移動視標の方向変化に対する反応時間

河 辺 章 子 (奈良女子大学)

大 築 立 志 (奈良女子大学)

(昭和54年2月19日 受付)

Reaction Time to the Directional Reversal of the Moving Object

Shoko Kawabe*

Tatsuyuki Ohtsuki*

Abstract

The purpose of present study was to investigate the reaction to the horizontally moving object with special reference to the mechanisms of anticipation. The reaction time was measured by using the stimuli which were directional reversal of the moving object. The stimulus was provided successively and periodically in order to establish anticipation to stimulus presentation. Stop of motion or deceleration was inserted occasionally between directional reversal to break anticipation.

Ten normal adult female university students served as subjects. The subject was asked to respond to the stimulus by pushing the conventional telegraph key. The action potentials of forearm flexors and extensors were led off by bipolar surface electrodes. Horizontal eye movement was recorded by Electro-Oculography.

The results obtained were summarized as follows :

- 1) As the degree of anticipation to the directional reversal became higher by periodic stimuli, reaction with negligible latency appeared. On that occasion, stopping the motion or reducing velocity, error reaction occurred. This means that motor output was provided independently of sensory input.
- 2) Of the possible two kinds of anticipation of timing point, temporal anticipation plays a more important role than spacial one.
- 3) Reaction time with the moving object was shorter than with flash of light.
- 4) The eye movement, which was in most cases saccadic with the target velocity employed in the present study, was also influenced by anticipation. As anticipation became established, eyes saccadically moved in advance of target to the position where the stimulus will be presented, and stayed there waiting the stimulus presentation.

* Nara Women's University, Kitaoyanishi-machi, Nara (630)

It suggests that there exists the mechanism which enables quick reception of the information about the changes of the external world.

(Shoko Kawabe, Tatsuyuki Ohtsuki: Reaction Time to the Directional Reversal of the Moving Object. *Jap. J. Phys. Educ.*, Vol. 24, No. 4, March, pp. 301~311)

I. 緒 言

反応時間に関する研究は、19世紀以来様々な方法を用いて、数多く行なわれてきた。特に、視覚を介しての反応時間を測定する際には、固定光を刺激として行なうものがほとんどであった。

しかしながら、実際のスポーツ場面においては、視対象は時々刻々と移動しており、視対象の「動きの変化」を刺激として反応が行なわれる場合も多い。例えば、ボールゲーム等の対人場面の成立するスポーツにおいては、プレイヤーはボールや相手プレイヤーの運動方向や速度の変化を刺激として反応動作を行なうことが多いと考えられる。

「動き」に着目した反応時間の研究としては、堀ら⁷⁾、岩見ら^{11), 12), 18)}、大山ら^{17), 18)}などによる動体視反応時間の研究があるが、これらはいずれも移動する光点の点滅や輝度変化を刺激としたものであって、純粋な「動き」又は「動きの変化」を刺激とした反応時間を扱ったものではない。「動きの変化」という入力刺激の情報処理と、固定された視対象の状態変化に関する情報処理とに差があるのかどうかは興味ある問題であるが、この点に関する詳しい研究はなされていない。

また、このような「動きの変化」に対しては、その変化を入力刺激として、「反応時間」分の遅れを伴った、いわゆる古典的な反応動作を行なう場合の他に、できるだけ「タイミングの合った」、すなわち、「反応時間」がゼロであるような動作や、刺激に先行した、相手の機先を制するような動作を行なうことが必要とされる場合も多い。

このタイミングという点に着目して、山田らはタイミングコントロールに関する一連の研究を行ない、動作における予測の重要性を指摘している^{23), 24), 25), 26), 27)}、つまり、「タイミングを合わせる」ということは、相手の動きを予測して(読んで)反応することであり、予測が適確であれば、無理

なく無駄のない動きができ、自分の立場を有利に導くことができる。

しかし、一方では、タイミングを合わせた結果、極めて不利な状況に追い込まれる場合がある。いわゆるフェイントにかかった場合がその例である。逆の立場から言えば、自分の動きを相手に予測させて、それをうまくはずす、つまり、「タイミングをはずす」ことによって、有利な態勢をつくることができるということもまた多く経験されることである。

いずれにせよ、「動きの変化」に対する反応には、予測という因子が密接に関連しているものと思われる。

本研究は、移動視標を用いて「動きの変化」を刺激とする反応時間を測定し、しかも、刺激呈示に周期性をもたせて予測状態をつくることによって、動きに対する反応特性を研究すると共に、その予測との関連についての考察を行なうことを目的とするものである。

II. 方 法

<実験 I>

1. 装置 図1のように、直径4.5mmの緑色ランプ

図1 実験装置

を視標とし, 被検者の頭頂を中心に円弧を描いて水平面上を移動させた。被検者との距離は 80cm, 高さは目の位置に合わせた。移動方法は検者による手動で行ない, その動きを potentiometer によって記録した。なお, 移動平均速度は $83.8^{\circ}/\text{秒}$ で各セット, 被検者間でもほぼ等しかった。

反応として, 視標の動きの変化に対し, 机上の電鍵 (KE-I 型) を押す動作を行なわせ, 指屈筋及び指伸筋から表面電極法により筋電図を導出した。また, 両眼窩外側縁にゴムキャップ型銀盤電極を装着し, EOG 法により眼球運動を記録した。測定の際に, 頭部や体の動きによって発生する眼球反射が混入しないように被検者の体幹を椅子に, 頭部をギプスによって固定した。

記録はすべて日本光電社製ポリグラフ RM85 型により, ペーパー速度 $10\text{cm}/\text{秒}$ で行なった。

2. 被検者

健康な成人女子 5 名 (平均年齢 21.4 才)

3. 実験手続き

刺激条件として, 次の 4 種類を設定した。

1) 移動開始条件…被検者の正面に停止している視標が動き始めることを刺激とし, 右へ動き始めたら右手, 左へ動き始めたら左手で反応する。これは, 方向変化に対する反応が停止からの動きの開始を刺激としているかどうかを見るために設けた条件である。

2) 単純方向変化条件…移動途中の視標がその移動方向を変えることを刺激とする。例えば, 右へ動いている視標が移動方向を左へ変えることを刺激として右手で反応し, 左から右への変化に対しては, 左手で反応する。方向変化位置はランダムとした。本条件のみ被検者は 4 名である。

条件 1) 及び 2) では刺激呈示間隔を 1—15 秒としてランダムに与え, 22 試行からなるセットを左右別に 1 セットずつ行なった。

3) 連続方向変化条件…視標の移動方向が右左右と規則的に変化し, その方向変化を刺激とする。条件 2) と同じく, 右から左への変化に対しては右手で反応を行なう。条件 2), 3) 共に方向変化を刺激とする点では同じであるが, 条件 3) では刺激を連続的にしかも規則的に与えることにより, 予測との関連をみることを目的としてい

る。方向変化位置はランダムとし, 刺激呈示間隔は 0.5—1 秒の間で与えた。

この条件 3) において, 方向変化と方向変化の間に視標が停止するという場合を設けた。この停止を「予測崩壊刺激」と呼び, 方向変化という「通常刺激」と区別する。そして, 停止に対して生じる反応を誤反応とした。方向変化が完了した場合のみを試行と呼ぶこととし, 開始前の停止期も含めて, 停止と停止の間には少くとも 5 試行を入れるようにし, その後 1—8 をランダム化した試行直前に停止を挿入した。ただし, 最後の停止から終了までは, 常に 5 試行を与えることとした (1 セットの例…RLRLRLRL⑤LRLRLRLRLRLRLRL…: ⑤は停止) 1 セット中に 5 回の停止を挿入したので, 1 セットの試行数は 30—65 試行の範囲にある。セット間に 1 分間の休憩をはさんで, 停止挿入 6 セット, 無挿入 2 セットをランダム順に行なった。

4) 固定光刺激条件…固定されたランプの点灯を刺激とする。本条件は 1) 及び 2) と同様の手続で行なった (左ランプの点灯に対しては左手, 右ランプには右手で反応する)。条件 1) — 3) は動きの変化を刺激とするもので, 条件 4) はこれとの比較のために設けたものである。また, 条件 1), 2), 4) はいわゆる単純反応であり, 条件 3) は左右の選択反応である。

被検者を椅子に固定し, 前腕を机上にのせて電鍵に指をかけ, リラックスして刺激呈示を待つように指示した。条件 1) では「ランプが動き始めたら」, 条件 2) では「ランプの移動方向が変わったら」, 条件 3) では「ランプの移動方向が左から右へ変わったら左手で, 右から左へ変わったら右手で」, 条件 4) では, 「ランプがついたら」, いずれも「できるだけ早く電鍵を押す」ように教示した。各条件の第 1 セット開始前に数回の練習を与え, 要領を得させた。なお, 室内は背景がかるうじて識別できる程度の明るさにした。

4. 記録処理について

刺激呈示から指屈筋の放電開始までを筋放電開始時間 (以下 ET と略す), 電鍵が ON になるまでを動作時間 (以下 MT と略す), 筋放電開始から電鍵が ON になるまでを筋収縮時間 (MT-ET,

以下CTと略す)として、いわゆる反応時間(Reaction Time)における3つの時間相を測定した。なお、CTは筋収縮開始から電鍵のバネの力が克服されて、レバーが移動し、スイッチがはいるまでの時間を含んでいるが、便宜上、筋収縮時間と呼ぶことにする。

なお、条件4)におけるETに左右差はみられなかったため、本研究では左右はこみにして平均値を表示することとした。

3)の連続方向変化条件での眼球運動において、刺激呈示直前に発生する、視標の移動方向への最後のsaccade開始から刺激呈示までの時間を眼球待機時間(Eye Standby Time, 以下ESTと略す)と定義した。

<実験II>

後述するような理由により、追加実験として実験IIを行なった。

1. 被検者

健康な成人女子5名(平均年齢20.8才)

2. 装置及び手続き

実験Iと同様であるが、条件3)における方向変化位置をランダムではなく左右40°の定位置とし、刺激呈示間隔を約1秒として刺激を与えた。

また、予測崩壊刺激として、実験Iと同じ停止の他に、移動速度を急に低下させて刺激呈示間隔を長くするという周期性を乱す刺激を新たに加えた。

さらに、2)の単純方向変化条件についても、条件3)と対応させるために、方向変化位置を左右それぞれ20°, 40°, 60°とし、この3種類の位置がランダムに与えられるようにして、40°での測定値のみを分析に用いた。

なお、反応は各条件とも右手のみで行ない、室内は背景が見えない程度の暗さであった。

Ⅲ. 結 果

1. 反応時間(ET, MT, CT)について

(1) 実験Iの連続方向変化条件における反応時間

図2に1セット内のET, MT, CTの変動の一例を示した。↑は予測崩壊刺激(停止)を表わす。予測崩壊刺激後の試行26—33では、始めはET 157msec, MT 231msecであったが、しだ

図2 実験IにおけるET, MT, CTの一般的傾向

いに減少し、ETでは生理的限界とされている100 msec⁹⁾を下回る値も出現している。同じく停止(図には示されていない)後の試行19—23においても、同様の傾向がみられる。

CTはほとんど変化せず、100msec前後で一定値を保っている。

停止を挿入すると、試行33と34の間にある()の値のように、本来反応すべきではないのに反応を起こす場合がすべての被検者においてみられた。その出現頻度は全停止数の33%であった。停止時点からの誤反応(右)の潜時をとると、本例(ET 68msec)の如く、試行32(ET 51msec)と近似した小さい値を示す傾向がみられる。停止直後の試行(試行25及び35)では、予測の崩壊によって見極め反応となるためか、反応時間に極度の遅延がみられ、いずれもETで300msecを超える値を示した。しかし、その遅延もすぐに消失し、試行が進むにつれて再び減少していくことがわかる。

(2) 実験Iの各条件における反応時間とその比較
被検者5名の各条件における平均値を図3に示した。3)の連続方向変化条件での平均値は、予測崩壊刺激に対する反応とその直後の反応の値を除いて算出したものである。

条件1), 2), 3)とも、3つの時間相についてはほぼ等しい値を示しETでは120msec前後、MTでは220msec前後、CTでは90msec前後であった。

条件4)では、1), 2), 3)に比べてET, MTともに延長しET約180msec, MT約270msecであっ

図3 実験Ⅰにおける各条件下での平均値

たが, CTは 1), 2), 3) 同様, ほぼ90msecであった. 従って, 反応時間の条件間における差は ET によるものであることがわかる.

ET の平均値について, 刺激条件, 反応方向 (右, 左), 被検者を因子としてF検定¹⁰⁾を行なった結果, 刺激条件のみ有意であり ($F_{(3, 9)} = 6.433$, $p < .05$), 特に 1), 2), 3) の動きの変化を刺激とする条件と 4) の固定光刺激条件との間に有意な差がみられた.

しかし, 2) の単純方向変化条件では, ET123.2 msec, 3) の連続方向変化条件では ET121.8msec

図4 実験Ⅱにおける各条件下での平均値

であり, 刺激呈示の規則性から予想される予測による短縮が平均値にはみられなかった. これは方向変化位置がランダムであったのと, 実際には移動速度がかなり一定であったために, 刺激呈示の時間間隔にばらつきが生じたことが原因であると考えられた.

そこでこの点を考慮して, 実験Ⅱを行なった.

(3) 実験Ⅱにおける連続方向変化条件での反応時間

図5に示したように, 1セット内の ET 及び MT は実験Ⅰと同様に試行が進むにつれて減少傾向を示したが, その程度はさらに顕著で, ついにはマイナスの値を示す. 即ち, 刺激呈示よりも先に反応を起こしてしまうような試行 (図中の試行 30, 31, 36, 37, 38, 39) が頻繁に現われた. そして, ↑で示した, 移動速度を急に低下させるといふ予測崩壊刺激に対して, 先行する試行の反応間隔と近似した間隔で反応が生じ, () で示したように, 極度の尚早反応として現われる場合がしばしばみられた.

また, 停止に対しても, 実験Ⅰよりもさらに誤反応が多く, 全停止数の82.8%に生じた.

(4) 実験Ⅱにおける各条件下での反応時間とその比較

図4に各条件下での平均値を示した. 条件3) における ET, MT は, 実験Ⅰに比べて非常に小さく, ET39.0msec, MT153msec であった.

条件2) では, ET133msec, MT233msec と, 実験Ⅰにおける条件2) での値 (ET 123msec,

図5 実験Ⅱにおける ET, MT, CT の一般的傾向

MT 220msec) とほぼ等しい値を示した。統計的にも ET に差はみられなかった ($F_{(1,751)} = 2.578$, $p > .05$).

条件 2) と 3) の間の ET の差は有意であった (ET: $t = 9.89$, $p < .05$) が, CT は約 100msec で有意差はみられなかった。

条件 1) の値は, ET 256msec, MT 356msec と実験 I の値よりも大きくなり, 条件 4) の値 (ET 212msec, MT 320msec) との間に有意な差がみられなかった。これは, 実験 II を暗室内で行なったために心理学で言う自動運動が生じ²⁰⁾, 視標の移動開始を弁別しにくかったことが原因であると考えられる。

条件 1) 及び 4) の CT は, 条件 2) や 3) とほぼ等しく, 100msec 前後の値を示した。

(5) 周期性の成立度と予測崩壊刺激に対する誤反応との関係

予測崩壊刺激挿入時に出現する反応と周期性の成立度との関係を見るために, 図 6 に示したように, 実験 II における予測崩壊刺激挿入直前 3 試行における筋放電と筋放電の時間間隔 (I_1 , I_2) を測定し, その標準偏差をもって周期性の成立度を表わすものとした。

図 6 予測崩壊刺激挿入時の記録模式図

図 7 周期性成立度と予測崩壊刺激に対する誤反応との関係

i) 速度低下に対する反応について

標準偏差値を大小同数に分類し, 各々の場合について, 予測崩壊刺激 (速度低下) 挿入時の刺激呈示間隔 (SI) と, 筋放電開始時間 (I_0) との相関をとり, 図 7 (a 及び b) に示した。

標準偏差の小さい時 (周期性の高い時; 平均 20.5msec) には図 7 a のように低い相関を示し, 標準偏差の大きい時 (周期性の低い時; 平均 63.5 msec) には図 7 b のように高い相関が得られた。

ii) 停止挿入時の反応について

停止挿入時に出現する反応の有無と周期性の成立度との関係を見るために, 停止挿入時に反応が起こる場合と起こらない場合とで, この標準偏差値に差があるかどうかを検討した。反応が起こる場合は 88.7msec, 起こらない場合では 109.0msec であり, F 検定を行なった結果, 統計的に有意な差は得られなかった ($F_{(1,89)} = 3.69$, $0.05 < p < 0.10$) が, 停止に対して反応を起こす場合には標準偏差も小さいという傾向がみられた。

2. 眼球運動について

一般に, 眼球運動には smooth pursuit movement と saccadic movement があり, 前者は視対象の移動速度が遅い場合に発生し, 追跡速度はおよそ $30^\circ \sim 40^\circ$ /秒が限度であるとされている⁴⁾。

図 8 眼球運動の一般的パターン
左下の—は 0.1 秒を示す

本実験の場合, 視標の移動平均速度が約 $80^\circ/\text{秒}$ であったので, ほとんどが saccadic movement であった. その一例を図 8 (a 及び b) に示した.

図 8 a は予測が成立していない場合で, 眼球は saccade しつつ, 遅れて視標の動きを追跡している. それに対し, 予測が成立している場合の図 8 b では, 眼球は視標よりも先に, 方向変化すると思われるあたりへ saccade し, 刺激呈示を待つパターンを示している. 連続方向変化条件では, 予測崩壊刺激挿入直後を除いて, ほとんどがこのパターンであった. 測定した EST (眼球待機時間) はこの方向変化待ち時間を示しており, 予測と眼球運動との関係をみるために, EST と ET との相関係数を求め, 表 1 に表わした. 実験 I では, 5 人中 3 人までが有意な負の相関を示し, 周期性のより確立した実験 II では, 5 人全員共に有意な負の相関を示した.

表 1 眼球待機時間 (EST) と ET との相関係数

	Subject	N	r
E X P I	T. N.	342	- 0.321 ***
	R. I.	409	- 0.106 *
	H. T.	354	- 0.002
	Y. S.	368	- 0.216 ***
	M. A.	369	- 0.006
E X P II	H. T.	363	- 0.300 ***
	A. T.	369	- 0.326 ***
	K. O.	371	- 0.284 ***
	K. S.	447	- 0.214 ***
	Y. M.	349	- 0.235 ***

*** $p < .001$ ** $p < 0.01$ * $p < .05$

図 9 予測崩壊刺激 (停止) 挿入時の眼球運動
左下の $\square$ は 0.1 秒を示す.

また, 図 9 のように, 予測崩壊刺激である停止挿入時の眼球運動にもはっきりと予測の影響がみられた. 眼球は前もって saccade し, 方向変化を待つが, 視標の停止と全く無関係に反応方向へ saccade を開始し, 視標を追跡しているかのように動く. その後, 停止に気付く, 視標の位置まで saccade して戻り, 視標を注視する.

このことは, 眼球運動に関する指令が, 視覚からの入力情報とは全く独立に出されていることを示すものである.

IV. 論 議

1. 反応時間について

反応時間に関する研究は, 心理学において古くから行なわれており, 研究論文も数多い. これらにおいて, いわゆる反応時間 (reaction time: RT) と呼ばれるものは, 固定した光点の点滅という刺激呈示から電鍵のスイッチが ON になるまでの経過時間として記録されたものがほとんどである.

しかし, 本来, この時間は, 刺激を受容して意識によってこれを処理し, 筋に運動指令を伝えるまでの時間 (情報処理伝達時間) と, 指令が筋に伝わってから筋が収縮して筋力を発揮し, 内部抵抗, 電鍵のバネの弾性力, 慣性や摩擦等の身体の外部抵抗を克服して要求された動作が発現するまでの時間の二相に分けられる. 前者は純粹に神経系の働きによって規定される時間であり, 後者は全く力学的に決定される時間である. 後者は外力の大きさのみならず, 被検者の筋力やパワーによって大きく左右される.

筋力やパワーは, 例えば男女間には大きな差があることが報告されており^{5), 14)}, 反応時間に性差があるという従来の研究結果^{2), 6), 19), 23)}は, この後者の時間の差に起因しているものと考えられる. この力学的な影響は全身を動かすような動作ではさらに大きくなると考えられる.

従って, 反応時間の研究に際しては, 筋電図を記録してこの 2 つの時間相を分離することが必要であると思われる. 筋電図を記録して反応時間を測定した Botwinick らは, 反応時間を Premotor time (筋放電開始時間) と Motor time (筋

収縮時間)に分離し, Premotor time に性差の無いことを報告している⁹⁾.

また, 筋電図は記録していないが, 猪飼らは, 刺激に対して跳躍するという全身反応時間を測定し, 筋への神経情報伝達時間を表わす動作開始時間と, 足先が離れるまでの筋収縮時間とを分離している⁹⁾. この方法による測定値をみると, 筋収縮時間には明らかに性差が認められるのに対し, 動作開始時間には性差は見られない¹⁾. また, 山川は, 全身反応時間では, 体重を持ち上げるだけの筋力を必要とするので体重という負荷と筋力との関係において性差を生ずるが, 筋力をほとんど必要としない動作を行なう場合の反応時間には, 性差はみられないことをあげ, 「神経系の機能には基本的に性差のないものと思われる」と述べている²⁸⁾. 全身選択反応を調べた横山らの最近の研究でも, その性差は筋力によるものと考察されている²⁹⁾.

これらのことからわかるように, 筋放電開始時間には明確な性差が存在するとは考えにくい. 本研究における被検者は女子のみであり, 筋収縮時間を含んだ反応時間(MT)の値には, 男子に比べてCTの増大があるかもしれない. このことを考慮して, 本研究では主に, 筋放電開始時間(ET)について考察を加えることとした.

2. 動きに対する反応特性

本実験では, 移動視標を用いてその動きの変化を刺激とする反応時間を測定し, 結果として, 動きの変化を刺激とする方が固定光刺激よりも反応時間が小さいことが明らかとなった.

移動する視対象を用いた研究は, 動体視力に関するものなどに多くみられるが, 動きそのものに対する反応時間に関する文献は非常に数少ない. 反応時間を測定した研究として, 岩見ら^{11), 12), 13)}, 大山ら^{17), 18)}, 堀ら⁷⁾があげられる.

岩見ら, 大山らは, 動体視の場合には固定光刺激の場合よりも反応時間が増加するという本実験とは相反する結果を報告している. しかし, 本実験では, 「視標の動きの変化」すなわち, 停止していた視標が動き始めること(条件1))や移動方向を変えること(条件2)及び3))を刺激としているのに対し, 岩見ら, 大山らの実験では, 移動

中の「視標の輝度変化」を刺激としており, 視標は動いてはいるものの, 一定方向へ移動し続けており, 刺激自体に大きな違いがみられる. 我々も予備実験において, 消えている視標のランプが移動途中で点灯することを刺激とする反応時間を測定したところ, 岩見ら, 大山らと同様な反応時間の著しい増大がみられた.

このことから, 光の輝度変化やON, OFFに対する反応と動きの変化に対する反応とは, 異った生理的メカニズムに支配されており, 人間は動きの変化に対してより早く反応できる性質を持っていると言えるであろう.

また, 堀らは, 移動視標を用いる方が固定光刺激よりも「反応速度が大きい(原著)」と述べているが⁷⁾, その実験方法は一定方向へ移動を続ける視標の突然の消失を刺激としており, やはり, 本実験の方法とは異なっているので直接の比較は困難である.

本実験における4種のどの条件下でも, CTの値はほぼ等しく, 出力段階で費やされる時間は常に一定と考えられるので, 刺激受容段階及び情報処理段階において, 光刺激と動きの変化刺激との差が生じるものであらうと推測される. 現在のところ, 大脳皮質視覚領における受容野では, 静止刺激よりも運動刺激によく反応し, 運動方向や速度に最適条件を持っていることが明らかにされている¹⁵⁾ので, 本実験から得られた結果は, このような情報処理段階での時間の短縮によるものであると考えられる.

また, 動きを刺激とする場合, 結果1-(3)でも述べたように, 実験Ⅰの如く, 背景が与えられる場合と, 実験Ⅱの如く, 暗室中で, 視標しか見えない場合とでは, 後者に錯覚によると思われる著しい反応時間の増大がみられた. これは, 視対象の動きを認知する場合には, 背景との対比が視線の固定という意味で重要な役割りを果たしていることを物語るものであらう.

3. 周期性と予測

連続方向変化条件において, 1セット内の反応時間の減少傾向や実験Ⅱで得られた平均値は, 周期性の成立によって予測が成立することを示している. これは, 固定光刺激を用いて行なった Oh-

tsuki and Ishiwari¹⁶⁾ の結果と一致しており、特に、本実験のように「動きの変化」を刺激とする場合には、反応時間の減少傾向がより著しいように思われる。

また、挿入した予測崩壊刺激（停止及び速度低下）に対しても反応を起こすという事実は、周期性によって刺激呈示に対する予測が成立し、入力信号とは全く無関係に運動指令が出されていることを裏付けるものである。

塚原も、規則的なパルス入力を与えて予測制御させている際に、急に入力を止めると、入力が与えられなくても手の方が動いて反応してしまうという、本実験の結果と一致する知見を報告している²¹⁾。

ところで、予測には、本来時間的予測と空間的予測があると考えられる。本実験で言えば、前者は刺激呈示間隔、後者は方向変化位置に相当する。実験Ⅱにおける条件は、この2つの要素を満たしたものであって、刺激呈示に対する予測が最も良く成立したものと言えるであろう。ところが、実験Ⅰでは空間的要素を規定していなかったにもかかわらず、結果にみられたように予測が可能であった。また、実験Ⅱにおいて、速度低下の予測崩壊刺激を挿入すると、速度が急に低下するために、一定の時間を経ても、視標は方向変化位置に到達していないにもかかわらず、反応が起きてしまい、極端な尚早反応として記録される場合が数多くみられた。

これらのことから、少なくとも本実験のように空間的要素が一次元の場合、刺激呈示に対する予測を成立させるには、空間的要素よりも時間的要素の方が重要な役割りを果たしていると考えられる。

その時間的要素を支配している周期性について、その成立度と予測崩壊刺激に対する誤反応との関係を調べたところ、結果1-(5)が示すように、周期性が成立している時ほど、停止に対する誤反応が起こりやすく、また、速度低下の予測崩壊刺激に対して、先行する試行の反応間隔と近似した一定の時間間隔で反応が生じていることがわかる。

このことから、周期性を持つ刺激に対して反応

し続けるうちに、刺激の周期性が無意識のうちに個人の内部にとり入れられ、その内的に確立した周期性、すなわち、刺激の予測に基いて、現実の刺激とは無関係に反応動作が発現してしまうようになる。言い換えれば、無意識のうちに出力が入力とは無関係にフィードフォワード制御されるようになってゆくことが明らかである。

動きと予測の関係については、緒言にも述べたように、「タイミング」という観点から多くの研究がなされている。中でも山田らはタイミングコントロールに関する一連の研究において、予測される現象にいかにもうまくタイミングを合わせられるかという能力をタイミング誤差時間を用いて検討している^{23), 24), 25), 26), 27)}。

彼らは視標に対する動作の時間的適合をタイミングと定義し²³⁾、その適合点をタイミングポイントと呼んでいる²⁴⁾。彼らの用語を借りれば、本実験の結果は、刺激呈示時点（これがタイミングポイントに相当する）の予測によって反応動作がタイミング動作に近づいてゆくと言うことができよう。

しかしながら、本実験はあくまでも事態の変化に対する「反応」の早さに着目していること、及び、同じ予測であっても、山田らの如く、積極的な自由意志によって成立する予測ではなく、無意識のうちに成立してしまう予測であること、などの点でタイミングに関する研究とは視点を異にするものである。

4. 眼球運動に関して

連続方向変化条件において、眼球は刺激が発生すると思われるあたりへ先に saccade し、刺激呈示を待つというパターンを示し、眼球待機時間 (EST) と ET との間に有意な負の相関が得られた。これは、眼球が視標よりも早目に saccade した時には ET は小さくなることを意味しており、刺激の周期性によって刺激呈示に対する予測が成立すると、眼球もまた予測の影響を受けることを示すものである。

渡部は正弦波を用いて視標を動かし、眼球運動を記録したところ、位相遅れがかなり小さく、ともすれば、入力信号よりも進位相となるという眼球の予測機能について報告している²²⁾。これは本

実験の結果と軌を一にするものである。

これらのことを考えあわせると、入力→処理→出力という反応経路のうち、出力だけが予測制御されるのではなく、眼球という受容器自体もすでに予測の影響を受け、刺激をより速やかに受容しようとする働きを持っていると考えられる。また、停止挿入時に現われた、行きすぎ・修正眼球運動は、眼球自体が入力信号とは全く独立に制御されていることを示唆するものであり、眼球が行きすぎたという情報を出力のコピーと視覚から返ってきたフィードバックとの mismatch によって得、誤まった出力を修正したものと考えられるであろう。

以上のように、人間は、刺激発生に対する予測が成立するような条件下においては、遅れのない反応を可能にするような効果器のフィードフォワード制御機構とともに、眼球運動にもみられるように、外界の変化に関する情報をより速やかに受容しようとする受容器のプリセット機構を働かせることによって、入力から出力に至る反応経路全体を円滑化し、動作を能率化するようにできていると言うことができる。

V. 要 約

移動視標を用い、周期的な方向変化を刺激として反応時間を測定することにより、動きに対する反応と、その予測との関連についての検討を行った。その結果、次のようなことが明らかになった。

(1) 動きを刺激とする反応の方が、固定光刺激に対する反応よりも早い。

(2) 周期的に刺激が与えられると、刺激発生に対する予測が成立し、遅れのない反応が可能となる。

(3) 予測が成立している際には、入力には関係なく出力が形成されるので、予測を裏切るような刺激を挿入すると、誤反応を生じる場合が多くみられる。

(4) 刺激呈示点に対する予測について、空間的予測よりも時間的予測の方がより重要な役割を果たしている。

(5) 予測が成立している場合には、眼球は刺激が

呈示されると思われる位置へ、視標よりも先に saccade して、刺激が与えられるのを待つという特有のパターンを示す。

引 用 文 献

- 1) 浅見高明, 芝山秀太郎, 丹羽昇「全身反応時間の測定法とその応用」体育学研究, 7—1: 143, 1962.
- 2) Botwinick, J. and J.F. Brinley, "An Analysis of Set in Relation to Reaction Time," J. Exp. Psychol., 63: 568—74, 1962.
- 3) Botwinick, J. and L.W. Thompson, "Premotor and Motor Components of Reaction Time," J. Exp. Psychol., 71: 9—15, 1966.
- 4) Dodge, R., R.C. Travis and J.C. Fox, "Optic Nystagmus III. Characteristics of the Slow Phase," Arch. Neurol., Chicago, 24: 21—24, 1930. in H.T.A. Whiting (ed.), Readings in Sports Psychology, Henry Kimpton Publishers: London 1972.
- 5) 福永哲夫, ヒトの絶対筋力, 杏林書院, 1978. pp. 75—105.
- 6) Henry, F.M., "Influence of Motor and Sensory Sets on Reaction Latency and Speed of Discrete Movements," Res. Quart., 31: 459—68, 1960.
- 7) 堀賢治, 足立英夫, 篠崎宣雄, 三上鉄彌「移動光点による反応時の分析」体力科学, 6: 100—03, 1956.
- 8) 猪飼道夫「動作に先行する抑制機構」日本生理学雑誌, 17: 292—98, 1955.
- 9) 猪飼道夫, 浅見高明, 芝山秀太郎「全身反応時間の測定とその応用」Olympia, 7: 18—27, 1961.
- 10) 岩原信九郎, 教育と心理のための推計学, 第22版, 日本文化科学社, 1979. pp. 292—94.
- 11) 岩見恒典, 寺田邦昭, 山田久恒, 森田修朗「動体視反応時間に関する研究(1)」体育学研究, 11—5: 73, 1967.
- 12) 岩見恒典, 寺田邦昭, 山田久恒, 森田修朗「動体視反応時間に関する研究(2)」体育学研究, 12—5: 154, 1968.
- 13) 岩見恒典, 寺田邦昭, 山田久恒, 森田修朗「動体視反応時間に関する研究(3)」体育学研究, 13—5: 89, 1969.
- 14) 金子公宥, 瞬発的パワーからみた人体筋のダイナミクス, 杏林書院, 1974. pp. 82—92.
- 15) Marg, E., J.E. Adams and B. Butkin, "Recep-

- tive Fields of Cell in the Human Visual Cortex," *Experientia*, 24 : 348—50, 1968.
- 16) Ohtsuki, T. and M. Ishiwari, "Dead Time" in Reaction to Unexpected Changes of Situation with Reference to "Feinting Skill.", in E. Asmussen and K. Jørgensen (eds.), *Biomechanics VI-A*, University Park Press: Baltimore, 1977. pp.165—71.
 - 17) 大山慈徳, 山田久恒, 石垣尚男「動体周辺視反応時間に関する研究Ⅰ」日本体育学会第28回大会号, 1977, p.175.
 - 18) 大山慈徳, 山田久恒, 石垣尚男「動体周辺視反応時間に関する研究Ⅱ」日本体育学会第30回大会号, 1979, p.168.
 - 19) 斎藤松雄, 「視聴覚刺激に対する運動能力の研究」*体力科学*, 9 : 406—13, 1960.
 - 20) 椎名健, 「運動の知覚, 自動運動」, 和田陽平, 大山正, 今井省吾(編), *感覚知覚心理学ハンドブック*, 誠信書房, 1968. pp.655—57.
 - 21) 塚原進, 「人の動作におけるフィードバックとフィードフォワード」, 真島英信, 猪飼道夫(編), *生体の運動機構とその制御*, 杏林書院, 1972. pp.231—51.
 - 22) 渡部叡「眼球運動の制御機構」*NHK技術研究*, 18 : 20—42, 1966.
 - 23) 山田久恒「タイミングコントロールに関する研究—視機能がタイミング動作に及ぼす影響について—」*体育学研究*, 9 : 91—96, 1966.
 - 24) 山田久恒, 岩見恒典, 寺田邦昭「タイミングコントロールに関する研究(視機能がタイミング動作に及ぼす影響に関する研究……第3報)」*体育学研究*, 11 : 94—100, 1966.
 - 25) 山田久恒, 岩見恒典, 寺田邦昭, 森田修朗「タイミングコントロールに関する研究—視機能がタイミング動作に及ぼす影響について, 第4報—」*体育学研究*, 11 : 190—95, 1966.
 - 26) 山田久恒, 山田知通, 岩見恒典, 寺田邦昭, 森田修朗「タイミングコントロールに関する研究(見越反応的タイミング動作について)」*体育学研究*, 16 : 137—44, 1971.
 - 27) 山田久恒, 寺田邦昭, 石垣尚男, 大山慈徳「反復連続タイミング動作におけるタイミング誤差時間におよぼす周期的時間知覚の影響について」*体育学研究*, 3 : 145—53, 1976.
 - 28) 山川純, 「skillの性差」, 石河利寛, 松井秀治(編), *スポーツ医学*, 第6版, 杏林書院, 1978. pp.173—75.
 - 29) 横山泰行, 湯浅達郎「移動距離と空間方向を同時に考慮した全身選択反応時間」*体育学研究*, 24 : 109—16, 1979.