

運動における知覚過程と運動過程の相互関係に 関する実験的研究

松田 岩男 佐久間 春夫*

An Experimental Study on the Interrelationship Between Perceptual- and Motor-Process of Motor Behavior

Iwao MATSUDA and Haruo SAKUMA*

In analyzing the interrelationship between perceptual- and motor-process of motor behavior, two experiments were attempted.

In experiment I, in order to investigate perceptual-process interprocessing of the different kind of sensory information, predictions based on the model advanced by Connolly & Jones (1970) were examined: 64 subjects were randomly assigned to four different groups, immediate recall group, 10-sec. delay recall group, 10-sec. reverse-counting group, 10-sec. delay instruction recall group. Using linear positioning task, they were asked to recall the standard stimuli under four sensory conditions V—V, V—K, K—K, K—V.

The results partly confirmed previous findings about the properties of VSTM and KSTM under the only longer standard stimuli conditions. The hypothesis that translation takes place before storage under V—K and K—V conditions was suggested.

In Experiment II, in order to investigate the effect of the disturbance (reverse-counting) on the perceptual-motor coordination process in continuous motor task, pursuit tracking task was used. Two subjects performed a pursuit tracking task concurrently with reverse-counting. The input was a single sine wave and six frequencies ranging from 0.05 Hz to 1.2 Hz were used. Real Time Correlator and Fourier Transform apparatus were employed to obtain power density spectra in the frequency domain of the input, and to obtain cross-power density spectra between input and output. These data were expressed on a Bode plot. The results indicated that only phase lag was sensitive to the simultaneous task.

Furthermore in the tracking performance data without reverse-counting task only linear term was significant in the orthogonal polynomial. But, since in the tracking performance data with reverse-counting task quadratic term was significant, the quadratic curve was drawn through plotted data on a Bode plot.

体育・スポーツ場面では、連続的かつ不連続的に時々刻々と変化する状況からの同時的、継時的情報に対し、敏速かつ適確な認知判断、目的達成に最も適切な手段の探索決定、自己の身体運動の高度な制御、そして周囲の状況の操作などが求められる。

この種の運動に関する研究方法は、1960年を境として急激な変化をきたしたことを Pew (1974) や Schmidt (1975) が指摘している。1960年以前は、Hull (1943) の理論にみられるように、“グローバル”な運動学習理論に基づく研究が多く、運動学習や運動パフォーマンスに及ぼす多くの独立

* 筑波大学大学院博士課程体育学研究科 (Doctor's Program of Health and Sport Science, The University of Tsukuba)

変数の効果は検討されているが、運動を可能とする個人の内的変化に対する関心は払われていない。

しかし、1960年以降は、情報理論や制御理論の概念の適用により、個人が運動課題を行ったり、学習したりする際に生じる種々の過程についての疑問が提起され、Adams の閉回路理論にみられるように、知覚過程と運動過程の相互関係を明らかにしようとする、いわゆる “プロセス指向的” 研究が盛んとなってきている。

本論文では、主に知覚過程における異なる感覚様相からの情報がどのような過程を経て処理されるかという問題について実験 I で検討を行う。次に、実験 II では、課題遂行中に別の課題を課すことによって、知覚-運動協応過程における外乱 (disturbance) の効果の検討を行う。

実験 I

目的

異種感覚情報の相互処理あるいは統合、とりわけ視覚系と運動感覚系とのそれは、随意運動のコントロールに重要な役割を果すと考えられる。

図1-1 のモデルは、Posner (1966, 1967) の見出した、把持間隔の関数として忘却を示す運動感覚短期記憶 K S T M と精神課題の挿入によって忘却を示す視覚短期記憶 V S T M の機能上の差異に着目して、Connolly と Jones (1970) が提起したものである。このモデルは、情報の与えられる入

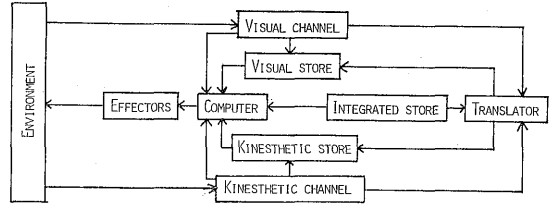


Fig. 1-1. Diagrammatic model for inter-processing of the different kinds of sensory information. (From Connolly, K. & Jones, B., 1970).

力側と再生を行う出力側とで感覚様相が異なる場合、入力情報が早期に出力情報に translate され、出力側の記憶貯蔵に入るが故に、把持パターンは出力側の 特徴を表わすことを示している。しかし、translate する時期が遅い場合、即ち、再生すべき出力側の感覚様相が再生直前まで不明な場合には、入力側の記憶貯蔵の特徴を示すことが考えられる。本実験では、Connolly 等のモデルの検証を行うと共に、このことを明らかにすることを目的とする。

方法

課題は、視覚的あるいは運動感覚的に提示された線分の長さの視覚的あるいは運動感覚的再生であり、図1-2 に示す装置を製作した。本装置は、視覚刺激提示部と運動感覚刺激提示部から成る。視覚刺激は、装置の後部から一定の速さで実験者がスケール上のシャッターを移動させることによ

Table 1-1. Mean absolute recall error for each conditions

Group	S. C.		V—V				V—V			
	C. L.		50	100	150	200	50	100	150	200
Immediate recall group			3.31	4.19	6.00	9.06	11.56	11.00	13.38	16.63
10-Sec. delay recall group			2.69	6.38	7.25	9.25	11.94	12.00	16.19	18.75
10-Sec. reverse counting group			4.69	7.56	11.88	17.25	14.00	13.81	16.44	15.44
10-Sec. delay Instruction recall group			3.19	7.75	10.13	10.19	11.94	11.94	13.75	16.31

Note.—Error is measured in mm.. V—V: Visual-Visual; V—K: Visual-Kinesthetic; K—V: Kinesthetic-S.C.: Sensory Condition; C.L.: Criterion Length.

って与えられる、被験者は常にのぞき窓に顔をつけている。運動感覚刺激は、レール(長さ420 mm)上のツマミの移動で行われる。なお、運動感覚課題遂行中でも、被験者はのぞき窓に顔をつけており、このツマミや被験者自身の手腕の動きを見ることはできない。刺激提示時間は5秒である。

被験者は東教大学生64名で、ランダムに後述する4群に分け、それぞれ4水準から成る標準刺激要因(50 mm, 100 mm, 150 mm, 200 mm)と感覚様相要因(視覚提示—視覚再生, V—V; 視覚提示—運動感覚再生, V—K; 運動感覚提示—視覚再生, K—V; 運動感覚提示—運動感覚再生, K—K)との組み合わせから成る1ブロック16試行を2ブロック行う。実験条件群は、①直接再生群、②10秒休息群(10秒後に再生)、③10秒逆算群(10秒間100から3ずつ逆算した後再生)、④10秒後教示再生群(標準刺激提示10秒後の再生直前に、再生すべき感覚様相が告げられ

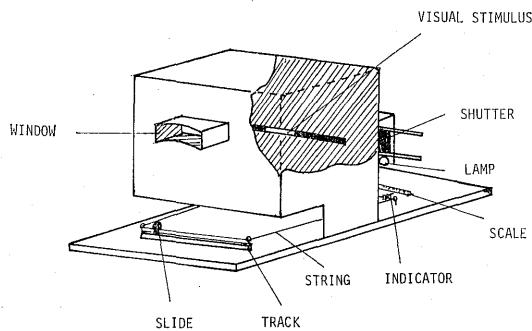


Fig. 1-2. Experimental apparatus.

K—V				K—K			
50	100	150	200	50	100	150	200
6.38	11.31	11.88	14.81	6.19	8.69	10.38	10.31
4.88	10.50	14.81	16.25	8.94	10.24	11.69	12.25
6.88	12.81	23.94	26.38	10.00	10.50	11.38	11.56
8.88	14.56	22.13	23.38	9.13	12.38	13.12	14.44

Visual; K—K: Kinesthetic-Kinesthetic.

る), の4群であり、①, ②, ③群は、標準刺激が提示される前に、再生すべき感覚様相が告げられる。

なお、試行間隔は20秒、ブロック間隔は4分である。

結果と考察

表1-1 は、各条件群の絶対誤差の平均を示す。

1) 分析 1. 把持間隔の関数としてのKSTM系における絶対誤差の比較検討を行う為、直接再生群と10秒休息群についてみる(図1-3)。2(条件群)×4(感覚条件)×4(標準刺激)の3要因分散分析を行うと、感覚条件 [$F(3, 3) = 101.86, P < .01$] と標準刺激 [$F(3, 3) = 52.09, P < .01$] の主効果に有意な差がみられ、すべての条件を統合した場合、絶対誤差の大きさは感覚条件により異なること、さらに、標準刺激の長さにより異なることを示している。

そこで、各条件群ごとに4(感覚条件)×4(標準刺激)の2要因分散分析を行う。まず、直接再生群では、感覚条件 [$F(3, 45) = 12.62, P < .01$] と標準刺激 [$F(3, 45) = 167.06, P < .01$] の主効果に有意な差がみられ、さらに検定を行った結

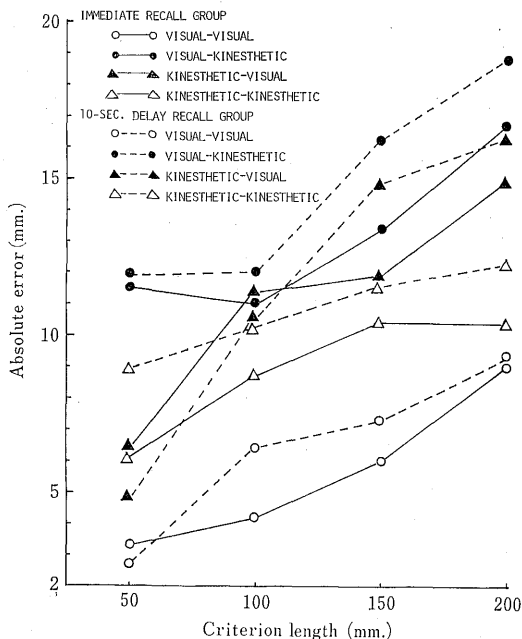


Fig. 1-3. Absolute error as a function of the retention interval.

果, 最も短い標準刺激と長いそれとにおいて, V-KがV-Vよりも1%レベルで有意に大きな誤差であることを示している。同様に, 10秒休息群でも, 感覚条件 [F (3, 45) = 11.66, P < .01] と標準刺激 [F (3, 45) = 15.50, P .01] の主効果に有意な差が見られた。さらに検定を行った結果, 最も短い標準刺激と長いそれとにおいて, V-KがV-Vよりも有意に大きな誤差を示している。

モデルからは, 把持間隔の増加関数としてのKSTMの忘却がK-KとV-Kにおいて予測されたが, すべての標準刺激においてその傾向は示すものの, 有意な差は得られない。また, 同一群内におけるK-VとV-Kの絶対誤差の比較では, モデルから予測されるように, V-KがK-Vよりも大きな誤差を示すものの有意に異なるものではない。

2) 分析 2. 精神課題の挿入によるVSTM系の絶対誤差の増加の検討を行う為, 10秒休息群と10秒逆算群についてみる (図1-4)。分析1と同様に, 2(条件群)×4(感覚条件)×4(標準刺激)の3要因分散分析を行う。条件群 [F (1, 480) = 11.91, P < .01] と標準刺激 [F (3, 3) = 41.78, P < .01] の主効果と, 感覚条件と条件群 [F (3, 480) = 3.85, P < .05] の交互作用に有意な差がみられ, すべての条件を統合した場合, 10秒逆算群が10秒休息群よりも大きな絶対誤差をもたらし, 標準刺激の長さにより絶対誤差が異なること示している。さらに, 条件群間の4つの感覚条件の絶対誤差に違いのあることを示している。

そこで, 10秒逆算群について4(感覚条件)×4(標準刺激)の2要因分散分析を行うと, 感覚条件 [F (3, 45) = 7.16, P < .01] および標準刺激 [F (3, 45) = 15.56, P < .01] の主効果に有意な差がみられた。さらに検定を行った結果, 50 mm でV-KがV-Vよりも, 200 mm ではK-VがK-Kよりも5%レベルで有意に大きな絶対誤差を示している。

次に, 2(条件群)×4(感覚条件)の2要因分散分析を各標準刺激の長さごとに行うと, 150 mm ではK-Vでのみ, 200 mm ではV-VとK-Vで, 10秒逆算群の方が, 10秒休息群よりも

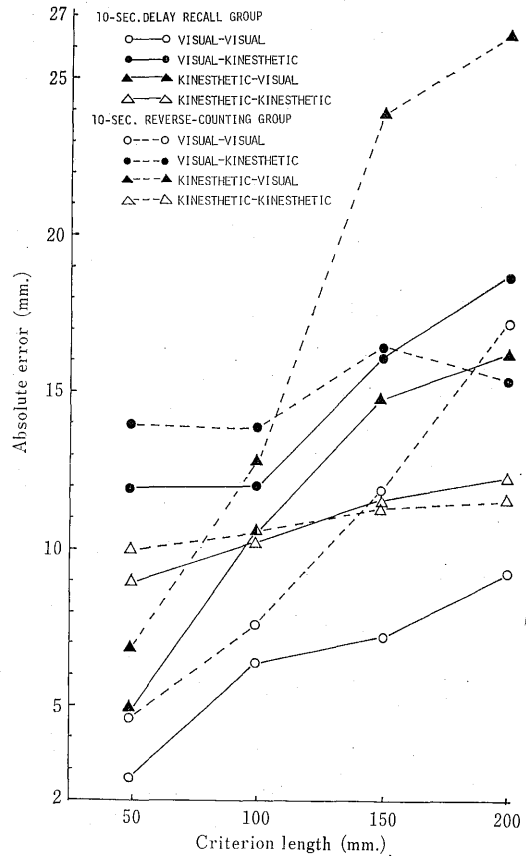


Fig. 1-4. Absolute error as a function of the interpolated task.

5%レベルで有意に大きな絶対誤差を示している。

モデルからは, K-KとV-Kでは両群に絶対誤差の有意な差はみられないが, V-VとK-Vで, 10秒逆算群の方が10秒休息群よりも有意に大きな絶対誤差を示すことが予測される。150 mmと200 mmでのみ両群間に有意な差がみられ, このことは, 入力情報がすぐに translate され出力側の感覚様相の記憶貯蔵に入ること示すと考えられる。さらに, 同一群内においては, 10秒休息群でV-KがK-Vよりも, 10秒逆算群ではそれと反対にK-VがV-Kよりも有意に大きな絶対誤差が予測されるが, 標準刺激の長い方でこの傾向がみられる。

3) 分析 3. 再生すべき出力側の感覚様相が不明の場合, 入力側の記憶貯蔵の把持特徴を示すことを明らかにする為, 10秒休息群と10秒後教示再

生群との比較を行う (図1-5)。

2(条件群)×4(感覚条件)×4(標準刺激)の3要因分散分析を行う。条件群 [F(1, 480) = 5.79, P < .01] と標準刺激 [F(3, 3) = 279.85, P < .01] の主効果, さらに, 条件群と感覚条件 [F(3, 480) = 3.93, P < .01] の交互作用に有意な差がみられる。すべての条件を統合した場合, 絶対誤差は標準刺激の長さにより異なり, そして条件群において差のあることを示している。さらに, 条件群間の4つの感覚条件の絶対誤差に違いのあることを示している。

そこで, 10秒後教示再生群について4(感覚条件)×4(標準刺激)の2要因分散分析を行う。感覚条件 [F(3, 45) = 8.39, P < .01] と標準刺激 [F(3, 45) = 8.68, P < .01] の主効果に有意な差がみられ, さらに検定を行った結果, 50 mm ではV-KがV-Vよりも, 150 mm, 200 mm ではK-VがV-Vよりもそれぞれ5% レベルで有意に大きな絶対誤差を示している。

次に, 各標準刺激について2(条件群)×4(感覚条件)の2要因分散分析を行うと, 150 mm と200 mm でK-Vにおける有意な群間の絶対誤差の相違が見出され, 1% レベルで10秒後教示再生群が10秒休息群よりも有意に大きな絶対誤差を示している。

仮説からは, V-VやK-Kにおいてはそれぞれの入力側の貯蔵系に入るので, 両群の絶対誤差には差はなく, V-KやK-Vで両群に差が見られることが考えられる。10秒後教示再生群では, 再生の感覚様相が後で告げられるために, 入力情報は, 入力側の貯蔵系に入り, 再生時に translate されるので入力側の把持パターンを示すことが考えられる。しかし, 10秒休息群では, 最初に再生の感覚様相が告げられるので, 入力情報は早期に translate され, 再生側の貯蔵系に入るために, 出力側の把持パターンを示すことが考えられる。従って, V-Kでは10秒休息群の方が10秒後教示再生群よりも有意に大きな絶対誤差を示し, K-Vでは反対のことが予測される。このことは, 150 mm と200 mm においてK-Vでのみ見出されたが, V-Kでは有意な差は得られていない。さらに, 10秒休息群では200 mm でV-KがV-

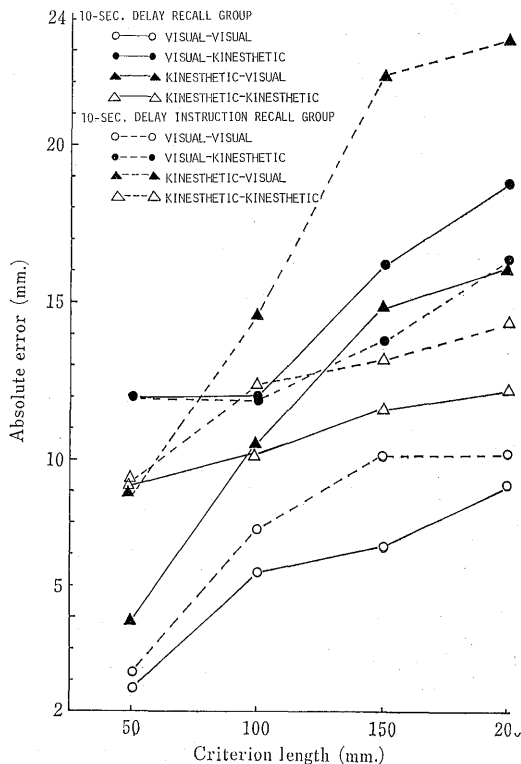


Fig. 1-5. Absolute error as a function of the recall instruction delay.

Vよりも, 10秒後教示再生群では150 mm と200 mm でK-VがV-Vよりもそれぞれ有意に大きな絶対誤差を示している。

以上の諸結果をまとめると, 把持間隔の条件に関してはモデルは検証されず, 単に傾向を示唆しうる結果にすぎないが, 精神課題の挿入条件においては, 標準刺激の長い方でのみモデルを検証するような結果が得られている。さらに, 入力情報の出力側への早期 translation を同定するために, 再生の感覚様相についての教示を遅らせる条件では, 標準刺激の長い方でのみ一部認められる。

実験 II

目的

実験 I では, 直線位置決め課題という不連続的運動課題を用いて, 主に知覚過程における異種感覚情報の相互処理様式に関するメカニズムの検証を行った。

本実験では、追従課題という連続的運動課題を用い、知覚-運動協応過程における同時精神課題という一種の外乱 (disturbance) の効果の検討を行う。

運動技能を空間的成分 (力量を含む) と時間的成分に分けて考えてみた場合、同時精神課題がそのいずれにどのような影響を及ぼすのかは、先の実験課題では明確にすることはできない。トラッキング課題では、その得られたデータに対し、自動制御理論の解析が可能であり、先の二つの成分に対し、定性的かつ定量的把握が可能である。

方法

装置はTKK製トラッキング・アナライザーを改良したもので、図 2-1 にその実験システムを示す。ディスプレイはブラウン管オシロスコープであり、その面上左右に水平移動する目標値と制御量を示す二光点が表わされる。目標値である正弦波は超低周波発振器によってディスプレイ上を左

右に 20 mm の等振幅で変位する。操作部は直径 60 mm のハンドルで、目標値の変位に対応する。アナログ・コンピュータは、目標値と制御量との偏差を得るために用いられる。

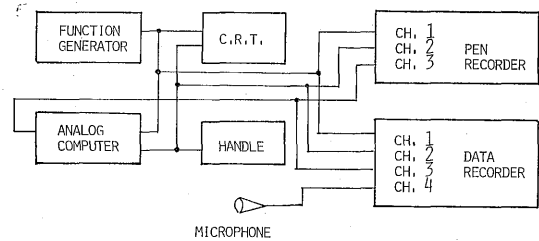


Fig. 2-1. A chart of experimental system.

目標値である正弦波の周波数は、0.05, 0.1, 0.2, 0.4, 0.8, 1.2 Hz の 6 種類であり、試行により、ランダムに提示する。

課題は、Pursuit Tracking であり、被験者は

Table 2-1. Comparison of gain data under two conditions

Sub.	Frequency (Hz)	Gain (dB)		
		1	2	3
A	0.05	-0.644 (-1.369)	-1.476 (-1.214)	1.339 (-1.743)
	0.1	-2.029 (-0.141)	0.829 (-0.999)	-0.328 (0.000)
	0.2	-0.446 (-1.310)	-0.404 (0.424)	-0.386 (-0.756)
	0.4	-0.915 (0.219)	-0.915 (1.401)	0.195 (1.160)
	0.8	-0.527 (1.369)	-0.245 (0.935)	0.404 (1.451)
	1.2	-1.644 (-9.897)	-2.129 (-2.968)	1.621 (-2.279)
B	0.05	-0.238 (-1.214)	-2.499 (-2.766)	-2.095 (-1.214)
	0.1	-2.499 (-0.828)	0.000 (0.386)	0.386 (-0.869)
	0.2	0.370 (0.165)	0.000 (-0.828)	-0.195 (-0.386)
	0.4	0.355 (1.369)	7.790 (0.756)	0.000 (0.966)
	0.8	0.695 (0.644)	0.355 (0.000)	-0.355 (0.892)
	1.2	2.548 (1.339)	0.165 (0.790)	0.370 (0.466)

Note.—Numbers in parenthesis are gain data under tracking+reverse counting condition.

本学生 2 名(男子)である。試行回数は各周波数 6 回ずつの計 36 回であり、そのうち半数は同時課題として、最初は 1000 から、次の試行では、前回の試行での最後の数値から 3 ずつ減算する精神課題を課す。なお、1 試行は 1 分 30 秒、試行間隔は 2 分である。

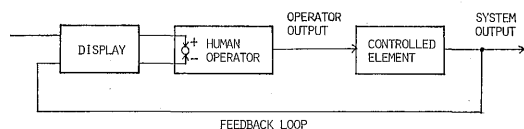


Fig. 2-2. Pursuit tracking.

(解析方法) 図 2-3 に示されたように、目標値としての正弦波は次式で表わされる。

$$x(t) = a \sin \omega t \quad (1)$$

この目標値に対して、人間は平均的に次式で表わされるような応答を行うと考えられる。

$$y(t) = b \sin(\omega t + \theta) \quad (2)$$

そこで、実時間相関計を用いて(1)の自己相関関数を、(1)と(2)の相互相関関数を求め、それぞれをフーリエ展開(周波数分析)し、パワー・スペクト

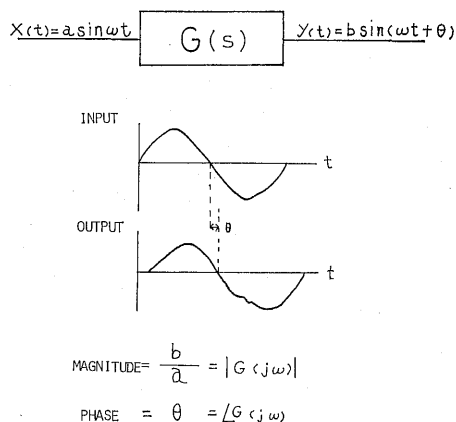


Fig. 2-3. Analysis of frequency characteristic.

Table 2-2. Comparison of phase data under two conditions

Sub.	Frequency (Hz)	Phase (Deg.)		
		1	2	3
A	0.05	-21.6 (-43.2)	-43.2 (-25.2)	-43.2 (-61.2)
	0.1	-21.6 (-46.8)	-10.8 (-36.0)	-36.0 (-28.8)
	0.2	-7.2 (-7.2)	-14.4 (-28.8)	7.8 (-14.4)
	0.4	7.2 (-14.4)	-7.2 (-7.2)	14.4 (-7.2)
	0.8	-14.4 (-28.8)	7.2 (14.4)	25.2 (7.2)
	1.2	-7.2 (-64.0)	14.4 (-28.8)	10.8 (-1.8)
B	0.05	-39.6 (-25.2)	-36.0 (-36.0)	-46.8 (-43.2)
	0.1	-36.0 (-21.6)	-21.6 (-28.8)	-25.2 (-39.0)
	0.2	-14.4 (-7.2)	-25.2 (-25.2)	0.0 (-18.0)
	0.4	7.2 (-14.4)	0.0 (-7.2)	-10.8 (-7.2)
	0.8	0.0 (7.2)	21.6 (-14.4)	-10.8 (-10.8)
	1.2	7.2 (-1.8)	-3.6 (21.6)	14.4 (-25.2)

Note.—Numbers in parenthesis are phase data under tracking+reverse counting condition.

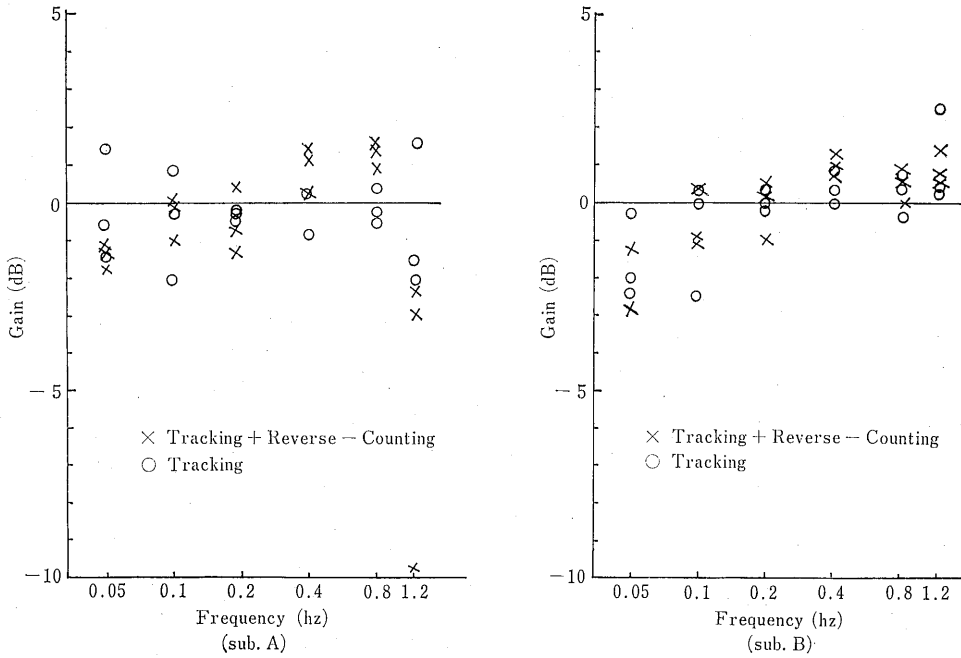


Fig. 2-4. Bode diagram for gain of sub. A and sub. B under two conditions.

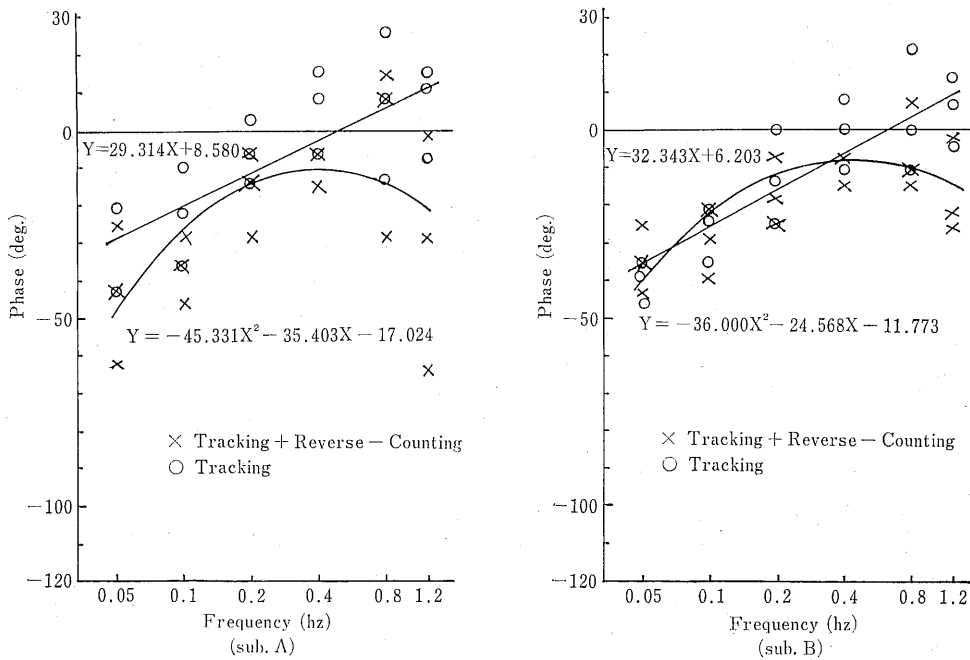


Fig. 2-5. Bode diagram for phase of sub. A and sub. B under two conditions.

ルと、クロス・スペクトルを求め、それぞれをX-Yレコーダで描かせる。

これらの波形の最大ピーク値から、各周波数ごとの伝達ゲインと位相のずれを求め、ボード線図を描く。

結果と考察

各被験者について、伝達ゲインと位相差を求めたのが表2-1、表2-2であり、それに基づくボード線図が図2-4、図2-5である。

伝達ゲインに関し、6(周波数)×2(同時課題の有無)の2要因分散分析を行った結果、被験者A、被験者B共に、同時課題の有無における有意な差は見出されず [Sub. A:F(1,24)=0.756, P<.05; Sub. B:F(1,24)=0.203, P<.05], 各周波数に対し同様の変動を示していると考えられる。しかし、被験者Aは0.8 Hzを境に伝達ゲインは下降しているのに対し、被験者Bは若干の上昇を示している。

位相差については、伝達ゲインと同様に2要因

分散分析の結果、被験者Aに同時課題の有無における有意な差が見出され、[Sub. A:F(1,24)=8.263, P<.01; Sub. B:F(1,24)=3.914, P>.05], 同時精神課題による有意な位相の減少が見出される。

次に、有意な差の見出されたのは1人だけではあるが、各被験者について位相の傾向をみるために、各周波数を等間隔の点(k), 反復数(r)と考えて、k=6, r=3のデータに直交多項式の当てはめを行ってみたのが表2-3、表2-4、表2-5、表2-6である。表2-3、表2-5より、被験者A、被験者B共に同時課題の無い場合では、1次成分のみが1%の危険率で有意であり、下記の式が得られる。

被験者A $y=29.314x+8.580$

被験者B $y=32.343x+6.203$

($x=\log A$, A:周波数)

同様に、同時課題の有る場合においては、表2-4、表2-6に示すように、2次成分が5%の危険率で有意であり、下記の式が得られる。

Table 2-3. Anova in the orthogonal polinomial under tracking condition. (Sub. A)

Source	df	SS	MS	F
Linear	1	4060.322	4.60.322	25.621**
Quadratic	1	567.000	567.000	3.578
Cubic	1	23.064	23.064	0.146
Tetra	1	30.240	30.240	0.191
Residual	13	2060.194	158.476	
Total	17			

** P<.01

Table 2-4. Anova in the orthogonal polynomial under tracking+reverse counting condition. (Sub. A)

Source	df	SS	MS	F
Linear	1	1237.640	1237.600	3.828
Quadratic	1	1864.179	1864.179	5.766*
Cubic	1	763.742	763.742	2.362
Tetra	1	8.172	8.172	0.025
Residual	13	4202.711	323.285	
Total	17			

* P<.05

Table 2-5. Anova in the orthogonal polynomial under tracking condition. (Sub. B)

Source	df	S S	MS	F
Linear	1	4942.635	4942.635	47.021**
Quadratic	1	304.920	304.920	2.901
Cubic	1	17.496	17.496	0.166
Tetra	1	7.560	7.560	0.072
Residual	13	1366.509	125.116	
Total	17			

** P < .01

Table 2-6. Anova in the orthogonal polynomial under tracking+reverse counting condition. (Sub. B)

Source	df	S S	MS	F
Linear	1	1270.836	1270.836	14.715**
Quadratic	1	459.270	459.270	5.318*
Cubic	1	179.574	179.574	2.079
Tetra	1	1.890	1.890	0.022
Residual	13	1122.690	86.361	
Total	17			

** P < .01 * P < .05

被験者A $y = -45.331x^2 - 35.403x - 17.024$

被験者B $y = -36.000x^2 - 24.568x - 11.773$

($x = \log A$, A : 周波数)

以上の直交多項式をデータと共に示した図 2-5 より、各式がデータの間をうまくぬっているのがわかる。

パーシュート・トラッキングという連続的運動課題においては、フィードバックは時々刻々となされ、自己受容的フィードバックとディスプレイからの外受容的フィードバックの二種の固有フィードバック intrinsic feedback (Annett, 1969) の使用が可能である。Smith (1970) は、この固有フィードバックの操作が運動パフォーマンスに対し破壊的な効果をもたらすことを報告しているが、本実験のように制御対象が1であるような場合 (図2-2) は、操作量=制御量であると考えられる。それ故、被験者はディスプレイを通して、常に反応それ自身を視覚的に知覚しているので、正常な場合では常に反応時間分だけ遅れると考えら

れる。

しかし、本課題のように単一正弦波の追従という場合では、明らかに予測可能な状況であることから位相の進みという現象が見出され、反応時間分の遅れはある程度補償されると思われる。このような現象は、被験者A、被験者B共に、同時精神課題の無い場合においてのみ 0.5 Hz 以上で見出されているが、同時精神課題の有る場合においては見出されていない。従って、同時精神課題は、運動技能の時間的成分である人間の予測能力に影響を及ぼすのではないかと考えられる。

一般に、正弦波に対する応答では 0.8 Hz 周辺で急激な位相の遅れを示すが、本実験結果は、同時精神課題のない場合はむしろ低い方の周波数で位相の遅れを示している。本来ならば応答不能となるような早い動きに対し、応答を行っているこの現象は、本実験の被験者が運動選手であることによつて見出されたものか、今後さらに被験者数を増して検討を行っていく必要がある。

文 献

- Adams, J. A.: A closed loop theory of motor learning. *J. mot. Behav.*, 3, 111-150, 1971.
- Connolly, K. & Jones, B.: A development study of afferent-efferent integration. *Br. J. Psychol.*, 61, 259-266, 1970.
- Licklider, J. C. R.: Quasi-linear operator models in the study of manual tracking. Luce, R. D. (Ed.): *Developments in mathematical Psychology*. The Free Press., 169-279, 1960.
- 増山英太郎：人間のみから成る系の正弦波に対する応答について，*東京都立大学人文学報*，100，15-56，1974.
- 永田 晟：生体階層システムの乱れによる巧緻能の变化——正弦波追跡運動の周波数特性——。日本体育協会スポーツ科学研究報告。69-79，1974.
- Pew, R.W.: Human perceptual-motor performance. Kantowitz, B. H. (Ed.): *Human information processing*. LEA. 1-39, 1974.
- Posner, M. I. & Konick, A. F.: Short-term retention of visual and kinesthetic information. *Organiz. behav. Hum. Perform.*, 1, 71-86, 1966.
- Posner, M. I.: Characteristics of visual and kinesthetic memory codes. *J. exp. Psychol.*, 75, 103-107, 1967.
- Schmidt, R. A.: A schema theory of discrete motor skill learning. *Psychol. rev.*, 82, 225-260, 1975.
- 田口玄一：実験計画法（下）。591-602，第3版，丸善株式会社，1977.