

## 能動的触覚による形の知覚 —— 眼球運動との関係 ——

### Shape Perception by Active Touch

板 倉 昭 二      中 川 理 華  
Shoji Itakura   and   Rika Nakagawa

大分県立芸術文化短期大学   コミュニケーション学科

#### ABSTRACT

Three experiments were conducted to explore the perception of the shapes of objects by active touch. In Experiment 1, we showed that an exploration of an object by five fingers made recall performance better than by only index finger exploration. In Experiment 2, the relationship between tactual perception of the shapes of objects and eye movement was explored. In Experiment 3, the performance of shape recognition in controlled eye movement conditions was compared to free eye movement conditions. The results showed that the performance of shape recognition in free eye movement conditions was better than in controlled eye movement conditions.

キーワード： 能動的触覚・受動的触覚・形態知覚・眼球運動

#### はじめに

われわれは通常視覚によって物の形を知覚する。しかしながらこのような能力は何も視覚に限られているわけではなく、触覚によってもその筋の伸縮運動や皮膚圧の変化を検出し情報を統合することで物体の形状を把握できる。

それでは感覚としての触覚の特性はいかなるものであろうか。ここでは特に触覚による形態知覚について述べる。Gibson(1962)は触探索(触り方)の方法を2種類に分類した。自由に手を動かして探索する「能動的触覚(Active touch):以下ATと略す」と、物体を皮膚に押しつけて触る「受動的触覚(Passive touch):以下PTと略す」であった。そして、ATとPTで形態知覚の比較をし、ATの方がPTよりも再認成績が良いことを報告した。すなわち、われわれが触って形を把握しようとするときには、手のひらに物の輪郭を押しつけるよりも自由に指で探索しその情報を統合するほうが良いということである。しかし、彼の用いた課題は、触覚で形を把握した後視覚で再認するといういわゆるクロスモダルマッチング(cross-modal matching)であった。これに対し、板倉(1993)やItakura & Nakagawa(in press)は、同一感覚様相内で再認までに遅延を入れて、学習と再認の組み合わせでできる4条件(AT-AT、AT-PT、PT-PT、PT-AT)で再認成績を比較した。その結果、もっとも成績が良

かったのが、A T - A T 条件で逆にもっとも成績が悪かったのが P T - P T 条件であった。これは Gibson の能動的触覚の優位性を指示する。また、興味深いのは、再認が P T 条件のときのみ遅延の影響を受けたということである。その他には、触覚を視覚との比較によりその特性を検討した研究が数多く見られる。これらの研究では、ターゲットとなる 3 次元の刺激を呈示し、それと同じ刺激をいくつかのテスト刺激の中から選択する、いわゆる再認課題が用いられ、感覚様相（モダリティー：視覚と触覚）の特性を調べるものであった。その際、ターゲット刺激とテスト刺激が同一モダリティーで呈示される within-modal と異なるモダリティーで呈示される cross-modal が条件として設定された（数多く報告があるが、比較的最近のものとしては Rose & Orlian, 1991）。また、今水・板倉・佐藤・下條（1992）や Itakura, Imamizu, & Shimojo (1993) は幼児を対象として前述した方法に 1 週間の遅延を入れて実験をおこなった。その結果、遅延なしの条件では視覚の方が再認成績が良く、1 週間の遅延の後では、触覚の方が視覚よりも再認成績が良いという結果を得た。記憶システムと感覚様相との関係の検討が待たれる。また、Itakura & Imamizu (in press) は、鏡映図形を用いて、触覚特性を検討した。通常形の知覚に関しては、視覚の方が触覚よりも優位であると言われているが、幼児においては鏡映図形の弁別で、視覚と触覚の差が認められず、しかも発達の段階が存在するらしいことがわかった。

以上、触覚の知覚特性に関する研究を概観してきたが、本研究では特に以下の点に焦点を当てて検討する。

- 1) 情報の統合という観点から触探索の方法を変えて検討する。すなわち、同じ能動的触覚でも 5 本の指で触る方法と指 1 本で輪郭を自由になぞる方法を用い、再生成績を比較する。直感的には、形の再生ということに限れば、5 本の指から得られた情報を全体の形というものに統合するよりも、輪郭を 1 本の指で触る方が成績が良いと思われるが、果たしてどうであろうか。
- 2) 触探索時における眼球運動を記録し、関係を調べる。視覚による形の知覚では、視線はその輪郭線をなぞるように動く。触探索時には眼球はどのように動くのか、眼球運動を抑制すると何らかの影響があるのか。こうした観点からの、問題解決と眼球運動の関係はいくつか報告されている（たとえば、LEM : Lateral Eye Movement、苧坂ら、1993）。

## 実 験 1

実験 1 では、物の形の知覚においてはどのような触り方が有効であるのかを検討した。すなわち、5 本の指で自由に輪郭をなぞる方法と、人さし指 1 本で輪郭をなぞる方法であった。5 本指で触る場合は、5 本の指から個々に得られた情報を何らかの形で統合することが必要となる。また、1 本指で輪郭をなぞる場合は、指がどのような奇跡をたどるか、すなわち、人さし指の運動情報が主な手がかり情報になると思われる。

## 方 法

**被験者** 大分県立芸術文化短期大学女子学生 30 人を被験者とした。被験者は実験条件により、10 人ずつ 3 群に分けられた。実験は、ワンウェイミラー付きの実験室で個別におこなわれた。被験者は机をはさんで実験者に向かい合ってすわり、実験者の指示により実験が開始された。

**刺激** 12 種類のコドン図形を厚さ 7 mm の白色プラスチックで形取り、20×20cm の黒色の

厚紙に貼り付けたものを刺激として用いた。ここで言うコドンとは、Richards (1982)による輪郭コドンのことであり、本実験で使用したものは、コドンの中でも4-コドンと呼ばれるものであった(図1)。一般に曲線を分割するときには、その曲率が極になるところで区切って個々のユニットに分けることが生態学的に妥当とされる。たとえば、横顔の輪郭を表現するのに目や鼻や唇の凹凸を分割されたユニットだと数学的に明確な表現が可能となる。そしてそれぞれのユニットが輪郭コドンと呼ばれるもので、5種類しかない。これらの輪郭コドンのうち4個を組み合わせたものを4-コドンといい、12種類の4-コドンがある。この4-コドンには便宜上1番から12番までの番号がつけられた。

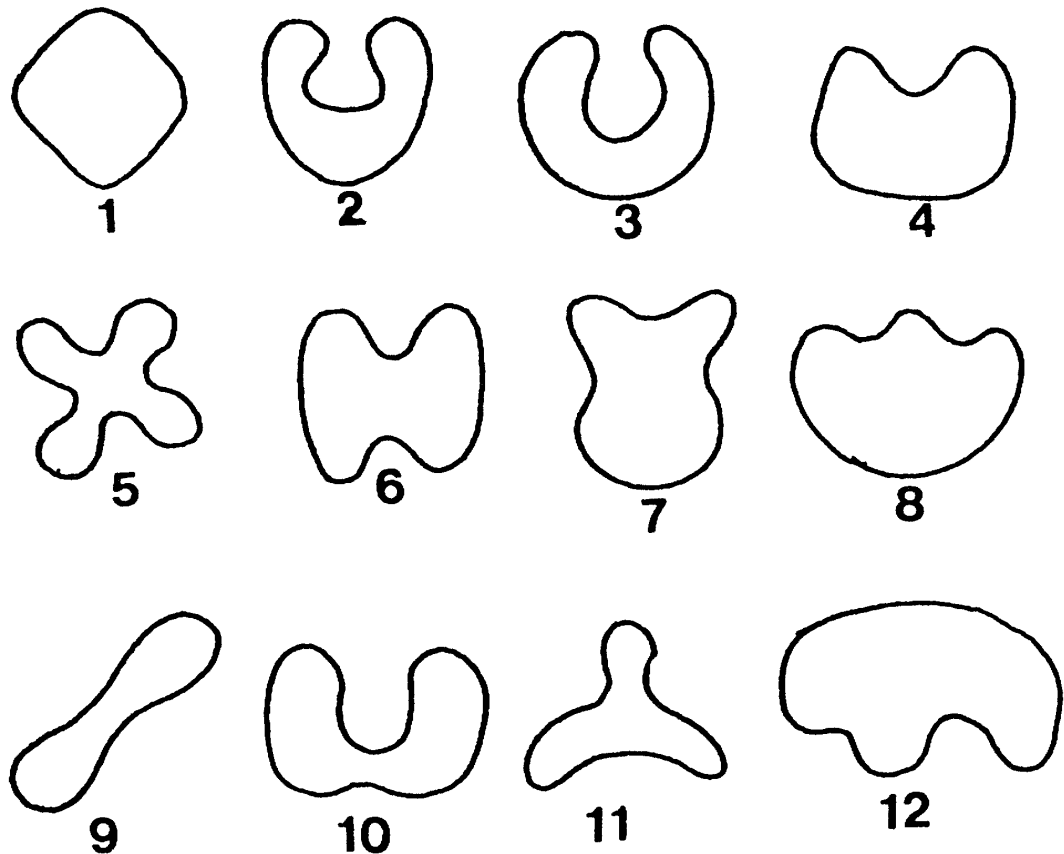


図1 使用されたコドン図形

**手続き** 探索する指と探索時間の組み合わせにより被験者は3つの群に分けられた。5本指で10秒間探索する群(以下5F-10Sとする)、5本指で5秒間探索する群(以下5F-5Sとする)、そして1本指で5秒間探索する群(以下1F-5Sとする)の3群であった。

被験者は机をはさんで実験者と向かい合って座り、アイマスクをして実験者が呈示する刺激を上述した方法で、しかも利き手に関係なく右手での触探索が求められた。その際触っている刺激の形をあとで再生することが教示された。実験者は1番から12番までの刺激をランダムな

順序で呈示し、1つの刺激探索が終了するとそのつどサインペンで、触った刺激の形を線画で再生するよう求めた。12個のコドン図形を再生させるのに被験者一人につき約10分ほどの時間を要した。また、触探索中の指の動きは別室でコントロールできるリモートコントロールカメラにより記録された。

再生されたコドンの形は、他の学生30人によりその類似度が評定された。評定者はオリジナルのコドンの形と被験者の再生した形とを比較しながらその類似度を0点から10点の間で評定することが求められた。すなわち、全く似ていないと思うものには0点が完全に同じと思われるものには10点が与えられた。その他は評定者の判断により0点から10点の間で得点が与えられた。

### 結果と考察

類似度の評定結果を図2に示した。3つの条件（5 F-10 S、5 F-5 S、1 F-5 S）ごとの評定者の平均点を表したものである。

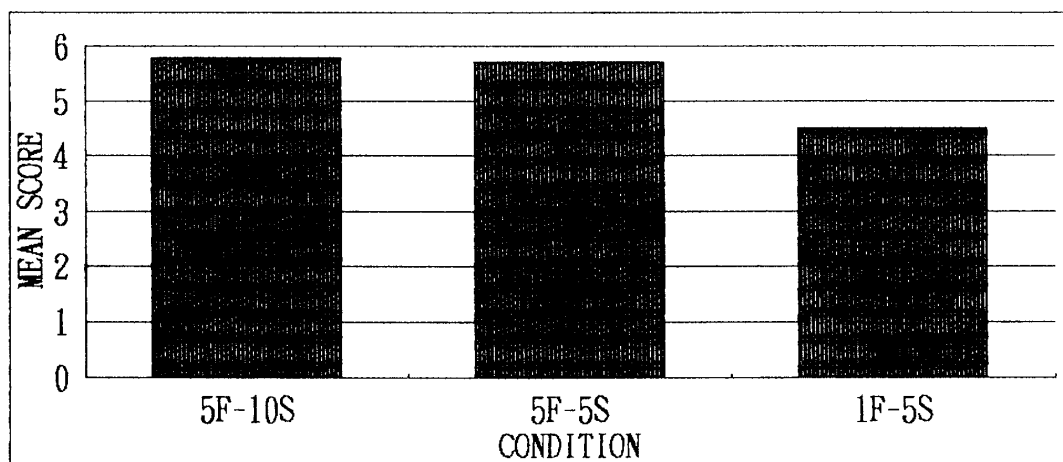


図2 実験2の結果

この図から、探索時間は再生成績にはほとんど関係がなく、むしろ触探索の方法が関与していることがわかる。すなわち、5本指で10秒間触ろうが5秒間触ろうが対して差はなく、1本指で輪郭をなぞるよりも5本指で物体を探索した方が再生成績がよくなるということである。また、5本指で5秒間の触探索をおこなった群の最高得点獲得者と最低得点獲得者の触り方を、記録したビデオにより検討した。各指が触った輪郭部分を重ねると図3のようになる。最高得点者は輪郭部分のすべてにいずれかの指が触れているが、最低得点者は触探索の欠落した輪郭部分が目立つ。

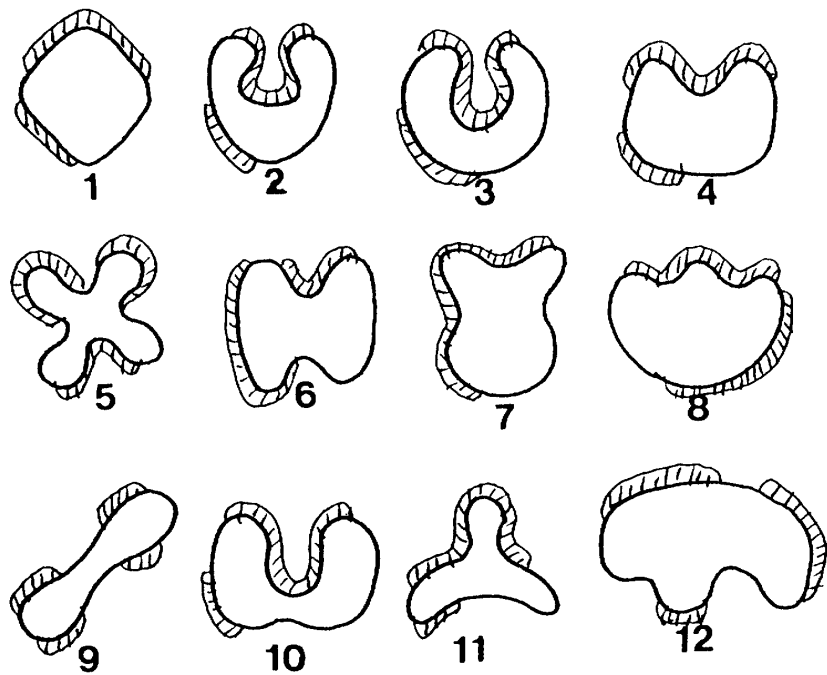
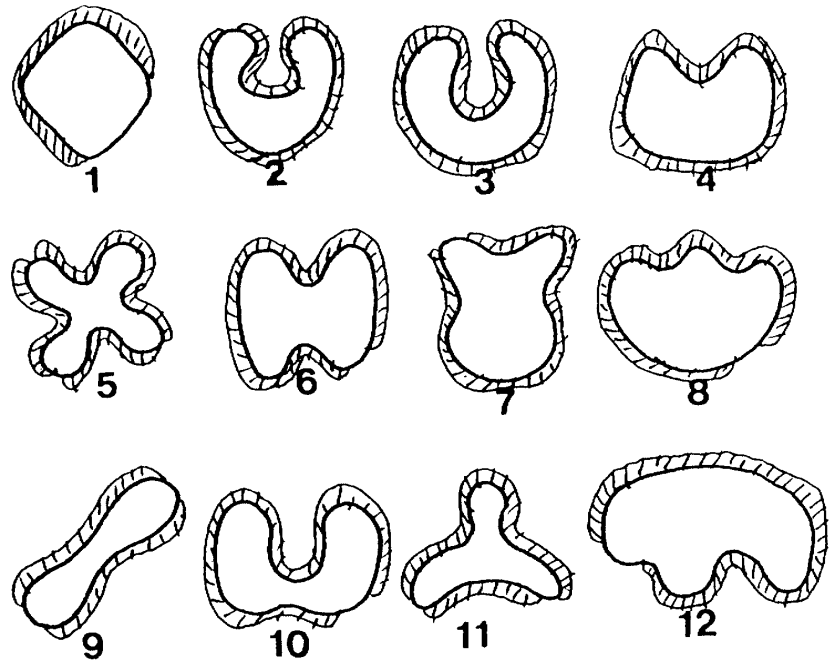


図3 高得点者と低得点者の触り方。シェイディングは被験者が触れた部分。上段が高得点者、下段が低得点者。

5本の指が独自に輪郭をすべて触れるわけではないので、各指から得られた運動情報、皮膚圧情報を統合しているのであろう。

## 実験 2

触覚による形態知覚の際の眼球運動を調べた。問題解決時の眼球運動に関する研究の一つとして、問題解決時の精神活動が眼球運動にどのような影響を及ぼすかという観点を持つものがある(竹田、1993)。つまり、直接的な視覚情報の摂取とは異なる側面である。知能検査やさまざまな認知課題遂行時の眼球運動を測定した研究(苧坂ら、1993)はあるが、触探索時の眼球運動を記述したものはない。そこで、実験2では眼球運動測定器を用いて、触探索時の眼球運動を記録した。

### 方 法

**被験者** 大分県立芸術文化短期大学女子学生10人を被験者とした。なお、被験者はコンタクトおよび眼鏡を使用していない者に限った。

**装置** 眼球運動を記録するために強膜反射法による眼球運動測定器(トークアイ：竹井機器)を使用した。強膜反射法とは、眼球に光を照射し、黒目と白目の反射率の違いを増幅して眼球の動きを検出するものである。

**刺激** 実験1で用いた刺激を本実験でも使用した。

**手続き** 被験者は、実験1と同じ部屋で個別にテストされた。まず、眼球運動検出用のゴーグルが装着され校正がおこなわれた。その後、刺激を1枚ずつ手渡され、目を閉じないように、また絶対に刺激を見ないように教示され20秒間の探索が求められた。その際の眼球運動がトークアイのコンピューターを通してフロッピーディスクに記録された。なお、ゴーグルを装着することの負荷が大きいため、一人の被験者は12個の刺激のうち半分の6個に対する反応を求められた。すなわち、10人のうち5人は1番から6番までの刺激で、残りの5人は7番から12番の刺激でテストされた。

## 結果と考察

それぞれの刺激に対する眼球運動はコンピューターにより、その奇跡が示された。図4は10人の被験者のうち2人(刺激1番から6番まで1人と7番から12番までが1人)の眼球運動の軌跡を、触った刺激と対応づけて示したものである。

能動的触覚による形の知覚

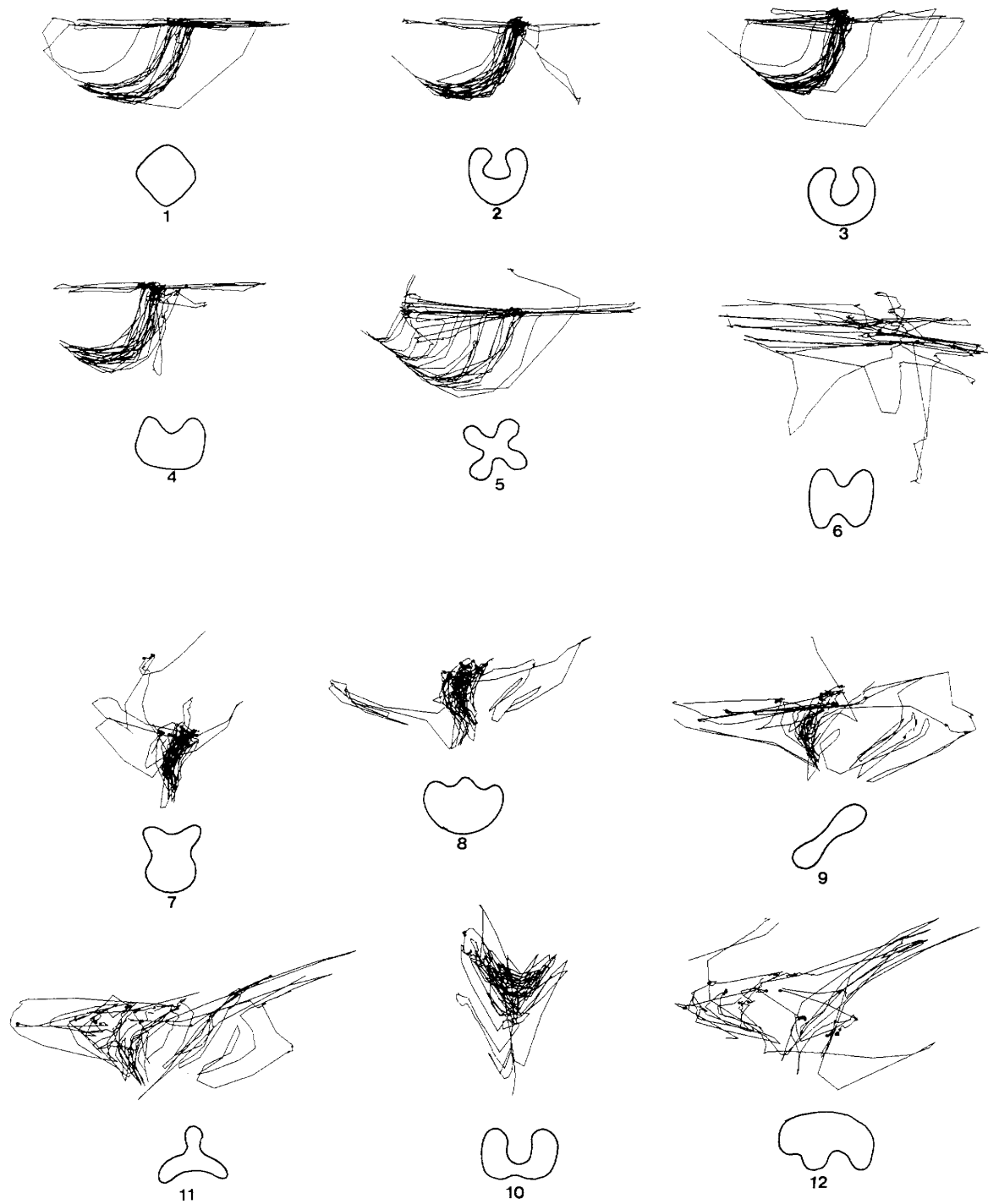


図4 各コドンに対する眼球運動

この図からでは即断はできないが、刺激と眼球運動には何らかの関係がありそうである。被験者によってパターンは異なるが、たとえば、図に示された1番から6番までの刺激でテストされた被験者の場合、刺激1番から4番までは円を基本形としており、それに対する眼球運動は右上方から左下方に流れている。7番から12番の刺激でテストされた被験者の場合は、基本的には真ん中に視線が集まっており、そのまわりをサッケードしているのが見られる。

### 実 験 3

実験2では触覚による形の知覚とそのときの眼球運動に何らかの関係がありそうなのが示唆された。そこで、実験3では触探索時に眼球運動を抑制する群と眼球運動を抑制しない群を設け、再認課題の成績を比較した。

#### 方 法

**被験者** 大分県立芸術文化短期大学の女子学生を10人を被験者とした。被験者は実験条件によって5人ずつの2群に分けられた。

**装置** 再認課題反応用の装置として、パーソナルコンピュータPC-9801FAを用いた。被験者の触探索が終了した後、コンピュータのCRT上にテスト刺激として用いられた12種類のコドン図形が3×4のマトリックス状に呈示される。被験者はキーボードからの入力で再認が求められた。

**刺激** 実験1および実験2で用いた3次元のコドン図形を実験3でも刺激として使用した。

**手続き** 被験者はコンピューター画面に面して座り、2人の実験者がその両隣に位置した。実験条件には、触探索時に注視点を設けて眼球運動を抑制する群と、注視点を設けず自然な眼球運動を許す群に分けられた。

まず、1人の実験者が1つめの刺激を被験者の膝の上に呈示し、5秒間のいわゆる「能動的触覚」により右手で探索することを求めた。その際、注視点を設けられた被験者は注視点から視線をはずさずに刺激に触るように教示され、注視点のない被験者は自由な眼球運動が許された。ただし、決して刺激を見ないように教示された。5秒間の経過とともに刺激がもとに戻され、続いてもう一人の実験者によりコンピューターのキーが操作され、画面上に12個のコドン図形の輪郭が青色の線画で呈示された。コドン図形は3×4のマトリックス状に呈示され、位置はテンキーの位置と対応している。なお、呈示されるコドン図形の位置は試行ごとにランダムに変えられた。被験者は触った刺激と同じ形の図形をできるだけ早く選択し、テンキーのキーを押すことにより答えることが求められた。このとき、コンピューターにより、反応の正誤と反応までに要した時間（reaction time）が記録された。ただし、反応の正誤は被験者にフィードバックされなかった。同様の手続きで12個のコドン図形のテストがおこなわれると実験を終了した。

### 結果と考察

2つの条件、すなわち、眼球運動抑制群と眼球運動非抑制群の平均正答率と平均反応時間をそれぞれ図5、図6に示した。



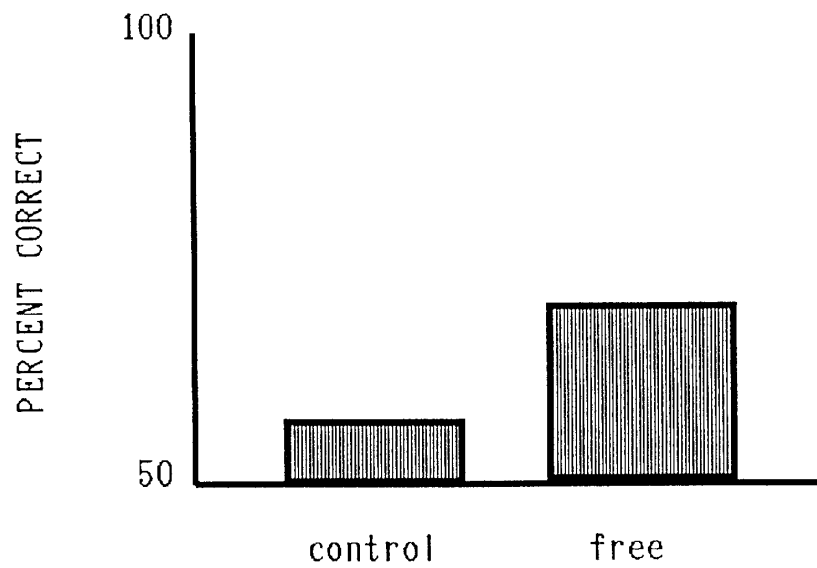


図5 実験3の結果：正答率

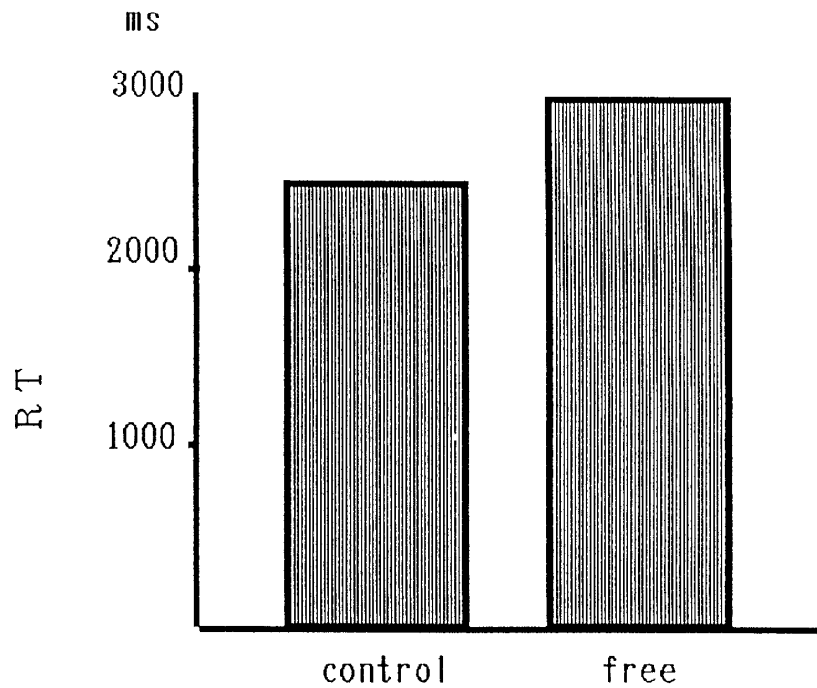


図6 実験3の結果：反応時間

正答率は、眼球運動を抑制しない群の方が成績が良かった。このことから、触探索による形の知覚と眼球運動は何らかの関係があることが示唆される。しかし、それでも80%に達せず、被験者が大学生であることから考えてもこの課題はそれほど容易ではないことがうかがえる。また、反応時間に関しては、眼球運動を抑制した群の方が若干短くなっている。反応時間と正答率の関係を考えると、反応潜時の長さが正答率に反映されているようにも思えるが、被験者ができるだけ早く答えるように教示されたことを考えると、逆にこの反応潜時には被験者の確信度のようなものが反映されているのかもしれない。

## 全体的考察

本研究により得られた主な事実は次の3つである。まず、触覚による形の知覚の際に、複数の指で自由に触る方が1本の指で輪郭をなぞるよりも再生成績が良いことが示された(実験1)。次に、触覚による形の知覚時には、眼球は動いており、さらにその運動パターンは触探索をおこなっている刺激の形と特異的な関係がありそうなことがわかった(実験2)。そして、触覚による形の知覚時に眼球運動を統制する、すなわち注視点を設けると再認成績が悪くなることが示された(実験3)。

Gibson(1962)は、触覚による形態把握の方法を2種類に分類した。すなわち、能動的触覚と受動的触覚である。Gibsonはこれら2つを比較し、能動的触覚による形態把握の優位性を示した。そして、その優位性を生体が自ら手を動かして触るという日常性によることを強調した。この知覚における日常性という観点から考えると、われわれは3次元の物体を手で掴んで確かめるといことの方が、物体を1本の指で触るよりより日常的である。このことが再生成績に反映されたのかもしれない。われわれは、物体に手を伸ばし、手のひらおよび5本の指で物体を包むように触れる。そのときわれわれは暗黙のうちに球体を想定しており、その球体からの欠落の情報を得ることで形を把握しているのかもしれない。情報の収集ということから考えると、5本指から個々に得られた情報を統合して全体の形を推定しなければならない5本指探索の方が、1本指探索の運動情報を使うよりも複雑であるように思える。しかし、物を掴むという日常性が何らかのかたちでその統合を容易にしているのかもしれない。また、触る時間は臨界時間があるにせよ、それほど重大ではなく、欠落する部分が小さければその物体の形の再生は可能である。

問題解決と眼球運動の関係についての報告は、多くは問題解決時の視覚走査を通して情報の取り込み方を知るために眼球運動の測定をおこなったものが多い(苧坂・中溝・古賀、1993)。そのための課題には、図形や絵を見せるものが多く、様々な課題の結果と眼球運動の関係が調べられ、一般に、成績の良い者ほどシステマティックな走査パターンを示すことが報告されている。その他にも、広い意味での思考課題を与え、眼球運動に及ぼす効果を見た研究もある。しかし、問題解決として触覚による形の知覚を課題として取り上げ、その際の眼球運動を測定した研究は見あたらない。実験2はその意味では探索的研究である。そして、その結果から、形の触知覚時にも眼球運動が活発に生起していることがわかった。しかも、図形の形と眼球運動には特異的な関係がありそうであった。すなわち、眼球運動の軌跡に刺激図形の形が含まれている可能性があるということである。このことを実証的に分析するには、眼球運動の軌跡から曲率の極小点を求め、眼球運動の軌跡を分割してコドン図形と比較すればよい。曲率は次の式で求められる。 $c = \dot{x} \ddot{y} - \ddot{x} \dot{y} / \sqrt{(\dot{x}^2 + \dot{y}^2)^3}$ 、ただし  $c$  は時刻  $t$  における曲率 (= 曲率半径の逆数)、 $\dot{x}$ ,  $\dot{y}$  は時刻  $t$  における  $x$ ,  $y$  方向の速度、 $\ddot{x}$ ,  $\ddot{y}$  は時刻  $t$  における  $x$ ,  $y$  の方向とする。これは今後の課題である。

それでは、触覚による形の知覚時に眼球運動を抑制したらどうであろうか。実験3では、触探索時に眼球運動を抑制する群と、抑制しない群をもうけ再認成績を比較したところ、眼球運動を抑制しない群の方が成績が良かった。そして、反応に要した時間は眼球運動を抑制しない群の方が長かった。反応時間と成績の関係には、被験者の確信度が反映されていると考えられ

る。すなわち、眼球運動を抑制しない群の方が再認の際の確信度が高く、ターゲット刺激に到達するまでスキャンするのであろう。これに対して、眼球運動を抑制した群は、それほど高い確信度持たないままテスト刺激をスキャンし、曖昧なままで即座に選択をするのであろう。さらに類推を重ねるならば、このことはまた、触探索による形態把握の際に、ただ単に刺激の形と眼球運動が何かしら関係があるばかりでなく、われわれは、形態を把握するときに、意図することなく、眼球運動を手がかりにしているという可能性を示唆する。これに関連して、触探索を行わず、刺激図形の形をイメージするだけの時の眼球運動の測定が新たな示唆を与えるかもしれない。また、実験3の課題で再認成績と眼球運動パターンの関係を調べることも意味があると思われる。これも今後の検討課題とする。

### 参考文献

- Gibson, J. J. (1962) Observation on active touch. *Psychological Review*, 69, 477-491.
- 今水寛・板倉昭二・佐藤通子・下條信輔 (1992) 触認知の記憶に関する発達的研究 日本発達心理学会第3回大会発表論文集 p240
- 板倉昭二 (1993) 触覚による形の知覚 日本心理学会第57回大会論文集 p737
- Itakura, S. & Nakagawa, R. (1993). Shape perception by active touch and passive touch : The effect of a long retention interval---Pilot study---. (*Manuscript submitted for publication*).
- Itakura, S., Imamizu, H., & Shimojo, S. (1993). The effect of long retention interval on cross-modal matching in young children. (*Manuscript submitted for publication*).
- Itakura, S. & Imamizu, H. (in press). An exploratory study of mirror-image shape discrimination in young children : Vision and touch. *Perceptual and Motor Skills*
- 苅坂良二・中溝幸夫・古賀一男編 (1993) 眼球運動の実験心理学 名古屋大学出版会
- Richrds, W., Koenderink, J. J., Hoffman, D. D. (1987). Inferring 3D shapes from 2D silhouettes. *Science*, 224, 1260-1262.
- Rose, S. A. & Orlian, E. K. (1991). Asymmetries in infant cross-modal transfer. *Child Development*, 62, 706-718.
- 竹田真理子 (1993) 問題解決と眼球運動 苅坂・中溝・古賀編 「眼球運動の実験心理学」 名古屋大学出版会 P219-238