バッティング動作におけるタイミングの分析

工藤孝幾 (福島大学教育学部)

(昭和60年8月6日 受付)

Analysis of timing in the batting skill

Koki Kudo

Abstract

Former studies referring to constant error (CE) in coincident timing task have indicated that the tendency toward timing delay increases in proportion to the increase in the magnitude of motor response. In this study, two experiments were conducted to reexamine this tendency in the batting skill. In concrete terms, effects of bat weight, swing amplitude and swing speed on CE in the timing of batting skill were analyzed. All these factors were assumed to affect the magnitude of motor response in this task.

In experiment 1, effects of bat weight and swing amplitude on the timing errors were analyzed when the maximum swing speed was required. Contrary to the hypothesis, these factors produced no significant effect on CE. However, bat weight and swing amplitude affected absolute error (AE), and the latter also affected variable error (VE) significantly. Results of AE and VE meant that the timing accuracy increased as the bat weight and/or swing amplitude decreased.

In experiment 2, effect of swing speed was examined when the conditions of bat weight and swing amplitude were held constant. The results indicated that the timing errors were produced premature timing responses, and this result was opposed to the hypothesis. In AE and VE, timing accuracy increased as the swing speed increased.

Results of CE in two experiments in this study did not support the hypothesis which was brought forth by former studies, and were discussed in terms of differences of task characteristics. Results of AE and VE concerning the effects of swing amplitude and speed on timing accuracy tended to support the impulse-variability model proposed by R.A. Schmidt et al. (1979), but inconsistent results were also obtained in the effect of bat weight on AE.

(Koki Kudo, "Analysis of timing in the batting skill", *Jap. J. Phys. Educ.*, 31-4: 285-92, March, 1987)

1 *Fukushima University, Faculty of Education, Matsukawa-cho, Fukushima-city, Fukushima (960-12)*

は じ め に

工藤¹⁾は、外的事象に動作のある瞬間を時間的に一致させるような単一的タイミング課題を用いた従来の研究結果を再検討し、それらに比較的一貫して見られる傾向として、以下の3点を指摘している。①タイミング反応の動作所要時間(MT)が極めて短い場合、視標速度が増すにつれて尚早反応から遅延反応へとタイミングエラーが変化する。②これに対し一定のMTを必要とするタイミング反応では、視標速度に関わらず遅延反応となる。③その場合、視標速度が増すにつれて遅延反応が顕著になる。工藤はこれらのうち、②と③に関してより詳細な分析を行ない、遅延反応の原因がMTの過小評価によるものであり、従ってタイミング反応のMTが長くなるほど遅延反応傾向が強くなるということを実験的に明らかにしている。本研究の主たる目的は、これらのことがバッティング動作のタイミングにどのように反映されるかを調べることである。

実 験 1

目 的

一定のフォームで、しかも全力でスイングすると仮定した場合、バットが動き出してからボールにヒットするまでの所要時間を決定する主たる要因は、バットの振幅とバットの重量であろう。この場合、振幅あるいは重量が増すとMTが長くなるので、遅延反応傾向が強まると予想される。この点を調べることがここでの第1の目的である。

ところでSchmidt, et al.⁹⁾は、動作遂行時の変動性の量は、その動作の力積とともに増加するというimpulse-variability modelを提唱している。このモデルからは、動作の変動性に関していくつかの仮説が導かれているが⁸⁾、その中で特に本実験に関連する点を示してみる。1つは、動作の変動性は、動作の振幅と比例するというものである。バッティング動作では、MTの見積もりの正確さがタイミングエラーに重要な影響を及ぼしている。従って、振幅増大に伴う動作の変動性の増加はMTの見積もりの正確さを低下させ、その結

果、タイミングエラーに直接的な影響を及ぼすことになるだろう。

次は、動作部位の質量が増すと、変動性も増大するというものである。ところでこのとき、質量増加とともに慣性も増大するが、この慣性は変動性を少なくする作用をもっており、しかも、この慣性による変動性の低下が、先の質量増加による変動性の増大を上回る。従って、結果的には質量増加とともに変動性は減少することになる。Sherwood and Schmidt⁶⁾やNewell, et al.²⁾は、MTを一定にし、反応に用いるレバーの質量を変えることによって、タイミング反応の正確性を比較し、以上のことを検証している。これらの結果から、Schmidt⁸⁾は、質量の増加はタイミングエラーを少なくさせると予想している。ここでの第2の目的は、impulse-variability modelから直接、あるいは間接に導かれるこれらの仮説の妥当性をバッティング動作で検証することである。

方 法

被験者：大学生男子20名。全員右利きとし、また特別の野球経験を持たない者とした。

実験課題、及び装置：Fig. 1は、本研究で用いた実験装置とその配置を示したものである。被験者には、正面のゲートをボールが通過する瞬間とバットがゲートを通る瞬間とを同期させることが要求された。バッティングフォームは、ゲートに対して両足を左右に30cm開いて立ち、なるべく下半身を用いないで水平にスイングするというものであり、動作を開始したら最後まで一気に全力でスイングすることを要求した。構えの時のバットはスタート台の上に載せるようにし、台の高さは被験者の胸の高さに調整した。ボールは卓球のボールを用い、ベルトに取り付け、そのベルトをモーターで回転させることにより、台上を3 m/secの速度で水平に移動させた。また、ボールがゲートに達する30cm手前からボールをマスキングした。この距離は、時間にして100msecに相当する。これは、毎回の試行結果に関する視覚的KRをあい昧なものにすることにより、練習による効果を受けにくくするためのものである。

実験条件と手続き：バットの振幅条件として、

Fig. 1 Placement of equipments in experiment 1 and 2.

15.0度, 47.5度, 90.0度の3水準を設定した(Fig. 1 参照). 但し, ゲート通過後もそのまま最後までバットを振り切らせた. また, バット重量条件として, 0.30kg, 1.05kg, 1.80kg の3水準を設定した. バットとしては, 直径3.5cm, 長さ80cm の棒を用い, 重さだけを変えた.

以上の2つの要因の組み合わせによって構成される, $3 \times 3 = 9$ 条件のそれぞれにつき7回ずつ, 合計63試行をランダムな順序で実施した. 1回ごとの手順は, まず条件に慣れさせる為に3回の素振りを行なわせ, 次にボール移動を2回見送らせ, 3回目に反応させた. 尚, 外的KRは一切与えなかった.

測度: タイミングエラーは, ボール用ゲートとバット用ゲートとにライトスイッチを取り付け, ボール通過とバット通過の瞬間を電磁オシログラフ(日本電気三栄5M20)に記録した. 紙送り速度を1m/sec とし, 1msec まで読みとった. 尚早反応を(-), 遅延反応を(+), 各条件7試行の平均値を Constant Error (CE), またその7試行の標準偏差を Variable Error (VE), また絶対値の平均を Abusorute Error (AE) とした.

また, スタート台にもライトスイッチを取り付け, バットが動き始めてからゲートに達するまでの時間を測定した. 各条件7回の平均を MT とし, その7試行における標準偏差を Variability

of Movement Time (VMT) とした.

結果

Fig. 2 はタイミングエラーの3つの測度について, 条件ごとの平均と標準偏差を示したものである. CE を見ると, すべての条件で遅延反応傾向が示されているのが分かる. さて, これらに対し, バット重量要因(3)×振幅要因(3)の繰り返しのある2要因分散分析を行なったところ, AE と VE において振幅要因の主効果がみられ (AE: $F=9.42$, $p<.01$, VE: $F=4.17$, $p<.05$, いずれも $df=2, 38$), また AE では重量要因の主効果もみられた ($F=3.94$, $p<.05$, $df=2, 38$). 即ち, AE, VE 共に振幅が広い方がエラーが大きいということであり, またバット重量が重いほど AE が大きいということである. CE に関してはなんら有意な差はみられなかった.

Table 1 は, 各条件における MT 及び VMT の平均と標準偏差である. まず MT の値をみると, 最も大きい値で160.8msec であり, このことから今回のバッティング課題がバリスティックな動作によって行なわれていたことが伺える.

次に, VMT の平均について繰り返しのある2要因分散分析を行なったところ, 振幅要因のみが有意であった ($F=52.82$, $p<.01$, $df=2, 38$). 即ち, 振幅が広いほど動作の変動性が大きくなるということであり, バットの重量はこの変動性に

Fig. 2 Means and standard deviations of three measures (CE, AE, & VE) for each condition in experiment 1.

有意な影響を及ぼさないということである。

考 察

まず、CEの結果が示していることの1つは、すべての条件で遅延反応の傾向が見られたということであり、この点では工藤¹⁾の結果と一致している。しかし、バットの重量や振幅によって決定される動作時間の長さと、タイミング反応における遅れの程度との間に予想されたような関係を見ることは出来なかった。つまり、MTの見積もりの過小評価がタイミングの遅れの程度を決定するのであれば、バットの重量や振幅といった条件による効果がCEに反映される筈である。ところが、Fig. 2のCEの結果を見ても分かるように、それらの効果は現われていない。このような結果の原因としては2つの可能性が考えられる。1つは、今回の条件の中で最も長いMTでも160.8msecであり、全体にかなり短時間で動作が行なわれている。このような条件では、MTの見積もりにおける過小評価というものがタイミングの遅れの程度を決定するほどの影響力をもっていないのではないかという点である。もう1つは、従来の多くの実験的タイミング課題と本実験で用いた課題と

の性質上の違いである。従来用いられている多くのタイミング課題では、例えば視標がある地点に達した時にボタンを押すといったように、視標空間と反応のための動作空間とが別個のものである場合が多い。これに対し今回の課題では、実際にボールをバットで撃つことはしていないが、Fig. 1から分かるように、被験者側からはボールのタイミング点と動作のタイミング点とが空間的に一致している。このような課題の性質の相違は、反応メカニズムにも大きな違いを生じさせることが考えられ、このことが今回の結果に反映されているのかもしれない。

どれが真の原因であるかは今後の検討によらざるをえないが、いずれにせよバッティング動作では、バットの重量や振幅によって決定されるMTがタイミングの尚早一遅延反応とは無関係であることが分かった。

次に、AEとVEの分析結果について考察する。まず今回の結果は、バットの振幅がタイミングの正確性に有意な影響を及ぼし、振幅が広くなるにつれて正確性が失われることが示された。このことは impulse-variability model を支持するもの

Table 1. Means(M) and standard deviations (SD) of movement time and it's variability for each condition in experiment 1.

amplitude of bat swing		bat weight					
		light		intermediate		heavy	
		MT	VMT	MT	VMT	MT	VMT
15.0°	M	19.2	1.17	25.4	1.91	30.5	1.90
	SD	2.4	0.66	3.4	1.54	3.7	1.78
47.5°	M	73.9	5.55	92.7	6.49	108.8	5.06
	SD	10.3	3.72	9.8	3.75	8.4	1.61
90.0°	M	116.9	10.34	140.8	11.28	160.8	9.31
	SD	19.2	5.61	20.9	5.71	14.5	4.40

Note: MT=movement time, VMT=variability of movement time, all times are in milliseconds.

であると同時に、コンパクトにスイングすることにより正確性を向上させるという一般的方略とも一致している。

これに対しバット重量要因の影響は、AEの場合、重いほど正確性が失われるという結果が得られたが、これは一般的方略と一致する半面、質量増加はバッティングの時間的誤差を少なくするという Schmidt³⁾の予想とは逆の結果である。この矛盾は Schmidt の予想が MT を一定にした上での質量増大に伴う正確性の変化に関する実験結果^{2),3)}から導かれたものであるという所に起因するものであると考えられる。即ち、通常のバッティングを考えれば、バットの重量を増せば MT は増大し (Table 1)、これらの相乗効果としてタイミングの正確性は変化するのである。今回の結果は、このような場合、重量増大によってタイミングの正確性は失われることを示したものである。

ところで、impulse-variability model に沿って今回のデータをみると、振幅要因に関しては、振幅が増大することにより MT は長くなり、それに伴って VMT も大きくなり、結果としてタイミングの正確性が失われたということになる。しかし、重量要因に関しては、重量増大に伴い MT は長くなるが、VMT は変化していない。それにも関わらず、タイミングの正確性が低下しているのはどういことであろうか。ここで明確な答えを出すことは困難であるが、1つだけ言えることは、動作

の変動性のみがタイミングの正確性を決定するものではないということであろう。

実 験 2

目 的

実験1では、いずれの条件でも全力でバットスイングするように条件を統一した時の、バット重量と振幅のタイミングエラーに及ぼす影響を調べたが、ここでは逆に、バットの重量と振幅とを一定にした時の、バットのスイング速度による影響について検討する。この場合は、スイング速度が遅くなるほど MT は長くなるので、その結果として遅延反応の傾向が強まることが予想される。

ところで、タイミングに限らず一般的な行動傾向として、動作速度を落とすことによって正確性の向上を期すということが挙げられる。これは、動作の速度と動作の正確性とは相反する関係にあるということが一般的に信じられているからである。ところが Schmidt⁷⁾や Newell, et al.⁴⁾は、タイミングの正確性は動作速度が速い方が正確であるという実験結果を示している。これは明らかに先の内容と矛盾するものである。実験2では、主にこれらの点に関して分析を行なった。

方 法

被験者：大学生男子20名。被験者の条件は実験1と同じである。

実験課題：課題、及び装置は基本的には実験1と同じである。但し、ここでは以下の条件すべてにおいて0.3kgのバットを用い、振幅を90度と一定にした。

実験条件と手続き：MTが100msec, 180msec, 260msecとなるような3水準のスイング速度条件を設定した。それぞれの条件を7回ずつ、合計21試行をランダムな順序で実施した。

初めに、バットのスイング速度の練習を行なわせた。毎回のMTが被験者に分かるようにタイマーの表示部を被験者の正面にセットし、被験者はこれを見ながらそれぞれのスイング速度について30回ずつ、合計90回練習を行なった。次に、実験者が1回ごとに3種類の速度のいずれか1つを指示して行なわせ、各条件とも3回連続して+20

Table 2. Means(M) and standard deviations (SD) of movement time and it's variability for each condition in experiment 2.

	swing speed					
	fast		intermediate		slow	
	MT	VMT	MT	VMT	MT	VMT
M	104.2	10.80	185.3	25.04	238.0	33.70
SD	14.9	6.02	11.7	5.15	20.8	11.02

Note: MT=movement time, VMT=variability of movement time, all times are in milliseconds.

msec から-20msec の誤差の範囲内に納まるようになるまで練習させた。

以上の手続き終了後、直ちに本実験に移った。毎回の手順は、初めに速度条件を指示すること、MT に関しての KR を与えることを除き実験 1 と同じである。

測度：実験 1 と同じ。

結果

Table 2 は MT と VMT の条件ごとの平均と標準偏差を示したものである。MT の値を見ると slow 条件（指示された MT=260msec）で、実際の MT が若干短めであった他は、ほぼ指示通りの速度で行なわれていたことが分かる。MT に関して分散分析、及び多重比較を行なったところ、3 条件間すべてにおいて有意な差が認められたので、この実験における条件設定は一応満たされていたと解釈することが出来る。そこで次に、VMT に関して分散分析を行なったところ、有意差が見られ ($F=81.4$, $p<.01$, $df=2, 38$)、多重比較では全ての条件間に差が見られた。このことは、スイング速度が遅いほど動作の一貫性が失われるということを意味している。

Fig. 3 はタイミングエラーの 3 つの測度の条件ごとの平均と標準偏差を示したものである。ここで注目しなければならないのは CE の符号であり、全ての条件で実験 1 とは逆に尚早反応傾向にあるという点である。

さて、3 測度それぞれに対し分散分析を行なったところ、全てにおいて有意差が見られた (CE: $F=9.28$, AE: $F=16.80$, VE: $F=7.18$, いずれも $p<.01$, $df=2, 38$)。多重比較の結果はいずれも

Fig. 3 Timing error (CE, AE, & VE) as a function of swing speed.

fast 条件（指示された MT=100msec）のみが他の条件よりエラーが少ないというものであった。

考察

CE に関する本実験の結果は、全く予想に反するものであった。1 つは全条件で尚早反応傾向が見られたという点である。特に fast 条件の実際上の MT が 104.2msec であり、実験 1 のバット重量 0.3kg、振幅 90 度という同じ条件での MT が 116.9 msec で、ほぼ等しい速度で行なっているのに、一方で尚早、他方で遅延反応だったのである。もう 1 つは、予想では MT が長くなるほど遅延反応が強まるというものであったが、結果はむしろ逆であった。

これらの原因は恐らく、今回のタイミング課題の中に動作を制御するという新たな側面が追加されたことによるものと考えられる。なぜならば、今回同様に指示された MT や速度でタイミング反応をするというほかの実験結果でも、類似した傾向が示されているからである。例えば Shea⁹⁾が行なった実験では、指定された MT が長い時ほど遅延反応傾向が少なくなるという結果が示されて

いる。また Newell et al.³⁾の行なった実験では、指示された動作速度が遅いほど尚早反応傾向が強くなるという、今回とはほぼ同様の結果が示されている。今回も含めてこれらに共通している点は、タイミング反応の動作速度が外部から指示される場合、遅い動作ほど相対的にタイミングが早くなるということである。

次に、AE と VE に関しては共に、fast 条件で最も正確なタイミング反応が得られた。これは Schmidt⁷⁾や Newell⁴⁾と同様の結果であり、スピードと正確性との相反関係とは矛盾するものである。ところで Schmidt⁸⁾は、このような結果の原因として2つの説明が可能であるとしている。1つは、動作速度が速い方が MT が短く、それだけ刺激予測時間が長くなるために正確性が向上したというもの。もう1つは、MT が短い方が動作の変動性が小さいため、効果器の予測がより可能であったというものである。今回の実験では VMT が速度増大に伴って小さくなるという結果が得られているところから、少なくとも2つめの説明が妥当なものであることが示されたといえるだろう。

ま と め

工藤は¹⁾、タイミングの遅れが主として動作所要時間の過小評価によるものであり、従ってタイミング反応の動作を完了する時間が長くなるほど遅延反応が顕在化するというを示したが、今回用いたバッティング動作による反応ではそれを裏付けるようなデータは得られなかった。

これらの結果に対していくつかの観点から考察が加えられたが、それらの妥当性については今後の検討を待たなければならない。しかし結論的にいえることは、従来の実験室的タイミング課題とは異なり、バッティングでは動作所要時間の長さというものが、尚早—遅延反応というものに直接結びつくものではないということである。

次に、AE と VE の結果は2つの意味で興味深いものであった。1つは実際的な意味であり、バット重量を軽くし、コンパクトに振ることによってバッティングの正確性を期すという一般的方略

が、タイミングという点では妥当なものであるということ。但し、スピードに関しては、速く振る方がタイミングの正確性は向上するという結果であり、一般的に信じられているスピードと正確性の相反関係とは矛盾するということである。勿論、バッティングの正確性はタイミングばかりではなく、位置的正確さも求められているわけであるから、今回検討した要因が、位置的正確性というもう1つの正確性の側面にどのような影響を及ぼすのかについても今後検討する必要があるだろう。

もう1つは、impulse-variability model によって導かれる理論的仮説との整合性の問題であり、スイング速度と振幅に関しては、この理論から導かれる仮説と一致した反応傾向を得ることが出来た。しかし、バットの重量の効果は Schmidt⁸⁾の予想とは逆の結果、即ち重いほどタイミングの正確性は失われるという結果であった。これは、Schmidt の予想が動作時間を一定にした時の反応部位の質量を変化させた場合の効果に関する実験結果に基づいたものであったのに対し、今回の条件設定がいずれのバット重量においても、全力スイングを要求するというものであったためと考えられる。しかし、実際のバッティングのことを考えれば、今回の設定条件が自然であり、従って実際的な意味では、ここで得られたデータの持つ意味は大きいといえるだろう。

引用・参考文献

- 1) 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, 29: 195—205, 1984.
- 2) Newell, K.M., Carlton, L.G. and Carlton, M.J., "The relationship of impulse to timing error," *Journal of Motor Behavior*, 14: 24—45, 1982.
- 3) Newell, K.M., Carlton, L.G., Carlton, M.J. and Halbert, J.A., "Velocity as a factor in movement timing accuracy," *Journal of Motor Behavior*, 12: 47—56, 1980.
- 4) Newell, K.M., Hoshizaki, L.E.F., Carlton, M.J. and Halbert, J.A., "Movement time and velocity as determinates of movement timing accueacy," *Journal of Motor Behavior*, 11: 49—58, 1979.
- 5) Shea, C., "Effect of extended practice and movement time on motor control of a coincident timing task," *Research Quarterly for Exercise and Sport*, 51: 369—81, 1980.

- 6) Sherwood, D.E. and Schmidt, R.A., "The relationship between force and force variability in minimal and near-maximal static and dynamic contractions," *Journal of Motor Behavior*, 12 : 75—89, 1980.
 - 7) Schmidt, R.A., "Movement time as a determiner of timing accuracy," *Journal of Experimental Psychology*, 79 : 43—47, 1969.
 - 8) Schmidt, R.A., *Motor control and learning: A behavioral emphasis*, Human Kinetics Publishers: Champaign, Illinois, 1982. pp. 352—64.
 - 9) Schmidt, R.A., Zelaznik, H.N., Hawkins, B., Frank, J.S. and Quinn, J.T. Jr., "Motor-output variability : A theory for the accuracy of rapid motor acts," *Psychological Review*, 86 : 415—51, 1979.
-