

前試行の実現値とは独立した目標値が 挿入され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。

このパス事態には、構造パラメータとして、パスの受け手が到達する際会（meet）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。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。

このエージェントが互いに協力・共同作用をする一致タイミング課題について、橋本（2018）は、三宅ほか（2001）、武藤と三宅（2002）が、一方を機械にしてふるまいを統制し、人間との間での協調関係を検討した研究の成果を受けて、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。この課題は、際会位置と投げ手の反応開始位置の座標およびボールの飛行距離・飛行時間に相当するパラメータが固定されており、受け手に相当する移動指標の際会位置到達時刻を前試行までのタイミングエラーに基づいて変化させ、これに適應するように、ボールに相当する反応アイテムの移動開始時刻を調整するものである。

このユニークな一致タイミング課題を用いて橋本（2019）は、Rapoport（1967）が分類したジレンマゲームの「指導者ゲーム」と「英雄ゲーム」を

参考に、コンピュータ側が「主導」的な立場に立って協力・共同作用を行う課題と、「補佐」的な立場に立って協力・共同作用を行う課題についてその学習を検討した。

この研究では、移動指標は前試行までの被験者のエラーに基づいて移動を停止または加速し、その移動所要時間が、2,500 msec に直近3試行の恒常誤差 (constant error) の平均値を加えた時間に設定される条件と、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される条件が設けられた。その結果、後者、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協力・共同作用で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。

これは、パスの受け手が「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ふるまうことにより、投げ手は自身の心地よいタイミングに引き込むことができ、受け手がいつ際会位置に到達するか、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ことを示している。しかしながら、受け手が「常に」投げ手の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、タイミングエラーを帳消しにするように移動指標の移動所要時間を設定することが、常に行われるとはいえない条件での学習を検討する必要がある。

そのような条件のひとつとして以下のものが考えられる。それは、橋本(2019)では、前試行の目標値に関係なく前試行の実現値を次試行の目標値とした。これにしたがいつつも、前試行の目標値からも独立で、かつ実現値からも独立した目標値が与えられる試行が挿入される場合である。

前試行とは独立な目標値が次試行で与えられた一致タイミング課題で学習を扱った研究として、Catalano and Kleiner (1984) および Del Ray et al. (1983) のものがある。前者は、練習の変動性 (variability) 効果を検討

橋本：前試行の実現値とは独立した目標値が挿入される一致タイミング課題の学習する目的で、一方後者は、文脈干渉効果（contextual interference effect）を検討する目的で、習得過程において移動指標の移動所要時間の変更を行っている¹⁾。

Catalano and Kleiner (1984) の習得過程では、移動指標の移動速度について、4種類のものの中からいずれかひとつが40回連続して設定される40試行の条件と、同じ4種類ではあるが、1セット4回に4種類が1回ずつ順不同に設定され、これを10セット行う40試行の条件とが設けられている。

Del Ray et al. (1983) の習得過程では、移動指標の移動速度について、4種類のものからひとつが16回連続して設定され、次にふたつめが連続16回設定されるとした合計64試行の条件と、同じ4種類ではあるが、1セット16回に4種類が4回ずつ、同じものが3回は連続しないで順不同に設定され、これを4セット行う合計64試行の条件とが設けられている。

結果として、いずれの研究でも、設定される移動速度が順不同で変化する条件、すなわち前試行の目標値から独立した目標値が次試行で与えられる条件について、習得過程におけるパフォーマンスが低かった。この2つの研究の実験課題では、すべての試行において前試行の実現値はまったく次試行の目標設定に影響していないが、これらの結果からすれば、前試行の実現値が次試行の目標値となる試行の系列の中に、前試行の目標値からも独立でかつ実現値からも独立した目標値が与えられる試行が挿入された場合でも、タイミングエラーが大きくなることが考えられる。

そこで、まずは、数回に1回、前試行の目標値からも独立で、かつ実現値からも独立した目標値が与えられる試行が挿入される課題について検討することにした。

すなわち、移動指標が前試行までの被験者のエラーに基づいて移動を停

1) この2つの研究における一致タイミング事態では「受容器の見越し (receptor anticipation)」(Poulton, 1957) が中心となっており、本研究の課題において重要な要素である「効果器の見越し (effector anticipation)」(同) が果たす役割は小さく、その意味で一致タイミング課題の構造が異なっていると言える。

止または加速する一致タイミング課題において、その移動所要時間を前試行で反応した時間条件に一致させるように設定するのであるが、5試行に1回は反応傾向に関係なくこれを一定とする試行を挿入する課題について、そ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9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。

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

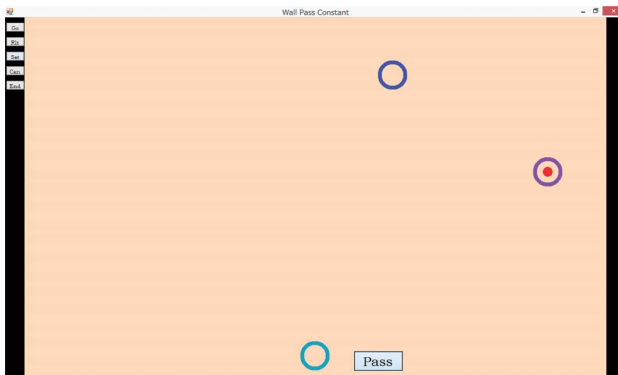


図1 課題提示画面

橋本：前試行の実現値とは独立した目標値が挿入される一致タイミング課題の学習(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、間隔がその時間に固定されていることを示す。

被験者は「Pass」ボタンにマウスカーソルをあわせて待機し、赤丸が水

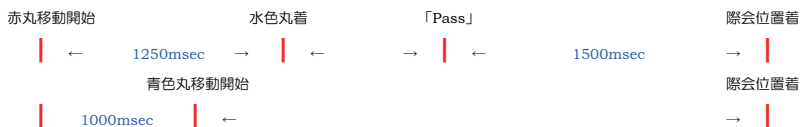


図2 刺激-反応ダイヤグラム

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。これは、図2の上段で、「水色丸着」から『「Pass」』までの間隔であらわされている。

青色丸の移動について、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試行め以降は直近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次試行の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。これは、図2の下段で、「青色丸移動開始」から「際会位置着」までの間隔であらわされている。

橋本（2019）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（図2の『「Pass」』の時点）までの時間に赤丸の移動時間の1,500 msecを加えた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。

被験者の時間的見越し（temporal anticipation）のエラーには、青色丸の際会位置到達時刻に関する「知覚的見越し（perceptual anticipation）」（Poulton, 1957）に関するものと、赤丸の移動再開時刻に関する「効果器の見越し（effector anticipation）」（同）に関するものが含まれる。橋本（2019）の課題は、これらを完全に「帳消し」にするように青色丸移動時間を設定するものであった。本研究でも基本的にこれに倣ったが、5試行ごとに1回、被験者のタイミング誤差とは独立に青色丸移動時間が設定される試行を挿入した。具体的には、第 $5N + 1$ （ $N = 1, 2, 3, \dots, 23$ ）試行めの青色丸移動時間を 2,500 msecとした。

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

橋本：前試行の実現値とは独立した目標値が挿入される一致タイミング課題の学習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。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、被験者には知らされなかった。

3) 装 置

上記の実験課題は、Visual Basic.2010で作成されたものであった。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

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一時停止すること、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。

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、赤丸が水

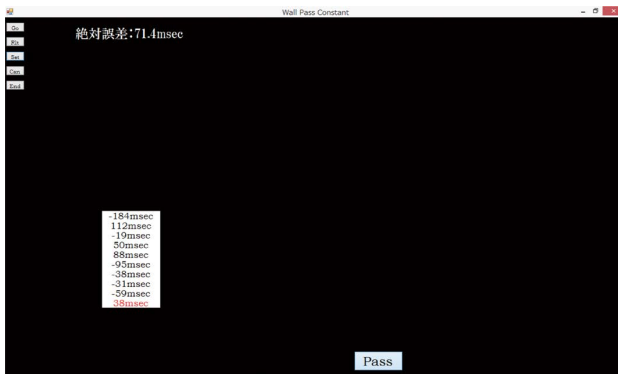


図3 結果表示画面

橋本：前試行の実現値とは独立した目標値が挿入される一致タイミング課題の学習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。

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1要因の分散分析を行った。その結果、ブロックに有

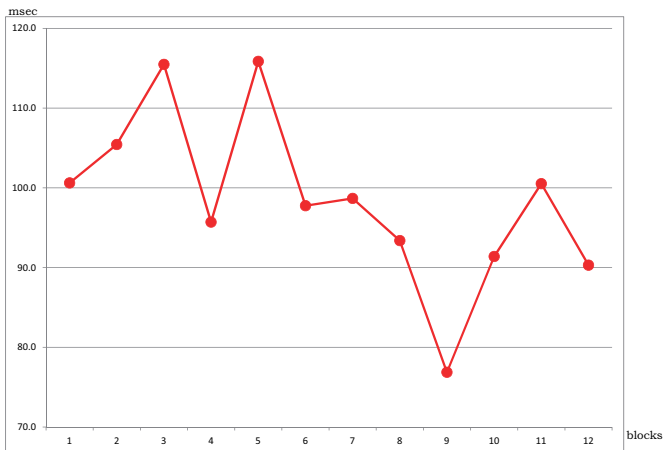


図4 各ブロックにおける絶対誤差

意な主効果は認められなかった ($F_{(11, 88)} = 1.41, NS$)。図4を見ても、第3ブロックと第5ブロックで110 msecを超え、第9ブロックでは80 msecを下回っているが、おおむね90 msecから100 msecの間で推移して学習は停滞していることがわかる。

本研究の実験課題では、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会位置到達までの時間は1,500 msecでこれも変動しない。橋本(2019)は、これとまったく同じ時間関係の課題において、一致タイミングが正確に遂行された場合には青色丸移動時間と赤丸保持時間との間に線形関係があることを示し、これらの相関が青色丸の際会位置到達時刻に関する知覚的見越しと赤丸の移動再開時刻に関する効果器の見越しの正確さを示す従属変数になることを明らかにしている。そこでこの相関について検討することにした。

図5は、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ブロックごとにあらわしたものである。下方の赤丸を結んだ折れ線が

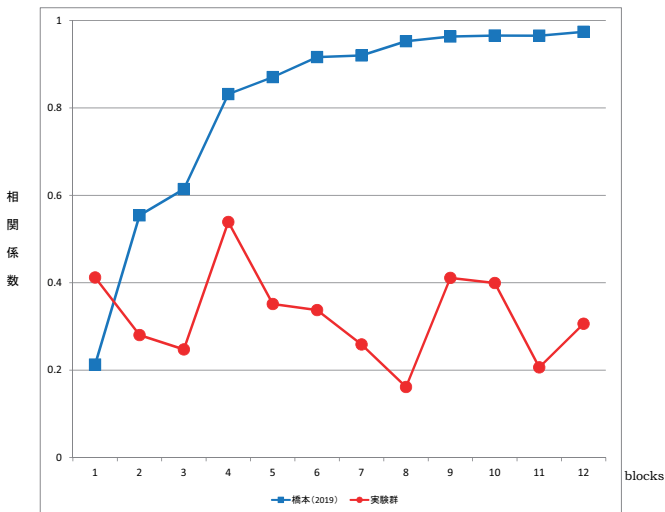


図5 青色丸移動時間と赤丸保持時間との相関

橋本：前試行の実現値とは独立した目標値が挿入される一致タイミング課題の学習今回の被験者のものであり、これと比較するために、橋本（2019）が時間的見越しエラーを完全に帳消しにするように青色丸移動時間を設定した課題のものが青四角を結んだ折れ線として示されている。

橋本（2019）のものは、第4ブロック以降で0.8以上の、第9ブロック以降では0.9以上の非常に強い正の相関を示しており、青色丸の際会位置到達時刻に関する知覚的見越し、および赤丸の移動再開時刻に関する効果器の見越しが極めて高い精度で行われるように学習されていることがわかる。

これに対して本研究の被験者では、第8ブロックと第11ブロックを除けば、有意ではあるものの、その相関は弱いと言わざるを得ない。上記知覚的見越しおよび効果器の見越しが行われていないわけではないが、その精度があがるような学習は、十分に行われていなかったのではないかと考えられる。

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、受け手が投げ手の時間的見越しに関するエラーを補填してやるように次試行のパラメータ変更を行うが、投げ手のエラーとは関係のないふるまいを行うことがある条件での学習実験を行った。

具体的には、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について、次試行の移動指標の移動所要時間を、直近3試行における移動指標の際会位置到達時刻に関する知覚的見越しのエラーおよび反応アイテムの移動開始時刻に関する効果器の見越しのエラーを完全に帳消しにするように設定するが、5試行に1回はエラーに関係なく移動所要時間を2,500 msecとする課題を用いた学習の検討をした。

結果として、学習ブロックの絶対誤差に有意な減少は認められなかった。また、上記知覚的見越しと効果器の見越しの正確さをあらわすものとして、移動指標の移動所要時間と反応時間との間の相関を検討した。これらの間

に正の相関は認められたが、この相関も弱いままで、移動指標がエラーとは関係のないふるまいをまったくしない課題のように強くなっていくことはなかった。

この結果から以下のことが考えられる。パスの受け手が投げ手のタイミングに合わせようと協力・共同作用をしても、5回に1回でも自己中心的なふるまいを行うなど、投げ手の反応とは関係のないことを行えば、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、またいつ自身がボールを放てばよいかを正確に見越すことが困難になるということである。

しかしながら、橋本（2019）は、移動指標の移動所要時間を直近3試行の恒常誤差の平均値に2,500 msecを加えた、言わば受け手中心の課題での学習も検討している。この学習過程では、移動所要時間と反応時間との相関がほぼ認められていない。これと本研究の課題とを比較すると、本研究の課題では弱いながらも正の相関が認められており、受け手中心の課題よりは時間的見越しの精度は高くなるといえるであろう。

本研究の課題の条件では、一致タイミングにおける受容器の見越しまたは効果器の見越しの学習が困難であった。しかし、この学習がすすまないという知見は、エラーを完全に補填してやるようにふるまえばこれらの時間的見越しが極めて高い精度で行われるようになるという知見に匹敵する、極めて重要なものである。

先に引用した練習の変動性効果は、Schmidt（1975）の schema 理論に基づいて、さまざまなパラメータ値での練習は、単一のパラメータ値での練習と比較して習得過程でのパフォーマンスレベルは低い、新奇なパラメータ値が与えられた際により適応できるというものである。また文脈干渉効果とは、いくつかのパラメータ値での練習の順序を順不同にすると、ひとつのパラメータ値での練習を終えてから次のパラメータ値に移って練習するというやりかたと比較して、やはり習得過程でのパフォーマンスレベルは低い、新奇なパラメータ値が与えられた際により適応できるとい

橋本：前試行の実現値とは独立した目標値が挿入される一致タイミング課題の学習うものである。

これらの研究について、パフォーマンスレベルが低いほうがよく学習しているということに関しては衝撃的である。しかし、Catalano and Kleiner (1984) や Del Ray et al. (1983) では、目標値に関して、一定の値を繰り返す条件と順不同に変更させる条件を比較したものである。

本研究のように、協力・共同作用に着目して、何らかのかたちで前試行の実現値を反映して次試行の目標値を設定するという研究では、一定の目標値を繰り返すという条件も目標値を順不同に変更するという条件もふさわしいものではない。その意味で、これらの実験パラダイムは、今後どのような協力・共同作用を行わせるかについて、たとえば移動指標の移動所要時間の設定に関して有用なものとは言えない。

橋本 (2019) に倣った今回の実験課題も、前試行の目標値を一顧だにせず、実現値のみをとりあげてを次試行の目標値を設定した。ここで無視した前試行の目標値に目を向け、これと実現値との関係から次試行の目標値すなわち移動指標の移動所要時間を設定するような課題での学習を検討する必要があると思われる。

文 献

- 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.
- 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.
- 橋本晃啓 (2018) 移動指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.
- 橋本晃啓 (2019) 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. *修道法学*, 41(2) : 303–322.
- 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.
- 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.

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.

Schmidt, R. A. (1975) A schema theory of discrete motor skill learning. *Psychological Review*, 82: 225-260.