幼児における複合図形の分節化と視覚的探索活動¹

日本女子大学² 加 村 陽 子³

Visual exploration and cognitive articulation of
the compound figures in children

Yoko Kamura (*Department of Education, Faculty of
Literature and Humanities, Japan Women's University,
Bunkyo-ku, Tokyo 112*).

Visual articulation of compound figures is more fragmentary in children whereas it is more integrated in adults. In this experiment, eye movement of children during visual exploration of test figures was recorded under the hypothesis that the fragmentary articulation should be related to the same fragmentary character of the eye movement. The subjects were 20 children of 4-, 5- and 6-years old and the eye movement was recorded by a video monitor system accompanied by an EOG. The cognitive articulation was analyzed by a picture drawing task of the same figures and compared with the patterns of the eye movement. As the results, the children of fragmentary articulation in drawing also showed more partial-successive and inefficient explorative movement than those children of integrated articulation. The hypothesis was confirmed.

Key words : visual exploration, eye movements, visual articulation, compound figures, children.

二次元の幾何学図形を組み合わせて構成される複合図形には、複数の分節様式が考えられる。たとえば、Fig. 1 の (1) のように長方形をふたつ組み合わせた複合図形では、少なくとも 5 種類の分節型が存在しうる。視覚健常な成人が、このような図形を把握するとき、図形の分節はプレグナンツの法則により規定される (山根, 1935; Metzger 著 盛永訳, 1968)。ところが、幼児においては成人とは異なる図形の構造把握を示す傾向がある (Metzger 著 盛永訳, 1968; 望月, 1976; 山梨・志村・千田・小柳・山県・斉藤, 1982; 小柳・山梨・千

田・志村・山県, 1983)。すなわち、成人ではよき連続の要因が強く働き、Fig. 1 では (2) の長方形ふたつの組み合わせとして把握するが多い。それに対し、幼児は共通中心の要因あるいは閉合の要因がむしろ強く働き、Fig. 1 の (3) や (4) のような組み合わせの図形として、分節を規定する⁴。山梨他 (1982) は、前者を統合的分節様式、後者を断片的分節様式と区別している。

成人でも、(1) 触運動的に形を知覚した場合 (山根, 1935; Metzger 著 盛永訳, 1968) や、(2) 視野を極端に制限した場合 (山根, 1935; 木村, 1972; 千田・小柳・山梨・志村・山県・斉藤, 1982) のように、図形の形態を部分的・継時的に処理せざるを得ない制限条件下においては、幼児と同様の断片的分節様式が認められる。このことは、視覚健常な成人が、視覚的形態を全体的・同時的に把握するのに対し、幼児においては、視覚による形態把握の際の探索の方法が、より部分的・継時的に行われていることを、推測させる⁵。

この部分的・継時的処理という点に関連して、視覚知覚においては、探索活動として眼球運動が重要な側面を担っている。一般に、成人が図形を観察する際の眼球運動

Fig. 1. Types of articulation of a compound figure.

¹ 本研究は、1985年度に日本女子大学大学院文学研究科に提出した修士論文の一部である。

² 現所属 東京大学教養学部。

³ 本研究を行うにあたり、日本女子大学 岡野恒也先生、望月登志子先生に、実験の実施、分析にあたり東京学芸大学 伊藤英夫先生、名古屋大学 古賀一男先生、早稲田大学 安田幸弘氏に多大なる御指導を頂きました。また、Smith-Kettlewell Eye Research Institute 下條信輔先生には数々の有益な御助言を頂きました。ここに、深く感謝致します。

⁴ 断片的分節型を示す幼児の場合においても、統合的分節型を促すような教示、或いは、何らかの訓練試行を行うことにより、他の分節型が出現する可能性は考えられる。しかし、本研究では、そのような補助手段を用いない場合に、言い替えば、何も示唆を与えない状態において、複数の可能な分節型の中から、まず成人では統合的、幼児では断片的な分節型を規定するという認知プロセスの相違に特に留意した。

では、その図形の角など、情報の多いと思われる部分に固視点が集中する (Zusne & Michels, 1964). また、図形認知が被験者にとってより簡単になる場合では、周辺視野がより有効に働く結果、固視点数は減少する (石川・牛島, 1976). 一方、幼児においては、固視点間の移動距離は成人にくらべ短く (Mackworth & Bruner, 1970), また成人のように特徴情報を視覚的に選択しないため図形全体をくまなく覆うという探索活動となる (Yarbus, 1967). 幼児期の発達過程においては、年長児になるにつれ、刺激図形の特徴となっている部分に目を向ける傾向が認められる (Запорошеч 著 青木訳, 1979). このように、年少の幼児ほどその視覚的探索活動は、成人の場合のように、課題の要請に応じて効率的なものとして発現せず、部分的・継時的になる傾向がある。

これらの知見から、次のような仮説を立てることが可能である。幼児の複合図形の構造把握において、(1) 統合的な把握様式における視覚的探索活動は、情報の多い図形の角にあたる部分および辺と辺の交点に、規則的な往復運動を伴い視線を集中するような全体的・同時的で、効率的なものが発現する。また、図形全体に対する固視点の頻度は、断片的把握様式を示す幼児の固視点数より少ない。一方、(2) 断片的な把握様式における視覚的探索活動は、図形の角および交点への固視の頻度は少なく、そのかわり図形全体を部分的・継時的に不規則に探索する。従って、図形全体に対する固視点の頻度は多くなる。

本研究では、複合図形の分節様式とその図形を視覚的に探索する際の眼球運動との対応関係を探ることを目的とし、上記のような仮説の可否を、1) 図形全体に対する固視点の頻度、2) 図形の交点領域の固視点の頻度、

及び 3) 視覚走査の形態についての分析から検討する。

方 法

被験児 私立O幼稚園の年中クラスおよび年長クラスの 30 名 (4 歳: 5 名, 5 歳: 12 名, 6 歳: 13 名). 暦年齢は 4 歳 7 カ月から 6 歳 7 カ月であった。

刺激図形 刺激 (1)―(3) は幾何学的平面図形 (長方形, 二等辺三角形) を組み合わせた複合図形. 刺激 (4)―(6) は, 刺激 (1)―(3) の各々の複合図形を統合的に分節した際に基本となっている幾何学的平面図形である (Fig. 2). これらの幾何学図形 6 種類を 12.22×12.22 cm (視角 17 度, 距離 20 cm) の範囲に, 黒の輪郭 (輪郭の幅約 0.8 cm) で描いたものを使用した. また, 較正用刺激として, 上記と同質の白い厚紙で, 同様の範囲内に直径約 3.0 mm の色のついた豆電球 (赤, 黄, 緑) を水平・垂直 3.06 cm の間隔で 5 カ所に配置したものを用いた (Fig. 3). これらの刺激を, いずれも被験児の右眼から 20 cm の位置に提示した. なお, 模写用刺激としては, 上記 6 種類の幾何学図形を各々 6.0×6.0 cm の範囲に描いたものを使用した。

装置 眼球運動の測定は VTR 法と EOG の同時測定

Fig. 2. Stimulus patterns used in the present experiment.

Fig. 3. Five luminous points of eye fixation for calibration of the eye-movement recordings.

⁵ 視知覚における全体性・同時性といっても、色彩や形についての視覚情報を十分処理しうる領域は、健常成人においても、中心窩の約 1—2 度の範囲内およびそのごく周辺部分に限られている。その意味で、鹿取 (1982) の指摘通り、成人の視覚的パターン認知の働きもまた、知覚的探索活動をその成分にもつ系列的な過程である。しかし、触覚による構造把握や、幼児の視覚の場合のように、視点の移動距離が短く、刺激全体を探索する部分的・継時的な情報処理過程と区別する意味から、刺激図形を視覚的に選択し、有効視野を効果的に活用した探索方法をとるものを、ここではあえて全体的・同時的な処理過程として取り扱う。

⁶ 眼球運動と刺激図形を対応づけるには、一般には、アイカメラによる測定法が適切であると言われている。しかしながら、4 歳から 6 歳の被験児に NacV 型アイマーカーレコーダを使用して予備実験を行ったところ、フレームの大きさ、重量などの問題により、測定不可能であった。

により行った⁶。

1. VTR 法：被験児の右眼から 45 度右前方にメインカメラ (Victor CV-G 70) を配置し、右眼球をクローズアップ撮影した。メインカメラにはマクロズームレンズ (Tamron SF 70-210 mmF 3.5/4 macro) を装着し、その映像はビデオタイマー (FOR-A VTG 33) によって、1/100 秒まで時刻表示された後、ワイパー (Victor KM-

Fig. 4. The EOG and video monitor system in a block diagram. Five dots around the eye indicate EOG electrodes and a small point on the nose is a mark for the video monitoring.

Area	Cumulative frequency	%
A	82	27.33
B	53	17.67
C	50	16.67
D	27	9.00
K	9	3.00
L	10	3.33
O1	69	23.00
O2	0	0
O3	0	0
Total	300	100.00

C

Fig. 5. An example illustrating counting procedure of eye fixations on the video monitor.
 A. Fixations and scanning paths of the eye on a cross figure.
 B. Definition of areas of eye-fixation and the observed frequency of the fixation on the defined areas indicated by numbers. Circles define the areas of fixation on corners and intersections. O1 is the area of fixation neither on corners nor on intersections within the figure. O2 is the area of fixation outside the figure.
 C. The observed frequencies of fixations in a table form. O3 is unmonitored case.

1500) へ送りこまれた。また、刺激は被験児後方よりサブカメラで撮影され、メインカメラの映像と合成された。右眼球には反射光が常にあたるように、被験児の右眼から 30 度左前方 1.8 m のところに 10 W 相当の電球を配置した (伊藤, 1983)。

2. EOG：顔面 4 カ所 (水平・垂直記録用に、両眼の外眼角を結んだ水平位置および被測定眼 (右眼) の上下に各 1 対) および耳朶裏側に Ag-AgCl 電極 (日本光電) を装着し、ニスタモ用直流アンプ (日本光電 AN-601 G) を用いて増幅し、オシロスコープ (IWATSU SS 5410) 上に眼球運動の軌跡として示し、モニターしながらデータレコーダ (TEAC R-60) に記録した (Fig. 4)。

手続き (1) 電極装着後、約 15 分間程度の aging を行った。(2) 校正：固視点として、豆電球を約 0.5 秒の間隔で 5 回点滅させた。被験児には“ピカピカ光るところを見て下さい”との教示を与えた。固視光点上の提示は、中央→右上→中央→左下→中央→左上→中央→右

下→中央の順で行った。(3)被験児に“これから見るものをあとで描いてもらうので、何が描いてあるかよく見て下さい”との教示を与え、刺激(1)―(3)を10秒間提示した。各刺激間の時間間隔は約5秒で、各刺激提示前は fixation ポイントを約2―3秒固視させた。(4)各刺激図形を順次模写させた。被験児には、刺激図形と同じ図形を描くように教示した。(5)再び校正を行い、刺激(4)―(6)の図形の輪郭を指し棒でたどり、それを追視させた(輪郭一周に要する時間は5―10秒)。なお、被験児はチンレストに顎部をのせ、さらに頭部を実験者の両手で支えられ、頭部運動を制限された。

分析 眼球運動の軌跡の複雑化を避けるために、いずれの方法も刺激提示から初めの5秒間についてのみ分析を行った。

1. 校正: 校正点に対する水平・垂直各固視データから、実験後それぞれ最適直線を求め、粗データで補正した(linealization 法によるデータの規準化 (Sheena & Borah, 1981; 古賀・木田・間野, 1986))。

2. VTR 法: 録画された映像は、ビデオモーションアナライザー (SONY SVM 1110) に入力後 1/60 秒 (1 フレーム) ごとにコマ送り再生し、ビデオポジションアナライザー (日本事務光機 VPA 1000) を用いて、マーキングポイント (被験児の鼻柱の右上方に約 0.5 mm の黒点を実験事前にサインペンでつけたもの) を原点とし、角膜反射光の中心点を座標値として読み取りデジタルアウトした。校正データによる規準化を行った後、眼球運動の軌跡、および固視 (ここでは、1/60 秒以上停留したものを固視とする) の累積度数を求めた。具体的には、刺激図形の角および交点を中心とする視角 5 度の範囲に“領域”を設定し、その領域内にある固視点を、その角または交点を固視していたものとみなし、全体に対する角や交点への固視数の累積度数の占める割合について分析した。なお、便宜上、その領域にアルファベットをつけた。たとえば、刺激(1)はAからLまでの12の領域、刺激(2)および(3)ではAからHまでの8つの領域ができる。また、点や交点以外で各刺激図形の範囲内を固視したものを O1 とし、刺激図形の範囲外の固視点を O2 とした。さらに、まばたき、よそ見或いはまつ毛などで光点が隠れコンピュータにインプットできなかったものを O3 とした (Fig. 5)。

3. EOG: 記録されたデータは、データレコーダ (TEAC-R 60) よりアウトプットし、AD 変換した後、VTR 法によるデータと同様に、校正データによるデータの規準化を行ったうえで、20 mm/s で眼球運動の軌跡を描いた。眼球運動の軌跡は2人の評定者により評定された。評定者には、あらかじめ各刺激図形における断片的分節化群と統合的分節化群の、(1)模写パターンから分類された人数と、(2)典型的な眼球運動の軌跡

のパターンと特徴を知らせた。この特徴は、仮説を基準としたもので、視覚走査の範囲が広がり図形全体を部分的・継時的に探索している傾向のみられる眼球運動の軌跡を断片的分節化群の特徴とし、それに対して、探索活動の範囲が狭く刺激図形の角または交点と推測される部分に対応するような全体的・同時的な眼球運動の軌跡は統合的分節化群の特徴とした。

結 果

1. 複合図形の模写: 各被験児の模写パターンを各刺激ごとに分類すると以下ようになる。刺激(1)では、断片的分節化を示す幼児が10名、統合的分節化を示す幼児は20名。刺激(2)では断片的分節化群が17名、統合的分節化群が13名。刺激(3)では断片的分節化群が26名、統合的分節化群が4名であった。

2. VTR 法: VTR 法で得られた眼球運動は、(1)図形全体に対する固視点の数、(2)先に定めた領域における固視点の累積度数についての分析を行った。ただし、各刺激とも分析不可能なデータもあったため、分析された被験児数は30名とは限らなかった。よって、刺激(1)では22名、刺激(2)では23名、刺激(3)では22名のデータについての分析を行った。

(1)各刺激ごとの、統合的分節化群と断片的分節化群の図形全体に対する固視点の数を比較すると、断片的分節化群の平均固視点数は統合的分節化群にくらべ多かった (刺激(1) $t=7.17$, $df=20$, $p<.005$, 刺激(2) $t=3.35$, $df=21$, $p<.005$)。ただし、刺激(3)では両群の間に有意差は認められなかった。

(2)VTR 法での分析は分解能が低いため、被験児が実際におこなった眼球運動と得られたデータの間のずれは免れなかった。そこで、先に定めた全領域の固視点の累積度数の中で、図形の交点領域の固視点の累積度数が占める割合 (刺激(1)では $P(A-D/A-L)$ 、刺激(2)および(3)では $P(A-D/A-H)$) を求めた。たとえば、刺激図形の重なり部分にあたる交点領域が、他の全ての領域にくらべより情報をもつものであるならば、統合的分節化を示す幼児では、断片的分節化を示す幼児よりも A-D の占める割合が高くなると思われた。しかし、この全領域の固視点の累積度数中に、図形の交点領域の固視点の累積度数が占める割合の平均を比較してみると、各刺激図形とも両群間に有意差は認められなかった。

VTR 法での結果から、“統合的分節化群の図形全体に対する固視点数は、断片的分節化群のそれより少ない”という仮説は支持するものと考えるが、“統合的分節化群は図形の角および交点のような情報量の多い部分を選択的に固視する”という仮説は必ずしも支持されなかった。

3. EOG: EOG で得られた眼球運動の軌跡は、規準化を行ったにもかかわらず、刺激図形との対応が明瞭でなかった。そのため、刺激図形の輪郭を追視させた場合の軌跡と比較しながら形態を分析した。また同じ理由により、EOG のデータについては、統合的分節化群と断片的分節化群とを比較するための、客観的・数量的基準を設けることはできなかった。そこで、ナイーブな評定者2名を用いて、眼球運動の軌跡を2群に分類させた。

なお、EOG で分析された被験児数は、刺激(1)断片的分節化群9名、統合的分節化群15名、刺激(2)断片的分節化群14名、統合的分節化群9名、刺激(3)断片的分節化群21名、統合的分節化群2名であった。

評定者による評定: まず、EOG の眼球運動の軌跡のパターンから評定者により評定された分節群と、模写パターンから判断した分節群を被験者ごとに比較し、2人の評定者とも両者が一致した被験児数(a)、1人のみ一致した被験児数(b)、および2人とも不一致の被験児数(c)を各刺激ごとに求めた。刺激(1)では a: 16名, b: 6名, c: 2名。刺激(2)では a: 15名, b: 4名, c: 4名。刺激(3)では a: 20名, b: 2名, c: 1名であった。

次に、2人の評定者(A, B)ごとに、評定者がEOG軌跡から行った分類と模写による分節群との対応関係を比較すると、評定者Aにおける刺激(1)のみ有意となった($\chi^2=7.41$, $df=1$, $p<.01$)。評定者Aの刺激(2)および評定者Bの刺激(1)と(2)については、評定者による分類と模写による分節群とが、対応する傾向があった(ただし $.05<p<.1$)。

また、2人の評定者間での評定については、刺激(2)では対応関係が認められた($\chi^2=7.47$, $df=1$, $p<.01$)が、刺激(1)では対応する傾向があったものの($.05<p<.1$)、有意ではなく、刺激(3)も有意ではなかった。

EOG での評定者による結果からは、刺激(1)と(2)に関して、緩いながら“断片的分節化群の眼球運動は、図形全体を部分的・継時的に探索する”という仮説を支持する傾向が認められた。

考 察

刺激(1)および(2)に関して、VTR 法からは、断片的分節化群の固視点の数は統合的分節化群のものより有意に多かった。また、EOG では、両群の間に有意な差は得られなかったが、視覚的探索活動に質的な差が認められる傾向はあるものと思われる。これらの結果は、断片的分節化を示す幼児が統合的分節化を示す幼児に比べ、より部分的・継時的な視覚走査を行っていることを示唆するものと考えられる。

しかし、(1) VTR 法での領域ごとの固視点の累積度

数に、両群間の差がみられなかったこと。(2) 必ずしも有意水準に達しない条件も多く、特に刺激(3)については統計的有意差が得られなかったこと。また、(3) 分節様式と眼球運動の対応関係が必ずしも明確でない被験児も存在していたことなどは、否定できない。これらについては、以下の諸点に改良の余地があると思われる: 1) 刺激図形の選択。2) 被験児の数。3) 被験児の模写パターンから、図形の構造把握の分節様式を分類する方法。4) 幼児期における眼球運動の測定法(すなわち、規準化を行ったにもかかわらず、刺激図形との対応が明瞭でなかったこと。その理由としては、(a) 較正点の偏位、(b) 被験児が較正点を確実に固視しなかった、(c) 頭部運動があったため正確な較正ができなかった等が考えられるが、今回のデータに関する限り、原因は不明であった)。5) 実験手続き上の問題(特に、模写中の眼球運動の測定が不可能であったため、自由観察条件下での眼球運動を、被験児の模写パターンから判断した分節様式と対応づけたことによって生じる諸問題)。6) 眼球運動の分析時間範囲の問題(刺激図形が提示されてから、各被験児がその図形を把握するまでの時間を考慮に入れられず、全て5秒間としたこと)。

本研究では、全ての分析について、明確な結果が得られたわけではないが、全体としてみれば、設定した仮説を支持する傾向はあると言ってよいのではないかと考える。しかしながら、断片的分節化群の部分的・継時的な視覚的探索活動が、いかにして全体的・同時的なものに変換するのかは、依然明らかではない。また、複合図形の構造把握の様式が眼球運動を規定するのか、あるいは逆に眼球運動が、構造把握の様式を規定するのかという相互作用の問題について、結論を導くには至っていない。これらについては、幼児の動的有效視野(池田, 1982)の有効性、或いは眼筋その他の神経レベルでのコントロールの効率性の発達の問題を無視できない。しかし、より重要なのは、鹿取(1984)の指摘するように組織的な探索活動を支えるような内的システム(Neisser 著 古崎・村瀬訳, 1978)の形成・構造化であると考えられる。これらのプロセスを解明するためのひとつの方法として、今後、幼児期の視覚的探索活動をより正確に測定する技術・方法を開発することが必要であると思われる。

引 用 文 献

- 池田光男 1982 パターン認識と有効視野 鳥居修晃(編) 現代基礎心理学3 知覚II 認知過程 東京大学出版会 Pp.83-104.
石川尚子・牛島めぐみ 1976 あいまい図形の認知における眼球運動1 日本教育心理学会第18回総会発表論文集, 262-263.
伊藤英夫 1983 発達障害児の眼球運動測定法 東京学

- 芸大学特殊研究施設報告, **33**, 21-34.
- 鹿取廣人 1982 認識の障害 藤永 保他(著) 講座現代の心理学 5 認識の形成 小学館 Pp. 341-418.
- 鹿取廣人 1984 感覚・知覚 鹿取廣人(編) 現代基礎心理学 10 発達Ⅱ 個体発生 東京大学出版会 Pp. 61-99.
- 木村充彦 1972 触運動による組み合わせ図形の知覚 心理学研究, **43**, 1-12.
- 古賀一男・木田光郎・間野忠明 1986 EOG 測定時の校正及び normalization の手続 名古屋大学環境医学研究所年報, XXXVII, 57-60.
- 小柳恭治・山梨正雄・千田耕基・志村 洋・山県 浩 1983 視覚障害児のパターン認識の発達とその指導 (1) 国立特殊教育総合研究所紀要, **10**, 115-125.
- Mackworth, N. H., & Bruner, J. S. 1970 How adults and children search and recognition pictures. *Human Development*, **13**, 149-177.
- メッツガー W. 盛永四郎(訳) 1968 視覚の法則 岩波書店
(Metzger, W. 1953 *Gesetze des Sehens*. Frankfurt am Main: Waldemar Kramer.)
- 望月登志子 1976 視覚と触覚による二次元図形の構造把握 日本女子大学紀要家政学部, **23**, 19-29.
- ナイサー U. 古崎 敬・村瀬 旻(訳) 1978 認知の構図 サイエンス社
(Neiser, U. 1976 *Cognition and reality*. San Francisco: Freeman).
- 千田耕基・小柳恭治・山梨正雄・志村 洋・山県 浩・齋藤政和 1982 視覚障害児のパターン認識の諸特性 (4) 日本特殊教育学会第20回大会発表論文集, 314-315.
- Sheena, D., & Borah, J. 1981 Comparison for some second order effects to improve eye position measurements. In D. F. Fisher, R. A. Monty & J. W. Senders (Eds.), *Eye movements: Cognition and visual perception*. Hillsdale, N. J.: Lawrence Erlbaum Associates. Pp. 257-268.
- 山梨正雄・志村 洋・千田耕基・小柳恭治・山県 浩・齋藤政和 1982 視覚障害児のパターン認識の諸特性 (3) 日本特殊教育学会第 20 回大会発表論文集, 311-313.
- 山根清道 1935 触運動の図形知覚についての実験的研究 心理学研究, **10**, 327-390.
- Yarbus, A. L. 1967 *Eye movements and vision*. (Trs. & ed. by L. A. Riggs) New York: Plenum Press.
(Ярбус, А. Л. 1965 *Роль движений глаз в процессе зрения*. Москва: Наука.)
- ザポロージェツ A. V. 青木冴子(訳) 1979 知覚と行為 新読書社
(Запорощеч, А. В. (Eds.) 1966 *Восприятие и действие*. Москва: Просвещение.)
- Zusne, L., & Michels, K. M. 1964 Nonrepresentational shapes and eye movements. *Perceptual and Motor Skills*, **18**, 11-20.

—1986. 10. 9. 受稿, 1988. 1. 16. 受理—