

博士論文

心理的プレッシャーが踏み出し運動における
初期姿勢ならびに予測的姿勢制御に及ぼす影響

平成 27 年 9 月

広島大学大学院総合科学研究科

総合科学専攻

佐々木丈予

目次

第1章 先行研究の動向と課題ならびに本論文の目的

1. 「あがり」とプレッシャー	2
2. プレッシャーにより生じる心理面および生理面の変化	3
3. プレッシャーによる心理面, 生理面の変化とパフォーマンス変化の関係性 ならびにプレッシャーによるパフォーマンス低下を説明する理論および仮説	6
4. 結果志向型アプローチから過程志向型アプローチへの転換	12
5. 研究課題	14
6. 本論文の目的	16
要約	21

第2章 プレッシャーが自己ペースにより開始される1歩踏み出し運動の初期姿勢 ならびにAPAに及ぼす影響

実験1

1. 目的	23
2. 方法	25
3. 結果	32
4. 考察	35
要約	41

第3章 プレッシャーが単純反応により開始される1歩踏み出し運動の初期姿勢 ならびにAPAに及ぼす影響

実験2

1. 目的	42
2. 方法	43
3. 結果	47
4. 考察	50
要約	57

第4章 プレッシャーが異なる課題の要求特性の1歩踏み出し運動における初期姿勢 ならびにAPAに及ぼす影響

実験3-1

1. 目的	61
2. 方法	61
3. 結果	64
4. 考察	67

実験3-2

1. 目的	72
2. 方法	72
3. 結果	74
4. 考察	76

実験3-3

1. 目的	80
2. 方法	80
3. 結果	81
4. 考察	84

第4章の全体考察	87
----------	----

要約	94
----	----

第5章 総合考察

1. 初期姿勢における変化	96
2. APA における変化	99
3. パフォーマンスの低下	100
4. モデルの構築	101
5. 本論文の総括と展望	104

要約	106
----	-----

引用文献	109
------	-----

謝辞	121
----	-----

第 1 章 先行研究の動向と課題ならびに本論文の目的

競技スポーツに取り組むアスリートは、目標とする競技会で最大限の成果を上げるため、日々トレーニングに励んでいる。しかしながら、重要な競技会で実力を発揮することは非常に難しい。Muraki (1986) は、オリンピックや世界選手権に出場した陸上競技選手を対象とした調査を行い、大会前の各選手の最高記録と本番での記録との比較から、決勝進出者の本番の記録には過去の最高記録に対して平均約 3 %の低下が認められたことを報告している。また、Hickman and Metz (2014) は、ゴルフのツアーにおける賞金とパットの成功率の関係を調べた大規模な調査から、得られる賞金が大きくなるほどパットの成功率が低下することを報告している。このように、重要な場面であるほど、実力を発揮することは難しく、パフォーマンスの低下が生じやすくなるといえる。

このようなパフォーマンス低下の背景には、重要な競技会や勝敗を左右するような場面を持つ独特な雰囲気や緊張感、重圧などの心理社会的要因があるといえるだろう。そして、これらの要因により過剰な緊張が生じ、実力発揮が難しくなると考えられる。このような現象は「あがり」と呼ばれ、「あがり」により満足な結果を残せなかったアスリートは、「プレッシャーに負けた」、「重圧に押しつぶされた」、「雰囲気にのまれた」などと評価される。また、「あがり」の経験を有するアスリートの割合については、約 93 % という報告 (松田, 1961) や約 90 % という報告 (金本ほか, 2002) があり、多くのアスリートにとって「あがり」は重要な克服課題であるといえる。さらに、監督やコーチなどのスポーツ指導者は、「あがり」の克服法や対処法を適切に指導することが求められるため、「あがり」に関する学術的知識の需要は非常に高いといえる。以上の背景から、本論文では、プレッシャーによって引き起こされる「あがり」、特に運動スキル遂行の変化について検討した一連の研究を報告する。

本章では、本論文における「あがり」とプレッシャーの概念を定義し、プレッシャー下で

生じる心理面、生理面の変化、ならびにこれまでに提唱されている「あがり」のメカニズムに関する理論および仮説を概説する。その後、近年の研究においてみられるアプローチ方法の変化に焦点を当てた上で研究課題を議論し、最後に本論文における研究目的を述べる。

1. 「あがり」とプレッシャー

「あがり」という現象は、競技スポーツの場面に限らず、大勢の人の前でスピーチ・演説をする時や受験（試験）など、社会生活の様々な場面で生じる。そのため、「あがり」をテーマとした学術研究は、社会心理学、認知心理学、ならびに生理心理学など、スポーツ心理学以外の領域においても広く行われてきた。ここでは、「あがり」という現象やそれを引き起こす要因をテーマとした先行研究から、本論文における「あがり」とプレッシャーの定義を行う。

これまで、「あがり」は心身の様々な特徴的变化から構成される複合的な現象であるとされてきた。市村 (1965) は、「あがり」とは、単一の心理学的、生理学的概念で説明されるべきものではなく、いくつかの現象が複合された多面的な現象であるとした上で、「自律神経系の緊張」、「心的緊張力の低下」、「不安感情」、「運動技能の混乱」といった要素から構成されるとした。また、有光・今田 (1999) は、「あがり」における症状を「自己不全感」、「身体的不全感」、「震え」、「責任感」、「生理的反応」、および「他者への意識」に分類した。さらに、村山・関矢 (2012) においては、「運動制御の変化と悪循環」、「身体異常感覚」、「知覚・認知的混乱」、「身体重量感・脱力感」、「消極性」などからなる9因子が抽出されている。

また、このような「あがり」を引き起こす状況についても、様々なものが存在することが指摘されている。例えば、有光・今田 (1999) は、競技スポーツや社会生活などにおいて「あがり」が生じる状況について、「個人の当落」、「社会的評価」、「個人の非当落」、およ

び「異性」の4つの因子に分類している。これらから、「あがり」の症状や、それを引き起こす状況は非常に多様であることがみてとれる。

ところで、Baumeister (1984) は、プレッシャーを「高いパフォーマンスを発揮することの重要性を高める因子もしくはその組み合わせ」と定義し、プレッシャーによるパフォーマンスの低下を“choking under pressure”と呼んだ。ここでのプレッシャーは、有光・今田 (1999) における「あがり」が生じる状況を含み、これらの状況を端的に表現している。また、“choking under pressure”についても、プレッシャーにより、上述した複合的な変化が生じ、その結果パフォーマンスが低下したとする場合、「あがり」を的確に表現していると考えられる。

以上を踏まえ、本論文では、プレッシャーの定義として、Baumeister (1984) における「高いパフォーマンスを発揮することの重要性を高める因子もしくはその組み合わせ」を用いる。そして、“choking under pressure”を「あがり」と捉え、「プレッシャーを受けることで心身の多様な特徴的变化が生じた結果、パフォーマンスが低下する現象」と定義する。「あがり」をテーマとした研究は国内外を問わず数多く行われており、プレッシャーにより生じる心身の様々な特徴的变化が報告されている。

2. プレッシャーにより生じる心理面および生理面の変化

プレッシャーを受けることで心身には様々な特徴的变化が生じる。ここでは、プレッシャーや「あがり」をテーマとして行われた調査研究や実験研究により示されてきた特徴的变化を、心理面の変化と生理面の変化に分けて概説する。

2-1. 心理面における変化

プレッシャー下や「あがり」において生じる心理面の変化は、感情・情動に関する変化と

注意や知覚などの、より認知的な変化に大別することができる。まず、情動・感情に関する代表的な変化として、不安の増加が挙げられる。市村 (1965) は、「あがり」の特徴を調べるために、大学運動部に所属する 100 名のスポーツ選手を対象としたアンケート調査を行い、因子分析を行った。その結果、「一定のところに落ち着いていられない」、「なんとかなしに不安を感じる」などの項目から構成される「不安感情」という因子を抽出した。また、村山ほか (2009) は、大学生スポーツ選手を対象とした面接調査を行い、そこで得られた言語データを質的研究の手法の 1 つであるグラウンデッド・セオリー・アプローチによって分析し、「あがり」の発現機序をモデル化した。その結果、「あがり」を構成する要素の 1 つとして、「不安」、「恐怖心」などのサブカテゴリーから構成される「ネガティブ感情」というカテゴリーが抽出された。この他にも複数の調査研究で、プレッシャー下や「あがり」において不安の高まりが体験されることが報告されている (e.g., 有光・今田, 1999)。また、実験的にプレッシャーを負荷し、心理面の変化を調べた研究においても不安の増加は多数報告されており (e.g., 田中・関矢, 2006)、プレッシャー下や「あがり」における代表的な変化であるといえる。

次に、認知的側面において生じる変化としては、注意の変化と知覚の変化がある。注意の変化は、注意が向けられる対象という観点から、プレッシャーにより課題に対する注意が増加する場合と、その逆に、課題とは関係のない対象へ向けられる注意が増加するという、異なる変化が生じることがわかっている。課題遂行と関連した対象への注意の増加として、Tanaka and Sekiya (2011) は、ゴルフパッティングを課題とし、プレッシャーによる課題遂行時の注意の変化を調べ、プレッシャー下では、スイング中の力量調節や動作の大きさ、ボールが転がる軌道のイメージなどに向けられる注意が増加することを報告している。この他にも、プレッシャー下で運動課題を行う際には、課題遂行に対する心的努力度の増加が生じることなどが報告されていることから (Mullen & Hardy, 2000; Williams et al., 2002)、プレッシャー下では高いパフォーマンスを発揮するために、運動遂行に対する注意がより多

く向けられるようになることがわかる。一方で、主たる課題とは関係のない対象への注意が増加するという報告も多くみられる (e.g., Janelle et al., 1999)。例えば, Janelle et al. (1999) では、ドライブシミュレーターを用いた運転課題を実験参加者に行わせ、運転課題遂行中に呈示する 2 次課題の刺激ライトへの注視回数にプレッシャーが及ぼす影響を調べた。その結果、プレッシャーにより刺激ライトに対する注視回数が増加し、主たる課題に向けられる注意が減少することが示唆された。

また、プレッシャーなどにより不安感情が喚起されると、運動を行う際の周囲の情報や行為可能性に関する知覚に変化が生じることが示唆されている (e.g., Proffitt, 2006)。例えば, Pijpers et al. (2006) は、高所という不安感情が喚起される環境下でウォールクライミングを行うときに、最大リーチング距離に対する自己評価が縮小するという形で空間知覚が変化することを報告している。

以上のように、プレッシャー下や「あがり」における心理面では、不安感情の増加だけではなく、注意が向けられる対象の変化や周囲の情報に対する知覚の変化が生じるなど、複合的な特徴が表れることがわかっている。

2-2. 生理面における変化

プレッシャー下や「あがり」において生じる生理面の変化については、自律神経系や内分泌系の変化に関する報告がなされてきた。まず、自律神経系の変化として、市村 (1965) は上述した質問紙調査における因子分析の結果から、「喉がつまった感じがする」、「胸がどきどきする」などの項目を含む「自律神経系 (特に交感神経系) の緊張」という因子を抽出した。また、村山ほか (2009) においても、「あがり」の症状として、「心拍数の増加」や「発汗量の増加」といったサブカテゴリーから構成される「生理的覚醒水準の上昇」というカテゴリーが抽出されている。心拍数の増加について、Taggart and Gibbons (1967) はレーシングドライバーを対象とした調査で、レースが開始される前の 15 分間は心拍数が 150-180 bpm

であるのに対し、レース開始時には180-210 bpmに増加することを報告した。このような心拍数の増加は、プレッシャーによる生理面への影響を実験的に調べた研究によっても多数報告されている (e.g., Masters, 1992; Tanaka & Sekiya, 2011)。また, Mullen et al. (2005) は、プレッシャーが心拍変動に及ぼす影響を調べ、プレッシャーによって心拍変動における高周波帯域の割合が増加することを報告した。さらに、発汗量の増加について、Yoshie et al. (2009) はピアノ演奏を課題とし、リハーサル条件とコンクール条件における発汗率を比較し、コンクール条件において、より高い発汗率が示されたことを報告した。これらの報告から、プレッシャーによる生理的变化として、交感神経系の活動の亢進とそれに伴う生理的覚醒水準の増加があることがわかる。

次に、プレッシャーによる内分泌系の変化については、副腎皮質ホルモンの1種であるコルチゾール分泌量の増加がある (Filaire et al., 2001; Salvador et al., 2003; Rohleder et al., 2007)。例えば, Filaire et al. (2001) は、男子柔道選手を対象として、安静時と試合前におけるコルチゾールの分泌量を比較した。その結果、試合前は安静時に比べて分泌量が増加することを報告した。

以上のように、プレッシャー下や「あがり」における生理面では、心拍数や発汗率の増加に代表される自律神経系における交感神経の活動の亢進や内分泌系におけるストレスホルモンの分泌の増加などといった生理的覚醒水準の増加が生じることがわかっている。

3. プレッシャーによる心理面、生理面の変化とパフォーマンスの変化の関係性 ならびにプレッシャーによるパフォーマンス低下を説明する理論および仮説

ここまで、プレッシャー下や「あがり」における心理面や生理面における特徴についてみてきた。心理面においては、不安感情の増加や注意の変化が生じ、生理面においては心拍数の増加、発汗の増加、ストレスホルモンの分泌の増加などの生理的覚醒水準の増加が生じ

る。それでは、これらの変化と運動遂行におけるパフォーマンスにはどのような関係があるのだろうか。ここでは、プレッシャー下や「あがり」において生じるパフォーマンスの低下が、心理面や生理面の変化とどのように関係しているのかを説明している理論および仮説について概説する。

3-1. プレッシャーによる心理面、生理面の変化とパフォーマンスの変化の関係性

「あがり」におけるパフォーマンスの低下を説明する理論の基礎として、Yerkes and Dodson (1908) の逆 U 字仮説がある。逆 U 字仮説では、覚醒水準とパフォーマンスは逆 U 字の関係性を持ち、パフォーマンスを発揮する上で最適な覚醒水準が存在するとされる。そして、その最適な水準に対して覚醒が高い場合にも低い場合にも、パフォーマンスが低下するとされている。この仮説は運動課題による検証を行った複数の研究により支持されたが (e.g., Martens & Landers, 1970; Weinberg & Ragan, 1978), さらなる検証や現実場面への応用を進めるにあたり、いくつかの問題が指摘されるようになった。

逆 U 字仮説の問題点の 1 つとして、覚醒の概念の曖昧さがあった。これに関連して、覚醒の概念に含まれる不安が、パフォーマンスへの影響の異なる複数の種類から構成されるという指摘もなされた。この中で、Martens et al. (1990) はパフォーマンスの変化を認知不安と身体不安という 2 種類の不安により説明する多次元不安理論 (multidimensional anxiety theory) を提唱した。認知不安とは失敗への懸念や心配などを意味し、身体不安はストレスフルな状況に対する一過性の反応 (心拍の高まり、身体の震え、息のあがりなど) を知覚することを意味する。そして、この 2 種類の不安はパフォーマンスに対してそれぞれ異なる形で作用する。この理論においては、認知不安はパフォーマンスと直線的な関係を持つとされ、認知不安が高まるほどパフォーマンスは低下する。一方で、身体不安はパフォーマンスと逆 U 字の関係を持つとされる。また、身体不安がパフォーマンスの遂行に伴って低下するのに対し、認知不安はパフォーマンスに対する主観的な成功確率の変動の影響を受けるた

め、パフォーマンスに影響を与える要因としてより重要なのは認知不安であるとしている。この点については、実際に水泳選手を対象として行われた調査により、身体不安よりも認知不安がパフォーマンスに悪影響を及ぼすことが示されている (Burton, 1988)。

多次元不安理論の問題点として、パフォーマンスへの認知不安の影響と身体不安の影響が独立に説明されているために最終的なパフォーマンスが一意に決まらないことや、対称な逆 U 字では「あがり」における急激なパフォーマンスの低下を説明できないといった問題が指摘されるようになった。この問題を解決するために、認知不安、生理的覚醒の両者の相互作用によってパフォーマンスを推定するカタストロフィモデルが提唱された (Hardy, 1990; Hardy & Parfitt, 1991)。このモデルの大きな特徴は、生理的覚醒水準が最適水準を超えて上昇することによりパフォーマンスの急激な低下が生じ、そこから回復することが困難であること (ヒステリシス) を含めた点である。このモデルでは、認知不安が低い時には生理的覚醒水準とパフォーマンスの間に逆 U 字関係があるが、認知不安が高い時、生理的覚醒水準が一定の水準を超えるとパフォーマンスが急激に低下するとしている。そして、生理的覚醒水準が低い場合には、認知不安の増加とともにパフォーマンスが向上し、生理的覚醒水準が高い場合には認知不安の増加とともにパフォーマンスが低下すると説明されている。

3-2. プレッシャーによるパフォーマンス低下を説明する理論および仮説

先に述べた逆 U 字仮説、多次元不安理論、ならびにカタストロフィモデルは、心理面における不安や生理面における覚醒水準とパフォーマンスの関係性を説明するにとどまっており、プレッシャーによる不安がどのような過程を経てパフォーマンスを低下させるのかというメカニズムについては触れられていない。これまで、プレッシャーによるパフォーマンス低下のメカニズムについては、主に注意の変化に着目した研究が活発に行われてきた。

ここでは、代表的な 2 つの立場について説明する。

3-2-1. 自動化された運動スキルに対する注意の再配分

プレッシャーによりパフォーマンスが低下する理由の 1 つとして、「自動化された運動スキルに対する注意の再配分」が挙げられる。この立場では、プレッシャーにより生じる慎重に運動スキルを遂行したいという思いが、動作に対して過剰な注意を向けることにつながり、結果的に自動的で協調的な運動が損なわれてしまうと説明する。

Fitts and Posner (1967) は、運動の学習過程は 3 つの相対的に異なる段階から構成されるとし、それらを言語 - 認知段階、連合段階、自動化段階とした。言語 - 認知段階とは、学習者が運動に対して言語的、認知的な意識を向けながら運動を遂行する段階を指し、連合段階は意識的にその練習を繰り返す段階を指す。これらの段階を経て、最終的には運動に意識を向けずとも運動スキルを遂行できるようになる自動化の段階に至る。その一方で、既に自動化された運動スキルを行う際に運動に注意を再配分 (reinvestment) すると、脱自動化と呼ばれる逆戻りの現象が生じ、運動のパフォーマンスが低下するとされている (Deikman, 1966)。このような背景から、Masters (1992) は、プレッシャーにより生じる運動スキル遂行への注意の再配分が脱自動化を引き起こし、パフォーマンスを低下させるとする意識的処理仮説 (conscious processing hypothesis) を提唱した。この仮説は、ゴルフパッティング (Hardy et al., 1996; Mullen et al., 2007; Mullen et al., 2005)、クライミング (Pijpers et al., 2006; Pijpers et al., 2003)、ピアノ演奏 (Wan & Huon, 2005) などを課題とした研究により支持されている。また、意識的処理仮説と類似した仮説として、顕在モニタリング仮説 (explicit monitoring hypothesis: Beilock & Carr, 2001) があるが、運動スキル遂行への注意の再配分による脱自動化がパフォーマンスの低下を引き起こすという点において意識的処理仮説と同様である。

3-2-2. 課題遂行に必要な注意の不足

「あがり」における運動パフォーマンスの低下を説明するもう 1 つの立場として、「身体運動の遂行に必要な注意の不足」がある。ここでは、プレッシャーにより状態不安が高まり、心配などの課題の遂行とは関係のない対象に注意の処理資源が向けられることで、課題の遂行に必要な処理資源が確保されず、その結果パフォーマンスが低下すると説明する。

この立場は、認知心理学における研究を基礎としている。注意には、膨大な入力情報の中から認知する情報を取捨選択する選択的機能に関する概念と、情報処理を駆動するために引き出される処理容量・心的資源としての概念が含まれる。後者の注意は処理資源 (processing resource) とも呼ばれ、処理資源には、限られた一定の容量があるとされる (Kahneman, 1973)。そして、ワーキングメモリにおける中央実行系が、この限られた容量を種々の情報処理に配分し、運動スキルの遂行に必要な情報処理が行われる。このような背景を基に、Eysenck (1979) は、プレッシャー下で運動課題を行う際には、自己評価や自己非難、加えて自律神経系の活動の亢進の知覚などに処理資源が配分されてしまい、課題遂行に必要な注意の処理資源が不足し、その結果パフォーマンスが低下するという注意散漫仮説を提唱した。その後、注意散漫仮説は、プレッシャー下においてもパフォーマンスが低下しない現象を説明するために、処理効率性 (processing efficiency) とパフォーマンス有効性 (performance effectiveness) という 2 つの概念を導入する形で、処理効率性理論 (processing efficiency theory) として修正された (Eysenck & Calvo, 1992)。パフォーマンス有効性とは、客観的に測定されるパフォーマンスを指し、処理効率性はそのパフォーマンスを発揮するために投入された努力量との比率を指す。したがって、客観的に測定されたパフォーマンスが同じであっても、それを発揮するために投入される努力量が増加すれば、処理効率性は低下する。逆にいえば、プレッシャーにより処理効率性が低下しても、パフォーマンスは維持される。これまでに、ゴルフパッティング (e.g., Mullen et al., 2005)、卓球 (e.g., Williams et al, 2002)、ドライビングシミュレーション (e.g., Murray & Janelle, 2003; Wilson et

al., 2006)などを課題とした研究により、処理効率性理論を支持する結果が得られている。

なお近年では、処理効率性理論に対してさらなる修正を加えた注意制御理論 (attentional control theory: Eysenck et al., 2007) が提唱されている。注意散漫仮説や処理効率性理論では、状態不安の増加により、注意の処理資源が課題とは関係のない対象に多く割り当てられ、課題の遂行に必要な処理資源が不足することでパフォーマンスが低下すると説明していた。しかし、注意の処理資源の配分を司るのはワーキングメモリにおける中央実行系であり、なぜ状態不安が増加することで中央実行系が課題とは関係のない対象に処理資源を配分するようになるのかという点については説明されていなかった。これに対して注意制御理論では、状態不安の増加により低下する中央実行系の具体的な機能 (抑制, 切り替え, 更新) を枠組みに加えた。抑制とは、課題とは関係のない刺激に対する反応を抑制する機能である。また、切り替えとは、注意をある対象から別の対象に切り替える機能を指す。さらに、更新は、新しい情報が追加されていく中で、古い情報を記憶に留めておく機能を指す。注意制御理論では、これらの3つの機能が不安により低下することを示し、プレッシャー下で注意の処理資源が課題とは関係のない刺激に向けられる過程や注意制御の効率性が低下する過程を具体的に示している。

以上で、プレッシャー下で生じるパフォーマンスの低下と心理面や生理面の変化との関係を説明する理論ならびに仮説について述べた。特に、プレッシャーによるパフォーマンスの低下を注意の変化から説明する2つの立場の間には、長年の論争が続いており、どちらが正しいのか検証しようとする研究が複数行われている (e.g., Gucciardi & Dimmock, 2008; Oudejans et al., 2011)。しかしながら、これらの2つの立場はどちらが正しいという問題ではなく、プレッシャーによりパフォーマンスが低下する異なる過程をそれぞれ説明している可能性や両方の過程が同時もしくは連続して生じる可能性もあると考えられる。また、運動スキルのパフォーマンスは、注意だけではなく、動作様式によっても規定される。したが

って、プレッシャーによりパフォーマンスが変化する過程を、注意の変化のみから検討することには限界があるといえ、プレッシャーによる動作様式の変化についても検討を行う必要があるといえる。

4. 結果志向型アプローチから過程志向型アプローチへの転換

ここまで、プレッシャーが心理面、生理面にどのような変化を生じさせるのか、また、これらの変化がどのようにパフォーマンスの低下と関わっているのかを説明する理論、仮説について概説してきた。しかしながら、これらの理論および仮説の説明には、心理面、生理面の変化とパフォーマンスの変化の関係性を媒介する動作様式、すなわち動きの変化が含まれていない。そのため、プレッシャーによるパフォーマンスの変化についての評価が、「勝ったか負けたか」、「成功か失敗か」といった過度に大局的ものとなり、詳細な解釈をすることが難しいとされてきた (Pijpers et al., 2003)。

このような問題意識の下、近年プレッシャーの研究は、プレッシャーとパフォーマンスの直接的関連性を検討する結果志向型アプローチから、プレッシャーがパフォーマンスに与える影響を媒介する動作様式の変化に着目する過程志向型アプローチに転換されつつある (Pijpers et al., 2003; 吉江ほか, 2011)。過程志向型アプローチの研究では、プレッシャーが運動スキルの遂行における動作様式への影響が運動学、運動力学、筋活動の観点から調べられている。これまでに用いられてきた運動課題には、ゴルフパッティング (Cooke et al., 2010, 2011; 田中・関矢, 2006; Tanaka & Sekiya, 2010a, 2010b, 2011)、ウォールクライミング (Pijpers et al., 2006; Pijpers et al., 2003)、卓球ボールバウンド (Ehrlenspiel et al., 2010; 田中ほか, 2010)、けん玉 (田中ほか, 2009)、ダーツ投げ (村山ほか, 2007)、ライフル射撃 (Causser et al., 2011)、投球動作 (Higuchi, 2000)、疑似パッティング (Higuchi et al., 2002)、短距離走スタートダッシュ (Sasaki & Sekiya, 2014) などがある。

プレッシャー下で運動を行う際の運動学的変化として明らかとなっていることは、運動の大きさや変動性が変化するということである。例えば、田中・関矢 (2006) は、ゴルフパッティング課題において、プレッシャーによりスイング時の腕ならびにクラブの直線移動距離が減少することを示した。このような運動の変位の縮小という変化は、その他のゴルフパッティングを課題とした研究 (Hasegawa et al., 2013; Tanaka & Sekiya, 2010a, 2011) においても認められている。また、コンピュータによる擬似パッティング課題 (Higuchi et al., 2002) や卓球ボールバウンド課題 (田中ほか, 2010) を用いた研究においても、プレッシャーによる運動の変位の減少が確認されている。また、プレッシャー下では運動速度の減少が生じることも報告されている (田中・関矢, 2006; Tanaka & Sekiya, 2010a, 2011)。さらに、運動の変動性については、ボールの下手投げ課題において、プレッシャー下ではリリースポイントの試行間変動性が減少することが報告されている (Higuchi, 2000)。このようなプレッシャー下における試行間変動性の減少は、両手協調運動 (Court et al., 2005) や擬似パッティング課題 (Higuchi et al., 2002) においても示されている。一方で、運動速度の試行間変動性については、プレッシャーにより増加するという報告 (Tanaka & Sekiya, 2010a) もなされている。

次に、プレッシャーにおける運動学的変化の代表的なものとして、力発揮の増加がある。例えば、Visser et al. (2004) は、コンピュータ画面上に現れるターゲットにカーソルを合わせてクリックする課題を用い、プレッシャー下ではクリック時の力発揮が増加することを示した。この他にも、van Galen and van Huygevoort (2000) は、圧力センサーが取り付けられたペンを用いての急速狙準課題において、プレッシャー下においてはペン先にかかる圧力が増大することを報告している。

このようなプレッシャー下における運動学的、運動学的変数の変化の背景として、主働筋や拮抗筋における筋放電量の増加があることもこれまでに示されている。例えば、Cooke et al. (2010) は、ゴルフパッティングを課題とし、プレッシャー下では、フォワードス

イング局面において主働筋となる左橈側手根屈筋の放電量に増加が生じることを報告した。また、ピアノ演奏を課題とした研究においては、プレッシャーにより前腕部の筋活動強度の増加や共収縮率の増加が生じることが示されている (Yoshie et al., 2009; Yoshie et al., 2008)。

さらに、プレッシャー下における動作様式の変化と心理面および生理面の変数の関係性についても明らかとなりつつある。例えば、Tanaka and Sekiya (2011) では、ゴルフパッティングを課題とし、プレッシャーによりストレッサーや不安感情など、課題の遂行とは直接関係のない対象に注意が向くほど、バックスイング局面におけるクラブヘッドの移動速度の減少やフォロースルー局面のクラブヘッドならびに肘部の変位の減少が生じることを報告している。さらに、動作様式と心拍数の関係性についても、プレッシャーにより心拍数が大きく増加するほど、ゴルフパッティング課題のフォワードスイング局面におけるクラブヘッドおよび肘部の運動速度 (Tanaka & Sekiya, 2010b) ならびに運動加速度 (Tanaka & Sekiya, 2011) の増加の度合いも大きくなることが報告されている。ゴルフパッティングの他にも、短距離走のスタートダッシュを課題とした Sasaki and Sekiya (2014) において、プレッシャーにより心拍数が大きく増加するほど、飛び出し時の膝関節における最大伸展速度が増加することが報告されている。

以上のように、結果志向型アプローチから過程志向型アプローチへの転換がなされることで、プレッシャーが動作様式に及ぼす影響が徐々に明らかとなり、また心理面における不安や注意、生理面における覚醒水準との関係性も明らかとなりつつある。

5. 研究課題

「あがり」およびプレッシャーが運動スキルの遂行に及ぼす影響を調べた先行研究では、不安、注意という心理的側面や、自律神経系や内分泌系の変化などといった生理的側面か

ら研究が行われてきた。さらに、近年では過程志向型アプローチとして、プレッシャー下における運動スキルの遂行時の動作様式の特徴を、運動学的側面、運動力学的側面、ならびに筋活動の側面から調べた研究が増え、「あがり」のメカニズムの解明に向けた取り組みが継続されている。しかし、その一方で、課題も存在する。

プレッシャーが運動スキル遂行時の動作様式に及ぼす影響を調べた先行研究の課題として、姿勢制御に関する変化が調べられていないことが挙げられる。ヒトの身体運動を構成する要素は、主要運動要素と姿勢制御要素に大別することができ、どちらの要素も運動スキルの遂行にとって重要な役割を担うとされている (Cordo & Nashnar, 1982; Duarte & Latash, 2007)。主要運動要素とは、その身体運動の遂行によって果たすべき課題を直接的に解決するための主要運動を構成する要素を指す。一方の姿勢制御要素とは、主要運動をスムーズに行うための姿勢制御を構成する要素を指す。運動スキルの遂行において高いパフォーマンスを発揮するためには、主要運動要素だけではなく、姿勢制御要素が適切に制御される必要がある。

プレッシャーが運動スキルの遂行における動作様式に及ぼす影響を調べた先行研究では、主に主要運動要素の変化のみが調べられてきた。プレッシャー下の運動スキルの遂行における動作様式の変化を調べるにあたっては、ゴルフパッティング課題が多く用いられているが (e.g., Cooke et al., 2010; Tanaka & Sekiya, 2010a, 2011; 田中・関矢, 2006)、これらの研究では、スイング時における肩関節、肘関節、手関節を対象とした主要運動要素に関する運動学的変数のみが分析対象とされている。また、投動作を対象とした先行研究においても肩関節、肘関節、手関節に対してのみ動作解析を行っている (Higuchi, 2000; 村山ほか, 2007)。その他多くの先行研究において、運動スキル遂行の動作様式の記述は、上肢によってなされる主要運動要素に対してのみ行われており、プレッシャーが姿勢制御要素に及ぼす影響を実験的に調べた研究は行われていない。一方で、「あがり」の経験を有する大学生スポーツ選手を対象として面接調査を行い、その内容を質的研究の手法によって包括的な「あがり」

の発現機序としてモデル化した村山ほか (2009) では、「知覚・運動制御の変化」というカテゴリーの中のサブカテゴリーの 1 つとして「下肢のおぼつかなさ」が報告されている。これは、プレッシャーによる下肢における姿勢制御の変化が「あがり」の構成要素であることを示唆する結果であるといえる。

以上より、プレッシャーが運動スキル遂行時の動作様式に及ぼす影響について、これまでに行われてきた主要運動要素に対する検討に加え、姿勢制御要素に対する検討を行うことで、「あがり」のメカニズムのより詳細な理解が進むと考えられる。

6. 本論文の目的

近年のプレッシャー研究の流れとして、プレッシャーによる不安とパフォーマンスのみの関係を調べる結果志向型アプローチから、プレッシャーによってパフォーマンスが変化する過程に着目する過程志向型アプローチへの転換があることに触れた。過程志向型アプローチにおける研究手法として、プレッシャー下での運動スキル遂行時の動作様式の特徴を運動学的変数、運動力学的変数や筋活動に関する変数を用いて評価する方法が用いられてきたが、これまでの研究では評価対象が動作様式における主要運動要素に偏っており、姿勢制御要素を対象とした研究は行われてこなかった。プレッシャーが運動スキルのパフォーマンスに影響を及ぼす過程を明らかにし、「あがり」のメカニズムの全体像を解明するためには、姿勢制御要素に生じる変化についても検討を行う必要がある。

運動スキルの遂行において重要な役割を果たす姿勢制御要素の 1 つとして、予測的姿勢制御 (anticipatory postural adjustments: APA) がある。APA とは、主要運動の開始に先行して生じる姿勢制御を指す。APA の例として、立位で行われる上肢挙上運動で生じる大腿二頭筋と脊柱起立筋の活動がある。Belen'kii et al. (1967) は、実験参加者に安静立位の状態から片方の上肢をできる限り素早く前方へ挙上することを求めた。この運動における主要運動は

上肢の挙上であり、その主働筋は三角筋前部である。そして、この運動が行われる際、三角筋前部の放電の開始に先行して、挙上される上肢と同側の大腿二頭筋と、対側の脊柱起立筋において放電が生じることがわかっている。このような大腿二頭筋と脊柱起立筋の活動は、主要運動によって生じる姿勢の平衡への外乱を予め補償するものであると解釈された。そして、様々な運動を対象としたその後の研究から、APA には、上記のような主要運動によって生じる姿勢の平衡への外乱に対する予測的な補償という機能だけではなく、運動をスムーズに遂行するための積極的な体重移動を生じさせる機能もあることが明らかとなった (Brenière & Do, 1991; Crenna & Frigo, 1991)。

本論文では、運動をスムーズに遂行するために APA が重要な役割を果たすものとして、1 歩踏み出し運動を取り上げる。1 歩踏み出し運動とは、安静立位の状態から、前方に対して踏み出しを行うという運動である。ここでの主要運動とは、踏み出す側の脚 (運動脚) を前方に踏み出すことであり、APA は運動脚の足底部が床から離れるよりも時間的に先行して生じる一連の姿勢制御を指す (Crenna et al., 1990; Massion, 1992)。まず、踏み出しを行うためには、片足立ちのように体重を支持脚 (運動脚の反対脚) 側に移す必要がある。これは運動脚側の中臀筋が活動することで前額面における運動脚方向に力を加え、その反力を得ることによってなされる。また、体重を支持脚側に移すための活動と並行して、前方への推進力を得るための活動も生じている。これは、両下腿の前脛骨筋が収縮することで後方に力を加え、その反力を得ることによってなされる。これらが踏み出し運動において生じる APA であり、これらがスムーズに行われることで、踏み出しを開始することができる。

1 歩踏み出し運動の APA については、踏み出しの素早さや着地位置に求める正確性を実験的に操作し、それにより APA がどのように変化するかという観点から研究が行われてきた。Ito et al. (2003) は、素早く踏み出そうとすると、APA における両下腿の前脛骨筋の放電量が増えることと、後方に加えられる力が大きくなることを報告している。また、Brunt et al. (2000) は、踏み出しにおける着地位置の制約が APA に及ぼす影響を調べ、着地位置に設置

されたターゲットが小さくなると、APA において後方へ加えられる力のピーク値が低くなることを報告した。このように、1 歩踏み出し運動における APA は課題に求められる素早さや正確性といった特性と密接に関わっている。

さらに、APA に加えて運動スキルの遂行に影響を及ぼす姿勢制御要素に初期姿勢がある。ここでの初期姿勢とは、APA が開始されるよりも時間的に前の段階における姿勢を指す。Crenna and Frigo (1991) は、初期姿勢における体幹部の前傾が、その後の踏み出し運動の APA に及ぼす影響を調べた。その結果、体幹を前傾させた状態から開始する踏み出し運動においては、体幹を直立させた状態から開始する場合と比較して、APA における前脛骨筋の放電量が少ないことを示し、体幹の前傾が大きくなるほど前脛骨筋の放電量が減少することを報告した。加えて、Azuma et al. (2007) は、水平方向における初期足圧中心 (center of pressure: COP) 位置の変化が 1 歩踏み出し運動の踏み出し所要時間に及ぼす影響を調べ、初期 COP が運動脚側にある場合に踏み出し所要時間が最短となり、支持脚側の場合には踏み出し所要時間が最長となることを報告した。これらより、初期姿勢も運動スキルのパフォーマンスに影響を及ぼす姿勢制御要素の 1 つであるといえる。

以上を踏まえ、本論文では、プレッシャーが 1 歩踏み出し運動における初期姿勢ならびに APA に及ぼす影響を調べることを目的とする。そして、図 1-1 に、本論文における主な検討対象と、先行研究により明らかとされているプレッシャー下の変化との関係を示した。まず、プレッシャーは、心理面における状態不安の増加や生理面における心拍数の増加を生じさせる。これらの変化は、プレッシャーが運動スキルの遂行に及ぼす影響を調べた多くの先行研究において、プレッシャー操作の有効性を確認するための指標として用いられており、本論文においてもプレッシャーの操作チェックの指標として用いる。そして、プレッシャー下における状態不安と心拍数の増加を確認した上で、動作様式に生じる変化を検討する。プレッシャー下の動作様式の変化としては、主に主要運動要素を対象として多くの

知見が得られてきた。それに対して本論文では、これまでに対象とされてこなかった姿勢制御要素を主な検討対象とする。プレッシャー下の姿勢制御要素を調べる上では、主要運動要素を調べる際に用いられてきた方法と同様に、運動学、運動力学、筋活動の観点から評価を行う。そして、実験課題には、課題の要求特性と姿勢制御要素の関係性が先行研究によって多く調べられている 1 歩踏み出し運動を用いる。その上で、プレッシャー下における初期姿勢や APA の変化を、運動の開始の様式、素早さや着地位置に求められる正確性といった課題の要求特性との関係から解釈を行うために、これらの複数の要求特性の組み合わせを踏まえ、合計 5 つの実験を行った。

第 2 章で述べる実験 1 では、自己ペースにより開始され、踏み出しの素早さと着地位置の正確性が同時に求められる 1 歩踏み出し運動を課題とし、プレッシャーが初期姿勢ならびに APA に及ぼす影響を調べた。

第 3 章で述べる実験 2 では、単純反応により開始され、踏み出しの素早さと着地位置の正確性が同時に求められる 1 歩踏み出し運動を課題とし、プレッシャーが初期姿勢ならびに APA に及ぼす影響を調べた。

第 4 章では、プレッシャーが 1 歩踏み出し運動の初期姿勢ならびに APA に及ぼす影響が課題特性にどのように依存するのかを調べるために、実験 3-1、実験 3-2、実験 3-3 を行った。

最後に第 5 章では、第 2 章から第 4 章にかけての 5 つの実験から得られた結果を基に、本論文の目的に対する総合考察を行った。そして、総合考察を基に、プレッシャー下における 1 歩踏み出し運動の初期姿勢と APA の変化と課題特性との関係性を示すモデルを作成し、最後に、本論文の課題と展望を述べた。

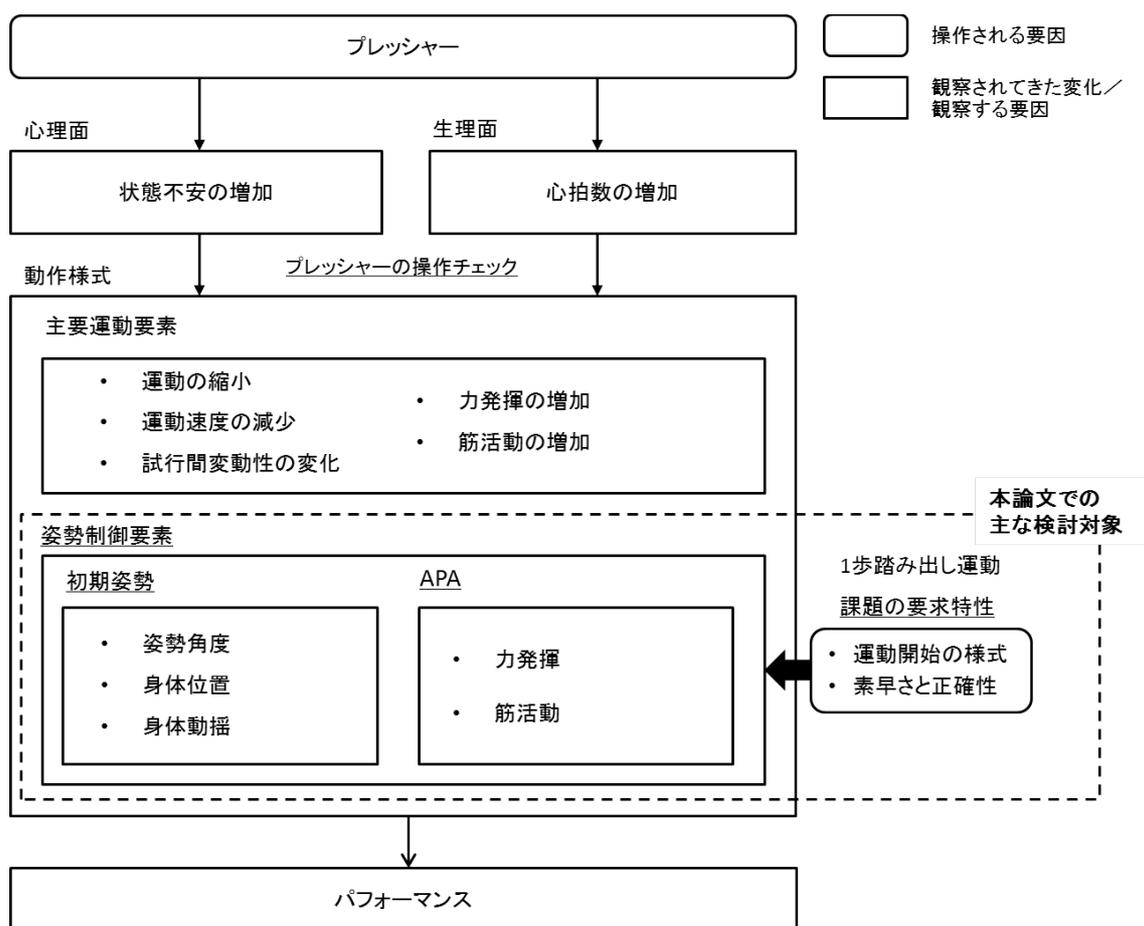


図 1-1. 本論文における主な検討対象と、先行研究により明らかとなっているプレッシャー下の変化との関係

第1章の要約

競技スポーツに取り組むアスリートは、目標とする競技会で最大限の成果を上げるため、日々トレーニングに励んでいる。しかし、重要な場面であるほど、大きなプレッシャーがかかり、実力を発揮することは難しくなる。そして時に、パフォーマンスの低下を伴う「あがり」が生じてしまう。「あがり」は多くのアスリートにとっての重要な克服課題であり、プレッシャーや「あがり」に関する学術的知識の需要は高い。

これまで、プレッシャー下における運動スキル遂行の特徴や「あがり」の特徴を明らかにするために、多くの研究がなされてきた。これらの研究により、プレッシャー下や「あがり」における心理面、生理面の特徴が明らかとされてきた。また、これらの心理面や生理面の変化とパフォーマンスとの関係性を示す理論や仮説も提唱されている。さらに近年では、心理面や生理面の変化とパフォーマンスの変化を媒介する動作様式の変化についても多くの研究がなされるようになり、プレッシャー下における運動スキル遂行の特徴や「あがり」の特徴の理解が進んできた。しかしながら、プレッシャーが運動スキル遂行時の動作様式に及ぼす影響を調べた先行研究においては、動作様式における主要運動要素のみが調べられており、プレッシャー下における姿勢制御要素の変化を調べた研究は行われてこなかった。主要運動要素だけではなく、姿勢制御要素も運動スキルの遂行に重要な役割を果たすものであるため、プレッシャーが運動スキルの遂行に及ぼす影響を包括的に明らかにするためには、姿勢制御要素の変化を調べる必要があった。そして、本論文では、運動スキルの遂行において重要な姿勢制御要素として初期姿勢と予測的姿勢制御 (APA) に着目し、これらの姿勢制御要素とパフォーマンスの関係性が多く研究されている1歩踏み出し運動を課題として扱った。

以上より本論文では、プレッシャーが1歩踏み出し運動における初期姿勢とAPAに及ぼす影響を調べることを目的とした。そして、この目的のために、1歩踏み出し運動の開始の

様式, 踏み出しに求められる素早さや着地位置に求められる正確性といった複数の要求特性の組み合わせを踏まえ, 合計 5 つの実験を行った.

第2章

プレッシャーが自己ペースにより開始される1歩踏み出し運動の初期姿勢ならびに
APAに及ぼす影響

実験1

1. 目的

プレッシャーが運動スキルの遂行に及ぼす影響を明らかにする上では、心理面の変化や生理面の変化だけではなく、運動学的変数、運動力学的変数、および筋活動に関する変数によって記述される動作様式の変化を調べることも不可欠である。そして、これまでに多くの研究で、プレッシャーが運動スキル遂行時の動作様式に及ぼす影響が調べられ、プレッシャー下における動作様式の特徴が明らかにされてきた。しかし、これらの先行研究では、動作様式における主要運動要素のみが検討されており、姿勢制御要素に対する検討は行われてこなかった。「あがり」を包括的に理解するためには、プレッシャーが姿勢制御要素に及ぼす影響を明らかにすることが必要である。

運動スキルの遂行に大きな役割を担う姿勢制御要素として、予測的姿勢制御 (anticipatory postural adjustment : APA) と初期姿勢がある。APAは、主要運動の開始に先行して生じる姿勢制御を指す。そして、初期姿勢とは、運動が開始される前の静的な姿勢状態を指し、ここではAPAが開始されるよりも時間的に前の段階における姿勢を指す。そして、本実験ではAPAや初期姿勢がパフォーマンスに重要な役割を果たす運動として、1歩踏み出し運動を取り上げる。1歩踏み出し運動とは、安静立位の状態から、前方に向かって踏み出しを行う運動である。ここでの主要運動とは、踏み出す側の脚（運動脚）を前方に踏み出すことである。そして、APAは運動脚の足底部が床から離れるよりも時間的に先行し

て生じる一連の姿勢制御を指し、初期姿勢はAPAが開始されるよりも前の姿勢状態を指す (e.g., Azuma et al., 2007; Crenna et al., 1990; Massion, 1992).

ここで、踏み出し距離、要求される踏み出しの素早さや着地位置の正確性などといった課題の要求特性が1歩踏み出し運動における初期姿勢やAPAにどのような変化をもたらし、それらの変化がパフォーマンスに対してどのように影響するのかという点を整理したい。まず、APAについては、実験的に操作された課題の要求特性の変化がAPAに関する諸変数に影響を及ぼすことが明らかとなっている (e.g., Brunt et al., 2000; Ito et al., 2003)。これらの研究でAPAはフォースプレートにより得られる床反力データを基に評価され、課題に要求される踏み出しの歩幅や速度が増加すると、APAにおいて後方に加えられる力が増加することがわかっている (Bertuccio & Cesari, 2010; Duarte & Latash, 2007; Ito et al., 2003)。一方、着地位置に要求される正確性が高まると後方に加えられる力が減少することが報告されている (Brunt et al., 2000)。そして、これらのAPAの変化は、課題の要求特性に対応する形で、パフォーマンスを変化させることがわかっている。このように、1歩踏み出し運動における課題の要求特性がAPAに及ぼす影響については多くの研究がなされている。しかし、プレッシャーがAPAに関する変数にどのように影響するのかは調べられていない。

初期姿勢は、運動の開始に先行する安静立位時のCOP位置や矢状面上の体幹角度を測定する形で定量化され、1歩踏み出し運動のパフォーマンスとの関係性が調べられてきた (e.g., Azuma et al., 2007; Crenna & Frigo, 1991; Ito et al., 2010)。例えば、Azuma et al. (2007) は、水平方向における初期COP位置の変化が1歩踏み出し運動の踏み出し所要時間に及ぼす影響を調べ、初期COPが運動脚側にある場合に踏み出し所要時間が最短となり、支持脚側にある場合には踏み出し所要時間が最長となることを報告した。また、Ito et al. (2010) は、前後方向における初期COP位置の変化が1歩踏み出し運動の踏み出し所要時間に及ぼす影響を調べ、COPが前方にあるか後方にあるかに関わらず、踏み出し所要時間は変化しないことを報告している。このように、初期姿勢と1歩踏み出し運動のパフォーマンスとの関係

性についてはいくつかの報告がなされている。その一方で、踏み出しの距離、踏み出しの素早さ、着地位置に求められる正確性などといった課題の要求特性の違いが、1歩踏み出し運動における初期姿勢に及ぼす影響についてはこれまでに調べられていない。さらにプレッシャーによる影響も調べられておらず、運動の開始に先行する初期姿勢については不明な点が多い。

以上のように、プレッシャーが初期姿勢やAPAに対してどのような影響を及ぼすのかは調べられてこなかった。また、初期姿勢については、課題の要求特性との関係性も不明な点が多く、プレッシャーによりどのような変化が生じるのかについての仮説を立てることは難しい。そのため、プレッシャーが1歩踏み出し運動における初期姿勢やAPAにどのような変化が生じるのかを初めに明らかにすることが、研究の最初の段階として妥当であると考えられる。そして、プレッシャーが初期姿勢やAPAに及ぼす影響を、複数の課題特性から検討を行うことで、それらの影響の特徴を解釈することができると考えられる。

競技スポーツの場面では、動きの素早さや正確性が同時に求められることが多く、運動の開始のタイミングを自ら決める場面も多い。したがって、本章では、自己ペースにより開始され、踏み出しの素早さと着地位置の正確性が同時に求められる1歩踏み出し運動の初期姿勢ならびにAPAにプレッシャーが及ぼす影響を明らかにすることを目的として、実験1を行った。

2. 方法

2-1. 実験参加者

男子大学生 14 名 (平均年齢 18.57 ± 0.76 歳, 平均身長 169.49 ± 7.19 cm, 平均体重 59.21 ± 8.86 kg) が実験に参加した。実験参加者の利き足は右足であった。利き足が右足であることは、実験参加者に対する質問と、立位からの踏み出しの際に初めに右足が踏み出されることを確認して判断した。なお、実験前に実験参加者全員からインフォームド・コンセントを

得た。また、本実験は広島大学の研究倫理委員会による承認を得た上で実施された。

2-2. 課題

自己ペースにより開始され踏み出しの素早さと着地位置の正確性が同時に要求される 1 歩踏み出し運動を課題として行わせた (図 2-1)。実験参加者には、実験室内に設置したフォースプレートの上に両足の土踏ましが 5 cm の間隔になるように開き、上肢の動きを制限するために両手を腰に当てた状態で立ち、安静を保持することを求めた。その状態から、実験参加者の前方にあるターゲットの中心に対して、できる限り短い時間で、かつ正確に右足で踏み出すことを求めた。右足を踏み出した後、左足も前方に移動させ、両足が揃うことで運動が完了した。実験者による試行開始の合図から運動の開始までの時間は、実験参加者の自己ペースによるものであった。ターゲットの中心までの距離は各実験参加者の身長 の 40% であった。このターゲットは、直径 10 cm, 8 cm, 6 cm, 4 cm, 2 cm の同心円と、その中心の直径 5 mm の点からなり、この中心の点に右足の拇指の上部に付けた反射マーカ ーができる限り近づくように踏み出すことを求めた。実験参加者に対しては、踏み出しが開始され てから右足が着地するまでに要した時間、右足の拇指の上部に取り付けた反射マーカ ーの ターゲットの中心からの誤差の 2 つを課題のパフォーマンスとして評価することを伝えた。

2-3. 実験手続き

実験参加者が実験室に入室した後、ハートレートモニター (Polar 社製 RS800CX) の送信機を実験参加者の胸部に取り付けた。その後、実験参加者の右半身の肩峰、大転子、膝、外 踝、踵、拇指に動作解析用反射マーカ ーを取り付けた。そして、課題についての説明を行い、 練習として 20 試行を行わせた後、本試行に移った。実験条件はノンプレッシャー条件とプ レッシャー条件の 2 条件であり、その順序は実験参加者間でカウンターバランスをとった。 実験に参加した 14 名のうち、7 名には先にノンプレッシャー条件での試行を行わせ、残りの

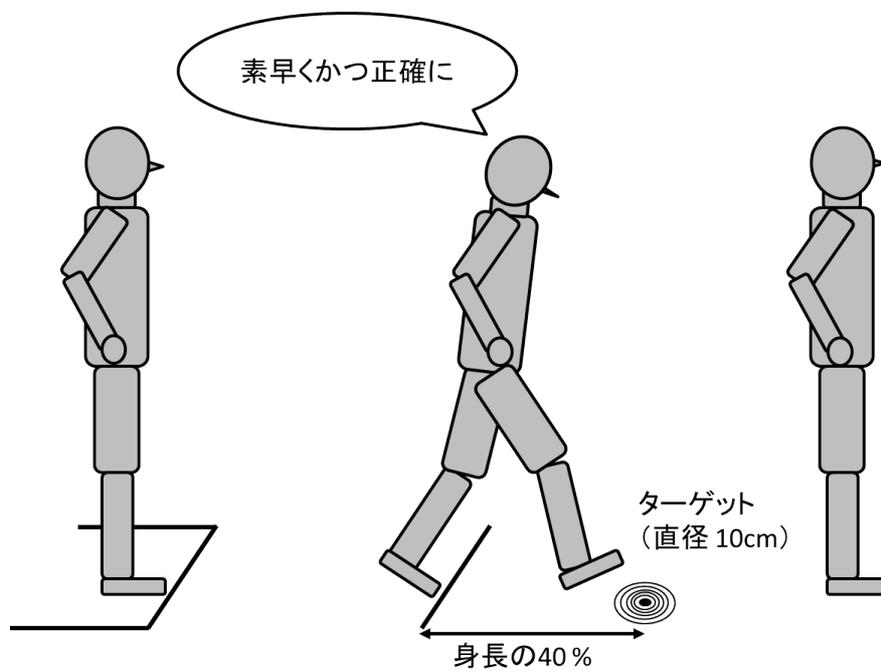


図 2-1. 自己ペースにより開始される 1 歩踏み出し運動の模式図

7名には先にプレッシャー条件での試行を行わせた。試行中は、実験参加者の矢上面に対して右前方45°と右後方135°の角度で、5 m離れた位置に設置された2台のハイスピードカメラ (DKH社製 Bcam) を用いて撮影を行った。また、ターゲットの上方より、1台のハイスピードカメラを用いて、ターゲットと拇指の反射マーカの撮影を行った。これらのハイスピードカメラのサンプリング周波数は100 Hzであった。また、フォースプレート (キスラー社製 Type9281B) を用いて床反力の測定を行った。フォースプレートのサンプリング周波数は1 kHzであった。なお、試行間の間隔は約45秒であった。

ノンプレッシャー条件の開始前には、分析するためのデータを増やすために行うと教示した。その後、状態不安を測定するために、新版 State-Trait Anxiety Inventory-Form JYZ (肥田野ほか, 2000) の STAI Y-1 に回答させ、ハートレートモニターによる R - R 間隔の記録を開始した後、ノンプレッシャー条件で10試行を行わせた。

プレッシャー条件の開始前には、5名の評価者が実験室に入室して席についた状態で、プレッシャー教示として、パフォーマンスが基準に達しなかった場合、後日実験をやり直す必要があることと、撮影された映像がスポーツ科学に関する授業で受講者に提示されるということを伝えた。なお、これらは偽教示であった。その後、STAI Y-1 に回答させ、ハートレートモニターの記録を開始し、評価者による観察の下、10試行を行わせた (図2-2)。

すべての試行が終了した後、課題遂行に対する主観的努力度を尋ねる質問紙に回答させた。最後に、本実験で行ったプレッシャーに関する教示が、実験上必要な偽教示であったことに関するディブリーフィングを行った。

2-4. データ処理

ハイスピードカメラによって得られた映像に対して矢状面における2次元動作解析を行った。まず、Raw データに対して、カットオフ周波数10 Hzのバターワースフィルタによるスムージングを行った。さらに、100 Hzで得られたキネマティックデータを1 kHzで得ら

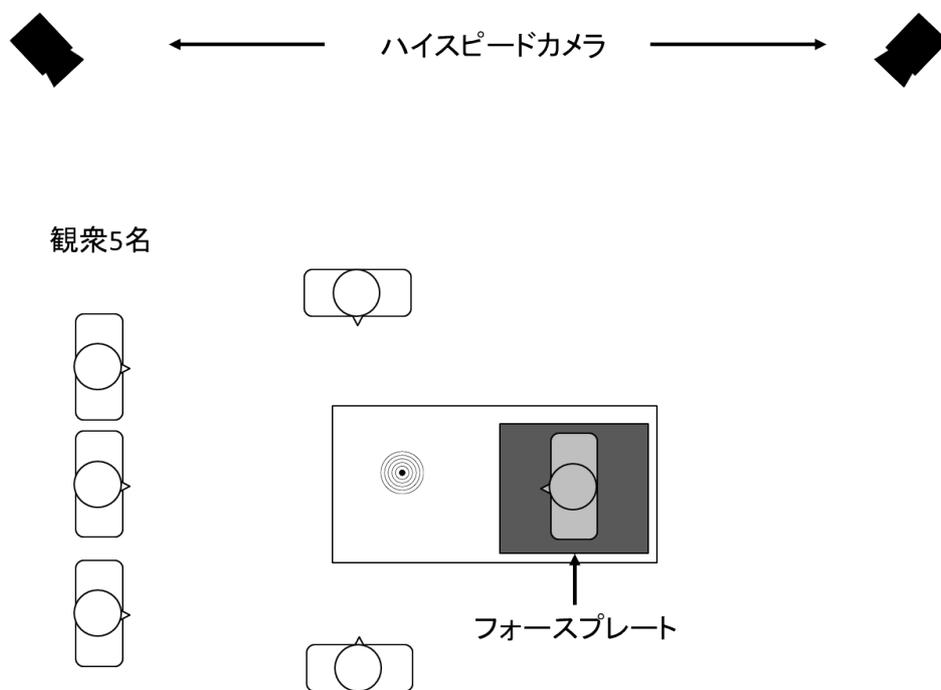


図 2-2. 実験室の環境とプレッシャー条件における観衆の配置

れたキネティックデータと同期させるために、1 kHz への規格化を行った。これらの解析には、動作解析ソフト (DKH 社製 FrameDias II) を使用した。また、フォースプレートから得られたキネティックデータについては、Raw データに対してカットオフ周波数 10 Hz のバターワースフィルターによるスムージングを行った上で分析した。

2-5. 測定項目

(1) プレッシャーの操作チェック

プレッシャー操作による心理面の効果を確認するために、各条件における試行が開始される前に STAI Y-1 による状態不安の測定を行った。また、生理面における効果を確認するために、ハートレートモニターから得られた各条件の試行中における R - R 間隔から、平均心拍数を算出した。

(2) パフォーマンス

踏み出しに要した時間を評価するために、踏み出し所要時間を算出した。まず、踏み出し開始の瞬間を運動脚の踵に装着した反射マーカの垂直方向の速度が 5 cm/s に達した時と定義した。そして、踏み出し終了を拇指に装着した反射マーカの垂直方向と水平方向の合成速度が 5 cm/s 以下まで減少した時と定義した。そして、踏み出しが開始してから終了するまでの時間を、踏み出し所要時間とした。さらに、ターゲットに対する着地位置の正確性を評価するために、2次元における誤差の算出方法 (Hancock et al., 1995) に基づいて、運動脚の拇指に装着した反射マーカの mean radial error (MRE), subject-centroid radial error (SRE), bivariate variable error (BVE) を求めた。

(3) 行動面

行動面の分析を行うにあたり、1歩踏み出し運動を初期姿勢局面、APA 局面、踏み出し局面の3局面に分けた。なお、本実験の目的は、プレッシャーが初期姿勢と APA に及ぼす影響を調べることであったため、初期姿勢局面および APA 局面に対してのみ分析を行った。左

右方向と前後方向の合成 COP 位置が閾値 (安静時の平均値+4SD) を越えて移動した時を APA の開始と定義し、初期姿勢局面は、その 300 ms 前から 50 ms 前までの間の 250 ms と定義した。また、APA 局面は、APA が開始されてから、踏み出しが開始されるまでの区間であった。踏み出しの開始は、運動脚の踵に装着された反射マーカの垂直方向の速度が 5 cm/s 以上となった時として定義した。

各局面における測定項目について、初期姿勢局面では、左右方向ならびに前後方向の COP 位置を測定した。左右方向 COP 位置については、両足の間隔の中心を基準として、この値が正の場合には、COP が支持脚側 (踏み出し方向に向かって左側) に位置していることを示し、この値が負の場合には COP が運動脚側に位置していることを示す。また、前後方向 COP 位置については、両足の拇指の先端部を結ぶ直線と COP の前後方向の距離を表し、250 ms にわたる初期姿勢局面における平均値であった。また、矢状面における肩峰と大転子に取り付けた反射マーカを結んだ線と水平面の絶対角を求め、矢状面体幹角度とした (Lateneur et al., 2013)。この角度が 90 度の時には、体幹が水平面に対して垂直であることを示し、この値が小さくなるほど前傾し、大きくなるほど後傾していることを示す。

APA 局面については、フォースプレートに加えられた力の大きさを調べるために、運動脚方向ならびに後方への平均床反力 (Ito et al., 2003) および最大床反力 (Brunt et al., 2000) を算出した。運動脚方向の床反力については、フォースプレートから得られた横方向の力の値 (正の値は運動脚方向、負の値は支持脚方向への力を表す) の正の値を用いた。後方への床反力については、同様に得られた前後方向の力の値 (正の値は後方、負の値は前方への力を表す) の正の値を用いた。平均床反力は、APA 局面で加えられた力について、閾値 (安静時の平均値+4SD) を越えた値の平均値であった。最大床反力は APA 局面で発現したピーク値であった。また、APA に要した時間を調べるために、APA 局面が開始されてから終了されるまでの時間を、APA 時間として算出した。

(4) 課題遂行に対する主観的努力度

ノンプレッシャー条件とプレッシャー条件における課題遂行に対する主観的努力度を調べるために、すべての試行が終了した後に質問紙に回答させた。質問紙では、ノンプレッシャー条件とプレッシャー条件のそれぞれについて、「素早く踏み出すためにどの程度努力したか」、「ターゲットに対して正確に着地するためにどの程度努力したか」を尋ね、それぞれに対して「すごく努力した(7点)」から「まったく努力しなかった(1点)」の7件法で回答を求めた。

2-6. 統計分析

ノンプレッシャー条件とプレッシャー条件を比較するために、各測定項目に対して対応のある t 検定を行った。また、課題遂行に対する主観的努力度の各測定項目については、ウィルコクソンの符号順位検定を行った。さらに、効果量として、ピアソンの積率相関係数 (r) を算出した。すべての検定における有意水準は5%未満であった。

3. 結果

3-1. プレッシャーの操作チェック

表2-1に、ノンプレッシャー条件とプレッシャー条件における状態不安得点と平均心拍数の平均値と標準偏差、 t 検定の結果ならびに効果量を示した。状態不安得点はプレッシャー条件において、ノンプレッシャー条件よりも有意に高かった ($t(13) = 5.01, p < .01, r = .81$)。また、平均心拍数もプレッシャー条件において、ノンプレッシャー条件よりも高い値を示した ($t(13) = 3.64, p < .01, r = .71$)。

表2-1. ノンプレッシャー条件ならびにプレッシャー条件における状態不安得点と平均心拍数

	ノンプレッシャー条件	プレッシャー条件	t	r
状態不安得点	39.71 ± 7.49	49.21 ± 8.63	5.01**	.81
平均心拍数 (bpm)	77.57 ± 8.94	86.00 ± 7.21	3.64**	.71

** $p < .01$

3-2. パフォーマンス

表 2-2 に、ノンプレッシャー条件とプレッシャー条件のパフォーマンスに関する測定項目の平均値と標準偏差, t 検定の結果ならびに効果量を示した。これらの項目については、条件間の有意差は認められなかった。

表 2-2. ノンプレッシャー条件ならびにプレッシャー条件におけるパフォーマンスに関する測定項目

	ノンプレッシャー条件	プレッシャー条件	t	r
踏み出し所要時間 (ms)	436 ± 70	423 ± 62	1.73	.25
MRE (cm)	1.55 ± 0.34	1.45 ± 0.30	0.93	.25
SRE (cm)	0.64 ± 0.39	0.76 ± 0.38	1.26	.33
BVE (cm)	1.62 ± 0.41	1.42 ± 0.31	1.69	.43

3-3. 行動面

表 2-3 に、ノンプレッシャー条件およびプレッシャー条件における行動面の各測定項目の平均値と標準偏差, t 検定の結果ならびに効果量を示した。また、図 2-3 に、行動面の各測定項目の典型波形を示した。

<初期姿勢局面>

矢状面体幹角度に、条件間の有意差が認められ ($t(13) = 2.67, p < .05, r = .60$)、プレッシャー条件において体幹がより前傾していた。また、前後方向 COP 位置に条件間の有意差が認められ ($t(13) = 2.48, p < .05, r = .57$)、COP 位置がプレッシャー条件においてより前方に位置した。その他の項目については、条件間の有意差は認められなかった。

<APA 局面>

後方平均床反力 ($t(13) = 5.01, p < .01, r = .81$) と後方最大床反力 ($t(13) = 4.56, p < .01, r = .79$) において条件間の有意差が認められ、プレッシャー条件においてより高い値が示された。その他の項目については、条件間の有意差は認められなかった。

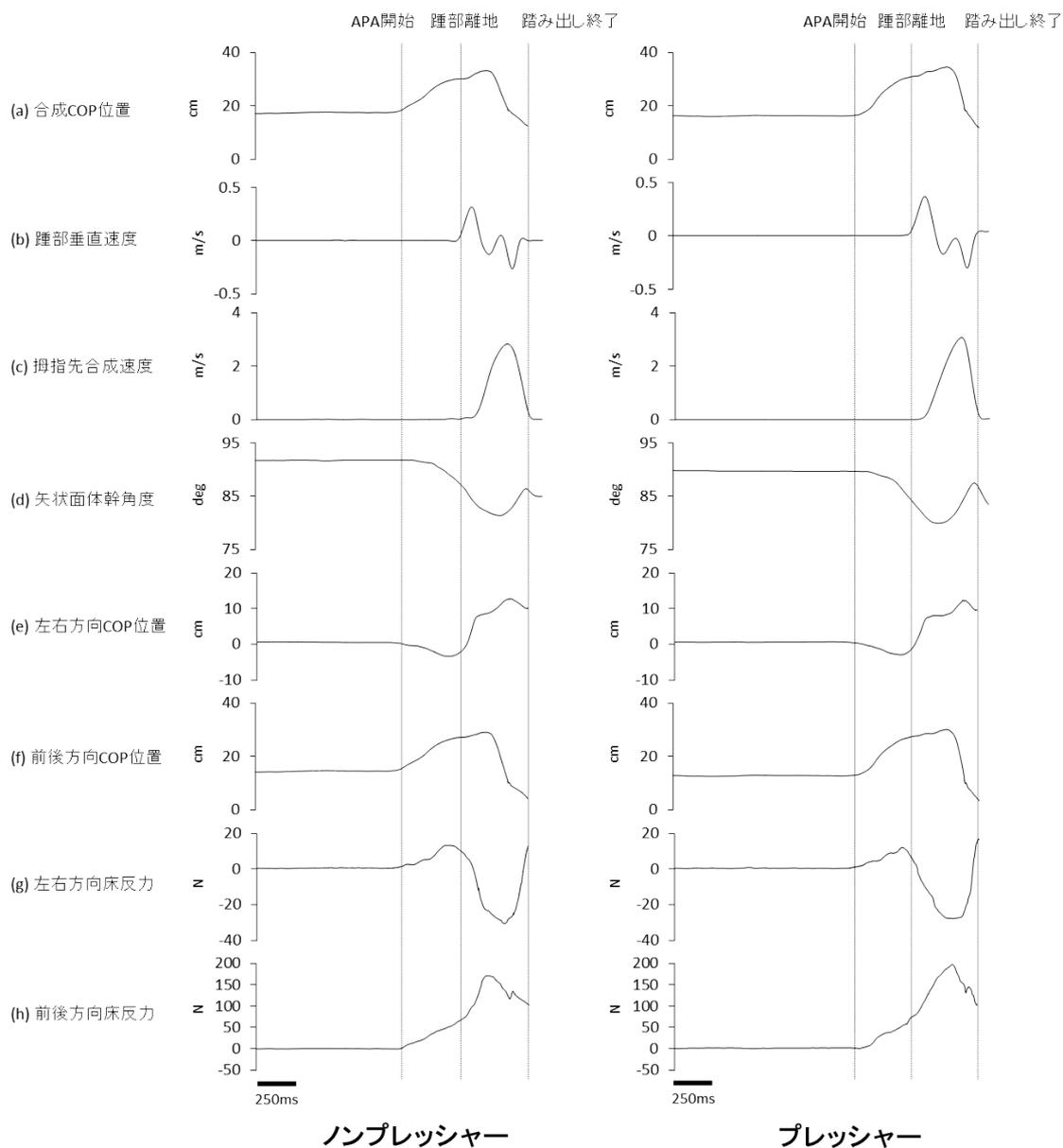


図 2-3. ノンプレッシャー条件とプレッシャー条件における初期姿勢局面と APA 局面の測定項目に関する典型波形
 *COP と床反力に関する波形が他の波形よりも短いのは、フォースプレートによるデータ取得が、両足がフォースプレートから離れる際に終了するためであった。

表 2-3. ノンプレッシャー条件とプレッシャー条件における初期姿勢局面ならびに APA 局面に関する測定項目

	ノンプレッシャー条件	プレッシャー条件	<i>t</i>	<i>r</i>
初期姿勢局面				
矢状面体幹角度 (deg)	91.72 ± 2.30	91.03 ± 2.24	2.67*	.60
左右方向 COP 位置 (cm)	0.42 ± 0.76	0.63 ± 1.03	0.96	.26
前後方向 COP 位置 (cm)	14.50 ± 2.20	12.96 ± 2.46	2.48*	.57
APA 局面				
運動脚方向平均床反力 (N)	4.37 ± 1.57	4.61 ± 2.48	0.63	.17
運動脚方向最大床反力 (N)	10.18 ± 4.08	10.60 ± 4.60	0.40	.11
後方平均床反力 (N)	31.44 ± 13.00	36.04 ± 14.10	5.01**	.81
後方最大床反力 (N)	88.91 ± 19.39	101.20 ± 24.08	4.56**	.79
APA 時間 (ms)	561 ± 94	584 ± 584	0.88	.27

* $p < .05$; ** $p < .01$

3-4. 課題遂行に対する主観的努力度

表 2-4 に、課題遂行に対する主観的努力度の得点の平均値と標準偏差ならびにウィルコクソンの符号順位検定の結果を示した。ウィルコクソンの符号順位検定の結果、素早い踏み出しへの努力度 ($Z = 2.88, p < .01, r = .77$) ならびに着地位置の正確性のための努力度 ($Z = 2.59, p < .05, r = .69$) の両方において条件間の有意差が認められ、プレッシャー条件においてより高い値を示した。

表 2-4. ノンプレッシャー条件とプレッシャー条件における課題遂行に対する主観的努力度

	ノンプレッシャー条件	プレッシャー条件	<i>Z</i>	<i>r</i>
素早い踏み出し	4.86 ± 1.03	6.14 ± 1.03	2.88**	.77
正確な着地	5.07 ± 1.27	6.50 ± 0.85	2.59*	.69

* $p < .05$; ** $p < .01$

4. 考察

本実験の目的は、自己ペースにより開始され、踏み出しの素早さと着地位置の正確性が同時に求められる1歩踏み出し運動の初期姿勢ならびに APA に対してプレッシャーが及ぼす影響を明らかにすることであった。実験の結果、プレッシャー下において、初期姿勢ならびに APA において複数の変化が生じた。以下で、本実験で負荷されたプレッシャーの強度について議論した上で、初期姿勢ならびに APA で生じた変化を考察する。

4-1. プレッシャーの強度

観衆、再実験、失敗パフォーマンスの映像の講義での使用といったプレッシャーの負荷により、ノンプレッシャー条件からプレッシャー条件にかけて、状態不安得点と心拍数が増加した。したがって、本実験のプレッシャーによって、有効にストレスが喚起されたといえる。本実験において、状態不安得点の平均はノンプレッシャー条件で 39.71 点、プレッシャー条件で 49.21 点であり、プレッシャーによる増加は 9.50 点であった。プレッシャーの操作チェックの指標として STAI Y-1 を用いた先行研究 (長谷川ほか, 2011; 田中・関矢, 2006; 田中ほか, 2009) において報告されたプレッシャーによる状態不安得点の増加は、約 6 -14 点の範囲であり、平均は約 10 点であった。また、新版 STAI マニュアル (肥田野ほか, 2000) によると、STAI Y-1 の得点は 5 つの段階に区分され、本実験のノンプレッシャー条件での平均である 39.71 点は、低程度の不安である段階 2 に相当し、プレッシャー条件での平均である 49.21 点は、中程度の不安である段階 3 に相当する。これらより、本実験のプレッシャーによる状態不安の増加量は、実験室環境で行われた先行研究と同程度のものであり、喚起された状態不安は中程度のものであったといえる。また、本実験の平均心拍数については、ノンプレッシャー条件で 77.57 bpm, プレッシャー条件で 86.00 bpm であり、プレッシャーによる増加は 8.43 bpm であった。実験室環境でプレッシャーの操作チェックの指標として平均心拍数を用いた先行研究 (Cooke et al., 2010; 長谷川ほか, 2011; 村山ほか, 2007; 田中ほか, 2009) における増加は約 3 - 20 bpm の範囲であり、平均すると約 8 bpm である。一方で、ピアノ演奏を課題として、リハーサル条件と実際のコンクールの条件を比較した Yoshie et al. (2009) では、約 34 bpm の平均心拍数の増加が報告されている。以上より、本実験のプレッシャーによる心拍数の増加量は、実験室環境で行われた先行研究と同程度のものではあったが、現実場面のプレッシャーによる増加量と比較すると程度の低いものであったといえる。

4-2. 初期姿勢における変化

プレッシャー条件において、矢状面体幹角度の前傾と初期 COP 位置の前方に対する移動が生じた。したがって、プレッシャー下では 1 歩踏み出し運動の遂行における初期姿勢局面において、前傾姿勢を取るようになることが明らかとなった。プレッシャー下において初期姿勢の前傾が生じる理由としては、課題遂行にあたっての方略の観点から、身体をあらかじめターゲットに接近させることにより踏み出し所要時間を短縮させようとする意図が働いたためである可能性がある。本実験で用いた 1 歩踏み出し運動は下肢による急速狙準課題であるが、このような課題ではフィッツの法則 (Fitts, 1954) が成り立つとされている (Duarte & Latash, 2007)。すなわち、ターゲットの大きさが一定の場合、運動距離 (踏み出し距離) が短くなるほど、運動時間 (踏み出し所要時間) も短縮される。また、Sidaway et al. (1995) は、上肢による急速狙準運動において、運動距離を短くすることで困難度指数を低下させようとする制御方略が存在することを示している。本実験の場合は、あらかじめ体幹を前傾させて上体をターゲットに接近させたとしても、拇指の位置は変わらないため実際の踏み出し距離は変化しないが、踏み出しに要する時間を少しでも短縮させようとする意識により実験参加者が体幹を前傾させ、ターゲットに接近しようとした可能性がある。

4-3. APA における変化

本実験で課題とした 1 歩踏み出し運動の APA にプレッシャーが及ぼす影響としては、後方平均床反力ならびに後方最大床反力の増加が生じた。これは、踏み出しの素早さ、着地位置の正確性が同時に求められる 1 歩踏み出し運動の APA において、力発揮がプレッシャーによって増加したことを示す。これまでの研究で、プレッシャーが主要運動要素における力発揮を増加させることは報告されているが (Cooke et al., 2010; Tanaka et al., 2011; Visser et al., 2004)、本実験の結果は姿勢制御要素である APA においても力発揮の増加が生じることを示している。このような変化が生じた原因として、以下の 2 つの可能性が考えられる。第

1に、課題遂行時の方略の観点から、本実験で課題とした1歩踏み出し運動のAPAでは、プレッシャー下において、より正確な踏み出しのための変化よりも、より素早い踏み出しのための変化が優先的に生じた可能性が考えられる。本実験における1歩踏み出し運動では、課題のパフォーマンスの教示として素早い踏み出しの完了、ターゲットに対する正確な着地の2つを求めたが、課題遂行に対する主観的努力度の結果から、2項目ともにプレッシャーによって増加が認められ、プレッシャー条件における各項目の値も同程度であった。このことから、プレッシャー条件において、課題の遂行に伴う主観的努力は、踏み出しの素早さ、着地の正確性の両方に対して平等に配分されていたといえる。一方で、プレッシャー下のAPAで生じた後方平均床反力ならびに後方最大床反力の増加という変化については、Ito et al. (2003) が1歩踏み出し運動においてより素早く踏み出しを行おうとするとAPAにおける後方床反力の増加が生じることを報告し、逆に Brunt et al. (2000) が着地位置の正確性を高めようとする場合にはAPAにおける後方床反力が減少することを報告していることから、より素早く踏み出しを行おうとする際に生じる変化であったといえる。以上より、踏み出しの素早さ、着地位置の正確性が同時に要求される1歩踏み出し運動をプレッシャー下で行う際には、2つの要求のそれぞれに対して配分される主観的努力度が同程度であっても、APAにおいては、より素早く踏み出そうとする際に生じる変化が優先的に表れたと考えられる。

第2の可能性として、プレッシャーによるネガティブな情動反応の喚起とそれに伴う神経系の活動の変化がAPAにおける力発揮を増加させたことが考えられる。プレッシャーの操作チェックの結果において、状態不安の増加が認められたことから、実験参加者には不安と関連したネガティブな情動反応が生起していたと考えられる。また、状態不安の増加には大脳辺縁系における扁桃体の興奮性の増加が伴うことがわかっており (Bishop et al., 2004)、本実験のプレッシャー条件においても扁桃体の興奮性が増加していたと推察される。また、APAの制御には大脳基底核が関わりとされるが (Takakusaki et al., 2003)、大脳基底核

は扁桃体から情動に関する情報の入力を受けることが報告されており (Wright et al., 1996), 本実験のプレッシャー条件においても, 心拍数の有意な増加のような生理指標の変化を導いた扁桃体の興奮性の増加の影響が, 大脳基底核による APA の制御に及んでいた可能性がある. さらに, 恐怖のような不快感と高覚醒によって特徴づけられるネガティブな情動が生起すると運動遂行時における力発揮を増加させる傾向があることも報告されている (Coombes et al., 2006; Schmidt et al., 2009). 加えて, プレッシャーが随意運動の開始前や随意運動中の皮質脊髄路の興奮性に及ぼす影響を調べた先行研究においても, プレッシャーによる皮質脊髄路の興奮性の増加や筋放電量の増加が報告されている (Tanaka et al., 2012; Tanaka et al., 2014). 以上から, 心拍数のような生理指標にも影響を及ぼした扁桃体の活性が大脳基底核の働きを変化させた結果, APA における力発揮の増大が生じた可能性があるといえる.

4-4. パフォーマンスについて

プレッシャー下において姿勢制御要素の変化が認められたものの, 踏み出し所要時間や着地位置誤差といったパフォーマンス指標に変化は認められなかった. 姿勢制御要素と踏み出しのパフォーマンスの関係を調べたこれまでの先行研究においては, 姿勢制御要素の変化がパフォーマンスの変化を導いたものと (e.g., Ito et al., 2003), そうでないもの (e.g., Brunt et al., 2000) がある. これらの異なる結果を示した研究を比較した際の違いとして, 実験課題において着地位置の正確性を要求したか否かという点が挙げられる. すなわち, 着地位置に正確性を求めた場合に, APA の変化の影響がパフォーマンスに表れない傾向が見受けられた. この原因として, 踏み出し運動を行っている際に, 着地が近づくにつれて生じるフィードバック制御が動作速度を減少させ, 結果として APA の変化が踏み出し所要時間や着地位置誤差に及ぼす影響をかき消してしまうことが考えられる (Langolf et al., 1976; MacKenzie et al., 1987). 本実験の課題においても, 踏み出しの素早さだけではなく着地位置

の正確性も要求したため、プレッシャー下で生じた APA における後方床反力の増加による踏み出し所要時間の短縮に貢献する影響が、踏み出し局面におけるフィードバック制御により打ち消されたと推察される。

第 2 章の要約

本実験の目的は、プレッシャーが自己ペースにより開始される 1 歩踏み出し運動の初期姿勢と APA に及ぼす影響を調べることであった。実験には 14 名の男子大学生が参加し、自己ペースにより開始され、踏み出しの素早さと着地位置の正確性が同時に要求される 1 歩踏み出し運動を行った。試行数は、ノンプレッシャー条件とプレッシャー条件において、それぞれ 10 試行ずつであった。プレッシャーは、低パフォーマンス時の再実験の要請や実験映像の講義での使用という偽教示および評価的な観衆により負荷した。プレッシャーの操作チェックとして状態不安得点と平均心拍数を測定し、プレッシャーによる両項目の増加が確認された。初期姿勢については、プレッシャーによる矢状面体幹角度の前傾とそれに伴う COP 位置の前方への移動が認められた。また、APA については、後方平均床反力と後方最大床反力がプレッシャーにより増加した。なお、踏み出し所要時間や着地位置の誤差といったパフォーマンスにおける変化は認められなかった。以上の結果から、プレッシャー下では動作様式における主要運動要素だけではなく、姿勢制御要素においても変化が生じることが示された。

第3章

プレッシャーが単純反応により開始される1歩踏み出し運動の初期姿勢
ならびにAPAに及ぼす影響

実験2

1. 目的

実験1では、プレッシャー下での1歩踏み出し運動において、初期姿勢では矢状面体幹角度の前傾とそれに伴う前方へのCOPの移動が生じ、APAでは後方平均床反力ならびに後方最大床反力の増加が生じた。実験1の1歩踏み出し運動における運動開始の様式は自己ペースであった。しかし、競技スポーツの場面では自己ペースにより運動が開始される機会が多い一方で、外界からの刺激に対して素早く反応することが求められることも多い。したがって、プレッシャーが運動スキルの遂行に及ぼす影響を包括的に明らかにするためには、外界からの刺激に対して素早く反応する課題についても検討を行う必要があるといえる。これまでに、1歩踏み出し運動における運動開始の様式が自己ペースであるのか、単純反応であるのかにより、初期姿勢が踏み出し時の身体重心速度に及ぼす影響が異なることや、APA時間やAPAにおいて接地面に加えられる力の大きさが異なることが指摘されている。例えば、Ito et al. (2010)では、自己ペースによる1歩踏み出し運動を課題とし、初期姿勢におけるCOP位置が後方に位置する後傾条件において踏み出し時の前方に対する身体重心速度が最大となることを報告している。その一方で、単純反応により開始される1歩踏み出し運動が課題とされた場合には、初期姿勢におけるCOPが前方に移動するほど、踏み出し時の身体重心速度が高まることが示されている (Dietrich et al., 1994)。また、Wang et al. (2006)は、単純反応による1歩踏み出しでは、自己ペースによる踏み出しと比較して、APAに要する時

間が短いことや前脛骨筋の放電量が大きいことを報告しており、1歩踏み出し運動のAPAの特徴を運動の開始の様式が異なる1歩踏み出し運動のAPAに当てはめるには注意が必要であると述べている。

また、実験2からは、APAにおける力発揮に関わる筋活動の評価を加える。1歩踏み出し運動のAPAにおいては、まず、運動脚側の中臀筋が活動することで前額面における運動脚方向に力が加えられ、これにより支持脚側に体重が移される。また、この中臀筋の活動と並行して、前方への推進力を得るために、両下腿の前脛骨筋が収縮することによって、後方への力発揮が行われている。プレッシャーによるAPAの変化をより詳細に理解するために、実験2以降ではこれらの筋活動についても評価を行うことが必要であると考えられる。

以上より実験2では、プレッシャーが音刺激に対する単純反応により開始され、踏み出しの素早さと着地位置の正確性が要求される1歩踏み出し運動の初期姿勢ならびにAPAに及ぼす影響を調べることを目的とした。そして、本実験においては、APAにおける運動脚方向に対する力発揮の主働筋である運動脚側の中臀筋と、後方への力発揮の主働筋となる両下腿の前脛骨筋の筋活動の測定も行った。

2. 方法

2-1. 実験参加者

男子大学生14名（平均年齢 18.86 ± 1.10 歳，平均身長 169.69 ± 4.21 cm，平均体重 59.23 ± 5.88 kg）が実験に参加した。実験参加者の利き足は右足であった。利き足が右足であることは、実験参加者に対する質問と、立位からの踏み出しの際に初めに右足が踏み出されることを確認して判断した。なお、実験前に実験参加者全員からインフォームド・コンセントを得た。また、広島大学の研究倫理委員会による承認を得た上で実施された。

2-2. 課題

音刺激への単純反応により開始され踏み出しの素早さと着地位置の正確性が同時に要求される1歩踏み出し運動を課題として行わせた(図3-1)。実験参加者には、実験室内に設置したフォースプレートの上に両足の土踏ましが5 cmの間隔になるように開き、上肢の動きを制限するために両手を腰に当てた状態で立ち、安静を保持することを求めた。その状態から、音刺激(周波数800 Hz, 呈示時間150 ms)を2回呈示した。1回目の音刺激は、予備刺激であり、これに対しては反応しないように教示した。予備刺激を呈示した後に、3000 msから4800 msの間で200 msの間隔でランダムに時間を空け、2回目の音刺激を本刺激として呈示した。実験参加者には、本刺激が呈示されたら直ちに、実験参加者の前方にあるターゲットの中心に対して、できる限り短い時間で、かつ正確に右足で踏み出すことを求めた。右足を踏み出した後、左足も前方に移動させ、両足が揃うことで運動が完了した。ターゲットの中心までの距離は各実験参加者の身長40%であった。このターゲットは、直径10 cm, 8 cm, 6 cm, 4 cm, 2 cmの同心円と、その中心の直径5 mmの点からなり、この中心の点に右足の拇指の上部に付けた反射マーカができる限り近づくように踏み出すことを求めた。実験参加者に対しては、本刺激が呈示されてから右足が動き始めるまでに要した時間、反応から右足が着地するまでに要した時間、右足の拇指の上部に取り付けた反射マーカのターゲットの中心からの誤差の3つを課題のパフォーマンスとして評価することを伝えた。

2-3. 実験手続き

本実験の手続きは、実験1と同様であった。なお、本実験ではハートレートモニターを装着した後、動作解析用の反射マーカを取り付ける前に、筋活動を記録するための双極の表面筋電図用電極を、両下腿の前脛骨筋、右臀部の中臀筋、右大腿部の縫工筋に貼付した。筋の活動はA/D変換機(ADINSTRUMENTS社製PowerLab 16/30)により1 kHzで記録された。

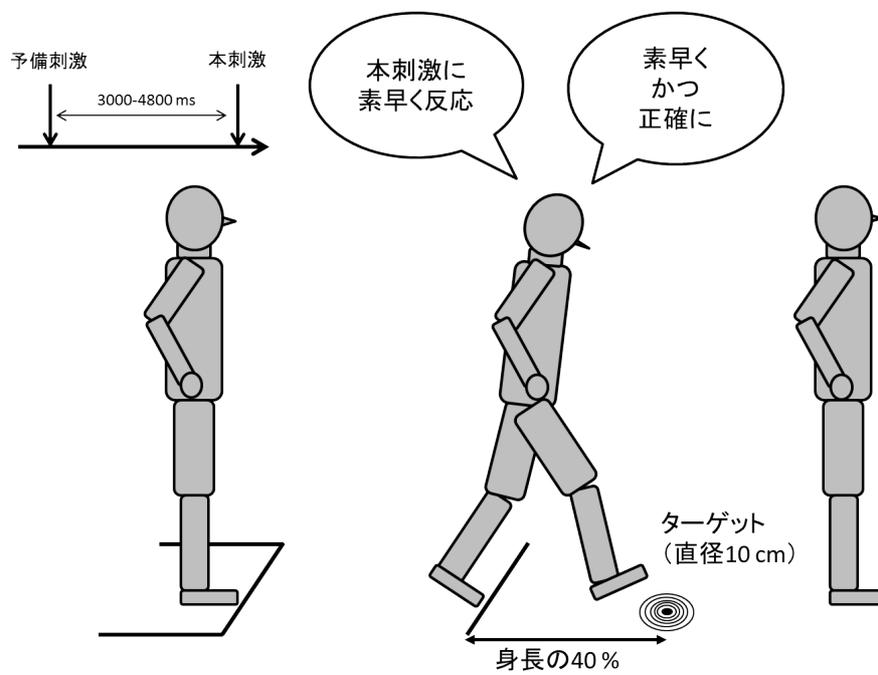


図 3-1. 単純反応により開始される1歩踏み出し運動の模式図

2-4. データ処理

ハイスピードカメラによって得られた映像ならびにフォースプレートから得られたデータに対する処理の方法は、実験1と同様であった。EMGデータに対しては、10 - 500 Hzのバンドパスフィルターによるスムージングを行い、全波整流を行った上で分析した。

2-5. 測定項目

(1) プレッシャーの操作チェック

実験1と同様であった。

(2) パフォーマンス

本刺激に対する反応の素早さの指標として、反応時間を測定した。反応時間は、本刺激が呈示されてから、運動脚の踵に装着した反射マーカの垂直方向の速度が5 cm/sに達するまでの時間であった。加えて、実験1と同様に踏み出し所要時間、MRE、SRE、BVEを算出した。

(3) 行動面

実験1と同様であった。なお、本実験においては筋活動を調べるために、両下腿の前脛骨筋、運動脚の中臀筋について、平均放電量を測定した。平均放電量は、各筋について、APA局面における放電量の平均値であり、最大随意収縮 (maximum voluntary contraction: MVC) によって標準化したものであった。

(4) 課題遂行に対する主観的努力度

実験1と同様に試行が終了した後に質問紙に回答させた。質問紙では、ノンプレッシャー条件とプレッシャー条件のそれぞれについて、「本刺激に素早く反応するためにどの程度努力したか」、「素早く踏み出すためにどの程度努力したか」、「ターゲットに対して正確に着地するためにどの程度努力したか」を尋ね、それぞれに対して「すごく努力した (7点)」から「まったく努力しなかった (1点)」の7件法で回答を求めた。

2-6. 統計分析

ノンプレッシャー条件とプレッシャー条件を比較するために、各測定項目に対して対応のある t 検定を行った。また、課題遂行に対する主観的努力度の各測定項目については、ウィルコクソンの符号順位検定を行った。さらに、効果量として、ピアソンの積率相関係数 (r) を算出した。すべての検定における有意水準は5%未満であった。

3. 結果

3-1. プレッシャーの操作チェック

表3-1に、ノンプレッシャー条件とプレッシャー条件における状態不安得点と平均心拍数の平均値と標準偏差、 t 検定の結果ならびに効果量を示した。状態不安得点はプレッシャー条件において、ノンプレッシャー条件よりも有意に高かった ($t(13) = 6.67, p < .01, r = .88$)。また、平均心拍数もプレッシャー条件において、ノンプレッシャー条件よりも高い値が示された ($t(13) = 4.55, p < .01, r = .78$)。

表3-1. ノンプレッシャー条件ならびにプレッシャー条件における状態不安得点と平均心拍数

	ノンプレッシャー条件	プレッシャー条件	t	r
状態不安得点	42.36 ± 6.98	53.71 ± 8.65	6.67**	.88
平均心拍数 (bpm)	76.21 ± 7.04	83.36 ± 9.25	4.55**	.78

** $p < .01$

3-2. パフォーマンス

表3-2に、ノンプレッシャー条件とプレッシャー条件のパフォーマンスに関する測定項目の平均値と標準偏差、 t 検定の結果ならびに効果量を示した。MRE, BVE が、プレッシャー条件でノンプレッシャー条件よりも有意に高い値を示した ($t(13) = 3.17, p < .01, r = .66$; $t(13) = 3.22, p < .01, r = .67$)。その他の項目では、条件間の有意差は認められなかった。

表 3-2. ノンプレッシャー条件ならびにプレッシャー条件におけるパフォーマンスに関する測定項目

	ノンプレッシャー条件	プレッシャー条件	<i>t</i>	<i>r</i>
反応時間 (ms)	463 ± 105	459 ± 70	0.24	.07
踏み出し所要時間 (ms)	487 ± 63	474 ± 70	1.73	.43
MRE (cm)	1.69 ± 0.42	1.98 ± 0.38	3.17**	.66
SRE (cm)	0.76 ± 0.47	0.98 ± 0.52	2.05	.50
BVE (cm)	1.71 ± 0.47	2.06 ± 0.35	3.22**	.67

** $p < .01$

3-3. 行動面

表 3-3 に、ノンプレッシャー条件およびプレッシャー条件における行動面の各測定項目の平均値と標準偏差、*t* 検定の結果ならびに効果量を示した。また、図 3-2 に、行動面の各測定項目の典型波形を示した。

<初期姿勢局面>

矢状面体幹角度に、条件間の有意差が認められ ($t(13) = 3.53, p < .01, r = .70$)、プレッシャー条件において、ノンプレッシャー条件よりも体幹が前傾していた。また、前後方向 COP 位置に条件間の有意差が認められ ($t(13) = 2.39, p < .05, r = .55$)、COP 位置がプレッシャー条件において、ノンプレッシャー条件よりも前方に位置した。その他の項目については、条件間の有意差は認められなかった。

<APA 局面>

後方平均床反力 ($t(13) = 2.19, p < .05, r = .52$) と後方最大床反力 ($t(13) = 2.33, p < .05, r = .54$) において条件間の有意差が認められ、プレッシャー条件において、ノンプレッシャー条件よりも高い値が示された。さらに、運動脚 ($t(13) = 2.93, p < .05, r = .63$) ならびに支持脚 ($t(13) = 2.56, p < .05, r = .58$) の前脛骨筋の平均放電量において条件間の有意差が認められ、プレッシャー条件において、ノンプレッシャー条件よりも高い値を示した。その他の項目については、条件間の有意差は認められなかった。

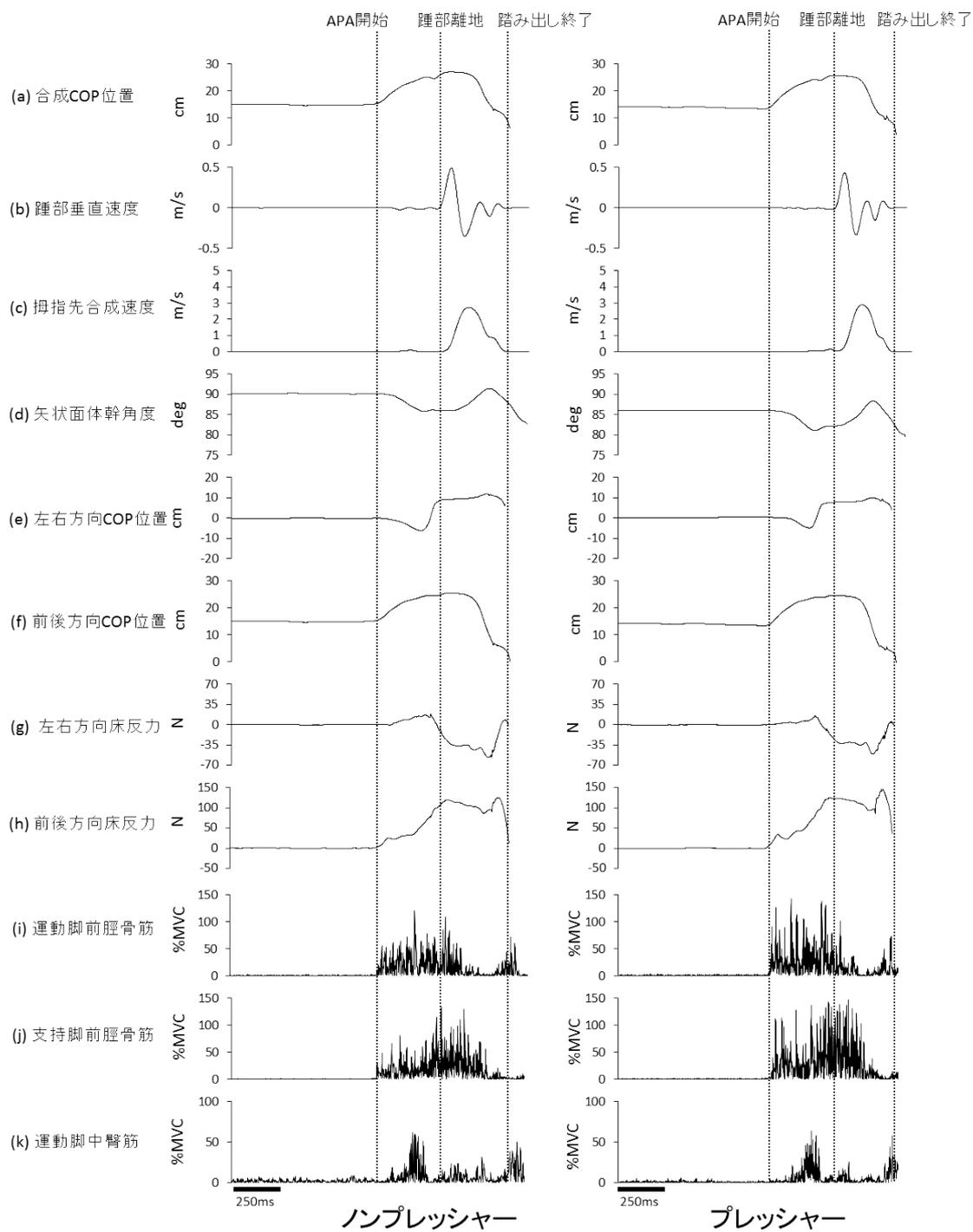


図 3-2. ノンプレッシャー条件とプレッシャー条件における初期姿勢局面と APA 局面の測定項目に関する典型波形
 *COP と床反力に関する波形が他の波形よりも短いのは、フォースプレートによるデータ取得が、両足がフォースプレートから離れる際に終了するためであった。

表 3-3. ノンプレッシャー条件とプレッシャー条件における初期姿勢局面ならびに APA 局面に関する測定項目

	ノンプレッシャー条件	プレッシャー条件	<i>t</i>	<i>r</i>
初期姿勢局面				
矢状面体幹角度 (deg)	89.83 ± 2.78	88.84 ± 3.13	3.53**	.70
左右方向 COP 位置 (cm)	0.71 ± 1.32	0.51 ± 1.27	1.33	.35
前後方向 COP 位置 (cm)	15.25 ± 1.95	14.56 ± 2.21	2.39*	.55
APA 局面				
運動脚方向平均床反力 (N)	14.19 ± 5.52	13.41 ± 8.36	1.89	.47
運動脚方向最大床反力 (N)	25.88 ± 9.64	24.64 ± 9.84	1.74	.44
後方平均床反力 (N)	37.87 ± 7.20	39.30 ± 8.05	2.19*	.52
後方最大床反力 (N)	84.17 ± 17.74	88.73 ± 18.04	2.33*	.54
運動脚前脛骨筋平均放電量 (%MVC)	49.99 ± 18.47	57.29 ± 21.78	2.93*	.63
支持脚前脛骨筋平均放電量 (%MVC)	59.31 ± 18.65	66.65 ± 20.45	2.56*	.58
運動脚中臀筋平均放電量 (%MVC)	21.49 ± 12.40	24.11 ± 13.78	2.05	.50
APA 時間 (ms)	318 ± 90	327 ± 76	0.61	.17

* $p < .05$; ** $p < .01$

3-4. 課題遂行に対する主観的努力度

表 3-4 に、課題遂行に対する主観的努力度の得点の平均値と標準偏差とウィルコクソンの符号順位検定の結果を示した。ウィルコクソンの符号順位検定の結果、本刺激に対して素早く反応することへの努力度 ($Z = 2.88, p < .01, r = .77$)、素早い踏み出しへの努力度 ($Z = 2.59, p < .05, r = .69$) ならびに着地位置の正確性のための努力度 ($Z = 2.48, p < .05, r = .66$) のすべてにおいて条件間の有意差が認められ、プレッシャー条件において、ノンプレッシャー条件よりも高い値を示した。

表 3-4. ノンプレッシャー条件とプレッシャー条件における課題遂行に対する主観的努力度

	ノンプレッシャー条件	プレッシャー条件	<i>Z</i>	<i>r</i>
素早い反応	5.29 ± 0.99	6.43 ± 0.76	2.88**	.77
素早い踏み出し	5.57 ± 0.85	6.43 ± 0.76	2.59*	.69
正確な着地	5.64 ± 0.76	6.43 ± 0.85	2.48*	.66

 $p < .05$; ** $p < .01$

4. 考察

本実験の目的は、プレッシャーが音刺激に対する単純反応により開始され、踏み出しの素早さと着地位置の正確性が要求される 1 歩踏み出し運動の初期姿勢ならびに APA に及ぼ

す影響を調べることであった。実験の結果、初期姿勢における矢状面体幹角度の前傾とそれに伴う COP 位置の前方への変位と、APA における後方平均床反力ならびに後方最大床反力の増加が生じた。以下で、実験の結果について考察を行う。

4-1. プレッシャーの強度

プレッシャー条件における状態不安得点と平均心拍数の有意な増加が認められたことから、本実験で用いたプレッシャーの操作は有効であったといえる。しかし、その強度は、実験 1 と同様に、現実場面のプレッシャーと比較すると低いものであった。本実験において、状態不安得点の平均はノンプレッシャー条件で 42.36 点、プレッシャー条件で 53.71 点であり、プレッシャーによる増加は 11.35 点であった。先行研究 (長谷川ほか, 2011; 田中・関矢, 2006; 田中ほか, 2009) との比較や新版 STAI マニュアル (肥田野ほか, 2000) における段階評価を踏まえると、本実験のプレッシャーによる状態不安の増加量は、実験室環境で行われた先行研究と同程度のものであり、喚起された状態不安は中程度のものであった。また、本実験の平均心拍数については、ノンプレッシャー条件で 76.21 bpm、プレッシャー条件で 83.36 bpm であり、プレッシャーによる増加は 7.15 bpm であった。実験室環境で実施された先行研究 (Cooke et al., 2010; 長谷川ほか, 2011; 村山ほか, 2007; Tanaka and Sekiya, 2011; 田中ほか, 2009) の比較や実際の競技場面を条件として設定した先行研究 (Yoshie et al., 2009) との比較を踏まえると、本実験のプレッシャーによる心拍数の増加量は、実験室環境で行われた先行研究と同程度のものではあったが、現実場面のプレッシャーによる増加量と比較すると程度の低いものであったといえる。

4-2. 初期姿勢における変化

本実験における 1 歩踏み出し運動の運動開始の様式は音刺激に対する単純反応によるものであったが、プレッシャー下の初期姿勢では、実験 1 で用いた自己ペースにより開始され

る1歩踏み出し運動における変化と同様に、矢状面体幹角度の前傾とCOP位置の前方に対する移動が生じた。したがって、1歩踏み出し運動においては、運動の開始の様式が自己ペースであるか、単純反応であるかに関わらず、プレッシャー下では初期姿勢の前傾が生じるといえる。また、このことは本実験のプレッシャー下で生じた初期姿勢の前傾は、反応時間を短縮させるためのものではなかったことを示す。

実験1において課題とした1歩踏み出し運動と本実験で課題とした1歩踏み出し運動の違いは、運動の開始が自己ペースであるか単純反応であるかという点であり、踏み出しの素早さと着地位置の正確性を求めるという点は同じであった。したがって、実験1と実験2の結果から、プレッシャー下で生じる初期姿勢の前傾という変化は、反応時間を短縮するという点とは関係のないことであるといえる。このことからプレッシャー下で生じる初期姿勢の前傾という変化は、踏み出しの素早さ、着地位置の正確性、もしくはこの両方を高めることに対してプレッシャーが負荷されることにより生じたものであると考えることができる。実験1では、プレッシャー下で初期姿勢が前傾する理由を、踏み出し所要時間を短縮しようとしたためであると考察したが、着地位置の正確性を高めようとしたためである可能性や踏み出しの素早さと着地位置の正確性の両方を求められた場合に特有のものである可能性についても検討を行うことが必要であると考えられる。したがって、プレッシャー下での初期姿勢の前傾の理由を明らかにするためには、踏み出しの素早さのみが求められる1歩踏み出し運動と着地位置の正確性のみが求められる1歩踏み出し運動を設定した上で、プレッシャーによる初期姿勢の変化を調べる必要があるだろう。

4-3. APA における変化

APAについても、自己ペースによる1歩踏み出し運動と同様に、プレッシャー下では後方平均床反力と後方最大床反力の増加が認められた。したがって、踏み出しの素早さと着地位置の正確性が求められる1歩踏み出し運動のAPAについては、運動の開始が自己ペース

であるか単純反応であるかに関わらず、プレッシャーにより後方床反力の増加が生じることが明らかとなった。加えて、本実験では、APA における後方床反力の発揮に関わる両下腿の前脛骨筋の平均放電量の増加が示され、プレッシャーによる後方床反力の増加が前脛骨筋の活動の増加によるものであることが示された。これまで、プレッシャー下での運動スキル遂行場面においては、主要運動要素における筋放電量の増加が生じることが報告されているが (Cooke et al., 2010; Yoshie et al., 2009; Yoshie et al., 2008)、本実験の結果は姿勢制御要素においても、参画する筋における活動量の増加が生じることが示したといえる。

本実験ならびに実験 1 で確認されたプレッシャー下の APA における後方床反力や前脛骨筋の放電量の増加の理由を明らかにするためには、初期姿勢の前傾の理由を調べる方法と同様に、踏み出しの素早さのみが求められる課題と着地位置の正確性のみが求められる課題を設定した上で、プレッシャーによる APA の変化を調べるのが有効であると考えられる。本実験で生じたプレッシャー下における後方床反力および前脛骨筋の平均放電量の増加の理由については、研究 1 と同様に、2つの観点からの考察が可能である。第 1 の観点は課題方略に関するものであり、踏み出しの素早さと着地位置の正確性という 2 つの要求に対して、踏み出しの素早さを優先したために、APA における後方床反力が増加した可能性を指摘するものである。2 つ目の観点は情動反応に関するものであり、状態不安の増加や心拍数の増加に伴う情動反応の喚起が APA における力発揮を増加させた可能性を述べるものである。課題方略に関する説明は、課題の要求特性に影響を受けるものであり、課題において踏み出しの素早さが要求されない場合には、プレッシャー下で生じる変化は異なるものになると考えられる。一方の情動反応の観点からの説明は、APA における力発揮の増加を課題の要求特性とは独立に説明するため、踏み出しに着地位置の正確性のみが要求された場合にも、APA においては力発揮の増加が生じると予想する。したがって、以後の研究では、踏み出しの素早さのみが求められる 1 歩踏み出し運動と着地位置の正確性のみが求められる 1 歩踏み出し運動を課題として設定した上で、プレッシャーによる APA の変化を検討するこ

とが必要である。

4-4. パフォーマンスにおける変化

パフォーマンスについては、反応時間と踏み出し所要時間にはプレッシャーによる変化は生じなかった一方で、着地位置の誤差がプレッシャーにより増加した。着地位置の誤差の増加については、2次元上の絶対誤差を表す MRE と着地位置の2次元上の変動性を表す BVE が有意に増加した。MRE が BVE と SRE の両方を反映する指標であり、着地位置の偏りの大きさを表す SRE においてはプレッシャーによる変化はなかったことから、本実験ではプレッシャーにより着地位置の変動性が増加することで MRE が増加したといえる。自己ペースにより開始される1歩踏み出し運動を課題とした実験1においてはプレッシャーによる着地位置の正確性の変化は生じなかったが、単純反応により開始される課題でプレッシャーにより着地位置の正確性が低下したことにより、プレッシャーが1歩踏み出し運動のパフォーマンスに及ぼす影響は、運動の開始の様式によって異なることが示された。そして、本実験におけるプレッシャー下の着地位置の正確性の低下は、プレッシャー下における力発揮の増加による信号依存ノイズの増加と、APA時間が短いことによる正確な運動開始の難しさが組み合わされたことによるものと考えられる。

まず、プレッシャー下の着地位置の正確性の低下を生じさせた要因として、信号依存ノイズの増加が挙げられる。Harris and Wolpert (1998) は、運動を指令する信号の振幅が大きくなるほど、その信号に加わるノイズも大きくなるとし、これを信号依存ノイズと呼んだ。そして、信号依存ノイズの増加は、運動結果の分散の増加につながる。本実験では、プレッシャーによる両下腿の前脛骨筋の平均放電量の増加が生じた。この筋放電の増加の背景には、運動ニューロンの発火頻度の増加や発火する運動ニューロン数の増加があると考えられ、中枢からの運動指令の振幅が増大していたと考えられる。そして、これに伴う信号依存ノイズの増加が、最終的に着地位置の誤差の増大という結果をもたらす原因の1つであった

と考えられる。

しかしながら、実験1での自己ペースによる1歩踏み出し運動においては、プレッシャー下のAPAにおける力発揮の増加が生じたにも関わらず着地位置の正確性の低下は生じなかった。このことを踏まえると、信号依存ノイズのみから本実験における着地位置の正確性の低下を説明することはできない。

プレッシャー下の着地位置の正確性の低下を生じさせたもう1つの要因として、自己ペースの課題と比較した場合に、本実験の単純反応の課題では正確性の発揮が難しかったことが挙げられる。運動の正確性に影響を及ぼす要因の1つとして、運動の開始に先行する運動プログラミング時間があるが、運動プログラミング時間が減少すると生成される運動の正確性は低下することがわかっている (e.g., Klapp, 1975; Goggin & Christina, 1979)。そして、本実験の単純反応の課題では、自己ペースの課題と比較して運動プログラミング時間が短く、着地位置の正確性の発揮が難しかったと考えられる。この理由として、APA時間の短さがある。実験1の自己ペースの課題におけるAPA時間は、ノンプレッシャー条件とプレッシャー条件を平均して、約570 msであった。一方、本実験の単純反応の課題のAPA時間は、ノンプレッシャー条件とプレッシャー条件を平均して約320 msであり、自己ペースによる場合と比較すると単純反応の場合にはAPA時間が約250 ms短かった。主要運動要素とAPAの制御は比較的独立に行われていることが示されており (e.g., Ilmane & LaRue, 2008; Massion, 1992; Slijper et al., 2002), APAが生じている最中にも、主要運動の運動プログラミングが行われていると考えられる。そのため、単純反応の課題では、自己ペースの課題と比較して、主要運動である踏み出し動作の運動プログラミング時間が短かったと考えられる。これらのことから、単純反応の課題は、自己ペースの課題と比べて運動プログラミング時間が短く、正確性の発揮が難しい課題であったといえる。

以上より、単純反応により開始される1歩踏み出し運動では、自己ペースによる1歩踏み出しと比較して運動の正確性を発揮することが難しく、加えて、力発揮の増加に伴う信号

依存ノイズの影響を受けたために、プレッシャー下において着地位置の正確性を維持することができなかったと推察される。

第 3 章の要約

本実験の目的は、単純反応により開始される 1 歩踏み出し運動の初期姿勢と APA にプレッシャーが及ぼす影響を調べることであった。14 名の男子大学生が実験に参加し、音刺激に対する単純反応により開始され、踏み出しの素早さと着地位置の正確性が同時に要求される 1 歩踏み出し運動を行った。試行数は、ノンプレッシャー条件とプレッシャー条件において、それぞれ 10 試行ずつであった。プレッシャーは、低パフォーマンス時の再実験の要請や実験映像の講義での使用という偽教示および評価的な観衆により負荷した。プレッシャーの操作チェックとして状態不安得点と平均心拍数を測定し、プレッシャーによる両項目の増加が確認された。そして、プレッシャーにより、自己ペースによる 1 歩踏み出し運動を課題とした実験 1 の結果と同様の変化が初期姿勢と APA に認められた。さらに、着地位置の変動性が増加し、プレッシャーによるパフォーマンスの低下が生じた。以上の結果から、踏み出しの素早さと着地位置の正確性が同時に要求される 1 歩踏み出し運動の初期姿勢と APA において、プレッシャーにより生じる変化は運動の開始の様式が自己ペースであるか単純反応であるかに関わらず同様であることが示された。また、実験 1 および本実験で生じた初期姿勢および APA における変化の理由については、複数の可能性が考えられ、この点を明らかにするためには、踏み出しの素早さと着地位置の正確性を同時に要求する課題だけでなく、素早さのみを求める課題や正確性のみを求める課題についても検討する必要があることが示唆された。

第 4 章

プレッシャーが異なる課題の要求特性の 1 歩踏み出し運動における

初期姿勢ならびに APA に及ぼす影響

ここまで、踏み出しの素早さと着地位置の正確性を同時に求める 1 歩踏み出し運動について、自己ペースにより開始される課題 (実験 1) と単純反応により開始される課題 (実験 2) を設定し、プレッシャーが初期姿勢ならびに APA に及ぼす影響を検討してきた。その結果、運動の開始が自己ペースによるものか単純反応によるものかに関わらず、プレッシャー下では初期姿勢における矢状面体幹角度の前傾およびそれに伴う COP 位置の前方への移動が生じ、APA においては後方に加えられる力の増加 (実験 1, 実験 2) やそれに伴う両下腿の前脛骨筋の平均放電量の増加 (実験 2) が認められた。

プレッシャー下で生じた初期姿勢における矢状面体幹角度の前傾と COP の前方への移動は、運動の開始が自己ペースである場合と単純反応である場合の両方で確認された。そのため、この変化は本論文で検討してきた運動の開始の様式に依存せず生じる変化であるといえる。そして、プレッシャー下で初期姿勢における矢状面体幹角度の前傾を生じさせた要因として、「より素早く踏み出すため」もしくは「ターゲットに対してより正確に踏み出すため」といった課題のパフォーマンスを高めるための変化であったことが可能性として考えられる。したがって、この観点からプレッシャー下における矢状面体幹角度の前傾の理由を明らかにするためには、踏み出しの素早さのみが求められる課題と着地位置の正確性のみが求められる課題を個別に設定し、プレッシャー下における矢状面体幹角度の変化を調べるのが有効であると考えられる。

また、これまでの実験において APA に生じた変化は、自己ペースにより開始される課題と単純反応により開始される課題の両方において、後方に加えられる力の増加やそれに伴

う両下腿の前脛骨筋の平均放電量の増加といったものであった。踏み出しの素早さと着地位置の正確性の両方が求められる課題において以上のような変化がプレッシャー下で生じた理由としては、2つの観点からの考察が可能であった。第1の観点は課題方略に関するものであり、踏み出しの素早さと着地位置の正確性という2つの要求に対して、踏み出しの素早さを優先したために、APAにおける後方床反力が増加した可能性を指摘するものである。2つ目の観点は情動反応に関するものであり、状態不安の増加や心拍数の増加に伴う情動反応の喚起がAPAにおける力発揮を増加させた可能性を述べるものである。課題方略に関する説明は、課題の要求特性の影響を受けるものであり、課題において踏み出しの素早さが要求されない場合には、プレッシャー下で生じる変化は異なるものになると考えられる。一方の情動反応の観点からの説明は、APAにおける力発揮の増加を課題の要求特性に依存せずに説明するため、着地位置の正確性のみが要求された場合にも、APAにおいては力発揮の増加やそれと関連した変化が生じると考えられる。したがって、この点についても、踏み出しの素早さのみが求められる課題と着地位置の正確性のみが求められる課題を設定した上で、プレッシャーによるAPAの変化を検討することが有効であると考えられる。

ところで、実験1および実験2においては、初期姿勢局面をAPAの開始に先行する250 msとし、この局面における矢状面体幹角度と前後および左右方向におけるCOPの平均位置を測定することで評価した。しかし、この局面の定義は時間的に短く、運動開始に先行してどのような姿勢の調整が行われているのかについて情報が少ないといえる。したがって、本章の実験では、プレッシャー下における1歩踏み出し運動の初期姿勢をより詳細に調べるために、初期姿勢局面を時間的に拡大し、身体動揺に関する変数の測定を行う。これまで、安静立位時における身体動揺は、認知的処理による負荷や注意が向けられる対象、情動反応の生起により変化することが示されている (e.g., Azevedo et al., 2005; Ramenzoni et al., 2007; Vuillerme & Nafati, 2007)。これらの先行研究においては、身体動揺の指標として、COPの動揺範囲を示す外周面積や身体動揺の量を示すCOPの軌跡長などの指標が測定されてい

る。そして、プレッシャー下における 1 歩踏み出し運動の初期姿勢の身体動揺の変化を調べることで、初期姿勢の変化に関連する要因を推測できるといえる。

加えて、本章では APA における下肢筋群の共収縮率の測定を行う。これまでに、プレッシャーが運動スキルの遂行に及ぼす影響の 1 つとして、主働筋と拮抗筋における共収縮率の増加があることが示されてきた (e.g., Yoshie et al., 2009; Yoshie et al., 2008)。この変化は、関節スティフネスを高め、力発揮の効率性を低下させるが、その一方で動作の変動性を小さくし、正確性を向上させるための適応的な方略であるとも考えられている。したがって、APA における力発揮についても、主働筋となる前脛骨筋と拮抗筋として働くヒラメ筋の共収縮を調べることで、プレッシャー下における APA がどのような方略で制御されているのかを明らかにできると考えられる。

以上を踏まえ本章では、プレッシャーが 1 歩踏み出し運動の初期姿勢ならびに APA に及ぼす影響をより詳細に明らかにするために、初期姿勢における身体動揺の評価と APA における下腿の共収縮率の評価を加える。そして、これらの評価を加えた上で、踏み出しの素早さのみが求められる課題と着地位置の正確性のみが求められる課題について、プレッシャーが初期姿勢と APA に及ぼす影響を調べることを目的とし、実験 3-1, 実験 3-2 を行った。さらに、初期姿勢における身体動揺と APA における下腿の共収縮率の評価を加えた上で、実験 1 の結果を再検討するために、実験 3-3 を行った。

実験 3-1

1. 目的

本実験の目的は、プレッシャーが踏み出しの素早さのみが求められる 1 歩踏み出し運動における初期姿勢ならびに APA に及ぼす影響を調べることである。

2. 方法

2-1. 実験参加者

男子大学生 14 名 (平均年齢 18.92 ± 1.38 歳, 平均身長 170.38 ± 6.89 cm, 平均体重 60.49 ± 8.62 kg) が実験に参加した。実験参加者の利き足は右足であった。利き足が右足であることは、実験参加者に対する質問と、立位からの踏み出しの際に初めに右足が踏み出されることを確認して判断した。なお、全ての実験参加者について実験前にインフォームド・コンセントを得た。また、本実験は広島大学の研究倫理委員会による承認を得た上で実施された。

2-2. 課題

踏み出しの素早さのみを求める 1 歩踏み出し運動を課題として行わせた。実験参加者には、実験室内に設置したフォースプレートの上に両足の土踏まず同士が 5 cm の間隔になるように開き、上肢の動きを制限するために両手を腰に当てた状態で立ち、安静を保持することを求めた。その状態から、前方に向かってできる限り素早く踏み出すことを求めた。右足を踏み出した後、左足も前方に移動させ、両足が揃うことで運動が完了した。運動の開始は自己ペースによるものであった。なお、踏み出し開始位置から各実験参加者の身長 40% に相当する位置に、直径 10 cm, 8 cm, 6 cm, 4 cm, 2 cm の同心円と、その中心の直径 5 mm の点からなるターゲットを設置した。このターゲットは、他の実験と実験環境を揃えるために設置したものであった。実験参加者には、これに対して正確に踏み出す必要はない

と伝え、あくまで着地位置の目安であることを伝えた。

2-3. 実験手続き

実験手続きは、実験1ならびに実験2と同様であった。ただし、筋電図における被験筋において、両下腿におけるヒラメ筋が追加された。また、本実験におけるプレッシャー条件での観衆の人数は4名であった。

2-4. データ処理

ハイスピードカメラによって得られた映像ならびにフォースプレートから得られたデータに対する処理は、実験1ならびに実験2と同様であった。なお、EMGデータに対して行った処理は、平均放電量の算出のためのものと共収縮率を算出するためのものとで異なっていた。まず、平均放電量の算出に用いるデータについては、両下腿の前脛骨筋ならびにヒラメ筋、運動脚中臀筋の生波形に対して10 - 500 Hzのバンドパスフィルターによるスムージングを行い、全波整流を行った上で分析した。また、後で述べる共収縮率の算出に用いるデータについては、Falconer and Winter (1985)の方法を用い、両下腿の前脛骨筋ならびにヒラメ筋の生波形に対して全波整流を行い、MVCで標準化した後に、カットオフ周波数6 Hzのローパスフィルターによるスムージングを行った。

2-5. 測定項目

(1) プレッシャーの操作チェック

実験1ならびに実験2と同様であった。

(2) パフォーマンス

実験1ならびに実験2と同じ方法で、踏み出し所要時間を算出した。また、本実験においては課題のパフォーマンスとして実験参加者には伝えなかったが、着地位置の目安とした

ターゲットと実際の着地位置の関係性を調べるために、MRE, SRE, BVE の算出を実験 1 および実験 2 と同様に行った。

(3) 行動面

行動面の分析を行うにあたり、1 歩踏み出し運動を初期姿勢局面、APA 局面、踏み出し局面の 3 局面に分けた。なお、本実験の目的は、プレッシャーが初期姿勢ならびに APA に及ぼす影響を調べることであったため、初期姿勢局面および APA 局面に対してのみ分析を行った。本実験における初期姿勢局面は、左右方向と前後方向の合成 COP (center of pressure: 足圧中心) 位置が閾値 (安静時の平均値+4SD) を越えて移動した時を APA の開始と定義し、その 3050 ms 前から 50 ms 前までの間の 3000 ms と定義した。また、APA 局面は、これまでにを行った実験と同様であった。

初期姿勢局面では、これまでにを行った実験と同様に、左右方向ならびに前後方向の COP 位置、矢状面体幹角度を測定した。加えて、初期姿勢局面における身体動揺を評価するために、COP 動揺における外周面積と軌跡長を測定した。外周面積は、COP 動揺における外周を包む包絡線で包まれた面積であり、身体動揺の範囲の指標となる。また、軌跡長は、時刻が前後するデータ間の COP 位置の直線距離を計算し、その値を初期姿勢局面の全データについて積算したものであり、身体動揺の量の指標となる。

APA 局面では、これまでにを行った実験で測定した項目に加えて、両下腿のヒラメ筋の平均放電量と両下腿における共収縮率を算出した。ヒラメ筋の平均放電量は、APA 局面における放電量の平均値であり、MVC で標準化したものであった。共収縮率の算出は、Falconer and Winter (1985) の方法を用いた。生波形を全波整流し、MVC によって標準化したデータに対して、6 Hz のローパスフィルターでスムージングを行った。これにより得られた前脛骨筋とヒラメ筋の包絡線について、APA 局面を重ね合わせた上で、下記の式から算出した。

$$\text{共収縮率 (\%)} = \frac{(\text{前脛骨筋とヒラメ筋の共通活動箇所}) \times 2}{(\text{前脛骨筋の積分値} + \text{ヒラメ筋の積分値})} \times 100$$

この計算を運動脚と支持脚のそれぞれについて行い、運動脚下腿共収縮率と支持脚下腿共収縮率とした。

(4) 課題遂行に対する主観的努力度

ノンプレッシャー条件とプレッシャー条件における課題遂行に対する主観的努力度を調べるために、すべての試行が終了した後に質問紙に回答させた。質問紙では、ノンプレッシャー条件とプレッシャー条件のそれぞれについて、「素早く踏み出すためにどの程度努力したか」を尋ね、それぞれに対して「すごく努力した (7点)」から「まったく努力しなかった (1点)」の7件法で回答を求めた。

2-6. 統計分析

1名の実験参加者について、プレッシャー条件における教示が偽教示であることに気づいていたため、分析から除外した。したがって、13名を対象として、ノンプレッシャー条件とプレッシャー条件の比較を行うために、各測定項目に対して対応のある t 検定を行った。また、課題遂行に対する主観的努力度については、ウィルコクソンの符号順位検定を行った。さらに、効果量として、ピアソンの積率相関係数 (r) を算出した。すべての検定における有意水準は5%未満であった。

3. 結果

3-1. プレッシャーの操作チェック

表 4-1-1 に、ノンプレッシャー条件とプレッシャー条件における状態不安得点と平均心拍数の平均値と標準偏差、 t 検定の結果ならびに効果量を示した。状態不安得点はプレッシャー条件において、ノンプレッシャー条件よりも有意に高かった ($t(12) = 6.03, p < .01, r = .87$)。また、平均心拍数もプレッシャー条件において、ノンプレッシャー条件よりも高い値が示

された ($t(12) = 4.21, p < .01, r = .77$).

表 4-1-1. ノンプレッシャー条件ならびにプレッシャー条件における状態不安得点と平均心拍数

	ノンプレッシャー条件	プレッシャー条件	<i>t</i>	<i>r</i>
状態不安得点	44.00 ± 10.46	54.46 ± 11.23	6.03**	.87
平均心拍数 (bpm)	77.69 ± 13.20	85.62 ± 14.71	4.21**	.77

** $p < .01$

3-2. パフォーマンス

表 4-1-2 に、ノンプレッシャー条件とプレッシャー条件のパフォーマンスに関する測定項目の平均値と標準偏差、*t* 検定の結果ならびに効果量を示した。踏み出し所要時間がプレッシャー条件でノンプレッシャー条件よりも有意に低い値を示した ($t(12) = 3.60, p < .01, r = .72$)。MRE, BVE が、プレッシャー条件でノンプレッシャー条件よりも有意に高い値を示した ($t(12) = 2.21, p < .05, r = .54; t(12) = 4.73, p < .01, r = .81$)。その他の項目では、条件間の有意差は認められなかった。

表 4-1-2. ノンプレッシャー条件ならびにプレッシャー条件におけるパフォーマンスに関する測定項目

	ノンプレッシャー条件	プレッシャー条件	<i>t</i>	<i>r</i>
踏み出し所要時間 (ms)	489 ± 64	458 ± 60	3.60**	.72
MRE (cm)	6.78 ± 2.66	7.55 ± 3.03	2.21*	.54
SRE (cm)	6.18 ± 2.97	6.65 ± 3.39	1.36	.37
BVE (cm)	3.19 ± 0.88	4.01 ± 1.24	4.73**	.81

* $p < .05$; ** $p < .01$

3-3. 行動面

表 4-1-3 に、ノンプレッシャー条件およびプレッシャー条件における行動面の各測定項目の平均値と標準偏差、*t* 検定の結果ならびに効果量を示した。

<初期姿勢局面>

外周面積がプレッシャー条件において、ノンプレッシャー条件よりも有意に低い値を示した ($t(12) = 4.09, p < .01, r = .76$)。また、軌跡長がプレッシャー条件において、ノンプレッシャー条件よりも有意に低い値を示した ($t(12) = 5.36, p < .01, r = .83$)。その他の項目については、条件間の有意差は認められなかった。

<APA 局面>

後方平均床反力 ($t(12) = 4.30, p < .01, r = .78$) と後方最大床反力 ($t(12) = 6.11, p < .01, r = .87$) において条件間の有意差が認められ、プレッシャー条件において、ノンプレッシャー条件よりも高い値が示された。また、運動脚 ($t(12) = 5.01, p < .01, r = .82$) ならびに支持脚 ($t(12) = 5.27, p < .01, r = .84$) の前脛骨筋の平均放電量において条件間の有意差が認められ、プレッシャー条件において、ノンプレッシャー条件よりも高い値を示した。さらに、運動脚 ($t(12) = 3.92, p < .01, r = .75$) ならびに支持脚 ($t(12) = 2.52, p < .05, r = .64$) のヒラメ筋の平均放電量において条件間の有意差が認められ、プレッシャー条件において、ノンプレッシャー条件よりも高い値を示した。その他の項目については、条件間の有意差は認められなかった。

表 4-1-3. ノンプレッシャー条件とプレッシャー条件における初期姿勢局面ならびに APA 局面に関する測定項目

	ノンプレッシャー条件	プレッシャー条件	<i>t</i>	<i>r</i>
初期姿勢局面				
矢状面体幹角度 (deg)	91.14 ± 1.89	91.00 ± 2.15	0.62	.18
左右方向 COP 位置 (cm)	-0.71 ± 0.54	-0.66 ± 0.48	0.62	.18
前後方向 COP 位置 (cm)	14.36 ± 1.92	14.25 ± 1.79	1.48	.39
外周面積 (cm ²)	1.04 ± 0.35	0.77 ± 0.22	4.09**	.76
軌跡長 (cm)	5.88 ± 1.11	4.95 ± 0.91	5.36**	.83
APA 局面				
運動脚方向平均床反力 (N)	5.86 ± 1.92	5.74 ± 1.57	0.34	.10
運動脚方向最大床反力 (N)	14.66 ± 5.56	14.47 ± 4.35	0.17	.05
後方平均床反力 (N)	33.95 ± 7.71	39.18 ± 7.00	4.30**	.78
後方最大床反力 (N)	97.38 ± 18.99	109.11 ± 17.87	6.11**	.87
運動脚前脛骨筋平均放電量 (%MVC)	41.17 ± 7.01	49.53 ± 9.83	5.01**	.82
運動脚ヒラメ筋平均放電量 (%MVC)	9.41 ± 2.53	11.30 ± 3.39	3.92**	.75
支持脚前脛骨筋平均放電量 (%MVC)	41.07 ± 11.77	52.19 ± 10.84	5.27**	.84
支持脚ヒラメ筋平均放電量 (%MVC)	9.82 ± 2.53	11.15 ± 2.76	2.52*	.64
運動脚中臀筋平均放電量 (%MVC)	14.09 ± 3.94	14.42 ± 5.28	0.30	.09
運動脚下腿共収縮率 (%)	23.21 ± 5.98	22.99 ± 5.02	0.34	.10
支持脚下腿共収縮率 (%)	24.51 ± 5.81	22.12 ± 4.82	2.05	.57
APA 時間 (ms)	559 ± 113	557 ± 99	0.09	.03

* $p < .05$; ** $p < .01$

3-4. 課題遂行に対する主観的努力度

表 4-1-4 に、課題遂行に対する主観的努力度の得点の平均値と標準偏差とウィルコクソンの符号順位検定の結果を示した。ウィルコクソンの符号順位検定の結果、素早い踏み出しへの努力度が、プレッシャー条件において、ノンプレッシャー条件よりも高い値を示した ($Z = 2.64, p < .01, r = .73$)。

表 4-1-4. ノンプレッシャー条件とプレッシャー条件における課題遂行に対する主観的努力度

	ノンプレッシャー条件	プレッシャー条件	Z	r
素早い踏み出し	6.08 ± 0.76	6.85 ± 0.38	2.64**	.73

** $p < .01$

4. 考察

本実験の目的は、プレッシャーが踏み出しの素早さのみが求められる 1 歩踏み出し運動における初期姿勢ならびに APA に及ぼす影響を調べることであった。そして、本実験で行ったプレッシャーの操作は有効に作用し、状態不安ならびに心拍数を増加させた。なお、その強度はこれまでの実験と同様に、現実の場面と比較すると低いものであった。以下で、プレッシャー下で確認された初期姿勢、APA、パフォーマンスの特徴について考察を行う。

4-1. 初期姿勢における変化

実験 1 と実験 2 では、踏み出しの素早さと着地位置の正確性が同時に求められる 1 歩踏み出し運動において、プレッシャーによる初期姿勢の矢状面体幹角度の前傾とそれに伴う COP 位置の前方への移動が生じた。そして、この矢状面体幹角度の前傾の理由を課題の要求特性の観点から明らかにするために、本実験では踏み出しの素早さのみが要求される 1 歩踏み出し運動を課題として、プレッシャーによる矢状面体幹角度への影響を調べた。その結果、本実験においては、プレッシャーによる矢状面体幹角度の前傾や COP 位置の前方への移動は生じなかった。このことから、実験 1 と実験 2 で生じた初期姿勢における矢状面

体幹角度の前傾は、踏み出しの素早さを高めることを意図したことによるものではなかったといえる。

また、本実験では、プレッシャーが初期姿勢に及ぼす影響をより詳細に明らかにするために、初期姿勢局面を時間的に拡大した上で、COP 動揺における外周面積と軌跡長を測定した。その結果、外周面積と軌跡長の両方がプレッシャーにより減少した。このことは、踏み出しの素早さのみが要求される 1 歩踏み出し運動を遂行するにあたって、プレッシャーにより初期姿勢における COP の動揺範囲や動揺量が減少するという形で身体動揺が減少していたことを示す。プレッシャーが運動スキル遂行時の動作様式に及ぼす影響を調べた先行研究では、運動スキルの開始に先行する初期姿勢の変化は調べられておらず、本論文でこれまでに行ってきた検討においても、初期姿勢における非常に短い時間を対象とした分析に留まっていた。そして、本実験で初期姿勢における身体動揺の減少が明らかになったことにより、運動スキル遂行時には主要運動要素だけではなく、姿勢制御要素においても、プレッシャーによる多様な変化が生じることが明らかになったといえる。

プレッシャー下において初期姿勢における身体動揺が減少した理由としては、以下の 3 つの可能性が考えられる。第 1 の可能性は、課題遂行に対する主観的努力度の増加に伴う認知的負荷の増加である。認知的負荷の増加が安静立位時の身体動揺の大きさに及ぼす影響を調べた先行研究では、安静立位時の 2 次課題として負荷される認知課題の難易度が高まると身体動揺が減少することが示されている (e.g., Vuillerme & Vincent, 2006)。本実験のプレッシャー下でも、課題遂行に対する主観的努力度の増加により初期姿勢局面における認知的処理が増加した結果、身体動揺が減少した可能性があるといえる。

第 2 の可能性として、プレッシャーによりネガティブな情動反応が生起し、それにより身体動揺が減少したことが考えられる。これまで、画像呈示によって不快感や高覚醒によって特徴づけられるネガティブな情動が喚起されると身体動揺における動揺範囲や動揺量が減少することが報告されている (e.g., Roelofs et al., 2010; Stins & Beek, 2007)。これらの先行

研究では、恐怖と関連した刺激画像（損傷した身体）や怒りと関連した刺激画像（起こった表情をした人）を呈示することでネガティブな情動反応の生起の操作がなされている。本実験においても、プレッシャー条件においては状態不安や心拍数の増加が生じていたことから、ネガティブな情動反応が生じていたと考えられ、これにより身体動揺が減少した可能性がある。

第3に、踏み出しをより素早くするために初期姿勢における身体動揺を減少させた可能性が考えられる。これまで、1歩踏み出し運動に求められる素早さと初期姿勢における身体動揺の大きさの関係性については研究がなされていないため、初期姿勢における身体動揺の減少が踏み出しの素早さの発揮に対して貢献するのかは不明である。しかしながら、以後に行う課題の要求特性を変化させた実験により、プレッシャー下で生じる初期姿勢の身体動揺の変化が課題の要求特性に依存するののかについて、明らかになると考えられる。

4-2. APA における変化

これまで、1歩踏み出し運動で踏み出しの素早さを高めようとする場合に、APAの制御においてどのような方略が採られるのかが先行研究により調べられてきた（e.g., Crenna & Frigo, 1991; Ito et al., 2003）。例えば、Ito et al. (2003) は、自然な速度で踏み出す条件と最大限の速度で踏み出す条件を比較し、踏み出しの素早さに対する要求度が高まることで、APAにおける両下腿の前脛骨筋の放電量の増加や後方に対して加えられる力の増加が生じることを示した。また、最大限の速度で踏み出す1歩踏み出し運動のみを検討した研究においても、上記の筋活動や力発揮の増加が踏み出し所要時間の短縮に貢献することが示されている（Bertucco & Cesari, 2010; Duarte & Latash, 2007）。以上のことから、APAにおける前脛骨筋の放電量の増加や後方への力発揮の増加は、1歩踏み出し運動において踏み出しの素早さを高めるために用いられる有効な方略であるといえる。

そして、本実験では、状態不安の増加や心拍数の増加を伴うプレッシャーの負荷という

方法により、踏み出しの素早さのみが要求される 1 歩踏み出し運動において、素早さへのより高い要求が APA に及ぼす影響を調べた。その結果、プレッシャーにより両下腿の前脛骨筋の平均放電量の増加と後方平均床反力ならびに後方最大床反力の増加が生じた。このことは、踏み出しの素早さのみが要求される 1 歩踏み出し運動の APA に対してプレッシャーが及ぼす影響は、プレッシャー以外の方法による踏み出しの素早さの要求が及ぼす影響と同様であることを示す。したがって、本実験のプレッシャー下で生じた APA の変化は、より素早い踏み出しを行うための方略として生じたものであるといえる。

ただし、本実験においては、プレッシャーによる両下腿のヒラメ筋の平均放電量の増加が生じたことと、両下腿の共収縮率に変化が生じないことも示されている。上記の先行研究では、これらの変数については調べていないため、本実験で得られたヒラメ筋の放電量と共収縮率の結果と踏み出しの素早さを高めるための方略との関係性は不明である。しかし、APA において高効率で後方に力を加えるためには、ヒラメ筋の筋活動は増加させずに共収縮率を低下させる方が効果的であると考えられる。したがって、本実験におけるプレッシャー下での前脛骨筋の増加と後方への力発揮の増加は踏み出しの素早さを高めるための方略であったといえるが、ヒラメ筋と共収縮率の結果については今後の検討が必要であるといえる。

4-3. パフォーマンスにおける変化

プレッシャーにより、踏み出し所要時間が短縮した。このことから、踏み出しの素早さのみが求められる 1 歩踏み出し運動において、プレッシャーによりパフォーマンスが向上したといえる。なお、ターゲットの中心と着地位置の関係性を調べるために測定した変数については、MRE と BVE がプレッシャーにより増加していた。1 歩踏み出し運動における踏み出し所要時間と着地位置の変動性については、踏み出し所要時間が短縮されるほど、着地位置の変動性が増加することが先行研究により報告されている (Duarte & Latash, 2007)。し

たがって、本実験において踏み出し所要時間が短縮され、着地位置の変動性が増加したことは、プレッシャー下に特有の変化ではなかったと考えられる。

実験 3-2

1. 目的

本実験の目的は、プレッシャーが着地位置の正確性のみが求められる 1 歩踏み出し運動における初期姿勢ならびに APA に及ぼす影響を調べることである。

2. 方法

2-1. 実験参加者

男子大学生 14 名 (平均年齢 18.36 ± 0.50 歳, 平均身長 169.79 ± 6.18 cm, 平均体重 60.35 ± 8.23 kg) が実験に参加した。実験参加者の利き足は右足であった。利き足が右足であることは、実験参加者に対する質問と、立位からの踏み出しの際に初めに右足が踏み出されることを確認して判断した。なお、実験前に実験参加者全員からインフォームド・コンセントを得た。また、本実験は広島大学の研究倫理委員会による承認を得た上で実施された。

2-2. 課題

着地位置の正確性のみを求める 1 歩踏み出し運動を課題として行わせた。実験参加者には、実験室内に設置したフォースプレートの上に両足の土踏ましが 5cm の間隔になるように開き、上肢の動きを制限するために両手を腰に当てた状態で立ち、安静を保持することを求めた。その状態から、実験参加者の前方にあるターゲットの中心に対して、右足で踏み出すことを求めた。右足を踏み出した後、左足も前方に移動させ、両足が揃うことで運動が完了した。ターゲットの中心までの距離は各実験参加者の身長 40% であった。このターゲットは、直径 10 cm, 8 cm, 6 cm, 4 cm, 2 cm の同心円と、その中心の直径 5 mm の点からなり、この中心の点に右足の拇指の上部に付けた反射マーカールができる限り近づくように踏み出すことを求めた。実験参加者には、このターゲットの中心と右脚の親指に取り付けた

マーカールの位置の誤差を課題のパフォーマンスとして評価することを伝えた。なお、実験者による試行開始の合図から運動の開始までの時間は、実験参加者の自己ペースによるものであった。

2-3. 実験手続き

実験 3-1 と同様であった。

2-4. データ処理

実験 3-1 と同様であった。

2-5. 測定項目

(1) プレッシャーの操作チェック

実験 3-1 と同様であった。

(2) パフォーマンス

課題のパフォーマンスとして、実験 3-1 と同様に、MRE, SRE, BVE を算出した。なお、本実験においてはパフォーマンスとして実験参加者には伝えなかったが、踏み出し所要時間の算出も行った。

(3) 行動面

実験 3-1 と同様であった。

(4) 課題遂行に対する主観的努力度

課題遂行に対する主観的努力度の質問紙では、ノンプレッシャー条件とプレッシャー条件のそれぞれについて、「ターゲットに対して正確に着地するためにどの程度努力したか」を尋ね、それぞれに対して「すごく努力した (7点)」から「まったく努力しなかった (1点)」の7件法で回答を求めた。

2-6. 統計分析

実験 3-1 と同様であった。

3. 結果

3-1. プレッシャーの操作チェック

表 4-2-1 に、ノンプレッシャー条件とプレッシャー条件における状態不安得点と平均心拍数の平均値と標準偏差、 t 検定の結果ならびに効果量を示した。状態不安得点はプレッシャー条件において、ノンプレッシャー条件よりも有意に高かった ($t(13) = 6.62, p < .01, r = .88$)。また、平均心拍数もプレッシャー条件において、ノンプレッシャー条件よりも高い値が示された ($t(13) = 4.16, p < .01, r = .76$)。

表 4-2-1. ノンプレッシャー条件ならびにプレッシャー条件における状態不安得点と平均心拍数

	ノンプレッシャー条件	プレッシャー条件	t	r
状態不安得点	41.57 ± 8.06	51.86 ± 9.87	6.62**	.88
平均心拍数 (bpm)	75.64 ± 7.02	82.50 ± 7.08	4.16**	.76

** $p < .01$

3-2. パフォーマンス

表 4-2-2 に、ノンプレッシャー条件とプレッシャー条件のパフォーマンスに関する測定項目の平均値と標準偏差、 t 検定の結果ならびに効果量を示した。踏み出し所要時間がプレッシャー条件でノンプレッシャー条件よりも有意に高い値を示した ($t(13) = 4.10, p < .01, r = .75$)。また、MRE ($t(13) = 3.65, p < .01, r = .71$) と BVE ($t(13) = 2.94, p < .05, r = .63$) が、プレッシャー条件でノンプレッシャー条件よりも有意に高い値を示した。SRE では、条件間の有意差は認められなかった。

表 4-2-2. ノンプレッシャー条件ならびにプレッシャー条件におけるパフォーマンスに関する測定項目

	ノンプレッシャー条件	プレッシャー条件	t	r
踏み出し所要時間 (ms)	870 ± 46	919 ± 64	4.10**	.75
MRE (cm)	1.00 ± 0.28	1.28 ± 0.42	3.65**	.71
SRE (cm)	0.51 ± 0.26	0.53 ± 0.20	0.17	.05
BVE (cm)	1.02 ± 0.43	1.33 ± 0.47	2.94*	.63

* $p < .05$; ** $p < .01$

3-3. 行動面

表 4-2-3 に、ノンプレッシャー条件およびプレッシャー条件における行動面の各測定項目の平均値と標準偏差、 t 検定の結果ならびに効果量を示した。

<初期姿勢局面>

外周面積がプレッシャー条件において、ノンプレッシャー条件よりも有意に低い値を示した ($t(13) = 3.80, p < .01, r = .73$)。また、軌跡長がプレッシャー条件において、ノンプレッシャー条件よりも有意に低い値を示した ($t(13) = 5.34, p < .01, r = .83$)。その他の項目については、条件間の有意差は認められなかった。

<APA 局面>

後方平均床反力 ($t(13) = 5.16, p < .01, r = .82$) と後方最大床反力 ($t(13) = 2.86, p < .05, r = .62$) において条件間の有意差が認められ、プレッシャー条件において、ノンプレッシャー条件よりも低い値が示された。また、支持脚のヒラメ筋の平均放電量において条件間の有意差が認められ、プレッシャー条件において、ノンプレッシャー条件よりも高い値を示した ($t(13) = 3.71, p < .01, r = .72$)。さらに、支持脚下腿の共収縮率において条件間の有意差が認められ、プレッシャー条件において、ノンプレッシャー条件よりも高い値を示した ($t(13) = 2.74, p < .05, r = .61$)。その他の項目については、条件間の有意差は認められなかった。

3-4. 課題遂行に対する主観的努力度

表 4-2-4 に、課題遂行に対する主観的努力度の得点の平均値と標準偏差とウィルコクソンの符号順位検定の結果を示した。ウィルコクソンの符号順位検定の結果、正確な着地への努力度が、プレッシャー条件において、ノンプレッシャー条件よりも高い値を示した ($Z = 2.89, p < .01, r = .77$)。

表 4-2-3. ノンプレッシャー条件とプレッシャー条件における初期姿勢局面ならびに APA 局面に関する測定項目

	ノンプレッシャー条件	プレッシャー条件	<i>t</i>	<i>r</i>
初期姿勢局面				
矢状面体幹角度 (deg)	90.77 ± 1.22	90.70 ± 1.63	0.80	.22
左右方向 COP 位置 (cm)	-0.30 ± 0.85	-0.21 ± 0.77	0.20	.06
前後方向 COP 位置 (cm)	13.36 ± 2.35	13.08 ± 2.89	0.94	.25
外周面積 (cm ²)	0.91 ± 0.36	0.66 ± 0.27	3.80**	.73
軌跡長 (cm)	5.03 ± 0.63	4.43 ± 0.62	5.34**	.83
APA 局面				
運動脚方向平均床反力 (N)	8.68 ± 2.34	8.53 ± 1.90	0.39	.11
運動脚方向最大床反力 (N)	19.01 ± 4.37	19.26 ± 3.82	0.47	.13
後方平均床反力 (N)	13.67 ± 3.33	11.75 ± 3.01	5.16**	.82
後方最大床反力 (N)	37.09 ± 5.93	33.79 ± 6.10	2.86*	.62
運動脚前脛骨筋平均放電量 (%MVC)	13.76 ± 4.85	14.08 ± 4.75	0.59	.16
運動脚ヒラメ筋平均放電量 (%MVC)	10.50 ± 3.01	10.73 ± 2.53	0.73	.20
支持脚前脛骨筋平均放電量 (%MVC)	15.48 ± 3.92	16.49 ± 4.20	1.69	.43
支持脚ヒラメ筋平均放電量 (%MVC)	10.38 ± 3.29	13.85 ± 4.07	3.71**	.72
運動脚中臀筋平均放電量 (%MVC)	6.90 ± 1.74	6.78 ± 1.49	0.27	.08
運動脚下腿共収縮率 (%)	61.90 ± 14.81	62.02 ± 12.99	0.10	.03
支持脚下腿共収縮率 (%)	66.33 ± 9.20	71.53 ± 8.38	2.74*	.61
APA 時間 (ms)	591 ± 102	562 ± 101	1.25	.33

p* < .05; *p* < .01

表 4-2-4. ノンプレッシャー条件とプレッシャー条件における課題遂行に対する主観的努力度

	ノンプレッシャー条件	プレッシャー条件	<i>Z</i>	<i>r</i>
正確な着地	5.93 ± 0.62	6.64 ± 0.63	2.89**	.77

***p* < .01

4. 考察

本実験の目的は、プレッシャーが着地位置の正確性のみが求められる 1 歩踏み出し運動の初期姿勢ならびに APA に及ぼす影響を調べることであった。そして、本実験で行ったプレッシャーの操作は有効に作用し、状態不安ならびに心拍数を増加させた。なお、その強度はこれまでの実験と同様に、現実の場面と比較すると低いものであった。以下で、プレッシャー下で確認された初期姿勢、APA、パフォーマンスの特徴について考察を行う。

4-1. 初期姿勢における変化

初期姿勢の矢状面体幹角度ならびに前後方向 COP 位置において、プレッシャーによる変化は認められなかった。踏み出しの素早さと着地位置の正確性を同時に求めた実験 1 と実験 2 においては、プレッシャーによる矢状面体幹角度の前傾と COP 位置の前方への移動が生じた。また、踏み出しの素早さのみを求めた実験 3-1 では、プレッシャーによる矢状面体幹角度の前傾は認められなかった。それに加えて、本実験においても、プレッシャーによる矢状面体幹角度の前傾が生じなかったという結果から、実験 1 と実験 2 において生じた矢状面体幹角度の前傾は、踏み出しの素早さのみや着地位置の正確性のみを求めた場合に生じるものではなく、両方を同時に求めた場合にのみ生じる変化であることが示された。

また、身体動揺に対してプレッシャーが及ぼす影響を調べるために、実験 3-1 と同様に、COP 動揺における外周面積と軌跡長を測定した。そして、本実験においても、プレッシャーによる外周面積と軌跡長の両方の減少が認められた。このことから、プレッシャー下の初期姿勢における身体動揺の減少は、踏み出しの素早さを求められることや着地位置の正確性を求められることといった課題の要求特性に依存せずに生じる変化であることが明らかとなった。

4-2. APA における変化

これまで、1 歩踏み出し運動で着地位置の正確性を高めようとする場合に、APA においてどのような方略が採られるのかが明らかとされてきた。例えば、Brunt et al. (2000) は、着地位置に設置されたターゲットの大小が APA における後方への力発揮に及ぼす影響を調べ、ターゲットが小さくなり着地位置の正確性に対する要求度が高まると、APA における後方最大床反力が低下することを報告した。また、Bertuccio and Cesari (2010) は、1 歩踏み出し運動での着地位置の正確性に対する要求度が高まると、支持脚の前脛骨筋の放電量が減少することを報告している。以上のことから、APA における支持脚の前脛骨筋の放電量の減少や

後方への力発揮の低下は、1歩踏み出し運動において着地位置の正確性を高めるために用いられる方略であるといえる。

そして、本実験でプレッシャーが着地位置の正確性のみが要求される1歩踏み出し運動のAPAに及ぼす影響を調べた結果、後方平均床反力ならびに後方最大床反力の低下が生じた。これは、先行研究により示されてきた1歩踏み出し運動において着地位置の正確性を高めるために用いられる方略と同様であった。一方で、筋活動については、Bertuccio and Cesari (2010) によって示されたような、支持脚の前脛骨筋の放電量の減少は生じず、支持脚ヒラメ筋の平均放電量ならびに支持脚下腿共収縮率の増加が生じた。そして、先行研究で示された筋活動の変化とは質的に異なるものの、本実験におけるこの筋活動の変化は、着地位置の正確性を高めるための方略として生じたものであると考えられる。本実験における筋活動の変化は支持脚の下腿のみにおいて生じたが、1歩踏み出し運動のAPAにおける運動脚と支持脚の機能的な役割については、運動脚は支持脚側へ体重を移す働きを持ち、支持脚は前方に対する推進力を生み出す働きを持つとされている (Brunt et al., 1991)。Bertuccio and Cesari において示された、正確性に対する要求度の増加による支持脚の前脛骨筋の放電量の減少は、足関節が背屈する働きを弱めることで後方への力の発揮を低下させるための方略であった。そして、本実験の結果についても、支持脚の前脛骨筋の放電量は変化させずにヒラメ筋の活動を増加させ共収縮率を高めることは、足関節を固定し、背屈する働きを弱めることにつながる変化であると考えられる。以上を踏まえると、本実験のプレッシャー下で生じた支持脚下腿における筋活動の変化は、着地位置の正確性を高めるために用いられた方略であったと考えられる。

4-3. パフォーマンスにおける変化

パフォーマンスについては、プレッシャーによるMREとBVEの増加が認められた。このことから、着地位置の正確性のみが要求される1歩踏み出し運動において、プレッシャーに

より、変動性の増加という形で着地位置の正確性が低下したといえる。本実験において、このように着地位置の変動性が増加した理由としては、プレッシャーによる意識的処理の増加が考えられる。本実験のプレッシャー条件では、パフォーマンス以外の測定項目において、正確性を高めるためと考えられる種々の変化が生じていた。まず、パフォーマンス発揮のための主観的努力度がプレッシャーにより増加していた。また、APAにおいて生じた筋活動や床反力の減少も着地を正確にするためのものであったと考えられる。さらに、踏み出し所要時間の増加も認められていたことから、プレッシャー条件において実験参加者は着地を正確にするように慎重に課題を行っていたといえる。しかし、このように慎重に課題を行うことにより、運動制御に対する過剰な意識的処理が生じたと考えられる。これまで、正確性が要求される運動スキル遂行時の動作やパフォーマンスの変動性に対してプレッシャーが及ぼす影響については、意識的処理が関係していることが示されている (Higuchi, 1998; Tanaka & Sekiya, 2010b, 2011)。例えば、Tanaka and Sekiya (2010b) は、ゴルフパッティング課題において、プレッシャーにより身体運動に対する注意が増加した実験参加者において、ボールの停止位置の変動性が増加するというパフォーマンスの低下が生じたことを報告している。本実験のプレッシャー条件においても、着地位置の正確性を高めるための上述した変化から、踏み出し動作に対する過剰な意識的制御が行われていた可能性があるといえ、これが意識的処理仮説において説明されるパフォーマンスの低下を引き起こしたと推察される。

実験 3-3

1. 目的

本実験の目的は、初期姿勢における身体動揺と APA における下腿の共収縮率の評価を加えた上で、踏み出しの素早さと着地位置の正確性が同時に求められる 1 歩踏み出し運動における初期姿勢ならびに APA にプレッシャーが及ぼす影響を調べることであった。

2. 方法

2-1. 実験参加者

男子大学生 10 名 (平均年齢 18.50 ± 0.53 歳, 平均身長 169.30 ± 3.13 cm, 平均体重 56.30 ± 4.27 kg) が実験に参加した。実験参加者の利き足は右足であった。利き足が右足であることは、実験参加者に対する質問と、立位からの踏み出しの際に初めに右足が踏み出されることを確認して判断した。なお、実験前に実験参加者全員からインフォームド・コンセントを得た。また、広島大学の研究倫理委員会による承認を得た上で実施された。

2-2. 課題

実験 1 で用いた、自己ペースにより開始され、踏み出しの素早さと着地位置の正確性が同時に求められる 1 歩踏み出し運動を課題とした。

2-3. 実験手続き

実験 3-1 および実験 3-2 と同様であった。ただし、本実験におけるプレッシャー条件での観衆の人数は 5 名であった。

2-4. データ処理

実験 3-1 および実験 3-2 と同様であった。

2-5. 測定項目

実験 3-1 および実験 3-2 と同様であった。なお、課題遂行に対する主観的努力度を調べる質問紙では、ノンプレッシャー条件とプレッシャー条件のそれぞれについて、「素早く踏み出すためにどの程度努力したか」、「ターゲットに対して正確に着地するためにどの程度努力したか」を尋ね、それぞれに対して「すごく努力した (7点)」から「まったく努力しなかった (1点)」の7件法で回答を求めた。

2-6. 統計分析

実験 3-1 および実験 3-2 と同様であった。

3. 結果

3-1. プレッシャーの操作チェック

表 4-3-1 に、ノンプレッシャー条件とプレッシャー条件における状態不安得点と平均心拍数の平均値と標準偏差、 t 検定の結果ならびに効果量を示した。状態不安得点はプレッシャー条件において、ノンプレッシャー条件よりも有意に高かった ($t(9) = 4.03, p < .01, r = .80$)。また、平均心拍数もプレッシャー条件において、ノンプレッシャー条件よりも高い値が示された ($t(9) = 4.78, p < .01, r = .85$)。

表 4-3-1. ノンプレッシャー条件ならびにプレッシャー条件における状態不安得点と平均心拍数

	ノンプレッシャー条件	プレッシャー条件	t	r
状態不安得点	41.60 ± 5.27	52.80 ± 8.55	4.03**	.80
平均心拍数 (bpm)	77.70 ± 8.10	87.90 ± 8.71	4.78**	.85

* $p < .05$; ** $p < .01$

3-2. パフォーマンス

表 4-3-2 に、ノンプレッシャー条件とプレッシャー条件のパフォーマンスに関する測定項目の平均値と標準偏差、 t 検定の結果ならびに効果量を示した。これらの項目について、条件

間の有意差は認められなかった。

表 4-3-2. ノンプレッシャー条件ならびにプレッシャー条件におけるパフォーマンスに関する測定項目

	ノンプレッシャー条件	プレッシャー条件	<i>t</i>	<i>r</i>
踏み出し所要時間 (ms)	477 ± 45	466 ± 51	1.16	.36
MRE (cm)	1.62 ± 0.38	1.78 ± 0.33	1.17	.36
SRE (cm)	0.76 ± 0.45	0.76 ± 0.41	0.02	.01
BVE (cm)	1.54 ± 0.49	1.86 ± 0.39	2.07	.57

3-3. 行動面

表 4-3-3 に、ノンプレッシャー条件およびプレッシャー条件における行動面の各測定項目の平均値と標準偏差、*t* 検定の結果ならびに効果量を示した。

<初期姿勢局面>

矢状面体幹角度に、条件間の有意差が認められ、プレッシャー条件において体幹がより前傾していた ($t(9) = 3.53, p < .01, r = .76$)。また、前後方向 COP 位置に条件間の有意差が認められ、COP 位置がプレッシャー条件においてより前方に位置した ($t(9) = 3.85, p < .01, r = .79$)。加えて、外周面積がプレッシャー条件において、ノンプレッシャー条件よりも有意に低い値を示した ($t(9) = 3.52, p < .01, r = .76$)。さらに、軌跡長がプレッシャー条件において、ノンプレッシャー条件よりも有意に低い値を示した ($t(9) = 4.86, p < .01, r = .85$)。その他の項目については、条件間の有意差は認められなかった。

<APA 局面>

後方平均床反力 ($t(9) = 5.94, p < .051, r = .89$) と後方最大床反力 ($t(9) = 5.87, p < .01, r = .89$) において条件間の有意差が認められ、プレッシャー条件においてノンプレッシャー条件よりも高い値が示された。また、運動脚 ($t(9) = 3.64, p < .01, r = .77$) ならびに支持脚 ($t(9) = 4.19, p < .01, r = .81$) の前脛骨筋の平均放電量において条件間の有意差が認められ、プレッシャー条件においてノンプレッシャー条件よりも高い値を示した。さらに、運動脚 ($t(9) = 3.07, p < .05, r = .72$) ならびに支持脚 ($t(9) = 3.19, p < .05, r = .73$) のヒラメ筋の平均放電量において条件間の有意差が認められ、プレッシャー条件においてノンプレッシャー条

件よりも高い値を示した。その他の項目については、条件間の有意差は認められなかった。

3-4. 課題遂行に対する主観的努力度

表 4-3-4 に、課題遂行に対する主観的努力度の得点の平均値と標準偏差とウィルコクソンの符号順位検定の結果を示した。ウィルコクソンの符号順位検定の結果、素早い踏み出しへの努力度 ($Z = 2.57, p < .05, r = .81$) および着地位置の正確性のための努力度 ($Z = 2.72, p < .01, r = .86$) の両方がプレッシャーにより有意に増加した。

表 4-3-3. ノンプレッシャー条件とプレッシャー条件における初期姿勢局面ならびに APA 局面に関する測定項目

	ノンプレッシャー条件	プレッシャー条件	<i>t</i>	<i>r</i>
初期姿勢局面				
矢状面体幹角度 (deg)	89.50 ± 1.62	88.51 ± 2.21	3.53**	.76
左右方向 COP 位置 (cm)	-0.32 ± 0.95	-0.20 ± 1.05	0.98	.31
前後方向 COP 位置 (cm)	14.39 ± 1.43	14.02 ± 1.45	3.85**	.79
外周面積 (cm ²)	1.03 ± 0.33	0.68 ± 0.17	3.52**	.76
軌跡長 (cm)	5.37 ± 0.86	4.68 ± 0.63	4.86**	.85
APA 局面				
運動脚方向平均床反力 (N)	5.67 ± 1.17	5.54 ± 0.95	0.34	.11
運動脚方向最大床反力 (N)	13.40 ± 3.22	14.11 ± 3.75	0.94	.30
後方平均床反力 (N)	31.17 ± 8.71	36.62 ± 9.31	5.94**	.89
後方最大床反力 (N)	83.58 ± 13.82	93.46 ± 14.90	5.87**	.89
運動脚前脛骨筋平均放電量 (%MVC)	35.38 ± 7.85	41.42 ± 8.54	3.64**	.77
運動脚ヒラメ筋平均放電量 (%MVC)	9.12 ± 2.48	10.82 ± 2.54	3.07*	.72
支持脚前脛骨筋平均放電量 (%MVC)	38.51 ± 7.97	43.81 ± 9.31	4.19**	.81
支持脚ヒラメ筋平均放電量 (%MVC)	11.93 ± 3.40	12.66 ± 2.93	3.19*	.73
運動脚中臀筋平均放電量 (%MVC)	13.13 ± 2.29	15.08 ± 3.23	2.22	.60
運動脚下腿共収縮率 (%)	26.89 ± 5.04	28.41 ± 4.59	1.10	.35
支持脚下腿共収縮率 (%)	22.59 ± 4.81	21.32 ± 4.79	1.72	.50
APA 時間 (ms)	591 ± 100	561 ± 98	1.75	.50

* $p < .05$; ** $p < .01$

表 4-3-4. ノンプレッシャー条件とプレッシャー条件における課題遂行に対する主観的努力度

	ノンプレッシャー条件	プレッシャー条件	<i>Z</i>	<i>r</i>
素早い踏み出し	5.20 ± 1.14	6.50 ± 0.85	2.57*	.81
正確な着地	5.20 ± 1.23	6.80 ± 0.42	2.72**	.86

* $p < .05$; ** $p < .01$

4. 考察

本実験の目的は、プレッシャーが踏み出しの素早さと着地位置の正確性が同時に要求される1歩踏み出し運動の初期姿勢ならびにAPAに及ぼす影響を調べることであった。そして、本実験で行ったプレッシャーの操作は有効に作用し、状態不安ならびに心拍数を増加させた。なお、その強度はこれまでの実験と同様に、現実の場面と比較すると低いものであった。以下で、プレッシャー下で確認された初期姿勢、APA、パフォーマンスの特徴について考察を行う。

4-1. 初期姿勢における変化

初期姿勢における矢状面体幹角度については、実験1と同様に、プレッシャーによる前傾が認められた。また、プレッシャー下における矢状面体幹角度の変化が生じなかった実験3-1、実験3-2の結果を踏まえると、プレッシャー下での矢状面体幹角度の前傾は、1歩踏み出し運動において踏み出しの素早さと着地位置の正確性が同時に求められる場合に特有の変化であることが明らかとなった。

また、本実験においても、プレッシャーが初期姿勢の身体動揺に及ぼす影響を調べるために、COP動揺における外周面積と軌跡長を測定した。そして、実験3-1と実験3-2の結果と同様に、プレッシャーにより外周面積と軌跡長が減少することが示された。このことから、プレッシャーによるCOP動揺の外周面積ならびに軌跡長の減少という変化は、本章で設定した課題の要求特性に依存せずに生じる変化であることが明らかとなった。

4-2. APAにおける変化

本章で行われた実験3-1ならびに実験3-2から、プレッシャー下で1歩踏み出し運動を行う際に、踏み出しの素早さを高めることを意図した場合に生じる変化と、着地位置の正確

性を高めようとした場合に生じる変化がそれぞれ明らかにされてきた。そして、踏み出しの素早さを高めようとした場合に生じる変化は、APA における両下腿の前脛骨筋の放電量の増加と後方に対する力発揮の増加であり、着地位置の正確性を高めようとした場合に生じる変化は支持脚下腿におけるヒラメ筋の筋放電量の増加と共収縮率の増加であった。

そして、踏み出しの素早さと着地位置の正確性を同時に要求した 1 歩踏み出し運動においては、実験 1 の結果と同様に、プレッシャーによる後方平均床反力ならびに後方最大床反力の増加が生じた。また、実験 1 では測定を行っていなかった両下腿における前脛骨筋ならびにヒラメ筋においても、プレッシャーによる増加が認められ、後方への力発揮の増加にこれらの筋活動の増加が伴うことが示された。

また、実験 3-1 と実験 3-2 の結果から、プレッシャー下の APA の変化は課題の要求特性に依存するものであることが示されてきた。このことから、本実験における APA の変化も課題の要求特性と関連があるものと考えられ、実験 1 の結果と同様に、APA においては踏み出しの素早さを高めるための変化が優先的に生じたものと考えられる。

本実験の課題をプレッシャー下で行う際に、APA において踏み出しの素早さを高めるための変化が優先的に生じた理由としては、1 歩踏み出し運動における局面ごとに、踏み出しの素早さと着地位置の正確性を高めるために担う役割が異なっていたためである可能性がある。本実験では、1 歩踏み出し運動の局面を初期姿勢局面、APA 局面、踏み出し局面に分けた。そして、課題を遂行するにあたっては、APA 局面における後方への力発揮や踏み出し局面の前半が踏み出しの素早さを高めるために利用され、踏み出し局面の後半におけるフィードバック制御が着地位置の正確性の発揮に利用された可能性がある。そのため、プレッシャー下の APA においては、踏み出しの素早さを高めるための変化が優先的に生じたと考えることができる。

4-3. パフォーマンスについて

本実験と同じ課題を用い、プレッシャーによるパフォーマンスの変化が生じなかった実験 1 の結果と同様に、本実験においてもプレッシャーによるパフォーマンスの変化は生じなかった。したがって、実験 1 の結果が再現され、踏み出しの素早さと着地位置の正確性が同時に要求される 1 歩踏み出し運動において、踏み出しの開始の様式が自己ペースである場合には、プレッシャーによるパフォーマンスの変化が生じないことが確認された。すなわち、APA においては、踏み出しの素早さを高めるための後方に対する力発揮が増加していたものの、着地が近づくにつれて生じるフィードバック制御が動作速度を減少させ、結果として APA の変化が踏み出し所要時間や着地位置誤差に及ぼす影響を相殺したと考えられる。

第 4 章の全体考察

本章の目的は、初期姿勢における身体動揺と APA における下腿筋群の共収縮率の評価を加えた上で、踏み出しの素早さのみが求められる課題、着地位置の正確性のみが求められる課題、踏み出しの素早さと着地位置の正確性が同時に求められる課題のそれぞれについて、プレッシャーが初期姿勢と APA に及ぼす影響を調べることであった。そして、この目的のために実験 3-1 (踏み出しの素早さのみ)、実験 3-2 (着地位置の正確性のみ)、実験 3-3 (踏み出しの素早さと着地位置の正確性の両方) を行った。以下では、本章の 3 つの実験で確認されたプレッシャー下における初期姿勢と APA の変化に関する全体考察を行う。

1. 初期姿勢における矢状面体幹角度の前傾

本論文の実験 1 と実験 2 において示されたプレッシャー下における初期姿勢の特徴として、矢状面体幹角度の前傾と COP の前方への移動があった。これらの変化は、踏み出しの素早さと着地位置の正確性が同時に求められる課題で生じたものであった。そして本章では、この変化の理由を課題の要求特性の観点から明らかにするために、実験 3-1 では踏み出しの素早さのみが求められる 1 歩踏み出し運動を課題とし、実験 3-2 では着地位置の正確性のみが求められる 1 歩踏み出し運動を課題として、プレッシャーが矢状面体幹角度に及ぼす影響を調べた。

その結果、実験 3-1 および実験 3-2 の両方において、プレッシャーによる矢状面体幹角度の変化は認められなかった。このことから、プレッシャー下で 1 歩踏み出し運動を行う際には、踏み出しをより素早くするためのみや着地位置をより正確にするためのみという理由によって、初期姿勢における体幹角度の変化が生じることはないということが明らかとなった。そして、踏み出しの素早さと着地位置の正確性が同時に求められる 1 歩踏み出し運動を課題とした実験 3-3 において、実験 1 の結果と同様に、プレッシャーによる初期姿勢の前

傾が生じることが確認された。以上の結果から、プレッシャー下の初期姿勢における矢状面体幹角度の前傾は、踏み出しの素早さと着地位置の正確性が同時に求められる場合に特有の変化であるということが示された。

本章では、プレッシャー下における初期姿勢の前傾は、課題の要求特性と関係があるという仮説を立て検討を行ったが、そのような関係性は認められなかった。そして、課題の要求特性以外に、プレッシャーによる矢状面体幹角度の前傾を生じさせた要因としては、課題の難易度が考えられる。本章で行った 3 つの実験の課題のうち、実験 3-3 における踏み出しの素早さと着地位置の正確性を同時に要求する 1 歩踏み出し運動は、相反する 2 つの要求が同時になされていることから、他の 2 つの実験の課題と比較すると、難易度の高い課題であったといえる。これまで、課題の難易度の増加に対応した変化が姿勢制御において生じることが報告されている (e.g., Balasubramaniam et al., 2000; Ehrenfried et al., 2003)。例えば、Balasubramaniam et al. は、安静立位の状態で手に持ったレーザーポインターによる急速狙準課題を行わせ、課題の困難度指数 (index of difficulty) の変化が身体動揺に及ぼす影響を調べた。その結果、課題の困難度指数が増加するほど、身体動揺が減少することが示された。このことから、課題の難易度の変化により、それと対応する姿勢制御の変化が生じるといえる。そして、実験 3-3 で生じたプレッシャー下における矢状面体幹角度の減少も、課題の難易度の増加に伴って生じた姿勢の変化である可能性があり、今後は課題の難易度の観点から、プレッシャー下における初期姿勢の変化を調べる必要がある。

2. 初期姿勢における身体動揺の減少

本章で行った 3 つの実験では、プレッシャーが初期姿勢における身体動揺に及ぼす影響を調べるために、初期姿勢における COP 動揺の外周面積および軌跡長を調べた。その結果、3 つすべての実験において、プレッシャーによる外周面積と軌跡長の減少が認められた。このことから、1 歩踏み出し運動において、踏み出しの素早さのみが求められる場合、着地位

置の正確性のみが求められる場合、および踏み出しの素早さと着地位置の正確性が同時に求められる場合に関わらず、プレッシャーにより初期姿勢の動揺範囲および動揺量の減少という形で身体動揺が減少することが明らかとなった。そして、課題の特性に関わらず生じたプレッシャー下の身体動揺の減少の理由としては、以下の2つの可能性が考えられる。

まず、第1の可能性として、プレッシャーにより課題遂行に伴う認知的負荷が増加し、それにより身体動揺が減少したことが考えられる。実験3-1、実験3-2、実験3-3のすべてにおいて、プレッシャーによる課題遂行のための主観的努力度の増加が認められた。このことから、プレッシャー条件ではノンプレッシャー条件と比較して、より多くの課題遂行に伴う認知的処理が行われていたと考えられる。これまで、認知的処理における負荷と身体動揺の大きさとの関係については、安静立位時に暗算課題 (Vuillerme & Vincent, 2006)、ワーキングメモリ課題 (Ramenzoni et al., 2007)、空間知覚課題 (Stoffregen et al., 2007) などの2次課題を行わせ、2次課題による認知的負荷の増加が身体動揺に対してどのように影響を及ぼすのかが調べられてきた。これらの研究では、2次課題により認知的負荷が増大すると、安静立位における動揺範囲が減少することが示されている。

このように認知的負荷の増加が身体動揺における動揺範囲を減少させる理由としては、探索的な身体動揺が減少するためであるという指摘がなされている。身体動揺の機能的意義の1つとして、探索的な姿勢状態の知覚がある (e.g., Riccio et al., 1992)。そして、姿勢保持に向けられる注意が増えることで、この探索的な身体動揺が増加することが示されている (Vuillerme & Nafati, 2007)。一方で、安静立位時に姿勢保持とは関係のない認知的負荷が増加することは、姿勢保持に向けられる注意を減少させることを示す。これにより、姿勢状態を知覚するための身体動揺が減少するとされている (e.g., Vuillerme et al., 2000; Vuillerme & Vincent, 2006)。以上より、本章の3つの実験で得られた結果についても、プレッシャーによる課題遂行への主観的努力度の増加により、初期姿勢における認知的処理が増加した結果、探索的な姿勢状態の知覚のための身体動揺が減少した可能性があると考えられる。

第2の可能性として、プレッシャーによりネガティブな情動反応が生起し、それにより身体動揺が減少したことが考えられる。これまで、不快感や高覚醒によって特徴づけられるネガティブな情動の喚起により身体動揺の減少が生じることが示されている。例えば、Azevedo et al. (2005) は、実験参加者に安静立位を保持する課題を行わせ、その中で、快（スポーツの風景）、不快（損傷した身体）および中性（家具などの家庭用品）の情動を喚起させる画像を呈示し、安静立位時における身体動揺に生じる変化を調べた。その結果、不快の感情を喚起させる画像が呈示された条件では、快ならびに中性の条件と比較して、COP 動揺における外周面積が小さいことが示された。また、Roelofs et al. (2010) は、情動を喚起するための刺激として、3種類の表情（笑った表情、怒った表情、無表情）をした人の顔の写真を用い、表情の違いが安静立位における身体動揺に及ぼす影響を調べた。その結果、怒りの表情の条件では、他の2条件と比較して、前後方向の動揺範囲が減少することが示された。さらに、Stins and Beek (2007) は、ネガティブな情動の喚起下（損傷した身体などの画像を呈示）において、COP 動揺における軌跡長が減少することを示している。これらの報告から、恐怖や怒りと関連した不快感や高覚醒によって特徴づけられるネガティブな情動が喚起されることにより、安静立位の身体動揺における動揺範囲や動揺量が減少するといえる。本章の実験においても、プレッシャー条件においては状態不安や心拍数の増加が生じていたことからネガティブな情動反応が生じていたと考えられ、これにより身体動揺が減少した可能性がある。

ネガティブな情動反応により身体動揺が減少する理由としては、すくみ (freezing) との関連性が指摘されている (e.g., Azevedo et al., 2005; Roelofs et al., 2010; Stins & Beek, 2007)。すくみとは、動物が脅威に直面した際に生じる適応的行動であり (Blanchard et al., 1986; Kalin, 1993)、主に身体動揺の減少や心拍数の低下 (除脈) により特徴づけられるとされている (e.g., Azevedo et al., 2005)。しかしながら、ヒトを対象として、ネガティブな情動反応が身体動揺や心拍数に及ぼす影響を調べた先行研究では、身体動揺の減少は一貫して示され

ているものの、心拍数については、低下が生じた研究 (e.g., Azevedo et al., 2005) や、低下が生じなかった研究 (e.g., Roelofs et al., 2010; Stins & Beek, 2007) があり、一貫した結果は得られていない。このような矛盾の理由としては、情動反応を喚起するために呈示される刺激画像の内容の違い (損傷した身体などの身体的脅威や怒りの表情などの社会的脅威) などが考えられるが、ヒトがネガティブな情動反応下で示す身体動揺の減少を、刺激の内容に関わらない「すくみ」として一般化するべきではないことを示唆しているといえる。したがって、プレッシャーにより心拍数が増加している中で身体動揺の減少が生じた本章の実験の結果についても、すくみと直接的に関連付けることは難しいが、不快感や高覚醒によって特徴づけられるネガティブな情動反応により生じる姿勢制御の特徴の 1 つである可能性はあるといえる。

以上で述べたように、本章で行った実験でプレッシャーにより生じた身体動揺の減少の理由については、複数の可能性が考えられる。これらの可能性からプレッシャー下における身体動揺減少のメカニズムを探る上では、より詳細な姿勢制御の記述を行うことが必要であると考えられる。Stins et al. (2011) は、安静立位時の COP 動揺について、周波数解析を行うことで、認知的負荷による身体動揺の減少と高所不安による情動反応の喚起による身体動揺の減少の質的な違いを明らかにしている。本章の実験では、初期姿勢局面が 3 秒間であり、安静立位自体を課題とした先行研究と比較すると測定時間が短く、周波数解析による信頼性のある評価が難しかったため (Carpenter et al., 2001), COP 動揺における外周面積と軌跡長という基本的な指標を用いた評価にとどめた。今後は、より詳細な分析を行うことで、プレッシャー下における身体動揺の減少のメカニズムを明らかにしていくことが必要となるだろう。

3. APA の変化

本章では、踏み出しの素早さのみが要求される課題と着地位置の正確性のみが求められる

る課題のそれぞれにおいて生じるAPAの変化から、プレッシャー下におけるAPAの変化が課題特性に依存するのか、課題の特性に関係なく一定の変化が生じるものであるのかを調べることをねらいとしていた。そして、プレッシャー下におけるAPAの変化が課題の要求特性に依存するならば、プレッシャー下におけるAPAの変化は課題遂行の方略を反映しているものであると考えられ、要求特性に依存しない場合には情動反応がAPAの変化に影響を及ぼしていると考えられた。

実験の結果、踏み出しの素早さのみが要求される1歩踏み出し運動を調べた実験3-1では、プレッシャーによりAPAにおける両下腿の前脛骨筋における平均放電量が増加し、後方平均床反力ならびに後方最大床反力が増加した。また、着地位置の正確性のみを要求した実験3-2では、プレッシャーによる支持脚下腿の共収縮率の増加と後方平均床反力ならびに後方最大床反力の減少が認められた。以上の結果は、プレッシャー下で生じる1歩踏み出し運動のAPAの変化は課題特性に依存するものであることを示し、プレッシャー下におけるAPAの変化は課題遂行の方略の変化を反映している可能性が有力となった。

加えて、実験1と同様に踏み出しの素早さと着地位置の正確性の両方を要求した実験3-3では、プレッシャー下においてAPAにおける両下腿の前脛骨筋における平均放電量の増加と後方平均床反力ならびに後方最大床反力の増加が示された。また、課題遂行に対する主観的努力度についても、踏み出しの素早さに対する努力度と正確性に対する努力度の両項目がプレッシャーにより増加し、その得点は両項目で同等であった。以上のことから、実験3-3においては、実験1の結果が再現されたといえる。そして、プレッシャー下のAPAにおいては課題遂行における方略が反映されるため、踏み出しの素早さと着地位置の正確性が同時に要求される1歩踏み出し運動においてプレッシャー下で踏み出しの素早さのための変化が生じたことは、素早さと正確性という、相反する要求の下で、APAにおいては素早さの向上のための変化が優先的に生じたといえる。

このように、踏み出しの素早さと着地位置の正確性が同時に要求される1歩踏み出し運

動をプレッシャー下で行う際に、踏み出しの素早さを高めるための変化が APA において優先的に生じた理由としては、1 歩踏み出し運動における局面ごとに、踏み出しの素早さと着地位置の正確性を高めるために担う役割が異なっていたためであると推察された。この点を明らかにするためには、素早さと正確性を同時に要求する課題において、素早さか正確性のどちらか一方の要求度を高めた際に APA や踏み出し動作に生じる変化を調べるのが有効であると考えられる。

第 4 章の要約

本章の目的は、初期姿勢における身体動揺と APA における下腿筋群の共収縮率の評価を加えた上で、踏み出しの素早さのみが求められる課題、着地位置の正確性のみが求められる課題、踏み出しの素早さと着地位置の正確性が同時に求められる課題のそれぞれについて、プレッシャーが初期姿勢と APA に及ぼす影響を調べることであった。そして、この目的のために実験 3-1、実験 3-2、実験 3-3 を行った。3 つすべての実験において、プレッシャーは、低パフォーマンス時の再実験の要請や実験映像の講義での使用という偽教示および評価的な観衆により負荷した。

実験 3-1 では、男子大学生 14 名が実験に参加し、踏み出しの素早さのみが要求される 1 歩踏み出し運動をノンプレッシャー条件とプレッシャー条件でそれぞれ 10 試行ずつ行った。分析対象となった 13 名について、プレッシャーによる状態不安と平均心拍数の増加が認められた。初期姿勢において、矢状面体幹角度や前後方向 COP 位置については、プレッシャーによる変化は認められなかった。一方で、COP 動揺における外周面積と軌跡長がプレッシャーにより減少した。APA については、プレッシャーにより後方平均床反力ならびに後方最大床反力が増加した。また、両下腿前脛骨筋ならびにヒラメ筋の放電量がプレッシャーにより増加した。

実験 3-2 では、男子大学生 14 名が実験に参加し、着地位置の正確性のみが要求される 1 歩踏み出し運動をノンプレッシャー条件とプレッシャー条件でそれぞれ 10 試行ずつ行った。そして、プレッシャーによる状態不安と平均心拍数の増加が認められた。実験 3-1 の結果と同様に、プレッシャーによる矢状面体幹角度の前傾や前後方向 COP 位置の前方への移動は認められなかった。また、着地位置の正確性のみが要求される課題においても、プレッシャーによる COP 動揺の外周面積と軌跡長の減少が認められた。また、APA については、プレッシャーにより後方平均床反力ならびに後方最大床反力が減少した。さらに、プレッシャー

により支持脚下腿のヒラメ筋の平均放電量が増加し、支持脚下腿の共収縮率が増加した。

実験 3-3 では、男子大学生 10 名が実験に参加し、踏み出しの素早さと着地位置の正確性が同時に要求される 1 歩踏み出し運動をノンプレッシャー条件とプレッシャー条件でそれぞれ 10 試行ずつ行った。そして、プレッシャーによる状態不安と平均心拍数の増加が認められた。初期姿勢において、実験 1 の結果と同様に、プレッシャーによる矢状面体幹角度の前傾と前後方向 COP 位置の前方への移動が生じた。また、実験 3-1 と実験 3-2 の結果と同様に、プレッシャーによる COP 動揺の外周面積と軌跡長の減少が生じた。APA については、プレッシャーにより後方平均床反力ならびに後方最大床反力が増加し、実験 1 の結果が再現された。また、両下腿前脛骨筋ならびにヒラメ筋の放電量がプレッシャーにより増加した。

以上の 3 つの実験結果から、踏み出しの素早さと着地位置の正確性が同時に要求される場合にのみ、プレッシャー下の初期姿勢における矢状面体幹角度の前傾と COP 位置の前方への移動が生じることが示された。また、実験 3-1 と実験 3-2 の結果から、プレッシャー下における APA の変化は、課題の要求特性に依存していることも明らかとなり、実験 3-3 のプレッシャー下の APA における後方への力発揮の増加は、踏み出しの素早さを高めるための変化が優先的に表れた結果である可能性が有力となった。加えて、本章の実験における課題の要求特性に依存しない変化として、プレッシャー下における身体動揺の減少が生じることも示された。

本章により、これまでに行われた実験 1 と実験 2 における初期姿勢や APA の変化と素早さや正確性といった課題の要求特性との関係性が明らかとなった。また、プレッシャー下では初期姿勢における身体動揺の減少という変化が生じることも新たに判明し、プレッシャー下の初期姿勢において多様な変化が生じていることが示された。

第5章 総合考察

本論文の目的は、プレッシャーが1歩踏み出し運動における初期姿勢ならびにAPAに及ぼす影響を調べることであった。そして、本論文ではこの目的のために、1歩踏み出し運動の開始の様式、踏み出しに求められる素早さや着地位置に求められる正確性といった複数の要求特性の組み合わせを踏まえ、合計5つの実験を行った。その結果、プレッシャー下における特徴的な変化が明らかとなった。以下で、本論文で得られた知見に対する総合考察を行い、最後に課題と展望について述べる。なお、章末に各実験のパフォーマンス、初期姿勢、APAにおけるプレッシャー下の変化を示した(表5-1)。

1. 初期姿勢における変化

1-1. 矢状面体幹角度の前傾

プレッシャー下における初期姿勢の特徴的な変化として、矢状面体幹角度の前傾とそれに伴う前方へのCOPの移動があった。そして、プレッシャーによるこの変化は、1歩踏み出し運動に求められる課題の要求特性が、踏み出しの素早さと着地位置の正確性を同時に求める場合にのみ生じるものであった(実験1, 実験2, 実験3-3)。そして、この前傾は、1歩踏み出し運動の開始の様式が自己ペースであるか単純反応であるかに関わらず生じるものであった。このように、特性の課題の要求下でのプレッシャーによる初期姿勢の前傾が生じることを明らかにしたことは、複数の課題の要求特性を包括的に検証したことにより得られたものである。そして、これまでに明らかにされてきたプレッシャー下における運動スキル遂行の動作様式の変化を、異なる課題の要求特性の運動スキルに対して一般化することには慎重になるべきであることを示唆する。

本論文の第4章では、プレッシャーが矢状面体幹角度を前傾させる原因については、素早

さの発揮か正確性の発揮かの、どちらかの課題の要求特性に対応するものとして検討を行ったが、結果からはそのような対応関係は示されなかった。そして、その他に考えられる要因として、課題の難易度の増加とそれに対応するための姿勢調整を可能性として指摘した。プレッシャー下における動作様式の変化と課題の難易度の関係性については、これまでも報告がなされている (e.g., 長谷川ら, 2011; Hasegawa et al., 2013)。例えば, Hasegawa et al. (2013) は, ゴルフパッティングを課題において, 物理的難易度の異なる複数のパッティング距離 (1.25m, 1.50m, 1.75m) を設定し, プレッシャーならびに物理的難易度の違いがパッティング動作に及ぼす影響を調べた。その結果, 最もパッティング距離の短い 1.25m の条件においてのみ, プレッシャーによるパッティング動作に変化が生じたことが示された。さらに, このパッティング動作の変化はプレッシャーによる状態不安の増加の大きさの影響を受けており, 状態不安が大きく増加した実験参加者はプレッシャーによるボールインパクト時のクラブ速度の減少を示し, そうでない実験参加者においては逆にボールインパクト時のクラブ速度が増加することが示された。この報告は, プレッシャー下の動作様式における主要運動要素の変化が, 課題の難易度の影響を受けていることを示すものである。本論文の結果は, プレッシャー下の動作様式における姿勢制御要素についても, 課題の難易度に応じた特徴が存在する可能性を示唆するものである。したがって, 今後は, 課題の難易度を要因に加えた上で, プレッシャー下における姿勢制御要素の変化を検討する必要があるだろう。

1-2. 身体動揺の減少

本論文の第4章では, 踏み出しの素早さのみを求める課題, 着地位置の正確性のみを求める課題, 踏み出しの素早さと着地位置の正確性を同時に求める課題のそれぞれを設定し, プレッシャーによる初期姿勢における身体動揺の変化を調べた。その結果, 1歩踏み出し運動において, 踏み出しの素早さのみが求められる場合, 着地位置の正確性のみが求められる

る場合、踏み出しの素早さと着地位置の正確性が同時に求められる場合といった課題の要求特性に関わらず、プレッシャーにより身体動揺が減少することが明らかとなった。課題の特性に関わらずプレッシャーにより初期姿勢の身体動揺が減少した理由としては、プレッシャーによる認知的負荷の増加による影響と情動反応の喚起による影響の少なくとも2点が考えられ、今後の検証が必要である。

さらに、今後の課題として、本論文によって示されたプレッシャー下に特有の姿勢制御の特徴やそれによる主観的感覚ならびにパフォーマンスへの影響を調べる必要がある。立位姿勢の保持は、無意識的に実行される自動的な運動制御であり、身体の内部状態および外界との関係が感覚系により常時検知され、中枢神経系が様々な感覚情報を統合している(大築ほか, 2011)。そして、これまで、高所不安が身体動揺、前庭系、筋紡錘反射など、姿勢の保持に関わる機能に影響を及ぼすことが示されており、高所不安が喚起されている時に特有の姿勢制御がなされていることが示されている(Carpenter et al., 2001; Davis et al., 2011; Horslen et al., 2014; Horslen et al., 2013)。本論文では、プレッシャー下における姿勢制御要素の変化を初めて検討し、身体動揺の減少という変化を明らかにしたが、この他にもプレッシャー下に特有の姿勢制御がなされ、最終的に特徴的な主観的感覚を生じさせている可能性がある。村山・関矢(2012)は、「あがり」に関する因子として、「自分の足が地についていないような感じがした」や「身体が宙に浮いているような感じがした」などの項目を含む「身体異常感覚」という因子を抽出しているが、このような感覚を引き起こす要因の1つに、本論文で示されたプレッシャー下における初期姿勢の身体動揺の減少が含まれている可能性がある。また、そのような異常感覚に対して注意が向けられてしまうことで、身体不安の増加や、動作に対する過剰な意識的制御が生じることも考えられる。したがって、今後は様々な側面からプレッシャー下の姿勢制御の特徴を調べることで、「あがり」における身体異常感覚のメカニズムを明らかにすることが必要である。

以上をまとめると、本論文により、プレッシャー下で行われる1歩踏み出し運動の初期姿

勢においては、素早さや正確性といった課題の要求特性に関わらず身体動揺の減少が生じることが示された。今後は、この身体動揺の減少を引き起こすメカニズムや、身体動揺の減少を含めた姿勢制御の機能の変化が主観的な感覚や運動スキルのパフォーマンスに及ぼす影響を明らかにしていくことが必要であるといえる。

2. APA における変化

本論文で行ったすべての実験において、1歩踏み出し運動における APA にプレッシャーによる変化が生じた。そして、プレッシャー下において生じた APA の変化は、1歩踏み出し運動において求められる踏み出しの素早さや着地位置の正確性といった課題の要求特性に依存することが示された。踏み出しの素早さのみが求められる 1歩踏み出し運動を課題とした実験 3-1 では、APA における両下腿前脛骨筋の平均放電量の増加や後方に対する力発揮の増加など、踏み出しの素早さを高めることをねらいとした変化が生じた。一方の着地位置の正確性のみを要求した実験 3-2 においては、プレッシャーにより APA における運動脚小腿のヒラメ筋の平均放電量ならび共収縮率の増加、後方に対する力発揮の低下といった着地位置の正確性を高めることをねらいとしたと考えられる変化が生じた。このように、プレッシャー下における 1歩踏み出し運動の APA で生じる変化は、課題の要求特性に依存するものであったといえる。

また、踏み出しの素早さと着地位置の正確性を同時に要求した場合には、素早さの発揮や正確性の発揮に対する主観的努力度は同等であったにも関わらず、プレッシャー下の APA において生じた変化は、踏み出しの素早さを高めるための変化であった。このことは、踏み出しの素早さと着地位置の正確性という、相反する要求がなされる 1歩踏み出し運動をプレッシャー下で行うにあたり、主観的に報告される課題遂行に対する努力度と実際の APA における制御の間には違いがあることを示す。このような違いが生じた理由としては、

主観的努力とは課題遂行の全体に対して報告されるものであり、APAは1歩踏み出し運動の一連の局面の中の1つであるという違いが考えられる。第4章の実験3-3の考察ならびに総合考察において、1歩踏み出し運動における局面ごとに、踏み出しの素早さと着地位置の正確性を高めるために担う役割が異なっていた可能性について述べた。この場合には、局面ごとに個別に分析すると、素早さもしくは正確性のための変化が局面ごとに異なって生じている可能性があるといえる。このようなプレッシャー下における詳細な方略の変化は、主観的な報告のみで明らかにできるものではなく、一連の動作様式を含めて調べることで明らかにすることができるものである。したがって、課題遂行に対する主観的な努力度と実際のAPAにおける制御の間には違いがあるという本論文の結果から、プレッシャー下において実験参加者がどのような方略で課題を行うのかを詳細に明らかにするためには、主観的な報告だけでなく、動作様式における局面ごとの役割も踏まえ、総合的に検討する必要があるといえる。

3. パフォーマンスの低下

本論文では、多様な課題特性を設定した1歩踏み出し運動を課題として、プレッシャーによる姿勢制御要素に生じる変化を明らかにしたが、パフォーマンスについては変化が生じる場合と生じない場合が認められた。

パフォーマンスの低下は、単純反応により開始され踏み出しの素早さと着地位置の正確性が同時に求められる1歩踏み出し運動(実験2)、ならびに自己ペースにより開始され着地位置の正確性のみが求められる1歩踏み出し運動(実験3-2)をプレッシャー下で行う際に生じた。そして、どちらの場合も、パフォーマンスの低下は着地位置の誤差の増加という形で生じた。なお、同様のパフォーマンス低下が生じたものの、その理由はそれぞれ異なると考えられた。実験2における着地位置の誤差の増加は、自己ペースにより開始される1歩踏

み出し運動を課題とした実験 1 においてプレッシャーによるパフォーマンス低下が生じなかったという結果との比較から、踏み出し動作の運動プログラミングに利用できる時間の少なさによるものであると考えられた。

一方の実験 3-2 の課題においては、運動の開始が自己ペースによるものであったことから、実験 2 とは異なる原因で着地位置の誤差の増加が生じたと考えられた。そして、実験 3-2 における着地位置の誤差の増加については、踏み出しという日常的に行われる身体運動に対して、過度の注意が配分されたことが原因である可能性がある。実験 3-2 においては、プレッシャーにより、正確な着地のための主観的努力度が増加し、APA においては支持脚下腿共収縮率の増加ならびに後方への力発揮の低下が生じていた。さらに、踏み出し所要時間もプレッシャーにより増加していたことから、プレッシャー条件ではノンプレッシャー条件と比較して、1 歩踏み出し運動を慎重に遂行していたと考えられる。そのため、踏み出し局面における動作にも多くの注意を向けていたと考えられる。そして、意識的処理仮説 (e.g., Masters, 1992) によって説明される脱自動化が生じ、結果として着地位置の誤差の増大が生じたと推察される。

以上のように、プレッシャー下における運動スキルのパフォーマンスの低下の原因については、課題の特徴に応じた異なるメカニズムが考えられる。今後は、プレッシャー下における姿勢制御要素による影響も含めて、プレッシャーによるパフォーマンス低下の原因を明らかにする必要がある。

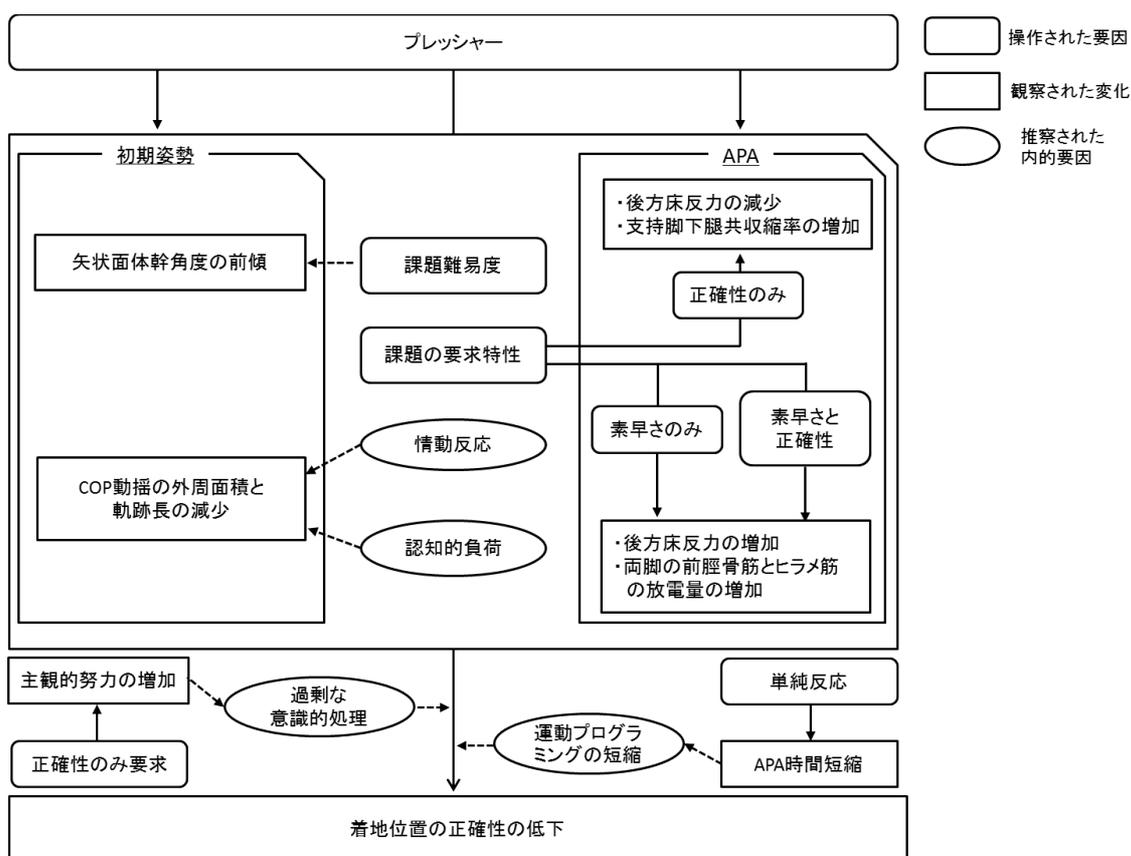
4. モデルの構築

上述した総合考察を基に、プレッシャーが 1 歩踏み出し運動の初期姿勢、APA、ならびにパフォーマンスに及ぼす影響を示すモデルを構築した (図 5-1)。本モデルの第 1 の特徴は、プレッシャーにより、1 歩踏み出し運動の初期姿勢において、矢状面体幹角度の前傾と身体

動揺の減少が生じることである。また、プレッシャー下における矢状面体幹角度の前傾は、1 歩踏み出し運動において踏み出しの素早さと着地位置の正確性が同時に要求された場合にのみ生じ、踏み出しの素早さのみが求められる場合や着地位置の正確性のみが求められる場合には生じない。そして、このようなプレッシャーによる矢状面体幹角度の前傾への影響の違いを生じさせた要因として、課題の難易度の違いが考えられた。

さらに、プレッシャーによる初期姿勢の変化として、身体動揺の減少が生じることが示されている。そして、この身体動揺の減少は、本論文における課題の要求特性に関わらず生じる変化であった。本論文における課題の要求特性に関わらずこのような身体動揺の減少を生じさせた要因としては、プレッシャーにより生じた課題遂行にあたっての認知的負荷の増加の可能性や、プレッシャーによる状態不安の増加や心拍数の増加に伴う情動反応の喚起が可能性として挙げられた。

第 2 の特徴として、プレッシャーにより、本論文における課題の要求特性に応じた APA の変化が生じることが示されている。まず、着地位置の正確性が求められる場合には、プレッシャーにより、APA における後方床反力の減少、支持脚下腿における共収縮率の増加が生じる。踏み出しの素早さが求められる場合には、プレッシャーにより、APA における後方床反力の増加、両下腿の前脛骨筋ならびにヒラメ筋における平均放電量の増加が生じる。このように、プレッシャー下の 1 歩踏み出し運動においては、課題の要求特性に応じた変化が生じることが示されている。さらに、踏み出しの素早さと着地位置の正確性が同時に求められる 1 歩踏み出し運動におけるプレッシャー下の APA の特徴として、主観的努力度は素早さと正確性のそれぞれに対して同等に配分されているにもかかわらず、APA においては、踏み出しの素早さを高めるための変化が優先的に生じることが示された。このことは、プレッシャー下における課題遂行にあたっての主観的な方略と APA の制御の方略に違いが生じることを示す。



Note. 実線の矢印は実験結果が示した関係性を示し、点線の矢印は実験結果から推察された関係性を表す。

図 5-1. プレッシャーが 1 歩踏み出し運動の初期姿勢, APA, ならびにパフォーマンスに及ぼす影響を示すモデル

第 3 の特徴として、プレッシャー下の 1 歩踏み出し運動における変動性の増加という形で着地位置の正確性の低下が生じることを示している。このようなプレッシャーによるパフォーマンスの低下は、音刺激に対する単純反応により開始され、踏み出しの素早さと着地位置の正確性が同時に要求される 1 歩踏み出し運動と、自己ペースにより開始され着地位置の正確性のみが求められる 1 歩踏み出し運動において生じる。そして、このプレッシャー下における着地位置の変動性の増加にいたる過程は、上記の 2 つの課題でそれぞれ異なる可能性が指摘された。まず、音刺激に対する単純反応により開始され、踏み出しの素早さと着地位置の正確性が同時に要求される場合は、自己ペースによる課題と比較して短い APA 時間とプレッシャー下の力発揮の増加に伴う信号依存ノイズの影響により着地位置の変動

性の増加が生じることが示唆された。また、自己ペースにより開始され着地位置の正確性のみが求められる 1 歩踏み出し運動については、プレッシャーにより正確な踏み出し動作の遂行に対して過剰な意識的制御を行ったことが原因である可能性が示された。

5. 本論文の課題と展望

本論文の第 1 の課題として、プレッシャーにより生じる姿勢制御要素の変化がパフォーマンスに及ぼす影響を明らかにしていない点が挙げられる。本論文においては、一貫してプレッシャーにより姿勢制御要素にどのような変化が生じるのかという点についてのみ焦点を当てた。これは、プレッシャーが姿勢制御要素に及ぼす影響を調べた研究がこれまでになされていなかったため、プレッシャーによりどのような変化が生じるのかを明らかにすることが第 1 に必要であると考えられたためであった。したがって、今後の研究では、本論文により示された姿勢制御要素の変化が、その後続く主要運動要素やパフォーマンスに及ぼす影響を調べる必要がある。このような場合には、プレッシャーにより生じた変化を基に事後的な群分けを行い、群間の比較を行う方法が有効であると考えられる (e.g., Sekiya, 2005; 田中・関矢, 2006; Vickers & Williams, 2007)。例えば, Sekiya (2005) は, 20 名の実験参加者に対してダーツ投げを行わせ, プレッシャーによりダーツ投げの得点が低下した 11 名の実験参加者を事後的に抽出して, パフォーマンスの低下につながる動作様式の特徴としてテイクバックにおける運動変位の減少を報告した。このように事後的な群分けを行うことで, 動作様式の変化とパフォーマンスの変化の関係性を調べることができる。同様の方法を用いることで, プレッシャーによる姿勢制御要素の変化がパフォーマンスに及ぼす影響や, パフォーマンスの低下を導く姿勢制御要素の変化を明らかにすることができるだろう。

また、本論文の第 2 の課題として、実験により負荷されたプレッシャーの強度が、現実場

面のプレッシャーの強度と比較して低かった点が挙げられる。プレッシャーが運動スキルに及ぼす影響を調べる上で、実験室において測定を行うことには、条件が統制されている中での微細な変化を調べることができるという利点がある一方で、現実場面と同等の高強度のプレッシャーを負荷することが難しいという欠点も存在する。また、実験室でプレッシャーを負荷する実験においては、用いられるプレッシャーが実験間で異なっている場合が多いため、プレッシャーの強度に関する絶対的な基準を設けることは難しい。したがって、実験による低強度のプレッシャー下で観察された運動スキル遂行の変化のみから、「あがり」のメカニズムを明らかにすることには限界があるといえる。このような問題点に対して、実際に「あがり」の経験を有するアスリートに対してインタビューを行うことで「あがり」のメカニズムを調べる研究も増えてきている (e.g., Gucciardi et al., 2010; Hill & Shaw, 2013; 村山ほか, 2009)。このようなインタビューによる方法は、実験研究のように統制された条件下での微細な変化を客観的に明らかにすることはできないが、現実場面での「あがり」においてどのような変化が生じているのかに迫ることができる。「あがり」を包括的に理解するためには、それぞれの研究手法の利点と欠点を理解した上で、得られた知見を慎重に組み合わせていくことが必要である。

競技スポーツに取り組むアスリートにとって、「あがり」は重要な克服課題である。「あがり」は心理的变化、生理的变化、さらには動作様式の変化などの多様な変化を含んだ複合的な現象であり、その克服には学術的研究に基づく確かな予防法および対処法の開発が不可欠である。以上の課題を踏まえた検討や本論文で示したモデルのさらなる検証および拡張により、プレッシャーが運動スキルの遂行に及ぼす影響や「あがり」のメカニズムの解明につながると考えられる。そして、このメカニズムを明らかにすることで効果的な「あがり」の予防法や対処法の開発がなされ、アスリートの競技力向上や指導方法の改善に貢献することができるだろう。

第 5 章の要約

本論文の目的は、プレッシャーが 1 歩踏み出し運動における初期姿勢と APA に及ぼす影響を調べることであった。そして、この目的のために、1 歩踏み出し運動の開始の様式、踏み出しに求められる素早さや着地位置に求められる正確性といった複数の要求特性の組み合わせを踏まえ、合計 5 つの実験を行った。

プレッシャー下の 1 歩踏み出し運動の初期姿勢の変化の 1 つとして、矢状面体幹角度の前傾とそれに伴う COP 位置の前方への移動があった。この変化は、踏み出しの素早さのみが求められる場合や着地位置の正確性のみが求められる場合には生じず、踏み出しの素早さと着地位置の正確性が同時に求められる場合にのみ生じるものであった。また、素早さと正確性が同時に求められる場合であれば、運動の開始が自己ペースであるか単純反応であるかに関わらず生じるものであった。そして、プレッシャーと初期姿勢の矢状面体幹角度のこのような関係性を生じさせた要因としては課題の難易度が考えられ、課題の難易度が高まることで、プレッシャー下における体幹の前傾が生じることが推察された。

また、プレッシャー下における初期姿勢の変化として、身体動揺の減少が生じることが明らかとなった。そして、この身体動揺の減少は、本研究で用いた課題の要求特性に関わらず生じるものであった。このような変化を生じさせた理由としては、プレッシャーによる認知的負荷の増加やネガティブな情動の喚起が可能性として考えられた。

APA については、踏み出しの素早さや着地位置の正確性といった、課題の要求特性に応じた変化が生じることが明らかとなった。さらに、踏み出しの素早さと着地位置の正確性が同時に要求される場合には、プレッシャー下の APA において、踏み出しの素早さを高めるための変化が優先的に生じることが明らかとなった。

プレッシャー下での運動スキル遂行における動作様式の変化を調べた先行研究では、主要運動要素のみが対象とされ、姿勢制御要素は調べられてこなかった。そして、本研究では、

これまで調べられてこなかった姿勢制御要素における初期姿勢と APA のプレッシャー下における特徴を、複数の課題の要求特性を用いることで包括的に明らかにした。今後は、プレッシャーが姿勢制御要素に影響を及ぼす過程として、本論文では推察するに留まった要因の検証を行うことが必要である。また、プレッシャー下の姿勢制御要素の変化がパフォーマンスに及ぼす影響を検討することも必要である。さらには、現実のプレッシャー場面を対象とした研究から得られた知見と組み合わせることにより、プレッシャーが運動スキルの遂行に及ぼす影響の解明や「あがり」のメカニズムの解明につなげることが期待される。

表 5-1. 各実験のパフォーマンス, 初期姿勢, APA におけるプレッシャーによる変化

		実験 1 自己ペース 素早さと正確性	実験 2 単純反応 素早さと正確性	実験 3-1 自己ペース 素早さのみ	実験 3-2 自己ペース 正確性のみ	実験 3-3 自己ペース 素早さと正確性
パフォーマンス	反応時間	—	変化なし	—	—	—
	踏み出し所要時間	変化なし	変化なし	減少	増加	変化なし
	MRE	変化なし	増加	増加	増加	変化なし
	SRE	変化なし	変化なし	変化なし	変化なし	変化なし
	BVE	変化なし	増加	増加	増加	変化なし
初期姿勢	矢状面体幹角度	前傾	前傾	変化なし	変化なし	前傾
	左右方向 COP 位置	変化なし	変化なし	変化なし	変化なし	変化なし
	前後方向 COP 位置	前方に移動	前方に移動	変化なし	変化なし	前方に移動
	外周面積	—	—	減少	減少	減少
	軌跡長	—	—	減少	減少	減少
APA	運動脚方向 平均床反力	変化なし	変化なし	変化なし	変化なし	変化なし
	運動脚方向 最大床反力	変化なし	変化なし	変化なし	変化なし	変化なし
	後方平均床反力	増加	増加	増加	低下	増加
	後方最大床反力	増加	増加	増加	低下	増加
	運動脚前脛骨筋 平均放電量	—	増加	増加	変化なし	増加
	運動脚ヒラメ筋 平均放電量	—	—	増加	変化なし	増加
	支持脚前脛骨筋 平均放電量	—	増加	増加	変化なし	増加
	支持脚ヒラメ筋 平均放電量	—	—	増加	増加	増加
	運動脚中殿筋 平均放電量	—	変化なし	変化なし	変化なし	変化なし
	運動脚下腿 共収縮率	—	—	変化なし	変化なし	変化なし
	支持脚下腿 共収縮率	—	—	変化なし	増加	変化なし
	APA 時間	変化なし	変化なし	変化なし	変化なし	変化なし

Note. 「—」は測定が行われていないことを示す

引用文献

- 有光興記・今田寛 (1999) 状況と状況認知から見た“あがり”経験 情動経験の特徴による分析. *心理学研究*, 70(1), 30-37.
- Azevedo, T. M., Volchan, E., Imbiriba, L. A., Rodrigues, E. C., Oliveira, J. M., Oliveira, L. F. et al. (2005) A freezing-like posture to pictures of mutilation. *Psychophysiology*, 42(3), 255-260.
- Azuma, T., Ito, T., & Yamashita, N. (2007) Effects of changing the initial horizontal location of the center of mass on the anticipatory postural adjustments and task performance associated with step initiation. *Gait & Posture*, 26, 526-531.
- Balasubramaniam, R., Riley, M. A., & Turvey, M. T. (2000) Specificity of postural sway to the demands of a precision task. *Gait & Posture*, 11(1), 12-24.
- Baumeister, R. F. (1984) Choking under pressure: Self-consciousness and paradoxical effects of incentives on skillfull performance. *Journal of Personality and Social Psychology*, 46, 610-620.
- Beilock, S. L. & Carr, T. H. (2001) On the fragility of skilled performance: What governs choking under pressure? *Journal of Experimental Psychology: General*, 130(4), 701-725.
- Belen'kii, V. Y., Gurfinkel, V. S., & Paltsev, Y. I. (1967) Elements of control of voluntary movement. *Biofizika*, 12, 135-141.
- Bertucco, M. & Cesari, P. (2010) Does movement planning follow Fitts' law? Scaling anticipatory postural adjustments with movement speed and accuracy. *Neuroscience*, 171(1), 205-213.
- Bishop, S. J., Duncan, J., & Lawrence, A. D. (2004) State anxiety modulation of the amygdala response to unattended threat-related stimuli. *The Journal of Neuroscience*, 24, 10364-10368.
- Blanchard, R. J., Flannelly, K. J., & Blanchard, D. C. (1986) Defensive behavior of laboratory and wild *Rattus norvegicus*. *Journal of Comparative Psychology*, 100, 101-107.
- Brenière, Y. & Do, M. C. (1991) Control of gait initiation. *Journal of Motor Behavior*, 23, 235-240.

- Brunt, D., Lafferty, M. J., Mckeon, A., Goode, B., Mulhausen, C., & Polk, P. (1991) Invariant characteristics of gait initiation. *American Journal of Physical Medicine & Rehabilitation*, 70(4), 206-212.
- Brunt, D., Short, M., Trimble, M., & Liu, S. M. (2000) Control strategies for initiation of human gait are influenced by accuracy constraints. *Neuroscience Letters*, 285, 228-230.
- Burton, D. (1988) Do anxious swimmers swim slower? Reexamining the elusive anxiety-performance relationship. *Journal of Sport & Exercise Psychology*, 10(1), 45-61.
- Carpenter, M. G., Frank, J. S., Silcher, C. P., & Peysar, G. W. (2001) The influence of postural threat on the control of upright stance. *Experimental Brain Research*, 138(2), 210-218.
- Carpenter, M. G., Frank, J. S., Winter, D. A., & Peysar, G. W. (2001) Sampling duration effects on centre of pressure summary measures. *Gait & Posture*, 13(1), 35-40.
- Causer, J., Holmes, P. S., Smith, N. C., & Williams, A. M. (2011) Anxiety, movement kinematics, and visual attention in elite-level performers. *Emotion*, 11(3), 595.
- Cooke, A., Kavussanu, M., McIntyre, D., Boardley, I. D., & Ring, C. (2011) Effects of competitive pressure on expert performance: Underlying psychological, physiological, and kinematic mechanisms. *Psychophysiology*, 48(8), 1146-1156.
- Cooke, A., Kavussanu, M., McIntyre, D., & Ring, C. (2010) Psychological, muscular and kinematic factors mediate performance under pressure. *Psychophysiology*, 47, 1109-1118.
- Coombes, S. A., Cauraugh, J. H., & Janelle, C. M. (2006) Emotion and movement: Activation of defensive circuitry alters the magnitude of a sustained muscle contraction. *Neuroscience Letters*, 396, 192-196.
- Cordo, P. J. & Nashner, L. M. (1982) Properties of postural adjustments associated with rapid arm movements. *Journal of Neurophysiology*, 47, 287-302.
- Court, M. L. J., Bennett, S. J., Williams, A. M., & Davids, K. (2005) Effects of attentional strategies and anxiety constraints on perceptual-motor organisation of rhythmical arm movements. *Neuroscience Letters*, 384(1), 17-22.

- Crenna, P. & Frigo, C. (1991) A motor programme for the initiation of forward-oriented movements in humans. *Journal of Physiology*, 437, 635-653.
- Crenna, P., Frigo, C., Giovannini, P., & Piccolo, I. (1990) The initiation of gait in Parkinson's disease. *Motor Disturbances II*, 161-173.
- Davis, J. R., Horslen, B. C., Nishikawa, K., Fukushima, K., Chua, R., Inglis, J. T., & Carpenter, M. G. (2011) Human proprioceptive adaptations during states of height-induced fear and anxiety. *Journal of Neurophysiology*, 106(6), 3082-3090.
- Deikman, A. J. (1966) Deautomatization and the mystic experience. *Psychiatry*, 29, 324-338.
- Dietrich, G., Breniere, Y., & Do, M. C. (1994) Organization of local anticipatory movements in single step initiation. *Human Movement Science*, 13(2), 195-210.
- Duarte, M. & Latash, M. L. (2007) Effects of postural task requirements on the speed-accuracy trade-off. *Experimental Brain Research*, 185, 457-467.
- Ehrenfried, T., Guerraz, M., Thilo, K. V., Yardley, L., & Gresty, M. A. (2003) Posture and mental task performance when viewing a moving visual field. *Cognitive Brain Research*, 17(1), 140-153.
- Ehrlenspiel, F., Wei, K., & Sternad, D. (2010) Open-loop, closed-loop and compensatory control: performance improvement under pressure in a rhythmic task. *Experimental Brain Research*, 201(4), 729-741.
- Eysenck, M. W. (1979) Anxiety, learning, and memory: A reconceptualization. *Journal of Research in Personality*, 13(4), 363-385.
- Eysenck, M. W., & Calvo, M. G. (1992) Anxiety and performance: The processing efficiency theory. *Cognition & Emotion*, 6(6), 409-434.
- Eysenck, M. W., Derakshan, N., Santos, R., & Calvo, M. G. (2007) Anxiety and cognitive performance: Attentional control theory. *Emotion*, 7(2), 336-353.

- Falconer, K. & Winter, D. A. (1985) Quantitative assessment of co-contraction at the ankle joint in walking. *Electromyography and Clinical Neurophysiology*, 25, 135-148.
- Filaire, E., Sagnol, M., Ferrand, C., Maso, F., & Lac, G. (2001) Psychophysiological stress in judo athletes during competitions. *Journal of Sports Medicine and Physical Fitness*, 41(2), 263-268.
- Fitts, P. M. (1954) The information capacity of the human motor system in controlling the amplitude of movement. *Journal of Experimental Psychology*, 47, 381-391.
- Fitts, P. M. & Posner, M. I. (1967) Human performance. Brooks/Cole: Belmont.
- Goggin, N. L. & Christina, R. W. (1979) Reaction time analysis of programmed control of short, rapid aiming movements. *Research Quarterly. American Alliance for Health, Physical Education, Recreation and Dance*, 50(3), 360-368.
- Gucciardi, D. F. & Dimmock, J. A. (2008) Choking under pressure in sensorimotor skills: Conscious processing or depleted attentional resources? *Psychology of Sport & Exercise*, 9(1), 45-59.
- Gucciardi, D. F., Longbottom, J. L., Jackson, B., & Dimmock, J. A. (2010) Experienced golfers' perspectives on choking under pressure. *Journal of Sport & Exercise Psychology*, 32(1), 61-83.
- Hancock, G. H., Butler, M. S., & Fischman, M. G. (1995) On the problem of two-dimensional error scores: Measures and analysis of accuracy, bias, and consistency. *Journal of Motor Behavior*, 27, 241-250.
- Hardy, L. (1990) A catastrophe model of performance in sport. In: Jones, J. G. & Hardy, L. (Eds.) *Stress and Performance in Sport*. John Wiley: New York, pp. 81-106.
- Hardy, L., Mullen, R., & Jones, G. (1996) Knowledge and conscious control of motor actions under stress. *British Journal of Psychology*, 87(4), 621-636.
- Hardy, L. & Parfitt, G. (1991) A catastrophe model of anxiety and performance. *British Journal of Psychology*, 82(2), 163-178.
- Harris, C. M. & Wolpert, D. M. (1998) Signal-dependent noise determines motor planning. *Nature*, 394, 780-784.

- Hasegawa, Y., Koyama, S., & Inomata, K. (2013) Perceived distance during golf putting. *Human Movement Science*, 32(6), 1226-1238.
- 長谷川弓子・矢野円郁・小山 哲・猪俣公宏 (2011) プレッシャー下のゴルフパッティングパフォーマンス: 不安の強度とパッティング距離の影響. *スポーツ心理学研究*, 38(2), 85-98.
- Hickman, D. C. & Metz, N. E. (2014) The Impact of Pressure on Performance: Evidence from the PGA Tour. Available at SSRN 2479015.
- 肥田野直・福原眞知子・岩脇三良・曾我祥子・Spielberger, C. D. (2000a) 新版 STAI マニュアル. 実務教育出版.
- 肥田野直・福原眞知子・岩脇三良・曾我祥子・Spielberger, C. D. (2000b) 新版 State-Trait Anxiety Inventory-Form JYZ. 実務教育出版.
- Higuchi, T. (1998) Motor coordination variability induced by conscious control of movement. *Tohoku Psychologica Folia*, 57, 23-29.
- Higuchi, T. (2000) Distruption of kinematic coordination in throwing under stress. *Japanese Psychological Research*, 42, 168-177.
- Higuchi, T., Imanaka, K., & Hatayama, T. (2002) Freezing degrees of freedom under stress: Kinematic evidence of constrained movement strategies. *Human Movement Science*, 21(5), 831-846.
- Hill, D. M. & Shaw, G. (2013) A qualitative examination of choking under pressure in team sport. *Psychology of Sport and Exercise*, 14(1), 103-110.
- Horslen, B. C., Dakin, C. J., Inglis, J. T., Blouin, J. S., & Carpenter, M. G. (2014) Modulation of human vestibular reflexes with increased postural threat. *The Journal of Physiology*, 592(16), 3671-3685.

- Horslen, B. C., Murnaghan, C. D., Inglis, J. T., Chua, R., & Carpenter, M. G. (2013) Effects of postural threat on spinal stretch reflexes: Evidence for increased muscle spindle sensitivity? *Journal of Neurophysiology*, 110(4), 899-906.
- 市村操一 (1965) スポーツにおけるあがりの特性の因子分析的研究 (I). *体育学研究*, 9(2), 18-22.
- Ilmane, N. & LaRue, J. (2008) Modulation of anticipatory postural adjustments in a complex task under different temporal constraints. *Motor Control*, 12(4), 330-347.
- Ito, T., Azuma, T., & Yamashita, N. (2003) Anticipatory control in the initiation of a single step under biomechanical constraints in humans. *Neuroscience Letters*, 352, 207-210.
- Ito, T., Azuma, T., & Yamashita, N. (2010) Changes of forward step velocity in step initiation from backward and forward leaning postures. *Osaka Research Journal of Physical Education*, 48, 85-92.
- Janelle, C. M., Singer, R. N., & Williams, A. M. (1999) External distraction and attentional narrowing: Visual search evidence. *Journal of Sport & Exercise Psychology*, 21, 70-91.
- Kahneman, D. (1973) Attention and effort. Prentice Hall: Englewood Cliffs.
- Kalin, N. H. (1993) The neurobiology of fear. *Scientific American*, 268, 94-101.
- 金本めぐみ・横沢民男・金本益男 (2002) 「あがり」の原因帰属に関する研究. *上智大学体育*, 35, 33-40.
- Klapp, S. T. (1975) Feedback versus motor programming in the control of aimed movements. *Journal of Experimental Psychology*, 104(2), 147-153.
- Langolf, G. D., Chaffin, D. B., & Foulke, J. A. (1976) An investigation of Fitts' law using a wide range of movement amplitudes. *Journal of Motor Behavior*, 8, 113-128.
- Leteneur, S., Simoneau, E., Gillet, C., Dessery, Y., & Barbier, F. (2013) Trunk's natural inclination influences stance limb kinetics, but not body kinematics, during gait initiation in able men. *PLoS One*, 8, 1-7.

- MacKenzie, C. L., Marteniuk, R. G., Dugas, C., Liske, D., & Eickmeier, B. (1987) Three-dimensional movement trajectories in Fitts' task: Implications for control. *The Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 39, 629-647.
- Martens, R. & Landers, D. M. (1970) Motor performance under stress: A test of the inverted-U hypothesis. *Journal of Personality and Social Psychology*, 16(1), 29-37.
- Martens, R., Vealey, R. S., & Burton, D. (1990) Competitive anxiety in sport. Human Kinetics: Champaign.
- Massion, J. (1992) Movement, posture, and equilibrium: Interaction and coordination. *Progress in Neurobiology*, 38, 35-56.
- Masters, R. S. (1992) Knowledge, knerves and know - how: The role of explicit versus implicit knowledge in the breakdown of a complex motor skill under pressure. *British journal of psychology*, 83(3), 343-358.
- 松田岩男 (1961) 運動選手の性格特性と“あがり”に関する研究. *体育学研究*, 6(1), 355-358.
- Mullen, R. & Hardy, L. (2000) State anxiety and motor performance: Testing the conscious processing hypothesis. *Journal of Sports Sciences*, 18, 785-799.
- Mullen, R., Hardy, L., & Oldham, A. (2007) Implicit and explicit control of motor actions: revisiting some early evidence. *British Journal of Psychology*, 98(1), 141-156.
- Mullen, R., Hardy, L., & Tattersall, A. (2005) The effects of anxiety on motor performance: A test of the conscious processing hypothesis. *Journal of Sport & Exercise Psychology*, 27, 212-225.
- Muraki, Y. (1986) Coaching / Training theory on the jumping events – Text for the IAAF Olympic solidarity deploma coaching course for Asia. International Amateur Athletic Federation.
- 村山孝之・関矢寛史 (2012) スポーツにおける「あがり」の要因と要因間の関係性. *体育学研究*, 57(2), 595-611.

- 村山孝之・田中美吏・関矢寛史 (2009) 「あがり」の発現機序の質的研究. *体育学研究*, 54(2), 263-277.
- 村山孝之・田中美吏・菅井若菜・関矢寛史 (2007) 時間切迫が運動スキルの遂行に及ぼす影響. *体育学研究*, 52, 443-451.
- Murray, N. P. & Janelle, C. M. (2003) Anxiety and performance: A visual search examination of the processing efficiency theory. *Journal of Sport & Exercise Psychology*, 25(2), 171-187.
- 大築立志・鈴木三央・柳原 大 (2011) 姿勢の脳・神経科学 - その基礎から臨床まで - . 市村出版.
- Oudejans, R. R., Kuijpers, W., Kooijman, C. C., & Bakker, F. C. (2011) Thoughts and attention of athletes under pressure: Skill-focus or performance worries? *Anxiety, Stress, & Coping*, 24(1), 59-73.
- Pijpers, J. R., Oudejans, R. R., Bakker, F. C., & Beek, P. J. (2006) The role of anxiety in perceiving and realizing affordances. *Ecological Psychology*, 18(3), 131-161.
- Pijpers, J. R., Oudejans, R. R., Holsheimer, F., & Bakker, F. C. (2003) Anxiety-performance relationships in climbing: A process-oriented approach. *Psychology of Sport and Exercise*, 4(3), 283-304.
- Proffitt, D. R. (2006) Embodied perception and the economy of action. *Perspectives on Psychological Science*, 1(2), 110-122.
- Ramenzoni, V. C., Riley, M. A., Shockley, K., & Chiu, C. Y. P. (2007) Postural responses to specific types of working memory tasks. *Gait & Posture*, 25(3), 368-373.
- Riccio, G. E., Martin, E. J., & Stoffregen, T. A. (1992) The role of balance dynamics in the active perception of orientation. *Journal of Experimental Psychology*, 18(3), 624-644.
- Roelofs, K., Hagenaaars, M. A., & Stins, J. (2010) Facing freeze social threat induces bodily freeze in humans. *Psychological Science*, 21(11), 1575-1581.

- Rohleder, N., Beulen, S. E., Chen, E., Wolf, J. M., & Kirschbaum, C. (2007) Stress on the dance floor: The cortisol stress response to social-evaluative threat in competitive ballroom dancers. *Personality and Social Psychology Bulletin*, 33(1), 69-84.
- Salvador, A., Suay, F., Gonzalez-Bono, E., & Serrano, M. A. (2003) Anticipatory cortisol, testosterone and psychological responses to judo competition in young men. *Psychoneuroendocrinology*, 28(3), 364-375.
- Sasaki, J. & Sekiya, H. (2014) Influence of pressure on a sprint start. *Bulletin of the Graduate School of Integrated Arts and Sciences, Hiroshima University. I, Studies in human sciences*, 9, 1-8.
- Schmidt, L., Cléry-Melin, M. L., Lafargue, G., Valabrègue, R., Fossati, P., Dubois, B. et al. (2009) Get aroused and be stronger: Emotional facilitation of physical effort in the human brain. *The Journal of Neuroscience*, 29, 9450-9457.
- Sekiya, H. (2005) Movement characteristics of a closed skill under pressure. *Journal of Sport & Exercise Psychology*, 27, S137.
- Sidaway, B., Sekiya, H., & Fairweather, M. (1995) Movement variability as a function of accuracy demand in programmed serial aiming responses. *Journal of Motor Behavior*, 27, 67-76.
- Slijper, H., Latash, M. L., & Mordkoff, J. T. (2002) Anticipatory postural adjustments under simple and choice reaction time conditions. *Brain Research*, 924(2), 184-197.
- Stins, J. F. & Beek, P. J. (2007) Effects of affective picture viewing on postural control. *BMC Neuroscience*, 8, 83-90.
- Stins, J. F., Roerdink, M., & Beek, P. J. (2011) To freeze or not to freeze? Affective and cognitive perturbations have markedly different effects on postural control. *Human Movement Science*, 30(2), 190-202.
- Stoffregen, T. A., Hove, P., Bardy, B. G., Riley, M., & Bonnet, C. T. (2007) Postural stabilization of perceptual but not cognitive performance. *Journal of Motor Behavior*, 39(2), 126-138.
- Taggart, P. & Gibbons, D. (1967). Motor-car driving and the heart rate. *British Medical Journal*, 1(5537), 411-412.

- Takakusaki, K., Habaguchi, T., Ohtinata-Sugimoto, J., Saitoh, K., & Sakamoto, T. (2003) Basal ganglia efferents to the brainstem centers controlling postural muscle tone and locomotion: A new concept for understanding motor disorders in basal ganglia dysfunction. *Neuroscience*, *119*, 293-308.
- Tanaka, Y., Funase, K., Sekiya, H., & Murayama, T. (2012) Modulation of corticospinal motor tract excitability during a fine finger movement under psychological pressure: A TMS study. *International Journal of Sport and Health Science*, *10*, 39-49.
- Tanaka, Y., Funase, K., Sekiya, H., Sasaki, J., & Takemoto, T. (2011) Multiple EMG activity and intracortical inhibition and facilitation during a fine finger movement under pressure. *Journal of Motor Behavior*, *43*, 73-81.
- Tanaka, Y., Funase, K., Sekiya, H., Sasaki, J., & Tanaka, Y. M. (2014) Psychological pressure facilitates corticospinal excitability: Motor preparation processes and EMG activity in a choice reaction task. *International Journal of Sport and Exercise Psychology*, *12*(4), 287-301.
- 田中美吏・関矢寛史 (2006) 一過性心理的ストレスがゴルフパッティングに及ぼす影響. *スポーツ心理学研究*, *33*(2), 1-18.
- Tanaka, Y. & Sekiya, H. (2010a) The influence of audience and monetary reward on putting kinematics of expert and novice golfers. *Research Quarterly for Exercise and Sport*, *81*, 416-424.
- Tanaka, Y. & Sekiya, H. (2010b) The relationships between psychological / physiological changes and behavioral / performance changes of a golf putting task under pressure. *International Journal of Sport and Health Science*, *8*, 83-94.
- Tanaka, Y. & Sekiya, H. (2011) The influence of monetary reward and punishment on psychological, physiological, behavioral and performance aspects of a golf putting task. *Human Movement Science*, *30*, 1115-1128.
- 田中美吏・瓜本健介・村山孝之・関矢寛史 (2009) プレッシャーが全身協応運動に及ぼす影響. *スポーツ心理学研究*, *36*(2), 103-114.

- 田中美吏・山本剛裕・関矢寛史 (2010) プレッシャーがボールバウンド課題に及ぼす影響. *人間工学*, 46(2), 102-110.
- van Galen, G. P. & van Huygevoort, M. (2000) Error, stress and the role of neuromotor noise in space oriented behaviour. *Biological Psychology*, 51(2), 151-171.
- Vickers, J. N. & Williams, A. M. (2007) Performing under pressure: The effects of physiological arousal, cognitive anxiety, and gaze control in biathlon. *Journal of Motor Behavior*, 39(5), 381-394.
- Visser, B., de Looze, M. P., de Graaff, M. P., & van Dieën, J. H. (2004) Effects of precision demands and mental pressure on muscle activation and hand force in computer mouse task. *Ergonomics*, 47, 202-217.
- Vuillerme, N. & Nafati, G. (2007) How attentional focus on body sway affects postural control during quiet standing. *Psychological Research*, 71(2), 192-200.
- Vuillerme, N., Nougier, V., & Teasdale, N. (2000) Effects of a reaction task on postural control in humans. *Neuroscience Letters*, 291, 77-80.
- Vuillerme, N. & Vincent, H. (2006) How performing a mental arithmetic task modify the regulation of centre of foot pressure displacements during bipedal quiet standing. *Experimental Brain Research*, 169(1), 130-134.
- Wan, C. Y. & Huon, G. F. (2005) Performance degradation under pressure in music: An examination of attentional processes. *Psychology of Music*, 33(2), 155-172.
- Wang, Y., Zatsiorsky, V. M., & Latash, M. L. (2006) Muscle synergies involved in preparation to a step made under the self-paced and reaction time instructions. *Clinical Neurophysiology*, 117(1), 41-56.
- Weinberg, R. S. & Ragan, J. (1978) Motor performance under three levels of trait anxiety and stress. *Journal of Motor Behavior*, 10(3), 169-176.

- Williams, A. M., Vickers, J., & Rodrigues, S. (2002) The effects of anxiety on visual search, movement kinematics, and performance in table tennis: A test of Eysenck and Calvo's processing efficiency theory. *Journal of Sport & Exercise Psychology*, 24(4), 438-455.
- Wilson, M., Smith, N. C., Chattington, M., Ford, M., & Marple-Horvat, D. E. (2006) The role of effort in moderating the anxiety-performance relationship: Testing the prediction of processing efficiency theory in simulated rally driving. *Journal of Sports Sciences*, 24(11), 1223-1233.
- Wright, C. I., Beijer, A. V., & Groenewegen, H. J. (1996) Basal amygdaloid complex afferents to the rat nucleus accumbens are compartmentally organized. *The Journal of Neuroscience*, 16, 1877-1893.
- Yerkes, R. M. & Dodson, J. D. (1908) The relation of strength of stimulus to rapidity of habit-formation. *Journal of Comparative Neurology and Psychology*, 18(5), 459-482.
- Yoshie, M., Kudo, K., Murakami, T., & Ohtsuki, T. (2009) Music performance anxiety in skilled pianists: Effects of social-evaluative performance situation on subjective, autonomic, and electromyographic reactions. *Experimental Brain Research*, 199, 117-126.
- Yoshie, M., Kudo, K., & Ohtsuki, T. (2008) Effects of psychological stress on state anxiety, electromyographic activity, and arpeggio performance in pianists. *Medical Problems of Performing Artists*, 23(3), 120-132.
- 吉江路子・田中美吏・村山孝之・工藤和俊・関矢寛史 (2011) “あがり” とファインモーターコントロール. *バイオメカニクス研究*, 15(4), 167-173.

謝辞

本論文の作成にあたり、多くの方々より、ご協力とご支援を賜りました。とりわけ、関矢寛史教授には主指導教官として学部ならびに大学院博士課程の前後期の長期にわたり、研究を進めるにあたっての多大なご指導とご助言をいただきました。心より深く感謝いたします。また、副指導教官として論文作成に貴重なご助言をいただきました船瀬広三教授、岩永誠教授に深く感謝いたします。

また、本研究の各実験の実施ならびに本論文の作成にあたり、協力ならびに助言をいただいた関矢研究室の皆様、さらには本研究の各実験に参加していただいた多くの方々に深く感謝いたします。

平成 27 年 8 月

佐々木文予