Koffca's "figure-ground theory" or Michotte's theory of phenomenal permanence.

目 次

1 章：序

| | |
|--|-----|
| 1 章 序 | 265 |
| 2 章 Kaplan の論文 | 266 |
| 2.1 節 イントロダクション | 266 |
| 2.2 節 理論的分析—Kaplan の理論とそこから導かれる仮説 | 266 |
| 2.3 節 実験方法—従来の視覚の手がかりを全て排除する工夫 | 269 |
| 2.4 節 実験結果—肌理の添加／削除のみによる 2 表面の知覚 | 269 |
| 2.5 節 考察と結論—Kaplan がたどり着いた帰結 | 273 |
| 3 章 Kaplan 論文の意義—視覚論，生態心理学，アフォーダンス理論に対する貢献 | 275 |
| 3.1 節 情報の实在論と視覚について | 275 |
| 3.2 節 輪郭線と境界について | 275 |
| 3.3 節 結び | 276 |
| 引用・参考文献 | 277 |

本論文は Kaplan G. A. による 1968 年の論文 "Kinetic Disruption of Optical Texture: The Perception of Depth at An Edge" を紹介し，現在の生態心理学および知覚心理学から考察するものである。

Kaplan は Gibson J. J. の直接指導を受けた数少ない学生の一人である。ここで取り上げるのは彼の博士論文である。これは Gibson J. J. の著書 "The Ecological Approach to Visual Perception" (1979) にも引用されたが，これ以降彼自身の業績はない。

Kaplan のこの論文の現在にも有用な意義と価値は，以下のようなものである。

1. 伝統的な視覚論が主に静的な平面上の絵を見ることに基づき構築されたのに対し，Kaplan が Helmholtz の指摘や Gibson の主張を取り入れ動的な環境から独自の視覚論を展開したこと。
2. 環境中の物体の面の肌理から理論を立て，輪郭線

を議論及び実験から排除したこと。

3. 表面の任意の領域の端の部分における動的崩壊、つまり隣接する肌理の配列の乱れだけで、遮蔽や縁深度が知覚可能な表示を作成し、ひいては遮蔽や縁深度を特定する情報を発見したこと。
4. 動的な肌理による特定という方法によって Koffka のゲシュタルトの図—地理論を超え、また Michotte の永続性の知覚に対しても考察を行うことができたこと。

以下、彼の論文を紹介しそれについて論じる。

2章：Kaplan の論文

本章は取り上げる Kaplan の論文について、その内容をまとめて記すものである。

2.1節 イン트로ダクション

Kaplan はまず、伝統的な知覚の心理学ではなく、Gibson J. J. が提唱したエコロジカル・アプローチ、生態心理学に則って視知覚の検討を行うことを宣言する。

次に彼は、レイアウトの重要なプロパティ(性質)が遮蔽であると指摘し、その重要な点を2つ挙げる。一つは、任意のレイアウトを持つ環境中で、どの静止した観察点を選ぶかによって、特定の対象や表面が見えるかあるいは見えないかが決定することである。もう一つは、遮蔽縁は2つの面の分離する場所であるから、遮蔽縁には静的な観察点に対し方向性を持つ、深度方向 the direction of depth at an edge があることである。

また彼は2種類の異質な縁を挙げた。一つは2面角で2表面が結合している場合、もう一つは曲面の場合の縁である。これらはどちらでも対象自身のある面がそれ以外の他の表面を隠す自己遮蔽が起こることがある。

次いで彼はこれまでの縁の遮蔽と空間位置関係の研究の歴史について批判した。それらが一般的に相対的深度の手がかりとしての干渉 interposition または重なり superposition の研究に過ぎず、固定された表示 display または画像による表示に基づいていたことを指摘したのである。Gibson(1966) および Hochberg(1962) も“困難さは主に固定した絵画的表示を用いることで起こっており、そこに縁における深度方向の干渉に関して基本的な曖昧さがある”と、従来の空間関係の研究を批判していた。Kaplan は“干渉の変化…には遮

蔽による変化を特定する動的な刺激があり、それが視知覚にとって重要な情報源となっている。…これらの光学的な運動と変形は対象の配置と運動、また観察者の運動を特定しうる¹⁾”と述べ、生態光学、つまり環境中の表面から任意の観察点に集まる包囲光と、その光学的配列及びその変化即ち光学的運動を分析し理論を立てることで、この問題は克服できると述べた。

2.2節 理論的分析—Kaplan の理論とそこから導かれる仮説

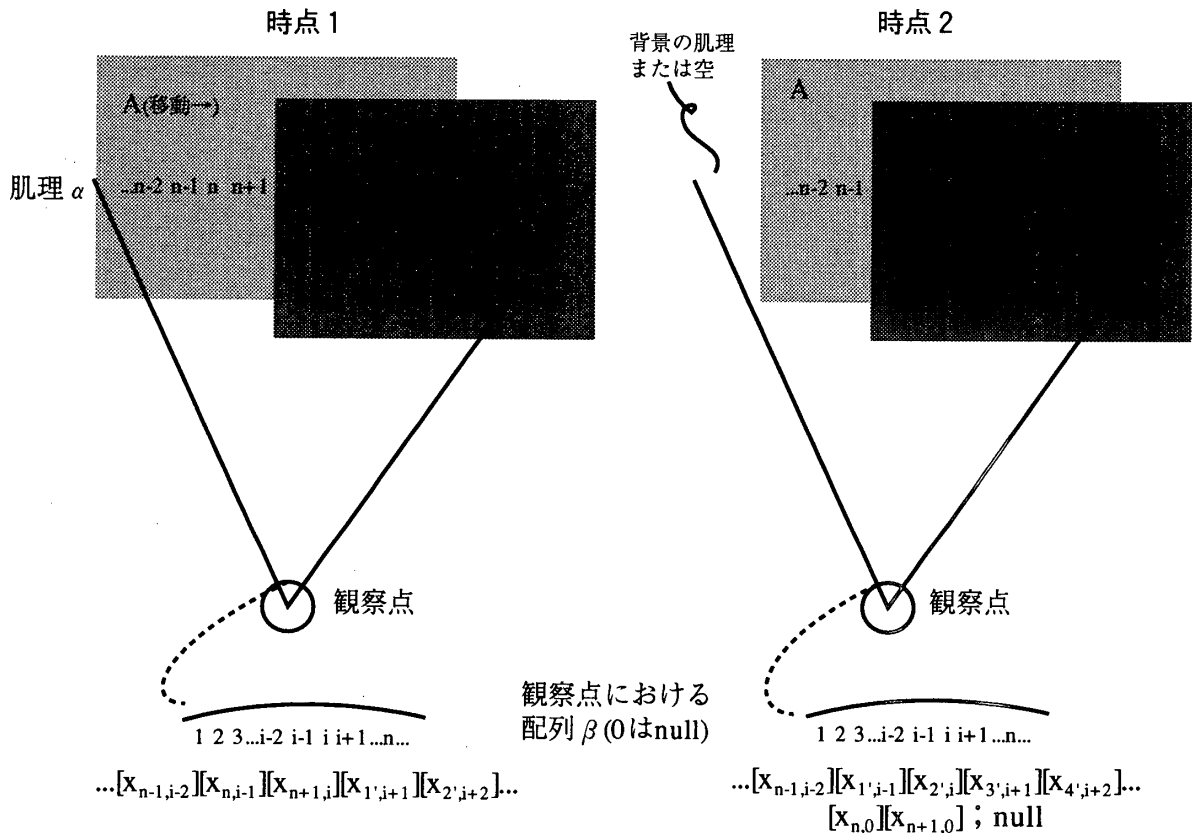
Kaplan の理論は実験的検証を直接導くことができるだけの具体性を持っていた。以下、彼が打ち出した理論と仮説について述べる。

彼は図1のように環境中に平行に配置された2つの表面と、表面に垂直な位置の任意の観察点を想定した。観察点から見て手前の表面が奥の面を覆う。表面には肌理がありそれを構成する要素があるので、ここで奥の表面の水平方向に並ぶ任意の1列の肌理要素を1, 2, ..., n-1, n, n+1, ..., 手前の表面でそれと同じ列に並んでいる要素を1', 2', ..., n'-1, n', n'+1, ... で表す。肌理要素の基準は任意である。こうすると、表面の物理的構造が光学的配列に文字通り再現 represent されるのではなく、むしろその変形が光学的配列に再現されるようになる。

手前の面が奥の面を覆い隠すので、覆われた面の一部の肌理は光学的配列中に投影されない。Kaplan はこれが鍵になっていると述べる。手前の面が動き、奥の面が隠されていくと、これまで見えていた肌理は見えなくなっていく。これが光学的削除 optical deletion と定義される。逆に覆いが外されていくと奥の面の見えている肌理は見えるようになる。これは光学的添加 optical accretion と定義される。手前の覆い隠す面では肌理要素は全て保存される一方、奥の覆われる面はその配列が添加/削除され保存されないの、縁深度も特定できることになる。

a を肌理要素、 β を配列中の相対位置として光学的肌理要素を $[x_{a, \beta}]$ と表す。 a は環境中の対象の表面に、 β は観察者の網膜に当たる光の配列に関するラベルとみてよい。つまり $[x_{a, \beta}]$ とは、表面の n 番目に位置している肌理から特定の観察点に向かう光が、 i 番目の光学的配列に配置されていることを意味する。 $a = (1, 2, \dots, n-1, n, n+1, \dots; 1', \dots, n'-1, n', n'+1, \dots)$, $\beta = (0, 1, 2, \dots, i-1, i, i+1, \dots)$ と置くと、水平方向の配列の1つはこのようない連の肌理要素として表せる。

図1 表面の肌理要素と光学的配列の模式図



(..., $x_{1,1}$, ..., $x_{n-1,i-1}$, $x_{n,i}$, $x_{1',i+1}$, ..., $x_{n-1,n'+i-1}$, $x_{n',n'+i}$, ...)

要素のプライムの有無は異なることを意味せず、後の議論に用いるためのものである。

$\beta = i$ と $\beta = i+1$ 間の端の部分において、以下のような場合が考えられる。

- 1) $[x_n]$ が継続的に消去され $[x_{n'}]$ は添加/削除されないとき、覆う表面は要素 n' で決定され、遮蔽縁は $\beta = i$ と $\beta = i+1$ 間で特定され、 $[x_n]$ 側が奥にある。
- 2) $[x_n]$ が継続的に添加され $[x_{n'}]$ は添加/削除されないとき、覆う表面は要素 n' で決定され、遮蔽縁は $\beta = i$ と $\beta = i+1$ 間で特定され、 $[x_n]$ 側が奥にある。
- 3) $[x_{n'}]$ が継続的に消去され $[x_n]$ は添加/削除されないとき、覆う表面は要素 n で決定され、遮蔽縁は $\beta = i$ と $\beta = i+1$ 間で特定され、 $[x_{n'}]$ 側が奥にある。
- 4) $[x_{n'}]$ が継続的に添加され、 $[x_n]$ は添加/削除されないとき、覆う表面は要素 n で決定され、遮

蔽縁は $\beta = i$ と $\beta = i+1$ 間で特定され、 $[x_{n'}]$ 側が奥にある。

これら4つの可能な状態は帰納法によって証明される。²⁾

Kaplan の論文の追記Aを参照しながら図1を用いて説明すると、次のようになる。表面Aは観察点に相対的に右に移動しており、Bは静止している。よって端の部分の位置は動いていない。時点1で肌理(n-1), (n), (n+1), (1'), (2')がそれぞれ配列(i-2), (i-1), (i), (i+1), (i+2)に投影されている。この時光学的配列は $[x_{n-1,i-2}] [x_n, i-1] [x_{n+1,i}] [x_{1',i+1}] [x_{2',i+2}]$ である。時間が経ち2の状態になると、肌理(n-1)はまだ見えているが、(n), (n+1)は表面Bに隠され見えなくなる。表面Aの動きを考慮すると、光学的配列は $[x_{n-3,i-2}] [x_{n-2,i-1}] [x_{n-1,i}] [x_n, 0] [x_{n+1,0}] [x_{1',i+1}] [x_{2',i+2}]$ となる。 $\beta = 0$ は null を意味し、 $[x_n, 0]$, $[x_{n+1,0}]$ は肌理(n), (n+1)が光学的配列にないことを指す。この図の場合Aの肌理(...n, n+1, ...)が削除され、Bの肌理(1', 2', 3', ..., n', ...)は全て保存されているので、AがBの奥に位置していることが特定

される。端の部分が動く場合は $i=f(t)$ と i を時間の関数とすると、 $i(t_{n-1})=i(t_n)-1$ または $i(t_n)+1$ (正負は動く方向で決まる) のように、単位時間当たり1配列ずつずれるだけで、それ以外は端の部分が動かない図1の場合と同様の方法で説明できる。表面AとBの位置関係が逆であれば、 n と n' を逆にして考えればよい。

Kaplan はこの理論に基づき、視知覚において遮蔽縁を特定する情報がどのようなものであるかについて、以下の2つの仮説を立てた。

“仮説1：配列中の端の部分にある光学的肌理単位に、片側で続けて起こる光学的添加／削除があり、反対側で光学的肌理単位が保存されるとき、添加／削除の起こっている領域のある表面は、要素が保存される領域のある表面の後ろに見える。

これは絶対的または相対的な2表面の運動で起こるとは限らず、ある表面がもう片方の後ろへ隠れていく／現れるという事象に、また表面が別の表面に覆われていたりいなかったりする事象に相当する。

…これは肌理単位、配列中の相対位置と、単位と位置の隣接関係の同定のみを必要とする。”³⁾

“仮説2：光学的配列中の端の部分の両側で光学的肌理単位の光学的添加／削除が続けて起こるとき、単位時間当たりの添加または削除の変化率が大きい表面は、それが小さい領域がある表面の後ろにある。

この仮説は特定時点での量または不一致について言及しない。光学的添加／削除の多い領域が奥にあり、少ない領域が手前に見えるように見える。

仮説2の確認は仮説1の確認を含む(その逆はない)。…それは縁深度を特定するが遮蔽を特定しない光学的運動がある可能性を示す。つまり縁深度を特定する添加／削除の情報と遮蔽を特定する情報を、切り離せることを意味する。”⁴⁾

これらの仮説について、Kaplan の論文の追記D⁵⁾に基づき注釈を加え説明する。

規則正しい配列を持った肌理を仮定し、その2つの領域が端の部分で下記のように隣接しているとする。
……A B C D E 5 6 7 8 9 10 11 12……

これはそのまま網膜上に達する光学的配列と考えてよい。この時、端の部分は要素Eと要素5の間にあり、光学的配列ではそれらに対応する配列部分に境がある。

表面が単位時間あたりの動く速さが2要素ずつであるとき、左側の面が左に動くときと端の左側はこのように

変化する。

……A B C D E F G

端の部分及び右側の面が動かないとき、配列は以下のように変化する。

……A B C D E F G 5 6 7 8 9……

端の部分に左側に新たにF、Gという肌理が並ぶ。これは先の理論の2)または4)にあたり、左側の面が右側の面の奥にあると観察者が知覚したならば、仮説1は支持される。

左側の面が左に動き、右側の面も左に動く場合、端の右側は次のようになる。

7 8 9 10 11 12……

この時端の部分が動かないと、1単位時間後に以下のような配列に変化する。

……A B C D E F G 7 8 9 10 11 12……

この場合端の左側にF、G、右側に7、8が新たに加わり、配列がずれる。つまり端の部分の両側で配列が保存されない。このとき仮説2のような変化率の違いもないため、遮蔽も縁深度も特定できない。

端の部分が右に動く場合、左側の面は前の例に加え2つ要素が現れ、右側では2つ要素が削除されるので、次のようになる。

……A B C D E F G H I 9 10 11 12……

これを元の配列と比較すると、左側の肌理は4つ添加され、右側の肌理は4つ削除されている。この場合も端の部分での左右の添加／削除の差異は0になり、深度がないことが予想される。

左側の領域が単位時間あたり1つだけ動く場合、配列は下のようになり左右の配列の変化に1つだけ差異が生じ、仮説2により左側の領域が手前に見えることになる

……A B C D E F G H 9 10 11 12……

これらの仮説は、奥行き方向に並ぶ2つの表面が観察者に相対的に動くときの遮蔽による変化から生じる事柄、添加及び削除から分析されるものであった。そのためKaplanには仮説を検証する実験を行う上で、伝統的な相対的深度(奥行き)知覚の手がかりを排除し、代わりに2つの領域が接する端の部分で起こる添加／削除に、方向や速さ、比などの性質を持たせることが要求されたのである。また彼は、仮説2によれば深度がない状態も予測され、実際にそのような表示を作ることができれば仮説が強力に支持されることも指摘した。Kaplanは以上のことを踏まえ、実験を行った⁶⁾。

2.3節 実験方法—従来の視覚の手がかりを全て排除する工夫

ここでは Kaplan が伝統的な手がかりを排除し、肌理の添加と削除だけがあるような表示を、実際にどのような方法で作成し被験者に提示したかについて述べる。

彼はランダムドットパターンを用意し、これでアニメーションを作る方法で作成した。画面に A (右側), B (左側) の 2 つの領域を作るために、左右に動く距離を微妙に調整できるガラスの上に、ランダムドットパターンを印刷した 2 枚の紙を一部が重なるようにして置き、それを一定の長さだけずらしながら、1 秒あたり 24 コマある映画用の 16mm フィルムに、装置にセットしてあるカメラで上から 1 コマずつ撮影した。こうして作成されたフィルムを映写機でスクリーンに映せば、動いているランダムドットパターンを表示できる。さらに光量や露出を調整し、表示の周囲の焦点をずらすなどの工夫を行うことで、スクリーン上のランダムドットパターンが垂直な線状の領域、端の部分で添加／削除だけが起るような映像を作成したのである。

合計で 41 通りの映像が作成され被験者に提示された。そのうち 16 種類は端の部分となる領域が動かず、領域

A, B はどちらか片方または両方が動き添加／削除が起るものとした(表 1)。端の部分の位置については、画面の中央, 右 1/3, 左 1/3 の 3 種類、動きの速さは毎秒 0.16 インチ (rate1) または 0.31 インチ (rate2) の 2 種類が用意され、それらを組み合わせて作成された。それぞれの動きの被験者の目に対する角速度は、スクリーンから被験者までの距離から換算して rate 1 で毎秒 2.5 度, rate 2 で毎秒 5 度であった。これにより端の部分での添加／削除の不一致の量や割合が得られ、縁深度の方向を予測するのに用いられた。他の 25 種類は端の部分が移動するような表示であった。この場合は想定される動き方の組み合わせが膨大になるため、そのうち重要な全ての比較対照となる表示が選ばれた(表 2)。A, B それぞれの領域の動く速さ及び端の部分の動く速さは rate1, 2 のどちらかとした。前者 16 例は仮説 1, 後者 25 例は仮説 2 をそれぞれ検証するための表示である。被験者は学生 32 人であり、それを 6~9 人の小グループに分けて表示を提示し、どの領域が手前に見えるかについて「右」「左」「判定不能」という 3 つの選択肢から選ばせ、それぞれの回答についてその確実さを 4 段階で訊ねた。確実さの指標は 1 が最も低く、4 が最も高いものである。

2.4節 実験結果—肌理の添加／削除のみによる 2 表面の知覚

2.3 節の実験から得られた結果は以下の通りであった。(表 3, 図 2-1, 2-2 参照)

まず、遮蔽の知覚に関する結果について述べる。領域 A または B が固定され一方だけが動き、端の部分の片側でのみ添加／削除が起るような場合では、被験者全員が固定された面が動いている面の手前であると強く確信して回答した。端の部分の両側で添加／削除がある場合では、被験者の回答は次のうちいずれかを答えたものが 8 割になった。まず端の部分が動かない場合では、2 つの肌理のあるローラーが回っていて裂け目(端の部分)で接しており、片側のものが反対側よりも手前にあるというものであった。もう一つは端の部分が左右どちらかに移動する場合で、この時は被験者は同様の事柄に加えて覆い隠す側の面が伸びている、または縮んでいると述べた。被験者はどちらの場合でも遮蔽があるとは答えず、縁深度があると述べたのである。実際の環境中にはあり得ないような、端の部分での添加／削除はあっても不一致がない(添加／削除の率が等しい)表示(端の部分固定の 7, 10, 13, 16 番, 端の部分移動の 5 番)では、縁深度は知覚できないと

表 1 作成した画像・端の部分固定の場合
移動する速さは rate1 で固定

| 例の番号 | 領域Aの動き | 領域Bの動き | 速い側 | 添加／削除率の大きい側 | 差違の大きさ | 関連する仮説 |
|------|--------|--------|-----|-------------|--------|--------|
| 1 | 左 | 固定 | A | A | 1 | 1及び2 |
| 2 | 右 | 固定 | A | A | 1 | 1及び2 |
| 3 | 固定 | 左 | B | B | 1 | 1及び2 |
| 4 | 固定 | 右 | B | B | 1 | 1及び2 |
| 5 | 左 | 左 | A | A | 1 | 2 |
| 6 | 左 | 左 | B | B | 1 | 2 |
| 7 | 左 | 左 | 等しい | 等しい | 0 | 2 |
| 8 | 左 | 右 | A | A | 1 | 2 |
| 9 | 左 | 右 | B | B | 1 | 2 |
| 10 | 左 | 右 | 等しい | 等しい | 0 | 2 |
| 11 | 右 | 左 | A | A | 1 | 2 |
| 12 | 右 | 左 | B | B | 1 | 2 |
| 13 | 右 | 左 | 等しい | 等しい | 0 | 2 |
| 14 | 右 | 右 | A | A | 1 | 2 |
| 15 | 右 | 右 | B | B | 1 | 2 |
| 16 | 右 | 右 | 等しい | 等しい | 0 | 2 |

表2 作成した画像・端の部分移動の場合

| 例の 番号 | 領域Aの 動き | 領域Bの 動き | 端の動 く方向 | 端の動 くrate | 速い領 域 | 添加/削除の 大きい側 | 差違の 大きさ | 関連する 仮説 |
|----------|------------|------------|------------|--------------|----------|----------------|------------|------------|
| 1 | 右 | 右 | 右 | rate2 | A | B | 1 | 1及び2 |
| 2 | 右 | 右 | 右 | rate2 | B | A | 1 | 1及び2 |
| 3 | 右 | 右 | 右 | rate1 | A | A | 1 | 1及び2 |
| 4 | 右 | 右 | 右 | rate1 | B | B | 1 | 1及び2 |
| 5 | 右 | 右 | 右 | rate1 | 等しい | 等しい | 0 | 1及び2 |
| 6 | 右 | 左 | 右 | rate2 | A | B | 3 | 1及び2 |
| 7 | 左 | 右 | 右 | rate2 | B | A | 3 | 1及び2 |
| 8 | 右 | 左 | 右 | rate1 | A | B | 1 | 2 |
| 9 | 左 | 右 | 右 | rate1 | B | A | 1 | 2 |
| 10 | 右 | 左 | 右 | rate1 | B | B | 3 | 1及び2 |
| 11 | 左 | 右 | 右 | rate1 | A | A | 3 | 1及び2 |
| 12 | 右 | 左 | 右 | rate2 | B | B | 3 | 2 |
| 13 | 左 | 右 | 右 | rate2 | A | A | 3 | 2 |
| 14 | 右 | 左 | 右 | rate1 | 等しい | B | 1 | 1及び2 |
| 15 | 左 | 右 | 右 | rate1 | 等しい | A | 1 | 1及び2 |
| 16 | 右 | 左 | 左 | rate2 | A | A | 3 | 2 |
| 17 | 左 | 右 | 左 | rate2 | B | B | 3 | 2 |
| 18 | 右 | 左 | 左 | rate1 | A | A | 3 | 1及び2 |
| 19 | 左 | 右 | 左 | rate1 | B | B | 3 | 1及び2 |
| 20 | 右 | 左 | 左 | rate1 | B | A | 1 | 2 |
| 21 | 左 | 右 | 左 | rate1 | A | B | 1 | 2 |
| 22 | 右 | 左 | 左 | rate2 | B | A | 3 | 1及び2 |
| 23 | 左 | 右 | 左 | rate2 | A | B | 3 | 1及び2 |
| 24 | 右 | 左 | 左 | rate1 | 等しい | A | 2 | 1及び2 |
| 25 | 左 | 右 | 左 | rate1 | 等しい | B | 2 | 1及び2 |

いう報告が大部分を占めた。これも仮説と一致する結果であった。

次に、縁深度の判断と仮説1及び2の妥当性について述べる。仮説1に関する例については平均98%、仮説2に関する例については平均87%が予測された方向と回答が一致した。仮説2のみに関わる例を検討すると、平均75%の回答が予測と一致した。このことから、仮説1と2の差は明らかである。また、左右の非対称性及び2つの面の相対的な移動速度の影響は、無視できるものであった。

予測されなかったことは、不一致の量と予測の強度に強い相関があることであった。これは、後述される

Kaplanの考察に重要な意味を持つ重要な発見としてあげられている。

彼はこれ以外に、非公式ではあるが他の様々な実験を行い、論文で紹介している⁹⁾。これはここでの分析の一般性を確かめるため、また光学的肌理要素のクラスターに基づく定式化の有用性を確かめるためのものである。以下にそれらを示す。

1) 動きの軌跡が不規則な表示を作成し、同様の実験が行われた。被験者は予測された深度方向を答えた。よって、添加・削除の起こる端の部分の形状は重要ではない。

表3 奥と判定された側の率の平均値

| 端の位置固定 | | | | | 端の位置移動 | | | | |
|--------|------|------|------|-------|--------|------|------|------|-------|
| 番号 | 左 | 右 | 判定不能 | 平均確信度 | 番号 | 左 | 右 | 判定不能 | 平均確信度 |
| 1 | 0 | 1 | 0 | 3.7 | 1 | 0.97 | 0 | 0.03 | 3.3 |
| 2 | 0 | 1 | 0 | 3.8 | 2 | 0.03 | 0.95 | 0.02 | 3.5 |
| 3 | 1 | 0 | 0 | 3.8 | 3 | 0.02 | 0.98 | 0 | 3.6 |
| 4 | 1 | 0 | 0 | 3.7 | 4 | 0.91 | 0.05 | 0.05 | 3.4 |
| 5 | 0.08 | 0.58 | 0.34 | 2.5 | 5 | 0.02 | 0 | 0.98 | 3.7 |
| 6 | 0.66 | 0.13 | 0.21 | 2.5 | 6 | 0.97 | 0.03 | 0 | 3.8 |
| 7 | 0.08 | 0.06 | 0.86 | 2.7 | 7 | 0 | 1 | 0 | 3.7 |
| 8 | 0.05 | 0.53 | 0.42 | 2.4 | 8 | 0.91 | 0.03 | 0.06 | 3.1 |
| 9 | 0.66 | 0.02 | 0.33 | 2.3 | 9 | 0.05 | 0.86 | 0.09 | 3 |
| 10 | 0.22 | 0.08 | 0.7 | 2.6 | 10 | 1 | 0 | 0 | 3.8 |
| 11 | 0.06 | 0.69 | 0.25 | 2.4 | 11 | 0 | 1 | 0 | 3.6 |
| 12 | 0.61 | 0.08 | 0.31 | 2.7 | 12 | 0.94 | 0.05 | 0.02 | 3.1 |
| 13 | 0.25 | 0.22 | 0.53 | 2.5 | 13 | 0.19 | 0.72 | 0.09 | 2.8 |
| 14 | 0.02 | 0.81 | 0.17 | 2.3 | 14 | 1 | 0 | 0 | 3.8 |
| 15 | 0.62 | 0.08 | 0.28 | 2.4 | 15 | 0 | 1 | 0 | 3.7 |
| 16 | 0.03 | 0.14 | 0.83 | 2.7 | 16 | 0 | 0.94 | 0.6 | 3 |
| | | | | | 17 | 0.86 | 0.09 | 0.05 | 2.8 |
| | | | | | 18 | 0 | 1 | 0 | 3.8 |
| | | | | | 19 | 1 | 0 | 0 | 3.8 |
| | | | | | 20 | 0.03 | 0.91 | 0.06 | 2.9 |
| | | | | | 21 | 0.83 | 0.06 | 0.11 | 2.4 |
| | | | | | 22 | 0 | 1 | 0 | 3.7 |
| | | | | | 23 | 0.95 | 0.05 | 0 | 3.8 |
| | | | | | 24 | 0 | 0.97 | 0.03 | 3.8 |
| | | | | | 25 | 1 | 0 | 0 | 3.8 |

2) アニメーションの作成方法ではなく、コンピューターを用いたCRTの表示を用いて実験が行われた。表示は任意の位置に確率1/2で点を打つか、5~6個の点のクラスター、10~15個の点のクラスターを散らすようにして作成された。点を打つ方法では若干その傾向は弱かったが、多くの場合観察者は予想された深度方向を答えた。

3) 同様にCRT上で図3のような領域A, B, Cを作り、領域Bの肌理を左方向に動かした。観察者の多くは領域Aに窓があり、その背景に動く面が見え、そこに領域Cが浮いているように見えると回答した。またほぼ全ての観察者が、領域AとCが同一平面上にあると答えた。

4) 肌理要素がトポロジカルに不変でないという光学的添加/削除変形の特徴の妥当性について考察するため、不一致が0になる添加/削除変形とトポロジカルに許容される変形を観察者が同時に比較できる表示が作成された。トポロジカルに許容される変形は、連続した肌理が任意の端の部分を通り過ぎるとき、肌理要素を1単位ずつ置き換え作成した。ここで肌理要素は変形しているのだから壊れているのではない。観察者は添加/削除によるものについてははっきりした輪郭を報告したが、トポロジカルに許容されるものについてはほとんどないと回答した。一般化すると、輪郭の決定因子は連続する、(傾斜や剛性などの知覚に重要

図2-1 奥にある面の左右判定・端の部分固定の場合

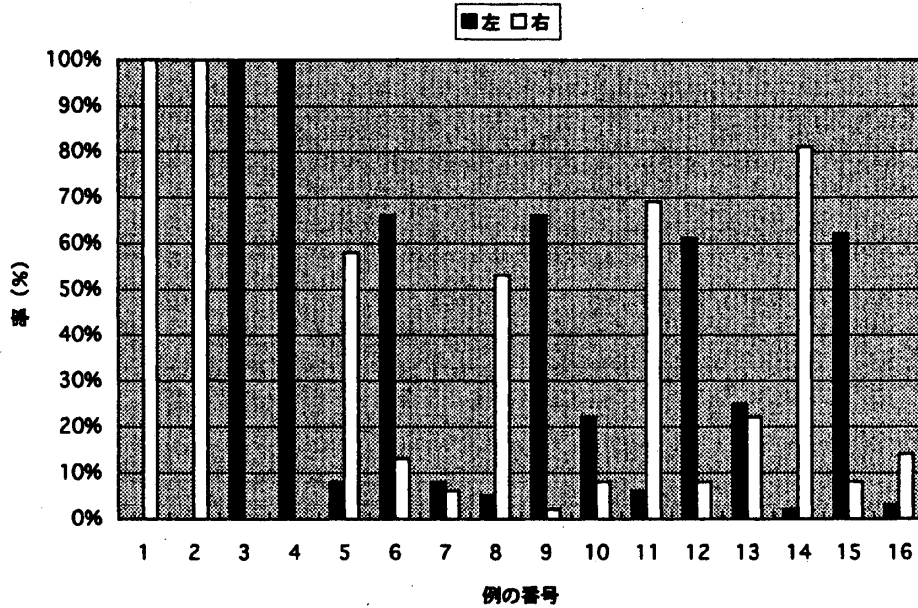
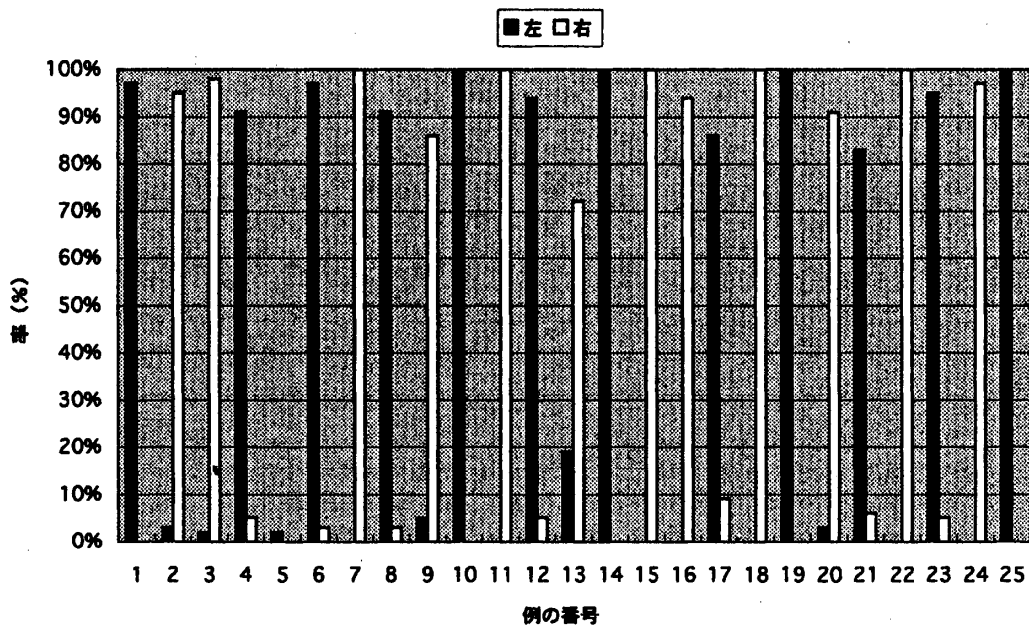


図2-2 奥にある面の左右判定・端の部分移動の場合

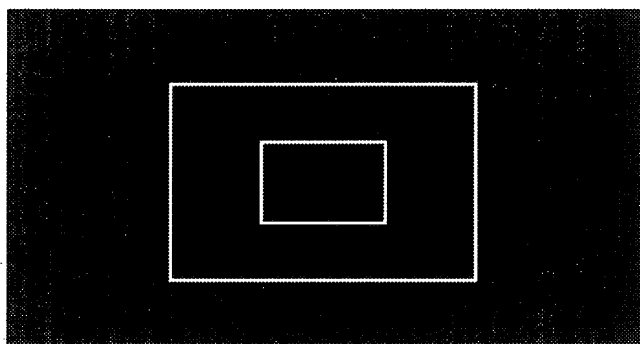


な)トポロジカルに許容される変形と対照を為す。後者は連続する変形を含み、一方前者は不連続な変形を含む。

5)これまでの実験に示された知覚機構が光学的肌理の“軌道”のような要素を含むとすれば、添加/削除される要素が長いほど輪郭の知覚が決まりやすいことを示すことができる。これを確かめるため、添加/削除率が0になる不一致を持つ光学的

添加/削除により生じる2つの輪郭を観察者が同時に比較できる実験を行った。同じ肌理の同じ長方形を置く方向を一方は水平に長く、もう一つは縦に長くした。ほとんどの観察者が水平になっているクラスターについて「より強い」「より連続性のある輪郭」を知覚した。

図3 追加実験(3)で用いられたCRT上の表示の模式図



注1：実際の表示はランダムドットパターンであり、領域A,B,Cそれぞれの境界線は描かれていない。領域A,Cは動かず、領域Bのランダムドットパターンが左に動く。

2.5節 考察と結論—Kaplan がたどり着いた帰結

ここでは Kaplan 自身による、彼の立てた仮説とそれを確認するための実験とその結果についての考察と、それから導き出された結論を紹介する。以下は彼の考察の要約である¹⁰⁾。

この研究の結果は、遮蔽の光学的な議論の分析と、深度を持つ縁の知覚についての予想を強く支持するものだった。被験者の判断のうち98%または87%を仮説1, 2によって正確に予測できた事実は、深さについての伝統的な絵的 pictorial または動的な手がかりがない場合の、相対的深度を特定するための情報の強さを証明している。

添加/削除率の不一致 disparity の量に明白な相関があることは、被験者が実際にそれに対し感受性を持っていたことを示す。この相関は、不一致の定式化が縁深度の動的な刺激情報を処理するのに十分な枠組みとなることを示唆する。以下に述べるが、これらの結果を生態学的妥当性 validity の観点でこれらを考察していることが重要である。

この実験で、光学的な添加/削除情報の基本に則った表示において、遮蔽のある縁深度と遮蔽のない縁深度とを区別することが可能である。被験者が2つの表面が奥行き方向に配置されていると述べたことは、そこに縁での深度だけではなく、ある表面が別の表面を隠す、またはそれが隠れるという情報もあることを示す。これは仮説1にのみ当てはまる。端の部分の両側に光学的添加/削除を含むそれ以外の表示では、被験者は縁深度はあるが遮蔽はなく、面がローラー上にあると述べる例が多かった。これは生じている光学的添

加/削除による、遮蔽縁と一種の遮蔽縁ではない縁の、現象的または生態学的な違いによると考えられる。この結果はさらに、仮説2により特定される縁を完全に分類するのに有効である。

仮説2にはさらに、予測されなかったような類の輪郭があると被験者が報告した表示の例がある。特に端の部分の片側で添加、もう一方の側で削除が起こる場合で、両側の添加/削除率が等しいとき、被験者は場のどこにも属さない線または輪郭があったと報告している。この結果は輪郭についての Koffca の伝統的公理から離れるものであった。

これらの結果から“図と地”という伝統的な公理を問うことができる。追加実験1, 2及び3の結果は、完全に光学的添加/削除仮説から予想できる。この表示には大きな領域に囲まれた小さな領域はあるが、図一地の性質がない。これらのことは、図一地構造の事実と性質が、縁深度と遮蔽の変化の光学的添加/削除情報による、動的な特定に深く結びついていることを示す。

添加/削除情報の不一致と縁深度の知覚に関する定式化の有用性には、まだいくつか難問がある。最も重要なものは、添加/削除率の計算—その率が単位時間あたりの単位角度によるのか、光学的肌理の静的な性質によるのか—である。これについて添加/削除率の計算に含まれるある種の「標準化 normalization」が必要かつ可能である。これは光学的肌理のいくつかの平均的特徴を反映する指標を含むべきである。そうであれば知覚システムは、単位時間当たりの添加/削除された要素の数によって添加/削除率に反応できる。

ここで、純粋に光学的な記述による光学的添加/削

除の性質は何か、またこのような変形をとらえる知覚「機械」の性質は何かを考える。追加実験により、添加／削除変形は、肌理要素間の隣接順 adjacent order レベルまたは肌理要素内の隣接性のいずれかで作用するものとして特徴づけられそうである。ここで最も有効な仮説は、添加／削除変形は知覚できる同一性を持つ最下位の光学的構造に関して定義できる。削除と添加は、個々の光学的肌理の要素に帰納的に当てはまる非トポロジカルな特定の操作として定義できる。視覚システムによって検知される光学的添加／削除の方法の試験的モデルは、光学的肌理の塊や要素を「分離」したり「追跡」したりする段階を含むことになり、またそれはトポロジカルにはあり得ないやり方で塊が変化するときに応答する。

次に、縁の遮蔽と事象の永続性についてである。

縁での遮蔽の知覚の問題は、遮蔽され視野にはない物体の持続的な存在の知覚の問題である。遮蔽縁の知覚には2つの面がある。一つは2表面の相対的深度であり、もう一つは遮蔽された表面の持続性である。Michotte ら(1964)は後者について非感覚的達成 amodal completion として、対象のいかなる modal な(感覚的)データもない対象の知覚であると述べた。

Mishotte の説の基本は、境界をなす輪郭の「所属性 belongingness」を決定する因子や条件の説明と考えられる。この実験で用いたアプローチは異なるもので、より推論的でない。この実験で被験者がBがAの後ろを滑っていくと知覚したことは、縁深度と縁による遮蔽を特定する刺激が変化から生じる情報であることと、2つの分離した枠組みにおける輪郭の形成または所属性を考慮する必要がないことを示す。この実験のように、輪郭には光学的添加／削除のパラメーターに依存して縁深度があつたりなかったりするためである。同様に追加実験から、伝統的な図一地の組織化の概念及びその結果としての三次元性を問題に取り上げられる。

ここでのアプローチは、段々と遮蔽される表面の持続する実在性に特定の情報があるというものだ。この分析を拡張すると、現象の持続性を持つ光学的消失と持たない光学的変形のタイプを同定できる。光学的添加／削除の定式は前者の変形の一つである。別の例は“The Change from Visible to Invisible: A Study of Optical Transitions(Gibson, et al., 1968)”にある。

次に、深度を特定する光学的添加／削除と他の因子との関係についてである。

この実験のような「単変数」の経験の場合、例えば深度に差のない両眼でとらえられる情報のような、矛盾する情報の存在が被験者の判断に影響するという危険がある。この可能性はここでの実験では幾分低い。ただこの実験の判定方法が矛盾した情報の影響の検知に不十分である可能性は排除できない。

もちろん縁深度の他に数種類の深度がある。Gibson ら(1959)が示したのは、静止状態では1つの連続した面として現れる2つの表面が混合された映像が、動くとき2つの向こうが透けて見える斑模様の面に分離するというものである。他に、点または線またはその両方で表された星座が静止しているときには平面上に見え、動いていると内部の深度が現れるというものがある。(Green, 1961; Braunstein, 1966; Metzger, 1953)ここでの鍵となる因子は運動知覚と呼ばれたものと、運動知覚による表示が変形したとき生じる不変の性質の存在である。

しかし上記の全ての表示は添加／削除情報を含む。(添加／削除の変形が視野全体に適用された)Gibson らの研究(1959)で、被験者がしばしば深度方向がわからなくなることは興味深い。

運動による情報が加わった、傾斜または内部 internal 深度を特定するよう導くような実験で、同様の予測ができる。Wallach & O'Connell(1933)の実験で予測されたのは、表示が運動知覚について部分的に不完全であるとき、肌理のある背景あるいは“線”の使用が被験者の報告する深度方向の逆転をなくすということである。同様に、光学的「膨張 looming」実験(Schiff, 1965; Schiff, et al., 1962)を、肌理のある背景と表面、または肌理のない背景と表面をもって模倣する必要がある。つまり、広範囲の実験的状況で添加／削除情報の役割を探索可能だということである。これは、このような情報の一般性の証拠となるだけでなく、多様な種類の情報が使用されるとき過程の段階についての情報を提供する。

この実験と考察によって Kaplan 自身が得た結論を、以下のようにまとめている。

“ここでの結果と議論に基づき、環境中の表面のレイアウトと位置についての視覚的情報源が発見された。遮蔽する表面の光学的な結果の分析と遮蔽の変化の結果から、光学的配列の変形または遷移の特定の類を単離することができる。それは観察者に縁深度の方向についての情報をもたらす。

鍵となる因子は、光学的配列中の端の部分の両側での光学的添加／削除の異なる率である。添加／削除率は、配列に投影される表面の動きの率及び方向について独立したものと考えられる。添加／削除の不一致とその変形の軌跡の双方を適切に操作することで、縁深度とその方向の知覚を誘導することができ、これらの知覚はいかなる伝統的な静的または動的な深さの手がかり無しで現れる。それはある形がもう一つのもの手前にあること、窓の向こうに表面があることを含む。同様に、一時的に作られた特殊な光学的肌理により生じる、深度を持たない輪郭の知覚を誘導することもできる。他の観察や実験(Gibson, 1968; 1966)とともに考察すると、この研究は表面のレイアウトの知覚における運動によりもたらされる因子の重要性を強く支持する。このことは環境の一部である相対的位置、剛性、さらには現象的な持続性についても言える。さらに、これは生態光学の理論(Gibson, 1966)に付け加えられるデータを提供する。”¹¹⁾

3章：Kaplan 論文の意義—視覚論，生態心理学，アフォーダンス理論に対する貢献

3.1節 情報の实在論と視覚について

現在の視覚論では、環境中に散らばる対象を視覚によってとらえるとき、視細胞によって光刺激が神経の活動電位に変換され、神経細胞群が電位を脳を含む中枢神経系に伝達し、脳内で推論によって刺激を様々な情報に再構成して世界が認知されるとしている。この時大きな問題になるのが、神経細胞群のあるパターンを持った励起がどのようにして「推論」過程に移行するのかということである。

生理学も知覚・認知心理学もこの説を採用し、そこから先の推論過程に重点を置いた研究が行われてきた。世界は単に感覚受容器を励起する無意味な刺激の海となった。心理学は世界に何者が実在するのか、吟味をほとんどせずに来ているのである。

環境があり、そこに様々な対象があるという实在論を採用した場合、世界を無意味な刺激の海にしたまま知覚を議論するのは不足である。また、刺激の羅列だけから、複雑な構成を持った世界を一度にとらえてしまうことさえできるような知覚を説明するのはいかにも困難である。

このような難題を J. J. Gibson は、常に変化し続ける刺激の中に在る変化しない性質、世界を知るための情報はどのようなものかを考えることで突破した。こ

れにより世界は無意味な刺激ではなく、意味を持った情報に満ちたものとして描かれることになる。情報は刺激が中枢神経系の中で再構成されて初めて生じるものではなく、世界にすでに存在していることになる。知覚システムはそれらの情報をピックアップするための、身体と運動を伴った系となる。それらによってとらえられる変化の中に存在する不変な性質を、Gibson は「不変項」と呼んだ。

Kaplan のこの論文は、Gibson のこの主張に大きく貢献するものである。

ここで紹介した実験装置では、スクリーン上のパターンが動き変化が生じると突如情報となりうる事柄が生じる。それを見る被験者はこの情報だけで2つの面と遮蔽、あるいは2つの回転するローラーとその境にある縁の深さを特定した。またこれは、削除という、刺激が消えるという変化が実在を特定する情報であることも示した。パターンが保存されるか否か、肌理が保存されるか、その順序が崩壊するかということが、世界における遮蔽という事象を特定しうる情報として立ち上がってきたのである。

3.2節 輪郭線と境界について

固定した絵画的表示を用いる場合、一つの問題点が浮かび上がる。視覚を構成する像には輪郭があり、そこに輪郭線があるとされたことである。Helmholtz (1962, ed) では“輪郭線の交差点でどちらの表面に縁が『属する』かを特定できる”ことが示唆された。しかし、絵を基準にすれば当然の帰結とも言えるこのことが、視覚を研究する上では障害となってしまった。それはまさに Gibson, Hochberg の指摘の通りであった。

輪郭とは何か。対象における輪郭とは縁であることを指摘したのが Gibson であった(1966)。縁を構成している環境中の事実とは、対象と媒質あるいは対象と対象の境界である。対象の肌理を持つ表面から来る包囲光は特定の配列を為す。その隣接する配列において構造が異なるようになる境界が縁である。では、縁は線だろうか。

本文2.2の理論的分析における Kaplan の理論の説明は、配列のうち横1行のみを取り上げていた。実際の包囲光配列は縦方向の成分も含む。ここで眼球に入射して網膜に投影される光の配列は図4のように表せる。 m , n は観察者それぞれに固有にとれる。ある対象の表面が持つ包囲光配列が網膜に投射されたとき、それが占める位置は要素の塊で表現できる。包囲光が「背景を手前の対象が隠している」ような環境から来る場

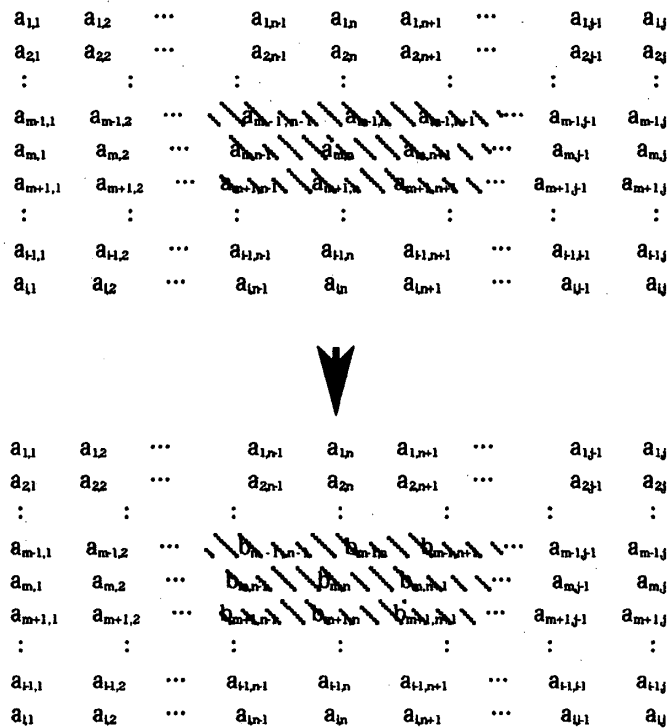


図 4：包囲光配列における隣接する構造とその崩壊の例

合、網がかかっている部分の要素の塊が別の性質を持つ要素の塊(例えば $a_{m,n} \rightarrow b_{m,n}$)に置き換わる。

これらの要素の集合はそれぞれ特有の隣接する構造 adjacent order を持ち、他の部分とは区別することができる。では、この部分とそれ以外の部分の境界に線はあるだろうか。ないのである。ここにあるのは、隣り合う要素どうしの持つ性質が異なるという事実つまり隣接する構造の崩壊 disruption であって、線ではない。(Mace, 1974)輪郭は、ある要素同士の間にあることは確かでも、線としてそこに在るのではない。輪郭は絵の上では線として表現することはできて線ではない。しかし縁は確実にそこに存在する事実であり、境界は存在する。

ここでさらに重要な点は、網膜上に入射する包囲光は像を結んで初めてそれらの構造を持つのではなく、包囲光そのものが配列を為し、隣接する構造とその崩壊という事実をもっていることである。

しかし、このようにして包囲光が構造を持っているという事実だけでは、環境中の対象を視覚で確認したことにはならない。これは空中の雲からやってくるような、対象としては意味を為さないものによっても生じる事実であり、また、対象の表面における色素の分布つまり模様であってもこのような事実が生じるから

である。対象が環境中に散らばる物体であり、それが特定の形状を持っていることを特定するには、静止した配列一つだけでは不十分である。

そこで考えられるのが、一つは観察点が移動することによって生じる光学的運動であり、もう一つが観察点を同時に2つ以上持つことで2つの配列のずれを精査できるようにする方法である。これら2つのことは、同時に2つの観察点を占めるのか、経路として並んでいる観察点を時間が経つ中で移動するのかという違いはあるが、隣接する構造とその崩壊が運動や観察点の違いによって変化することを利用するという点で等価である。前者についての取り上げたのがこの Kaplan の論文である。両眼視によるランダムドットパターンのずれを利用した表面の配置を知覚できるかどうかの実験は Barrand によって行われ、上記のことが示された。

3.3節 結び

Kaplan は、遮蔽縁と縁における深度とその方向性についての情報が、環境中の表面と、そこからくる光の配列に存在していることを前提とした。その配列についての理論は「像を見る」視覚論から「配列の変化を見る」視覚論への移行を意味するものだった。それは

静止した条件または平面状の図像を用いることを超えた。時間を経て観察点が動き表面の位置が相対的に変化するとき、あるいは対象自身が移動するとき表面の配置が変化するとき光学的配列が変化することを前提に議論することで、KaplanはGibsonが述べたような生態学的な状況下での視覚論を分析して見せたのである。

(指導教官 佐々木正人教授)

引用

- 1) Kaplan, G. A. Kinetic Disruption of Optical Texture: The Perception of Depth at An Edge. *Cornell University, Ph. D.* 1968, p.4-5
- 2) 同上, p.6-9
- 3) 同上, p.9-10
- 4) 同上, p.10-11
- 5) 同上, p.37-38
- 6) 同上, p.11
- 7) 同上, p.12-15
- 8) 同上, p.16-18
- 9) 同上, p.33-36
- 10) 同上, p.19-29
- 11) 同上, p.30
- 12) 同上, p.3
- 13) 同上, p.3-4

その他の参考文献

- Gibson, J. J. "The Ecological Approach to Visual Perception" 1979, LEA(和訳:「生態学的視覚論」古崎敬, 古崎愛子, 辻敬一郎, 村瀬旻共訳, 1985, サイエンス社)
- Barrand, G. A. An ecological approach to binocular perception: the neglected facts of occlusion. *A Thesis Presented to the Faculty of the Graduate School of Cornell University in Partial Fulfillment for the Degree of Doctor of Philosophy.*
- Mace, W. M. Ecologically stimulating cognitive psychology. In W. Weimer & D. Palermo, (Eds.), *Cognition and the symbolic processes V. I.* Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum Associates.
- Kaplanが参照, 引用した資料
- Braunstein, M. L. Sensitivity of the observer to transformations of visual field. *J. exp. Psychol.*, 1966, 54, 538-540.
- Gibson E. J., Gibson J. J., Sniith O. W., & Flock H. R. Motion parallax as a determinant of perceived depth. *J. exp. Psychol.* 1959, 58, 40-51.
- Gibson, J. J. "The senses consisted as perceptual systems." 1966, Boston: Houghton Mifflin
- Gibson, J. J. "The perception of the visual world." 1950, Boston: Houghton Mifflin

- Gibson, J. J. An outline of experiments on the direct perception of surface layout. Draft, Feb. 1968b.
- Gibson J. J., Reynolds, H., Wheeler, K., & Kaplan G. A. The change from visible to invisible: A study of optical transitions. 16mm film submitted to Psychological Cinema Resister. 1968.
- Green, B. F. Figure coherence in kinetic depth effects. *J. exp. Psychol.*, 1961, 62, 272-282.
- Hay, J. Optical motions and space perception: An extension of Gibson's analysis. *Psychol. Rev.*, 1966, 73, 550-565.
- Helmholtz, H. von. "Handbook of physiological optics." Vol. 3 (J. P. C. Southall, Ed.)Dover Publications, 1962.
- Hogberg, J. The psychophysics of pictorial perception. *A-V Commun. Rev.*, 1962, 10, 22-54.
- Koffka, K. "Principles of gestalt psychology." New York: Harcourt, Brace & World, 1935.
- Metzger, W. "Gesetze des Sehens." Frankfurt: Waldemer Kramer, 1953.
- Michotte, A., Things, G., & Crabbe, G. "Les Complements Amodaux des Structures." Louvain: Publications Universitaires de Louvain, 1964.(Amodal Perception and Perceptual Organization, trans. by T. G. R. Bower and D. J. Bower, Cornell University, 1964.)
- Schiff, W. Perception of impending collision. *Psychol. Monogr.*, 1965, 79, No.604
- Schiff, W., Caviness, J. A., & Gibson J. J. Persistent fear responses in Rhesus monkeys to the optical stimulus of looming. *Science*, 1962, 136, 982-983.
- Wallach, H. & O'Connell, D. N. The kinetic depth effect. *J. exp. Psychol.*, 1953, 45, 205-217.