# 論文要旨

量子力学の父として知られるニールス･ボーア(1885－1962)はかつて、西部劇における決闘シーンから、後から動き出すヒーローが先に動き出す悪党を打ち負かす描写は単なる演出ではなく人間が有する運動特性により生じる必然的な事象である、という興味深い仮説を導き出した（Cline, 1987)。ボーアによる仮説の実験的な検証に初めて着手したWelchman et al.（2010）は、この仮説を「自身のタイミングで動き出す運動（意図的動作）と外部刺激に反応して動き出す運動（反応的動作）の運動時間の違いに関する問題」と捉え、ボタン押し実験を用いて両者の運動時間（movement time: MT）を測定した。その結果、反応的動作のMTは意図的動作のMTよりも20ms程度短くなること（以下、ボーアの法則）を確認したが、その一方で、反応者は相手の動きを知覚するまでに200ms程度の反応時間（reaction time: RT）を要することから、反応者（ヒーロー）が先導者（悪党）を打ち負かすことは困難である、と仮説自体は退ける結論を示した。この先導者と反応者の対人関係はスポーツにおける１対１の攻防にも置き換えられ、そこでもしWelchmanらの結論に従うとするならば、先に動き出した方、すなわち先導者が必ず勝利を収めることになる。しかし実際には、反応者が先導者の動き出しを制する、または出鼻を挫く場面がしばしば観察される。すなわち、Welchmanらが導いた結論とスポーツの実場面で起こる事象との間には矛盾が生じており、ボーアが提唱した仮説は対人スポーツの本質を突く重要な問題提起であるとも言える。本論文はこの矛盾に着目して、反応者の運動制御を対人動作における動き出し（観点１）と自己－他者間における情報伝達（観点２）という２つの観点から検討したものである。

第１章（緒言）の文献研究においては、上記２つの観点に関する先行研究をそれぞれ検討し、それらの研究から問題点および検討すべき課題を明らかにした。まず観点１に対しては、MTの短縮に関するボーアの法則を検討してきた先行研究に共通する問題点が２点挙げられた。１点目は、ボタン押し実験を主とした手部運動でしか検討がなされていない点である。スポーツで用いられる動作は全身運動が基本であり、手部運動と全身運動の間には身体運動における最も重要な法則の一つであるフィッツの法則（Fitts, 1954）が適用されるか否かに代表される相違点が多数挙げられた。よって、このボーアの法則を対人スポーツの状況に適用させるためには、身体重心の移動および空中局面を伴う全身運動で再検討する必要があると考えられた（課題１)。続いて２点目は、動き出し時刻をボタン押し実験で取得したデジタル信号をもとに検出している点である。Welchman et al.（2010）を含むボタン押し実験を用いた研究では、本来アナログデータである動きをデジタルデータ、すなわち０と１という単純な２つの状態に変換していると言える。しかし、動きを生成する力自体はデジタル信号が切り替わる瞬間よりも前に立ち上がっていることから、動き出しの検出方法を見直す必要があると考えられた（課題２)。次に観点２に対しては、観察対象の運動と同期して発生するという運動共感の特徴に着目し、反応者のRTが短縮される可能性について論述した。運動共感は自己組織化理論を基礎として発展してきた対人同期（Okumura et al., 2012; Varlet and Richardson, 2015）とは異なり、安定した周期運動を前提としない単発的な同期を実現させる情報伝達システムと考えられる。しかし、運動共感を提唱した運動学（Meinel, 1960）は体育の指導現場から発展してきた研究分野であるがゆえに、運動共感の実験的な検証はほとんどなされていないことから、運動共感の発生を動きの生成レベルで実験的に捉え、さらにその発生に関与する運動情報を実験的に検討する必要があると考えられた（課題３)。以上の先行研究の検討結果から、１）対象動作にサイドステップを採用し、さらに動き出しを地面反力の立ち上がりから定義することにより、対象動作と運動時間の算出方法がボーアの法則に与える影響およびその生成メカニズムを検討すること、２）運動共感の発生を動きの生

成レベルで実験的に検証し、さらに得られた実験データをもとに、自己－他者間で伝達される運動情報を検討することを目的として提示した。そして続く２つの章で、これらの課題を実験的に検証した。

第２章においては、全身運動におけるボーアの法則とその生成メカニズムを検討することを目的として、その対象動作には複数歩を要するサイドステップを採用した。10名の実験対象者は、静止状態から右方向にサイドステップを踏み、対象者の身長と同距離に引かれた目標線まで出来るだけ早く到達するタスクを実施した。その際、対象者自身のタイミングで動き出す意図的動作条件と前方に設置されたLEDの点灯に反応して動き出す反応的動作条件の２条件を設け、各条件10試技ずつ行われた。そして、取得した全身20ヶ所の身体座標データおよび両脚の地面反力データから、MTをはじめとする４つの変数が算出された。尚、課題２に対応する動き出し時刻の検出は、両脚の地面反力データの加重と抜重に関する一定の条件を設定することにより行われた。その結果、意図的動作のMTよりも反応的動作のMTの方が短くなることが確認され、このことから、身体重心の移動および空中局面を伴う全身運動でもボーアの法則が適用されることが示された。さらに、両動作を詳細に分析すると、速度生成および力発揮パターンの違いが明らかになり、特に動作中における速度の逆転現象が大きな特徴として抽出された。これらの違いから、反応的動作が時間差を生成する局面（反応者の優位段階）、意図的動作が移動距離の差を縮める局面（先導者の優位段階）、反応的動作が第一局面で生成した時間差を守りきる局面（先導者の未完了段階）、というボーアの法則を構成する３つの局面が特徴付けられた。また、動作中における速度の逆転現象は、動作時間が長くなればなるほど本法則の効果が消失していくことを示唆している。よって、いくつかの段階をなす動作よりも、素早く単発的な動作の方がより大きな効果を発揮することが期待できる。さらに本研究では、速度の逆転現象と動き出しパターンの違いから、両動作の運動制御様式の検討まで踏み込んでいる。検討の結果、意図的動作と反応的動作は、Woodworth（1899）が提唱した２つの制御様式のうちの一つである初期インパルスを、さらに細かく二分する制御様式である可能性が示された。

第３章においては、運動共感の発生を動きの生成レベルで実験的に検証することを目的として、垂直跳びの跳躍高調整タスクを採用した。このタスクでは、試技毎に結果の情報（KR）を得ながら、全力時に記録した跳躍高の50%の高さに調整していく。その際、実験対象者は以下２つの条件のうちのどちらかに参加した。１つ目は個人条件（12名）であり、この条件では１名の対象者が自身のKR情報を得ながら４試技行う。そして２つ目がグループ条件（12組）であり、この条件では４名１組のグループを作成し、それぞれの対象者が１試技ずつ行う。このとき、対象者は他者の試技を全力試技も含めて全て観察し、KR情報も全員が共有した。つまり、個人条件では自身の情報を得て跳躍するのに対して、グループ条件では他者の情報を得て跳躍する。その結果、個人条件では仮説通り試技数を重ねるごとに目標跳躍高へと収束する変化パターンが確認されたが、各対象者が１試技ずつ行うグループ条件でも同様にこの変化パターンが確認された。したがって、他者の情報を与えられたグループ条件においても、自己の情報を与えられた個人条件と同様に運動調整を適切に行えることが実験的に示された。このことは、他者の運動情報を自己の動きの制御として扱っていること、すなわち観察対象に運動共感を起こしていることを示唆している。また、グループ条件において運動の観察をさせずにKR情報のみを与えた検証実験では跳躍高が目標に収束しなかったことから、運動共感を発生させるためには結果の情報だけでなく、他者運動を観察することによりその運動に含まれる調整に関する運動情報を得ることが不可欠であることが示された。そして、取得した全身20ヶ所の身体座標データおよび地面反力データを用いてそれらの動作を詳細に分析すると、他者運動の仕事率を有用な運動情報として用いることにより運動共感を起こしている可能性が示された。そしてこの力学量はしばしば、“手ごたえ”といった言葉で表現される（日高、2008；山本、2012）。すなわち、我々が手ごたえとして扱っている感覚を他者の調整動作から獲得し、自己の運動調整に役立てたと考

えられる。

第４章（総括）においては、まず第２章および第３章で得られた実験結果を振り返り、次にそれらを総合的に考察することにより、反応者が先導者よりも早く運動を完了させる可能性を検討し、その概念形成を行った。

第５章では、第４章における実験結果の総合的な考察を踏まえ、本論文の結論を以下のように導いた。
１）対人スポーツにおける反応者が先導者よりも先に運動を完了させる技は、ボーアの法則による運動時間の短縮および運動共感による反応時間の短縮の両者が貢献することによって成立すると考えられる。
２）運動時間の短縮は単発的な動作ほど顕著であり、反応時間の短縮は仕事率の立ち上がりを予測することによって可能になると考えられる。