バリスティック動作に於ける プログラミング時間と反応の正確性との関係

工　藤　孝　幾

＜序　　論＞

運動技術は従来，様々な観点から分類されてきた。特に近年では，技術遂行時の人間の情報処理のしかたの相違という観点からの分類が注目を集めるようになってきている。その最も代表的なものは，Poulton (1957)[7] によって示された open skill と closed skill という分類法である。前者は，環境が予測しにくく，常に変化しており，これらの外的環境からの入力情報に基づいて適切に反応しなければならないような技術である。後者はこれに対し，環境が比較的安定しており，常に一定の反応をすることが要求されるような技術のことである。従って，open skill では，状況の判断ということが情報処理の主要な内容となっているのに対し，closed skill では，運動の記憶を忠実に再現していくことが主たる内容となっている。

運動技術を状況判断までも含んだ広い概念として捉えたこのような分類に対し，工藤（1985)[5] は，動作遂行のしかたそのものに限定した情報処理に基づく運動技術の分類の考えかたを示している。それは，動作遂行中に得られるフィードバック情報を逐次処理しながら遂行することができるか，あるいは，フィードバック情報を処理する時間的余裕がなく，動作開始前に準備されている動作プログラムに基づいて遂行せざるをえないのか，という二分割の考え方である。ここでは前者をフィードバック制御動作，後者をプログラム制御動作とよぶことにする。ゴルフのスイング，テニス，卓球，バドミントンなどのストローク，野球のピッチングやバッティング，バレーボールのスパイク，バスケットボールのシュート，サッカーのインステップキックなど，短時間に完了する単一的な素早い運動技術がプログラム制御動作の具体例である。こうしてみると，スポーツの基本技術の多くが，プログラム制御動作のほうに分類されることに気付くであろう。従って，動作プログラムの性質を分析することは，スポーツ技術の遂行あるいは習得過程を解明していく上で，重要な位置を占めているのである。

動作プログラムの性質に関する初期の，しかも重要な発見は，Henry and Rogers (1960)[3] の次のような実験によってもたらされた。彼等は，困難さの異なるいくつかの素早い腕の動作をやらせた場合の被験者の反応を分析し，合図が鳴ってから動作が開始されるまでの時間 (RT) は，その動作の困難性の関数として増大するということを発見した。そしてこの結果を，動作のパラメータが増大するほど，運動プログラムを編集するのにより多くの時間を要するため，RT が長くなると考えたのである。この考えかた，及び実験パラダイムは，以後の多数の研究を引き起こすことになるが，工藤（1985)[4] は，これらの報告を概観し，いくつかの研究で指摘されている方法論上の問題点を考慮した上で，Henry and Rogers の主張を裏付ける結果，即ち，RT はその動作を遂行するのに必要な情報処理量に比例することを明らかにした。つまりこのことは，動作を開始する前の反応潜時こそ，その動作を遂行する為の動作プログラムを編集する為の時間であることを示唆するものである。

ところで工藤は，RT と動作の正確性との間には一貫した相関関係が見られないという興味ある結果をも同時に示している。RT が，既に貯蔵されてるプログラムを，その場面の目的に合ったプログラムに再構成するための時間であるという考え方は，当然，入念にプログラミングを行なうほど，その場に適した動作プログラムを構成することができ，それが実際のパフォーマンスに正確性の向上として反映されるであろうという予想を導く。このことと工藤が得た結果とは矛盾する。

本研究の目的は，この点をより直接的な方法で明らかにすることである。具体的には，従来の実

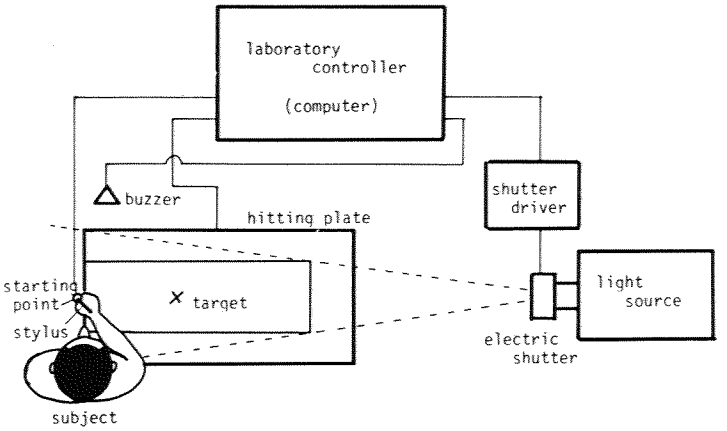

Fig. 1　Top view of the placement of experimental apparatus.

験パラダイム，即ち，目標動作が提示されてから動作開始までの時間を従属変数として動作の困難性との関係を調べるのではなく，RTに相当するものを実験変数とし，動作の正確性を従属変数として両者の因果関係を明らかにしようとするものである。

＜実　験　Ⅰ＞

1．方　　法

A）　被　験　者

大学生男女14名。20―22才で，全員右利きである。

B）　実験装置及び実験課題（図1参）

実験課題は，右手で保持したスタイラスをスタート位置に置き，提示されたターゲットをできるだけ速く，しかもできるだけ正確に打つというものである。

実験はすべて完全な暗室で行なった。後述する条件に従って作成されたターゲットの印刷してあるテスト用紙をプレートの上に固定した後，ブザーによる予告音で被験者をスタート位置にスタイラスをおいて構えさせ，5秒後にターゲットをプロジェクターの照射によって提示した。後述する条件に従ってターゲットを提示している間，被験者に十分狙いを定めさせ，照射終了と同時に前述したヒッティング動作を開始させた。以上が1試行である。すべての試行において，一切KRを与えなかった。

光を照射するタイミング及びインターバルは，プロジェクターのレンズ全面に取り付けた電子シャッターをコンピューターで制御することによって行なった（信号が入ってからシャッターが完全に開く，あるいは閉じるまでの時間は，4－5 msecである）。また，シャッターが閉じてから動作が開始（スタイラスがスタート地点を離れたとき）までをIT（Initiation Time）とし，動作開始からスタイラスがプレートに接するまでをMT（Movement Time）とし，これらはいずれもスタイラスによるON−OFF信号をコンピューターに入力することによって1 msec単位で計測した。

C）　実験条件

ここでは次の2つの要因の効果について分析を行なった。

○プログラミング時間要因

プログラム時間として，1.0，3.5，6.0 secの3条件を設定した。即ち，この3件のいずれかでターゲットを照射し，照射終了後すぐに動作を開始させることにより，この期間中しかプログラミングが出来ないようにしたのである。

○ターゲット要因

スタート位置からターゲットまでの距離として，5，8，11cmと23，26，29cmの6種類を設定し，前者をshort条件，後者をlong条件とした。

D）　実験手続き

以上の条件の組み合わせによる3×2＝6条件各々につき3試行を行なった。従って，ひとりの被験者が18試行を行なったことになる。各試行間隔を6秒とし，ランダムな順序で行なった。

実験計画は，プログラミング時間要因（3）×ターゲット要因（2）の2元配置計画（repeated

Table 1　Means and standard deviations for the initiation time (IT) and the movement time (MT) in experiment 1.

		short distance			long distance			
viewing time		1.0	3.5	6.0	1.0	3.5	6.0	(sec.)
initiation time	M	270.9	251.0	238.8	282.1	244.4	238.0	
	SD	53.1	53.7	56.0	41.2	74.9	43.7	(msec)
movement time	M	140.0	156.9	137.4	177.4	181.1	186.0	
	SD	23.3	37.8	24.1	25.6	26.1	31.5	(msec)

measure) である。

E）　測　度

前述したITとMTの他に，ヒッティング動作のパフォーマンスの測度として，以下の4種類を用いた。

DE：ターゲットの中心とヒット地点との距離の絶対値。

CE：スタート地点からヒット位置までの直線距離から，ターゲット距離を引いたもの。　＋はovershoot，－はundershootを示している。

VDE：それぞれの条件に於ける3試行のDEの標準偏差。

VCE：それぞれの条件に於ける3試行のCEの標準偏差。

これらの単位は，いずれもlmmである。

2．結　果

表1は，ITとMTの各条件に於ける平均と標準偏差である。それぞれに対して，2要因分散分析（repeated measure）を行なったところ，ITではプログラミング時間要因の主効果が有意であり（$F=6.056$，$df=2, 13$，$p<.01$），MTではターゲット要因の主効果が有意であった（$F=129.6$，$df=1, 13$，$p<.01$）。即ち，表からも明らかなように，ITはプログラミング時間が長い時ほど短く，またMTはターゲットが遠い時ほど長くかかるということである。ここで確認できることは，ITに関しては，条件による差は見られたものの，最も長時間を要している条件でも282.1 msecであり，本実験で設定したプログラミング時間の条件間差に大きく影響

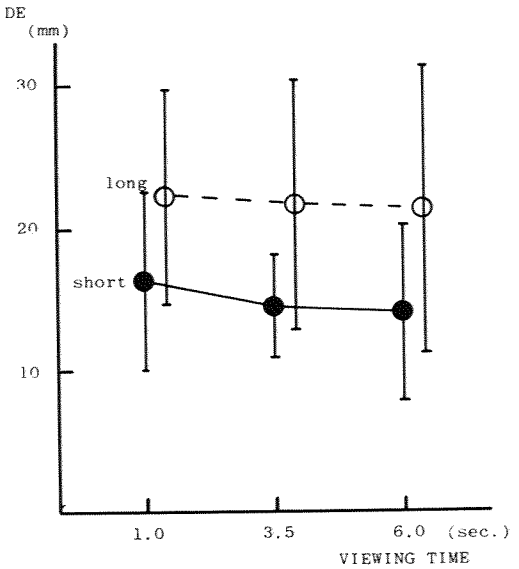

Fig. 2　Means and standard deviations for the deviation error (DE) in experiment 1.

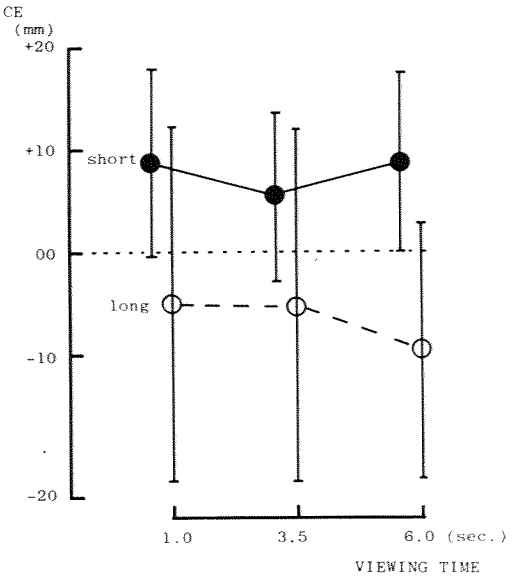

Fig.3　Means and standard deviations for the constant error (CE) in experiment 1.

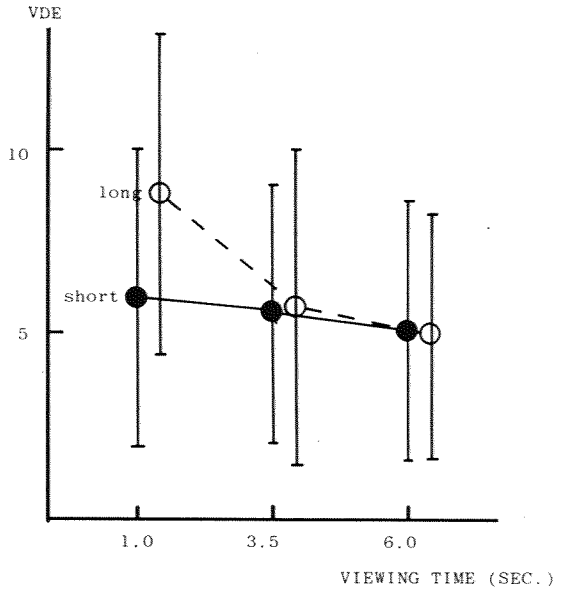

Fig. 4　Means and standard deviations for the variance of DE (VDE) in experiment 1.

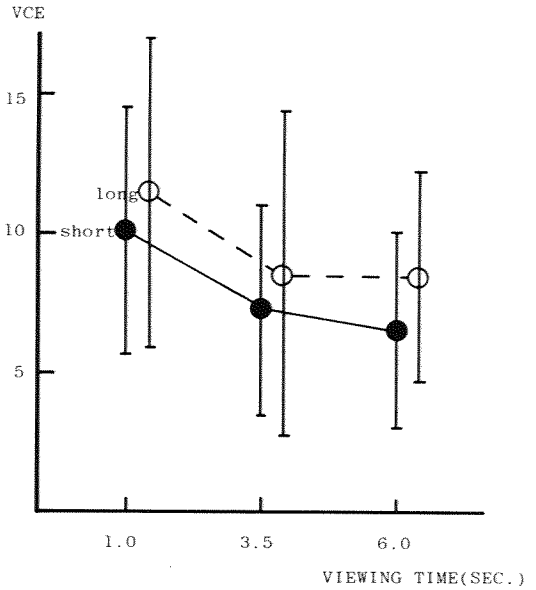

Fig. 5　Means and standard deviations for the variance of CE (VCE) in experiment 1.

するものではないという点である。また，MTに関しても，条件による差があるとはいえ，最も時間を要した条件でさえ186.0 msecであり，このことは全ての条件でほぼフィードバックによらないバリスティックな動作が行なわれていたことを示している（工藤，1985）[4]。これらのことから，一応今回設定した条件設定の目的は満足されているものと判断出来る。

そこで次に，動作パフォーマンスの残る4つの測度それぞれについて，同様に分散分析を行なった。図2から図5はそれぞれDE,CE,VDE,VCEの各条件に於ける平均を示したものである。

DEでは，ターゲット要因の主効果が有意であった（$F=6.736$, $df=1, 13$, $p<.01$）。これは，ターゲットが遠いほうがDEが大きいということである。しかし，プログラミング時間要因の主効果は見られなかった（$F=0.822$, $df=2, 13$, $p<.05$）。このことは，プログラム時間を長くすることが，DEのパフォーマンスを向上させるものではないことを示している。

CEでは，ターゲット要因の主効果と，ターゲット×プログラミング時間の交互作用とが有意であった（それぞれ$F=16.344$, $df=1, 13$, $p<.01$；$F=3.606$, $df=2, 26$, $p<.05$）。前者の意味は，図からも明らかなように，ターゲットが近い場合にはovershoot，遠い場合にはundershootするということである。交互作用の意味は，6秒という最も長いプログラミング時間の時に特に先のターゲット要因の主効果が顕著であるということである。

VDEではプログラミング時間要因の主効果が有意であった（$F=4.203$, $df=2, 13$, $p<.05$）。これは，プログラミング時間が長いほどVDEが小さくなるということである。また，プログラミング時間要因×ターゲット要因の交互作用に有意の傾向が見られた（$F=2.360$, $df=2, 26$, $p<.10$）。これは，ターゲットが遠い場合は特にプログラミング時間が短いことによるVDEの悪影響が顕著である傾向のあることを示唆している。

VCEではプログラミング時間要因の主効果のみが有意であった（$F=5.111$, $df=2, 13$, $p<.05$）。VDE同様プログラミング時間が長いとVCEが小さくなると言うことである。

3．考　　察

初めに，CEの結果について考察する。小さいターゲットに対してはovershoot，大きいターゲットに対してはundershootするという傾向(range effect)は，フィードバック制御動作による腕位置ぎめ課題で既に明らかにされているが

(Laabs,1973)[6]，全く同様のことが，今回用いたようなバリスティック動作でも確認されたことは興味深い。しかも今回の結果は，長時間プログラミングすることによって，この傾向がより顕著に現われるということを示している。このことは，そもそも存在する range effect という中枢に於ける歪みが，じっくりプログラミングする余裕があまり無いときはあい昧に，ある程度時間的余裕があるときは明瞭に表出すると言うことを示しているといえるだろう。

次に，本実験の主たる目的である，プログラミング時間と動作の正確性との関係について述べる。これはすなわち，DE,VDE,VCE という３つの測度の結果を総合的に検討することである。分析結果から言えることは，ターゲットからのズレの絶対量 (DE) という側面に対しては，プログラミング時間を長くすることは影響を及ぼさないが，反応の一貫性 (VDE,VCE) を高めるという点で効果があるということである。このことは，その状況に合わせて編集された動作プログラムは，プログラミングの時間の長さにかかわりなく一定の誤差を含んでいるが，プログラミングを長くすることによって，毎回比較的共通したプログラムを作成することが可能となることを意味していると思われる。

以上のように，いくつかの側面でプログラミング時間の長さがパフォーマンスに有意の影響を及ぼすことが明らかとなった。ただし，動作の正確性，歪みの方向性といった側面は，動作遂行のメカニズムの分析という観点からは，主たる測度ではあっても，実際のスポーツ技術遂行という観点からは，二次的なものであり，主たる関心は，誤差の絶対量であろう。その意味で，DE にプログラミング時間が影響しないという以上の結果は，スポーツ科学という観点からは不満足なものである。実験Ⅱでは，この点に関して，次のような観点から再度分析を試みた。

Henry (1981)[2] は，プログラミングとは，既に貯蔵されている神経―運動プログラムを，要求される動作に合った筋反応となるように再構成することであると定義している。この解釈にもとづくならば，再構成された動作プログラムの正確性の一部分は，既に貯蔵されている動作プログラムというものによって決定されることになる。さて，今回の腕ヒッティング課題は，動作の空間的側面では，日常よく行なう動作であり，事前の経験は豊富である。しかしバリスティックな動作様式でなされることは余りなく，その意味では今回の実験課題に関する貯蔵プログラムはさほど豊富であるとは思われない。このような条件では，いくら

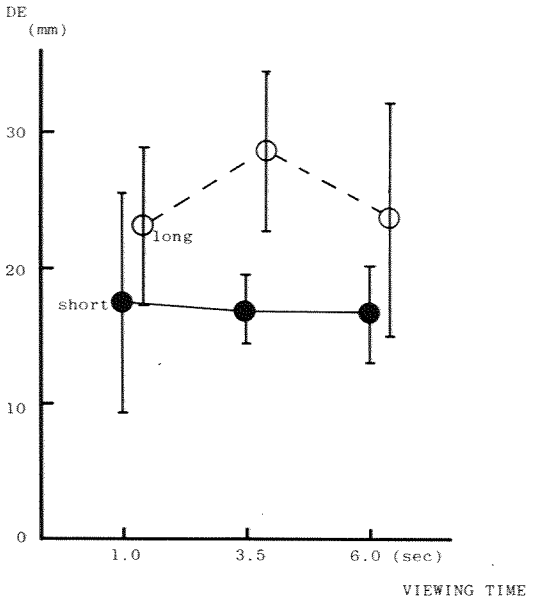

Fig. 6　Means and standard deviations for the deviation error (DE) in experiment 2.

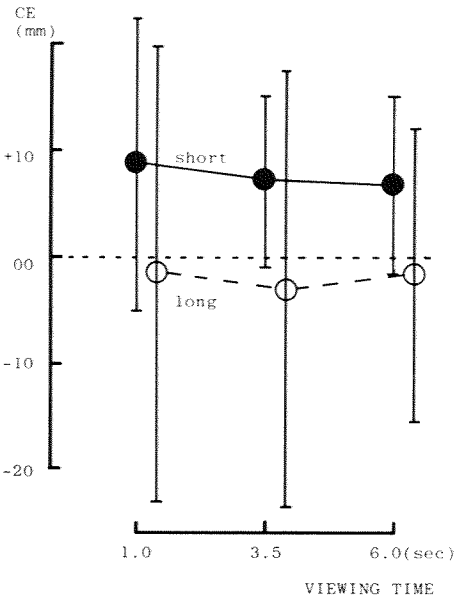

Fig. 7　Means and standard deviations for the constant error (CE) in experiment 2.

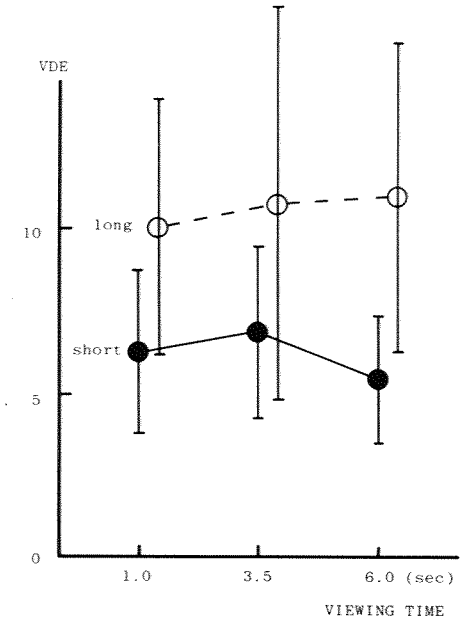

Fig. 8　Means and standard deviations for the variance of DE (VDE) in experiment 2.

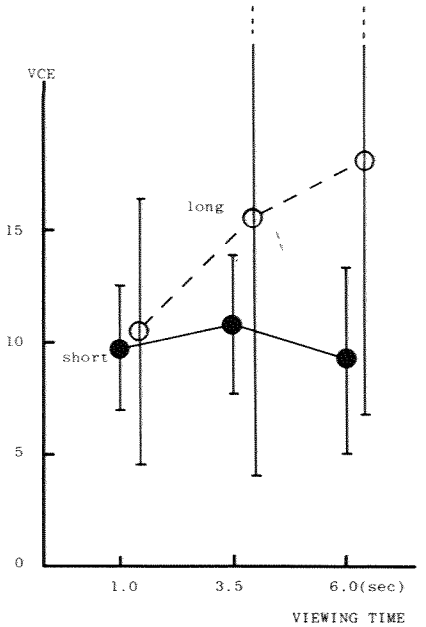

Fig. 9　Means and standard deviations for the variance of CE (VCE) in experiment 2.

プログラミング時間を長くしても，一貫性が高まることはあっても，ズレの絶対量は減らないであろう。この推論を検証するのが実験Ⅱの目的である。

＜実　験　Ⅱ＞

1．方　　法

A）　被　験　者

大学生男女８名。18—22才で全員右利き。

B）　実験装置，課題，及び測度

実験Ⅰと同じ

C）　実験条件，及び手続き

以下の点を除き，実験１と同じである。被験者は課題の説明を聞いた後，次のような練習を行なった。

実験１と全く同じ条件で，３，６，９，12，15，18，21，24，27，30cmの位置にあるターゲットをそれぞれ10回づつ，合計100回ヒッティング動作を練習した。毎回，ターゲットとヒット位置とのズレを被験者自身に目で確認させることによってKRを与えた。この手続きが全て終わった後，直ちに実験に入った。

2．結　　果

ITとMTの結果は，実験１とほとんど同じであったので，ここでは省略する。

図６から図９はそれぞれDE,CE,VDE,VCEの平均と標準偏差を示したものである。これらに対し，実験Ⅰ同様に２要因分散分析を行なった。

DEでは，実験Ⅰ同様ターゲット要因の主効果が有意であり（$F=22.442$，$df=1, 7$，$p<.01$），プログラミング時間要因の主効果はみられなかった（$F=1.198$, $df=2, 7$, $p<.10$）。

CEでは，プログラミング時間要因の主効果はみられず（$F=0.083$，$df=2, 7$，$p>.10$），実験Ⅰとは異なり交互作用もみられなかった（$F=0.088$，$df=1, 7$，$p>.10$）。ターゲット要因の主効果は有意であったが（$F=6.731$，$df=1, 7$，$p<.05$），図からも分かるように，近いターゲットに対するovershootという点は実験Ⅰと共通しているものの，遠いターゲットに対するundershootはみとめられなかった。

VDEでは，有意差がみられたのはターゲット要因のみであった（$F=8.684$，$df=1, 7$，$p<0.1$）。

VCEではなんら有意差はみられなかった。但し，予想とは逆に，図でみる限り，遠い距離条件ではプログラミング時間が長くなるとむしろVCEが増大する傾向すらみられた。

3．考　　察

実験Ⅰ同様，初めにCEの結果について述べる。100回の事前練習の結果，近距離ターゲットの

overshoot 反応はそのままであったが，遠距離ターゲットでの undershoot 反応は抑制されるという結果が得られた。これは恐らく，事前の練習が，大脳皮質の賦活水準を高めたことによるものであろう。ウォーミングアップ効果の１つといえるだろう。

さて，DE,VDE,VCE の３つの測度に関しては，予想を支持しないというよりはむしろ覆す結果だったといえる。しかしこのことによって，事前の経験がプログラミング時間と反応の正確性の関係に重要な要因となっているという仮説を否定するわけにはいかない。なぜならば，VCE では予想とは逆ながら，反応の変動性を増大させるというマイナスの影響がわずかながら見られたからである。これは，次のように考えることが出来るだろう。それは，100回程度の練習では不充分であり，かえって不安定な動作プログラムが貯蔵されてしまったのではないかという点である。従って，プログラムの為に時間をかけるほど，不安定な性質が反応に反映され，結果として動作の変動性を大きくしてしまったのではないかと考えられる。つまり，この考えが正しければ，むしろ今回の結果は先行経験が重要な役割をになっているという仮説を逆説的に支持しているものと言えるだろう。ただし，これは推論であり，今後実験的に検証されなければならないことは当然である。

＜ま　と　め＞

Hennemann & Keller (1983)[1] は，動作を起こす前になんらかの準備が先行するが，それ等には使用筋を準備状態にするという目的と，意識を集中させるという目的とが含まれると述べているが，動作開始時間と動作の困難性に関する従来の研究結果，及び今回の実験Ｉの結果から，Hennemann & Keller が述べている２種類の準備のうちの前者について，実験的に確かめられたと言えるだろう。表現を変えれば，「狙いを定める」という，動作に先行する準備行為の意味の１つが，動作プログラムを編集するということであると考えることが出来るのである。

但し，その効果はそれほど明確なものではなく，事前の練習が十分でなく，貯蔵プログラムが不安定な場合では，狙いすますことによってかえってパフォーマンスが低下することも示唆された。ただ，今回の結果は，腕ヒッティングという動作パラメーターが単一のものであり，狙い定めることの効果が検出され難い課題であったという点も指摘して置く必要があろう。恐らく，複数のパラメーターが含まれる複雑な課題を用い，しかもより十分な事前練習を積ませることによって，「狙いを定める」ことによる実効が得られるものと思われる。

参　考　文　献

1）Hennemann, M. and Keller, D. Preparatory behavior in the execution of a sport related movement. International Journal of Sport Psychology, 14, 149−161, 1983.

2）Henry, F. M. The evolution of the memory drum theory of neuromotor reaction. In G. A. Brooks (Ed.), Perspectives on the academic discipline of physical education. Champaign, IL: Human Kinetics, 1981.

3）Henry, F. M. and Rogers, D. E. Increased response latency for complicated movements and a "memory drum" theory of neuro-motor reaction. Research Quarterly, 31, 448−458, 1960

4）工藤孝幾　動作の困難性と反応の遅れ　福島大学教育学部論集　37，43—52，1985.

5）工藤孝幾　運動技術研究の動向—運動心理学の立場から　体育科教育　10月増刊号　87—90，1985.

6）Laabs, G. T. Retention characteristics of different reproduction in motor short term memory. Journal of Experimental Psychology, 100, 168−177, 1973.

7）Poulton, E. C. Environmental and human efficiency. Charles C. Thomas, Springfield, Illinois, 1970.

Relationship between motor programming time and response accuracy in the ballistic movement

Koki Kudo

Motor programing was defined by Henry (1981) as the process of translating a previously stored neuromotor program into organized motor nerve commands to the muscles responsible for effecting a desired movement. It was inffered from this statement that, longer programing time should make responses more accurate. Experiment 1 was designed to test this prediction,taking a discrete aiming movement executed in a ballistic fasion as the experimental task.

The results revealed that the effect of longer programing time on the deviation error was not so great, while there were partial support for the present prediction.

Based on Henry's definition for the motor programing, it was inferred that prior experience of the movement (experimental task) were the critical factor to verify the present prediction. Experiment 2 was designed to test this hypothesis.

The same experimental procedures were used except that all subjects participated in the practice session just prior to the experiment.

The results of experiment 2 revealed that, longer programing time had a tendency to produce an effect opposite to what was predicted.

Results of experiment 1 & 2 were discussed in terms of amount of prior experience and the characteristics of the experimental task.