

Title	構造的情報理論による図形の曖昧性の分析 : 自発的な視覚的探索との関連より
Author(s)	赤井, 誠生
Citation	大阪大学人間科学部紀要. 14 p49-p.71
Issue Date	1988-03
oaire:version	VoR
URL	https://doi.org/10.18910/12639
DOI	
rights	
Note	

Osaka University Knowledge Archive : OUKA

<https://ir.library.osaka-u.ac.jp/>

Osaka University

構造的情報理論による図形の曖昧性の分析

—自発的な視覚的探索との関連より—

赤 井 誠 生

はじめに

構造的情報理論

1. 基本仮定
2. コード化
3. 構造的情報量

構造的情報理論による図形の曖昧性の分析

1. 視覚的完結化
2. 完結化かモザイクか
3. 曖昧性の数量化
4. 分析法の適用

まとめ

1. 知覚過程と簡潔性の原理
2. コード化されるもの
3. 曖昧性・認知的葛藤・不一致・複雑性

構造的情報理論による図形の曖昧性の分析

はじめに

自発的な視覚的探索は、複雑性、新奇性、曖昧性、不調和、驚き、変化などの刺激特性によって生起すると考えられる (Berlyne, 1965)。

Hunt (1965) は、これら諸特性は、生活体と刺激との情報の相互交渉の過程において起る認知的葛藤、すなわち既存のシエマ (知識) と刺激情報との間の不一致 (incongruity) によって引き起こされると主張する。さらに、彼は、この不一致の程度には最適水準が存するとし、不一致の程度と自発的な視覚的探索の間には逆U字型の関数関係が存在すると考える。これと同様の理論は、生理学的な指標である覚醒水準 (arousal level) からより高次のコーディングのレベルにいたるさまざまなレベルに注目する理論家たちに繰り返し述べられている (Walker, 1973; Nunnally, 1973; Deci, 1975; Dorfman & Smith, 1975)。

一方、この理論的考察を検証すべき実験事態において、最も数多く行われ、最も客観的な手法を導入されているパラダイムは、複雑性の概念をその独立変数として操作するものであろう。これらは用いられる刺激の特性に応じて以下の3種に大別される。

a. Berlyne 型の刺激

自発的な視覚的探索の理論家の中ではパイオニア的存在である Berlyne (1957, 1958) がその実験の際に直感的に作成した刺激に代表される。刺激図形の要素の数を一定にした上でその質に差をもたせたもの (要素の異質性、不規則性、等) および、要素の数そのものを変化させたものを共に複雑性の指標とするが、これと自発的探索とは正の相関を持つことが見出されている (Berlyne, 1957, 1958; Day, 1966; Greenberger, 1967)。しかしながら、ここで操作された複雑性は各刺激セット内での相対的尺度にすぎず、尺度の一般化には以下の刺激がより適切であろう。

b. ランダム刺激

情報理論的観点より作成されたドットパターン、ブロック図形、ランダム幾何図形を用いる。評定された複雑性との一致を目標として開発された手法 (Attneave, 1956, 1957) を援用し、幾何図形の辺数を複雑性の指標とする研究が多数をしめる。

Lemond (1978) はランダム幾何図形 (辺数3-200) を用い、複雑性と自発的探索との間に正の相関を報告する。一方、同様の図形 (辺数4-40) を用いた Aitkin (1974) は、有意な逆U字型の関係を認め、これと対立する。

c. 評定された刺激

物理学的な指標を用いての分析が困難な刺激に対し、評定によって複雑性を特定しようとするものである。

Leckart (1965) は、風景写真に対して、7ポイントスケールで複雑性についての評定を行わせ、これと自発的な視覚的探索との間に正の相関を見いだしている。

これらの結果を見る限りでは、さきに述べた理論的考察が支持されているとはいえないだろう。刺激とシェマの不一致の最適水準の存在を示す逆U字型の曲線よりもむしろ直線的な正の相関を示す結果が多いのである。Nunnally (1973) によれば複雑性を独立変数として用いた41研究のうち36例は両者に正の相関関係を見いだしておりこれを支持する（その他3例は無相関、2例は負の相関）。

複雑性の概念は、何らかの基準との不一致を暗示しつつ用いられたものであった。しかしながら、b., c. において典型的にみられるごとく、現実の実験事態で操作されたものは「複雑性」という1つの判断次元上での変数にすぎず、シェマと刺激情報との不一致を直接示すものではなかったためこの不整合が生じたと考察される。

稲垣 (1981) もまた「現在までの処、このズレ（不一致）の度をあらかじめ測定する方法が考案されていず、循環論的な説明概念でしかないという批判もある。」と述べ、この理論を実証することの困難さを指摘する。

それでは、この不一致の度を指し示すにはどのような方略が考えられるだろうか。まず一致する点（基準）を定め、そこからの距離をもって不一致の測度とし、さらにそれによって不一致の最適水準を見いだすことができよう。Deci (1975) はこのような基準に相当するものとして順応水準、あるいは期待の概念をあげるが、探索行動研究との関わりにおいて組織的かつ、量的に操作した研究はみられない。

本論文では、対象の複雑性（単純性）を予測するための公式を提出し、これを用いて図形の曖昧性（不一致）を量化しようとする構造的情報理論を紹介し、自発的な視覚的探索研究との関連性について検討したい。

構造的情報理論

1. 基本仮定

知覚対象の複雑性（あるいは単純性）の同定に物理学的手法を用いようとする Attneave (1956, 1957) や Hochberg (1957, 1960) らの情報理論的接近法に端を発する構造的情報理論 (Structural Information Theory) は、彼らの客観的分析法に加えて、知覚経験の「構

造性」を重視する Gestalt 心理学の概念をその基本仮定に導入しようとする。

この理論の提唱者である Leeuwenberg らによれば、知覚行為は能動的なものであり、生活体は刺激に直面するや否やなんらかの解釈 (interpretation) を行うとされる (Buffart, Leeuwennberg, & Restle, 1981)。

この際の解釈 (あるいは classification) には無限に近い可能性が考えられるが、生活体はこれらの中から最も不規則性 (irregularity) の小さい解釈を選好 (prefer) する。これは力学的な概念である最小作用の原理を内的必然性として有する簡潔性の原理 (principles of pregnancy) に一致する。

構造的情報理論においてこの仮定はコーディング言語によって表現される。ある対象はまず線分、角度を用いてコード化され、下位のコード (原コード, primitive code) へと変換される。さらに、原コードの中で見い出された構造がより統合的なコードを用いて表現され、最終的には最も簡潔なコードが産出されるという過程が想定されており、これに沿った具体的な手続きが考案されている。

2. コード化

(1) コード

Fig. 1. A, B はそれぞれ○および●によって構成された正方形として知覚されうるが、

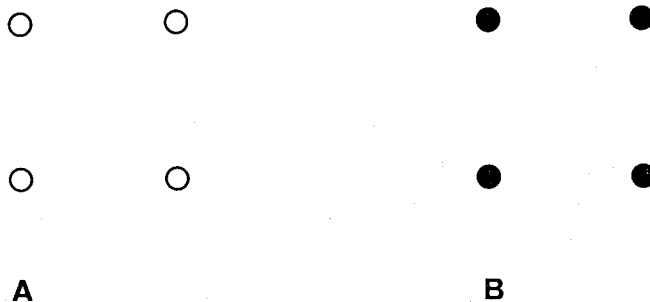


Fig. 1. Squares.

この時、各々の要素である○と●とを入れ替えても、あるいはその他の要素と入れ替えても正方形を示す知覚的な関係は変化しない。従って、この関係を、例えば Square[x] と記述することにより、公式的な表現が可能となる。

この様な、諸要素間の相対的關係を示す表現形態をコードと呼ぶ。

(2) 原コードの作成

諸コードのうち、最初に作成されるものを原コード (primitive code) と呼ぶが、これは当該図形の輪郭をたどり、その中から、大きさの等しい角、長さの等しい線分を抽出してシ

ンボル化し、それらを順に併記することによって得られる。

Fig. 2. において、2種の線分をそれぞれ $\lambda\mu$ 、直角を α とシンボル化すれば、

$$\lambda\alpha\mu\alpha\lambda\mu$$

と記述できる。ただし、出発点とその方向は任意に定められるため、他に幾通りかの原コードが考えられる。例えば、右下隅から上方向へのコードは、

$$\mu\alpha\lambda\alpha\mu\alpha\lambda$$

となる。これら可能な原コードの中から以下に述べるコードの単純化の最も有利なものが採用される。

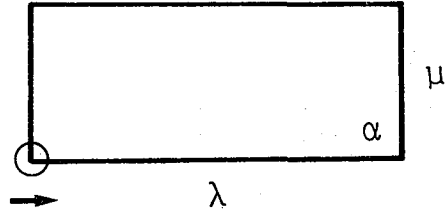


Fig. 2. A rectangle and symbols.

(3) コードの単純化

所与の原コードに、対象とは独立な操作を加え、コード内のシンボル数を減少させる。

ここでは簡潔性の原理が強調され、その操作子 (operators) として「よい形」の要因 (factors of good form) に属する「対称性」や「規則性」の概念が導入されている。

以下に代表的な操作子と、その処理例を示す。

a. 反復 (Iteration)

中断や変化なしにあるシンボルが n 回繰り返されている。 $\rightarrow n*()$

e.g. $abbbc = a3*(b)c$

b. 連続 (Continuation)

あるユニットが繰り返されつつ出発点に戻る。 $\rightarrow @*()$

e.g. $abababab$ (正方形) $= @*(ab)$

さらに、ある直線がすでに存在している線分の末端または交点まで続くときには $@*(0)$ とする。

ここでは連続の端はコード化しつつある図形に関連させて決定されており、単なるシンボル上の操作の範囲を越える。

c. 対称性 (Symmetry)

コード内に対称性が存在する。2通りの可能性がある。 $\rightarrow \text{SYM}[], \text{SYMM}[]$

e.g. $abba = \text{SYM}[ab]$

$abcba = \text{SYMM}[ab(c)]$

d. 分配 (Distribution)

各シンボルが下のような規則性を持って分配されている。 $\rightarrow \langle \rangle \backslash \langle \rangle$

e.g. $abac = \langle a \rangle \backslash \langle bc \rangle$

$$\begin{aligned} acbd &= \langle ab \rangle \setminus \langle cd \rangle \\ adbecf &= \langle abc \rangle \setminus \langle def \rangle \\ adbfcdafbdcf &= \langle abc \rangle \setminus \langle df \rangle \end{aligned}$$

ここでは $\langle \rangle$ 内の各シンボルは、全ての分配を表現するため何度でも使用できる。数学上の分配法則 (distributive law) とは異なり、 $\langle \rangle$ 内のシンボル数は原コードのシンボル数の関数ではない。

e. シンボル化 (Symbolization)

原コード内でシンボルのユニットが複数回出現する。

e. g. $abcabdeab = xcxdex(x=ab)$

f. 下位コード

原コード内での1つのユニットを表現し、そのユニットは、他のシンボルとは独立に操作される。 $\rightarrow ()$

e. g. $ababab = 3 * ((ab))$
 $aaabbb = 3 * ((a)(b))$

これらの操作により、原コードは、もっとも簡潔なシンボル数の少ないコードへと統合されるが、このコードを最小コード (mimimum code) と呼ぶ。

3. 構造的情報量

Leeuwenberg (1969, 1971) はコード内のシンボル、反復の回数を示す数字および、対称性の記号の数を総計することによって得られる値を構造的情報量 (Structual Information Load, 以下 I と略記) と呼ぶ。

算出の一例をあげると

(原コード) $avavavav \quad I=8$
 \downarrow 反復
 $4 * [av] \quad I=3$
 \downarrow 連続
(最小コード) $@ * (av) \quad I=2$

となり、最小コードにおいて I の値は最小となる。この値はコード内の不規則性 (irregularity) を表現し、複雑性 (単純性) の指標として考えられる。生活体は一般に、多様な解釈の可能性の中から、I の値の最小になる解釈を選択して知覚すると仮定される。

構造的情報理論による図形の曖昧性の分析

1. 視覚的完結化

構造的情報理論は、ある対象に対して可能な各コードの構造的情報量 (I) を比較することによって当該対象の曖昧性を予測することが可能であるとするが、Buffart ら (1981, 1983) はこれを視覚的完結化 (visual completion) 現象を用いて実証している。

視覚的完結化は、ある図形が別の図形を overlap しているかのごとき知覚を与える現象である (Fig. 3. 参照)。本来どのような感覚情報を与えられていないにも関わらず何らかの感覚的印象を与えられるところより、非感覚様相的完結 (amodal completion, Kanizsa, 1975) とも呼称される。

この現象の生起についてはさまざまな見地より解釈が与えられている。

Ratooth ら (1949) は Cue 理論に基づき、図形内の T 字型パターンが完結化をまねくとする (Fig. 4. A 参照)。しかし、Kanizsa (1975) は、T 字型パターンは存在するにも関わらず、完結化を導かない図形を例示しつつこの理論を批判する (Fig. 4. B 参照)。

一方、Gestalt 理論家達は、完結される図形を「よい形」にしようとする知覚過程の性質によってこの現象を説明しようとする。Dinnerstein & Wertheimer (1957) はこれに現象学的 overlapping の名を冠した後、さまざまな例を示しつつ、完結化の生起は、簡潔性の

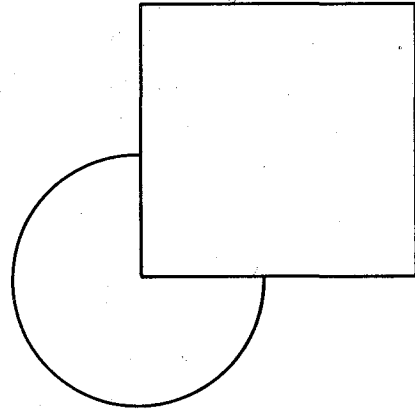


Fig. 3. An example of visual completion.

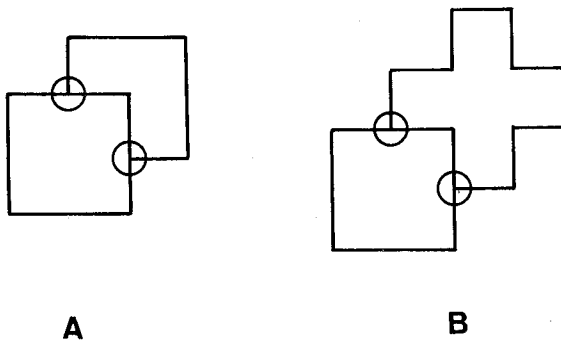


Fig. 4. A completion? or a mosaic? (T cues are in circles).

原理に従い、高度に構造化された知覚を生み出せるか否かによると論ずる。

これに対し、Neo-Gestalt 学派の一人である Kanizsa (1975) は、簡潔性の原理を保證する単純性、規則性、秩序、調和等の概念の定義の曖昧さについて指摘する。すなわち、どのような図形に対してどの概念が有効であるのか、また、諸概念はどのように関連しあうのかについての分析が要求されていると言えよう。

これを克服する方略の1つとして、質的指標であるこれらの概念を特定の次元上で量化することが考えられるが、以下に述べる構造的情報理論による分析はこれに寄与するだろう。

2. 完結化かモザイクか

完結化による解釈とモザイク的な解釈を共有する図形についてコード化の例を示す。

Fig. 5. A に対してその解釈は Fig. 5. B, Fig. 5. C の2通りが可能である。

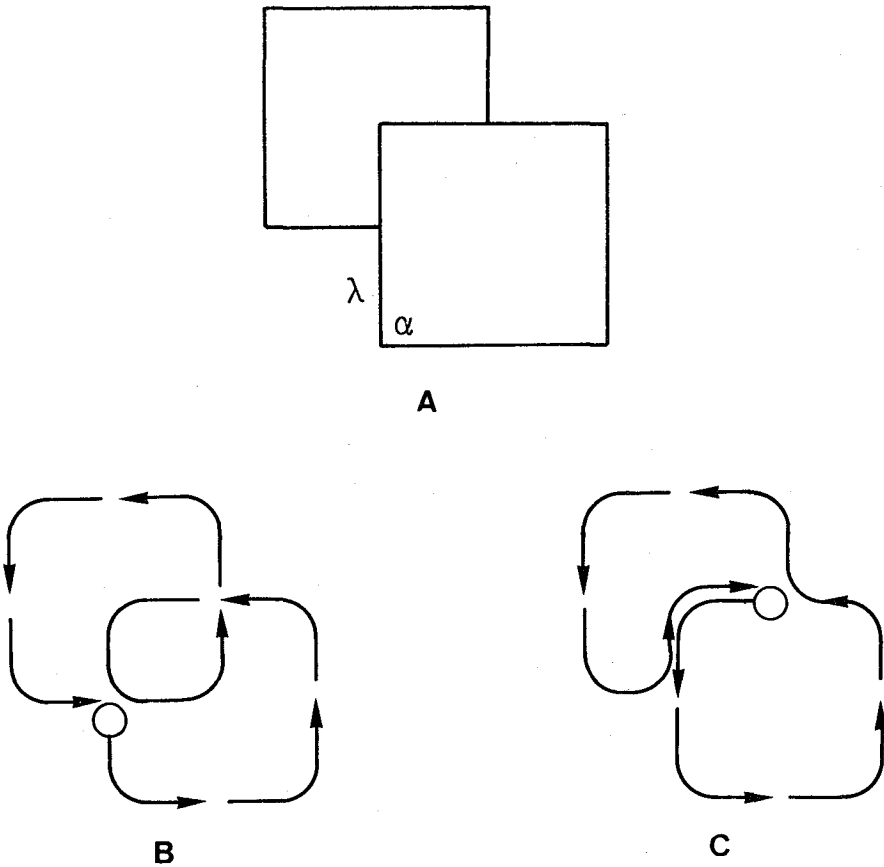


Fig. 5. Two possible interpretations of one figure.

Fig. 5. B 完結化的解釈

(原コード)	$\lambda\alpha\lambda\alpha\lambda\lambda\alpha\lambda\alpha\lambda\alpha\lambda\alpha\lambda\alpha\lambda\alpha\lambda\alpha\lambda\alpha\lambda\alpha\lambda$	I=25
	↓ 反復	
	$4 * (\lambda\alpha\lambda) 2 * (\alpha\lambda) 3 * (\lambda\alpha\lambda)$	I=11
	↓ 連続	
	$@(\lambda\alpha\lambda)@(\alpha\lambda)@(\lambda\alpha\lambda)$	I=8
	↓ シンボル化, $y=\alpha\lambda$	
	$@(\lambda\alpha\lambda)@(y)@(\lambda\alpha\lambda)$	I=7
	↓ 分配, $@(0)$	
(最小コード)	$\langle\langle @(\lambda\alpha\lambda) \rangle\rangle \setminus \langle\langle @(y) \rangle\rangle \langle\langle @(0) \rangle\rangle$	I=4

Fig. 5. C モザイク的解釈についても同様のコード化を行えば、その最小コードは

$$\langle\langle @(\lambda\alpha\lambda) \rangle\rangle \setminus \langle\langle (-\alpha)(\alpha@ (0) - \alpha@ (0)) \rangle\rangle \quad I=6$$

となる。

両者の最小コードの構造的情報量 (I) を比較するとき、完結化的解釈の方が小さく、この図形では完結化された図形が知覚されやすいことが予測される。

Buffart ら (1981, 1983) では、完結化の可能性に分散のある25図形 (Fig. 6.) について、被験者に、知覚した図形を報告させている。

25図形は、各図形の完結化的解釈の I とモザイク的解釈の I との比較によって以下の3カテゴリーに分類されていた。

- 完結化図形 (完結化の $I <$ モザイクの I)
- 曖昧図形 (完結化の $I =$ モザイクの I)
- モザイク図形 (完結化の $I >$ モザイクの I)

各カテゴリーに対する被験者の完結化の率は、 $a.=96\%$, $b.=45\%$, $c.=10\%$ となり、予測の妥当性を示す (Fig. 7. 参照)。

また、この結果より、構造的情報理論による予測は Cue 理論や、単一の Gestalt 要因による解釈の矛盾を補正することが明らかである。例えば、Fig. 6. No. 13 図形は、Cue 理論とは矛盾した見え (モザイク的解釈) を与えるが、上の分析法を用いれば、No. 13 図形の完結化的解釈の最少の I は 8、モザイク的解釈の I は 7 となり、モザイク的見えが予想される。さらに Gestalt 理論における対称性の要因についてみると、Fig. 6. No. 3 図形は完結化的解釈のとき対称軸を持ち、モザイク的解釈の時には持たない。実験では被験者の77%がモザイク的解釈を行い対称性が完結化の条件とはならないことを示すが、構造的情報理論によればこの傾向を予測できるのである (Table 3 参照)。

Buffart ら (1981, 1983) は、その他、行き連続の要因や familiarity の要因による解釈では説明不可能な結果についてもこの分析によって予測が可能であることを示している。

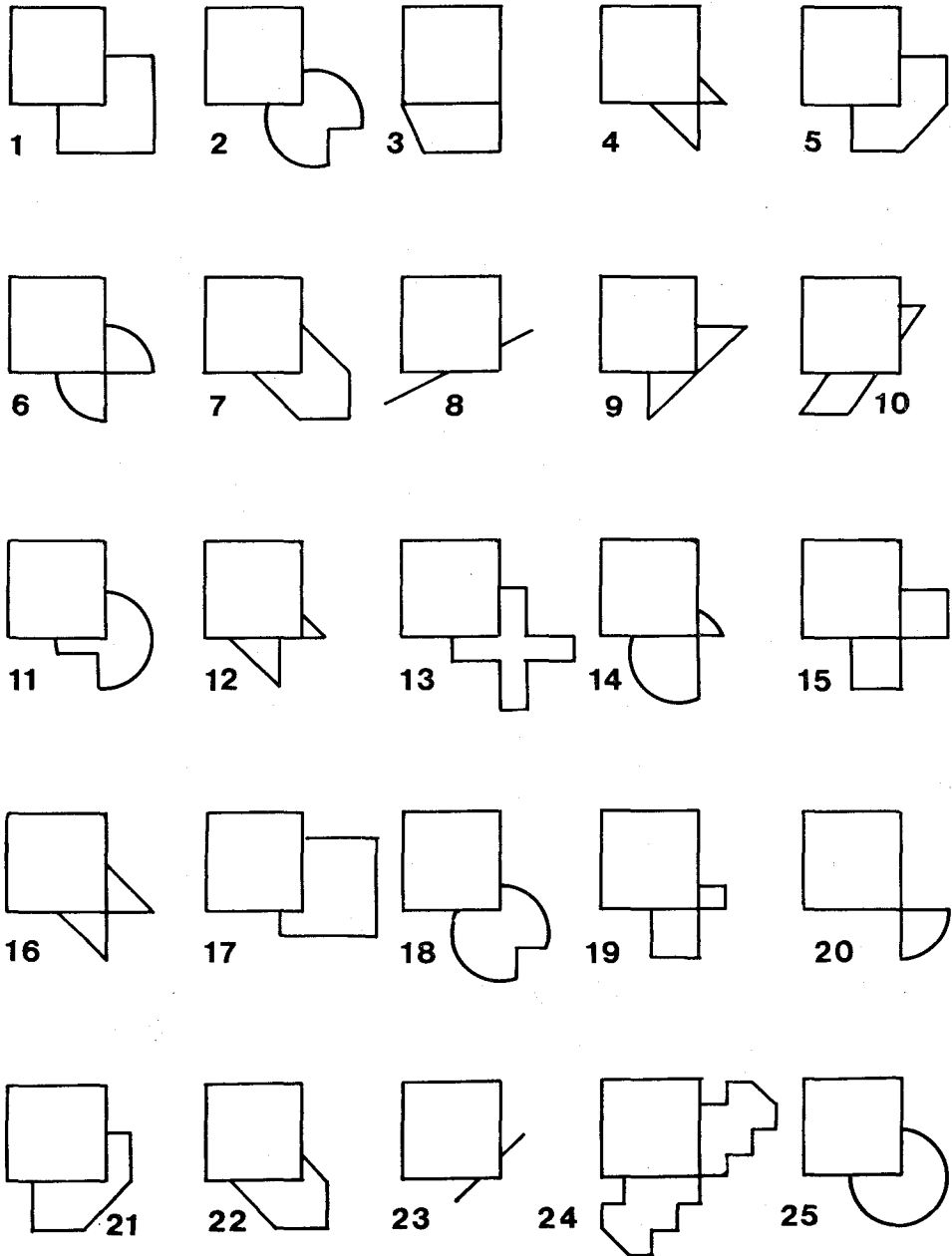


Fig. 6. Figures used in the experiment (from Buffart et al., 1981).

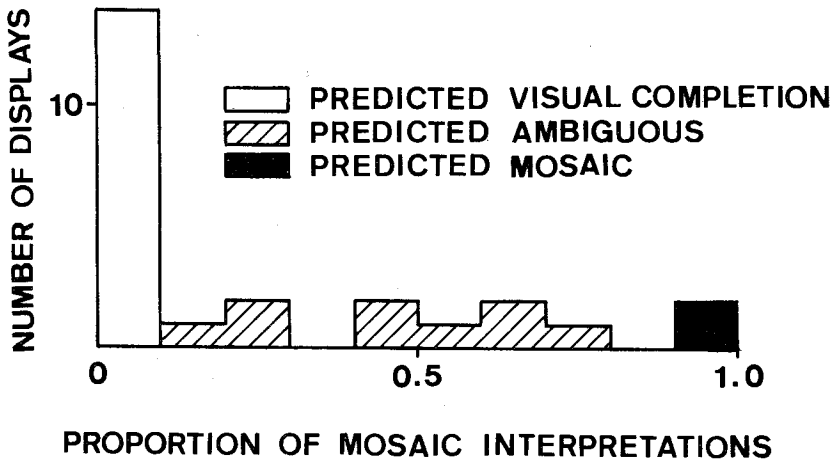


Fig. 7. Summary distribution showing that in the experiment displays predicted to produce completions always did so, displays predicted to produce mosaic interpretations almost all showed such interpretations, and displays predicted to be ambiguous between completion and mosaic were distributed between, centering near 50-50 choices (from Buffart et al., 1981).

視覚的完結化現象において、構造的情報理論適用の妥当性は、他の諸見解のそれを凌駕すると考えられよう。

さて、完結化—モザイクの事態において両者を対極にあるものと仮定するならば、その中間に存する曖昧な領域を想定することができる。上の実験では b. に属する図形がそれに該当する。これらの図形は完結化的解釈の最小の I とモザイク的解釈の最小の I とが等しく、両解釈が等しい複雑性（単純性）を有し、反応確率がチャンスレベルになると予想される。上述のごとく、実験ではこれらの図形に完結化的解釈を与えるものが45%となり、ほぼ理論値に相当する。

しかしながら、個々の図形の出現率の分散は大きく (Fig. 7. 参照)、最少の I のみでは予測のできない曖昧性の程度差が存在することも示唆される。これを量化するために、Leeuwenberg ら (Leeuwenberg & Buffart, 1983; Buffart, Leeuwenberg & Restle, 1983) は次項に概説する下位分析を行う。

3. 曖昧性の数量化

(1) 抽象コード

Table 1 の文字列 a a a a a b (原コード) に対応する最小コードは1つしか存在しないが、単一の最小コードを特定できない曖昧事態においては、その他のコード（構造）を考慮に入れる必要がある（後述）。これは同時にコード間の関係を分析することを意味するが、それ

Table 1 Pattern, minimum-code, and another code (from Leeuwenberg & Buffart, 1983).

pattern:	a a a a a b	
	minimum-code	other code
	5*[a]b	<a>\<2*[a]b>
abstract code:	5*[x]z	<y>\<2*[x]z>
evaluation:	x x x x x z	y x y x y z

は諸コードのシンボルを変数 (x y z ...) に置き換えることによって可能になる。

このようなコードを抽象コード (abstract code) と呼び、対象の構造及び不規則性のみを表現するものと定義される。抽象コードの導入は、コード化の過程における可逆性を保証することになる (Attneave, 1974)。生活体は (抽象的) 最小コードから (抽象的) 原コードを再構成すると仮定され、それによって、コード間の関係の分析が可能となる (Collard & Buffart, 1982)。

また、(抽象的) 原コードは実在の対象ではなく、同じ構造を持つ全てのパターンの集合を表すと仮定されており、集合の概念を用いた分析が可能となる。Table 1 の2つの (抽象的) 原コードをベン図 (Fig. 8) に変換することによって、最小コードが他のコードよりパターンの構造を正確に表現することを図示することもできよう。

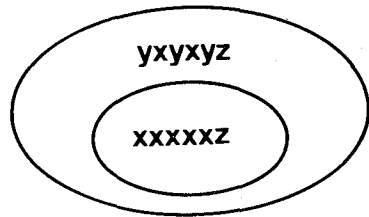


Fig. 8. The minimum code is the better description (from Leeuwenberg & Buffart, 1983).

(2) 相補的コード

(抽象的) 最小コードは常にパターン内の全ての不規則性を表現するとは限らない。最小コードに他のコードを付加することによって初めて完全に不規則性を表現できる場合がある (Leeuwenberg, 1978; van Tuijl & Leeuwenberg, 1979)。すなわち、これら両抽象コードの集合の交わり部分のみがもとのパターンを完全に復元できる場合があるが、この時、両コードを相補的コード (complementary codes) と呼ぶ (Table 2, Fig. 9. 参照)。

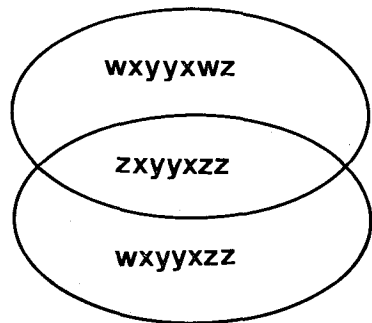


Fig. 9. The structure of the object is given by the intersection (from Leeuwenberg & Buffart, 1983).

(3) 曖昧性の数量化

抽象コードと相補的コードとを用いて、完結化に関して曖昧である図形を分析する手続き

Table 2 Pattern, minimum-code and complementary code (from Leeuwenberg & Buffart, 1983).

pattern:	a b c c b a a	
code:	minimum-code	complementary code
abstract code:	SYM[a b c]a	a SYM[b c]2*[a]
evaluation:	SYM[w x y]z	w SYM[x y]2*[z]
intersection or	w x y y x w z	w x y y x z z
common evaluation:	z x y y x z z	

について概説する。

1つの対象につき、最小コードが2個以上存在するとき、生活体はその選択において認知的葛藤に直面することになる。彼は、この事態を解消するため、他の構造（コード）を用いて当該対象を表象し、選択の手がかりを得ようとする。

例えば、文字列 a a a a はその抽象コードを a. $x x x x = 4 * x$ ($I=2$), b. $x x x y = 3 * x y$ ($I=3$), c. $x x y y = 2 * x 2 * y$ ($I=4$) etc. とすることができる。この時、最少コードは a. であるが、相補的コードとなる b., c. の集合の交わりによっても a. と同じ構造を表現することができる (Fig. 10. 参照)。

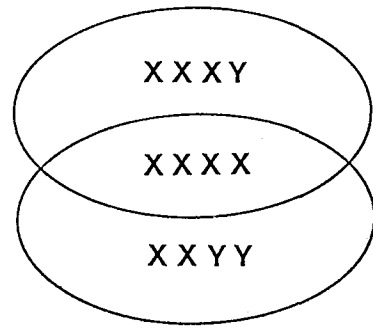


Fig. 10. The intersection of two complementary codes represents the minimum code.

曖昧な事態において相補的コードは2個の最小コードそれぞれに関して各1組が仮定されるが、これらは最小コードを持つパターンを水平、垂直方向に移動させた移動図形 (shifted display or invented display) より得られる (Fig. 11. 参照)。

このようにして作成した相補的コードの各々の構造的情報量 (I) を比較することによって、2つの解釈の選好の差を予測することができる。

Fig. 11. において、解釈Aについての2つの相補的コードのうち、少ない方 ($A1$) の I は8、一方、解釈Bについては8 ($B1$) となり、この段階では両解釈の選好は共にチャンネルにある。そこでさらに他の一方の相補的コードを比較すれば、解釈Aについては $I=9$ ($A2$)、解釈Bについては $I=10$ ($B2$) となり、ここで解釈Aに対する選好が予測される。この時、解釈Aの生起確率は Fig. 12-3 のモデルに基づき、 62.5% ($1 \times \frac{1}{2} \times \frac{1}{2} + \frac{1}{2} \times \frac{1}{2} \times \frac{1}{2} + \frac{1}{2} \times \frac{1}{2} = \frac{5}{8}$) と算出され、これによって量的な指標が得られる。

また、この段階でもなお I の値が等しい時、その確率は50%、相補的コードの最小値どうしの間で差がみられる時には、確率は75% (Fig. 12-2 参照) となる。

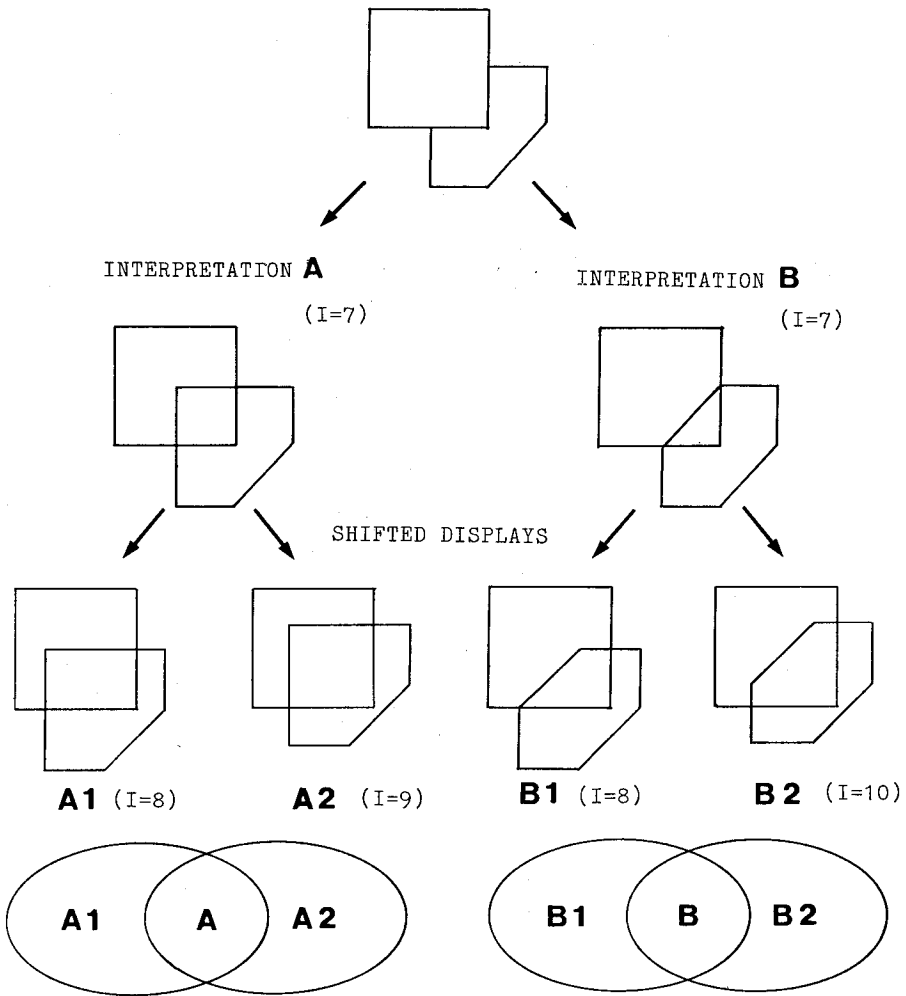


Fig. 11. Hierarchical analysis of interpretations by means of shifted displays.

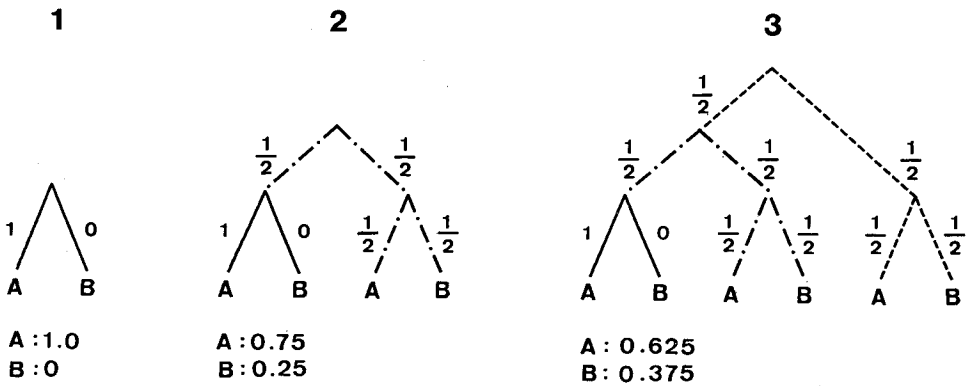


Fig. 12. Hierarchical relationship between the predictions for shifted displays: unicity, one shift and two shifts (from Leeuwenberg & Buffart, 1983).

Table 3 An analysis of ambiguous figures (from Buffart et al., 1983)

Display number	Original display		Invented display (with lowest total I)		Other invented display		Response frequencies	
	Interpretation	I	Interpretation	I	Interpretation	I	Theoretical	Experimental
2	a, b	10	a	11	a	11	.75	.83
11	a, b	11	a	11	a	12	.75	.77
14	a, b	8	a	10	a	11	.75	.73
20	a, b	8	a	8	a	9	.75	.70
21	a, b	8	a	9	a	9	.75	.73
5	a, b	7	a, b	8	a	9	.625	.60
6	a, b	7	a, b	10	a	11	.625	.60
10	a, b	8	a, b	8	a	8	.625	.63
15	a, b	4	a, b	8	a, b	9	.50	.50
19	a, b	5	a, b	9	a, b	10	.50	.43
3	a, b, d	6	a, b	6	a	7	.54	.77
7	a, b, c, f, h	7	a, b	8	a	9	.475	.57
12	a, b, c, d, e, f	8	a, b, d	9	a	8	.42	.47
16	a, b, c, d	5	a, b	8	a	10	.50	.70
22	a, b, c, d, e, f	8	a, b	8	a	9	.46	.57

Fig. 6. の図形中、曖昧なものとして分類された15図形につきこの分析による理論値と、実験値とを比較すると、その回帰相関は 0.97 (切片 0.11, 分散 0.056) を示す。最小コードが3個以上存在する図形についても同様の手続きによって理論値が得られるが、15図形個々の分析及び理論値、実験値を Table 3 に掲げる。

4. 分析法の適用

構造的情報理論による分析はさまざまな知覚現象に適用されつつあるがその結果の一部を以下にあげる。

(1) 複雑性

3次元図形の構造的情報量 (I) と判断された複雑性との相関は0.94, また再生時のエラーとの相関は0.87を示す (Leeuwenberg, 1971)。さらに、連続する音についての I と、判断された複雑性との間には0.85の相関が見い出されている (Leeuwenberg, 1978)。

この測度は、対象の不規則性 (irregularity) を表現するものとして定義されているが、Butler (1982) の指摘するように、複雑性 (単純性) を表現するものとしても考え得るだろう。

(2) 選好 (preference)

ある対象について相補的コードが存在するとき、生活体は、この2つのコードの間で解釈

を変化させることがある。2つのコードのどちらかを選好するかは、それぞれのコードのIにより決定される。すなわち、解釈Aを解釈Bより好む割合(P)は、それぞれのコードのIの比率と単調増加関係にあると仮定されており、以下の式が与えられている (Leeuwenberg & Buffart, 1983)。

$$P(A>B)=I(B) : I(A)$$

例えば、ある対象につき、相補的な2つのコードが存在し、それぞれのIが2および3の時、前者が好まれる値は $3/2=1.5$ となる。Leeuwenberg ら (1984) では図一地の事態において、ある部分が図になる場合と、地になる場合とを上式を用いて比較し、図(地)になりやすさを予測している(実験値との相関 0.96)。

さらに、この式は、明るさ対比 (Leeuwenberg, 1982)、ネオン錯視 (van Tuijl & Leeuwenberg 1979)、聴覚におけるカクテルパーティ現象 (Leeuwenberg, 1978)、あるいは、実験美学的分析 (Boselie & Leeuwenberg, 1985) など、広範な知覚現象への適用が試みられており、いずれにおいても予測の精度が確認されている。

ま と め

1. 知覚過程と簡潔性の原理

すべての対象は言語的に表現することができる。しかし、現実には生活体は、当該の対象を眼にするや否や、その言語的記述よりはるかに大きい情報を持った印象を得ることになる。それ故、知覚過程は言語的操作以外の、より効率的な操作体系を持つと考えられるが、ここまで述べてきたコードの諸操作はこれに相当するものかもしれない。しかしながら Leeuwenberg ら (1983) は、これらの操作は知覚過程と一義的に類似するものではないという見解をたびたび強調する (Leeuwenberg & Buffart, 1983; et al.)。上でみたような複雑な論理的処理が知覚過程において現実に行われていることは処理時間との関係から推察しても理解しにくいからである。Hatfield & Epstein (1985) もまた、Leeuwenberg らの理論は知覚過程とのアナロジーという意味では検証されていないとし、さらに、彼らが理論構成の基本仮定とした簡潔性の原理の存在を「独立的」に検証する手段は存在しないと述べる。

しかしながら簡潔性の原理を1つの仮説構成体としてみたとき、この質的な概念を仮説的に客観的な概念によって表現することによりその操作性を保証し、より明確なものにすることができるだろう。

それには、まず単純性(複雑性)を量化する方法が問題となるが、その定義の曖昧さなどの原因により量化はきわめて困難なものと考えられており、公式的あるいは普遍的に単純性

を算出する方法は存在しないと述べる研究者もいる (Goodman, 1972)。

それに対し, Hochberg & McAlister (1953) や Attneave & Frost (1969) は簡潔性の原理を仮定しつつ, 単純性 (複雑性) は図形の角数, 辺数, 交点の数などの要素によって定義されることを示した。一方, 構造的情報理論においても簡潔性の原理が仮定されるが, ここでは単純性は Gestalt 要因の統合されたもの (構造的情報量 (I)) として表現されていると言える。

構造的情報理論に基づき, 量的指標により表現された複雑性 (単純性) は, 既述したように, その評定値との間に高い相関を持つ。また, 生活体は, その知覚の際に, この指標によってより単純であるとされる解釈を選好するという知見より (Buffart & Leeuwenberg, 1981 et al.), 少なくとも, この理論の適用可能な範囲においては, 簡潔性の原理の存在が肯定されるだろう。

2. コード化されるもの

Butler (1984) は, 構造的情報理論による分析は, 単一の図形に対する複数の解釈の比較分析には有効であるが複数の図形間の比較には不適切であるとする。その理由として, この分析法においては, “How much is there?” (線分の数, 長さ等) の情報を含むことができないことをあげる。

例えば, ここでは, 正多角形はすべて同じ構造的情報量 ($I=2$) を持ち, 分析において同一のものとして処理されることになる。

多くの研究者が認めるように, 生活体は常に対象を構造化して解釈するように情報に接していると考えられるが (市川 & 行場, 1984), 構造の発見・抽出の過程においては必然的になんらかの下位情報を捨象しなければならない。構造的情報理論においては, 物理学的な量を心理学的な量へと変換するコード化の過程において, “How much is there?” に関する情報の一部を下位情報として捨象したと考えられる。換言すれば, これなしにはコード化そのものが成立しないと言えるだろう。

しかしながら, コード化の過程の中でどの情報を採用し, どの情報を捨象するかについての理論的考察は (ここでは, Gestalt 要因をその手がかりとしているが), Butler の指摘をも含めて, 常にその再吟味が要求される場所である。

3. 曖昧性・認知的葛藤・不一致・複雑性

Attneave (1968) は曖昧性 (ambiguity) を2つに分類する。1つは分離的 (disjunctive) 曖昧性と呼ばれ, Necker の立方体に代表されるように, 対象に対する2つ (以上) の解釈が, 知覚的にも物理的にも両立しないもの, 1つは結合的 (conjunctive) 曖昧性と呼ばれ,

2つ（以上）の解釈が、物理学的には両立するが、知覚的には両立しないものである。物理学的には3本の対称軸を持つにもかかわらず知覚的には同時に1本の対称軸しか知覚されない正三角形をその例としてあげることができる。このように、曖昧性の源泉は複数の解釈間で生ずる認知的葛藤であると考えられる。

たとえば情報理論的接近法をとる Nicki ら（1981）は、解釈間の認知的葛藤を表現するものとして解釈の多様性をあげ、これを曖昧性の指標とする。

一方、さきに述べた構造的情報理論による分析では、各解釈の最小の構造的情報量（I）の一致によって認知的葛藤（曖昧性）を予測し、さらに相補的コードを用いて対立する解釈の低位分析を行うことにより、その程度を量化する。

前者は、認知的葛藤＝解釈の多様性と定義するが、後者は、生活体が簡潔性の原理に基づきつつ、より単純な解釈を達成しようとする過程の中で生ずる認知的葛藤を定義しようとする。

すなわち、構造的情報理論による分析は、単なる解釈の同時発生という現象ではなく、解釈の持つ複雑性（単純性）どうしの間で起こる葛藤を捉えようとする。漠然とした概念である認知的葛藤の概念を、複雑性どうしの対立をもちいて量化しようとするのである。

また、順応水準や期待の概念と同様、単純性の達成を生活体の持つ基準の1つであると仮定するとき、この認知的葛藤の大きさをもって、基準との不一致を表現しうるだろう。

冒頭に述べたように、自発的な視覚的探索の寄与条件とされる認知的葛藤（不一致）は、複雑性の概念の中に内包されたまま独立変数として用いられたため理論と実験結果との不整合を導いたと推察できる。これに対し、構造的情報理論による分析は、認知的葛藤を複雑性の概念から分離することを可能にしたと言えよう。

この理論を適用することによって、単純－複雑の次元上での図形間の相対的比較が、また、構造的情報量の対立する曖昧事態においては、複雑性の次元とは別に、各図形の有する認知的葛藤どうしの比較が可能になるろう。

認知的葛藤、すなわち基準との不一致を独立的かつ量的に操作しうる構造的情報理論は、複雑性の概念と認知的葛藤（不一致、曖昧性）の概念が、なかば同義なものとして錯綜して用いられる自発的な視覚的探索の研究分野において、寄与するところ大であろう。

謝辞 本稿執筆に当たり、行動学講座小野教授、中島助教授より多大の御援助をいただきました。ここに深く感謝の意を表します。

参考・引用文献

- Aitkin, P. P. 1974 Judgement of pleasingness and interestingness as functions of visual complexity. *Journal of Experimental Psychology*, **103**, 240-244.
- Attneave, F. 1956 The quantitative study of shape and pattern perception. *Psychological Bulletin*, **53**, 452-471.
- Attneave, F. 1968 Triangles as ambiguous figures. *American Journal of Psychology*, **81**, 447-453.
- Attneave, F. 1974 How do you know? *American Psychologist*, **7**, 492-499.
- Attneave, F. & Frost, R. 1969 The determination of perceived tridimensional orientation by minimum criteria. *Perception & Psychophysics*, **6**, 391-396.
- Berlyne, D. E. 1957 Conflict and information-theory variables as determinants of human perceptual curiosity. *Journal of Experimental Psychology*, **53**, 399-404.
- Berlyne, D. E. 1958 The influence of complexity and novelty in visual figures on orienting responses. *Journal of Experimental Psychology*, **55**, 289-296.
- Berlyne, D. E. 1965 *Structure and direction in thinking*. John Wiley & Sons.
- Berlyne, D. E. 1972 Uniformity in variety: Extension to three-element visual patterns to non-verbal measures. *Canadian Journal of Psychology*, **26**, 277-291.
- Berlyne, D. E., & Boudewijns, W. J. 1971 Hedonic effects of uniformity in variety. *Canadian Journal of Psychology*, **20**, 125-135.
- Boselie, F. 1983 Ambiguity, beauty, and interestingness of line drawings. *Canadian Journal of Psychology*, **37**, 287-292.
- Boselie, F., & Leeuwenberg, E. 1985 Birkhoff revisited: Beauty as a function of effect and means. *American Journal of Psychology* **98**, 1-39.
- Boselie, F., & Leeuwenberg, E. 1986 A test of the minimum principle requires a perceptual coding system. *Perception*, **15**, 331-354.
- Buffart, H., & Leeuwenberg, E. 1983 Structural information theory. In Geissler, H. G., Buffart, H., Leeuwenberg, E., & Sarris, V. (Eds.), *Modern issues in perception*. North-Holland.
- Buffart, H., Leeuwenberg, E., & Restle, F. 1981 Coding theory of visual pattern completion. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, **7**, 241-274.
- Buffart, H., Leeuwenberg, E., & Restle, F. 1983 Observations: Analysis of ambiguity in visual pattern completion. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, **9**, 980-1000.
- Butler, D. L. 1982 Predicting the perception of three-dimensional objects from the geometrical information in drawings. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, **8**, 674-692.
- Collard, R., & Buffart, M. 1983 Minimization of structural information: A set-theoretical approach. *Pattern Recognition*, **16**, 231-242.
- Day, H. 1966 Looking time as a function of stimulus variables and individual differences. *Perceptual and Motor Skills*, **22**, 423-428.
- Deci, E. L. 1975 *Intrinsic Motivation*. Plenum Press.
- Dinnerstein, D., & Wertheimer, M. 1957 Some determinants of phenomenal overlapping. *American Journal of Psychology*, **70**, 21-37.
- Dorfman, D., & Smith, G. 1975 The effect of stimulus uncertainty on the relationship between frequency of exposure and liking. *Journal of Personality and Social Psychology*, **31**, 150-155.
- Goodman, N. 1972 *Problems and projects*. Bobbs-Merrill.
- Greenberger, E., Woldman, J., & Yourshaw, S. W. 1967 Components of curiosity: Berlyne reconsidered. *British Journal of Psychology*, **58**, 375-386.
- Hatfield, G., & Epstein, W. 1985 The status of the minimum principle in the theoretical analysis of visual perception. *Psychological Bulletin*, **97**, 155-186.
- Hochberg, J. 1957 Effects of the Gestalt revolution: The Cornell symposium on perception. *Psychological Review*, **64**, 73-84.

- Hochberg, J., & Brooks, V. 1960 The Psychophysics of form: Reversible perspective drawings of spatial objects. *American Journal of Psychology*, **73**, 337-354.
- Hochberg, J., & McAlister, E. 1953 A quantitative approach to figural "goodness". *Journal of Experimental Psychology*, **46**, 361-364.
- Hunt, J. McV. 1965 Intrinsic motivation and its role in psychological development. *Nebraska symposium on motivation*, **13**, 189-282.
- Hunt, J. McV. 1969 *The challenge of incompetence and poverty*. University of Illinois 宮原英種・宮原和子(訳) 1978 乳幼児教育の新しい役割 新曜社
- 市川伸一・行場次朗 1984 パターンの精神物理学における方法論的諸問題の検討 心理学評論, **27**, 132-157.
- 稲垣佳世子 1981 好奇心 新版心理学辞典 平凡社
- 柿崎祐一 1970 ゲンタルト理論の今日的意義 講座心理学 第4巻 知覚 東京大学出版会
- Kanizsa, G. 1975 The role of regularity in perceptual organization. In G. Flores D'Arcais (Ed.), *Studies in perception*. Martello, Giunti.
- Kanizsa, G. 1979 *Organization in vision: Essays on Gestalt perception*. Praeger. 野口薫(監訳) 1985 視覚の文法 サイエンス社
- Leckart, B. T. 1965 Complexity judgments of photographs and looking time. *Perceptual and Motor Skills*, **21**, 16-18.
- Leeuwenberg, E. L. J. 1969 Quantitative specification of information in sequential patterns. *Psychological Review*, **76**, 216-220.
- Leeuwenberg, E. L. J. 1971 A perceptual coding language for visual and auditory patterns. *American Journal of Psychology*, **83**, 307-349.
- Leeuwenberg, E. L. J. 1978 Quantification of certain visual pattern properties: Saliency, transparency, similarity. In Leeuwenberg, E., & Buffart, H. (Eds.), *Formal theories of visual perception*. Willey.
- Leeuwenberg, E. L. J. 1982 The perception of assimilation and brightness contrast as derived from code theory. *Perception & Psychophysics*, **32**, 345-352.
- Leeuwenberg, E., & Buffart, H. 1983 An outline of coding theory: A summary of related experiments. In Geissler, H. G., Buffart, H., Leeuwenberg, E., & Sarris, V. (Eds.), *Modern issues in perception*. North-Holland.
- Leeuwenberg, E., & Buffart, H. 1984 The perception of foreground as derived from structural information theory. *Acta Psychologica*, **55**, 249-272.
- Leeuwenberg, E., Mens, L., & Dalis, G. 1985 Knowledge within perception: Masking caused by incompatible interpretation. *Acta Psychologica*, **59**, 91-101.
- Lemond, L. C., Durham, R. L., Slater, G. P., Wilson, W. H., & Nunnally, J. C. 1974 Varying degrees of complexity and isolation in visual exploration. *Perceptual and Motor Skills*, **38**, 787-794.
- Lemond, L. C., & Nunnally, J. C. 1974 The influence of incongruity and pre-exposure on the familiarity effect in visual selection of children. *Journal of Experimental Child Psychology*, **18**, 373-381.
- Lemond, L. C. 1978 Complexity, incongruity, pre-exposure and the familiarity effect in visual selection. *Perceptual and Motor Skills*, **46**, 99-106.
- Nicki, R., Forestell, P., & Short, P. 1979 Uncertainty an preference for "ambiguous" figures, "impossible" figures and the drawings of M. C. Escher. *Scandinavian Journal of Psychology*, **20**, 277-281.
- Nicki, R., Lee, P., & Moss, V. 1981 Ambiguity, cubist works of art and preference. *Acta Psychologica*, **49**, 27-41.
- Nunnally, J. C., Lemond, L. C. 1973 Exploratory behavior and human development. *Advances in Child Development and Behavior*, **8**, 59-109.
- Nunnally, J. C., Lemond, L. C., & Wilson, W. H. 1977 Studies of voluntary visual attention —Theory, methods, and psychometric issues. *Applied Psychological Measurement*, **1**, 203-218.
- Restle, F. 1979 Coding theory of the perception of motion configurations. *Psychological Review*,

86, 1-24.

- Restle, F. 1982 Coding theory as an integration of Gestalt psychology and information processing theory. In J. Beck (Ed.), *Organization and representation in perception*. Erlbaum.
- van Tuijl, H. 1980 Perceptual interpretation of complex line patterns. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 6, 197-221.
- van Tuijl, H., & Leeuwenberg, E. 1979 Neon color spreading and structural information measures. *Perception & Psychophysics*, 25, 269-284.
- Walker, E. L. 1973 Psychological complexity and preference: a Hedgehog theory of behavior. In Berlyne, D. E., & Madsen, K. B. (Eds.), *Pleasure, reward, preference*. Academic Press.
- Wilson, W. H. 1976 Visual selection: The effects of number of encodable elements and physical complexity. *Perception & Psychophysics*, 20, 205-209.

AN ANALYSIS OF FIGURAL AMBIGUITY USING STRUCTURAL INFORMATION THEORY : CONCERNING VOLUNTARY VISUAL EXPLORATION

Seiki AKAI

In the theories of voluntary visual exploration, there are some independent variables. They are the concept of cognitive conflict, incongruity, or ambiguity. According to these theories, organisms tend to explore the objects which have an optimal cognitive conflict.

In many experiments, these variables have been operated by physical complexity or psychological complexity. However, results were not always in good agreement with hypothesis. This is most likely caused by the confusion of the concepts of incongruity and complexity.

This article aims to introduce the Structural Information Theory and, by means of this theory, to propose a new methodological framework for the study of voluntary visual exploration.

Leeuwenberg et al. who proposed the Structural Information Theory applied the "principles of pregnancy" in the analysis of pattern perception. They are committed to the idea that perception is a matter of interpretation, and that the direction of interpretation corresponds to the "principles of pregnancy".

Each interpretation is represented by a "primitive code" that symbolizes the relative placement of lines and angles needed to specify a given form. The primitive codes are reduced to the simplest form ("minimum code") via a set of formal operation (e. g. iteration, symmetry). Such codes have Structural Information Loads that consist of the number of independent parameters it use, and that represent the complexity (simplicity) of a given form. Moreover, it is assumed that organisms tend to prefer the interpretation whose code has the smallest Structural Information Load.

Ambiguity of the pattern is predicted when two or more minimum codes exist. To escape this conflictive situation, organization will use complementary pairs of interpretations which are produced by shifting each minimum code. Since structures that can be completely described by one minimum code can also be described by pairs of complementary codes. Then, degree of ambiguity can be quantified comparing each complementary codes and calculating conflictive situations between them.

Thus, by this analysis, it is possible to distinguish the concept of cognitive conflict from the concept of complexity, and to quantifying them separately.

This theory (technique) will be able to contribute to the study of voluntary visual exploration which uses these concepts vaguely.