

フィードフォワード制御動作における 効果器の見越しを含んだ一致 タイミング課題の学習

橋 本 晃 啓

はじめに

橋本（2012）は、バスケットボールなどのボールゲームにおいて移動している味方にパスをすることは一致タイミング課題であるとし、これには、Poulton（1957）の言う受容器の見越しに加えて効果器の見越しが必要であることを指摘した。すなわち、移動指標（仮現運動で実際には運動をしていないものについても「移動指標」とする。以下同じ。）の到達時刻と到達位置を正しく予測し、ボールなどの反応アイテムが移動指標と際会（meet）できる位置まで運動するのに要する時間、または移動指標の到達時刻に反応アイテムが際会位置まで運動していることを正しく予測しなければこの課題は達成されないということである。

そして、一致タイミング課題で、反応にボタン押しやキー押しなど小筋活動を用いた研究（Wrisberg and Ragsdale（1979）、Wrisberg et al.（1979）、Del Ray（1982）、Del Ray et al.（1982, 1983）、Haywood（1983）、Catalano and Kleiner（1984）、橋本ほか（1987）、Buekers et al.（1988）、Dunham（1989）、Chen et al.（1993）、Brady（1996）、Ripoll and Latili（1997）、Benguigui and Ripoll（1998））は、効果器の見越しというよりは受容器の見越しを検討したものであるとした。一方、Wrisberg et al.（1982）、Matsuo et al.（1993）、Molstad et al.（1994）Williams et al.（2002）は、効果器の見越しを含んだ、バリア倒しや実際のバットないしラケットスイングで反応

させている。しかし橋本（2012）は、これらの反応様式ではフィードバック制御も利用することができるが、前述のパスの場合は、筋出力終了後、際会時刻までにボールの飛行時間があるため、出力パラメータの設定や変更が完全にフィードフォワード制御で行われる必要がある点で異なっていることを述べている。

このことから橋本（2012）は、ボールの飛行時間を正しく予測し、動作開始時刻を調整して際会時刻を制御するスキルを疑似的に抽出したユニークな一致タイミングの実験課題を考案し、高校生男女バスケットボール選手を対象にした検討を行っている。その結果は、男性のほうが女性よりも正確であり、競技能力が異なる選手間では正確さに差は認められないというものであった。

パスの学習を始めたばかりの未熟練者では、移動する味方のプレイヤーに対して、これが通り過ぎた後に、すなわち走るプレイヤーの背中側にパスをしてしまう傾向が認められる。一方熟練者では、パスの受け手の速度が変わったり、受け手がほかのプレイヤーに替わったりなどのパラメータ変更が行われても、このようなエラーをせずに受け手が意図した位置に到達する瞬間にボールが渡るようなパスをすることができる。これは、受け手が、ボールの軌道を見て、フィードバック制御によって際会位置への到達時刻を調整することがなくても可能なようである。

このことは、川人（1996）のフィードバック誤差学習スキームにおける「逆モデル」が獲得されており、フィードバック制御を行わずに、移動するプレイヤーにタイミングをあわせることができるような学習が成立していることを示している。しかし、その学習のプロセスは明らかではないし、効果的な学習をもたらす要因についても明らかではない。

一致タイミング課題の学習については、Bassin 装置を用いた以下の研究データがある。

Del Ray et al. (1982) が文脈干渉効果 (contextual interference effect) を検討した際の習得段階では、一定練習群において、16試行×4ブロックの

橋本：フィードフォワード制御動作における効果器の見越しを含んだ一致タイミング課題の学習

第1ブロックから第4ブロックの間で、絶対誤差がおよそ55 msec から40 msec まで減少したことがグラフから読み取れる。また、Haywood (1983) が移動指標の速度変化に対する転移を検討した際の習得段階では、移動指標の速度により若干の差はあるが、20試行までには絶対誤差が約40 msec まで減少している。Catalano and Kleiner (1984) が変動練習 (variable practice) の効果を検討した際の練習段階では、一定練習群で40試行の最初から絶対誤差が35~40 msec で安定しており、変動練習群でも絶対誤差が約40 msec まで減少していることがグラフから読み取れる。これらの実験では、いずれも結果の知識 (knowledge of results) のフィードバック情報が被験者に与えられている。

一方 Bassin 装置に似た装置を用いた研究に、橋本ほか (1987)、Ripoll and Latili (1997) のものがある。前者では、結果の知識のフィードバック情報を与えているが、プレプログラミング (preprogramming) を検討するために反応キーを40 cm 離れた位置に設置しており、その影響か50試行後でも学習効果は認められていない。後者では結果の知識のフィードバック情報が与えられておらず、40試行後でも学習効果は認められていない。

以上の研究の実験課題では、橋本 (2012) が正しく指摘するように、反応にボタン押しやキー押しなど小筋活動を用いており、効果器の見越しというよりは受容器の見越しに関する学習を検討したものといえる。

キー押しのような非常に短い動作距離や動作時間の反応様式ではなく、比較的效果器の見越しも必要とされる一致タイミング課題の学習に関しては以下の研究データがある。

Schmidt et al. (1990) は、テニスのバックハンドストロークを類推したスイング動作を用いて要約フィードバック (summary feedback) の検討を行っている。その習得段階は15試行×6ブロックで、空間的誤差と動作速度を組み合わせ得点を従属変数として、これがブロック間で有意に増加していることを述べている。しかしながら、残念なことに下位検定の結果が示されておらず、どのブロックの段階で学習が成立したかは明らかにさ

れていない。Magill et al. (1991) は、バットでのバリア倒し動作を用いてフィードバック除去の効果を検討している。4種類の実験すべてにおいて、5試行×15ブロックで、絶対誤差および変動誤差についてブロック間で有意な減少があったことを述べているが、これも残念なことに下位検定の結果が示されておらず、どのブロックの段階で学習が成立したかが明らかにされていない。

Matsuo et al. (1993) は、野球の投手－打者間の距離に近い光の走路 (run way) を用いてバットスイングをさせ、スイングの時間的構造を分析している。その際に絶対誤差が 30 msec 以下になることを求めて10試行程度で達成されているが、対象が熟練者であり、学習というよりは分析のために再学習あるいは想起させたものと考えたほうがよいであろう。

これらの研究も、橋本 (2012) が正しく指摘するように、反応動作開始後のある時点までフィードバック制御ができるという点で、移動する味方にパスをする課題とは質の異なる課題での学習を検討したものである。

フィードフォワード制御動作における効果器の見越しに関する学習については、Isaacs (1990) が、橋本 (2012) と同様の問題意識から、移動指標用の Bassin 装置と反応アイテム用の Bassin 装置の2台を組み合わせた実験を行っている。ただし、この研究の主眼は移動指標が移動する方向とこれに対する反応アイテム側がなす角度である。そのため、誤差が大きいとの理由から、最初の10試行×2ブロックが分析から除かれている。この20試行の間に学習が成立したとも考えられるが、詳細は明らかにされていない。

以上のことからすれば、一致タイミング課題は、文脈干渉効果や変動練習、要約フィードバックなどを検討するための実験課題としては用いられているが、それ自体の学習は問題として取り上げられておらず、またフィードフォワード制御動作における効果器の見越しを含んだ一致タイミング課題の学習は未だ検討されていないと言える。

Masaki et al. (2012) は、一致タイミング事態における脳神経機構の分析

橋本：フィードフォワード制御動作における効果器の見越しを含んだ一致タイミング課題の学習

に先立って、これに必要な力発揮から力最大までの時間について、100ないし200 msec と非常に短いものを要求してフィードバック制御を制限した学習をさせている。1ブロック10試行を被験者が納得するまで繰り返すという条件ではあるが、学習後の本実験のデータからすれば、この学習が成立したと思われる。

あらためて述べると、パスの場合は、受け手（移動指標）がボールを受ける（際会）位置の座標とその時刻、反応開始位置の座標、反応アイテムとしてのボールの飛行距離・速度または時間、反応開始時刻を反応開始前に予め知っておく必要がある。橋本（2012）の実験課題は、これらのうち、際会位置座標、反応アイテムの初期座標、移動距離および移動時間を固定したため、移動指標の際会位置到達時刻を予測し、反応アイテムの移動開始時刻を設定する課題であった。

Masaki et al. (2012) が学習させたものは、「反応アイテムの動作時間」であり、「反応アイテムの移動開始時刻」よりは Poulton (1957) の効果器の見越しの原意に沿うものであろう。橋本（2012）の実験課題を改良して、反応アイテムの速度条件をいくつか選択肢として加えればより原意に近いものとなるであろう。しかし、実験の要因を増やすことになる。

そこで、この点は残された課題として、ここでは、橋本（2012）の実験課題を用いて、学習がなされることの確認も含め、フィードフォワード制御動作において効果器の見越しが必要な一致タイミング課題の学習を検討することにした。

研 究 方 法

1) 被 験 者

被験者は、第67回国民体育大会岐阜大会バスケットボール競技の広島県少年男子候補選手28名であった。彼らは、第一次選考を通過した広島地区の高校生であった。橋本（2012）の結果から、少年女子候補選手は被験者とせず、また第二次選考を通過したかしなかったかに関する競技能力によ

る選別は行わなかった。

2) 実験課題

実験課題は以下のとおりであった。図1に示すように、24インチモニター画面上の左端にターゲットとなる下向きの赤い三角形を、右端にこれに一致させる上向きの黒い三角形を、互いの頂点が7ピクセル離れた平行線上にあるように置いた。赤い三角形は移動指標である。これは、実験者の操作により、左から毎秒256ピクセル（24インチの画面上約 11.0 cm/sec, 以下同じ）で右に等速直線運動をし、640ピクセル（約 27.4 cm）移動した「際会位置」に到達すると、被験者の操作とは独立に停止する。

黒い三角形は反応アイテムである。これは際会位置から480ピクセル（約 20.6 cm）右側に位置しており、被験者が「Go」と書かれたボタンをマウスで左クリックすることにより、毎秒384ピクセル（約 16.5 cm/sec）で左に等速直線運動を開始し際会位置で停止する。

被験者は「Go」ボタンにマウスカーソルをあわせて待機し、赤い三角形の移動開始後、赤い三角形と黒い三角形が際会位置で同時に止まるように、利き手の人差し指でマウスをクリックして黒い三角形の移動を開始させることを要求された。



図1 課題提示画面

3) 装 置

上記の実験課題は、Windows7 で作動する Visual Basic.2010 で作成されたものであった。三角形の移動にはこれに含まれる「タイマーコントロール」が使用された。この「タイマーコントロール」は平均 15.625 msec で動作しており、上記の条件から、計算上は赤い三角形の移動時間は 2,500 msec、黒い三角形の移動時間は 1,250 msec となる。

予備実験として、.NET Framework の「Stopwatch クラス」によって、赤い三角形の移動時間および黒い三角形の移動時間を独立に測定した。それぞれ5,000回の測定をした結果、前者の平均は 2,498.96 msec で標準偏差は 0.266 msec であり、後者の平均は 1,248.91 msec で標準偏差は 0.286 msec であった。このことから、両者とも理論値よりは約 1 msec 早く際会位置に到達するが、その差は 1,250 msec であったと言える。

図 2 は、赤い三角形、黒い三角形の両者が移動している途中の画面であり、両者が際会位置に到達した画面は図 3 にあらわされている。

被験者は、机の上に置かれた24インチモニター画面に正対して約 60 cm の間隔で椅子に腰を掛け、10 cm 前方の利き腕側に置かれたマウスで操作を行った。マウスは、モニターに接続したノート型パーソナルコンピュータに有線でつながれており、実験者はモニターを制御するパーソナルコン

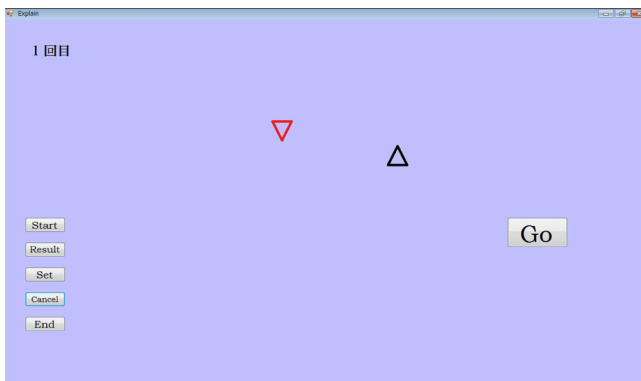


図 2 指標および反応アイテム移動中画面

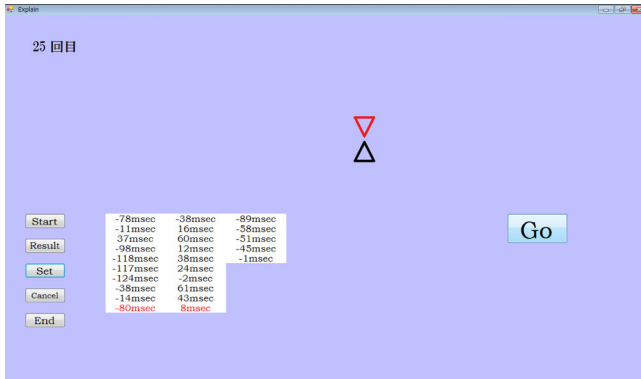


図3 結果表示画面

コンピュータのキーボードで操作を行った。

4) 手 続 き

被験者は、2つの三角形が画面上で移動するのを観察しながら課題の説明を受けた。図4はその説明の一部である。そして、3回の練習試行を行った。課題説明および練習試行の画面では、学習試行との区別を明確にするために背景色が変わっていた。

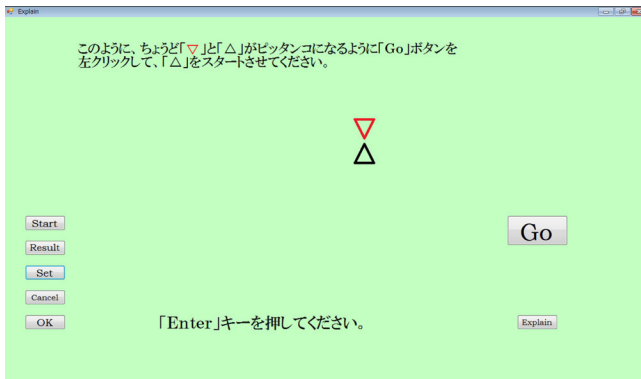


図4 課題説明画面

橋本：フィードフォワード制御動作における効果器の見越しを含んだ一致タイミング課題の学習

練習試行の後、図1の画面に移行して合計120回の学習試行を行った。学習試行は、1セットが30試行、1日2セットが2日間にわたって行われた。1日のセットとセットとの間には約5分間の休憩期間が挿入された。

練習試行、学習試行とも、1試行ごとにフィードバック情報が与えられた。フィードバック情報はミリ秒単位で、赤い三角形が先に際会位置に到達した場合、すなわち被験者の反応が遅すぎた場合に正、黒い三角形が先に際会位置に到達した場合、すなわち被験者の反応が早すぎた場合を負としてあらわした。たとえば図3で、結果表示の最左列1行めに「-78 msec」とあるのは、被験者が黒い三角形の移動を開始させるのが78ミリ秒早かったことを示している。

学習試行では、被験者のモチベーションを維持するために、10試行ごとに画面上に平均フィードバックが表示され、実験者によって注意の方向づけがなされた。図5は図3と同じセットのものであるが、図5の左上部に「絶対誤差:30.2msec」とあるのは、第11試行目から第20試行目までの10試行において、後述する誤差の絶対値の平均が30.2ミリ秒であったことを示している。

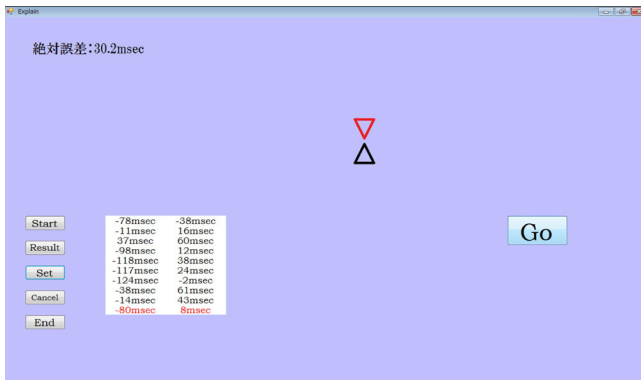


図5 平均フィードバック表示画面

結果および考察

被験者の成績は、.NET Framework の「Stopwatch クラス」によって測定された。実験者のキー操作時刻を「Stopwatch」のスタート、被験者のマウスクリック操作時刻を「Stopwatch」のストップとして、「Stopwatch」の計測時間を求めた。そして、上記赤い三角形と黒い三角形の移動時間の予備実験測定結果に基づいて、その差 1,250 msec をこの計測時間から減じたものを一致タイミングの誤差とした。

ただし、三角形が際会位置に到達する「見え」については、予備実験の結果が示す変動等により、一致タイミングの誤差と数 msec のタイムラグが生じた可能性がある。

測度は、絶対誤差 (absolute error)、および総変動 (total variability) とした。絶対誤差は、2つの時刻の差すなわち誤差の絶対値を平均したものであり、総変動は、誤差 0 msec を基準とした散布度をあらわすものである。なお総変動の平方は、正負を付した誤差の平均をあらわす恒常誤差 (constant error) の平方と、誤差の標準偏差をあらわす変動誤差 (variable error) の平方との和に等しい。

図6は、1セット30試行を2つのブロックに分け、合計8ブロックにおける絶対誤差と総変動の平均値をあらわした学習曲線である。

絶対誤差および総変動のそれぞれについて、1要因の分散分析を行った。その結果、絶対誤差 ($F(7,189) = 12.11, p < 0.01$)、総変動 ($F(7,189) = 11.69, p < 0.01$) のいずれにも 1%水準で有意な学習の主効果が認められた。

そこで、両方の測度について多重 t 検定を行った。結果は、絶対誤差、総変動のいずれに関しても同様であった。すなわち、第6、第7、第8ブロックは、第1、第2、第3、第4ブロックよりも有意に誤差が小さく、第5ブロックよりも誤差が小さい傾向が認められた。また、第1から第5ブロックまででは、第3および第4ブロックと第5ブロックとの間では有

橋本：フィードフォワード制御動作における効果器の見越しを含んだ一致タイミング課題の学習

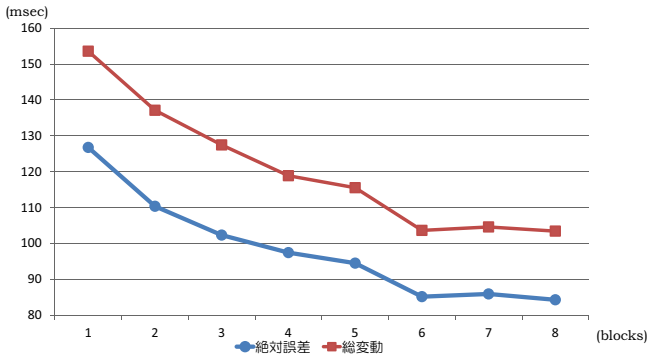


図6 ブロックにおける絶対誤差と総変動の推移

意ではなかったが、誤差が漸減していることが明らかになった。

図6からわかるように、第6、第7、第8ブロックでは絶対誤差約85 msecで頭打ち状態を示している。冒頭部分で引用した受容器の見越しの学習データでは、絶対誤差がおよそ40 msecまで減少していたが、今回の課題と同様の課題を用いた Isaacs (1990) の第21試行から第100試行までの平均は、2台の Bassin 装置の角度 180° を除いて¹⁾ ほぼ80 msecである。このことから、このあたりにひとつの天井 (ceiling) がみられ、ここで取り上げた一致タイミング課題では、90試行前後で学習が成立したと考えられる。

また、絶対誤差、総変動とも第6ブロックまで漸減していることから、この学習は線形にすすむと考えてよいであろう。

先述のように、Isaacs (1990) は20試行後に誤差が安定したことを示唆している。これは、Bassin 装置では走路のランプが次々に点灯して移動しているかのような仮現運動を提示するのであるが、運動が離散的であるため、移動指標側の何番目ランプが点灯したときに反応アイテム側をスタートさ

1) 角度 180° では 100 msec を超えている。角度 180° では、ランプが被験者に向かって縦方向に並んでいるため、その順序数を同定することが難しかったのかもしれない。

せればよいか容易に同定できる。一方本研究の実験課題では、モニター画面上にはこのような目印となるものがないことから学習成立までに多くの試行数を要したと考えられる。

なお、Isaacs (1990) では移動指標の速度が 89.33 cm/sec と、本研究の実験課題よりもかなり速い。この速度の違いが絶対誤差に影響すると考えることもできるが、バリア倒し動作で Wrisberg et al. (1982) は高速のときに絶対誤差が小さくなることを示し、逆に、バットスイング動作で Molstad et al. (1994) は低速のときに絶対誤差が小さくなることを示している。移動指標の速度が絶対誤差や総変動に及ぼす効果を検討する必要はあるが、现阶段では影響があるともないともいうことはできない。

さらに、本研究で検討した学習は、移動指標の際会位置到達時刻を予測し、反応アイテムの移動開始時刻を設定できるようになることであった。先述のように、受容器の見越しの学習に関する先行研究では、多くとも 20 試行程度で絶対誤差が 40 msec まで減少するという結果が得られている。これを踏まえて、本研究で用いた課題と同じ時間条件で、移動指標の際会位置到達時刻の予測のみを学習させた場合、また反応アイテムの到達時刻から移動開始時刻を逆算させることの学習をさせた場合、90 試行という長い期間を必要とするのか等、本研究の結果との関連を検討する必要がある。

今回の実験課題では、移動指標の移動速度および際会位置の座標、反応アイテムの速度（移動距離および移動時間）を固定した。しかし現実のパスの場面ではこれらは変動する。パスの受け手が走る速度は一定ではなく、受けようと意図する位置も毎回異なる。同じ位置、同じ時刻にボールを届かせるとしても、動作開始時刻を遅らせてボールの速度を上げることも、動作開始時刻を早めてボールの速度を落とすこともできる。このような現実場面に適応できるようになるためには、90 試行よりははるかに長い学習期間が必要となるかもしれない。

また、受容器の見越しを検討した研究に、移動指標の異なる速度

(Dunham (1989), Brady (1996)) や速度変化 (Benguigui and Ripoll (1998)) に適応することを検討したものがあある。これらの中には、たとえば野球の変化球に適応することを想定したものがあるかもしれない。野球の場合は、敵方の変化に対する適応であるが、パスの場合の移動指標はタイミングをあわせようとする味方である。パスの受け手が、自分の受けようとする位置への到達が早すぎることを正しく予測して移動スピードを落とし、同時にパスの出し手が、ボールの到達が遅くなることを正しく予測してパスのスピードを上げると、あたかも、正面衝突を避けるために相手をよけようとした時、相手も同じ方向によけてしまつて結果的に衝突をしてしまうのと同様のエラーが生じる。

現実場面ではこのようなエラーを起こさないように、プレイヤーとプレイヤーが協力して有効な時間条件をつくり出す学習が行われている。これはパスに限ったものではなく、スクリーンプレイでセットされたスクリーンに対してタイミングよくすり抜け動作を開始する場合も同様である。そしてこれらの学習過程は、エージェントとエージェントが情報のやりとりをして共創を実現していく過程である。この共創が実現される過程も検討する必要がある。実際のプレイ場面と比較すると、今回の実験課題では変動要因を統制し過ぎていたのかもしれない。現実場面の学習過程を明らかにするための研究課題は、山積している。

文 献

- Benguigui, N. and Ripoll, H. (1998) Effects of tennis practice on the coincidence timing accuracy of adults and children. *Research Quarterly for Exercise and Sport*, 69(3): 217-223.
- Brady, F. (1996) Anticipation of coincidence, gender, and sports classification. *Perceptual and Motor Skills*, 82: 227-239.
- Buekers, M., Pauwels, J. and Meugens, P. (1988) Temporal and spatial anticipation in twelve-year-old boys and girls. In Colley, A. M. and Beech, J. R. (Eds.) *Cognition and action in skilled behavior*. Elsevier Science Publishers B. V.: Amsterdam, pp. 283-292.

- Catalano, J. F. and Kleiner, B. M. (1984) Distant transfer in coincident timing as a function of variability of practice. *Perceptual and Motor Skills*, 58: 851-856.
- Chen, D., Singer, R. N., Cauraugh, J. H. and Kashdan, M. S. (1993) Tennis skill level and coincidence anticipation. *Research Quarterly for Exercise and Sport*, 64: A-72.
- Del Ray, P. (1982) Effects of contextual interference on the memory of older females differing in levels of physical activity. *Perceptual and Motor Skills*, 55: 171-180.
- Del Ray, P., Wughalter, E. H. and Whitehurst, M. (1982) The effects of contextual interference on females with varied experience in open sport skills. *Research Quarterly for Exercise and Sport*, 53(2): 108-115.
- Del Ray, P., Whitehurst, M., Wughalter, E. H. and Barnwell, J. (1983) Contextual interference and experience in acquisition and transfer. *Perceptual and Motor Skills*, 57: 241-242.
- Dunham, P. (1989) Coincidence anticipation performance of adolescent baseball players and nonplayers. *Perceptual and Motor Skills*, 68: 1151-1156.
- 橋本晃啓 (2012) 高校生バスケットボール選手における効果器の見越しに関する一致タイミングの正確さ——フィードフォワード制御動作の時間的予測——. *修道法学*, 35(1) : 1-15.
- 橋本・調枝・坂手・藤井・財満・矢作 (1987) 運動開始前の微調整の研究 (IV)——IP と微調整測定との関係——. *スポーツ心理学研究*, 14(1) : 114-116.
- Haywood, K. M. (1983) Responses to speed changes in coincidence-anticipation judgments after extended practice. *Research Quarterly for Exercise and Sport*, 54(1): 28-32.
- Isaacs, L. D. (1990) Effects of angle of approach on coincidence-anticipation timing within a two target display. *Journal of Human Movement Studies*, 19: 171-179.
- 川人光男 (1996) 脳の計算理論. 産業図書 : 東京.
- Magill, R. A., Chamberlin, C. J. and Hall, K. G. (1991) Verbal knowledge of results as redundant information for learning an anticipation timing skill. *Human Movement Science*, 10: 485-507.
- Masaki, H., Sommer, W., Takasawa, N. and Yamazaki, K. (2012) Neural mechanisms of timing control in a coincident timing task. *Experimental Brain Research*, 218: 215-226.
- Matsuo, T., Kasai, T. and Asami, T. (1993) The improvement of coincidence anticipation timing task with bat-swing. *Journal of Human Movement Studies*, 25: 99-119.
- Molstad, S. M., Kulka, D. A., Love, P. A., Baylor, K. A., Covington, N. K. and Cook, T.

- L. (1994) Timing of coincidence anticipation by NCAA DIVISION I softball athletes. *Perceptual and Motor Skills*, 79: 1491–1497.
- Poulton, E. C. (1957) On prediction in skilled movements. *Psychological Bulletin*, 54 (6): 467–478.
- Ripoll, H. and Latili, I. (1997) Effect of expertise on coincident-timing accuracy in a fast ball game. *Journal of Sports Science*, 15: 573–580.
- Schmidt, R. A., Lange, C. and Young, D. E. (1990) Optimizing summary knowledge of results for skill learning. *Human Movement Science*, 9: 325–348.
- Williams, L. R. T., Katene, W. H. and Fleming, K. (2002) Coincidence timing of a tennis stroke : Effects of age, skill level, gender, stimulus velocity, and attention demand. *Research Quarterly for Exercise and Sport*, 73(1): 28–37.
- Wrisberg, C. A. and Ragsdale, M. R. (1979) Further tests of Schmidt's schema theory : Development of a schema rule for a coincident timing task. *Journal of Motor Behavior*, 11 (2): 159–166.
- Wrisberg, C. A., Paul, J. H. and Ragsdale, M. R. (1979) Subject gender, knowledge of results, and receptor anticipation. *Research Quarterly*, 50(4): 699–708.
- Wrisberg, C. A., Hardy, C. J. and Beitel, P. A. (1982) Stimulus velocity and movement distance as determiners of movement velocity and coincident timing accuracy. *Human Factors*, 24 (5): 599–608.