バスケットボールのフリースロー予測に対する 運動シミュレーションの役割

畝中智志¹⁾・中本浩揮²⁾・幾留沙智²⁾・森 司朗²⁾

Role of Motor Simulation in Anticipation of Free Throws in Basketball

Satoshi Unenaka¹, Hiroki Nakamoto², Sachi Ikudome² and Shiro Mori²

Abstract

The present study aimed to clarify the contribution of motor simulation during action observation to anticipation skill in sports. Therefore, the influence of concurrent motor execution during observation on the accuracy of anticipating basketball free throws was examined. Eighteen right-handed male basketball players (skilled) and 18 right-handed males with no basketball experience (non-skilled) anticipated a basketball free throw under the following conditions: control in which participants simply observed free throw actions and right-volar, right-dorsal, left-volar and left-dorsal flexion that required concurrent motor execution during each condition. Anticipation was more accurate in experts than in non-experts under control conditions. Moreover, anticipation accuracy was reduced in experts under right-dorsal flexion compared with the other conditions. In contrast, anticipation accuracy improved in non-experts under right-volar flexion compared with other conditions. These results indicated that concurrent motor execution influences the ability to anticipate action and this effect depends on experience of free throw. These findings suggested that motor simulation is associated with action anticipation in sports expertise.

Key words: perception-action-link, action execution, expertise effects, mirror neuron system

1) 鹿屋体育大学体育学研究科博士後期課程
〒891-2393 鹿児島県鹿屋市白水町1番地
2) 鹿屋体育大学体育学部
〒891-2393 鹿児島県鹿屋市白水町1番地
連絡先：畝中智志
E-mail: ml27001@sky.nifs-k.ac.jp

1 Graduate School of Physical Education, Doctor's Course,
National Institute of Fitness and Sports in Kanoya
Shiromizu 1, Kanoya, Kagoshima 891-2393
2 Faculty of Physical Education, National Institute of Fitness
and Sports in Kanoya
Shiromizu 1, Kanoya, Kagoshima 891-2393
Corresponding author: Satoshi Unenaka

序 論

対戦競技や球技スポーツにおいて、将来起こり得る事象を早い段階で正確に予測する能力は、高いパフォーマンス発揮に結びつく重要な要因の一つである。実際、テニスやバドミントンにおいて相手の打球方向を予測する場合、非熟練者は相手が打球した後の飛球情報によって打球方向を予測するのに対し、熟練者は相手の打球前の打動作に基づいて将来的な打球方向を正確に予測することができる (Abernethy, 1990; 海野・杉原, 1989)。また、バスケットボールの非熟練者はシュートリリース後の飛球情報によって、熟練者はシュートリリース前の投動作によって、他者のフリースローの成否を予測するとされている (Aglioti et al., 2008; 石橋ほか, 2010; Wu et al., 2013)。すなわち、スポーツ競技に求められる早い段階での正確な予測を行うためには、熟練者の特徴として挙げられるように、飛球情報ではなく、相手の身体動作から得られる運動情報の認識に基づく予測スキルの獲得が必須であるとされている (Abernethy and Zawi, 2007; Abernethy et al., 2008; 福原ほか, 2009; Williams and Grant, 1999)。

このような予測スキルを獲得させ、予測パフォーマンスを向上させる方法として、従来から知覚トレーニングの有効性が報告されている (Abernethy et al., 1999; Hagemann et al., 2006; 海野・杉原, 1989; Savelsbergh et al., 2010; 田中・関矢, 2010; Williams and Grant, 1999; Williams et al., 2003)。知覚トレーニングとは、学習者に対して、飛球情報が利用できる直前 (例えば、ラケットとボールのインパクト時やボールのリリース時) で遮蔽されるビデオ映像を呈示し、相手の身体動作から得られる運動情報に基づいて最終的なボール到達位置などを予測させ、正解をフィードバックするトレーニング方法である (Williams and Grant, 1999)。学習者は、このトレーニングを繰り返すことによって、身体動作から得られる運動情報の違いと打球結果の関係性を学習することができる。つまり、観察した動作の識別精度が向

上することで、早い段階での正確な予測が可能となる。また、知覚トレーニング実施による予測スキルの獲得によって、野球の打撃場面を想定した実打課題でヒット数が増加するなど、実際のフィールドテストのパフォーマンスも向上することが明らかにされている (例えば、中本ほか, 2005)。このように従来の研究では、予測パフォーマンスを向上させるために、繰り返して動作を観察するという視覚経験を通して、予測手掛かりとなる動作の識別精度を向上させる方法が一般的であった。

一方で、近年の予測に関する研究では、動作を観察するという視覚経験に加え、自らが運動するという運動経験が動作の識別精度に関与する可能性が示唆されている (Aglioti et al., 2008; Urgesi et al., 2012)。例えば、Urgesi et al. (2012) はバレーボールのサーブ方向の予測パフォーマンスが、実際のサーブ練習を行うことで向上することを示している。このように、運動経験が動作の識別精度を向上させ、結果として予測パフォーマンスを向上させるというメカニズムに関しては、ミラーニューロンシステム (Mirror Neuron System; 以下、MNSと略す) が関与する中枢機能から説明することが可能と考えられている (Yarrow et al., 2009)。MNSとは、自ら運動を実行する時だけでなく、その実行した運動を他者が行っているのを観察している時にも、共通して活性するという特性を持つ運動前野 (premotor cortex; PMC)、下前頭回 (inferior frontal gyrus; IFG)、下頭頂小葉 (inferior parietal lobule; IPL) の脳領域と、動作の認識に関わる上側頭溝 (superior temporal sulcus; STS) で構成される神経ネットワークである (Rizzolatti and Craighero, 2004)。MNSは、自身が行っている競技の動作を観察する際に強い活性を示し (Calvo-Merino et al., 2005; Kim et al., 2011; Wright et al., 2011)、観察中の他者の運動を自分自身の脳内でシミュレーションする役割を持つとされている (Gallese and Goldman, 1998; Olsson and Nyberg, 2011)。嶋田 (2009) は、MNSが担う機能として、「他者の運動を自己の運動プログラムでシミュレーションしながら解釈する

ことで、より深い理解を得られる」(p.65) ことを挙げており、MNSの活性による運動シミュレーションが動作の認識を高めることを指摘している。さらに、テニスやバスケットボールの熟練者が動作を手掛かりにボールの到達位置を予測する際にも、MNSの領域に高い活性を示すことが報告されている (Aglioti et al., 2008; Wright and Jackson, 2007; Wu et al., 2013)。したがって、熟練者は、観察した身体動作から得られる運動情報を手掛かりに、MNSによる運動シミュレーションが行われることで、動作の識別精度を高めている可能性があると考えられる。

これまで述べてきたように、スポーツの予測スキルに関して、ボールなどの飛球情報の他に、他者の身体動作に内在する運動情報が早い段階での正確な予測に重要な情報源となるため、伝統的に視覚経験を通じた動作の識別精度を高める知覚トレーニングなどの方法が採られてきた。一方で、近年の知見 (Aglioti et al., 2008; 大島・山田, 2010; Urgesi et al., 2012) から、動作の識別精度を高めるためには、視覚経験だけでなく運動経験も重要であり、その背景にはMNSの活性の高まりが示す動作の認識のための運動シミュレーションが関与している可能性が示唆されている (Yarrow et al., 2009)。しかしながら、Aglioti et al. (2008) の研究のように、熟練者は予測時にMNSが活性するという証拠は、運動シミュレーションが行われているという証拠にはなると考えられるが、運動シミュレーションが予測の精度に関与している (予測に利用されている) という証拠にはなり得ないと思われる。よって、より直接的な証拠を示すためには、予測時の運動シミュレーションを妨害した場合、予測の精度が低下するといった関係を示す必要があると考えられる。

これに関連して、近年、スポーツ以外の領域において、動作の観察中に自ら運動を実行することが、動作の識別精度に影響を及ぼすという結果が報告されている (Christensen et al., 2011; Springer et al., 2011)。これらの研究では、歩行時の腕振り動作や拳上動作を観察する際、観

察する動作と一致する運動を同時に行う場合には、動作の識別精度が向上すること、反対に、観察する動作と時間的・空間的に一致しない運動を行う場合には、動作の識別精度が低下することを報告している。この結果は、MNSの働きによって観察する際に行われる運動シミュレーション (知覚表象) が、実際の運動 (運動表象) の影響を受けることに起因するとされている (Hecht, 2001; Prinz, 1997; Schütz-Bosbach and Prinz, 2007; Springer et al., 2012)。つまり、観察と同時の運動実行が、動作の識別に関与する運動シミュレーションを促進もしくは阻害することにより、観察する動作の認識を向上あるいは低下させたと考えられる。よって、これらの知見に従えば、スポーツにおいて示される熟練者の優れた予測スキルに関して、運動シミュレーションが重要な役割を果たしているのであれば、観察と同時の運動実行が予測の精度に影響を及ぼすと考えられる。一方で、運動シミュレーションが関与していないのであれば、観察と同時の運動実行は予測の精度に影響を及ぼさないと考えられる。しかしながら、動作の識別精度が関与するスポーツの予測において、観察と同時の運動を用いて運動シミュレーションの役割を検討した研究は見当たらない。

そこで本研究では、熟練者と非熟練者で予測の精度に差がみられるフリースローの結果予測 (Aglioti et al., 2008; 石橋ほか, 2010) を課題に、観察と同時に行われる一致する運動、あるいは一致しない運動が予測の精度に及ぼす影響を検討することで、スポーツの予測に対する運動シミュレーションの役割を明らかにすることを目的とした。スポーツにおける予測スキルには、運動シミュレーションに基づく動作の認識が関与しているという本研究の仮説に基づけば、得られる結果は以下の2点となると考えられる。

- (1) 熟練者は、予測時の動作の識別に運動シミュレーションが関与しているため、予測の精度は観察と同時に行われる運動の影響を受ける。
- (2) 非熟練者は、運動経験が少なく、予測時に

運動シミュレーションが起こりにくいため、予測の精度は観察と同時にされる運動の影響を受けない。

方 法

1. 実験参加者

本研究では、熟練者としてバスケットボールの長期的な競技経験（競技歴 11.3 ± 3.41 年）を有し、大学の部活動または日本バスケットボール協会に登録された競技団体の中で競技を行っている右利きの男性18名（ 22.7 ± 3.70 歳）、非熟練者としてサッカー、野球、陸上などバスケットボール以外の競技を専門とし、バスケットボールに関して専門的な指導を受けた経験のない男性18名（ 22.1 ± 2.05 歳）の計36名を実験参加者とした。すべての実験参加者は、正常な視機能を有していた。実験の実施前に、鹿屋体育大学倫理審査委員会に承認された実験手続きの詳細及び個人情報の保護について説明し、実験参加の同意を得た。

2. 呈示刺激

実験参加者に呈示する映像を作成するために、バスケットボール競技歴17年の右利き男性選手をモデルとして選択した。モデルには、フリースローを実施する際、シュートをリングのどこにも触れずに入れる（IN）、リングを越えて外す（Long）、リングに届かず外す（Short）ことを各50投ずつ要求した。なお、撮影が行われたバスケットボールコート、リング、および使用されたバスケットボールは、日本バスケットボール協会より公認されたものであった。撮影には、デジタルビデオカメラ（SONY社製、HDR-CX560V）を用いて60Hzで撮影した。デジタルビデオカメラは、モデルの全身とリングが全て画面上に入るように、モデルの投球腕側約15m側方に設置した。撮影した映像は、フリースローの結果予測課題に利用するために、動画編集ソフト（Adobe社製、Premiere Elements 2.0）を用いて編集した。フリースローの様々な局面で遮蔽する予測課題を用いたAglioti et al. (2008) は、シュートリリース（指先よりボー

ルが離れた）後71msで遮蔽した場合、熟練者と非熟練者の予測正答率に差がみられ、リリース後142msでの遮蔽では、両群に差がみられないことを明らかにしている。これは、リリース後71msまでの映像遮蔽においてボールの軌道は確認できるが、非熟練者にとってその情報は、予測精度を促進させる情報となる可能性が低いことを示している。すなわち、リリース後71ms以下で遮蔽した場合、飛球情報が予測パフォーマンスの向上に与える影響は少ないと考えられる。また、熟練者がフリースローの結果を予測する際、シュートリリース時の投球腕の手首の最大掌屈角度を手掛かりにしていると報告されている（Aglioti et al., 2008）。よって、本研究で使用するすべての映像は、右手首の最大掌屈が確認できる時間であるリリース後66msで遮蔽した。1試行は、2000msの予告刺激映像、ボールを身体の前で保持している状態から頭上にセットし、シュートリリースするまでのフリースロー遮蔽映像（約3000ms）、および5000msのホワイトノイズ映像によって構成した（図1）。

3. 実験課題

実験参加者は、椅子から1.5m離れた距離に置かれた横51×縦32.5cmの21インチのモニタ（EIZOナナオ社製、ColorEdge CG242W）に呈示される刺激映像を観察し、映像が遮蔽された時点でシュートの結果（IN, Long, Short）を口頭にて回答するフリースローの結果予測課題を行った。先行研究（Aglioti et al., 2008；石橋は

図1 刺激呈示映像の一試行の構成

か, 2010) で用いられた回答 (IN, OUT, Uncertain) では, OUTとなるシュートに関して, リングに届かずに外れたのか, 越えて外れたかの識別は求められていない. この場合, 実験参加者はモデルの身体動作から得られる運動情報を基に識別する際に, 結果 (IN, OUT) に結びつく動作に関して, INのシュート動作であるか, そうではないかといったような2択での予測を行うこととなる. しかしながら, 本研究は他者の身体動作から得られる運動情報の認識に基づく予測スキルの測定を目的としているため, シュート動作に関してより詳細な識別を求める必要があると考え, ボールの飛距離の異なる3種類の映像を使用し, 回答させた.

4. 実験手続き

実験参加者は, 以下の5つの条件(統制条件, 右手掌屈条件, 右手背屈条件, 左手掌屈条件, 左手背屈条件)のもとで予測課題を遂行した. まず, 統制条件として, 実験参加者のフリースローの予測の精度を測定するために, 一般的な予測課題と同様に, 身体運動を伴わずに刺激映像の観察のみによってシュート結果の予測を行わせた. 次に, 観察と同時に行われる運動が予測の精度に与える影響を調べるために運動を伴う条件を4種類実施した. 右手掌屈条件は, 映像のシュートリリース動作と同様の運動(一致運動)である右手の掌屈運動を行うものであった. 右手背屈条件は, シュートリリース時の動作に反する運動(不一致運動)を行うものであった. また, 左手の掌屈および背屈運動をそれぞれ行う左手掌屈条件および左手背屈条件は, 運動実行そのものが二重課題として予測の精度に影響を及ぼす可能性を検討するために設定した. 観察と同時に運動を行う条件の実施時には, 座位姿勢を維持したまま, 運動を行う腕の肘を高さの調整可能な台に置き, 肘を支えとして腕を台から垂直方向に向けた状態で刺激映像を観察した. 掌屈条件では, 手首を伸ばした状態から掌屈運動を, 背屈条件では, 掌屈させた状態から背屈運動を, 映像のモデルの動作に合わせてそれぞれ行った(図2). また, 運

動を行う条件における運動開始のタイミングに関して, 映像のシュートリリース動作と自身の運動開始を可能な限り一致させるよう, 実験参加者に「手首の運動を行う条件では, 映像のモデルがボールを頭上にセットし, シュートリリースの動作が開始されるタイミングに合わせて運動を開始してください.」という教示を与えた.

実験参加者は, 本試行の前に回答や運動開始のタイミングを習得するための練習を約10試行行った. 本試行において, 1つの条件をIN, Long, Short映像がそれぞれ10試行ずつ, 計30試行で構成し, 5条件の試行数を合計150試行とした. 条件間の休憩は約2分間とし, 実験参加者の準備が整ってから次の条件を開始した. なお, 運動条件に関しては, 実施順序による影響を相殺するために, 順序は実験参加者間でカウンターバランスを行った. また, 参加者に対し, 練習試行および本試行において, 結果成否に関するフィードバックは与えなかった.

5. 測定指標およびデータ分析

予測精度の指標として, 実験参加者から得られた回答の正答率を求めた. 映像と回答が一致した試行を正答試行とし, 5条件それぞれに関して, 正答試行が全試行数に占める割合である予測正答率を算出した. まず, 予測正答率について, チャンスレベルと比較するために, 全条件で1サンプルのt検定を行った. 正答のチャンスレベルは33.33%であった. 次に, 各条件における予測正答率を比較するために, 群(熟

図2 運動条件において実行された運動

練者、非熟練者)×条件(統制, 右手掌屈, 右手背屈, 左手掌屈, 左手背屈)の2要因分散分析を行った。主効果の検定にはBonferroni法を用い、交互作用が有意であった場合には単純主効果検定を行った。本研究の統計処理にはSPSS (IBM社, SPSS for windows 12.0) を用い、統計的有意水準はいずれも危険率5%以下とした。

結 果

熟練者および非熟練者における全ての条件の予測正答率を図3に示した。まず、予測正答率について、チャンスレベル(33.3%)との比較を行った。その結果、熟練者群、非熟練者群の全条件において、チャンスレベルよりも有意に高い値が示された($p<.01$)。

次に、予測正答率に関して群×条件の2要因分散分析を行った結果、群($F[1, 34]=6.57, p<.05, \eta^2=.16$)および条件($F[4, 136]=13.22, p<.01,$

$\eta^2=.28$)に有意な主効果が認められ、群×条件に関しても有意な交互作用が認められた($F[4, 136]=4.09, p<.01, \eta^2=.11$)。

さらに、交互作用に関して単純主効果検定を行った結果、群間の比較では統制条件および左手掌屈条件において、熟練者群が非熟練者群よりも有意に予測正答率が高く($p<.01$)、左手背屈条件においても有意な傾向がみられた($p=.079$)。群内における各条件の比較では、熟練者群において右手背屈条件が他の4条件よりも有意に低く($p<.05$)、非熟練者群において右手掌屈条件が他の4条件よりも有意に高かった($p<.05$)。一方、左手による運動条件は、両群とも統制条件と比較して有意な差は認められなかった。

考 察

本研究の目的は、観察と同時に行為される運動が予測の精度に及ぼす影響を検討することで、

注) 統制条件および左手掌屈条件において、熟練者>非熟練者($p<.01$)であり、また、左手背屈条件において、熟練者>非熟練者($p=.079$)であった。熟練者の予測正答率は、統制>右手背屈($p<.01$)、右手掌屈>右手背屈($p<.01$)、左手掌屈>右手背屈($p<.05$)、左手背屈>右手背屈($p<.05$)であった。非熟練者の予測正答率は、右手掌屈>統制($p<.05$)、右手掌屈>右手背屈($p<.01$)、右手掌屈>左手掌屈($p<.01$)、右手掌屈>左手背屈($p<.05$)であった。

図3 各条件における熟練者および非熟練者の予測正答率

スポーツの予測に対する運動シミュレーションの役割を明らかにすることであった。バスケットボールの熟練者と非熟練者を対象に、運動を行わない統制条件および観察と同時に運動を行う運動条件にてフリースローの結果予測課題を実施し、各条件における予測正答率の比較を行った。その結果、統制条件において熟練者が非熟練者と比較して有意に予測正答率が高く、観察と同時の運動実行がフリースローの結果予測の精度に及ぼす影響に関して、熟練者と非熟練者で違いがみられた。

まず、熟練者群と非熟練者群の統制条件における予測正答率は、両群ともにチャンスレベル(33.33%)よりも有意に高く($p < .01$)、その予測正答率は熟練者が非熟練者よりも有意に高かった($p < .01$)。これは、非熟練者と比較して、熟練者が早い段階で正確な予測が可能であることを示し、先行研究(Aglioti et al., 2008; 石橋ほか, 2010; Wu et al., 2013)の結果と一致する。よってこれらの先行研究と同様に、本研究の熟練者および非熟練者の予測正答率の差は、観察した動作の識別精度の違いが影響したといえる。従って、本研究で用いたフリースローの結果予測課題は、動作の認識に基づく予測スキルを扱う上で妥当な課題であったと考えられる。

次に、熟練者における右手背屈条件の予測正答率は、他の4条件よりも有意に低くなった($p < .05$)。一方、非熟練者においては、右手掌屈条件の予測正答率が他の4条件よりも有意に高くなった($p < .05$)。これらの結果は、フリースローの予測時に熟練者は右手背屈運動(不一致運動)を行うと予測正答率が低下し、非熟練者は右手掌屈運動(一致運動)を行うと予測正答率が向上することを示している。スポーツ以外の動作の識別を課題とした先行研究では、観察時に一致する運動を行うと動作の識別精度が促進し、一致しない運動を行うと動作の識別精度が低下すると報告されているが(Christensen et al., 2011; Springer et al., 2011)、本研究では、スポーツ場面の動作の識別に関して、熟練度によってその影響が異なることが明らかになった。

本研究の運動条件では、各条件に対応する手首の運動が実際に行われるため、関連する運動野領域の活性が引き起こされることになる。そのため、仮に、観察によって運動がシミュレートされていれば、右手掌屈条件で行われた運動は観察によってシミュレートされた運動と一致し、右手背屈条件では不一致となる。このような内的な運動表象(運動の実行により生成される表象)と知覚表象(運動の知覚によって生成される表象)には、双方向性の影響があることが明らかにされており(Hecht, 2001; Prinz, 1997; Schütz-Bosbach and Prinz, 2007; Springer et al., 2012)、観察と同時に行う運動が知覚表象の形成に影響することが報告されている(Christensen et al., 2011; Springer et al., 2011)。つまり、熟練者にみられた右手の不一致運動を行うことによる予測正答率の低下は、運動と観察によって形成された内部表象が異なったために両者の間で干渉が生じ、予測時の動作の識別の手掛かりとなる情報(Gallese and Goldman, 1998; 嶋田, 2009)が適切に形成されなかったためであると推測される。また、一致運動である右手掌屈条件では、自身の運動による運動表象と観察による知覚表象は一致したため、両者の間で干渉が生じることはなく、予測時の運動情報を手掛かりとした動作の認識が阻害されなかったと考えられる。

これに加え、熟練者において、一致運動である右手掌屈条件と身体動作を伴わない統制条件の間に予測正答率の有意な差は見られないという結果は、身体運動を伴わずとも熟練者はスポーツの予測において、運動をシミュレートしていることを示唆する。これらより、熟練者の身体運動を伴わない状態(統制条件時)での予測には、運動シミュレーションが重要な役割を果たしていると考えられる。さらに、左手の運動実行条件において熟練者の予測正答率は非熟練者よりも高く、両群とも統制条件と左手の運動実行条件の間に有意な差がみられないことから、左手の運動実行は動作の認識に影響を及ぼさないと考えられる。この結果は、本研究で得られた予測正答率の変化が予測と運動を同時に

行うという二重課題による影響ではないことを示すとともに、熟練者がシミュレーションしている運動は、シュートリリースが行われる右手の掌屈運動であることを示唆していると思われる。

一方、非熟練者の右手掌屈条件における予測正答率の向上は、観察と同時に一致運動を行うことが、動作の識別精度を一過性に高めることを示唆する。先行研究では、一致運動の実行時に動作の識別精度が向上することが示されており (Christensen et al., 2011; Springer et al., 2011)、その原因として、観察する動作と一致した運動を行うことによって一時的にMNSの活性が高められるためであると考えられている (Ménoiret et al., 2013)。よって、本研究においても観察する動作と一致する運動の実行によって、非熟練者は熟練者が行っている運動シミュレーションと同じ効果が得られ、結果として動作の識別精度が向上したと考えられる。また、熟練者で観測された右手背屈条件と統制条件の予測正答率の差は非熟練者には見られなかったことから、スポーツの予測課題において非熟練者は運動をシミュレートしておらず、知覚表象と運動表象が干渉し合うことがなかったと推察できる。先行研究では、観察動作と同様の運動を繰り返し行い、運動経験を積む学習によってMNSの活性が高まることや、非熟練者の動作の識別精度が向上することが報告されている (Catmur et al., 2007; Heyes, 2009; Urgesi et al., 2012; Vogt et al., 2007)。これらの研究にみられる長期的な学習効果とは異なり、本研究で行われた運動は一過性のものであるが、一過性の同時運動で動作の識別精度を促進させるという本研究の結果は、運動経験が身体動作から得られる運動情報を手掛かりとした予測スキルの獲得に重要であるという考え (Aglioti et al., 2008; Urgesi et al., 2012) を支持するものであるといえる。

以上のことから、スポーツにおける身体動作を伴わない状況下で予測を行う際、熟練者は観察した他者の運動をシミュレーションしているために、早い段階での正確な予測が可能と考え

られ、一方で、非熟練者は単なる観察のみでは運動シミュレーションが起りにくいため、予測が困難であると考えられる。すなわち、非熟練者の予測の精度は観察と同時に行われる運動の影響を受けないと予想した結果とは異なるが、スポーツにおける熟練者の予測スキルに対して、運動シミュレーションに基づく動作の認識が関与しているという本研究の仮説は支持されたと考えられる。フリースロー動作の識別精度は、先行研究 (Christensen et al., 2011; Springer et al., 2011) で用いられた課題の歩行時の腕ふりなどの日常的な動作とは異なり、動作に対する運動経験が熟練者と非熟練者の間で差がみられる課題であったため、運動実施の際に予測精度が受ける影響が異なると考えられる。また、多くの動作で構成されるフリースローの予測に対して、単純な手首の運動により正答率が影響を受けたことは、フリースローの結果予測に手首が重要な情報源であるとするAglioti et al. (2008) の結果を支持するものであったといえる。さらに、非熟練者にみられたように、一過性の同時運動でさえもスポーツの予測に関与する動作の識別精度を高めるという点は、非常に興味深い現象である。この現象は、従来の視覚経験を積む知覚トレーニングの中に、同時運動を取り入れることで、より効果的な学習になることを推測させる。よって、今後は、学習実験として運動の効果を調査する必要があるといえる。

結 論

本研究では、スポーツにおける予測スキルに対する運動シミュレーションの役割を検討するために、観察と同時の運動実行が予測の精度へ及ぼす影響を測定した結果、熟練者は一致しない運動を行うと予測の精度が低下し、非熟練者は一致する運動を行うと予測の精度が向上することが明らかになった。これらの結果は、運動経験を必要とする運動シミュレーションが、スポーツの予測における他者の動作の認識に寄与していることを示している。しかしながら、観察と同時の運動実行が動作の識別精度に及ぼす

影響として、空間的な（運動プログラムの）不一致の他に、時間的な（運動パラメータの）不一致による動作の認識の低下が報告されている（Christensen et al., 2011; Ménoret et al., 2013; Springer et al., 2011）。また、動作の識別の手掛かりとして、関節の角速度の一致度があげられている（大島・山田, 2010）ことを鑑みると、今後、観察対象の動作と実験参加者の運動を測定し比較を行うなどの時空間的な一致度をより詳細に検討することや、実際のMNSの活性の測定を行うことで、予測スキルに関わる運動シミュレーションの役割がより明確になると考えられる。

文 献

- Abernethy, B. (1990) Anticipation in squash: Differences in advance cue utilization between expert and novice player. *J. Sports Sci.*, 8: 17-34.
- Abernethy, B., Wood, J. M., and Parks, S. (1999) Can the anticipatory skills of experts be learned by novices? *Res. Q. Exerc. Sport*, 70 (3) : 313-318.
- Abernethy, B. and Zawi, K. (2007) Pickup of essential kinematics underpins expert perception of movement patterns. *J. Mot. Behav.*, 39: 353-367.
- Abernethy, B., Zawi, K., and Jackson, R. C. (2008) Expertise and attunement to kinematic constraints. *Perception*, 37: 931-948.
- Aglioti, S. M., Cesari, P., Romani, M., and Urgesi, C. (2008) Action anticipation and motor resonance in elite basketball players. *Nat. Neurosci.*, 11 (9) : 1109-1116.
- Calvo-Merino, B., Glaser, D. E., Grèzes, J., Passingham, R. E., and Haggard, P. (2005) Action observation and acquired motor skills: An fMRI study with expert dancers. *Cereb. Cortex*, 15 (8) : 1243-1249.
- Catmur, C., Walsh, V., and Heyes, C. (2007) Sensorimotor learning configures the human mirror system. *Curr. Biol.*, 17 (17) : 1527-1531.
- Chrisensen, A., Ilg, W., and Giese, M. A. (2011) Spatiotemporal tuning of the facilitation of biological motion perception by concurrent motor execution. *J. Neurosci.*, 31 (9) : 3493-3499.
- 福原和伸・井田博史・石井源信 (2009) コンピュータ・グラフィックス (CG) の身体モデル表示によるテニスサーブの予測判断. *スポーツ心理学研究*, 36 (2) : 115-125.
- Gallese, V., and Goldman, A. (1998) Mirror neurons and the simulation theory of mind-reading. *Trends Cogn. Sci.*, 12 (2) : 483-501.
- Hagemann, N., Strauss, B., and Canal-Bruland, R. (2006) Training perceptual skill by orienting visual attention. *J. Sport Exerc. Psychol.*, 28: 143-158.
- Hecht, H., Vogt, S., and Prinz, W. (2001) Motor learning enhances perceptual judgment: A case for action-perception transfer. *Psychol. Res.*, 65 (1) : 3-14.
- Heyes, C. (2010) Where do mirror neurons come from? *Neurosci. Biobehav. Rev.*, 34 (4) : 575-583.
- 石橋千征・加藤貴昭・永野智久・仰木裕嗣・佐々木三男 (2010) バスケットボールのフリースローの結果予測時における熟練選手の視覚探索活動. *スポーツ心理学研究*, 37 (2) : 101-112.
- 海野 孝・杉原 隆 (1989) テニスのネットプレーにおける予測に関するパターン認知の学習効果：反応の速さと正確さの向上について. *体育学研究*, 34 : 117-132.
- Kim, Y. T., Seo, J. H., Song, H. J., Yoo, D. S., Lee, H. J., Lee, G., Kwon, E., Kim, J. G., and Chang, Y. (2011) Neural correlates related to action observation in expert archers. *Behav. Brain Res.*, 223: 342-347.
- Ménoret, M., Curie, A., des Portes, V., Nazir, T. A., and Paulignan, Y. (2013) Simultaneous action execution and observation optimise grasping actions. *Exp. Brain Res.*, 227: 407-419.
- 中本浩揮・杉原 隆・及川 研 (2005) 知覚トレーニングが初級打者の予測とパフォーマンスに与える影響. *体育学研究*, 50 : 581-591.
- 大島浩幸・山田憲政 (2010) 運動技術レベルと運動観察能力の関連. *スポーツ心理学研究*, 37 (2) : 65-74.
- Olsson, C. J., and Nyberg, L. (2011) Brain simulation of action may be grounded in physical experience. *Neurocase*, 17 (6) : 501-505.
- Prinz, W. (1997) Perception and action planning. *Eur. J. Cogn. Psychol.*, 9 (2) : 129-154.
- Rizzolatti, G., and Craighero, L. (2004) The mirror-neuron system. *Annu. Rev. Neurosci.*, 27: 169-192.
- Savelsbergh, G. J., Van Gastel, P. J., and Van Kampen, P. M. (2010) Anticipation of penalty kicking direction can be improved by directing attention through perceptual learning. *Int. J. Sport Psychol.*, 41: 24-41.
- 嶋田総太郎 (2009) 自己と他者を区別する脳のメカニズム. 開 一夫・長谷川寿一編, *ソーシャルプレインズー自己と他者を認知する脳*. 東京大学出版会 : 59-77.
- Springer, A., Brandstadter, S., Liepelt, R., Birngruber, T., Giese, M., Mechsner, F., and Prinz, W. (2011) Motor execution affects action prediction. *Brain Cogn.*, 76 (1) : 26-36.
- Springer, A., Hamilton, A. F., and Cross, E. S. (2012) Simulating and predicting others' action. *Psychol. Res.*, 76: 383-387.
- Schütz-Bosbach, S., and Prinz, W. (2007) Perceptual resonance: action-induced modulation of perception. *Trends Cogn. Sci.*, 11 (8) : 349-355.
- 田中ゆふ・関矢寛史 (2010) 投球予測における顕在的・潜在的知覚トレーニングの効果. *体育学研究*, 55 : 499-511.

- Urgesi, C., Savonitto, M. M., Fabbro, F., and Aglioti, S. M. (2012) Long-and short-term plastic modeling of action prediction abilities in volleyball. *Psychol. Res.*, 76: 542-560.
- Vogt, S., Buccino, G., Wohlschläger, A. M., Canessa, N., Shah, N. J., Zilles, K., Eickhoff, S. B., Freund, H. J., Rizzolatti, G., and Fink, G. R. (2007) Prefrontal involvement in imitation learning of hand actions: effects of practice and expertise. *Neuroimage*, 37 (4) : 1371-1383.
- Williams, A. M., and Grant, A. (1999) Training perceptual skill in sport. *Int. J. Sport Psychol.*, 30: 194-220.
- Williams, A. M., Ward, P., and Chapman, C. (2003) Training perceptual skill in field hockey: Is there transfer from the laboratory to the field? *Res. Q. Exerc. Sport*, 74 (1): 98-103.
- Wright, M. J., and Jackson R. C. (2007) Brain region concerned with perceptual skills in tennis: An fMRI study. *Int. J. Sport Psychol.*, 38: 214-220.
- Wright, M. J., Bishop, D. T., Jackson R. C., and Abernethy, B. (2011) Cortical fMRI activation to opponents' body kinematics in sport-related anticipation: Expert-novice differences with normal and point-light video. *Neurosci. Lett.*, 500: 216-221.
- Wu, Y., Zeng, Y., Zhang, L., Wang, S., Wang, D., Tan, X., Zhu, X., Zhang, J., and Zhang, J. (2013) The role of visual perception in action anticipation in basketball athletes. *Neuroscience*, 237: 29-41.
- Yarrow, K., Brown, P., and Krakauer, J. W. (2009) Inside the brain of an elite athlete: the neural processes that support high achievement in sports. *Nat. Rev. Neurosci.*, 10: 585-596.

(2013.9.27 受稿, 2014.7.15 受理)