慶應義塾大学学術情報リポジトリ
Keio Associated Repository of Academic resouces

Title	奥行き運動の検出に関する一考察
Sub Title	A study of detection of motion in dept h
Author	今泉, 浩子(Imaizumi, Hiroko)
Publisher	慶應義塾大学大学院社会学研究科
Publication year	1988
Jtitle	慶応義塾大学大学院社会学研究科紀要 : 社会学心理学教育学 (Studies in sociology, psychology and education). No.28 (1988.) ,p.107- 114
JaLC DOI	
Abstract	
Notes	論文
Genre	Departmental Bulletin Paper
URL	https://koara.lib.keio.ac.jp/xoonips/modules/xoonips/detail.php?koara_id=AN0006957X-00000028-0107

慶應義塾大学学術情報リポジトリ(KOARA)に掲載されているコンテンツの著作権は、それぞれの著作者、学会または出版社/発行者に帰属し、その権利は著作権法によって保護されています。引用にあたっては、著作権法を遵守してご利用ください。

The copyrights of content available on the KeiO Associated Repository of Academic resources (KOARA) belong to the respective authors, academic societies, or publishers/issuers, and these rights are protected by the Japanese Copyright Act. When quoting the content, please follow the Japanese copyright act.

奥行き運動の検出に関する一考察

A study of detection of motion in depth

今　泉　浩　子
Hiroko Imaizumi

Three experiments were designed to investigate motion detection of luminous objects (two light spots) which move forward and backward. The subjects observed the objects with left eye.

In the first experiment, to measure detection thresholds for the motion, stimulus objects with a visual angle of 2° at the onset of movement, which traveled at a speed of 4cm per second, were used. The 50 per cent thresholds of perceived movement were 3' in angular size at forward movement and 4' at backward. Forward motion was easier to detect than backward motion.

In the second experiment, the velocity of either 2, 4 or 8cm per second were observed. As a result, the detection threshold of motion decreased with increasing the velocity. This means that the detection in forward and backward movement could be prescribed not only by change in angular size but the angular velocity.

In the last experiment, the motion threshold was measured at 1°, 2°, 4° and 5° of eccentricity in temporal visual field at the onset of movement. The increase of eccentricity caused higher motion threshold. Regarding this matter, further investigation should be required, comparing the detections of foveofugal and foveopetal motions in two and three dimensional moving objects.

序　　論

我々をとりまく環境には様々な運動事態が存在するが，物理的には動いていても，常に運動印象を生じるとは限らない。生体が生きていく上で，運動を知覚するということは非常に重要なことであるが，視対象が，どのくらいの速さで，どのくらいの距離動けば，運動印象を生じるのであろうか。

網膜上で実際に生じている像の変位に対して，運動の知覚を生じる最小の刺激値を運動閾という。これに関して，前額平行面上での2次元運動については多くの研究がなされてきたが，3次元運動については，組織的な研究は少ない。Baker & Steedman (1961) は，運動検出率75%を閾レベルとすると，視角で0.8' の変化で直線奥行き運動（前後運動）を知覚できるとした。Hills (1975) は，観察時間が2秒あれば，視角で1'の変化で奥行き運動を知覚できるといっている。また，CRT ディスプレイを用いた見かけの奥行き運動の実験からは，2秒の観察時間で奥行き運動を検出するためには，接近で 1.0 min/s (位置の変化 2min)，後退で1.5min/s (位置の変化 3min) の速度が必要であることがわかる (Harvey & Michon, 1974)．以上のように，奥行き運動の運動閾を表わす指標も研究者によって様々であるため，何を指標とするのが適切であるかを吟味する必要がある。

本実験では，奥行き運動の場合，運動閾を示すのに，何を指標とするのが最も妥当か，そして，その閾値はどのくらいかを，まず検討する。一般に我々は，近づいてくるものに対して敏感であるといわれるが，それは何に

よるのか。そこで，接近運動と後退運動の検出の比較も試みる。第3に，運動対象の網膜的位置，特に周辺視の問題も考えてみる。周辺視は，中心視と比べ，視力の低下が著しい。しかし，運動知覚に関しては，かなり敏感だといわれる。そこで，視力の低下に伴って運動閾はどう変化するのか，近刺激としての対象の網膜像の位置の変化がどのように奥行き方向の運動として知覚されるのかを検討する。

実　験　I

静止した観察者に対して前後に運動している対象の運動閾はどれくらいであろうか，対象の視角の変化量を基準にして測定する。また，接近運動と後退運動において，対象に同じ視角の差が生じた場合，閾値に差が見られるかどうか比較を行い，運動閾が，視角の変化量の関数として一元的に示されるものかどうかを検討する。なお，本実験では，刺激は，網膜の中心窩部分に与えられる。

1.　方法

＜実験 I—a＞

1—a．方法

1—a—1.　装置

観察対象は，完全暗室内で，観察者の視線上を前後に運動する2つの光点である。視標は直径5㎜，中心間間隔45㎜の水平2光点布置であり（観察距離128.9㎝の位置において視角2°を呈する），光源は赤色LED（STANLEY製）である。視標の輝度は 2.7cd/m² である。この視標は，リニアヘッド・リバーシブル・モータ（DO 725-241LM，オリエンタル・モータ製）によって駆動される。

視標の運動時間を統制するために，タキスト式プリセットタイマー（竹井機器製）を用いた。観察時間の統制のために被験者の眼前にシャッターをとりつけた。視標移動の際生じる雑音をマスクするために白色雑音を流したヘッドフォンを被験者に装着させた。

1—a—2.　被験者

慶應義塾大学心理学専攻の学部生1名，大学院生3名，教員1名の計5名。いずれも正常視力保有者（矯正を含む）。

1—a—3.　手続き

被験者は，所定の位置につき，あご台で頭部の位置を決めた後，提示された刺激を観察して，前後方向の運動が知覚されたか否かを報告する。運動が知覚された場合には運動方向を報告する。また，動いているのだが，方向がはっきりとわからない場合にはわからないと報告する。

視標は，128.9cm の位置から 4cm/s の定速度で接近方向と後退方向に運動し，視角の変化量は7段階（1′，2′，3′，4′，5′，6′，7′）設定した。よって，運動方向（2）×視角の変化量（7）×繰返し（5）＝計70試行となる。

刺激条件は被験者ごとにランダムに並べられた。

接近運動と後退運動は，同じ地点から前後に動かしたため，同じ視角の変化量を持つように動かしても，動いている軌道も，運動距離も異なる。実験は全て左眼単眼視で行われた。

＜実験 I—b＞

1—b．方法

1—b—1.　装置

実験I—aと同じ。

1—b—2.　被験者

慶應義塾大学心理学専攻の大学院生1名，実験I—aの経験者である。

1—b—3.　手続き

1セッションが，運動方向（2）×視角の変化量（7）×繰返し（5）＝計70試行を，3セッション行う。このため，変化させる1条件につき15回の繰返しをすることになり，実験I—aの5回の繰返しと合わせると，計20回の繰返しのデータを得ることになる。

2.　結果

被験者に求めた判断のうち，〝動いている〟と判断され，かつ方向が正しく報告されたものを，〝運動が検出された〟反応とする。Table 1 に条件内の全反応数（繰返し数）に占める運動が検出された割合とともに，各条件における，奥行き運動距離，運動時間，平均角速度を示した。Fig. 1 と Fig. 2 は，正規確率紙に，横軸に視角の変化量をとり，縦軸に運動が検出された割合をプロットしたものである。パラメータは運動方向である。

結果の処理において，運動が検出された割合が，0％，100％，という結果を有効に利用するために，最尤法を用いたプロビット分析を適用した。本来，プロビット分析を用いるためには，恒常法により，1人の被験者において，1つの変化刺激に対して20～100回の判断をとるか，あるいは，1つの変化刺激に対して，1人1回の判断で，20～100人の判断を一括してしまうかしなければならない。そこで，まず，実験I—aの単眼視条件による結果（1つの変化刺激に対して1人5回の判断をとり，5人の結果を一括したもの）と，実験I—bの結果（1つの変化刺激に対して1人の被験者から20回の判断を求めたもの）を正規確率紙にプロットした（Fig. 1,

Table 1. 各視角の変化量における，奥行き運動距離，運動時間，平均角速度，及び運動検出率を示す

	視角の変化量 (minutes)	奥行き運動距離 (cm)	運動時間 (seconds)	角速度 (min/s)	運動検出率(%) I-a	運動検出率(%) I-b
接近運動	1	1.0	0.275	3.64	4.0	20.0
	2	2.1	0.525	3.81	32.0	45.0
	3	3.1	0.775	3.87	56.0	70.0
	4	4.1	1.025	3.81	60.0	80.0
	5	5.1	1.275	3.92	96.0	95.0
	6	6.1	1.525	3.93	100.0	100.0
	7	7.1	1.775	3.94	100.0	100.0
後退運動	1	1.1	0.275	3.64	0	5.0
	2	2.2	0.550	3.64	8.0	10.0
	3	3.3	1.825	3.64	24.0	30.0
	4	4.5	1.125	3.56	40.0	50.0
	5	5.6	1.400	3.57	68.0	65.0
	6	6.8	1.700	3.53	88.0	80.0
	7	8.0	2.000	3.50	100.0	100.0

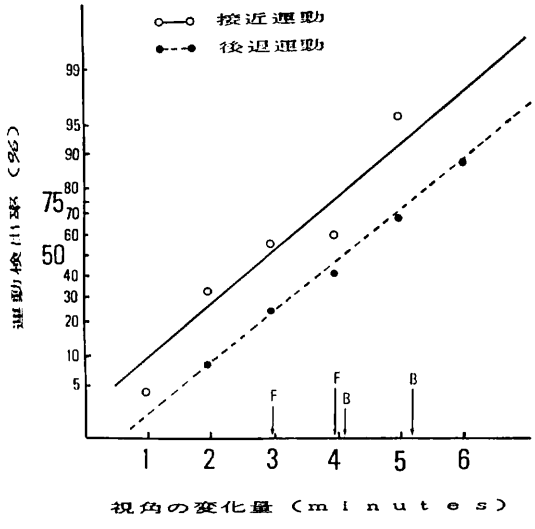

Fig. 1　単眼視条件における，視角の変化量の関数としての運動検出率を示す。刺激の大きさは2 deg.，運動速度は4cm/s である。
パラメータは運動方向である。各プロット点は，25回の観察によるものであり，これは5人の被験者が各5回の観察を行ったことによる。直線はプロビット分析によりあてはめた。グラフ中の矢印は運動検出閾を示しており（短い矢印は50%レベル，長い矢印は75%レベル），Fは接近運動を，Bは後退運動を示す。

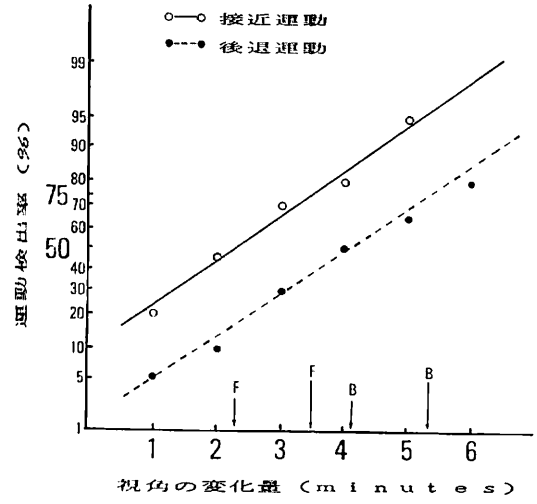

Fig. 2　単眼視条件における，視角の変化量の関数としての運動検出率を示す。刺激の大きさは2 deg.，運動速度は4 cm/s である。
パラメータは運動方向である。各プロット点は，1人の被験者による20回の観察によるものである。直線はプロビット分析によりあてはめた。グラフ中の矢印は運動検出閾を示しており（短い矢印は50%レベル，長い矢印は75%レベル），Fは接近運動を，Bは後退運動を示す。

Fig. 2)。それぞれの確率値には差があるが，横軸の視角の変化量に対する全体的な傾向と，パラメータである運動方向間の関係が，よく似ているので，両者をそれぞれプロビット分析にかけた。その結果得られた推定値を基に直線をあてはめたところ，接近運動の場合も，後退運動の場合も，勾配の差が0.11あるが，全体的な傾向はかなり近似している。以上のことから，本実験では1つの変化刺激に対して1人5回の判断を求め，5人の結果を一括するという変則的な方法に対しても，プロビット分析を適用し，閾値の推定を行うこととする。

視角の変化量が大きくなるほど，運動の検出率は高くなる。接近運動の方が後退運動よりも，検出率が高い。接近運動の方は，実験Ⅰ—a，Ⅰ—bのどちらにおいても，6′で運動検出率が100%になるが，後退運動では7′の変化で100%となる。また，Ⅰ—aにおいては，後退運動の場合，1′では運動検出率が0%である。

視角の変化量，奥行き運動距離，及び運動時間としての運動閾（検出率P＝50%，（　）内はP＝75%）とプロビット分析による標準偏差をTable 2 に示す。

被験者の内観報告によると，2点間の間隔が拡大・縮小することによって奥行き運動と判断した場合と，間隔の変化は感じられないが，動いたという印象がある場合

Table 2. 視角の変化量，奥行き運動距離，運動時間を指標とした運動閾（検出率P＝50%，（　）内はP＝74%）及び標準偏差を示す

		視角の変化量 (min)		奥行き運動距離 (cm)		運動時間 (s)	
		接近	後退	接近	後退	接近	後退
I-a	運動閾	3.02	4.21	3.11	4.73	0.79	1.18
		(4.01)	(5.25)	(4.11)	(5.92)	(1.04)	(1.48)
	標準偏差	1.47	1.53	1.48	1.77	0.37	0.44
I-b	運動閾	2.30	4.13	2.37	4.64	0.60	1.16
		(3.48)	(5.37)	(3.57)	(6.06)	(0.90)	(1.52)
	標準偏差	1.75	1.84	1.78	2.11	0.44	0.53

とがあったようである。また，運動が長く持続しているという印象はなく，運動開始時点と思われる時点で，運動しているかどうか判断したという被験者もあった。

3.　考察

視角の変化量が大きくなるほど，運動の検出率が高くなることから，奥行き運動の知覚には，視角の変化量が大きな手がかりになると考えられる。

また，運動方向による運動検出に差がみられる。すなわち同じ視角の変化をもたせても，後退運動の方が，奥行き運動距離も長く，運動時間も長いにもかかわらず，接近運動よりも運動検出率が低い。奥行き運動の場合，視角の変化の特性により，ある地点から，同じ距離・同じ速度で前後に動かしても，角速度，すなわち，単位時間当たりの刺激の視角（大きさ）の変化量は，少しづつ違っていく。このようなことから，視角の変化量のみならず，角速度が，大きな手がかりになっていると考えられる。単眼視の場合，両眼輻輳のような奥行き手がかりもないため，角速度の差が，運動方向における運動検出の差をひきおこしたと思われる。本実験では，視角の変化量としての運動閾は，接近運動で 3.02′，後退運動で 4.21′となった。先行研究と比較してみると，Baker & Steedman は約 1′(速度は約8cm/s)，Hills は 1′(提示時間2秒)，Harvey & Michon は接近で 2′（速度は 1.0min/s)，後退で3′(速度は 1.5min/s) となっており，これらよりもやや高くなっている。

奥行きに対象が運動する場合，2次元運動と異なり，網膜上での位置の変化のみならず，像の大きさが変化する。そのため，刺激の大きさ，観察距離，運動速度によって，網膜像の大きさの時間的な変化の割合に差が生じる。また，奥行き運動によって，網膜像の大きさに実際に変化が生じても，知覚される対象の大きさは変化せず，極めて安定した知覚が生じるという，大きさの恒常性の問題も関わってくる。以上のことから，観察条件に依存して，奥行き運動の閾値に差が生じることも当然のことと考えられる。しかし，それぞれの閾値に絶対値に違いはあるが，接近運動の方が後退運動よりも運動閾が低いということは明らかである。

実　験　II

実験Ｉでは，速度を一定にして，視角の変化量を指標とし，奥行き運動閾を測定し，接近・後退運動間の比較を試みた。還元視条件の下では，奥行き運動において，観察者に直接与えられる情報は，網膜像の大きさの時間的な変化のみであるため，対象の運動速度及び角速度は重要な規定要因になる。そこで，本実験では，運動速度を変数として，これが運動閾に及ぼす影響を検討する。

1.　方法

1—1. 装置

実験Ｉと同じ。

1—2. 被験者

慶應義塾大学心理学専攻の学部生３名，大学院生２名の計５名。いずれも正常視力保有者（矯正を含む）。うち，学部生１名と大学院生１名は，実験Ｉの経験者である。

1—3. 手続き

被験者は，所定の位置につき，提示された刺激(視標)を観察し，前後方向の運動が知覚されたか否かを報告する。報告の方法は実験Ｉと同じ。

視標は，128.9cmの位置から定速度で接近方向と後退方向に運動する。運動速度は３条件 (2cm/s, 4cm/s, 8cm/s) 設定した。視角の変化量は，各運動速度について，それぞれ以下のように設定した。

2cm/s：3′，4′，5′，6′，7′

4cm/s：2′，3′，4′，5′，6′

8cm/s：2′，3′，4′，5′

奥行き運動速度をそれぞれ角速度に換算すると，2cm/s の場合，接近で約1.9min/s，後退で約1.8min/s，4cm/s の場合，約 3.8min/s と 3.6min/s，8cm/s の場合，約7.6min/s と 7.1min/s である。

１セッションは，運動方向(２)×視角の変化量（5＋5＋４）×繰返し(３)＝計84試行である。各被験者は２セッションの実験に参加するので，繰返し計６回ということになる。実験は全て左眼単眼視で行われた。

2.　結果

実験Ｉと同様に，運動が検出された割合を求め，

Table 3.
各視角の変化量における運動検出率を運動速度別に示す

	視角の変化量 (minutes)	運動検出率 (%)		
		2 cm/s	4 cm/s	8 cm/s
接近運動	2	—	23.3	43.3
	3	30.0	53.3	70.0
	4	53.3	63.3	83.3
	5	66.7	86.7	100.0
	6	76.7	100.0	—
	7	90.0	—	—
後退運動	2	—	20.0	40.0
	3	23.3	30.0	60.0
	4	43.3	53.3	73.3
	5	50.0	66.7	96.7
	6	66.7	96.7	—
	7	90.0	—	—

Table 4. 視角の変化量，奥行き運動距離，運動時間を指標とした運動閾（検出率P＝50%，（　）内はP＝75%）及び標準偏差を示す

		視角の変化量 (min)		奥行き運動距離 (cm)		運動時間 (s)	
		接近	後退	接近	後退	接近	後退
2 cm/s	運動閾	4.05	4.67	4.15	5.26	2.09	2.63
		(5.64)	(6.20)	(5.74)	(7.03)	(2.88)	(3.51)
	標準偏差	2.36	2.26	2.36	2.63	1.17	1.31
4 cm/s	運動閾	3.13	3.79	3.23	4.23	0.81	1.06
		(4.21)	(4.97)	(4.32)	(5.58)	(1.09)	(2.63)
	標準偏差	1.61	1.76	1.61	2.01	0.41	0.50
8 cm/s	運動閾	2.27	2.55	2.38	2.82	0.30	0.35
		(3.29)	(3.70)	(3.39)	(4.13)	(0.43)	(0.52)
	標準偏差	1.51	1.70	1.51	1.94	0.19	0.24

Table 3 に示す。Table 4 には，視角の変化量，奥行き運動距離，運動時間としての運動閾（検出率P＝50%（　）内はP＝75%）と，プロビット分析による標準偏差を示す。

視角の変化量が大きくなるほど，運動の検出率は高くなり，どの運動速度においても，後退運動よりも，接近運動の方が検出されやすい。接近運動においては，4cm/s で6′で，8cm/s で5′で，すでに運動検出率は100%になっている。

視角の変化量が同じならば，運動速度が速いほど，運動検出率が高いことがわかる。また，運動速度が速くなるに従って，分散が大きくなっている。その分散の変化は，4cm/s から8cm/s に速度が増大するよりも，2cm/s から4cm/s に増大するほうが大きい。

同じ距離動いたならば，後退よりも接近が，そして，速度が速い方が，検出率が高い。

運動時間からみても，同じ時間動いていたなら，接近の方が，そして，速度が速い方が検出率が高い。

速度が遅い場合は，奥行き運動距離や運動時間が長くなっても運動方向間の差は小さいが，速度が速くなると，奥行き運動距離や運動時間の長さに伴って，運動方向間の差が大きくなる傾向がある。

3. 考察

同じ視角の変化量をもったときに，速度が速いほど運動検出率が高いことから，運動の知覚は，単に視角の変化量に規定されるのみならず，単位時間あたりの視角の変化（角速度）に強く規定されることがわかる。

同様に，同じ奥行き運動距離をもった場合でも，速度が速いほど運動検出率が高い。例えば，接近運動の場合，視角の変化量が4′，すなわち，奥行き運動距離が4.1cmの時，2cm/sでは検出率は53.3%しかないのに，8cm/sでは83.3%を示している。運動時間についても同様である。同じ速度であれば，視角の変化量が大きいほど，あるいは運動時間が長いほど，あるいは奥行き運動距離が長いほど運動検出率が高いにもかかわらず，このような結果をもたらしたということから，運動の知覚を規定するこれらの要因の中でも，運動速度，特に角速度が最も重要な要因であるといえる。

次に，接近・後退運動の検出率の比較をしてみる。同じ視角の変化量をもたせたとき，奥行き方向の視角の特性により，後退運動の方がより多くの運動距離と運動時間をもつことになる。単純に考えれば，後退運動の方が，運動の検出にとって，有利な条件であるが，接近運動の方が，少しの動きでより大きな視角の変化をもつことも同時に示している。従って，同速度で動けば，角速度も，後退運動よりも大きい。このことから，接近運動の検出率が高いことは，角速度が強く影響していると考えられる。対象が前後運動することによって，網膜に与えられる情報の違いは，単に，2光点間の距離の拡大・縮小及び速度のみならず，角速度が加速的に変化しつつ拡大するか，または，減速的に変化しつつ縮小するかということも含まれるのである。

もし，角速度が，運動方向間の検出率の差をひきおこしているとすれば，等しい角速度であれば，両者は同じように検出されるのであろうか。また，等速で対象の大

きさが変化したときでも，拡大と縮小の間に，大きさ，または2光点間の距離の変化の知覚のされやすさに違いがないかということも問題となる。以上の点を考慮してさらに検討する必要がある。

実　験　III

実験Ⅰ及びⅡでは，視標を注視するようにというインストラクションであり，特に凝視点を定めなかった。おそらく水平2光点布置の2点間の中心を凝視点と仮定し，両点を均等に観察していたと思われる。そのため，2光点は，ほぼ中心窩に落ちていたと考えられる。それでは，中心窩からはずれると，閾値に変化がみられるだろうか。

周辺視は中心視に比べて視力の低下が著しいが，一方，運動の検出に関してはかなり敏感であるといわれる。本実験の如く，単に奥行き運動の検出のみならず，その方向を含めた運動閾における，中心視と周辺視とを比較検討した研究は少ない。

そこで，2光点の1点を凝視点とし，他方を中心窩からはずすことによって，周辺視での運動の検出について検討する。

1.　方法

1—1. 装置

実験Ⅰとほぼ同じ。ただし，視標は水平2光点布置の中心間間隔が5段階（1°，2°，3°，4°，5°）に変えられるようにした。

また，視野を統制するために，シャッターの後方（観察者から向かって）に，スリットを入れた板を置いた。

1—2. 被験者

実験Ⅱと同じ。

1—3. 手続き

被験者は，所定の位置につき，向かって右側の光点を左眼で観察したときの視線が，水平かつ前額平行面と直角をなすように，頭部の位置を決める。

被験者は，提示された刺激の向かって右側の光点を凝視点として観察し，前後方向の運動が知覚されたか否かを報告する。報告の方法は，実験Ⅰと同じ。

視標は，128.9cmの位置から，接近方向と後退方向に運動する。視標の大きさは4条件（1°，2°，4°，5°）設定され，視角の変化量は以下のように設定された。

1°：1′，2′，3′，4′，5′，6′

2°：2′，3′，4′，5′，6′，7′

4°：5′，6′，7′，8′，9′，10′

5°：6′，7′，8′，9′，10′，15′

運動速度は4cm/sで一定とした。角速度に換算すると，刺激の大きさが1°のときは，接近で約2.0min/s，後退で約1.7min/s，2°のとき，約3.8min/sと3.6min/s，4°のとき，約7.7min/sと7.2min/s，5°のとき，約9.7min/sと8.9min/sとなる。

刺激の大きさの条件別に，独立したセッションで実験を行ったため，各被験者が4セッションの実験に参加した。各セッションは，運動方向(2)×視角の変化量(6)×繰返し(5)＝計60試行となる。4セッションの実施順序は被験者間でカウンターバランスされ，1セッション内の刺激条件は，被験者ごとにランダムにされた。すべて左眼単眼視。左眼で水平2光点布置の右側の点を凝視するので，左側の光点は，中心窩から鼻側の周辺部におちることとなる。この側には盲点が存在するが，最も大きい5°の刺激が，条件中で最大の視角をもつように運動したときでも，盲点におちることはない。

2.　結果

実験Ⅱと同様に，Table 5とTable 6に結果を示す。

Table 5.　各視角の変化量における運動検出率を刺激の大きさ別に示す

	視角の変化量 (minutes)	運動検出率 (%) 1°	2°	4°	5°
接近運動	1	32.0	—	—	—
	2	52.0	16.0	—	—
	3	68.0	36.0	—	—
	4	88.0	52.0	—	—
	5	92.0	68.0	20.0	—
	6	100.0	92.0	48.0	36.0
	7	—	100.0	60.0	48.0
	8	—	—	64.0	60.0
	9	—	—	76.0	68.0
	10	—	—	84.0	80.0
	15	—	—	—	96.0
後退運動	1	28.0	—	—	—
	2	40.0	36.0	—	—
	3	68.0	40.0	—	—
	4	84.0	68.0	—	—
	5	84.0	76.0	24.0	—
	6	100.0	88.0	44.0	36.0
	7	—	100.0	48.0	48.0
	8	—	—	64.0	56.0
	9	—	—	80.0	64.0
	10	—	—	88.0	80.0
	15	—	—	—	96.0

Table 6. 視角の変化量，奥行き運動距離，運動時間を指標とした運動閾（検出率P＝50%，（　）内はP＝75%）及び標準偏差を示す

		視角の変化量 (min)		奥行き運動距離 (cm)		運動時間 (s)	
		接近	後退	接近	後退	接近	後退
1deg.	運動閾	1.93	2.27	3.96	5.15	0.99	1.29
		(3.29)	(3.68)	(6.60)	(8.54)	(1.65)	(2.14)
	標準偏差	2.01	2.10	3.91	5.03	0.95	1.26
2deg.	運動閾	3.81	3.15	3.91	3.51	0.98	0.88
		(4.99)	(4.69)	(5.09)	(5.27)	(1.28)	(1.32)
	標準偏差	1.76	2.28	1.76	2.62	0.44	0.66
4deg.	運動閾	6.73	6.83	3.47	3.81	0.87	0.95
		(8.80)	(8.69)	(4.50)	(4.86)	(1.13)	(1.22)
	標準偏差	3.06	2.76	1.53	1.56	0.38	0.39
5deg.	運動閾	7.21	7.33	2.98	3.28	0.75	0.82
		(9.53)	(9.76)	(3.91)	(4.37)	(0.98)	(1.09)
	標準偏差	3.44	3.61	1.38	1.62	0.34	0.41

まず，2光点の1点を注視して観察した場合でも，これまでの自由視での結果と同様に，視角の変化量が大きく，奥行き運動距離が長く，運動時間が長いほど，運動の検出率が高いといえる。

同じ視角の変化が生じた場合には，刺激の大きさが大きくなるほど，すなわち，凝視点でない左側の点が中心窩から偏心する度合いが大きくなるほど，運動の検出される割合が低くなる。また，1°と2°，4°と5°が，それぞれよく似た傾向を示している。

1°の場合，やや接近運動の方が検出率が高い。4°，5°の場合，運動方向間には，ほとんど差がないといってよい。2°の場合，6′で接近運動の方で検出率が高いだけで，1′～5′までは，すべて後退運動のほうが検出率が高い。

奥行き運動距離及び運動時間からみると，同じ距離，あるいは同じ時間動いたとすると，光点間の距離が大きいほうが，検出されやすいといえる。これは，視角の変化の特性により，視角が大きい方が，わずかの奥行き運動でも，より大きな視角の変化をもつことによる。

3. 考察

まず，同じ刺激(2°)において，凝視点の有無が，視角の変化量としての運動閾にどのように影響するかを全実験を通してみてみる。

	接近	後退
実験Ⅰ	3.02′	4.21′
実験Ⅱ	3.13′	3.79′
実験Ⅲ	3.81′	3.15′

2光点の右側を凝視点とし，左側を中心窩の周辺部におとすことにより，接近運動の運動閾は上昇し，後退運動の運動閾は，低くなった。実験Ⅰ，Ⅱのように，凝視点を定めなかった場合は，おそらく2光点間の中心を見ていたと考えられる。その場合，2光点間の間隔の変化からみると，左右が同じように，中心に向かって近づいたり，遠ざかったりする印象があったはずである。このとき，接近運動の方が検出率が高いということは，加速的に2点間が拡大していくという，角速度による影響を強く受けていたと考えられる。実験Ⅲのように，片側を注視すると，もう一方は中心窩より2°外側におちることになる。このときに，後退運動の方が検出されやすいということは，角速度ではなく，左側の点が凝視点に向かってくるようにみえるか，遠ざかるように見えるかということに規定されるのではないかと考えられる。すなわち，中心窩より，やや外れると，角速度の差があまり大きくなければ，（ここでは，2′の変化で接近で3.81min/s，後退で3.64min/s，5′の変化で3.92min/sと3.57min/s），中心窩に向かってくる運動の方がより検出されやすいのではないかと考えられる。このように考えると，実験Ⅰ，Ⅱにおいて，接近運動の方が検出されやすいという結果を説明する場合に，角速度のみでなく，2光点がそれぞれ外側に向かう運動の方が検出されやすいというような，運動の方向性も合せて考えなければならないだろう。

1°の場合，やや接近運動の方が検出率が高かったのは，2光点が両方とも中心窩におちたため，左側の光点の中心窩の中心からの偏心の度合いが，実験Ⅰ，Ⅱとほぼ同じになったため，同様の結果となったと考えられる。

4°，5°については，運動方向間の検出率にはほとんど差がみられないことから，このような偏心率においては，視角の変化量に規定されやすいのではないかと考えられる。また，前額平行面上に，凝視点と運動光点を提示し，運動光点を等速で左右に動かし，凝視点に近づく運動と遠ざかる運動のどちらが検出されやすいかを調べた研究がある。それによると，凝視点から5°離れた位置から動かした場合では，凝視点に近づく運動の方が検出されやすい (Ehrenstein et al, 1986) というものと，どちらもほぼ同じ (Ball & Sekuler, 1980) というものの，2つの異なる結果が存在する。結果のみで比較すれば本実験は Ball らの結果と一致する。しかし，これら2つの実験は2次元上の等速運動であるため，角速度が一定であるので，本実験のように刻々と角速度が変化し

ていく奥行き運動とは，網膜に与えられる情報が異なる。よって，単純に比較することは難しいので，この問題に関してはさらに検討しなければならない。

刺激の片側の点が中心窩から偏心する度合いが大きくなるほど，運動閾が高くなることは，視力の低下とも関係するかもしれない。視力（解像力）と運動検出力は全く同じものといえないので，両者の対応について明らかにするためには，さらに広い範囲の偏心率のもとで調べる必要がある。

結　　論

本実験では，中心間間隔が2°の水平2光点布置を4cm/sの速度で前後方向に動かし，視角の変化量としての運動閾として，接近で3.02′，後退で4.21′を得た。この結果は，Baker & Steedman や Hills が示した1′よりはやや高いが，運動方向別に閾値を示した Harvey & Michon による，接近で2′，後退で3′の結果にほぼ対応する。よって，視角の変化量としての奥行き運動閾は，接近で1′～2′，後退で3′～4′と考えてよいであろう。しかし，奥行き運動の運動閾を問題にする場合，視角の変化量だけでは不十分であり，角速度の影響も重要である。本実験では，角速度を独立変数として扱っていないので，はっきりしたことはいえないが，1.9min/sならば約2s，3.87min/sならば約0.8s，7.6min/sならば約0.3sの運動時間で運動が検出される。運動閾の指標となるものとして，その他，奥行き運動距離，運動時間が考えられるが，奥行き運動する対象を観察するときに網膜上に直接与えられる情報という点から考えてみても，視角の変化量と角速度を指標にするのが最も適当と考えられる。

刺激の大きさが大きくなる（運動開始時点での刺激の視角が大きくなる）と，視角の変化量としての運動閾は上昇することが実験Ⅲから得られた。これらを，運動検出率50%の閾レベルに達したときの視角の変化量は，刺激の大きさが何%変化したものであるのかといった見方をすると，接近運動では2.40～3.22%に，後退運動では2.44～3.78%におさまる。Steedman & Baker (1962) も，奥行き方向に対象を運動させ（40′の大きさの刺激を8.4cm/sで動かす），40′の2%すなわち0.8′の視角の変化で奥行き運動を知覚するという結果を得た。そして，この結果から，刺激の大きさや運動速度を変えたときに，2%という一定の割合の変化で説明可能か，0.8′という絶対値で説明可能かという問題をとりあげ，この2者の中間の値になることを示している。このように，刺激の大きさ（運動開始時の刺激の視角）の変化に伴う閾値の変化を，絶対値としてとらえるか，相対値としてとらえるかということも，重要な問題としてさらに検討する必要がある。

接近運動と後退運動の検出率の差については，接近運動の方が検出率が高いという結果が得られた。接近運動と後退運動によって網膜に与えられる情報の違いは，単なる像の拡大・縮小ではなく，加速度をもった拡大・縮小なのである。角速度が加速的に変化しつつ大きくなる方が，受ける印象も大きいということが考えられる。従って，この2方向間の検出の差は，角速度に強く規定されているといえる。

中心窩の部分については以上のことがいえるが，中心窩から外れると，実験Ⅲの結果より，視角の変化量や角速度以外の要因も関係してくると思われる。本実験の結果は，網膜上の位置によって，運動検出率の運動方向間（接近・後退）の差に，違いがみられるということは示唆している。しかし，さらに周辺部にいくとどのようになるのであろうか。2次元上での等加速度運動の研究においては，10°，15°の周辺視になると，凝視点から離れる運動の方が知覚されやすいことが示されている (Ball & Sekuler) が，奥行き運動の場合はどうであるか，さらに組織的な今後の研究を待たねばならない。

引　用　文　献

Baker, C. A., & Steedman, W. C. (1961). Perceived movemet in depth as a function of luminance and velocity. *Human Factors*, *3*, 166–173.

Ball, K., & Sekuler, R. (1980). Human vision favors centrifugal motion. *Perception*, *9*, 317–325.

Ehrenstein, W.H., Mateeff. S., & Hohnsbein, J. (1986). Foveopetal motion is easier to detect. *Perception*, *12*, 1, A10.

Harvey, L. Q. Jr., & Michon, J. A. (1974). Detectability of relative motion as a function of exposure duration, angular separation and background. *Journal of Experimental Psychology*, *103*, 2, 317–325.

Hills, B. L. (1975). Some studies of movement perception, age and accidents, report SR137, Department of the Environment, TRRL, Crowthorne, Berks.

Steedman, W. C., & Baker, C. A. (1962). Perceived Movement in depth as a function of stimulus size. *Human Factors*, *4*, 349–354.