

博士論文(要約)

対人間相互作用課題における協調ダイナミクス

Coordination dynamics
in interpersonal cooperation and interaction tasks

向井 香瑛

目次

第1章 研究小史と本論文の目的	1
第1節 他者と行為を協調すること	1
第2節 力学系アプローチ	3
身体運動研究における力学系アプローチの端緒	3
力学系アプローチの知覚運動協調への応用	7
第3節 社会的認知機能と対人間運動協調	11
第4節 解決すべき課題	13
第5節 本研究の目的	15
第2章 意図的な対人間協調行為に影響を及ぼす個人内要因（研究Ⅰ）	17
要旨	17
第1節 両手協調運動における協調・学習パターン	19
背景	19
方法	21
結果	23
考察	26
第2節 知覚運動協調における協調パターン	32
第3章 意図的な対人間協調行為における 内的・外的要因（研究Ⅱ）	33
要旨	33
第1節 意図的な対人間協調行為と個人内の運動協調能力	35
背景	35
方法	36
結果	38
考察	38
第2節 意図的な対人間協調行為と社会的認知機能	41
背景	41
方法	43
結果	46
考察	49
第4章 非意図的な対人間運動協調における内的・外的要因（研究Ⅲ）	55
第5章 総合考察	56
参考文献	57

謝辭.....	75
---------	----

第 1 章

研究小史と本論文の目的

第 1 節 他者と行為を協調すること

私たちが他者と行為を協調することは、日常生活からスポーツ、音楽演奏など多岐にわたり、他者とコミュニケーションをとる上で重要な役割を担うとされている (Clark, 1996; 2005; Sebanz, Bekkering, & Knoblich, 2006; Knoblich & Sebanz, 2008; Bekkering et al., 2009; Sebanz & Knoblich, 2009; Walton, Richardson, Langland-Hassan, & Chemero, 2015). 他者との協調は互いの協力を必要とし、協調が成功することで、一人では達成し得ない大きな成果が導かれることがしばしばある。例えば、2人で協力して荷物を運ぶとき、1人で運ぶよりも、より重く、より大きな荷物を運ぶことができる (Sebanz et al., 2006; Schmidt & Richardson, 2007; Keller, Novembre, & Hove, 2014). 運動を学習する場面では、1人で行うよりも、2人で行う方が、学習効率やパフォーマンスが向上する (Ganesh et al., 2014; Takagi, Ganesh, Toshioka, Kawato, & Burdet, 2017). また、複数人でのダンスや音楽演奏経験によって、行為者の創造性¹が促進されることもある (Phillips-Silver & Keller, 2012; D'Ausilio, Novembre, Fadiga, & Keller, 2014). このように、自己と他者の行為を協調する場面では、私たちはどのように息を合わせ、それぞれの行為や運動を協調させているのだろうか? この問いは、多くの研究者の探求心を掻き立ててきた。現在に至るまで、対人間の運動協調に関する研究は、心理学、人類学、認知科学、神経科学、

¹ ここでは、他者と行為を協調する場面において、行為者が即興的に他者の行為に協調する能力のことを創造性と呼ぶ。

物理学など様々な研究領域で行われている。

近年、力学系アプローチ (Dynamical systems approach) を援用した対人間の運動協調課題を用いた研究により、人が他者と行為を協調することの社会的意義が明らかになりつつある。力学系アプローチは、体肢の協調運動に見られる秩序形成が、非平衡解放系での自己組織化現象であることを示した Kelso(1981)の研究を端緒とし発展してきた。この理論的枠組みは、そののち、対人間運動協調、知覚運動協調など、さまざまな場面での人の協調運動へ適用され、個人内・個人間の協調運動ダイナミクス²を統一的に記述することができることが示された。すなわち、力学系アプローチは、対人間の運動協調に関わる個人内要因を同一の理論的枠組みによって定量化することを可能としたのである。

そこで本博士論文では、力学系アプローチを援用した対人間協調課題を用いて、2者間の運動協調ダイナミクスを支える要因を明らかにすることを目的とする。はじめに、対人間運動協調研究に力学系アプローチが適用されてきた背景と、これまで明らかにされてきた知見について概観する。次に、意図的な協調行為と非意図的な運動協調に関わる内的・外的要因について述べる。最後に、本研究から得られた知見についてまとめ、残された課題と今後の応用可能性について言及する。

² 本博士論文において、ダイナミクスとは、変数がある規則や手続きに従って時間の経過とともに状態が変化することを指す。

第2節 力学系アプローチ

身体運動研究における力学系アプローチの端緒

1950年代から、運動制御研究や運動学習研究では、情報処理アプローチ (Information processing approach) を応用した研究が盛んに行われてきた (Shannon & Weaver, 1949; Hick, 1952; Fitts, 1954; Schmidt, R. A., 1975; Schmidt, Zelaznik, Hawkins, Frank, & Quinn, 1979; 筒井, 2000). 情報処理アプローチは、コンピュータ制御に準えて、人間の運動制御を紐解くことを目指した方法論である。ここでは、人間の運動は入力された知覚情報 (視覚, 聴覚など) が脳内において処理され、筋に送られた運動指令によって、筋が収縮することによって運動が生じると考えられている (Rumelhart & McClelland, 1986; Schmidt & Lee, 2005; 工藤, 2000; 山本, 2002; 三浦, 2013).

一方、Bernstein は、人間の運動制御の問題点として、「自由度の問題」があることを挙げた (Bernstein, 1967; 1996). 「自由度の問題」とは、膨大な自由度を持つ身体を制御するために自由度の状態を決定すると同時に、それらを組み合わせて制御することは極めて困難であるという指摘である。この問題に対し、Bernstein は、身体の各部位は独立して制御されているのではなく、他の部位と協働 (synergy) し、身体全体を制御しているという概念を提案した。Bernstein が提案したこの概念が端緒となり、人間の多様で複雑な運動を力学的な観点や生態学的な観点から理解しようとする試みが1980年頃から盛んに行われてきた。その一つが力学系アプローチ (Dynamical systems approach) である。力学系アプローチは、水や雲など、自然界における非平衡開放系の秩序形成の定式化に用いられ、この自発的に生じる秩序形成は、自己組織化 (self-organization) 現象とよばれる (Prigogine, 1967; 1977; Iberall, 1970; Haken, 1978; Haken, 1983). 一方、身体もエネルギーが出入りする非平衡開放系である。したがって、自然界でみられるような秩序形成が、身体運動においても生じると予想され、Kelso (1981) によって、はじめて力学系アプローチが身体運動研究へと拡張された。この報告によって、身体を自己組織化

する系として捉え、その身体運動の時間発展を微分方程式で記述することが可能となった。その後、力学系アプローチは個人内の運動協調に留まらず、他の体肢間協調 (Byblow, Carson, & Goodman, 1994; Carson, Goodman, Kelso, & Elliott, 1995; Carson, Byblow, Abernethy, & Summers, 1996; Mechsner, Kerzel, Knoblich, & Prinz, 2001), 多関節協調 (Kelso, Buchanan, & Wallace, 1991; Buchanan & Kelso, 1993; Bardy, Marin, Stoffregen, & Bootsma, 1999), 知覚運動協調 (Carson et al., 1996; Carson & Riek, 1998; Schmidt et al., 2007; Washburn, Coey, Romero, & Richardson, 2014; Lagarde & Kelso, 2006), や対人間運動協調 (Schmidt, Carello, & Turvey, 1990; Schmidt, Christianson, Carello, & Baron, 1994; Richardson, Marsh, Isenhower, Goodman, & Schmidt, 2007; Varlet, Marin, Lagarde, & Bardy, 2011) で観察される秩序形成を定式化することも可能にした。以下より、力学系アプローチがどのように人間の運動協調の複雑さを紐解いてきたかについて概観する。

Kelso (1981) は、実験参加者に両示指の内転外転運動を用いて、人間の運動において秩序形成が認められることを実証した。この研究では、実験参加者に対し、両示指をリズムカルに内外転させるよう指示した。この時、両示指を左右対称 (同位相) で動かす協調パターンと、交互 (逆位相) に動かす協調パターンの2つの条件を設定し、様々な運動のテンポを設定した。その結果、運動のテンポに応じて異なる協調パターンが出現したことが報告された。運動のテンポが遅い場合は、両協調パターンを安定して遂行することができた。一方で、運動のテンポが速い場合は、同位相の協調パターンは、運動のテンポが遅い時と同様に安定して遂行できたにもかかわらず、逆位相の協調パターンは不安定となった。さらに、テンポが徐々に速くなるにつれて、逆位相の協調パターンは、同位相の協調パターンへと突然変化したことが報告され、この現象は相転移現象 (phase transition) と呼ばれる。このほかにも、相転移直前に両示指の相対位相のばらつきが急激に増加する臨界ゆらぎ (fluctuation) や、運動のテンポを遅いテンポから速いテンポへと変化させたときに相転移が生じる一方で、速いテンポから遅いテンポへと変化させたときには、相転移が生じないという履歴現象 (ヒステリシス) なども観察された。これらの現象は、非平衡開放系の秩序形成における分岐現象と同様であり、つまり、人

間の運動が自己組織化されていることを示す証拠である。Haken ら (1985) は、力学系モデルを立て、これらの自己組織化現象を統一的に記述した。この力学系モデルでは、両示指の相対位相 (φ) を秩序変数、運動のテンポを制御変数とした (式 (1))。

$$\dot{\varphi} = -a\sin\varphi - 2b\sin 2\varphi \quad \text{式 1}$$

ここで、 b/a が運動のテンポを示す。さらに、式 1 を積分することによって、ポテンシャル関数 (式 2) が得られる。

$$V(\varphi) = -a\cos\varphi - b\cos 2\varphi \quad \text{式 2}$$

図 1 で表されるように、式 2 において制御変数である運動のテンポ (b/a) を変化させていくことで、運動のテンポに応じてポテンシャル関数の形状が変化する。運動のテンポに応じて出現する協調パターン (相対位相) は、このアトラクタ地形の中を移動する安定固定点として表現される。これにより、両示指運動の相転移現象、臨界揺らぎ、そして履歴現象の自己組織化現象を力学系の時間発展として、統一的に記述することが可能となった。この力学系モデルは、Haken ら (1985) の著者らのイニシャルをとって、HKB (Haken-Kelso-Bunz) モデルとも呼ばれている。

HKB モデルは、Kelso (1981) が報告した、両示指の運動協調における自己組織化現象を記述するために作られた力学系モデルであったが、その後の研究により、体肢間協調に留まらず、その後、知覚運動協調や対人間運動協調へと拡張されていった。

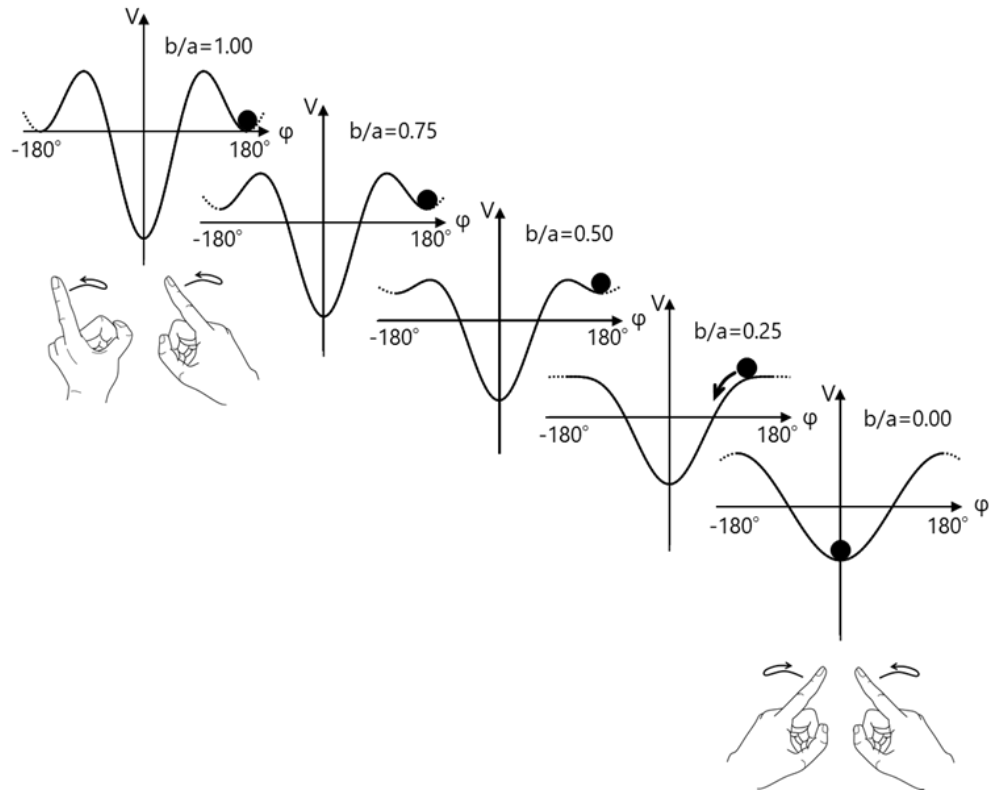


図 1 : HKB モデルのポテンシャル関数のプロット. HKB モデルでは, 両指示の相対位相 (φ) が秩序パラメータ, 運動のテンポが制御パラメータ (b/a) である. $\varphi=0$ 度の場合は同位相で, $\varphi=180$ 度の場合は逆位相での両指示の動きを示している. また, V は安定性の指標であり, V は値が小さくなるほど, φ がより安定することを意味する. したがって, ポテンシャル関数が谷になっている状態は, システムの安定性が高い状態, すなわちアトラクタが存在することを意味する. 運動のテンポが遅い場合 (左から 1 番目および 2 番目: $b/a = 1.00$ または 0.75), $\varphi=0$ 度と $\varphi=180$ 度にアトラクタが存在している. しかし, 運動のテンポが速くなるにつれて (右から 1 番目および 2 番目: $b/a = 0.50$ または 0.25), $\varphi=180$ 度のポテンシャルの谷は徐々になくなり, やがて同位相へと相転移する ($b/a = 0.50$).

力学系アプローチの知覚運動協調への応用

ここでは、力学系アプローチが知覚運動協調研究に拡張されてきた歴史について述べる。Kelsoら(1991)は、徐々に加速するメトロノーム音に合わせて人差し指をリズムカルに屈伸する聴覚運動協調課題を実施した。2つの協調条件が設定され、1つめの協調条件は、メトロノーム音が鳴った時に指を屈曲させるオンビート条件、2つめの協調条件は、音と音の間で指を屈曲させるオフビート条件であった。その結果、オフビート条件よりも、オンビート条件の方が安定して協調することが明らかとなった。またKelso(1981)が報告した相転移(オフビートからオンビートへ)や臨界ゆらぎも観察された。さらに近年では、単一の身体部位に限らず全身を使ったリズム運動においても、力学系アプローチが援用され、HKBモデルで示されるダイナミクスに従うことが示された(Miura, Kudo, Ohtsuki, & Kanehisa, 2011; Miura, Kudo, & Nakazawa, 2013; Miura, Fujii, Yamamoto, & Kudo, 2015)。聴覚運動協調の他にも、視覚運動協調(Schmidt & Richardson, 2007)や触覚運動協調(Kelso, Fink, DeLaplain, & Carson, 2001)においても同様の現象が報告されている。

それでは、このような自己組織化現象は何によって生じるのだろうか。これまで、Kelso(1981)の両示指の運動協調において観察された自己組織化現象は、両手の同じ筋肉を同時に活性化することによって生じると考えられていた。しかし、Mechsnerら(2001)は、視覚情報に影響を受けて生じた現象である可能性を主張した。ここでは、Kelso(1981)が用いた実験パラダイムに、いくつかの協調パターン条件を追加して実験を行った。実験参加者は、両手の手のひらを同じ方向に向けた状態(上向きまたは下向き)および、逆の方向に向けた状態で、以下の2つの協調パターン条件で協調することを求められた。1つめの協調パターン条件は、両示指を左右方向に対称に動かす対称条件、2つめの協調パターン条件は、両示指を左右方向に平行に動かす平行条件である。実験の結果、実験参加者は、平行条件よりも対称条件で運動が安定し、運動のテンポが速くなるにつれ、平行条件から対称条件へと変化し、相転移現象が生じた。一方で、手のひらを逆の

方向に向けた状態は、運動のテンポが速くなるにつれ、平行条件から対称条件へと変化する相転移現象が生じた。Meschsner ら（2001）の報告から、相転移現象は、視覚情報に大きな影響を受けて生じることが示された。

また、Carson ら（2009）は、相転移現象には、重力が大きく影響することを主張した。ここでは、メトロノーム音に合わせて、手首の背屈掌屈運動を行う知覚運動協調課題が行われた。このとき、実験参加者は課題を片手の手のひらを下向きにした状態で行い、重力が知覚運動協調に及ぼす影響について検証した。その結果、運動のテンポを速くすることにより、手首の背屈と音を合わせる協調パターンが、手首の掌屈と音を合わせる協調パターンへと変化する（相転移現象）を示した。この結果は、音が鳴るときに重力方向の運動を行う協調パターンが安定することを示している。Carson ら（2009）が示した結果は、Miura ら（2011）が行った全身運動の知覚運動協調課題においても同様の結果が報告されている。

このように、力学系アプローチが視覚運動協調、聴覚運動協調、触覚運動協調に拡張され、知覚運動協調においても HKB モデルに従う自己組織化現象が報告された。一方で、スポーツ場面においては、非意図的に生じる相転移現象が制約となる可能性も示唆されている。Miura ら（2011）は、熟練ストリートダンサーと非ダンサーを対象に、知覚運動協調課題を実施した。ここでは、ダンサーおよび非ダンサーは、ダンスの基本動作である膝のリズミカルな屈曲伸展運動を、2種類の協調パターン（ダウン：屈曲とメトロノーム音を合わせる、アップ：伸展とメトロノーム音を合わせる）で行うよう指示された。その結果、運動のテンポが遅い場合は、ダンサーおよび非ダンサーともに、両協調パターンで安定して協調運動を行うことができた。運動のテンポが速い場合は、ダウン条件では運動テンポが遅い場合と同様に安定して協調運動を行うことができたのに対し、アップ条件では、運動が不安定になるとともに、ダウン条件へと相転移してしまう結果が示された。この相転移現象がどの運動のテンポで生じるかは、熟達度によって異なり、ダンサーは非ダンサーに比べ、相転移現象が生じる運動のテンポが速かったことが報告されている。

力学系アプローチの対人間運動協調への応用

Kelso (1981) によって報告された体肢間協調の自己組織化現象は、神経解剖学的な結合のない対人間の運動協調においても観察される (Schmidt et al., 1990; Schmidt et al., 1994; Richardson et al., 2007; Oullier & Kelso, 2009; Riley, Richardson, Shockley, & Ramenzoni, 2011). 対人間運動協調における自己組織化現象をはじめて報告したのは、Schmidt ら (1990) とされる。この研究では、隣同士の椅子に同じ方向を向いて座った 2 者は、互いに相手の運動を観察しながら、周期的に片膝を屈曲伸展させるよう指示された。このとき 2 者は、同位相と逆位相の二種類の協調パターンで脚を振るよう指示された。運動のテンポが遅い場合は、どちらの協調パターンにおいても安定して課題を遂行することができた。一方で、運動のテンポが速い場合は、同位相の協調パターンは、運動のテンポが遅い時と同様に安定して遂行できたにもかかわらず、逆位相の協調パターンは不安定となった。さらに、テンポが徐々に速くなるにつれて、逆位相の協調パターンは、同位相の協調パターンへと突然変化し (相転移)、さらには、同位相の協調パターンへ変化する直前に相対位相がばらついたこと (臨界揺らぎ) も報告された。

これらの現象は、単一の身体部位の協調運動に限らず、全身運動においても生じることが報告されている (Varlet et al., 2014; Okazaki et al., 2015; Miyata, Varlet, Miura, Kudo, & Keller, 2017). 例えば、Varlet ら (2014) は、船上で対面および背面で立つ 2 者の身体動揺を計測し、2 者の身体協調を調べた。その時、2 者の姿勢動揺は、2 者が対面して立つ場合に同期することが報告された。さらに、向かい合って立つ実験参加者それぞれの身体動揺の時空間変動が、2 者が背面で立つよりも対面して立つ時に減少したことを報告している。また、Miyata ら (2017) は、リズムカルな全身運動課題を用いて 2 者の運動が自己組織化することを示した。この実験では、2 者が対面または背中合わせで立った状態で、膝の屈曲伸展運動を行うよう教示した。このとき実験参加者は、運動を相手と同期させるのではなく、聴覚メトロノームとを同期するよう求められた。その結果、実

験参加者は、聴覚メトロノームではなく相手の運動に同期してしまうことが報告された。

Miyata ら (2017) は、2 者の運動が自己組織化するだけでなく、個々の運動の時空間変動が減少したことを報告している。運動協調によって、個人の運動の時空間的変動を減少させることは、立位姿勢課題においても報告されている (Varlet & Richardson, 2015)。自己組織化する身体運動の時空間変動の減少は、対人間運動協調だけでなく、知覚運動協調においても生じる。Kudo ら (2006) は、再帰定量化解析を用いて、リズム運動の片端を1 回のリズム音に合わせる (運動周期とリズム音周期が 1:1) の協調パターンよりも、リズム運動の両端それぞれをリズム音に合わせる (運動周期とリズム音周期が 1:2) の協調パターンの方が、アトラクタ強度が高いことを示した。また、Etani ら (2019) は、全身のリズミックな運動協調課題を用いて、リズム音の音量 (音圧) を操作して、運動の安定性がどのように変化するか調査した。その結果、2 つのリズム音の音量が等しい場合よりも、差がある場合の方が、より安定することが示された。すなわち、自己組織される聴覚運動協調は、リズム音の構造に影響を受けることを示唆する結果である。これらの研究によって、身体と外部環境の協調時に、自己組織化現象が観察されるだけでなく、身体運動自体が無意識に変化する可能性が示されている。

さらに、近年、2 者の運動同期は、共通の目的に対して、2 者がそれぞれの行為を協調する場面においても生じることが報告されている。Nalepka ら (2017) は、2 者ペアになり、協力して仮想の羊の群れをゲームフィールドの中心に囲うというマルチエージェント課題を行う実験を行った。この課題では、課題初期では、2 者はそれぞれが自分側のフィールドを優位的に守る (ばらばらに動く) 協調状態を示した。しかし、その協調状態では課題 (協力して羊を囲むこと) を達成できず、結果的に、同時に群れの周りを振動するという協調状態 (同位相) へと変化したことを報告した。

このような対人間運動協調における同期現象は、隣同士で歩いている人、走っている人の足並み (van Ulzen, Lamoth, Daffertshofer, Semin, & Beek, 2008; Nessler & Gilliland, 2009; Zivotofsky & Hausdorff, 2007; Zivotofsky, Gruendlinger & Hausdorff, 2012; Varlet & Richardson, 2015) や、話者と聴者のまばたき (Richardson & Dale, 2005)、協調中の姿勢

や身振り手振り (Bernieri, 1988; Bernieri et al., 1994), 表情 (Meltzoff & Moore, 1977; 1983; Chartrand & Bargh, 1999), 楽器演奏中の演奏者の身体運動 (Goebel & Palmer, 2009; Keller & Appel, 2010), においても生じる。さらに 2 者間の協調に限らず, 音楽ホールにおける観衆の拍手 (Néda, Ravasz, Brechet, Vicsek, & Barabási, 2000) や話芸を鑑賞する観客同士の瞬き (野村と岡田, 2014) といった, 多人数の協調場面においても報告されている。

第 3 節 社会的認知機能と対人間運動協調

前節では, Kelso ら (1981) の研究を端に発し, 発展してきた対人間運動協調研究について概観した。力学系アプローチを応用した一連の運動協調研究により, 2 者の運動は意図せずとも引き込まれてしまうこと, そしてこの現象は非平衡開放系の自己組織化であることが示された。

それでは, なぜ人は他者と運動が同期してしまうのだろうか。人類学者や社会人類学者は, この問いに対して, 運動を同期させることは自己と他者の間の心理的な境界 (psychological boundary) を弱めるような, ポジティブな感情を生み出すと推測している (Scott & Chip, 2009)。これらは, 人が他者と同期して運動した後の, 協調相手に対する印象評価や行動観察によって明らかにされている (Chartrand & Bargh, 1999; Sebanz et al., 2006; Marsh, Richardson, & Schmidt, 2009; Wiltermuth & Heath, 2009; Reddish, Fischer, & Bulbulia, 2013; Zhao, Salesse, Marin, Gueugnon & Bardy, 2017)。これらの研究においても, 力学系アプローチを援用した実験課題が用いられている。例えば, 2 者が上肢のリズミカルな屈伸運動や体を左右に揺らす運動 (Reddish, Fischer, & Bulbulia, 2013), 歩行時の歩容 (Wiltermuth & Heath, 2009) を同期した条件では, 2 者の親和性や協調性が高まることが報告されている。また, 音楽に合わせて他者 (大人の実験者) と一緒に運動した幼児は, 一緒に運動した実験者を助ける向社会的な行動が増える (Kirschner & Tomasello, 2010; Cirelli, Einarson, & Trainor, 2014; Cirelli, Wan, & Trainor, 2014) こと, また, 愛情ホ

ルモンとされるオキシトシンを投与することで、対人間の運動同期が促進される (Mu, Gao, & Han, 2016) ことも報告されている。これらの知見は、保護者-子ども、友人同士、教師-生徒などさまざまな社会的関係で確認されている (Isabella, Belsky, & van Eye, 1989; Julien, Brault, Chartrand, & Bégin, 2000; LaFrance, 1979)。一連の研究によって、他者との運動協調は自己と他者の心理的な繋がりに影響を与えることが示唆されている。

一方、社会的認知機能が対人間運動協調に影響を与えることも報告されている (Varlet et al., 2012; Varlet et al., 2014; Fitzpatrick et al., 2016)。これまで、社会的認知機能の低い人の特性として、社会的文脈と切り離された場面での個人特性の調査が多くなされてきた (Raffared et al., 2015)。しかし、近年、力学系アプローチを援用した対人間運動協調課題を用いて、社会的相互作用場面における個人の行動特性を明らかにしようという試みが盛んに行われている (Varlet et al., 2014; Fitzpatrick et al., 2016)。Varlet ら (2012) は、統合失調症と診断された人と健常者のペア、および健常者同士のペアに対し、手に持った振り子を同位相で振る運動を行うよう求めた。その時、それぞれが好みのリズムで振り子を振る条件 (非意図的な協調) と、ペアが同タイミングで同方向に振り子を振る条件 (意図的な協調) の 2 条件を設定した。その結果、統合失調症と診断された人と健常者ペアは、健常者同士のペアよりも同位相の協調パターンを維持することが難しいことが明らかとなった。さらに統合失調症と診断された人は、運動を協調する相手よりも遅れて動く運動特性をもつことも報告している。また Fitzpatrick ら (2016) は、Varlet ら (2012) と同様の実験パラダイム (振り子課題) を用いて、自閉症スペクトラム症と診断された人が対人間運動協調課題において障害を持つことを報告している。この研究では、自閉症スペクトラム症と診断された人と健常者のペア、および健常者同士のペアに対し、2 人で振り子を同タイミングで逆方向 (逆位相) に振る運動を行うよう求めた。その結果、自閉症スペクトラム症の患者と健常者のペアは、健常者同士のペアよりも逆位相同期を維持することができなかった。社会的認知機能の低いとされる自閉症スペクトラム症と診断された人と健常者のペアが、健常者同士のペアよりも低い対人間運動協調パフォーマンスを示すという知見は Varlet ら (2012) の報告と同様の結果である。一

方、自閉症スペクトラム症と診断された人の対人間運動協調中の運動特性は、統合失調症と診断された人の運動特性とは異なっていた。Varlet ら (2012) の報告では、統合失調症と診断された人は相手 (健常者) より決して先に動くことがなかった一方、Fitzpatrick ら (2016) は、自閉症スペクトラム障害と診断された人が、相手 (健常者) よりも先行して動く協調特性を示した結果を報告している。

上述したように、力学系アプローチを援用した対人間運動協調課題を用いた研究は、なぜ人は他者と行為を協調するのか、という問いに取り組んできた。一連の研究によって、人同士が行為や動作を協調することの社会的意義が明らかになりつつある。

第 4 節 解決すべき課題

ここまで、人と人が身体を協調させることは、社会的な相互作用において必要不可欠であること、そして、その一端が力学系アプローチを援用した対人間運動協調課題によって明らかにされてきたことについて述べてきた。さらに、対人間運動協調には社会的認知機能が深く関与することについて述べた。ここからは、これまでの対人間運動協調研究がまだ明らかにしていない点について言及し、最後に、本研究の目的を述べて本章を締める。

力学系アプローチを援用することにより、人間の協調運動が自己組織化するという新たな側面が明らかになってきた。Kelso (1981) が報告した両示指の運動協調の自己組織化現象は、個人内の運動協調に留まらず、知覚運動協調や対人間運動協調においても観察された。つまり、力学系アプローチは、個人内・個人間の協調運動ダイナミクスを統一的に記述することが可能な理論的枠組みである。しかし、これまでの対人間運動協調研究の多くは、力学系アプローチを援用した協調課題を用い、2 者の運動が自己組織化することを報告したに留まる。前述の通り、私たちは必ずしも自己と他者の行為をうまく協調できるわけではなく、協調できない場面も存在する。このような、行為者がうまく

く協調できた場面、そしてうまく協調できなかった場面にはどのような要因が関与するかについて追究した研究は少なく、なぜ「息が合う人」と「息が合わない人」がいるかについては未だ不明な点が多い。

さらに、社会的認知機能の低い人が対人間運動協調において障害を示すことを示した先行研究では、社会的認知機能に障害があると診断された人（統合失調症、自閉症スペクトラム症など）を対象に行われてきた（Varlet et al., 2012; Fitzpatrick et al., 2016）。これらの研究では、社会的認知機能の低い人は、うまく他者と協調できないという考えに基づいて研究が行われている。一方、社会的認知機能の組み合わせを考慮することによって、対人間協調パフォーマンスが高まる、という研究結果も報告されている（Schmidt et al., 1994）。Schmidt らは、社会的スキル別にペアを作り（社会的スキルの高い者同士のペア・社会的スキルの高い者と低い者のペア・社会的スキルの低い者同士のペア）、手に持った振り子を逆位相で振る、という対人間運動同期課題を実施した。その結果、社会的スキルの高い者と低い者のペアが、最も逆位相を維持することができたことを報告している。このように、対人間運動協調のパフォーマンスに関与する社会的認知機能の組み合わせに言及した研究は、筆者が調べた範囲では Schmidt ら（1994）の研究以外に見あたらず、両者の関係については十分な検証がなされていない。さらに、Schmidt ら（1994）の行った実験においても、解決すべき問題が残されている。それは、Schmidt ら（1994）の報告した知見が、多様な社会的認知機能が交錯する現代社会（Baron-Cohen, Wheelwright, Skinner, Martin, & Clubley, 2001; 若林と東條, 2004; Baron-Cohen, Hoeksta, Knickmeyer, & Wheelwright, 2006; 若林ら, 2007）を反映しているわけではないという点である。Schmidt ら（1994）の研究では、恣意的に社会的スキルの高い人と低い人を集めて行われていた。したがって、この知見が臨床診断を受けていない人（さまざまな社会的認知機能スキルを持つ人）を含めて実験を行った場合にも、同様に適用されるのかについては不明である。

また、これまでの対人間運動協調研究で用いられてきた実験課題についても、発展の余地が残っていると考える。対人間運動協調について研究では、その多くが、2 者が運

動を同期させる対人間運動協調課題を用いている。しかし、実際の対人協調場面では、行為を協調する2者は、運動を同期させるだけでなく、それぞれの行為を独立して行いながら協調している (Sebanz et al., 2006)。したがって、運動同期課題では、Sebanz ら (2006) のいう協調場面を十分に反映できていない。行為を協調する2者がそれぞれの行為を独立して協調する場面、すなわち、より複雑な協調行為を求められる場面での協調パフォーマンスに関わる要因についてはいまだ明らかになっておらず、解決すべき問題である。

前節までは力学系アプローチを援用した対人間運動協調研究について述べ、さらに本節では、残された課題について言及した。次節では、これらの課題に対する解決方法および本研究の目的を述べる。

第5節 本研究の目的

そこで本研究では、対人間運動協調における協調ダイナミクスに関わる要因を明らかにすることを目的とした。この目的のために、力学系アプローチを援用した対人間運動協調課題を用いた。日常生活やスポーツ場面、芸術場面で他者と相互作用するとき、人は自己と他者の行為をうまく協調しなければ、共通の目的を達成することはできない。研究Iおよび研究IIでは、このような、意図的な協調行為における協調ダイナミクスに関わる要因を明らかにすることを目的とする。この目的のために、2者で90度の相対位相を作り出す対人間運動協調課題を用いた。この対人間協調課題における協調ダイナミクスについて、以下の2つの仮説を立てた。一つは、ペア内で個人内の協調能力が高い人が一人でも存在すれば、対人間協調が円滑に行われるという仮説である。もう一つは、Schmidt ら (1994) が報告したように、社会的認知機能の組み合わせが対人間運動協調に影響を与える可能性があるという仮説である。これら2つの仮説を検証するために実験を行った。

また、他者との意図的な相互作用中に、非意図的な協調（同期）が生じ、その非意図的な同期は、社会的相互作用において重要である。そこで、研究Ⅲでは、非意図的な協調行為中の協調ダイナミクスに関わる要因を明らかにすることを試みる。この目的のために、対面して立位姿勢を維持する対人間運動協調課題を用いた。ここでは、以下の2つの仮説を検証する。一つ目は、2者の相対距離に応じて2者の身体協調（ここでは、身体同期）が変化するという仮説である。二つ目は、意図的な対人間運動協調と同様に、社会的認知機能の組み合わせが非意図的な対人間協調に影響を与えるという仮説である。これら2つの仮説を検証するために実験を行った。

第 2 章

意図的な対人間協調行為に影響を及ぼす個人内要因 (研究I)

要旨

ここでは、意図的（目標志向的）な対人間運動協調における協調パフォーマンスが個人の運動能力によって説明される可能性を考え、力学系アプローチを援用した個人内の運動協調課題を行い、個人内の協調能力を定量化した。本研究では、2者の上肢の周期的な運動によって90度の相対位相を作り出す対人間運動協調課題を意図的な対人間運動協調課題として設定した。そして、その協調パフォーマンスに関与すると考えられる、個人内の協調能力を、両手協調課題および知覚運動協調課題を用いて調査した。

はじめに、24名の実験参加者を対象に、両手の左右方向の周期的運動を用いて90度の相対位相を作り出す両手協調課題を実施した（第1節）。個人の協調能力は90度の相対位相を2回連続して作り出すことができた試行数から定量化した。その結果、個人の運動能力は実験参加者によって異なることが明らかとなった。また、90度の相対位相を作り出すまでの学習パターンについて検証したところ、個人の運動能力と同様に参加者によって異なることが明らかとなった。学習パターンについて詳細に検証を行った結果、①人が生得的に引き込まれる同位相や逆位相から徐々に両手の位相をずらしていく、②同位相や逆位相に引き込まれることなく探索的にさまざまな相対位相を作り出す、という2つの学習パターンが存在することが明らかとなった。

次に、15名の実験参加者を対象に、モニター上を左右に周期的に動く視覚刺激に対して、以下の4つの相対位相を作り出すように利き手を動かす知覚運動協調課題を実施

した（第2節）。（1）同位相条件：0度（周期ずれなし）、（2）逆位相条件：180度（1/2周期のずれ）、（3）リード条件：90度（視覚刺激よりも1/4周期先行する）、（4）フォロー条件：270度（視覚刺激を1/4周期後する）。また、速度条件は、1.5Hz、2.0Hz、2.5Hzの3条件を設定した。個人内の協調能力は、それぞれの協調条件で求められる相対位相 ± 30 度の範囲にある相対位相を成功相対位相とし、この成功相対位相が試行内で現れる割合（成功割合）によって評価した。その結果、フォロー条件よりもリード条件の方がうまく協調できないことが明らかとなった。また、この協調パターンの非対称性は運動の速度に依存して変化することが明らかとなった。

第1節 両手協調運動における協調・学習パターン

背景

本研究では、個人内の運動能力が意図的（目標志向的）な対人間運動協調の協調パフォーマンスの要因となる可能性を検証する、という目的に先立ち行った、個人内の運動課題について報告する。ここでいう意図的な対人間運動協調課題とは、2者の上肢の周期的な運動によって90度の相対位相を作り出す課題である（詳細は研究IIを参照）。本節では、この意図的な対人間運動協調課題に関わる個人内の運動協調能力を、力学系アプローチを援用した両手協調課題から定量化した。背景では、個人の運動協調能力を両手協調課題によって定量化できる理由について、関連研究を概観しながら述べる。

意図的な対人間運動協調場面での協調パフォーマンスは何によって決まるのだろうか。対人間の協調パフォーマンスを決める要因の一つとして、個人内の運動能力が考えられる。例えば、テニスやバドミントン、卓球など2者でラリーを行う場面では、熟練者同士のペアは初心者同士のペアに比べて、ラリーを長く続けることができるだろう。また、ペアの中に熟練者が一人でもいる場合、そのペアは初心者ペアに比べて、ラリーを長く続けることができると考えられる。すなわち、個人内の運動能力が、2者で運動協調を行った場合の協調パフォーマンスを左右する可能性がある。このような対人間運動協調パフォーマンスに関わると考えられる個人内の協調能力を定量化するためには、個人内の協調パフォーマンスに熟達差が生じる、つまり、個人内の協調パフォーマンスに個人差が生じる課題を用いる必要がある。そこで本研究では、力学系アプローチを援用した個人内の体肢間協調課題を採用する。

力学系アプローチを援用した両示指の協調課題では、人の体肢間の運動は、非意図的に同位相および逆位相の協調パターンに引き込まれてしまうことが報告されている

(Kelso, 1981). 言い換えれば, 人は内在的に同位相と逆位相という協調パターンを保有している. したがって, 新たな協調パターンを作り出すためには, 固有の安定性を持った協調パターンから別の協調パターンを獲得する学習が必要である. Zanone & Kelso (1992) は, 両手のリズム的な運動によって, 90度の相対位相を作る両手協調運動を運動学習課題として使用し, 人が新規の協調パターンを学習する過程を記述した. この両手協調課題は, 実験参加者の多くが課題に未習熟であること, そして人が同位相・逆位相の協調パターンに引き込まれる内在的なダイナミクスを有するということから, 学習の過程を記述しやすいという利点を持ち, その後の運動学習研究の発展に寄与してきた. 例えば, どのようなフィードバック情報が運動学習に効果的であるかについての研究 (Swinnen, Walter, Lee, & Serrien, 1993; Swinnen, Lee, Verschueren, Serrien, & Bogaerds, 1997a; Swinnen, Lee, Verschueren, Serrien, & Bogaerds, 1997; Kelso & Zanone, 1992; Hurley & Lee, 2006) や文脈干渉効果 (contextual interference effect) に関する研究 (Shea & Morgan, 1979; Tsutsui, Lee, & Holdges, 1998) などによって, 効果的な練習方法が考案されてきた. これらの研究では, 個人の特徴を覆い隠し, 平均化したデータによって運動学習の過程を記述する研究手法が主流であった. しかし学習の方略を理解するためには, 個人の学習の特徴を捉えることの必要性も主張されている (Zanone & Kelso, 1997; Biryukova & Brill, 2008; Kostrubiec, Zanone, Fuchs, & Kelso, 2012). Zanone & Kelso (1997) は, 両手協調課題を行う際, 固有の学習プロセスが存在することを示し, この学習プロセスは内在的なダイナミクスの個人差によって生じる可能性を示した. 内在的なダイナミクスは, 学習者がこれまでに経験してきた運動経験や運動能力に影響を受けるとされ (Kelso, 1995), 異なる内在的なダイナミクスを持つ学習者が同一の運動学習課題を行ったとしても, 異なる振る舞い, すなわち, 異なる学習プロセスが生じると考えられている. したがって, 異なる学習プロセスが存在する課題を用いることにより, 個人内の運動協調能力を定量化することができる可能性がある. それだけでなく, この課題によって個人内の運動協調能力の個人差を明らかにすることができれば, 対人間運動協調に関わる個人内要因として用いることができる.

そこで、本研究では、対人間運動協調に関わる個人内要因として、個人内の運動協調能力を定量化することを目的とした。この目的のために、Zanone & Kelso (1992) に準じ、両手で 90 度の相対位相を作り出す両手協調課題を実施した。

方法

実験参加者

実験参加者は、20 歳から 27 歳の大学生および大学院生の計 24 名（男子 12 名，女子 12 名）であった。24 名のうち，男性は 12 名，女性は 12 名であった。平均年齢は 21.04 歳（標準偏差：1.04 歳）であった。

実験装置

本研究では、両上肢の左右方向の周期的な運動を用いて、90 度の相対位相を作り出す個人内の両手協調課題を行った。図 2 は、実験のセットアップ、および実験装置の詳細を示した図である。2 台の金属プレートが机の上に設置された。2 つの平行な金属レールが金属プレート上に取り付けられ、その上にボールベアリングによって接触するスライドプレートが乗せられた。左右 2 つのスライドプレート上には、それぞれハンドルが直立して取り付けられた。さらに金属プレート上には、実験参加者が実際に往復運動させる範囲を示すために、運動範囲の内側と外側に「IN」と「OUT」の表示が設けられた。左右の実験装置にそれぞれ表示されている「IN」と「OUT」の距離は 9cm であり、「IN」表示の内側及び「OUT」表示の外側それぞれ 3.5cm のところにストッパーが取り付けられた。したがって、左右の実験装置の可動範囲がそれぞれ 16cm であった。さらに、レールと平行に回転式ポテンシオメータ (rotary potentiometer) が接続された。実験参加者は 2 つのハンドルの中央に、身体の中心が位置するように椅子に座った。実験参加者は、椅子の位置や高さ、また金属プレートの位置を、快適だと思える位置や高さに自由に調節することができた。スライドプレートの位置情報は、回転式ポテンシオメータから

取り込まれ、運動スキル収録プログラム（竹井機器工業社）により、連続線としてコンピュータのモニターに表示された。表示される図は右手の位置が x 軸を、左手の位置が y 軸をそれぞれ表す。両上肢の相対位相を 90 度に保つことができた場合にコンピュータのモニター上に正円は描かれるように数値変換され、ディスプレイ上に描画される設定であった。1 試行は 10 秒間であった。実験参加者は外部メトロノーム音に合わせて、両上肢の左右方向の周期的運動を行うよう指示された。外部メトロノーム音の周波数は 1.25Hz であった。

手続き

実験参加者は実験室に入ったのち、実験の詳細について実験者から説明を受けた。実験参加者は、2 台の金属プレートが置かれた机の前に設置された椅子に座り、両手協調課題を行うよう指示された。椅子の高さおよび 2 台の金属プレートの位置は、実験参加者の快適な位置に動かすことができた。実験参加者は、両手協調課題を行う前に、目の前のモニターに表示されるリサーチ図に関して、以下の説明を受けた。

- 1) 両上肢を左右対称に動かした場合は、モニター上に右上がりの直線が描かれる。
- 2) 両上肢を左右反転して動かした場合は、モニター上に左上がりの直線が描かれる。
- 3) 両上肢を 45 度の相対位相で動かした場合は、モニターに右上がりの楕円形が描かれる。
- 4) 両上肢を 90 度の相対位相で動かした場合は、モニターに正円が描かれる。
- 5) 両上肢を 135 度の相対位相で動かした場合は、モニターに左上がりの楕円形が描かれる。

運動のテンポを統制するため、片方の手が「IN」および「OUT」にくるときに、外部メトロノーム音に合わせて指示した。実験の日程については、3 日間連続（時間は不揃い）で行った。1 日目に練習試行を 5 試行を行い、習得試行を 1 日 45 試行（15

試行×3 セット) を行った。2 日目と 3 日目は習得試行 45 試行 (15 試行×3 セット) のみを行った。

データ取得方法

スライドプレートの位置 (実験参加者の両上肢の位置) は、回転式ポテンショメータから取り込まれた。その後、運動スキル収録プログラム (竹井機器工業社) を通して、コンピュータに取り込まれ、試行ごとに記録された。記録されたデータのサンプリング周波数は 200Hz であった。

データ解析

両手協調課題において、成功試行が 2 試行連続で現れるまでの試行回数を、パフォーマンスの指標として用いた。成功試行は、試行内の平均相対位相が 80 度~100 度、または -100 度~-80 度の間にある試行として定義した。両上肢 (2 つのハンドル) の相対位相は、点推定を使用して計算された。はじめに、左ハンドルの動きの 1 周期 (つまり、左ピークから左ピークまでの持続時間) を 360 度に変換した。次に、右ハンドルが左ピークに到達した時間が 360 度のうち何度にあたるかを計算した。相対位相は、0 度~360 度を -180 度~180 度に変換した。

結果

両手協調課題における学習の個人差

全参加者の成功までの試行回数の平均値は、56.5 (標準偏差: 38.1) 回であった。成功までの試行回数が最も多かった実験参加者は 135 回で、最も少なかった実験参加者は 10 回であった。成功までの試行回数が 10 回の実験参加者は 2 名いた。これらの結果は、90 度の相対位相を習得するまでにかかる試行回数は、実験参加者によって異なることが明らかとなった。このことは、両手協調課題を用いることで、個人の運動協調能力を

定量化することができ、さらに、定量化された個人内の能力は、対人間運動協調に関与する要因として利用できる可能性を示す。

多様な運動学習ダイナミクス

本課題において、学習するまでにかかった試行回数は個人によって異なることが明らかとなった。そこで、さらに詳細に運動学習ダイナミクスを調査するため、相互相関解析を用いて学習ダイナミクスの記述を行った。相互相関値は、両手の運動の動きの時空間的な類似性を示す。相互相関値のピークが出現するときの時間ずれは、両手の動きの類似性が最も大きいときの両手の相対位相を示す。Zanone & Kelso (1997) が主張するように、固有ダイナミクスによって、学習中の振る舞いに個人差が生じるならば、これら2つの値（つまり、相互相関における最大ピーク値と最大ピーク値での時間遅れ）の時間変化のパターンは一意に決まらず、個人に依存すると仮定した。

そこで学習中の振る舞い、すなわち、学習がどのように進むかについて明らかにするために、取得された両上肢の位置データに関して、試行ごとに相互相関解析を行った。次に、試行ごとに最大の相互相関値が現れた時の相互相関値と時間遅れを算出した。この時、相互相関値と時間遅れは、参加者それぞれの成功までの試行について算出した。相互相関値は fisher の z 変換後の相互相関値を用いた。次に、全参加者の最大の相互相関値が現れた時の相互相関値と時間遅れをまとめ、全参加者のデータに関して k-means 法によってクラスタ分類をした。k-means 法 (k-平均法) とは、クラスタ内での分散が小さく、クラスタ間では分散が大きくなるようにデータをグルーピングする非階層的クラスタ分析の一つである。このとき、作成するクラスタ数はあらかじめ指定する。本研究では、4つのクラスタに分類した。k-means 法の手順は以下の通りである。

- 1) 全ての相互相関値および時間遅れのデータからランダムにデータを選び、抽出されたデータの重心を初期値として定める。
- 2) 各データから最も近距離にある重心点を求め、クラスタを構成する。

- 3) 2) の手順を各クラスターで実行する。
- 4) 2) および 3) を複数回 (事前に指定) 繰り返して行い, 重心の位置が変化しなくなるまで繰り返す。

以上の手順を踏み, 分類されたクラスターを, 個人のデータに当てはめ, それぞれのクラスターに当てはまるデータが, 全体のデータのうちのどの程度占めるかについて調べるために, 各クラスターに存在するデータの割合を算出した。

図 3 は, 2 名の実験参加者の全試行の相互相関解析のプロット図である。図 3 から明らかなように, 90 度の相対位相を習得するまでの学習のプロセスには個人差が存在する。また, 図 4 は, 実験参加者ごとの最大の相互相関値が現れた時の相互相関値と時間遅れのプロット図である。ここでは, 最大の相互相関値が現れた時の相互相関値および時間遅れを, 成功までの試行回数分プロットしている。図 5 は, 図 4 で示した, 実験参加者ごとの成功までの試行回数分の相互相関値および時間遅れを, 全員分まとめ, さらに, k-means 法によってクラスター分類を行った結果である。

図 6 より, 高い相互相関値を持つクラスター 1 および 2 の割合が比較的高い実験参加者と, クラスター 1 および 2 の割合が比較的低い実験参加者がいることが明らかとなった。前者は, 高い相互相関値を維持したまま, 正しい相対位相 (-90 度または 90 度) に徐々に相対位相をずらしていく学習パターン (図 3A) を示す運動学習者であり, 後者は, 学習初期は相互相関値が低い, すなわち様々な相対位相を探索しながら正しい相対位相 (-90 度または 90 度) を作り出す学習パターン (図 3B) を示す運動学習者であった。これらの学習パターンを分類するために, 前者をクラスター 1 および 2 の割合が 8 割以上ある場合とした。全学習者をクラスター分類した結果, 高い相互相関値を維持したまま正しい相対位相 (-90 度または 90 度) に徐々に相対位相をずらしていく学習パターンを示した運動学習者は, 24 名中 16 名であり, それ以外の運動学習者は 24 名中 8 名であった。それぞれの学習パターンを示す学習者の数に差があるかどうかを調べるため, カイ 2 乗検定を行った結果, 帰無仮説を棄却しないことが示された ($\chi^2 [1] = 31.89, n.s.$)。

この結果は、それぞれの学習パターンを示す運動学習者の数には差がないことを意味する。

考察

本研究では、両手協調課題を用いて、運動協調能力に個人差が生じるかについて検証した。実験参加者は、両手の左右方向の周期的な運動を行い、-90度または90度の相対位相を作り出すことを求められた。運動協調能力は、正しい90度の相対位相を2試行連続で作出すまでにかかった試行数から評価した。その結果、運動協調能力は個人によって異なることが明らかとなった。さらに、正しい相対位相を作り出すまでの学習パターンにも個人差が生じることが明らかとなった。

学習プロセスの個人差

本研究では、対人間運動協調に関わる個人内要因として、個人の協調能力が考えられると仮定し、その能力を定量化するために両手協調課題を行った。この両手協調課題は、これまで運動学習研究で多く用いられてきた課題である。これまでの運動学習研究では、効果的なフィードバック情報や文脈干渉効果を調べるために、学習者特有の特徴を覆い隠し、平均化したデータによって運動学習の効果を検証する研究手法が多く用いられてきた (Swinnen et al., 1993; Tsutsui et al., 1998)。しかし、Zanone & Kelso (1997) は、両示指の運動協調課題を用いて、様々な相対位相を獲得する場合、学習プロセスは学習者によって異なることを報告し、さらに、学習プロセスの差異は、内在的なダイナミクスの個人差に依存して生じることを明らかにしている。Zanone & Kelso (1997) は、学習課題を行う前に、両示指の協調課題を様々な相対位相で実施し、実験参加者ごとの内在的なダイナミクスを定量化した。そのうち、90度の相対位相を学習させる運動学習課題を行った。その結果、学習課題で獲得する相対位相と、学習する前に安定している相

対位相との距離に応じて、HKB モデル (図 1) のポテンシャル関数の形状の変化の仕方が異なることが明らかとなった。すなわち、内在的なダイナミクスと獲得する相対位相の関係性が、学習プロセスを決定する要因であることを示唆している。

本研究においても、Zanone & Kelso (1997) と同様に、学習プロセスが実験参加者によって異なるという結果が示された。それだけでなく、学習プロセスは、2つのパターンに大別された。一つの学習プロセスは高い相互相関値を維持したまま、正しい相対位相に徐々に近づいていく学習パターンであり、もう一つの学習プロセスは、相対位相を探索しながら正しい相対位相 (-90 度または 90 度) を作り出す学習パターンであった。このような学習プロセスの個人差が生じた理由として、Zanone & Kelso (1997) の主張する、内在的なダイナミクスが一因と考えられる。しかし本研究では、事前に内在的なダイナミクスの調査を行っていないため、内在的なダイナミクスと学習プロセスの関係については考察の域を出ない。したがって、内在的なダイナミクスが学習プロセスにどのように影響を及ぼした可能性について検証することは、今後の明らかにすべき課題である。

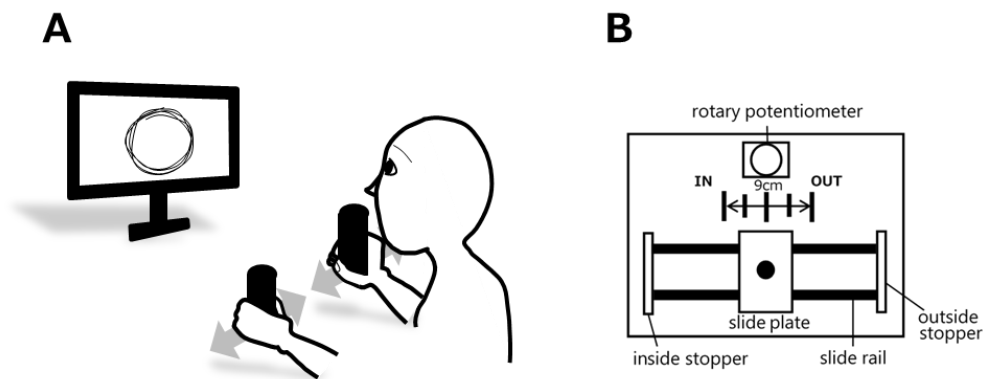


図 2: (A) 実験のセットアップ図. 実験参加者は、モニターの前に置かれた椅子に座り、スライドプレートに垂直に取り付けられたハンドルを、それぞれの手で握った. (B) スライドプレートの詳細図. 「IN」と「OUT」の間は9cmであった. 「IN」表示の内側及び「OUT」表示の外側それぞれ3.5cmのところにとッパ (outside stopper) が取り付けられた. したがって、スライドプレートの可動範囲は16cmであった. レールと平行に回転式ポテンシオメータ (rotary potentiometer) が接続された.

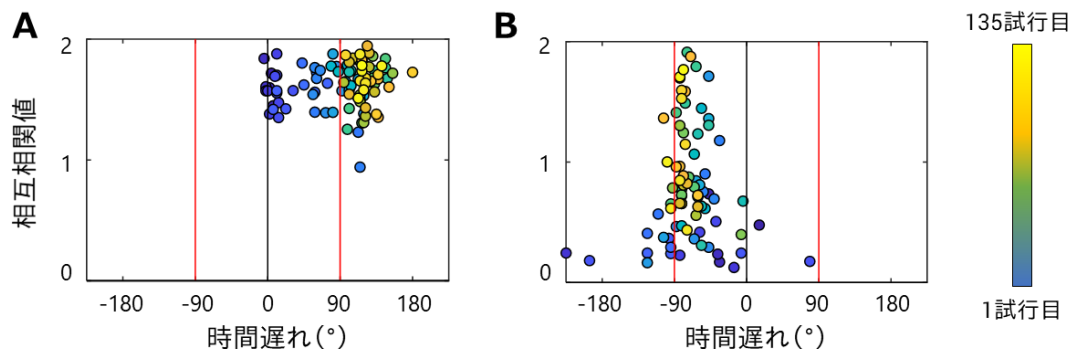


図 3: 相互相関解析の典型例. 青色から黄色にかけて試行の時系列で示される. (A) この実験参加者は、高い相互相関値を維持したまま、正しい相対位相 (90 度) に徐々に相対位相をずらしていく学習パターンを示した. (B) この実験参加者は、学習初期は相互相関値が低い、すなわち様々な相対位相を探索しながら正しい相対位相 (-90 度または 90 度) を作り出す学習パターンを示した.

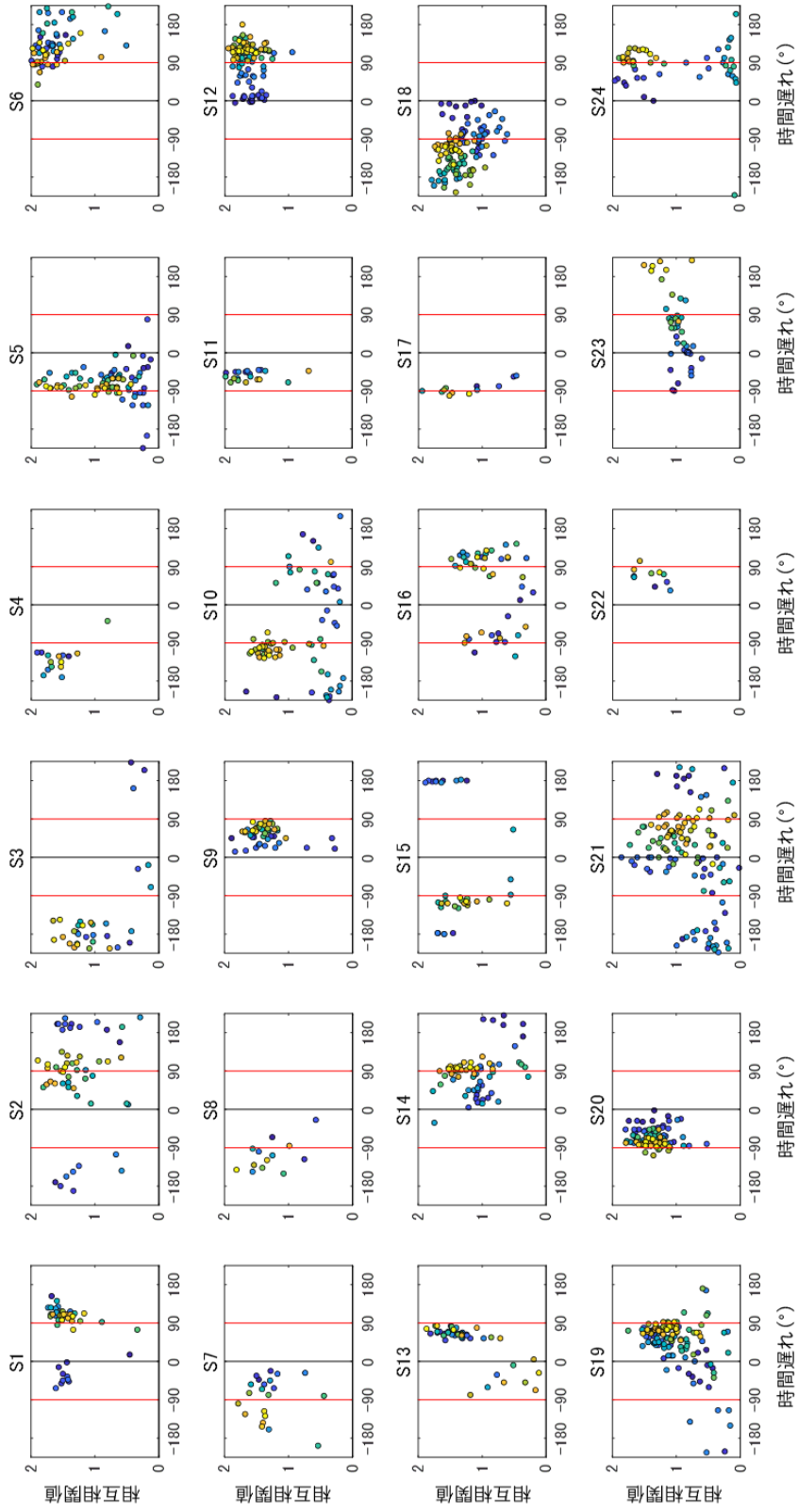


図 4：各参加者の最大相互相関値が現れた時の相互相関値 (fisher の z 変換後の相互相関値) および時間遅れのプロット図. 赤色の線は、学習すべき相対位相 (-90 度または 90 度) を示す. 相互相関値と時間遅れのプロットは、試行順に、青色から黄色へと変化する.

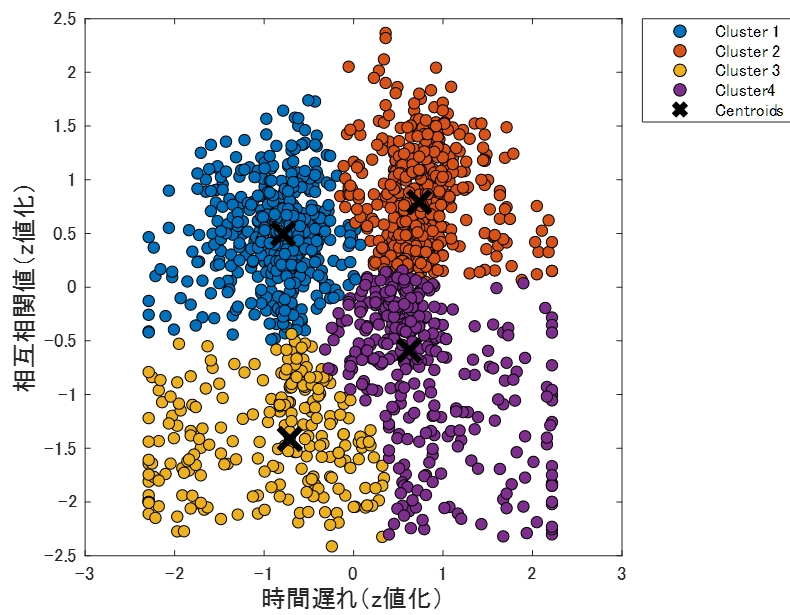


図 5: 全参加者の最大相互相関値と最大相互相関値が現れた時の時間遅れのプロット図. k-means 法を用いて, 4つのクラスタに分類した. 図中のバツ印は, 各クラスタの重心を示す.

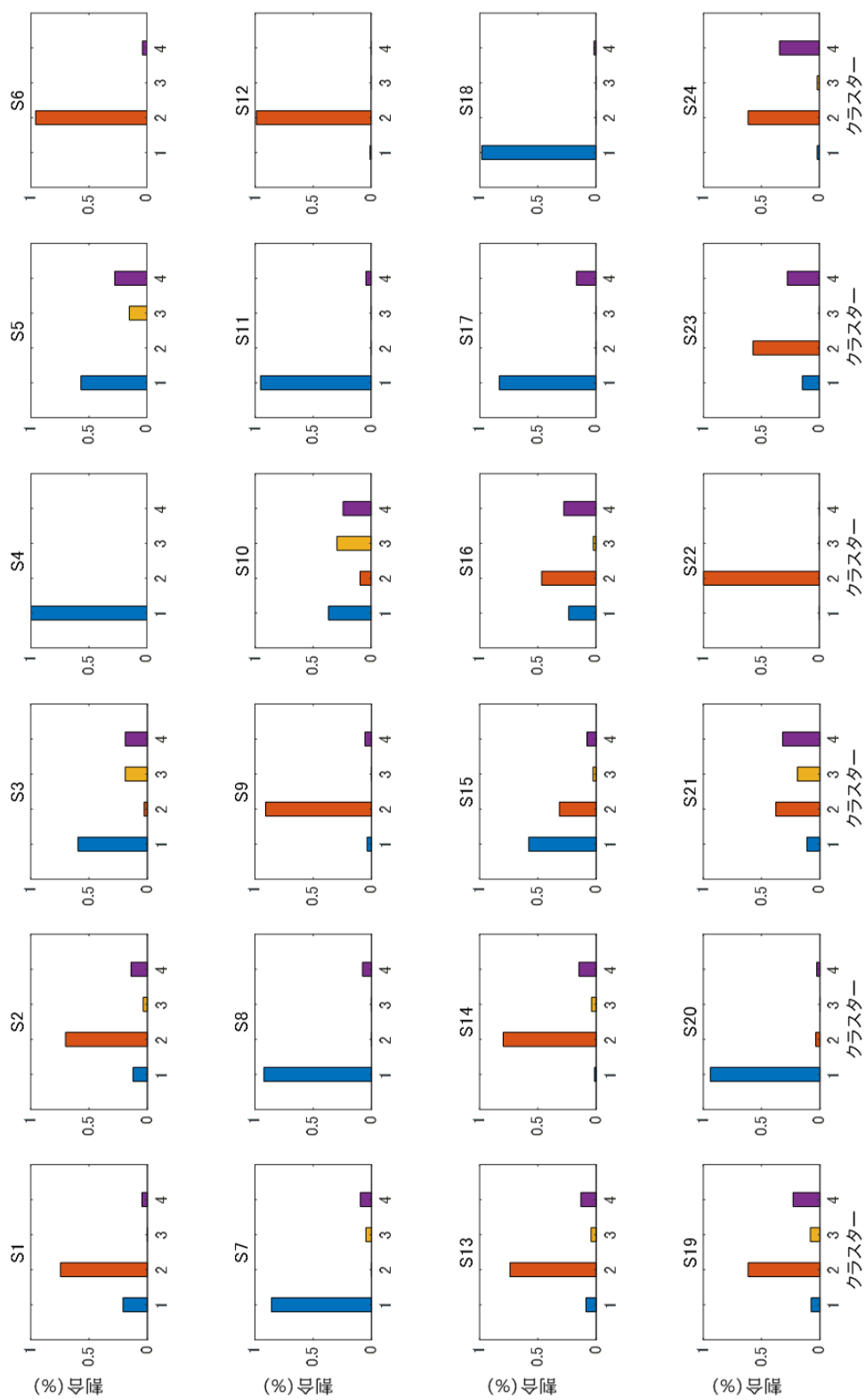


図 6: 各実験参加者の 4 つのクラスタ分類

第 2 節 知覚運動協調における協調パターン

本節については，単行本もしくは雑誌掲載等の形で刊行される予定のため，非公開とする。

第 3 章

意図的な対人間協調行為における 内的・外的要因（研究II）

要旨

本研究は、意図的（目標志向的）な対人間運動協調において、その協調パフォーマンスに関わる要因を明らかにすることを目的として行われた。

第 1 節では、19 ペアを対象に、個人内の運動協調能力が意図的な対人間運動協調に及ぼす影響について検証した。ここでは、力学系アプローチを援用した対人間運動協調課題を採用した。具体的には、2 者が利き手の左右方向の周期的な運動で 90 度の相対位相を作り出す対人間運動協調課題を実施した。第 1 節の結果から、個人内の運動協調能力は対人間運動協調能力に寄与しないことが明らかとなった。つまり、ペア内に個人で 90 度の相対位相を作り出す能力が高い実験参加者が 1 人以上存在しても、対人間運動協調の協調パフォーマンスが高くなるとは限らないということを示唆する結果である。

次に、第 2 節では、19 ペアを対象に、社会的認知機能（自閉症スペクトラム指数から定量化、以下 AQ）が対人間運動協調における協調パフォーマンスに及ぼす影響について検証した。その結果、AQ 比のより小さいペア（AQ が大きく異なるペア）が、AQ 比のより大きいペア（AQ の類似するペア）よりも、高い対人間運動協調パフォーマンスを示した。また、対人間運動協調課題中に、2 者のうち AQ の高い人がリーダーとなり、AQ の低い人がフォローの役割を担ったことが示された。さらに、AQ 比と対人間協調パフォーマンスの関係に、役割切り替え回数が媒介したことが明らかとなった。

本研究によって得られた知見は、社会的認知機能が対人間運動協調パフォーマンスに及ぼす影響について新たな示唆を加える。これまで、社会的認知機能の低い人（ここでは、AQの高い人）の特徴として、他者とうまく協調できないという知見が報告されてきた（Klin, Jones, & Schultz, 2002；Varlet et al., 2012; Chawarska, Macari, & Shic, 2013；Fitzpatrick et al., 2016; Martin et al., 2018）。しかし、本研究によって、ある特定の社会的文脈では、社会的認知機能の組み合わせを考慮することで、たとえ社会的認知機能の低い人がペア内にいたとしても、高い対人間協調パフォーマンスを示す可能性があることが示された。

第1節 意図的な対人間協調行為と個人内の運動協調能力

背景

意図的（目標志向的）な対人間運動協調の協調パフォーマンスに影響を及ぼす個人内要因の一つとして、個人の運動能力が考えられる。例えば、テニスやバドミントン、卓球など2者でラリーを行う場面では、熟練者同士のペアは初心者同士のペアに比べて長くラリーを続けることができる。また、ペアの中に一人でも熟練者がいる場合も、そのペアは初心者ペアに比べて長くラリーを続けることができる。つまり、求められる対人協調課題に熟練した人が、ペア内に一人でも存在することで対人運動協調パフォーマンスが上がる可能性が考えられる。

そこで本研究の目的は、研究Iで定量化した個人内の協調能力が、対人間運動協調に影響を及ぼすかどうかについて明らかにすることとした。この目的のために、実験参加者が両手で90度の相対位相を作り出す両手協調課題を用いて定量化した個人内の協調能力を使用した。研究IIで調査した知覚運動協調課題では、実験参加者の多くがリード条件よりもフォロワー条件の方が高い協調パフォーマンスを示したことから、個人の協調能力の個人差を定量化するためには不適切な課題であったと考え、本研究の個人内要因としては使用しなかった。研究Iにより、個人内の両手協調課題の協調パフォーマンス（90度を作り出すことができるまでの試行回数）は実験参加者によって異なることが明らかとなった。そこで、様々な個人内の協調能力の2者の組み合わせ（ペア）を作り、その2者が運動協調をする際の協調パフォーマンスを調査した。対人間運動協調における協調パフォーマンスを調べるために、個人内の両手協調課題と同様に、2者で90度の相対位相を作り出す対人間運動協調課題を用いた。

方法

実験参加者

23 名の実験参加者が本実験に参加した。そのうち、女性は 11 名、男性は 12 名であった。実験参加者の年齢は 19 歳から 21 歳であった。全実験参加者は、研究Iの実験の参加後に本実験を行った。23 名の実験参加者をランダムに組み合わせ、19 ペアを作り、対人間運動協調課題を行った。全実験参加者のうち 12 名は、1 度のみ実験に参加し、7 名は 2 度実験に参加し、4 名は 3 度実験に参加した。同性ペアは 9 ペア（男性ペア 4 ペア、女性ペア 5 ペア）で、異性ペアは 10 ペアであった。ペアを組んだ 2 者は既知であった。

実験装置・データ取得方法

研究Iの両手協調課題と同様の実験装置を用いたため、省略する。

手続き

図 7 は、実験のセットアップ図である。研究Iの両手協調課題を行った実験参加者をランダムに選出し 2 人 1 組のペアを 19 組作った。実験参加者は、2 人で揃って実験室へ入り、実験装置が置かれた机に向かって設置された椅子に座って実験手続きについての説明を受けた。実験室に入ったあとは、互いに会話することを禁じた。実験参加ペアは、実験参加者の利き手で実験装置を握り、周期的に手を動かし、2 者で 90 度の相対位相を作りだすよう指示された。メトロノーム音の周波数は 1.25Hz で、研究Iで用いた周波数と同様であった。

90 度の相対位相は、実験参加ペアはディスプレイ上に円を描くか、パートナーの手の動きを観察することで達成することができ、これらは両方とも許可された。ただし、参加ペアは、アイコンタクトをとらないために互いに相手の顔を見ないことを指示され

た。1 試行は 10 秒であった。実験参加ペアは、課題を 2 試行連続で指示通りに行うことができるまで実験を続けた。成功した試行の基準は、試行内の平均相対位相が 80 度～100 度または-100 度～-80 度であるときであった。試行回数の上限は 80 回とした。

データ解析

両手協調課題において、成功試行が 2 試行連続で現れるまでの試行数を、パフォーマンスの指標として用いた。成功試行は、試行内の平均相対位相が 80 度～100 度、または-100 度～-80 度の範囲にある試行として定義した。両上肢（2 つのハンドル）の相対位相は、点推定を使用して計算された。はじめに、左ハンドルの動きの 1 周期（つまり、左ピークから左ピークまでの持続時間）を 360 度に変換した。次に、右ハンドルが左ピークに到達した時間が 360 度のうち何度にあたるかを計算した。相対位相は、0 度～360 度を-180 度～180 度に変換した。

統計解析

個々の運動スキルの組み合わせが対人間運動協調課題のパフォーマンスに影響を与える可能性を検証した。例えば、両手協調課題によって定量化された個人内の協調能力が高い実験参加者がペアに一人でもいる場合、対人間運動協調課題における協調パフォーマンスも高くなるかもしれない。また、個人内の協調能力が高い人同士のペアも、高い対人協調パフォーマンスを示すかもしれない。これらの仮説を調査するために、個々の運動スキルの組み合わせの指標として、実験参加者の両手協調課題（つまり、2 回連続で成功する試行までの試行回数）のパフォーマンスおよびペアを組んだ 2 者の両手協調課題のパフォーマンスの合計値を使用した。ペア内に個人の運動協調能力の高い実験参加者が含まれる場合、この値は小さくなる。両手協調課題のパフォーマンスと対人間運動協調課題におけるパフォーマンス、および両手協調課題のパフォーマンスの合計値と対人間運動協調課題における試行回数に関して、ピアソンの積率相関解析を行った。

結果

図 8 は、個人の運動協調能力と対人間運動協調パフォーマンス、および個人の運動協調能力の 2 者の合計値と対人間運動協調パフォーマンスの相関図である。個人の運動協調能力と対人間協調パフォーマンスに関して、ピアソンの積率相関分析を行った結果、有意な相関は認められなかった ($r=0.09$, $p < 0.01$)。また、個人の運動協調能力の 2 者の合計値と対人間協調パフォーマンスに関して、ピアソンの積率相関分析を行った結果、有意な相関は認められなかった ($r=0.26$, $p < 0.01$)。

これらの結果は、個人内の協調能力の高い実験参加者がペア内に一人いても、個人内の協調能力が高い人がペアを組んでも、高い対人協調パフォーマンスを示さない結果を意味する。

考察

個人内の協調能力と対人間運動協調

本研究では、個人内の協調能力が対人間運動協調パフォーマンスに及ぼす影響を明らかにすることを目的として、個人内の運動協調課題および対人間の運動協調課題を実施した。ペアの中に、個人内の協調能力が高い人が一人でもいれば、対人間運動協調課題における協調パフォーマンスが高まる可能性があるという仮説を立てた。その結果、ペア内に人でも個人内の協調能力が高い人が存在しても、2 人ともが個人内の協調能力が高くても、対人間運動協調パフォーマンスは高くならなかった。この結果となった理由として、2 者で 90 度の相対位相を作り出すという対人間運動協調課題に関わる個人の運動協調能力は、両手協調能力からは説明できなかった可能性が挙げられる。2 者で 90 度の相対位相を作るためには、一方が先に動き、他方はそれに対して後続して動く必要がある。したがって、周期的に動く刺激に対して先に動く能力や、後続して動く能力が、本実験で用いた対人間運動協調課題における協調パフォーマンスに直接的に関わる個

人内の協調能力かもしれない。研究IIでは、周期的に動く視覚刺激に対して協調する知覚運動協調能力も個人内の協調能力を定量化しているが、この知覚運動協調能力と対人間運動協調の関係については未検証である。今後、個人内の知覚運動協調能力が、対人間運動協調に関わる可能性について調査する必要がある。

対人間運動協調に関わる他の個人内要因

また、本実験では、実験参加者は対人間運動協調課題を遂行中に言語コミュニケーションや、アイコンタクトをとることを禁止された。さらに、先述した通り、本実験課題には、ペアのうち一方が先に動き、他方は後続するという2つの役割が存在し、実験参加者らは、課題中に互いに意思疎通を図りそれらの役割を決める必要があった。うまく意思疎通をとることができたペア、すなわちうまく協調することができたペアは、この課題を早く達成することができた可能性がある。したがって、個人内の協調能力よりも、社会的認知機能が、パフォーマンスに関わる課題であったと考えられる。そこで、次節では、社会的認知機能と意図的な対人間運動協調の関係について調査する。

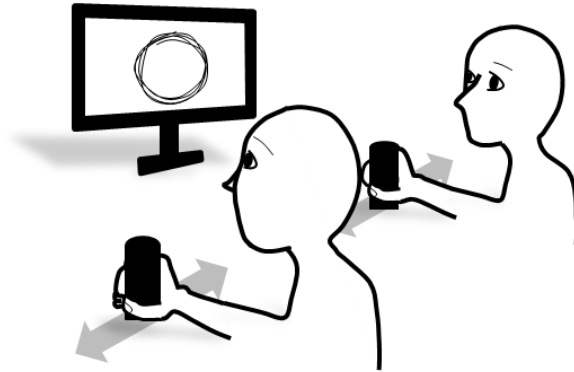


図 7: 実験のセットアップ図. 参加ペアは, それぞれモニターの前に置かれた椅子に座り, それぞれの利き手で, スライドプレートに取り付けられたハンドルを握った.

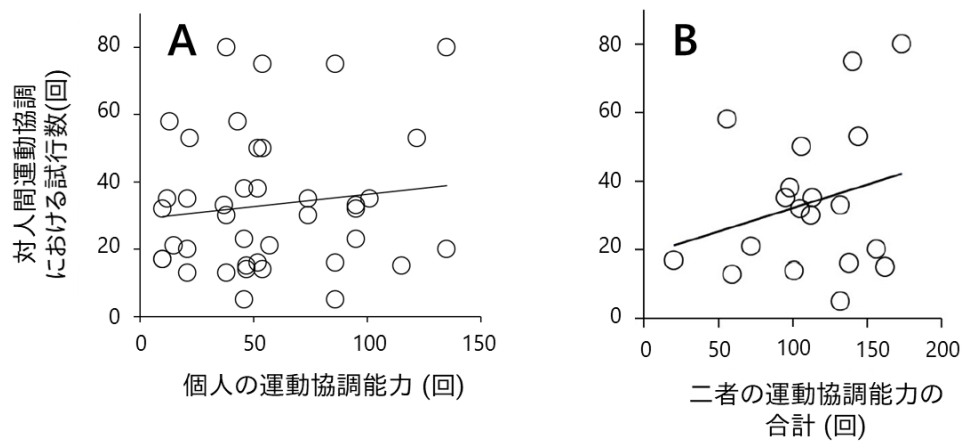


図 8: 個人の協調能力と対人間運動協調のパフォーマンスの関係. (A) 2 者の協調能力の足し合わせと対人間運動協調課題の成功までの試行回数の相関プロット. (B) 2 者の協調能力の合計と対人間運動協調課題の成功までの試行回数の相関プロット. いずれにおいても, 有意な相関は認められなかった.

第 2 節 意図的な対人間協調行為と社会的認知機能

背景

前節で、個人の運動協調能力は意図的（目標志向的）な対人間運動における協調パフォーマンスに関与しないことが明らかとなった。そこで、本節では、意図的な対人間運動協調パフォーマンスに関わる要因として、社会的認知機能に着目した。

対人間運動協調は、円滑な社会的相互祖作用において重要な役割を果たしている。近年の研究では、対人間運動協調と社会的認知機能は相互作用することを示している。例えば、他者と運動を同期することによって、他者とのラポール（信頼、親愛の絆）が強化され（Bernieri, 1988; Bernieri, Davis, Rosenthal, & Knee, 1994; Bernieri, Gillis, Davis, & Grahe, 1996）、他者との社会的結合（Hove & Risen, 2009; Miles, Nind, & Macrae, 2009; Reddish et al., 2013）や親近性（Launay, Dean, & Bailes, 2014）が向上する。一方、社会的認知機能が対人間運動協調に影響を与えることも報告されている（Schmidt et al., 1994; Varlet et al., 2012; Fitzpatrick et al., 2016）。

対人間運動協調研究はこれまで、力学系アプローチが援用させることで、協調する 2 者の身体運動が自己組織化することを報告している。力学系アプローチを援用した対人間運動協調を用いることは、社会的認知機能と対人間運動協調間の相互作用を調べるためにも有効であり、多くの先行研究が扱っている（Schmidt et al., 1994; Schmidt & O'Brien, 1997; Miles et al., 2009; Schmidt, Fitzpatrick, Caron, & Mergeche, 2011; Varlet et al., 2012; Zhao et al., 2015; Fitzpatrick et al., 2016; Zhao et al., 2017）。そこで本研究では、この力学系アプローチを用いて社会的認知機能と対人間運動協調の関係について検証する。特に、異なる社会的認知機能を持つ 2 者の組み合わせが対人間運動協調にどのように影響を及ぼすかに焦点を当てて研究を行う。

自閉症スペクトラム症（ASD）のように社会的認知機能の低いとされる人の特性はこ

れまで、個人の運動特性に焦点が当てられていた (Klin et al., 2002; Chawarska et al., 2013; Martin et al., 2018). しかし、近年、社会的認知機能の低い人が社会的文脈、すなわち実際に他者と協調する場面でどのような特異的な行動を示すのかについて調査した研究が報告されている。Schmidt ら (1994) は、初めて社会的認知機能の組み合わせが対人間運動協調に及ぼす効果について報告した。この研究では、実験参加ペアを作成するにあたり、社会的スキルに応じて3つの群に分けられた (社会的スキルの高い同士ペア、社会的スキルの高い-低いペア、社会的スキルの低い同士ペア)。実験参加ペアは、逆位相の協調パターンで振り子課題を行うよう指示された。その結果、高い-低いペアが最も長く逆位相の協調パターンを維持することができた。この結果に対し、Schmidt ら (1994) は、逆位相の協調パターンを維持する間、社会的スキルの高い人が先行し、社会的スキルの低い人が後続したという結果から、社会的スキルの高い-低いペアは先行する役割 (リーダー) と後続する役割 (フォロワー) が簡単に決まったことが理由であると考察している。同様の知見が、統合失調症者を対象にした同位相の協調パターン維持課題でも得られている (Varlet et al., 2012)。ここでは、統合失調症者と健常者がペアを組み、振り子を同位相の協調パターンで振る実験課題を行っている。これらの先行研究では、役割決定に関して、社会的認知機能の異なる組み合わせが対人間運動協調に影響を与える可能性を示している。

本研究では、社会的認知機能の組み合わせが対人間運動協調に及ぼす効果について明らかにするために、2者で90度の相対位相を作り出す課題を用いる。社会的認知機能の組み合わせの効果を検証した先行研究 (Schmidt et al., 1994; Varlet et al., 2012; Fitzpatrick et al., 2016) では、同位相または逆位相の協調パターンで運動をする課題を用いており、課題を達成するためにペアのうちどちらが先行し、どちらが後続するかについて決める必要はない。言い換えれば、実験参加者はパートナーよりも先に (後に) 動くという意図を示す必要はなく、また、その意図を読み取る必要もない。それに対し、本研究では実験参加ペアに90度の相対位相を作り出す課題を用いるため、先行して動く者と後続して動く者の役割が顕在化する。さらに課題中にそれらの役割を決めることを求め

たため、実験参加ペアは相手の運動意図を読み取る必要がある。すなわち、協調能力のような社会的認知機能がより反映される対人間運動協調課題であると考えられる。

先述した社会的認知機能の組み合わせの効果に関するこれまでの研究 (Schmidt et al., 1994; Varlet et al., 2012; Fitzpatrick et al., 2016) では、社会的認知機能が極端に高いまたは低い参加者を対象とし、実験を実施していた。例えば Schmidt ら (1994) では、271名の大学生に社会的スキル (social skills) に関する質問紙 (Riggio, 1986) を実施し、上位四分位と下位四分位に該当する実験参加者を集めペアを作成した。一方、Varlet ら (2012) は統合失調症と診断された人、Fitzpatrick ら (2016) は ASD と診断された人を健常者で 2 人組のペアを作成した。したがって、このように社会的認知機能が極端に高いまたは低い人の間に存在する 2 者の組み合わせの効果についてはいまだ不明である。

そこで、本研究では、異なる社会的認知機能を持つ個人の組み合わせが対人間運動協調のパフォーマンスに影響を与えるという知見は、一般化できるかどうか、つまり社会的認知機能に関して障害をもたない 2 人組のペアにおいても、同様の議論が適用できるかどうかについて調査することを目的とした。はじめに、実験参加者の社会的認知機能について自閉症スペクトラム指数 (AQ) を用いて定量化し (Baron-Cohen et al., 2001; Baron-Cohen et al., 2006; 若林ら, 2004; 若林ら, 2007), 2 者で 90 度の相対位相を作ることを求める対人間運動協調課題を行った。先行研究で示唆されているように、AQ が大きく異なる 2 者で構成されるペアは高い対人間協調パフォーマンスを示すと仮定し (Schmidt et al., 1994), この仮説について検証を行った。

方法

実験参加者

23 名の実験参加者が本実験に参加した。そのうち、女性は 11 名、男性は 12 名であった。実験参加者の年齢は 19 歳から 21 歳であった。全実験参加者は、研究 I の両手協

調課題を行った後に本実験を行った。23 名の実験参加者をランダムに組み合わせ、19 ペアを作り、対人間運動協調課題を行った。12 名の参加者は、1 度のみ実験に参加し、7 名の参加者は 2 度実験に参加し、4 名の参加者は 3 度実験に参加した。同性ペアは 9 ペア（男性ペア 4 ペア、女性ペア 5 ペア）で、異性ペアは 10 ペアであった。ペアを組んだ 2 者は既知であった。

実験装置・データ取得方法

本研究では、第 2 章第 1 節と同じ実験装置を用い、データ取得方法も同様であったため、省略する。

手続き

研究 I で両手協調課題を行った実験参加者の中から、ランダムに選出した 2 人を組み合わせ、19 ペアを作成した。ペアを組んだ 2 者は、実験室に入室したのち互いに会話することを禁じられた。実験参加ペアはそれぞれ実験装置が置かれた机に向かって横並びで椅子に座った。各実験参加者は、メトロノーム音に合わせて利き手を左右方向に周期的に動かし、ペアを組んだ 2 者で 90 度の相対位相を作りだすよう指示された。メトロノーム音の周波数は 1.25Hz で、研究 I で用いた周波数と同様であった。

90 度の相対位相は、実験参加ペアはディスプレイ上に円を描くか、パートナーの手の動きを観察することで達成することができ、これらは両方とも許可された。しかし、実験参加ペアは、実験実施中のアイコンタクトを禁止されたため、互いに相手の顔を見ることができなかった。1 試行は 10 秒であった。実験参加ペアは、課題を 2 試行連続で指示通りに行うことができるまで実験を続けた。成功した試行の基準は、試行内の平均相対位相が 80 度～100 度または -100 度～-80 度であるときであった。試行回数の上限は 80 回とした。

実験参加者の社会的認知機能を調査するために、自閉症スペクトラム指数（Autism-spectrum quotient : AQ）についての質問紙（Baron-Cohen et al., 2001; Baron-Cohen et al.,

2006; 若林ら, 2004; 若林ら, 2007) を用いた。実験参加者は対人間運動協調課題を実施する前にこの質問紙に回答することを求められた。この質問紙は、社会的スキル (social skills)、注意の切り替え (attention switching)、細部への注意 (attention to detail)、コミュニケーション (communication)、想像力 (imagination) の 5 つの下位項目で構成され、それぞれの項目に対し、10 個ずつ質問が割り当てられた。回答形式は、“あてはまる”、“どちらかといえばあてはまる”、“どちらかといえばあてはまらない”、“あてはまらない”の 4 肢選択の強制選択法であった。得点範囲は 0~50 点であった。参加者が自閉症スペクトラム傾向に関連する項目に回答すると、それぞれに 1 ポイントが与えられた。“あてはまる”と“どちらかといえばあてはまる”、および“どちらかといえばあてはまらない”と“あてはまらない”は、それぞれ同じ傾向であるとみなされた。本質問紙では、得点が高いほど、自閉症スペクトラム傾向が高くなることを意味する。若林ら (2004) は、カットオフポイントを 33 点としている。

データ解析

対人間運動協調課題において、成功試行が 2 試行連続で現れるまでの試行数を、パフォーマンスの指標として用いた。成功試行は、試行内の平均相対位相が 80 度~100 度、または-100 度~-80 度の間にある試行として定義した。2 人の腕 (2 つのハンドル) の相対位相は、点推定を使用して計算された。はじめに、左ハンドルの動きの 1 周期 (つまり、左ピークから左ピークまでの持続時間) を 360 度に変換した。次に、右ハンドルが左ピークに到達した時間が 360 度のうち何度にあたるかを計算した。相対位相は、0 度~360 度を-180 度~180 度に変換した。

社会的認知機能の組み合わせと対人間運動協調課題のパフォーマンスの関係を調べるために、2 者の AQ の合計値および AQ 比を計算した。AQ 比は、次の計算式によって計算された。

$$AQ\ ratio = \frac{AQ_L}{AQ_H + AQ_L} \quad \text{式 3}$$

式 3 の中で、 AQ_L はペア内の AQ の低い人の指数を、 AQ_H はペア内の AQ の高い人の AQ である。AQ 比は、0 に近づくほど 2 者の AQ が異なることを意味し、0.5 に近づくほど 2 者の AQ が類似することを意味する。

結果

AQ の値と性別の組み合わせ効果

全参加者の平均 AQ は 21.0 ± 6.1 であった。この値は、若林ら (2004) が報告した日本の大学生 (20.7 ± 6.4) の平均 AQ と類似している。参加者のうち、カットオフポイントより高い AQ 得点であった参加者は 1 人確認された。この参加者のデータを除外しても、相関解析の統計的有意性は変わらなかったため、この参加者を分析に含めた。

性別を考慮したペア (男性同士のペア、女性同士のペア、異性ペア) の効果を調査するため、一要因分散分析を行った。その結果、細部への注意比を除き、対人間運動協調の協調パフォーマンス、AQ 比、また AQ の下位スケール比に有意な差はないことが分かった ($p > 0.1$)。細部への注意比に関しては、有意傾向が認められた ($F[2, 16] = 3.09$, $p = 0.07$)。したがって、性別を考慮せずに、3 種類のペアを分類せずに次に示す分析を行った。

AQ 比と対人間運動協調パフォーマンス

図 9 は、AQ 比と対人間運動協調パフォーマンス、および 2 者の AQ の合計値と対人間運動協調パフォーマンスの相関図の相関図である。はじめに、2 者の AQ の合計値と成功までにかかった試行回数に関してピアソンの積率相関解析を行った結果、有意な相関は認められなかった ($r = -0.09$, *n.s.*)。つぎに、AQ 比と成功までにかかった試行回数

に関して、ピアソンの積率相関分析を行った結果、有意な相関が認められた ($r=0.53$, $p=0.01$)。この結果は、AQ 比の低いペア (つまり、AQ スコアが大きく異なる参加者で構成されたペア) が、AQ 比の高いペア (つまり、AQ スコアが類似する 2 者で構成されたペア) よりも高い対人協調パフォーマンスを示すことを意味する。

AQ の下位スケールと対人間運動協調パフォーマンス

AQ 比と対人間運動協調パフォーマンスに有意な相関が認められたため、AQ の下位スケール比についても同様に解析を行った。図 10 は、AQ 下位スケール比と対人間運動協調課題におけるパフォーマンスの相関図である。対人間運動協調課題におけるパフォーマンス値と各下位スケール比のピアソンの積率相関分析では、社会的スキル比 ($r = -0.02, n.s.$)、注意の切り替え比 ($r = 0.12, n.s.$)、細部への注意比 ($r = 0.23, n.s.$)、またはコミュニケーション比 ($r = 0.38, n.s.$) について、有意な相関が認められなかった。想像力比については、対人間運動協調パフォーマンスと有意な相関が認められた ($r = 0.73, p = 0.001$)。これらの結果は、想像力が大きく異なる 2 者で構成されたペアが、想像力の類似した 2 者で構成されたペアよりも対人間運動協調課題において高いパフォーマンスを示すことを意味する。

対人間運動協調課題における社会的認知機能と役割の関係

AQ 比と対人間運動協調課題のパフォーマンス間の有意な相関を認めたことから、対人間運動協調課題中にペアを組んだ 2 者の役割 (リーダーとフォロワー) が相対的な AQ の違いによって決定されるかどうかをさらに調べた。各ペアの 2 人の参加者の役割は、2 回連続の成功試行 (つまり、最後の 2 つの試行) でとられた役割によって分類された。この基準を適用した場合、19 ペアのうち 1 ペアは、最後の 2 回の成功試行で役割が異なったため、1 つのペアの役割を決定できなかった。したがって、他の 18 ペアを解析対象とした。その結果、19 ペアのうち 13 ペアは、ペア内で相対的に AQ が高い参加者 (つまり、社会的認知機能が低い参加者) がリーダーの役割を果たしていた。AQ

が役割に影響を与えない場合、ペア内で相対的に AQ が低い参加者がリーダーとなるペアの数は、AQ が高い参加者がリーダーとなる役割を果たしたペアの数と等しいと仮定した。カイ 2 乗検定の結果、帰無仮説を棄却する傾向が認められた ($\chi^2 [1] = 5.64, p = 0.05$)。この結果は、ペア内で相対的に AQ が高い実験参加者がリーダーとなる傾向があることを意味する。下位スケールの想像力 (imagination skill) についても同様の結果が見られた。19 ペアのうち 13 ペアでは、想像力の得点が高い実験参加者 (つまり、想像力が低い参加者) がリーダーとなった ($\chi^2 [1] = 5.64, p = 0.05$)。

社会的認知機能と対人間運動協調の関係における役割決定の媒介効果

上記の結果から、AQ の大きく異なるペアほど、より早く課題を達成したことが示された。それだけでなく、ペアの中で相対的に AQ の高い者、つまり社会的認知機能の低い者はリードする役割を担う傾向を示したことも明らかとなった。

AQ の大きく異なるペアがなぜ課題を早く達成したのかについて明らかにするために、課題中の役割決定の切り替えに着目した。この対人間運動協調課題を達成するためには、ペアは互いに運動の意図を読み取りながら役割決定をする必要がある。うまく意思の疎通を図ることができる場合は役割決定を容易に行うことができる一方で、それができない、すなわち相手の運動意図を読み取ることが難しい場合は役割決定に時間がかかると考えられる。したがって、役割決定を模索するようなペアは課題達成が遅く、役割が早期に決まるペアは、課題を早く達成する可能性がある。そこで、AQ の異なる (似ている) ペアは、役割切り替え回数が少なく (多く)、課題の達成が早い (遅い) という仮説を立てた。上記の仮説を検証するために、本研究では、AQ の組み合わせと対人間運動協調パフォーマンスの相関関係における、役割決定の媒介効果を調べた。役割決定は、役割の切り替え回数から定量化した。

図 11 は、対人協調パフォーマンス別 (高いパフォーマンス, 中程度のパフォーマンス, 低いパフォーマンス) の役割切り替えの典型的例を示している。役割切替回数の計

算方法を以下に示す。はじめに、実験参加者の上肢の動きの連続相対位相を算出し、各試行の平均相対位相を計算した。次に、隣接する試行間で 180 度の相対位相をまたいだ回数を数え、この回数を役割の切り替え回数とした。ペア内の社会的認知機能の組み合わせと対人間協調パフォーマンスとの関係における役割切り替えの媒介効果を検証するため、ブートストラップ法（ブートストラップ標本数：10000）を用いた媒介分析による間接効果の有意性の検定を行った。

図 12 は媒介分析のダイアグラムである。より異なる AQ で構成されたペアの役割切り替え回数は、より類似した AQ で構成されたペアの役割の数よりも少ないと仮定した。したがって、AQ 比は X に、対人間運動協調課題のパフォーマンス（試行回数）は Y に割り当てられた。役割切り替え回数は、媒介変数として M に割り当てられた。

AQ 比が役割切り替え回数を介して対人間運動協調課題のパフォーマンスに与える間接効果の検定のため、ブートストラップ法（ブートストラップ標本数：10000）による媒介分析の結果、AQ 比が役割切り替え回数を媒介した対人間運動協調のパフォーマンスへの間接効果は、有意であった ($ab=107.24, p<0.05$)。この結果は、AQ 比と対人間運動協調の関係は役割切り替え回数によって媒介されることを示す結果である。

考察

社会的認知機能と対人間運動協調パフォーマンス

本研究では、社会的認知機能（AQ によって定量化）の組み合わせが対人間運動協調課題におけるパフォーマンスに影響を与えるかどうかについて検証した。その結果、AQ の異なる 2 者で構成されたペアは、AQ の類似するペアよりもパフォーマンスが低いことが明らかとなった。AQ の下位スケールについて着目すると、その中でも特に、想像力（imagination skill）の組み合わせが対人間運動協調課題におけるパフォーマンス

に影響したことが示された。これらの結果は、社会的認知機能が対人間運動協調に影響を及ぼすというこれまでの知見に新たな示唆を与えると考える。特に、社会的スキルが低い人は、役割を決定すべき特定の状況で必ずしも対人間運動協調パフォーマンスが低下するわけではない。つまり、対人間運動協調におけるパフォーマンスは、個人の特性ではなく、個人間の相互作用によって決まり得ることを示唆している。

AQ の下位スケールの中では、想像力比が対人間運動協調パフォーマンスに影響を与えた。想像力の下位項目は、他者の意図を読み取ったり、想像したりする能力を評価する項目である (Baron-Cohen et al., 2001; Baron-Cohen et al., 2006)。この結果は、協調する他者の意図を想像できる人とそうでない人で構成されたペアが、対人間運動協調課題でより高いパフォーマンスを発揮することを意味する。さらに、ペアのうち AQ の高い参加者は協調相手に対して先行する傾向があり、ペアのうち AQ の低い参加者は協調相手に従う傾向があることが明らかとなった。想像力に関する下位スケールにおいても同様の結果であった。これらの結果は、以下のように解釈される。社会的認知機能の低い人 (つまり、AQ および想像力のスコアが高い人) は、協調相手の運動意図を読み取ることが難しい。そのような人は、協調相手の行動を考えずに運動する。一方で、ペア内で社会的認知機能の高い人は、協調相手の運動の意図を読み、それに対応して運動を協調させた可能性がある。このようなことから、より高い社会的認知機能とより低い社会的認知機能を持つ人から構成されるペアでは、課題の初期段階で前後の役割を決定でき、そのことが結果的に対人間運動協調における協調パフォーマンスの向上に繋がった可能性が考えられる。

社会的認知機能と対人間協調課題中の役割の関係

ペアのうち AQ の高い参加者は協調相手に対して先行する傾向があり、ペアのうち AQ の低い参加者は協調相手に従う傾向があるという知見は、ASD と診断された人を対象にした先行研究 (Fitzpatrick et al., 2016) の結果と一致している。Fitzpatrick ら (2016) は、ASD と診断された人と健常者のペアに対して、同位相および逆位相を維持する対

人間運動協調課題を行った。この課題中、ASD と診断された人は、ペアを組んだ健常者よりもリードして動くことを報告した。本実験には、カットオフポイントを超える参加者（AQ < 33）が一名参加していた。この参加者は、本研究の対人間運動協調課題においてもペアを組んだ相手に対して先行して動いた。この対人協調中の行動特性は今後、臨床現場において ASD の診断マーカーとして用いることができるかもしれない。

また、社会的認知機能の組み合わせと対人間運動協調パフォーマンスとの関係に対する役割切り替えの媒介効果を調査した。その結果、AQ 比と対人間協調パフォーマンスの関係に、役割切り替え回数が媒介したことが明らかとなった。この結果は、AQ 比の小さいペア（AQ の大きく異なるペア）は、早い段階で役割（リードとフォロー）が決定し、その結果、課題を早く達成することができる。この知見は、2 者が運動協調中に役割を決める必要がある対人課題を行う際に、役割適応がその課題を達成するために重要な役割を果たしていることを示唆する結果である。これらの結果は、自閉症スペクトラム症と診断された人の行動特性によって説明できるかもしれない。例えば、自閉症スペクトラム症と診断された人は、そうでない人に比べて興味が限定的であること、またステレオタイプな行動をとる傾向にあることを報告している（Kanner, 1943; American Psychiatric Association, 2013）。このような行動特性が他者と協調する場面においても生じるのであれば、AQ 比の大きく異なるペアでは、相対的に AQ の高い参加者が相手をリードする役割にこだわる運動特性を示したことで、協調相手はその行動意図を読み取ることを容易にした。したがって、AQ 比の大きく異なるペアでは、早期に役割決定を決定することができた可能性が考えられる。

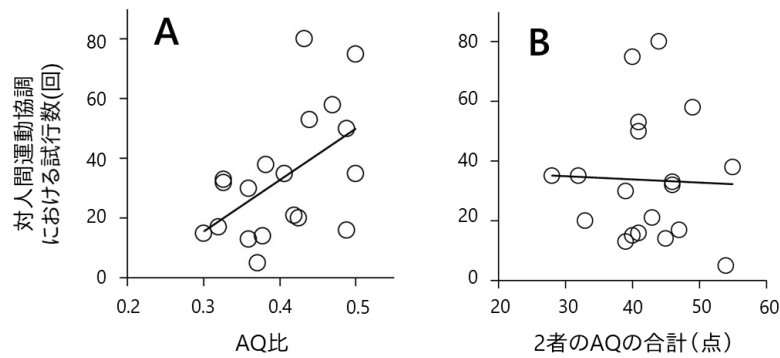


図 9：AQ と対人間運動協調パフォーマンスの関係。(A) AQ 比と対人間運動協調課題の成功までの試行回数の相関プロット。AQ 比と対人間運動協調パフォーマンスの間に有意な正の相関が認められた。(B) 2 者の AQ を足した値と対人間運動協調課題の成功までの試行回数の相関プロット。2 者の AQ の合計値と対人間運動協調パフォーマンスの間には有意な相関は認められなかった。

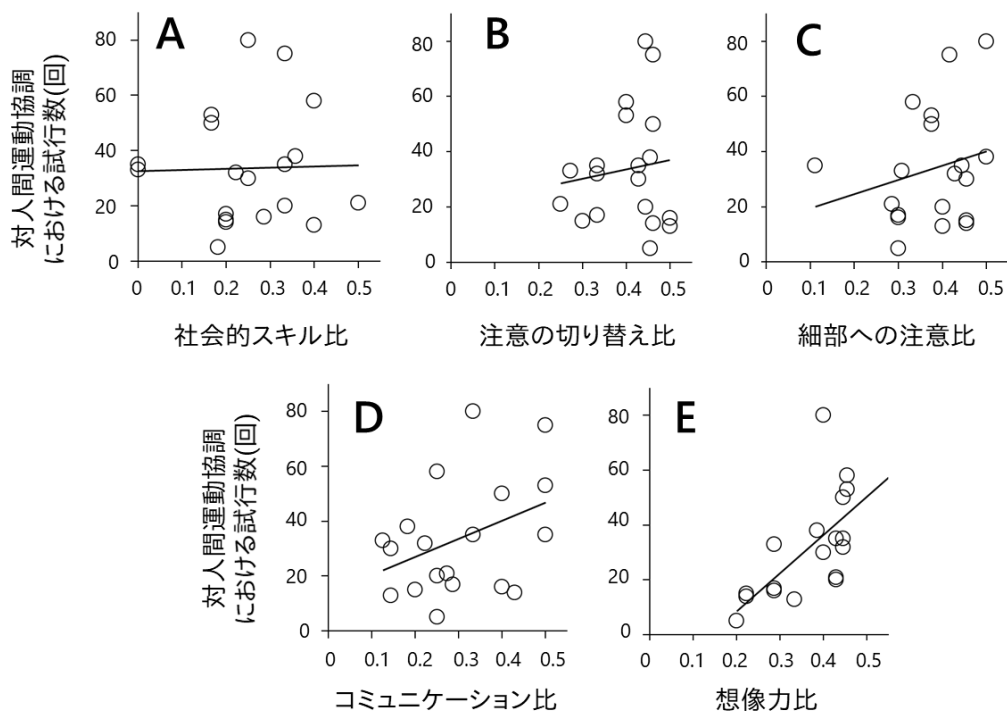


図 10：(A) 社会的スキル比、(B) 注意の切り替え比、(C) 細部への注意比、(D) コミュニケーション比、(E) 想像力比と対人間運動協調課題の成功までの試行回数の相関プロット。想像力比と対人間運動協調パフォーマンスの間にも、有意な正の相関が認められた。

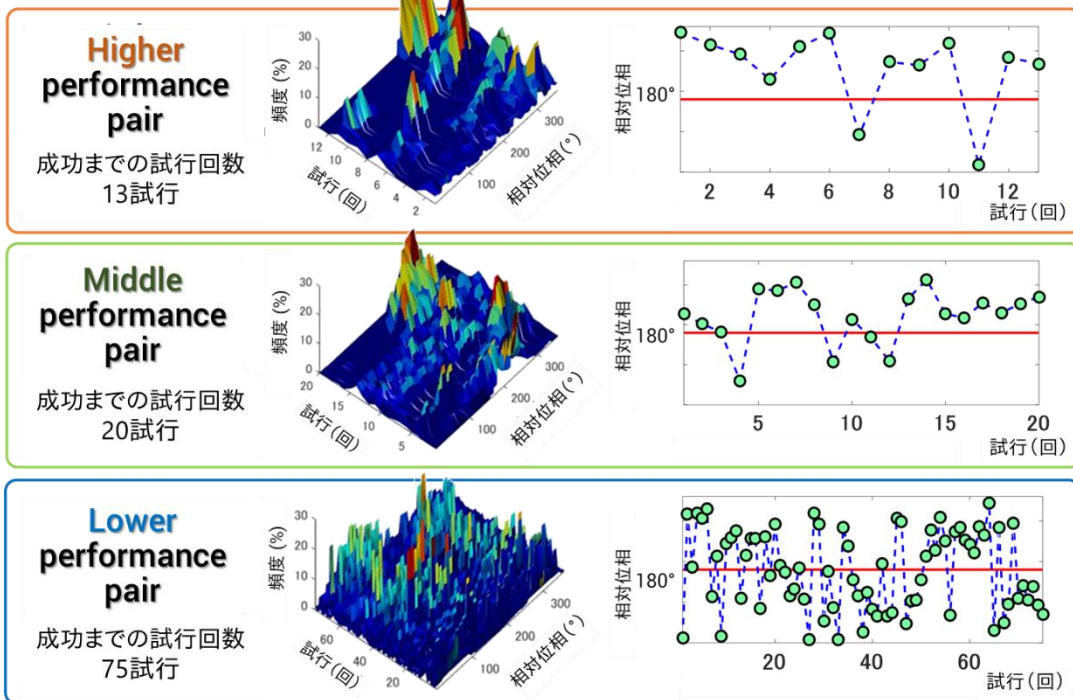


図 11：役割切り替えの典型例（協調パフォーマンス別）。上段は、高い協調パフォーマンス（13回で課題を達成した）を示したペア。中段は、中間の協調パフォーマンス（20回で課題を達成した）を示したペア。下段は、低い協調パフォーマンス（75回で課題を達成した）を示したペア。成功までの試行回数が多くなるほど、役割が切り替わった回数（隣接する試行間で180度の相対位相をまたいだ回数）が多くなることが分かる。

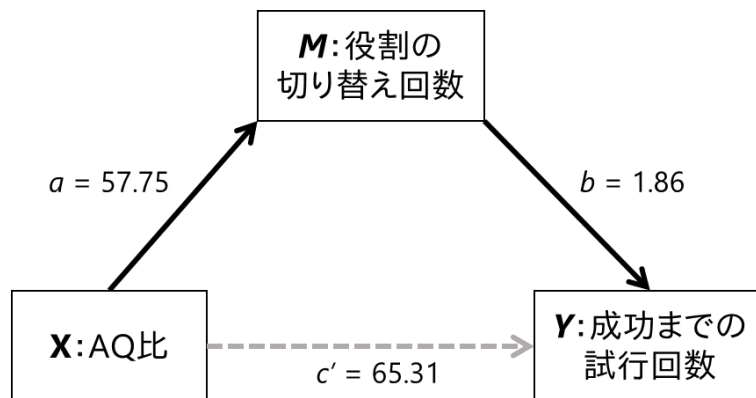


図 12: 媒介分析のダイアグラム. X には AQ 比, Y には対人間運動協調課題の達成回数が入る. M には媒介変数である役割の切り替え回数が入る. AQ 比が小さい (2 人の AQ の差が大きい) ペアは, 役割切り替え回数が少ない. 役割切り替え回数が少ないペアは, 対人間運動協調課題の試行回数が少ない (高い対人間運動協調パフォーマンス). 役割の切り替え回数を介した, AQ 比から対人間運動協調の協調パフォーマンスの間接効果 (ab) は有意であった. AQ 比の対人間運動協調パフォーマンスへの直接効果 (c) は有意ではなかった.

第4章

非意図的な対人間運動協調における内的・外的要因 (研究Ⅲ)

本章については、単行本もしくは雑誌掲載等の形で刊行される予定のため、非公開とする。

第5章

総合考察

本章については、単行本もしくは雑誌掲載等の形で刊行される予定のため、非公開とする。

参考文献

- 1) American Psychiatric Association. (2013). *Diagnostic and Statistical Manual of Mental Disorders*. 5th ed. Arlington, VA, American Psychiatric Publishing.
- 2) Bardy, B. G., Marin, L., Stoffregen, T. A., & Bootsma, R. J. (1999). Postural coordination modes considered as emergent phenomena. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 25(5), 1284-1301. doi:10.1037/0096-1523.25.5.1284.
- 3) Baron-Cohen, S., Hoeksta, R. A., Knickmeyer, R., & Wheelwright, S. (2006). The autism-spectrum quotient (AQ)—adolescent version. *Journal of Autism and Developmental Disorders*, 36(3), 343-350. doi:10.1007/s10803-006-0073-6.
- 4) Baron-Cohen, S., Wheelwright, S., Skinner, R., Martin, J., & Clubley, E. (2001). The autism spectrum quotient: evidence from asperger syndrome/high functioning autism, males and females, scientists and mathematicians. *Journal of Autism and Developmental Disorders*, 31(1), 5-17. doi:10.1023/A:1005653411471.
- 5) Bekkering, H., de Bruijn, E. R. A., Cuijpers, R. H., Newman-Norlund, R., van Schie, H. T., & Meulenbroek, R. (2009). Joint action: neurocognitive mechanisms supporting human interaction. *Trends in Cognitive Science*, 2(1), 340–352. doi:10.1111/j.1756-8765.2009.01023.x.
- 6) Bernieri, F. J. (1988). Coordinated movement and rapport in teacher-student interactions. *Journal of Nonverbal Behavior*, 12(2), 120-138. doi:10.1007/BF00986930.
- 7) Bernieri, F. J., Davis, J. M., Rosenthal, R., & Knee, C. R. (1994). Interactional synchrony and rapport: Measuring synchrony in displays devoid of sound and facial affect. *Personality and Social Psychology Bulletin*, 20, 303-311. doi:10.1177/0146167294203008.

- 8) Bernieri, F. J., Gillis, J. S., Davis, J. M., & Grahe, J. E. (1996). Dyad rapport and the accuracy of its judgment across situations: A lens model analysis. *Journal of Personality and Social Psychology*, *71*(1), 110-129. doi:10.1037/0022-3514.71.1.110.
- 9) Bernstein N. A. (1967). The coordination and regulation of movements. Pergamon, Oxford.
- 10) Bernstein N. A. (1996). On dexterity and its development, In Latash, M. L., & Turvey, M. T. editors. *Dexterity and Its development*, 3-244. Lawrence Erlbaum Associates, Mahwah, NJ. (工藤和俊 訳, 佐々木正人 監修. (2003). *デクステリティー—巧みさとその発達—*. 東京: 金子書房)
- 11) Biryukova, E. V., & Bril, B. (2008). Organization of goal-directed action at a high level of motor skill: The case of stone knapping in India. *Motor Control*, *12*(3), 181-209. doi:10.1123/mcj.12.3.181.
- 12) Blazquez, M, T., Anguiano, M., Arias de Saavedra, F., Lallena, A, M., & Carpena, P. (2009). Study of the human postural control system during quiet standing using detrended fluctuation analysis. *Physica A*, *388*(9), 1857-1866. doi:10.1016/j.physa.2009.01.001.
- 13) Brocklehurst, J.C., Robertson, D., & James, G. P. (1982). Clinical correlates of sway in old age - sensory modalities. *Age and Ageing*, *11*, 1-10. doi:10.1093/ageing/11.1.1.
- 14) Buchanan, J. J., & Kelso, J. A. S. (1993). Posturally induced transitions in rhythmic multijoint limb movements. *Experimental Brain Research*, *94*(1), 131-142. doi:10.1007/BF00230476.
- 15) Byblow, W. D., Carson, R. G., & Goodman, D. (1994). Expressions of asymmetries and anchoring in bimanual coordination. *Human Movement Science*, *13*(1), 3-28. doi:10.1016/0167-9457(94)90027-2.
- 16) Carron, A. V. (1982). Cohesiveness in sport groups: interpretations and considerations. *Journal of Sport Psychology*, *4*(4), 123-138. doi:10.1123/jsp.4.4.364.
- 17) Carson, R. G. (1996). Neuromuscular-skeletal constraints upon the dynamics of perception-action coupling. *Experimental Brain Research*, *110*(1), 99-110. doi:10.1007/BF00241379.

- 18) Carson, R. G., & Riek, S. (1998). The influence of joint position on the dynamics of perception-action coupling. *Experimental Brain Research*, *121*(1), 103-114.
doi:10.1007/s002210050442.
- 19) Carson, R. G., Byblow, W. D., Abernethy, B., & Summers, J. J. (1996). The contribution of inherent and incidental constraints to intentional switching between patterns of bimanual coordination. *Human Movement Science*, *15*(4), 565-589. doi:10.1016/0167-9457(96)00028-0.
- 20) Carson, R. G., Goodman, D., Kelso, J., & Elliott, D. (1995). Phase transitions and critical fluctuations in rhythmic coordination of ipsilateral hand and foot. *Journal of Motor Behavior*, *27*(3), 211-224. doi:10.1080/00222895.1995.9941711.
- 21) Carson, R. G., Oytam, Y., & Riek, S. (2009). Artificial gravity reveals that economy of action determines the stability of sensorimotor coordination. *PLOS ONE*, *4*(4), e5248.
doi:10.1371/journal.pone.0005248.
- 22) Chartrand, T. L., & Bargh, J. A. (1999). The chameleon effect: the perception–behavior link and social interaction. *Journal of Personality and Social Psychology*, *76*, 893-910.
doi:10.1037//0022-3514.76.6.893.
- 23) Chawarska, K., Macari, S., & Shic, F. (2013). Decreased spontaneous attention to social scenes in 6-month-old infants later diagnosed with autism spectrum disorders. *Biological Psychiatry*, *74*(3), 195-203. doi:10.1016/j.biopsych.2012.11.022.
- 24) Cirelli, L. K., Einarson, K. M., & Trainor, L. J. (2014a). Interpersonal synchrony increases prosocial behavior in infants. *Developmental Science*, *17*, 1003-1011. doi:10.1111/desc.12193.
- 25) Cirelli, L. K., Wan, S. J., & Trainor, L. J. (2014b). Fourteen-month-old infants use interpersonal synchrony as a cue to direct helpfulness. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London Series B: Biological Sciences*, *369*, 20130400. doi:10.1098/rstb.2013.0400.
- 26) Clark, H. H. (1996). *Using Language*. Cambridge: Cambridge University Press.
- 27) Clark, H. H. (2005). Coordinating with each other in a material world. *Discourse Studies*, *7*, 507–525. doi:10.1177/1461445605054404.

- 28) de Poel H.J., Peper, C.E., & Beek, P.J. (2007). Handedness-related asymmetry in coupling strength in bimanual coordination: Furthering theory and evidence. *Acta Psychologica*, *124*(2), 209-237. doi:10.1016/j.actpsy.2006.03.003.
- 29) Delignières, D., & Marmelat, V. (2014). Strong anticipation and long-range cross-correlation: Application of detrended cross-correlation analysis to human behavioral data. *Physica A*, *394*, 47-60. doi:10.1016/j.physa.2013.09.037.
- 30) Delignières, D., Torre, K., & Bernard, P. (2011). Transition from persistent to anti-persistent correlations in postural sway indicates velocity-based control. *PLoS Computational Biology*, *7*(2). doi:10.1371/journal.pcbi.1001089.
- 31) Delignières, D., Torre, K., & Lemoine, L. (2008). Fractal models for event-based and dynamical timers. *Acta Psychologica*, *127*(2), 382–97. doi:10.1016/j.actpsy.2007.07.007.
- 32) Diener, H. C., Dichgans, J., Guschlbauer, B., & Mau, H. (1984). The significance of proprioception on postural stabilization as assessed by ischemia. *Brain Research*, *296*(1), 103-109. doi:10.1016/0006-8993(84)90515-8.
- 33) Doherty-Sneddon, G., Riby, D.M., & Whittle, L. (2012). Gaze aversion as a cognitive load management strategy in autism spectrum disorder and Williams syndrome. *Journal of Child Psychology and Psychiatry*, *53*(4), 420-430. doi:10.1111/j.1469-7610.2011.02481.x.
- 34) Dorman, J., Fernie, G.R., & Holliday, P.J. (1978). Visual input: Its importance in the control of postural sway. *Archives of Physical Medicine and Rehabilitation*, *59*, 586-591.
- 35) D'Ausilio, A., Novembre, G., Fadiga, L., & Keller, P.E. (2014). What can music tell us about social interaction? *Trends in Cognitive Science*, *19*(3), 111-114. doi:10.1016/j.tics.2015.01.005.
- 36) Edwards A. S. (1946). Body sway and vision. *Journal of Experimental Psychology*, *36*(6), 526-535. doi:10.1037/h0059909.
- 37) Erin, R. W., Timothy, D., Wilson, D., & Gilbert, D. T. (2010). “He loves me, he loves me not...”: uncertainty can increase romantic attraction. *Psychological Science*, *22*(1), 172-175. doi:10.1177/0956797610393745.

- 38) Etani, T., Miura, A., Okano, M., Shinya, M., & Kudo, K. (2019). Accent stabilizes 1:2 sensorimotor synchronization of rhythmic knee flexion-extension movement in upright stance. *Frontiers in Psychology, 10*(888). doi:10.3389/fpsyg.2019.00888.
- 39) Fitts, P. M. (1954). The information capacity of the human motor system in controlling the amplitude of movement. *Journal of Experimental Psychology, 47*(6), 381-391. doi:10.1037/h0055392.
- 40) Fitzpatrick, P., Frazier, J. A., Cochran, D. M., Mitchell, T., Coleman, C., & Schmidt, R. C. (2016). Impairments of social motor synchrony evident in autism spectrum disorder, *Frontiers in Psychology, 7*(1323). doi:10.3389/fpsyg.2016.01323.
- 41) Fujiwara, K., & Daibo, I. (2016). Evaluating Interpersonal Synchrony: Wavelet Transform Toward an Unstructured Conversation. *Frontiers in Psychology, 7*(516). doi:10.3389/fpsyg.2016.00516.
- 42) Ganesh, G., Takagi, A., Osu, R., Yoshioka, T., Kawato, M., & Burdet, E. (2014). Two is better than one: Physical interactions improve motor performance in humans. *Scientific Reports, 4*, 3824. doi:10.1038/srep03824.
- 43) Goebel, W., & Palmer, C. (2009). Synchronization of timing and motion among performing musicians. *Music Perception, 26*(5), 427-438. doi:10.1525/mp.2009.26.5.427.
- 44) Golinska, A. K. (2012). Detrended fluctuation analysis (DFA) in biomedical signal processing: selected examples. *Studies in Logic, Grammar and Rhetoric, 29*(42), 107-115. doi:10.1016/j.physa.2019.04.102.
- 45) Haken, H. (1978). Synergetics: an introduction: nonequilibrium phase transitions and self-organization in physics. chemistry and biology. Berlin: Springer. doi:10.1007/978-3-642-96469-5.
- 46) Haken, H. (1983). Advanced synergetics: Instability hierarchies of self-organizing system and devices. Berlin: Springer. (斎藤信彦・小森尚志・長島知正 共訳 (1986). シナジェティクスの基礎—不安定性の階層システムとデバイスの自己組織化. 東京: 東海大学出版会).

- 47) Haken, H., Kelso, J. A. S., & Bunz, H. (1985). A theoretical model of phase transitions in human hand movements. *Biological Cybernetics*, 51(5), 347-356. doi:10.1007/BF00336922.
- 48) Hick, W. E. (1952). On the rate of gain of information. *Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 4(1), 11-26. doi:10.1080/17470215208416600.
- 49) Horak, F. B., & Nashner, L. M. (1986). Central programming of postural movements: adaptation to altered support-surface configurations. *Journal of Neurophysiology*, 55(6), 1369-1381. doi:10.1152/jn.1986.55.6.1369.
- 50) Horak, F. B., Nashner, L. M., & Diener, H. C. (1990). Postural strategies associated with somatosensory and vestibular loss. *Experimental Brain Research*, 82(1), 167-177. doi:10.1007/BF00230848.
- 51) Hove, M. J., & Risen, J. L. (2009). It's all in the timing: Interpersonal synchrony increases affiliation. *Social Cognition*, 27(6), 949-960. doi:10.1521/soco.2009.27.6.949.
- 52) Hurley, S. R., & Lee, T. D. (2006). The influence of augmented feedback and prior learning on the acquisition of a new bimanual coordination pattern. *Human Movement Science*, 25(3), 339-348. doi:10.1016/j.humov.2006.03.006.
- 53) Iberall, A. (1970). Periodic phenomena in organisms seen as non-linear systems. *Theoria to theory*, 4, 40-53.
- 54) Isabella, R. A., Belsky, J., & van Eye, A. (1989). Origins of mother–infant attachment: An examination of interactional synchrony during the infant's first year. *Developmental Psychology*, 25, 12-21. doi:10.1037/0012-1649.25.1.12.
- 55) Jeka, J. J., & Lackner, J. R. (1994). Fingertip contact influences human postural control. *Experimental Brain Research*, 79(2), 495-502. doi:10.1007/BF00229188.
- 56) Jeka, J., Oie, K., Schoner, G., Dijkstra, T., & Henson, E. (1998). Position and velocity coupling of postural sway to somatosensory drive. *Journal of Neurophysiology*, 79(4), 1661-1674.
- 57) Johansson, R., & Magnusson, M. (1991). Human postural dynamics. *Critical Reviews in Biomedical Engineering*, 18(6), 413-437. doi:10.1152/jn.1998.79.4.1661.

- 58) Julien, D., Brault, M., Chartrand, É., & Bégin, J. (2000). Immediacy behaviors and synchrony in satisfied and dissatisfied couples. *Canadian Journal of Behavioral Science*, 32, 84-90. doi:10.1037/h0087103.
- 59) Kanner L. (1943). Autistic disturbances of affective contact, *Nervous Child*, 2, 217-250.
- 60) Keller, P. E., & Appel, M. (2010). Individual differences, auditory imagery, and the coordination of body movements and sounds in musical ensembles. *Music Perception*, 28, 27-46. doi:10.1525/mp.2010.28.1.27.
- 61) Keller, P.E., Novembre, G., & Hove, M.J. (2014). Rhythm in joint action: psychological and neurophysiological mechanisms for real-time interpersonal coordination. *Philosophical Transactions of the Royal Society B*, 369(1658), 20130394. doi:10.1098/rstb.2013.0394.
- 62) Kelso, J. A. S. (1981). Patterns of human interlimb coordination emerge from the properties of non-linear, limit cycle oscillatory processes. *Journal of Motor Behavior*, 13(4), 226-261. doi:10.1080/00222895.1981.10735251.
- 63) Kelso, J. A. S. (1984). Phase-transitions and critical behavior in human bimanual coordination. *American Journal of Experimental Physiology*, 246(6), 1000-1004. doi:10.1152/ajpregu.1984.246.6.R1000.
- 64) Kelso, J. A. S. (1995). *Dynamic Patterns: The Self-Organization of Brain and Behavior*. Cambridge: The MIT Press.
- 65) Kelso, J. A. S., Buchanan, J. J., & Wallace, S. A. (1991). Order parameters for the neural organization of single, multijoint limb movement patterns. *Experimental Brain Research*, 85(2), 432-444. doi:10.1007/BF00229420.
- 66) Kelso, J. A. S., Fink, P. W., DeLaplain, C. R., & Carson, R. G. (2001). Haptic information stabilizes and destabilizes coordination dynamics. *Proceedings of the Royal Society of London, Series B: Biological Sciences*, 268(1472), 1207-1213. doi:10.1098/rspb.2001.1620.

- 67) Kirschner, S., & Tomasello, M. (2010). Joint music making promotes prosocial behavior in 4-year-old children. *Evolution and Human Behavior*, 31(5), 354-364.
doi:10.1016/j.evolhumbehav.2010.04.004.
- 68) Klin, A., Jones, W., & Schultz, R. (2002). Visual fixation patterns during viewing of naturalistic social situations as predictors of social competence in individuals with autism. *Arch Gen Psychiatry*, 59(9), 809-816. doi:10.1001/archpsyc.59.9.809.
- 69) Knoblich, G., & Sebanz, N. (2008). Evolving intentions for social interaction: from entrainment to joint action. *Philosophical Transactions of Royal Society B*, 363, 2021–2031.
doi:10.1098/rstb.2008.0006.
- 70) Kollegger, H., Baumgartner, C., Wober, C., Oder, W., & Deecke, L. (1992). Spontaneous body sway as a function of sex, age, and vision: Posturographic study in 30 healthy adults. *European Neurology*, 32, 253-259. doi:10.1159/000116836.
- 71) Kostrubiec, V., Zanone, P. G., Fuchs, A., & Kelso, J. S. (2012). Beyond the blank slate: routes to learning new coordination patterns depend on the intrinsic dynamics of the learner—experimental evidence and theoretical model. *Frontiers in Human Neuroscience*, 6,
doi:10.3389/fnhum.2012.00222.
- 72) Kouzaki, M., Masani, K., Akima, H., Shirasawa, H., Fukuoka, H., & Kanehisa, H. (2007). Effects of 20-day bed rest with and without strength training on postural sway during quiet standing. *Acta Physiologica*, 189(3), 279-92. doi:10.1111/j.1748-1716.2006.01642.x.
- 73) Kudo, K., Park, H., Kay, B. A., & Turvey, M. T. (2006). Environmental coupling modulates the attractors of rhythmic coordination. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 32(3), 599-609. doi:10.1037/0096-1523.32.3.599.
- 74) LaFrance, M. (1979). Nonverbal synchrony and rapport: Analysis by the cross-lag panel technique. *Social Psychology Quarterly*, 42, 66-70. doi:10.2307/3033875.
- 75) Lagarde, J., & Kelso, J. A. S. (2006) Binding of movement, sound and touch: multimodal coordination dynamics. *Experimental brain research*, 173(4), 673-688. doi: 10.1007/s00221-006-0410-1.

- 76) Lakin, J.L., Jefferis, V.E., Cheng, C.M., & Chartrand, T.L. (2003). The Chameleon Effect as social glue: Evidence for the evolutionary significance of nonconscious mimicry. *Journal of Nonverbal Behavior*, 27(3), 145-162. doi:10.1023/A:1025389814290.
- 77) Lamoth, C. J. C., Ainsworth, E., Polomski, W., & Houdijk, H. (2010). Variability and stability analysis of walking of transfemoral amputees. *Medical Engineering & Physics*, 32(9), 1009-1014. doi:10.1016/j.medengphy.2010.07.001.
- 78) Launay, J., Dean, R. T., & Bailes, F. (2014). Synchronising movements with the sounds of a virtual partner enhances partner likeability. *Cognitive Processing*, 15(4), 491-501. doi:10.1007/s10339-014-0618-0.
- 79) Lewin, K. (1943). Psychology and the process of group living. *Journal of social psychology*, 17, 113-131. doi:10.1080/00224545.1943.9712269.
- 80) Manchester, D., Woollacott, M., Zederbauer-Hylton, N., & Mann, O. (1989). Visual, vestibular and somatosensory contributions to balance control in the older adult. *Journal of Gerontology*, 44(4), M118-127, doi:10.1093/geronj/44.4.M118.
- 81) Marsh, K. L., Richardson, M. J., & Schmidt, R. C. (2009). Social connection through joint action and interpersonal coordination. *Topics in Cognitive Science*, 1(2), 320-339. doi:10.1111/j.1756-8765.2009.01022.
- 82) Martin, K. B., Hammal, Z., Ren, G., Cohn, J. F., Cassell, J., Ogihara, M., Britton, J. C., Gutierrez, A., & Messinger, D. S. (2018). Objective measurement of head movement differences in children with and without autism spectrum disorder. *Molecular Autism*, 9(14), 9-14. doi:10.1186/s13229-018-0198-4.
- 83) Mechsner, F., Kerzel, D., Knoblich, G., & Prinz, W. (2001). Perceptual basis of bimanual coordination. *Nature*, 414(6859), 69. doi:10.1038/35102060.
- 84) Meltzoff, A.N., & Moore, M.K. (1977). Imitation of facial and manual gestures by human neonates. *Science*, 198, 75-78. doi:10.1126/science.198.4312.75.
- 85) Meltzoff, A.N., & Moore, M.K. (1983). Newborn infants imitate adult facial gestures. *Child*

- development*, 54(3), 702-709. doi:10.2307/1130058.
- 86) Miles, L. K., Griffiths, J. L., Richardson, M. J., & Macrae, C. N. (2010). Too late to coordinate: Contextual influences on behavioral synchrony. *European Journal of Social Psychology*, 40(1), 52-60. doi:10.1002/ejsp.721.
- 87) Miles, L. K., Nind, L. K., & Macrae, C. N. (2009). The rhythm of rapport: Interpersonal synchrony and social perception. *Journal of Experimental Social Psychology*, 34(3), 585-589. doi:10.1016/j.jesp.2009.02.002.
- 88) Miura, A., Fujii, S., Okano, M., Kudo, K., & Nakazawa, K. (2016). Finger-to-beat coordination skill of non-dancers, street dancers, and the world champion of a street-dance competition. *Frontiers in Psychology*, 7, 542. doi:10.3389/fpsyg.2016.00542.
- 89) Miura, A., Fujii, S., Yamamoto, Y., & Kudo, K. (2015). Motor control of rhythmic dance from a dynamical systems perspective: A review. *Journal of Dance Medicine and Science*, 19(1), 11-21. doi:10.12678/1089-313X.19.1.11.
- 90) Miura, A., Kudo, K., & Nakazawa, K. (2013). Action–perception coordination dynamics of whole-body rhythmic movement in stance: A comparison study of street dancers and non-dancers. *Neuroscience letters*, 544, 157-162. doi:10.1016/j.neulet.2013.04.005.
- 91) Miura, A., Kudo, K., Ohtsuki, T., & Kanehisa, H. (2011). Coordination modes in sensorimotor synchronization of whole-body movement: a study of street dancers and non-dancers. *Human Movement Science*, 30(6), 1260-1271. doi:10.1016/j.humov.2010.08.006
- 92) Miyata, K., Varlet, M., Miura, A., Kudo, K., & Keller, P. E. (2017). Modulation of individual auditory-motor coordination dynamics through interpersonal visual coupling. *Scientific Reports*, 7, 16220. doi:10.1038/s41598-017-16151-5.
- 93) Mu, Y., Gao, C., & Han, S. (2016). Oxytocin enhances inter-brain synchrony during social coordination in male adults. *Social Cognitive and Affective Neuroscience*, 11(12), 1882-1893. doi:10.1093/scan/nsw106.

- 94) Nakayama, Y., Kudo, K., & Ohtsuki, T. (2010). Variability and fluctuation in running gait cycle of trained runners and non-runners. *Gait and Posture*, *31*(3), 331-335.
doi:10.1016/j.gaitpost.2009.12.003.
- 95) Nalepka, P., Kallen, R. W., Chemero, A., Saltzman, E., & Richardson, M. J. (2017). Herd Those Sheep: emergent multiagent coordination and behavioral mode switching. *Psychological Science*, *28*, 630-650. doi:10.1177/0956797617692107.
- 96) Nessler, J. A., & Gilliland, S. J. (2009). Interpersonal synchronization during side by side treadmill walking is influenced by leg length differential and altered sensory feedback. *Human movement science*, *28*(6), 772-785. doi:10.1016/j.humov.2009.04.007.
- 97) Néda, Z., Ravasz, E., Brechet, Y., Vicsek, T., & Barabási, A. L. (2000). The sound of many hands clapping. *Nature*, *403*(6772), 849-850. doi:10.1038/35002660.
- 98) Okano, M., Kurebayashi, W., Shinya, M., & Kudo, K. (2019). Hybrid dynamics in a paired rhythmic synchronization–continuation task. *Physica A: Statistical Mechanics and its Applications*, *524*(15), 625-638. doi: 10.1016/j.physa.2019.04.102.
- 99) Okazaki, S., Hirotsu, M., Koike, T., Bosch-Bayard, J., Takahashi, H.K., Hashiguchi, M., & Sadato N. (2015). Unintentional interpersonal synchronization represented as a reciprocal visuo-postural feedback system: A multivariate autoregressive modeling approach. *PLOS ONE*, *10*, e0137126. doi:10.1371/journal.pone.0137126.
- 100) Oullier, O., & Kelso, J. A. S. (2009). Coordination from the perspective of social coordination dynamics. in *Encyclopedia of Complexity and Systems Science*, Meyers, R., editor, Berlin: Springer, 8198–8212.
- 101) Peng, C. K., Buldyrev, S. V., Havlin, S., Simons, M., Stanley, H. E., & Goldberger, A. L. (1994). Mosaic organization of DNA nucleotides. *Physical Review E*, *49*(2), 1685–1689. doi:10.1103/PhysRevE.49.1685.

- 102) Phillips-Silver, J., & Keller, P. (2012). Searching for roots of entrainment and joint action in early musical interactions. *Frontiers in Human Neuroscience*, 6(26). doi:10.3389/fnhum.2012.00026.
- 103) Prigogine, I. (1967). Dissipative structures in chemical system. Fast reactions and primary process in chemical kinetics. Novel Symposium 5. S. Claesson (Ed.), Interscience Publishers, 371-382.
- 104) Prigogine, I. (1977). Self-organization in nonequilibrium systems: from dissipative structures to order through fluctuations. Wiley.
- 105) Reddish, P., Fischer, R., & Bulbulia, J. (2013). Let's dance together: synchrony, shared intentionality and cooperation. *PLOS ONE*, 8(8). doi:10.1371/journal.pone.0071182.
- 106) Raffard, S., Salesse, R. N., Marin, L., Del-Monte, J., Schmidt, R. C., Varlet, M., Bardy, B. G., Boulenger, J. P., & Capdevielle, D. (2015). Social priming enhances interpersonal synchronization and feeling of connectedness towards schizophrenia patients. *Scientific Reports*, 5(8156). doi:10.1038/srep08156.
- 107) Reddish, P., Fischer, R., & Bulbulia, J. (2013). Effects of social and physical variables on between-person visual coordination. *Ecological Psychology*, 6, 159-183. doi:10.1207/s15326969eco0603_1.
- 108) Richardson, D. C., & Dale, R. (2005). Looking to understand: the coupling between speakers' and listeners' eye movements and its relationship to discourse comprehension. *Cognitive Science*, 29(6), 1045-1060. doi:10.1207/s15516709cog0000_29.
- 109) Richardson, M. J., Marsh, K. L., Isenhower, R. W., Goodman, J. R. L., & Schmidt, R. C. (2007). Rocking together: Dynamics of intentional and unintentional interpersonal coordination. *Human Movement Science*, 26(6), 867-891. doi:10.1016/j.humov.2007.07.002.
- 110) Richer, J. M., & Coss, R. G. (1976). Gaze aversion in autistic and normal children. *Acta Psychiatrica Scandinavica*, 53(3), 93-210. doi:10.1111/j.1600-0447.1976.tb00074.x.
- 111) Richer, J.M., & Coss, R.G. (1976). Gaze aversion in autistic and normal children. *Acta*

- Psychiatrica Scandinavica*. 53(3), 93-210. doi:10.1111/j.1600-0447.1976.tb00074.x.
- 112) Riggio, R. E. (1986). Assessment of basic social skills. *Journal of Personality and Social Psychology*, 51(3), 649-660, doi:10.1037/0022-3514.51.3.649.
- 113) Riley, M. A., Richardson, M. J., Shockley, K., & Ramenzoni, V. C. (2011). Interpersonal synergies. *Frontiers in Psychology*, 2(38). doi:10.3389/fpsyg.2011.00038.
- 114) Rumelhart, D. E., & McClelland, J. L. (1986). *Parallel distributed processing*. Cambridge: MIT Press.
- 115) Schmid, M., Nardone, A., Nunzio, A. M. D., Schmid, M., & Schieppati, M., (2007). Equilibrium during static and dynamic tasks in blind subjects: no evidence of cross-modal plasticity. *Brain*, 130, 2097-2107. doi:10.1093/brain/awm157.
- 116) Schmidt, R. A. (1975). A schema theory of discrete motor skill learning. *Psychological Review*, 82(4), 225-260. doi:10.1037/h0076770.
- 117) Schmidt, R. A., & Lee, T. D. (2005). *Motor control and learning: A behavioral emphasis* (4th ed.) Human Kinetics: Champaign, IL.
- 118) Schmidt, R. A., Zelaznik, H., Hawkins, B., Frank, J. S., & Quinn, J. T. (1979). Motor-output variability: A theory for the accuracy of rapid motor acts. *Psychological Review*, 86(5), 415-451. doi:10.1037/0033-295X.86.5.415.
- 119) Schmidt, R. C., & O'Brien, B. (1997). Evaluating the dynamics of unintended interpersonal coordination. *Ecological Psychology*, 9(3), 189-206. doi:10.1207/s15326969eco0903_2.
- 120) Schmidt, R. C., & Richardson, M. J. (2007). Visual tracking and entrainment to an environmental rhythm. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 33(4), 860-870. doi:10.1037/0096-1523.33.4.860.
- 121) Schmidt, R. C., & Richardson, M. J. (2008) Dynamics of interpersonal coordination. *In Coordination: Neural, Behavioral and Social Dynamics*, Springer, 281-308.
- 122) Schmidt, R. C., Carello, C., & Turvey, M. T. (1990). Phase transitions and critical fluctuations in the visual coordination of rhythmic movements between people. *Journal of Experimental*

- Psychology: Human Perception and Performance*, 16(2), 227-247. doi:10.1037/0096-1523.16.2.227.
- 123) Schmidt, R. C., Christianson, N., Carello, C., & Baron, R. (1994). Effects of social and physical variables on between-person visual coordination. *Ecological Psychology*, 6(3), 159-183. doi:10.1207/s15326969eco0603_1.
- 124) Schmidt, R. C., Fitzpatrick, P., Caron, R., & Mergeche, J. (2011). Understanding social motor coordination. *Human Movement Science*, 30(5), 834-845. doi:10.1016/j.humov.2010.05.014.
- 125) Scott, S. W., & Chip, H., (2009). Synchrony and cooperation. *Psychological Science*, 20(1), 1-5. doi; 10.1111/j.1467-9280.2008.02253.x.
- 126) Sebanz, N., & Knoblich, G. (2009). Prediction in joint action: what, when, and where. *Topics in Cognitive Science*, 1(2), 353–367. doi:10.1111/j.1756-8765.2009.01024.x.
- 127) Sebanz, N., Bekkering, H., & Knoblich, G. (2006). Joint action: bodies and minds moving together. *Trends in cognitive sciences*, 10(2), 70-76. doi:10.1016/j.tics.2005.12.009.
- 128) Shannon, C. E., & Weaver, W. (1949). The mathematical theory of information. University of Illinois Press: Urbana.
- 129) Shea, J. B., & Morgan, R. L. (1979). Contextual interference effects on the acquisition, retention, and transfer of a motor skill. *Journal of Experimental Psychology: Human Learning and memory*, 5, 179-187.
- 130) Swinnen, S. P., Dounskaia, N., Walter, C. B., & Serrien, D. J. (1997). Preferred and induced coordination modes during the acquisition of bimanual movements with a 2: 1 frequency ratio. *Journal of Experimental Psychology: Human perception and performance*, 23(4), 1087. doi:10.1037/0096-1523.23.4.1087.
- 131) Swinnen, S. P., Lee, T. D., Verschueren, S., Serrien, D. J., & Bogaerds, H. (1997). Interlimb coordination: Learning and transfer under different feedback conditions. *Human Movement Science*, 16(6), 749-785. doi:10.1016/S0167-9457(97)00020-1.

- 132) Swinnen, S. P., Walter, C. B., Lee, T. D., & Serrien, D. J. (1993). Acquiring bimanual skills: contrasting forms of information feedback for interlimb decoupling. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, *19*(6), 1328-1344. doi:10.1037/0278-7393.19.6.1328.
- 133) Takagi, A., Ganesh, G., Toshioka, T., Kawato, M., & Burdet, E. (2017). Physically interacting individuals estimate the partner's goal to enhance their movements. *Nature Human Behavior*, *1*, 0054. doi:10.1038/s41562-016-0054.
- 134) Treffner, P.J., & Turvey, M.T. (1995). Handedness and the asymmetric dynamics of bimanual rhythmic coordination. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, *21*(2), 318-333. doi:10.1037/0096-1523.21.2.318.
- 135) Tsutsui, S., Lee, T.D., & Holdges, N.J. (1998). Contextual interference in learning new patterns of bimanual coordination. *Journal of Motor Behavior*, *30*, 151-157. doi:10.1080/00222899809601332.
- 136) van Ulzen, N. R., Lamoth, C. J., Daffertshofer, A., Semin, G. R., & Beek, P. J. (2008). Characteristics of instructed and uninstructed interpersonal coordination while walking in pairs. *Neuroscience Letters*, *432*(2), 88-93. doi:10.1016/j.neulet.2007.11.070.
- 137) Varlet, M., & Richardson, M. J. (2015). What would be Usain Bolt's 100-meter sprint World record without Tyson Gay? Unintentional interpersonal synchronization between the two sprinters. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, *41*(1), 36-41. doi:10.1037/a0038640.
- 138) Varlet, M., Marin, L., Capdevielle, D., Del-Monte, J., Schmidt, R. C., Salesse, R. N., Boulenger, J. P., Bardy, B. G., & Raffard, S. (2014). Difficulty leading interpersonal coordination: Towards an embodied signature of social anxiety disorder. *Frontiers in Behavioral Neuroscience*, *8*(29), doi:10.3389/fnbeh.2014.00029.

- 139) Varlet, M., Marin, L., Lagarde, J., & Bardy, B. G. (2011). Social postural coordination. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, *37*(2), 473-483.
doi:10.1037/a0020552.
- 140) Varlet, M., Marin, L., Raffard, S., Schmidt, R. C., Capdevielle, D., Boulenger, J. P., Del-Monte, J., & Bardy, B. G., (2012). Impairments of social motor coordination in schizophrenia, *PLOS ONE*, *7*(1), e29772. doi:10.1371/journal.pone.0029772.
- 141) Walton, A. E., Richardson, M. J., Langland-Hassan, P., & Chemero, A. (2015) Improvisation and the self-organization of multiple musical bodies. *Frontiers in Psychology*, *6*(313). doi: 10.3389/fpsyg.2015.00313.
- 142) Wang, C., & Yang, W. (2012). Using detrended fluctuation analysis (DFA) to analyze whether vibratory insoles enhance balance stability for elderly fallers. *Archives of Gerontology and Geriatrics*, *55*(3), 673-676. doi:10.1016/j.archger.2011.11.008.
- 143) Washburn, A., Coey, C. A., Romero, V., & Richardson, M. J. (2014). Visual multifrequency entrainment: can 1: 2, 2: 3, and 3: 4 coordination occur spontaneously? *Journal of Motor Behavior*, *46*(4), 247-257. doi:10.1080/00222895.2014.893980.
- 144) Wiltermuth, S. S., & Heath, C. (2009). Synchrony and cooperation. *Psychological science*, *20*(1), 1-5. doi:10.1111/j.1467-9280.2008.02253.
- 145) Yun, K., Watanabe, K., Shimojo, S. (2012). Interpersonal body and neural synchronization as a marker of implicit social interaction, *Scientific reports*, *2*(959). doi:10.1038/srep00959.
- 146) Zanone, P. G., & Kelso, J. A. S. (1992). Evolution of behavioral attractors with learning: nonequilibrium phase transitions. *Journal of Experimental Psychology: Human perception and performance*, *18*(2), 403. doi:10.1037/0096-1523.18.2.403.
- 147) Zanone, P. G., & Kelso, J. A. S. (1997). Coordination dynamics of learning and transfer: collective and component levels. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, *23*(5), 1454.

- 148) Zebende, G. F. (2011). DCCA cross-correlation coefficient: Quantifying level of cross-correlation. *Physica A: Statistical Mechanics and Its Applications*, 390(4), 614–618.
doi:10.1016/j.physa.2010.10.022.
- 149) Zhao, Z., Salesse, R. N., Gueugnon, M., Schmidt, R. C., Marin, L., & Bardy, B. G. (2015). Moving attractive virtual agent improves interpersonal coordination stability. *Human movement science*, 41, 240-254. doi:10.1016/j.humov.2015.03.012.
- 150) Zhao, Z., Salesse, R. N., Marin, L., Gueugnon, M., & Bardy, B. G. (2017). Likability's effect on interpersonal motor coordination: Exploring natural gaze direction. *Frontiers in psychology*, 8, 1864. doi:10.3389/fpsyg.2017.01864.
- 151) Zivotofsky, A. Z., & Hausdorff, J. M. (2007). The sensory feedback mechanisms enabling couples to walk synchronously: An initial investigation. *Journal of NeuroEngineering and Rehabilitation*, 4(1), 28. doi:10.1186/1743-0003-4-28.
- 152) Zivotofsky, A. Z., Gruendlinger, L., & Hausdorff, J. M. (2012). Modality specific communication enabling gait synchronization during overground side-by-side walking. *Human movement science*, 31(5), 1268-1285. doi:10.1016/j.humov.2012.01.003.
- 153) 工藤和俊 (2000). 運動制御研究の課題, *スポーツ心理学研究*, 27(1), 10-18.
- 154) 三浦哲都 (2013). 運動学習研究の二つのアプローチ, *スポーツ心理学研究*, 40(2), 221-228.
- 155) 山本裕二 (2002). 新たな運動学習の地平: ダイナミカルシステムアプローチの可能性, *体育学研究*, 27, 125-140.
- 156) 若林明雄, & 東條吉邦 (2004). 自閉症スペクトラム指数 (AQ) 日本語版の標準化—高機能臨床群と健常成人による検討—. *心理学研究*, 75(1), 78-84. doi:10.4992/jjpsy.75.78.
- 157) 若林明雄, 内山登起夫, 東條吉邦, 吉田友子, 黒田美保, Baron-Cohen, S., & Wheelwright, S. (2007). 自閉症スペクトラム指数(AQ)児童用・日本語版の標準化—高機能自閉症・アスペルガー障害児と定型発達児による検討—, *心理学研究*, 77(6), 534-540.
doi:10.4992/jjpsy.77.534.

- 158) 筒井清次郎 (2000). 運動学習研究の課題－運動学習理論の変遷と理論モデルの考え方－, *スポーツ心理学研究*, 27(1), 19-29.
- 159) 野村亮太, 岡田猛 (2014). 話芸鑑賞時の自発的なまばたきの同期. *認知科学*, 21(2), 226-244. doi:10.11225/jcss.21.226.

謝辞

工藤和俊先生は、博士課程から進学した私を、温かく受け入れてくださいました。工藤先生には、研究指導だけでなく、ゴルフ、バドミントンなど、さまざまなスポーツも教えていただきました。運動科学を専門とする身として、文武両道を目指すことの大切さを教えていただきました。のびのびと研究に取り組むことができたのは、ひとえに工藤先生のお人柄と温かなご指導のおかげです。本当にありがとうございました。

また、副査として本博士論文の審査をいただいた東海学園大学の筒井清次郎先生には、学部・修士時代ともにご指導いただきました。研究指導だけでなく、私が所属していた陸上競技部の部長としても、私の成長をそばで見守ってくださいました。進路についての悩みに対しても、親身になって聞いてくださいました。博士課程への進学を決めたのも、筒井先生のお言葉があったからです。修士課程を修了する際、筒井先生からいただいた手紙には、私への激励の言葉が並んでおりました。工藤先生の研究室に進学しても、研究がなかなか進まずつらい時期には、その手紙を読み返すことで自分を幾度も奮い立たせました。筒井先生の元で学んだことは、私の研究生活の原点です。筒井先生に出会うことがなければ、研究者を目指すこともなかったと思います。筒井先生には、感謝の言葉しかありません。本当にありがとうございました。

副査として多くのご指摘やご助言をくださった東京大学の竹下大介先生、中澤公孝先生、吉岡伸輔先生にも厚く御礼申し上げます。本博士論文について、的確なご指摘をいただいたことにより、本博士論文の考察をより深めることができただけでなく、今後研究を進めていくにあたって貴重なご示唆をいただくことができました。本当にありがとうございました。

そして、早稲田大学の三浦哲都先生にも厚く御礼申し上げます。三浦先生には、時には厳しく時には背中を押す言葉を、数えきれないほどかけていただきました。研究

者として、未熟な私を熱心にご指導くださいました。工藤先生、三浦先生お二方のご指導がなければこの博士論文を書き上げることはできませんでした。心より感謝申し上げます。

私が博士課程に進学する際、自分の好きなことに一生懸命に生きなさい、と背中を押してくれた両親、そして研究者として先輩でもある姉にも数えきれないほどたくさん励ましの言葉をかけてもらいました。先の見えない将来への漠然とした不安に駆られたときには、真っ先に両親と姉に電話をしました。たわいもない会話をしながら多くのアドバイスと励ましの言葉をかけてもらいました。本当にありがとうございました。今後も家族孝行ができるよう、一所懸命研究に精進してまいります。

また、先輩後輩を問わず、工藤研究室のみなさまには本当にお世話になりました。工藤研 OB である岡野真裕さんには、同じ領域の研究者として、多くの助言をいただきました。また実験と一緒にやりきってくれた横山梓さん、実験を手伝っていただいた田野崎はるかさん、井川大樹さん、草深あやねさん、小池裕子さん、舟橋毅さん、また研究に対する的確かつ建設的なコメントをしてくれた女川亮司さんにも心より感謝申し上げます。

上記に挙げた方以外にも、私生活を含め多くの方に支えていただきました。関わっていただいた皆様に厚く御礼申し上げます。