

移動指標が前試行の時間的見越しに したがって移動する一致タイミング 課題の学習

橋 本 晃 啓

は じ め に

本研究の問題意識は、バスケットボールのようなボールゲームにおいて、移動するプレイヤーがパスを受ける位置に到達すると同時に、ボールが届くようにパスすることができるスキルの学習にある。

橋本（2012）は、このスキルが、パスの受け手を移動指標とし、ボールを反応アイテムとして、これらを際会（meet）位置で時間的・空間的に一致させる一致タイミング課題であるとした。そして、パス事態における筋出力のパラメータ設定がフィードフォワード制御で行われる必要があることを正しく指摘し、移動指標に関しては際会位置到達時刻を見越し、反応アイテムに関してはその移動開始時刻を見越して、移動指標と反応アイテムが際会位置に同時に到達するよう制御することを求める一致タイミング課題を考案した。

そして、この「迎撃様一致タイミング課題」（橋本，2016）について、男性のほうが女性よりも正確であり（橋本，2012），90試行前後で学習が成立し（橋本，2014），Poulton（1957）のいう「知覚的見越し」に関する課題、および「効果器の見越し」に関する課題に要素分割して学習（橋本，2015）させたところ、迎撃様一致タイミング課題の学習を促進させるような転移効果をもたらさない（橋本，2016）ことを明らかにしている。

一方で、現実のパス事態には、構造パラメータとして、パスの受け手が

到達する際位置の座標と到達時刻、投げ手の反応開始位置の座標、ボールの飛行距離・飛行時間（または飛行速度）、および反応開始時刻がある。そして、厳密に言えば、これらのパラメータの値は常に異なり、二度と同じ場面はあられない。

特に受け手に関しては、ボールを受けるために、投げ手にタイミングをあわせようと協力・共同作用をする。しかし迎撃様一致タイミング課題では、移動指標が常に等速運動をしており、受け手が行うような共同作用は含まれていない。迎撃様一致タイミング課題の学習研究では上記の成果が得られているが、移動指標がパラメータ変更を行う課題での学習を検討する必要がある。この場合の課題は、野球のチェンジアップのように、移動指標がタイミング誤差を大きくすることを目的としてパラメータ変更を行い、これに対して適応する一致タイミング課題（Dunham, 1989, Molstad et al., 1994）とは異なる。

パス事態の投げ手と受け手のように、エージェントが協力・共同作用をしてタイミングをあわせる課題について、今と三宅（2005）は、タッピング課題を用いて、2人の被験者間で互いのタップ音を聞かせ、その同調過程を分析している。2分に満たない間の100回のタップの分析であり、どのようなタイミングのあわせかたをしているかに関する遂行状態の分析である。また、武藤と三宅（2004）は、歩行動作において2人の被験者間で互いの足の接地音を聞かせ、協調歩行の出現を検討している。10分間の歩行において、どのようなタイミングのあわせかたをするようになるかに関する学習過程の分析である。これらの研究のように、2人の人間に相互に同期させることを要求して、これを分析することも協力・共同作用へのアプローチの方法であるが、一方を機械にしてふるまいを統制し、どのようなタイミングのあわせかたをすれば目標達成に近づけるかについて検討することも、また別の協力・共同作用へのアプローチの方法である。

機械に一定のタイミングのあわせかたを設定して、人間との間での協調関係を検討したものとしては以下の研究がある。

橋本：移動指標が前試行の時間的見越しにしたがって移動する一致タイミング課題の学習

三宅ほか（2001）は、ロボットと人間の歩行において、互いの足の接地音を入力してリズムの引き込みを検討し、歩行周期が、人間はロボット側に、ロボットは人間側に接近することを明らかにしている。この協調歩行では、人間、ロボットの双方が歩行の固有振動数を持ち、その時間発展にともなってコヒーレンスが変化するとされる。そして、ロボットのタイミングのあわせかたとして、位相関係の現在値から想定されるコヒーレントな関係に基づいて人間側の固有振動数の発展を予測し、これと目標値から求められた振動数をロボット側の固有振動数の時間発展として設定する（武藤と三宅，2002）というものが採用されている。

歩行は周期的な連続運動であるため、固有振動数や位相のコヒーレンスをパラメータとすることができるが、パス事態は離散運動である。これらのパラメータを用いてタイミングのあわせかたを設定することは極めて困難である。

このようなことから橋本（2018）は、パス事態を模した離散運動で、前回の人間側のエラーに基づいてコンピュータが移動指標の運動のパラメータを設定するユニークな課題を考案した。この課題では、次試行の移動指標の移動所要時間が、一定時間に直近3試行における一致タイミングの恒常誤差（constant error）を加えた時間に設定された。これは、協力・共同作用のやりかたとして、「指導者ゲーム」もどきの自己主張の強いあわせかたをするというものであった。

「指導者ゲーム」とは、Rapoport（1967）が分類したジレンマゲームのひとつである。2人の行為者がそれぞれ「主導」と「補佐」の2つの戦略をもつとして、ゲームの結果は、①両行為者とも「補佐」を選択、②両行為者とも「主導」を選択、③行為者Aが「主導」行為者Bが「補佐」を選択、④行為者Aが「補佐」行為者Bが「主導」を選択、の4つが得られる。利得は、①のとき両者ともに p 、②のとき両者ともに s 、③④で「主導」を選択した場合を r 、「補佐」を選択した場合を q とすると、 $r > q > p > s$ となる（鈴木，1970，秋山，2009）。

③と④の結果がパレート最適で、一方の行為者が「主導」を選択した場合、他方は「補佐」の選択を余儀なくされるが、「主導」を選択した行為者は最大の利得を得て、「補佐」を選択した行為者も最大の次の利得を得ることができる。すなわち橋本(2018)では、コンピュータ側が「主導」的な立場に立って協力・共同作用を行い、移動指標と反応アイテムが際会位置に同時に到達するという、双方とも大きな利益を得るようなふるまいを行ったと解釈できる。ただし、上で「もどき」としたのは、コンピュータは最大の利得を求めて「主導」を選択するが、人間側の利得のほうが小さいかどうかは定かではないという意味である。

結果は、90回の学習試行で、移動指標の移動所要時間が変化しない課題と比較して、絶対誤差がほぼ同様の値まで減少するというものであった。

ここで、自己主張の強いあわせかたの対極に、隷従するわけではないが相手の主張にしたがう「英雄ゲーム」もどきのあわせかたが考えられる。

「英雄ゲーム」も Rapoport (1967) が分類したジレンマゲームのひとつである。行為者と戦略は「指導者ゲーム」と同じであるが、利得の大小が異なっており、 $q > r > p > s$ と r と q が逆転する。すなわち、非対称な結果の場合、「補佐」を選択したほうが「主導」を選択したものより利得が大きくなる(鈴木, 1970, 武藤, 2007)。

自己主張の強いあわせかたの対極にある実験課題とは、上に倣えば、コンピュータ側に「補佐」的な立場に立たせて協力・共同作用を行い、移動指標と反応アイテムが際会位置に同時に到達するという、双方とも大きな利益を得るようなふるまいをさせる課題ということである。

以上のことから、バス事態を模した一致タイミング課題において、移動指標は前試行までのエラー情報に基づいて移動を停止または加速するのであるが、「主導」的に、一定時間を基準として移動所要時間を変更する課題と、「補佐」的に、移動所要時間を前試行で反応した時間条件とする課題について、その学習を比較検討することにした。

橋本：移動指標が前試行の時間的見越しにしたがって移動する一致タイミング課題の学習

研 究 方 法

1) 被 験 者

被験者は、第72回国民体育大会愛媛大会バスケットボール競技の広島県少年男子候補選手18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り、以下の2つの群に9名ずつ振り分けられた。

それは、一致タイミング課題における移動指標の移動所要時間について、一定時間を基準としてこれに前試行における被験者の恒常誤差を加えた時間に設定される群（以下CE群とする。）、および前試行における移動指標の移動開始から反応アイテムの際会位置到達までの時間に設定される群（以下TA群とする。）であった。

2) 実 験 課 題

実験課題は以下のとおりであった。図1で、紫色、水色、青色の丸印はプレイヤーを模したものである。紫色丸の内部には、ボールを模した同心円の赤い丸が含まれている。図左上隅の白色、黒色、肌色の境界部分を原点(0,0)とし、x軸方向を右に正、y軸方向を下に正として、ピクセルを単位としてあらわしたとき（以下同じ）、紫色丸および赤丸は、中心の座標

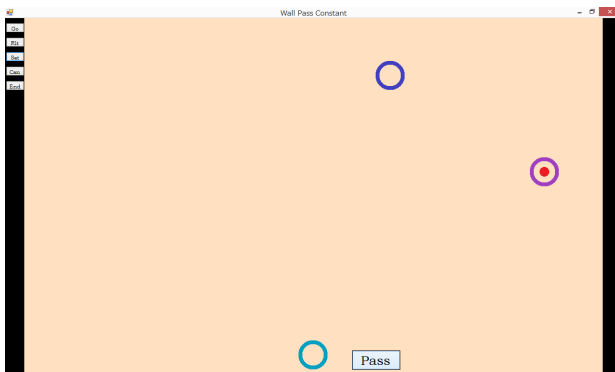


図1 課題提示画面

が(1120, 320)であった。水色丸は被験者という設定で、中心の座標は(640, 700)であった。

実験者の操作により、赤丸は、紫色丸(1120, 320)から水色丸(640, 700)まで、x軸方向について毎秒384ピクセル(24インチのモニター画面上約16.5 cm/sec, 以下同じ)で直線的に移動する。その所要時間は1,250 msecであった。この赤丸の移動は被験者がパスを受けることを想定したものである。

青色丸は被験者からパスを受けるプレイヤーという設定で、移動指標である。その移動前の中心の座標は(800, 120)であった。青色丸は、赤丸の水色丸への移動開始の1,000 msec後に移動を開始する。起始位置(800, 120)から座標(440, 160)を経由する放物線を描き、停止位置(160, 320)に到達すると被験者の操作とは独立に移動を停止する。この停止位置が移動指標と反応アイテムの際会位置である。

被験者が「Pass」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、反応アイテムである赤丸は、水色丸(640, 700)から際会位置(160, 320)に向かって、x軸方向について毎秒320ピクセル(約13.7 cm/sec)で直線的に移動する。際会位置までの所要時間は1,500 msecであった。この赤丸の移動は、被験者が受け手にパスをすることを想定したものである。

図2は、上述した赤丸と青色丸の移動の時間関係をあらわしている。図の上段が赤丸移動開始-水色丸到着-被験者の反応による移動再開-際会位置到着であり、下段が青色丸移動開始-際会位置到着である。この図は青色丸と赤丸が同時に際会位置に到達した場合であり、図中に時間が表記されている部分は、間隔が表記時間に固定されていることを示す。

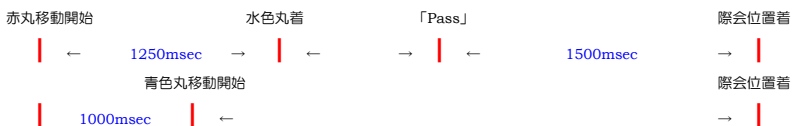


図2 刺激-反応ダイアグラム

橋本：移動指標が前試行の時間的見越しにしたがって移動する一致タイミング課題の学習

被験者は「Pass」ボタンにマウスマウスカーソルをあわせて待機し、赤丸が水色丸に到達した後、青色丸と赤丸が同時に際会位置に到達することを目標として、利き手の人差し指でマウスをクリックして赤丸の移動を開始させることを要求された。以下、この赤丸が水色丸に到達してから被験者が「Pass」ボタンをクリックするまでの時間を「赤丸保持時間」とする。

青色丸の移動について、両群とも最初の3試行では、x軸方向について毎秒256ピクセル（約 11.0 cm/sec）の等速度運動を行う。その所要時間は2,500 msecであった。第4試行以降は直近3試行の被験者の成績に応じて1試行ごとに移動所要時間が変えられた。以下、直近3試行の被験者の成績に応じて設定された青色丸の移動開始から際会位置到達までの時間を「青色丸移動時間」とする。

CE群では、直近の3試行における恒常誤差の平均値を2,500 msecに加えたものを次試行の青色丸移動時間とした。この課題は、橋本（2018）が用いたもので、パスの受け手は投げ手のタイミングに合わせようとはするが、自己ペースの基準をおいてこれに基づいて移動することに相当する、受け手中心の課題であった。

一方TA群では、直近の3試行について、青色丸の移動開始から被験者の反応までの時間に赤丸の移動時間の1,500 msecを加えた時間（後掲する図5でいえば黒棒-黒棒であらわされる時間）の平均値を算出し、これを次試行の青色丸移動時間とした。これは、青色丸移動時間を、直近3試行における青色丸と赤丸の移動に関する被験者の時間的見越し（temporal anticipation）に合わせるように設定したということである。

Poulton（1957）は、運動する移動指標に関して、あらかじめこれが一定時間後にどの位置にくるかを計算しておくことについて、移動指標が途中でマスキングされて軌道が見えなくなる場合を「知覚的見越し（perceptual anticipation）」、マスキングがなされない場合を「受容器の見越し（receptor anticipation）」とした。また反応側に関して、計画された筋出力を実行した際、ボールを打ち返すバットやラケットがボールの位置にいたるかについ

て反応前に計算することを「効果器の見越し (effector anticipation)」とした。

本研究で与えられた一致タイミング課題では、現実のパス事態と比較して次のものが固定されている。それは、青色丸（受け手に相当する）の初期座標とその移動開始時刻、被験者が移動を開始させる赤丸（ボールに相当する）の座標とその後の移動時間、および青色丸と赤丸の際会位置座標であった。このことから、赤丸を青色丸と同時に際会位置に到達させるためには、知覚的見越し¹⁾として、青色丸の際会位置到達時刻、効果器の見越しとして、赤丸の移動開始時刻を正しく見越しておく必要があった。

被験者のエラーは、この青色丸の際会位置到達時刻の見越しに関するエラーと、赤丸の移動開始時刻の見越しに関するエラーを反映するものである。TA群に与えられた課題は、この2つのエラーを帳消しにするように次試行の青色丸移動時間を設定するもので、パスの投げ手のタイミングエラーをゼロに近づけるように受け手が移動することに相当する、投げ手中心的な課題であった。

なお、図2に表記されている固定時間および青色丸移動時間の設定については両群の被験者には知らされなかった。

また、上記の青色丸移動時間の変更について、移動所要時間を長くする場合は、青色丸の等速度運動を座標 (440, 160) で一時停止させた。また、移動所要時間を短くする場合は、途中で青色丸の移動速度を x 軸方向について毎秒256ピクセルから毎秒320ピクセルに増加させた。

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

1) 青色丸は際会位置到達までマスキングされないが、到達途中で反応する必要があり、この時点以降は移動に関する情報は利用できない。これは、この時点でマスキングされることと同様と考えられ、その意味では受容器の見越しというよりは知覚的見越しが相当する。

橋本：移動指標が前試行の時間的見越しにしたがって移動する一致タイミング課題の学習ものであった。赤丸および青色丸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 で動作した。したがって、赤丸および青色丸の見える移動はこれを 1 単位としたものであった。

被験者は、机上に置かれた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 前方の利き手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ピュータのキーボードで操作を行った。

4) 手 続 き

両群の被験者は、青色丸と赤丸が同時に際会位置に到達した場合、尚早反応で赤丸が先に到達した場合、遅延反応で青色丸が先に到達した場合について、デモンストレーションをともなう説明を受け、3回の練習試行を行った。

練習試行の後、遅延反応の傾向にある場合には青色丸の移動が途中で停止すること、および尚早反応の傾向にある場合には青色丸の移動が加速することについて、デモンストレーションをともなう説明を受けた。そして、図1の画面に移行してそれぞれ120回の学習試行を行った。なお、課題の説明におけるデモンストレーションの方法は、橋本（2018）とまったく同じであった。

学習試行は、1セット30試行を4セット行った。第1セットと第2セットとの間、および第3セットと第4セットとの間には約5分間の休憩期間が挿入された。また第2セットと第3セットとの間には約80分間の休憩期間が挿入された。なお、橋本（2018）では新しいセットの第1回めに青色丸移動時間が 2,500 msec にリセットされたが、ここでは前セットの最終3試行における青色丸移動時間を記録しておき、次セットはこれに基づいて青色丸移動時間を設定した。

学習試行では、赤丸と青色丸の移動の様子が画面上に提示され、誤差結果に応じて、視覚によるフィードバック情報が与えられた。このフィードバックは、恒常誤差が -50 msecより大きく 50 msecより小さい場合、 -50 msec以下の場合、 50 msec以上の場合の3種類で、橋本(2018)が用いたものとまったく同じであった。

この視覚情報に加え、1試行ごとに数値による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、遅延反応を正、尚早反応を負としてあらわした。また、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3は被験者に与えられたフィードバック情報のサンプルである。セットの第10試行めで赤丸の際会位置到達が青色丸よりも 38 msec遅れ、第1試行めから第10試行めまでの絶対誤差の平均が 71.4 msecであることを示している。

以下の3つのことが起こったときその試行はキャンセルとして再試行を行った。それは、被験者がマウスを2回以上クリックしたとき、赤丸が青色丸に到達する前にクリックしたとき、この場合恒常誤差は -750 msecより小となる。そして、恒常誤差が 750 msecを超えたとき、であった。

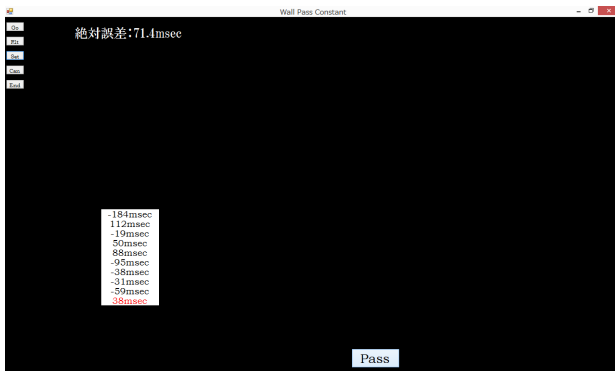


図3 結果表示画面

橋本：移動指標が前試行の時間的見越しにしたがって移動する一致タイミング課題の学習

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の 1,000 msec 後、すなわち青色丸の移動開始時刻を「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、「青色丸移動時間と赤丸の移動時間（1,500 msec）との差」を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。

まず、絶対誤差（absolute error）について検討した。上記一致タイミングの誤差は正負の符号を付した恒常誤差であるが、絶対誤差はその絶対値であらわされる。図 4 は、1 セット 30 試行を 3 つのブロックに分け、合計 12 ブロックにおける両群の絶対誤差の平均値をあらわしたパフォーマンス曲線である。

絶対誤差について、群×ブロックの 2 要因の分散分析を行った。その結果、群には有意な主効果は認められなかった ($F_{(1,16)}=0.003$, NS)。ブロックには 1% 水準で有意な主効果が認められた ($F_{(11,176)}=3.29$, $p <$

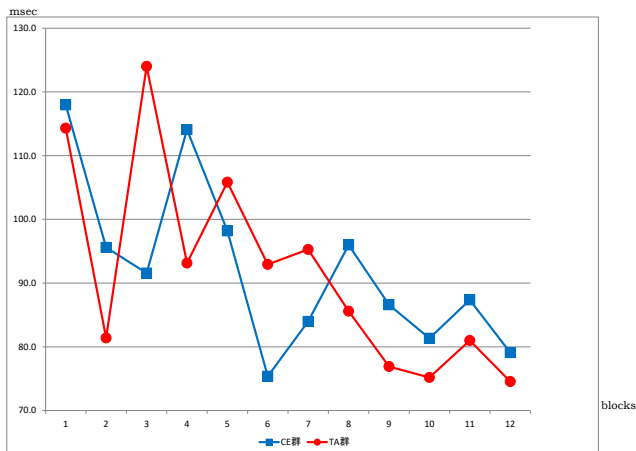


図 4 両群における絶対誤差の推移

0.01)。また交互作用は有意ではなかった ($F_{(11,176)} = 1.18, NS$)。

多重t検定の結果、第1、第3、第4、第5ブロックは、第6および第9～12ブロックよりも有意に絶対誤差が大きいことが明らかになった。また、第1、第3ブロックは第7および第8ブロックよりも有意に絶対誤差が大きく、第2ブロックは第1、第3、第4ブロックよりも有意に絶対誤差が小さいことが明らかになった。

図4を見ると、第2ブロックでTA群、第6ブロックでCE群の絶対誤差が小さい。また、第3～5ブロックでは両群で絶対誤差の大きさに逆の傾向を示し、第7ブロックまでは大きく変動している。しかし、第9ブロック以降は両群とも比較的安定して絶対誤差が減少して、第4セット(第10～12ブロック)では80 msec前後にまで到達し、最終的には両群とも学習がすすんでいることがわかる。

先述のように、青色丸の際会位置到達時刻の見越しは被験者に必要な知覚の見越しである。そして、この時刻は青色丸移動時間で決まる。また、赤丸の移動開始時刻の見越しはやはり被験者に必要な効果器の見越しであり、この時刻は赤丸保持時間で決まる。

図5は、青色丸移動時間と赤丸保持時間との関係を、尚早反応の場合と遅延反応の場合についてあらわしたものである。青色丸移動時間は、図中の上段に青棒から青棒までとして示されている。赤丸保持時間は、図中の下段に赤棒から赤棒までとして示されている。尚早反応および遅延反応の黒棒から黒棒までの時間は、目標である青色丸移動時間に対して、被験者が青色丸に関する知覚の見越しおよび赤丸に関する効果器の見越しを行っ

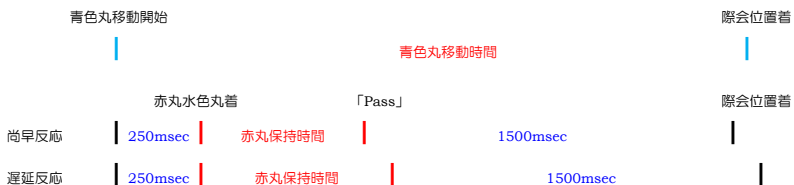


図5 移動指標の設定所要時間と尚早反応・遅延反応の時間関係

橋本：移動指標が前試行の時間的見越しにしたがって移動する一致タイミング課題の学習で反応した結果生じた時間である。尚早反応の場合は、これが目標値（青棒－青棒）より短くなっており、遅延反応の場合は目標値より長くなっている。

図5に示されるように、青色丸の移動開始から赤丸の水色丸到達までの時間は250 msecで変動しない。また、被験者の「Pass」ボタンクリックから赤丸の際位置到達までの時間は1,500 msecでこれも変動しない。したがって、青色丸の移動開始から被験者の見越しエラーを含む赤丸の際位置到達までの時間（黒棒－黒棒）は、尚早反応の場合も遅延反応の場合も、赤丸保持時間に250+1,500=1,750 msecを加えたものとなる。ここで、すべての被験者がすべての試行において一致タイミングの誤差が0 msecであったとすると、

$$\text{青色丸移動時間} = 1,750 + \text{赤丸保持時間 (msec)} \quad \dots\dots\dots\text{①}$$

という線形関係がこの2つの時間の間で成立することになる。そこで、青色丸移動時間と赤丸保持時間との相関について検討することにした。

図6は、両群の各ブロックについて、青色丸移動時間と赤丸保持時間に関するピアソンの積率相関係数をあらわしている。CE群では、第6、第7、第9、第10ブロックにおいて有意な弱い正の相関を示した。一方TA群では、すべてのブロックにおいて有意な正の相関を示し、特に第6ブロック以降では、0.9以上のきわめて強い相関が認められた。

表1は、両群について、上記相関が有意であったブロックにおける回帰直線の係数である。この回帰直線は、青色丸移動時間をy、赤丸保持時間をxとした際の一次式 $y = a + bx$ であり、

$$\text{青色丸移動時間} = a + b \times \text{赤丸保持時間 (msec)} \quad \dots\dots\dots\text{②}$$

とあらわされる。①式と②式との関係から、 $a = 1,750$ 、 $b = 1$ のとき相関係数が1.00となる。そして、表1の切片がa、傾きがbである。

表1を見ると、TA群において、ブロックがすすむにつれて、切片aが

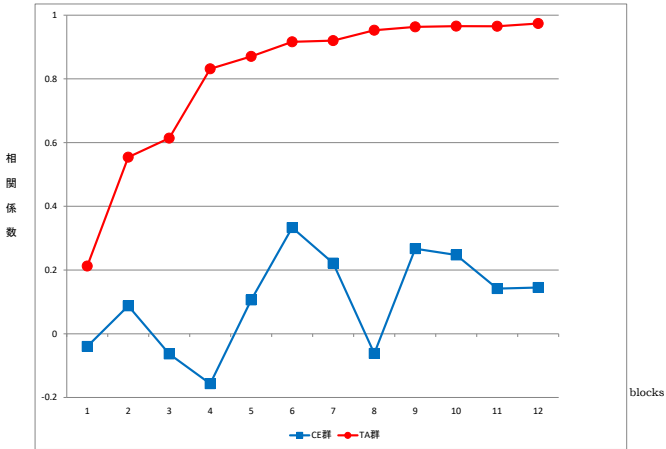


図6 青色丸移動時間と赤丸保持時間との相関

表1 回帰直線の係数

	ブロック	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
CE群	切片						2,367.9	2,390.7		2,390.0	2,363.5		
	傾き						0.1580	0.1092		0.1153	0.1404		
TA群	切片	2,382.3	2,149.3	2,121.4	1,982.8	1,885.3	1,844.8	1,858.9	1,804.6	1,768.9	1,793.4	1,760.5	1,805.5
	傾き	0.1151	0.4469	0.4889	0.6564	0.8050	0.8548	0.8403	0.9233	0.9674	0.9326	0.9572	0.9225

1,750に近づいてゆき、傾き b が1に近づいていることがわかる。このことから、TA群においては、青色丸の際会位置到達時刻の見越しおよび赤丸の移動開始時刻の見越しのいずれもが正しく行えるようになったといえる。

一方CE群では、第10ブロックでも、相関係数、回帰直線ともTA群の第1ブロックと同様である。絶対誤差こそTA群の第1ブロックより小さいが、青色丸の際会位置到達時刻の見越しまたは赤丸の移動開始時刻の見越しの正確さのレベルは低いと考えられる。

絶対誤差に関しては両群間に有意な差は認められなかった。しかしながら、絶対誤差では尚早反応の場合も遅延反応の場合も絶対値が等しければ等価である。ここで青色丸移動時間と赤丸保持時間との相関について検討することによって、絶対誤差からは検出できなかったエラーの方向性を反

橋本：移動指標が前試行の時間的見越しにしたがって移動する一致タイミング課題の学習映させることができ、TA群の時間的見越しの正確さを明らかにすることができた。

図7は、第4試行から第120試行までの、被験者ひとりひとりに提示された青色丸移動時間の推移をあらわしたものである。縦軸が時間で横軸の試行はセットごとに4つに区切られている。青色丸移動時間は各被験者のエラーに基づいて設定されたため、この図は被験者の反応の傾向を示している。淡色であらわされた折れ線がCE群の被験者、濃色であらわされた折れ線がTA群の被験者のものである。

CE群の被験者で、終始2,500 msecの周辺を変動しているのは実験条件から当然のことである。一方TA群では、特に第4セットにおいて、7名の被験者で移動時間が第3試行めまでの2,500 msecよりも短くなっており、1名だけは3,500 msecにまで長くなっていることがわかる。

Okano et al. (2017) は、タッピング課題を用いて、タップのタイミングを2人で同期させることを要求し、そのテンポが次第に早くなっていくことを明らかにしている。タイミングを一致させようとする早め早めに反応してしまうほうに移行する点では上記TA群の7名も同様のように見えるが、

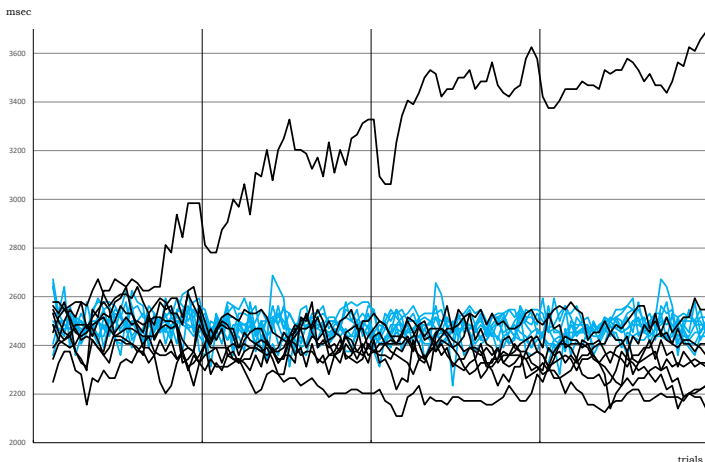


図7 CE群（淡）およびTA群（濃）における青色丸移動時間の推移

Okano et al. が用いたタッピングは周期的な連続運動の課題である。本研究の課題はパス事態を模した離散運動の課題であり、被験者はパス事態を多く経験した者であった。

パス事態では、同じだけボールの位置がずれるとしても、受け手の進行方向にずれる場合と進行方向とは反対の方向にずれる場合とでは、後者の方が捕球が困難となる。また、遅延反応のデモンストレーションにおいては、防御者にボールを奪われるかたちの場面を示した。実戦ではこの場合ただちにいわゆる「逆速攻」を受けることになる。上記の7名は、これらのことを避けるため、尚早反応を選ぶことが多くなったのかもしれない。

一方で、TA群には遅めに反応してしまうほうに移行する1名もあった。これについては、後述のように、青色丸移動時間が十分長いと青色丸の停止は確認できた。いつ移動を再開するかに関する情報は与えられなかったが、停止しない場合で青色丸の移動中に際会位置到達時刻を見越すよりも、停止後にこれを見越して反応するほうがタイミング誤差が小さくなると判断した結果かもしれない。

TA群に与えられた課題は、直近3試行の平均的な自身と同じ時刻に反応すれば誤差がゼロになる課題であった。そして、早め、遅めのいずれに反応するほうに移行するとしても、その過程はポジティブフィードバックによる逸脱増幅傾向を示している。TA群では、自身の心地よいペースに落ち込んでいくことにより、移動指標に関する「知覚的見越し」と反応アイテムに関する「効果器の見越し」が正しく行えるようになったと言える。

最後に、青色丸が停止または加速する場合、被験者が反応前に一致タイミングの手がかり情報を得られたかどうかについて述べておくことにする。

被験者が、仮に青色丸の移動の停止を観察してから反応するとして、青色丸は停止位置(440, 160)から際会位置(160, 320)まで1,093.75 msecを要する。赤丸移動時間は1,500 msecであるから、停止期間が406.25 (1,500 - 1,093.75) msec、すなわち青色丸移動時間が2,906.25 msecのと

橋本：移動指標が前試行の時間的見越しにしたがって移動する一致タイミング課題の学習
き、停止したと同時に反応すれば赤丸は青色丸と同時に際会位置に到達す
る。これより停止期間が短い場合は、停止以前に反応しなければ遅延反応
となる。すなわち、青色丸移動時間が 2,906.25 msec 以上に設定された場
合でなければ、停止を観察した後に赤丸を青色丸に一致させることはでき
ない。

2,906.25 msec 以上の条件で課題を遂行した被験者は、18名のうち TA 群
の 1 名のみであった。この被験者の場合も、青色丸移動時間が 2,906.25
msec であったのは第 4 ブロックの第 5 試行めの 1 回だけであった。このと
きは一致タイミングの手がかり情報が与えられたことになり、理論的には、
移動指標が停止すると同時に反応することを繰り返せば青色丸移動時間は
2,906.25 msec が連続し、恒常誤差 0 msec が続く。しかし、直近 3 試行の
青色丸の移動開始から赤丸の際会位置到達までの時間の平均を 2,906.25
msec にあわせ、かつ青色丸が座標 (440, 160) にあると同時に反応するこ
とをタイミング誤差なく繰り返すことは非常に困難である。実際に、この
戦略は採用されなかった。そして 2,906.25 msec より大の条件で
は、停止している間、いつ青色丸が再スタートするかに関する情報は与え
られていなかった。

結果として、1 回を除いてすべての被験者は、手がかり情報なしに、青
色丸の際会位置到達時刻を反応前に見越し、これから逆算して、やはり反
応前に、赤丸移動開始時刻を設定する必要があった。

一方、被験者が、仮に青色丸の移動の加速を観察してから反応するとし
て、加速と同時に赤丸の移動を開始させて際会位置で青色丸と一致させる
ためには、青色丸が毎秒 320 ピクセルで赤丸の移動時間である 1,500 msec
移動する必要がある。このとき、加速まで、毎秒 256 ピクセルでの青色丸の
移動は 625 msec となる。すなわち青色丸移動時間が $625 + 1,500 = 2,125$
msec²⁾ を越える条件では、加速を観察後に反応したのでは遅延反応となり、

2) 橋本 (2018) は、これを「(2,500–350) msec」(p. 297脚注)としているが、こ
れは誤りである。2,125 msec が正しい。

赤丸を青色丸に一致させることはできない。

青色丸移動時間が2,125 msec以下であった試行は全被験者で1回もなく、結果として、加速の場合もすべての被験者は、手がかり情報なしに、青色丸の際会位置到達時刻を反応前に見越し、これから逆算して、やはり反応前に、赤丸移動開始時刻を設定する必要があった。

お わ り に

バス事態において、受け手が投げ手に対して協力・共同作用をする際のあわせかたについて、受け手が自己（受け手）中心的なパラメータ変更を行う場合と、他者（投げ手）中心的なパラメータ変更を行う場合とを模した学習実験を行った。

移動指標が前試行までのエラー情報に基づいて移動所要時間を変更する一致タイミング課題を用い、移動所要時間を、2,500 msecに直近3試行の恒常誤差の平均値を加えた時間に設定する条件と、直近3試行において被験者が見越した移動指標の移動時間に設定する条件について、それぞれの学習を比較検討した。結果として、絶対誤差については同様の減少を示し、いずれも学習がすすんだことが示された。

一方で、設定された移動指標の移動所要時間と反応時間との相関から、移動指標に関する「知覚的見越し」と反応アイテムに関する「効果器の見越し」については、後者の条件、すなわち前試行におけるタイミングエラーを帳消しにするようなあわせかたをするほうが、より正確な見越しが行われるようになることが明らかにされた。

この結果から以下のことが考えられる。すなわち、受け手が「補佐」的な立場に立って、常に投げ手のエラーを補填するように動くことにより、投げ手は逸脱増幅過程を経て、自身の心地よいタイミングに引き込んでいくことができる。そして投げ手は、受け手がいつ際会位置に到達するかを正確に見越すことができるように、また自身がいつボールを放てばよいかを正確に見越すことができるようになると言える。

橋本：移動指標が前試行の時間的見越しにしたがって移動する一致タイミング課題の学習

本研究で見られた逸脱増幅過程において、タイミングをあわせようとして、早めに反応するほうに移行する者だけでなく、Okano et al. (2017) の指摘する楽器演奏の例とは反対に、遅めに反応するほうに移行する者もあつたことは興味ある結果であつた。

また、移動指標の移動所要時間と反応時間との相関係数が0.9を超えたことに関して、本研究で用いた課題については、この相関係数や回帰直線が見越しの正確さを測る指標として有効な従属変数となることが示された。

しかしながら、受け手が「常に」投げ手の見越しエラーを帳消しにするようにふるまうことは現実的には困難である。受け手側のタイミングエラーもあり、ゆらぎも考えられる。また、受け手も「補佐」役ばかりでなく、自己ペースの自身に心地よい時間条件を主張する「主導」に転じることがあるかもしれない。このことから、移動指標は前試行における「知覚的見越し」および「効果器の見越し」のエラーを帳消しにするような協力・共同作用をするが、数回に1回程度はこれに従わないふるまいをする課題について検討する必要がある。

また今回は、移動指標の設定移動所要時間を無視して、次試行の移動指標の移動時間を、前試行において被験者が見越した移動指標の移動時間とした。すなわち、前試行の目標値に関係なく、次試行の目標値を前試行の実現値に設定したということである。目標値に関係なく実現値があらわれるということは考えられないことから、次試行の目標値を、前試行の目標値と実現値との関係、すなわち移動指標の設定移動所要時間と被験者が見越した移動指標の移動時間との関係で、たとえば平均値などに設定することが考えられる。

文 献

秋山英三 (2009) リーダーシップの形成に関する進化ゲーム——シミュレーションアプローチ. 情報処理学会研究報告 知能と複雑系, 16: 5-10.

Dunham, P. (1989) Coincidence anticipation performance of adolescent baseball play-

- ers 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.
- 橋本晃啓 (2014) 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. *修道法学*, 36(2): 27–41.
- 橋本晃啓 (2015) 一致タイミングにおける知覚的見越しおよび効果器の見越しの学習. *修道法学*, 37(2): 547–566.
- 橋本晃啓 (2016) 「迎撃様」一致タイミング課題に及ぼす知覚的見越し学習および効果器の見越し学習の転移効果. *修道法学*, 39(1): 1–24.
- 橋本晃啓 (2018) 移動目標が停止または加速する一致タイミング課題の学習. *修道法学*, 40(2): 285–301.
- 今 誉・三宅美博 (2005) 協調タッピングにおける相互同調過程の解析とモデル化. *ヒューマンインタフェース学会論文誌*, 7(4): 477–486.
- 三宅美博・宮川 透・田村寧健 (2001) 共創出コミュニケーションとしての人間-機械系. *計測自動制御学会論文集*, 37(11): 1087–1096.
- 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.
- 武藤正義 (2007) 他者配慮の意図せざる結果——多様な相互配慮による2×2対称ゲームの利得構造シフト——. *理論と方法*, 22(1): 71–86.
- 武藤 剛・三宅美博 (2002) 歩行介助を目的とする人間-ロボット協調系における共創出過程の解析. *計測自動制御学会論文集*, 38(3): 316–323.
- 武藤 剛・三宅美博 (2004) 人間-人間協調歩行系における共創出プロセスの解析. *計測自動制御学会論文集*, 40(5): 554–562.
- Okano, M., Shinya, M., and Kudo, K. (2017) Paired synchronous rhythmic finger tapping without an external timing cue shows greater speed increases relative to those for solo tapping. *Scientific Reports*, 7, 43987, doi: 10.1038/srep43987.
- Poulton, E. C. (1957) On prediction in skilled movements. *Psychological Bulletin*, 54(6): 467–478.
- Rapoport, A. (1967) Exploiter, leader, hero, and martyr: The four archetypes of the 2×2 game. *Behavioral Science*, 12: 81–84.
- 鈴木光男 (1970) 人間社会のゲーム理論. 講談社: 東京.