

2020年度 学位論文

人間のパフォーマンスを高める身心一体科学とその適用：

一流スポーツ競技選手を対象として

The Body-Mind Integrative Science for Human

Performance Improvement: an Application for Elite Athletes

東京農工大学 大学院工学府

応用化学専攻

飯塚 太郎

目次

1. 緒論	
1.1. 問題の端緒.....	1
1.2. パフォーマンス向上には「つもり」と「実際」の適合が必要となる.....	6
1.3. 本論文の目的.....	10
2. 世界トップレベルのバドミントン競技における試合時間および強度の変化： 一流女子シングルス選手における試合中の傷害発生の増加要因に関する検討	
2.1. 目的.....	11
2.2. 方法.....	13
2.3. 結果.....	17
2.4. 論議.....	21
2.5. 小括.....	24
3. 一流バドミントン選手のテーパリング期におけるトレーニング負荷の変化が 心拍変動および主観的疲労感に及ぼす影響	
3.1. 目的.....	25
3.2. 方法.....	26
3.3. 結果.....	29
3.4. 論議.....	33
3.5. 小括.....	36
4. 一流スピードスケート選手のテーパリング期における心拍変動データの 競技シーズン最初と最後の比較	
4.1. 目的.....	37
4.2. 方法.....	39
4.3. 結果.....	44
4.4. 論議.....	47
4.5. 小括.....	50
5. 総括論議	
5.1. 一流スポーツ競技選手のパフォーマンス向上に向けたデータ活用の意義.....	51
5.2. 一流スポーツ競技現場で医・科学データが必ずしも活用されない要因.....	59
5.3. まとめと提言 - 「身心一体科学」的視座とその適用の提案 -	61
6. 謝辞.....	63
7. 参考文献.....	64

1. 緒論

1.1. 問題の端緒

1.1.1. 一流スポーツ競技選手の国際競技力向上に対する期待

2013年9月7日、アルゼンチン・ブエノスアイレスで行なわれた第125次国際オリンピック委員会総会にて、2020年夏季オリンピック・パラリンピックが東京で開催されることが決定した。折しも、日本では、2001年に国立スポーツ科学センター（Japan Institute of Sports Sciences: JISS）が開所し、2008年からはJISSと隣接してナショナルトレーニングセンター（National Training Center: NTC）が設置されるなど、オリンピックやパラリンピックでのメダル獲得が期待されるような一流スポーツ競技選手の育成・強化に対する医・科学的な支援が具体的な形となって加速し始めていた。その中で、オリンピック・パラリンピックの自国開催が決定したことは、一流スポーツ競技選手の国際競技力向上に対するスポーツ医・科学の貢献への社会的な期待を、ますます高いものに引き上げたといえる。

1.1.2. 社会における一流スポーツ競技選手の国際競技力向上の位置づけ

ところで、一流スポーツ競技選手の国際競技力向上を促進させるための医・科学的支援が果たす貢献は、一部のトップレベルの競技者やコーチに対する限られたものでしかないのだろうか？2012年3月30日、「スポーツ基本法」に基づいて策定された「スポーツ基本計画」では、2012年度から10年間のスポーツ推進の基本方針が示されている。そこでは、スポーツと社会との関係性について、「スポーツは、体を動かすという人間の本源的な欲求に応え、精神的充足や楽しさ、喜びをもたらすという内在的な価値を有するとともに、青少年の健全育成や、地域社会の再生、心身の健康の保持増進、社会・経済の活力の創造、我が国の国際的地位の向上など、国民生活において多面にわたる役割を担うもの」とされている（「スポーツ基本計画」、2012）。さらに、このようなスポーツの位置づけを

踏まえて、「スポーツを通じてすべての人々が幸福で豊かな生活を営むことができる社会」を創出することを求め、そのための7つの課題を挙げるとともに、課題ごとに政策目標が設定されている（図1）。



図1：2012年度から10年間を見通したスポーツ推進の基本方針
 （「スポーツ基本計画」、2012年）

図 1 からは、この計画の全体像において、国際競技力向上が単に一流スポーツ競技選手・コーチのためだけの利益を対象としたものではなく、その成果や、その取り組みの中で育成されたスポーツ人材を通じて、「トップスポーツ」と「地域におけるスポーツ」との連携・協働を推進し、子ども、若者、高齢者それぞれのライフステージに応じたスポーツ活動を促す役割を広く期待されていることが分かる。

1.1.3. 夏季オリンピックでのメダル獲得数にみる国際競技力向上の成果

このように、トップスポーツにおける国際競技力向上は、広く社会的な貢献につながるものとして位置づけられ、一流スポーツ競技選手・コーチに対する国際競技力向上を目的とした医・科学的な研究および支援が、国立スポーツ科学センターや各大学を軸として、国家的予算のもとで進められている。

そうした中で、国際競技力向上そのものの成果に目を向けると、2001年にJISSが開所して初めて迎えた2004年アテネオリンピックにおいて、それまでの日本として夏季オリンピックでの史上最高となる金メダル獲得数16個、メダル獲得総数37個という成果を得ることとなり、一流スポーツ競技選手の強化に対して医・科学的な研究および支援を行なっていくことの効果や意義をアピールするものになったと考えられる。

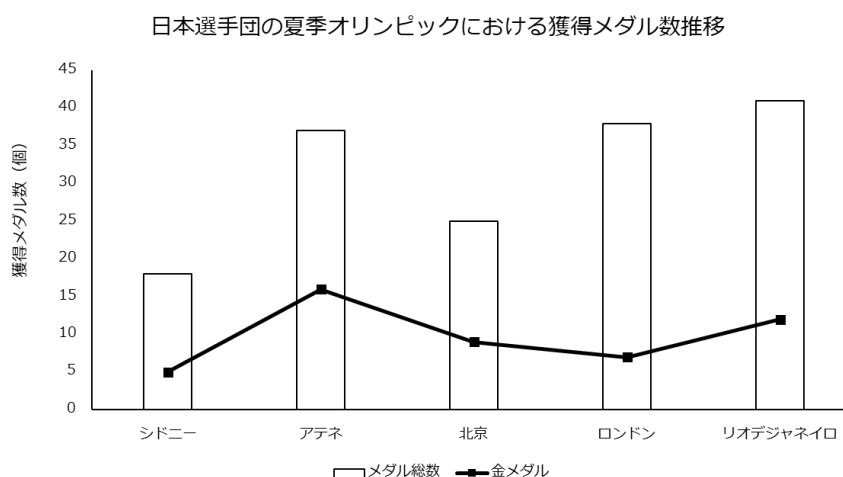


図 2：日本選手団の夏季オリンピックにおける獲得メダル数推移
(2000年シドニーオリンピック～2016年リオデジャネイロオリンピック)

ところが、それ以降、オリンピックが3大会開催されてきた中で、メダル獲得総数については2012年ロンドンオリンピックでの38個、2016年リオデジャネイロオリンピックでの41個と少しずつ数字を伸ばしているものの、金メダル獲得数については、アテネオリンピックでの16個という数字が依然として過去最高というように停滞している。

1.1.4. 一流スポーツ競技の強化現場における選手・コーチと医・科学との距離

その背景としては、もちろん、一流スポーツ競技選手に対する医・科学的な支援に力を入れているのが日本のみではないということがあるだろう。それでも、スポーツ医・科学研究の発展そのものはJISS開所以来、国内でも目覚ましいものがありながら、そのことが必ずしも国際競技力向上という成果に結びついていないようにも感じられる。

「スポーツ基本計画」においても、「トップアスリートのための強化・研究活動等の拠点構築」の現状と課題として、「これまでNTCやJISS、大学等の強化・研究関係機関間における連携が必ずしも十分ではなく、それぞれの機関が蓄積してきた人材・知識・情報等の資源が、トップアスリートに対する強化・支援に十分に活用されていない」ことが指摘されている。この指摘そのものは、主としてトップアスリートを対象とした研究機関どうしの連携の在り方に関するものといえるが、結果として、蓄積されたスポーツ医・科学的な知見やそれを専門とする人材が、一流スポーツ競技選手・コーチの間で十分に活用されていない状況についても評価を示すものとなっている。

こうした状況にある要因としては、スポーツ医・科学が発展する一方で、一流スポーツ競技の強化現場においては、その効果的な活用に関して未だに模索が続いていることがあるのではないかと推察する。すなわち、一流スポーツ競技選手・コーチの課題意識に対して、選手らを研究対象として得られるスポーツ医・科学的な知見が、必ずしも効果的な課題解決への方策を提示するようには進んでいないのではないかとということである。一流スポーツ競技選手を指導するコーチは、自らの競技経験、あるいはコーチとしての経験を豊富に有し、それらの経験を基礎とした「アート」を軸としてコーチングを行なっている。そこには、

時として「サイエンス」としてのスポーツ医・科学においてまだ実証されていない先進的なプロセスが含まれることもある (Sandbakk, 2018)。すなわち、独自に試行錯誤を続ける「アート」に対して「サイエンス」がうまく組み合わせたり、互いに補完し合い、一流スポーツ競技選手の国際競技力向上を加速させるようなサイクルを生み出すには、それぞれがそれぞれの領域において先進性を競い合うことはもちろん不可欠な一方で、それだけでは十分ではなく、両者を橋渡しするような、また別の要件が求められるものと考えられる。

1.2. パフォーマンス向上には「つもり」と「実際」の適合が必要となる

1.2.1. 一流スポーツ競技の強化現場における「つもり」と「実際」

大築（2003）は、「巧みだと評価される動作を行なうためには、自分の思った通りに身体を動かすことができなければならない。自分の身体の動きや姿勢は、運動遂行中にその全てを目で見て確かめることはできないので、殆どは自分の身体感覚でコントロールするしかない。その結果、自分では上手いつもりでいても、外から見るとフォームがおかしかったりするのである」と述べており、人間が行なうことの「つもり」と「実際」が必ずしもマッチしないことを指摘している。先述したように、一流スポーツ競技の現場において、コーチは自らの競技経験やコーチとしての経験をベースとしてコーチングを行なっているケースが多い。しかし、強化現場においてコーチもしくは選手自身の経験が積み上げられる過程では、試行錯誤が繰り返されることから、日常的なトレーニングにおいて、もし選手のトレーニングへの適応に関する客観的な「状況（実際）」に対して主観的な「評価（つもり）」がマッチしていない場合には、トレーニングの量、強度および頻度の調節が適切に行なわれず、うまくトレーニングの効果が得られないことや、選手に傷害を発生させるリスクを増加させることによって、選手のパフォーマンスに対して負の影響がもたらされる可能性が考えられる。

さらに、重要な競技会に向けた調整の局面において、選択されたコンディショニングのパターンに対して実際に選手のコンディションがどのように推移したかも、コーチもしくは選手の主観的評価によって判断されることが多く、客観的評価指標によりモニターされることは依然として少ないようである（Ritchie ら、2018、Pollok ら、2019）。その背景として、一つには、測定が簡便で、かつ効果的なコンディション評価指標が確立されていないことがあると考えられる。それでも、コンディショニングにおける試行錯誤の過程で「つもり」と「実際」が乖離した場合には、重要な試合にコンディションを合わせられないことにより、選手のパフォーマンス発揮を妨げる要因となるリスクが考えられる。

窪（2017）は、医・科学の優位性は客観性と検証可能性の高さであるとし、コーチや選手の経験に大きく頼らなければならない仕事もあるものの、選手のパ

パフォーマンス向上に向けたコーチングのうち、「パフォーマンスの構造分析」と「トレーニングおよび競技会の成果の評価」に関しては、医・科学が貢献できる場所であるとしている。すなわち、医・科学による客観的な分析手法を通じてパフォーマンス構造を検証し、また、トレーニングとその結果としての競技会の成果について検証することは、「いつ、どのようなトレーニングを行なうべきか」の効果的な提示につながり、強化に貢献しうることを示唆している。

1.2.2. パフォーマンス構造に関する評価の「つもり」と「実際」

スポーツ医・科学では、最近、例えば GPS や加速度センサを利用したウェアラブルな測定機器の登場により、フィールドでの選手のパフォーマンスやそれを支える技術的あるいは身体的な特性に関して、客観的なデータが精度良く得られるようになってきた。また、練習や試合において撮影された映像から、選手のパフォーマンスについて評価を行うことも簡単に行なえるようになってきている。

また、同じ競技でも、ルールの変更、用具の進化、競技人口増加による選手の全体的なレベル向上などによってパフォーマンスの構造（競技特性）が変化することがある。それに対して適応的にトレーニングを行ない、優れたパフォーマンスを発揮していくためには、時々刻々と変化しうる競技特性を的確に評価し、「つもり」と「実際」が乖離しないよう、トレーニング量、強度や頻度を選択していくことが必要である。もし両者に乖離がみられる場合には、それまでスタンダードかつ効果的なトレーニングとされてきた方法論であっても、取捨を求められる場合もあるだろう。

このように、客観的データにより個人としての一流スポーツ競技選手のパフォーマンス構造、あるいは競技全体としてのパフォーマンス構造がどのように成立しているか、その特性について評価することは、強化現場におけるコーチや選手による試行錯誤に対して、「つもり」と「実際」が適合しているか検証するためのエビデンスを提供しうる点で重要である。また、時としてデータなしでは検知することが難しい重要な事象を捉えることを通じて、パフォーマンス向上へのヒントを提供する可能性もあると考えられる。

1.2.3. 大会に向けたテーパリングにおける「つもり」と「実際」

スポーツの競技現場では、重要な大会に向けてコンディションを上げていくために、数日あるいは数週間単位で徐々にトレーニングや練習の負荷を減らすことが一般的に行なわれ、「テーパリング」として定義されている(河森、2018)。その中で、Mujika と Padilla (2003) によれば、テーパリング期ほどコーチが個々の選手のトレーニング戦略について不確かな期間はなく、その理由としてコーチたちのほとんどが試行錯誤のアプローチに依存しているからと述べている。河森 (2018) も、「ほとんどのアスリートやコーチが、これまでの経験や感覚だけを頼りにして、重要な試合に向けてのテーパリングを実施しているというのが実情である」と指摘しており、選手のコンディションが的確に評価され、トレーニング量、強度および頻度の調整が適切に行なわれない場合には、疲労が蓄積したまま競技会に臨むケースが考えられる一方で、逆に疲労は除けてもトレーニングの効果を失った状態で競技会に出場するケースも考えられるだろう。

競泳でオリンピックや世界選手権などの大きな国際大会で決勝に進出した選手らを指導している競泳コーチとストレングス&コンディショニングコーチを対象とした調査研究でも、選手の疲労に関する評価は主として「選手とのコミュニケーション」や「毎日の質問紙調査」を手段として行なわれていることが示されている (Pollok ら、2019)。こうした状況の中で、客観的なデータを活用し、テーパリング期における選手・コーチのコンディション評価に関する「つもり」と「実際」がマッチしているか検証し、強化現場にエビデンスを提供することは、一流競技スポーツ選手のパフォーマンス向上に向けて重要な意義を持ち、新たな示唆をもたらす可能性もあると考えられる。

1.2.4. 「つもり」と「実際」の乖離を評価する「身心一体科学」的アプローチ

このように、一流スポーツ競技選手が優れたパフォーマンスを発揮するうえで、競技特性や選手のコンディション評価における「つもり」が「実際」と乖離していないか確認することは重要だが、コンディション評価における「つもり」と「実際」の乖離は、より一般に、人間が生活の質 (QOL: Quality of Life) を

高め、健康的な生活を送ることを目指す場合においても考慮されるべき点だと考えられる。山本 (1999) は、「例えば、『一日にどのくらいカロリーを使っていますか?』、『寝付きは良い方ですか?』、『普段どの位ストレスを感じていますか?』、といった日常生活の質に関する問いに対して、客観的な解答が得られることは、依然として稀なように思える」として、人間が自分たちの生理 (生態) について知っていることの曖昧さについて指摘している。すなわち、生活の中で、科学に関する知識は持っていたとしても、それを自らの QOL やパフォーマンスを高めるための主体的で実践的な取り組みへと転換させることには結びついていないことが示唆される。

こうした状況に対して、跡見 (2012) は、「自分を知る科学」としての「身心一体科学」を新たに提唱している。身心一体科学は、「未だ科学の俎上にのっていない人間の身体活動やその時間適応変化を、細胞のホメオスタシス機能や細胞のメカニカルストレス基盤の視点から事象を観察して課題を発掘し、計測し可視化することで、個人が 100 年もつ身体を維持しつつ最大の能力を発揮できる状態を創り出すことを目的とする、課題解決型の新しい科学分野」である (Atomi ら、2018)。すなわち、人間がパフォーマンスを向上させる道筋を立てるうえでは、「つもり」と「実際」に乖離がないか可視化して「自分を知る」ことはもちろん、発掘された課題の解決に向けて主体的かつ実践的にアプローチする姿勢も必要になるという視座に立った重要な問題提起ともいえるだろう。このような身心一体科学の視座を適用することは、一流スポーツ競技選手のパフォーマンスを効果的に高めることにも貢献することが期待され、本論文で検証を行なっていく。

1.3. 本論文の目的

本論文の目的は、

- (1) 一流スポーツ競技選手を対象として、主に客観的なデータを測定することで、コンディショニングにおける強化現場の「つもり」と「実際」のギャップを評価するとともに、強化現場でそのギャップを埋めるための方策を検討するうえでエビデンスとなるデータ提供を行なうことができるか実証的に示すこと
- (2) スポーツ医・科学的なデータが一流スポーツ競技選手の強化現場で活用され、パフォーマンス向上に寄与するために必要な在り方について、身心一体科学的な視座から検討すること

の2点であった。

第2章では、世界トップレベルのバドミントン競技における試合特性の変化について検証することで、一流選手のパフォーマンス向上や傷害予防に向けたトレーニングやリカバリーの方向性に関する示唆を得られるか検討を行なった。

第3章および第4章では、それぞれスピードスケート、バドミントンの一流競技選手を対象として、大会直前のテーパリング期におけるコンディショニングについてデータ測定を行ない、強化現場において意図されたコンディショニングと実際の選手のコンディショニング推移がマッチしているか検証を行なった。

2. 世界トップレベルのバドミントン競技における試合時間および強度の変化： 一流女子シングルス選手における試合中の傷害発生の増加要因に関する検討

2.1. 目的

2006年、世界バドミントン連盟（BWF）はバドミントン競技のルールを15点×3ゲーム（女子シングルスは11点×3ゲーム）のサービスポイント制から21点×3ゲームのラリーポイント制へと変更した。このルールは、試合時間を短縮し、テレビ視聴者にとってルールを分かりやすいものにすることを目的として提案された。ところが、最近、現行ルールの下で、トップレベルの国際大会における試合時間が再び増加してきていることが広く認識されている。実際、先行研究によって、男子シングルスの試合時間が2008年北京オリンピックから2012年ロンドンオリンピックにかけて増加したことが示されている。さらに、2012年ロンドンオリンピックでは、ラリー時間が有意に長くなり、1ラリーあたりのストローク数が有意に増加したことも明らかにされている。Faudeら（2007）は、バドミントンのシングルスにおける酸素摂取量と心拍数について、それぞれ平均で最高酸素摂取量の73.3%、最高心拍数の89.0%であったことを報告している。さらに、上述した試合時間および試合の時間的構造における最近の変化によって、世界トップレベルの男子シングルスの試合における強度はさらに増加している可能性がある。

バドミントンは、2012年ロンドンオリンピックにおいて、競技者の傷害発生のリスクが最も高い競技の一つであったことが報告されている。最近、女子シングルス選手において、試合中の急性の傷害が頻繁に発生している。例えば、2012年ロンドンオリンピックや2016年リオデジャネイロオリンピックでの試合において、前十字靭帯の損傷が生じている。すなわち、世界トップレベルの女子シングルの試合特性も大きく変化しており、試合がより強度の高いものになっていることが示唆される。しかし、これまで、世界トップレベルの女子シングルの試合について調べた研究はみられない。

一流バドミントン選手に対して適切なトレーニングおよび傷害予防プログラムを計画するうえでは、世界トップレベルのバドミントンにおいて、試合時間や

試合の時間的構造がどのように変化してきたかを理解することが不可欠である。そこで、本研究では、2006年の現行ルールを導入後、世界トップレベルの男子シングルスおよび女子シングルス試合において、試合時間および試合の時間的構造がどのように変化したか検証を行なった。分析は、2つのステップを通じて行なった。まず、2007年と2017年に行われたスーパーシリーズ各12大会の試合を対象として試合時間を比較した。2007年から2017年まで開催されたスーパーシリーズは年間12大会で構成され、世界最高水準のバドミントン競技会として広く認識されていた。さらに、試合時間の変化に影響したと考えられる試合の時間的構造の変化についても検証を行なった。そのために、私たちは、それぞれ2007年および2017年に開催されたスーパーシリーズ12大会の一つであったジャパンオープン2007およびジャパンオープン2017における試合の時間的構造に関する比較を行なった。

2.2. 方法

2.2.1. スーパーシリーズ 2007 と 2017 の試合に関する比較

(1) トーナメントにおけるステージの定義

スーパーシリーズのトーナメントでは、男子シングルスおよび女子シングルスの本戦がそれぞれ 32 名の選手によって争われる。スーパーシリーズのトーナメントは 1 回戦、2 回戦、準々決勝、準決勝、決勝で構成される。各トーナメントでは、32 名の選手のうち、世界ランキングに基づいて 8 名の選手がシードされ、準々決勝以降の試合は長時間かつより強度の高いものになる傾向がある。それは、試合の強度が相手のレベル次第で異なる中で、準々決勝以降の試合がランキングのより高い選手の間で行なわれることによる。実際、最近の研究によって、2016 年リオデジャネイロオリンピックにおける試合時間がグループステージ（プレーオフへの予選としての位置づけ）とプレーオフとで有意に異なったことが示されている。このことから、世界トップレベルの試合における試合時間および試合の時間的構造の変化を追究するうえで、スーパーシリーズのトーナメントにおける試合を次の 2 つのステージに分類することとした：

Early Rounds = 1 回戦および 2 回戦

Final Eight = 準々決勝、準決勝および決勝

(2) 試合時間

スーパーシリーズを含む BWF 公認のトーナメントに関する公式記録は、Tournament Software (www.tournamentsoftware.com) のウェブサイトで見ることができる。このウェブサイトから、2007 年と 2017 年のスーパーシリーズ各 12 トーナメントで行なわれた全ての試合について試合時間のデータを収集した。そして、トーナメントごとに Early Rounds および Final Eight の平均試合時間を算出した。本研究の対象となった試合数を表 1 にまとめた。

表 1：(A) 2007 年と (B) 2017 年に開催されたスーパーシリーズ各 12 大会で分析を行なった男子シングルスおよび女子シングルスの試合数
(Iizuka ら、2020)

(A)

Tournament	Place	Period	Number of matches			
			MS		WS	
			Early rounds	Final eight	Early rounds	Final eight
Malaysia Open	Kuala Lumpur	2007.1.16-1.21	24	6	24	7
Korea Open	Seoul	2007.1.23-1.28	23	7	24	7
All England Open	Birmingham	2007.3.6-3.11	24	7	24	6
Swiss Open	Basel	2007.3.12-3.18	24	6	24	7
Singapore Open	Singapore	2007.5.1-5.6	24	7	24	7
Indonesia Open	Jakarta	2007.5.7-5.13	24	7	23	7
China Masters	Chengdu	2007.7.10-7.15	24	7	23	7
Japan Open	Tokyo	2007.9.11-9.16	24	7	24	7
Denmark Open	Odense	2007.10.23-10.28	24	7	24	7
French Open	Paris	2007.10.30-11.4	24	7	24	7
China Open	Guangzhou	2007.11.20-11.25	24	6	24	7
Hong Kong Open	Hong Kong	2007.11.26-12.2	23	6	23	7
Total			286	80	285	83

(B)

Tournament	Place	Period	Number of matches			
			MS		WS	
			Early rounds	Final eight	Early rounds	Final eight
All England Open	Birmingham	2017.3.7-3.12	23	7	24	7
India Open	New Delhi	2017.3.28-4.2	23	7	22	7
Malaysia Open	Kuala Lumpur	2017.4.4-4.9	24	6	24	7
Singapore Open	Singapore	2017.4.11-4.16	24	7	24	7
Indonesia Open	Jakarta	2017.6.12-6.18	24	7	23	7
Australian Open	Sydney	2017.6.20-6.25	23	7	24	7
Korea Open	Seoul	2017.9.12-9.17	24	7	24	7
Japan Open	Tokyo	2017.9.19-9.24	24	7	23	6
Denmark Open	Odense	2017.10.17-10.22	24	7	22	7
French Open	Paris	2017.10.24-10.29	23	6	24	7
China Open	Fuzhou	2017.11.14-11.19	24	7	23	7
Hong Kong Open	Hong Kong	2017.11.21-11.26	23	7	23	7
Total			283	82	280	83

Matches that were not completed were not included.

MS: Men's Singles; WS: Women's Singles

Early rounds: round 1 and round 2; Final eight: quarterfinal, semifinal, and final

2.2.2. ジャパンオープン 2007 と 2017 の試合に関する比較

(1) ビデオ資料

ジャパンオープン 2007 および 2017 における男子シングルスと女子シングルの試合映像は、日本バドミントン協会によって撮影され、本研究のために提供された。ジャパンオープン 2007 に関して、分析に用いることができた試合映像はそれぞれ男子シングルの Early Rounds で 19 試合、Final Eight で 6 試合、女子シングルの Early Rounds で 17 試合、Final Eight で 8 試合であった。また、ジャパンオープン 2017 に関して、分析に用いることができた試合映像はそれぞれ男子シングルの Early Rounds で 23 試合、Final Eight で 7 試合、女子シングルの Early Rounds で 23 試合、Final Eight で 6 試合であった。

(2) 試合分析

試合映像の分析は、Sports Code (Hudl, Lincoln, NE, USA) を用いて行ない、下記の時間的変数が算出された：ラリー時間（サーブが行なわれてからシャトルが地面に着くまでの時間）、レスト時間（シャトルが地面に着いてから次のサーブが行なわれるまでの時間）、ラリー密度（ラリー時間をレスト時間で除した指標）、1 ラリーあたりのストローク数（ラリーの中で双方の選手によってシャトルが打たれた総数）、1 秒あたりのストローク数（1 ラリーあたりのストローク数をラリー時間で除した指標）、有効プレー時間（EPT：ラリー時間をラリー時間+レスト時間で除して 100 倍した指標）。2013 年、BWF によって線審の判定に関する即時レビューシステムが導入された。このシステムでは、一人の選手につき 1 ゲームごとに 2 回のレビューをリクエストすることができる。レビューには通常 30 秒以上が必要となることから、2007 年と 2017 年の時間的変数を同じ条件で比較する目的で、選手が線審の判定に関するレビューをリクエストした際のレスト時間をデータから除外することとした。

2.2.3. 統計

データは平均±標準偏差で示した。統計解析は全て SPSS version 19 (IBM, USA)を用いて行なった。全ての変数について、Shapiro-Wilk 検定を用いて正規性の検定を行なった。試合時間および試合の時間的変数について、年およびトーナメントステージを要因とする二元配置分散分析 (ANOVA) を行なった。事後検定には、Bonferroni 法を用いた。ANOVA の効果量の指標としては、偏イータ二乗 (partial η^2) を用いた。男子シングルスおよび女子シングルスそれぞれについて、2007 年と 2017 年における Early Rounds と Final Eight の試合時間の差を対応のある t 検定を用いて比較した。統計的有意水準は 5%未満とした。

2.3. 結果

2.3.1. スーパーシリーズ 2007 と 2017 の試合に関する比較

表 2 はスーパーシリーズの男子シングルスに関して、年およびトーナメントステージによる試合時間の違いを示している。試合時間に関して、分散分析の結果、年 ($P < 0.001$) に主効果がみられた。このことは、2007 年から 2017 年にかけて、男子シングルスの試合時間が有意に増加したことを示している。

表 3 はスーパーシリーズの女子シングルスに関して、年およびトーナメントステージによる試合時間の違いを示している。試合時間に関して、分散分析の結果、年とトーナメントステージの間に有意な交互作用がみられ ($P = 0.023$)、事後検定により、Early Rounds と Final Eight のいずれにおいても 2007 年と 2017 年の間に有意な差があることが示された ($P < 0.05$)。この結果は、いずれのトーナメントステージでも 2007 年から 2017 年にかけて有意な試合時間がみられたものの、その増加の程度は、Early Rounds に対して Final Eight でより大きかったことを示している。

男子シングルスにおいては、Early Rounds と Final Eight との試合時間の差は 2007 年と 2017 年との間で差がみられなかった (図 1A)。一方で、女子シングルスにおいては、Early Rounds と Final Eight との試合時間の差は 2007 年から 2017 年にかけて有意に増加していた ($P = 0.008$; 図 1B)

表 2：スーパーシリーズ 2007 と 2017 の男子シングルスにおける Early Rounds と Final Eight の試合時間 (Iizuka ら、2020)

	Early rounds		Final eight		Main effect		Interaction
	2007	2017	2007	2017	Year	Stage	
Match duration (min)	38.2 (2.8)	49.1 (3.7)	44.5 (5.1)	52.8 (5.0)	$P < 0.001$ (partial η^2 = 0.576)	$P < 0.001$ (partial η^2 = 0.273)	$P = 0.290$ (partial η^2 = 0.025)

Data are presented as mean (standard deviation).

Early rounds: round 1 and round 2; Final eight: quarterfinal, semifinal, and final

表 3：スーパーシリーズ 2007 と 2017 の女子シングルスにおける Early Rounds と Final Eight の試合時間 (Iizuka ら、2020)

	Early rounds		Final eight		Main effect		Interaction
	2007	2017	2007	2017	Year	Stage	
Match duration (min)	38.0 (3.3)	42.1* (3.6)	42.9# (4.2)	53.3*# (6.6)	P < 0.001 (partial η^2 = 0.401)	P < 0.001 (partial η^2 = 0.448)	P = 0.023 (partial η^2 = 0.112)

Data are presented as mean (standard deviation).

Early rounds: round 1 and round 2; Final eight: quarterfinal, semifinal, and final

*P < 0.05 vs 2007 compared within the same tournament stage

#P < 0.05 vs early rounds compared within the same year

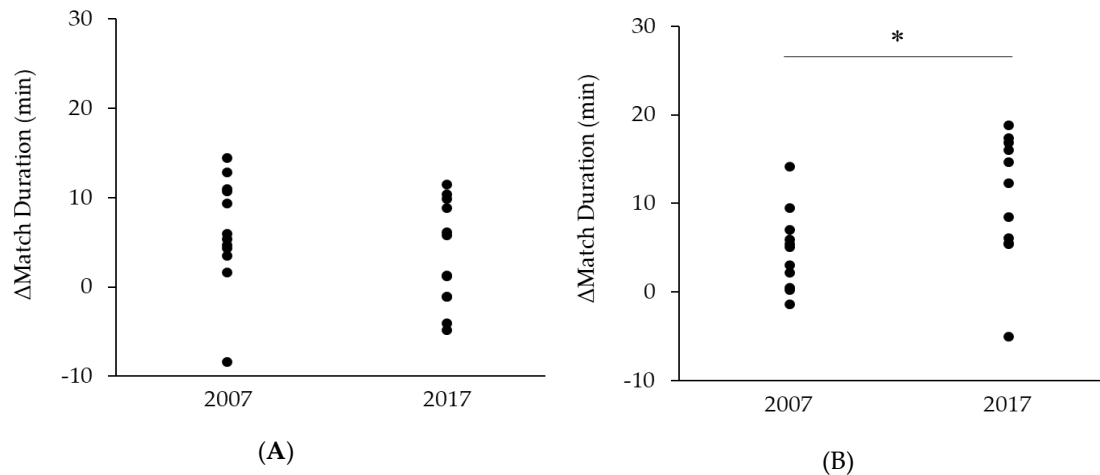


図 1：(A) 男子シングルスと (B) 女子シングルの試合における Early Rounds と Final Eight の試合時間の差に関する 2007 年と 2017 年の比較 (* P < 0.05) (Iizuka ら、2020)

2.3.2. ジャパンオープン 2007 と 2017 の試合に関する比較

表 4 は男子シングルスに関して、年およびトーナメントステージによる試合の時間的変数の違いを示している。分散分析の結果、ラリー時間 ($P = 0.047$)、レスト時間 ($P < 0.001$) および 1 ラリーあたりのストローク数 ($P = 0.033$) に年による主効果がみられた一方で、年とトーナメントステージの間の交互作用はみられなかった。

表 4：ジャパンオープン 2007 と 2017 の男子シングルスにおける Early Rounds と Final Eight の時間的変数 (Iizuka ら、2020)

	Early rounds		Final eight		Main effect		Interaction
	2007	2017	2007	2017	Year	Stage	
Rally time (s)	8.4 (1.6)	10.0 (1.9)	9.3 (1.1)	9.8 (1.6)	$P = 0.047$ (partial $\eta^2 = 0.075$)	$P = 0.538$ (partial $\eta^2 = 0.007$)	$P = 0.326$ (partial $\eta^2 = 0.019$)
Rest time (s)	17.8 (2.8)	21.9 (3.0)	20.5 (2.0)	22.9 (1.9)	$P < 0.001$ (partial $\eta^2 = 0.220$)	$P = 0.038$ (partial $\eta^2 = 0.081$)	$P = 0.348$ (partial $\eta^2 = 0.017$)
Work density	0.47 (0.07)	0.46 (0.06)	0.46 (0.11)	0.43 (0.07)	$P = 0.323$ (partial $\eta^2 = 0.019$)	$P = 0.347$ (partial $\eta^2 = 0.016$)	$P = 0.703$ (partial $\eta^2 = 0.003$)
Number of shots per rally	9.0 (1.5)	10.8 (1.8)	10.0 (0.8)	10.5 (1.6)	$P = 0.033$ (partial $\eta^2 = 0.086$)	$P = 0.527$ (partial $\eta^2 = 0.008$)	$P = 0.192$ (partial $\eta^2 = 0.033$)
Number of shots per second	1.08 (0.04)	1.09 (0.04)	1.09 (0.04)	1.07 (0.05)	$P = 0.576$ (partial $\eta^2 = 0.006$)	$P = 0.731$ (partial $\eta^2 = 0.002$)	$P = 0.366$ (partial $\eta^2 = 0.016$)
EPT	31.9 (3.0)	31.3 (4.0)	31.3 (4.6)	29.9 (3.2)	$P = 0.341$ (partial $\eta^2 = 0.018$)	$P = 0.318$ (partial $\eta^2 = 0.020$)	$P = 0.737$ (partial $\eta^2 = 0.002$)

Data are presented as mean (standard deviation).

Early rounds: round 1 and round 2; Final eight: quarterfinal, semifinal, and final

表 5 は女子シングルスに関して、年およびトーナメントステージによる試合の時間的変数の違いを示している。分散分析の結果、ラリー時間 ($P = 0.001$)、レスト時間 ($P < 0.001$)、ラリー密度 ($P = 0.049$)、1 秒あたりのストローク数 ($P = 0.020$) および EPT ($P = 0.045$) に年による主効果がみられた。この結果は、ラリー時間、レスト時間、1 秒あたりのストローク数に関して 2007 年から

2017 年にかけて有意な増加がみられた一方で、ラリー密度と EPT は有意な減少がみられたことを示している。これらの変数については、年とトーナメントステージの間に有意な交互作用はみられなかった。1 ラリーあたりのストローク数に関しては、年とトーナメントステージの間に有意な交互作用がみられ (P = 0.018)、事後検定により、2 つのトーナメントステージのいずれにおいても 2007 年と 2017 年との間に有意な差がみられた (P < 0.05)。さらに、2017 年においては、Early Rounds と Final Eight との間に有意差がみられた (P < 0.05)。これらの結果は、1 ラリーあたりのストローク数に関して、いずれのトーナメントステージでも 2007 年から 2017 年にかけて有意な試合時間がみられたものの、その増加の程度は、Early Rounds に対して Final Eight でより大きかったことを示している。

表 5：ジャパンオープン 2007 と 2017 の女子シングルスにおける Early Rounds と Final Eight の時間的変数 (Iizuka ら、2020)

	Early rounds		Final eight		Main effect		Interaction
	2007	2017	2007	2017	Year	Stage	
Rally time (s)	8.4 (1.0)	9.0 (1.1)	8.0 (1.4)	10.0 (1.5)	P = 0.001 (partial η^2 = 0.210)	P = 0.338 (partial η^2 = 0.019)	P = 0.060 (partial η^2 = 0.070)
Rest time (s)	17.7 (2.8)	21.5 (2.3)	19.2 (2.6)	25.2 (3.1)	P < 0.001 (partial η^2 = 0.422)	P = 0.003 (partial η^2 = 0.169)	P = 0.179 (partial η^2 = 0.037)
Work density	0.48 (0.05)	0.42 (0.05)	0.42 (0.04)	0.40 (0.08)	P = 0.049 (partial η^2 = 0.077)	P = 0.033 (partial η^2 = 0.089)	P = 0.210 (partial η^2 = 0.032)
Number of shots per rally	8.0 (1.0)	8.7* (1.1)	7.8 (1.4)	10.4*# (1.2)	P < 0.001 (partial η^2 = 0.301)	P = 0.045 (partial η^2 = 0.079)	P = 0.018 (partial η^2 = 0.109)
Number of shots per second	0.96 (0.05)	0.98 (0.05)	0.98 (0.03)	1.04 (0.06)	P = 0.020 (partial η^2 = 0.105)	P = 0.012 (partial η^2 = 0.122)	P = 0.278 (partial η^2 = 0.024)
EPT	32.3 (2.5)	29.5 (2.7)	29.4 (2.0)	28.6 (4.2)	P = 0.045 (partial η^2 = 0.079)	P = 0.035 (partial η^2 = 0.088)	P = 0.268 (partial η^2 = 0.025)

Data are presented as mean (standard deviation).

EPT: effective playing time

Early rounds: round 1 and round 2; Final eight: quarterfinal, semifinal, and final

*P < 0.05 vs 2007 compared within the same tournament stage

#P < 0.05 vs Early Rounds compared within the same year

2.4. 論議

本研究の目的は、2006年に現行の得点制が導入された後、世界トップレベルのバドミントン競技における試合時間および試合の時間的変数がどのように変化したか調べることであった。

私たちは、2007年から2017年にかけて、スーパーシリーズの試合時間が男子シングルスと女子シングルのいずれにおいても増加していることを示した。男子シングルスでは、Chiminazzoら(2018)が2016年リオデジャネイロオリンピックで試合時間がグループステージとプレーオフとで異なることを示したのと同様に、Early RoundsとFinal 8とで試合時間が有意に異なった。それでも、Early Roundsにおいて10.9分、Final Eightにおいて8.3分、それぞれ増加したことによって、2つのトーナメントステージにおける2017年の試合時間は、現行のルールでの世界トップレベルの試合時間について調べた先行研究の結果といずれも同程度であった。Gawinら(2015)は、世界トップ10の選手間で行なわれた男子シングルの平均試合時間が約50分であったことを報告している。それに対して、女子シングルスでは、2つのトーナメントステージともに試合時間が有意に増加したものの、その増加の程度についてはステージ間で大きな差がみられた。女子シングルのEarly RoundsとFinal Eightの試合時間の差は、2017年には4.9分から11.2分へと拡大した。この結果から、女子シングルスにおいて、2つのトーナメントステージにおける身体的負荷の差が大きくなったことが示唆される。

ジャパンオープン2007から2017にかけての試合の時間的変数の変化に関して、男子シングルスと女子シングルのいずれにおいても、トーナメントステージによらずラリー時間とレスト時間が有意に増加していた。こうしたラリー時間とレスト時間の増加がスーパーシリーズのトーナメントにおける試合時間の増加につながっていたものと考えられる。Cabello Manriqueら(2003)が指摘しているように、ラリー時間が長くなるほど回復するためにより長いレスト時間が必要となる。しかし、ラリー時間とレスト時間のバランスについてみると、女子シングルスにおいてのみ、ラリー密度とEPTが有意に減少していたことが観察された。先行研究によると、ストロークの際に大きな力を発揮するため

の身体能力の差によって、水平もしくは下方向へのより速く爆発的なストロークは、女子シングルスよりも男子シングルスにおいてより頻繁に使用される。女子シングルの試合において 1 秒あたりのストローク数が増加したことは、女子シングルス選手らの身体能力が向上し、より攻撃的に得点するために水平もしくは下方向への速いストロークを生み出せるようになっていることを示唆している。このように、ラリーがより速く、かつ長くなったことで、女子シングルの試合の強度がより高くなり、選手がラリー時間に対してより長いレスト時間をとる必要性が生じている可能性がある。しかし、Laffaye ら (2015) が指摘しているように、代謝的な制約だけがレスト時間の長さを決めるわけではないだろう。試合のレベルが上がるにつれて、次のラリーで得点するための効果的な戦術を考えるための時間もより必要になることが考えられる。

女子シングルの Final Eight では、ラリー時間の増加と 1 秒あたりのストローク数の増加が組み合わさることにより、Early Rounds に対して 1 ラリーあたりのストローク数が顕著に増加した。Abian ら (2014) は、ラリーがより長く速くなり、1 ラリーあたりのストローク数が増加することによって、バドミントンの試合のレベルがより高まることを示唆している。そのように速く長いラリーの中では素早い動き出し、停止や方向転換を繰り返す必要があることから、選手らには大きな負荷がかかり、疲労がもたらされる。Valdecabres ら (2018) は、ランジ動作における動作制御および戦略は疲労によって影響され、そうした変化がバドミントン選手の傷害のリスク要因になりうることを示唆している。そのため、特に女子シングルスにおける世界ランクの高い選手どうしの試合では、傷害のリスクを避けるための準備に一層の注意が払われる必要がある。Benjaminse ら (2019) は、前十字靭帯損傷において疲労が決定的な要因となることから、疲労を抑えるためのトレーニングを行なうことが傷害予防に効果的であることを示唆している。

2018 年以降、スーパーシリーズは BWF ワールドツアーへと移行した。ワールドツアーでは、スーパーシリーズと同じレベルのグレードの高いトーナメントが 12 大会から 15 大会に増え、世界トップレベルの選手らは、毎年より多くのトーナメントに出場することを促されている。実際、新しいランキングシステムでは、一年の最後において世界ランキング 15 位以内の男子シングルスおよび

女子シングルス選手には、その翌年、ワールドツアーでグレードの高い 15 大会（Super 500 かそれ以上のグレードの大会）のうち、少なくとも 12 大会に出場する義務が課されている。世界トップレベルのバドミントンの試合において身体的な負荷がますます上がっていることを考えると、選手らにとって、試合と試合の間、もしくは大会と大会の間において効果的にリカバリーを行なうことが、傷害のリスクとなる疲労蓄積を防ぐうえで不可欠となるだろう。

本研究には、いくつかの限界がある。まず初めに、試合の時間的変数の変化について、2007 年と 2017 年に開催されたスーパーシリーズ各 12 大会における全ての試合を比較するのではなく、ジャパンオープン 2007 と 2017 の試合の比較を行なったことである。そのため、試合の時間的変数の変化に関する結果が、スーパーシリーズにおける試合時間増加の要因を完全に説明できるものではない可能性がある。第二に、最近の女子シングルの試合において 1 秒あたりのストローク数が増加していることを新たに示したことは、適切なトレーニングおよび傷害予防プログラムを計画するうえで重要だと考えられるものの、試合の記述的分析を行っていないことから、その変化の要因については明らかにできていないことである。しかし、Laffaye ら（2015）が示唆しているように、ストロークのテンポの速さは最近のバドミントンの特徴の一つであり、トレーニングを強度の高い最近の試合に合わせたより実践的なものにするうえで、この項目は考慮に入れるべきものである。第三に、関連する文献が見当たらないことから、世界トップレベルの男子シングルスおよび女子シングルス選手における傷害発生が、2007 年から 2017 年にかけてどのように増えたかを示すことができない。しかし、本論文の結果から、世界トップレベルの試合における身体的負荷がより大きくなっていることが示されたことから、競技レベルの高いバドミントンにおいてより発生しやすいであろう傷害について、効果的に予防するためのトレーニングプログラムや試合への準備の見直しをしておく必要があるだろう。

2.5. 小括

本研究の結果から、試合時間は世界トップレベルの男子シングルスおよび女子シングルのいずれにおいても有意に増加していた。試合時間の増加は、ラリー時間とレスト時間の両者によるものであることが推察された。女子シングルスでは、ラリー時間の増加に加え、1秒あたりのストローク数が増加したことから、試合がより強度の高いものになっていることが示唆された。そのことが要因となり、女子シングルの試合において、ラリー時間に対してレスト時間がより長くなっている可能性がある。女子シングルスでは、Early Rounds に対して Final Eight での試合時間および1ラリーあたりのストローク数の増加が顕著であった。これらの結果は、女子シングルの世界ランクの高い選手どうしの試合において急性の傷害が頻繁にみられていることと関係している可能性がある。先行研究では、それぞれ身体的負荷が異なることから、シングルスとダブルスのトレーニングが異なるべきであることが示唆されている。しかし、本研究の結果からは、同じ種目であっても、試合時間や試合の時間的構造の変化に応じてトレーニングは変化していく必要があると考えられる。

3. 一流バドミントン選手のテーパリング期におけるトレーニング負荷の変化が心拍変動および主観的疲労感に及ぼす影響

3.1. 目的

バドミントン日本代表では、大会遠征の直前に選手が集合し、1週間程度の強化合宿が実施されるのが通例である。強化合宿は、選手強化がより強く意識され、強度の高い練習・トレーニングが集中的に行なわれる前半と、直後に控える大会に向けたコンディショニングがより優先される後半とに分けられる。バドミントンは対人型の競技であることから、トップレベルの選手が集まって行なわれる練習・トレーニングは、選手たちが互いに競技力を高めるための重要な機会となる。一方で、練習・トレーニングが過度になった場合には、選手が適応することができず、疲労により合宿直後の大会での競技パフォーマンスが低下することも懸念される。そのため、選手のコンディションを見極め、合宿期間を通じたトレーニング量および強度の調整を行なうことが重要だと考えられる。しかし、選手のコンディション推移をモニターするうえで効果的な指標については検討がなされてきていないこともあり、実際には、トレーニング量および強度の調整が選手のコンディションの推移に及ぼす効果について、客観的指標による検証は行なわれてきていない。

本研究では、客観的なコンディション評価指標として心拍変動から算出される自律神経活動指標に注目し、「選手強化のための練習・トレーニングがより意識される強化合宿前半 (Phase 1)」と「大会へのコンディショニングがより意識される強化合宿後半 (Phase 2)」で各指標を比較することにより、バドミントン日本代表選手の強化合宿期間中のコンディション推移を評価することを試みた。

3.2. 方法

3.2.1. 対象選手

バドミントン日本代表選手 8 名 (23.0 ± 2.8 歳) を対象として測定を行なった。対象選手全員に研究の目的や潜在的な危険性を説明したうえで、文書による研究参加への同意を得た。本研究は、国立スポーツ科学センター倫理審査委員会の承認を得て実施した。

3.2.2. 測定の手順

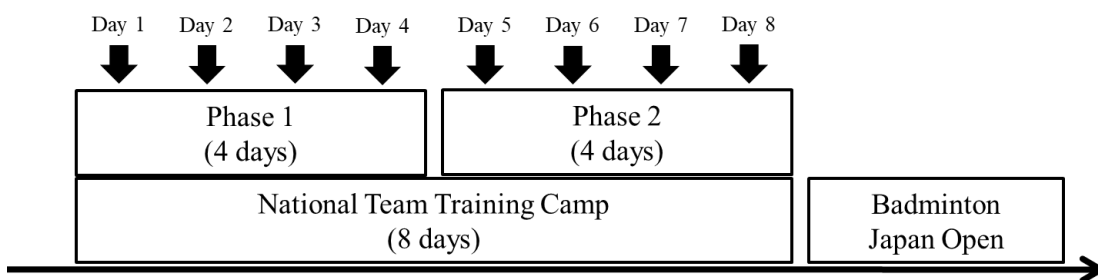


図 1：合宿全体の構成と測定スケジュール

バドミントンジャパンオープンに向けて選手が集合した 8 日間の強化合宿において、選手のコンディション比較のため、強化合宿前半 (Phase 1) と後半 (Phase 2) それぞれ 4 日間、選手の起床時に測定を実施した (図 1)。そのうえで、Phase 1 と Phase 2 で各指標の平均値をそれぞれ算出し、データを比較した。測定は、対象選手の練習や休養のスケジュールになるべく影響しないことを目的として、毎朝 10 分程度で完了するように項目を選定し、実施した。

3.2.3. 測定項目および解析

(1) トレーニング時間

合宿期間中のトレーニングは、Phase 1 においては午前 3 時間、午後 3 時間を基本として行なわれた。それに対して、Phase 2 では大会が近づくにつれて練習時間が短くなった。Phase 1 の Day 1 および Day 3、Phase 2 の Day 5 において、午後に 2 時間ずつ、ウェイトトレーニングの時間が組まれた。Day 4 および Day 8 では、午後の練習がオフとなった。午前と午後のトレーニング時間を合計することで、一日ごとのトレーニング量の指標とした。

(2) トレーニング強度

バドミントン体育館でのトレーニング時、選手の胸部に心拍計（Polar RS800CX、Polar Electro, Kempe, Finland）を装着し、心拍数を記録した。トレーニング中の平均心拍数と最大心拍数を求め、一日ごとのトレーニング強度の指標とした。

(3) 睡眠時間と睡眠の質

質問紙に前夜の睡眠時間（Sleep duration：分）を記入してもらい、睡眠の質（Sleep quality）については 1（全く眠れなかった）～5（非常によく眠れた）の 5 段階で記入してもらった。

(4) 主観的疲労感

100mm の Visual Analogue Scale（VAS）を用い、主観的疲労感（Fatigue）に関する測定を行なった。100mm の VAS において、主観的に疲労が全くない状態を 0mm、最大の状態を 100mm として評価を行なった。

(5) 心拍変動

対象選手の胸部に心拍計（Polar RS800CX、Polar Electro, Kempe, Finland）を装着し、座位安静で 5 分間、心拍変動の測定を行った。測定の際、メトロノー

ムのリズムに合わせ、呼吸周期を一定の4秒に保つこととした。

心拍変動の解析には心拍変動解析ソフト Kubios HRV analysis software (Kubios HRV Standard, ver. 3.0.2., Kubios, Kuopio, Finland) を用いた。心拍変動から求められる時間領域の自律神経活動指標として、まず測定5分間の平均心拍数 (Heart Rate: HR) を算出した。また、SDNN (Standard Deviation of all Normal-to-Normal intervals; 心拍変動データ全体の標準偏差) と RMSSD (Root Mean Square Successive Difference; 隣り合ったRR間隔の差の二乗平均平方根) を算出した。SDNN は自律神経活動全体の大きさ、RMSSD は副交感神経活動の大きさをそれぞれ反映する。

さらに、周波数領域の指標として低周波帯域 (LF: 0.04-0.15 Hz) 及び高周波帯域 (HF: 0.15-0.40 Hz) のパワースペクトルをそれぞれ算出した。LF は交感神経活動と副交感神経活動の双方を反映すること、HF は副交感神経活動を反映することが明らかにされている。さらに、自律神経活動における交感神経と副交感神経活動のバランスを推定するために LF/HF、LFnu ($LF/(LF+HF)*100$) および HFnu ($HF/(LF+HF)*100$) を算出した。

3.2.4. 統計

データは平均±標準偏差で示した。統計解析は全て SPSS version 19 (IBM, Armonk, NY, USA) を用いて行なった。各指標について Phase 1 および Phase 2 それぞれ4日間の測定データの平均値を算出し、両者の比較に用いた。対象選手数が少ないことと、Shapiro-Wilk 検定の結果、データに正規性が認められない指標が含まれたことから、各指標における Phase 1 と Phase 2 の比較にウィルコクソンの符号順位検定を用いた。Phase 1 と Phase 2 の差の大きさについて評価するため、効果量 $r (=z/\sqrt{n})$ を算出した (n : 対象選手数)。また、各指標について、Phase 1 から Phase 2 にかけての変化量 (Δ) を算出し、変化量に関する指標間の相関をスピアマンの順位相関係数 (ρ) により求めた。統計的有意水準は5%未満とした。

3.3. 結果

(1) トレーニング時間

一日のトレーニング時間は Phase 1 の 5.3 ± 1.5 時間から Phase 2 の 3.8 ± 1.3 時間へと減少した。

(2) トレーニング強度

トレーニング中の平均心拍数は Phase 1 の 129.2 ± 8.8 拍/分から Phase 2 の 112.1 ± 8.0 拍/分へと有意に減少した ($P = 0.012$; $r = 0.89$)。また、最大心拍数も Phase 1 の 182.1 ± 6.2 拍/分から Phase 2 の 167.3 ± 9.6 拍/分へと有意に減少した ($P = 0.012$; $r = 0.89$)。

(3) 睡眠時間と睡眠の質

睡眠時間および睡眠の質に関して、Phase 1 と Phase 2 とで差はみられなかった (表 1)。

(4) 主観的疲労感

主観的疲労感に関して、Phase 1 と Phase 2 とで差はみられなかった (表 1 および図 2)。

表 1：Phase 1 および Phase 2 における睡眠時間、睡眠の質および主観的疲労感の比較

	Phase 1	Phase 2	P-value	Effect size
Sleep duration (min)	437.2 (39.2)	433.1 (27.0)	0.674	0.15
Sleep quality (a.u.)	3.5 (0.7)	3.6 (0.7)	0.932	0.03
Subjective fatigue (mm)	55.5 (10.5)	60.4 (13.7)	0.779	0.10

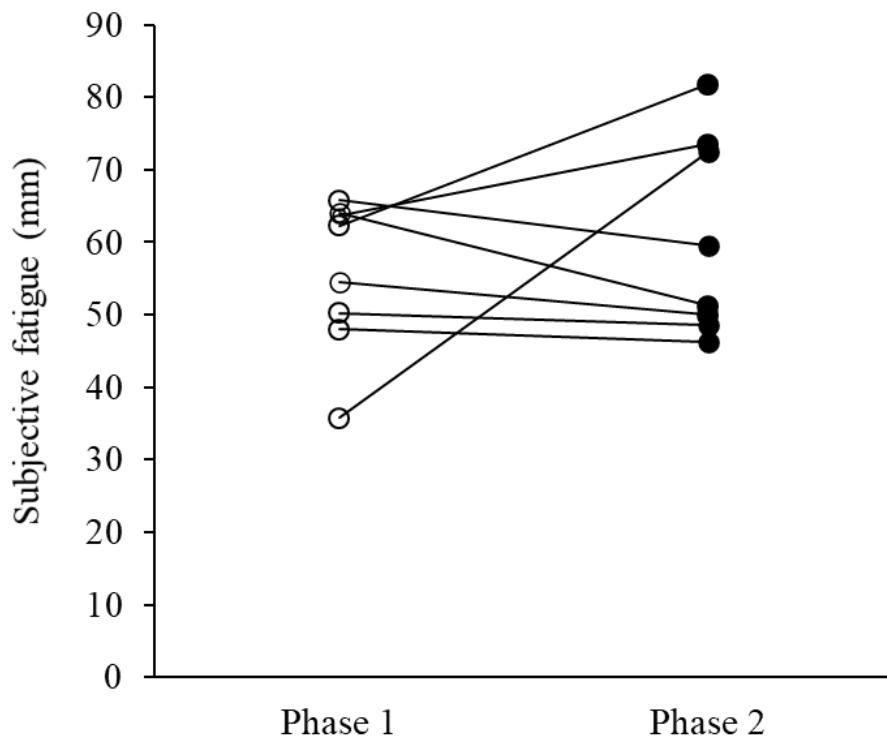


図 2：選手個人ごとの Phase 1 と Phase 2 における主観的疲労感の比較

(5)心拍変動

心拍数（HR）は、Phase 1 に対して Phase 2 で有意に減少し、SDNN および RMSSD は有意に増加していた。また、周波数領域の指標では、LF と HF がともに Phase 2 において有意に増加していた。交感神経活動と副交感神経活動のバランスに関しては、LFnu、HFnu および LF/HF において Phase 1 と Phase 2 との間で有意差はみられなかった（表 2）。

表 2：Phase 1 および Phase 2 における心拍変動の比較

	Phase 1	Phase 2	P-value	Effect size
HR (beats/min)	57.4 (5.8)	54.5 (4.8)	0.012	0.89
SDNN (ms)	85.7 (21.4)	108.7 (29.0)	0.012	0.89
RMSSD	66.1 (23.2)	95.4 (31.5)	0.012	0.89
LF (ms ²)	2037.3 (1385.3)	3556.9 (2324.7)	0.012	0.89
HF (ms ²)	1592.6 (910.0)	3367.1 (1968.5)	0.012	0.89
LFnu (%)	55.7 (13.7)	52.2 (14.4)	0.401	0.30
HFnu (%)	44.3 (13.7)	47.7 (14.4)	0.401	0.30
LF/HF	1.71 (0.86)	1.58 (1.22)	0.575	0.20

Phase 1 から Phase 2 にかけての変化量に関して、主観的疲労感の変化量と各自律神経活動指標との相関を求めた。その結果、主観的疲労感の変化量と SDNN、RMSSD および HF の変化量との間に、いずれも有意な負の相関があることが示された（図 3）。

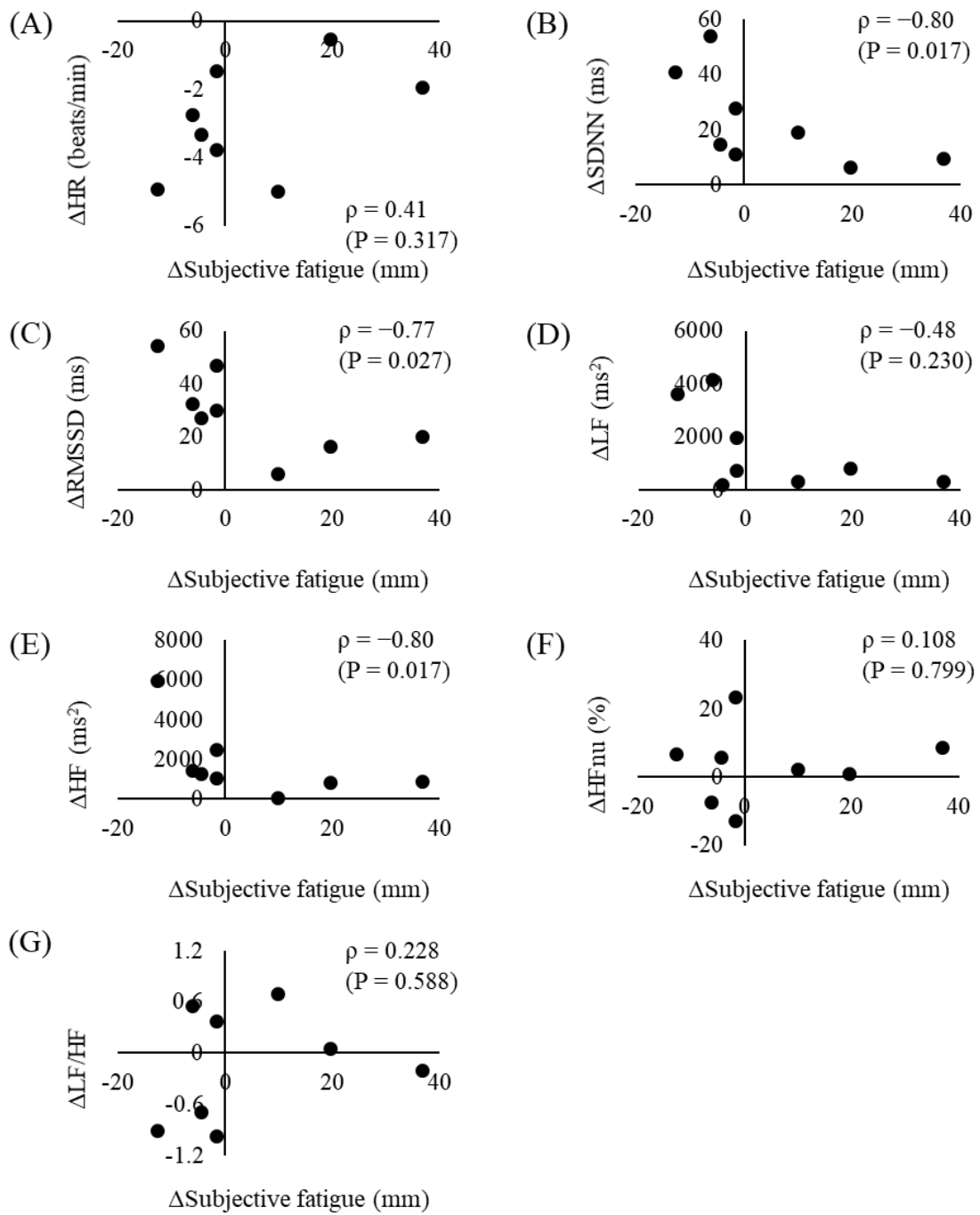


図3：Phase 1 から Phase 2 にかけての疲労感の変化量と各自律神経活動指標の変化量との相関

3.4. 論議

本研究の目的は、心拍変動から算出される自律神経活動指標によって、バドミントン日本代表選手の強化合宿期間中のコンディション推移について評価することであった。その結果、Phase 2 においては、Phase 1 と比較してトレーニング時間およびトレーニング強度が減少したことを反映して、起床時の平均心拍数が有意に低下した一方で、SDNN、RMSSD、LF および HF は有意に増加していたことが示された。Pichot ら (2000) は、中距離ランナーを対象としてトレーニング負荷の変化と心拍変動との関係について検証を行ない、トレーニング負荷の減少に伴って SDNN や RMSSD が有意に増加したことを示した。また、Iellamo ら (2002) は、ボート競技の一流ジュニア競技者を対象として、トレーニング負荷の変化と心拍変動の関係を調べ、トレーニング負荷の増加に伴って HF が有意に減少したことを示した。これらの先行研究の結果を踏まえると、バドミントン日本代表の強化合宿において、Phase 1 から Phase 2 にかけて SDNN、RMSSD および HF が有意に減少していたことは、強度の高い練習・トレーニングが意図された Phase 1 に対し、ジャパンオープンに向けたコンディショニングが意図された Phase 2 において、トレーニング負荷を十分に低下させられていたことを反映したものと考えられる。本研究の結果から、バドミントンの一流競技者においても、トレーニング負荷の変化に対する選手の適応やコンディションの変化を評価するうえで、心拍変動から求められる自律神経活動指標を用いることが有用である可能性が示された。

先行研究において、心拍変動の指標のうち、自律神経活動全体のはたらきを反映する SDNN や副交感神経活動指標である RMSSD および HF の値は、疲労に伴って減少することが示されてきた (Uusitalo ら、1998、Pichot ら、2000、Iellamo ら、2002)。しかし、本研究において、Phase 1 から Phase 2 にかけてトレーニング負荷が減少し、それらの自律神経活動指標に変化が生じていたにも関わらず、主観的疲労感には有意な変化がみられなかった。このことは、トレーニング負荷の変化に対する各被験者の適応に差があり、主観的疲労感の変化の大きさに個人差があった可能性を示すものと考えられる。Flatt ら (2017) は、大学生女子サッカー選手を対象としてトレーニング負荷の変化に対する RMSSD の変

化について検証し、それが個人間の体力レベルや疲労の違いによって大きく影響されることを示唆している。そこで、このことを検証するため、Phase 1 から Phase 2 にかけての主観的疲労感の変化量と自律神経活動指標との相関を調べた。その結果、主観的疲労感の変化量と SDNN、RMSSD および HF の変化量との間に、いずれも有意な負の相関があることが示された。このことは、心拍変動から算出される自律神経活動指標が、トレーニング負荷の変化に対する個人ごとの適応の違いや、それによって生じるコンディションの差について評価しうる指標となる可能性を示すものといえる。そのため、トレーニング負荷とともに、それに対する選手の適応の様子について定量的に評価していくことは、個人ごとにトレーニングの効果を確かめ、疲労が過剰に蓄積することを防ぐことに活用できる可能性がある (Flatt ら、2017)。

本研究にはいくつかの限界がある。まず初めに、対象選手らは、いずれも一流バドミントン選手であり、強度の高いトレーニングに対する心拍変動データの反応性を検証することができた一方で、対象選手数に関しては数が限られたことが挙げられる。バドミントンには 5 つの種目があり、いずれも間欠的に短時間で高強度のラリーを繰り返す点では共通しているが、シングルスにおいて持久的な能力がより求められるのに対し、ダブルスでは瞬発的な動きや大きなパワーが求められるように、それぞれ異なる特性を持つ (飯塚、2017)。本研究では、対象選手の数が限られたため、シングルス選手とダブルス選手のいずれかに対象を限定することはしなかった。そのため、個人によって練習時間は同じでも、練習内容については異なっていた。しかし、筋力トレーニングを中心に行なう競技と持久的トレーニングを中心として行なう競技では、トレーニングに対する心血管系の応答やリカバリーの過程が異なる可能性が示されていることから (Ohtsuki ら、2007)、トレーニング負荷の変化に対する自律神経活動指標の反応性について、今後、シングルス選手とダブルス選手に分けて評価することが望まれる。第二に、ウエイトトレーニングの強度に関して、運動時の心拍数では評価できなかったことで、一日ごとのトレーニング負荷を定量的に求めることができなかったことが挙げられる。ウエイトトレーニングによるものを含めた一日ごとのトレーニング負荷を定量的に評価できれば、トレーニング負荷の推移によって選手の疲労がどのように変化するか、より詳細に検証することができ、

大会直前に設定される合宿での効果的なトレーニングおよびコンディショニングの方法を確立していくうえで、さらに有用なエビデンスを蓄積していくことが可能だろう。第三に、本研究では、Phase 1 と Phase 2 との間で自律神経指標が有意に変化したように、トレーニング負荷に関して、両者の間に一定の差があったと考えることができる。一方で、トレーニング負荷が大きく変わらない場合において、これらの心拍変動から求められる自律神経活動指標がどれだけ選手のコンディションの変化を検知できるかは明らかではなく、今後、さらに検証を行っていく必要がある。

3.5. 小括

本研究の結果から、トレーニング負荷の変化に対する一流バドミントン選手のコンディション変化を客観的に評価するうえで、心拍変動から求められる自律神経活動指標をモニターすることが有用である可能性が示された。トレーニング負荷の変化に対するコンディションの変化は、選手個々の体力特性やベースラインでの疲労レベルの違いなどによって、選手ごとに一様ではないと考えられる。その中で、本研究では、これらの自律神経活動指標をモニターすることにより、トレーニング負荷の変化に対する選手ごとの適応の様子について評価できることが示唆された。今後、さらにエビデンスを蓄積していくことを通じて、強化合宿期間中の傷害予防や、合宿直後の大会における選手のパフォーマンス向上に向けて、より効果的な練習およびトレーニングの計画立案が可能になることが期待される。

4. 一流スピードスケート選手のテーパリング期における心拍変動データの競技シーズン最初と最後の比較

4.1. 目的

スピードスケート競技のシーズンは10月から翌年3月までの約半年で、その間、世界トップレベルの選手らは、それぞれ異なる国で開催されるワールドカップを転戦し (Muehlbauer ら、2010)、シーズン最後にオリンピックや世界距離別選手権などの大きなレースを迎える。そのように国内外の移動とレースを繰り返す厳しいスケジュールの中で、シーズンを通して良い成績を残し、オリンピックや世界距離別選手権への出場権を獲得できたとしても、目標とするシーズン最後の大会でベストパフォーマンスを発揮できるほどに心身のコンディションを保つことは必ずしも容易ではない。

一流選手およびコーチは、大会に向けた重要な局面において、トレーニングに対する適応の様子についての的確に把握することが重要であり (Stanley ら、2015)、それぞれのレースでベストパフォーマンスを発揮できるようにトレーニング量、強度および頻度を調整する必要がある。しかし、スピードスケートでは、大会直前のテーパリング期において、レース 2 日前の氷上練習やトレーニングをオフにするなど、コンディショニングに関する慣例的なパターンが存在し、そのパターンをベースとして、コーチの見立てや選手の主観的な感覚に基づいて調整が行なわれることが多い。一方で、選手のコンディショニングを目的として実施されたトレーニング量、強度および頻度に関する調整が、実際に選手のコンディションにもたらした効果について、レースごとに客観的な検証が行われることはほとんどないのが現状である。

その中で、厳しいスケジュールのシーズンを経ることで、シーズン最後の重要な大会直前のテーパリング期において、選手のコンディションがシーズン開始当初とは異なるものとなっている可能性に関しても、これまで明らかにされてきていない。しかし、シーズンの経過がもたらす選手のコンディションへの影響について、客観的なコンディション評価指標により検証することは、シーズンを通じたコンディショニング計画をより有効なものにしていくうえで不可欠だと

考えられる。

本研究では、客観的なコンディション評価指標として心拍変動から算出される自律神経活動指標に注目し、スピードスケート日本代表選手にとって2007/2008 シーズンにおける最初のレースであった全日本距離別選手権（2007年10月、長野市・エムウェーブで開催）と最後のレースであった世界距離別選手権（2008年3月、長野市・エムウェーブで開催）に向けたテーパリング期間のコンディションデータをそれぞれ測定した。それらのデータを比較することで、シーズン最後の世界距離別選手権における選手のコンディションに関して、シーズン最初の全日本距離別選手権におけるコンディションと異なっているか検証を試みた。

4.2. 方法

4.2.1. 対象選手

2007/2008 シーズンにおけるスピードスケート日本代表選手 5 名 (22.8±1.6 歳) を対象とした。対象選手らは、当該シーズンを通じて日本代表選手としてワールドカップ (W 杯) および国内大会を転戦し、W 杯成績上位者のみが出場できる世界距離別選手権にも出場した。さらに、対象選手全員が 2010 年バンクーバーオリンピックに出場し、うち 3 名はメダルを獲得した。対象選手全員に研究の目的や潜在的な危険性を説明し、文書による研究参加への同意を得た。本研究は、国立スポーツ科学センター倫理審査委員会の承認を得て実施した。

4.2.2. 選手のコンディション比較を行なった大会

2007/2008 シーズンにおいて、対象選手らが出場した国内外の大会を図 1 に示す。

	October	November		December			January	February		March
	↓ 1	↓ 2	↓ 3	↓ 4	↓ 5	↓ 6	↓ 7	↓ 8	↓ 9	↓ 10
Short Distance Team	Oct. 26-28 Japan Single Distances Championships Nagano (Japan)	Nov. 9-11 World Cup Salt Lake City (U.S.A.)	Nov. 16-18 World Cup Calgary (Canada)	Dec. 7-9 World Cup Heerenveen (Netherlands)	Dec. 15-16 World Cup Erfurt (Germany)	Dec. 22-23 All Japan Sprint Championships Kushiro (Japan)	Jan. 25-27 World Cup Hamar (Norway)	Feb. 16-17 World Cup Inzell (Germany)	Feb. 22-24 World Cup Heerenveen (Netherlands)	Mar. 6-9 World Single Distances Championships Nagano (Japan)
Middle-/Long-Distance Team	Oct. 26-28 Japan Single Distances Championships Nagano (Japan)	Nov. 9-11 World Cup Salt Lake City (U.S.A.)	Nov. 16-18 World Cup Calgary (Canada)	Dec. 1-2 World Cup Moscow (Russia)	Dec. 7-9 World Cup Heerenveen (Netherlands)	Dec. 17-18 All Japan Championships Morioka (Japan)	Jan. 25-27 World Cup Hamar (Norway)	Feb. 2-3 World Cup Baselga di Pine (Italy)	Feb. 22-24 World Cup Heerenveen (Netherlands)	Mar. 6-9 World Single Distances Championships Nagano (Japan)

図 1：2007/2008 シーズンにおけるスピードスケート日本代表選手の出場大会

このシーズンの初戦であった全日本距離別選手権（Japan Single Distances Championships: JSDC、2007年10月）およびシーズン最終戦であった世界距離別選手権（World Single Distances Championships: WSDC、2008年3月）を対象としてコンディションデータを測定し、比較を行なった。両大会は、長野市にある同じ屋内アイススケートリンク（エムウェーブ）で実施された。

JSDC は 2007/2008 シーズンの日本代表選手選考会を兼ねており、選手らにとって重要な大会として位置付けられた。また、WSDC は、2007/2008 シーズンを通じたワールドカップの成績上位者のみが出場できることから、シーズン最大の目標となる大会であった。両大会において、5名の選手全員がそれぞれ複数の種目のレースに出場した（短距離選手では、500m と1,000m など）。選手らは、大会に向けて徐々にトレーニング負荷を減らすとともに、大会で出場する最初のレースを基準として、その2日前を練習オフ日とするなど、調整パターンそのものは両大会で変わらなかった。

4.2.3. 測定の手順

コンディション評価のための測定は、JSDC および WSDC で対象選手らが出場する最初のレース（Race 1）が行なわれる日の直前4日間（4 days pre-race～1 day pre-race）に実施した（図2）。測定は、サーカディアンリズムによるデータへの影響を極力抑えることを目的として、対象者の起床後すぐ（午前6～8時）に時間を統一し、食事や運動を行なう前に実施した。

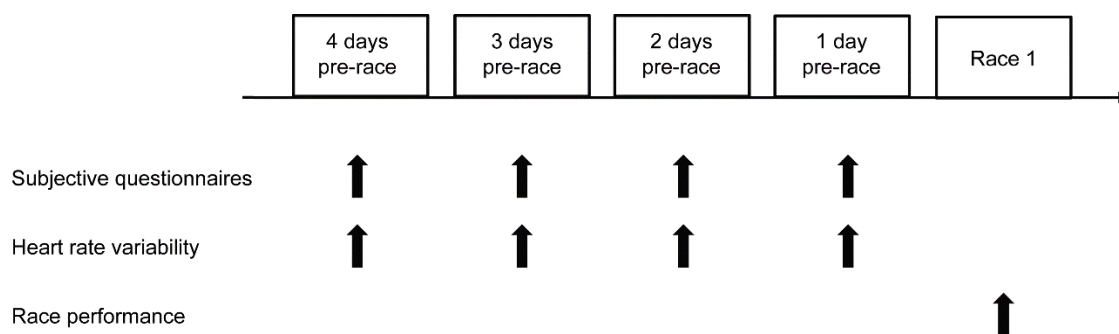


図2：大会最初のレースに向けた選手の調整およびデータ測定スケジュール

4.2.4. 測定項目および解析

測定は、対象選手の練習や休養のスケジュールになるべく影響しないことを目的として、毎朝 10 分程度で完了するように項目を選定し、実施した。

(1) 睡眠時間と睡眠の質

質問紙に前夜の睡眠時間 (Sleep duration : 分) を記入してもらい、睡眠の質 (Sleep quality) については 1 (全く眠れなかった) ~5 (非常によく眠れた) の 5 段階で記入してもらった。

(2) 主観的コンディション

100mm の Visual Analogue Scale (VAS) を用い、主観的なコンディションとしての疲労 (Fatigue)、緊張 (Tension) および活気 (Vigor) に関する測定を行なった。100mm の VAS において、主観的に疲労、緊張、活気が全くない状態を 0mm、最大の状態を 100mm として評価を行なった (図 3)。

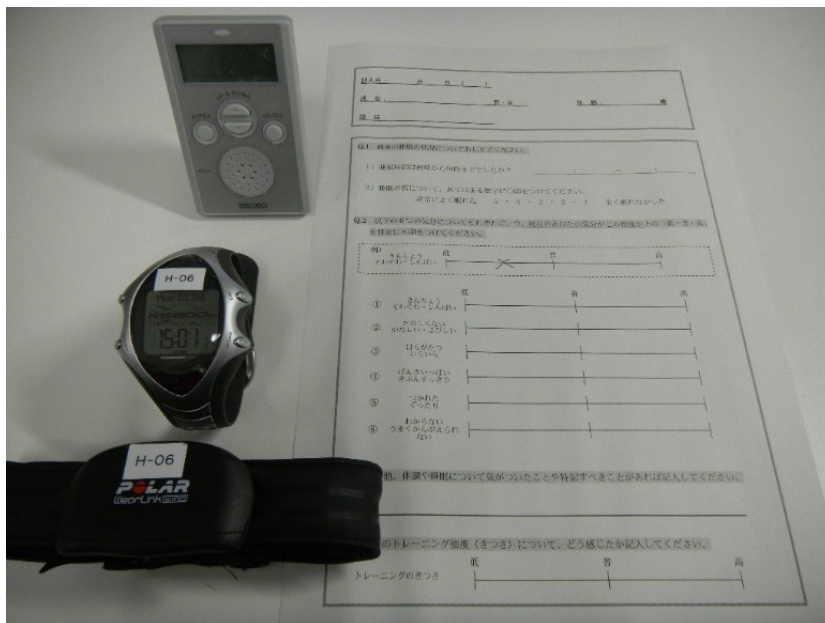


図 3：起床時コンディション測定に用いた質問紙、心拍計およびメトロノーム

(3) 心拍変動

対象選手の胸部に心拍計（Polar S810、Polar Electro, Kempele, Finland）を装着し、座位安静で5分間、心拍変動の測定を行った。測定の際、メトロノームのリズムに合わせ、呼吸周期を一定の4秒に保つこととした。

心拍変動の解析には心拍変動解析ソフト Kubios HRV analysis software（Kubios HRV Standard, ver. 3.0.2., Kubios, Kuopio, Finland）を用いた。心拍変動から求められる時間領域の自律神経活動指標として、まず測定5分間の平均心拍数（Heart Rate: HR）を算出した。また、SDNN（Standard Deviation of all Normal-to-Normal intervals; 心拍変動データ全体の標準偏差）とRMSSD（Root Mean Square Successive Difference; 隣り合ったRR間隔の差の二乗平均平方根）を算出した。SDNNは自律神経活動全体の大きさ、RMSSDは副交感神経活動の大きさをそれぞれ反映する。

さらに、周波数領域の指標として低周波帯域（LF: 0.04-0.15 Hz）及び高周波帯域（HF: 0.15-0.40 Hz）のパワースペクトルをそれぞれ算出した。LFは交感神経活動と副交感神経活動の双方を反映すること、HFは副交感神経活動を反映することが明らかにされている。さらに、自律神経活動における交感神経と副交感神経活動のバランスを推定するためにLF/HF、LFnu（ $LF/(LF+HF)*100$ ）およびHFnu（ $HF/(LF+HF)*100$ ）を算出した。

(4) レースタイム

対象選手のJSDCおよびWSDCでのパフォーマンスに関して、レースごとの公式記録を用いて比較した。レースの距離および性別が異なる個人間の記録を比較するために、個人ごとにJSDCでのレースタイムを100%としたうえで、JSDCのレースタイムを基準にWSDCのレースタイムを百分率で示して解析に用いた。

4.2.5. 統計

データは平均±標準偏差で示した。統計解析は全て SPSS version 19 (IBM, Armonk, NY, USA)を用いて行なった。各指標について JSDC および WSDC それぞれ 4 日間の測定データの平均値を算出し、両者の比較に用いた。対象選手数が少ないことと、Shapiro-Wilk 検定の結果、多くのデータで正規性が認められなかったことから、各指標における JSDC と WSDC の比較にウィルコクソンの符号順位検定を用いた。JSDC と WSDC の差の大きさについて評価するため、効果量 $r (=z/\sqrt{n})$ を算出した (n : 対象選手数)。統計的有意水準は 5%未満とした。また、各指標について、JSDC から WSDC にかけての変化量 (Δ) を算出し、変化量に関する指標間の相関をスピアマンの順位相関係数 (ρ) により求めた。統計的有意水準は 5%未満とした。

4.3. 結果

(1) 睡眠時間と睡眠の質

睡眠時間および睡眠の質に関して、JSDC と WSDC とで差はみられなかった（表 1）。

(2) 主観的コンディション

主観的コンディションに関して、JSDC と WSDC とで疲労感および緊張には差がみられなかった（表 1）。活気に関しては、有意ではないものの、JSDC と比較して WSDC で低下傾向がみられた（表 1）。

表 1：JSDC および WSDC における睡眠時間、睡眠の質および主観的コンディションの比較

	JSDC	WSDC	P-value	Effect size
Sleep duration (min)	422.8 (52.9)	458.0 (57.0)	0.138	0.66
Sleep quality	3.5 (0.5)	3.7 (0.7)	0.891	0.06
Fatigue (mm)	37.7 (12.5)	41.2 (16.7)	0.500	0.30
Tension (mm)	18.3 (9.1)	28.5 (16.8)	0.225	0.54
Vigor (mm)	41.6 (22.9)	30.3 (19.7)	0.068	0.82

(3) 心拍変動

心拍数 (HR) に関して、WSDC で JSDC より増加する傾向がみられたが、有意差は認められなかった。ともに副交感神経活動指標である RMSSD および HF について、WSDC で JSDC より有意に減少していたことが示された。また、交感神経活動と副交感神経活動のバランスでは、LFnu が有意に増加した一方で HFnu が有意に減少していたことから、WSDC では JSDC と比較して交感神経活動が優位にシフトしていたことが推察された (表 2)。

表 2：JSDC および WSDC における心拍変動の比較

	JSDC	WSDC	P-value	Effect size
HR (beats/min)	52.6 (3.3)	58.4 (5.9)	0.080	0.78
SDNN (ms)	83.5 (19.5)	70.7 (10.8)	0.225	0.54
RMSSD (ms)	67.6 (18.3)	42.8 (10.2)	0.043	0.91
LF (ms ²)	1938.7 (948.6)	1730.0 (794.8)	0.893	0.06
HF (ms ²)	1932.5 (1293.1)	715.6 (469.8)	0.043	0.91
LFnu (%)	51.5 (12.5)	72.7 (8.8)	0.043	0.91
HFnu (%)	48.4 (12.5)	27.2 (8.8)	0.043	0.91
LF/HF	1.74 (1.77)	3.64 (1.74)	0.138	0.66

JSDC から WSDC にかけての変化量に関して、主観的疲労感の変化量と各自律神経活動指標との相関を求めた。その結果、主観的疲労感の変化量と HF の変化量との間に有意な負の相関があることが示された (図 4)。

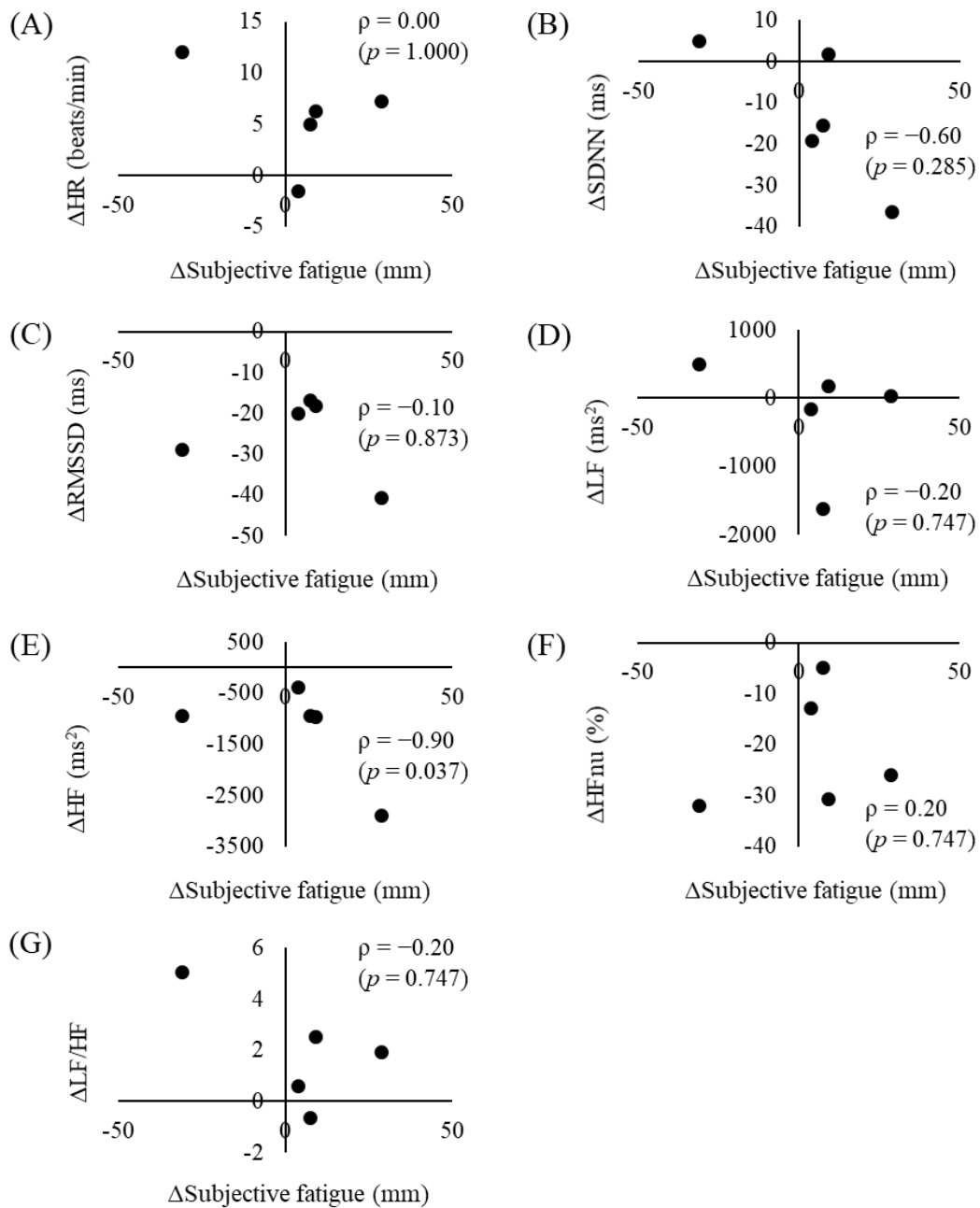


図 4: JSDC から WSDC にかけての疲労感の変化量と各自律神経活動指標の変化量との相関

(4) レースタイム

JSDC と WSDC とで対象選手のレースタイムには差がみられなかった (JSDC, 100.0 ± 0.0 % ; WSDC, 99.7 ± 0.5 % ; $P = 0.225$; $r = 0.54$)。

4.4. 論議

本研究の目的は、一流スピードスケート選手を対象として、シーズン最後の世界距離別選手権におけるコンディションに関して、シーズン最初の全日本距離別選手権におけるコンディションと異なっているか検証することであった。その結果、テーパリング期にあたるレース直前4日間の比較において、睡眠時間、睡眠の質、疲労および緊張には差がみられなかった一方で、WSDCではJSDCに対して活気が低下傾向にあったことが示された。また、心拍変動データから算出された自律神経活動指標については、WSDCではJSDCに対して心拍数が増加傾向にあったほか、RMSSDおよびHFといった副交感神経活動指標の値が有意に減少していた。さらに、自律神経活動における副交感神経活動のバランスの大きさを反映するHFnuが有意に低下していたことから、WSDCではJSDCに対して交感神経優位の状態にシフトしていたことが示唆された。

一般に、スポーツ競技選手において、疲労に伴って心拍変動の副交感神経活動指標の値が減少することが示されてきた(Pichotら、2000、Iellamoら、2002)。Naranjoら(2015)は、エリートプロサッカー選手らを対象として、競技シーズンを通じた選手のコンディション推移について心拍変動データを用いた検証を行なった。その結果、シーズンの終盤において副交感神経活動指標であるRMSSDの値に減少がみられたことに関して、試合が連続していたことや試合の重要度が上がっていたことが影響した可能性について論じている。また、Nuissierら(2007)は、オーバートレーニングの兆候を示す学生において、活気とRMSSDとの間に有意な正の相関があったことを示している。これらの結果を踏まえたとき、本研究ではシーズン最後のWSDCにおいて、シーズン最初のJSDCに対して選手の疲労感には差がみられなかったものの、RMSSDやHFといった副交感神経活動指標が有意に減少しており、さらに活気が低下傾向にあったことから、シーズンの経過に伴って選手らのコンディションが低下していたことが示唆される。

Flattら(2017)は、心拍変動における副交感神経活動の変化に関して、選手個々の体力レベルや疲労レベルによって個人間で異なることを示唆している。本研究では、HFの変化量が疲労感の変化量との間に有意な相関があることが示

された。この結果は、HF を求めることが、スピードスケート選手における個人ごとの疲労の変化を客観的に評価するうえで有用であることを示すものと考えられる。HF によって選手個々の疲労についてモニターし、大会と大会の間におけるリカバリーに向けてトレーニング負荷を調節することは、一流スピードスケート選手のシーズン経過に伴う疲労蓄積を防ぐことに寄与する可能性がある。

心拍変動データは、トレーニング負荷や疲労などの身体的なコンディションだけでなく、試合における不安や緊張といった心理的ストレスによっても影響を受けることが示されてきた (Parrado ら、2010、Mateo ら、2012、Tian ら、2013、Morales ら、2013)。そのため、WSDC において、JSDC に対して RMSSD や HF の値が減少していた要因として、緊張による影響が含まれている可能性も考えられる。しかし、本研究では、緊張に関して WSDC と JSDC との間で差はみられなかった。このことは、一つには、WSDC がシーズンで最も重要な大会と位置づけられた一方で、JSDC も日本代表に選出されて W 杯に出場するうえで重要な大会であったことから、選手らがいずれの大会に対しても心理的に大きく差のない状況で臨んでいたことによるかもしれない。また、Morales ら (2013) は、国内大会出場レベルの柔道家では、公式戦出場に際して非公式戦に出場するときよりも RMSSD が有意に低下したのに対し、国際大会出場レベルの柔道家では RMSSD の値に変化がみられなかったことを報告している。そのことから、後者では豊富な経験やストレスへの優れた対応能力によって、試合前の不安や緊張によりうまく対処していたものと結論づけている。本研究において、緊張は JSDC で 18.3 ± 9.1 mm、WSDC で 28.5 ± 16.8 mm といずれも低い値であった。本研究で対象となった選手らに関しても、全員がオリンピック出場レベルの競技者であったことから、緊張への対応能力に優れており、大会のグレードによって直接的に影響されることがなかった可能性が考えられる。

Garet ら (2004) は、競泳における 400m 自由形の記録と HF の値との間に有意な負の相関関係があり、副交感神経活動のはたらきが大きいほど競技パフォーマンスが良かったことを示した。一方で、Flatt ら (2017) は、自律神経活動指標と競技パフォーマンスとの関係について、有酸素性の競技においてみられることがあっても、競泳でも短距離種目など無酸素性の競技でも同様であるかはさらなる検証が必要だとしている。本研究では、WSDC において JSDC に対

して HF の値が有意に減少していたにも関わらず、JSDC と WSDC とでレースタイムには差がみられなかった。この要因としては、本研究の対象選手 5 名のうち 4 名の専門がスプリント種目であったことが影響している可能性が考えられる。

本研究には、いくつかの限界がある。まず初めに、対象選手の条件を世界距離別選手権に出場できるトップレベルのスピードスケート選手としたため、対象選手数が全部で 5 名と限られたことが挙げられる。本研究の結果として、JSDC と WSDC との比較において自律神経活動指標に差がみられたにも関わらず、レースタイムには差がみられなかった。自律神経活動指標と競技パフォーマンスとの関係については、今後、短距離と長距離を専門とする選手ごとに十分な選手数を確保し、さらなる検証を進める必要があるだろう。第二に、JSDC および WSDC でそれぞれ測定を行なった 4 日間について、トレーニングの時間や強度について定量的な評価を行なわなかったことが挙げられる。そのため、JSDC に対して WSDC で副交感神経活動指標である RMSSD や HF の値が減少していた要因について、競技シーズンの経過に伴うコンディションの違いによるものなのか、単に JSDC と WSDC とでトレーニングの時間や強度が異なったことによる影響を反映したものかを明らかにすることはできない。しかし、測定期間がいずれも大会最初のレースの直前 4 日間であったことから、トレーニングの方向性はレースに向けて疲労を除くことを主眼としたものであったと考えられ、両者におけるトレーニング時間や強度に大きな差があったことは考えにくい。第三に、選手のコンディションに対する競技シーズンの影響について、シーズンの最初と最後の 2 大会でのみ比較を行なったことが挙げられる。そのため、シーズンの経過に伴うコンディションの推移については、本研究から明らかにすることはできない。一方で、両大会は同じ屋内アイススケートリンクで開催されたことから、選手の置かれた環境は同じであり、レースタイムに関しても条件の揃った中で比較することができたといえる。今後、競技シーズンの経過が選手のコンディションに及ぼす影響について、測定する大会数を増やすなどして検証を進めていくことが望まれる。

4.5. 小括

スピードスケートでは、レースでの優れたパフォーマンス発揮に向けた大会直前のコンディショニングにおいて、確立されたパターンに基づいた調整が行われることが多い。本研究では、シーズン最初の JSDC とシーズン最後の WSDC の直前期間における選手のコンディション比較を試み、選手の主観的な疲労感には差がない中で、WSDC では副交感神経活動指標の値が減少していたことが示された。このことから、WSDC では、シーズン開始当初に対して疲労が蓄積していた可能性が示唆された。また、副交感神経活動指標である HF の変化量と疲労感の変化量との間に有意な相関があることが示された。テーパリング期におけるトレーニング負荷の調整が選手のコンディションに及ぼす実際的な効果について、心拍変動から求められる副交感神経活動指標など客観的なデータを参照しながら検証することは、選手のコンディションに関する評価の精度を高め、シーズンを通じたより効果的なコンディショニングの方法を模索・確立していくうえで意義のあるものになると考えられる。

5. 統括論議

5.1. 一流スポーツ競技選手のパフォーマンス向上に向けたデータ活用の意義

5.1.1. パフォーマンス構造の評価におけるデータ活用の意義

(1) 競技特性の評価におけるデータ活用

バドミントンの一流スポーツ競技選手を指導するコーチらは、自らも世界トップレベルでの競技経験を有する場合が多く、指導者となつてからの試行錯誤ばかりでなく、競技者として培った経験や知識もベースとしながらトレーニングを組み立てている。しかし、バドミントン競技において、2006年に15点×3ゲーム（女子シングルスは11点×3ゲーム）のサービスポイント制から21点×3ゲームのラリーポイント制へとルールが変更された中で、指導者の多くは、2006年以前の旧ルールで競技者としての経験を積み上げてきたケースが多い。まして本論文では、第2章において、同じルールの下でも、世界トップレベルのバドミントン競技における試合時間および強度が、2007年から2017年というわずか10年ほどの短期間に変化したことが示されている。こうした中で、世界トップレベルの競技における「今」をデータからの的確に評価し、コーチングにおける「つもり」と「実際」のギャップを埋める作業は、選手のパフォーマンスを競技に対して適応的に高めるうえで不可欠になるのではないかと考える。また、コート上のパフォーマンス向上ばかりでなく、選手の傷害予防に向けた方策を検討するうえで、エビデンスとしてのデータ活用も有効となるだろう。

それでも、もちろん、指導者の「つもり」が「実際」といつも乖離しているわけではなく、トレーニング戦略の立案において、競技特性として平均的に示されるデータばかりがいつも有効であるとは限らない。バドミントンにおいては、同じ種目でも、それぞれの体格や身体的な特性に応じて選手個々に様々なプレースタイルが存在する。そのため、選手によって、トレーニングにおける課題も異なりうる。次項では、バドミントンの一流競技選手を対象として、選手個別の課題抽出および解決に向けて行なったデータ活用の事例を挙げる。

(2) 選手個人のパフォーマンス構造の評価におけるデータ活用

間欠的な競技であるバドミントンでは、試合の強度を表す指標の一つとしてラリー時間とレスト時間のバランスを示す「ラリー密度」がある (Phomsoupha と Laffaye、2015)。ラリー密度は、試合時間全体の中でレスト時間に対してラリー時間の占める割合が増えるほど大きな数字を示すが、この指標に注目することにより、選手の体力的な特性やコンディションについて、選手が自覚的ではなく、コーチも明確に気づいていない示唆を得られることがある。

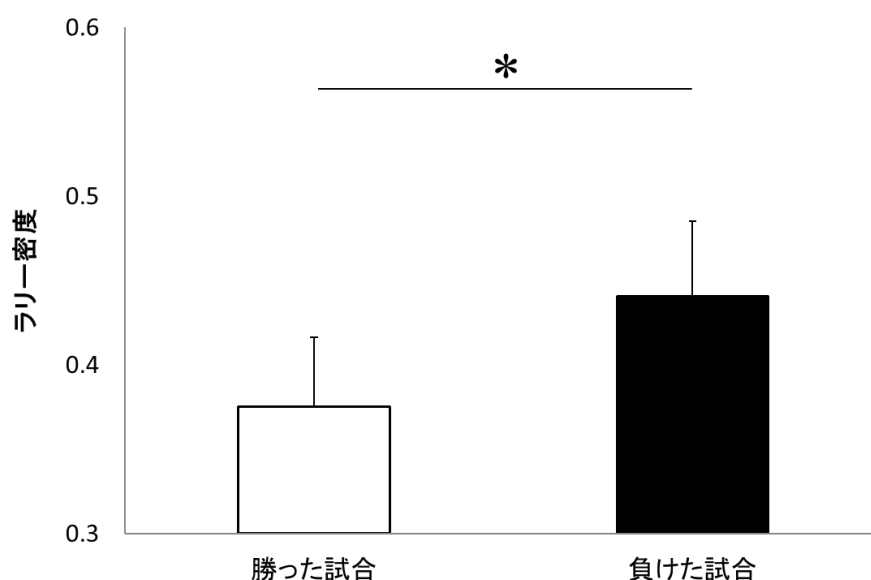


図 1：勝った試合と負けた試合におけるラリー密度の比較 (* : $P < 0.05$)

(飯塚ら、2016 を著者改変)

図 1 は、男子シングルス選手 1 名に関して、世界トップレベルのトーナメントで勝った試合と負けた試合とでラリー密度を比較したものである (飯塚ら、2016)。ラリー密度は、この選手が勝った試合では 0.38 ± 0.04 、負けた試合では 0.44 ± 0.04 であり、後者において有意に大きいという結果が示された ($P < 0.05$)。すなわち、この選手のパフォーマンス構造の特徴として、勝った試合と比較したとき、レスト時間に対してラリー時間が長い試合で負けていることを示すデー

タであるといえる。そのため、この選手に関して、世界トップレベルのバドミントンにおける間欠的で高強度のラリーに対応するのに必要な持久力もしくは身体的なコンディションが必ずしも十分ではなく、試合に勝つためには、ラリー時間に対してレスト時間を長く取ることが必要となっていることが推察される。もちろん、この状況を解消するためには、試合で意図的にレスト時間を長く取ることの一つの戦略となりうるが、負けた試合におけるラリー密度の数字を参考として、練習やトレーニング、あるいは体づくりを含めたコンディショニングの内容を見直すことが、より安定的にパフォーマンスを向上させるうえでの改善策になることが考えられる。改善に向けたトレーニングなどによる取り組みのフォローアップは、この選手の試合映像から引き続きラリー密度を算出することで行なうことができ、現状評価のみに留まらず、パフォーマンス向上に向けたその後の取り組みの成果についても「見える化」することが可能である。

パフォーマンス構造の評価に向けたデータの活用は、このように、競技特性が大きく変化する様子を捉えるばかりでなく、一人一人の選手のパフォーマンスに関する特徴を捉え、それに応じたトレーニングやコンディショニング立案が行なわれることを通じてパフォーマンス向上に寄与する可能性を有するものと考えられる。

5.1.2. 競技会に向けたコンディション評価におけるデータ活用の意義

(1) 大会に向けたコンディション評価におけるデータ活用

第3章において、バドミントン日本代表選手の大会に向けたテーパリング期におけるトレーニング負荷の変化が心拍変動および主観的疲労感に及ぼす影響について示した。この研究の成果として最も意義があると考えられるのは、心拍変動から求められる自律神経活動指標のいくつか、例えば副交感神経活動指標である RMSSD や HF をモニターすることで、トレーニング負荷の変化に対するコンディションの推移をチーム単位ばかりではなく、選手個別に確認することが可能であると示唆されたことであろう。バドミントンは個人競技であるが、同時に対人型の競技でもあることから、一人の担当コーチの下、種目単位で複数

の選手が集まり、基本的には同じ技術練習やトレーニングメニューに取り組むことが多い。その中で、一人一人のコンディションを評価し、それに応じて個別にトレーニング負荷やメニューの調整が行なわれることは未だ少ないといえる。バドミントンは、体力的な側面はもちろん、技術的な側面がパフォーマンスにおいて重要であることが競技現場で強く認識されている。そのため、特にオリンピックや世界選手権など、主要な大会の直前において、選手やコーチの中には、コンディション調整の必要性については理解しながらも、一方では思い残すことなく練習を積み上げておきたい、積み上げさせたいという気持ちが勝る場合もあるようである。しかし、疲労を残したままで大会に臨めば、積み上げた技術を十分に発揮できないリスクも大きくなると考えられ、また、同じ技術練習やトレーニングメニューを課したとしても、それらによってもたらされるコンディションは選手個々に異なるものになると考えられる。そのため、大会直前のコンディショニングについて客観的な指標を用いて評価し、選手やコーチの「つもり」と「実際」に乖離がないか、個別に確認できる簡便で効果的な方法の確立が必要である。

(2) 競技シーズンを通じたコンディション評価におけるデータ活用

第4章では、競技シーズンの最初と最後で一流スピードスケート選手のテーパリング期における心拍変動データに差がみられることが示された。スピードスケートでは、大会における最初の出場レースの2日前にオフを入れるなどの調整パターンが浸透しており、そのパターンをベースとして大会に向けたコンディショニングが行なわれている。その中で、大会直前においてトレーニング負荷自体は抑えられたものであったにも関わらず、シーズン最後の大会ではシーズン最初の大会と比較して副交感神経活動指標が有意に低下するなど、データに差がみられたことは、一流スピードスケート選手のシーズンを通じたコンディション維持の難しさと、それへの対応が必要であることについて改めて示唆されるものとなった。

一流スピードスケート選手はシーズンを通して国内外を移動し、約2週間に1大会のペースで大会に出場しながら、ベストパフォーマンスを発揮し続ける

ことが求められる。その中で、疲労の蓄積を抑制し、コンディションを維持するうえで、もちろん、各地の気候、食環境やトレーニング環境に適応することが重要だが、長距離の移動を繰り返すことや、それに付随して生じる時差ぼけなどの時間生物学的な要因への対応も重要になると考えられる。時差ぼけがもたらす選手への心理的、身体的な負荷は、選手の気分、睡眠、食欲のほか、認知的あるいは身体的なパフォーマンスに負の影響を及ぼすことが示されている（Silvaら、2019、Fowlerら、2019）。一方で、時差に対する適応には個人差があり（Silvaら、2019）、競技シーズンを通して選手のコンディションを維持するうえで、そのことも踏まえ、時差への対応方法を選手ごとに考える必要があるだろう。

スピードスケートは0.01秒で勝負が決する競技であり、大会直前のコンディショニングにおける選手、コーチの「つもり」と「実際」が乖離した場合には、結果への影響は小さくないことが予想される。第4章で示したデータがフィードバックされた翌シーズンにおいて、シーズンのスタート時点では100%の状態を作らず、終盤にピークパフォーマンスを発揮できるよう、体づくりを含めたコンディショニングに関してシーズン全体を見据えたより戦略的なプランニングに着手した選手がみられた。もちろん、客観的なデータこそが正解というわけではないが、選手の感覚、あるいはコーチの経験および知識に基づいて行なわれている取り組みの効果に関して、客観的データを通じて検証されていくことは、さらに優れたコンディショニング計画や方法を確立していくうえで効果的なプロセスとなることが期待される。

5.1.3. 競技会でのコンディション評価におけるデータ活用の意義

第2章において、世界トップレベルのバドミントンでは、2006年のルール変更後、約10年間の間に試合時間が増加し、試合の強度が上がってきていることが示された。世界バドミントン連盟（BWF）が2006年、15点×3ゲーム（女子シングルスは11点×3ゲーム）のサービスポイント制から21点×3ゲームのラリーポイント制へとルールを変更したのは、試合時間を短縮することが目的であった。しかし、その意図とは裏腹に、むしろ試合時間が増加した背景として、特に女子シングルスでは、ラリーが長くなったばかりでなく速くなったことで、

ラリー間により長いレスト時間をとる必要が出ていることの影響もあることが示唆された。競技特性には、時間だけでなく強度の要素も含まれ、それらのバランスについて客観的に検証することは、選手のパフォーマンス向上のみならず、傷害予防にも寄与しうる意義あるものと考えられる。



図2：世界トップレベルが集うバドミントンのトーナメントでは、1日1試合のペースで、期間中、最大5試合を戦うことになる

さらに、そうした状況の中で、2007年から2017年まで開催されたスーパーシリーズや、その後を受けたBWFワールドツアーなど、世界トップレベルの選手が集うトーナメントでは、選手は一日に1試合、勝ち上がった場合には決勝まで最大5試合を戦うことが求められる(図2)。第2章では、男子シングルス、女子シングルスともに、1回戦および2回戦と比較して準々決勝以降では試合時間が長くなることが示された。女子シングルスでは、2017年において、1回戦および2回戦の平均試合時間が 42.1 ± 3.6 分だったのに対し、準々決勝以降では 53.3 ± 6.6 分と、顕著な差があることも明らかとなった。そのため、トーナメントで勝ち上がる選手の疲労は、トーナメント後半に向かうに従ってますます大きく蓄積し、試合中における傷害発生リスクを高めるものと推察される。

これに対して、第3章および第4章で選手の疲労評価に有用であることが示唆された副交感神経活動指標を活用し、選手の疲労状態をモニターしながら適応的にコンディショニングを行うことは、試合中の傷害発生リスクを抑制し、パフォーマンス向上にも寄与する可能性があると考えられる。競技会の期間中、試合を重ねるごとの選手の疲労の推移を客観的に検証することで、選手個々の状態や特性を評価するとともに、それらを踏まえた効果的な準備やリカバリー方法を検討することが可能になると期待される。

5.1.4. 心拍変動データが一流スポーツ競技現場で活用されていくために

本論文の第3章および第4章を通じて、心拍変動データから算出される自律神経活動指標が、一流スポーツ競技選手の客観的なコンディション評価ツールとなる可能性が示された。心拍変動の指標のうち、副交感神経活動指標であるRMSSDおよびHFの値は、疲労などの身体的ストレスに伴って減少することが示された。また、心拍変動は、疲労などの身体的ストレスばかりでなく、不安や緊張といった心理的ストレスによっても影響を受けることが明らかにされている(Parradoら、2010、Mateoら、2012、Tianら、2013、Moralesら、2013)。さらに、心拍変動は、炎症への応答として肝臓で産生されるC反応性タンパク質(C-Reactive Protein:CRP)の血中レベルと関連することが報告されており(Youngら、2018)、身体活動によって全身性に生じる細胞ストレスへの適応、すなわち細胞レベルにおけるコンディションとも関係する点で重要である。

しかし、一流スポーツ競技の現場において、心拍数に関しては測定・評価の方法が比較的広く理解されていると考えられる一方で、心拍変動については、選手・コーチが自分たちだけの手で扱っていくには難しいと感じられる部分があるかもしれない。実際に、心拍数も同様ではあるものの、心拍変動の解析を行なううえでは定常的なデータを得ることが必要であり、選手には安静座位もしくは仰臥位で5分間、姿勢を保つことが求められてきた。また、周波数解析によって副交感神経活動指標であるHFをクリアに算出する必要上、呼吸の周期を4秒に1回程度に保つことが求められてきた(Task Force of the European Society of Cardiology and the North American Society of Pacing and Electrophysiology、1996)。しかし、競技現場において、コンディションをモニターする目的でこうした測定を高頻度で行なうことは、選手らに大きな献身を求めることになる(Buchheitら、2014)。そのため、最近、より短時間かつ簡便な測定から、コンディション評価に有効な指標を心拍変動から求める方法について研究が進んでいる。その有効な指標として挙げられているのが、時間領域における副交感神経活動指標とされるRMSSDであり、本論文でも、バドミントンおよびスピードスケートの一流競技選手のコンディション評価に活用できる可能性が示されている。

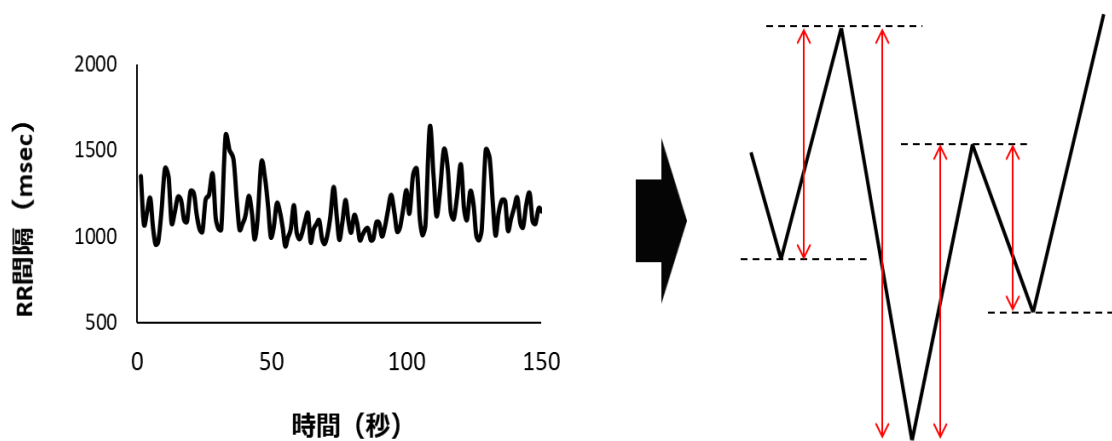


図 3：心拍変動データからの副交感神経活動指標 RMSSD の算出

「隣り合う RR 間隔データの差」における二乗平均平方根として求められる

RMSSD は、隣り合う RR 間隔データの差における二乗平均平方根を算出することによって求めることができる (図 3)。最近では、多くの研究で用いられている Kubios HRV analysis software (Kubios, Kuopio, Finland) など、操作が簡便なフリーウェアもあり、測定した心拍変動データをソフトに読ませるだけで、自動的に各種の自律神経活動指標を得ることが可能である。また、周波数解析によって求められる HF など他の副交感神経活動指標に対し、RMSSD が競技現場向けの指標として優れている点として、データが呼吸のリズムの影響を受けにくいいため、測定に際して呼吸周期の統制を行なう必要がないことが示されており (Saboul ら、2013)、これにより、選手の測定における負担を軽減できることが挙げられる。また、周波数解析を行なううえでは 5 分以上のデータ長が必要とされてきた中で、時間領域の指標である RMSSD では、1 分のデータ長があれば 5 分のデータ長から算出される結果と差がみられないという報告がある (Esco ら、2014)。測定時間を短く抑えつつ、コンディション評価に有用なデータが得られるのであれば、その点でも競技現場向けの指標といえることができるだろう。ただし、簡易化された測定で得られた RMSSD の有用性に関する研究報告の数はまだ限られており、パワー系、持久系、球技系など、異なる特性を持つ様々なスポーツ競技・種目の選手を対象としたコンディション評価で一様に適用するものかなど、今後、実践的な検証を進めていく必要があると考えられる。

5.2. 一流スポーツ競技現場で医・科学データが必ずしも活用されない要因

本論文の第1章において、スポーツ医・科学は目覚ましい発展を遂げているにも関わらず、一流スポーツ競技選手・コーチによって必ずしも活用されていない現状があることを述べた。一方で、第2章から第4章では、スポーツ医・科学の手法によって得られる客観性のあるデータが、一流スポーツ競技選手・コーチのトレーニングおよびコンディショニングに関する試行錯誤に対してエビデンスを提供し、そのことを通じて、強化に貢献を果たすことができる可能性について示してきた。このように、医・科学データの有用性は存在すると考えられるが、それでは、一流スポーツ競技の強化現場で医・科学データが活用されないことの要因とは何か、下記にその可能性について挙げていきたい。

5.2.1. スポーツ医・科学側の課題

スポーツ医・科学は、運動生理学、スポーツバイオメカニクス、スポーツ医学、スポーツ栄養学、スポーツ心理学、スポーツ社会学など、様々な領域の学問から成り立っている。また、例えば運動生理学だけでも、繰り返し行うことで身体の適応変化を期待するトレーニング科学と、人間の動作やスキルを解析する神経生理学的研究に分かれており、それぞれ研究論文は欧米に追随するほど成長している（跡見、2018）。しかし、そうした学問としての発展の中で、本来は応用的な学問として位置づけられるべきスポーツ医・科学の体系が、それぞれの領域ごとに要素的に細分化されたことによって、一流スポーツ競技の現場とは切り離されたものになっているのではないかと考えられる。

Ritchieら（2018）は、スポーツ科学では生理学や心理学の要素がそれぞれ個別に探究されるが、一流スポーツ競技現場の認識として心身は互いに関係するものであることから、パフォーマンスの最適化に向けて役立てられるうえでは、生理学と心理学の要素が一体的なアプローチとして提示されることが求められるとしている。それぞれの領域における学問としての発展はもちろん重要であるが、スポーツ医・科学が一流スポーツ競技現場において活用されるためには、要素としての研究成果を競技現場における課題解決に帰納的に結びつける視座

を持つことが不可欠となるだろう。

Atomiら(2018)は、身体運動科学、疫学および心理学のいずれの研究でも、どのように、何をすればよいか実践的なプログラムが提示されないことにより、一人一人の人間の健康に寄与することができないとしている。それはスポーツ医・科学と一流スポーツ競技選手・コーチとの関係性でも同様で、結城(2017)が指摘するように、「現場に求められているのは、“どうなっているか”の説明ではなく、“どのようにすればよいのか”という、パフォーマンス向上に結び付けられる実践的な知識だと考えられる。スポーツ医・科学の研究者には、コーチや選手の目線を理解し、現場的な課題の解決に対して知見をどのように生かせるか、適切に「翻訳」して橋渡しする姿勢が求められる。

5.2.2. 一流スポーツ現場側の課題

「スポーツ基本計画」では、「中央競技団体においては、JOCや日体協と連携し、ジュニア期からトップレベルに至るまで個々の特性や発達段階に応じた専門的指導が行なえるよう指導者の養成及び指導者体系の構築を図るとともに、競技力向上に向けた企画立案、スポーツ科学・医学・情報等の分野に高い専門性を有するスタッフを養成・確保し、競技に関する現状分析力や情報共有の機能の強化に努めることが望まれる」と述べられている。すなわち、競技団体として、スポーツ科学・医学・情報等の分野を活用できる人材の育成・確保が必要な状況にあることが分かる。Holtら(2018)は、カナダの競技団体を対象とした調査研究を通じて、スポーツ医・科学の研究成果が活用されないことの要因として、競技団体のスタッフが研究内容を理解したり、活用に足るかどうか信ぴょう性を判断したりすることができないことがあると述べている。また、競技団体ではスタッフが限られていることから、仮に研究データが集積されていても、それを競技現場に落とし込むまで展開させられないともしている。その意味で、結城(2017)が「コーチもプロフェッショナルとして情報をかみ砕き、科学者と議論できるくらいの感覚を磨く」ことの必要性を指摘しているように、競技団体の側においても、スポーツ医・科学を有効に活用していくためには、現状はリソースが限られているとしても、人材を育成していく必要性はあるものと考えられる。

5.3. まとめと提言 - 「身心一体科学」的視座とその適用の提案 -

5.3.1. 「身心一体科学」的な視座の必要性

跡見 (2018) は、「各学術領域が発展・成熟してきているのに、その成果を人間の心身のとらえ方に活かす道筋を、真摯に開拓する組織的活動がいまだに本格始動していないことが、一種の過飽和状態を作っている」として、「人間の心身のとらえ方を中心に据えた新しい学際領域が、この過飽和状態に蔵された学術エネルギーを結晶させる種になるはず」と論じている。そのうえで、「動物としての人間を、社会性も含めてまるごと『Organism as a whole』として構成的に取り扱う」学問として、「身心一体科学」を提唱している。

先述した通り、スポーツ医・科学においても、様々な学問領域が要素的に細分化され、それぞれ個別に知見の蓄積が進められていることにより、一流スポーツ競技の選手・コーチが抱える課題の解決に役立てられにくい状況が生じている。そのため、個々の知見を一流スポーツ競技選手一人一人のパフォーマンス向上に対してどのように役立てられるか、「身心一体科学」的な視座に立って進めていく必要があるものと考えられる。

5.3.2. 一流スポーツ競技選手が「自分を知る」姿勢の重要性

跡見 (2012) は、「身心一体科学」を「自分を知る科学」として位置づけるとともに、「自分を知る教育」の重要性についても論じている (図 4)。その中で、2016 年 12 月の中央教育審議会答申において、新しい時代に必要となる資質・能力として、①生きて働く「知識・技能」、②未知の状況にも対応できる「思考力・判断力・表現力」、③学びを人生や社会に生かそうとする「学びに向かう力・人間性」という三つの柱があげられた。さらに、これらの資質・能力を獲得するために「主体的・対話的で深い学び」としての「アクティブ・ラーニング」が必要であるとされ、2020 年から日本の教育現場で本格導入されることとなっている (渡部、2020)。

一流スポーツ競技選手においても、パフォーマンスを向上させるうえで「学び

に向かう力・人間性」は重要な要素となるだろう。バドミントン日本代表チームへの栄養サポートでは「選手が自身にとって適切な食事摂取量に関する知識を獲得し、国内外の環境によらず、その知識を実践に活用できるスキルを身につけられるためのサポート」が実施されている（井上と飯塚、2018、松本ら、2018）。バドミントン日本代表チームにおいては、国内外の遠征にいつも管理栄養士が帯同するわけではないことから、優れたパフォーマンスを環境によらず安定的に発揮するために、選手は栄養に関する知識を身に付けるだけでなく、知識を自らのために実践できるようになることが必要となる。そこに至るサポートの過程では、個々の選手と管理栄養士とで栄養に関する課題改善に向けた戦略が繰り返し検討されていくが、その際、選手が受け身にならないことが重要視され、管理栄養士から一方的な提案が行なわれることはない。このように、単に知識を提供するに留まらず、選手が主体的に学び、自らを知る姿勢を促すことは、分野を問わず、スポーツ医・科学が一流スポーツ競技選手のパフォーマンスを高めることに貢献するうえで不可欠な要素となるだろう。

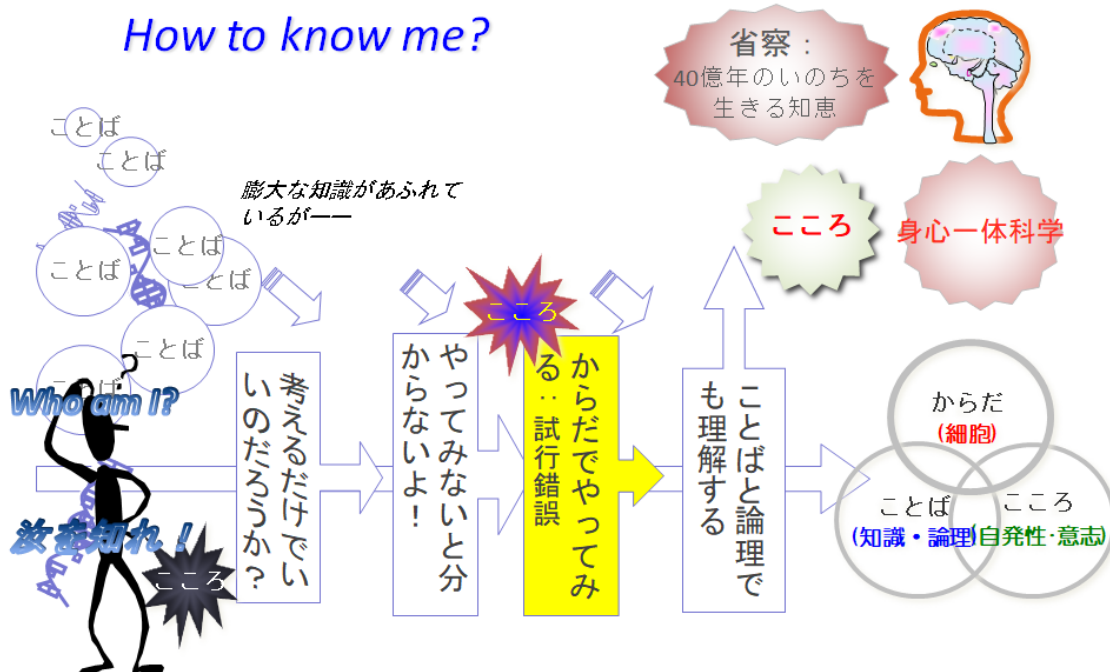


図4：「自分を知る科学」としての「身心一体科学」（跡見、2012）

6. 謝辞

本研究は、東京農工大学大学院工学府応用化学専攻材料健康科学寄付講座の跡見順子客員教授、清水美穂客員准教授の指導の下で行なわれたものであり、両氏に深く感謝の意を表す。論文作成が進まない怠惰な著者に対し、厳しくもあたたかい叱咤激励をくださり、学位取得に向けた道筋をつけてくださった。第2章から第4章までの内容は、それぞれ原著論文として Sports に掲載が受理され、世界トップレベルの学術データベースである Web of Science に収録されることとなった。なかでも、第3章の内容をまとめた論文は、Sports の表紙として採用され、高い関心を得ることができた。これらの個々の内容を学位論文として一つにまとめる過程でも、先生方による幅広い見地からのサジェスションによって多くの学びを得ることができ、第1章と第5章の執筆につなげることができた。

また、第2章から第4章までのデータをそれぞれ論文化するにあたり、杏林大学保健学部理学療法学科の跡見友章教授から多くのアドバイスをいただいたことに深く感謝の意を表す。

さらに、本論文の基盤となったデータの多くは、バドミントン日本代表およびスピードスケート日本代表の選手、スタッフ、関係者の方々の協力なしには得ることができなかった。ともにフィールドでのデータ測定に携わってくださった国立スポーツ科学センター、日本スポーツ振興センターのスタッフの皆様にも深く感謝申し上げたい。

7. 参考文献

Abián, P., Castanedo, A., Feng, X. Q., Sampedro, J., & Abian-Vicen, J. (2014). Notational comparison of men's singles badminton matches between Olympic Games in Beijing and London. *International Journal of Performance Analysis in Sport*, 14(1), 42-53.

Abian-Vicen, J., Castanedo, A., Abian, P., & Sampedro, J. (2013). Temporal and notational comparison of badminton matches between men's singles and women's singles. *International Journal of Performance Analysis in Sport*, 13(2), 310-320.

Al Haddad, H., Laursen, P. B., Chollet, D., Ahmaidi, S., & Buchheit, M. (2011). Reliability of resting and postexercise heart rate measures. *Int J Sports Med*, 32(8), 598-605.

Alcock, A., & Cable, N. T. (2009). A comparison of singles and doubles badminton: heart rate response, player profiles and game characteristics. *International Journal of Performance Analysis in Sport*, 9, 228-237.

Atlaoui, D., Pichot, V., Lacoste, L., Barale, F., Lacour, J. R., & Chatard, J. C. (2007). Heart rate variability, training variation and performance in elite swimmers. *Int J Sports Med*, 28(5), 394-400.

Atomi, Y., Shimizu, M., Ohto-Fujita, E., Atomi, A., Hayasaki, S., Higashi, Y., & Atomi, T. (2018). Geroscience From Cell-body Dynamics and Proteostasis Cooperation Supported by α B-crystallin and Human will ~ A Proposal of "Body-Mind Integrative Science". In: Asea A., Kaur P. (eds) *Regulation of Heat Shock Protein Responses*. *Heat Shock Proteins*, vol 13. Springer, Cham.

跡見順子 (2012) いのちのシステムを理解する科学と教育 - Equality の科学の視座 - . 学術の動向 2012 年 6 月号 86-93.

跡見順子 (2018) 「細胞力」を高める 「身心一体科学から健康寿命を延ばす」論創社.

Barreira, J., Chiminazzo, J. G. C., & Fernandes, P. T. (2016). Analysis of point difference established by winners and losers in games of badminton. *International Journal of Performance Analysis in Sport*, 16(2), 687-694.

Barrero, A., Schnell, F., Carrault, G., Kervio, G., Matelot, D., Carre, F., & Le Douairon Lahaye, S. (2019). Daily fatigue-recovery balance monitoring with heart rate variability in well-trained female cyclists on the Tour de France circuit. *PLoS One*, 14(3), e0213472.

Benjaminse, A., Webster, K. E., Kimp, A., Meijer, M., & Gokeler, A. (2019). Revised approach to the role of fatigue in anterior cruciate ligament injury prevention: A systematic review with meta-analyses. *Sports Med*, 49(4), 565-586.

Botek, M., McKune, A. J., Krejci, J., Stejskal, P., & Gaba, A. (2014). Change in performance in response to training load adjustment based on autonomic activity. *Int J Sports Med*, 35(6), 482-488.

Buchheit, M. (2014). Monitoring training status with HR measures: do all roads lead to Rome? *Front Physiol*, 5, 73.

Cabello Manrique, D., & Gonzalez-Badillo, J. J. (2003). Analysis of the characteristics of competitive badminton. *Br J Sports Med*, 37(1), 62-66.

Chen, J. L., Yeh, D. P., Lee, J. P., Chen, C. Y., Huang, C. Y., Lee, S. D., . . . Kuo, C. H. (2011). Parasympathetic nervous activity mirrors recovery status in weightlifting performance after training. *J Strength Cond Res*, 25(6), 1546-1552.

Chiminazzo, J. G. C., Barreira, J., Luz, L. S. M., Saraiva, W. C., & Cayres, J. T. (2018). Technical and timing characteristics of badminton men's single: comparison between groups and play-offs stages in 2016 Rio Olympic Games. *International Journal of Performance Analysis in Sport*, 18(2), 245-254.

Coelho, A. B., Nakamura, F. Y., Morgado, M. C., Holmes, C. J., Baldassarre, A., Esco, M. R., & Rama, L. M. (2019). Heart rate variability and stress recovery responses during a training camp in elite young canoe sprint athletes. *Sports*, 7(5).

Crowcroft, S., McCleave, E., Slattery, K., & Coutts, A. J. (2017). Assessing the measurement sensitivity and diagnostic characteristics of athlete-monitoring tools in national swimmers. *Int J Sports Physiol Perform*, 12(Suppl 2), S295-S2100.

Earnest, C. P., Jurca, R., Church, T. S., Chicharro, J. L., Hoyos, J., & Lucia, A. (2004). Relation between physical exertion and heart rate variability characteristics in professional cyclists during the Tour of Spain. *Br J Sports Med*, 38(5), 568-575.

Engebretsen, L., Soligard, T., Steffen, K., Alonso, J. M., Aubry, M., Budgett, R., Dvorak, J., Jegathesan, M., Meeuwisse, W. H., Mountjoy, M., Palmer-Green, D., Vanhegan, I., & Renstrom, P. A. (2013). Sports injuries and illnesses during the London Summer Olympic Games 2012. *Br J Sports Med*, 47(7), 407-414.

Esco, M. R., & Flatt, A. A. (2014). Ultra-short-term heart rate variability indexes at rest and post-exercise in athletes: evaluating the agreement with accepted recommendations. *J Sports Sci Med*, 13(3), 535-541.

Faude, O., Meyer, T., Rosenberger, F., Fries, M., Huber, G., & Kindermann, W. (2007). Physiological characteristics of badminton match play. *Eur J Appl Physiol*, 100(4), 479-485.

Fernandez-Fernandez, J., de la Aleja Tellez, J. G., Moya-Ramon, M., Cabello-Manrique, D., & Mendez-Villanueva, A. (2013). Gender differences in game responses during badminton match play. *J Strength Cond Res*, 27(9), 2396-2404.

Figueiredo, D. H., Moreira, A., Goncalves, H. R., & Stanganelli, L. C. R. (2019). Effect of overload and tapering on individual heart rate variability, stress tolerance, and intermittent running performance in soccer players during a preseason. *J Strength Cond Res*, 33(5), 1222-1231.

Flatt, A. A., Esco, M. R., Allen, J. R., Robinson, J. B., Earley, R. L., Fedewa, M. V., Bragg, A., Keith, C. M., & Wingo, J. E. (2018). Heart rate variability and training load among National Collegiate Athletic Association Division 1 college football players throughout spring camp. *J Strength Cond Res*, 32(11), 3127-3134.

Flatt, A. A., Esco, M. R., & Nakamura, F. Y. (2017). Individual heart rate variability responses to preseason training in high level female soccer players. *J Strength Cond Res*, 31(2), 531-538.

Flatt, A. A., Esco, M. R., & Nakamura, F. Y. (2018). Association between Subjective Indicators of Recovery Status and Heart Rate Variability among Division-1 Sprint-Swimmers. *Sports*, 6(3).

Flatt, A. A., Esco, M. R., Nakamura, F. Y., & Plews, D. J. (2017). Interpreting daily heart rate variability changes in collegiate female soccer players. *J Sports Med Phys Fitness*, 57(6), 907-915.

Flatt, A. A., Hornikel, B., & Esco, M. R. (2017). Heart rate variability and psychometric responses to overload and tapering in collegiate sprint-swimmers. *J Sci Med Sport*, 20(6), 606-610.

Fowler, P.M., Murray, A., Farooq, A., Lumley, N., & Taylor, L. (2019). Subjective and objective responses to two Rugby Sevens World Series competitions. *J Strength Cond Res*, 33, 1043–1055.

Garet, M., Tournaire, N., Roche, F., Laurent, R., Lacour, J. R., Barthelemy, J. C., & Pichot, V. (2004). Individual Interdependence between nocturnal ANS activity and performance in swimmers. *Med Sci Sports Exerc*, 36(12), 2112-2118.

Gawin, W., Beyer, C., & Seidler, M. (2015). A competition analysis of the single and double disciplines in world-class badminton. *International Journal of Performance Analysis in Sport*, 15(3), 997-1006.

Holt, N. L., Pankow, K., Camiré, M., Côté, J., Fraser-Thomas, J., MacDonald, D. J., Strachan, L., & Tamminen, K. A. (2018). Factors associated with using research evidence in national sport organisations. *J Sports Sci*, 36(10), 1111-1117.

Iellamo, F., Legramante, J. M., Pigozzi, F., Spataro, A., Norbiato, G., Lucini, D., & Pagani, M. (2002). Conversion from vagal to sympathetic predominance with strenuous training in high-performance world class athletes. *Circulation*, 105(23), 2719-2724.

Iizuka, T., Hirano, K., Atomi, T., Shimizu, M., & Atomi, Y. (2020). Changes in Duration and Intensity of the World's Top-Level Badminton Matches: A Consideration of the Increased Acute Injuries among Elite Women's Singles Players. *Sports*, 8(2), 19.

Iizuka, T., Ohiwa, N., Atomi, T., Shimizu, M., & Atomi, Y. (2020). Morning heart rate variability as an indication of fatigue status in badminton players during a training camp. *Sports*, 8(11), 147.

Iizuka, T., Kon, M., Maegawa, T., Yuda, J., Aoyanagi, T., Takahashi, H., Atomi, T., Shimizu, M., & Atomi, Y. (2020). Comparison of morning heart rate variability at the beginning and end of a competition season in elite speed skaters. *Sports*, 8(12), 164.

飯塚太郎, 平野加奈子, 烏賀陽真未子 (2016) 試合映像分析を通じたバドミントン選手の体力特性及びコンディションの評価 *バイオメカニクス研究* 20(2), 73-77.

飯塚太郎 (2018) 個人球技の身体運動量「バドミントン」. *疲労と身体運動* 宮下充正 (編) 杏林書院 110-113.

井上なぎさ, 飯塚太郎 (2018) トップスポーツ選手への栄養学の貢献ーバドミントン日本代表チームへの取り組みからー *トレーニング科学*, 30(1), 13-19.

河森直紀 (2018) ピーキングのためのテーパリング - 狙った試合で最高のパフォーマンスを発揮するために - *ナップ*.

Kimura, Y., Ishibashi, Y., Tsuda, E., Yamamoto, Y., Hayashi, Y., & Sato, S. (2012). Increased knee valgus alignment and moment during single-leg landing after overhead stroke as a potential risk factor of anterior cruciate ligament injury in badminton. *Br J Sports Med*, 46(3), 207-213.

Kimura, Y., Ishibashi, Y., Tsuda, E., Yamamoto, Y., Tsukada, H., & Toh, S. (2010). Mechanisms for anterior cruciate ligament injuries in badminton. *Br J Sports Med*, 44(15), 1124-1127.

Kiviniemi, A. M., Hautala, A. J., Kinnunen, H., & Tulppo, M. P. (2007). Endurance training guided individually by daily heart rate variability measurements. *Eur J Appl Physiol*, 101(6), 743-751.

Kon, M., Iizuka, T., Maegawa, T., Hashimoto, E., Yuda, J., Aoyanagi, T., Akimoto, T., & Takahashi, H. (2010). Salivary secretory immunoglobulin a response of elite speed skaters during a competition period. *J Strength Cond Res*, 24(8), 2249-2254.

窪康之 (2017) スポーツ医・科学によるコーチング支援の現状と課題. コーチング学への招待 日本コーチング学会 (編) 330-334.

Laffaye, G., Phomsoupha, M., & Dor, F. (2015). Changes in the game characteristics of a badminton match: A longitudinal study through the Olympic Game finals analysis in men's Singles. *J Sports Sci Med*, 14(3), 584-590.

Liddle, S. D., Murphy, M. H., & Bleakley, W. (1996). A comparison of the physiological demands of singles and doubles badminton: a heart rate and time/motion analysis. *Journal of Human Movement Studies*, 30, 159-176.

Mateo, M., Blasco-Lafarga, C., Martinez-Navarro, I., Guzman, J. F., & Zabala, M. (2012). Heart rate variability and pre-competitive anxiety in BMX discipline. *Eur J Appl Physiol*, 112(1), 113-123.

松本なぎさ, 飯塚太郎, 千野謙太郎, 朴柱奉 (2018). リオデジャネイロ 2016 オリンピックに向けたバドミントン日本代表チームに対する栄養サポート. *日本スポーツ栄養研究誌*, 11, 93-100.

Matsunaga, Y., Tagaya, H., Fukase, Y., Hakamata, Y., Murayama, N., Kumagai, Y., & Kuroyama, M. (2018). Effects of zolpidem/triazolam on cognitive performance 12 hours after acute administration. *Sleep Med*, 52, 213-218.

Ming, C. L., Keong, C. C., & Ghosh, A. K. (2008). Time motion and notational analysis of 21 point and 15 point badminton match play. *International Journal of Sports Science and Engineering*, 2(4), 216-222.

Morales, J., Alamo, J. M., Garcia-Masso, X., Busca, B., Lopez, J. L., Serra-Ano, P., & Gonzalez, L. M. (2014). Use of heart rate variability in monitoring stress and recovery in judo athletes. *J Strength Cond Res*, 28(7), 1896-1905.

Muehlbauer, T., Schindler, C., & Panzer, S. (2010). Pacing and sprint performance in speed skating during a competitive season. *Int J Sports Physiol Perform*, 5(2), 165-176.

Mujika, I., & Padilla, S. (2003). Scientific bases for precompetition tapering strategies. *Med Sci Sports Exerc*, 35(7), 1182-1187.

Naranjo, J., De la Cruz, B., Sarabia, E., De Hoyo, M., & Dominguez-Cobo, S. (2015). Heart rate variability: a follow-up in elite soccer players throughout the season. *Int J Sports Med*, 36(11), 881-886.

Nuissier, F., Chapelot, D., Vallet, C., & Pichon, A. (2007). Relations between psychometric profiles and cardiovascular autonomic regulation in physical education students. *Eur J Appl Physiol*, 99(6), 615-622.

大築立志 (2003) 巧みな動作の神経機構. 入門運動神経生理学～ヒトの運動の巧みさを探る～ 矢部京之助、大築立志、笠井達哉 (編) 市村出版 30-38.

Ooi, C. H., Tan, A., Ahmad, A., Kwong, K. W., Sompong, R., Ghazali, K. A., Liew, S. L., Chai, W. J. & Thompson, M. W. (2009). Physiological characteristics of elite and sub-elite badminton players. *J Sports Sci*, 27(14), 1591-1599.

Parrado, E., Cervantes, J., Pintanel, M., Rodas, G., & Capdevila, L. (2010). Perceived tiredness and heart rate variability in relation to overload during a field hockey World Cup. *Percept Mot Skills*, 110(3 Pt 1), 699-713.

Phomsoupha, M., & Laffaye, G. (2015). The science of badminton: game characteristics, anthropometry, physiology, visual fitness and biomechanics. *Sports Med*, 45(4), 473-495.

Pichot, V., Busso, T., Roche, F., Garet, M., Costes, F., Duverney, D., Lacour, J. R., & Barthelemy, J. C. (2002). Autonomic adaptations to intensive and overload training periods: a laboratory study. *Med Sci Sports Exerc*, 34(10), 1660-1666.

Pichot, V., Roche, F., Gaspoz, J. M., Enjolras, F., Antoniadis, A., Minini, P., Costes, F., Busso, T., Lacour, J. R., & Barthelemy, J. C. (2000). Relation between heart rate variability and training load in middle-distance runners. *Med Sci Sports Exerc*, 32(10), 1729-1736.

Plews, D. J., Laursen, P. B., Le Meur, Y., Hausswirth, C., Kilding, A. E., & Buchheit, M. (2014). Monitoring training with heart rate-variability: how much compliance is needed for valid assessment? *Int J Sports Physiol Perform*, 9(5), 783-790.

Raglin, J. S., Morgan, W. P., & O'Connor, P. J. (1991). Changes in mood states during training in female and male college swimmers. *Int J Sports Med*, 12(6), 585-589.

Ritchie, D., Allen, J. B., & Kirkland, A. (2018). Where science meets practice: Olympic coaches' crafting of the tapering process. *J Sports Sci*, 36(10), 1145-1154.

Saboul, D., Pialoux, V., & Hautier, C. (2013). The impact of breathing on HRV measurements: implications for the longitudinal follow-up of athletes. *Eur J Sport Sci*, 13(5), 534-542.

Sandbakk, O. (2018). Let's close the gap between research and practice to discover new land together! *Int J Sports Physiol Perform*, 13(8), 961.

Sasaki, S., Nagano, Y., & Ichikawa, H. (2018). Loading differences in single-leg landing in the forehand- and backhand-side courts after an overhead stroke in badminton: A novel tri-axial accelerometer research. *J Sports Sci*, 36(24), 2794-2801.

Schmitt, L., Regnard, J., & Millet, G. P. (2015). Monitoring fatigue status with HRV measures in elite athletes: An avenue beyond RMSSD? *Front Physiol*, 6, 343.

Silva, M.G., Paiva, T., & Silva, H.H. (2019). The elite athlete as a special risk traveler and the jet lag's effect: Lessons learned from the past and how to be prepared for the next Olympic Games 2020 Tokyo. *J Sports Med Phys Fit*, 59, 1420–1429.

Stanley, J., D'Auria, S., & Buchheit, M. (2015). Cardiac parasympathetic activity and race performance: an elite triathlete case study. *Int J Sports Physiol Perform*, 10(4), 528-534.

Task Force of the European Society of Cardiology and the North American Society of Pacing and Electrophysiology. (1996). Heart rate variability: standards of measurement, physiological interpretation and clinical use. *Circulation*, 93(5), 1043-1065.

Tian, Y., He, Z. H., Zhao, J. X., Tao, D. L., Xu, K. Y., Earnest, C. P., & McNaughton, L. R. (2013). Heart rate variability threshold values for early-warning nonfunctional overreaching in elite female wrestlers. *J Strength Cond Res*, 27(6), 1511-1519.

Torres-Luque, G., Fernandez-Garcia, A. I., Blanca-Torres, J. C., Kondric, M., & Cabello-Manrique, D. (2019). Statistical differences in set analysis in badminton at the RIO 2016 Olympic Games. *Front Psychol*, 10, 731.

Uusitalo, A. L., Uusitalo, A. J., & Rusko, H. K. (1998). Endurance training, overtraining and baroreflex sensitivity in female athletes. *Clin Physiol*, 18(6), 510-520.

Valdecabres, R., de Benito, A. M., Littler, G., & Richards, J. (2018). An exploration of the effect of proprioceptive knee bracing on biomechanics during a badminton lunge to the net, and the implications to injury mechanisms. *PeerJ*, 6, e6033.

渡部 淳 (2020). アクティブ・ラーニングとは何か. 岩波書店.

山本義春 (1999). 心拍数の情報論～フィールドの生理学へ向けて～. *マイクロメカトロニクス*, 43(4), 9-17.

Young, H. A., & Benton, D. (2018). Heart-rate variability: a biomarker to study the influence of nutrition on physiological and psychological health? *Behav Pharmacol*, 29, 140-151.

結城匡啓 (2017). 私の考えるコーチング論：科学的コーチング実践をめざして. *コーチング学研究*, 30 (Suppl) , 97-104.