

様式第1号-1

博士学位論文

日本人サッカー選手の方向転換走タイムに影響を
及ぼす要因

2021年2月

金子 憲一

研究指導教員

船渡 和男 教授

様式第 1 号-2

博士学位論文

日本人サッカー選手の方向転換走タイムに影響を
及ぼす要因

**Factors affecting the change-of-direction sprint time in
Japanese football players**

2021 年 2 月

金子 憲一

Kaneko ken-ichi

研究指導教員

船渡 和男 教授

目次

第 I 章 総論	p. 1
1. 緒言	p. 2
2. 研究小史	p. 7
i. アジリティを構成する因子とその評価方法	p. 7
ii. 方向転換走の評価手法	p. 12
iii. サッカー選手の方向転換走能力	p. 12
iv. 方向転換走能力の発達特性	p. 13
v. レーザー方式距離計測装置を用いた走スピード測定	p. 16
vi. 方向転換動作に関するバイオメカニクス研究	p. 19
3. 本研究の目的	p. 21
4. 方向転換走によるアジリティの評価方法 ーアジリティの定義と本研究で扱う範囲ー	p. 22
第 II 章 実験研究	p. 23
1. 研究 1 Laveg を用いて算出した値の再現性と計測データの妥当性の 検証	p. 24
i) 目的	p. 25
ii) 方法	p. 25
iii) 結果	p. 33
iv) 考察	p. 40
v) 結論	p. 41
2. 研究 2 経時的速度変化による方向転換走能力の評価	p. 42

i.	一般人との比較からみたサッカー選手の方向転換走能力の特徴	p. 43
1)	目的	p. 43
2)	方法	p. 43
3)	結果	p. 48
4)	考察	p. 56
5)	結論	p. 57
ii.	サッカー選手の方向転換走能力に影響を及ぼす要因の検討	p. 59
1)	目的	p. 59
2)	方法	p. 59
3)	結果	p. 66
4)	考察	p. 73
5)	結論	p. 75
3.	研究3 方向転換走能力の発達特性	p. 76
i)	目的	p. 77
ii)	方法	p. 77
iii)	結果	p. 83
iv)	考察	p. 88
v)	結論	p. 91
4.	研究4 方向転換走能力に影響を及ぼす要因についての	
	バイオメカニクスのアプローチ	p. 92
i)	目的	p. 93
ii)	方法	p. 94
iii)	結果	p. 98
iv)	考察	p. 104
v)	結論	p. 106

第Ⅲ章 総括的議論・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ p. 107

1. 方向転換走能力の評価方法の確立・・・・・・・・ p. 108

2. 経時的速度変化からみるサッカー選手の方向転換走能力の特徴・・・・・・・・ p. 110

3. サッカー選手の方向転換走能力の発達—子どもから大人—・・・・・・・・ p. 115

4. 方向転換スキルの獲得・・・・・・・・ p. 117

5. 他競技選手への方向転換走能力評価の留意点・・・・・・・・ p. 125

6. 方向転換走能力向上のためのトレーニングの視座・・・・・・・・ p. 128

第Ⅳ章 結論・・・・・・・・・・・・・・・・ p. 133

第Ⅴ章 参考資料・・・・・・・・ p. 136

1. 方向転換走能力向上のためのトレーニング研究・・・・・・・・ p. 137

i. 24週間の筋力トレーニングが大学女子サッカー選手の基礎的および
特異的体力に及ぼす影響・・・・・・・・ p. 138

1) 目的・・・・・・・・ p. 138

2) 方法・・・・・・・・ p. 139

3) 結果・・・・・・・・ p. 147

4) 考察・・・・・・・・ p. 154

5) 結論・・・・・・・・ p. 157

ii. 方向転換走能力の向上を目的としたトレーニングとチーム練習量の関係
・・・・・・・・ p. 159

1) 目的	p. 159
2) 方法	p. 160
3) 結果	p. 171
4) 考察	p. 173
5) 結論	p. 175

引用文献	p. 176
------	--------

謝辞	p. 194
----	--------

第 I 章 総論

1. 緒言

現代のサッカーは、選手に対して、より強く、より速く、より正確なプレーが要求され、試合展開のスピード化が顕著である。そこには、クリエイティブな発想はもちろんのこと、一瞬のスピード、爆発的なパワー発揮、激しいコンタクトプレーでのボディバランスなど、技術に加えて、体力面の強化が不可欠である。

今日では、テクノロジーの進化により、GPS センサや心拍センサなどを備えたウェアラブルデバイスを用いて、試合中の選手の心拍数、位置、走行距離、移動速度などの体力的変数が iPad やスマートフォンなどを通してリアルタイムに収集することができる。これら、スポーツにおけるテクノロジーの進化は、選手のパフォーマンスの改善に果たす役割は非常に大きく、得られた生理学的情報からパフォーマンスを分析し、次のトレーニングを提案・実行していくという日々の PDCA サイクルは、スポーツ科学の進歩を加速させ、そして、選手のパフォーマンスの資質をより高めている。

スポーツ科学の進歩によって、サッカーの試合中の選手の生理学のおよび体力的変数が明らかにされている。サッカーの試合（90 分）において、1 人の選手がボールを保持する時間は、およそ 2~3 分程度とされ (Rico and Bangsbo, 1992)、試合中の選手の移動距離は、ポジションによって異なるものの、およそ 9~12km 前後である (日本サッカー協会スポーツ医科学委員会, 2011)。試合中の動きの特性は、歩行、ジョギング、低・中・高強度ランニング (19.8km/h 以上)、スプリント (25.2km/h 以上) などに分類され、競技レベルが高い選手ほど、より多くの高強度ランニングを行っていることが報告されている (Mohr et al, 2003)。さらに、近年では、高強度ランニング (19.8km/h 以上) やスプリント (25km/h 以上) の移動距離がますます増加傾向にあることが報告されている (Di salvo, 2009)。これらの背景には、現代の攻守にわたる戦術の変化、すなわち、ボールが相手に渡った瞬間から積極的に守備を行う戦術や、守備的なポジションの選手が積極的に攻撃に加わるなど、すべての選手に高い運動強度が要求されることと関係していると考えられる (日本サッカー協会スポーツ医科学委員会, 2011)。

また、サッカーは、ボール保持者への素早いアプローチや攻守の切り替え、対峙する相手の動きへの素早い反応など、急加速、急減速を伴う方向転換が非常に多く要求される競技でもある (Little and Williams, 2005 ; Stolen et al., 2005)。例えば、Bloomfield et al. (2007) は、イングランドのプレミアリーグの試合分析から、サッカー選手は 90

分間の試合の中で、ポジションによって 600 から 800 回もの方向転換を行っていることを明らかにしており、このことから、サッカーは、直線走よりも方向転換走が多い競技であることが理解できる。

試合の方向転換は、書籍や論文によって記述されている言葉の解釈や定義について部分的に異なるものの、ゴール型球技スポーツでは、主に「アジリティ」と定義されている (Sheppard and Young, 2006, Young et al., 2002) (図 I-1-1)。塩川ほか (1998) は、サッカー選手のアジリティについて、試合中に相手よりも速く動くことでボール獲得が有利になること、ゴール前での一瞬のスピードの違いによってゴールが生まれることがあることから、アジリティがサッカーの試合の勝敗を決する重要な能力であると述べている。また、広瀬 (2015) は、2015 年 FIFA 女子ワールドカップカナダ大会終了後のテクニカルレポートの中で、体格に劣る日本人サッカー選手が世界で闘うためには、アジリティ能力が必須の運動能力であると報告している。これらのことから、現代のサッカー選手には、ボールを保持していない時間での高い運動強度を繰り返し発揮することができる体力とアジリティなど動きの質の双方の能力が求められている。中でも、高頻度で行われるアジリティは、サッカー選手において重要な能力の一つであると考えられる。

近年、欧州の主要なプロサッカーリーグで活躍する日本人サッカー選手が増えている。その中で、日本人選手は、技術が高くアジリティ能力に優れていると言われている。また、日本のメディア媒体において、日本人のストロングポイントの一つとして、アジリティ能力が挙げられることも少なくない。では、日本人サッカー選手は、サッカーの強豪国と言われる国々の選手よりも、アジリティ能力が本当に優れているのであろうか？

(財) 日本サッカー協会 (以下、JFA) の HP (フィジカルフィットネスプロジェクト) で公開されている U16 と U17 日本代表選手 (U18 は結果なし) のアジリティテスト (アロウヘッド・アジリティテスト (図 I-1-2)) 値と、同じテストを用いた先行研究 (Di Mascio et al., 2015 ; Noon et al., 2015) の値と比較してみると、U16・U17 日本代表選手の値 (U16 : 左 8.89 ± 0.25 秒, 右 9.00 ± 0.24 秒, U17 : 左 8.83 ± 0.18 秒, 右 8.80 ± 0.20 秒) は、プレミアリーグに所属するクラブチームのアカデミー (U17 から U21) 選手 40 名の平均値 (8.17 ± 0.26 秒~ 8.33 ± 0.29 秒) やプレミアリーグの他のクラブのアカデミー選手 (U16 選手 20 名と U18 選手 11 名) の平均値 (図標記のため値なし) と比較して明らかに遅い値である。つまり、我々が世界で通用すると認識している、あるいは、ストロ



図 I - 1 - 1 競技中のアジリティ

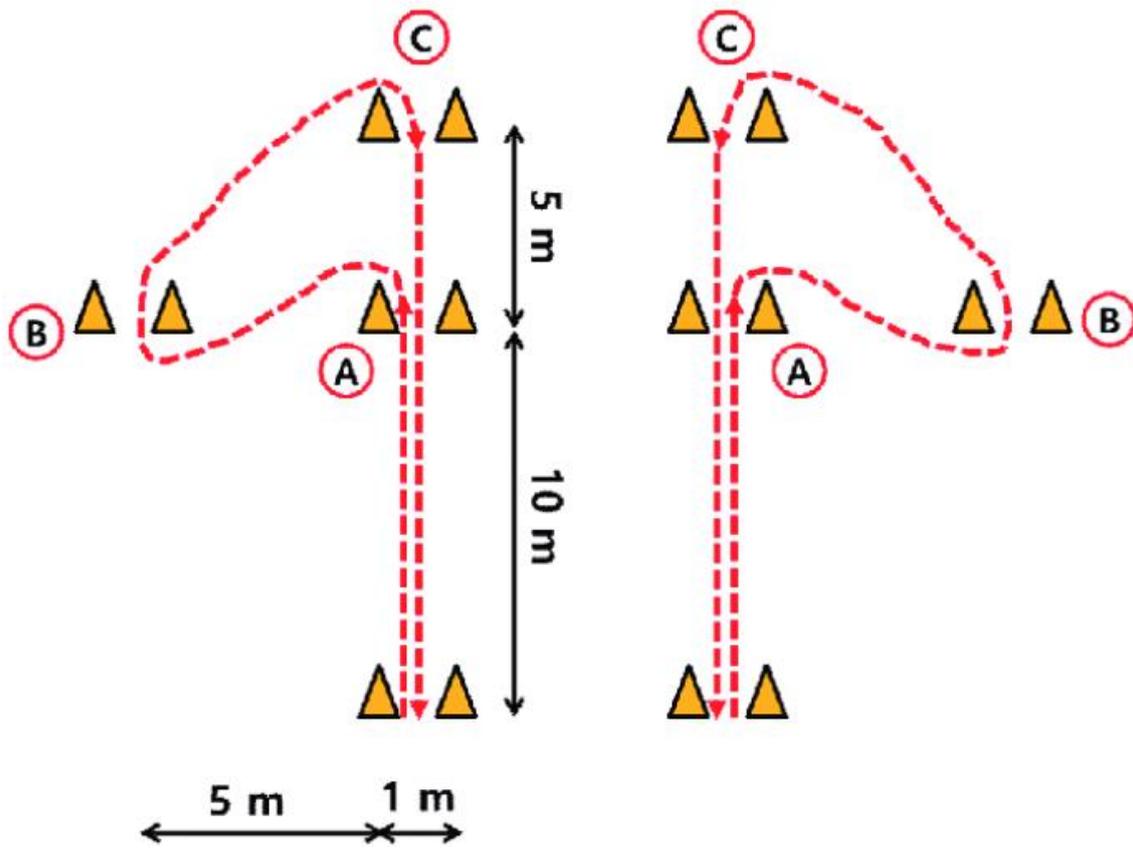


図 I-1-2 アロウヘッド・アジリティテスト

ングポイントとして挙げられている日本人サッカー選手のアジリティ能力は、10代の育成年代において、すでに劣っている可能性があるということだ。また、日本人サッカー選手は、諸外国の選手と比べて、体格やスピード・下肢のパワー発揮能力においても明らかに劣る（JFA 指導指針 2017）。13歳から18歳までの育成年代の日本代表選手と同年代のフランス代表選手の10m走タイムとカウンタームーブメントジャンプ（Counter movement jump, 以下 CMJ）の跳躍高は、全ての年代においてフランス代表選手の記録のほうが優れている。これらのことは、トレーニング指導の専門職として看過できない事実であり、日本人サッカー選手の体力強化のために育成年代からの積み上げの施策を早急に立てないと、前述のように「高い運動強度を繰り返し発揮することができる高水準の体力とアジリティなどの動きの質の両方が要求される」現代のサッカーにおいて、世界のサッカー強豪国に、ますます遅れを取るようになるだろう。

「日本人サッカー選手は、スピード・下肢のパワー発揮能力は諸外国の選手には劣るが、アジリティ能力は勝る」という今日の風潮や認識は間違いであることに気づき、早急に、アジリティの系統的指導方法を確立させる必要がある。アジリティ能力の向上は、体格に劣る日本人サッカー選手には必須の運動能力であり、それらを高めるための系統的指導方法の確立は、サッカーの競技力の向上に貢献できると考えられる。

本研究では、サッカー選手のアジリティ能力に焦点をあて、育成年代からの系統的指導方法確立の一助となるべく、科学的視点からアジリティ能力を捉え、基礎的資料を提供する。得られた知見が、日本人サッカー選手のアジリティ能力の向上に少しでも寄与できれば幸いである。

2. 研究小史

本研究では、サッカー選手のアジリティをテーマに研究を進める。ここでは、これまでに行われてきたアジリティにおける知見を概観し、サッカー選手のアジリティを評価するうえでの課題を捉える。

i. アジリティを構成する因子とその評価方法

「アジリティ」を和訳すると「敏捷性」である。スポーツ医科学事典で敏捷性を調べると、アジリティは、バランスや反応時間、協調動作など、さまざまな要素が含まれるとされ、広義における体力の基本要素であると定義されている（図 I-2-1）。一方、Joyce and Lewindon（2016）は、ゴール型球技スポーツにおける敏捷性は、「さまざまな筋力を必要とし反応時間や判断力のような認知能力も必要とされる特別な身体要素」として定義している。また、Sheppard and Young（2006）は、試合中のアジリティは、ボールの状況や相手の動きなど、刺激に対する反応として発生するため、「ある刺激に対する速度または方向転換を伴う素早い全身動作」と定義している。

Young et al.（2002）は、アジリティを構成する因子モデルを示し（図 I-2-2）、この因子モデルは、今日までのアジリティ研究に広く用いられている。アジリティを構成する因子モデルは、①知覚情報および意思決定要因、②方向転換スピード（以下、方向転換走、または、方向転換走能力とする）に大別されている。知覚情報および意思決定要因が含まれる研究では、認知や判断力を養うための反応性のアジリティテスト（Gabbett et al., 2008 ; Romeas and Faubert, 2015）や傷害予防のためのスポーツ医学的観点からも多くの研究がなされている（Besier et al., 2001 ; McLean et al. , 2005）。これら、反応時間が含まれるアジリティテストでは、反応時間に先立って、次に何が起こるかなどの予測する能力が含まれることが報告されている（Young and Farrow, 2006）。例えば、Gabbett et al.（2008）は、同じラグビーチームの1軍選手と2軍選手に対して、ライトの指示に反応するアジリティテストを実施した結果、1軍選手のほうが有意に速いタイムを示したことから、競技レベルの高い選手ほど、動きの予測能力に優れている可能性があると述べている。一方、方向転換走は、決められた区間内において、定められた動作で走方向と速度を変更する能力を指し、多くの研究者が知覚情報や意思決定要因を排除したアジリティの指標として用いている（Jones et al., 2009 ; Parsons and Jones, 1998 ;

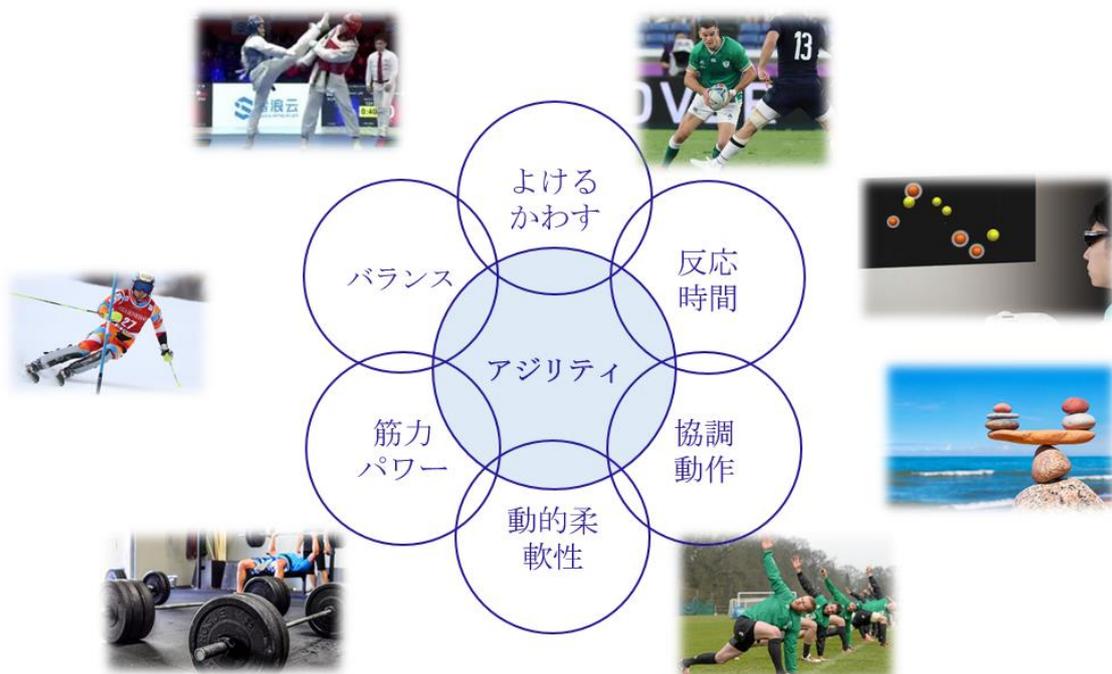


図 I - 2 - 1 アジリティを構成する要素のイメージ図を作成
 (スポーツ医科学事典より)

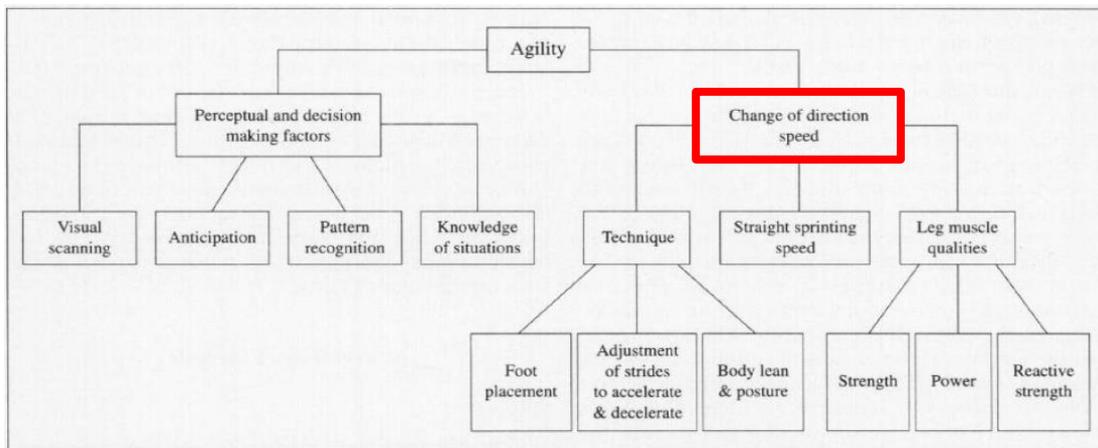
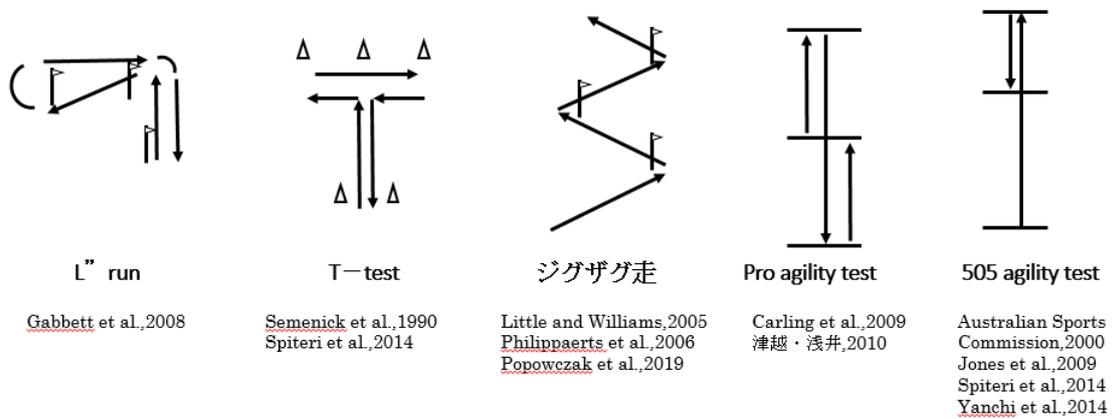


図 I - 2 - 2 ゴール型球技スポーツにおけるアジリティを構成する規定因子モデル
 (赤枠は、方向転換走能力を示す) (Young and James, 2002)

Young and Farrow, 2006).

知覚情報および意思決定要因を除いた方向転換走能力を評価する手段として、様々な方法がある (図 I - 2 - 3). 例えば, Illinois test は, 直線走と配置したコーンを旋回する動作が含まれ, L run test では, 直線走と 90 度のカッティング動作が含まれ, T-test では, 直線走, サイドステップ, バックステップ動作が含まれる (Semenick, 1990). また, 各研究において個別に設定したジグザグ走 (Popowczak et al., 2019 ; Little and Williams, 2005 ; Vescovi and McGuigan, 2008), さらには, アメリカンフットボール選手の評価に多く用いられる Pro agility test, ラグビーやサッカー, または, バasketボールの評価に多く用いられる 505 agility test, JFA が方向転換走能力の評価に用いていた 10m×5 (10m の距離を 2 往復半走る) では, 直線走と 180 度の方向転換動作が含まれる (Carling et al., 2009 ; Australian Sports Commission, 2000). このように, 球技スポーツ選手の方向転換走能力の評価方法は数多く存在するが, 評価方法によって, 移動距離, 移動方法, 方向転換動作, 方向転換を行う角度, 回数などが異なるため, 指導者は, 競技特性に応じて適切に評価方法を選択する必要がある. しかしながら, 方向転換走は, 方向転換動作のほかに, 減速・(停止) 再加速といったそれぞれの局面の速度変化も加味された移動時間が方向転換走能力の評価となるが, これまでに, 速度の高低差が大きい方向転換走中の速度変化を捉え, 比較・検討した研究はなされていない.



直線走とは異なり，方向転換走は、
 減速-（停止）-方向転換-再加速など速度の高低差が大きい

図 I - 2 - 3 方向転換走能力の評価方法

ii. 方向転換走能力の評価手法

上述の通り、方向転換走能力は、決められた区間内において定められた動作で走方向と速度を変更する能力を指し、既定走路の区間タイムをアジリティの指標として用いられている (Jones et al., 2009 ; Parsons and Jones, 1998 ; Young and Farrow, 2006). このことは、Young et al. (2002) のアジリティを構成する因子モデルに基づく (1-2-2), 知覚情報および意思決定要因を伴わないことになるが、今日のスポーツ現場では、既定走路の区間タイムが「アジリティタイム」として汎用されている。この背景には、多くのゴール型球技スポーツの場合、例えば、選手の体力測定を行うフィールド・テストでは、限られた時間の中で計測データを迅速に収集する必要があるため、現状では、認知や判断力を伴わない既定走路の区間タイムがアジリティ能力の評価として用いられていると推測される。また、プロスポーツチームやトップアスリートでない限り、実験環境の整う敷居の高い施設を利用することは費用面や時間的な制約があることも課題として挙げられる。

これまでの方向転換走能力の評価には、既定走路の区間タイム (以下、方向転換走タイム) が用いられ、それらは、主にストップウォッチや光電管などを用いて評価されてきた。スポーツ現場における体力測定は、フィールド・テストが主流であり、そこでは、評価をする場所、時間的制約、限られた評価ツールなどの制限があり、チームの指導者は、簡易性、時間効率、限られた評価ツールを用いてテストを実施している。方向転換走能力の評価も然りである。しかし、方向転換走は、直線走とは異なり、急減速、急加速などの直線走とは異なる運動技術が要求されるため、既定走路のタイムを一概に方向転換走能力の指標として用いることが良いのかは疑問である。これまでの先行研究では、方向転換走タイムと直線走タイムの差 (中山, 1988) や方向転換走中の平均走速度を直線走で除した値 (田中ら, 1999) を用いて、方向転換走能力の技術的要素の指標として用いられているものの、方向転換の運動技術に生じた変化が示されたわけではない。

iii. サッカー選手の方向転換走能力

サッカーはドリブルやシュートの場面など、試合中にボールを保持している、いわゆるオンザボールの選手が注目されやすい。しかし、実際の試合では、1人の選手がボールを保持する総時間は2~3分程度であるため、実は、ボールを保持していないオフザボールの選手の動きの資質が非常に重要であり、局面次第では、自チームに有利な状況を作り出

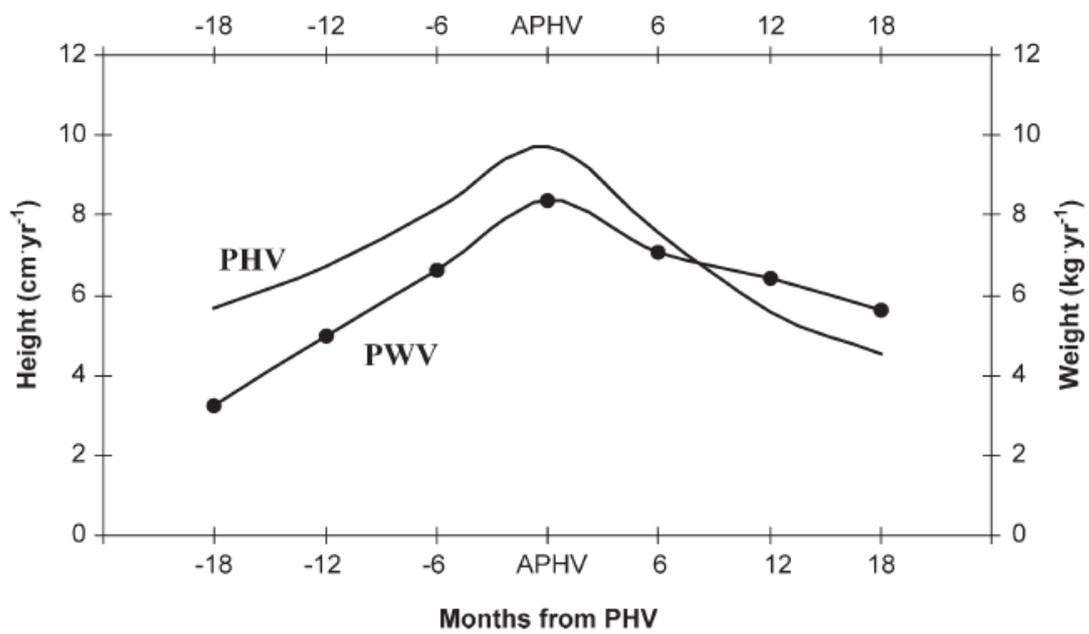
すことも可能となる。例えば、対峙する相手との駆け引きにおいて、緩急をつけたアジリティによって相手をかかわすことで、あらゆる局面で数的に有利な状況を作ることができる。

アジリティの構成要素である方向転換走能力について、競技レベルが高いサッカー選手ほど、方向転換走能力が優れていることが報告されている (Jones et al., 2017 ; Kaplan et al., 2009)。また、発育期のサッカー選手の技術、体力および心理面などを多面的に調査した研究では、優れた選手を選抜するうえで最も重要な要素は方向転換走能力であると報告されている (Reilly et al., 2000)。さらに、発育期のサッカー選手の方向転換走能力は、個人やチームの体力を評価したり、あるいは、エリート選手を選抜する判定基準の一つとしても用いられており (津越・浅井, 2010)、サッカー選手の方向転換走能力は、年代に関係なく、サッカーのパフォーマンスに影響を与える重要な能力であると考えられる。一方、サッカー選手の方向転換走能力が、他の競技選手と比べた研究は限られており (Vescovi and McGuigan, 2008)、さらには、サッカー選手とスポーツを行っていない一般人 (コントロール群) との比較は行われていない。サッカーは急加速、急減速を伴う方向転換が非常に多く要求される競技であるため、サッカー選手の方向転換走において、単にタイムが優れていることは容易に想像できるが、サッカー選手の方向転換走能力にどのような特徴があり、どの点が優れているのかは不明である。

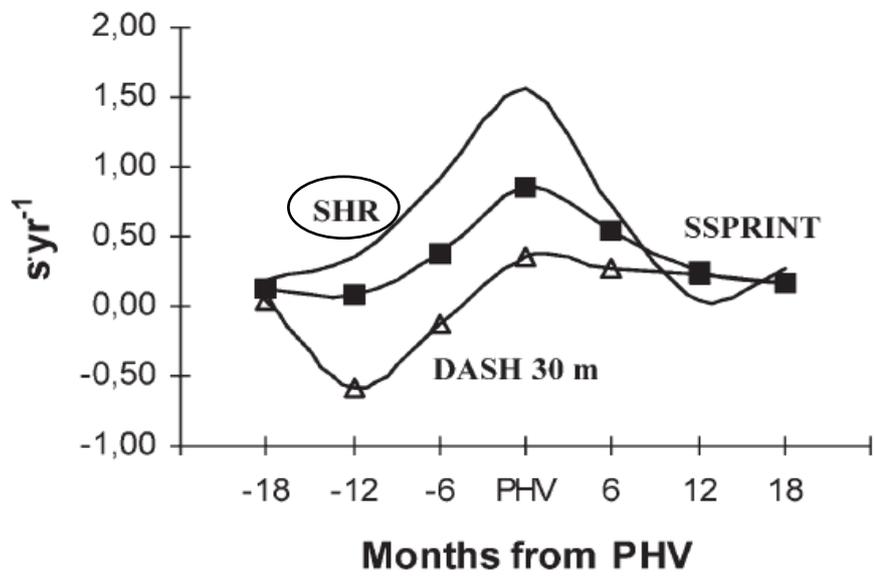
iv. 方向転換走能力の発達特性

サッカー選手のアジリティの構成因子である方向転換走に焦点をあてて、研究を進めるうえで、ここでは、それらの発達特性について理解を深める。

Young et al. (2002) は、アジリティを構成する因子モデルの中で、方向転換走能力を構成する下位能力に、スプリント能力、脚筋群、方向転換技術 (以下、方向転換動作) を挙げている (図 I - 2 - 2)。方向転換走能力の発達特性について、Philippaerts et al. (2006) は、発育期のサッカー選手の最大身長増加時期 (Peak height velocity age : 以下 PHVA) と、サッカー選手に必要とされる体力要素の年間発達率との関係を検討した結果、方向転換走能力の発達が最大となるのは PHVA と重なる 13 から 14 歳頃であると報告している。そして、方向転換走能力やスプリント能力は、身長が急激に伸び始める時期から PHVA を頂点に、その後の発達の程度は小さいことが報告されている。図 I - 2 - 4 には、身長と体重の増加時期を、図 I - 2 - 5 には、シャトルラン (SHR)、シャトルスプリント (SSPRINT)、30m 走 (DASH30m) の年間発達率を示している。その中で、方向転換走



☒ I - 2 - 4 Mean constant velocity curve for height (PHV) and weight (PWV) in soccer players ($\text{PHV} = 9.7 \text{ cm} \cdot \text{year}^{-1}$, $\text{PWV} = 8.4 \text{ kg} \cdot \text{year}^{-1}$). (Philippaerts et al., 2006)



⊗ I - 2 - 5 Shuttle run (SHR) , shuttle sprint (SSPRINT) and 30m dash (DASH, s · year⁻¹) . (Philippaerts et al., 2006)

能力の指標とされる SHR の発達率は、身長や体重の増加時期に発達率が高いことがわかる。また、Condello et al. (2013) は、8 歳から 19 歳までの 157 名の男子ラグビー選手を対象に、15m スプリントと進行方向に対して 60 度の方向転換走の関係について検討した結果、スプリント能力は、加齢とともに向上するのに対し、方向転換走能力は 11 歳から 15 歳までに大きな向上を示したことを報告している。Hirose and Taigo (2016) は、13 歳と 15 歳以下それぞれのカテゴリーに所属する男子サッカー選手を対象に、2 年間体力要素と身体の発育発達における順位相関性を検討した結果、40m 走では強い順位相関性を示したのに対し、方向転換走では大幅な順位変動がみられたことから、発育期では方向転換走能力のトレーナビリティが高いことを報告している。三島ほか (2018) は、幼児期から青年期までの男子スポーツ選手を対象に身長を発育をもとにアロメトリー式を用いてスプリント能力、方向転換走能力の発達について検討した結果、第 1 変移点の身長が約 130 cm までは主に神経系の発達、第 2 変移点から第 3 変移点の約 152 cm から 167 cm では、第二次性徴に伴う筋量および筋力の著しい発育発達が、スプリント能力や方向転換走能力の発達に寄与していることを報告している。さらに、スポーツ庁の新体力テストにおける敏捷性の評価に用いられる反復横跳びの発達傾向をみると (スポーツ庁, 2020)、6 歳から 14 歳頃までは加齢に伴い発達傾向を示すものの、14 歳以降では大きな発達傾向は示されておらず、これらのことから、方向転換走能力の発達は、PHVA の時期が最も重要であると考えられる。

しかしながら、方向転換走能力は、主に、スプリント能力、脚筋群および方向転換動作などの影響を受けると報告されているため (Young et al., 2002)、PHVA 以降の筋群の量的発育による力発揮能力の向上は、方向転換走能力の発達にも少なからず影響を及ぼすものと推測される。また、発育発達段階における性成熟の度合いによって、方向転換走を構成する下位能力の寄与率は異なると推測されるが、これまでに、加齢に伴う下位能力の寄与率については、詳細な検討はなされていないようである。そのため、これらのことを明らかにすることは、成長期のサッカー選手における段階的指導において、方向転換走能力向上のためのトレーニングプログラムの構築に有益な情報となり得ると考える。

v. レーザー方式距離計測装置を用いた走スピード測定

近年、短距離疾走能力の評価や疾走速度の分析にレーザー方式距離計測装置 (以下、Laveg) が用いられている (Bezodis et al., 2012 ; 伊藤ほか, 2012 ; 金高, 1999 ; 松尾と

金高, 2001 ; 篠原と前田, 2016 ; 高橋ほか, 2013) . Laveg は, ヒトの腰背部 (体幹部) にレーザーを照射することで, 発走位置から目標位置までの時間と距離を計測することができ, 時間-距離の関係から時間微分をすることにより, 疾走速度の経時的变化を捉えることができる. 図 I-2-6 には, Laveg から算出した短距離疾走中の速度曲線 (篠原と前田, 2016) の 1 例を示している. Laveg の距離の精度は, 0.5m から 400m までで測定誤差はおよそ 7cm とされ, 正確性は非常に優れていることが報告されている (高橋ほか, 2010) . また, これまでの VTR を用いた測定機器のように 5 m または 10 m ごとの平均速度を評価するのではなく, 1/100 秒ごとの速度データを得ることができ, 最大速度到達位置や最大速度など瞬時の値を簡易的に計測することができる. さらに, 計測データを接続するパソコン上で即座に示すことが可能であり, 簡易性や時間効率の点からもフィールド・テストにおいて有用な計測機器 (ツール) であると考えられる. しかし, Laveg を用いて行われているこれまでの研究では, 歩行や短距離疾走などの直線走のみであり, 方向転換走に用いられた報告は, 筆者の調べた限り 1 件 (Hader et al., 2015) である. Laveg は, 経時的速度変化を示すことが可能であること, さらに, 簡易性や時間効率の点からも, スポーツの現場において利便性が高いことから, 方向転換走能力の計測に用いることが出来ないかと考えた. 現代のサッカーは, 試合展開のスピードが顕著であり, その中で, サッカー選手には, 急減速や急加速を伴う様々な方向へ素早く方向転換走を繰り返すことが求められる. そのため, これまでの区間タイムや平均速度ではなく, 方向転換走中の経時的な速度変化を視覚化することは, 方向転換走タイムに優れる選手がどのような速度変化を示し, 反対に, タイムが劣る選手には, どこを改善したら良いのかなどの改善策を見出すことに繋がると考える. 加えて, 既定走路内における経時的速度変化を捉えることは, サッカー選手の方向転換走能力の評価指標作成の一助に貢献できるのではないかと考える.

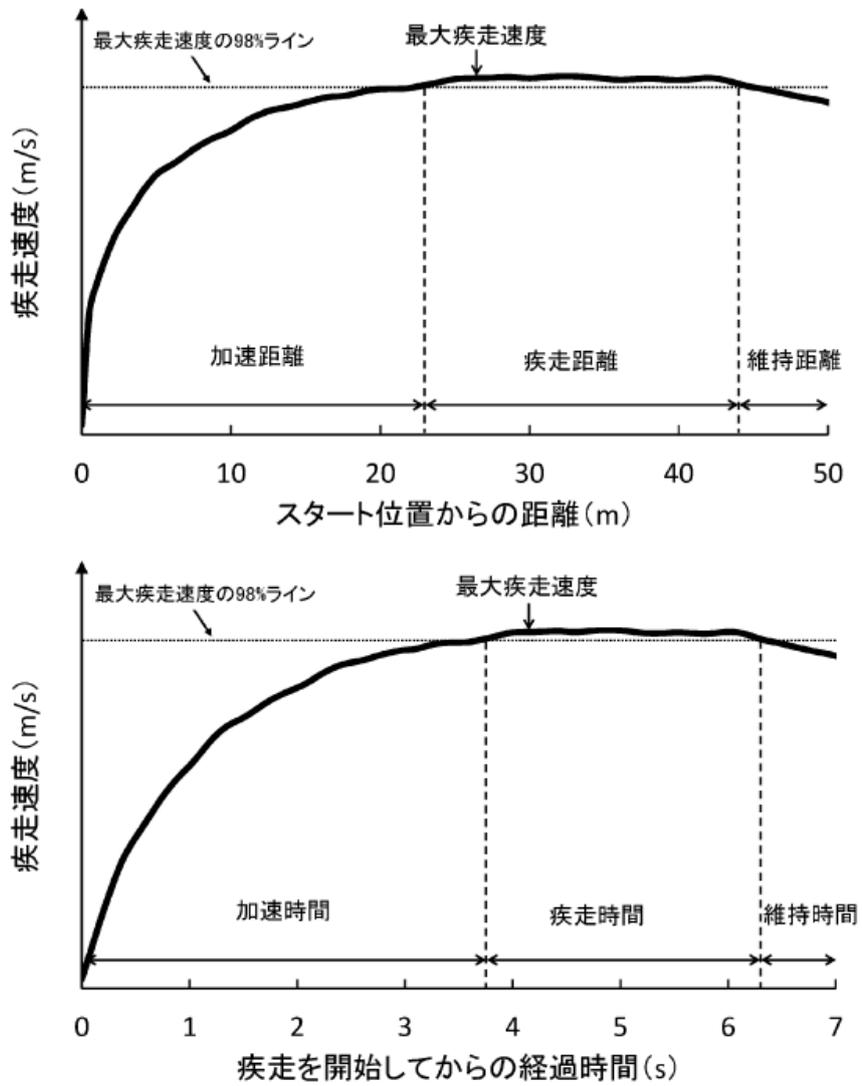


図 I - 2 - 6 Laveg から算出した短距離疾走中の速度曲線 (篠原と前田, 2016)

vi. 方向転換動作に関するバイオメカニクス研究

前述の通り、これまでに方向転換走能力の評価において、既定走路内における経時的速度変化を捉えることはなされていないものの、方向転換動作に着目した研究では、運動学的および運動学的視点から様々な研究が行われている。方向転換走は、方向転換を行う位置までに身体重心速度を減じ、方向転換を行う支持足によって次の進行方向へ身体重心を加速させる。その際、進行方向に対して方向転換を行う角度が大きくなるほど、減速時にはよりブレーキをかける必要があり、方向転換を行う角度によって身体重心速度を減じる運動量は異なる (Schot et al., 1995 ; Sigward et al., 2015)。例えば、進行方向に対して 180 度の方向転換走を行う場合、厳密には、方向転換前に身体重心速度をゼロにしてから次の進行方向へ身体重心を加速させる。180 度の方向転換走を用いた近年の研究 (Dos'Santos et al., 2017 ; Jones et al., 2016 ; Jones et al., 2017) では、方向転換を行う支持足 (Turn foot ; TF) だけでなく、一歩前の足 (Second foot ; SF) の地面反力も計測され、SF の高い水平方向の地面反力 (ブレーキ力) が、方向転換走タイムの短縮に影響することが報告されているものの、それ以前の地面反力を計測した研究はみられない。

方向転換走における運動学的知見について、方向転換走を行う位置の内角 75 度の方向転換走や進行方向に対して 90 度の方向転換走では、方向転換時に体幹を次の進行方向に傾けている選手ほど方向転換走タイムが優れていたことから (Havens and Sigward, 2015 ; Marshall et al., 2014)、次の進行方向に体幹を傾けておくことは方向転換走タイムを短縮させるために必要な運動技術の一つであると考えられる。一方、180 度の方向転換走では、減速のために姿勢を後傾させること (Hewit et al., 2011) に加えて、TF の接地中およびその前後において方向転換 (回旋) 動作を行うが、これまでに水平面における方向転換動作の経時的な変化は示されていない。そのため、これらのことを示すことは、180 度の方向転換動作の運動技術を高めるための基礎的資料になると考える。また、大学生男子サッカー選手 13 名に進行方向に対して 135 度の方向転換走を行わせた研究では (川原ほか, 2019)、タイムの速い上位群は、支持足が接地する前から身体重心高を低くし、減速を早期に終了させて加速に転じていたと報告されている。しかし、この研究では、方向転換時に身体重心速度を有しているため、身体重心速度を停止させる 180 度の方向転換走においても同じ様相を示すとは限らない。加えて、身体重心速度を停止させるためにどの程度身体重心高を下げれば良いのかなど、これまでに一定の基準は示されていない。

スポーツにおける方向転換走は、本来であれば、できるだけ走速度を維持しながら短時

間に大きな力を発揮して方向転換を行うことが望ましい。しかし、進行方向に対して 180 度の方向転換走の場合、減速－停止－加速の速度変化が生じるため、特に、身体重心速度を停止させるための運動技術が求められる。そのためには、どの位置からブレーキをかけて身体重心速度を減じ、素早く方向転換を行い、加速に転じていくのかを俯瞰的に捉え、総括的にデータ収集を行う必要がある。また、得られた変数と方向転換走タイムとの関係性を検討することは、トレーニングの着眼点を見出すことに繋がり、方向転換走能力の向上に寄与できる可能性があると考えられる。

3. 本研究の目的

本研究では、サッカー選手を対象に方向転換走中の経時的な速度変化から定量的データを収集し、得られた変数から方向転換走タイムに影響を及ぼす要因について検討することを目的とした。さらに、方向転換走能力の向上を目的とするトレーニング方法の示唆を得るために、バイオメカニクス的手法を用いて方向転換走における運動学および運動力学的分析を行い、方向転換走タイムとの関係性についても検討することとした。そのために、以下の目標を挙げる。

- i) 方向転換走を計測するうえで $Laveg$ の導入とその値の再現性および妥当性について検証する (研究1)。
- ii) サッカー選手の方向転換走中の経時的な速度変化から方向転換走タイムに影響を及ぼす要因を明らかにする (研究2)。
- iii) サッカー選手の方向転換走能力の発達特性を明らかにし、さらに、方向転換走を構成する下位能力の寄与率の違いを明らかにする (研究3)。
- iv) バイオメカニクス的手法を用いて方向転換走における運動学および運動力学的分析を行い、方向転換走タイムとの関係性を明らかにする (研究4)。

4. 方向転換走によるアジリティの評価方法—アジリティの定義と本研究で扱う範囲—

本研究では、アジリティについて「刺激に反応して動作の方向や速度、様式を変化させるために必要な技術と能力」、方向転換走は、「動作の方向や速度、様式を急激に変化させるために必要なスキルと能力」と定義する (Haff and Triplett, 2018). すなわち、アジリティは、①方向転換走能力に加えて、②知覚情報および意思決定要因を組み合わせることで成立するが (Haff and Triplett, 2018), 本研究では、②知覚情報および意思決定要因の側面を除いたアジリティの身体的観点 (方向転換走) を扱うこととする. また、方向転換走は、速度の高低差が大きいいため、それぞれの局面の速度および加速度の変化を明らかにし、方向転換走タイムに影響を及ぼす要因を検討する. さらに、方向転換走を構成する、方向転換動作、スプリント能力および脚筋群特性と方向転換走タイムとの関係についても比較・検討を行うこととする.

方向転換走能力は、Draper and Lancaster (1985) が考案した 505 agility test を参考に 180 度の方向転換走を用いて評価することとした. また、本研究では、これより、競技中にみられる認知や判断を伴う方向転換走を「アジリティ」または、「アジリティ能力」、既定走路の区間タイムを「方向転換走能力」または「方向転換走タイム」と定義する. さらに、方向転換を行う支持足の接地から離地までの動作を「カッティング動作」、方向転換を含む 1m の区間をカッティング局面とし、1m 区間の移動時間を「カッティング時間 (タイム)」あるいは「カッティング能力」と定義する.

第Ⅱ章 実験研究

1. Laveg を用いて算出した値の再現性と 計測データの妥当性の検証

i) 目的

Draper and Lancaster (1985) は、方向転換走を評価する手法として 505 agility test を提案している。このテストは、スタートから方向転換位置までを至適なアプローチ速度で進み、5m 区間を往復するテストである。しかし、実際の競技中の方向転換走は、至適なタイミングのみならず、相手の行動など刺激に対する反応としても発生する (Sheppard and Young, 2006)。また、試合の状況によってカッティングや方向転換、加速や減速など、高い制動力や推進力が要求される (Stolen et al., 2005)。

近年、短距離疾走能力の評価や疾走速度の分析にレーザー方式距離計測装置（以下、Laveg）が用いられている (Bezodis et al., 2012 ; 伊藤ほか, 2012 ; 松尾と金高, 2001 ; 金高, 1999 ; 篠原と前田, 2016 ; 高橋ほか, 2013) 。Laveg は、ヒトの腰背部にレーザーを照射することで、発走位置から目標位置までの時間と距離を計測することができ、時間-距離の関係から時間微分をすることにより、疾走速度の経時的変化を捉えることができる。しかし、これまでに Laveg を用いて方向転換走を計測した先行研究は 1 件のみである (Hader et al., 2015) 。Laveg を用いて、サッカー選手の方向転換走中の経時的な速度変化を視覚化することで可能となれば、方向転換走タイムに優れる選手がどのような速度変化を示し、反対に、タイムが劣る選手はどこを改善したら良いのかなどの改善策を見出すことにも繋がると考える。また、これまでの先行研究においては、それらを実現するための最適なアプローチ速度や 180 度の方向転換前後の減速や加速の速度変化（調節）は明確にされていない。そのため、方向転換位置までの最適なアプローチ速度を明らかにすることは、方向転換走能力の向上を目的とする技術的指導を行う上で、貴重な指標になりえると考える。

この章では、まず、Laveg を用いて、方向転換走能力を評価することが可能か否かを検証するとともに、可能であれば、方向転換走中の速度変化を明らかにし、至適と全力による方向転換位置までのアプローチ速度の違いがそれぞれの局面における走速度およびタイムに及ぼす影響を検討することとした。

ii) 方法

1) 参加者

参加者は、運動部の所属経験が 7 年以上ある、成人男性 9 名（年齢：23.3±3.7 歳，身長：171.6±3.2cm，体重：63.2±4.1kg）であった。本実験を行うにあたり、参加者には事

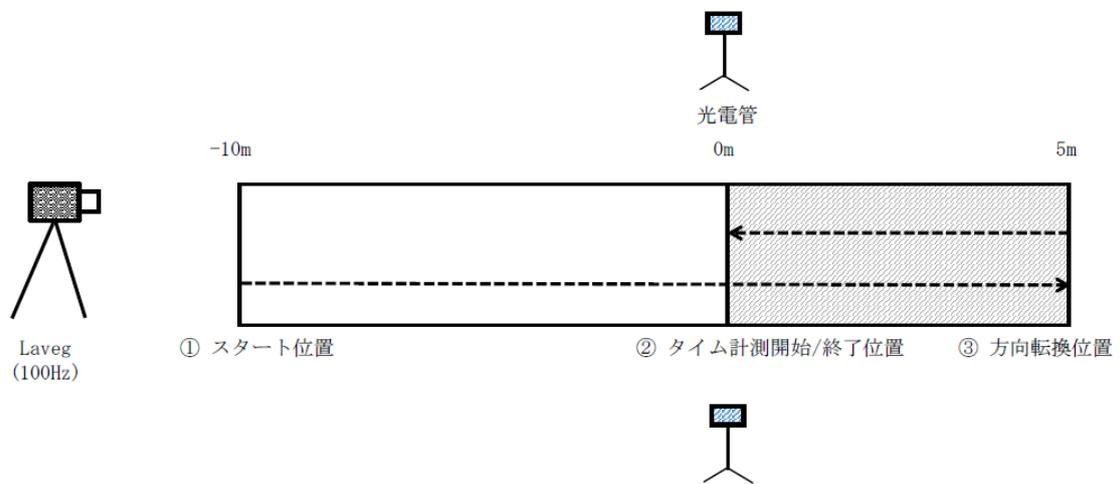
前に文書にて目的，方法，実験の危険性，データの管理方法等について十分に説明し，インフォームドコンセントを書面で行い，参加者から実験参加の同意を得た．なお，本研究の全ての実験は，日本体育大学研究倫理審査委員会（第 010-H27 号）の承認を受け実施した．

2) 試技条件

方向転換走の試技には，Draper and Lancaster (1985) の 505 agility test (図 II-1-1) を用いた．このテストは，①スタートから至適なアプローチ速度で 10m の距離を進み，②0m 位置（タイム計測開始位置）から 5m 位置まで進み，③180 度の方向転換を行い 0m 位置（タイム計測終了位置）まで戻る，5m の区間を往復するテストである．この 5m 区間のタイム（以下，方向転換走タイム）を方向転換走能力の評価として用いている．本研究では，方向転換位置までのアプローチ速度の違いが方向転換走タイムに及ぼす影響を明らかにするため，従来の試技方法である，各人に至適速度によるアプローチ（Optimum：以下 Op）に加えて，スタートから全力速度でのアプローチ（Maximum：以下 Max）による 505 agility test を行った．方向転換走及び 20m 走の計測は，室内 50m 走路で行い，計測時のシューズは参加者がそれぞれ持参したトレーニングシューズを用いた．スタートはスタンディングスタートで行い，計測を開始した．参加者には，出来るだけ回り込むような動作にならずに 180 度の方向転換を行うように指示した．十分に練習を積ませたのち，方向転換位置において右足支持による 180 度の方向転換試技を 2 回行い，速い方のタイムを方向転換走タイムとして用いた．

3) 撮影方法

方向転換走及び 20m 走の計測は，主に疾走中の速度分析に多く用いられている Laveg を用いた（Góralczyk et al., 2003；伊藤ほか, 2012；高橋ほか, 2010；高橋ほか, 2013）．Laveg をスタート地点より 8m 後方から構え，Laveg を三脚でほぼ参加者の腰の高さ 90～100cm に固定した．測定検者はスタートから方向転換動作およびゴールまでの距離をレンズ内の計測焦点に参加者の体幹部に合わせるようにした．その際，方向転換時に参加者がバランスを崩したり，足を滑らせたためにレーザー光が参加者の体から外れ，瞬時の時間-距離データを採取出来なかった場合に限り，再度試技を行った．20m 走の試技は，Laveg を構える位置，スタート位置ともに方向転換走と同様に行い，スタートから 20m 先のゴー



図Ⅱ－１－１ 505 agility test

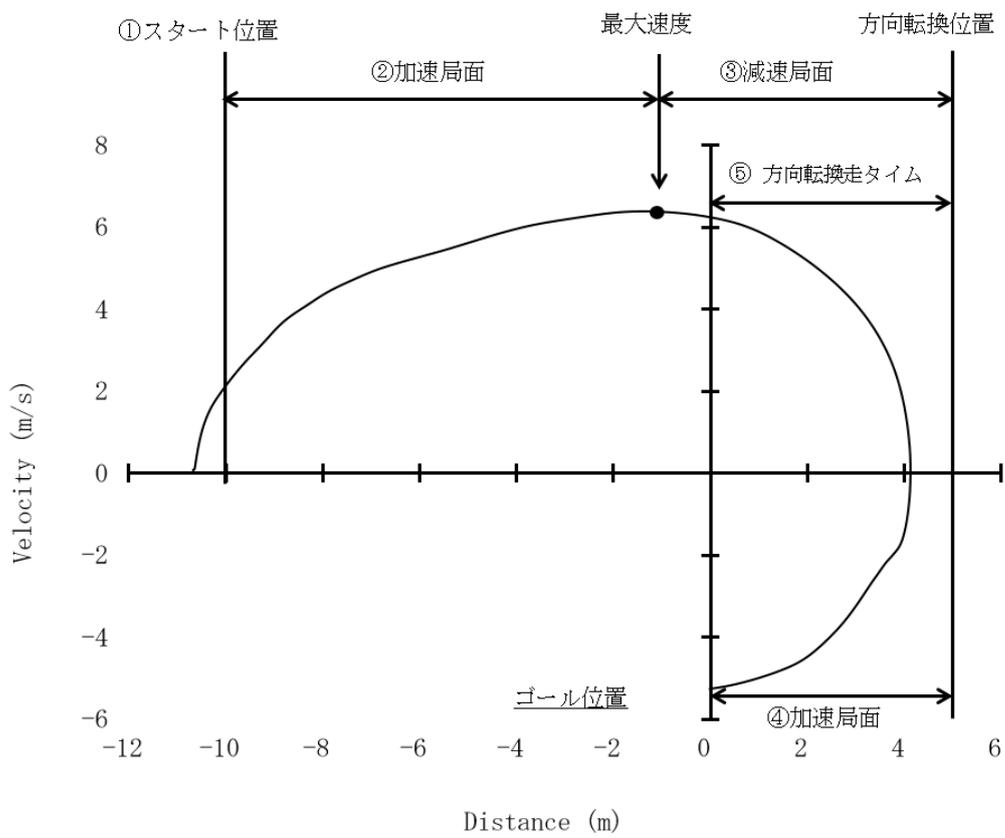
ル通過までを Laveg を参加者の腰椎部に照射して計測した。

4) データ処理

Laveg から得られたデータのサンプリング周波数は 100Hz で距離データを収集し、時間-距離データを Microsoft Excel 上に取り込み疾走距離及びタイムを算出した。Laveg を用いて疾走速度の計測を行った場合、得られたデータにはノイズが含まれている(金高, 1999)。そのため、本研究では、金高(1999)の方法を参考に 1Hz のローパスフィルター(4 次のバターワース型)を用いて平滑処理を行い、平滑した時間-距離データを時間微分($\Delta t: 1/100\text{sec}$)し、時間-速度データを算出した。さらに、速度データを時間微分し、加速度を算出した。

5) 分析項目

図 II-1-2 には、Laveg から得られた時間-距離データを平滑化し、微分処理を行った速度曲線の一例を示した。-10m 位置を①スタート位置とし、スタートから最大速度の出現位置までを②加速局面、最大速度から 5m 位置までの区間を③減速局面、さらに、方向転換位置から 0m 位置(ゴール)までを④加速局面とした。本研究では、0m 位置から 5m 区間の往復時間を方向転換走タイムとした。また、0m 位置から 1m 毎の各位置における瞬時速度を算出した。減速局面、加速局面のそれぞれの加速度は、4m 位置の値を用い、減速局面の加速度を加速度 I、方向転換後の加速度を加速度 II とした。



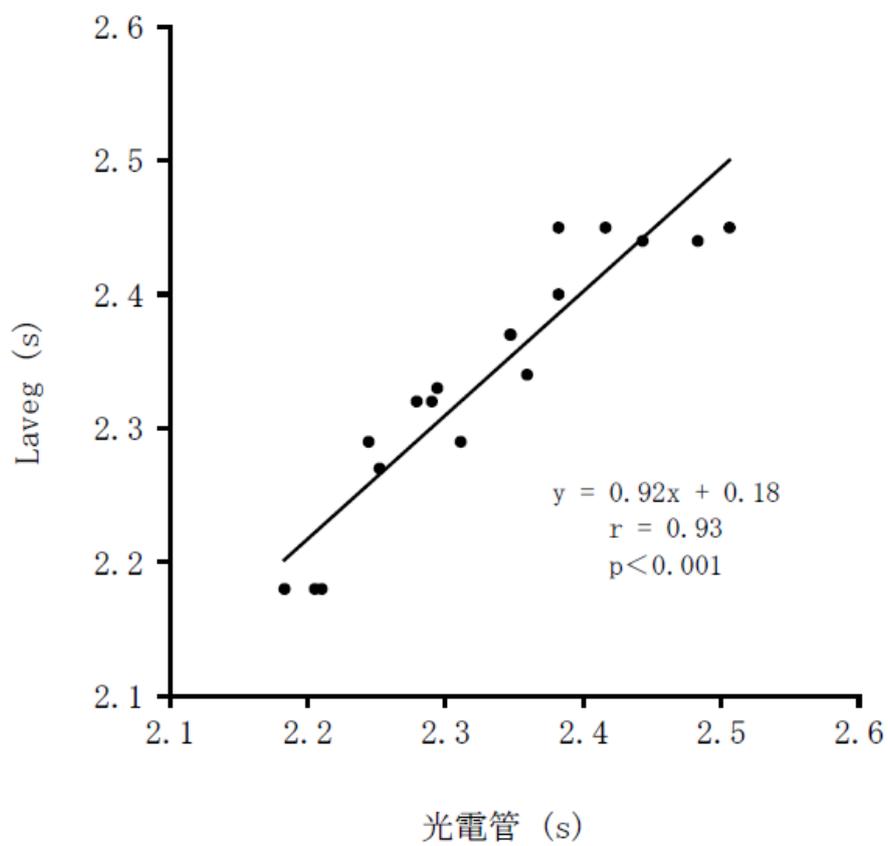
図Ⅱ-1-2 Laveg から算出した速度データ (n=1)

6) Laveg を用いて算出した値の再現性と計測データの妥当性の検証

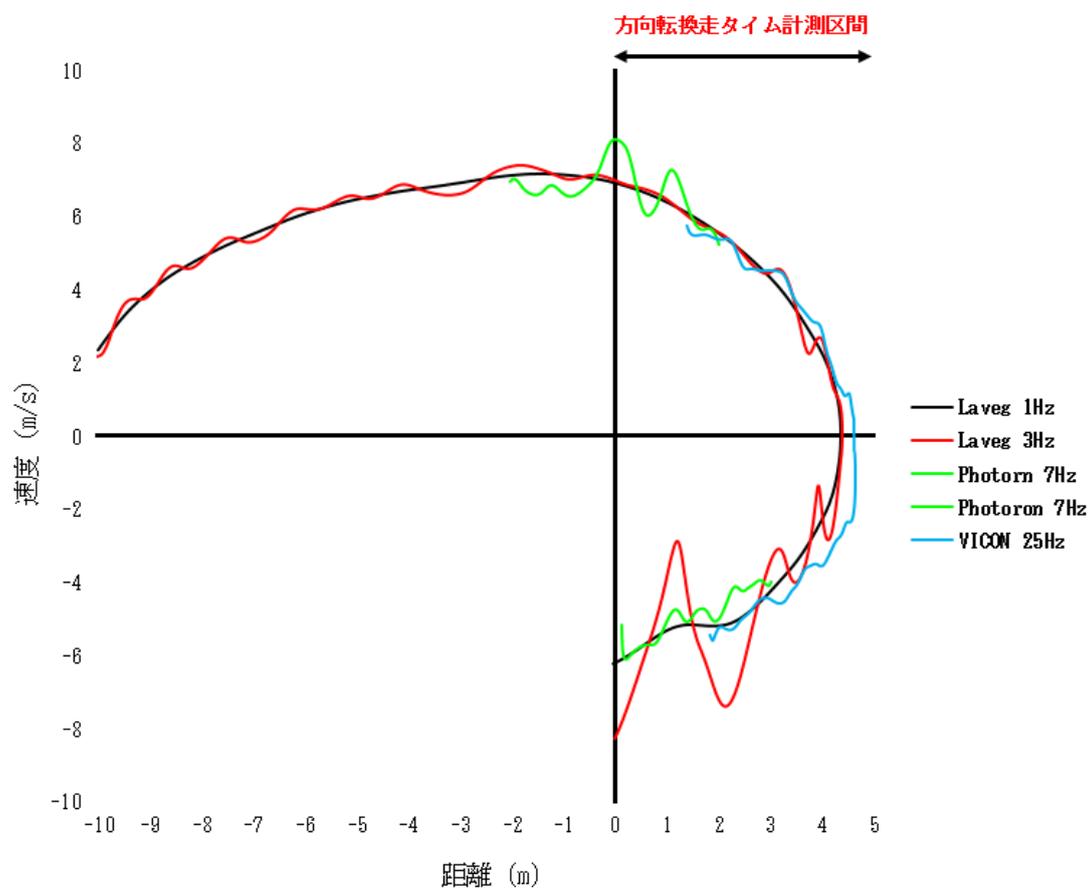
これまでに Laveg を用いて方向転換走を計測した研究はみられないため、Laveg を用いて方向転換走能力を捉えることが可能か否かの視点にたつて、測定方法の再現性および妥当性について検討した。試技の再現性について、Laveg を用いて算出した方向転換走タイム (Op) は、1 回目が 2.32 ± 0.10 秒、2 回目が 2.35 ± 0.09 秒と 1 回目が速いものの、有意な差は認められなかった。Laveg から算出した方向転換走タイムの 1 回目と 2 回目の級内相関係数 (ICC) は 0.89 であった。また、光電管 (マルチパスシステム, DKH 社製) から算出した方向転換走タイム (Op) は 1 回目が 2.32 ± 0.11 秒、2 回目が 2.34 ± 0.08 秒と、有意な差は認められなかった。1 回目と 2 回目の級内相関係数は 0.87 であった。Laveg と光電管から算出した 2 つのタイムについて、Pearson の相関分析を用いて検定した。図 II-1-3 には、光電管と Laveg それぞれから算出した 2 回試技分の測定値の相関関係を示した。その結果、光電管タイムと Laveg から算出したタイムとの間に、有意な正の相関関係が認められた。

計測データの妥当性について、ハイスピードカメラ (FASTCAMSA3, Photron 社製, 500fps) および光学式 3 次元動作解析システム (Vicon Motion Systems 社製, 200Hz) を用いて身体分析点 47 点の 3 次元座標を構築した。反射マーカの 3 次元座標値は、残差分析によって最適遮断周波数を決定し (Winter, 2009), 4 次の Butterworth low-pass filter (7Hz, 25Hz) で平滑化した。身体重心位置は、3 成分の合成変位を時間微分することによって速度を算出した。図 II-1-4 には、Laveg から算出した速度と身体重心速度を比較した。その結果、Laveg から算出した速度は、身体重心速度と同様の速度変化をおおよそ捉えていることを確認した。

これらのことから、Laveg を用いて、方向転換走能力を評価することが大方可能であると判断し、研究を進めることとした。



図Ⅱ-1-3 Laveg と光電管から算出した方向転換走タイムの相関関係



図Ⅱ-1-4 Laveg から算出した速度の妥当性の検証

7) 統計処理

各測定値はすべて平均値 (Mean) ±標準偏差 (SD) で示した。Op と Max における平均値の差の比較は対応のある t 検定を行った。また、方向転換走タイムと各変数との関係について、Pearson の相関分析を用いて検定した。いずれの検定においても、危険率 5% 未満をもって有意とした。すべての分析は、SPSS Statistics ver. 21 (IBM) を用いた。

iii) 結果

表 II - 1 - 1 には、方向転換走タイム (Op) と各変数との相関関係を示した。方向転換走タイムは、方向転換後の加速度、20m 走タイムとの間に、それぞれ有意な正の相関関係が認められた (加速度 : $r=0.89$, $p<0.01$; 20m 走タイム : $r=0.92$, $p<0.001$)。また、方向転換後の加速度と 20m 走タイムにおいて、有意な正の相関関係が認められた ($r=0.79$, $p<0.05$)。表 II - 1 - 2 には、Max における方向転換走タイムと各変数との相関関係を示した。方向転換走タイムは、最大速度との間に有意な負の相関関係が認められた ($r=-0.81$, $p<0.01$)。また、方向転換後の加速度、20m 走タイムとの間に有意な正の相関関係が認められた (加速度 : $r=0.77$, $p<0.05$; 20m 走タイム : $r=0.86$, $p<0.01$)。さらに、最大速度は 20m 走タイムとの間に有意な負の相関関係が認められた ($r=-0.96$, $p<0.001$)。表 II - 1 - 3 には、Op と Max におけるパフォーマンス変数の比較を示した。方向転換走タイムは、Op が 2.32 ± 0.10 秒、Max が 2.31 ± 0.09 秒と方向転換走タイムに有意な差は認められなかった。最大速度は Op が $6.29\pm 0.44\text{m/s}$ 、Max が $6.75\pm 0.26\text{m/s}$ と、Max が高い速度を示し、有意な差が認められた ($p<0.01$)。また、最大速度到達位置は、Op が $-0.83\pm 0.95\text{m}$ 、Max が $-1.86\pm 0.71\text{m}$ と、Max は Op より最大速度到達位置が手前でみられ、有意な差が認められた ($p<0.05$)。減速・加速局面の加速度については有意な差は認められなかった。

図 II - 1 - 5 (A), (B) は、減速局面、加速局面の各位置における Op と Max の瞬時速度の結果を示した。減速局面では、0m 位置の Op の速度は $6.14\pm 0.38\text{m/s}$ 、Max は $6.38\pm 0.30\text{m/s}$ と、Max が高い値を示したが、有意な差は認められなかった。また、0m 位置以降の各位置では Max が高い速度を示したものの、4m 位置において、Op と Max の速度が逆転した。しかし、減速局面の各位置における Op と Max の瞬時速度では、すべての位置において有意な差は認められなかった。一方、方向転換後の加速局面では (図 II - 1 - 5 (B)), 4m 位置の速度は、Op が $-1.97\pm 0.47\text{m/s}$ 、Max が $-1.79\pm 0.60\text{m/s}$ と、Op が

表Ⅱ－１－１ 方向転換走タイム（Op）と各変数の相関関係

変数	単位	1. 方向転換走タイム	2. 最大速度	3. 加速度Ⅰ	4. 加速度Ⅱ	5. 20mタイム
1. 方向転換走タイム	秒					
2. 最大速度	m/s	-0.55				
3. 加速度Ⅰ	m/s ²	0.35	0.45			
4. 加速度Ⅱ	m/s ²	0.89 **	-0.16	0.61		
5. 20m走タイム	秒	0.92 ***	-0.57	0.14	0.79 *	

* : p<0.05, ** : p<0.01, *** : p<0.001

表Ⅱ－１－２ 方向転換走タイム (Max) と各変数の相関関係

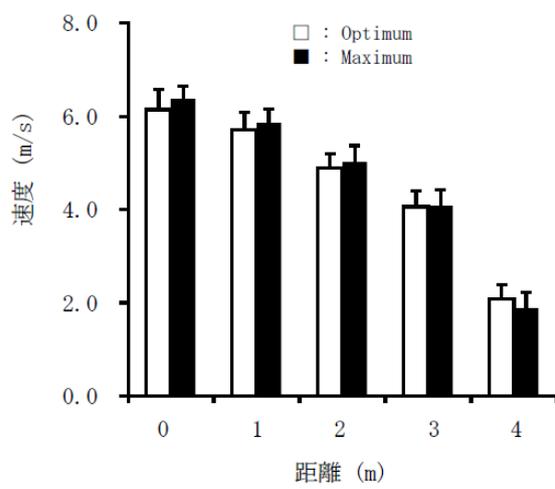
変数	単位	1. 方向転換走タイム	2. 最大速度	3. 加速度 I	4. 加速度 II	5. 20mタイム
1. 方向転換走タイム	秒					
2. 最大速度	m/s	-0.81 **				
3. 加速度 I	m/s ²	0.34	-0.28			
4. 加速度 II	m/s ²	0.77 *	-0.34	0.00		
5. 20m走タイム	秒	0.86 **	-0.96 ***	0.41	0.40	

* : p<0.05, ** : p<0.01, *** : p<0.001

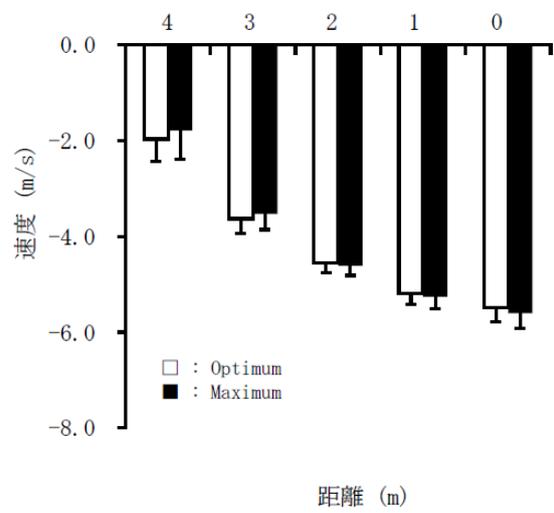
表 II - 1 - 3 Op と Max 試技におけるパフォーマンス変数の比較

変数	単位	Optimum		Maximum	
		Mean±SD		Mean±SD	
方向転換走タイム	秒	2.32±0.10	n. s	2.31±0.09	
最大速度	m/s	6.29±0.44	**	6.75±0.26	
最大速度到達位置	m	-0.83±0.95	*	-1.86±0.71	
加速度 I	m/s ²	-9.36±1.47	n. s	-9.16±2.08	
加速度 II	m/s ²	-7.71±1.67	n. s	-7.85±1.99	

n. s. : no significant, *: p<0.05, **: p<0.01



(A) 減速局面における
各位置のOpとMaxの速度比較
(全ての位置においてOpとMaxはn. s.)

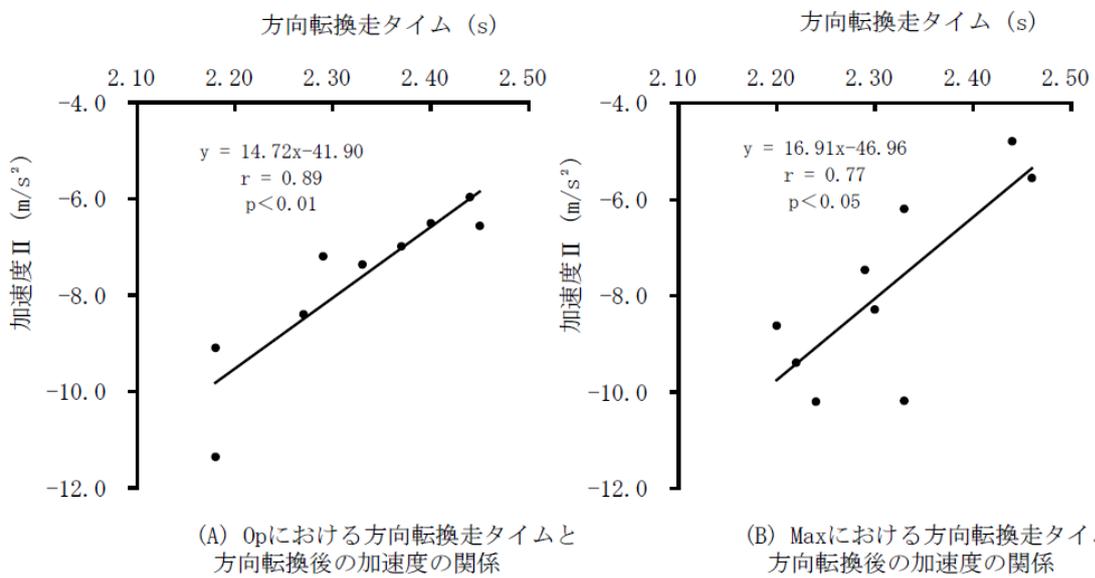


(B) 加速局面における
各位置のOpとMaxの速度比較
(全ての位置においてOpとMaxはn. s.)

図 II - 1 - 5 減速および加速局面における各位置の速度比較

高い速度を示したが、有意な差は認められなかった。また、3m 位置でも、Op が Max よりも高い速度を示したものの、2m 位置以降では、Max が Op の速度よりも高い速度を示した。しかし、加速局面の各位置における Op と Max の瞬時速度は、すべての位置において有意な差は認められなかった。

図 II-1-6 (A), (B) は、それぞれの方向転換走タイムと方向転換後の加速度との関係を示した。Op (図 II-1-6 (A)) は、方向転換走タイムと方向転換後の加速度との関係において、有意な正の相関関係が認められた ($r=0.89$, $p<0.01$)。同様に、Max (図 II-1-6 (B)) においても方向転換走タイムと方向転換後の加速度との関係において、有意な正の相関関係が認められた ($r=0.77$, $p<0.05$)。



図Ⅱ－１－６ 方向転換走タイムと方向転換後の加速度の関係

iv) 考察

本研究では、Laveg を用いて、方向転換走能力を評価することが可能か否かを検証するとともに、可能であれば、方向転換走中の速度変化を明らかにし、至適と全力による方向転換位置までのアプローチ速度の違いがそれぞれの局面における走速度およびタイムに及ぼす影響を検討することとした。Laveg を用いて算出した値の再現性と計測データの妥当性について検証した結果、Laveg を用いて方向転換走能力を評価することが大方可能であると判断した。

至適と全力による方向転換位置までのアプローチ速度の違いが、それぞれの局面における走速度およびタイムに及ぼす影響を検討した結果、至適と全力による方向転換位置までのアプローチ速度の違いによる方向転換走タイムの差は認められなかった。Draper and Lancaster (1985) は、方向転換走タイムと方向転換時の加速度との高い相関関係が認められたことにより、505 agility test が方向転換走能力を評価する上で有効なテストであると報告している。また、505 agility test は、方向転換位置までの距離について「至適」なアプローチ速度により方向転換走を行わせており、減速局面よりも方向転換後の加速局面に焦点が当てられている評価方法であると考えられる。すなわち、本研究の Op において方向転換走タイムと方向転換後の加速度との相関関係が認められたことは、先行研究を支持する結果であったといえる。また、Op だけではなく、Max においても方向転換走タイムと方向転換後の加速度との相関関係が認められた (図 II-1-6 (B))。これらの結果からも、180 度の方向転換走においては、方向転換後の加速度がタイムの短縮に影響していることが示唆された。

減速局面では、Max が Op よりも高い速度を示したものの、4m 位置では Max と Op の速度が逆転した。このことは、最大速度到達位置から 3m 位置までの距離において、Max の速度が Op の速度を上回っていたことから、Max では、3m 位置以降において方向転換を実行するための速度調整 (急減速) を行ったと考えられる。また、方向転換後では、Op の速度が Max よりも高い速度を示した (図 II-1-5 (B))。このことは、Max における方向転換直前までの速度調整 (急減速) が、方向転換後の加速度にも影響を及ぼしている可能性があると考えられる。なぜならば、Max は、急加速から急減速への大きな速度変化が要求されることから、速度調節に注意を注ぐ必要がある。一方、Op では至適な速度調節により、方向転換後の加速に集中することが可能であると考えられ、したがって、方向転換直後において、Op は Max よりも高い速度を示したと推察される。

方向転換走において、その動作技術の習得を目指す場合には、直線的なスプリント能力の向上を目的としたトレーニングを行っても、方向転換走のパフォーマンスは向上しないことが報告されている (Young et al., 2001). しかし、本研究の結果から、方向転換後の加速度と 20m 走のタイムとの関係が認められたことと、方向転換後の加速度が方向転換走タイムを短縮させる要因の一つであることが示唆されたことから、505 agility test における方向転換走能力の向上、すなわちタイムの短縮を目的とした場合には、方向転換動作直後の加速度を高めることが、タイムの短縮に有効である可能性が示唆された。

至適と全力による方向転換位置までのアプローチ速度の違いによる方向転換走タイムの差は認められなかった。しかし、球技スポーツの試合中では、至適なタイミングによる方向転換と急減速を要する方向転換走が存在する。そのため、方向転換走のような特異的な動作の習得には、至適タイミングだけではなく、減速、加速といった競技中にみられるような大きな速度変化を伴う動作様式を取り入れていくことも、競技場面を想定した場合には有効であると考えられる。

v) 結論

本研究では、Laveg を用いて、方向転換走能力を評価することが可能か否かを検証するとともに、可能であれば、方向転換走中の速度変化を明らかにし、至適と全力による方向転換位置までのアプローチ速度の違いがそれぞれの局面における走速度およびタイムに及ぼす影響を検討することとした。その結果、以下の結論を得た。

- Laveg を用いて算出した値の再現性と計測データの妥当性について検証した結果、Laveg を用いて、方向転換走能力を評価することが可能であることが示唆された。
- 方向転換位置までのアプローチ速度が、個人の至適なアプローチでも最大速度でも、方向転換走タイムに差はみられなかった。
- 方向転換後の加速度の大きさが方向転換走タイムの短縮に影響することが示唆された。

2. 経時的速度変化による方向転換走能力の 評価

i. 一般人との比較からみたサッカー選手の方向転換走能力の特徴

1) 目的

サッカーやラグビーなどに代表される球技スポーツでは、対峙する相手をかかわす、抜き去る、または、相手の動きに反応する際など、前方への直線的な走動作よりも、左右または後方など、様々な方向への方向転換走が要求される (Green et al., 2011 ; 岡本, 2015 ; Sayers, 2000). 例えば、バスケットボールでは、試合の中で、2 秒に 1 回の割合で方向転換が行われ (McInnes et al., 1995), フィールドホッケーの試合では、直線走の約 2 倍の頻度で方向転換走が行われていると報告されている (Spencer et al., 2004a ; Spencer et al., 2005b). そのため、球技スポーツ選手の素早い方向転換走能力は、競技パフォーマンスにおいて重要な能力であると考えられる. また、球技スポーツ選手は、日頃のトレーニングや試合中において、方向転換を高い頻度で行っているため (Bloomfield et al., 2007), 方向転換走能力が、球技スポーツをしていない人と比べて、優れていることは容易に想像ができる.

一方、サッカー選手の方向転換走能力が、他の競技選手と比べた研究は限られており (Vescovi and McGuigan, 2008), さらには、サッカー選手とスポーツを行っていない一般人 (コントロール群) との比較は行われていない. サッカーは急加速、急減速を伴う方向転換が非常に多く要求される競技であるため、サッカー選手の方向転換走能力が他競技の選手と比較して優れていると考えられるものの、サッカー選手の方向転換走能力にはどのような特徴があり、どのくらい優れているのかを明らかにするには、ストップウォッチや光電管から評価するのではなく、方向転換走中の経時的な速度変化を捉えることが必要であると考える.

本研究では、高校生男子サッカー選手 (Soccer 群 : 以下 SOC) を対象に、方向転換走中の加速、減速の経時的な速度変化を捉え、高校生男子サッカー選手の方向転換走能力の特徴を明らかにすることを目的とした. その際、球技スポーツ経験のない同年代の男子高校生 (Control 群 : 以下 CON) を比較対象とし、方向転換走中の各局面の変数を SOC と CON で比較をすることとした.

2) 方法

i) 参加者

参加者は、児童期からサッカーを継続的にプレーをしている高校生男子サッカー選手 8 名（年齢：17.0±0.6 歳，身長：169.9±7.0cm，体重：60.2±8.9kg）であった。また，比較対象として，これまでに球技スポーツの競技経験のない同年代の一般高校生男子 9 名（年齢：17.4±1.2 歳，身長：170.9±5.2cm，体重：53.3±6.0kg）が本研究に参加した（表Ⅱ-2-1）。参加者には，事前に文書にて目的，方法，実験の危険性およびデータの管理方法等について十分に説明し，インフォームドコンセントを書面で行い，参加者から実験参加の同意を得た。なお，本研究は，日本体育大学倫理審査委員会（第 010-H27 号）の承認を得て実施した。

ii) 実験設定

方向転換走は，体育館内にある室内走路で行い，計測時のシューズは，参加者がそれぞれ持参したトレーニングシューズを用いた。方向転換走の計測は，Laveg を用いて研究 1 と同様の計測手法に従い実施した（図Ⅱ-2-1）。Laveg は，スタートラインより，さらに 10m 後方に構え，三脚で Laveg のレンズの計測焦点を，参加者の体幹部の高さに合わせるように 100cm の高さで固定した。測定検者は，参加者のスタートから方向転換を含むゴールまでの移動を，Laveg のレンズ内の計測焦点に参加者の体幹部を合わせるようにして計測した。参加者には，出来るだけ回り込むような動作にならずに方向転換位置に利き足（本研究では競技中にボールを主に扱う方の足と定義した）を触れさせて，素早く方向転換を行うように指示した。この時，参加者のシューズが方向転換位置に触れたか否かについては，方向転換位置側方に測定検者を配置して目視し，確認が困難な場合には，設置されたビデオカメラで確認した。2 回の試技を行いタイムの速い方を記録とした。

iii) データ分析

方向転換走の区間分けについて，①スタートから参加者の最大速度が計測された位置までの区間をアプローチ区間とし，その区間の通過時間をアプローチ時間とした。次に，②最大速度が計測された位置から参加者の足が方向転換位置に触れ，計測部位である体幹部の速度がプラスからマイナスに切り替わる時点までの区間を減速区間とし，この区間を減速時間とした。さらに，③方向転換後の参加者の体幹部の速度が，プラスからマイナスに変わる時点からタイム計測終了位置（0m 位置）までを加速区間とし，この区間を加速時間とした。最終的に，①②③すべての合計タイムを方向転換走タイムと定義した。

表 II - 2 - 1 参加者の身体的特徴

	Soccer (n=8)	Control (n=9)	P value
年齢 (歳)	17.0±0.6	17.4±1.2	0.462
身長 (cm)	169.9±7.0	170.9±5.2	0.738
体重 (kg)	60.2±8.9	53.3±6.0	0.079



図Ⅱ－２－１ 方向転換走

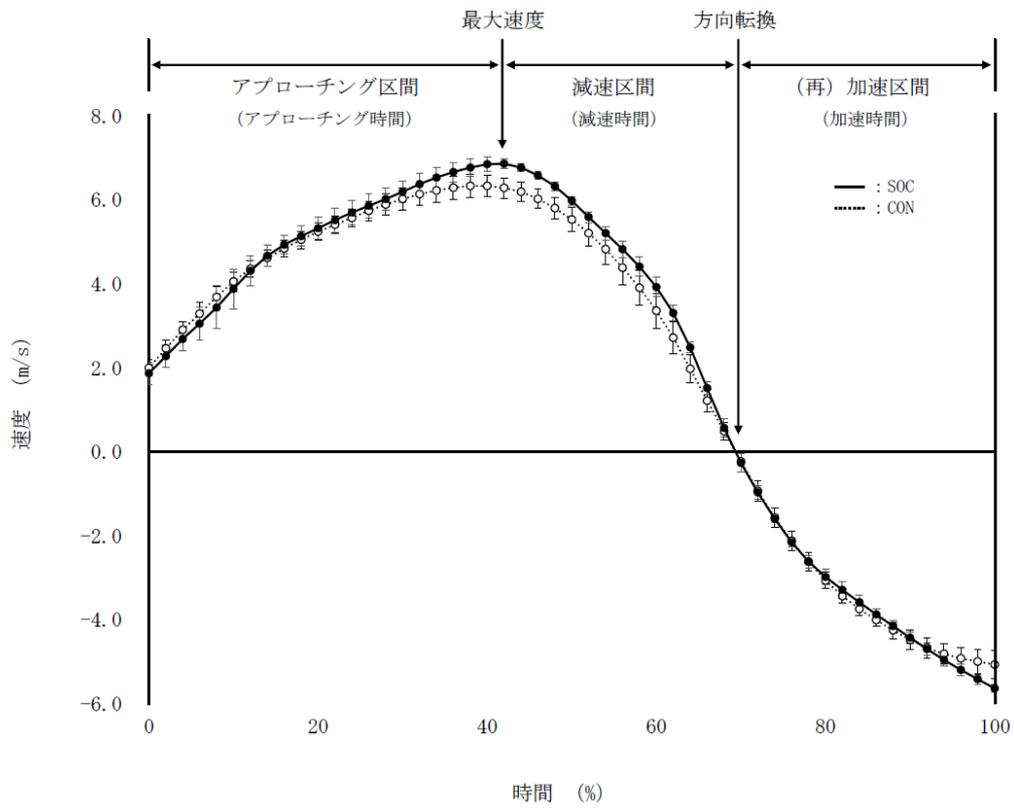
(図Ⅱ-2-1). 分析については, 研究1と同様の手順で, 速度データを算出した. また, 最大速度発生位置手前の-2m位置から方向転換後の0m位置までの各位置の速度の平均値を算出した. さらに, 最大速度が計測された位置を最大速度位置, 方向転換後の0m位置通過速度をゴール時速度とした.

iv) 統計処理

SOC と CON の各変数の比較について, すべての変数は平均値±標準偏差で示した. SOC と CON における変数の比較は, 対応なしの t 検定を用いた. また, SOC と CON における各位置の速度の平均値の比較には, グループ (SOC と CON の 2 水準) と位置 (-2m から 4m, さらに, 4m から 0m までの 12 水準) を要因とする二要因の分散分析により検定し, 交互作用が有意な場合には, 単純主効果の検定 (Bonferroni) を行った. 加えて, 方向転換走タイムと各変数との関係を検討するために, ピアソンの積率相関係数を求めた. 解析ソフトウェアは, SPSS Statistics ver. 22.0 (IBM 社製) を用いた. いずれの検定においても, 危険率 5%未満をもって有意とした.

3) 結果

SOC と CON の身体的特徴を比較した結果、年齢、身長、体重ともに、SOC と CON において有意な差は認められなかった (表 II-2-1)。図 II-2-2 には、スタートからゴールまでの時間を正規化した方向転換走中の経時的速度変化を示した。その結果、SOC、CON とともに、スタートから 40% 付近で最大速度に達し、70% 付近で方向転換を行っていた。方向転換走タイムは、SOC が有意に速かった (表 II-2-2)。また、試技の 1 回目と 2 回目の変動係数は、SOC で 0.01、CON では 0.02、級内相関係数は、SOC が 0.80、CON が 0.73 であった (表 II-2-2)。方向転換走における各変数を比較した結果、SOC の減速時間、加速時間は CON よりも有意に短く、さらに、SOC の最大速度、ゴール時速度は、CON よりも有意に高い速度を示した。しかし、アプローチ時間、最大速度位置については、有意な差は認められなかった (表 II-2-3)。表 II-2-4 には、グループ (SOC と CON の 2 水準) と位置 (-2m から 4m、さらに、4m から 0m までの 12 水準) を要因とする二要因の分散分析の結果を示した。まず、-2m から 1m 位置までの速度は、SOC が CON よりも有意に高い速度を示したが、方向転換直前の 3m、4m 位置では、わずかに速度が逆転した。また、方向転換後の 4m と 3m 位置においても、CON が SOC よりも高い速度を示したが、1m、0m 位置では、再び、SOC が CON よりも有意に高い速度を示した (表 II-2-4)。計測部位である体幹部の速度がプラスからマイナスに切り替わる速度転換 (停止) 位置では、CON は SOC よりも方向転換位置に有意に近い位置で記録された。表 II-2-5 には、最大速度を 100% とした各位置の相対速度を示した。その結果、方向転換直前の 2m から 4m 位置、方向転換後の 4m から 2m 位置ともに CON が SOC よりも有意に高い相対速度を示した。表 II-2-6、II-2-7 には、SOC と CON の方向転換走タイムと各変数との相関関係を示した。SOC では、方向転換走タイムと減速時間を除く全ての変数との間に相関関係が認められた。一方、CON では、アプローチ時間、加速時間および最大速度のみ、方向転換走タイムとの間に相関関係が認められた。



図Ⅱ-2-2 SOC と CON における方向転換走中の経時的速度変化

表Ⅱ－２－２ SOC と CON における方向転換走タイムの比較

	Soccer (n=8)	Control (n=9)	P value
方向転換走タイム (秒)	4.38±0.16	4.69±0.21	0.004 **
変動係数	0.01	0.02	0.124
級内相関係数	0.80	0.73	

** : p<0.01

表Ⅱ－２－３ 方向転換走における各変数比較

	Soccer (n=8)	Control (n=9)	P value
アプローチ時間 (秒)	1.82±0.13	1.84±0.12	0.703
減速時間 (秒)	1.22±0.04	1.41±0.08	0.001 ***
加速時間 (秒)	1.35±0.06	1.44±0.08	0.016 *
最大速度 (m/s)	6.89±0.15	6.35±0.27	<0.001 ***
最大速度位置 (m)	-0.88±0.30	-1.06±0.50	0.374
ゴール時速度 (m/s)	-5.64±0.08	-5.07±0.34	0.001 **

* : p<0.05, ** : p<0.01, *** : p<0.001

表Ⅱ－２－４ SOC と CON における各位置の速度比較

position	Variable	Unit	Soccer (n=8)	Control (n=9)	P value
			Mean±SD	Mean±SD	
-2m			6.75 ±0.20	6.29 ±0.28	<0.001***
-1m			6.88 ±0.15	6.33 ±0.26	<0.001***
0m			6.75 ±0.10	6.26 ±0.23	<0.001***
1m	Deceleration	m/s	6.35 ±0.09	6.02 ±0.20	0.004**
2m			5.67 ±0.14	5.55 ±0.25	0.365
3m			4.84 ±0.23	4.86 ±0.30	0.962
4m			3.53 ±0.39	3.62 ±0.45	0.596
4m			-2.77 ±0.13	-3.17 ±0.30	0.001**
3m			-3.84 ±0.14	-4.08 ±0.23	0.043*
2m	Acceleration	m/s	-4.58 ±0.17	-4.61 ±0.27	0.680
1m			-5.17 ±0.15	-4.91 ±0.26	0.021*
0m			-5.63 ±0.08	-5.07 ±0.34	<0.001***
速度転換（停止）位置		m	4.64 ±0.11	4.92 ±0.25	0.011*
速度転換時の速度		m/s	0.02 ±0.03	0.03 ±0.03	0.712

* : p<0.05, ** : p<0.01, *** : p<0.001

表 II - 2 - 5 SOC と CON における各位置の相対速度比較

position	Variable	Unit	Soccer (n=8)	Control (n=9)	p value
			Mean±SD	Mean±SD	
-2m			97.9 ± 1.02	99.0 ± 1.06	0.464
-1m			99.8 ± 0.13	99.7 ± 0.48	0.912
0m			97.9 ± 1.02	98.6 ± 1.38	0.675
1m	Deceleration	%	92.2 ± 1.76	94.9 ± 1.94	0.075
2m			82.3 ± 2.55	87.5 ± 3.04	0.001**
3m			70.4 ± 3.98	76.5 ± 3.87	<0.001***
4m			51.3 ± 6.27	57.0 ± 6.55	<0.001***
4m			-40.2 ± 1.62	-49.9 ± 4.28	<0.001***
3m			-55.8 ± 2.04	-64.2 ± 2.87	<0.001***
2m	Acceleration	%	-66.5 ± 2.38	-72.6 ± 2.98	<0.001***
1m			-75.1 ± 1.65	-77.4 ± 3.09	0.115
0m			-81.8 ± 1.48	-79.9 ± 3.98	0.191

** : p < 0.01, *** : p < 0.001

表Ⅱ－２－６ SOCにおける方向転換走タイムと各変数との相関関係

	①	②	③	④	⑤	⑥	⑦
①方向転換走タイム (秒)							
②アプローチ時間 (秒)	0.97 ***						
③減速時間 (秒)	-0.61	-0.74 *					
④加速時間 (秒)	0.94 ***	0.88 **	-0.65				
⑤最大速度 (m/s)	-0.87 **	-0.83 *	0.60	-0.87 **			
⑥最大速度位置 (m)	0.92 **	0.98 ***	-0.79 *	0.84 **	-0.76 *		
⑦ゴール時速度 (m/s)	0.83 *	0.80 *	-0.38	0.73 *	-0.55	0.76 *	

* : $p < 0.05$, ** : $p < 0.01$, *** : $p < 0.001$

表Ⅱ-2-7 CONにおける方向転換走タイムと各変数との相関関係

	①	②	③	④	⑤	⑥	⑦
①方向転換走タイム (秒)							
②アプローチ時間 (秒)	0.86 **						
③減速時間 (秒)	0.43	-0.04					
④加速時間 (秒)	0.91 ***	0.81 **	0.18				
⑤最大速度 (m/s)	-0.76 *	-0.61	-0.49	-0.58			
⑥最大速度位置 (m)	0.58	0.85 **	-0.27	0.53	-0.20		
⑦ゴール時速度 (m/s)	0.21	0.40	-0.14	0.10	-0.67 *	0.19	

* : p<0.05, ** : p<0.01, *** : p<0.001

4) 考察

本研究では、方向転換走中の経時的な速度変化を明らかにし、各局面の変数をこれまでに球技スポーツの競技経験のない同世代の高校生と比較をすることで、高校生男子サッカー選手の方向転換走能力の特徴を明らかにすることを目的とした。

Laveg から算出した方向転換走タイムの再現性について、SOC と CON の変動係数は 0.01 から 0.02、級内相関係数は 0.73 から 0.80 であった。級内相関係数は、0.7 以上で良好なテストであるとされる（桑原ほか，1993）。

SOC と CON において、スタートから最大速度までのアプローチ時間に差は認められなかったが、SOC は、CON よりも高い最大速度を示し（図 II-2-2，表 II-2-3），短い距離の中で高い速度を発揮することができる高い加速力を有していると推察される。一方、最大速度以降の減速区間では、SOC が CON よりも有意に短い時間を示した。加えて、-2m から 2m 位置では、SOC が CON よりも高い速度を示したが、方向転換直前の 3m，4m 位置では、SOC と CON の速度がわずかに逆転し（表 II-2-4），さらに、速度転換（停止）位置では、CON は SOC よりも方向転換位置に近い位置で記録された（表 II-2-4）。これらのことに鑑みると、CON は SOC よりも、減速から速度転換（停止）までに時間がかかったと推測できる。また、方向転換後の 4m，3m 位置においても、CON が SOC よりも有意に高い速度を示した。このことは、前述の通り、CON が減速から停止までに時間がかかったことが関係していると考えられる。すなわち、CON は、最大速度位置から計測部位である体幹部の速度がプラスからマイナスに切り替わる位置までの時間とその位置間の距離が延長したため、再加速の際、今度は、体幹部の速度がほぼ停止した位置から 4m 位置までの距離も SOC と比較して CON の方が長くなることになる。そのため、CON は SOC よりも 4m 位置までの加速に費やすことができる距離が長くなり、このことが、SOC よりも CON の方が方向転換後の 4m，3m 位置において有意に高い速度を示した要因の一つであると推察される。しかし、その後、SOC は方向転換後の 1m 位置以降で高い速度を示したため、結果的に、ゴール時速度において逆転したと考えられる。

表 II-2-5 には、最大速度を 100% の速度とした各位置の相対速度を示した。2m から 4m 位置までの相対速度をみると、SOC の 82.3%，70.4%，51.3% に対し、CON は、87.5%，76.5%，57.0% と、CON の方が高い相対速度を示した。このことについて、SOC の方が CON よりも速度の高低差が大きいことを示したことは、球技スポーツ選手の特徴の一つかもしれない。例えば、加速から減速への速度転換の際には、身体に自体重の 1.7 から 4.2

倍にも達する力がかかることが報告されている (Barnes et al., 2007 ; Sato et al., 2009 ; Stolen et al., 2005 ; Wallace et al., 2010). つまり, 球技スポーツの選手は, 常に加速や減速が繰り返される中で, パフォーマンスを発揮しているため, 加速や減速, すなわち, ダッシュ力やブレーキ力が, 日頃のトレーニングや試合において養われていると推察される.

方向転換走タイムと各変数との相関関係をみてみると, SOC では, アプローチ時間と加速時間との間には正の相関関係が認められた. 一方, 減速時間とは相関関係が認められなかったが, CON とは異なり, 負の相関係数を示したことは興味深いことであった. 加えて, アプローチ時間と減速時間との間に負の相関関係が認められた(表 II-2-6). つまり, SOC の中で, 方向転換走タイムに優れる選手は, スタートから最大速度までのアプローチ時間が短いため, 結果的に, 減速区間では, 最適な方向転換実行のための準備に時間をかけることができたのかもしれない. 一方, CON の方向転換走タイムは, アプローチ時間, 加速時間および最大速度との間に相関関係が認められたが, SOC のようなアプローチ時間と減速時間との間に相関関係は認められなかった. そのため, 最大速度に達するまでの時間が短いことは SOC の特徴の一つとして挙げられよう.

また, SOC は CON よりも有意に高い最大速度を示したが, 方向転換直前の相対速度では, CON よりも有意に低い相対速度を示したことも球技スポーツ選手の特徴の一つであると考えられる. 例えば, Hader et al. (2015) は, 本研究と同じ Laveg を用いて, 方向転換角度の異なる方向転換走において減速局面の速度を調べた結果, 極端な減速は, 方向転換, さらに, 方向転換後の加速を遅らせる可能性があるとして指摘している. また, Hewit et al. (2013) は, 180 度の方向転換走について, 減速局面のストライドの長さや頻度および姿勢調整は, 方向転換で失われる時間(減速から停止まで)を最小限に抑えることができると述べている. つまり, SOC と CON における方向転換直前の相対速度における高低差は, ストライドの長さや頻度および姿勢調整などの方向転換前後の身体コントロールの巧拙を表している可能性があり, このことは, 方向転換後の再加速にも影響を及ぼしているかもしれない. すなわち, SOC は CON と比較をして, 方向転換直前の速度調整の能力, すなわち, ブレーキ力が優れていることにより, このことが, SOC の減速時間と加速時間が CON よりも有意に短い要因の一つであると推察される.

5) 結論

本研究では、方向転換走中の加速、減速の経時的な速度変化を捉え、高校生男子サッカー選手の方向転換走能力の特徴を明らかにすることを目的とした。その結果、以下の結論を得た。

- ・ 高校生男子サッカー選手は、方向転換直前の減速力（ブレーキ力）が優れていることが示唆された。

ii. サッカー選手の方向転換走能力に影響を及ぼす要因の検討

1) 目的

方向転換前後の減速および加速は、方向転換走能力において重要な構成要素であると報告されている (Draper and Lancaster, 1985 ; Young et al., 2001) . 180 度の方向転換走を矢状面から観察した場合、厳密には、加速－減速－停止－再加速の速度変化が発生している。例えば、Draper and Lancaster (1985) が考案した、505 agility test を局面ごとに分類すると、①スタートから最大速度までの加速局面、②最大速度から方向転換位置(方向転換の際に足が触れるライン)までの減速局面、③方向転換局面、④方向転換からゴール位置までの加速局面に分けられる。まず、①と②は、高い直線スピードを発揮する反面、方向転換位置に近づくにつれて、身体には高い減速能力が要求される (Stolen et al., 2005) . 次に、方向転換位置までの急減速から、方向転換、方向転換後の加速では (②③④) , 高いアプローチ速度からの急減速により、地面への長い接地時間を要することが予想され、結果として、方向転換の実行が困難になると予想される。また、方向転換からゴールまでの加速の高低に対しては (③④) , 伸張性収縮 (減速) から短縮性収縮 (加速) への転換における運動神経細胞の発火頻度、すなわち、運動単位の発揮張力の影響も考えられる (Jones et al., 2009) . このように、180 度の方向転換走では、加速－減速－停止－再加速の局面を経て、それぞれの局面が相互に関係しパフォーマンスとして成立する。そのため、すべての局面の経時的な速度変化を俯瞰的に捉えることにより、それぞれの局面の関係性を明らかにすることができ、さらに、経時的な速度変化の比較から、方向転換時のコントロールの巧拙を明らかにすることができると考える。加えて、方向転換走の各局面について、どの局面の変数が方向転換走タイムに最も影響しているのか、各局面の関係性を明らかにし、方向転換走タイムに最も影響を及ぼす要因を明らかにすることは、サッカー選手における方向転換走能力の向上を目的としたトレーニングを構築していくうえで有益であり、意義のあることと思われる。

本研究では、高校生男子サッカー選手を対象に方向転換走における、減速、加速局面の速度および加速度の変化を明らかにし、方向転換走能力に最も影響を及ぼす要因を明らかにすることを目的とした。

2) 方法

i) 参加者

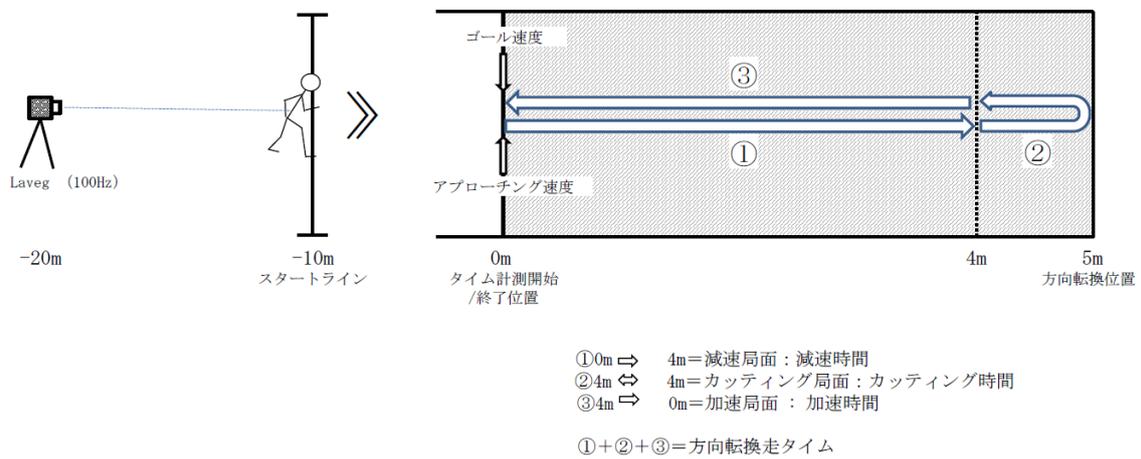
参加者は、高校生男子サッカー選手 70 名（年齢：16.6±0.8 歳，身長：170.7±5.8cm，体重：59.0±6.8kg）であった。参加者は、全員がフィールドプレーヤーであった。参加者には、事前に文書にて目的，方法，実験の危険性およびデータの管理方法等について十分に説明し，インフォームドコンセントを書面で行い，参加者から実験参加の同意を得た。なお，本研究は，日本体育大学倫理審査委員会（第 010-H27 号）の承認を得て実施した。

ii) 実験設定

方向転換走の計測は，研究 1 と同様の計測手法に従い実施した。まず，基準となる 0m 位置から 10m 手前の位置をスタートライン（-10m 位置）とし，0m 位置を越えた 5m 前方の位置を方向転換位置とした。参加者には，スタートラインから方向転換位置までの 15m を全力で走り，素早く 180 度の方向転換を行い，再び 0m 位置まで全力で戻るように指示した。その際，①0m から 4m 位置までの区間を減速局面とし，その区間のタイムを減速時間とした。次に，②方向転換を含む 4m 位置から方向転換位置までの 1m 区間をカッティング区間とし 1m 区間のタイムをカッティング時間とした。さらに，③方向転換後の 4m 位置から 0m 位置までを加速局面とし，加速時間とした。最終的に①②③すべての合計タイムを方向転換走タイムと定義した（図 II-2-3）。

方向転換走の計測は，Laveg を用いた。Laveg は，スタートラインより 10m 後方に構え，三脚で Laveg のレンズの計測焦点を 100cm の高さで固定した。測定検者は，参加者のスタートから方向転換を含むゴールまでの移動を，Laveg のレンズ内の計測焦点に参加者の体幹部を合わせるようにして計測した。その際，参加者には，出来るだけ回り込むような動作にならずに方向転換位置に利き脚を触れさせて，素早く方向転換を行うように指示した。この時，参加者のシューズが方向転換位置に触れたか否かについては，方向転換位置側方に測定検者を配置して目視し，確認が困難な場合は設置されたビデオカメラで確認した。2 回の試技を行いタイムの速いほうを記録とした。なお，本研究では，競技中にボールを主に扱う方の脚を利き脚と定義した。

方向転換走タイムは，主に直線スピード・下肢筋力・パワーなどの影響を受ける（Young et al., 2002）。そのため，本研究では，方向転換走タイムに関わる構成要素から最も影響を及ぼす要因を明らかにするため，直線スピードの評価に 30m 走を，下肢筋力・パワーの評価には，Jones et al.（2009）の先行研究を参考に膝関節伸展・屈曲力，脚伸展パワー（以



図Ⅱ-2-3 方向転換走

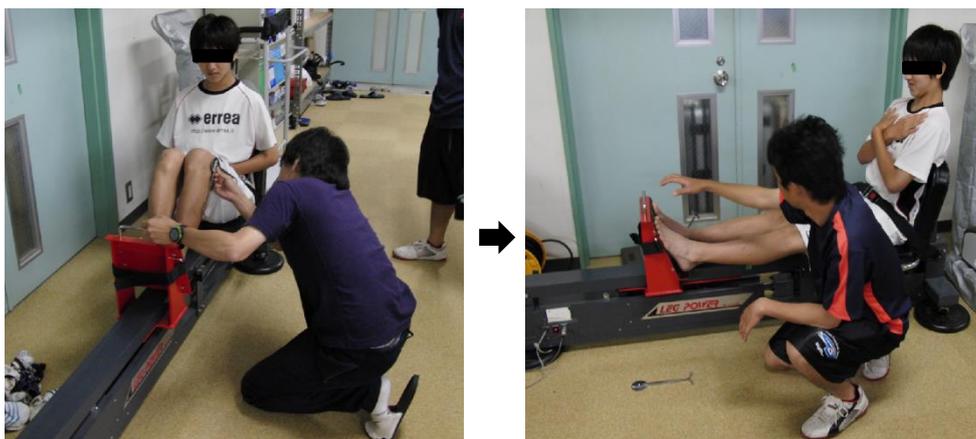
下：レッグパワー)を計測した。30m走は、方向転換走の計測と同様に Laveg を用いて計測した。測定検者が Laveg を構える位置、参加者のスタート位置ともに方向転換走の計測と同様の位置から行い、Laveg を参加者の体幹部に照射してスタートラインから 30m 先のゴール通過までを計測した。参加者はスタンディングスタートの構えから、測定検者のピストルの合図に従い、30m 先まで全力疾走を 2 回行わせ、速いほうのタイムを分析対象とした。下肢筋力・パワーの評価について、等速性膝関節伸展・屈曲力の測定には、筋力測定評価装置 (Cybex600, Cybex 社製, 以下: Cybex) を用いた (図 II-2-4)。Cybex の備え付けの椅子に座り、体幹、腰部、大腿部をベルトで固定し、大腿骨外側上顆を回転軸に合わせた後、足関節をバンドで固定した。参加者は、十分なウォーミングアップと筋力発揮の練習を行った後、本番の試技を行った。設定角速度は、60deg/sec で膝関節屈曲位 90 度から最大伸展位 0 度までを最大努力で連続 3 往復の試技を 1 回行わせた。レッグパワーの計測は、油圧式等速性レッグプレスマシン (T.K.K.1865 LEGPOWER, 竹井機器社製) を用いた (図 II-2-5)。参加者は、非伸縮性のベルトを腰部に巻き、膝関節 90 度の位置から、股関節、膝関節および足関節において最大伸展動作を行った。この時の設定速度は 1.0m/s とした。試技は 2 回行い、パワー値の高い試技を分析対象とした。方向転換走と 30m 走および下肢筋力・パワーのすべての試技間において、疲労の影響がないよう休息時間を十分に設けるように配慮した。

iii) データ分析

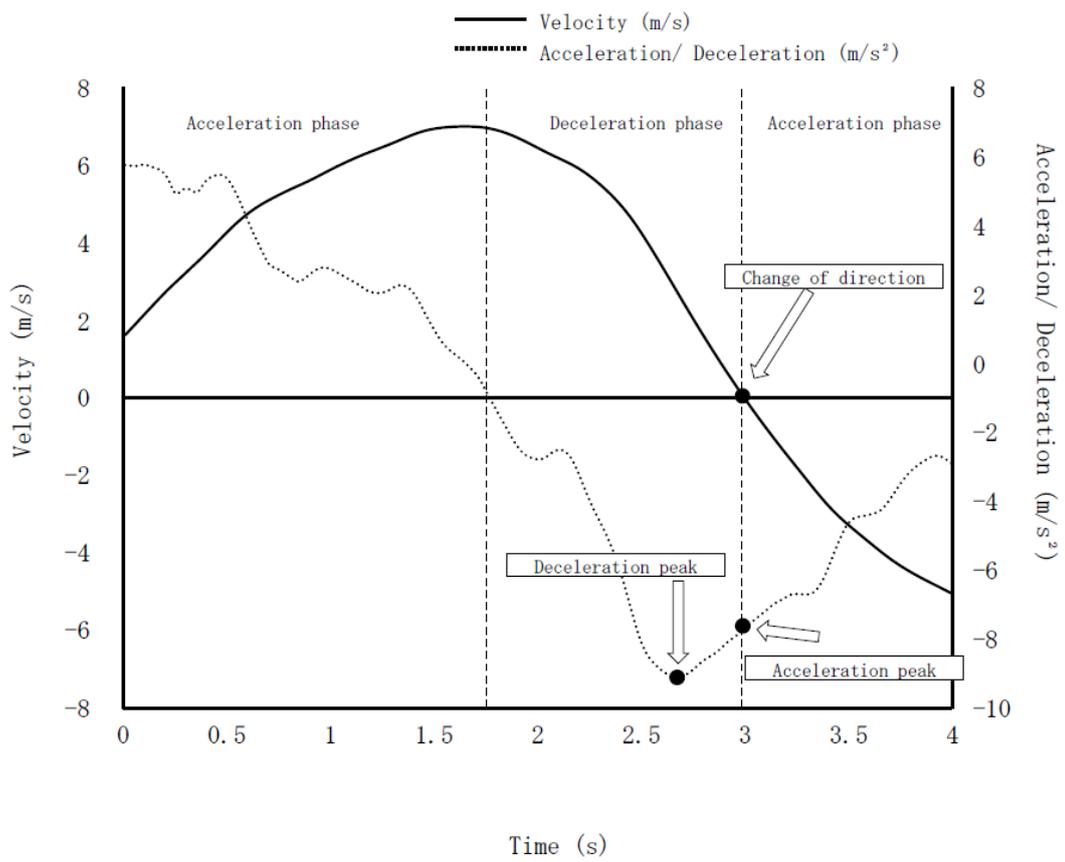
方向転換走の分析は、これまでと同様の手順において速度データを算出した。さらに、速度データを時間微分することで、加速度データを算出した。-10m 位置から 5m 位置までの各位置の速度および加速度の平均値を算出した。0m 位置通過速度をアプローチ速度、方向転換後の 0m 位置通過速度をゴール速度 (図 II-2-6) とした。また、減速局面の加速度の最大値を最大減速度、方向転換後の加速局面の加速度の最大値を最大加速度とし、それぞれ、最も高い加速度が計測された位置を、最大減速度位置、最大加速度位置と定義した (図 II-2-6)。30m 走は、方向転換走の分析と同様に、30m 走中に Laveg のレーザー光を照射している参加者の体幹部の位置記録をもとに、タイム及び速度を算出した。また、本研究と同じ Laveg を用いて方向転換走と直線走の速度を比較した先行研究 (Hader et al., 2015) を参考に、5m 位置、10m 位置通過時の速度 (以下: V5m, V10m)、30m 走中の最大速度 (以下: Vmax) を算出した。等速性膝関節伸展・屈曲力の測定は、



図Ⅱ-2-4 等速性膝関節伸展・屈曲力の測定



図Ⅱ-2-5 レッグパワーの測定



図Ⅱ-2-6 Laveg から算出した速度および加速度曲線 (n=1)

膝伸展および屈曲動作を最大努力で連続3往復行わせ、等速性運動中のそれぞれピークトルク値を記録として用いた。レッグパワーは、レッグプレスマシンから出力されたアナログデータをA/D変換機（Power Lab 1kHz, AD Instrument社製）を介してコンピュータに取り込んだ。分析区間は、速度データをコンピュータ上で目視にて確認し、速度データが一定となる区間の平均パワーを算出した。

iv) 統計処理

方向転換走における、方向転換前後の速度変化を明らかにするため、-10m位置から0m位置までの合計タイムの速いグループ（Fast group 以下：FG）、遅いグループ（Slow group 以下：SG）に分類した。参加者70名の平均タイム4.57秒±0.5SDを基準に、-0.5SD以下の参加者をFG（24名）、+0.5SD以上の参加者をSG（19名）とし、各変数を比較した。すべての変数は平均値±標準偏差で示した。FGとSGにおける変数の比較は、対応なしのt検定を用いた。4m位置の速度および加速度の比較には、FGとSGの2水準と方向転換前後の4m位置の2水準を要因とする二要因の分散分析を行った。また、方向転換走において算出された各変数と方向転換走タイムの関係性を検討するため、方向転換走タイムを従属変数とし、その他の変数を独立変数とするステップワイズ法による重回帰分析を行った。その際、共線性の診断を行い、選択された独立変数に対して多重共線性が生じていないか確認した。その結果、本研究で得られた許容度は0.75～0.89、変動インフレーション（以下：VIF）は1.12～1.34であり、許容度が0.25以上、VIFが2以下であることを確認した。解析ソフトウェアは、SPSS Statistics ver. 22.0（IBM社製）を用いた。いずれの検定において、危険率5%未満をもって有意とした。

3) 結果

Laveg から算出した値の再現性について、方向転換走タイムの 1 回目と 2 回目の級内相関係数 (ICC) は 0.81 であった。

FG と SG の身体的特徴および方向転換走における各変数の比較を表 II-2-8, II-2-9 に示した。方向転換走における各変数をみると (表 II-2-9), 方向転換走タイム, カッティング時間は FG が SG よりも有意に速いタイムを示したが, 減速時間と加速時間では, 有意な差は認められなかった。また, アプローチ速度とゴール速度は FG が有意に高い速度を示した。さらに, FG の最大減速度と最大加速度は SG よりも有意に高い加速度を示した。一方, SG の最大減速度位置と最大加速度位置は FG よりも, 方向転換位置に有意に近い位置で記録された。

図 II-2-7 には, FG と SG における方向転換走の各位置の速度および加速度の平均値を示した。また, 表 II-2-10 には, 方向転換前後の 4m 位置の FG と SG の速度および加速度の平均値を示した。4m 位置の速度では, 方向転換前後どちらも SG が FG よりも有意に高い速度を示し, 加速度では, FG のほうが有意に高い加速度を示した。さらに, 表 II-2-11 には, FG と SG の 30m 走および下肢筋力・パワーの平均値を示した。

表 II-2-12 には, 参加者全員の方向転換走タイムを従属変数, その他の変数を独立変数としたステップワイズ法による重回帰分析の結果を示した。その結果, 方向転換走タイムと関係性を示したのはカッティング時間, アプローチ速度, ゴール速度および最大減速度の 4 項目であり標準偏回帰式に有意性が認められた。

表 II - 2 - 8 FG と SG の身体的特徴

Variable	Unit	FG (n=24)		SG (n=19)		p value
		Mean	SD	Mean	SD	
Age	yrs	16.8	0.8	16.3	0.7	0.067
BH	cm	170.1	6.0	169.5	5.9	0.739
BW	kg	60.2	6.6	55.4	6.4	0.019 *

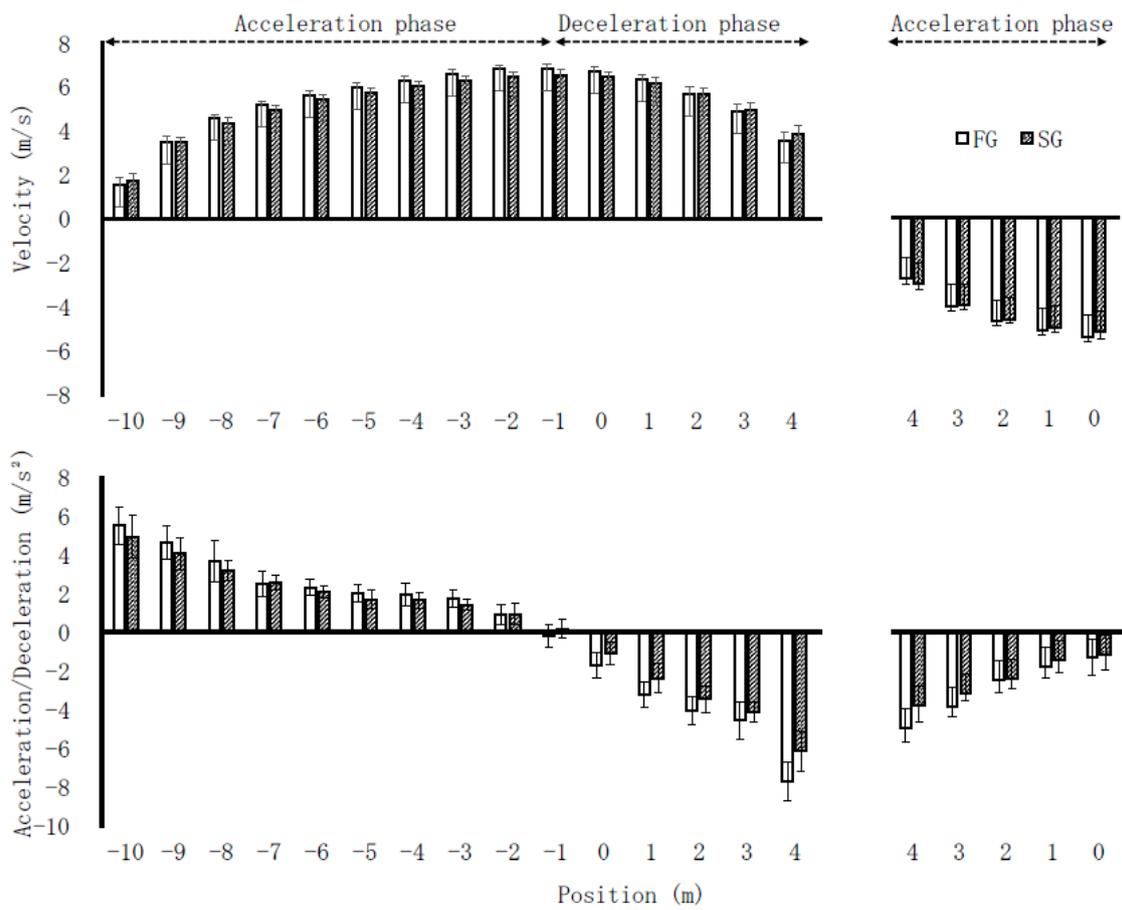
FG : Fast group; SG : Slow group.

* : $p < 0.05$

表Ⅱ－２－９ FG と SG における各変数の比較

変数	単位	FG (n=24)		SG (n=19)		p value
		Mean	SD	Mean	SD	
方向転換走タイム	秒	2.45	0.04	2.70	0.06	0.001 *
減速時間	秒	0.74	0.04	0.74	0.04	0.701
カッティング時間	秒	0.80	0.08	1.05	0.11	0.001 *
加速時間	秒	0.90	0.04	0.91	0.04	0.644
アプローチ速度	m/s	6.72	0.19	6.48	0.22	0.001 *
ゴール速度	m/s	-5.48	0.26	-5.27	0.30	0.014 *
最大減速度	m/s ²	-11.02	1.72	-9.60	1.06	0.002 *
最大加速度	m/s ²	-9.20	1.63	-7.46	1.47	0.001 *
最大減速度位置	m	4.53	0.19	4.78	0.24	<0.001 *
最大加速度位置	m	4.66	0.13	4.91	0.28	<0.001 *

* : p<0.05



図Ⅱ-2-7 FG と SG における各位置の速度および減速 (度)・加速 (度) の比較

表Ⅱ-2-10 FG と SG における 4m 位置の減速および加速比較

		FG (n=24)		SG (n=19)			
	Variable	Unit	Mean	SD	Mean	SD	p value
4 m位置	Velocity	m/s	3.53	0.41	3.86	0.39	0.002 *
		m/s	-2.82	0.25	-3.07	0.25	0.015 *
	Deceleration	m/s ²	-7.71	1.01	-6.14	1.03	<0.001 *
	Acceleration	m/s ²	-4.96	0.75	-3.77	0.91	<0.001 *

FG : Fast group; SG : Slow group.

* : p<0.05

表Ⅱ-2-11 FGとSGにおける30m走, 等速性膝関節伸展/屈曲力
およびレッグパワーの比較

Variable	Unit	FG (n=24)		SG (n=19)		p value
		Mean	SD	Mean	SD	
30m走	秒	4.68	0.19	4.99	0.23	0.001 *
V5m	m/s	5.95	0.16	5.63	0.22	0.001 *
V10m	m/s	7.15	0.25	6.80	0.25	0.001 *
Vmax	m/s	8.29	0.31	7.80	0.37	0.001 *
等速性膝関節伸展力	Nm	183.8	28.0	158.7	15.8	0.001 *
等速性膝関節伸展力 (相対値)	Nm/BW	3.05	0.30	2.88	0.29	0.135
等速性膝関節屈曲力	Nm	108.4	20.2	96.9	12.6	0.037 *
等速性膝関節屈曲力 (相対値)	Nm/BW	1.80	0.25	1.75	0.15	0.613
レッグパワー	W/BW	12.3	1.5	10.9	1.3	0.005 *

*:p<0.05

表Ⅱ－２－１２ 方向転換走タイムを従属変数とした重回帰分析 (n=70)

Dependent variable : CODS ($R^2=0.916$)			
Independent variable	partial regression coefficient	standardized partial regression coefficient	
	B	β	p value
constant	3.312		
カッティング時間	0.683	0.828	<0.001 *
アプローチ速度	-0.151	-0.303	<0.001 *
ゴール速度	0.059	0.155	<0.001 *
最大減速度	0.006	0.082	0.041 *

*:p<0.05

4) 考察

本研究では、高校生男子サッカー選手を対象に方向転換走における減速、加速局面の速度および加速度の変化を明らかにし、方向転換走タイムに最も影響を及ぼす要因を明らかにすることであった。

FG と SG の各変数を比較した結果、FG は、体重が SG よりも有意に高く、加えて、減速時間と加速時間を除くすべての変数、さらに 30m 走、膝関節伸展・屈曲力、レッグパワーが有意に優れていた (表 II-2-8, II-2-9, II-2-11)。FG は、スタートから -10m と -9m 位置を除く加速局面の各位置において SG よりも高い速度を示した (図 II-2-7)。また、30m 走中の短い距離 (5, 10m 位置) の通過速度の結果においても有意に高い速度を示し、これらのことから、FG は SG よりも短い距離での加速能力に優れていると推察される (表 II-2-11)。しかし、FG は -1m 位置の速度は、SG よりも高い速度を示していたが (図 II-2-7)、その一方で、-1m 位置の加速度では -0.25m/s^2 とすでに減速を開始していた。つまり、FG は SG よりも、0m 位置までに高い加速を示していたが、0m 位置よりも手前からすでに減速に転じていたと考えられる。

0m 位置以降では、方向転換前の 3m, 4m 位置において FG と SG の速度が逆転した。このことは、SG の 4m 位置の速度が FG よりも有意に高く (表 II-2-10)、SG の最大減速度が FG よりも方向転換位置により近い位置で記録されたことを鑑みると (表 II-2-9)、SG は、FG よりも減速を始めた位置から方向転換位置に足が触れて測定部位である体幹部の速度がプラスからマイナスに切り替わる位置までの時間およびその位置間の距離が延長したと考えられる。一方、方向転換後の加速局面では、4m 位置の SG の速度は $-3.07 \pm 0.25\text{m/s}$ 、FG が $-2.82 \pm 0.25\text{m/s}$ と SG が有意に高い速度を示した (表 II-2-10)。このことは、前述の通り、方向転換前の減速の際の時間および位置間の距離が関係していると考えられる。SG は、減速において、方向転換位置に足が触れて測定部位である体幹部の速度がプラスからマイナスに切り替わる位置までの時間およびその位置間の距離が延長したため、再加速の際には、体幹部が停止した位置から 4m 位置までの距離も FG と比較して SG のほうが長くなることになる。つまり、SG は FG よりも 4m 位置までの加速に費やすことができる距離が長くなるため、結果的に、このような要因が、SG が FG よりも有意に高い速度を示した要因の一つであると推察される。しかし、その後、FG は方向転換後の 4m, 3m 位置において高い加速力を示したため (図 II-2-7)、3m 以降の速度は FG が高い速度を示しゴール速度において逆転したと考えられる。

方向転換時は、脚が伸張性の負荷を吸収し、そして、直後に体幹が水平面において回転することで方向転換が行われる (Brown and Vescovi, 2003 ; Jones et al., 2009). 本研究のFGとSGの下肢筋力の比較では、体重値で除し正規化した値は、レッグパワーのみ有意な差が認められた (表Ⅱ-2-11). 方向転換走タイムと下肢筋力・パワーの関係において、Jones et al. (2009) は、脚は、方向転換走の減速時に伸張性の負荷を吸収することから、伸張性収縮の力発揮が180度の方向転換走において重要なファクターであると述べている. 本研究では、伸張性収縮の試技は実施していないが、FGの膝関節伸展・屈曲力やレッグパワーがSGと比べて高い値を示したことは、減速局面における最大減速度や最大減速度位置にも影響しているかもしれない. また、方向転換時には、下肢筋力・パワーだけでなく、姿勢や腕の動作も影響するとされている (Brown and Vescovi, 2003 ; Sasaki et al., 2011b). 加えて、方向転換から再加速の際には、より身体重心を低くし地面反力を発生させることが大切であると報告されている (Young et al., 2002).

本研究では、Lavegを用いて、方向転換走における経時的な速度変化を比較することで、高校生男子サッカー選手の方向転換時のコントロールの巧拙を明らかにすることを試みた. また、方向転換走タイムに最も影響を及ぼす要因を明らかにすることを目的とした. 方向転換走のすべての変数において、ステップワイズ法を用いて重回帰分析を行った結果、方向転換走タイムについてカッティング時間、アプローチ速度、ゴール速度および最大減速度において標準偏回帰係数に有意性が認められた. 直線スピード・下肢筋力・パワーについては、関係性は認められなかった. 方向転換走タイムと最も強い関係性を示したのはカッティング時間であった. カッティング時間は、方向転換における減速-停止-加速の3局面が含まれる. この一連の方向転換がスムーズに行われないと、速度転換が迅速に行われず、結果として、最適な方向転換の実行が困難であると考えられる.

Hader et al. (2015) は、16歳のエリートサッカー選手に対して、本研究と同じLavegを用いて進行方向に対して45度と90度の方向転換走における減速局面の速度比較から、極端な減速は方向転換、さらには、方向転換後の加速を遅らせる可能性がある指摘している. また、Hewitt et al. (2013) は、進行方向に対して180度の方向転換について、減速局面のストライドの長さや頻度および姿勢調整は、方向転換で失われる時間 (減速から停止まで) を最小限に抑えることができると述べている. すなわち、本研究の3m, 4m位置においてFGとSGの速度が逆転したことやFGが高い減速力を示したことは (図Ⅱ-2-7, 表Ⅱ-2-10), 方向転換動作の巧拙を表している可能性があり、このことは、方

向転換後の加速においても優位に働いているかもしれない。つまり、FGのカッティング時間がSGよりも有意に速いことは、減速局面の速度調整の影響が大きいと考えられ、したがって、サッカー選手の方向転換走では、減速局面における加速から減速への速度を素早く変える能力が重要であると思われる。

5) 結論

本研究の目的は、サッカー選手の方向転換走における、減速、加速局面の速度および加速度の変化を明らかにし、方向転換走タイムに最も影響を及ぼす要因を明らかにすることであった。その結果、以下の結論を得た。

- ・ 方向転換走タイム、カッティング時間は FG が SG よりも速いタイムを示し統計上有意な差が認められた。
- ・ FG と SG の減速時間と加速時間には、統計上有意な差は認められなかった。しかし、方向転換前の 4m 位置の速度では SG のほうが有意に高く、反対に、加速度は FG が高い値を示したことから、SG は FG よりも方向転換前の減速に時間がかかったと推察された。
- ・ 重回帰分析の結果、方向転換走タイムに関係性を示したのはカッティング時間、アプローチ速度、ゴール速度、最大減速度であり、特にカッティング時間が最も強い関係性を示した。しかし、カッティング時間は、方向転換前の減速力の影響を受けることが示唆された。

3. 方向転換走能力の発達特性

i) 目的

発育期のサッカー選手の最大身長増加時期（Peak height velocity age：以下 PHVA）とサッカーに必要な体力の年間発達率を調べた研究によれば（Philippaerts et al., 2006），方向転換走能力やスプリント能力の発達は，身長が急激に伸び始める時期（Take off age：TOA）から PHVA を頂点に，その後の発達の程度は小さいことが報告されている．一方，この時期の男子は，思春期から思春期直後の適応として，体内で男性ホルモンや成長ホルモン濃度が上昇し，筋横断面積の増大および力発揮能力の向上が促進される（Tonson et al., 2008）．特に，PHVA から 1 年間の身長増加が 1cm 未満になる時期（Final height age：FHA）では，筋力・パワーの発達率が高いことが報告されている（Philippaerts et al., 2006）．ところが，方向転換走能力は，主に，方向転換動作，スプリント能力および下肢筋力・パワーなどの影響を受けることが報告されており（Young et al., 2002），したがって，筋群の量的発育による力発揮能力の向上は，PHVA 以降の方向転換走能力の発達にも少なからず影響を及ぼすものと推測される．また，発育発達段階における性成熟の度合いによって，方向転換走を構成する下位能力の影響は異なると推測されるが，これまでに，加齢に伴う下位能力の寄与率の違いについては詳細な検討はなされていないようである．方向転換走を構成する下位能力の寄与率の違いを年齢間で比較することは，発達の程度が小さいとされる PHVA 以降の方向転換走能力の段階的指導において，方向転換走能力向上のためのトレーニングプログラムの構築に有益な情報となり得ると考える．

この章では，13 歳から 18 歳までの中学生および高校生男子サッカー選手を対象に方向転換走能力の発達特性を明らかにし，さらに，各年齢の方向転換走を構成する下位能力の寄与率の違いを明らかにすることを目的とした．

ii) 方法

1) 参加者

参加者は，公立の中学校および高等学校のサッカー部にそれぞれ所属する男子サッカー選手 58 名であった．これらの参加者を 13-14 歳，15-16 歳，17-18 歳に分類した（表 II-3-1）．各チームとも，定期的にサッカーのトレーニングまたは試合を週 5~6 回実施し，公式の大会において，地区大会に出場する程度の競技レベルであった．参加者とその保護者には，本研究の趣旨および内容を説明し，本研究への任意による参加の同意を得た．なお，本研究は，日本体育大学倫理審査委員会（承認番号，第 010-H27 号）の承認

表Ⅱ－3－1 各年齢群の身体的特徴

	Total	13-14歳	15-16歳	17-18歳	
n	58	18	23	17	
年齢 (歳)	15.8 (1.6)	13.6 (0.4)	16.1 (0.4)	17.6 (0.5)	
身長 (cm)	167.5 (7.8)	158.0 (7.7)	171.0 (6.2)	172.9 (4.5)	13-14<15-16, 17-18
体重 (kg)	56.2 (9.2)	46.2 (6.9)	58.2 (5.7)	64.0 (5.1)	13-14<15-16<17-18

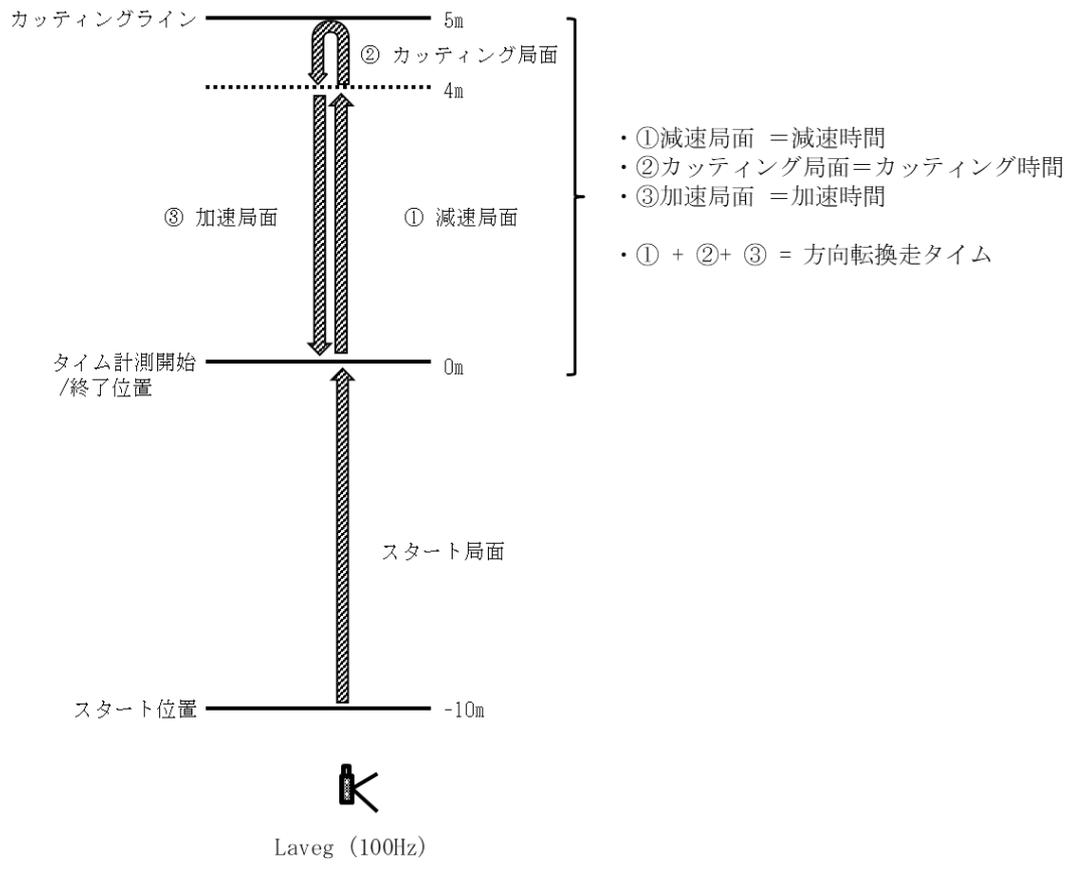
Mean (SD) , < : p < 0.05

を得た後に実施した。

2) 実験条件

測定は、参加者が通学する学校にて、休日の部活動の練習時に実施した。まず、参加者全員に実験手順の確認説明および問診を行った後、身体計測（身長、体重）、方向転換走、30m 走の順に計測を行い、最後に、脚伸展パワーの計測を行った。方向転換走の測定は、これまでの計測手法に従い実施した（図Ⅱ-3-1）。方向転換は、方向転換位置に利き脚（本研究では参加者がサッカーボールをよく扱う方の脚と定義した）を触れさせて、素早く方向転換を行うように指示した。方向転換走の局面分けについて、方向転換走中の①0m から 4m 位置までの減速局面の通過時間を減速時間、②180 度の方向転換を含む 1m 区間のカッティング局面の通過時間をカッティング時間、さらに、方向転換後の③4m から 0m 位置までの加速局面の通過時間を加速時間とし、最終的に、①②③すべての合計時間を方向転換走タイムとした。また、方向転換走の計測にはこれまでと同様に Laveg を用いた。Laveg は、スタートラインより 10m 後方の位置に構え、三脚で Laveg のレンズの計測焦点を、参加者の腰の高さに合わせるように 100cm の高さで固定した。測定検者は、参加者のスタートから方向転換を含むゴールまでの移動を、Laveg のレンズ内の計測焦点に参加者の体幹部を合わせるようにして計測した。各局面の通過時間は、参加者の体幹部の位置記録をもとに算出した。試技の練習を十分に積ませた後、方向転換走の試技を 1 回行った。但し、方向転換時に参加者がバランスを崩したり、足を滑らせた場合に限り、再度試技を行った。

方向転換走を構成する下位能力について、スプリント能力の評価に 30m 走を、下肢筋力・パワーの評価に脚伸展パワーを測定した。30m 走は、測定検者が Laveg を構える位置、参加者のスタート位置ともに方向転換走の計測と同様の手順で行い、Laveg を参加者の体幹部に照射し、参加者のスタートから 30m 先のゴール通過までを計測した。下肢筋力・パワーの評価は、Jones et al. (2009) の先行研究を参考に脚伸展パワーを計測した。また、本研究では、方向転換走の試技において参加者の利き脚で方向転換を行わせたが、方向転換後に再び加速をする際には、支持足（方向転換位置に触れる利き脚）で、大きな地面反力を得る必要がある（Young et al., 2002）、そのためには、高い力発揮能力が要求されると予測されるため、方向転換走と同様に参加者の利き脚の脚伸展パワーを計測した。計測には、油圧式等速性レッグプレスマシン（T.K.K.1865 LEGPOWER, 竹井機器社製）



図Ⅱ-3-1 方向転換走

を用いた。参加者は、レッグプレスマシンに座り、非伸縮性のベルトを腰部に巻き、膝関節 90 度の位置から、股関節、膝関節および足関節の伸展動作を 1.0m/s の速度で行った。利き脚による 2 回の試技を行い、パワー値の高い方を分析対象とした。なお、すべての試技間において、疲労の影響がないよう休息時間を十分に設けるように配慮した。

3) データ収集

方向転換走と 30m 走の分析は、これまでと同様の手順で、各局面の通過時間、疾走中の瞬時速度および加速度を算出した。脚伸展パワーは、レッグプレスマシンから出力されたアナログデータを A/D 変換機 (Power Lab 1kHz, AD Instrument 社製) を介してコンピュータに取り込んだ。分析区間は、速度データをコンピュータ上で目視にて確認し、速度データが一定となる区間の平均パワーを算出した。

4) 各計測項目における定義づけ

本研究では、方向転換走タイムを方向転換走能力、減速時間を減速能力、カッティング時間をカッティング能力、加速時間を加速能力と定義した。また、運動方程式 ($F=ma$) の関係から、物体にはたらく力を F 、物体の質量を m 、物体に生じる加速度を a とした場合、「質量 m が変わらなければ、加速度 a は力 F に比例する」ことから、本研究では、加速度を、減速や加速をする際の力の大きさを表わしていると捉え、方向転換前の加速度の最大値を最大減速度、方向転換後の加速度の最大値を最大加速度とし、それぞれが計測された位置を、最大減速度位置、最大加速度位置と定義した。さらに、脚伸展パワーを下肢筋力・パワー能力、30m 走タイムをスプリント能力と表現することとした。

5) 統計処理

すべての計測変数は、平均値 (標準偏差) で示した。年齢間による方向転換走、方向転換走の各変数、脚伸展パワーおよび 30m 走タイムの比較は、対応のない一元配置の分散分析による検定後、Tukey-kramer の HSD 法による多重比較検定を用いた。また、各年齢の方向転換走を構成する下位能力の影響を明らかにするため、方向転換走タイムを従属変数にして一括投入法による重回帰分析を行った。その際、独立変数は、身体発育の観点から参加者の身長と体重値、方向転換走能力は、主に、方向転換動作・スプリント能力・下肢筋力・パワーなどの影響を受けるとされる先行研究 (Young et al., 2002) にならい、方向

転換動作の指標としてカッティング時間，スプリント能力の指標として 30m 走タイム，下肢筋力・パワーの指標として脚伸展パワーの記録を独立変数に用いた．いずれの検定においても，危険率 5%未満をもって有意とした．解析ソフトウェアは，SPSS Statistics ver. 22.0 (IBM) を用いた．

iii) 結果

参加者の身長および体重の平均値と標準偏差を表 1 に示した。15-16 歳と 17-18 歳の身長は、13-14 歳と比べて有意に高かった ($p<0.05$)。また、体重は、加齢とともに増加し、すべての年齢間において有意な差が認められた ($p<0.05$)。

方向転換走では、15-16 歳と 17-18 歳の方向転換走タイム、減速時間、加速時間は、13-14 歳よりも有意に短い時間を示したが ($p<0.05$)、カッティング時間のみ有意な差が認められなかった。また、15-16 歳と 17-18 歳の 30m 走タイムは、13-14 歳と比べて有意に短い時間を示したが ($p<0.05$)、脚伸展パワーでは、年齢間において有意な差は認められなかった (表 II-3-2)。

表 II-3-3 には、0m 位置の通過速度と最大加速度をそれぞれ示した。15-16 歳と 17-18 歳の行きと戻りの 0m 位置通過速度は、13-14 歳と比べて有意に速かった ($p<0.05$)。また、15-16 歳と 17-18 歳の最大減速度は、13-14 歳と比べて有意に高く、さらに、17-18 歳の最大加速度は、13-14 歳よりも有意に高かった ($p<0.05$)。しかし、最大減速度位置、最大加速度位置については、年齢間で有意な差は認められなかった。加えて、年齢間の方向転換走タイムに対する各局面の時間比率においても (表 II-3-4)、年齢間において有意な差は認められなかった。

表 II-3-5 には、各年齢の方向転換走タイムを従属変数、身長、体重、カッティング時間、脚伸展パワー、30m 走タイムを独立変数とした一括投入法による重回帰分析の結果を示した。各年齢の標準偏回帰係数をみると、13-14 歳は 30m 走タイムが 0.59、15-16 歳は、カッティング時間が 0.47、17-18 歳では、カッティング時間が 0.49、30m 走タイムは 0.50 と、それぞれ標準偏回帰係数に有意性が認められた ($p<0.05$, $p<0.01$)。加えて、各年齢の方向転換走タイムとカッティング時間、30m 走タイムとの間に相関関係が認められた ($p<0.05$, $p<0.01$, $p<0.001$)。また、15-16 歳のみ、方向転換タイムと脚伸展パワーにおいて相関関係が認められた ($p<0.05$)。

表Ⅱ－3－2 各年齢群における方向転換走タイム，脚伸展パワーおよび30m走の比較

	13－14歳	15－16歳	17－18歳	
n	18	23	17	
方向転換走タイム (秒)	2.66 (0.10)	2.49 (0.07)	2.47 (0.06)	13-14<15-16, 17-18
減速時間 (秒)	0.81 (0.04)	0.75 (0.03)	0.76 (0.04)	13-14<15-16, 17-18
カッティング時間 (秒)	0.86 (0.10)	0.84 (0.06)	0.81 (0.07)	n. s
加速時間 (秒)	0.99 (0.06)	0.91 (0.03)	0.90 (0.03)	13-14<15-16, 17-18
脚伸展パワー (W/kg)	12.0 (1.0)	11.8 (1.4)	12.7 (1.6)	n. s
30m走 (秒)	5.06 (0.29)	4.78 (0.18)	4.68 (0.16)	13-14<15-16, 17-18

Mean (SD) , < : p < 0.05

表Ⅱ－3－3 年齢間における方向転換走中の最大速度・加速度の比較

	13－14歳	15－16歳	17－18歳	
n	18	23	17	
0m位置通過速度（行き）（m/s）	6.08 (0.30)	6.60 (0.26)	6.65 (0.24)	13-14<15-16, 17-18
0m位置通過速度（戻り）（m/s）	-5.09 (0.27)	-5.40 (0.29)	-5.45 (0.22)	13-14<15-16, 17-18
最大減速度（m/s ² ）	-8.50 (1.35)	-10.43 (1.40)	-10.82 (1.22)	13-14<15-16, 17-18
最大加速度（m/s ² ）	-7.93 (1.51)	-8.57 (1.45)	-9.40 (1.28)	13-14<17-18
最大減速度位置（m）	4.54 (0.22)	4.51 (0.22)	4.61 (0.19)	n. s
最大加速度位置（m）	4.61 (0.18)	4.67 (0.16)	4.70 (0.13)	n. s

Mean (SD) , < : p < 0.05

表Ⅱ－3－4 各年齢における方向転換走タイムに対する各局面の時間比率

	13－14歳	15－16歳	17－18歳	
減速時間 (%)	30.5 (1.7)	30.0 (1.2)	30.8 (1.7)	n. s
カッティング時間 (%)	32.3 (3.0)	33.5 (2.0)	32.8 (2.6)	n. s
加速時間 (%)	37.4 (1.8)	36.5 (1.1)	36.5 (1.3)	n. s
				Mean (SD)

表Ⅱ-3-5 各年齢の方向転換走タイムを従属変数とした重回帰分析比較

説明変数	13-14歳		15-16歳		17-18歳	
	β	r	β	r	β	r
身長 (cm)	-.35	-.42	-.06	.05	.42	-.03
体重 (kg)	.30	-.06	.17	-.14	-.52	-.22
カッティング時間 (秒)	.34	.63 **	.47 *	.58 **	.49 *	.55 *
脚伸展パワー (W/kg)	.05	-.37	-.22	-.42 *	-.06	-.21
30m走 (秒)	.59 **	.75 ***	.43	.62 **	.50 *	.75 ***
R ²	.76 **		.60 **		.76 **	
Adj.R ²	.66 **		.49 **		.66 **	
N	18		23		17	

β : 標準偏回帰係数 r : 相関係数 * : p<0.05 ** : p<0.01 *** : p<0.001

iv) 考察

方向転換走能力の発達特性

本研究では、13歳から18歳までの中学生および高校生男子サッカー選手を対象に方向転換走能力の発達特性を明らかにし、さらに、各年齢の方向転換走を構成する下位能力の寄与率の違いを明らかにすることを目的とした。

参加者の身体的特徴について、例えば、三島ほか(2018)は、幼児期から青年期までの男子スポーツ選手を対象に、方向転換走能力の発達について、身長を発育をもとにアロメトリー式を用いて検討した結果、身長が約152 cmから167 cmの発育期では、第二次性徴に伴う筋量および力発揮能力の著しい発育発達がみられ、このことが、スピードや方向転換走能力の発達に大きく寄与している可能性があるとして述べている。三島ほか(2018)の報告と、本研究の各年齢の身長を照らし合わせてみると、13-14歳の平均身長は158.0±7.7cmであり、三島ほか(2018)の研究による第2変移点から第3変移点に含まれる。また、本研究の身長と体重の平均値を、スポーツ庁(2018)体力運動能力調査の全国データの平均値と比較すると、13-14歳の身長と体重は、同年代の平均値よりも低かった。加えて、15-16歳の身長は全国データの平均値よりも高く、17-18歳は、身長、体重ともに全国データの平均値よりも高かった。これらのことから、本研究の13-14歳では、思春期前の選手も含まれていると考えられ、15-16歳と17-18歳との年齢間の比較については、少なからず、身長や体重といった形態および筋群の量的発育の差が大きい可能性は否めないと考えられる。また、本研究では、方向転換走能力の発達について横断的に比較検討するため、58名の参加者を13-14歳、15-16歳、17-18歳の2歳階級ごとに分類して比較したが、今後は、参加者を増やして、年齢毎に発育(現量値)、発達(現量値)曲線を比較、検討することも必要と考える。

方向転換走タイムの比較について、15-16歳と17-18歳の減速時間と加速時間は、13-14歳よりも有意に短かった(表II-3-2)。例えば、減速局面では、方向転換位置に近づくにつれて、身体には高い減速力が要求される(Stolen et al., 2005)。15-16歳と17-18歳は、13-14歳よりも0m位置通過速度が有意に高いうえに、短い減速時間を示したことを鑑みると、15-16歳と17-18歳は、13-14歳よりも加速から減速への速度調整の能力に優れていると推察される。また、15-16歳と17-18歳の方向転換後の加速時間についても、13-14歳よりも有意に短かった。さらに、方向転換後の最大加速度についても、加齢とともに、高い加速度を示しており、これらのことが、結果として、0m位置の

通過速度に影響を及ぼし、加速時間の差に繋がったと考えられる。一方、カッティング時間は、加齢とともにわずかな短縮傾向を示したものの、年齢間において有意な差は認められなかった（表Ⅱ-3-2）。カッティング時間は、4m位置から方向転換位置までの1m区間を、Lavegを用いて計測を試みたが、その際、Lavegが照射する参加者の計測位置が、方向転換動作中に回転していくため、測定精度における個人の差は少なからずあると思われる。したがって、方向転換動作については詳細に言及することはできない。方向転換動作について、方向転換の際には、支持脚側の股関節、膝関節、足関節の伸展動作が必要となるため（稲葉・深代，2010）、下肢筋力・パワーは、方向転換時に重要な力発揮能力であると考えられたが、脚伸展パワー（対体重値）は、年齢間で有意な差は認められなかった。このことについて、本研究では、利き脚よる脚伸展の動作速度を1.0m/sの速度で設定したが、特に、13-14歳の一部の思春期前の選手には、設定速度に合わせてパフォーマンスが十分に発揮出来たか疑問が残る。そのため、今後は、動作速度の設定も含め、下肢筋力・パワーの評価方法を改めて検討する必要がある。

方向転換走タイムにおける各局面の時間比率では、各年齢とも加速時間が最も高く、次に、カッティング時間、減速時間の順であった。しかし、すべての局面の時間において、年齢間で有意な差は認められなかった（表Ⅱ-3-4）。例えば、Hader et al. (2015)は、16歳のエリートサッカー選手に対して、本研究と同じLavegを用いて方向転換走の減速局面の速度を比較した結果、極端な減速は、方向転換動作だけでなく、結果として、方向転換後の加速を遅らせる可能性がある」と指摘している。このことから、方向転換の局面では、減速-方向転換動作-加速の局面が相互に関係することで成立していることが理解できる。すなわち、本研究では、各局面の時間比率において年齢間に差はみられなかったが、各局面の時間比率を評価することは、選手の方向転換走能力の向上のための指針となるだけでなく、選手のウィークポイントの特定および改善に役立つものと考えられる。

各年齢の方向転換走能力を構成する下位能力の寄与率の違い

各年齢の方向転換走能力を構成する下位能力の影響の違いを明らかにするため、方向転換走タイムに関係する変数を用いて、一括投入法による重回帰分析を行った。その結果、13-14歳では、方向転換走タイムと30m走タイムのみ関係性が認められ、13-14歳の方向転換走能力では、スプリント能力が最も影響を与える能力であることが示唆された。標準偏回帰係数 β は0.59であった。また、13-14歳の方向転換走タイムとカッティング時

間、30m 走タイムとの間にそれぞれ相関関係が認められた。例えば、サッカー選手のスプリント能力を学年別に評価した研究によると（星川ほか，2012），中学 1，2 年生のみ，年齢，身長，体重のいずれもが 20m 走タイムとの間に負の相関関係が示されており，したがって，この年代の早熟傾向にあるサッカー選手は，スプリント能力などの発達が優れる傾向にあると推測される。また，本研究の 13-14 歳の方向転換走タイムと 30m 走タイムとの間においても高い相関関係が認められたことを考慮すると（表 II-3-5），13-14 歳において，高いスプリント能力を有しているサッカー選手は，結果として，方向転換走能力においても優れる傾向にあると推察される。

15-16 歳と 17-18 歳の方向転換走タイムと関係性が認められたのは，15-16 歳では，カッティング時間，17-18 歳では，カッティング時間と 30m 走タイムであった。また，15-16 歳の方向転換走タイムは，カッティング時間と 30m 走タイムおよび脚伸展パワーとの間に相関関係が認められた。例えば，筋力・パワーの発達については，PHVA から FHA の時期が高いことが報告されている（Philippaerts et al., 2006）。また，日本人の PHVA は，13 歳頃と報告されているが（Suwa et al., 1992 ; Tanaka et al., 1988），この頃になると，第二次性徴に起因する思春期発育スパートの影響により，単位断面積当たりの筋力の増加速度が最も高くなると報告されている（船渡，1988）。これらのことから，筋力・パワーの発達の程度の差が，15-16 歳の方向転換走の下位能力の影響に関わっているものと推察される。一方，17-18 歳の方向転換走タイムは，カッティング時間および 30m 走タイムと関係性が認められた。標準偏回帰係数 β をみるとカッティング時間は 0.49，30m 走タイムが 0.50 であり，17-18 歳の方向転換走能力では，主に，カッティング能力とスプリント能力双方の能力によって構成されることが明らかとなった。

本章では，13 歳から 18 歳までの中学生および高校生男子サッカー選手を対象に方向転換走能力の発達特性を明らかにし，さらに，年齢ごとの方向転換走を構成する下位能力の影響の違いを明らかにすることを目的とした。その結果，15-16 歳と 17-18 歳の方向転換走タイムは，13-14 歳よりも有意に速かったが，15 歳以降の方向転換走能力のトレーニングナビリティは小さいと考えられる。また，各年齢の方向転換走タイムとカッティング時間および 30m 走タイムとの間に相関関係が認められ，カッティング能力とスプリント能力が方向転換走の主要な能力であることが示唆された。しかし，方向転換走を構成する下位能力の影響は年齢によって異なり，13-14 歳では，スプリント能力の影響が最も大きく，

加齢とともに、スプリント能力だけではなくカッティング能力の影響も大きくなることが示唆された。

v) 結論

本研究では、13歳から18歳までの中学生および高校生男子サッカー選手の方向転換走能力の発達特性を明らかにし、さらに、年齢ごとの方向転換走能力を構成する下位能力の寄与率の違いを明らかにすることを目的とした。その結果、以下の結論を得た。

- ・ 15-16歳と17-18歳の方向転換走タイムは、13-14歳よりも有意に短い時間を示したが、それらは、カッティング局面以外の差であることが示唆された。
- ・ 方向転換走能力を構成する下位能力は、加齢とともに異なり、13-14歳の方向転換走では、スプリント能力の影響が大きく、加齢にともない、スプリント能力だけでなくカッティング能力の影響が大きくなることが示唆された。

4. 方向転換走能力に影響を及ぼす要因に ついてのバイオメカニクス的アプローチ

i) 目的

本研究と同様の 180 度の方向転換走を用いた近年の研究(Dos'Santos et al., 2017; Jones et al., 2016 ; Jones et al., 2017) では, 方向転換を行う支持足 (Turn foot ; TF) だけでなく, 一步前の足 (Second foot ; SF) の地面反力も計測され, SF の高い水平方向の地面反力 (ブレーキ力) が, 方向転換走タイムの短縮に影響することが報告されている. このことは, 180 度の方向転換走の減速時において, TF のみならず複数回の足接地によってブレーキをかけることの重要性を示唆している. 一方, 研究 2 において, 方向転換走タイムの速い群は, 遅い群よりも減速時に高い減速度を示し, さらに, TF を接地させる位置 (以下, 方向転換位置) から 1m 手前の速度は, 遅い群よりも有意に低い速度を示した. このことは, 方向転換走タイムが速い選手ほど, 早期から身体重心速度を減じていることを示唆するものであり, したがって, SF 以前の地面反力を検証することにおいても一考の余地があると考えられる.

方向転換走における運動学的知見について, 方向転換走を行う位置の内角 75 度の方向転換走や進行方向に対して 90 度の方向転換走では, 方向転換時に体幹を次の進行方向に傾けている選手ほど方向転換走タイムが優れていたことから (Havens and Sigward, 2015 ; Marshall et al., 2014), 次の進行方向に体幹を傾けておくことは方向転換走タイムを短縮させるために必要な運動技術の一つであると考えられる. 一方, 180 度の方向転換走では, 減速のために姿勢を後傾させること (Hewit et al., 2011) に加えて, TF の接地中およびその前後において方向転換 (回旋) 動作を行うが, これまでに水平面における方向転換動作の経時的な変化は示されていない. そのため, これらのことを示すことは, 180 度の方向転換動作の運動技術を高めるための基礎的資料になると考える. また, 大学生男子サッカー選手 13 名に進行方向に対して 135 度の方向転換走を行わせた研究では (川原ほか, 2019), タイムの速い上位群は, 支持足が接地する前から身体重心高を低くし, 減速を早期に終了させて加速に転じていたと報告されている. しかし, この研究では, 方向転換時に身体重心速度を有しているため, 身体重心速度を停止させる 180 度の方向転換走においても同じ様相を示すとは限らない. 加えて, 身体重心速度を停止させるためにどの程度身体重心高を下げれば良いのかなど, これまでに一定の基準は示されていない.

進行方向に対して 180 度の方向転換走の場合, 減速ー停止ー再加速の速度変化が生じるため, 特に, 身体重心速度を停止させるための運動技術が求められる. そのためには, どの位置からブレーキをかけて身体重心速度を減じ, 素早く方向転換を行い, 加速に転じて

いくのかを俯瞰的に捉え、総括的にデータ収集を行う必要がある。また、得られた変数と方向転換走タイムとの関係性を検討することは、トレーニングの着眼点を見出すことに繋がり、方向転換走能力の向上に寄与できる可能性があると考えられる。

この章では、高校生男子サッカー選手を対象に方向転換走能力に影響を及ぼす要因について、バイオメカニクス的手法を用いて方向転換走における運動学および運動力学的分析を行ない、方向転換走タイムとの関係性について検討することを目的とした。

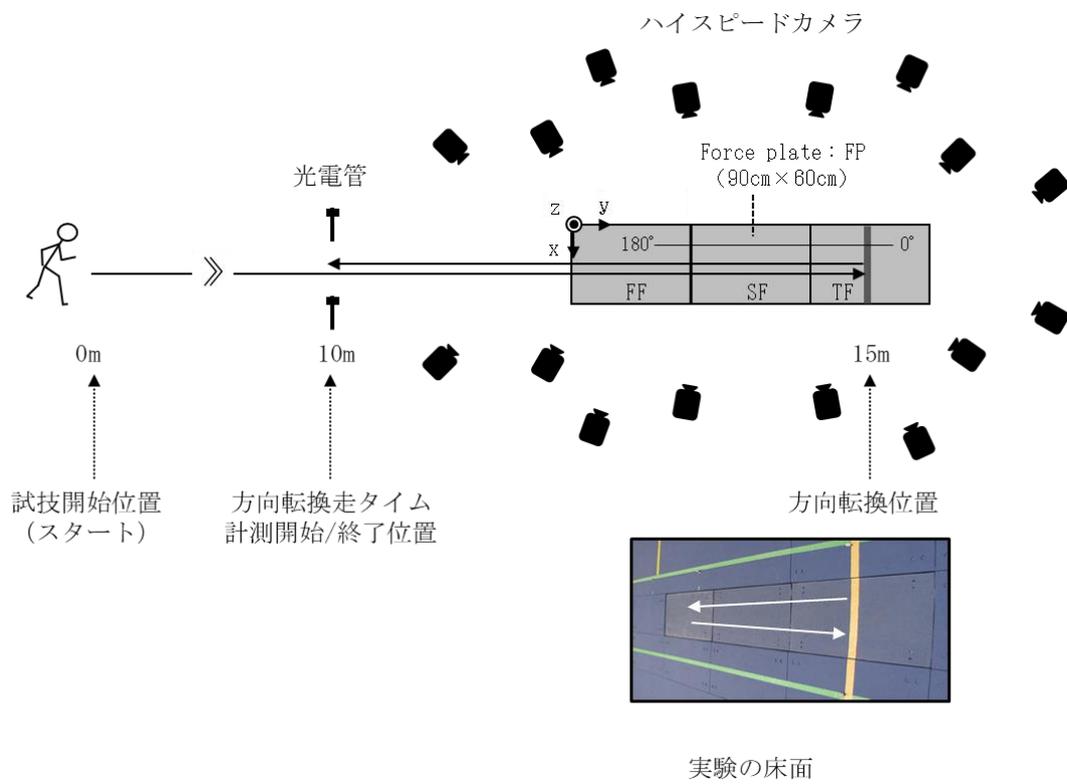
ii) 方法

1) 参加者

参加者は、高校生男子サッカー選手 11 名（年齢： 17.0 ± 0.6 歳，身長： 174.7 ± 5.0 cm，体重： 60.8 ± 7.1 kg，競技経験年数： 8.5 ± 1.9 年）であり，全員がフィールド選手であった。参加者には，文書にて実験の目的，方法，危険性およびデータの管理方法等について十分に説明し，インフォームドコンセントを書面で行い，参加者から実験参加の同意を得た。なお，本研究は，日本体育大学倫理審査委員会（第 010-H27 号）の承認を得た後に実施した。

2) 実験設定

方向転換走の計測は，室内での陸上トラック走路で行った（図 II-4-1）。測定試技は，これまでと同様の試技方法で実施した。参加者には，試技開始位置の 0m 位置から方向転換位置までを全力で走るように指示し，15m 位置で素早く 180 度の方向転換を行い，再び 10m 位置までの 5m の距離を全力で走り抜けるように指示した。本研究が分析対象とする方向転換走のタイム（以下，方向転換走タイム）は，10m 位置から 15m 位置までの 5m 区間の往復時間とした。参加者には，出来るだけ回り込むような動作にならずに方向転換位置に利き足（本研究では競技中にボールを主に扱う方の足と定義した（本研究では全員右足））を触れさせて素早く方向転換を行うように指示した。また，走路には，方向転換位置を基準に 3 枚の地面反力計（Force plate, Kistler 社製，9287B, 1000Hz）を埋設した（図 II-4-1）。試技は，方向転換走タイム計測開始位置側から 1 枚目の地面反力計に接地する足を右足（First Foot, 以下 FF），2 枚目の地面反力計の接地を左足（Second Foot, 以下 SF），方向転換を行う支持足を右足（Turn Foot, 以下 TF）で行い，さらに，方向転換後では，再び SF, FF の順に地面反力計に接地するように指示した。FF 方向転換位



図Ⅱ－４－１ 実験設定

置はラインテープでわかりやすく表示し、FP 側面にはラインテープで 1.2m 幅程度の走路を作成した（図Ⅱ-4-1）。参加者は、計測前に 3 枚の FP に足の接地を合わせて試技が行えるように十分に練習を行った。試技中、参加者のシューズが FP から外れたり、2 枚の FP を跨ってしまった場合は失敗試技とした。さらに、参加者のシューズが方向転換位置のラインに触れたか否かについては、方向転換位置の側方に測定検者を配置して目視し、確認が困難な場合には設置したビデオカメラで確認した。なお、本研究は、個人の最も優れた値を評価することが指導現場において有用であるとの考えから、参加者の最高値（最も方向転換走タイムの速い試技）を記録として採用した。

3) データ収集

方向転換動作の撮影は、光学式3次元動作解析システム（Vicon Motion Systems 社製、200Hz）を用いて、身体分析点47点の3次元座標を計測した。VICON座標系及びFPの座標系は、計測ソフトウェア（VICON Nexus Motion Capture Software ver. 2.3）によって統一した。計測空間の座標系は、方向転換走の進行方向（前後）をY軸、鉛直方向をZ軸、左右方向をX軸とした。3枚のFPから地面反力データを収集した。方向転換走タイムの計測は、光電管（DKH社製）をタイムの計測開始および終了位置（図Ⅱ-4-1）側方に設置して計測した。なお、3枚のFP、光電管のデータおよび信号は、トリガ信号変換器（九州ハードシステム社製）を用いてモーションキャプチャシステムとすべて同期した。

4) 分析項目

FF から TF 接地までを方向転換走における減速局面、TF 接地-離地を方向転換局面と定義した。また、FF から TF の離地までの時間を 100%としてデータを規格化した。反射マーカの 3 次元座標値は、Schreurs et al. (2017) の先行研究を参考に四次のバターワース型ローパスフィルターを用いて遮断周波数 10Hz で平滑化した。VICON から得られた参加者の身体重心位置座標は、計測ソフトウェア（VICON Nexus motion Capture Software ver. 2.3）の VICON plug in gait model を用いて算出した。身体重心位置座標から、立位姿勢時の身体重心位置を 100%とした身体重心高の相対値、身体重心速度、各身体分析点の座標成分から、骨盤回旋角度をそれぞれ算出した。骨盤回旋角度は、セグメント座標における XY 平面の Y 軸と Global coordinate system の X 軸がなす角度と定義

した。各関節の角度の計測については、解剖学的正位を基準とした。各 FP における地面反力は、参加者の体重値で除した値を用い、さらに、地面反力を時間積分し力積を算出した。足接地・離地のタイミングは、先行研究 (Jones et al., 2017) を参考に、地面反力データが 20N を上回った瞬間、または、20N を下回った瞬間と規定した。TF 接地時において、身体重心速度がゼロとなる時間を基準に、減速および加速の水平方向および鉛直方向の力積を算出した。

5) 統計処理

各地面反力計の接地時間、地面反力最大値および力積の比較には、反復測定の一元配置分散分析を行い、その後の検定には、Bonferroni 法を用いた。また、FF 接地から TF 離地までの身体重心高の比較には、FF 接地時の値を基準に対応のない t 検定を行った。さらに、各変数と方向転換走タイムとの関係は Pearson の相関分析を用いて検定した。解析ソフトウェアは、SPSS Statistics ver. 22.0 (IBM 社製) を用いた。いずれの検定においても危険率 5%未満をもって有意とし、10%未満は有意傾向とした。

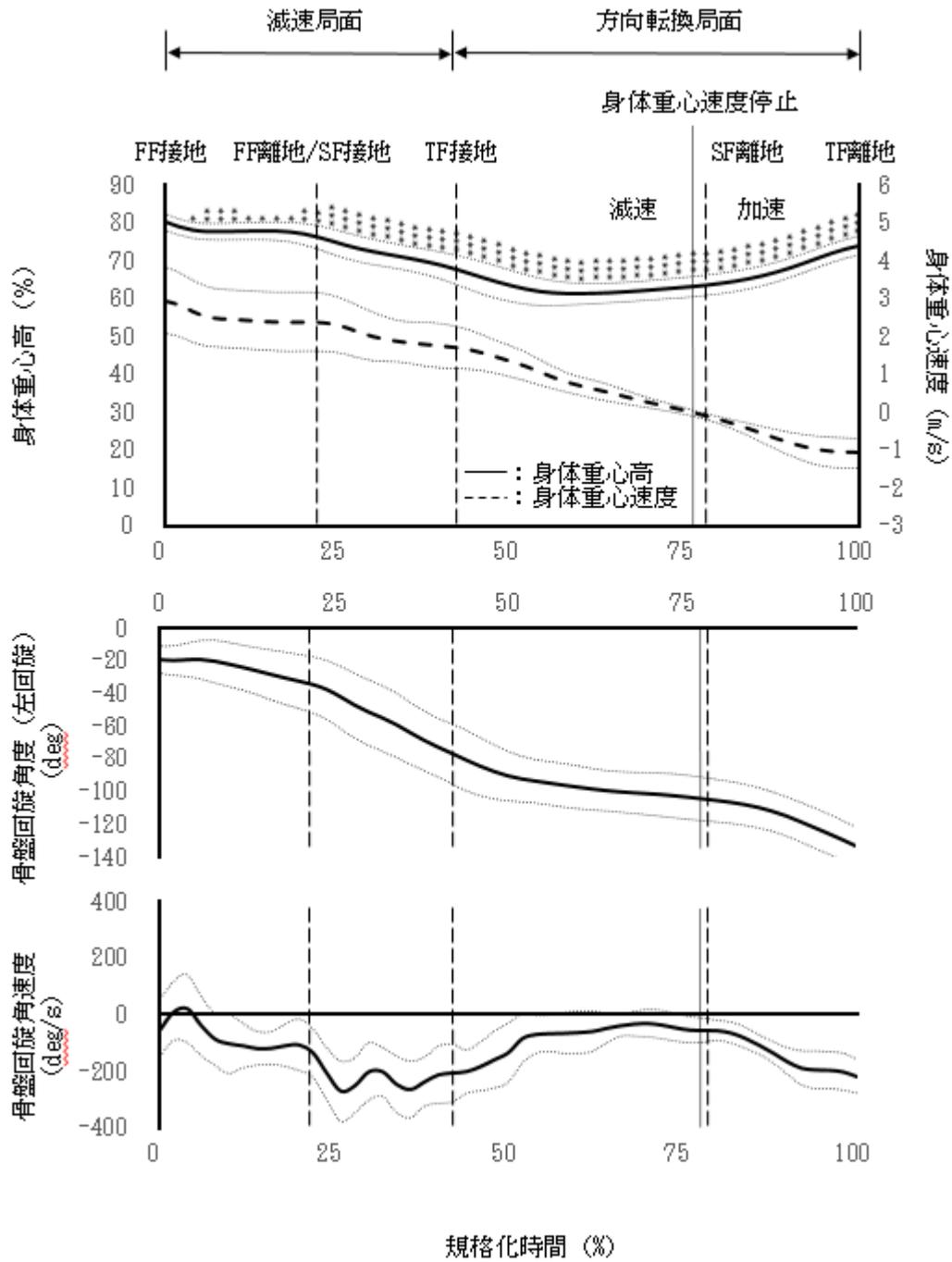
iii) 結果

本研究の参加者全員の平均方向転換走タイムは、 2.36 ± 0.10 秒であった。表 II - 4 - 1 には、各地面反力計の接地時間、地面反力最大値および力積を示した。分散分析の結果、FF の接地時間は SF や TF よりも有意に短かった ($p < 0.001$)。また、地面反力最大値は水平方向と鉛直方向ともに FF が最も高値を示し、それぞれ有意な差が認められた (水平方向、 $p < 0.006$; 鉛直方向、 $p < 0.001$)。水平方向の力積では、TF が FF や SF よりも高値を示し有意な差が認められた ($p < 0.001$)。同様に、鉛直方向の力積についても TF が、FF や SF よりも高値を示し有意な差が認められた ($p < 0.001$)。TF 接地時における減速の力積は、水平方向は -2.49 ± 0.35 (Ns/kg)、鉛直方向は 3.19 ± 0.42 (Ns/kg)、加速の力積について、水平方向は -1.85 ± 0.21 (Ns/kg)、鉛直方向は 2.42 ± 0.24 (Ns/kg) であった。なお、方向転換走タイムと各地面反力計の接地時間との相関関係では、FF は $r = -0.41$ 、SF は $r = 0.12$ 、TF は $r = 0.57$ であり、TF の接地時間と方向転換走タイムとの関係は 0.1% で有意傾向であった。

図 II - 4 - 2 には、FF 接地から TF 離地までの身体重心高・速度および骨盤回旋角度・角速度の変化を示した。身体重心高は FF 接地時には 78% から SF では 62% まで低下し、TF 離地時には再び 73% まで上昇した。FF 接地時の身体重心高を基準値として t 検定を行った結果、規格化時間 4% から TF 離地までの身体重心高は有意に低かった ($p < 0.05$, $p < 0.01$, $p < 0.001$)。身体重心速度は、 2.46m/s で FF に接地し、その後 SF 離地時に身体重心速度はほぼゼロを示した。骨盤回旋角度は、進行方向に対して 20 度左回旋した状態で FF に接地し、TF 接地時には進行方向に対して、90 度の回旋角度を示し、加速とともに角度が大きくなる傾向を示した (図 II - 4 - 2, 表 II - 4 - 2)。表 II - 4 - 3 には、FF および SF の力積と TF 接地時の鉛直および水平方向の身体重心変位量との相関関係を示した。その結果、FF の水平方向の力積と水平方向における身体重心変位量との間に正の相関関係が認められた ($r = 0.81$, $p < 0.002$)。表 II - 4 - 4 には、TF 接地時の各変数と方向転換走タイムとの相関関係を示した。その結果、加速の水平方向の力積、離地時の身体重心高および身体重心速度と方向転換走タイムとの間に、それぞれ正の相関関係が認められた (水平方向の力積 : $r = 0.62$, $p < 0.040$, ; 身体重心高 : $r = 0.61$, $p < 0.048$; 身体重心速度 : $r = 0.78$, $p < 0.004$)。

表Ⅱ－４－１ 地面反力計の接地時間，最大値および力積の比較

変数	FF		SF		TF	p	η^2
接地時間 (秒)	0.17±0.03	a, b	0.43±0.09		0.49±0.05	<0.001	0.907
地面反力最大値							
水平方向 (N/kg)	-29.03±10.75	b	-23.34±4.68		-18.98±4.46	0.006	0.397
鉛直方向 (N/kg)	54.43±14.29	a, b	32.40±4.17	c	24.00±5.41	<0.001	0.797
力積							
水平方向 (Ns/kg)	-1.04±0.32	a, b	-1.80±0.29	c	-4.34±0.44	<0.001	0.955
鉛直方向 (Ns/kg)	2.22±0.41	b	2.43±0.29	c	5.62±0.50	<0.001	0.958
a : FF VS SF							
b : FF VS TF							
c : SF VS TF							



図Ⅱ-4-2 FFからTF離地までの身体重心高・速度および骨盤回旋角度・角速度

表Ⅱ－４－２ 地面反力計の接地時・離地時の身体重心高，
速度および骨盤回旋角度

変数	FF	SF	TF
身体重心高 (%)			
接地時	78.7±2.3	74.0±2.7	63.9±4.2
離地時	77.3±3.5	62.3±2.8	73.1±2.7
変化率 (%)	-1.72±3.13	-15.16±4.10	15.50±6.64
身体重心速度 (m/s)			
接地時	2.46±0.18	1.98±0.20	1.31±0.17
離地時	2.07±0.21	0.31±0.35	-0.91±0.09
変化率 (%)	-15.97±4.37	-84.36±17.47	-171.38±11.15
骨盤回旋角度 (deg)			
接地時	-19.5±9.3	-41.0±15.8	-90.6±12.9
離地時	-27.5±13.8	-99.0±12.4	-127.6±11.9
変化率 (%)	21.14±70.12	190.89±162.56	42.13±12.66

表Ⅱ－４－３　FF および SF の力積と TF 接地時の
身体重心変位量との相関関係

水平方向 (y) の変位量との相関係数		
力積	p	r
FF 水平方向	0.002	0.81 **
FF 鉛直方向	0.604	0.18
SF 水平方向	0.832	0.07
SF 鉛直方向	0.860	-0.06
鉛直方向 (z) の変位量との相関係数		
力積	p	r
FF 水平方向	0.667	0.15
FF 鉛直方向	0.577	0.19
SF 水平方向	0.213	-0.41
SF 鉛直方向	0.360	0.31

・ 水平方向の変位量：33.2±4.6 (cm)
 ・ 鉛直方向の変位量：14.2±3.7 (cm)
 **: p<0.01

表Ⅱ－４－４ TFの各変数と方向転換走タイムとの相関関係

変数	p	r
力積		
減速 水平方向	0.954	-0.02
鉛直方向	0.111	0.51
加速 水平方向	0.040	0.62 *
鉛直方向	0.884	0.05
身体重心		
離地時の身体重心高	0.048	0.61 *
離地時の身体重心速度	0.004	0.78 **
骨盤		
離地時の骨盤回旋角度	0.176	0.44
離地時の骨盤回旋角速度	0.966	-0.02
* : p<0.05, ** : p<0.01		

iv) 考察

本研究では、高校生男子サッカー選手を対象に方向転換走能力に影響を及ぼす要因について、バイオメカニクス的手法を用いて方向転換走における運動学および運動力学的分析を行ない、方向転換走タイムとの関係性について検討することを目的とした。

各地面反力計の変数をみると（表Ⅱ－４－１），SFの水平方向および鉛直方向の地面反力最大値がTFよりも高値を示したことが、加えて、TFの力積がSFよりも高値を示したことは、同じ180度の方向転換走を用いた先行研究（Jones et al., 2106）と同様の傾向であった。一方、本研究によってFFの地面反力最大値がSFやTFよりも高値を示したことは、180度の方向転換走の研究における新たな知見である。そのため、FFの具体的な変数を示したことは、身体重心速度を減じるために生じる運動技術の変化を捉えるうえで意義のある実験設定であったと思われる。しかし、本研究では、3枚の地面反力計に足の接地を合わせることで180度の方向転換を計測しているが、実際には、それぞれの地面反力計に足の接地を合わせることに苦慮していた参加者も存在した。したがって、本研究では、あくまでも足の接地を各地面反力計に合わせて方向転換を行った中で得られた結果をもとに論じていくこととする。

FF接地からTF離地までの身体重心高は、FF接地時が最も高く、その後は有意に低値を示した。また、身体重心高は、規格化時間60%で最低値を示し、その後は、緩やかな上昇傾向を示した。水平方向の身体重心速度は、FF接地時は2.46m/sの速度を有し、身体重心高の最低値を示した規格化時間60%では0.68m/sまで減速していた（図Ⅱ－４－２）。一方、骨盤回旋角度は、FF接地からTF接地までに、進行方向に対して70度左回旋し、特に、SF接地からTF接地までの骨盤の回旋が大きいことが明らかとなった（図Ⅱ－４－２，表Ⅱ－４－２）。FFの水平方向の力積と水平面における身体重心変位量との間に有意な相関関係が認められた（表Ⅱ－４－３）。すなわち、FF接地時に大きな力積を獲得している参加者ほど、TF接地時の水平面における身体重心の移動距離（変位量）が短く、減速－停止－再加速の一連の方向転換を素早く行っていたと考えられる。サイドステップによる繰り返し動作に着目した研究によると（亀田ほか，2017），タイムの劣る下位群は、繰り返し動作時の水平面における身体重心変位量が大きく、さらに、身体重心速度を停止させるために股関節と膝関節を過度に屈曲させて繰り返し動作を行っていたと報告されている。そのため、本研究のTF接地中の身体重心変位量の大きい参加者においても、TF接地時には、股関節や膝関節をより屈曲させて身体重心速度を減じていたと予想される。この時、

SF は次の進行方向へ身体を回旋させる、または、身体重心を加速させるために離地し、TF 離地後に再び接地する。その際、TF の股関節や膝関節を過度に屈曲させた状態では、(身体重心高が低く) SF の離地から再接地までの時間の確保が難しくなると考えられる。そのため、TF 接地時の水平面における身体重心変位量の大きい参加者は、SF の時間確保のために身体重心高をより上昇させてから加速に転じていたのではないかと推測される。結果として、これらのことは、水平面の移動時間を評価するうえで時間のロスに繋がると考えられる。

方向転換走タイムとの相関関係が認められたのは、TF における加速に転じる際の水平方向の力積、TF 離地時の身体重心高および身体重心速度であった(表 II-4-4)。すなわち、方向転換走タイムが優れる参加者ほど、TF 離地時には身体重心高を低くし、身体重心を加速させるために必要な水平方向の力積を獲得していることが示唆された。また、TF 接地時の骨盤回旋角度は、次の進行方向に対して 90 度であった。その後、TF の離地までにおよそ 40 度の回旋動作が生じていた(表 II-4-2)。このことについて、有意な相関関係は認められなかったものの、方向転換走タイムが優れる選手ほど、TF 離地時には骨盤回旋角度を次の進行方向へ回旋させていた(Marshall et al., 2014)(表 II-4-4)。それらは、身体重心速度を停止から加速させるための股関節や膝関節および足関節の伸展・底屈動作による下肢の一連の連動動作によるものと考えられる(亀田ほか, 2019)(図 II-4-2)。しかし、これらの動作を迅速、かつ、身体重心速度を加速させるための大きな力積を得るためには、TF の接地までに身体重心速度を減じ、TF 接地後の身体重心速度を停止させるまでの身体重心変位量を小さくすることが大切であると思われる。

研究 2 において、方向転換位置を含む 1m 区間の移動時間が、方向転換走タイムに最も影響することが示唆された。本研究においても、TF 接地時間と方向転換走タイムの相関関係は 0.1% で有意傾向であった。すなわち、TF 接地までに身体重心速度をより減じている参加者は、方向転換位置よりも手前で身体重心速度を停止させていたことから、TF の接地時間も短かったと考えられる。また、FF の水平方向の力積と TF 接地中における水平面の身体重心変位量との間には有意な相関関係が認められた。減速局面における FF の水平方向の力積(ブレーキ力)は、180 度の方向転換走タイムに直接的に関係するわけではないが、180 度の方向転換を最適に実行するための運動技術戦略の一つであると考えられる。つまり、FF において水平方向の高い力積(ブレーキ力)を獲得することで、SF 接地直後の回旋動作をスムーズにし、さらに、TF 接地時の身体重心速度の減速・停止までを最

小限に抑えることができると推察される (Hewit et al., 2013). そして、これらのことは、TF 接地時の力積量のうち、減速における力積を小さくし、加速への力積の比率を大きくすることに繋がるかもかもしれない。

高い競技レベルのサッカー選手において、高い脚筋力を有する選手ほど方向転換走タイムが優れていることが報告されている (Jones et al., 2017). 例えば、プロサッカー選手は、大腿部の筋断面積が大きく (星川, 2009), このことは、身体重心を急減速、急加速させるためにより大きな力積を獲得することができると予想される。そのため、本研究の参加者よりも高い下肢の筋力・パワー発揮能力を有する選手においては、本研究とは異なる結果を示すかもしれない。今後は標本数を増やしつつ、あらゆる年代の方向転換走を計測し、検討することも必要と考える。また、本研究では、参加者がサッカーのスパイクを履かず、普段とは異なるフィールド上で測定を行っているため、本研究の結果が、実際のグラウンドでのパフォーマンスと一致するとは限らない。このことは、本研究の限界である。

v) 結論

本研究では、高校生男子サッカー選手を対象に方向転換走能力に影響を及ぼす要因について、バイオメカニクス的手法を用いて方向転換走における運動学および運動力学的分析を行ない、方向転換走タイムとの関係性について検討した。その結果、以下の結論を得た。

- ・ 方向転換の 2 歩手前、すなわち、FF の水平方向の力積量が大きい選手ほど、TF 接地時の水平面の身体重心変位量が小さく、FF の力積 (ブレーキ力) が方向転換局面の移動時間に関係していることが示唆された。
- ・ TF 離地時には、身体重心高を低くし、より水平方向の力積量を獲得することが、方向転換走タイムを短縮させる手段の一つであることが示唆された。

第Ⅲ章 總括的議論

1. 方向転換走能力の評価方法の確立

本研究では、方向転換走中の経時的な速度変化から定量的データを収集し、得られた変数から方向転換走タイムに影響を及ぼす要因について検討することを目的とした。加えて、方向転換走能力の向上を目的とするトレーニング方法の示唆を得るために、バイオメカニクス的手法を用いて方向転換走における運動学および運動力学的分析を行い、方向転換走タイムとの関係性についても検討した。

方向転換走の試技は、505 agility test を改変し、参加者には、スタートから全力疾走を行わせ、180度の方向転換を含む5m区間のタイムを方向転換走タイムとした。このことは、至適速度の助走速度で行われる従来の505 agility test よりも、方向転換前後の速度変化の高低差が大きく、より急減速が課せられる試技方法であった。そのため、身体重心速度を減じる際には、より大きな運動量が要求された (Schot et al., 1995 ; Sigward et al., 2015)。その一方で、方向転換走における、減速局面のストライドの長さや頻度および姿勢調整は、方向転換で失われる時間（減速から停止まで）を最小限に抑えられる (Hewit et al., 2013)。このことは最適な方向転換を実行する上で重要な運動技術の一つであると考えられる。したがって、本研究で用いた急減速を伴う方向転換走は、身体重心速度を減じながら方向転換を行うという一連の運動技術を評価するものであり、それらを具現化できる評価方法の一つになりうると思われる。また、知覚情報および意思決定要因を除いた方向転換走能力を評価する手段は、様々な方法があり、評価方法によって方向転換を行う回数も異なるものの、複数回の方向転換が含まれる行う方向転換走では、どの点で巧拙がみられたのか判断しづらい。例えば、複数回の方向転換を要する方向転換走では、速い速度を維持しながら、より低い姿勢で物体（コーン）を周回するなど、速度を維持するために身体を屈めるといった操縦性が要求されると考えられる (Haff and Triplett, 2018)。その点、本研究が用いた方向転換走は、進行方向に対して180度の方向転換を行うため、急減速、急加速が要求される試技であり、身体的要素（スプリント能力と脚筋群特性）と技術的要素（方向転換動作）の掛け合わせによって、遂行される試技方法であったと言える。

試合中に要求される方向転換は無数にあり、それらを忠実に再現し、評価しようとすることは不可能である。試合中のアジリティは、ボールの状況や相手の動きなど、刺激に対する反応として発生するため、知覚情報および意思決定要因の影響が最も高いと考えられ

るが、これらは、ゲームの状況や対峙する相手との駆け引きに対して起こる。しかし、いくら相手との駆け引きにおいて常に優勢な状況を作り出せる選手でも、その後の方向転換や移動スピードに劣る場合には、たとえ相手をかかわすことに成功したとしても追いつかれてしまうだろう。反対に、駆け引きが苦手な守備の選手でも、方向転換走能力に優れているならば、相手にかわされた後でも、素早く対応することができるかもしれない。本研究では、減速・(停止)・加速といった速度の高低差の大きい方向転換走の試技方法であったが、方向転換走中の経時的な速度変化から定量的データを収集し、方向転換走能力の評価を試み、得られた変数からサッカー選手の方向転換走能力の巧拙を示した。すなわち、本研究が用いた方向転換走は、サッカー選手における方向転換走能力の評価が可能となる試技方法であったと考える。

2. 経時的速度変化からみるサッカー選手の方向転換走能力の特徴

方向転換走の計測には、スプリント走の速度分析などに用いられる Laveg を使用した。まず、研究 1 では、Laveg を用いて方向転換走能力を捉えることが可能か否かとの視点にたって、計測データの再現性および妥当性について検討した。その結果、計測データの再現性では、1 回目と回目の試技の級内相関係数は 0.89 であり試技の再現性の高いことを確認した。加えて、光電管タイム Laveg から算出したタイムとの相関係数は $r=0.93$ ($p<0.001$) であった。一方、計測データの妥当性についても Laveg が対象者に照射している体幹部の速度変化と、身体重心速度を照らし合わせた結果、Laveg から算出した速度曲線は、概ね、身体重心速度と同様の速度変化を捉えていることを確認した。そのため、本研究では、Laveg を用いて 180 度の方向転換走を計測することが可能であると判断した。

研究 2 では、スポーツ経験のない同年代一般人との比較からサッカー選手の方向転換走能力を検証した結果、サッカー選手は、短い距離における加速力に優れるだけでなく、方向転換前の（最大速度を 100%とした際の）相対速度が一般人よりも有意に低く、サッカー選手は、減速力（ブレーキ力）が優れていることが示唆された。また、サッカー選手 70 名を対象に、方向転換走タイムの速い群（Fast 群）と遅い群（Slow 群）に分けて速度変化を比較した結果、タイムの計測開始位置である 0m 位置の通過速度では、Fast 群の方が有意に高い速度を示したが、方向転換位置直前の 4m 位置では速度が逆転し、Slow 群の方が高い速度を示した。このことは、前述の同年代一般人との比較と同様に、Fast 群は、加速力に優れるだけでなく、減速力も優れていた。反対に、Slow 群は、減速から速度を停止させるまでに時間と距離を要したため、結果として、カットイン時間も有意に遅くなったと考えられる（図 III-2-1）。また、方向転換走のすべての変数において、ステップワイズ法を用いて重回帰分析を行った結果、方向転換走タイムと最も強い関係性を示したのは方向転換位置を含む 1m 区間のカットイン時間であった。しかし、カットイン時間は、減速から速度の停止までの速度変化の比較から、方向転換前の減速力の影響を強く受けていることが示唆された（図 III-2-1）。

本研究では、Laveg を用いて、サッカー選手の方向転換走を評価することを試み、一定の成果を得ることができた。すなわち、方向転換走タイムに優れる選手は、方向転換前の加速力に加えて減速力に優れ、かつ、カットイン時間が短く、方向転換後の加速力も優れていた。これらのことは、方向転換走における新しい知見と言えよ

う。一方、Laveg を用いて方向転換の際の動作様式における測定精度（参加者の体幹部の計測焦点が反転していく）に関しては、実際に、Laveg によるレーザー光が体幹部のどのあたりを照射しているかは不明であり、個々人の差は少なからずある。このことは、Laveg における計測手法の精度の限界である。そこで、Laveg と動作分析による身体重心速度の誤差について調べたところ（表Ⅲ-2-1）、減速および加速それぞれの誤差(%Diff)は、9.33~9.40%であり、4m 位置の速度比較では、Laveg から算出した速度の方が、若干速い速度であった。これらのことは、体幹部を照射している Laveg と合成身体重心位置との体幹部の厚みや計測している位置の違い、あるいは、データの処理方法の違いなどの理由も考えられる。

また、本研究では、サッカー選手の方向転換走能力の特徴について検討を行ってきたが、他の競技者との比較は行っていない。そこで、表Ⅲ-2-2には、比較対象データとして、Laveg を用いてエリートバドミントン選手の方向転換走タイムを示した。エリートバドミントン選手は、東京都の高校生でインターハイ等の出場が期待されるレベルの選手であった。その結果、研究2のサッカー選手70名の平均値よりもバドミントン選手の方が速いタイムを示した。また、特に男子4名の方向転換走タイムは、本研究の方向転換走タイムの速い群（Fast 群）よりも明らかに速い値であった。これらの差について考えてみると、コートの大ささの違いが理由の一つとして考えられる。すなわち、バドミントン選手はサッカーよりも小さなコートでプレーをしていることから、より一步の移動の速さ（素早さ）が要求される競技であると考えられ、日頃のプレーをしている中で、一步の移動の速さが、より洗練化されているのかもしれない。

表Ⅲ－２－１ Laveg と動作分析による速度の誤差

Variable	Unit	Laveg	VICON	%Diff (SD)
		Mean (SD)	Mean (SD)	
4m 位置 (減速時)	m/s	2.20 (0.47)	1.92 (0.15)	9.40 (18.6)
4m位置 (加速時)	m/s	-1.90 (0.42)	-1.63 (0.13)	9.33 (26.8)

$$\%Diff = (\text{Laveg} - \text{VICON}) / \text{Laveg} * 100$$

Lavegから算出した速度の方が高い速度を示す

表Ⅲ-2-2 バドミントン競技選手との方向転換走タイムの比較

	高校生男子 サッカー選手	高校生 エリートバドミントン選手
人数	男子70名	男女12名 (男子4名, 女子8名)
Unit	Mean ± SD	Mean ± SD
年齢 (歳)	16.6 ± 0.8	16.4 ± 0.5
方向転換走タイム (秒)	2.56 ± 0.11	2.47 ± 0.18
	*Fast群 2.45 ± 0.04	*男子4名 2.26 ± 0.07 *女子8名 2.58 ± 0.10



コート小さい競技は、より一歩の動作が重要？

3. サッカー選手の方向転換能力の発達—子どもから大人—

研究3では、13歳から18歳までの中学生および高校生男子サッカー選手を対象に方向転換走能力の発達特性を明らかにし、さらに、年齢ごとの方向転換走能力を構成する下位能力の寄与率の違いを検討した。その結果、15–16歳と17–18歳の方向転換走タイムは、13–14歳よりも有意に短い時間を示したが、それらは、カッティング局面以外の差であることが示唆された。また、各年齢の方向転換走タイムは、カッティング時間および30m走タイムとの間に相関関係が認められ、カッティング能力とスプリント能力が方向転換走能力の主要な能力であることが示唆された。一方、方向転換走能力を構成する下位能力の影響は年齢によって異なり、13–14歳では、スプリント能力の影響が最も大きく、加齢とともに、スプリント能力だけではなくカッティング能力の影響も大きくなることが示唆された。

方向転換走能力の発達が最大となるのは、PHVAと重なる13から14歳頃であるとされている(Vänttinen et al., 2011)。例えば、日本人の身長成長速度がピークとなる標準的な時期は、男子では $153.4 \pm 5.5\text{cm}$ 、女子では $141.3 \pm 5.5\text{cm}$ と報告されており(Suwa et al., 1992)、これらの身長値を参考にすることで、選手の思春期前、思春期といった発育の区別もできると考えられる。一方、本研究の参加者の身体的特徴は、三島ほか(2018)の研究結果やスポーツ庁(2018)体力運動能力調査の全国データの平均値と比較して、13–14歳の身長と体重は、同年代の平均値よりも低かった。加えて、15–16歳の身長は全国データの平均値よりも高く、17–18歳は、身長、体重ともに全国データの平均値よりも高かった。これらのことから、本研究の13–14歳では、思春期前の選手も含まれていると考えられ、15–16歳と17–18歳との年齢間の比較については、少なからず、身長や体重といった形態および筋群の量的発育の差が大きい可能性は否めないと考えられる。また、本研究では、方向転換走能力の発達について横断的に比較検討するため、58名の参加者を13–14歳、15–16歳、17–18歳の2歳階級ごとに分類して比較しているが、今後は、参加者数を増やし、年齢毎に発育(現量値)、発達(現量値)曲線を比較、検討することも必要であろう。

思春期前の方向転換走能力の適応は、神経系の発達によってもたらされ、筋内および筋間のコーディネーション能力や運動の制御能力の向上によるものと考えられる(Lloyd et al, 2013)。そのため、神経系の発達が著しいとされる思春期前の選手には、素早い動きの

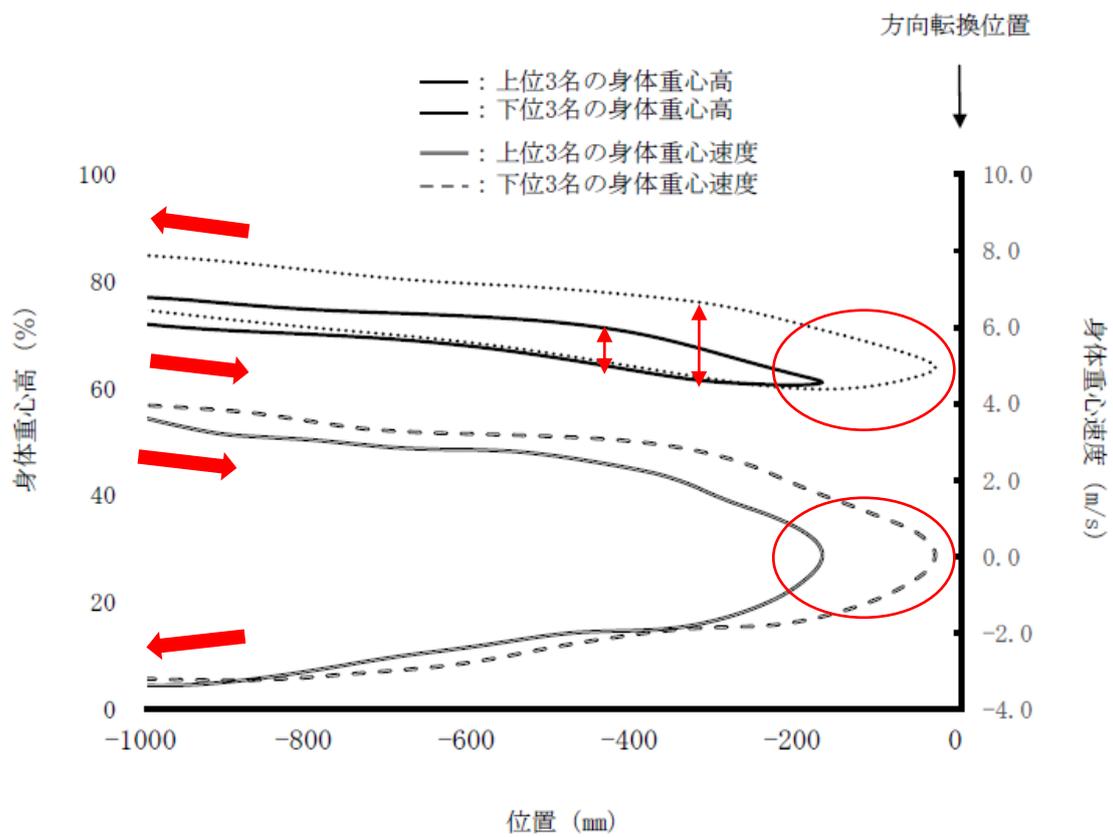
トレーニングが有効であるが、多様な動きの中でバランス感覚や空間認知能力などを養うコーディネーション（身体の使い方や動きの表現・バランスなど）能力を重点的に高めておくことも肝要であろう（JFA 指導指針，2017）。また，方向転換走能力のトレーナビリティの低いと予想される PHVA 以降では，筋力・パワーの発達に合わせて，方向転換走中の速度の高低に対応するためのストライド調整や足の配置（Sheppard and Young, 2006），カッティング時の姿勢の傾きやボディバランスなど，「動き」に主眼を置いたトレーニングの導入が望ましいと考えられる。また，複雑かつ複合的な動作の習得には，同じ動作の反復練習が重要であると考えられる。特に，本研究では，方向転換走において，加齢とともに方向転換位置を含むカッティング能力の影響が大きくなることが示唆されており，PHVA 以降では，ウォーミングアップ時に方向転換走を取り入れるなど，動作習得のための反復練習時間の確保も提案したい。さらに，力発揮能力の向上を目的とした筋力トレーニングを導入していくことで，方向転換走の減速局面や加速局面の時間短縮が期待でき，結果として，方向転換走能力の向上に繋がるかもしれない。

本研究では，主に，中学生および高校生男子サッカー選手の方向転換走能力について検討しているが，その特徴の一つとして，方向転換直前の減速力（ブレーキ力）に特徴がみられた。しかし，例えば，サッカーのプロ選手になれるような選手は，下のカテゴリーの選手と比べて，大腿部の筋断面積が大きいことが報告されている（星川，2009）。そのため，大学生あるいはプロ選手などは，大腿部の筋断面積が大きいことなどの影響から，（加速力だけでなく）より大きな減速力（ブレーキ力）を発揮できるのではないかと予想する。今後は，競技水準のより高い選手の方向転換走能力を評価し，検討することも必要と考える。

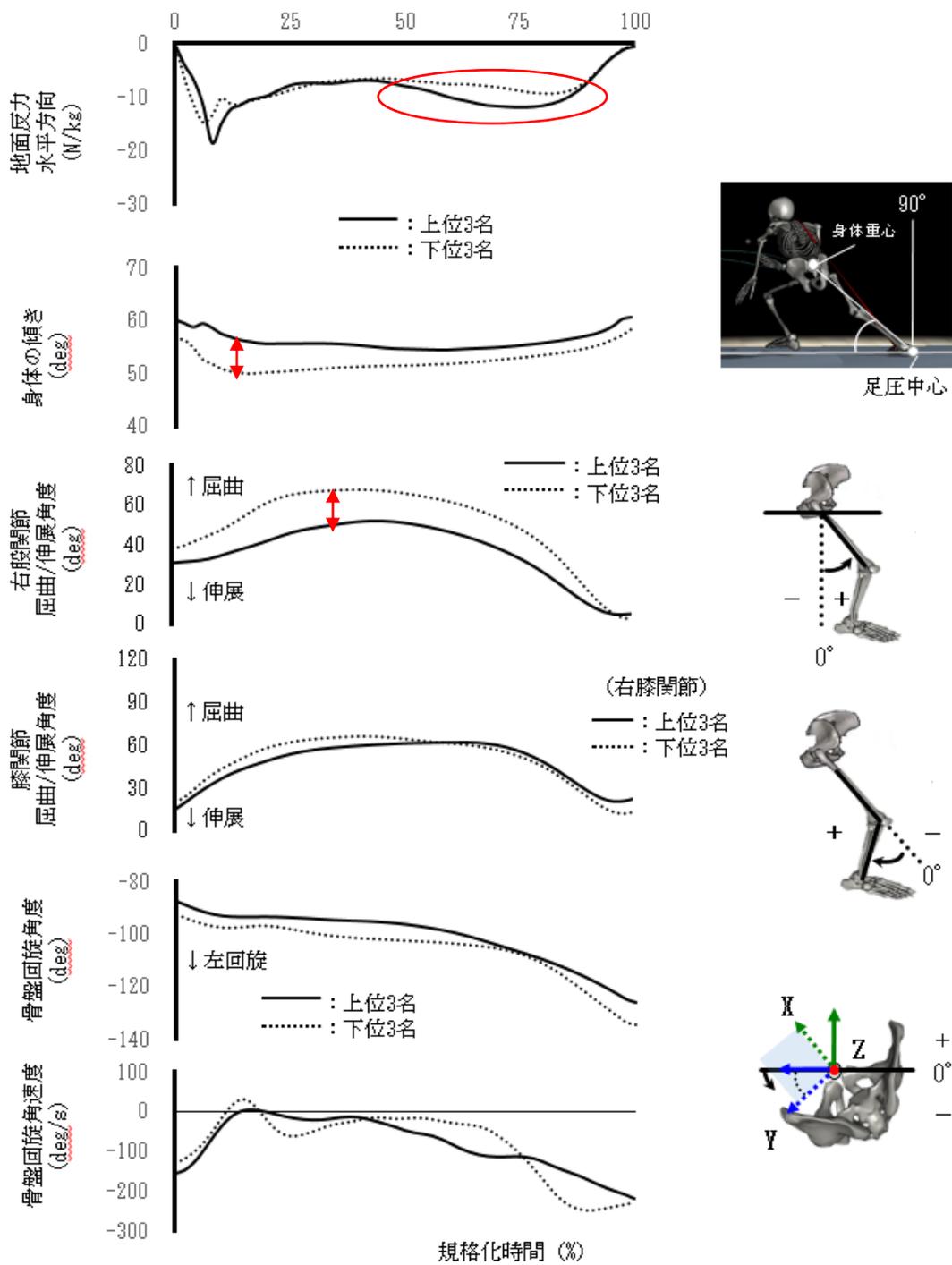
4. 方向転換スキルの獲得

方向転換動作の巧拙の特徴について、図Ⅲ-4-1には、研究4の参加者のうち、方向転換走タイムの速い選手3名（以下、上位3名）と遅かった選手3名（以下、下位3名）の1m区間の身体重心高と身体重心速度の変位を示した。図Ⅲ-4-1に示すように上位3名と下位3名の身体重心高は、身体重心速度を減じながら身体重心高を低くしていく様相は同じであったが、身体重心速度が加速に転じた後では、下位3名の身体重心高は上位3名よりも高く推移していた。また、身体重心速度では、下位3名のほうが1m位置から方向転換位置に近い位置まで速度を有していた。そこで、方向転換中にどのような違いがあるかを調べるために、図Ⅲ-4-2には、研究4におけるTF接地中の水平方向の地面反力、身体の傾き、右股関節と膝関節角度、水平面における骨盤回旋角度、角速度の変化を示した。身体の傾きは、YZ平面における身体重心位置と足圧中心を結ぶ線分と水平線のなす角度を求め、身体の傾き（角度）と定義した（Havens and Sigward, 2105）。

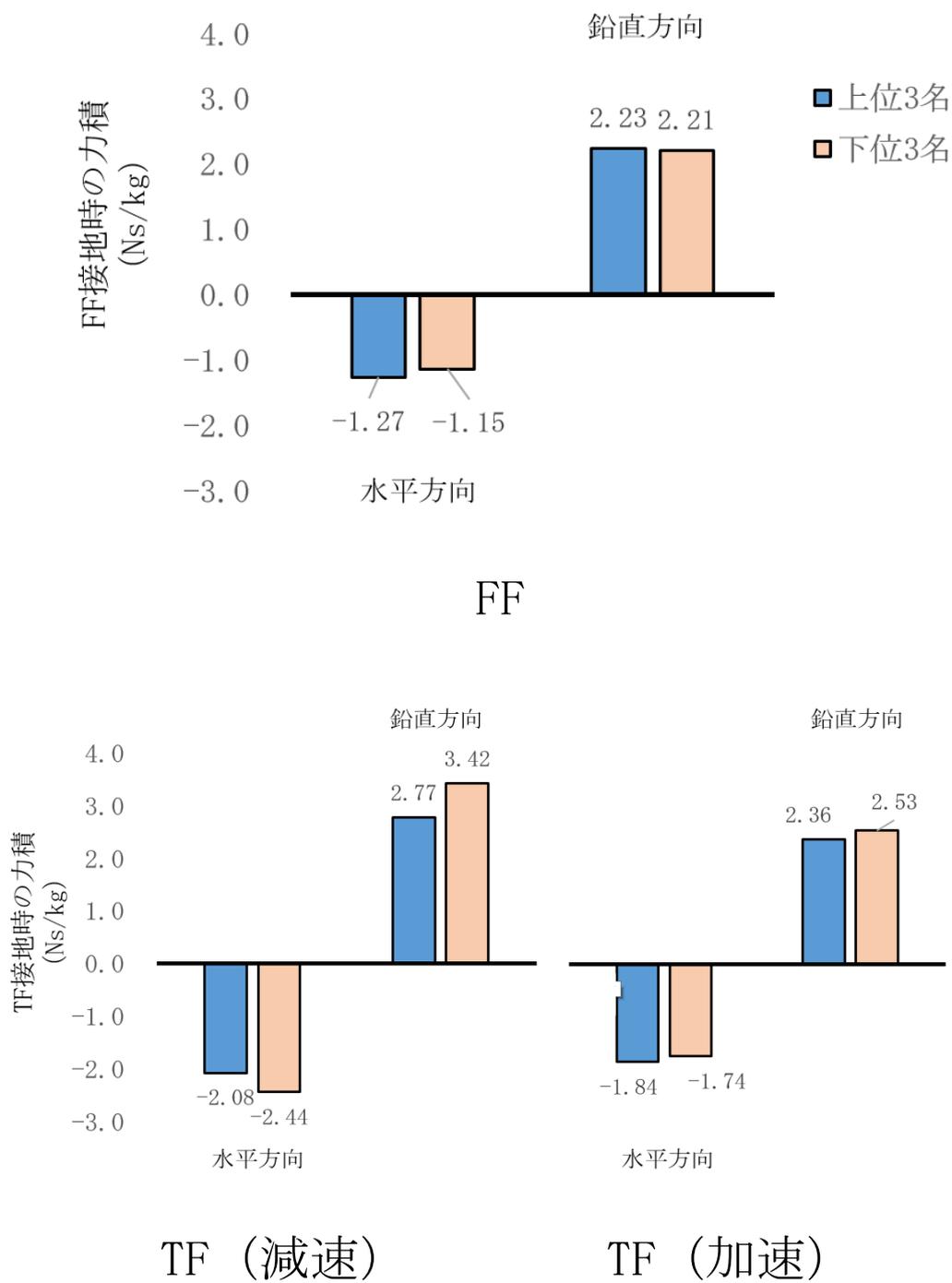
上位3名の地面反力は、下位3名と比べて規格化時間50%以降に大きな力発揮を示した。また、下位3名の右股関節は上位3名よりも屈曲角度が大きく、さらに、水平面における骨盤回旋角度には大きな特徴はみられないものの、下位3名の角速度は、上位3名よりもバラつきが大きい傾向を示した。下位3名は、身体重心速度の停止に時間と距離がわかり（図Ⅲ-4-1）、その結果、TF接地後、身体を（低く）傾け、股関節や膝関節をより屈曲させることで身体重心速度を減じていたと思われる（図Ⅲ-4-2）。SFは、TF接地中に、身体を次の進行方向へ向けるために一度離地し、そして、身体重心の加速に伴い再び接地する。つまり、下位3名のように身体重心の速度を停止させるために、身体を過度に傾けることや股関節を過度に屈曲させたままだと、次の進行方向へ身体を向けるためのSFによる（FP2の離地から再接地への）遊脚期の時間の確保が困難になると考えられ、したがって、下位3名のSFは、次の進行方向へ身体を向けるための（FP2の離地から再接地への）遊脚期の時間を確保するために、TFとともに身体重心を減速させながら、身体重心高をわずかに上昇させて加速に転じていたと推測する。図Ⅲ-4-3には、研究4におけるFFとTF接地時の上位3名と下位3名の力積を示した。その結果、方向転換2歩手前（FF）の水平方向手と鉛直方向の力積は、上位3名の力積が大きい傾向を示しているが、TF接地時の減速の力積は、下位3名の力積のほうが大きく、身体重心速度の停止のために必要な力積量を獲得していることが示唆できる。また、加速については、水平方向



図III-4-1 研究4における方向転換走タイム上位3名と下位3名の方向転換位置を含む1m区間の身体重心高と身体重心速度変化



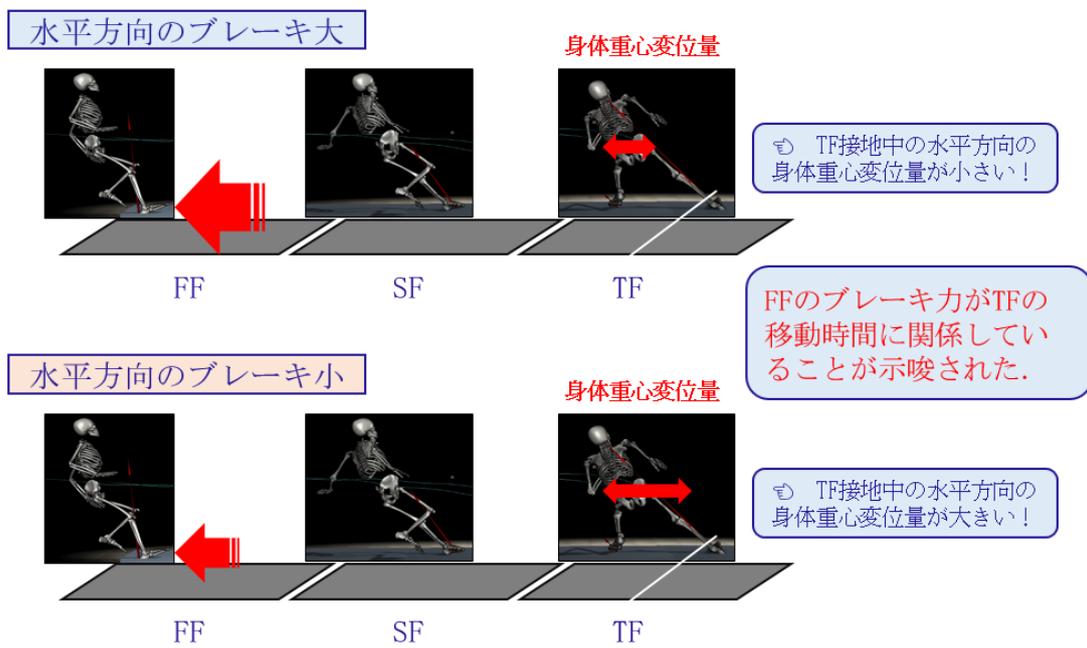
図III-4-2 研究4におけるTF接地時の地面反力，身体の傾きおよび関節角度変化



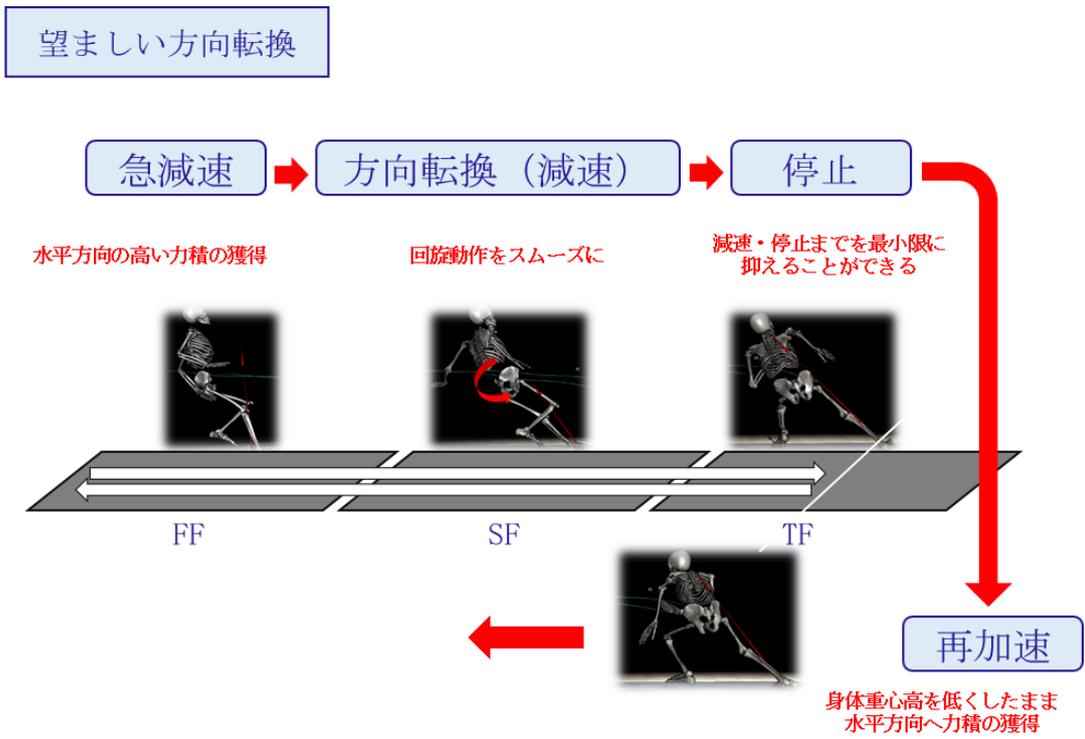
図Ⅲ-4-3 研究4におけるFFとTF接地時の上位3名と下位3名の力積

の力積は、上位 3 名の方が大きい値を示したが、鉛直方向の力積では、下位 3 名の力積の方が大きかった。このことは、図Ⅲ-4-1 で示す通り、身体重心高を上昇させるために鉛直方向の力積量を獲得していたと推察される。

研究 4 の結果から、FF の水平方向の力積と水平面における身体重心変位量との間に有意な相関関係が認められた。すなわち、FF 接地時に大きな水平方向の力積量を獲得している参加者ほど、TF 接地時の水平面における身体重心の移動距離（変位量）が短く、減速-停止-加速の一連の方向転換を素早く行えていたと考えられる（図Ⅲ-4-4）。これらの結果を整理し、図Ⅲ-4-5 には、方向転換スキル獲得のための模式図を示した。すなわち、方向転換を行う支持足の 2 歩手前では強いブレーキをかけ、1 歩前では身体重心高を下げながら、次の進行方向に対して 90 度まで回旋させ、支持足では、身体重心高を低く維持したまま水平方向に力強く地面を蹴ることで素早い方向転換走が実行出来ると考えられる。反対に、図Ⅲ-4-6 には、方向転換までに身体重心速度を減じることが出来なかった場合の模式図を示した。方向転換までに身体重心速度を減じることが出来なかった場合、より低い姿勢でブレーキをかける必要がある。その際、低い姿勢のままだと再加速に転じる際に次の進行方向へ体に向けるための一步を踏み出しにくくなるため、代償作用として、身体重心高を上昇させながら再加速をする必要がある。これらのことは、水平方向の移動時間を評価する方向転換走においてはタイムの遅延に繋がると考えられ、方向転換前の減速の程度によっておこる現象であると推測される。



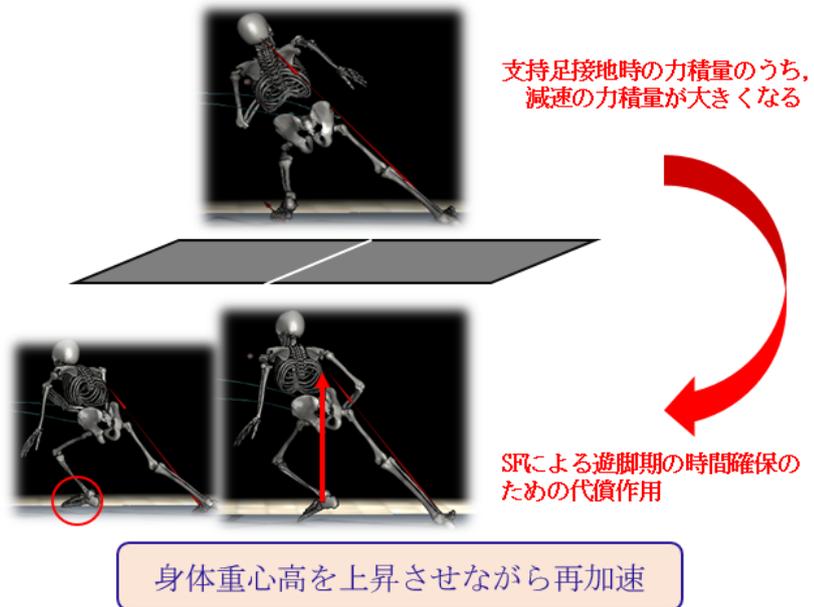
図Ⅲ－４－４ FFの水平方向の力積とTF接地中の水平方向の
身体重心変位量との関係



図Ⅲ－４－５ 方向転換スキル獲得のための模式図

望ましくない方向転換

より低い姿勢での急減速・停止



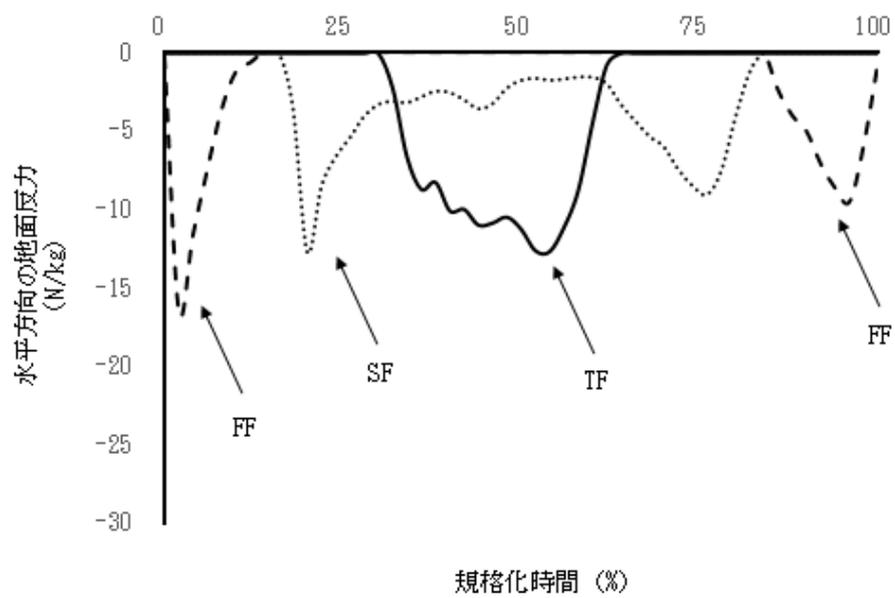
タイムの遅延に繋がる

図Ⅲ-4-6 望ましくない方向転換の模式図

5. 他競技選手への方向転換走能力評価の留意点

方向転換走能力に優れる選手は、方向転換の 2 歩手前からより大きなブレーキをかけ、身体重心を低く保ちながらも、TF 接地までに身体重心速度を十分に減じてから方向転換を行っていた。このとき、方向転換時には、体幹を過度に屈曲させずに、身体に傾きは 60 度程度に一定に保ちながら、身体重心速度を次の進行方向へ加速させるために必要な水平方向の力積量を獲得していたことが特徴として挙げられる。これらのことから、最適な方向転換を実施するためには、TF の接地までに身体重心速度を十分に減じておくことが大切であり、そのためには、方向転換の 2 歩手前、すなわち、FF での力積の獲得が重要であると考えられる。

一方、サッカー選手と他競技選手の方向転換走との比較について、例えば、バスケットボールにおけるピボット動作は、片足を軸足（ピボットフット）としてフロアに固定し、支持足（フリーフット）を動かすことを意味し、攻撃の際の基礎技術である。図Ⅲ-5-1 には、本研究と同じ 180 度の方向転換走を行ったバスケットボール経験者 3 名（年齢 21.0 ± 0.0 歳、身長 173.0 ± 0.6 cm、体重 64.9 ± 5.6 kg、競技経験年数 11.7 ± 3.8 年）の水平方向の地面反力を示した。その結果、バスケットボール選手は、サッカー選手の地面反力とは異なり、方向転換前の FF 接地時の地面反力が小さく、そして、SF（ピボット）は TF（フリーフット）の接地から離地までの間、離地することなく接地をしていた。このことは、方向転換時でのピボット動作の特徴を示していると考えられる。亀田ほか（2017）は、バスケットボール選手を対象に、サイドステップから（身体が向いている方向は替えない）素早い切り返し動作において、切り返し局面の時間が短い上位群は、切り返し動作時に股関節や膝関節をあまり屈曲させずに身体重心を切り返す方向に維持することで、短い接地時間で切り返し動作を可能にしていたと報告している。また、小山ほか（2015）は、競技レベルの高いバスケットボール選手は、サイドステップと逆方向への切り返し動作時において、上半身の姿勢変化が少ないことを報告している。つまり、バスケットボール選手の場合、ピボットフットの軸足（本研究では SF）と支持足（本研究では TF）のフリーフットの両足が接地した状態で方向転換を行うため、切り返し動作時に身体重心を切り返す方向に維持することを可能にしていると推察される。研究 4 における上位 3 名の TF 接地中の身体の傾きは、下位 3 名と比べて終始 60 度で安定していた（図Ⅲ-4-2）。このことは、TF 接地中の姿勢変化が少ないことを示しているかもしれない。その一方で、バスケット



図III-5-1 バスケットボール選手（3名）の180度の方向転換時の地面反力

トボール選手の場合、**SF**（ピボットフット）は、**TF**（フリーフット）接地中に常に接地しているため、方向転換（切り返し動作）時の身体重心速度を減じる際や加速をするうえで、**SF**や**TF**の力（力積）配分は、サッカー選手の方向転換動作とは異なることが予想される。これらのことは、今後の発展研究として、他競技の選手との比較、検討をすることで、サッカー選手の方向転換走能力向上のための新たな示唆を得られるかもしれない。

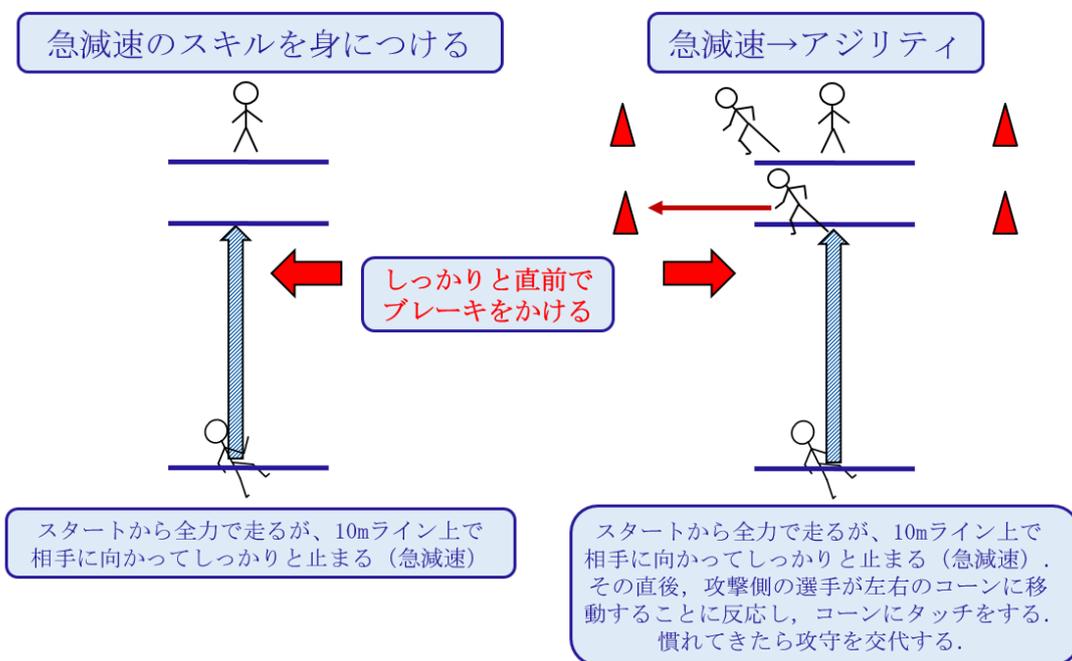
6. 方向転換走能力向上のためのトレーニングの視座

アジリティは、方向転換走能力に加えて、知覚情報および意思決定要因を組み合わせることで成立する (Haff and Triplett, 2018). 本研究では、知覚情報および意思決定要因を除いたアジリティの身体的観点 (方向転換走) を扱い研究を進めたが、実際の球技スポーツでの試合中に発生するアジリティは、対峙する相手やボールなどの刺激に反応し、方向転換走を行うことのほうが多いと考えられる. そのため、本研究で用いた方向転換走は、本来のアジリティ能力の評価において限定的であり、得られた知見を踏まえた指導方法だけでアジリティ能力が向上するとは考えにくい. あくまでも、アジリティの向上には、知覚情報および意思決定の能力と方向転換走能力の双方の能力を向上させる必要がある (Haff and Triplett, 2018).

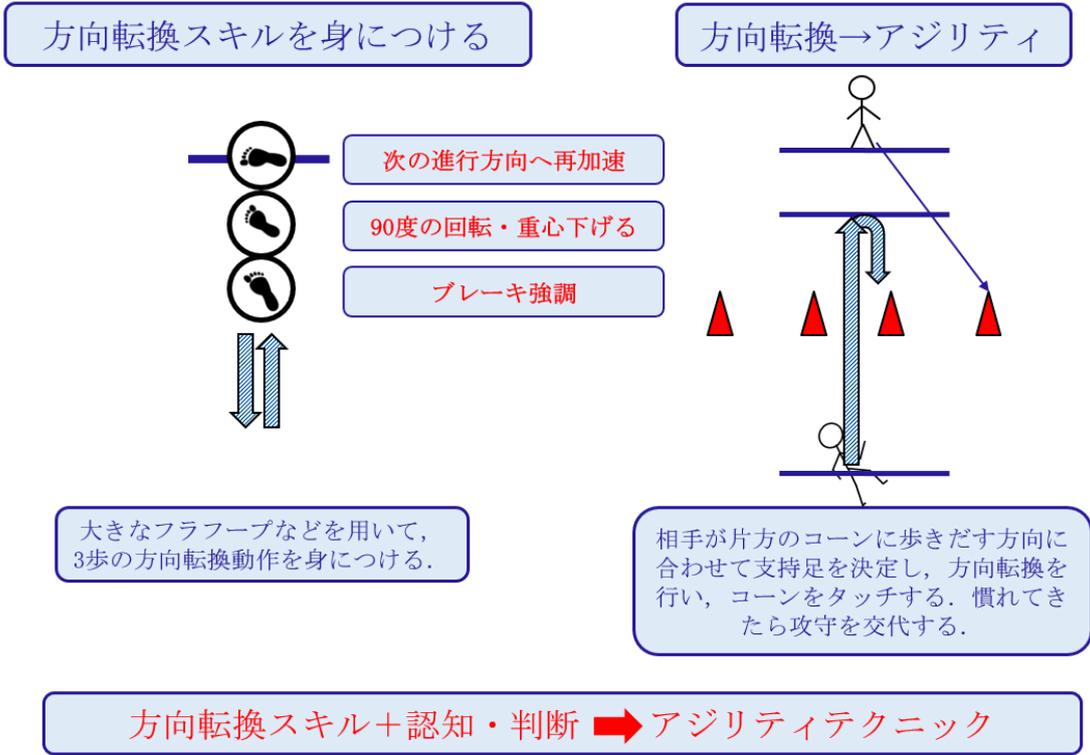
そこで、図Ⅲ-6-1, Ⅲ-6-2には、本研究で得られた知見をもとに、方向転換走能力を高めるためのトレーニング方法を提案する. まず、図Ⅲ-6-1では、加速から急減速 (ブレーキ) をかけるスキルを訓化させ、その後、急減速の直後に攻撃側の選手の移動に合わせて対応できるようにする. 慣れてきたら攻守を交代する. 図Ⅲ-6-2では、方向転換スキルとしてフラフープやラバーリングを用いて、「ブレーキ」「回転・重心を下げる」「加速」の順に、それぞれの要点を意識しながら、方向転換を行うようにする. 次に、先方に相手を配置し、相手がコーンに向かって歩き出す方向に合わせて素早く方向転換を行いコーンまで移動する. 慣れてきたら攻守を交代し、今度は、相手の動きとは逆方向へ方向転換を行うようにする. このように、減速や方向転換スキルを覚え、そして、相手の動きに合わせてたり、さらには、相手の動きの逆をつくようなかけ引きを組み合わせることで、より、競技に近いシチュエーションを作ることができ、アジリティのテクニックの向上に繋がるのではないかと考える.

これまでに、サッカーの指導書などにおいて、方向転換時の減速力 (ブレーキ力) がフォーカスされることは皆無であった. サッカー選手は方向転換時に支持足での加速に執着し過ぎる傾向があるため、身体重心速度を減じるためのスキルは疎かにされてきたのかもしれない. 本研究の結果から、方向転換前の減速力 (ブレーキ力) が方向転換時の移動時間に影響を及ぼすことが示唆されたことは、競技現場において有用な知見の一つとして提供することが出来よう (図Ⅲ-6-3).

最後に、本研究では、方向転換走能力を高めるためのトレーニングについて、いくつ



図Ⅲ－6－1 最適な方向転換走実現のためのトレーニングの提案①



図Ⅲ－6－2 最適な方向転換走実現のためのトレーニングの提案②

サッカー選手の方向転換は、支持足での加速に執着し過ぎている傾向



素早い方向転換を実行するためには、減速局面を疎かにしてはいけない！！



図Ⅲ－6－3 本研究の“take-home message”

かの検証実験を実施している。それらは、第V章の参考資料として掲載している。はじめに、競技経験の浅い大学サッカー選手を対象に、定期的な筋力トレーニングによる基礎的および特異的体力への効果について検討し、続いて、大学サッカー選手を対象に、筋力トレーニングや方向転換走のトレーニングとチームのボールトレーニングとの因果関係について検討している。しかし、両実験とも、これまでの参加者とは異なり、大学女子サッカー選手を対象としていること、そして、ここまでの方向転換走能力に焦点をあててきた本研究の論点から少し外れている内容になっていることは否めない。加えて、両実験ともに期待された結果を得られなかった。そのため、方向転換走能力は、複雑かつ不明瞭な点多いため、さまざまな観点から研究を行うことが必要との寛容な心持ちで、第V章の頁を進めて頂ければ有難い。

第IV章 結論

本研究では、サッカー選手を対象に方向転換走中の経時的な速度変化から定量的データを収集し、得られた変数から方向転換走タイムに影響を及ぼす要因について検討することを目的とした。さらに、方向転換走能力の向上を目的とするトレーニング方法の示唆を得るために、バイオメカニクス的手法を用いて方向転換走における運動学および運動力学的分析を行い、方向転換走タイムとの関係性についても検討した。その結果、以下の結論を得た。

研究 1

- ・ Laveg を用いて算出した値の再現性及び信頼性について検討した結果、Laveg を用いて方向転換走を評価することが可能であることが確認された。

研究 2

- ・ 方向転換走タイムに優れるサッカー選手は、加速力に加えて方向転換前の減速力（ブレーキ力）に優れ、かつカットイン時間が短く、方向転換後の加速力も優れていた。
- ・ 方向転換走タイムに最も影響を及ぼす要因について検討した結果、方向転換走タイムには、カットイン時間が最も影響することが明らかとなった。しかし、カットイン時間は、方向転換前の減速力（ブレーキ力）の影響を受けることが示唆された。

研究 3

- ・ 方向転換走能力の発達特性について検討した結果、15-16 歳と 17-18 歳の方向転換走タイムは、13-14 歳よりも有意に短い時間を示したが、それらは、カットイン局面以外の差であることが示唆された。
- ・ 方向転換走能力を構成する下位能力の寄与率は年齢とともに異なり、13-14 歳の方向転換走ではスプリント能力の影響が大きく、加齢にともない、スプリント能力だけでなくカットイン能力の影響が大きくなることが示唆された。

研究 4

- ・ 方向転換走能力に影響を及ぼす要因について、バイオメカニクス的手法を用いて方向

転換走タイムとの関係性について検討した結果、方向転換2歩手前（FF）の水平方向の力積は、支持足（TF）接地中の移動時間に関係していることが示唆された。

- TF 離地時には身体重心高を低くし、水平方向の力積量を獲得することが、方向転換走タイムを短縮させる手段の一つであることが示唆された。

これらのことから、本研究の結論として、減速局面の減速力（ブレーキ力）は方向転換走タイムに直接関与しているわけではないが、方向転換走をより迅速に遂行するための運動戦略の一つであることが示唆された。

第 V 章 參考資料

1. 方向転換走能力向上のための
トレーニング研究

i. 24週間の筋力トレーニングが大学女子サッカー選手の基礎的および
特異的体力に及ぼす影響

1) 目的

サッカー選手が筋力トレーニング (Strength training : ST) を行うことで、パフォーマンスに関わる基礎的および特異的体力水準を高めることができる (Chelly et al.,2009 ; Christou et al., 2006 ; Wisloff et al.,2004). 例えば, Chelly et al. (2009) は 17 歳の男子サッカー選手 (競技歴 4.7 ± 0.8 年) に対して 8 週間の ST を実施した結果, 40m 走中の加速および最大速度が有意に改善されたと報告している. また, Christou et al. (2006) は, 12 歳から 15 歳までの男子サッカー選手 (競技歴 4.3 ± 1.9 年) に ST を課すことがフィジカルキャパシティの包括的な発達に貢献すると報告している. 一方, ハムストリングを中心とした下肢の ST や神経筋制御のトレーニングは, 試合中における下肢の傷害リスクを低減させることが報告されており (Lehance et al., 2009 ; Myer et al., 2005), これらのことから, 計画的な ST の実施が 10 代のサッカー選手のパフォーマンスの向上と障害予防に貢献することは明らかである.

サッカー日本女子代表チームが, 2011 年にワールドカップ優勝を成し遂げてから, 女子サッカーの注目度は高い. 中でも, 日本の女子サッカー選手のテクニックは, 高さやパワーが全てではないサッカーにおいて生命線である. しかし, 近年, 試合内容のスピード化により, 選手への体力的要求度は高まるばかりである. 加えて, 諸外国の選手との体格差を補ううえでは, スプリントパフォーマンスや筋発揮パフォーマンスなどの向上が急務である ((公財) 日本サッカー協会医学委員会, 2011).

日本の女子サッカー選手の競技人口について, 選手登録者数の推移を調べてみると, 2007 年は 25,000 名, 2017 年では 28,000 名と女子全体の選手登録者数は増加しているが ((公財) 日本サッカー協会, 2018), 中でも, 高校や大学において, 選手登録者数やチーム登録数が増えており ((公財) 全国高等学校体育連盟, 2018 ; (一財) 全日本大学女子サッカー連盟, 2018), このことは, 高校や大学から競技を始める選手も少なくないと思われる. こうした選手には, サッカーの技術・戦術といった, いわゆるサッカーのトレーニングが最重要と考えることが必然であるが, 一方で, 競技を行ううえでの基礎的体力を備えていないことが多く, 下肢のケガのリスクが高いことは否めない. そのため, こうした競技経験の浅い選手が ST を実施することは, 傷害のリスクを軽減させるだけでなく, サッ

カーのパフォーマンスに影響を及ぼす基礎的および特異的体力水準を高めるうえで重要な役割を担っており、競技経験年数の差を補う上でも大切であると考えられる。

そこで、本研究では、競技経験の浅い大学女子サッカー選手を対象に、計画的に ST を実施し、サッカーのパフォーマンスに影響を及ぼす基礎的および特異的体力への効果を明らかにすることとした。その際、最大筋力の評価に 1RM test を用いて ST プログラムデザインをし、さらに、1RM test の結果を基準に設定した目標値と実際に扱った負荷設定値（実施値）を比較し、大学女子サッカー選手の下肢最大筋力向上における基礎的資料を得ることとした。

2) 方法

i) 参加者

参加者は、19 歳から 20 歳までの大学女子サッカー部に所属する 13 名であった。このうち、24 週間の ST を実施したうえで、ケガおよび病欠などの事情により全てのトレーニングを実施出来なかった者を除いた 8 名（年齢：19.8±0.4 歳，身長：158.2±5.0cm，体重：54.4±5.9kg）を本研究の対象とした。参加者のほとんどが大学から競技を始めたが、高校までにいくつかのスポーツを経験していた（表 V-1-1）。参加者には、インフォームドコンセントを書面で行い参加の同意を得た。なお、本研究は、徳島文理大学倫理審査委員会の承認（H26-15）を得て実施した。

ii) 体力テスト

本研究では、ST 開始前（Pre）、12 週間後（Mid）、24 週間後（Post）の 3 回の体力テストを実施した。基礎的体力の評価として、10m スプリント、垂直跳び、立ち幅跳びを測定した。10m スプリントは、疾走路の側方に DV カメラを構え、参加者の胸骨上縁を基準に、スタートからゴールまでの映像を基にタイムを 100 分の 1 秒まで算出し、2 回の試技を行いタイムの速い方を記録（秒）とした。垂直跳びは、壁に寄り添って立ち、指先の跳躍高を測るようにした。まず、片手中指にチョークで印をつけ、壁から 15~20cm ほどの離れた位置から腕を伸ばして基準点を設けた後、参加者の足をそのまま動かさないようにし、手を振りながら上体を上げて最高到達点で壁にタッチさせるようにした。2 回の試技を行い、基準点から最高到達点までを垂直跳びの記録（cm）とした。立ち幅跳びは、踏切線から直角に、最も近い着地点（後足かかと）までの距離を測定した。2 回の試技を行い

表V-1-1 参加者の競技経験

参加者	競技種目
A	水泳, バスケットボール, ハンドボール, 駅伝
B	水泳, ソフトボール, サッカー
C	ソフトテニス
D	ハンドボール
E	水泳, バレーボール
F	水泳, ハンドボール, ソフトテニス
G	バスケットボール, ソフトテニス
H	水泳, ソフトボール

踏切線から遠い方の記録 (cm) を用いた。なお、垂直跳びと立ち幅跳びにおいて、センチメートル未満は切り捨てた値を記録とした。

特異的体力の評価は、方向転換走、スローインを測定した。方向転換走の評価は、505 agility test (Draper and Lancaster, 1985) を用いた。505 agility test は、スタートから 15m の距離を至適な速度で調整をしながら進み、180 度方向転換を行い再び 5m の距離を戻るテストである。この中で、180 度の方向転換を含む 5m 区間のタイムが方向転換走能力の評価として用いられる。測定では、タイム計測開始/終了位置の側方に DV カメラを構え、参加者の胸骨上縁を基準に、参加者が通過した時点から 180 度の方向転換を経て再びゴール通過までの映像を基に 10m スプリントと同様にタイムを算出し、2 回の試技を行いタイムの速い方を記録 (秒) とした。スローインは、日本サッカー協会が発行しているサッカー競技規則 2017/2018 を参考に、スローインの成否、ファールスローの判定を参加者の側方に立たせた検者が確認した。両足の midpoint を基準にタッチラインから、ボールが最も遠い地点に落下した位置までを測定し、記録 (m) とした。この時、10cm 未満を切り上げた値を記録とした。2 回の試技を行いタッチラインから遠い方の記録を用いた。

iii) 1RM test

1RM test は、Leg Press (以下 LP, CYBEX 社製) と Inclination Leg Press (以下 ILP, CYBEX 社製) を用いた (図 V-1-1)。LP は、重量を全身で負荷を受け止める必要がないため、ST の経験が浅くても比較的 safely に実施できる。また、ILP は、試技中脚全体に負荷がかかるが、万が一、選手が重量を上げられなくてもセーフティバーが付いているため、事故の危険性はほぼないと判断し採用した。1RM の測定手順は、NSCA ストレングス&コンディショニング (Baechle and Earle, 2002) 1RM test のガイドラインおよびテクニックを参考にした。LP の 1RM test は、座位姿勢から股関節を最大屈曲させ、膝関節の内角が 90 度以下の状態から膝関節の伸展動作を行わせた。検者が側方に立ち、参加者が膝関節最大伸展位 (180 度) 近くまで押し切ることが確認できた試技を記録 (kg) とした。ILP の 1RM test は、座位姿勢から股関節および膝関節をゆっくり曲げて最大屈曲させた状態から伸展動作を行わせた。LP と同様に検者が側方に立ち、参加者が膝関節最大伸展位まで押し切ることが確認できた試技を記録 (kg) とした。



(LP)



(ILP)

図V-1-1 1RMテストで用いたレッグプレス (LP) と
インクラインレッグプレス (ILP)

iv) 筋力トレーニング (ST) プログラムデザイン

ST プログラムデザインは, Christou et al. (2006) を参考にした. 参加者には, 24 週間, A・B の ST プログラムをそれぞれ週 1 回ずつ, 合計 48 回の ST を課した (表 V-1-2). ST プログラムは, 参加者のトレーニング経験がないこと, かつ安全に行わせるために 30 分程度で終了できるよう種目のボリュームを考慮しプログラムを分けることとした. さらに, LP と ILP 以外の種目は, 参加者がプログラムに飽きないように工夫した. ST は, サッカーのトレーニング開始前や大学の講義のない空き時間などを利用して行われた. また, チームの「技術」トレーニングの頻度は (試合も含めて) 週 4~5 回であった. ST を開始する前に, 参加者には一ヵ月程度の馴化期間を設けた. ST プログラムは, 上肢+下肢+体幹の組み合わせでプログラムし (表 V-1-2), 負荷設定については目標値 (Target value : Tv) または基準値を参考に参加者が任意で設定したが, 指導者が参加者の ST をサポートしている場合には, ST のフォームや負荷設定についてアドバイスをするようにした.

体幹のメニューは, 実施回数の獲得と体幹保持能力やバランス能力の向上, さらには体幹部の可動域を広げることに重点を置いてプログラムした. ST プログラムは, 1~8 週間, 9~16 週間, 17~24 週間と 8 週間ごとに 3 期に分けてプログラムを変更した. 参加者には, A と B の ST プログラム実施の間隔をなるべく 48 時間以上の時間を設けるように指示した.

LP と ILP のトレーニングは, Pre の 1RM test の結果から, LP と ILP の Tv をそれぞれ設定した. LP および ILP の負荷設定値は, 参加者が ST の経験が浅いことから, 1RM の 55~80% で設定した (表 V-1-3). ST 期間中, 参加者には記録用紙を配布し, Tv と実際にトレーニング時に用いた負荷値 (Actual value : Av) を毎回記録するように指示し, 記録用紙は 2 週間ごとに回収した. 2 週間で 1 サイクルとし, 12 週間後に再度 1RM test (Mid) を実施し, 13~24 週までの負荷設定に用いた.

v) 統計処理

各測定値はすべて平均値 (標準偏差) で示した. LP と ILP の Tv と Av の平均値の比較は, 対応のある t 検定を用いた. Pre, Mid, Post における各変数の比較は, 一元配置の分散分析を行った後, 等分散性が確認された後, 各時期による変数の違いを Tukey-kramer

表V-1-2 24週間のSTプログラム

ST プログラム A	負荷	回数	セット数	ST プログラム B	負荷	回数	セット数
1~8 週				1~8 週			
LP	表3参照			LP	表3参照		
ILP	表3参照			ILP	表3参照		
ダンベルプレス	12RM	12	2	ラットプルダウン	12RM	12	2
レッグエクステンション	12RM	12	2	レッグカール	12RM	12	2
スタンディングカーフ	15RM	15	2	スタンディングカーフ	15RM	15	2
体幹	膝タッチ50×2set/レッグアップ 20×2set/フロントブリッジ 40"×2set など			体幹	ダイアゴナルタッチ 40×2set/ダイア ゴナルバックエクステンション 40×2set/サイドブリッジ 40"/40"×2setなど		
9~16 週				9~16 週			
LP	表3参照			LP	表3参照		
ILP	表3参照			ILP	表3参照		
ダンベルプレス	10RM	10	2	ワンハンドローイング	5~10kg	10/10	2
リバースプッシュアップ	自体重	20	2	フロント&サイドレイズ	3~5kg	10	2
フォワードランジ	15~20kg	20	2	ステップアップ	15~20kg	12/12	2
体幹	シットアップ 15×3set/トルソー ローテーション15/15×2set/サイド ブリッジ40"/40"×2set など			体幹	レッグアップ20×2set/トウタッチ 20×2set/フロントブリッジ 45"×2setなど		
17~24 週				17~24 週			
LP	表3参照			LP	表3参照		
ILP	表3参照			ILP	表3参照		
インクラインダンベルプレス	10RM	10	3	ワンハンドローイング	5~10kg	10/10	3
フォワードランジ	15~25kg	16	3	ステップアップ	25kg	10/10	3
体幹	バランスボールランチ30×3set/バ ランスボールバックエクステンシ ョン15×2setなど			体幹	レッグレイズウイズバランスボール 15×3set/ヒップリフト&クロス 10×2setなど		

表V-1-3 24週間のLPおよびILPの負荷・回数・セット数の設定

<u>1RM test (Pre)</u>			
週	強度 (%1RM)	回数×セット	頻度
1~2	55~60	15×2	
3~4	55~60	15×3	
5~6	65~70	12×2	1週間に2回
7~8	65~70	12×3	
9~10	70~75	10×2	
11~12	70~75	10×3	
<u>1RM test (Mid)</u>			
13~14	55~60	15×3	
15~16	65~70	12×3	
17~18	65~70	12×3 (18W・2set)	1週間に2回
19~20	70~75	10×3	
21~22	75~80	10×3 (22W・2set)	
23~24	80	8×3	
<u>1RM test (Post)</u>			

の HSD 検定（多重比較）を用いて検定した。解析ソフトウェアは、SPSS Statistics ver. 22（IBM）を用いた。いずれの検定においても、危険率 5%未満をもって有意とした。

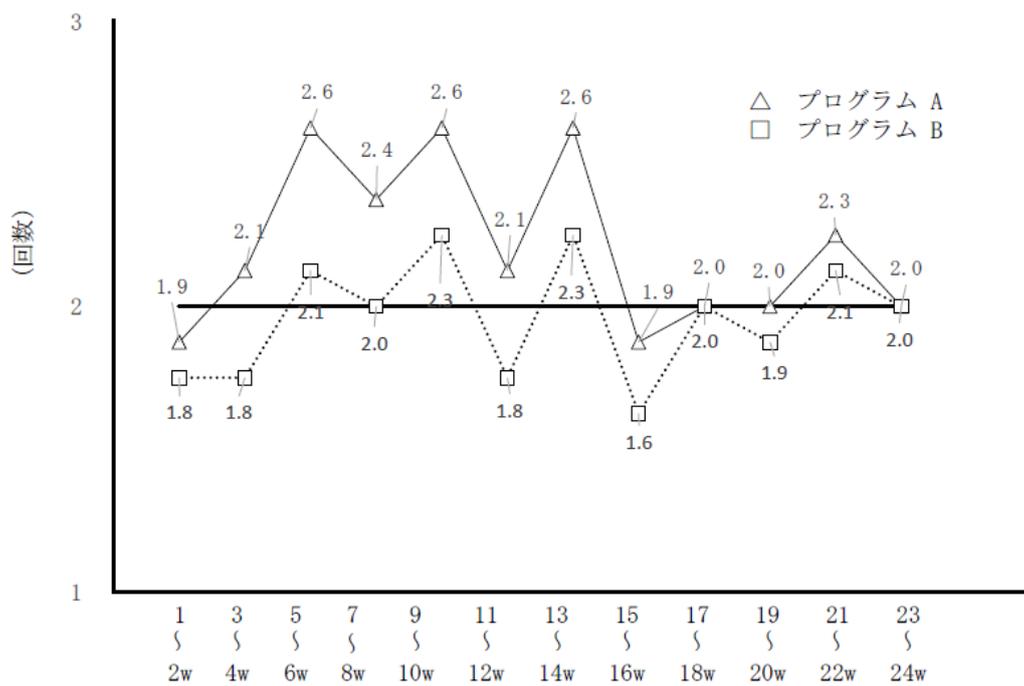
3) 結果

24 週間の ST において、2 週間ごとの回数は、プログラム A が平均 2.2 ± 0.2 回、プログラム B が 2.0 ± 0.3 回であり、チームトレーニングの時間外にて計画的に ST を実施することが出来た (図 V-1-2)。

表 V-1-4 には、参加者の 24 週間における身長、体重、BMI の推移を示した、その結果、体重は、Pre の $54.4 \pm 5.9\text{kg}$ から 24 週間後では $55.9 \pm 5.8\text{kg}$ と有意に増加した

($p < 0.05$)。図 V-1-3 は、LP における Tv と Av および Av を体重値で除した相対値の 24 週間の推移を示した。その結果、1 週目から 24 週目において、ほぼすべての週において Av は Tv を上回ったが、Tv と Av では、統計上有意な差は認められなかった。Av を体重値で除した相対値(Av/BW)の推移をみると、1 週目の 0.83 ± 0.24 Av/BW から 24 週目には 1.52 ± 0.24 Av/BW と体重の 1.5 倍まで増加した。一方、ILP は (図 V-1-4)、1 週目の Av は 47.3kg から始まり、12 週目では 68.4kg 、最終的に 24 週間目では 122.5kg まで増加した。しかし、1 週目から 24 週目においても、常に Av が Tv を上回ることが出来ていたが、Tv と Av において統計上有意な差は認められなかった。一方、Av を体重値で除した相対値 (Av/BW) は、1 週目の 0.86 ± 0.45 Av/BW から、最終的に 2.21 ± 0.61 Av/BW と体重の 2 倍以上に増加した。

表 V-1-5 には、Pre から Mid, Post における各測定の結果を示した。10m スプリントタイム、方向転換走タイムでは、有意な差が認められなかった。次に、垂直跳び、立ち幅跳びおよびスローインは Pre と Mid, Pre と Post の結果においてそれぞれ統計上有意な差が認められた ($p < 0.05$)。また、LP, ILP の絶対値と相対値は、Pre と Mid, Pre と Post および Mid から Post の結果において統計上有意な差が認められた ($p < 0.05$)。さらに、LP および ILP の増加量を比較すると、LP の Pre から Mid は 32.0kg 、Pre から Post では 46.7kg 、ILP の Pre から Mid は 71.9kg 、Pre から Post は 110.6kg と ILP の増加量のほうが高かった。また、表 V-1-6 には、LP および ILP の Pre の値を 100% とした増加率 (%) を示した。LP は、Mid で 143%、Post は 162%の増加率を示し、IP では Mid で 191%、Post で 240%の増加率を示し、ILP のほうが高い増加率を示した。

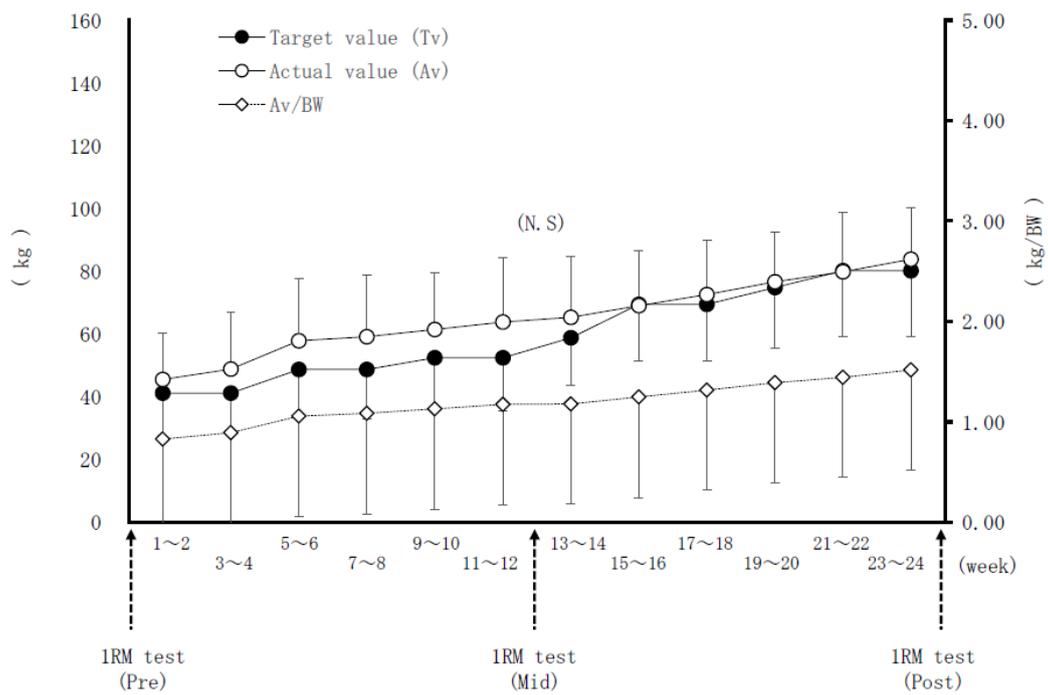


図V-1-2 参加者のレーニング回数の推移

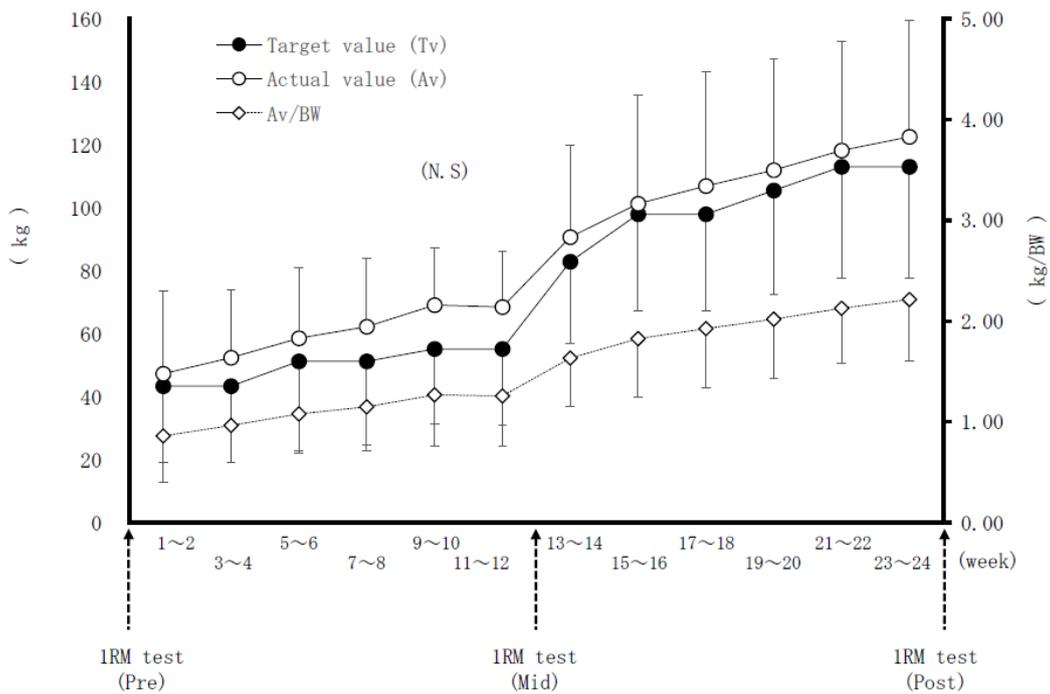
表V-1-4 参加者の身体的特徴の推移

変数	単位	Pre	Mid	Post
身長	cm	158.2 (4.40)	158.2 (4.49)	158.7 (4.61)
体重	kg	54.4 (5.93)b	55.2 (5.57)	55.9 (5.78)
BMI	Kg/m ²	21.7 (2.26)	22.0 (2.00)	22.2 (2.03)

Significant of difference b:vs post, *: p<0.05



図V-1-3 LPにおけるTvとAvおよびAvを体重値で除した相対値の推移



図V-1-4 ILPにおけるTvとAvおよびAvを体重値で除した相対値の推移

表V-1-5 24週間の体力テスト結果

変数	単位	Pre		Mid		Post	Pre ⇄ Mid	Pre ⇄ Post
10mスプリント	秒	2.23 (0.12)		2.24 (0.03)		2.23 (0.06)		
垂直跳び	cm	38.4 (3.90)	ab	44.8 (4.44)		44.6 (3.22)		
立ち幅跳び	cm	176.0 (14.4)	ab	185.3 (9.27)		189.9 (5.96)		
方向転換走	秒	2.69 (0.12)		2.63 (0.07)		2.64 (0.09)		
スローイン	m	11.8 (1.13)	ab	12.6 (1.43)		12.9 (1.31)		
LP	kg	74.8 (24.2)	ab	106.8 (27.8)	b	121.5 (29.3)	32.0	46.7
ILP	kg	78.8 (43.9)	ab	150.6 (47.0)	b	189.4 (57.5)	71.9	110.6
LP相対値	Kg/BW	1.36 (0.39)	ab	1.93 (0.44)	b	2.18 (0.48)	0.57	0.81
ILP相対値	Kg/BW	1.43 (0.76)	ab	2.72 (0.77)	b	3.37 (0.93)	1.28	1.94

a: vs Mid, b: vs post, *: p<0.05

表V-1-6 LP および ILP の増加率 (%)

変数	単位	Pre	Mid	Post
LP	%	100	143	162
ILP		100	191	240

4) 考察

本研究では、競技経験の浅い大学女子サッカー選手を対象に、24週間STを実施した結果、10m スプリントタイムと方向転換走タイムを除くすべての項目に効果がみられた。また、選手の体格では、Pre から Post にかけて体重が有意に増加した。

下肢のSTは、1RM test に準じてLP, ILP を中心に行い、参加者は、毎週、Tv と照らし合わせながらAvを決定しSTを実施した。特に、ILP では、参加者は、すべての週においてAvがTvを上回って実施することができた。このことは、指導者が選手のLP, ILP の実施時になるべく補助に入るようにし安心感を与えるように努めたこと、さらに、トレーニングの進捗現状やAvの負荷設定について常にアドバイスをしたことも影響しているかもしれない。また、これらのことは、STの熟練者には必要なく、本来では重要視されない面であるが、ST経験の乏しい参加者が、安全かつ漸進的にSTを進めていくうえでは必須のサポートであったと考える。Tvの設定は、参加者の安全面を考慮し、先行研究(Christou et al., 2006 ; Larson-Meyer et al., 2000)のように1RMに対する80%を超える高負荷の設定はしなかった。しかし、結果的に、選手は、15週目以降のILPにおいて平均で100kg以上の高負荷を扱っていた(図V-1-4)。このことは、12週間後に再度1RM test (Mid) を実施し、13週以降の負荷設定(Tv)を改めたプログラムデザインの影響も大きいと考えられる(図V-1-3, V-1-4)。また、本来、下肢へのSTであればLPかILPのどちらかで充分と考えるが、本研究では1RMの80%以上の高負荷の設定を用いることはしなかった分、両種目を用いてトレーニングのボリュームを増やしたことも影響しているかもしれない。

10m スプリントにおいてSTの成果がみられなかったことの要因として、最大努力に近いレベルの筋力とパワー発揮が要求される(1RM80%以上の)高負荷を用いてSTを実施していないことが考えられる。例えば、本研究がSTのプログラムデザインを参考にしたChristou et al. (2006)の研究においても、12歳から15歳までの競技経験4年程度の一般的なサッカー選手に対して16週間のSTを実施した結果、30m走のタイムは、8週間後、16週間後では有意にタイムの短縮がみられたが、スタートから10mまでの区間タイムでは有意な短縮はみられなかった。つまり、10mのような、より短い距離において身体を加速させるために必要な筋力には、まず、大きなパワーを発揮する能力を養う必要がある。パワーは力(強度)と速度の積であるため、最大筋力の向上は、高い力の立ち上がり速度とパワー発揮にとって不可欠である。したがって、今後は、1RMの80%以上の高負

荷設定プログラムの導入も順次必要であろう。また、先行研究において (Wisloff et al., 2004), 成人の代表選手の BS の 1RM 値と 10m スプリントタイムとの間に高い相関関係が認められている。本研究では, ST の経験が浅くても比較的 safely に実施できることを最優先させるために, LP と ILP を用いて 1RM test を実施し, 漸進的な ST プログラムをデザインしたが, 日本人のサッカー選手のウィークポイントとされるスプリントパフォーマンスや筋発揮パフォーマンスの向上を目指すならば, 競技レベルに応じてデッドリフトやバックスクワットなどのフリーウエイトの種目をスタンダードに, さらには, パワーエクササイズ (パワークリーン, スナッチ) を段階的に導入していくべきである。

一方, Ozbar et al. (2014) は, 15 歳から 22 歳までの女子サッカー選手を対象に, 8 週間の Plyometric training (PT) を実施したグループと実施しないグループを比較した結果, PT の実施グループのみ 20m スプリントタイムが有意に短縮したと PT の効果を証明している。PT は, 短い時間で大きな筋力を発揮する能力の向上に効果的であり, それらのトレーニングにより筋張力を向上させることで, 力の立ち上がり速度すなわち加速力を高めることに貢献できると考えられる (Baechle and Earle, 2002)。このように, 短い距離におけるタイムの短縮には, 最大筋力を高める ST や PT が最適なトレーニング方法であると考えられ, 現場の指導者やコーチは, 選手の体力水準やトレーニング環境に応じて, 最適なトレーニングを立案し, 選手に提供していくことが重要であると思われる。

垂直跳び, 立ち幅跳びおよび スローインは, Pre 対 Mid, Pre 対 Post において, それぞれ統計上有意味な差が認められた ($p < 0.05$)。3 種目とも, 着実に記録が伸び ST の成果が表れた。ST によって垂直跳びと立ち幅跳びのパフォーマンスが向上することは, すでに多くの研究報告がある (Christou et al., 2006 ; Larson-Meyer et al., 2000 ; Myer et al., 2005 ; Nesser and Lee, 2009)。本研究の垂直跳びは, Pre ($38.4 \pm 3.9\text{cm}$) から Post ($44.6 \pm 3.2\text{cm}$) と 24 週間で 6cm 向上した。このことは, ILP における脚伸展動作と垂直跳び (立ち幅跳び) の踏切動作時における下肢三関節の動作パターンが類似していることにより, ST の効果が垂直跳びおよび立ち幅跳びの向上に表れ易かったと推測する。スローインは, 例えば, 敵陣の深い位置や, ゴール付近においてはコーナーキックと同様に攻撃の手段として有効であると思われる。本研究では, 測定項目に上肢の 1RM test は実施していないものの, 24 週間のすべての ST プログラムには, 上肢帯の種目が含まれていることなどから改善した可能性が考えられ, 結果的に, スローインの飛距離の向上に繋がったと考えられる。また, 本研究では, 体幹トレーニングも 24 週間の ST プログラムに加えた。サッカー

一は、競り合いやボールを奪う際など、相手との接触がある非常に激しいスポーツであるため、下肢だけではなく、上肢および体幹部を含め総合的に強化していくことが必要であると考えられる。一方、方向転換走タイムについては、Pre から Post において有意な差は認められなかった。このことは、方向転換走能力はスプリント能力、下肢筋出力、方向転換動作などの影響を受けるため (Young et al., 2002), ST の成果のみでは、方向転換走タイムの短縮に与える影響が少なかったと考えられる。

3 回 (Pre・Mid・Post) の 1RM test の実施により、LP および ILP の増加率は非常に高かった。ILP 度の絶対値は、Pre の 78.8kg から Post の 189kg と 240% の増加を示した (表 V-1-6)。体重値で除した相対値は、Pre の 1.43kg/BW に対して、Mid は 2.72kg/BW, Post では 3.37kg/BW と 24 週間で 1.94kg/BW 増加した (表 V-1-5)。この結果について、同じ LP を用いた先行研究 (Christou et al., 2006) と比較すると、12 歳から 15 歳までの男子サッカー選手に対して 16 週間、1RM の 55~80% の負荷で 32 セッションの ST を行った場合、Pre から 8 週間後では 138%, Pre から 16 週間後では、159% の増加が認められ、体重値で除した相対値は、Pre では 1.90kg/BW, 8 週間後は 2.60kg/BW, 16 週間後では 2.90kg/BW と 16 週間で 1.0kg/BW の増加が報告されている。また、トレーニング経験のない 17 歳の男子サッカー選手に対して 8 週間、それぞれ、1RM の 70% (7 回), 80% (4 回), 85% (3 回), 90% (2 回) の負荷のセット数で週 2 回の ST を実施した研究 (Chelly et al., 2009) では、BS の伸び率は、Pre の 105kg から Post の 142kg と 135% の増加を示し、体重値で除した相対値では、1.80kg/BW から 2.40kg/BW と 0.60kg/BW の増加が報告されている。さらに、プロサッカー選手を対象に 8 週間 (1~2 週目 6RM×3 セット, 3~5 週目 5RM×4 セット, 6~7 週目 4RM×5 セット) の ST を実施した研究 (Rønnestad et al., 2008) では、BS の 1RM は、Pre は 166kg から 209kg と絶対値では 125% の増加を示し、体重値で除した相対値では、Pre は 2.10kg/BW, Post では 2.60kg/BW と 0.50kg/BW の増加が報告されている。これらのように、被験者の年代やトレーニング期間、競技レベル、さらには、トレーニング種目の違いによって、ST の成果 (増加率) は異なることが理解できるが、対象者の競技レベルが高いほど、トレーニング前後の 1RM の増加率は小さいと思われる。実際に、本研究の 1RM の増加率は先行研究 (Christou et al., 2006 ; Chelly et al., 2009 ; Rønnestad et al., 2008) と比較して最も高かった。

例えば、高強度の PT を実施する際のガイドラインによると、体重の 2 倍の重量を BS で挙上する必要がある (Baechle and Earle., 2000). しかし、このような基準値を満たすことは、トレーニング経験の浅い選手にとっては非常に困難である。そのため、ST の経験が浅い選手に対しては安全性の確保が最優先であり、そのうえで 1RM test を実施し、選手の基礎的体力 (最大筋力) 水準を高めてから、ST の種目や負荷設定を漸進させていくことが非常に大切であると考えられる。また、1RM の強さと下肢のケガの受傷率の割合との間には、反比例の関係性が立証されている (Lehance et al., 2009). 女子サッカー選手は男子選手と比較して、特に、ACL 損傷のリスクが高いため (Agel et al., 2005), ST を実施することは、ケガのリスクを軽減させるためにも重要である。

本研究では、競技経験の浅い大学女子サッカー選手を対象に、24 週間 ST を実施した結果、10m スプリントタイムと方向転換走タイムを除く基礎的および特異的体力要素を有意に向上させることができた。また、脚の最大筋力の向上は、跳躍能力 (垂直跳び、立ち幅跳び) の改善に大きく貢献することが示唆された。1RM test を用い、それらを基準とした計画的な ST の実施は、サッカーのパフォーマンスにおける基礎的および特異的体力を向上させるが、その中でも、競技経験の浅い大学女子サッカー選手が ST を実施することは、ボールを蹴る・コントロールする・運ぶなどのサッカーの技術的要因の差を埋めることは難しいものの、体力的な要因の差を埋めることは可能であり、非常に大切であると考えられる。

本研究の限界として、ST の実施に対して、シーズンの期分けを考慮してプログラムしていない点が挙げられる。17 歳未満のエリート女子サッカー選手に対して、サッカーのシーズン中の形態や体組成および体力との相対的変化の関連について検討した研究によれば (Lesinski et al., 2017), シーズン中の体組成 (除脂肪体重, 体脂肪量) は、それぞれのトレーニング期間の要求に応じて変化することが明らかにされており、指導者は期分けに応じて、緻密なトレーニングプログラムをデザインすることが求められる。加えて、ST のボリュームについても注意深く検討することが求められる。例えば、オフシーズンやプレシーズンにおいて、短期間で成果を求める場合には、セット数×回数の多いプログラムを、反対に、インシーズンなど、コンディションに重点をおく時期には、ST のボリュームをコントロールし、目的に合わせて合理的な戦略を取ることが大切であり (Naclerio et al., 2013), シーズンの期分けに合わせた計画性のあるプログラムの作成が必要と考える。

5) 結論

本研究は、競技経験の浅い大学女子サッカー選手を対象に、24週間STを実施した。その結果、以下の結論を得た。

- ・ 24週間のSTの結果、10mスプリントタイムと方向転換走タイムを除く基礎的および特異的体力要素が有意に向上した。
- ・ 競技経験の浅い大学女子サッカー選手がSTを実施することは、サッカーの技術的要因の差を埋めることは難しいものの、体力的な要因の差を埋めることは可能であり、非常に大切であると考えられた。

ii. 方向転換走能力の向上を目的としたトレーニングとチーム練習量の関係

1) 目的

いくつかの先行研究において、体力トレーニングによる方向転換走能力の向上が報告されている。Cressey et al. (2007) は、18 歳から 23 歳までの大学生男子エリートサッカー選手を対象に、10 週間の筋力トレーニング (Strength training ; 以下 ST) によって方向転換走タイムが 4.4%改善されたと報告している。また、Ozbar et al. (2014) は、プライオメトリックトレーニング (Plyometric training ; 以下 PT) の経験が 2 年以上ある 15 歳から 22 歳までのエリート女子サッカー選手に対して 8 週間の ST と PT を実施させた結果、跳躍高が 17.6% (39.8cm → 46.8cm)、20m スプリントは 8.1% (3.7 秒 → 3.4 秒) の改善がみられたと報告している。さらに、Polman et al. (2004) は、エリート女子サッカー選手を対象に、スピード、アジリティ、クイックネスに特化したトレーニングが従来のトレーニング方法と比べて選手のコンディショニングに効果的かどうかを調べた結果、トレーニングを実施した群が、実施していない群と比べて方向転換走能力やスプリント能力が有意に改善されたとし、従来のトレーニングよりも女子サッカー選手のコンディショニングに効果的なトレーニング方法であると述べている。このように、サッカー選手に対して ST、PT および方向転換走能力の向上を目的としたトレーニング (Agility training ; 以下 AT) を実施することで、競技中に必要とされる方向転換走能力やスプリント能力の改善が期待できる。

一方、これらの報告は、オフシーズンからプレシーズンにかけて実施されているため、それぞれの期間において、チームのボールを用いたトレーニングの介入がある。そのため、方向転換走能力やスプリント能力が改善されたことが、必ずしも ST や PT および AT の成果と捉えて良いのか少々疑問が残る。例えば、Christou et al. (2006) は、12 歳から 15 歳までの 18 名の男子サッカー選手に対して、チームのトレーニングに ST を加えた群とそうでない群を比較した結果、方向転換走能力の指標として用いた 10m×5 (10m の距離を 2 往復半走る) のタイムは、両群ともに、16 週間後のタイムが有意に向上したと報告している。このことは、ST の介入に関係なく、チームの日頃のトレーニングが選手の方方向転換走能力に影響を及ぼすことを示唆するものであり、したがって、サッカー選手の方方向転換走能力の向上を目的とするプログラムの有効性を立証するならば、選手が所属するチームのトレーニング内容 (量や強度) を考慮する必要があると考える。しかし、これま

で、サッカー選手の方向転換走能力の評価において、チームのトレーニングとの因果関係については、ほとんど言及されていないようである。

そこで、この研究では、大学女子サッカー選手を対象に、ST と PT および AT を 6 週間実施し、それぞれの効果およびチームのボールトレーニングとの因果関係について検討することとした。

2) 方法

i) 参加者

参加者は、18 歳から 21 歳までの大学女子サッカー部に所属する 19 名（年齢：18.9±1.0 歳，身長：158.4±4.3cm，体重：55.7±5.7kg，競技歴：10.0±3.0 年）であった。参加者全員が ST について半年以上の経験を有していた。参加者には、研究の趣旨、実験内容、危険性およびデータの取り扱いについて説明し、参加の同意を得た。なお、本研究は、徳島文理大学倫理審査委員会の承認（H26-15）を得て実施した。

AT の有効性およびチームのトレーニング時間との因果関係を明らかにするため、参加者を ST，PT および AT を実施した介入群と ST と PT のみを実施した対照群に無作為に分けた。このとき、プレテストにおけるすべての変数に群間差は認められなかった（表 V-1-7）。

表V-1-7 介入群と対照群におけるプレテストの結果比較

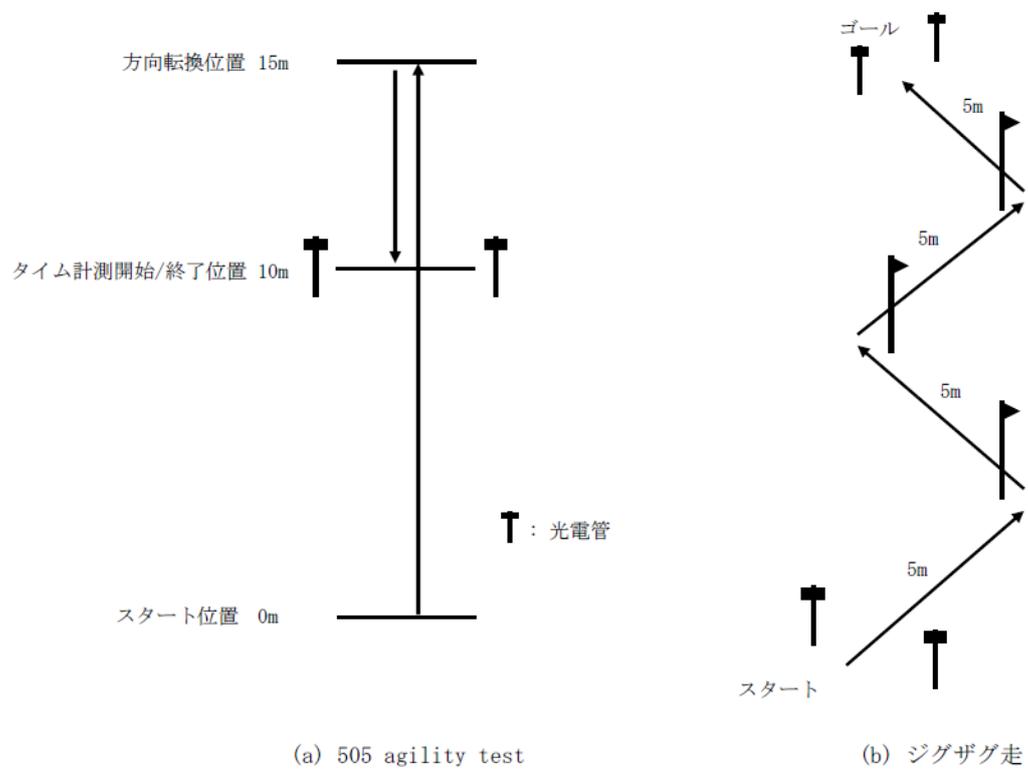
プレテスト		介入群 (n=10)		対照群 (n=9)		P値
変数	単位	Mean	SD	Mean	SD	
年齢	歳	18.8	1.3	19.0	0.7	0.682
身長	cm	158.5	3.8	158.3	5.0	0.951
体重	Kg	56.1	5.5	55.2	6.3	0.720
競技経験年数	年	10.1	3.1	9.9	3.1	0.884
BS	Kg	58.3	6.8	55.3	10.4	0.466
BS	Kg/BW	1.04	0.13	1.00	0.15	0.540
BP	Kg	31.3	4.4	31.1	4.0	0.944
CMJ	Cm	41.0	5.8	41.4	8.7	0.885
10mスプリント	秒	2.15	0.10	2.11	0.13	0.419
40m走	秒	6.54	0.28	6.58	0.31	0.799
505 agility test	秒	2.57	0.09	2.61	0.15	0.492
ジグザグ走	秒	5.87	0.31	5.92	0.35	0.698

BS : Back squat ; BP : Bench press ; CMJ : Counter movement jump.

ii) 測定および評価方法

測定項目は、バックスクワット (Back squat : 以下 BS), ベンチプレス (Bench press : 以下 BP), 反動動作を用いたカウンタームーブメントジャンプ (Counter movement jump : 以下 CMJ), 10m スプリント, 40m 走および方向転換走のタイムを測定した。BS と BP は 1RM test を用いた。1RM test の測定手順は, トレーニング専門書 (石井直方ほか, 2002) のガイドラインに準拠して実施した。試技の正否については, ST の有資格者がすべての試技を判断した。CMJ は, 片手中指にチョークで印をつけ, 壁から 15~20cm ほどの離れた位置から腕を伸ばして基準点を設けた後, 参加者の足をそのまま動かさないようにし, 手を振りながら上体を上げて最高到達点で壁にタッチさせるようにした。2 回の試技を行い, 基準点から最高到達点までを記録 (cm) とした。10m スプリントと 40m 走は, 光電管 (タイム計測器 TMN-03, 玉川商店) をスタートとゴール位置に配置し通過時間を計測した。測定開始は, 参加者の任意のタイミングでスタートさせた。計測は, 2 回行いタイムの速い方を記録 (秒) とした。

方向転換走の測定は, 参加者が普段トレーニングを行っている人工芝グラウンドで行い, 選手にはサッカースパイクを履かせて実施した。試技は, 505 agility test (Draper and Lancaster, 1985) とジグザグ走 (Little and Williams, 2005) を用いた (図 V-1-5)。505 agility test は, スタートから 10m 位置までの距離を至適な速度で進み, 15m 位置 (方向転換位置) で 180 度の方向転換を行い, 再び 10m 位置まで戻る試技である。この中で, 10m から 15m 位置までの 5m 区間の往復時間が方向転換走能力の評価となる。測定では, タイム計測開始/終了位置である 10m 位置側方に光電管を配置し, 180 度の方向転換を含む, 5m 区間の通過時間を計測した。また, 参加者の足が方向転換位置のラインに触れたか否かの判断は, 方向転換位置側方に検者を立たせて目視にて確認した。さらに, 目視にて判断が困難な場合には, 設置したビデオカメラの映像により確認した。参加者が方向転換位置で方向転換をする足は, 参加者の任意で決めさせるようにした。2 回の試技を行いタイムの速い方を記録 (秒) (以下, この研究では, 505 タイムとする) とした。ジグザグ走は, 先行研究 (Little and Williams, 2005) の試技方法にならい実施した。スタートとゴール地点に光電管を配置し通過時間を記録した。フラッグの内角の角度は 100 度とした。2 回の試技を行いタイムの速い方を記録 (秒) (以下, ジグザグ走タイムとする) とした。測定は 2 日間に分けて実施し, 全ての測定 (プレテスト) 終了後, 6 週間のトレーニングを実施し, 7 週間後に再び同じ項目を測定 (ポストテスト) した。



図V-1-5 2種類の方法転換走テスト

iii) インシーズンの主な週間スケジュールおよびトレーニング時間（量）

表V-1-8には、参加者が所属するチームのシーズン中の主な週間スケジュールを示した。シーズン中は、土曜日か日曜日に公式戦および研修試合が組まれるため、試合日に合わせてスケジュールAまたはBを実施した。また、選手の疲労を考慮し週のトレーニング回数は3回であった。スケジュールAおよびBの1回のトレーニング内容は、フィジカル、技術、戦術トレーニングに分けて実施した。なお、シーズン中のフィジカルトレーニングは、サッカー専門書（公益財団法人日本サッカー協会スポーツ医学委員会，2011）にならい、主に、高強度有酸素性持久力、スピード持久力およびパワートレーニングなどを実施し、必要に応じて体幹トレーニングも加えた。各メニューの運動時間、休息时间、セット数は、選手のコンディションや試合スケジュールに合わせて調節した。本研究の期間中は、スケジュールCを実施し、トレーニング日には、ST、PTおよびATを行わせた。

1回のトレーニング量について、スケジュールAとBは、週の総トレーニング時間をウォーミングアップも含めて330～360分程度とし、そのうち、ボールを用いたトレーニング（技術・戦術）は270～300分程度であり、週の総トレーニングの時間比率にすると81.8～83.3%（以下、80%とする）、フィジカルトレーニングは16.6～18.1（以下、20%とする）であった。一方、スケジュールCについては、週の総トレーニング時間は360分程度とスケジュールAやBと変わらなかったが、STやPTとの時間配分から、ボールトレーニングは210分程度と、時間比率にすると58.3%（およそ60%とする）であった。なお、ST、PTおよびATは、1週間のうちウォーミングアップの時間を含めて150分程度を費やし、時間比率にすると41.6%（およそ40%とする）であった。

iv) 筋力トレーニング（ST）

6週間のトレーニングは、1週間に2回の頻度で実施した（表V-1-9）。トレーニングは、ST+PTの組み合わせによるコンプレックストレーニングを参考にした（Baechle et al., 2002 ; Spinetti et al., 2016）。ただし、コンプレックストレーニングは、本来、STの1セット目の終了直後にPTを実施したり種目間やセット間の休息時間を設定し実施する方法であるが、本研究では、1日（回）の全体のトレーニング時間に配慮する必要から、トレーニングを行う順序は参加者の任意で実施させた。参加者のBSとBPの負荷設定は、1RMテストを基準に設定した。その他のSTは、主に、背部と脚部を中心にプログラムし、

表V-1-8 インシーズンの主な週間スケジュール

月	火	水	木	金	土	日	総トレーニング時間
オフ	オフ	体力60分 技術60分	オフ	技術60分 戦術60分	技術60分 戦術60分	試合	360分+試合
オフ	体力60分 技術30分	技術60分 戦術60分	オフ	技術60分 戦術60分	試合	オフ	330分+試合
オフ	オフ	体力75分 (ST・PT・AT) 技術45分	オフ	体力75分 (ST・PT・AT) 技術・戦術45分	技術(AT) 60分 戦術60分	試合 or オフ	360分+試合

表V-1-9 6週間のトレーニングプログラムデザイン

筋力トレーニング (ST)				プライオメトリックトレーニング (PT)					
メニュー	%1RM	回数	セット	メニュー	回数	セット	ジャンプ (回数)	ハードル高 (cm)	メモ
1~2週				1~2週					
バックスクワット	80%	10	3	フロントハードルジャンプ	8	4	32	15~20	
ベンチプレス	80%	10	3	スタンディングブロード ジャンプ	7	4	28	15~20	
インバーデットロー			Total 30	フロントコーンホップ	5	3	15	15~20	
シングルレッグランジ ウィズケトルベル	8~12kg	15/15	2						
体幹			100~200						
3~4週				3~4週					
バックスクワット	70	8	4	スプリットスクワットジャンプ	12	3	36	15~20	
ベンチプレス	70	8	4	サイドハードルジャンプ	8	4/4	64	15~20	
ケトルベルプル オーバー	8or12kg	10	3	フロント&サイドハードル ジャンプ	8	4	32	15~20	
ヒップリフトウィズ バランスボール			Total150						
体幹			100~200						
5~6週				5~6週					
バックスクワット	80	6	4	コーン& バージャンプ	6	3	18	60	フロント/サイド
ベンチプレス	80	6	4	ボックスジャンプウィズ メディシンボール (5kg)	20	1	20	45	
ベントオーバーロウ	20~25kg	10	3	ボックスジャンプ	20/20	1	40	30	シングルレッグ
シングルレッグランジ ウィズケトルベル		20/20	2						
体幹			100~200						

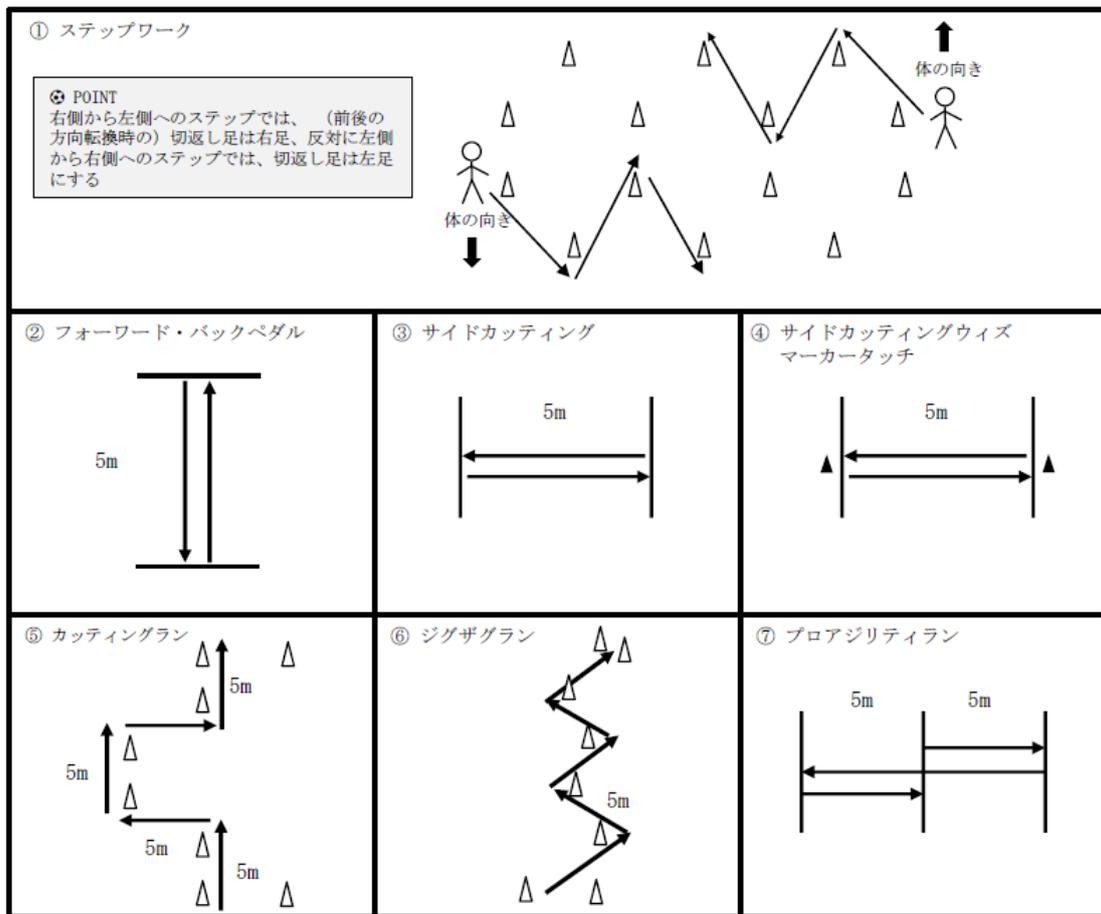
さらに、体幹トレーニングを数種目加えた。PTは、先行研究（Ozbar et al., 2014）を参考にジャンプの総回数と運動強度（ジャンプ高）を考慮しながら、徐々に運動強度が高くなるようにデザインした（表V-1-9）。参加者には、すべての種目において、適宜、休息時間を設けるように指示した。

v) 方向転換走能力の向上を目的とした（アジリティ）トレーニング（AT）

介入群のATは、チームのウォーミングアップに加えて実施した。介入群は、週に3回のATを実施し、トレーニング内容は2週間ごとに変更した（表V-1-10）。図V-1-6にはATの内容を示した。①ステップワークドリルは毎回行うようにした。ミニコーンを並べ、選手には、体の向きを変えずに右側から左側への移動では、前後移動時の方向転換の切返し足は右足、反対に左側から右側への移動では、前後移動時の切返し足は左足になるよう指示した。また、うまくできない選手には、ステップ中で4歩目が切返し足になるようにアドバイスした。②フォワード・バックペダルは、体の向きを変えずに前後の移動を素早く行うように指示した。5mの移動を2往復半することで1セットとした。③サイドカッティングも②と同様に5mの距離を2往復半することで1セットとした。この時、方向転換時の切返し足が左右で同じにならないように注意させて行わせた。④サイドカッティングウィズマーカータッチは、③と実施方法は同じだが、ライン上にミニコーンを配置し、方向転換時に切返し足とは反対の手でミニコーンをタッチするように指示した。5mの距離を2往復半することで1セットとした。⑤カッティングランは、回り込むような動作にならないように直角の方向転換を左右の足で2回ずつ行わせるようにした。⑥のジグザグランは、5m間隔に配置したコーンの外側を回るようにした。この時、コーンは内角100度になるように配置し、方向転換を左右の足で2回ずつ行わせるようにした。⑦のプロアジリティランは、5m、10m、5mの順に方向転換を2回行い合計20mの距離をできるだけすばやく移動するように行わせた。また、2回の方向転換が同じ足にならないように指示した。各種目とも最大努力のもと（ステップワークドリルを除き）3~4セット行い、ATでの方向転換の総回数は、各週とも104~112回に設定した。

表V-1-10 6週間の方向転換走トレーニングのプログラムデザイン(AT)

方向転換走トレーニング	回数	セット
1~2 週 (3回/週)		
①ステップワーク	80	5/5
②フォワード・バックペダル	12~16	3~4
③サイドカッティング	12~16	3~4
総計	104~112	
3~4 週 (3回/週)		
①ステップワーク	80	5/5
④サイドカッティングウィズマーカートッチ	12~16	3~4
⑤カッティングラン	12~16	3~4
総計	104~112	
5~6 週 (3回/週)		
①ステップワーク	80	5/5
⑥ジグザグラン	12~16	3~4
⑦プロアジリティラン	12~16	3~4
総計	104~112	



図V-1-6 方向転換走のトレーニング(AT)

vi) サッカーのボールを用いたトレーニング

インシーズンのボールトレーニングについて、技術トレーニングでは、ヘディング、パス（パス&コントロール）、シュート、対人（1対1、2対2）、クロスボール（1対1+クロッサー、2対2+クロッサー）などのトレーニングを実施し、戦術トレーニングでは、ポゼッション（3対3+2フリーマン、4対4+3サーバー、4対4+4サーバー）、シュートゲーム（4対4+GKから10対10+GK）、セットプレーなどのトレーニングを実施した。なお、シーズン中(試合期)では、特段、トレーニング内容に大きな変化はなく、参加者のその日のコンディションに配慮しながら、適宜、トレーニングのセット数や休息時間を調節した。

vii) 統計処理

プレテストの結果における介入群と対照群の身体的特徴、競技経験年数および各変数の平均値の比較は、対応のないt検定を用いた。介入群および対照群のプレとポストの各変数の平均値の比較には、群（介入群と対照群）と時間（プレとポスト）を要因とする反復測定による二要因の分散分析を行い、主効果と交互作用を求めた。解析ソフトウェアは、SPSS Statistics ver. 22（IBM）を用いた。いずれの検定においても、危険率5%未満をもって有意とした。

3) 結果

表V-1-7には、プレテストにおける介入群と対照群の各変数の結果を示した。その結果、すべての項目において有意な差は認められなかった。

介入群および対照群のプレとポストの各変数の平均値を比較するため、二元配置の分散分析を行った (図V-1-7)。その結果、介入群および対照群のBS、BS体重割値、BP、CMJ、10mスプリントおよびジグザグ走において、時間要因において有意な主効果がみられ (BS、BS体重割値： $p<0.001$ 、BP、CMJ、10mスプリント、ジグザグ走： $p<0.01$)、5%水準でBS、BS体重割値、BPおよびCMJは、プレよりもポストの方が有意に高い値を示し、10mスプリントは有意に速いタイムを示した。また、両群のジグザグ走はプレからポストにかけて有意に遅いタイムを示した。なお、群間の主効果および時間と群間の交互作用はみられなかった。一方、介入群と対照群の40m走と505アジリティテストでは、主効果 (時間および群間) と交互作用のいずれにおいても有意な差は認められなかった。

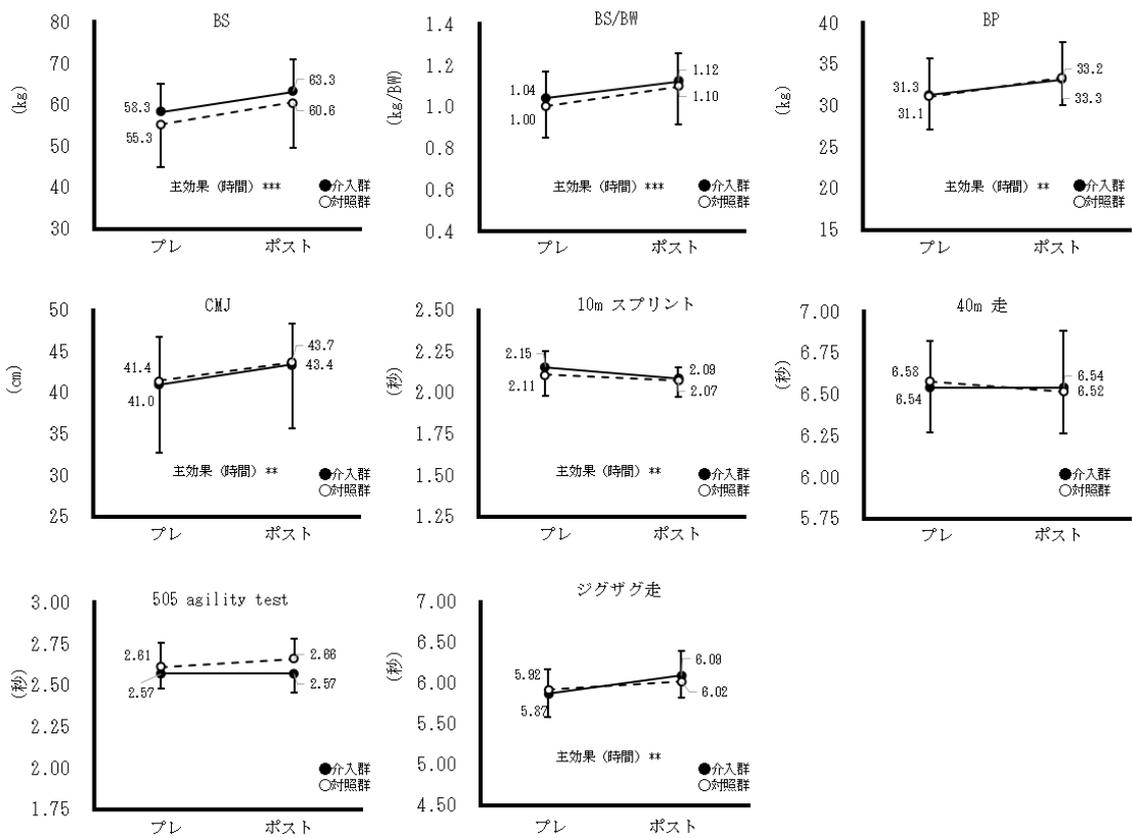


図 V-1-7 6週間のトレーニングによるプレとポストの比較

4) 考察

本研究では、大学女子サッカー選手を対象に、シーズン中に ST, PT および AT を実施し、それぞれの効果およびチームのボールトレーニングとの因果関係について検討することを目的とした。その結果、両群ともに BS と BP の 1RM 値, CMJ の跳躍高, 10m スプリントのタイムが有意に向上した。一方, 40m 走と 505 agility test においては、プレからポストの値において有意な差は認められず、さらに、ジグザグ走においては、両群ともにプレからポストにかけて有意に遅いタイムを示した (図 V-1-7)。

6 週間の体力トレーニングを実施した結果、介入群と対照群の筋力・パワーでは、BS で 8.6~9.6%, CMJ は 5.6~5.9%, 10m スプリントは 1.9~2.9%の向上がみられた。筋力は、発揮できる力の大きさを意味するが、中でも、パワー発揮能力を高めるためには、最大筋力の向上が不可欠であり、本研究が用いた BS は、脚の最大筋力の向上に適した方法であったと考えられる。また、10m スプリントは 1.9~2.9%の向上がみられた。例えば、急速な発展を遂げている女子サッカーにおいて、諸外国の選手と比較して日本人女子選手は筋力発揮やスプリント能力の面で劣っているという報告がなされているが ((公財) 日本サッカー協会スポーツ医学委員会, 2011), 本研究で用いた ST が 6 週間程度であっても、脚の力発揮能力の向上, すなわち、スプリント能力の改善が期待できる可能性があると考えられる。また、PT のプログラムデザインは、先行研究 (Ozbar et al., 2014) を参考にジャンプの総回数と運動強度 (ジャンプ高) を考慮しながら、徐々に運動強度を高めていくようにした (表 V-1-9)。PT は、短い時間で大きな力を発揮する能力の向上に効果的であり、筋張力を養成することで力の立ち上がり速度や短い距離での加速力を高めることができるため、したがって、本研究の PT は跳躍能力を高めるだけでなく、スプリント能力の向上にも貢献しているものと推察される。

本研究では、短い距離の中で、減速、加速を含む方向転換やカッティング動作の向上を目的に AT をデザインした。AT は、足配置のパターンを習得させるためのステップワークドリル、急減速、急加速を含む様々な走方向への方向転換やカッティング動作をチームのウォーミングアップに組み入れた。例えば、女子サッカーは、傷害リスクの高い競技の一つであるとされている (Howell, 2013 ; Turner et al., 2013)。特に、女子選手は男子選手に比べて筋力が低いため膝の前十字靭帯 (Anterior cruciate ligament ; 以下 ACL) を損傷するリスクが高く (Agel et al., 2005 ; Howell, 2013), サッカーやバスケットボールでは、男子選手よりも非接触型による ACL の損傷を 2~3 倍受けやすいとも

報告されている (Moreno, 1995). そのため, 本研究のような AT をウォーミングアップに導入することは, 下肢の神経筋系のコンディショニングレベルを向上させることができるため (Hewett, 1990 ; Turner et al., 2013), 下肢の傷害予防対策の観点からも非常に意義のあることと思われる.

チームのトレーニング時間 (量) について, サッカーの指導書 ((公財) 日本サッカー協会, 2016) によると, 13 歳から 18 歳までのカテゴリーにおける週の総トレーニング時間は, 試合時間を除いて 480~640 分程度とされている. 対して, 本研究の週の総トレーニング時間は 330~360 分と, 推奨されているトレーニング時間よりも短かった. また, 週のトレーニング構成のうち, スケジュール A や B では, ボールトレーニングの時間が 270~300 分 (週全体の総トレーニング時間の 80%相当), 体力トレーニングは 60 分程度 (週全体の総トレーニング時間の 20%相当) から, 実験期間のスケジュール C では, ボールトレーニングの時間が 20%短く, フィジカルトレーニングの時間は 20%長くなるようにした. フィジカルトレーニングとアジリティ能力の因果関係について見てみると, 505 agility test では, 両群ともに AT の有無による差はみられなかった. 一方, ジグザグ走では, 両群ともにプレからポストにかけて有意に遅いタイムを示した. このことについて, 本研究が対象としたチームにおける週の総トレーニング時間が, 一般的なチームの総トレーニング時間よりも短いため, 単純にトレーニング時間の増減が要因であると断定することは難しい. また, 体力トレーニングとボールトレーニングのお互いの強度や量のバランスも熟慮する必要があるかもしれない. しかし, 指導者の推測として, チームのボールを用いたトレーニング時間が限られている中で, 20%相当のトレーニング時間が短縮されたことは, 少なからず選手の方向転換走能力に対して負の影響を及ぼしている可能性があるかと推測する. 特に, ジグザグ走のような複数の方向転換が要求される試技では, 加速 - 減速 - 方向転換 - 加速の速度変化が繰り返し発生する. つまり, それぞれの局面が相互に関係しパフォーマンス (タイム) として成立するため, 速度の高低における調整力や方向転換動作などは選手のコンディションが如実に影響するのではないかと推測する. 対して, 505 agility test の方向転換の回数は 1 回であり, それらの影響がジグザグ走に比べてわずかであったと思われる. また, 介入群の 505 agility test のタイムが, プレからポストで変化を示さなかったことは, 本研究が実施した AT の影響もわずかにあったかもしれない. 今後は, AT のプログラムデザインを見直しつつ, チームのボールトレーニングの強度や量も踏まえて, 改めて AT の有効性を検証することも必要と考える.

本研究では、大学女子サッカー選手を対象に、シーズン中に ST, PT および AT を 6 週間実施し、それぞれの効果およびチームのトレーニング時間との因果関係について検討することを目的とした。その結果、シーズン中に体力トレーニング (ST や PT) を実施する時間を増やすことで両群の筋力やパワー発揮能力が有意に向上した。一方、方向転換走能力は、AT の介入に関わらず両群のジグザグ走はプレからポストにかけて有意に遅いタイムを示した。そのため、チームのトレーニング時間を減少させることは、AT の有無に関わらず、選手の方向転換走能力に負の影響を及ぼすことが示唆された。

本研究の結果から、AT の有効性を立証することはできなかった。このことは、例えば、総トレーニング時間は同じにし、介入群はボールトレーニングに加えて ST と PT および AT を実施する条件とし、対照群はボールトレーニングのみとするなどの条件設定であれば、よりそれぞれの効果を検証することができたかもしれない。しかし、AT は、サッカー選手の下肢の傷害予防やコンディション維持において重要な役割を果たすため (Wesam et al., 2016)、積極的な導入が望ましいと思われる。

サッカーチームの指導者やスタッフ、さらには、チームのコンディションに関わるトレーニングコーチは、ボールトレーニングと体力トレーニング相互の時間配分によって、選手の方向転換走能力の低下を招く恐れがあることを理解しておく必要がある。また、選手の方向転換走能力を評価しようとする際には、チームの活動時期、評価のタイミング、さらには、ボールトレーニングの内容や強度についても把握しておくことが大切であろう。

5) 結論

本研究では、大学女子サッカー選手を対象に、シーズン中に ST, PT および AT を 6 週間実施し、複合的プログラムによるそれぞれの有効性について検討した。その結果、以下の結論を得た。

- ST や PT によるスプリント能力や筋力・パワー発揮能力の向上によるトレーニングプログラムの有効性は立証されたものの、AT の効果を立証することはできなかった。

引用文献

第 I 章

[1]

- 1) Bloomfield, J., Polman, R. and O' Donoghue, P. (2007) Physical demands of different positions in FA Premier League soccer. *J. Sports Sci. and Med.*, 6 : 63-70.
- 2) Di Mascio, M., Ade, J., and Bradley, P.S. (2015) The reliability, validity and sensitivity of a novel soccer-specific reactive repeated-sprint test (RRST) . *Eur. J. Appl Physiol.*, 115 : 2531-2542.
- 3) Di Salvo, V., Gregson, W., Atkinson, G., Tordoff, P., and Drust, B. (2009) Analysis of high intensity activity in Premier League soccer. *Int. J. Sports Med.*, 30 : 205-212.
- 4) 公益財団法人日本サッカー協会 (2015) FIFA 女子ワールドカップ カナダ 2015 JFA テクニカルレポート.
www.jfa.jp/documents/pdf/.../TR2015_WcCanada.pdf (Accessed 2019-11-05) .
- 5) 公益財団法人日本サッカー協会. (2016) JFA 指導指針 2017 (第 3 章), 東京, アサヒビジネス株式会社, pp36-37.
- 6) 公益財団法人日本サッカー協会スポーツ医学委員会編 (2011) コーチとプレーヤーのためのサッカー医学テキスト, 東京, 金原出版株式会社, pp31-41.
- 7) 公益財団法人日本サッカー協会 (2020) フィジカルフィットネスプロジェクトアスリートチェック結果 https://www.jfa.jp/coach/physical_project/ (Accessed 2020-11-05)
- 8) Little, T. and Williams, A. G. (2005) Specificity of acceleration, maximum speed, and agility in professional soccer players. *J. Strength Cond. Res.*, 19 (1) : 76-78.
- 9) Mohr, M., Krusturup, P. and Bangsbo, J. (2003) Match performance of high-standard soccer players with special reference to development of fatigue. *J. Sports Sci.*, 21: 519-528.

- 10) Noon, MR., James, RS., Clarke, ND., Akubat, I., and Thake, CD. (2015) Perceptions of well-being and physical performance in English elite youth footballers across a season. *J. Sports Sci.*, 33 : 2106-2115.
- 11) Rico, j., and Bangsbo, J. (1992) Coding system to evaluate actions with the ball during a soccer match. *Proceeding from the 1st congress of notational analysis of sport*, pp. 22-25.
- 12) Sheppard, J.M. and Young, W.B. (2006) Agility literature review: Classification, training and testing. *J. Sports Sci.*, 24 (9) : 919-932.
- 13) 塩川勝行・井上尚武・杉本陽一 (1998) サッカー選手における方向変換能力に関する研究—マツスイッチシステムを用いて—. *サッカー医・科学研究報告書*, 18 : 175-179.
- 14) Stolen, TK., Chamari, C., Castagna, U., and Wisloff, U. (2005) Physiology of soccer. *Sports Med.*, 35: 501-536.
- 15) Young, W.B., James, R. and Montgomery, I. (2002) Is muscle power related to running speed with change direction? *J. Sports Med. Phys. Fitness.*, 42: 282-288.

[2]

- 1) Australian Sports Commission. (2000) Physiological tests for elite athletes. *Human Kinetics : Champaign, IL* pp.134-135.
- 2) Besier, T.F., Lloyd, D.G., Cochrane, JL. and Ackland, TR. (2001) . External loading of the knee joint during running and cutting maneuvers. *Med. Sci. Sports Exerc.*, 33(7) : 1168-1175.
- 3) Bezodis, N.E., Salo, A.I.T. and Trewartha, G. (2012) Measurement error in estimates of sprint velocity from a laser displacement measurement device. *Int. J. Sports Med.*, 33 (6) :439-444.
- 4) Carling, C., reilly, T., and Williams, M. (2009) Performance assessment for field sports. *Routledge : London*, pp.150-152.
- 5) Condello, G., Minganti, C., Lupo, C., Benvenuti, C., Pacini, D., and Tessitore, A. (2013) Evaluation of change-of-direction movements in young rugby players. *Int. J. Sports Physiol. and Performance*, 8 : 52-56.

- 6) Dos' Santos, T., Thomas, C., Jones, A.P. and Comfort, P. (2017) Mechanical determinants of faster change of direction speed performance in male athletes. *J. Strength Cond. Res.*, 31 : 696-705.
- 7) 福永哲夫監訳 (2006) オックスフォードスポーツ医科学事典, 東京, 株式会社朝倉書店, p430.
- 8) Gabbett, T.J., Kelly, N.J., and Sheppard, J.M. (2008) Speed, change of direction speed and reactive agility of rugby league players. *J. Strength Cond. Res.*, 22 (1) : 174-181.
- 9) Hader, K., Palazzi, D. and Buchheit, M. (2015) Change of direction speed in soccer : How much brake is enough? *Kineziology*, 47 (1) : 67-74.
- 10) Havens, K.L. and Sigward, S.M. (2015) Joint and segmental mechanics differ between cutting maneuvers in skilled athletes. *Gait Posture*, 41: 33-38.
- 11) Hewitt, J., Cronin, J.B. and Hume, P.A. (2013) Kinematic factors affecting fast and slow straight and change-of direction acceleration times. *J. Strength Cond. Res.*, 27 (1) : 69-75.
- 12) Hirose, N. and Taigo, T. (2016) Two-year changes in anthropometric and motor ability values as talent identification indexes in youth soccer players. *J. Sci. Med. Sport*, 19 (2) : 158-162.
- 13) 伊藤知之・金子憲一・袴田智子・柏木悠・船渡和男 (2012) レーザー速度測定器を用いた小学生男子児童の 50 m 疾走能力の評価. *日本体育大学紀要*, 41 (2) : 161-170.
- 14) Jones, P., Bampouras T. M. and Marrin, K. (2009) An investigation into the physical determinants of change of direction speed. *J. Phys. Fit. Sports Med.*, 49 (1) : 97-104.
- 15) Jones, P., Herrington, L. and Graham-Smith, P. (2016) Braking characteristics during cutting and pivoting in female soccer players. *J. Electromyogr. Kinesiol.*, 30: 46-54.
- 16) Jones, P., Thomas, C., Dos'Santos, T., McMahon, J. and Graham-Smith, P. (2017) The role of eccentric strength in 180° turns in female soccer players. *Sports*, 5 : 42.

- 17) Joyce, D. and Lewindon, D. (2016) ハイパフォーマンスの科学—トップアスリートをめざすトレーニングガイド—, 第13 敏捷性 (アジリティ) の向上, 野坂和則, 沼澤秀雄監訳, 東京, 有限会社ナップ, pp22-25, pp191-203.
- 18) 金高宏文 (1999) レーザー速度測定器を用いた疾走速度測定におけるデータ処理の検討. 鹿屋体育大学学術研究紀要, 22 : 99-108.
- 19) Kaplan, T., Erkmen, N., and Taskin, H. (2009) The Evaluation of the running speed and agility performance in professional and amateur soccer players. *J. Strength Cond. Res.*, 23 (3) : 774-778.
- 20) 川原布紗子・吉田拓矢・野中愛里・九鬼靖太・谷川聡 (2019) 後方への素早い方向転換動作—光刺激による状況判断を伴った方向転換を対象にして—. 体育学研究, 64 : 521-53.
- 21) 松尾彰文・金高宏文 (2001) レーザー方式による経時的疾走速度の計測. 体育の科学, 51 (8) , 593-597.
- 22) Little, T. and Williams, A. G. (2005) Specificity of acceleration, maximum speed, and agility in professional soccer players. *J. Strength Cond. Res.*, 19 (1) : 76-78.
- 23) Marshall, B.M., Franklyn-Miller, A.D., King, E.A., Moran, K.A, Strike, S. and Falvey, A. (2014) Biomechanical factors associated with time to complete a change of direction cutting maneuver. *J. Strength Cond. Res.*, 28 : 2845-2851.
- 24) McLean, S.G., Huang, X., and van den Borget, A.J. (2005) Association between lower extremity posture at contact and peak knee valgus moment during sidestepping: Implications for ACL injury. *Clinical Biomechanics*, 20, 863-870.
- 25) 三島隆幸・渡辺英次・関一誠 (2017) 身長発育とスピード, アジリティ, 瞬発力および敏捷性の発達との関係—幼児期から青年期男子の解析—. 日本トレーニング指導学会, 2 (1) : 4-10.
- 26) 中山忠彦 (1998) サッカー選手の方向転換を伴う疾走能力. 平成9年度大阪体育大学修士論文抄録集, 5-6.
- 27) Parsons, L.S. and Jones, M.T. (1998) Development of velocity, agility, and quickness for tennis athletes. *Strength Cond. J.*, 20 : 14-19.

- 28) Philippaerts, R.M., Vaeyens, R., Janssens, M., Renterghem, B.V., Matthys, D., Craen, R., Bourgois, J., Vrijens, J., Beunen, G. and Malina, R.M. (2006) The relationship between peak height velocity and physical performance in youth soccer players. *J. Sports Sci.*, 24: 221-230.
- 29) Popowczak, M., Rokita, A., Świerzko, K., Szczepan, S., Michalski, R., and Maćkała, K. (2019) Are Linear Speed and Jumping Ability Determinants of Change of Direction Movements in Young Male Soccer Players? *J. Sports Sci. Med.*, 18 : 109-117.
- 30) Reilly, T., William, A.M., Nevill, A.M. and Franks, A. (2000) A multidisciplinary approach to talent identification in soccer. *J. Sports Sci.*, 18: 695-702.
- 31) Romeas, T. and Faubert, J. (2105) Soccer athletes are superior to non-athletes at perceiving soccer-specific and non-sport specific human biological motion. *Frontiers in Psychology*, 6:1343.
- 32) Schot, P., Dart, J., and Schuh, M. (1995) Biomechanical analysis of two change of-direction maneuvers while running. *J. Orthop. Sports. Phys.*, 22: 254-258.
- 33) Semenick, D. (1990) Tests and measurements : the T-test. *Strength Cond. J.*, 12 (1) : 36-37.
- 34) Sheppard, J.M. and Young, W.B. (2006) Agility literature review: Classification, training and testing. *J. Sports Sci.*, 24 (9) : 919-932.
- 35) 篠原康男・前田正登 (2016) 疾走速度変化からみた小学生の 50m 走における局面構成, *体育学研究*, 61 (2), 797-813.
- 36) Sigward, S.M., Cesar, G.M. and Havens, K.L. (2015) Predictors of frontal plane knee moments during side-step cutting to 45 and 110 degrees in men and women: implications for anterior cruciate ligament injury. *Clin. J. Sport. Med.*, 25: 529-534.
- 37) スポーツ庁 (2018) 平成 29 年度体力・運動能力調査報告書, https://www.mext.go.jp/sports/b_menu/toukei/chousa04/tairyoku/kekka/k_detail/1409822.htm (2018/8) (Accessed 2018-08-05)

- 38) 高橋流星・小川幸三・船渡和男 (2010) レーザードップラー方式距離計測装置によって得られた歩行運動の移動距離と速度の正確性及び妥当性. 日本体育大学紀要, 40 (1) : 35-42.
- 39) 高橋流星・筒井崇護・柏木悠・船渡和男 (2013) レーザードップラー方式距離計測装置を用いた短距離疾走能力評価方法～大学生のソフトボール学生と陸上短距離学生の比較～. 日本体育大学紀要, 42 (2) : 103-110.
- 40) 田中守・佐伯敏亨・西田寛文・田中宏暁・進藤宗洋 (1999) ハンドボール競技選手における方向変換走能力の研究. 福岡大学スポーツ科学研究, 30 (1) : 1-18.
- 41) 津越智雄・浅井武 (2010) J リーグサッカークラブにおける上位カテゴリーへの選手選抜に関する横断的研究—体力・運動能力を対象として—. 体育学研究, 55 : 565-576.
- 42) Vescovi, J.D. and McGuigan, M.R. (2008) Relationships between sprinting, agility, and jump ability in female athletes. *J. Sports Sci.*, 26 (1) : 97-107.
- 43) Young, W.B. and Farrow, D. (2006) A review of agility : Practical applications for strength and conditioning. *Strength Cond. J.*, 28: 24-29.
- 44) Young, W.B., James, R. and Montgomery, I. (2002) Is muscle power related to running speed with change direction? *J. Sports Med. Phys. Fitness.*, 42: 282-288.

[3]

- 1) Draper, J.A. and Lancaster, M.G. (1985) The 505 test: A test for agility in the horizontal plane. *Aust. J. Sci. Med. Sport.*, 17 (1) : 15-18.
- 2) Young, W.B., James, R. and Montgomery, I. (2002) Is muscle power related to running speed with change direction? *J. Sports Med. Phys. Fitness.*, 42: 282-288.

[4]

- 1) Haff, G. Gregory., and Triplett, N. Travis. (2018) ストレングス&コンディショニング第4版, チャプター19 スピードおよびアジリティトレーニングのためのプログラムデザインとテクニック, 篠田邦彦日本語版総監修, 岡田純一監修, 東京, 有限会社ブックハウス・エイチディ, pp565-602.

第Ⅱ章

[1]

- 1) Draper, J.A. and Lancaster, M.G. (1985) The 505 test: A test for agility in the horizontal plane. *Aust. J. Sci. Med. Sport.*, 17 (1) : 15-18.
- 2) Góralczyk, R., Mikolajec, K., POprzecki, S., Zajac, A., Szyngiera, W. and Waskiewicz, Z. (2003) Kinematic analysis of intermittent sprints of elite soccer players. *J. Hum. Kinet.*, 10: 107-120.
- 3) 伊藤知之・金子憲一・袴田智子・柏木悠・船渡和男 (2012) レーザー速度測定器を用いた小学生男子児童の 50 m 疾走能力の評価. *日本体育大学紀要*, 41 (2) : 161-170.
- 4) 金高宏文 (1999) レーザー速度測定器を用いた疾走速度測定におけるデータ処理の検討. *鹿屋体育大学学術研究紀要*, 22: 99-108.
- 5) 松尾彰文・金高宏文 (2001) レーザー方式による経時的疾走速度の計測. *体育の科学*, 51 (8) , 593-597.
- 6) Sheppard, J.M. and Young, W.B. (2006) Agility literature review: Classification, training and testing. *J. Sports Sci.*, 24 (9) : 919-932.
- 7) 篠原康男・前田正登 (2016) 疾走速度変化からみた小学生の 50m 走における局面構成. *体育学研究*, 61 (2), 797-813.
- 8) Stolen, TK., Chamari, C., Castagna, U. and Wisloff, U. (2005) Physiology of soccer. *Sports Med.*, 35: 501-536.
- 9) 高橋流星・小川幸三・船渡和男 (2010) レーザードップラー方式距離計測装置によって得られた歩行運動の移動距離と速度の正確性及び妥当性. *日本体育大学紀要*, 40 (1) : 35-42.
- 10) 高橋流星・筒井崇護・柏木悠・船渡和男 (2013) レーザードップラー方式距離計測装置を用いた短距離疾走能力評価方法～大学生のソフトボール学生と陸上短距離学生の比較～. *日本体育大学紀要*, 42 (2) : 103-110.
- 11) Young, WB, McDowell, MH, and Scarlett, BJ. (2001) Specificity of sprint and agility training methods. *J. Strength Cond. Res.*, 15: 315-319.
- 12) Winter, D.A. (2009) *Biomechanics and motor control of human movement*. Human Kinetics Publishers, Inc. : Illinois, (第 4 版) , pp67-75.

[2 - i]

- 1) Barnes, J.L., Schilling, B.K., Falvo, M.J., Weiss, L.W., Creasy, A.K. and Fry, A.C. (2007) Relationship of jumping and agility performance in female volleyball athletes. *J. Strength. Cond. Res.*, 21: 1192-1196.
- 2) Bloomfield, J., Polman, R. and O' Donoghue, P. (2007) Physical demands of different positions in FA Premier League soccer. *J. Sports Sci. and Med.*, 6: 63-70.
- 3) Green, S., Blake, C. and Caulfield, B. (2011) A comparison of cutting technique performance in rugby union players. *J. Strength Cond. Res.*, 25 (10) : 2668-2680.
- 4) Hader, K., Palazzi, D. and Buchheit, M. (2015) Change of direction speed in soccer : How much brake is enough? *Kineziology*, 47 (1) : 67-74.
- 5) Hewit, J., Cronin, J.B. and Hume, P.A. (2013) Kinematic factors affecting fast and slow straight and change-of direction acceleration times. *J. Strength Cond. Res.*, 27 (1) : 69-75.
- 6) 桑原洋一・斉藤俊弘・稲垣義明 (1993) 検者内および検者間の Reliability (再現性, 信頼性) の検討. *呼吸と循環*, 41 (10) : 945-952.
- 7) McInnes, S.E., Carlson, J.S., Jones, C.J. and McKenna, M.J. (1995) The physiological load imposed on basketball players during competition. *J. Sports Sci.*, 13 (5) : 387-397.
- 8) 岡本直輝 (2015) 敏捷性測定法 505 test の評価視点の検討. *体育測定評価研究*, 14 : 33-41.
- 9) Sato, K. and Mokha, M. (2009) Does core strength training influence running kinetics, lower-extremity stability, and 5000-M performance in runners? *J. Strength Cond. Res.*, 23: 133-140.
- 10) Sayers, M. (2000) Running techniques for field sport players. *Sports Coach Autumn*, 23 (1): 26-27.
- 11) Spencer, M., Lawrence, S., Rechichi, C., Bishop, D., Dawson, B. and Goodman,

- C. (2004a) Time-motion analysis of elite field hockey, with special reference to repeated-sprint activity. *J. Sports Sci.*, 22: 843-850.
- 12) Spencer, M., Rechichi, C., Lawrence, S., Dawson, B., Bishop, D. and Goodman, C. (2005b) Time-motion analysis of elite field hockey during games in succession : a tournament scenario. *J. Sports Sci. Med. Sport*, 8: 382-391.
- 13) Stolen, TK., Chamari, C., Castagna, U. and Wisloff, U. (2005) Physiology of soccer. *Sports Med.*, 35: 501-536.
- 14) Wallace, B.J., Kernozek, T.W., White, J.M., Kline, D.E., Wright, G.A., Peng, H.T. and Huang, C.F. (2010) Quantification of vertical ground reaction forces of popular bilateral plyometric exercises. *J. Strength Cond. Res.*, 24: 207-212.

[2 – ii]

- 1) Brown, T.D. and Vescovi, J.D. (2003) Efficient arms for efficient agility. *Strength Cond. J.*, 25 (4) : 7-11.
- 2) Draper, J.A. and Lancaster, M.G. (1985) The 505 test: A test for agility in the horizontal plane. *Aust. J. Sci. Med. Sport.*, 17 (1) : 15-18.
- 3) Hader, K., Palazzi, D. and Buchheit, M. (2015) Change of direction speed in soccer : How much brake is enough? *Kineziology*, 47 (1) : 67-74.
- 4) Hewit, J., Cronin, J.B. and Hume, P.A. (2013) Kinematic factors affecting fast and slow straight and change-of direction acceleration times. *J. Strength Cond. Res.*, 27 (1) : 69-75.
- 5) Jones, P., Bampouras T. M. and Marrin, K. (2009) An investigation into the physical determinants of change of direction speed. *J. Phys. Fit. Sports Med.*, 49 (1) : 97-104.
- 6) Sasaki, S., Nagano, Y., Kaneko, S., Sakurai, T. and Fukubayashi, T. (2011b) The relationship between performance and trunk movement during change of direction. *J. Sports. Sci. Med.*, 10: 112-118.
- 7) Stolen, TK., Chamari, C., Castagna, U. and Wisloff, U. (2005) Physiology of soccer. *Sports Med.*, 35: 501-536.
- 8) Young, W.B., James, R. and Montgomery, I. (2002) Is muscle power related to

running speed with change direction? J. Sports Med. Phys. Fitness., 42: 282-288.

- 9) Young, W., McDowell, M. and Scarlett, B. (2001) Specificity of sprint and agility training methods. J. Strength Cond. Res., 15: 315-319.

[3]

- 1) 船渡和男 (1988) 筋収縮力の成長・加齢. 体育の科学, 38 : 431-438.
- 2) Hader, K., Palazzi, D. and Buchheit, M. (2015) Change of direction speed in soccer : How much brake is enough? Kineziology, 47 (1) : 67-74.
- 3) 星川佳広・飯田朝美・古森政作・中馬健太郎・澁川賢一・菊池忍 (2012) サッカー選手における 20m 走タイムの評価表の試案 : ジュニアからプロまでの検討. 体育学研究, 57 : 249-260.
- 4) 稲葉優希・深代千之 (2010) 方向転換の基礎動作. 体育の科学, 60 : 739-744.
- 5) Jones, P., Bampouras T. M. and Marrin, K. (2009) An investigation into the physical determinants of change of direction speed. J. Phys. Fit. Sports Med., 49 (1) : 97-104.
- 6) 三島隆幸・渡辺英次・関一誠 (2017) 身長発育とスピード, アジリティ, 瞬発力および敏捷性の発達との関係ー幼児期から青年期男子の解析ー. 日本トレーニング指導学会, 2 (1) : 4-10.
- 7) Philippaerts, R.M., Vaeyens, R., Janssens, M., Renterghem, B.V., Matthys, D., Craen, R., Bourgois, J., Vrijens, J., Beunen, G. and Malina, R.M. (2006) The relationship between peak height velocity and physical performance in youth soccer players. J. Sports Sci., 24: 221-230.
- 8) スポーツ庁 (2018) 平成 29 年度体力・運動能力調査報告書, スポーツ庁 https://www.mext.go.jp/sports/b_menu/toukei/chousa04/tairyoku/kekka/k_detail/1409822.htm (Accessed 2018-09-20)
- 9) Stolen, TK., Chamari, C., Castagna, U. and Wisloff, U. (2005) Physiology of soccer. Sports Med., 35: 501-536.
- 10) Suwa, S., Tachibana, K., Maesaka, H., Tanaka, T. and Yokoya, S. (1992) Longitudinal standards for height and height velocity for Japanese children

from birth to maturity. *Clin. Pediatr Endocrinol.*, 1 (1) : 5-13.

- 11) Tanaka, T., Suwa, S., Yokoya, S. and Hibi, I. (1988) Analysis of linear growth during puberty. *Acta paediatr. Scand. Suppl.*, 347: 25-9.
- 12) Tonson, A., Ratel, S., Le Fur, Y., Cozzone, P., and Bendahan, D. (2008) Effect of maturation on the relationship between muscle size and force production. *Med. Sci. Sports Exerc.*, 40 : 918-925.
- 13) Young, W.B., James, R. and Montgomery, I. (2002) Is muscle power related to running speed with change direction? *J. Sports Med. Phys. Fitness.*, 42: 282-288.

[4]

- 1) Dos'Santos, T., Thomas, C., Jones, A.P. and Comfort, P. (2017) Mechanical determinants of faster change of direction speed performance in male athletes. *J. Strength Cond. Res.*, 31 : 696-705.
- 2) Draper, J.A., and Lancaster, M.G. (1985) The 505 test : A test for agility in the horizontal plane, *Aust. J. Sci. Med. Sport.*, 17 : 15-18.
- 3) Havens, K.L. and Sigward, S.M. (2015) Joint and segmental mechanics differ between cutting maneuvers in skilled athletes. *Gait Posture*, 41: 33-38.
- 4) 星川佳広 (2009) プロサッカー選手を選抜した体力的要因 ～育成期選手の体力変化からあるべきトレーニングを考える～, *日本ストレングス&コンディショニング協会機関誌*, 16 : 2-8.
- 5) Hewit, J., Cronin, J.B. and Hume, P.A. (2013) Kinematic factors affecting fast and slow straight and change-of direction acceleration times. *J. Strength Cond. Res.*, 27 (1) : 69-75.
- 6) Jones, P.A., Herrington, L. and Graham-Smith, P. (2016) Braking characteristics during cutting and pivoting in female soccer players. *J. Electromyogr. Kinesiol.*, 30 : 46-54.
- 7) Jones, P., Thomas, C., Dos'Santos, T., McMahon, J. and Graham-Smith, P. (2017) The role of eccentric strength in 180°turns in female soccer players. *Sports*, 5 : 42.

- 8) 亀田麻依・水谷未来・杉山敬・木葉一総・前田 明 (2019) バスケットボール選手の予測不可能条件下におけるサイドステップが繰り返し動作中の下肢および体幹に及ぼす影響, 体育学研究, 64 : 705-717.
- 9) 亀田麻依・水谷未来・杉山敬・木葉一総・前田 明 (2017) バスケットボールのディフェンス選手における繰り返し動作の特徴, トレーニング科学, 29 : 33-42.
- 10) 川原布紗子・吉田拓矢・野中愛里・九鬼靖太・谷川聡 (2019) 後方への素早い方向転換動作—光刺激による状況判断を伴った方向転換を対象にして—. 体育学研究, 64 : 521-53.
- 11) 金子憲一・石井信子・袴田智子・柏木悠・伊藤知之・船渡和男 (2015) アプローチ走速度の違いが方向転換走タイムに及ぼす影響—レーザー距離計測装置による瞬時速度の分析から—. トレーニング科学, 26 : 241-249.
- 12) Kaneko, K., Hirano, T., Yamagishi, M., Kashiwagi, YU., Hakamada, N., Tago, T. and Funato, K. (2019) Factors affecting the 180-degree change-of-direction speed in youth male soccer players. *Human Performance Measurement*, 16 : 1-10.
- 13) Marshall, B.M., Franklyn-Miller, A.D., King, E.A., Moran, K.A, Strike, S. and Falvey, A. (2014) Biomechanical factors associated with time to complete a change of direction cutting maneuver. *J. Strength Cond. Res.*, 28 : 2845-2851.
- 14) Schreurs, M.J., Benjaminse, A. and Lemmink, K.A. (2017) Sharper angle, higher risk? The effect of cutting angle on knee mechanics in invasion sport athletes. *J. Biomech.*, 63 : 144-50.

第Ⅲ章

[1]

- 1) Haff, G. Gregory., and Triplett, N. Travis. (2018) ストレングス&コンディショニング第4版, チャプター19 スピードおよびアジリティトレーニングのためのプログラムデザインとテクニック, 篠田邦彦日本語版総監修, 岡田純一監修, 東京, 有限会社ブックハウス・エイチディ, pp565-602.
- 2) Hewit, J., Cronin, J.B. and Hume, P.A. (2013) Kinematic factors affecting fast and slow straight and change-of direction acceleration times. *J. Strength Cond. Res.*, 27 (1) : 69-75.

- 3) Schot, P., Dart, J. and Schuh, M. (1995) Biomechanical analysis of two change of direction maneuvers while running. *J. Orthop. Sports. Phys.*, 22 : 254-258.
- 4) Sigward, S.M., Cesar, G.M. and Havens, K.L. (2015) Predictors of frontal plane knee moments during side-step cutting to 45 and 110 degrees in men and women: implications for anterior cruciate ligament injury. *Clin. J. Sport. Med.*, 25 : 529-534.

[3]

- 1) 星川佳広 (2009) プロサッカー選手を選抜した体力的要因 ～育成期選手の体力変化からあるべきトレーニングを考える～, 日本ストレングス&コンディショニング協会機関誌, 16 : 2-8.
- 2) 公益財団法人日本サッカー協会. (2016) JFA 指導指針 2017 (第 3 章), 東京, アサヒビジネス株式会社, pp36-37.
- 3) Lloyd, R.S., Oliver, J.L., Meyers, R.W., Read, P., Jeffreys, I. and Nuimphius, S. (2013) Considerations for the development of agility during childhood and adolescence. *Strength Cond. J.*, 35 (3) : 2-11.
- 4) 三島隆幸・渡辺英次・関一誠 (2017) 身長発育とスピード, アジリティ, 瞬発力よび敏捷性の発達との関係ー幼児期から青年期男子の解析ー. 日本トレーニング指導学会, 2 (1) : 4-10.
- 5) Sheppard, J.M. and Young, W.B. (2006) Agility literature review : classification, training and testing. *J. Sports Sci.*, 24(9): 919-932.
- 6) スポーツ庁 (2018) 平成 29 年度体力・運動能力調査報告書, スポーツ庁 https://www.mext.go.jp/sports/b_menu/toukei/chousa04/tairyoku/kekka/k_detail/1409822.htm (Accessed 2018-09-20)
- 7) Suwa, S., Tachibana, K., Maesaka, H., Tanaka, T. and Yokoya, S. (1992) Longitudinal standards for height and height velocity for Japanese children from birth to maturity. *Clin. Pediatr Endocrinol.*, 1 (1) : 5-13.
- 8) Vänttinen, T., Blomqvist, M., Nyman, K. and Häkkinen, K. (2011) Changes in body composition, hormonal status, and physical fitness in 11-, 13-, and 15-

year-old finnish regional youth soccer players during a two-year follow up. J. Strength Cond. Res., 25: 3342-3351.

[4]

- 1) Havens, K.L. and Sigward, S.M. (2015) Joint and segmental mechanics differ between cutting maneuvers in skilled athletes. Gait Posture, 41: 33-38.

[5]

- 1) 亀田麻依・水谷未来・杉山敬・木葉一総・前田 明 (2017) バスケットボールのディフェンス選手における切り返し動作の特徴, トレーニング科学, 29 : 33-42.
- 2) 小山孟志・有賀誠司・陸川章・長尾秀行・小河原慶太・山田洋 (2015) バスケットボール選手におけるサイドステップ動作の運動学的特徴. 東海大学スポーツ医学雑誌, 27 : 21-27.

[6]

- 1) Haff, G. Gregory., and Triplett, N. Travis. (2018) ストレングス&コンディショニング第4版, チャプター19 スピードおよびアジリティトレーニングのためのプログラムデザインとテクニック, 篠田邦彦日本語版総監修, 岡田純一監修, 東京, 有限会社ブックハウス・エイチディ, pp565-602.

第V章

[1 - i]

- 1) Agel, J., Arendt, E A. and Bershadsky, B. (2005) Anterior cruciate ligament injury in national collegiate athletic association basketball and soccer : A 13-year review. Am. J. Sports Med., 33: 524-530.
- 2) Baechle, TR., and Earle, RW. (2002) ストレングス&コンディショニング, 石井直方総監修・長谷川裕・岡田純一監修, 東京, ブックハウス・エイチディ, 324, 327, pp.465-510.
- 3) Baechle, TR. and Earle, RW. (2000) Essentials of Strength Training and Conditioning. Champaign, IL : Human Kinetics.

- 4) Chelly, MS., Fathloun, M., Cherif, N., Ben Amar, M., Tabka, Z. and Van Praagh, E. (2009) Effects of a back squat training program on leg power, jump, and sprint performances in junior soccer players. *J. Strength Cond. Res.*, 23: 2241-2249.
- 5) Christou, M., Smilios, I., Sotiropoulos, K., Volaklis, K., Pilianidis, T. and Tokmakidis, SP. (2006) Effects of resistance training on the physical capacities of adolescent soccer players. *J. Strength Cond. Res.*, 20: 783-791.
- 6) Draper, J.A. and Lancaster, M.G. (1985) The 505 test: A test for agility in the horizontal plane. *Aust. J. Sci. Med. Sport.*, 17 (1) : 15-18.
- 7) 公益財団法人全国高等学校体育連盟 (2018) <http://www.zen-koutairen.com/> (Accessed 2018-11-05) .
- 8) 公益財団法人日本サッカー協会 (2018) http://www.jfa.jp/about_jfa/organization/databox/player.html. (Accessed 2018-09-20) .
- 9) 公益財団法人日本サッカー協会スポーツ医学委員会編 (2011) コーチとプレーヤーのためのサッカー医学テキスト. 東京, 金原出版株式会社, pp31-41.
- 10) Larson-Meyer, ED., Hunter, GR., Trowbridge, CA., Turk, JC., Ernest, JM., Torman, SL. and Harbin, PA. (2000) The effect of creatine supplementation on muscle strength and body composition during off-season training in female soccer players. *J. Strength Cond. Res.*, 14: 434-442.
- 11) Lehance, C., Binet, J., Bury, T. and Croisier, JL. (2009) Muscular strength functional performances and injury risk in professional and junior elite soccer players. *Scand. J. Med. Sci. Sports.*, 19: 243-251.
- 12) Lesinski, M., Prieske, O., Norman Helm, N. and Granacher, U. (2017) Effects of Soccer Training on Anthropometry, Body Composition, and Physical Fitness during a Soccer Season in Female Elite Young Athletes: A Prospective Cohort Study. *Front. Physiol.*, 8: 1093.
- 13) Myer, GD., Ford, KR., Palumbo, JP. and Hewett, TE. (2005) Neuromuscular training improves performance and lower-extremity biomechanics in female athletes. *J. Strength Cond. Res.*, 19: 51-60.

- 14) Naclerio, F., A.D. Faigenbaum, E., Larumbe-Zabala, T., Perez-Bilbao, J., Kang, N.A. Ratamess. and T., Triplett. (2013) Effects of different resistance training volumes on strength and power in team sport athletes. A pilot study. *J. Strength Cond. Res.*, 27: 1832-1840.
- 15) Nesser, T W. and Lee, W L. (2009) The relationship between core strength and performance in division I female football players. *J. Exerc. Physiol.*, 12: 21-28.
- 16) Ozbar, N., Ates, S. and Agopyan, A. (2014) The effect of 8-week plyometric training on leg power, jump and sprint performance in female soccer player. *J. Strength Cond. Res.*, 28: 2888-2894.
- 17) Ronnestad, BR., Kvamme, N H., Sunde, A. and Raastad, T. (2008) Short-term effects of strength and plyometric training on sprint and jump performance in professional soccer players. *J. Strength Cond. Res.*, 22: 773-780.
- 18) Young, W. B., James, R. and Montgomery, I. (2002) Is muscle power related to running velocity with changes of direction? *J. Sports Med. Phys. Fitness*, 42: 282-288.
- 19) Wisloff, U., C. Castagna., J. Helgerud., R. Jones. and J. Haff. (2004) "Strong correlation of maximal squat strength with sprint performance and vertical jump height in elite soccer players". *J. Sports Med.*, 38: 285-288.
- 20) 全日本大学女子サッカー連盟 (2018) <http://juwfa.com/>. (Accessed 2018-11-05) .

[1 – ii]

- 1) Agel, J., Arendt, E A. and Bershadsky, B. (2005) Anterior cruciate ligament injury in national collegiate athletic association basketball and soccer : A 13-year review. *Am. J. Sports Med.*, 33: 524-530.
- 2) Baechle, TR. and Earle, RW. (2002) ストレングス&コンディショニング, 石井直方総監修・長谷川裕・岡田純一監修, 東京, ブックハウス・エイチディ, 324,327, 465-510.
- 3) Christou, M., Smilios, I., Sotiropoulos, K., Volaklis, K., Pilianidis, T. and Tokmakidis, SP. (2006) Effects of resistance training on the physical capacities of adolescent soccer players. *J. Strength Cond. Res.*, 20: 783-791.

- 4) Cressey, E.M., West, C.A., Tiberio, D.P., Kraemer, W.J. and Maresh, C.M.
(2007) The effects of ten weeks of lower-body unstable surface training on markers of athletic performance. *J. Strength Cond. Res.*, 21: 561-567.
- 5) Draper, J.A. and Lancaster, M.G. (1985) The 505 test: A test for agility in the horizontal plane. *Aust. J. Sci. Med. Sport.*, 17 (1) : 15-18.
- 6) Hewett, TE., Lindenfeld, TN., Riccobene, JV. and Noyes, FR. (1999) The effect of neuromuscular training on the incidence of knee injury in female athletes: A prospective study. *Am. J. Sports Med.*, 27: 699-706.
- 7) Howell, K.C. (2013) Training for landing and cutting stability in young female basketball and soccer players. *Strength Cond. J.*, 35 (2) : 66-78.
- 8) 公益財団法人日本サッカー協会スポーツ医学委員会編 (2011) コーチとプレーヤーのためのサッカー医学テキスト. 東京, 金原出版株式会社, pp.42-55.
- 9) 公益財団法人日本サッカー協会 (2016) JFA 指導指針 2017 (第3章). 東京, アサヒビジネス株式会社, 40-43.
- 10) Little, T. and Williams, A.G. (2005) Specificity of acceleration, maximum speed, and agility in professional soccer players. *J. Strength Cond. Res.*, 19 (1) : 76-78.
- 11) Moreno, E. (1995) Developing quickness, part II. *Strength and Cond*, 17 (1) : 38-39.
- 12) Ozbar, N., Ates, S. and Agopyan, A. (2014) The effect of 8-week plyometric training on leg power, jump and sprint performance in female soccer player. *J. Strength Cond. Res.*, 28: 2888-2894.
- 13) Polman, R., Walsh, D., Bloomfield, J. and Nesti, M. (2004) Effective conditioning of female soccer players. *J. Sports Sci.*, 22 (2) : 191-203.
- 14) Spinetti, J., Figueiredo, T., Bastos, de Oliveira, V., Assis, M., Fernandes, de Oliveira, L., Miranda, H., Machado, de Ribeiro., Reis, VM. and Simao, R.
(2016) Comparison between traditional strength training and complex contrast training on repeated sprint ability and muscle architecture in elite soccer players. *J. Sports Med. Phys. Fitness*, 56: 1269-1278.

- 15) Turner, E., Munro, A.G. and Comfort, P. (2013) Female soccer: Part 1-A Needs Analysis. *Strength Cond. J.*, 35 (1) : 51-57.
- 16) Wesam, Saleh A., Al, Attar., Najeebullah, S., Evangelos, P., Peter, J.S. and Ross, H.S. (2016) How Effective are F-MARC Injury Prevention Programs for Soccer Players? A Systematic Review and Meta-Analysis. *Sports Med.*, 46 (2) : 205-217.

謝辞

本論文は、筆者が日本体育大学大学院体育科学研究科体育科学専攻博士前期課程（2005年4月～2007年3月）、日本体育大学スポーツ・トレーニングセンター無給研究員（2007年4月～2010年3月）、日本体育大学スポーツ・トレーニングセンター助教（2010年4月～2012年3月）、そして、2014年4月より奉職させていただいている徳島文理大学において行った研究成果をまとめたものです。この間、本論文をまとめるにあたり、終始懇切丁寧なご指導とご鞭撻を賜りました、日本体育大学大学院体育科学研究科体育科学専攻トレーニング科学系、船渡和男教授に心より感謝を申し上げます。最初は、大学院で研究をすることの意義もわからず、自分の将来の方向性に迷っていた私に、教育・研究の世界へと導いて下さいました。船渡教授のもとで素晴らしい仲間と出会い、研究を行い、研究の世界で生きていく楽しさ・やりがい・生きがいのすべてをご教授くださいましたことは一生忘れません。また、本論文の審査過程において、数々のご指導とご助言を賜りました、日本体育大学大学院体育科学研究科体育科学専攻トレーニング科学系黄仁官教授、日本体育大学大学院体育科学研究科コーチング学専攻コーチング系杉田正明教授には、深謝申し上げます。

本論文は、多くの方々のご協力なくしてはできませんでした。藤沢市立高倉中学校サッカー部、藤沢市立明治中学校サッカー部、鎌倉市立御成中学校サッカー部、ソルコリーナFC（当時）、東京工業大学附属科学技術高等学校サッカー部、神奈川県立藤沢清流高等学校サッカー部、神奈川県立藤沢西高等学校サッカー部員の皆様には、快く実験に参加、ご協力いただきました。深く感謝いたします。そして、株式会社フロンティアメディック大津宏滋様、株式会社ヴァゴ豊水洋一様には、博士前期課程入学当初から研究に関するあらゆることを教えていただきました。また、研究室のプロジェクトの際には多大なご協力をいただきました。さらに、研究の進め方や個人的な悩みについても親身になって相談に乗っていただくこともありました。深くお礼申し上げます。そして、本研究を進めるにあたり、船渡研究室のOB・OG、現研究室に所属する大学院生、学部生、お世話になっている企業の皆様、そして、研究室の繋がりのある徳島文理大学短期大学部保育科石井信子教授をはじめ、諸先生方のご指導・ご支援・ご協力がなければ本論文をまとめることは出来ませんでした。ここに厚くお礼を申し上げます。

最後に、本研究の遂行にあたってご協力を賜りました全ての方々に御礼を申し上げる

とともに、いつも一番近くで私を支えてくれた両親，妻・歌織，長男・仁，次男・丈にも心より感謝いたします。本当にありがとうございました。