

振り子運動の視標に対するいろんな反応方法からみた タイミングコントロールについて

藤 島 仁 兵*・松 永 郁 男*・丸 山 敦 夫*
高 岡 治*・鬼 塚 幸 一**・古 村 溝***

(1998年10月15日 受理)

Timing Control of a Various Response to a Target Attached to a pendulum

Jinpei FUJISHIMA*, Ikuo MATSUNAGA*, Atsuo MARUYAMA*
Osamu TAKAOKA*, Kouichi ONITSUKA** and Kou KOMURA***

I. 緒 言

合目的、合理的な運動遂行やその成果を高めるためには運動行動の時空的速度化と時間的正確さが極めて重要な意味を持ち、この時間的正確さを Timing タイミングと呼ぶ。運動行動におけるタイミングは大別して、運動を行う身体自身の部分的な動作のタイミング、即ち、身体各部分の動作を時間的に調和させようとするタイミング反応と自己の身体以外の物体に対するタイミング、即ち、外的事象に対し動作を一致させようとするタイミング反応に区分される。両者は様々なスポーツ運動の達成や日常生活における運動、行動水準を向上させる上においての中核的要素として位置づけられる。特に、外的事象に対して動作を一致させようとするタイミング反応はヒトの運動や行動の本質を知る上においても重要である。

ところで、このようなタイミング反応は外的事象に対する速度や距離の認知（分析、見積り）、自己の身体の全体または一部に対する定位変化の認知（分析、見積り）及び課題解決に要求される身体の全体的、部分的な運動発現のための筋肉の調整、総合作用等が必要である。即ち、タイミング反応を含む運動や行動の多くは、まず、様々な状況や事態における情報（刺激）を受容し、それを分析（意味、解釈づけ）し、その分析結果に基づいて反応プランを形成し、その後、実行指令を必要な筋群へ伝達して反応を生じさせることになる。つまり、感覚系や知覚系、運動系の関与が反応のための原点と考えられる。このように運動や行動にとって重要な意味を持つタイミングに関す

* 鹿児島大学教育学部

** 鹿児島高等工業専門学校

*** 鹿児島経済大学社会学部

る様々な研究が進められ、タイミング反応に関わる重要な情報やヒトの運動、行動に対する本質的問題についての貴重な資料を提供してきた。勿論、これらの研究成果は日常生活やスポーツ運動、行動の中で活用し、より高度な運動や行動水準の達成、多様にして安定したスキルの定着に対して大きく貢献するものである。また、更に新たな観点からタイミング反応に関する知見を得てそれを現場にフィードバックすることは極めて意義深いものである。

本研究の目的は振り子運動を行う移動視標がタイミング点に重なる瞬間に合わせて8つの反応動作、手打叩反応、左右前腕振下げ反応、左右下肢振上げ反応、体幹前屈反応、両脚跳躍反応及び投反応等を同調させ、その際の時間的正確さをタイミングエラー（反応誤差）という観点から分析検討しようとするものである。そして、2要因分散分析の結果から、それら8つの反応方法の差異に基づく時間的正確性の違いを明らかにすると同時に、その原因を外的事象の見積りや見越しという立場から、また、運動系の発動による筋収縮の調整、統合という立場から検討しようとするものである。尚、時間的正確さを評価する測度として絶対誤差（AE）恒常誤差（CE）及び変動誤差（VE）を利用した。

Ⅱ．研究の方法

1．実験装置

図1は今回の実験で使用した装置の正面図及び側面図の概要を示したものである。まず、正面図の半円弧に見られるように、長さ120cmの金属製の紐の先端に取りつけた直系2.5cm、長さ17cmの金属製の円筒を移動視標とし、それを紐の支点と水平になるような同じ高さの定位置から落下させ、支点の直下に設定したタイミング点（幅2cm、高さ17cm）を移動視標が通過した瞬間にタイムインとなり、復路で再びタイミング点を通過する瞬間、タイムアウトできるような装置を側面図に見られるような、デジタイマーに接続された光電管1を用いてタイミング点と重なる位置に用意した。

そして、予めその間の所要時間を計測し、これを移動視標の所要基準時間（1.238秒）とした。また、縦・横184cm、副3cmの2枚の板に等間隔で30度毎に穴を開け光電管2が設置できるような反応ボックスを作成した。そして反応ボックスの内部に、反応開始角度を一定にするために、反応開始位置にそれぞれゴム紐を取り付けた。この装置は前述したタイミング点から1m45cmの距高で正面に設置された。

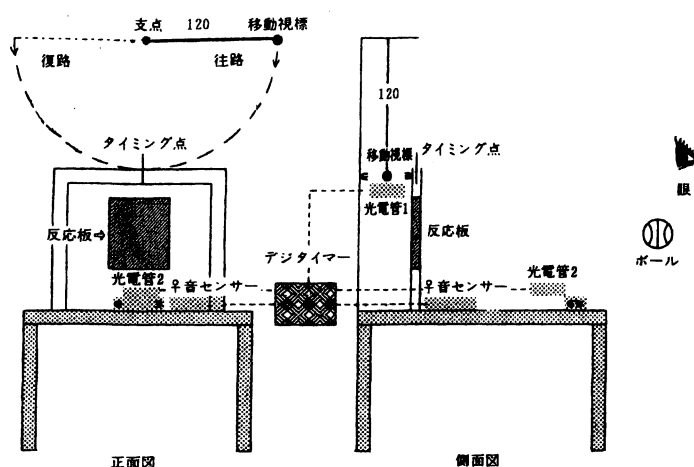


図1 実験装置

2. 実験方法及び実験条件

全被験者はタイミング点から1 m 45cm離れた位置で、光電管2が設置された反応ボックスの中に入り、左右前腕振下げ反応（左右前腕を真上から前方30度へ振下げる反応）、左右両脚振上げ反応（直立姿勢から下肢を前方30度へ振上げる反応）及び体幹前屈反応（直立姿勢の状態から前方30度へ前屈する反応）また、ボックスの外で手打叩反応、両脚跳躍反応（フロアーに設置された30cmの距離の光電管2を両脚による跳躍で横切る反応）及び投反応（タイミング点の直下に設置された反応板に対して1 m 45cm離れた位置からボールを命中させる反応、この場合は音センサーを使用）等を実施した。そして、これら8つの反応それぞれに対して、移動視標が復路タイミング点に重なる瞬間に同調させて時間的に正確な課題に合った反応を行うということを実験条件とした。測定は一つの反応課題に対して連続7回ずつ行わせ、一つの反応課題を被験者全員が終了した後、次の反応課題に移った。

3. データ処理

データは反応方法間における時間的正確性（タイミングエラー）の差を検討するために、繰り返しのある2要因分散分析を行い、また水準間の有意差検定を行った。そして、それぞれの反応における時間的正確さを評価するための測度として絶対誤差（AE）、恒常誤差（NE）及び変動誤差（VE）をそれぞれ求めた。

表1 被験者のプロフィール

	年齢 歳	身長 cm	体重 kg	視力		経験年数 年
				右	左	
JM	21	161	56	1.2	1.0	11
CT	21	161	58	2.0	2.0	11
KN	21	153	53	1.5	1.0	7
TF	20	164	56	1.0	1.0	10
TH	20	155	47	1.0	1.0	8
TK	22	159	49	0.7	0.7	13
MO	22	159	54	0.8	0.8	8
YU	22	157	47	0.8	0.8	7
ES	21	162	48	1.2	1.2	12
MU	22	164	55	0.1	1.5	10
TY	20	160	53	1.5	1.5	6
MT	22	158	52	1.0	1.5	10

4. 実験対象者及び実験期日

実験の対象者は本学のバスケットボール部に所属する女子12名で、実験期日は平成9年10月17日～21日、本学体育科ダンス室で実施した。表1に被験者12名のプロフィールを示す。

Ⅲ. 結 果

1. 反応方法別に見たタイミングエラー（反応誤差）について

表2は反応方法別に見たそれぞれのタイミングエラー（反応誤差）の平均値と標準偏差を示したものであり、表3は繰り返しのある処理×被検体（8×12）の2要因分散分析の結果を示したものである。まず、移動視標所要基準時間、1.238秒に対する反応方法別タイミングエラー（絶対誤差）の平均値及び標準偏差は手打叩反応0.057秒±0.043；右前腕振下げ反応0.060秒±0.036；左前腕振下げ反応0.065秒±0.051；右下肢振上げ反応0.105秒±0.070；左下肢振上げ反応0.092秒±0.063；体幹前屈反応0.101秒±0.076；両脚跳躍反応0.090秒±0.075；投反応0.134秒±0.085であった。

次に、2要因分散分析を行った結果、反応方法、被検体に主効果 $F(7, 11)=34.63$ $p<0.01\%$ ； $F(7, 11)=14.37$ $p<0.01\%$ が認められ、図2に反応方法に対する水準間の有意差検定の結果を示した。図からも明らかなように、手打叩反応、左右前腕振り下げ反応間に有意差は認められなかったが、これらと左右下肢振り上げ反応、体幹前屈反応、両脚跳躍反応及び投反応との間に1%の危険率で有意差が認められた。また、左右下肢上げ反応、体幹前屈反応及び両脚跳躍反応間に有意差は認められなかったが、これらと投反応との間において1%の危険率で有意差が認められた。

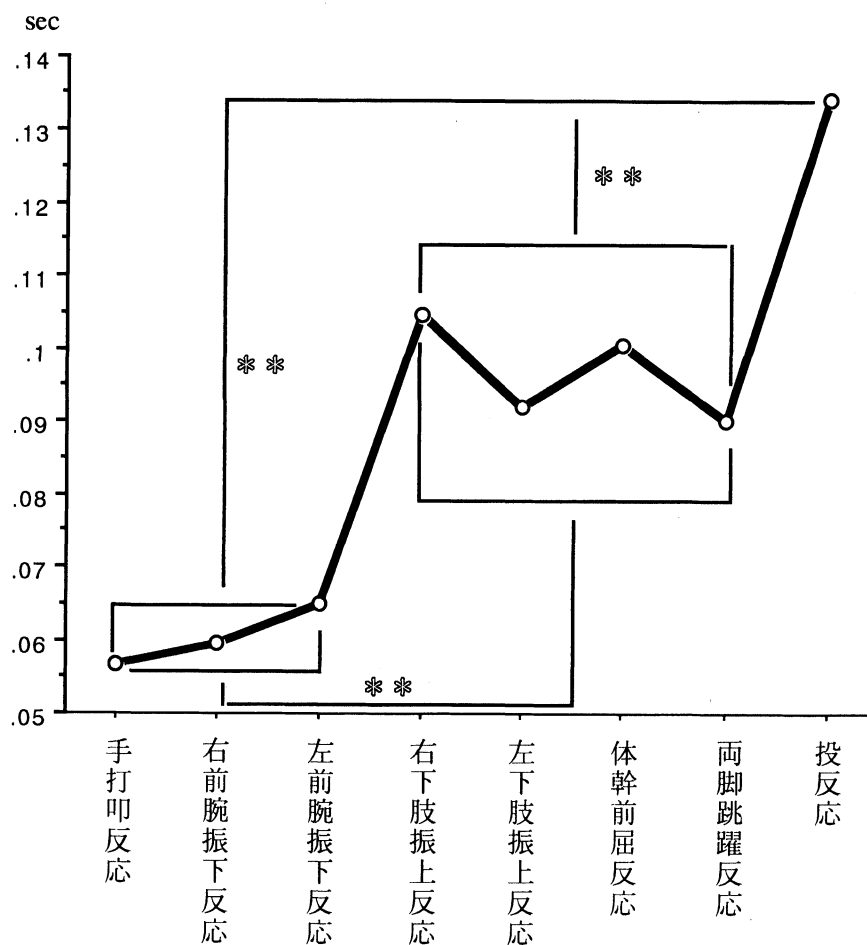
表2 反応方法別に見たタイミングエラーについて

	平均値	標準偏差
手打叩反応	0.057	0.043
右前腕反応	0.060	0.036
左前腕反応	0.065	0.051
右下肢反応	0.105	0.070
左下肢反応	0.092	0.063
体幹前屈反応	0.101	0.076
両脚跳躍反応	0.090	0.075
投反応	0.134	0.085

表3 2要因分散分析の結果

	df	SS	MS	F値	P値
反応方法	7	1.685	0.241	34.63	**
被検体	11	1.097	0.100	14.37	**
誤差	653	2.788	0.023		

** 1% 有意水準



** 1%有意水準

図2 反応方法別に見たタイミングエラー平均値の有意差検定

2. 反応方法別に見たタイミング反応の絶対誤差, 恒常誤差及び変動誤差について

図3は反応方法別に見たタイミング反応の絶対誤差, 恒常誤差及び変動誤差の平均値を示したものである。移動視標所要基準時間1.238秒に対する反応方法別タイミングエラーの絶対誤差の平均値は手打叩反応0.057秒, 右前腕振下げ反応0.060秒, 左前腕振下げ反応0.065秒, 右下肢振上げ反応0.105秒, 左下肢振上げ反応0.092秒, 体幹前屈反応0.101秒, 両脚跳躍反応0.090秒及び投反応0.134秒であった。また, 恒常誤差の平均値について前述した順番に従って見てみると, それぞれ-0.001秒, 0.000秒, 0.018秒, 0.093秒, 0.061秒, 0.060秒, -0.020秒及び0.129秒であった。更に, 変動誤差はそれぞれ0.072秒, 0.070秒, 0.082秒, 0.085秒, 0.112秒, 0.112秒, 0.116秒及び0.094秒であった。

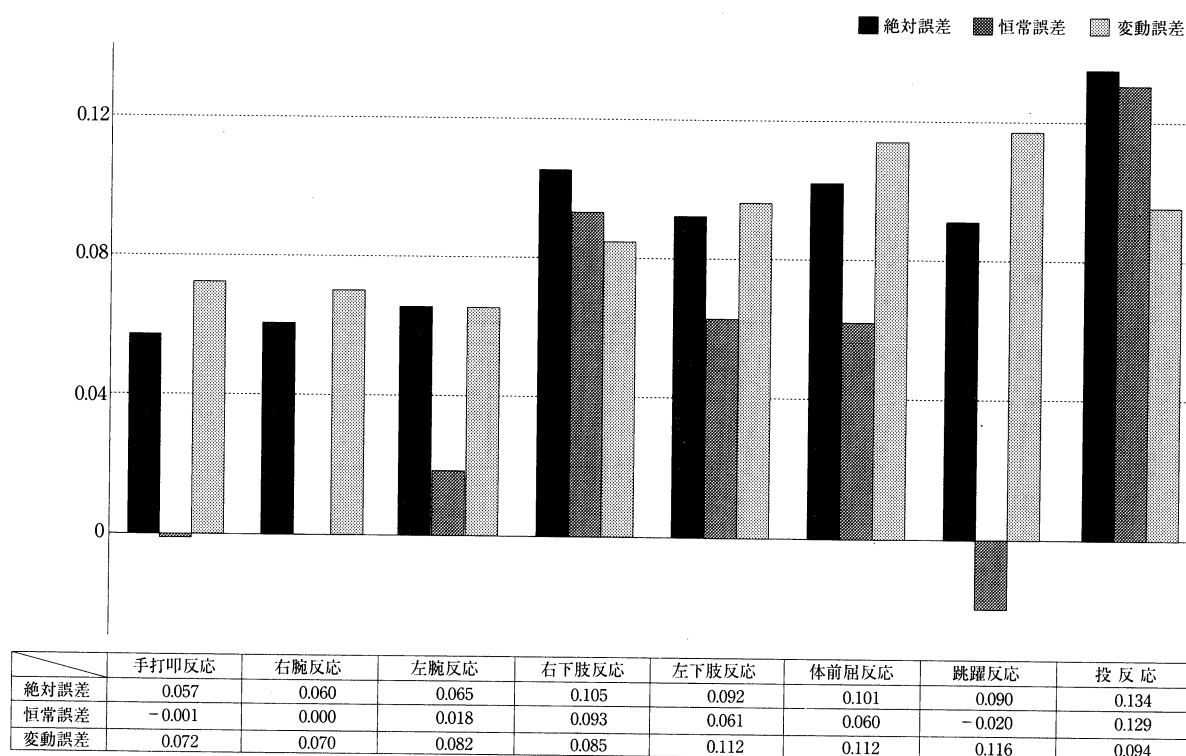


図3 反応方法別絶対誤差、恒常誤差、変動誤差について

IV. 考 察

1. 反応方法別に見たタイミングエラー (反応誤差) について

繰り返しのある処理×被検体 (8×12) の2要因分散分析の結果, 反応方法間に主効果が認められたため水準間の有意差検定を行った。図2はその結果を示したものであるが手打叩反応, 左右前腕振下げ反応の三者間において有意差は認められなかったが, これらと左右下肢振上げ反応, 体幹前屈反応, 両脚跳躍反応及び投反応との間において1%の危険率で有意差が認められた。

今回の実験における反応課題は振り子運動を行う移動視標がタイミング点に重なる瞬間に合わせ

て要求される8つの反応動作をそれぞれ一致させるというものであった。従って、それぞれの反応においては視覚による移動視標とタイミング点の認知（知覚）、つまり、移動視標の速度の分析（見積り）や移動視標とタイミング点との距離の分析（見積り）等が重要であり、また、これらの分析に従った反応を生起させるための意志決定（判断）やその意志決定に基づく実行指令の必要な筋群への伝達及びその収縮が適切に行われるということが重要である。従って、考察をすすめていくにあたってはこれらのことを視野に入れながら検討することにする。

手打叩反応、左右前腕振下げ反応におけるタイミングエラーの平均値はそれぞれ0.057秒、0.065秒、0.060秒で大差なく有意差は認められなかった。これは、三者の反応において、視覚による移動視標の速度の見積りや移動視標とタイミング点との距離の見積りに依存する反応の意志決定と意志決定後、反応に必要な筋群の調節過程が比較的類似していたことによるものと推察される。つまり、反応方法の違いにも拘らず、反応の意志決定と反応に要求される筋群の神経支配が同じ水準で調節されたこと、換言すれば、手や腕の筋群による反応が小筋群によるもので、また反応に参加する筋群も少いこと等から中枢からの筋支配のための指令通信網が同様にオーダーメードされていることが等がこのような結果を招いた原因ではないかと考えられる。また、手や腕は日常生活の中で様々な形で使用され、そのことが繊細で高度な調整力を形成することになり、このことも今回の結果に影響を及ぼしたものと推察される。

次に、手打叩反応、左右前腕振下げ反応と左右下肢振上げ反応、体幹前屈反応、両脚跳躍反応との間に1%の危険率で有意差が認められ前者におけるタイミングエラーは小さかった。このことから前述したように手打叩反応、左右前腕振下げ反応においては移動視標の速度の見積り及び移動視標とタイミング点との距離の見積りに伴う反応の意志決定と反応に必要な筋群の調整が極めて瞬時に円滑に行われているということが理解される。ところで、左右下肢振上げ反応や体幹前屈反応及び両脚跳躍反応においてはそれぞれ反応方法や反応部位で大きく異なるが、共通的要素として考えられるものに移動視標の速度の見積りや視標とタイミング点との距離の見積りを行った後の意志決定とその後、実行指令を受けた筋肉の収縮において時間的な位相のズレが予想されることである。それは、これらの反応が大筋群のしかも複合化された筋群の参加を伴うものであり、又比較的日常生活の中では経験することが少い反応であること等が原因と考えられる。即ち、反応に参加する筋群を目的に合わせて、いつどのように統合、調整するかということが意志決定に対して何らかの形で影響を及ぼし、このことがそれぞれの反応に対する時間的な位相のズレとして現われたものと推察される。更に、反応に必要な筋群の増加に伴う神経支配の多様化と難易度の高まりも今回の結果に影響を及ぼしたものと考えられる。ところで、左右下肢振上げ反応、体幹前屈反応及び両脚跳躍反応におけるタイミングエラーの平均値はそれぞれ0.105秒、0.092秒、0.101秒及び0.090秒であり、これらの反応間における有意差は認められなかった。これは、これらの反応が反応方法や反応部位において異なるものの、これらは複合化された筋群による、しかも大筋群の参加による反応であったため、このことがそれぞれの反応における意志決定に対し同じ水準で困乱の原因を作り、また意

志決定後も反応に参加する筋群をタイミングよく統合, 調整することの困難性がそれぞれの反応に対して一様に作用したことがこれらの反応間におけるタイミングエラーの差を小さくしたものと推察される。

次に, 投反応と他の反応とのタイミングエラーの平均値において1%の危険率で有意差が認められた。投反応以外における反応の成立条件や成立過程については既に述べたが, 投反応と他の反応との間に生じたタイミングエラーの差異, 即ち, 投反応においてタイミングエラーが他の反応に対比して大きくなる要因として考えられるものに次のようなものがある。つまり, 投反応における課題は移動視標がタイミング点に重なる瞬間に同調させてタイミング点の直下に設定された反応板に対して, 1 m45cmの距離からボールを投じて命中させることであった。従って, このような課題に対して適切な反応(投球)を行うためには, まず他の反応と同様に移動視標に対する速度の見積りや移動視標とタイミング点との距離等を見積りを行い, そしてその過程において, 更に1 m45cmの距離に設置された反応板にボールを命中させるために要する時間(飛翔時間)の見積り及びパス反応動作に要する時間を見積り等に依存しながらパス反応のための意志決定を下すことが必要になる。従って, このようなパス反応のための条件の増加が心理的及び行動調整に対する外乱要因になり, これらが結果に見られるようなタイミングエラーの差に影響したものと推察される。

2. 反応方法別に見たタイミング反応の絶対誤差, 恒常誤差及び変動誤差について

タイミングの正確性を示す測度として絶対誤差(AE), 恒常誤差(CE)及び変動誤差(VE)を算出した。図3は反応方法別に移動視標所要基準時間1.238秒に対する各測定値の絶対誤差の平均値, 恒常誤差の平均値及び要求された測定回数における測定値間のバラつき(変動誤差)を示したものである。反応方法間におけるタイミングエラーの絶対誤差については前節の反応方法間における有意差検定の所で述べたので重複を除けるが, 恒常誤差についてはプラス反応(遅延反応)とマイナス反応(早尚反応)が考えられる。つまり, 前者は移動視標所要基準時間1.238秒より遅れた反応を意味し, 一方, 後者はその基準時間より早く反応することを意味している。図からも明らかなように手打叩反応, 右前腕振下げ反応における恒常誤差は0もしくは0に近い値を示した。このことは両者が絶対誤差においても最も小さい反応誤差を示したこと等から判断して, 移動視標所要基準時間に極めて近い所で早尚反応と遅延反応を均等に繰り返した結果によるものと推察される。更に, 両者は変動誤差においても0.072秒と0.070秒と全ての反応の中では最も小さい値を示した。以上のような結果から両反応は本実験で問題にした反応方法の中では反応誤差が小さく, 比較的正確で安定した反応動作であるということが理解できる。次に, 両脚跳躍反応を除いた左前腕振下げ反応, 左右下肢振上げ反応, 体幹前屈反応及び投反応における恒常誤差はそれぞれ, 0.018秒, 0.093秒, 0.061秒, 0.060秒, 及び0.129秒であった。反応方法間における恒常誤差の差の傾向は絶対誤差と同様で, またタイミングエラーの成立条件や成立過程については既に述べた。ここで興味あることは両脚跳躍反応を除いた全ての反応において遅延反応を示したということである。一般に, こ

のような反応課題に対する遅延現象は移動視標の速度の見積りや移動視標とタイミング点との距離の見積り及び反応に要求される身体各部位の筋収縮の調整に要する時間の見積り等の心理的過程全体又はその一部が過大評価されることによって生じるものと考えられる。具体的には、前述した反応に必要ないくつかの見積りが適切でなかったり、或いは反応動作そのものの遅延から、結果的に意志決定が遅れたり、反応が遅れることによって生じるものである。結果に見られるように、遅延反応は複合的な反応課題で、しかも大筋群による反応において大きくなる傾向を示した。従って、このような反応における誤差の増加がいくつかの見積りに対する過大評価によるものと考えられることから、反応誤差を減少させ合目的で適切な反応を実現するためには課題に対する見越し反応（先取り反応、予知反応）の成立が必要と考えられる。特に、投反応に見られる大きな遅延現象は移動視標に対する速度の見越しや距離の見越し、更に、飛翔時間の見越し、反応動作の見越し等を積極的に介入、促進することによって遅延的反應誤差を縮小させることは可能である。また、変動誤差においても図から明白なように右上がりの誤差増加の傾向、即ち、複合的でしかも大筋群による反応において大きくなる傾向を示した。変動誤差は繰り返して行った試技間における測定値のバラツきの度合を示すものであり、換言すれば、反応の正確な再現性を評価するものである。従って、反応の安定した正確な再現性という立場から見ても反応動作の差異によって若干の変化が認められる。

V. 結 論

本研究は振り子運動を行う移動視標がタイミング点に重なる瞬間に合わせて8つの反応動作を同調させるということを課題とし、その際に生じるタイミングエラー（反応誤差）と反応方法との関連を明らかにすることであった。その結果、次のようなことが明らかになった。

1. 繰り返しのある2要因分散分析の結果、反応方法と被検体において主効果が認められ、反応方法に対して水準間の有意差検定を行った結果、手打叩反応、左右前腕振下げ反応と左右下肢振上げ反応、体幹前屈反応、両脚跳躍反応及び投反応との間において1%の危険率で有意差が認められ、また、両下肢振上げ反応、体幹前屈反応及び両脚跳躍反応と投反応との間において1%の危険率で有意差が認められた。
2. 絶対誤差、恒常誤差及び変動誤差は複合的の反応で、しかも、大筋群が参加する反応ほど大きくなる傾向を示した。即ち、手打叩反応や左右前腕振下げ反応におけるそれらは比較的小さく、そして、左右下肢振上げ反応や体幹前屈反応及び両脚跳躍反応が続き、いずれの誤差においても最も大きかったのは投反応によるものであった。
3. 恒常誤差の結果から、両脚跳躍反応を除く全ての反応において遅延反応が認められた。具体的なスポーツ場面、運動場面においては一尽の遅延現象が想定されるので、移動する物体に対しての速度や距離の見越し、その移動物体に対して身体の全体及び一部を同調させるための調

整, 統合見越し等の見越し反応力 (先取り能力) の育成は重要である。

参 考 文 献

- 1) Bootsma, R.J. and Van Wieringen, P.C.W, "Timing an Attacking Forehand Drive in Table Tennis" Journal of Experimental Psychology ; Human Perception and Performance, 16 ; 21-29, 1990.
- 2) Heather Carnahan, Craig Hall, and Timothy D.Lee, "Delayed Visual Feedback While Learning to Track a Moving Target, Research Quarterly for Exercise and Sport, Vol.67, No. 4, Pp 416-423.
- 3) 大築立志: 予測とタイミングからみたヒトの随意運動制御, 体育学研究43 : 137-149, 1998.
- 4) 工藤孝幾: タイミングの遅延反応に関する分析, 体育学研究, Vol.29, 3号, 1984, P195~205.
- 5) Jerry, R.Thomas, Jered, Gallanger, Gracie, J.Parv : s, "Reaction Time and Anticipation Time: Effects of Development" Research Quarterly for Exercise and sport, 1981, Vol, 52, No. 3, Pp 359-367.
- 6) 溪中俊一: タイミングの学習効果に関する実験的研究, 体育の科学, 第16巻, 1966, P259~63.
- 7) 鷹野健次: 身体運動におけるタイミングの実験的研究, 体育の科学, 第11巻, 1961, P567~71.
- 8) _____: タイミングの研究(6), タイミングの機能の発達, 体育学研究, Vol. 7 1963, P 3.
- 9) 調技孝治: タイミング動作における予測の問題, 体育学研究, Vol.14, No. 5, 1970, P78.
- 10) _____: タイミングの心理, 不昧堂親書, 7. 1972.
- 11) 寺田邦昭他; 視機能がタイミング動作に及ぼす影響について (その4), 体育学研究, Vol.11, No. 5, 1967, P72
- 12) _____: タイミング動作の正確性に及ぼす眼球追従運動の解析について, 第2報, 体育学研究, Vol.15, No. 5, 1971.
- 13) 藤田 厚: 身体運動とタイミング, 体育の科学, 第26巻, 1976, P651~56.
- 14) 藤島仁兵他: 追従運動による連続的調節能力と瞬時的調節能力の特徴について, 鹿児島大学教育学部研究紀要, Vol.37, 1986, P27~40.
- 15) _____: 視野と刺激の条件がパス反応時に及ぼす影響について. 鹿児島大学教育学部研究紀要, Vol.40, 1989, P65~83.
- 16) _____: タイミングコントロールに関する基礎的研究, 鹿児島大学教育学部研究紀要. Vol.43, 1991, P29~42.
- 17) 藤善尚徳: タイミングの研究(5), 動作の姿勢及び方法とタイミングの正確さ, 体育学研究, Vol. 7, No. 1, 1962, P 2.
- 18) 松井秀治: タイミングコントロールに関する研究, その2, 体育学研究, Vol. 7, No. 1, 1962, p 1.
- 19) 森田修朗他: 視機能 (色覚) がタイミング動作に及ぼす影響について, (その5), 体育学研究, Vol. 7, No. 5, 1962, P156.
- 20) 山田久恒他: 視機能がタイミング動作に及ぼす影響について, 1. 眼調節作用とタイミング動作, 体育学研究, Vol.10, No. 1, 1966, P39.
- 21) _____: 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, Vol.11, No. 1, 1967.
- 22) _____: 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2報, 体育学研究, Vol.11, No. 1, 1967.
- 23) _____: 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4報, 体育学研究, Vol.11, No. 4, 1968.
- 24) _____: 連続往復移動視標に対する連続的タイミング動作について, 体育学研究, 1974, P251.
- 25) _____: タイミングコントロールに関する研究, 見越し反応的タイミング動作について体育学研究, Vol.16, No. 3, 1971, P134~44.
- 26) 山本裕二: テニスのボレー動作におけるタイミングエラーとスパーシングエラーの分析, Nagoya J.Health, Physical, Sports Vol.17, No. 1, 1994.