

タイミングコントロールに関する研究

— 2 動体視標に対するタイミング誤差時間について —

A Study of Timing Control Timing Error to the Two Moving Objects

石 垣 尚 男^{*1} 山 田 久 恒^{*2}
寺 田 邦 昭^{*3} 大 山 慈 徳^{*1}

Hisao ISHIGAKI^{*1}, Hisatsune YAMADA^{*2}, Kuniaki TERADA^{*3},
and Yasunori OHYAMA^{*1}

The purpose of this study is to investigate the relationship between eye movement and timing error (TE) to the moving objects.

As for the movement conditions of moving objects, we established the condition of two moving objects in the same velocity and the condition of two moving objects in the different velocity. Furthermore, we established one moving object condition with the timing point on the course of one moving object and compared one moving object condition with two moving objects condition. Two small TE subjects and Two large TE subjects were selected to investigate the cause the difference of TE. The eye movement was photographed on 16 mm film with an Eye Mark Recorder while we fixed the subject's head.

The results of the present study were as follows.

1. Under the same velocity condition of two moving objects, TE were significantly smaller than under one moving object condition.
2. However, because the different velocity condition of two moving objects had the large TE, it was considered to be the difficult timing control condition.
3. Under the one moving object condition and same velocity condition of two moving objects, the patterns of eye movement of the small TE subjects showed the pursuit eye movements that followed the moving object. The patterns of eye movement of the large TE subjects showed the large saccadic eye movements near the timing point, waiting the arrival of the moving object.
4. We did not found the same tendency like above 3 between the small TE subject and the large TE subject under the different velocity of two moving objects. From this, it was inferred that the timing control under the complicated movement condition depends upon more the time perception than the space perception.

研 究 目 的

本研究は、複数の動体刺激に対する視対象認知の条件とタイミング誤差時間の関係について究明しようとするものである。これまでの研究¹⁻¹²⁾では、視対象となる1つの動体視標が、あらかじめ視標の移動コース上に設定されたタイミング点

に到達する際反応するという条件(1動体視標条件)であった。そこで得られた知見は、卓球、テニス、野球などのボールゲームにおけるタイミング動作解明に有用な手掛りを与えるものであるが、複数の視対象が絶えず移動するサッカー、バスケットボールなどのボールゲームに対するタイミング

*1 愛知工業大学 *2 名古屋大学総合保健体育科学センター *3 南山大学

*1 Aichi Institute of Technology *2 Research Center of Health, Physical Fitness and Sports, Nagoya University *3 Nanzan University

動作解明には必ずしも十分ではない。そこで本研究では、複数の動体視標が視野内を移動する際、動体視標の移動状況の把握がタイミング動作に如何なる影響をおよぼすかについて究明をおこなおうとするものである。

具体的には、動体視標を2つとし(2動体視標条件)、2つの動体視標が等速で一致するタイミング事態と、異なる速度で一致するタイミング事態とを設定し、それぞれのタイミング事態を3つの追視方法で追視した場合の追視条件の相違がタイミング誤差時間におよぼす影響について、以下の点から究明をおこなった。

1. 視標移動条件とタイミング誤差時間の関係について
2. タイミング誤差時間の優劣と追視視パターンの関係について

なお、測定結果検討のため、これまでの研究でおこなわれてきた1つの動体視標がその移動コース上のタイミング点と一致するタイミング事態をも設定し、前者との比較検討をおこなった。

測定方法

I 左行および右行する2動体視標が等速で移動する条件下(以下、等速条件)におけるタイミング誤差時間の測定方法を以下に示す。

1) タイミング誤差時間の測定

1) 測定装置および方法

動体視標の移動にはこれまでの研究と同様、図1に示す水平高速移動装置を用いた。

(1) 被験者位置

水平高速移動装置の中央、直前方2m、動体視標と被験者眼は同高

(2) 動体視標

白色卓球ボール

(3) 動体視標速度

1.5 m/sec (40°/sec)

(4) タイミング点

白色卓球ボール、ただし1動体視標条件の場合のみ、動体視標移動コース上、被験者正中面に眼と同高に設置

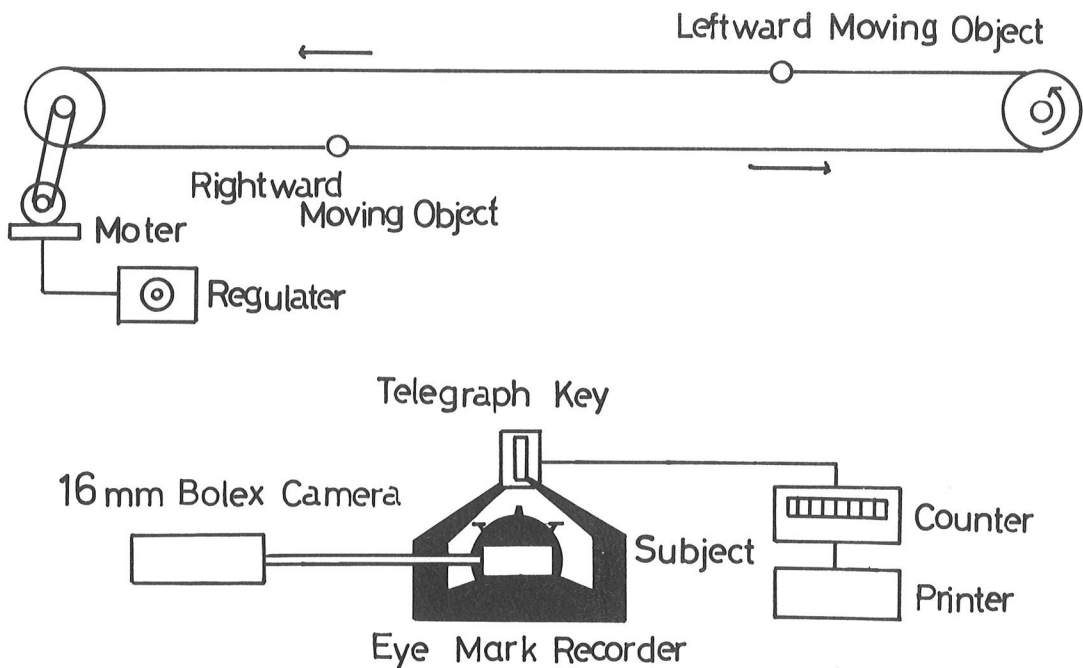


Figure 1. Apparatus

(5) タイミング誤差時間は動体視標の一致と被験者の反応（電鍵手押動作）との時間誤差（変動誤差 $V \cdot E$ ）を $1/1000 \text{ sec}$ 単位で計測し、5回測定の平均値をとった。

(6) 被験者

タイミング動作に慣れている大学男子運動部員23名

2) 動体視標移動条件（以下、移動条件）

これまでの研究で最もタイミングの合わせやすいと考えられる $40^\circ/\text{sec}$ の移動速度とし、次の2つの条件を設定した。

(1) 2動体視標条件

右行、左行する2つの視標が視野外方から内方へ等速で移動し、被験者の視野中心で一致する。

(2) 1動体視標条件

これまでの研究でおこなわれてきた静止しているタイミング点に動体視標が一致する。

3) 動体視標追従視条件（以下、追従視条件）

上記2)の移動条件の視標を図2に示した追従視条件で追従し、一致に合わせてタイミング動作をおこなわせた。2動体視標条件は、以下の3つの方法で追従視させた。

(1) 右行視標を追従視する。

(2) 左行視標を追従視する。

(3) どちらの視標も追従せず、被験者があらかじめ2つの視標が一致すると推定する地点（以下、推定タイミング点）に視線をおき、2つの視標を同時周辺視する。

2 視線追従視運動の測定

1) 測定装置

Nac製、Eye Mark Recorderを使用し、16

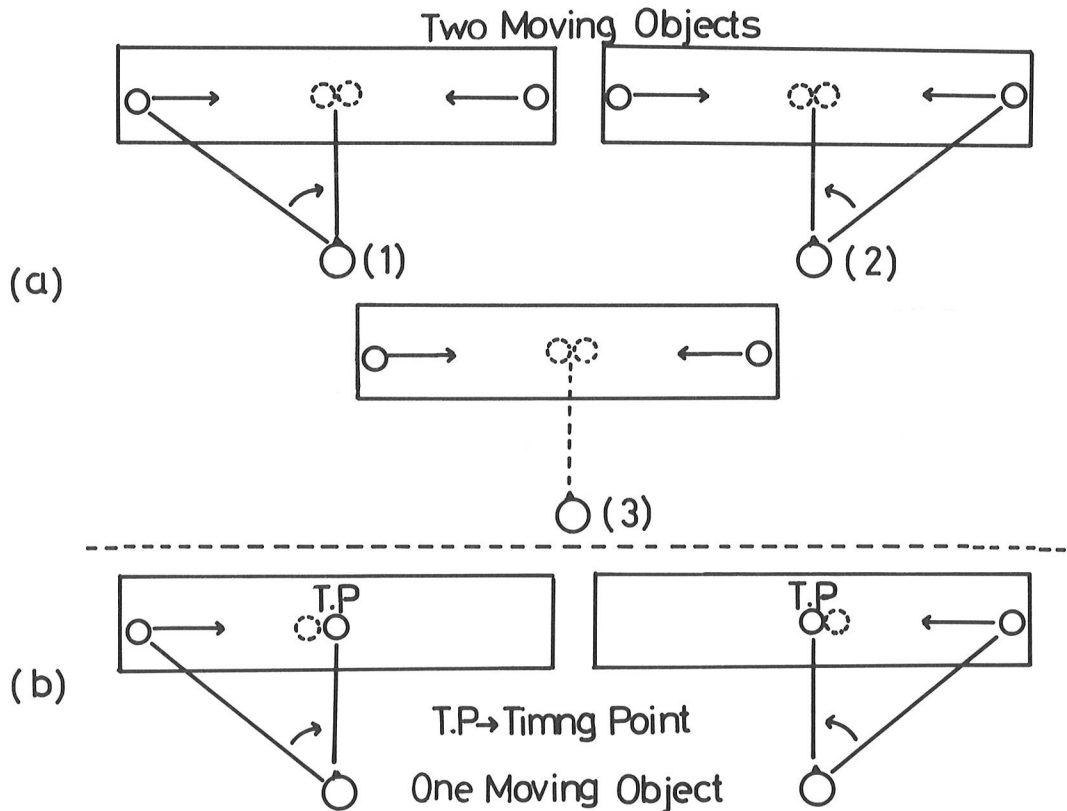


Figure 2. (a) Practical Pursuit situation when two objects move same velocity
(b) Practical Pursuit situation under one moving object condition

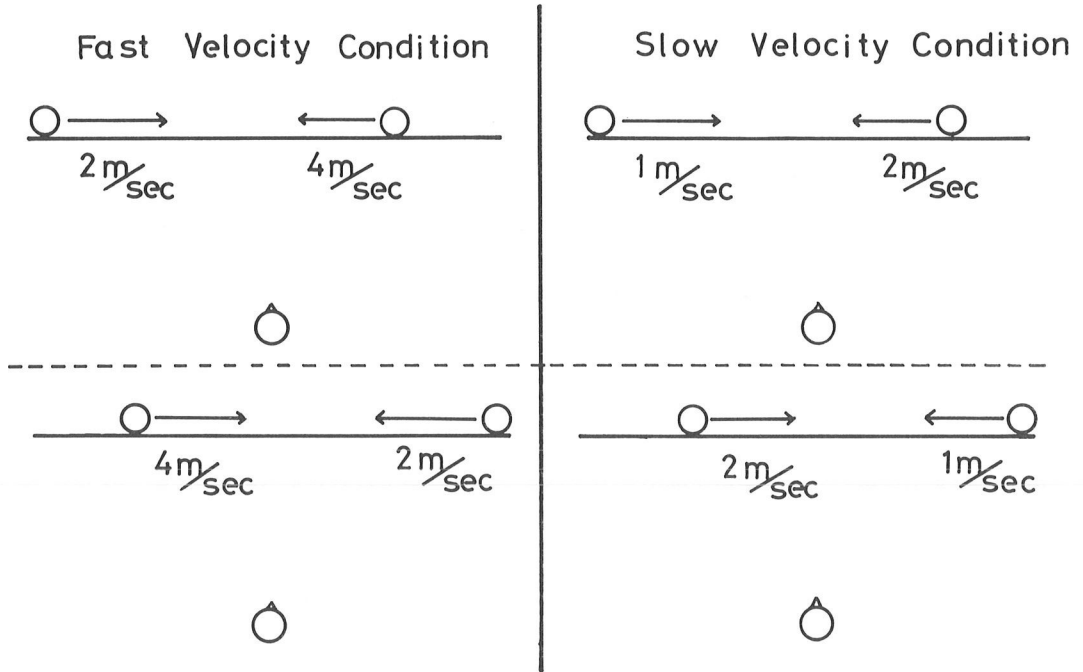


Figure 3. Velocity of two objects under different velocity condition

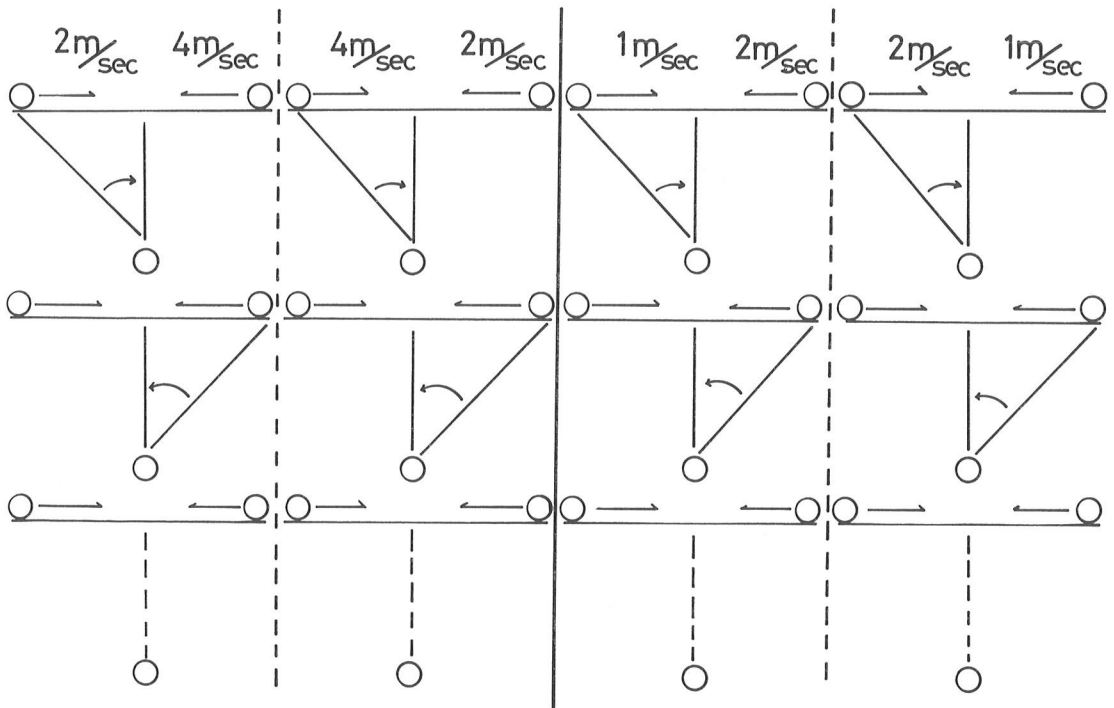


Figure 4. Combination of object movement and pursuit

mm Bolex Camera により 25 frames/secで動体視標の視野内出現時からタイミング動作完了までの視線の追従運動を測定した。なお、この測定は各追従視条件ごとに3回測定をおこなった。

2) 測定結果の処理

測定結果は1 frame ずつ Motion Analyzer にかけて動体視標、タイミング点、注視点のX座標、Y座標を求めて動体視標に対する視線の追従運動を分析、パターン化した。パターン化にあたって Eye Mark Recorder と角膜曲率との関係から分析の正確性を期すため視角40°(右方20°; 左方20°) 以内を記録した。

3) 被験者

1の測定における被験者のなかからタイミング誤差時間の小さいもの2名、大きいもの2名を測定の対象とした。

II 左行および右行する2動体視標が異速で移動する条件(以下、異速条件)におけるタイミング誤差時間の測定方法を以下に示す。

1 タイミング誤差時間の測定

1) 測定装置および方法

等速条件と同様の装置、方法を用いた。被験者は等速条件と異なる大学男子運動部員20名である。

2) 動体視標移動条件

等速条件の速度(40°/sec)と同様の速度(2 m/sec, 40°/sec)を基準として設定し、図3に示すように速い条件として4 m/sec, 2 m/secの視標速度、遅い条件として2 m/sec, 1 m/secの視標速度とした。

3) 動体視標追従視条件

上記の移動条件の視標を等速の場合と同様の追従視方法で追従視させた。移動条件と追従視条件の組み合わせにより図4に示す12の条件を設定した。

2 視線追従視運動の測定

この測定は、前項Iの等速条件と同様の方法でおこなった。被験者は本項IIの測定においてタイミング誤差時間の小さかったもの2名、大きかったもの2名を抽出し測定した。

結果と考察

1 視標移動条件とタイミング誤差時間の関係について

1) 等速条件

2つの視標が左右からそれぞれ等速で内方に移動する際、これを3つの追従視方法でそれぞれ追従視した場合のタイミング誤差時間(以下、TE)を表1に示す。

表1で明らかのように、2動体視標条件の中で最小のTEを示すのは同時周辺視条件である。これは、右行および左行するいずれの視標も追従視せず、推定するタイミング点に視線をおき、2つの視標を周辺視し視野中心で一致する視標に対してタイミング動作をおこなう条件である。2つの視標のうち、右行する視標を追従視する場合は30.0 msec、左行する視標を追従視する場合は29.8 msec とほぼ同様のTEであるが、同時周辺視条件に比較してTEはやや大きくなっている。これに対し、これまでの研究でおこなってきた動体視標の移動コース上にタイミング点を設置し、右行、又

Table 1. Mean and standard deviation of two moving objects conditions and one moving object condition

Pursuit condition	Two moving objects			One moving object	
	Rightward moving object	Leftward moving object	Simultaneous peripheral vision	Rightward moving object	Leftward moving object
Mean	30.0	29.8	24.0	36.3	40.6
Standard deviation	15	13	10	17	15

Table 2. Analysis of variance among three conditions

Factor	df	Ms	F
Condition	2	52	3.77*
Ind. Diff	66	226	
Total	68		* P < 0.05

	I	II	III
1			
2	6.3		
3	* 12.3	6.0	

WSD

Condition I — One moving object Rightward pursuit
 II — Two moving objects Rightward pursuit
 III — Two moving objects Simultaneous peripheral vision

Table 3. Analysis of variance among three conditions

Factor	df	Ms	F
Condition	2	1618	9.09*
Ind. Diff	66	178	
Total	68		** P < 0.01 * P < 0.05

	I	II	III
1			
2	* 10.8		
3	** 16.6	5.8	

WSD

Condition I — One moving object Leftward pursuit
 II — Two moving objects Leftward pursuit
 III — Two moving objects Simultaneous peripheral vision

Table 4. Analysis of variance among conditions

Factor	df	Ms	F
A Movement condition	1	1620	5.23*
B Pursuit	1	370	1.20
C Ind. Diff	22	274	0.88
A × B	1	155	0.50
A × C	22	210	0.68
B × C	22	198	0.64
Error	22	309	
Total	91		* P < 0.05

A: One moving object Rightward and Leftward
 Two moving objects Rightward and Leftward

Table 5. Mean and standard deviation of different velocity conditions

Velocity condition		msec							
		2 m/sec →	4 m/sec ←	4 m/sec →	2 m/sec ←	1 m/sec →	2 m/sec ←	2 m/sec →	1 m/sec ←
Rightward moving object	M	45.7		35.0		43.1		34.9	
	SD	26.3		23.1		18.9		17.6	
Leftward moving object	M	43.6		30.8		27.8		30.9	
	SD	22.9		21.2		15.4		21.0	
Simultaneous peripheral vision	M	45.5		37.2		48.1		31.2	
	SD	24.1		25.9		21.1		18.6	

Table 6. Analysis of variance

Factor	df	Ms	F
A Movement condition	3	1952	7.42**
B Pursuit	2	2147	8.16**
C Ind. Diff	19	1929	7.33**
A × B	6	139	0.53
A × C	57	573	2.18**
B × C	38	171	0.65
Error	144	263	
Total	239		** P < 0.01

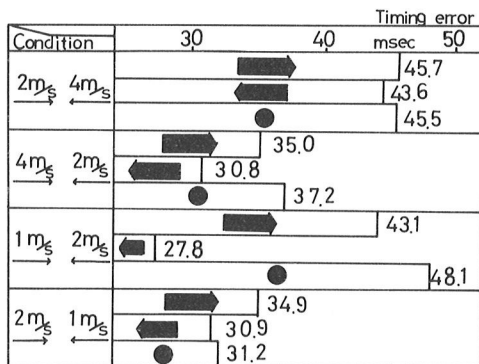


Figure 5. Result of different velocity condition

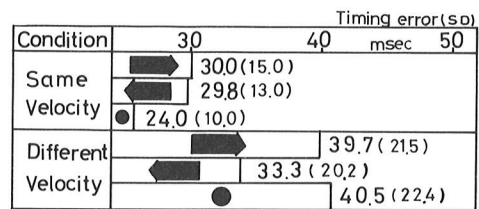


Figure 6. Comparison between same and different velocity condition by moving object velocity

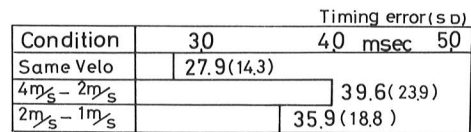


Figure 7. Comparison between same and different velocity condition by pursuit

は左行する視標を追随視する方法での1動体視標条件においてはTEは大きく、右行で 36.3 msec, 左行の場合には最大の TE 40.6 msec を示した。以上の測定結果を分散分析(表2, 表3, 表4)で検討し、以下の知見を得た。

- (1) 2動体視標条件は1動体視標より有意にTEが小さいことからタイミングの合わせやすい条件であるといえることができる。
- (2) 2動体視標条件内では3つの追随視条件間に有意なTEの差はみられない。
- (3) 同様に、1動体視標条件内においても、右行、左行の間に有意差はみられない。
- (4) 1動体視標条件と2動体視標条件を比較すると、それぞれ左行する場合の両者のTE間に有意差(5%)がみられる。

2動体視標条件の方がタイミングが合わせやすいということについては、実験前の予測に反することであった。すなわち、視野構造の単純な条件である、あらかじめタイミング地点が明示された1動体視標条件に対して、視野構造が複雑化した、いかえれば、視野分節度を高めた2動体視標条件の方がTEを増大させるものと考えたが結果は逆であった。この原因としては、動体視標とタイミング点、あるいは2つの動体視標の把握の方法、換言すれば、時間とともに変化するこれら視対象の位置および速度の知覚と両者の相対的位置関係から、中枢機構において組織化される一致の時間的、空間的見越しが、1動体視標条件と2動体視標条件では相違するのではないかと考えられる。このことについて検証を深めるために、視線の追随視運動を測定したが、次項2)において等速条件と異速条件の関係を明らかにした上で、さらに追随視運動の解析結果に基づき考察を進めることにする。

2) 異速条件

上記1)の等速条件においては、2動体視標条件は1動体視標条件よりタイミングが合わせやすいということが明らかになった。そこで、2動体視標条件を2つの視標が視野外方から内方へ異なる速度で移動するという、さらに複雑な条件を設定しTEにおよぼす影響について検討を加えた。

測定結果を表5, 図5に示し、また表5の分散分析を表6に示した。図6は測定結果を速い視標条件(4 m/sec - 2 m/sec)と遅い視標条件(2 m/sec - 1 m/sec)に分け、それぞれ追随視条件を込みにして、つまり右行追随、左行追随、同時周辺視条件のTEを平均して等速条件と比較して示したものである。図6から明らかなように、等速条件の27.9 msecと比較して4 m/sec - 2 m/secの速い条件で39.6 msec, 2 m/sec - 1 m/secの遅い条件で35.9 msecといずれもTEが大きく、2動体視標条件であっても、2つの視標速度が異なる場合はタイミングが合わせにくい条件であることがわかる。速い条件と遅い条件間には有意差はみられないが、速い条件にTEが大きい傾向がみられる。これは、本実験条件の場合、2つの視標移動時間が速い条件では遅い条件の1/2となるため遅い条件と比較して一致の時間的、空間的見越しに正確性を欠いたものと考えられる。

次に追随視条件の相違についてみてみよう。図7は異速条件について、それぞれの速度条件(4 m/sec - 2 m/sec, 2 m/sec - 1 m/sec)を込みにして追随視条件について平均化し、等速条件と比較したものである。図7で明らかなように、異速条件では、いずれの追随視条件においてもTEが大きく、2つの視標速度が異なると、左行追随、右行追随、同時周辺視のいずれの追随視方法でもタイミングが合わせにくくなることが考えられる。なかでも、前項で示した等速条件で最もTEが小さい(24.0 msec)同時周辺視条件が40.5 msecと最もTEが大きく、タイミングの合わせにくい条件となっている。この同時周辺視条件が異速条件においてTEが増大する原因をただちに明らかにすることはできない。しかし、これを眼生理的機序からのみ考察した場合、異速の2動体を同時周辺視したとき、網膜上の像の移動のみからは視対象の位置および速度を把握することは困難を感じるが、等速条件では、2つの視標を網膜周辺部から中心部に移動する2つの視標がまったく左右対象的に把握することができるため、一致の時間的、空間的見越しが異速条件と比較して容易なためではないかと考えられる。

次に、移動条件と追従視条件の両者の関係がTEにおよぼす影響について考察を進める。

まず右行視標追従の場合をみてみよう。2つの異速度の組み合わせのうち遅い速度条件(2 m/sec - 1m/sec)および速い速度条件(4 m/sec - 2 m/sec)ともに、追従する視標が2つの視標の組み合わせのうち、速い視標を追従視する場合にTEは小さい傾向がみられる。この場合の動体視標把捉に関する視覚機能の作用機序から次のことが考えられよう。異速条件では2動体の一致に対する速度条件把捉の主因を速い方の視標に求め、この速い視標を中心窩で把捉しながらその移動速度条件を外眼筋の情報で把えているのではないか、そして一方、比較的把捉しやすい遅い方の視標については周辺網膜部における像の移動としてとらえて、これをタイミング点とし、一致反応動作をおこなっていると考えられる。次に左行視標追従視の場合についてみてみよう。左行視標を追従視する場合の遅い速度条件の組み合わせにおいては、上記した右行追従視の場合と同様の傾向がみられる。しかし、速い速度条件にはこの関係は認められなかった。このように速い左行視標追従の場合には、一般的

に左行する視標に対する眼球の向導運動は右行に比較して円滑におこなわれないこと、¹³⁾ さらに加えて視標速度が速いためタイミングが合わせにくいことに起因して個人差の大きな条件になったものと考えられる。また、右行視標追従、左行視標追従において、2つの視標のうち速い方の視標を追従視する場合にTEが小さいことについては、誘目性に関係することが考えられる。遅い視標を追従する場合、追従の過程において視覚刺激誘目価の高い速い視標が、視野外方より内方に移動してくるため、その影響をうけて、速い視標を追従視する場合と比較して遅い視標を追従視する場合には、一致の時間的、空間的見越しが比較的困難であるためと考えられる。さらに、これを速度対比として考えた場合、速度の速い視標を追従視する場合、他方の遅い視標は静止しているように知覚され、遅い視標を追従視する場合は、速い視標は流れる線として知覚されるという速度対比現象がタイミングの合わせやすさを左右する要因の1つとして考えることができよう。以上から、一般的に言って異速条件においては、右行視標の追従、左行視標の追従のいずれにおいても、2つの視標

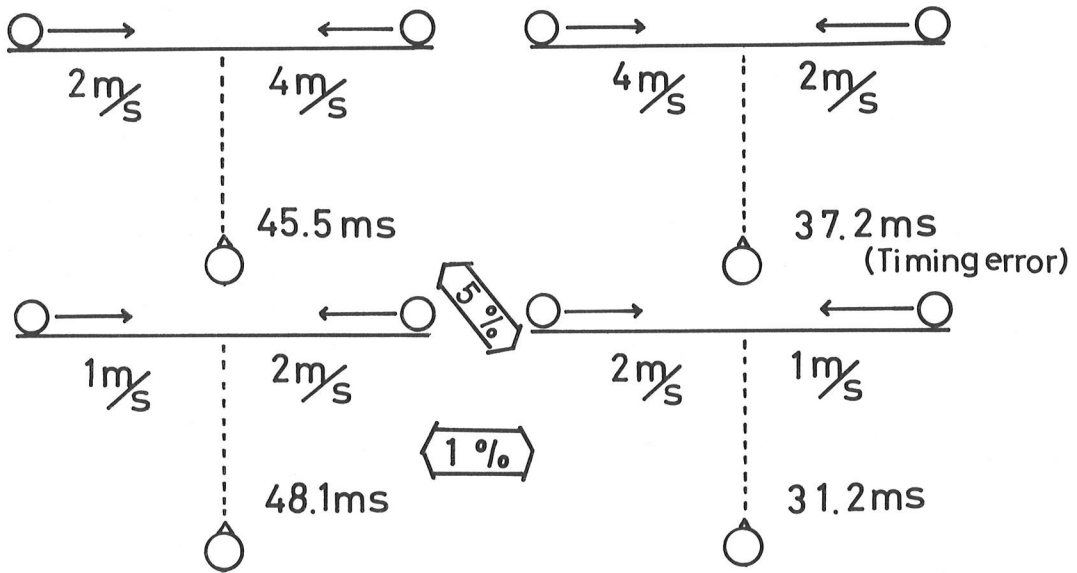


Figure 8. Simultaneous peripheral vision condition (Significant difference test employed Tukey method)

のうち、速い視標を追従視し、遅い視標を周辺視するという条件、換言すれば、速い視標を速度条件把握の主因とし、遅い視標との相対的位置関係を把握するということがタイミングの合わせやすい追従視の方法になっていることが考えられる。

次に同時周辺視条件の結果についてみる。測定結果を図8に示す。同時周辺視の場合では、2つの視標のうち、速い視標が右行し、遅い視標が左行する条件に有意にTEが小さくタイミングの合わせやすい条件になっている。有意差は認められないが、右行2 m/sec - 左行4 m/sec と右行4 m/sec - 左行2 m/sec においても同様の傾向である。このことは、網膜上の像の移動を視覚上の手掛りとして一致を見越す同時周辺視条件においては、2つの視標のうち、右行する視標の移動状況を速度条件把握の主因として左行視標との一致を見越す。その場合、右行する視標が速い視標の場合、追従視する条件と同様、よりタイミングが合わせやすくなるものと考えられる。右行する視標への追従視運動は、日常生活における左→右へ移動する視対象への対応動作や、これにかかわる視線追従運動の多用にもとずく眼球向導運動の円滑性などに起因して、左→右への移動の場合、網膜・中枢機構において優位に組織化されていることが推定される。

以上、各条件下におけるTEの変動因について種々仮定したが、これらについてさらに視線追従視運動の立場から検証を深めるため、Eye Mark Recorderを被験者に装着し、視標の視野内出現時からタイミング動作までの視線追従視運動の測定をおこなったので、その解析結果をもとに次項でさらに考察を進めることにする。

2 追従視パターンとタイミング誤差時間の関係について

前項における1動体視標条件および2動体視標条件のTE測定の結果から、それぞれTEの小さい被験者2名、大きい被験者2名を抽出し、Eye Mark Recorderにより視線の追従視運動を測定し、測定結果を距離、時間、動体視標、注視点の位置により図式化した(以下、追従視パターン)。本研究における視線追従視運動測定の目的は、1動体

視標条件→2動体視標等速→異速という次第に視野構造の複雑化した条件における追従視パターンの変容を明らかにすること、およびTEの小さい被験者、大きい被験者のパターンの違いから、TEの大小をもたらず要因について考察しようとするものである。一般に動体視標を追従視する場合、その追従の仕方には個人差があり、同一個人においても内環境、速度条件、刺激布置条件の如何によって異なった追従方法を示す¹⁴⁾といわれる。本実験条件における追従視パターンにも個人差が認められたが、同一個人内におけるパターンはほぼ類似していたので最も特徴的なパターンを示している1例をもって各被験者の追従視パターンとした。

1) 1動体視標条件

まず、2動体視標条件との比較検討のため設定した1動体視標条件のパターンを図9に示す。それぞれ、AはTEの小さい被験者2名、Bは大きい被験者2名のパターンである。図9から明らかなように、右行、左行両視標の追従視に共通する特徴的なパターンとして、TEの小さい被験者は視標の動きにやや先行した滑らかな追従をおこなっているのに対し、TEの大きい被験者はsaccadeを発現させてタイミング点附近に視線を先行、停滞させるパターンを示した。まず右行視標追従についてみると、Aのパターンはいずれも動体視標にやや先行する滑らかな追従をおこない、タイミング点前方15cm附近で動体視標をやりすぎたのち、タイミング点前方10cm附近に定着している。これに対し、Bのパターンは1名については視標の移動開始と同時に、1回の大きなsaccadeをおこし、図9に示したタイミング点到達600 msec前にはすでにタイミング点附近に視線を先行させており、一致までの間停滞している。他の1名については、まずsaccadeによって視線を推定タイミング点前方70cm附近に先行、停滞させたのち、動体視標が視線を横切るのを契機として再びsaccadeを発現させてタイミング点前方10cm附近に視線を先行させるパターンである。1動体視標条件のように動体視標の移動コース上にタイミング点を設定し、一致に合わせてタイミング動作をおこ

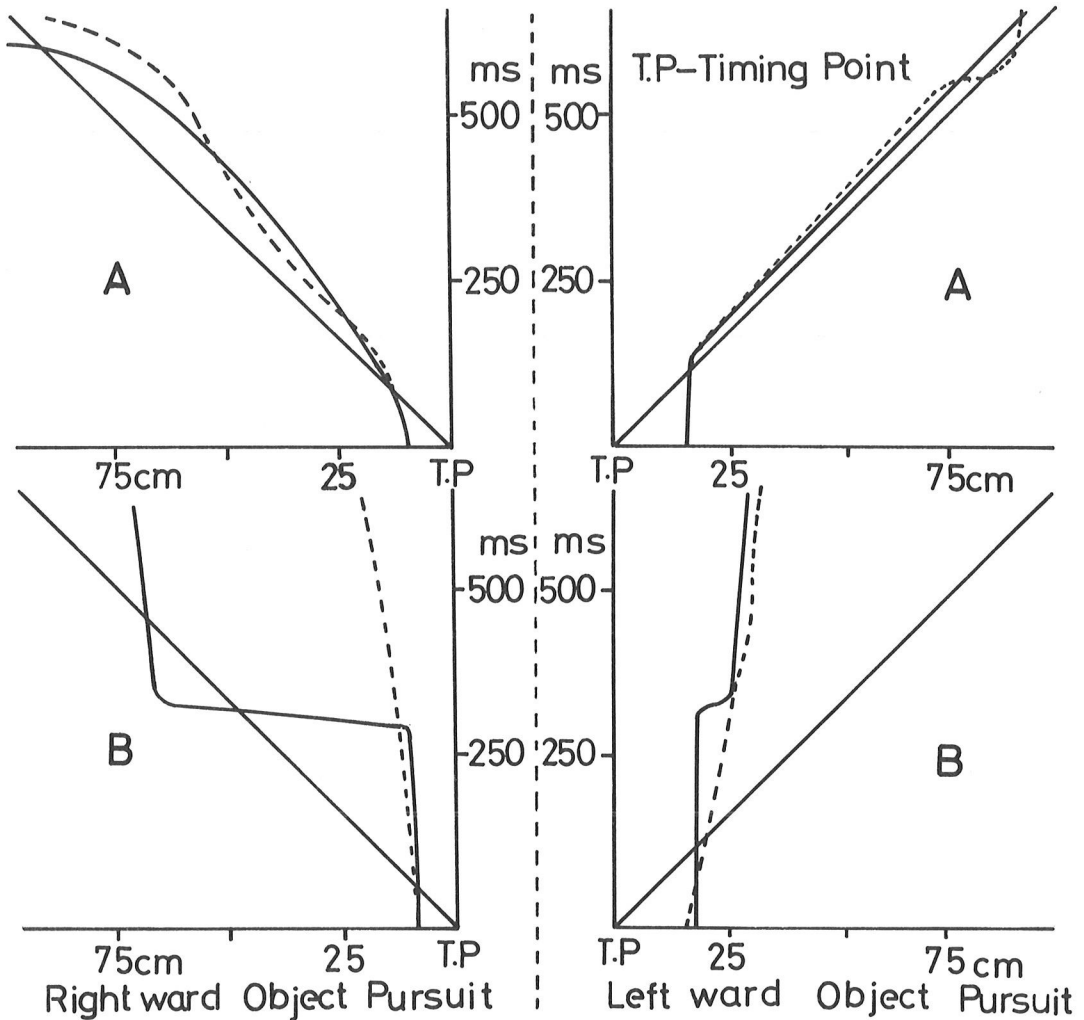


Figure 9. Pursuit patterns of one moving object condition

なう場合には、右行視標の速度知覚とタイミング点との空間知覚を同時におこない、それにもとずき一致の見越しをおこなわなければならない。その際、視標とタイミング点との相対的位置関係を主として刻々とその空間内で位置を変える動体視標を基準として把えるか、あるいはタイミング点を基準として把えるかによって一致の見越機序が異なるものと考えられる。Aのパターンがsaccadeを発現せず、視標にやや先行した円滑な追従をおこなっていることは、動体視標を Berens¹⁵⁾が視

野に入る物体を追跡することに敏感であるとする網膜傍中心窩 (parafovea) に把捉しつつ追従視しながら、タイミング点との位置関係を把えているものと考えられる。動く視標を追従する場合、視標の動きが単純で次にどのような動きをするか予測できる場合には眼球運動が視標の動きに先行することもある¹⁶⁾こと、また、鈴木¹⁷⁾が動くものを見るときは傍中心視で追従し、可視可能域に視標が入ると中心視に移行することを報告しているように、動くものの速度知覚は網膜中心窩 (fovea)

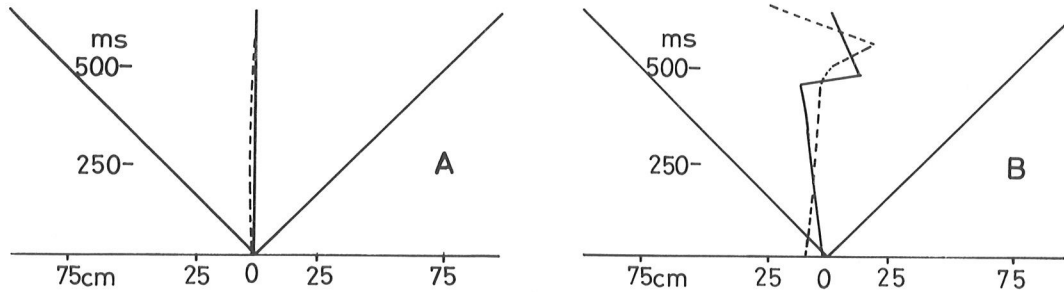


Figure 10. Patterns of simultaneous peripheral vision condition in same velocity condition

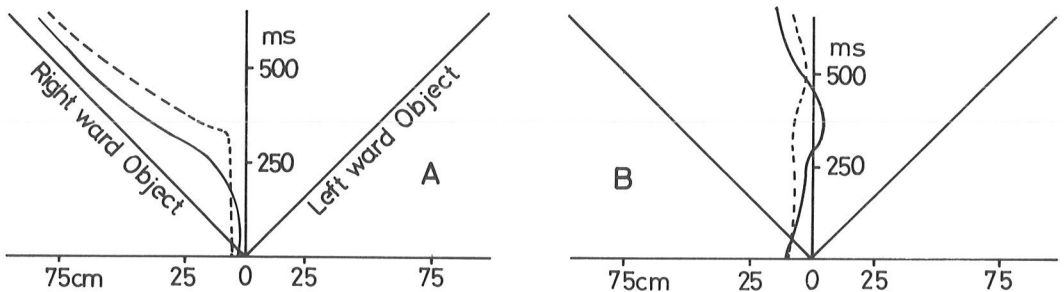


Figure 11. Pursuit patterns of right ward object in same velocity condition

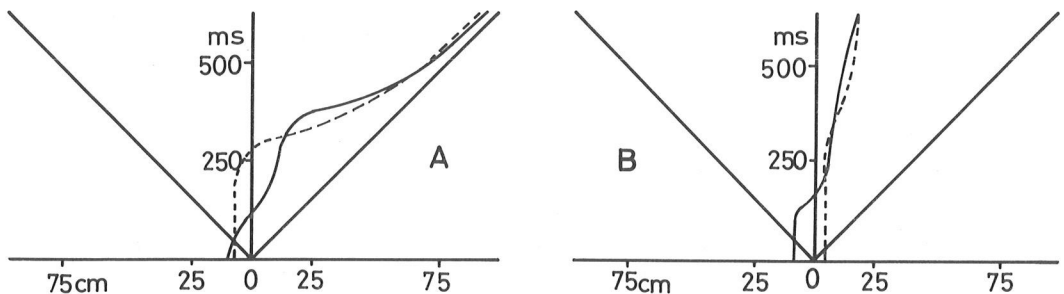


Figure 12. Pursuit patterns of left ward object in same velocity condition

で追隨するよりも parafovea に把捉して追隨する方が背景との速度差を知覚しやすいのではないかと考えられる。これに対し、1~2回のsaccadeを発現するBのパターンについて、このsaccadeの意味は単に同一視野内にあるタイミング点に誘目されるという心理的誘目現象ではなく、タイミング点を基準点としながらタイミング点と動体視標の相対的位置の関係を把えようとする目的を持ったものと考えられる。Bのパターンにおける動体視標の速度知覚は、視線をタイミング点に先行させることにより網膜周辺部から中心部へ移動

する光点として把える、つまり網膜上の像の移動から速度を知覚しようとしているものと考えられる。Dichgans¹⁸⁾らは網膜からの入力による求心性の運動検出(網膜像移動)と眼球運動による遠心性の運動検出(眼球運動制御)の違いについて、実際に知覚される運動速度は求心性運動検出の場合は、遠心性運動検出より1.6~1.7倍速く感じられるとしている。このことはBのパターンのように網膜上の像の移動のみから得た速度知覚にもとづくタイミング動作の場合、その反応は尚早傾向となることを推測させるものである。本研究で

は尚早であるか否かについては明らかにできないが、今後の研究により究明したい。

次に、左行視標追隨のパターンについてみると、図9から明らかなように右行のパターンと基本的な相違は認められない。TEの小さいAのパターンは、視標に先行する円滑な追隨を行い、Bはsaccadeを発現するパターンである。このことは、1動体視標条件においては被験者個人のタイミング動作のためのタイミング点と視標の把捉の方法は、視標の右行、左行にかかわらず基本的な相違がないことを推測させるものである。

2) 2動体視標条件

(1) 等速条件

図10に同時周辺視条件、図11に右行、図12に左行の追隨視パターンを示した。まず、TE測定で最小のTEであった同時周辺視条件(図10)のパターンについてみると、TEの小さいAのパターンは視標の移動開始から一致までの間ほぼ推定タイミング点に視線がおかれている。つまり視線を推定タイミング点におくことによって、網膜上で左右対称的に等速で移動する2つの光点として視標を把捉している。これに対し、TEの大きいBのパターンにおいて特徴的なことは、2名の被験者ともsaccadeを発現させていることである。このsaccadeは何らかの目的を持ったものではなく、2つの視標を同時周辺視する過程において、動知覚および明暗覚のよいとされる桿体細胞優位の網膜周辺部に出現する視標が視覚刺激となり、それが視野中心部に移動することによる刺激価の高まりに伴い、Hofman¹⁹⁾のいうところの精神視的反射のかたちでsaccadeが発現したものと考えられる。saccade後は視線の動揺はみられないが、Aのパターンがほぼ推定タイミング点に視線がおかれているのに対し、Bは推定タイミング点をはずれていることも特徴である。

右行視標追隨(図11)、左行視標追隨(図12)については、図から明らかなように、前述した1動体視標条件と同様、右行、左行のパターンに基本的な相違がみられないことから、ここでは右行視標追隨についてのみ考察を進める。まず、TEの小さいAのパターンは右行視標に先行した追隨

をおこない、2つの視標の接近に伴ってその先行の状態をさらに強め、視線を推定タイミング点附近に定着させている。しかし、1動体視標条件(図9)のAのパターンではタイミング点への接近に伴って逆に先行を弱めている。これは1動体視標条件におけるタイミング点、2動体視標条件においては左行視標という誘目現象を発現させる刺激価の違いによるためと考えられる。つまり、右行視標の追隨視の経過で、網膜周辺部に発現した左行視標が視覚刺激となり、視感度のよい網膜中心窩附近への接近によって左行視標に誘目され、より速いpursuit運動が発現するものと考えられる。すなわち、右行視標をparafoveaに把捉しつつおこなうpursuit運動を主体とした追隨を、より早めることによって左行視標との位置関係をより早い時点から網膜上で検知しようとするためのものであると考えられる。一方、Bのパターンは1動体視標条件と同様のパターンを示している。すなわち、右行視標の移動開始後、ただちに1回のsaccadeによって視線を推定タイミング点附近に先行させるパターンである。推定タイミング点附近に視線を停滞させることによって、同時周辺視条件と同様の把捉をおこなおうとするものであるが、視標に誘目されると考えられる推定タイミング点附近を中心とした視線の動揺がみられる。この視線の左右への動揺が、2つの視標を左右対称的に視野周辺から等距離、等速度で移動する2つの光点として把捉することを困難にし、TEの増大をもたらしたものと考えられる。

(2) 異速条件

次に2つの視標速度が異なる場合の追隨視パターンについて考察を進める。図13は右行視標2 m/sec、左行視標4 m/secの条件においてA(TEの小さい被験者2名)およびB(大きい被験者2名)が左行視標を追隨視する場合のパターンを比較したものである。TEの小さいsub H.Iと大きいsub J.Tのパターンは、視標の動きにやや先行したpursuitをタイミング点附近までおこないsaccadeを発現していないパターンである。sub A.S、N.Hは推定タイミング点前方ほぼ70cm附近から2回のsaccadeによって視線を先行させるというパター

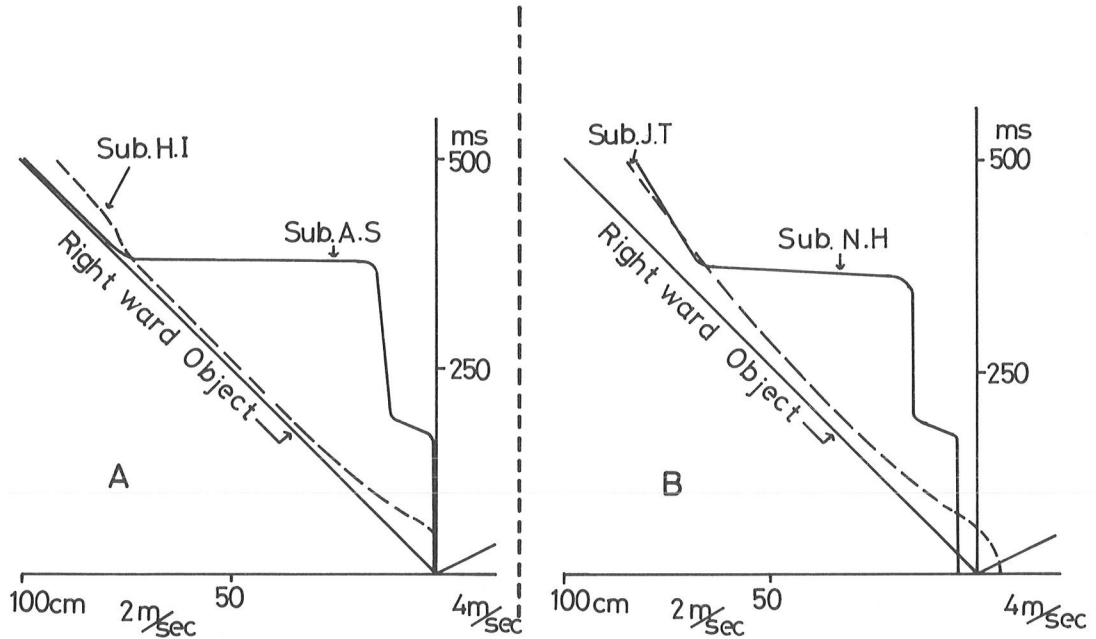


Figure 13. Pursuit patterns of right ward object in two moving object condition (2 m/sec — 4 m/sec)

ンである。図13は 2 m/sec — 4 m/sec の条件 1 例についてのパターンであるが、4名の被験者は視標速度、追従視条件にかかわらず一貫して sub H.I, J.T は pursuit のパターンを、sub A.S, N.H は saccade を発現するパターンを示した。このことは、前項において共通してみられた TE の大小による追従視パターンの相違、つまり TE の小さい被験者は視標の動きにやや先行する pursuit パターンを、TE の大きい被験者は saccade を発現させるという結果と異なっている。しかし、sub H.I, J.T の pursuit するパターンを同じ pursuit するタイプの等速条件の A のパターン (図11) と比較したとき、図11のパターンは追従視の過程で左行視標に誘目される結果、先行を強めるパターンを示したのに対し、図13における2名のパターンは 4 m/sec の左行視標に誘目されることなく、ほぼ完全な pursuit をおこなっている。一方、saccade を発現する sub A.S, N.H のパターンを図11の B のパターンと比較したとき、図11のパターンでは移動開始と同時に1回の大きな saccade によって視線を先行させるのに対し、図13のパターンでは

2 名とも視標の追従を推定タイミング点前方70cm 附近までおこなったのち、2回の saccade を発現させている。つまり異速条件における2つの追従視パターンのタイプは、等速条件においてみられるタイプと異なったタイプのパターンであると考えられる。このように TE の小さい被験者、大きい被験者に共通のパターンがみられないこと、また、等速条件と異なる追従の仕方をおこなうと考えられることが何に起因するかをただちに明らかにすることはできないが、異速条件という、より視野分節度の高まった条件における時間的、空間的見越し構成が等速条件や1動体視標条件と異なっていることが考えられる。異速条件と比較して、1動体視標条件や、2つの視標を左右対称的に把捉することが可能な等速条件においては、視覚現象を手掛りとする空間知覚を主体とした見越しを構成するものと考えられる。これに対し、視野構造の複雑化した異速条件においては、これまでの研究²⁰⁾から時間知覚により多くを依存した見越し構成に移行するものと考えられるが、被験者個々人の持つ時間的、空間的見越し構成の相違や、

時間知覚の良否などにより個人差が大きく、両者に共通した傾向がみられないものと考えられる。図13において、一般的には2 m/secの視標を追隨する場合、誘目価の高い4 m/secの左行する視標に誘目される saccade を発現すると考えられるが、sub H.I, J.T のパターンは推定タイミング点附近まで右行視標を parafovea に把捉しつつ円滑な追隨をおこなっている。このことは、2つの視標の相対的位置関係から一致を見越そうとするのではなく、右行視標の把捉を主体として、推定タイミング点への到達に合わせてタイミング動作をおこ

なうという方法であり、このような場合には、被験者のもつ時間知覚の良否がTEにより影響をおよぼすものと考えられる。異速条件における saccade するパターンの特徴は、推定タイミング点附近での saccade が発現することである。これは2つの視標の適合状況の把捉のために、一致を parafovea で捉えようとする補正を目的としたものと考えられるが、異速条件における saccade するパターンの多くにこのような傾向がみられることは、異速条件における一致状況の把捉の困難さを推測させるものである。

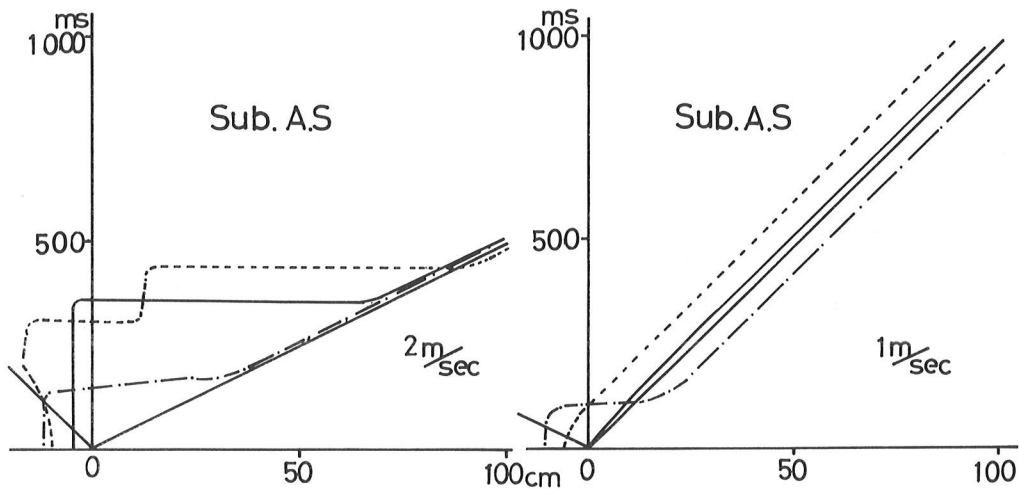


Figure 14. Difference of the pursuit patterns between the fast and the slow moving object

図14は 2 m/sec - 1 m/sec の遅い視標速度の組み合わせのうち、sub A.S が左行視標を追隨するパターンである。左図に左行視標が 2 m/sec の場合、右図に左行視標が 1 m/sec と遅い場合の追隨視パターンのすべてを示した。図から明らかのように、右図の如く 1 m/sec と遅い方の視標を追隨視するパターンには、1 回だけ推定タイミング点前方20cm附近から saccade が発見しているのに対し、左図の如く 2 m/sec と速い方の視標を追隨視する場合には、推定タイミング点前方、90cm、70cm、40cm附近から saccade が発現している。この現象は 4 m/sec - 2 m/sec、2 m/sec - 1 m/sec

という視標の遅速にかかわらず、2つの視標のうち速い方の視標を追隨する条件において saccade が発現する頻度が多く、その発現地点はより遠方に移行し大きな saccade が発現している。28例のパターンについて比較した結果、遅い方の視標を追隨する条件では平均32cm前方で発現するのに対し、速い視標を追隨する条件では67cmで発現している。このように速い視標を追隨する条件により大きな saccade が発現し、その頻度も多いという傾向は、1のTE測定において考察した遅い視標を追隨する場合には速い視標に誘目されやすいのではないかとした考察に矛盾した結果となってい

る。これらが本実験条件に由来する現象なのか否かは明らかではないが、速い視標を追従視する場合に saccade がより多く発現し、推定タイミング点附近で2つの視標の一致を把握するという方法が、速い視標を追従視する条件にTEが小さいという前項における結果をもたらす要因となっていることが考えられるが、本研究では現象の報告に止め、さらには今後の研究により究明したい。

総 括

本研究は複数の動体視標の把握がタイミング動作に如何なる影響をおよぼすかについて明らかにするため、これまでの研究でおこなった1つの動体視標の移動コース上にタイミング点を設定したタイミング事態を、より複雑にした2つの動体視標が一致するというタイミング事態を設定し、それが等しい速度で一致する条件、および異なる速度で一致する条件についてTEとの関係を究明した。さらに、それぞれの条件における視線追従視運動を解析することにより、TEの違いをもたらす要因の究明をおこない以下に示す知見を得た。

(1) 2つの視標速度が左右等速の条件では1動体視標条件よりTEが有意に小さく、タイミングの合わせやすい条件であるということが出来る。なかでも、2つの視標が一致すると推定する地点に視線をおく同時周辺視条件が最もTEが小さい。

(2) 1動体視標条件、2動体視標等速条件とも、右行視標の追従、左行視標の追従によるTEの差はみられなかった。

(3) 2動体視標条件は、2つの視標速度が異なるとき、それが等速の場合に比しTEが増大した。この異速度2動体視標に対するTEは、同時周辺視した場合に最も大きく、タイミングの合わせにくい条件になるとみられる。また、異速度の2つの視標のうち、いずれか一方を追従視する条件においては、速い方の視標を追従視したとき、遅い方のそれに比しTEが小さくなる傾向がみられた。

(4) 視線追従視運動の解析結果から、1動体視標条件および2動体視標等速条件においては、TEの小さい被験者は円滑な眼球運動により視標の追従をおこなう傾向がみられたのに対し、TEの大

き被験者は saccade によりタイミング点附近に視線を先行させ、動体視標の到達を待つというパターンであった。このことから、比較的タイミングの合わせやすい条件においてはこれまでの研究で明らかにされた動くものの追従明視が重要な要因となることが確認された。

(5) しかし、異速条件においてはTEの大小にかかわらずこの傾向はみられず、複雑化した条件では時間知覚などの良否がより関与することが推測された。

参 考 文 献

- 1) 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** (4, 5): 91—96, 196.
- 2) 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ついて, 第2報), 体育学研究, **9** (6): 17—22, 1966.
- 3) 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ついて, 第3報), 体育学研究, **11** (2): 94—100, 1966.
- 4) 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** (4): 190—195, 1967.
- 5) 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** (3): 137—144, 1971.
- 6) 山田久恒, 寺田邦昭, タイミングコントロールに関する研究,(色彩条件がタイミング動作に及ぼす影響について), 体育学研究, **20** (3): 147—158, 1975.
- 7) 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, **21** (3): 145—153, 1976.
- 8) 山田久恒, 岩見恒典, 寺田邦昭, 山田知通, 森田修朗, 追従視とタイミング, 環境医学研究所年報, **22**: 72—76, 1970.
- 9) 山田久恒, タイミング動作に関する研究, 環境医学研究所年報, **22**: 77—81, 1970.
- 10) 寺田邦昭, タイミング動作における眼球追従運動の解析, アカデミア, **81**: 155—168, 1971.
- 11) 寺田邦昭, タイミング動作に関する研究, 視覚情

- 報の受容について, アカデミア, **25**: 101—125, 1975.
- 12) 寺田邦昭, タイミング動作に関する研究, 見越要素の分析, アカデミア, **26**: 107—129, 1976.
- 13) 荻原朗, 日本眼科全書, **7** (4): 96, 1954.
- 14) 11) の前掲書。
- 15) Berens: American Journal Ophthal **45**: 675, 1958.
- 16) 福島邦彦, 視覚の生理とバイオニクス, P. 213.
- 社団法人, 電子通信学会編。
- 17) 鈴木昭弘, 日本眼科学会雑誌, **75** (9): 34, 1968.
- 18) J. Dichgans and Th. Brandt: Cerebral Control of Eye Movements and Motion Perception Ed. J. Dichgans & E. Bizzi p.382~338 S. Karger Basel (1972).
- 19) 13) の前掲書, P. 91.
- 20) 5) の前掲書。

(1980年12月17日受付)

