

## 生体運動知覚の規定因

——今後の研究の展望——

神 田 義 浩\*

### I. は じ め に

日常生活において私たちは、薄暗い廊下や暗闇の中でもはるか彼方から歩いてくる人の同定 (identification) が可能なことをしばしば経験する。一般的にそのような状況においては、私たちが通常人を識別・同定する際に用いているであろう顔つきや服装、持ち物などの手がかりはほとんどない。ただ人物のシルエットの情報が得られるだけである。にもかかわらずその人物の同定ができるということは、私たちの知覚メカニズムはわずかな知覚手がかりの中から極めて効率的に意味のある情報を引き出すことにより人物を識別していることになる。このような生体が固有の運動をする状況における知覚情報の処理過程の研究は生体運動の知覚 (perception of biological motion) の知覚と呼ばれる研究領域である。

この問題を初めて体系的に取りあげたのは、Johansson (1973, 1975など) である。彼は次のような実験状況のもとで一連の研究を行った。すなわち、生体の頭、肩、腰や、肘、膝の関節部分などに小さな光点を取り付け、それらの小光点の動きを暗室内で撮影した。そして作成された記録フィルムのわずか12個ほどの小光点群の動きというたいへん限定された情報からでも、ダンスをする2人 (図1 a~d) やヒトの歩行運動の知覚 (gait perception; 図2, 図

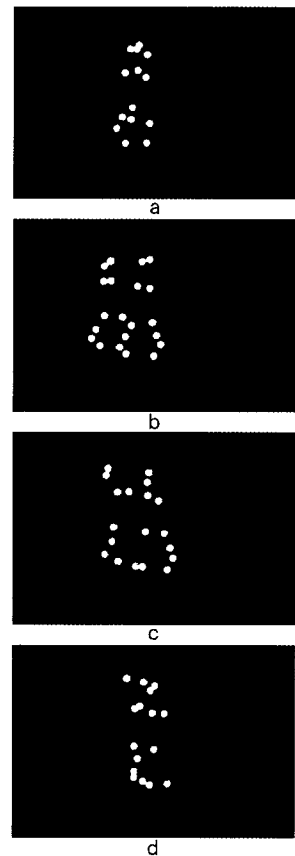


図1 ダンスをする2人  
(ヨハンソン, 1975より抜粋)

\* 広島経済大学経済学部助教授

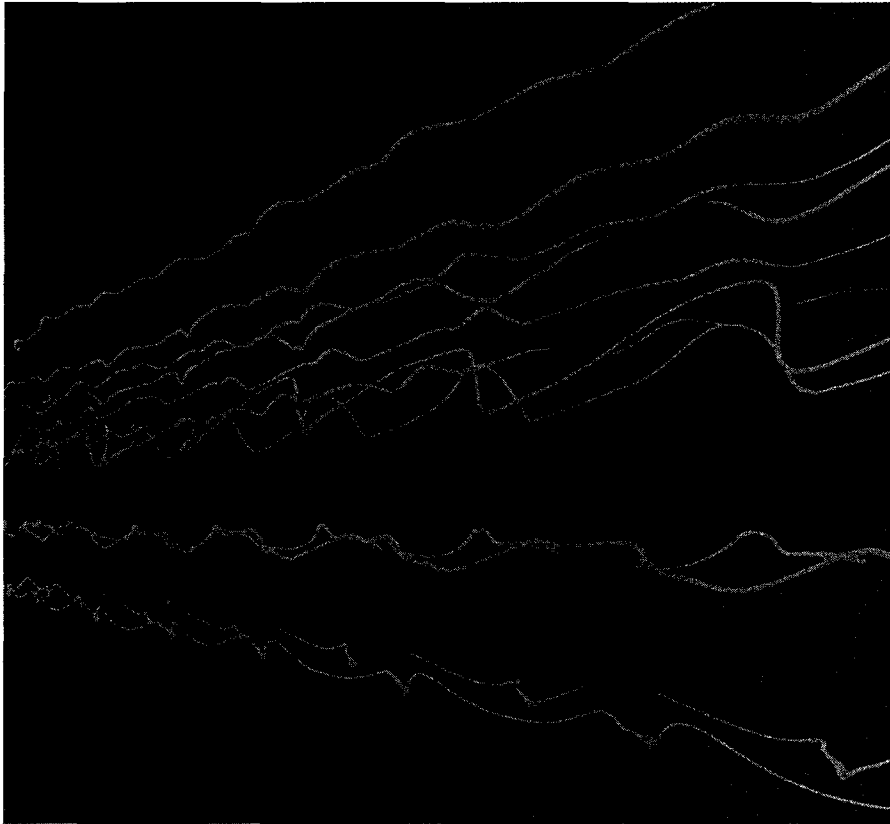


図2 動く人間の光点の軌跡 (ヨハンソン, 1975)

3) などの生き生きした運動印象が速やかに生じることがわかった。従来から運動知覚の研究においては、ネオンサインや電光ニュースなどのように適当な時間間隔を置いた空間的に異なる位置にある光点の点滅が運動印象をもたらすという仮現運動 (apparent movement) の現象はいわゆるゲシュタルト心理学派の精力的な研究から明らかになっていたが、今回のような常時点灯している光点の時間的・空間的な移動軌跡からも生き生きとした運動印象が生じることが明らかになったのである。

この Johansson の一連の研究を受けて、Cutting ら (Cutting & Kozlowski, 1977; Cutting, 1978; Cutting, Proffitt, & Kozlowski, 1978; Cutting, Moore, & Morrison, 1988 など) は、Johansson と同様の動く小光点を用いた一連の実験を行い、さらに歩行運動の知覚に関する研究を進めた。その一連の研究から、当初 Johansson が発見した人物の運動であるという印象よりさらに進んだ知覚、すなわち冒頭で述べた具体的人物や性別の識別までもが実際に可能であることが報告され

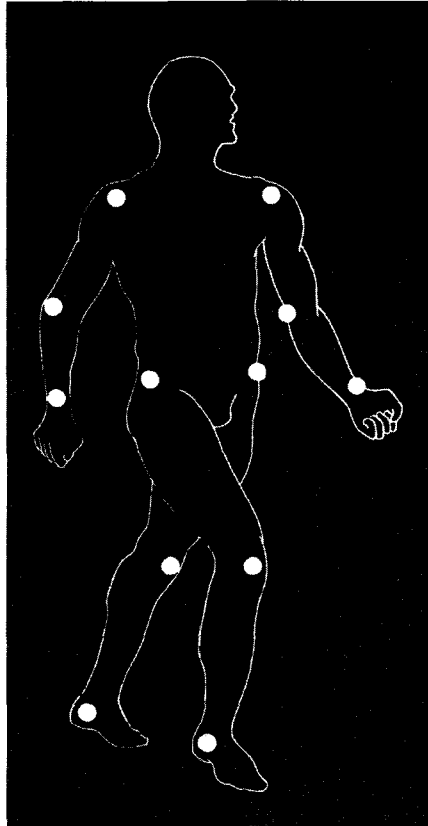


図3 人体に取りつけられた光点の位置 (ヨハンソン, 1975)

た。彼らの一連の研究を要約すると、以下の4点にまとめることができる。

- a) 確かに他の手がかりなしで、小光点の動きの情報のみで性別の同定が可能である。
- b) その同定は、光点が静止した状態では不可能で、動く光点群が提示された状況 (dynamic display) でのみ可能である。
- c) 関節の光点は必ずしも必要ではないが、それらの任意のペア (特定のペアではない) でも性別の同定が可能である。
- d) 様々な刺激の劣化 (stimulus degradation; 例えば、歩行速度、腕の振り、観察時間の制限など) は、知覚過程に影響を与える。

これらの結果から、歩行者の性別の同定を可能にする“生体力学的不変項” (biomechanical invariant) を検討することが、生体運動知覚の研究の課題である。本論文では、この問題について様々な研究成果をレビューしながら考察を進めてい

くことにする。

## II. 性別同定の規定因

生体そのものや、その動作を測定することにより得られた定量的データから身体運動の様々な指標を算出することができる。それらの中からいくつかの性別同定の規定因候補（近似）が検討された。それらを簡単に紹介していくことにする。

### ① 第1の近似…肩幅／腰幅の比率（**shoulder/hip ratio**）

男性と女性を比べた場合の一般的印象として、男性は肩幅が広く、一方女性は腰幅が広いと言われている。この点について、Cutting らは男女の少人数のサンプルデータを収集した。その男女7名ずつの実測データを表1に示した。結果として、

表1 身体測定の結果と各指標（Cutting, et.al, 1978）

Walker	Physical measures (in cm)			Torsion measures ( ° )			Center of moment: Index 3	Index of Identifiability
	Shoulders	Hips	Index 1	Angle A	Angle B	Index 2		
Female								
1 TR	38.0	39.5	.96	170.2	159.5	11.7	.49	34.6
2 IB	38.5	42.0	.92	162.1	151.6	10.5	.48	20.0
3 DD	38.5	35.0	1.10	163.1	151.8	11.3	.52	36.6
4 AL	37.0	36.0	1.03	162.0	161.7	.3	.51	45.7
5 JS	38.5	40.0	.96	162.5	153.0	9.5	.49	47.4
6 EL	37.5	39.0	.96	161.0	153.5	7.5	.49	25.5
7 CP	39.5	40.5	.98	159.4	144.9	14.5	.49	35.5
<i>M</i>	38.2	38.8	.99	162.9	153.7	9.3	.49	35.0
<i>SD</i>	.8	2.5	.06	3.4	5.5	4.5	.01	9.9
Male								
8 RE	40.5	38.0	1.07	177.6	156.7	20.9	.52	52.0
9 RK	40.0	38.0	1.05	170.3	154.5	15.8	.51	54.0
10EA	41.0	36.5	1.12	169.0	150.1	18.9	.53	68.9
11DW	43.0	38.5	1.12	174.0	159.7	14.3	.53	67.8
12RR	43.0	40.0	1.08	166.6	148.3	18.3	.52	73.8
13AM	44.0	38.0	1.16	173.1	158.6	14.5	.54	75.5
14RW	41.0	38.0	1.08	177.3	155.8	21.7	.52	59.5
<i>M</i>	41.8	38.1	1.10	172.6	154.8	17.8	.52	64.5
<i>SD</i>	1.5	1.0	.04	4.2	4.2	3.0	.01	9.4

肩幅は男性の方が女性よりも統計的に有意に広い（男女の各平均値の差=3.6 cm,  $p<.001$ ）ことが明らかになった。一方腰幅については女性の方が男性よりわずかに広いが、これは統計的には有意な差ではなかった（男女の各平均値の差=0.7 cm, n.s.）。また肩幅／腰幅の比率の平均値はそれぞれ、男性は1.10, 女性は0.99となった（以上、表1の1～3列のデータ参照）。またこの結果は概ね過去の人類学的な身体計測データともほぼ一致していた。

そこでこの肩幅／腰幅の指標と、性別の同定可能性指数（男性であると回答したパーセンテージ；表1の第8列のデータ）との相関係数を算出すると、 $r=0.84$  ( $p<.001$ ) という統計的に有意な大変高い値が得られた。

これらの結果から、肩幅、腰幅、ならびにその比率という値が、性別同定の重要な規定因になっている可能性が考えられる。しかし肩幅／腰幅という静的かつ不変の指標のみを用いて私たちの判断が行われているのか、もっと動的な要素も関わっているのかはこの指標のみでは判断できない。また1つの平面だけでなく複数の平面（断面）の知覚も検討する必要がある。そこで次の指標についての検討が行われた。

② 第2の近似…胴体のひねり (torso torque)

人間の歩行運動をステップ・サイクルの観点から分析すると、片足が地面に接している片脚支持相 (single support phase) と、両足が地面に接地している両脚支

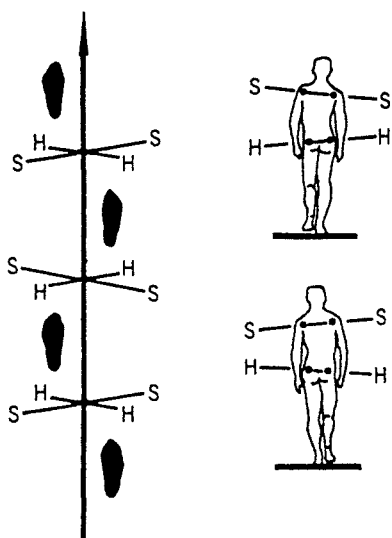


図4 歩行時における身体のひねり (Cutting, et.al., 1978)

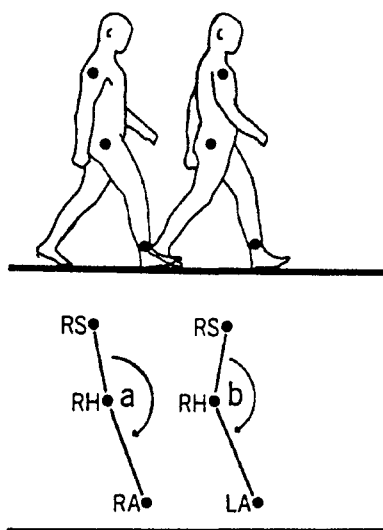


図5 人の歩行動作と肩、腰、足首の位置関係 (Cutting, et.al., 1978)

持相 (double support phase) に分けて考えることができる。そして両脚支持相においてはどちらの足を前に踏み出すかによって、肩 (S) / 腰 (H) のラインにそれぞれ微妙にひねりが加わることになる (図4)。また右肩 (RS), 右腰 (RH), および左右それぞれの足首 (LA, RA) の3点によって決定される、右腰を中心とした右肩 / 足首の角度を算出することができる (図5)。そのデータが表1の第4列～6列に示されている。表中の角 A (Angle A) は右肩と左足首の角度, 角 B (Angle B) は右肩と右足首の角度をそれぞれ示している。6列目の指標2 (Index2; 角A - 角B) が、ひねりの大きさの指標となる。男性の方が歩幅が大きく、また肩 / 腰のひねりが大きいいため、この値が大きくなっていることがわかる。

またこの指標と、前述の肩幅 / 腰幅の指標との相関係数を算出すると、 $r=0.47$  ( $p<.05$ ) となった。このことからこれら2つの指標は同一の構造的基礎を反映している可能性があると考えられる。

次に問題の性別の同定可能性とこのひねりの指標との相関であるが、表1の14人のデータから、 $r=0.55$  ( $p<.05$ ) という高い有意な値が得られた。もし女性の S4 (AL) を除いたデータで同様の値を算出すると、 $r=0.68$  ( $p<.001$ ) という極めて高い値となる。このことから、小光点の運動という動的な視覚情報による運動の知覚は、身体のひねりが性別の情報を提供すると考えてもよいと思われる。

さらに Kozlowski & Cutting (1977) は、性別の同定可能性の指標と他の要因との本質的關係を体系的に検討し、歩行速度、胴体の長さ、相対的な歩幅の長さ、などは有意な関係がないと結論づけている。彼らはまた、19世紀の連続写真から取ったデータや、正常歩行を破壊した視覚情報についても検討し、この身体のひねりが、性別知覚を可能にする有力な指標であると報告している。

しかしこのひねりの指標についても、いくつかの問題点が指摘されている。1つは、腕や脚、足首などをそれぞれ単独で提示しても、かなり正確な性別の同定が可能であること。さらに、何がこのひねりをもたらしているかが不確定なこともさらに検討が必要な問題である。

このようなことを総合して、最終的には動体一般に適用できる指標を考案する必要がある。これについて Cutting らは、次に紹介するような指標を提出している。

### ③ 第3の近似…モーメントの中心 (Center of moment)

Dunker (1939) などにより古くから報告されている光点の回転運動の実験結果から、任意の2光点があれば、対象の回転についての不変情報が得られると考えら

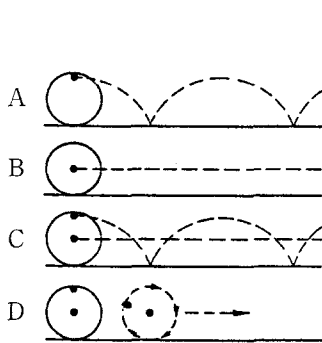


図6 車輪の回転と光点の軌跡（点線）（鷺見，1980）

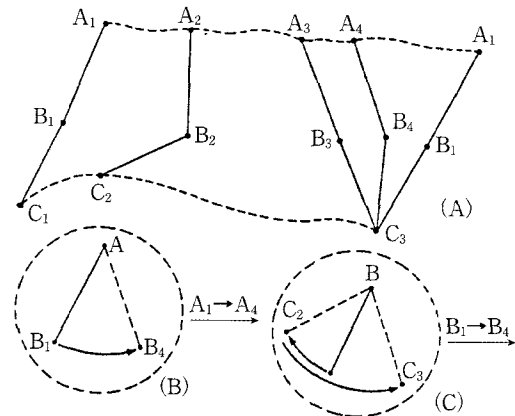


図7 歩行運動における腰，膝，足首の軌跡（Johansson, 1973；鷺見，1980）

表2 性別によるモーメントの中心および重心の位置関係

	モーメントの中心	重心
男性	低	高
女性	高	低

れる。その点について鷺見（1980）は、車輪の任意の箇所に光点をつけて回転させる事態において、車輪の端に光点をつけた時にはサイクロイド運動（図6 A）が、中心に光点をつけた場合には直線運動（図6 B）が観察されるとしている。そして車輪の端と中心の2つの光点の場合には、上の2つの運動が合成されたような運動（図6 C）にはならず、鮮やかな回転運動の印象が生じることを明らかにしている（図6 D）。また Johansson（1973）も、腰（A<sub>1</sub>~A<sub>4</sub>）、膝（B<sub>1</sub>~B<sub>4</sub>）、足首（C<sub>1</sub>~C<sub>3</sub>）に取りつけられた小光点の運動軌跡を分析して、腰に対して膝が、また膝に対して足首が、それぞれ回転型の振り運動をしていることを明らかにしている（鷺見，1980；図7）。

これらのことから、Cuttingらは、これをモーメントの中心（Center of moment）と命名した。彼らによれば、人間の歩行運動も基本的には同じ構造であり、人体はいわば、板バネ（flat spring；胴体）の角に4つの合成振り子（compound pendula；四肢）がついた状態と考えることができる。そして全体の運動は、モーメントの中心に対し、周期的かつ対称になるというのである。そして、

- 1) 正中矢状断面
- 2) 胴体の上下（図4右）

## 3) 胴体の前後 (図5上)

のいずれもが、モーメントの中心が intersection point になっていると考えられ、よってこのモーメントの中心を特定することが最も重要であると考えられる。

またモーメントの中心と重心 (Center of gravity) の関係については、どちらも生体運動に重要ではあるが、図8に見られるように両者は必ずしも一致しない。両者の関係をまとめると表2のようになる。

重心も歩行運動では同様に重要ではあるが、モーメントの中心に比べ不安定であるというのが Cutting らの見解である。彼らはその根拠の1つとして、たとえばハイジャンプのような場合には重心は体外にあるという事実を挙げている。

このモーメントの中心の推定は以下のような式であらわすことができる。図7から、

$$Cm = \frac{s}{s+h} \quad (Cm \text{ はモーメントの中心, } s: \text{肩幅, } h: \text{腰幅})$$

と推定できる (各歩行者ごとのデータは、表1の第7列参照)。

この新たな指標 (Cm) に基づいて表1の指標1 (Index 1) との相関係数を算出すると、 $r=0.98$ という極めて高い相関が得られた。また Cm と性別の同定可能性の指標 (表1の第8列) との相関も、 $r=0.86$  ( $p<.001$ ) となった。

これらの結果をもとに、他の指標では説明できない現象やデータについて検討すると、

- 1) 足首のみの情報でも歩行の知覚が生じること
- 2) 前出の指標2 (Index 2) でオミットした女性の歩行者4 (AL) のデータ
- 3) 指標2のデータの変異性 (Variability), 特にひねりの起こる場所

の3点が、この Cm の指標でうまく説明できることが確認された。

ここまで生体運動知覚の規定因について3つの候補を検討したが、全体として以下のようなことが考えられる。

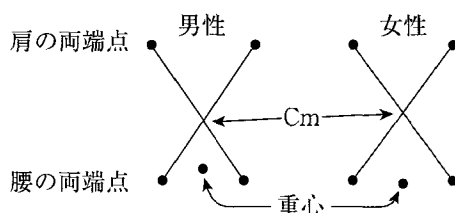


図8 モーメントの中心 (Cm) と重心の位置関係 (鷲見, 1980)



最後に取りあげたモーメントの中心 (Cm) は、構造的な不変項 (structural invariant) であるのに対して、振子やひねりの運動は変形しうる不変項 (transformational invariant) であると考えられる。

実際の歩行運動により生じる dynamic な歩行の知覚においては、この両者を考慮に入れる必要がある。確かに Cm は活動の種類や時間経過を問わず不変だが、この指標が必ず正確な歩行の知覚を保証するものではないからである。

さらに心理学的には、ゲシュタルト心理学における一連の研究成果から、形の知覚におけるゲシュタルト要因の1つとして知られている、「共通運命の要因」(Wertheimer, 1923) が、このモーメントの中心 (Cm) の指標と深く関係するのではないかと考えられる。

### Ⅲ. その後の研究の展開

Cutting らにより体系的に検討されたこの問題について、その後様々な角度から検証が加えられている。それらについて紹介することにする。

#### ① 発達のアプローチ

生体運動の知覚が発達的にはいつごろから可能になるのかについて、乳幼児を被験者とした研究が行われている。幼児は既視の刺激には慣れて注意を向けなくなるが、新奇な刺激に対してはまじまじとその対象を凝視するという傾向が見られることを利用して、新奇刺激を提示した際の注視時間を指標にして乳幼児の知覚を研究する選好法 (preference looking method) を用いて行われた研究 (Bertenthal, Proffitt, & Kramer, 1987) などによれば、生後5ヶ月の幼児でも、

- 1) 生体力学的運動とデタラメ運動の区別が可能である。
- 2) 光点が関節につけられていた方が、他の場合より早く運動の知覚が可能である。
- 3) 倒立図形より、直立 (正立) した図形を好む。
- 4) 直立した図形 (光点群) において、光点の脱落を検出できる。

などの知覚が可能であることが明らかになってきている。

これらの知見をもとに Bertenthal et.al. (1978) は、2光点の関係の局所剛体性 (local rigidity) の有無に対する乳児の感受性と正立/倒立の検出可能性を検討した。その結果、5ヶ月児には局所剛体性の有無の識別が可能であることが明らかになった。一方倒立した刺激布置でもこの局所剛体性は維持されるはずであるから、同様に剛体性の有無の識別は可能なはずにもかかわらず、5ヶ月児でも倒立事態で

は局所剛体性の識別が不可能であった。

剛体性についての議論は以前から行われていたが、石口（1991）はマー（1987）の議論をさらに発展させて、生体運動の知覚が局所剛体性の仮定だけでは不十分であり、手首は肘の運動を含み、肘は肩の運動を含むというように各光点間にネステイング構造を仮定し、さらにそれに重力方向の制約を加えた、ネステイング構造仮説を提唱している。

## ② マスキング実験

Cutting, Moor, & Morrison（1988）は、小光点群の歩行運動パターンに様々なマスキング刺激を乗せることにより、歩行運動の知覚が以下に影響されるかについて体系的に検討した。マスキング条件は、静的な刺激布置のほかに動的な刺激布置について直線的な運動や円・楕円運動などを用意した。

その結果、以下に示す4つの重要な結果が得られた。

- 1) マスクの要素数が歩行運動の知覚の成績に影響し、要素数が多いほど歩行運動知覚の成績は低下する。
- 2) 最もマスキング効果の高いのは、運動する光点の位置を空間的にバラバラにした不規則歩行者条件である。
- 3) マスキング効果は提示時間の長短にはさほど影響を受けず、成績を偶然性の水準（chance level）にまで低下させるほど強い。
- 4) マスキング効果はマスクのスタイルに大きく関係し、マスク光点数の変化の効果は、ターゲットと運動パラメータが一致したときのみみられる。

これらの結果から、ここで取りあげている運動知覚の体制化の過程は、さまざまな刺激情報の中でも、運動の特定パターンに極めて sensitive であると考えられる。

## IV. 今後の研究の課題と展望

以上、簡単に従来の研究を概観してきたが、今後の検討課題や研究の方向性について考えてみたい。

まず第1に、発達的あるいは比較心理学的観点からの検討の必要性である。Bertenthal et.al.（1978）をはじめいくつかの研究はすでにあるが、知覚・認知の生得性／学習性にかかわる問題であり、知覚の他の側面も含めて体系的に検討する必要がある。たとえば新生児の知覚については、Bower らの一連の研究から、接近しつつある物体の影が自分に衝突する可能性があるか否かの知覚は生後数日の新生児にも可能であることなどから（Bower, 1979）、生体運動についても発達的に相当

早い段階から知覚できる可能性がある。またサルなどを被験体にした動物実験などからも同様に生体運動視の研究が可能であろう。これらの研究においては実験パラダイムに相当の工夫が必要であるが、生体運動視が可能であるとして、乳幼児が知覚できるのは（局所）剛体性なのか、石口（1991）が提唱するような運動のネステイング構造なのか、の点を明らかにする必要がある。

第2の課題として、マスキング実験に代表される、ノイズに対する耐性についての検討が必要であろう。マスキングや、一部の視覚情報が欠落するような刺激劣化（stimulus degradation）事態における運動印象の変化をさらに綿密に検討する必要がある。

このような問題を検討する際のひとつのヒントになるのが藤田（1991）のスリット視に関する一連の研究ではないかと考えられる。スリット視事態とは、スクリーンなど提示平面の一部に通常長方形の細く長い窓（スリット）を開けておき、その裏側を観察すべき刺激が一定の速度で移動するときのスリットを通した刺激の知覚を検討するものである。それまでの一連の研究から、縦長のスリットを通過する刺激は、その速度は速いとき（通過時間が約数百ミリ秒以内）には実際より水平方向に縮減されて知覚され、その速度が比較的遅いとき（通過時間が一秒以上）には刺激が運動方向に伸びて見えることが明らかになっている。これは刺激の劣化を伴わず刺激情報を制限する実験事態であり、マスキング実験と並んで刺激の制約が運動印象にどのように影響するかを比較検討するのに適した実験事態であると考えられる。

従来スリット視の研究は主として二次元図形でかつ線画の刺激が用いられることが多く、3次元物体や運動物体の研究は充分には行われてこなかったが、藤田（1991）は、このスリット視事態において3次元物体やその回転、ドットにより構成された3次元物体のスリット視が成立可能であることを示している。藤田（1991）が使用したドットにより構成された刺激は、ドットがかなり高い密度で図形を構成したものであるので、本論文で取りあげるような少数のドットの運動軌跡でスリット視が成り立つかどうか、成り立つとするとどのような条件でそれが可能になるかなどについて検討することにより、前述したヨハンソンの多重振子構造説やネステイング構造説についての考察も可能になるなど、現在未解決の多くの疑問を解決してくれる可能性を持った実験パラダイムであると考えられる。

運動知覚の研究はまだ緒についたばかりであり、特に3次元物体の運動視に関する研究は未だ十分解明されているとは言い難い。従来の2次元平面上での運動視に

関する研究の蓄積だけでは説明できない点も多く、また観察者自身の運動の要因も考慮に入れる必要があり、知覚心理学、生体力学（バイオメカニクス）、力学、計算理論などの個々の領域からのアプローチではなく、それらの問題を総合的に説明するための新たな理論的枠組みが必要とされてきているのかもしれない。

## 引用文献

- Bertenthal, B.I., Proffitt, D.R., & Kramer, S.J. 1987 Perception of biomechanical motions by infants: Implementation of various processing constraints. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 13, 577-585.
- パウアー T.G.R 鯨岡 峻 (訳) 1982 ヒューマン・ディベロップメント—人間であること・人間になること—ミネルヴァ書房. (Bower, T.G.R. 1979 *Human Development*. San Francisco: W.H. Freeman and Co.)
- Cutting, J.E. 1978 Generation of synthetic male and female walkers through manipulation of a biomechanical invariant. *Perception*, 7, 393-405.
- Cutting, J.E. & Kozlowski, L.T. 1977 Recognizing friends by their walk: Gait perception without familiarity cues. *Bulletin of the Psychonomic Society*, 9, 353-356.
- Cutting, J.E., Moor, C., & Morrison, R. 1988 Masking the motion of human gait. *Perception & Psychophysics*, 44, 339-347.
- Cutting, J.E., Proffitt, D.R., & Kozlowski, L.T. 1978 A biomechanical invariant for gait perception. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 4, 357-372.
- Dunker, K. 1939 Induced motion. In W.D. Ellis (Ed.), *A Sourcebook of Gestalt Psychology*. London: Routledge & Kegan Paul.
- 藤田尚文 1991 3次元物体、非剛体のスリット視—網膜描画説、計算理論批判および見えない部分の「知覚」心理学評論, 34, 61-82.
- 石口 彰 1991 運動による構造復元の諸問題 心理学評論, 34, 37-57.
- Johansson, G. 1973 Visual perception of biological motion and a model for its analysis. *Perception and Psychophysics*, 14, 210-211.
- ヨハンソン G . 河内十郎 (訳) 1975 人は動くものをどう見る 特集視覚の心理学—イメージの世界— (別冊サイエンス10) 日本経済新聞社 Pp. 108-117. (Johansson, G. 1975 Visual motion perception. *Scientific American*, 232, 76-89.)
- マー D. 乾敏郎・安藤広志 (訳) 1987 ビジョン—視覚の計算理論と脳内表現— 産業図書. (Marr, D. 1982 *Vision: A computational investigation into the human representation and processing of visual information*. New York: Freeman and Co.)
- Kozlowski, L.T. & Cutting, J.E. 1977 Recognizing the sex of a walker from a dynamic point-light display. *Perception & Psychophysics*, 21, 575-580.
- 鷺見成正 1980 動きを見る サイコロジ—, 5, 40-47.
- Wertheimer, M. 1923 Untersuchungen zur Lehre von der Gestalt, II. *Psychologische Forschung*, 4, 301-350.