

博士論文

20 m シャトルランテストを用いた
ラグビー選手におけるターン能力の評価

平成25年度

筑波大学大学院 人間総合科学研究科 体育科学専攻

吉田雄大

目次

目次	I
関連論文	IV
図表タイトル一覧	V
第1章 緒言	1
第2章 文献研究および検討すべき問題.....	5
1. 20 M シャトルランテストに関する研究.....	5
2. ラグビー選手の体力に関する研究.....	12
3. 切り返し走に関する研究	17
4. 加速度センサに関する研究.....	20
5. 検討すべき問題.....	26
第3章 研究の目的および研究課題の設定.....	27
1. 研究の目的.....	27
2. 研究課題の設定.....	27
3. 研究課題の進め方	28
4. 研究の限界.....	29
5. 用語の定義.....	31
第4章 ラグビー選手の全身持久力評価における 20 M シャトルランテストの妥当性 (研究課題1)	33
1. 目的	33
2. 方法	33

3. 結果.....	37
4. 考察.....	45
5. まとめ.....	48
第5章 映像を用いたターン能力を捉えるための方法の検討（研究課題2）.....	50
1. 目的.....	50
2. 方法.....	50
3. 結果.....	57
4. 考察.....	62
5. まとめ.....	65
第6章 ターンが加速度センサの出力に及ぼす影響（研究課題3-1）.....	67
1. 目的.....	67
2. 方法.....	67
3. 結果.....	69
4. 考察.....	75
5. まとめ.....	78
第7章 ターン局面の加減速と加速度センサの出力との関係（研究課題3-2）..	80
1. 目的.....	80
2. 方法.....	80
3. 結果.....	84
4. 考察.....	93
5. まとめ.....	95
第8章 ターン能力とラグビー選手の競技水準との関係（研究課題4）.....	98
1. 目的.....	98
2. 方法.....	98

3. 結果.....	103
4. 考察.....	110
5. まとめ.....	114
第9章 総括.....	115
1. 要約.....	115
2. 結論.....	119
3. 今後の検討課題.....	120
謝 辞	121
参考文献	122

関連論文

本博士論文に関連する原著論文は以下の通りである。

- 1) Yoshida, Y., Takahashi, S., Momma, H., Yuze, T., Chiba, T. and Maeda, A. (2008)
Effect of turn skill on expired gas dynamics during 20 meters shuttle running test,
Human Performance Measurement. 5: 31-40.

- 2) 吉田雄大, 高橋信二, 千葉智則, 前田明伸, 木塚朝博 (2013) 3 軸加速度センサを用いたシャトルランにおける走行特性の評価. 体育学研究, 58: 35-44.

図表タイトル一覧

第2章・第3章

図1 アジリティの構成要素モデル

図2 研究課題の構成

第4章

表4-1 被験者の身体特性

表4-2 20-MST および SRT におけるステージとステージ速度

表4-3 SRT の成績および SRT と TRT における呼気ガス諸量の最高値

図4-1 SRT における $\dot{V}O_2\max$ に対する $\dot{V}O_2\text{peak}$

表4-4 3 要因の Mixed model の結果

図4-2 SRT と TRT における $\dot{V}O_2$ (上) および $\dot{V}CO_2$ (下) の比較
(全被験者のデータ)

図4-3 SRT と TRT における $\dot{V}O_2$ (上) および $\dot{V}CO_2$ (下) の比較
(ラグビー群)

図4-4 SRT と TRT における $\dot{V}O_2$ (上) および $\dot{V}CO_2$ (下) の比較
(長距離群)

図4-5 SRT と TRT における Δla の群間比較

第 5 章

図 5-1 頭部デジタイズと 2 次元座標値の例

図 5-2 モデルの概念図

図 5-3 シャトルランにおけるラグビー選手と長距離選手の走行軌跡の典型例

表 5-1 被験者の身体特性および 20 m シャトルランテストの成績

表 5-2 各モデルにおける情報量基準

図 5-4 ターン径のヒストグラム

図 5-5 ターン径の箱ひげ図

図 5-6 ターン径の群間の比較

図 5-7 位置データより算出した加速度とステージ速度との関係

第 6 章

図 6-1 シャトルラン課題におけるターン局面の模式図（ラグビー選手）

表 6-1 Mixed model の結果

図 6-2 SRT と TRT における加速度センサの出力（全被験者のデータ）

図 6-3 SRT と TRT における加速度センサの出力（ラグビー群）

図 6-4 SRT と TRT における加速度センサの出力（長距離群）

第 7 章

表 7-1 X_{ACC} と加速度センサとの出力との相関係数（全被験者のデータ）

表 7-2 X_{ACC} と加速度センサとの出力との相関係数（個人毎の平均値）

表 7-3 X_{ACC} を応答変数としたモデルの情報量基準

図 7-1 映像から算出した加速度と前後方向の加速度センサの出力との関係

図 7-2 映像から算出した加速度と左右方向の加速度センサの出力との関係

表 7-4 ステージ速度と加速度センサとの出力との相関係数

表 7-5 ステージ速度を応答変数としたモデルの情報量基準（10 m 条件）

図 7-3 ステージ速度と加速度センサの出力との関係

図 7-4 前半のステージと後半のステージにおけるステージ速度と
加速度センサの出力との関係

第 8 章

表 8-1 被験者特性

図 8-1 前半のステージと後半のステージの回帰係数における競技水準および
ポジション間の比較

図 8-2 20-MST における競技水準およびポジション間の比較

図 8-3 前後シャトル得点および左右シャトル得点における競技水準および
ポジション間の比較

図 8-4 体力テストにおける競技水準およびポジション間の比較

図 8-5 競技水準別の 20-MST と回帰係数の散布図

第1章 緒言

競技スポーツにおいて高い成績をあげるためには、体力をより高い水準へ向上させることや、それを維持させることが重要である。必要とされる体力要素は、それぞれの競技によって異なる。ラグビーユニオン（15人制ラグビー：以下ラグビーと表記する）では、スピード、下肢パワー、アジリティなどが必要とされる（Nicholas, 1997；Duthie et al., 2003；Gabbett et al., 2008；Roberts et al., 2008；日本ラグビーフットボール協会, 2012）。さらに、多くの球技に共通することであるが、必要とされる動きを試合終了まで継続できる全身持久力がラグビーでも重要な体力要素であると考えられている（宝田, 2002）。全身持久力の測定方法は数多くあるが、ラグビーに関する研究では20 m シャトルランテスト（maximal multi stage 20 m shuttle run test:以下20-MSTと表記する）がよく用いられている（村上ら, 1992；Nicholas and Baker, 1995；Tong and Mayes, 1995；Quarrie et al., 1996；O’Gorman et al., 2000；Duthie et al., 2003；高橋ら, 2005；Durandt et al., 2006；筒井ら, 2009）。

20-MSTは、Léger et al. (1984)によって開発された全身持久力を測定するパフォーマンステストのひとつである。20-MSTはラグビーだけではなくさまざまな球技における全身持久力の測定に用いられている（Nicholas, 1997；片桐と佐藤, 2000；Meckel et al., 2009；Stone and Kilding, 2009）。往復走である20-MSTはターン（本研究では20-MSTの方向変換をターンとする）を伴うので、このターンの存在が20-MSTの成績に影響すると指摘されている（Grant et al., 1995）。また、先行研究では、20-MST

を用いて最大酸素摂取量 (maximal oxygen intake : $\dot{V}O_2\text{max}$) を推定する際、長距離選手を対象とした場合に過小評価し、球技選手を対象とした場合は過小評価しないと報告されている (St Clear Gibson et al., 1998). その理由として、20-MSTにおけるターンの存在の影響度が、競技特性の違いによって異なるとの指摘がある。つまり、長距離の競技場面にはターンと類似する動きがほとんど現れないものの、球技の競技場面には多く現れ、球技選手は繰り返しやそれに伴う急激な加減速などを多く経験している。これらのことから、球技選手では $\dot{V}O_2\text{max}$ を過小評価しないことにつながると示唆されている。このことから、20-MST の成績には全身持久力だけではなく、20-MST のターンを遂行する能力である「ターン能力」が関係すると推測される。また、ターン能力は長距離選手とラグビー選手とで異なると予想される。

さらに、同じ球技選手の間でもターン能力は異なると予想される。例えば、ラグビー選手を対象とした研究では、20-MST の成績と $\dot{V}O_2\text{max}$ との関係に大きなバラツキを確認できたことから、20-MST にターン能力 (原文ではターンのスキルの違いと表記) が影響すると示唆されている (村上, 1992)。したがって、ラグビー選手間でもターン能力に個人差があり、それが競技水準の一面を反映している可能性がある。

ターンを有する 20-MST は方向変換走である側面を持つ。方向変換走には、身体の方角をすばやく変換する能力であるアジリティが関係すると指摘されている (Sheppard and Young, 2006)。よって、20-MST を用いシャトル数に加えてターン能力を捉えることで、全身持久力だけではなくターン能力をも評価できると推測される。また、繰り返し走のタイムや繰り返しに関する技能がラグビー選手の競技水準で異な

ると報告されている (Green et al., 2011a, 2011b). これらのことから, ターン能力の評価を含んだ 20-MST は, ラグビー選手の競技水準の判別にも有用である可能性がある. しかし, これまで 20-MST を用いて全身持久力以外の体力要素を評価した研究は見当たらず, 本研究によって 20-MST の新たな利用法を提案できれば 20-MST の利用価値も高まる. 特に, 20-MST では走行速度が大きくなる後半のステージで, ターンの存在の影響が大きくなると予想される. 先行研究では, ターンの存在が影響することにより, 後半のステージで無酸素性エネルギーの寄与が大きくなる可能性を指摘している (Grant et al., 1995). さらに, 後半のステージで 20-MST 中の二酸化炭素排出量に対する換気量が増加し, 呼吸性代償 (respiratory compensation) 閾値が確認できたと報告されている (Takahashi et al., 2008). これらのことから, 後半のステージで無酸素性エネルギー供給が寄与していると示唆される. よって, 20-MST の後半のステージでは, 解糖系などの無酸素性エネルギー供給の動員を伴う中で, ターンが行われると考えられる. 実際の試合でも, 無酸素性エネルギー供給の動員を伴う中で繰り返し方向変換が要求されることから, 20-MST の後半のステージは, 実際の試合に近い状況であると推測される. したがって, 20-MST の特に後半のステージでのターン能力は, ラグビー選手の競技水準の判別にも有用である可能性がある.

ところで, 20-MST においてターン能力をも同時に評価するには, ターン能力を捉える方法を確立する必要がある. ヒトの動きの特性を定量化する方法はいくつかあるが, その中でも映像を用いる方法が一般的な手法として挙げられる. ただし, 20-MST を実施する際の撮影範囲や撮影時間の長さを考慮すると, 映像による方法は簡便な方

法とは言い難い。さらに、被験者が複数であることを想定した場合、映像を用いて全員を同時に分析するには特殊な撮影環境が必要となる。20-MSTのターンをする局面（以下、ターン局面とする）では加減速が大きくなることに着目すると、加速度センサは比較的扱いが簡便なデバイスとして利用価値があると推測される。加速度センサにより動きを定量化する方法では、計測範囲などの空間的制限をほとんど受けないこと、比較的容易にデータを収集し分析できることがメリットとして挙げられる。これらのメリットから加速度センサは、身体活動量の推定 (Bouton et al., 1994 ; Eston et al., 1998 ; Nichols et al., 1999 ; Iwashita et al., 2003 ; Fudge et al., 2007), 身体活動の分類 (Bonomi et al., 2009), 歩行や走行における動きの評価 (Le Bris et al., 2006; Fudge et al., 2007; Rowlands et al., 2007), ボート競技における動きの評価 (中村, 2007) などに幅広く用いられている。加速度センサを走行の評価に応用している研究として、加速度センサの出力から走行速度を見積もった報告や (Fudge et al., 2007), ステップの頻度などの走行中の動きの特性を加速度センサで捉えた報告 (Rowlands et al., 2007) などが挙げられる。これらの先行研究から、加速度センサはターンの動きを捉えることにも応用でき、ターン能力を加速度センサで捉えることができると予想される。

以上のことから、20-MSTを用いたラグビー選手におけるターン能力の測定法を確立することで、20-MSTの新しい活用法が提示できる考えられる。また、ターン能力を捉える際、加速度センサが有用なデバイスであることを検討する必要がある。さらに、この評価法がラグビー選手における競技水準の判別に対しても有用である可能性を確かめる必要がある。

第2章 文献研究および検討すべき問題

1. 20 m シャトルランテストに関する研究

全身持久力の評価指標である $\dot{V}O_2\text{max}$ を測定する方法は、呼気ガスを採取することで直接測定するのが理想的である。ただし実際には、測定に必要な設備や測定時間などの問題から、パフォーマンステストの成績により $\dot{V}O_2\text{max}$ を推定する方法が用いられてきた。パフォーマンステストは今日までさまざまなものが考案されており、本研究で用いる 20-MST だけでなく、1500 m 走などの時間走、12 分間走などの距離走、ハーバード・ステップテスト（踏み台昇降テスト）や自転車エルゴメータなどを用いた最大下作業テストなどが挙げられる（山地，1992）。20-MST は、Léger and Lambert（1982）により考案されたパフォーマンステストのひとつである。20-MST では、走行速度を規定するビーブ音の間隔を次第に短くすることで走行速度を漸増させながら、20 m 間隔の 2 本の平行線間を疲労困憊に至るまで繰り返し往復し、その回数によって $\dot{V}O_2\text{max}$ が推定される。20-MST には 2 種類のプロトコルがあり、両者は開始の走行速度および速度漸増の時間間隔が異なる。最初に考案された 20-MST は、8.0 km/h でスタートし、約 2 分毎に 0.5 km/h ずつ漸増するプロトコルであった（Léger and Lambert, 1982）。一方、後に考案された 20-MST は、8.5 km/h でスタートし、約 1 分毎に 0.5 km/h ずつ漸増するプロトコルであった（Léger et al., 1984）。両者は同じグループによって考案されたが、発表された雑誌から前者は European version、後者は

Canadian version と呼ばれる (McNaughton et al., 1996). ただし, 測定時間が短く, 妥当性に関する研究が後者の Canadian version で多いことから, 現在用いられている 20-MST のほぼすべてが Canadian version である.

1.1. 20 m シャトルランテストの妥当性に関する研究

20-MST が発表されて以来, 後述するように, 20-MST による $\dot{V}O_2\max$ 推定の妥当性が複数の研究者により検討されてきた. 妥当性の検討には, トレッドミルによる漸増負荷法を用い直接測定した $\dot{V}O_2\max$ と 20-MST の成績とを比較する方法が用いられている. すなわち, 直接測定した $\dot{V}O_2\max$ を応答変数, 20-MST の成績を説明変数として作成した直線回帰による推定式の説明率 (R^2) または両者の相関係数を算出している. 以下に, 各報告の係数を記述する. Léger et al. (1984) は 6~9 歳の男女 200 名を対象として $R^2 = 0.74$ を, Paliczka et al. (1987) は 27.3 ± 9.2 歳の男性 9 名を対象として $R^2 = 0.87$ を, Ramsbottom et al. (1988) は 19~36 歳の男女 74 名を対象として $R^2 = 0.85$ を, Léger and Gadoury (1989) は 19~47 歳の男女 77 名を対象として $R^2 = 0.81$ を, Boreham et al. (1990) は 15 歳前後の男女 48 名を対象として $R^2 = 0.76$ を, McNaughton et al. (1996) は 12~16 歳の男女 100 名を対象として $r = 0.86$ (R^2 を計算すると 0.74) をそれぞれ報告している. これらの報告から, 20-MST は全身持久力を評価するテストとして妥当であることが, 幅広い年齢層および男女で確認されている. しかしながら, 20-MST では, 繰り返されるターンやその際の加減速がテストの成績に影響を及ぼすことも指摘されているので次節で紹介する.

1.2. ターンの影響に関する研究

ターンの影響を検討している先行研究として、20-MST と他の持久走とを比較した研究 (Grant et al., 1995; Flouris et al., 2004 ; Metsios et al., 2008) が挙げられる。Grant et al. (1995) は、そのほとんどが長距離種目を行なっている男性を対象に、トレッドミルを用いて直接測定した $\dot{V}O_2\text{max}$ とトラックでの12分間走(クーパー走:Cooper, 1968) および 20-MST の成績から推定された $\dot{V}O_2\text{max}$ とを比較することで、それぞれの妥当性を検討した。実測値とクーパー走からの推定値の差(推定値-実測値)は 0.5 ml/kg/min (n.s.) であったのに対し、20-MST からの推定値との差は-4.5 ml/kg/min であった。これらの結果より、長距離選手を対象とした場合、20-MST では全身持久力を過小評価することを主張している。この理由として、特に大きい走行速度における状況下でターン能力に大きいバラツキが観察されること、さらに加減速の大きいターンでは無酸素系のエネルギー供給が寄与する可能性を指摘している。この研究は、20-MST の成績にターンの影響があることを初めて指摘した点で重要である。また Flouris et al. (2004) は、ターンの影響を小さくすることを目的として方向変換の角度を 180°から 90°にした 20 m square shuttle test (スクエアシャトルテスト)を開発した。そのスクエアシャトルテストの妥当性を検討するため、定期的に運動を行っている成人男性を対象に、トレッドミルを用いて直接測定した $\dot{V}O_2\text{max}$ と、スクエアシャトルテストの成績または 20-MST の成績との相関係数を算出した。その結果それぞれの相関係数は、 $\dot{V}O_2\text{max}$ とスクエアシャトルテストとの成績で $r = 0.88$ 、 $\dot{V}O_2\text{max}$ と 20-MST の成績で $r = 0.61$ を示した。この研究に加えて Metsios et al. (2008) も、トレ

ッドミルを用いて直接測定した $\dot{V}O_2\max$ と、スクエアシャトルテストの成績または 20-MST の成績との相関係数を算出した。それぞれの相関係数は、 $\dot{V}O_2\max$ とスクエアシャトルテストとの成績で $r=0.95$ 、 $\dot{V}O_2\max$ と 20-MST の成績で $r=0.63$ と、Flouris et al. (2004) の結果と同様の傾向であったと報告している。スクエアシャトルテストに関するこれらの先行研究では、 $\dot{V}O_2\max$ と 20-MST の成績との相関係数が $\dot{V}O_2\max$ とスクエアシャトルテストの相関関係よりも低い理由としてターンの角度の影響を主張している。これらのように、テスト特性の違いからターンが 20-MST の成績に影響すると指摘されている。

テスト特性の違いからターンの影響を検討した研究の他に、球技選手と長距離選手との比較からターンの影響を検討している研究がある (St Clair Gibson et al., 1998 ; Aziz et al., 2005 ; Kilding et al., 2006)。St Clair Gibson et al. (1998) は、競技特性の異なる種目である陸上長距離とスカッシュの選手を対象に、トレッドミルを用いて直接測定した $\dot{V}O_2\max$ と、20-MST の成績から推定した $\dot{V}O_2\max$ とを比較することで、ターンの影響を検討した。その結果、長距離選手の実測値と推定値の差 (推定値-実測値) は -7.4 ml/kg/min (平均値の差を筆者が計算) で、スカッシュ選手の差は -3.0 ml/kg/min (平均値の差を筆者が計算) であり、長距離選手のみ有意な減少、つまり過小評価され、スカッシュ選手では過小評価されないことが実証された。これらの理由として、競技特性の違いやそれに伴うトレーニングの違いを挙げている。陸上長距離では一方向かつほぼ一定速度での走行であるのに対して、スカッシュでは体の回旋や切り返し、そして急激な加減速など 20-MST 中のターンと似ている動きが競技に多

く現れる。このような経験からスカッシュ選手は 20-MST 中のターンにも対応でき、全身持久力が過小評価されないと述べられている。

ただし St Clair Gibson et al. (1998) の研究は、トレッドミルを用いて直接測定した $\dot{V}O_2\max$ と 20-MST の成績から推定した $\dot{V}O_2\max$ とを比較することでターンの影響を検討していた。ところが、技術の進歩により携帯式の呼気ガス代謝装置が開発され、20-MST 中の呼気ガス諸量動態が測定できるようになり、実測の $\dot{V}O_2\max$ を 20-MST で測定できるようになった。この方法を用い 20-MST の直接測定した $\dot{V}O_2\max$ と、トレッドミルを用いて直接測定した $\dot{V}O_2\max$ とを比較する試みがなされている。Aziz et al. (2005) は、長距離選手（トライアスロンと陸上長距離）と球技選手（フィールドホッケーとラグビー）を対象として、トレッドミルを用いて直接測定した $\dot{V}O_2\max$ と、20-MST 中に直接測定した $\dot{V}O_2\max$ とを比較した。その結果、トレッドミルと 20-MST での差（トレッドミル-20-MST）は、長距離選手で -6.3 ml/kg/min（平均値の差を筆者が計算）、球技選手で -1.2 ml/kg/min（平均値の差を筆者が計算）であり、20-MST での $\dot{V}O_2\max$ が長距離選手で有意に小さい値を示した。この理由として、長距離選手はターンの存在により負の影響を受けたことを挙げている。

また、球技選手のみを対象として、20-MST の妥当性を確認した研究がある。Kilding et al. (2006) は、ラケットスポーツ（スカッシュ、バドミントン）やチームスポーツ（サッカー、ラグビー、フィールドホッケー）の球技選手を対象に、20-MST 中に直接測定した $\dot{V}O_2\max$ と 20-MST の成績との関係を検討した。両値の相関係数が $r = 0.69$ を示した結果から、方向変換や急な加減速を伴う動きを日々のトレーニングで行なっ

ている球技選手では、全身持久力の評価に 20-MST を用いることが適切であると考察している。

これらの研究をまとめると、20-MST は全身持久力を測定するテストとして幅広い被験者で妥当性が検討されている一方で、ターンを含むことで全身持久力以外の要素が影響すると示唆されている。特に、方向変換や急な加減速の経験の少ない長距離選手ではその影響が顕著であり、球技選手はその影響が比較的少ない。しかしながら、ラグビー選手を対象として 20-MST の最高酸素摂取量 ($\dot{V}O_2\text{peak}$) と、トレッドミルなどを用いた漸増負荷法により測定した $\dot{V}O_2\text{max}$ を比較し、20-MST の妥当性を確認した研究は見当たらない。

1.3. ターンの生理的負荷の検討に関する研究

20-MST におけるターンの生理的な負荷を検討するために、20-MST 中の呼気ガス諸量動態を、20-MST と同じ走行速度および同じ漸増パターンに設定したトレッドミルでの走行の動態と比較した報告がある。Flouris et al. (2005) は、運動習慣のある男性を対象として、20-MST 中の呼気ガス諸量動態と、20-MST と同じ走行速度および同じ漸増パターンに設定したトレッドミル走行中の呼気ガス諸量動態とを比較した。20-MST 中の酸素摂取量 ($\dot{V}O_2$) がトレッドミル走行中の $\dot{V}O_2$ よりも増加したことから、ターンは有酸素系のエネルギー供給を増加させると示唆している。また、Takahashi et al. (2007) は、健常な男性を対象として同様の実験を行った結果、 $\dot{V}O_2$ では両運動課題に違いがみられなかったものの、二酸化炭素排出量 ($\dot{V}CO_2$) に違い

がみられたことから、ターンは有酸素系のエネルギー供給よりも解糖系のエネルギー供給への影響が顕著であると示唆している。加えて、 $\dot{V}CO_2$ に対する換気量 ($\dot{V}E$) の変局点である呼吸性代償閾値が、最も 20-MST の成績の良い被験者でも最も悪い被験者でも中間のステージで出現した結果を報告している。この結果は、特に後半のステージで無酸素性エネルギーの寄与が大きくなることを示唆している点で重要である。さらに、Flouris et al. (2010) は、健常な男性を対象として、20-MST とトレッドミルでの走行に加えて、前述したように、方向変換の角度が 90° であるスクエアシャトルテストを実施し、各運動課題中の $\dot{V}O_2$ および各運動課題終了後の La を測定した。その結果、 $\dot{V}O_2$ はトレッドミルでの走行とスクエアシャトルテストとで違いはみられなかった。ところが、20-MST では他の運動課題と比較して高い値を示した。 La も同様に 20-MST のみが、他の運動課題と比較して有意に高い値を示した。これらの先行研究では、ターンが有酸素系のエネルギー供給に及ぼす影響について一致した見解は得られていない。その理由は、呼気ガスの測定方法にある可能性がある。20-MST において $\dot{V}O_2$ の増加が認められた研究は breath-by-breath 法による測定であったのに対し、 $\dot{V}O_2$ の増加が認められなかった研究は mixing-chamber 法による測定であった。ただし、これらの研究は、ターンの存在が解糖系のエネルギー供給を増加させると示唆している点で共通している。また、これらの研究は、20-MST の成績にターンの影響がある可能性を指摘した先行研究 (Grant et al., 1995) を支持している。

これらのように、生理的データの検討から、ターンは解糖系のエネルギー供給を増加させることが示唆されている。しかしながら、20-MST では、運動の生理的な制限

因子が有酸素系のエネルギー供給なのか、解糖系のエネルギー供給なのか検討されていない。これは、20-MST 中の呼気ガス諸量，直接測定した $\dot{V}O_2\max$ ，血中乳酸濃度などすべての項目を同一被験者で測定することで明らかにできる。

2. ラグビー選手の体力に関する研究

ラグビーに必要な体力要素に関する文献レビューにおいて (Duthie et al., 2003)，全身持久力 ($\dot{V}O_2\max$)，無酸素性能力，スピード，筋力，筋パワーが重要であるとされている。また，ラグビーにおける体力トレーニングに関する成書にも (Wilson, 2012)，上記の体力要素が挙げられ，加えてアジリティの重要性も指摘されている。先行研究では，ラグビー選手の競技水準間で体力要素を比較することで，これらの体力要素がラグビー選手の競技水準判別に有用であるかを検討している。よって本節では，ラグビー選手を対象とした 20-MST に関する研究，ラグビー選手のスピード，筋力，パワー，アジリティに関する研究について述べる。

2.1. ラグビー選手を対象とした 20 m シャトルランテストに関する研究

緒言でも述べた通り，ラグビー選手を対象とした全身持久力の測定に，20-MST を用いた例が報告されている (村上ら，1992；Nicholas and Baker, 1995；Tong and Mayes, 1995；Quarrie et al., 1996；村上ら，1997；O’Gorman et al., 2000；Duthie et al., 2003；高橋ら，2005；Durandt et al., 2006；筒井ら，2009)。それらの中で，ラグビー選手を

対象として、20-MSTの妥当性を検討した研究がある(村上ら, 1992; 村上ら, 1997; O’Gorman et al., 2000). 村上ら(1992)は、大学ラグビー選手を対象として、20-MSTの回数とトレッドミルを用いた漸増負荷法により測定した $\dot{V}O_2\max$ との関係を検討した。両値の相関関係は $r = 0.53$ を示し、 $\dot{V}O_2\max$ の過小評価も起こらなかったことから、ラグビー選手を対象とした際に20-MSTは妥当であることを主張している。ただし、相関係数が中程度だった理由に、ターン能力(原文ではターンのスキルと表記)がラグビー選手間でも異なることを挙げている。また、村上ら(1997)は、大学ラグビー選手を対象として、20-MST中の $\dot{V}O_2$ を測定することで実測した $\dot{V}O_2\max$ と20-MSTの成績より推定した $\dot{V}O_2\max$ とを比較した。その結果、実測値と推定値との間に $r = 0.88$ と高い相関が認められ、20-MSTが妥当なテストであると主張している。さらにO’Gorman et al. (2000)は、国際レベルのラグビー選手を対象として、20-MSTの回数とトレッドミルを用いた漸増負荷法により測定した $\dot{V}O_2\max$ との関係を検討した。その結果、被験者数は7人と比較的少数であったが、両値の相関関係は $r = 0.42$ と中程度の値を示した。

これらの研究から、20-MSTはラグビー選手の全身持久力を測定するテストとしてある程度の妥当性を有すると考えられる。しかしながら、20-MST中の $\dot{V}O_2$ を測定することで実測した $\dot{V}O_2\max$ と、全身持久力を測定するゴールドスタンダードとされているトレッドミルを用いた漸増負荷法による $\dot{V}O_2\max$ は比較されていない。20-MSTの全身持久力測定としての妥当性を確認するためには、20-MST中の $\dot{V}O_2\text{peak}$ が $\dot{V}O_2\max$ 水準まで到達しているかを検討するのがより望ましいと考えられる。

また、ポジション毎に 20-MST の成績を比較した研究がある (Duthie et al., 2003 ; 高橋ら, 2005 ; 筒井ら, 2009). Duthie et al. (2003) は、ラグビー選手の体力に関する研究をレビューした中で、成人のラグビー選手を対象とした場合、フォワード(FW)よりもバックス (BK) で 20-MST の成績が良いことを報告している。また、高橋ら (2005) は、大学ラグビー選手を対象として、ラグビー選手の総合的体力指標を作成することを目的とした研究を行っている。この中で報告された 20-MST の成績は、統計的な有意性は認められなかったものの FW よりも BK で高い値を示している。さらに、筒井ら (2009) は、大学ラグビー選手を対象として、ポジション別の体力特性を検討した。その結果、20-MST の成績はタイト FW 群 (プロップ, ロック) が最も低く、ハーフバックおよびフルバック群 (スクラムハーフ, スタンドオフ, フルバック) が最も高いと報告している。これらをまとめると、20-MST の成績をポジション間で比較した場合、被験者の競技水準にもよるが、FW と BK などのポジション間で差があると報告されている。

また、20-MST に類似するフィールドテストとして、Yo-Yo Intermittent Recovery Test (以下、Yo-Yo IR と表記する) がある。Yo-Yo IR は、20-MST と同様に 20 m 間隔に引かれたライン間を、走行速度を規定する専用の CD のビープ音に合わせて走行するテストである。Yo-Yo IR と 20-MST との違いは、1 往復毎に休息を挟むことと、開始の走行速度および速度漸増率が異なることである。ただし、Yo-Yo IR には level 1 と level 2 とがあり、休息時間、開始の走行速度、速度漸増率が異なる。Yo-Yo IR は間欠的運動能力を評価するテストであり、必要な動きを試合終了まで継続させる能力

を測定しているとされている。この間欠的運動能力は全身持久力と類似する能力であると考えられ、全身持久力を評価する 20-MST と Yo-Yo IR level2 との相関係数は中程度の値が報告されている (Thomas et al., 2006)。ただし、Yo-Yo IR は、サッカー選手を対象とした報告はいくもあるものの (Carlo et al., 2005 ; Bangsbo et al., 2008 ; Chuman et al., 2009, 2011 ; Rampinini et al., 2010), ラグビー選手を対象とした報告はほとんど見当たらない (Atkins, 2006)。つまり、ラグビー選手を対象とした場合、必要な動きを継続させる能力の評価には、Yo-Yo IR ではなく 20-MST が多く用いられている現状にある。

2.2. ラグビー選手のスピード・筋力・パワー・アジリティに関する研究

全身持久力の他にも、ラグビー選手に必要とされる体力要素であるスピード、筋力、筋パワー、アジリティを競技水準間で比較した研究が行われている (石原ら, 1997 ; Baker et al., 1999 ; Sayers, 2000 ; Duthie et al., 2003 ; Gabbett et al., 2008 ; 中井ら 2012)。

石原ら (1997) は、大学ラグビー選手を対象として、ラグビーに必要とされる体力を競技水準間で比較した。その結果、スピード、下肢パワー、筋力に競技水準間の差が認められたことを報告している。また、中井ら (2012) は、大学ラグビー選手を対象として、ポジション (FW or BK) 間そして競技水準間で、スピード、下肢パワー、アジリティをそれぞれ比較した。スピードのテストは 10 m, 30 m, 50 m 走、下肢パワーのテストは垂直跳び、アジリティのテストは T テストであった。その結果、スピード、下肢パワー、アジリティのすべての要素で BK が優れていた。さらに FW で

はすべての項目で競技水準間に差は認められなかった一方で、BKではスピード（10 m 走）やアジリティにおいて競技水準間で差が認められたと報告している。これらの研究の他にも、直線走がラグビーにおいて重要な体力要素であることがいくつか報告されている（Baker et al., 1999 ; Duthie et al., 2003 ; Gabbett et al., 2008）。これらのことから、スピード、下肢パワー、アジリティに関連する項目は、FWとBKで差があると考えられている。ただし、競技水準間の差は一貫した結果ではなく、対象とするカテゴリーに影響される可能性がある。

また、ラグビー選手のアジリティに関して、切り返し走（本研究では *change of direction speed* や *cutting* など表現される方向変換走を切り返し走とする）を用いて、ラグビー選手の競技水準の判別を行った研究がある（Green et al., 2011a ; Green et al., 2011b）。Green et al. (2011a) は、ラグビーリーグ（13人制ラグビー）選手を対象として、競技水準の異なる群間で45°切り返し走のタイムを比較した。その結果、競技水準の高い群で切り返し走タイムが有意に小さく、切り返し走を用いてラグビー選手の競技水準が判別できると述べている。また、Green et al. (2011b) は、ラグビー選手を対象として、切り返しに関する技能を検討した。ラグビー選手をスターティングメンバーとそれ以外に群分けし、45°切り返し走におけるキネティックデータおよびキネマティックデータをそれぞれ分析した。その結果、スターティングメンバーでは切り返しでの蹴り足の接地時間が短く、目的とする方向に素早く加速できていたことから、ラグビー選手の競技水準と切り返しの技能が関連していると主張している。この研究は、ラグビー選手を対象とした数少ない研究である点、そしてラグビー選手

の競技水準間で切り返しの動きが異なることを示した点で重要である。これらのことから、切り返しに関する能力はラグビー選手の競技水準と関連があると考えられる。

3. 切り返し走に関する研究

20-MST のターンを検討した研究は見当たらないが、ターンに類似する動きを扱った研究として、切り返し走に関する研究がある（本研究では **change of direction speed** や **cutting** などと表現されている方向変換走を切り返し走とする）。切り返し走に関する能力は球技で重要な能力であることが知られている。切り返し走に関する研究は、切り返しに関連する体力要因、切り返し走における動きの特性に関する研究があり、以下で紹介する。

3.1. 切り返し走に関連する体力要因

切り返し走のタイムに関連する体力要因を検討した研究がいくつかある（Young et al., 2001 ; Young et al., 2002 ; Salaj et al., 2011 ; 笹木ら, 2011）。Young et al. (2001) は、球技選手を対象として、切り返し走におけるトレーニング効果を検討した。直線スプリントトレーニングを行う群と切り返し走トレーニングを行う群とに分け、6週間にわたってトレーニングを行った。その結果、両群共に直線スプリントタイムは改善したものの、切り返し走タイムが改善したのは切り返し走トレーニングを行った群のみであったことから、切り返し走タイムの改善にトレーニングの特異性が存在すると示

唆している。また、Young et al. (2002) は、アジリティに関する決定論的モデルを提案している (図 1)。その中で、アジリティの構成要素の 1 つとして切り返しのスピード (原文では *change of direction speed*) を挙げており、切り返しのスピードは、技術 (*technique*)、直線スプリントのスピード、下肢筋群の特性で構成されていると述べている。さらに彼らは、球技選手を対象として、切り返しのスピードと下肢の筋力との関係を検討するために、さまざまな角度の切り返し走タイムと脚筋力との関係を検討した。その結果、切り返しの角度にもよるが、切り返し走タイムと *stretch shorting cycle* (SSC) を利用する筋パワーであるドロップジャンプの跳躍高を接地時間で除した値とに有意な負の相関がみられ、切り返し走のタイムすなわち切り返しのスピードに *stretch shorting cycle* を利用する筋発揮が関係していると示唆している。加えて、笹木ら (2011) は、男子大学サッカー選手を対象に、切り返し走に関する複数の要因間の関係性を検討した。180°切り返し走やジグザグ走などのタイムを従属変数、複数の直線スプリントおよび下肢パワーの指標である垂直跳びを独立変数とし、重回帰分析を行った。その結果、重回帰分析で算出された決定係数は $R^2 = 0.22 \sim 0.29$ と低い値を示した。決定係数が低い理由として、独立変数に切り返し技能が含まれなかったことを挙げており、切り返し走では切り返し技能の影響が大きいと述べている。一方、球技選手を対象とした研究ではないが、Salaj et al. (2011) は、男子大学生の競技者を対象として、ジャンプおよびスプリント能力と切り返し技能との関係を検討した。ジャンプ、スプリント、切り返し走のパフォーマンステストを複数種類行ない、主成分分析を行った。その結果、主成分分析で算出された因子負荷量から、ジャンプ

能力, スプリント能力, 切り返し技能はそれぞれ独立した能力であると主張している。

これらの切り返し走に関する構成要因についての先行研究から, 切り返し走の走速度には, 特に stretch shorting cycle を利用した筋パワー, 切り返し技能が関連していると示唆されている。ただし, 筋発揮に関しては先行研究の主張に一貫性がない。一方, 切り返し技能に関してはどの先行研究でも一貫して切り返し走の走速度に切り返し技能が関与していることを主張している。したがって, 20-MST のターンにも切り返し技能が関係すると考えられる。

3.2. 切り返しの動きに関する研究

球技には切り返しや加減速が多く現れることから, 球技選手を対象とした切り返し走に関連する動きの特性に関する研究が行われている (Jindrich et al., 2006 ; 鈴木ら, 2010 ; Hewit et al., 2012)。Hewit et al. (2012) は, ネットボール選手を対象として, 静止した状態から後方へ振り向き直線スプリントにより技術的特徴の評価を試みた。試技中の動きを高速度カメラで撮影し動きの質的評価を行った。その結果, 直線スプリントの方向への沈み込み, 頭部の先行, 体の旋回における半径, 蹴り足の伸展動作, ステップ長の5項目が評価項目として適当であると報告している。この研究は, 切り返し後の加速に切り返し技能が影響していることを示した重要な研究であるが, 質的な評価だけではなく量的な評価も必要である。そこで Jindrich et al. (2006) は, 健常な男性を対象として, 切り返し直前の減速と体の回転との関係を検討するために, 30°のサイドステップカッティングとクロスステップカッティング, および 60°のサイド

ステップカッティングにおけるキネティクスデータを分析した。その結果、切り返しにおける身体の過度な回旋を防ぐためには、切り返し前の減速の程度が重要であると主張している。また鈴木ら（2010）は、男子大学球技選手を対象として、切り返し走における重心移動時間の理論値と実測値との関係から走方向変換指数を提案することを試みた。その結果、走方向変換指数と切り返し走タイムとに高い負の相関が得られ、走方向変換指数が有用であると報告している。この報告は、切り返し走の動きの評価では、身体重心の移動に着目することが有効であることを示している点で重要である。

以上の切り返しに関する先行研究から、切り返し能力に関連する要因は、筋力、筋パワー、切り返し技能であると考えられている。ただし、各研究で切り返し走の角度が異なることや、被験者の競技種目が異なることから、切り返しと筋力や筋パワーとの関係に関する研究結果は一貫性に欠ける。一方、切り返し技能が影響するとの主張はどの先行研究でも一貫している。これらのことから、ターンに切り返し技能は関係すると考えられる。

4. 加速度センサに関する研究

ヒトの身体の動きを定量化する方法はいくつかあるが、それらのひとつとして加速度センサを用いた方法がある。力は質量と加速度の積に等しく（ニュートンの運動方程式）、身体の動きの定量化には加速度が適していることから、加速度センサが身体

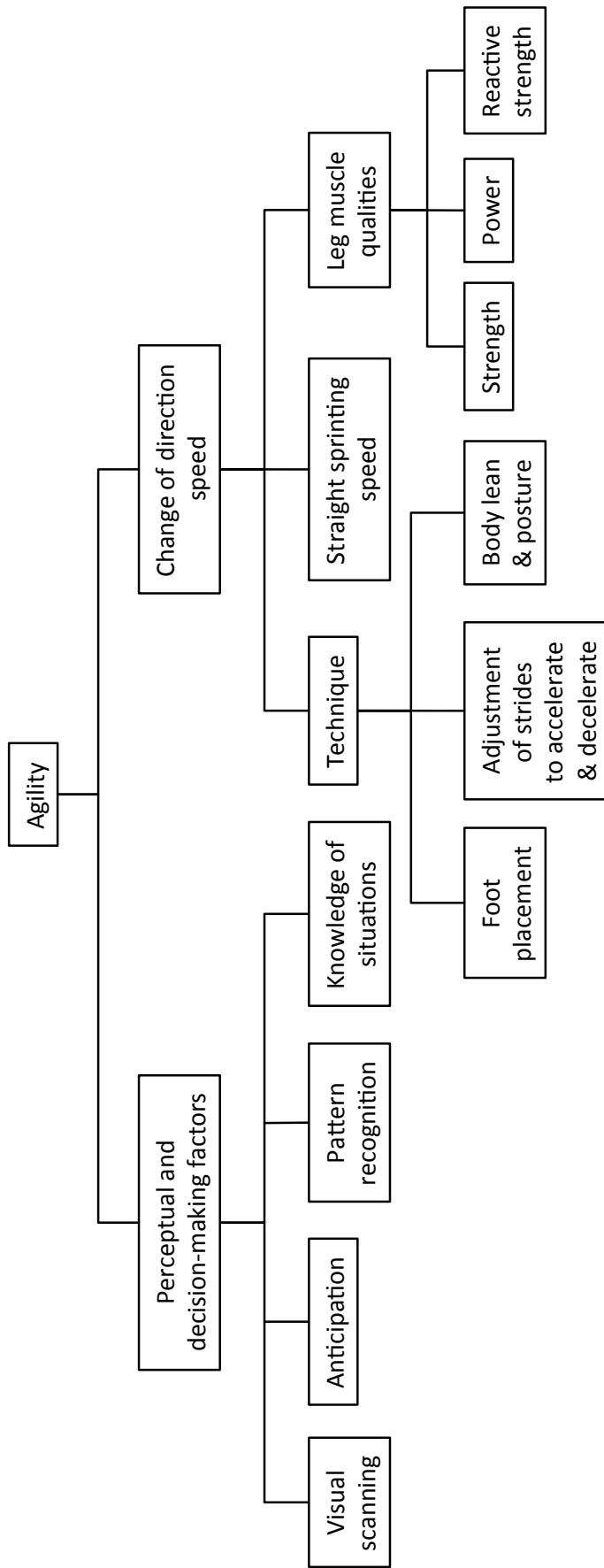


図1 アジリティの構成要素モデル (Young et al., 2002)

活動の強度を測定する方法として提案された (Montoye et al., 1983). 以来, 加速度センサを用いた身体活動に関する研究は年々増加している (Chen and Bassett, 2005 ; Troiano, 2005). 加速度センサを用いて動きを定量化した研究として, 加速度センサを用いた身体活動量の定量化に関する研究, 加速度センサを用いたスポーツに関する動きの定量化に関する研究があり, 以下で紹介する.

4.1. 加速度センサを用いた身体活動量の定量化に関する研究

加速度センサを用いた身体活動量の定量化は, いくつかの方法で検討されている. 加速度センサで運動中のエネルギーを推定することを目的として, トレッドミルを用いた歩行や走行における加速度センサの出力と $\dot{V}O_2$ との比較を行った報告 (Bouton et al., 1994 ; Eston et al., 1998 ; Iwashita et al., 2003 ; Fudge et al., 2007), または加速度センサの出力と $\dot{V}O_2$ より計算したエネルギー消費量との比較を行った報告がある (Nichols et al., 1999). これらの研究では, 加速度センサの種類や軸方向で異なるものの, $r = 0.76 \sim 0.96$ とすべての研究で高い相関が報告されていることから, 加速度センサは身体活動量計として妥当であると考えられている.

また, 加速度センサの出力を用いて身体活動の分類が行われてきた. Bonomi et al. (2009) は, 健常な成人を対象として, 加速度センサの出力に決定木分析を適用することで, 立位での作業, 歩行, 走行など 10 種類の身体活動の分類を試みた. その結果, 加速度センサの設定により多少の違いがあるものの, 分類の正確性は 90.4%以上と高い値を示し, 加速度センサによりヒトの動きを分類できることを示唆している.

これらの研究から、加速度センサを用いて身体活動量を見積もることや身体活動の分類ができること、つまり身体活動における動きを加速度センサで捉えられることが考えられる。ただし、これら身体活動の定量化に関する研究は、日常的な身体活動での検討であり、歩行や走行の速度、スポーツの動きなど、動きの定量化に関して検討が不十分であった。

4.2. 加速度センサを用いたスポーツに関する動きの定量化

スポーツを対象とした加速度センサによる動きの定量化に関する研究として、まず歩行および走行を対象とした研究がある (Le Bris et al., 2006 ; Fudge et al., 2007 ; Rowlands et al., 2007)。Le Bris et al. (2006) は、中距離走者を対象として、走行における疲労とストライドの関係の検討に加速度センサを用いている。トラックにおいて、 $\dot{V}O_2\text{max}$ 時の走速度での走行を疲労困憊まで行わせ、加速センサの出力により走行中の動きを捉えることを試みた。その結果、試技の後半で左右方向の出力が増大し、疲労による走行の変化を加速度センサで捉えられたと報告している。また、Fudge et al. (2007) は、持久的なトレーニングを行っている男性を対象として、加速度センサによる歩行速度および走行速度を見積もることができるかを検討するために、トレッドミルでの歩行および走行速度と加速度センサの出力とを比較した。その結果、歩行速度および走行速度と加速度センサの出力とに線形関係があったことから、加速度センサを用いて歩行速度および走行速度を見積もることができると主張している。ただし、垂直方向の出力が 20 km/h 程度の走行速度でプラトーになったことから、速い走行で

は垂直方向の加速度センサの出力で走行速度を見積もることができないと示唆している。さらに、Rowlands et al. (2007) は、中長距離選手を対象として、動きの周期を加速度センサで捉えることを目的として、加速度センサの出力と走行速度および走行中のステップ頻度との関係を検討した。その結果、加速度センサの出力と歩行および走行の速度は線形関係であり、さらにステップ頻度との相関係数は、軸方向によって違いがあるものの、低いステップ頻度で $r = 0.59 \sim 0.81$ 、高いステップ頻度で $r = 0.53 \sim 0.85$ と中程度から高い相関を示した。これらのことから、走行中のステップ頻度などの動きを加速度センサの出力で捉えられると主張している。加えて、前項で挙げた動きの分類を行った研究では (Bonomi et al., 2009)、動きを分類する際に、影響する加速度センサの出力の軸方向やパターンなどを決定木分析により検討している。その結果、走行には前後方向と左右方向の出力の影響が大きいと報告している。これら歩行および走行に関する報告は、加速度センサで走行速度の見積りが可能であることに加えて、走行中のステップなどの動きを捉えられることを示した点で重要である。

歩行や走行に関する研究の他に、ボート競技 (中村, 2007)、ベンチプレス (Rontu et al., 2010)、スクワット (Caruso et al., 2012) などを対象とし、加速度センサにより身体の動きを定量化した研究や、パワー発揮を見積った研究がある。中村 (2007) は、大学ボート選手を対象として、加速度センサによりボート競技のローイングにおける活動量や動きを捉えることを試みた。ローイングエルゴメータでの試技中にエルゴメータの仕事率と加速度センサの出力との関係、また実際の水上試技中の $\dot{V}O_2$ と加速度センサの出力との関係を検討した。その結果、加速度センサの出力とエルゴメータ

の仕事率は比例関係にあったこと、加速度センサの出力と試技中の $\dot{V}O_2$ とに相関関係があったこと（男性で $r = 0.85$ 、女性で $r = 0.84$ ）、エルゴメータと水上試技で加速度センサの出力が異なっていたことが確認された。これらの結果から、水上試技における活動量や動きの定量化に加速度センサが有用であると述べている。また、Rontu et al. (2010) は、フットボール選手を対象として、ベンチプレスのバーに加速度センサを取り付け、試技中の加速度センサの出力からベンチプレスの 1RM (最大挙上重量) をいくつかの式を作成し推定した。その結果、実測の 1RM と推定値との相関係数は式によって異なるものの $r = 0.89 \sim 0.97$ と高い値を示した。さらに、Caruso et al. (2012) は、アメリカンフットボールの選手を対象として、フロントスクワットのバーに取り付けた加速度センサにより試技中発揮パワーを推定し、その再現性について検討した。その結果、級内相関係数は試技に用いた負荷により異なるものの $ICC = 0.75 \sim 0.80$ と高い値を示した。これらの先行研究の結果から、爆発的なパワー発揮を要求される動きについても、加速度センサを用いることが有効であると考えられている。

以上の先行研究から、加速度センサを用いることで走行や身体のパワー発揮などの定量化が可能であり、ターン能力を捉えることにも応用できると考えられる。ただし、加速度センサを 20-MST に応用した研究は見当たらず、加速度センサの出力によりターン局面の加減速を見積もることができるかを検討する必要がある。したがって、トレッドミルを用いたターンを含まない一定の走行との比較や、映像から得られる加速度と比較し、加速度センサの出力で 20-MST 中のターンを捉えられるかを検討する必要がある。

5. 検討すべき問題

シャトル数に加えターン能力の評価をも含んだ 20-MST は、ラグビー選手の競技水準の判別に有用であると予想される。したがって、文献研究から明らかとなった問題点を踏まえ、ターン能力を捉える方法を検討する必要がある。検討すべき問題点を以下にまとめる。

まず、ラグビー選手での 20-MST の妥当性を確認する必要がある（検討すべき問題点 1）。その方法として、20-MST 中の $\dot{V}O_2\text{peak}$ がトレッドミルを用いた漸増負荷法により測定した $\dot{V}O_2\text{max}$ 水準まで到達しているかを確認するのが望ましい。

また、ターン能力を捉える方法を検討する際、現場での応用を考慮すると使用するデバイスは測定環境の制限を受けないことが望ましい。よって、まずターン能力を捉える方法を、映像を用いることで検討し（検討すべき問題点 2）、ターン能力を捉えることに対する加速度センサの利用可能性を検討する（検討すべき問題点 3）。

最後に、ターン能力をも含んだ 20-MST の評価法の有用性を検討する必要がある。この評価法をラグビー選手に応用するために、20-MST の複合評価とラグビー選手の競技水準との関係を検討する必要がある（検討すべき問題点 4）。

第3章 研究の目的および研究課題の設定

1. 研究の目的

本研究では、20-MST を用いてラグビー選手におけるターン能力を捉えるために、20-MST 中のターン能力を捉えるための測定法および評価法を確立することを目的とした。

2. 研究課題の設定

本研究の目的を達成するために、以下の研究課題を設定した。

【研究課題 1】

ラグビー選手の全身持久力測定における 20-MST の妥当性の確認

【研究課題 2】

映像を用いたターン能力を捉えるための方法の検討

【研究課題 3】

ターン能力を捉えるための加速度センサにおける有用性の検討

[研究課題 3-1]

ターンの存在が加速度センサの出力に及ぼす影響の検討

[研究課題 3-2]

ターン局面における加減速と加速度センサの出力との関係の検討

【研究課題4】

ターン能力の評価を含んだ20-MSTの有用性の検討

3. 研究課題の進め方

本研究では、ターン能力を捉える方法を確立し、ラグビー選手の競技水準判別におけるターン能力含めた20-MSTの有用性を検討するために、以下の4つの研究課題を設定した(図2)。

研究課題1では、ラグビー選手の全身持久力測定における20-MSTの妥当性を確認するため、トレッドミルを用いた漸増負荷法により $\dot{V}O_{2max}$ を測定し、20-MST中の $\dot{V}O_{2peak}$ との比較を行う。また、20-MSTと、20-MSTと同速度および同速度漸増率に設定するトレッドミルでの走行課題中の呼気ガス諸量および20-MST終了後の血中乳酸濃度を測定し、両運動課題間での比較を行う。

研究課題2では、ターン能力を捉えるために、映像による位置データを用いて20-MST中の走行の軌跡およびターン局面における加減速の様相の検討を行う。

研究課題3では、ターン能力を捉えることに対して加速度センサが有用かどうかの検討を行う。研究課題3-1では、研究課題1の手順と同一の手順で20-MSTと同速度でのトレッドミルでの走行との加速度センサの出力を比較することで、ターンの存在が加速度センサの出力に及ぼす影響を検討する。研究課題3-2では、映像のデー

タより見積もったターン局面の加減速と加速度センサの出力との関係を検討する。また、加速度センサを用いたターン能力を捉えるための指標を検討する。

最後に研究課題4では、20-MSTを用いたラグビー選手のターン能力と持久力の複合評価における有用性を確認するために、ターン能力および持久力の複合評価とラグビー選手の競技水準との関係を検討する。

4. 研究の限界

4.1. 研究の方法に関する限界

本研究では、20-MSTを主な運動課題として用いている。20-MSTを行う際に、被験者には最大努力を課している。本研究における20-MSTの成績または20-MSTを運動課題として得たすべてのデータは、最大努力であることを前提としているデータである。

4.2. 研究の一般化に関する限界

本研究の被験者であるラグビー選手は、大学生および高校生を対象としている。どちらもラグビーの専門的トレーニングを行なっているものの、競技水準や体格などにバラツキが生じると考えられる。また、本研究で得られた結果は、ラグビー選手を対象とした場合にみられた相違である。本研究結果を、異なる水準のラグビー選手あるいは、異なる競技の球技選手に応用する場合には注意が必要である。

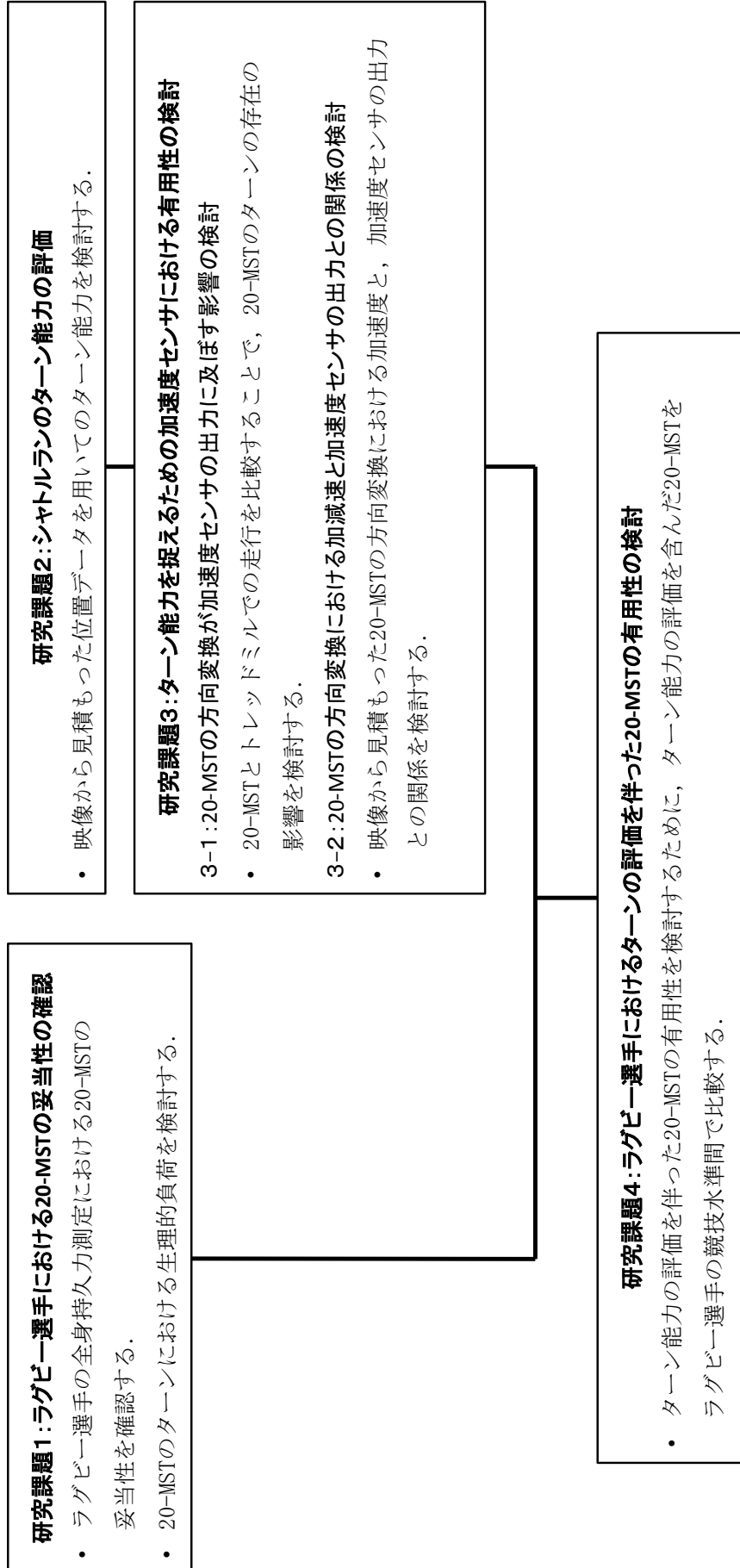


図2 研究課題の構成

5. 用語の定義

方向変換：

多くのスポーツで、移動の方向を変換する動きが求められる。本研究では、移動の際の角度の程度や体の回旋の程度に関わらず、移動する方向を変換する動きを方向変換と定義する。

ターン：

20-MST は往復走であることから 180° の方向変換を伴う。この 20-MST 中の方向変換をターンと定義する。

切り返し：

方向変換では、最大努力で行う急激な加減速を伴う方向変換とそうでない方向変換とがある。本研究では、方向変換の中でも、急激な加減速が要求され、方向を変換する際に身体重心の速度が 0 になる状態を伴う動きを切り返しと定義する。なお、先行研究で行われているような最大努力で行う方向変換あるいは方向変換走 (change of direction speed, cutting, agility test などと表現されている) は、この定義に基づき切り返しあるいは切り返し走と表記することとする。

競技水準：

競技水準とは、特定の競技種目における競技能力の高低を示す。本研究では、指導者の評価（試合の出場経験やセレクションでの選抜）をもって競技水準を定義する。

技術・技能：

体育科学において、技術（*technique*）は、特定の課題を解決するために実践の場で発生し、かつ検証された合理的で効率的な身体操作の方法であると定義されている。また、技能（*skill*）は、技術を内面化した程度・熟練の度合いと定義されている（後藤，2006）。本研究では、技術および技能を後藤（2006）の定義に準拠する。

繰り返しに関する先行研究では、技術と技能が本研究の定義と異なる意味で用いられる場合がしばしばある。よって先行研究を引用する場合でも、文脈から意味を判断し、上記の定義に合わせて用語を用いることとする。

第4章 ラグビー選手の全身持久力評価における20mシャトルランテストの妥当性 (研究課題1)

1. 目的

本研究課題では、ラグビー選手の全身持久力測定における20-MSTの妥当性を確認することを第一の目的とした。また、ターンの生理的負荷を確認することを第二の目的とした。

2. 方法

2.1. 被験者

男子大学ラグビー選手4名（ラグビー群）、男子大学長距離選手4名（長距離群）を被験者とした。すべての被験者は、競技歴が5年以上であり週6回以上定期的にトレーニングを行っていた。被験者の身体的特性を表4-1に示した。

被験者は運動課題の開始前に、本研究課題に伴うすべての危険性と利益に関する詳細な説明を受け、自主的に参加する同意を書面にて提出した。被験者には、前日からアルコールの摂取、喫煙、激しい運動を控えること、運動課題開始3時間前からは飲食物を摂取しないこと、運動課題開始4時間前には起床することをあらかじめ依頼した。また、運動課題の実施は、同一被験者で1日1回とし、次の運動課題の実施まで

少なくとも3日以上の間隔を空けた。

表 4-1 被験者の身体特性

	ラグビー選手	長距離選手	全体
身長(cm)	167.0 ± 9.8	171.3 ± 1.9	169.2 ± 7.0
体重(kg)	67.5 ± 9.2	59.5 ± 4.6	63.5 ± 8.0
年齢(歳)	20.5 ± 1.0	21.0 ± 1.6	21.2 ± 1.1
VO ₂ max(ml/kg/min)	56.0 ± 2.2	68.4 ± 9.6	60.4 ± 6.7
ΔLa (mmol/l)	9.4 ± 2.0	8.4 ± 0.6	8.9 ± 1.5

2.2. 最大酸素摂取量の測定

被験者は、5分間の安静の後、トレッドミル（O₂ road, 竹井機器社製）上で3分間のウォーミングアップを行い、運動プロトコルを開始した。走行速度は、各被験者の予想される体力水準を考慮して15分から20分で疲労困憊に達するように設定した。ウォーミングアップを7.2 km/hから12.0 km/hの速度で行い、その後9.6 km/hから15.6 km/hの速度で走行を開始した。走行速度を3分毎に1.2 km/hずつ漸増し、18.0 km/hまで達した場合は1分毎にトレッドミルの傾斜を1%ずつ漸増した。

$\dot{V}O_{2\max}$ の判定では、前負荷段階からの $\dot{V}O_2$ の増加が 150 ml/min 未満であるレベリングオフを判定の第一基準とした (Taylor et al., 1955)。レベリングオフが確認できない場合には、呼吸交換比が 1.15 以上を満たす場合の $\dot{V}O_2$ の最大値を $\dot{V}O_{2\max}$ とした

(田中, 2000).

2.3. シャトルラン課題およびトレッドミルランニング課題

運動課題は呼気ガス諸量を測定するための 20-MST のプロトコルによるシャトルラン課題 (shuttle running task : 以下 SRT とする) と, SRT と同速度かつ同速度漸増率の走行をトレッドミル上で行う運動課題であるトレッドミルランニング課題 (treadmill running task: TRT) を行った. 被験者は5分間の座位安静状態の後, 約10分程度の任意のウォーミングアップを行った. その後, 専用のCD (National Coaching Foundation 製作) に録音されているビープ音をプロトコルとして用い, SRT と TRT をそれぞれ実施した. 両運動課題は, 8.5 km/h で走行を開始し, 約1分ごとに0.5 km/h ずつ速度が漸増するプロトコルであった. SRT は, 被験者が疲労困憊に至り CD のビープ音によって設定された速度を維持できずに走行を停止するまで, あるいは走行の意志はあるものの2回続けて設定時間内に20 m を走行できなくなるまで継続した. 一方, 後日に実施した TRT の場合には, SRT の継続時間と同じ時間で終了とした. また, SRT と TRT では走行速度 (ステージ速度) とステージが対応しており, 表 4-2 にその対応関係を示す.

表 4-2 20-MSTおよびSRTにおけるステージとステージ速度

ステージ	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
ステージ速度(km/h)	8.5	9	9.5	10	10.5	11	11.5	12	12.5	13	13.5	14	14.5	15	15.5	16	16.5

2.4. 測定機器

運動課題における呼気ガス諸量を、携帯式呼吸代謝装置 (MetaMax 3B, Cortex 社製) を用いて breath-by-breath 法により測定した。携帯式呼気ガス代謝装置は、1日に1回、大気と混合標準ガス (O_2 : 15.94%, CO_2 : 3.967%) を用いて校正した。さらに、各運動課題前には大気のみを用いて校正した。呼吸代謝装置により得られた測定値は1分毎の平均値に換算した。呼吸代謝装置は、専用のベルトを用いて被験者の胸部に装着した。また、SRT および TRT で得られた呼気ガス諸量の最高値を peak 値とした (例, 最高酸素摂取量: $\dot{V}O_{2peak}$)。

両運動課題の開始前、そして終了後に血中乳酸濃度 (blood lactate: La) を測定した。安静時、運動課題終了直後、運動課題終了 3, 5, 7, 10 分後に被験者の耳朶から 25 μ l の血液を採取し、全血を直後に乳酸分析器 (1500 SPORT, YSI Incorporated 社製) により分析した。10 分後に La の上昇が見られた場合には、15 分後も測定を行った。乳酸分析器は、測定前に標準溶液 (5.00 mmol/l) を用いて校正した。安静時 La と両運動課題での La の最高値 (La peak) の増分を ΔLa とした (ΔLa : La peak – 安静時 La)。

2.5. 統計解析

20-MST による全身持久力測定の妥当性を検討するために、SRT 中の $\dot{V}O_{2peak}$ を $\dot{V}O_{2max}$ で除した値を算出し、100%を基準とした 1 サンプル t 検定を行った。また、ターンの生理的負荷を検討するために、SRT と TRT の呼気ガス諸量および両運動課

題終了後の La を測定し、両運動課題間での比較を行った。本研究課題は3要因（運動課題、ステージ速度、群）の混合計画である。これに適する統計解析は、反復測定による3要因分散分析または3要因の Mixed model を用いた分析である。ただし SRT では、被験者の体力により SRT の継続時間が異なるためデータセットに欠損値が生じる（アンバランスデータとなる）ことが予想される。アンバランスデータになった場合、反復測定による3要因の分散分析では適切に分析できない。したがって、SRT と TRT の比較には、被験者を変量効果とした3要因（運動課題、群、ステージ）の Mixed model を用いた分析を行った。3要因の Mixed model の交互作用または運動課題の主効果に有意性が認められ、呼気ガス諸量が運動課題間で異なると判断できる場合には、運動課題毎または群毎に2要因の Mixed model を用いた分析を再び行い、さらに単純主効果検定により両運動課題間での比較を行った。単純主効果検定の有意確率の調整には Bonferroni 法を用いた。また、 La の比較には ΔLa を従属変数、運動課題、群を独立変数とする反復測定による2要因分散分析および多重比較検定（Tukey's HSD test）を行った。

統計解析は、SPSS ver.21（IBM 社製）を用いて行った。なお、データは平均値±標準偏差で示し、統計的有意水準は $\alpha=0.05$ とした。

3. 結果

被験者の身体特性および $\dot{V}O_2\max$ を表 4-1 に示す。各群の $\dot{V}O_2\max$ はラグビー群で

56.0±2.2 ml/kg/min, 長距離群で 68.4±9.6 ml/kg/min であった。 $\dot{V}O_2\max$ 測定時の ΔLa はラグビー群で 9.4±2.0 mmol/l, 長距離群で 8.4±0.6 mmol/l であった。また, 群ごとの運動課題の結果を表 4-3 に示す。SRT の成績はラグビー群で 109.5±5.8 回, 長距離群で 135.8±16.6 回であった。

SRT 中の $\dot{V}O_2\max$ に対する $\dot{V}O_2\text{peak}$ は, ラグビー群で 99.7±7.0% ($t_3 = 0.96, P = .464$, 片側検定), 長距離群で 95.6±3.1% であり ($t_3 = 2.80, P = .034$, 片側検定), 長距離群のみが 100%を有意に下回った (図 4-1)。

$\dot{V}O_2$ と $\dot{V}CO_2$ に対する 3 要因の Mixed model の結果を表 4-4 に示す。 $\dot{V}O_2$ と $\dot{V}CO_2$ では, 運動課題×ステージ×群の交互作用に有意性は認められなかった (表 4-4⑦)。また, $\dot{V}O_2$ と $\dot{V}CO_2$ において運動課題×ステージの交互作用に有意性が認められ (表 4-4④), $\dot{V}O_2$ では運動課題×群の交互作用にも有意性が認められた (表 4-4⑤)。SRT と TRT を比較した単純主効果検定において, $\dot{V}O_2$ ではステージ 3~14, $\dot{V}CO_2$ ではステージ 4~14 で運動課題間に有意差が認められた (図 4-2)。

群毎の $\dot{V}O_2$ および $\dot{V}CO_2$ をより詳細に検討するために, ラグビー群と長距離群それぞれで運動課題とステージを説明変数とする 2 要因の Mixed model による分析を行った。ラグビー群では, $\dot{V}O_2$ ($F_{1,63} = 3.48, P = .001$) および $\dot{V}CO_2$ ($F_{1,63} = 14.68, P < .001$) における運動課題×ステージの交互作用に有意性が認められた。SRT と TRT を比較した単純主効果検定において, $\dot{V}O_2$ ではステージ 2 以降, $\dot{V}CO_2$ ではステージ 4 以降で運動課題間に有意差が認められた (図 4-3)。また, 長距離群も同様に $\dot{V}O_2$ ($F_{1,77} = 4.68, P < .001$) および $\dot{V}CO_2$ ($F_{1,77} = 27.69, P < .001$) での運動課題×ステージの交互作用

に有意性が認められた。SRT と TRT を比較した単純主効果検定において、 $\dot{V}O_2$ ではステージ 7~14, $\dot{V}CO_2$ ではステージ 5~14 で運動課題間に有意差が認められた (図 4-4)。

運動課題における La の増加を示す ΔLa は、ラグビー群が SRT で 8.2 ± 1.8 mmol/l, TRT で 2.7 ± 0.7 mmol/l であり、長距離群が SRT で 6.7 ± 1.4 mmol/l, TRT で 0.4 ± 0.4 mmol/l であった (図 4-5)。反復測定による 2 要因分散分析の結果、交互作用に有意性は認められず ($F_{1,6} = 0.25, P = .635$)、運動課題 ($F_{1,6} = 60.88, P < .001$)、群 ($F_{1,6} = 20.93, P = .004$) の主効果にそれぞれ有意性が認められた。

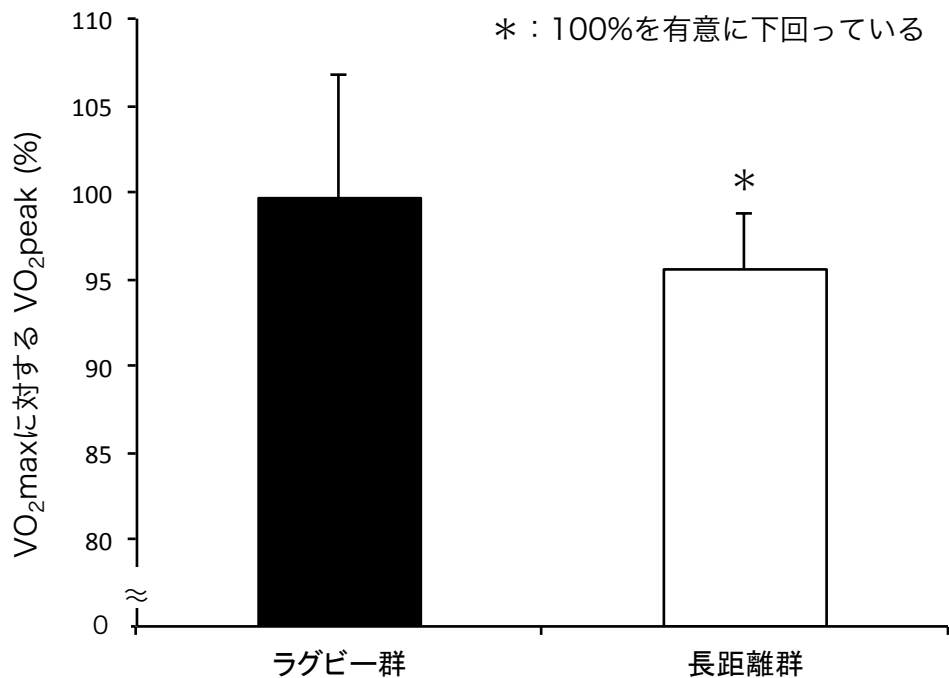


図 4-1 SRTにおけるVO₂maxに対する VO₂peak (%)

表 4-3 SRTの成績およびSRTとTRTにおける呼気ガス諸量の最高値

	SRT		TRT	
	ラグビー群	長距離群	ラグビー群	長距離群
シャトル数(回)	109.5 ± 5.8	135.8 ± 16.6		
運動時間(分)	11.5 ± 0.6	13.8 ± 1.3		
VO ₂ peak (ml/kg/min)	55.8 ± 3.4	61.8 ± 5.0	45.5 ± 3.4	46.8 ± 3.2
VCO ₂ peak (ml/kg/min)	72.7 ± 7.5	91.5 ± 7.4	50.0 ± 9.0	49.5 ± 1.7

VO₂peak, VCO₂peakはそれぞれの課題の最高値を示している.

表 4-4 3要因のMixed modelの結果

		V̇O ₂	V̇CO ₂
主効果			
①運動課題	<i>F</i> (1, 140)	346.97 (<i>P</i> < .001)	1050.33 (<i>P</i> < .001)
②ステージ速度	<i>F</i> (14, 140)	111.07 (<i>P</i> < .001)	219.73 (<i>P</i> < .001)
③群	<i>F</i> (1, 6)	0.001 (<i>P</i> = .972)	0.06 (<i>P</i> = .814)
交互作用			
④運動課題×ステージ速度	<i>F</i> (14, 140)	6.89 (<i>P</i> < .001)	41.05 (<i>P</i> < .001)
⑤運動課題×群	<i>F</i> (1, 140)	3.91 (<i>P</i> = .050)	0.98 (<i>P</i> = .325)
⑥ステージ速度×群	<i>F</i> (11, 140)	0.43 (<i>P</i> = .939)	0.66 (<i>P</i> = .775)
⑦運動課題×ステージ速度×群	<i>F</i> (11, 140)	0.98 (<i>P</i> = .465)	0.62 (<i>P</i> = .810)

F(df₁,df₂)

df₁ = Numerator df , df₂ = Denominator df

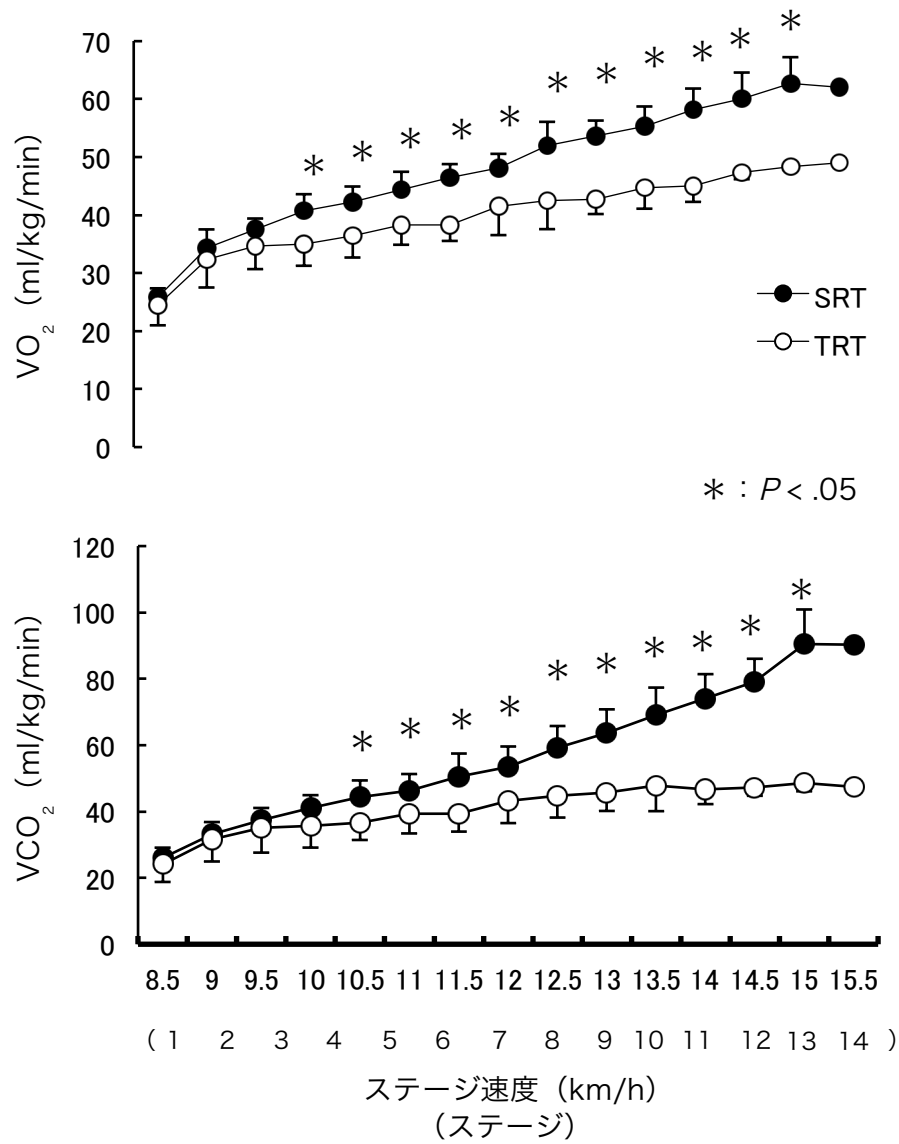


図 4-2 SRT と TRT における VO_2 (上) および VCO_2 (下) の比較 (全被験者のデータ)

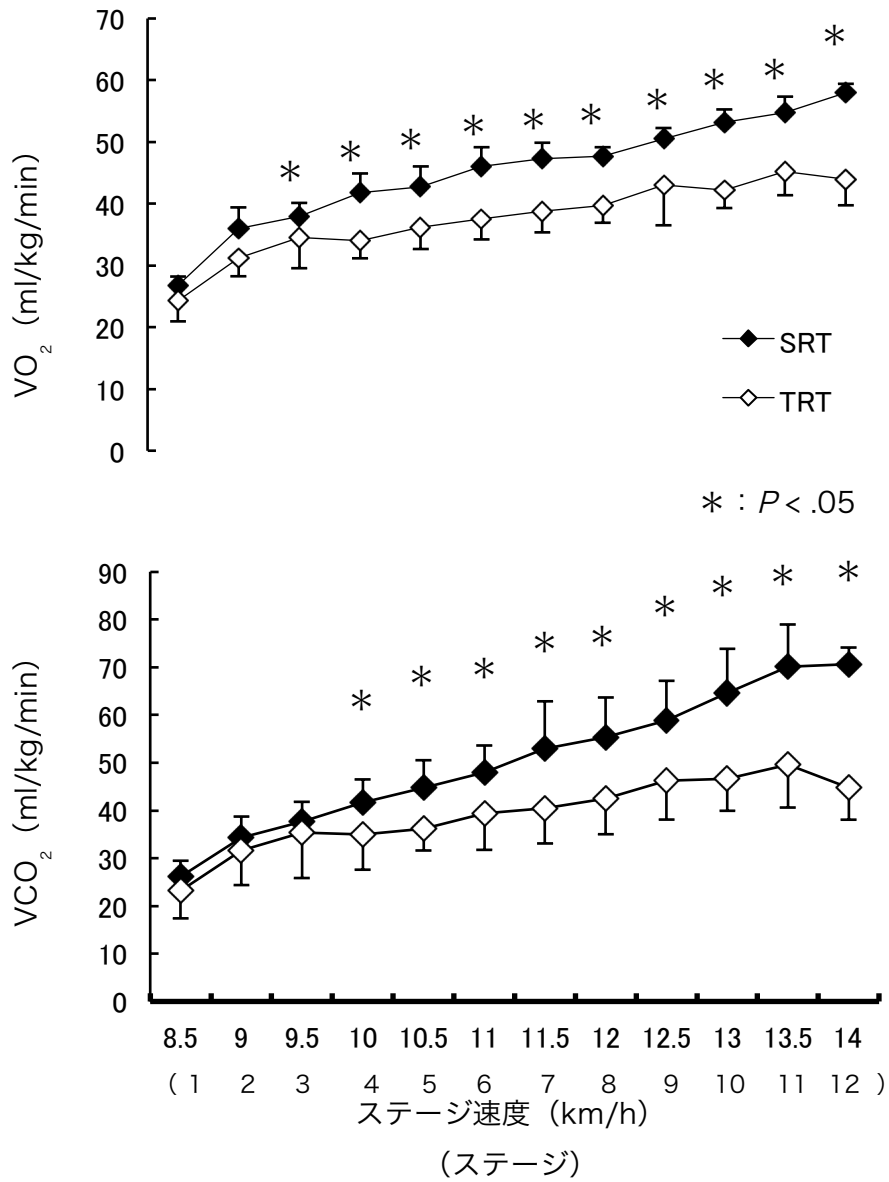


図 4-3 SRT と TRT における VO_2 (上) および VCO_2 (下) の比較 (ラグビー群)

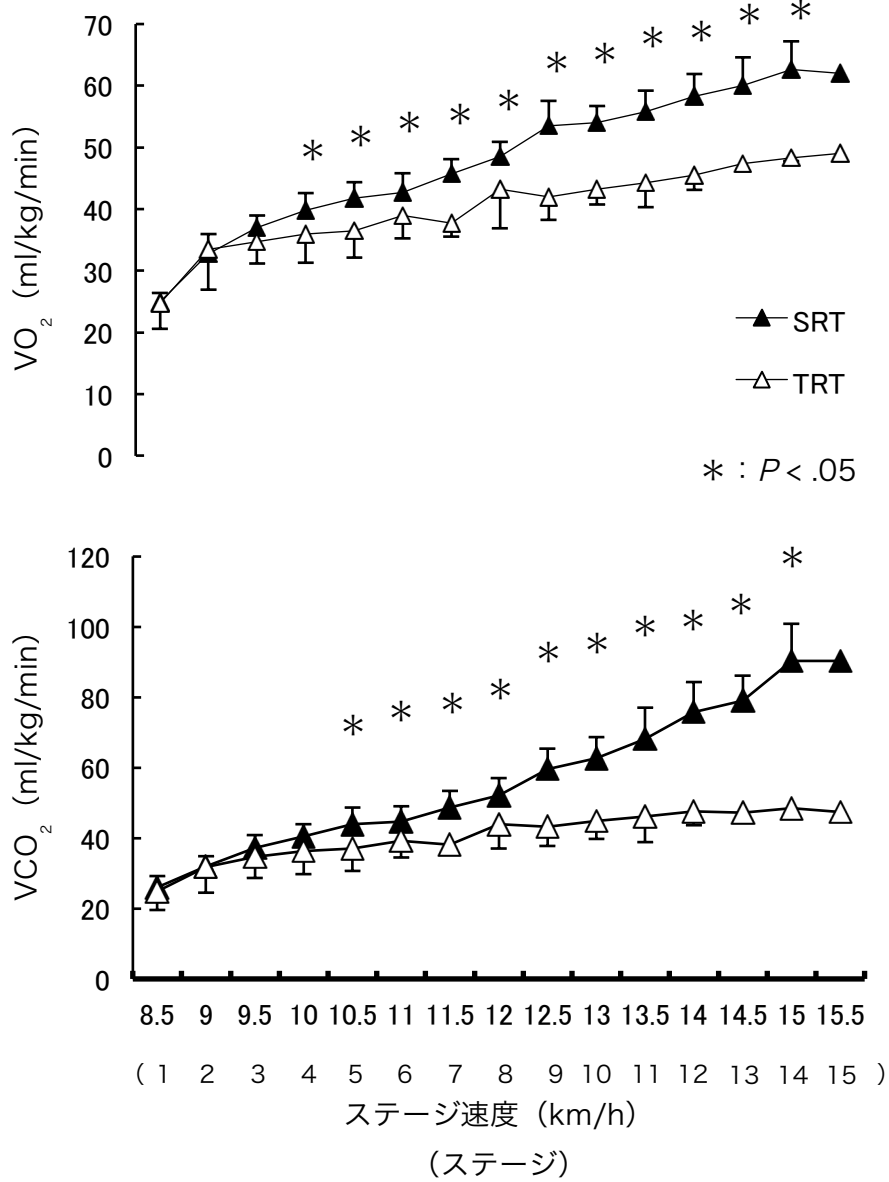


図 4-4 SRT と TRT における VO_2 (上) および VCO_2 (下) の比較 (長距離群)

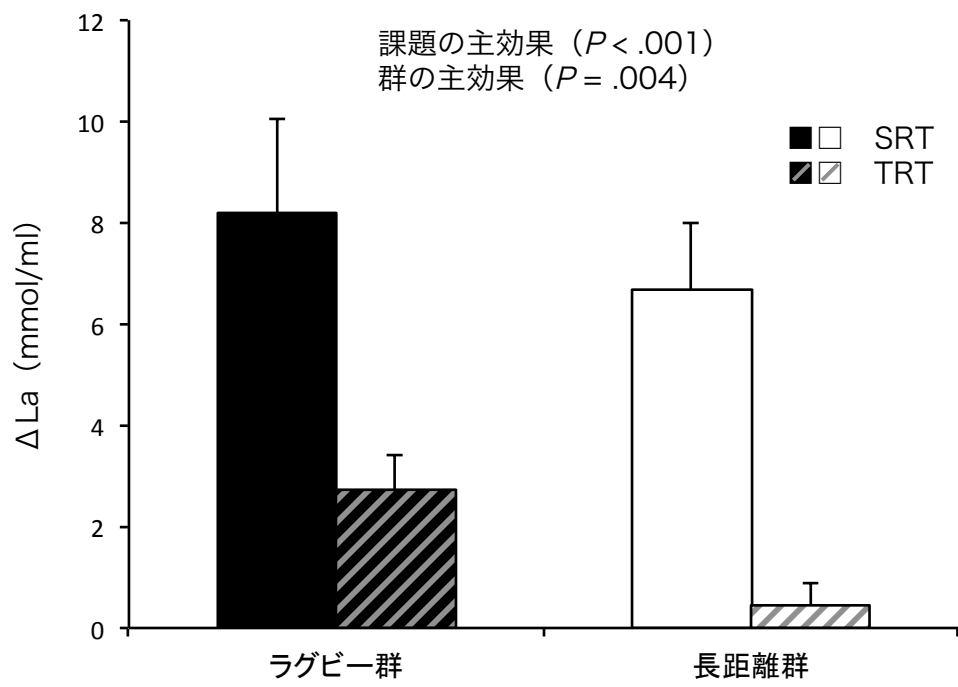


図 4-5 SRTとTRTにおける Δla の群間比較

4. 考察

4.1. 20 m シャトルランテストの妥当性

本研究課題では、ラグビー選手の全身持久力測定における20-MSTの妥当性を検討した。SRTの $\dot{V}O_{2\max}$ に対する $\dot{V}O_{2\text{peak}}$ は、ラグビー群で $99.7 \pm 7.0\%$ 、長距離群で $94.1 \pm 4.5\%$ であり、長距離群のみ有意100%を下回る結果であった(図4-1)。これらの結果は、20-MSTはラグビー選手の全身持久力を適切に評価できることを示しており、さらに長距離選手の全身持久力を過小評価することを示している。また、これらの結果は他の持久走と比較した研究や(Grant et al., 1995)、本研究課題と同様の方法で行った先行研究の結果を支持している(Aziz et al., 2005; Kilding et al., 2006)。したがって、ラグビー選手の全身持久力評価に20-MSTが妥当であると確認された。以下で、長距離選手の全身持久力を過小評価してしまう理由を、生理的負荷の観点から検討する。

4.2. 20-MSTのエネルギー供給システム

本研究課題では、20-MST中のターンにおける生理的負荷をエネルギー供給の側面から検討するために、SRTとTRTにおける呼気ガス諸量およびLaを計測した。その結果、 $\dot{V}O_2$ および $\dot{V}CO_2$ はTRTと比較してSRTで有意な増加を示し、特に後半のステージではその増加が顕著であった。また、両運動課題間の増加量は $\dot{V}O_2$ と比較して $\dot{V}CO_2$ の方が大きかった(図4-2)。さらに、 ΔLa はSRTで有意に増加した(図4-5)。

$\dot{V}O_2$ は有酸素性エネルギーの動員を反映している。SRTで $\dot{V}O_2$ が増加した結果は、ターンの存在が有酸素性エネルギーの動員の増加に寄与していることを示唆している。先行研究において、Flouris et al. (2005)とFlouris et al. (2010)はSRT中の $\dot{V}O_2$ がTRTと比較して増加していることから、ターンは有酸素性エネルギー供給の増加に寄与していると主張しており本研究結果を支持している。ところが、Tahakashi et al. (2007)の結果では $\dot{V}O_2$ の増加が確認できなかった。これらの先行研究や本研究課題での結果が一致しない原因のひとつは、呼気ガスの計測方法にあると推察できる。TRTと比較してSRTで $\dot{V}O_2$ が増加した先行研究ではbreath-by-breath法による計測であったのに対し、 $\dot{V}O_2$ が増加しなかった先行研究ではmixing-chamber法の一つであるEVS法を用いていた。この方法の違いについての影響は未検証であるものの、一般に分析速度はEVS法よりもbreath-by-breath法が優れることから、ターンの存在が有酸素性エネルギーの動員の増加に寄与していると考えられる。

また、 $\dot{V}O_2$ と比較して、 $\dot{V}CO_2$ はSRTで大きい増加を示した(図4-2)。加えて、SRT終了後の La はTRTでの増加よりも大きな増加であった(図4-5)。この結果は、ターンにより解糖系のエネルギー供給も増加したことを示唆している。解糖系のエネルギー供給の動員が増加し、 La が蓄積し始める強度は乳酸性作業閾値(lactate threshold: LT)として知られている。LTの強度以下で、 $\dot{V}CO_2$ は $\dot{V}O_2$ の増加に伴って増加し、さらに $\dot{V}CO_2$ を $\dot{V}O_2$ で除した値である呼吸商は1未満の値を取る。ところが、解糖系の動員は乳酸を生成し、同時に血中に水素イオンが発生する。この水素イオンを血中から除去する作用のひとつが重炭酸緩衝作用であり、重炭酸緩衝作用が作用すると CO_2

の排出量が増加する。SRTでも重炭酸緩衝作用が起き、その結果として $\dot{V}CO_2$ の増加が起きた可能性がある。この結果とSRT後のLaが増加した結果を考慮すると、ターンの存在により解糖系のエネルギーの動員が増加したと考えられる。この解糖系のエネルギーの動員には、SRT中のターン局面の加減速が寄与していると推察できる。この繰り返し行われる加減速によって、解糖系のエネルギー供給が動員された可能性がある。したがって、先の有酸素系の結果も合わせて考慮すると、ターンの存在によって引き起こされるエネルギー供給量の増加は、有酸素系および解糖系で同時に起こると考えられる。

4.3. 20 m シャトルランテストのパフォーマンスの制限因子

これまでの結果より、全身持久力評価における20-MSTの妥当性がラグビー選手と長距離選手とで異なる理由を考察する。先述の通り、SRTの $\dot{V}O_{2max}$ に対する $\dot{V}O_{2peak}$ の結果から（図4-1）、ラグビー群ではSRT中の $\dot{V}O_{2peak}$ が $\dot{V}O_{2max}$ 水準まで到達していた。つまり、ラグビー群の20-MSTにおけるパフォーマンスの制限因子は有酸素系のエネルギー供給であると考えられる。ところが、長距離群では、SRT中の $\dot{V}O_{2peak}$ は $\dot{V}O_{2max}$ 水準まで到達しなかった。つまり、長距離群の20-MSTにおけるパフォーマンスの制限因子は、有酸素系のエネルギー供給以外にあると示唆される。

有酸素系以外のエネルギー供給系はATP-PCr系と解糖系であるが、運動の継続時間を考慮するとSRTでは解糖系の動員が比較的多い可能性が高い。また、本研究課題のSRTにおける ΔLa の結果も解糖系のエネルギー供給の動員を示唆している。解

糖系が動員することによる La の過剰蓄積によってもたらされる代謝性アシドーシスは運動継続の制限因子の一つであり (Röcker et al., 1994), 先行研究ではこれが 20-MST のパフォーマンスの主な制限因子のひとつとして挙げられている (Takahashi et al., 2007). 長距離群で SRT 中の $\dot{V}O_{2peak}$ が $\dot{V}O_{2max}$ まで到達しなかった結果は, 有酸素系のエネルギー供給系に余裕があるにもかかわらず運動を継続できなくなっていることを示している. ここで, 長距離群の ΔLa を検討してみると, $\dot{V}O_{2max}$ 測定時と SRT 時の最高値 (peak 値) に有意差は認められなかった (8.43 ± 0.57 vs. 6.66 ± 1.36 , $P = .116$). 以上のことから, 長距離選手に代表される繰り返しや急な加減速の経験が少ない者では, 20-MST におけるパフォーマンスの主要な制限因子となるは解糖系のエネルギー供給系であると推察される. 一方で, ラグビー選手などの繰り返しや急な加減速の経験が多く, トレーニングによって解糖系の能力が備わっている者では, 解糖系のエネルギー供給系が 20-MST におけるパフォーマンスの主要な制限因子とならず, 20-MST で全身持久力を適切に評価できると考えられる.

5. まとめ

本研究課題では, ラグビー選手の全身持久力測定における 20-MST の妥当性を確認することを第一の目的とした. また, 20-MST 中のターンの生理的負荷を確認することを第二の目的とした. ラグビー選手と, 先行研究での指摘から比較対象とした長距離選手は, 20-MST における $\dot{V}O_2$ を測定するため, 20-MST をプロトコルとした運動

課題である SRT (shuttle running task), SRT と同速度かつ同速度漸増率でのトレッドミルで走行を行う TRT (treadmill running task), トレッドミルを用いた漸増負荷法による $\dot{V}O_2\max$ の測定をそれぞれ行った. $\dot{V}O_2\max$ と SRT 中の $\dot{V}O_{2peak}$ とを比較したところ, ラグビー選手では $\dot{V}O_2\max$ を下回らなかった. この結果から, ラグビー選手では 20-MST を用いて全身持久力を適切に評価できることを確認した. また, SRT と TRT の呼気ガス諸量を比較すると, $\dot{V}O_2$ および $\dot{V}CO_2$ 共に増加がみられ, その増加量は速度の増大と共に大きくなる結果であった. また, La も同様に SRT で増加した. この結果は, ターンにより有酸素系と解糖系両方のエネルギー供給系が動員されたことを示している. この結果から, 20-MST は有酸素系だけではなく解糖系の影響も大きいテストであると示唆された.

第5章 映像を用いたターン能力を捉えるための方法の検討（研究課題2）

1. 目的

本研究課題では、20-MST 中の位置データにより、ターン能力を捉えるための方法を検証することを目的とした。

2. 方法

2.1. 被験者

被験者は、大学ラグビー選手 15 名（ラグビー群）、さらに比較対象とした大学長距離選手 4 名（長距離群）であった。すべての被験者は全員週 5 日以上専門的なトレーニングを行っていた。被験者に事前に本研究課題の目的と内容を十分に説明し参加への同意を得た。本研究課題は筑波大学人間総合科学研究科倫理委員会の承認を得て行った（22-157 課題番号第 560 号）。

2.2. シャトルラン課題

本研究課題では、20-MST 中の位置データを算出するために SRT を行った。SRT は、研究課題 1 と同一の方法で行った。

2.3. 映像データの収集

DV カメラ (HDR-CX559, Sony 社製) にワイドコンバージョンレンズ (VCL-HGA07B, Sony 社製) を装着し 30 Hz で試技の撮影を行った。DV カメラは、試技全体が収まるよう高さ約 10 m の場所に設置した。撮影した映像を再生し、被験者の頭部中央部分を動作解析システム (DIPP-Motion PRO, DITECT 社製) を用いてデジタイズした。さらに、同アプリケーションシステムによりレンズ歪み補正を行い、次いで 2 次元 DLT 法により 2 次元座標値 (位置データ) を算出した。座標軸は、SRT で用いる 20 m 間隔を示す 2 本の線に平行な方向を Y 軸方向、それに直行する方向、いわゆる走行方向を X 軸方向とした (図 5-1)。撮影した映像から 2 次元座標値を算出するためのキャリブレーションは、撮影範囲内の 24 箇所 (X 軸方向 : 4 m 間隔×6 箇所, Y 軸方向 : 3 m 間隔×4 箇所) で行った。キャリブレーションポイントは、身長を考慮し、地面から 1.6 m の高さに設置した。2 次元座標値は、テキストファイル (CSV 形式) にて出力した。

2.4. 分析区間

SRT の走行の軌跡からターンの仕方を捉えるため、あるいは位置データから算出した加速度によりターン局面の加減速の特徴を捉えるために、分析の区間を決定する必要がある。しかしながら、SRT 中のターン能力にはバラツキがあると予想されるため、ターン局面と、加速した走速度を維持しながら直線的に走行している局面とを明確に分別するのは難しい。したがって、便宜的であるが、4 つの分析区間を X 座標値に

頭部のデジタイズ例

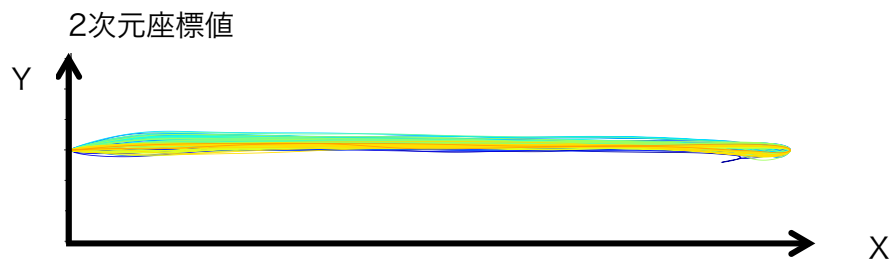
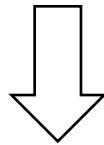
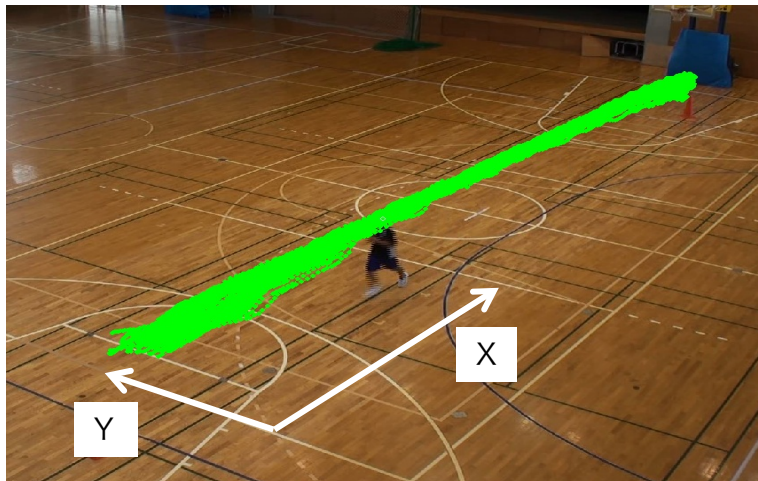


図 5-1 頭部デジタイズと2次元座標値の例

より定義した。4つの分析区間は、①X座標が0の地点である折り返しの地点を基準としその前後1.5 m 区間（1.5 m 条件）、②折り返しの地点前後2.5 m 区間（2.5 m 条件）、③折り返しの地点前後5 m 区間（5 m 条件）、④折り返しの地点前後10 m 区間（10 m 条件）とした。なお、X座標が20 mの地点付近もターン局面であるが、カメラの撮影位置の関係上、分析の精度が異なると考えられるため、本研究課題ではX座標が0の地点を基準としたターン局面のみを分析対象とした。

2.5. 映像データの処理

映像データより得られた2次元座標値は、1 Hzのlow-pass Butterworth filterを用いて平滑化した。ターン能力を捉えるための指標のひとつとして、ターンの仕方をSRTの走行の軌跡から分析することを試みた。各シャトルにおける分析区間に対応する始点と終点（1.5 m条件であればX座標が1.5 mの2点）のY座標値の差を算出しターン径と定義した。ターン径は、SRTの走行の軌跡が直線に近いほど（折り返しを光の反射に例えると入射角・反射角が小さいほど）小さい値を示す一方で、SRTの走行の軌跡が楕円のような軌跡であると（同様に例えると入射角・反射角が大きい）大きくなる値である。ターン径は最終ステージでの値の平均値を個人の代表値とした。走行の軌跡を示すターン径から、ラグビー選手および長距離選手に明らかな違いが認められた場合、それ以降の分析はラグビー選手のみを対象とした。

また、ターン径の他にも、ターン能力を捉えるための指標のひとつとして、ターン局面の加減速を示す値である加速度を、2次元座標値（位置データ）を2階微分する

ことで算出した。ただし、分析の対象は走行方向を示す X 軸方向の加速度成分（以下、 X_{ACC} とする）とした。さらに、各シャトルでの X_{ACC} の自乗平均平方根（root mean square: RMS）を算出し、ステージ毎の平均値を算出した。映像データの処理は、数値計算システム（Scilab ver. 5.4.1, INRIA 配布）により行った。

2.6. 統計解析

ターン径の分布を確認するために、ヒストグラムおよび箱ひげ図を作成した。ヒストグラムのビンの数はスタージェスの公式を参考に決定した。箱ひげ図では、ひげの両端を最小値と最大値、箱の両端を第1四分位と第3四分位、箱の中の線を中央値とした。

また、ターン局面の加減速つまり X_{ACC} に個人差があるかを検討する必要がある。よって、走行速度の増加に対する X_{ACC} の増加との関係を、個人差を変量効果として扱うことができる Mixed model により作成した以下の3つのモデル式を比較することで検討した。

モデル1： $y_i = \beta_0 + \beta_1 x_i + e_i$ （単回帰モデル）

モデル2： $y_i = \beta_0 + \beta_1 x_i + b_i + e_i$ （ランダム切片モデル）

モデル3： $y_i = \beta_0 + \beta_1 x_i + b_i + b_i x_i + e_i$ （ランダム切片・ランダム傾きモデル）

ここで、 y_i は被験者 i における応答変数 (X_{ACC}) であり、 x_i は被験者 i における説明変数（ステージ速度）、 β_0 は切片、 β_1 は x_i の係数、 e_i は誤差である。また、 b_i は被験者による変量効果である。モデル1の単回帰モデルは、通常回帰分析と同義のモ

デルである。モデル2のランダム切片モデルは、切片のみが個人毎にランダムに変動することを仮定したモデルである。モデル3のランダム切片・ランダム傾きモデルは、切片と傾きが個人毎にランダムに変動することを仮定したモデルである。すなわち、モデル1の適合度が最も高い場合は、 X_{ACC} とステージ速度との関係に個人差がないと解釈できる。一方、モデル2の適合度が高い場合は、個人毎にステージ速度に対する X_{ACC} の値は異なるものの、ステージ速度の増大に対する X_{ACC} の増大は個人間で差がないと解釈できる。また、モデル3の適合度が高い場合には、ステージ速度の増大に対する X_{ACC} の増大の傾向が個人毎に異なると解釈できる（図 5-2）。モデル比較における情報量基準は、赤池情報量基準（Akaike's Information Criterion：以下 AIC とする）とシュワルツのベイジアン情報量規準（Schwarz's Bayesian Information Criterion：以下 BIC とする）を採用した。これら 2 つの情報量基準値は、値が小さいほどより適合がよいモデルと判断できる値である。統計解析は、SPSS ver.21（IBM 社製）および Microsoft Excel 2010（Microsoft 社製）により行った。なお、すべてのデータは平均値±標準偏差で示し、統計的有意水準は $\alpha=0.05$ とした。

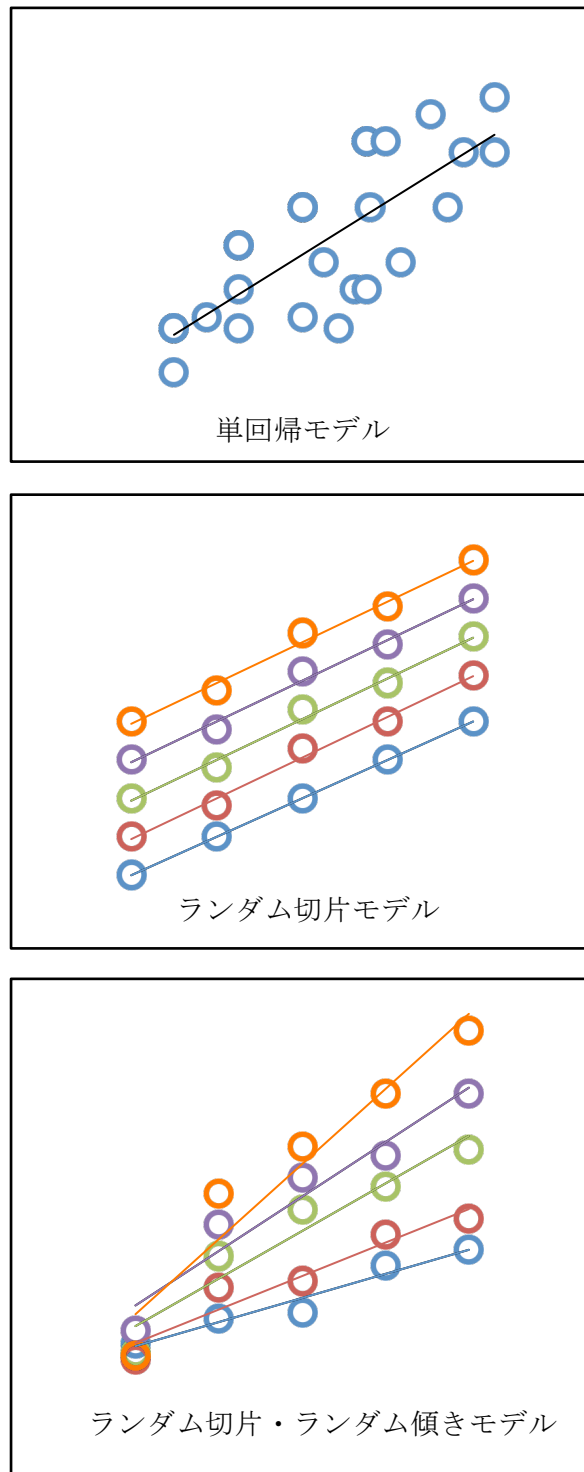


図 5-2 モデルの概念図

色は個人の違いを示しており，直線は個人毎の回帰直線を示す。

3. 結果

被験者の身体特性および SRT の成績を表 5-1 に示した。図 5-3 は、ラグビー選手と長距離選手それぞれの典型例を示している。この図より、ラグビー選手は直線的な走行であり、長距離選手は楕円のような走行であることが視覚的に確認できた。図 5-4 は、ターン径におけるヒストグラムである。スタージェスの公式の結果は $\log_2 19 + 1 \div 5.25$ であり、ターン径の最大値が 5.40 m であったため、ヒストグラムの区間を 1.0 m 毎の 6 区間とした。どの区間条件でも、最も小さいターン径の度数が高い結果であった。0~1 m には半数以上の 10 人が分布しており、そのすべてがラグビー選手であった。また Kolmogorov-Smirnov の正規性の検定では、すべての区間条件で正規性が確認できなかった。図 5-5 は、ターン径における条件毎の箱ひげ図である。条件の区間が広がるにつれて値のバラつきが大きくなっている一方、中央値はどの条件でも同程度であった。さらに、ターン径をラグビー群と長距離群とで比較した結果（図 5-6）、すべての区間条件において有意差が認められた。図 5-7 はステージ速度と映像から算出した加速度との関係を示しており、表 5-2 は 3 つのモデルにおける情報量基準を示している。すべての区間条件において、単回帰モデルであるモデル 1 より、ランダム切片モデルであるモデル 2 およびランダム切片・ランダム傾きモデルであるモデル 3 が高い適合を示した。さらに若干ではあるが、モデル 3 の方がモデル 2 よりも高い適合度を示した。

表5-1 対象者の身体特性および20 mシャトルランテストの成績

	ラグビー選手	長距離選手
身長(cm)	171.4 ± 7.1	172.8 ± 5.9
体重(kg)	75.8 ± 9.0	58.0 ± 4.6
年齢(歳)	19.4 ± 1.1	21.0 ± 3.2
20 mシャトルランテスト(回)	96.3 ± 12.1	132.8 ± 17.5

ラグビー選手



長距離選手

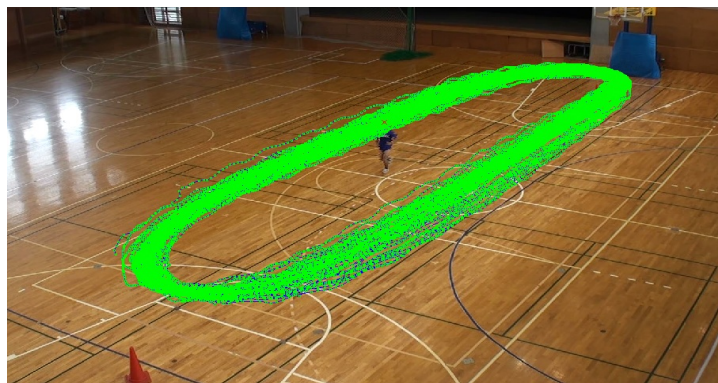


図 5-3 シャトルランにおけるラグビー選手と長距離選手の走行軌跡の典型例

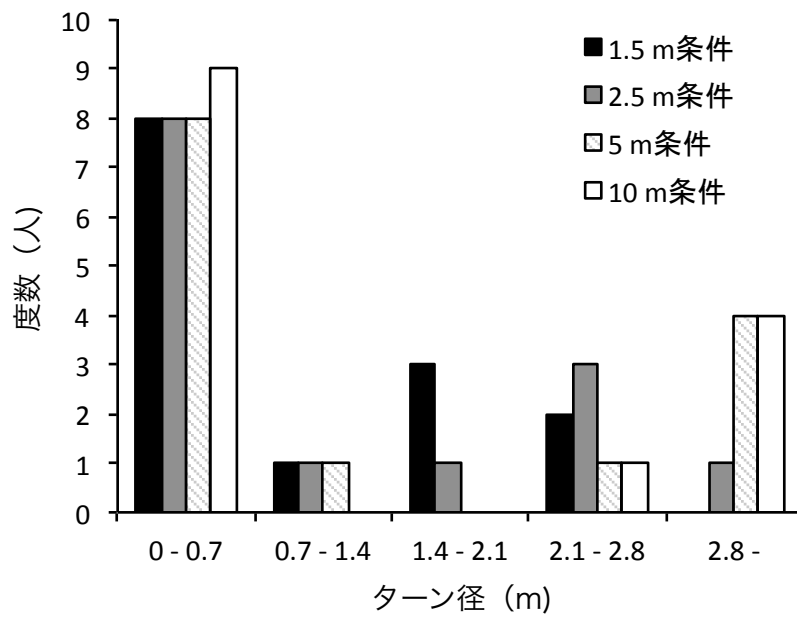


図 5-4 ターン径のヒストグラム

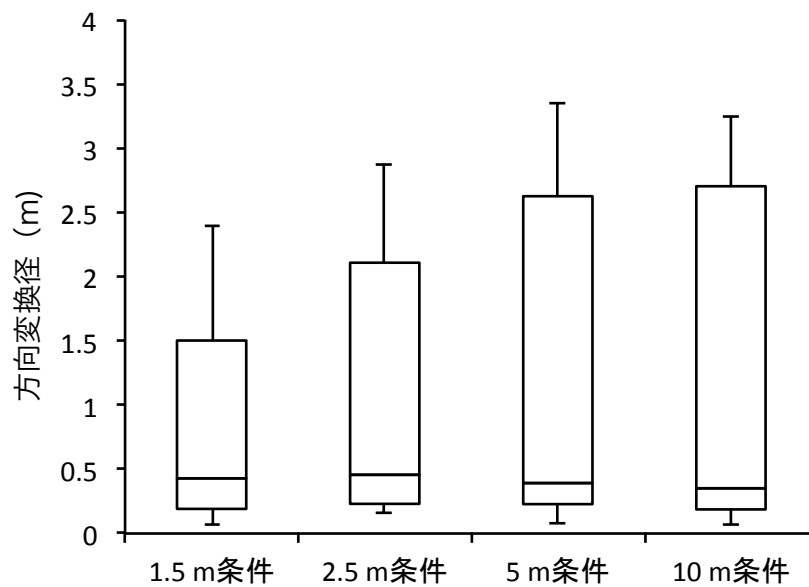


図 5-5 ターン径の箱ひげ図
ひげの両端は、小さいほうが最小値、大きい方が最大値を示す。箱の両端は、小さい方が第1四分位、大きい方が第3四分位、中の線は中央値を示す。

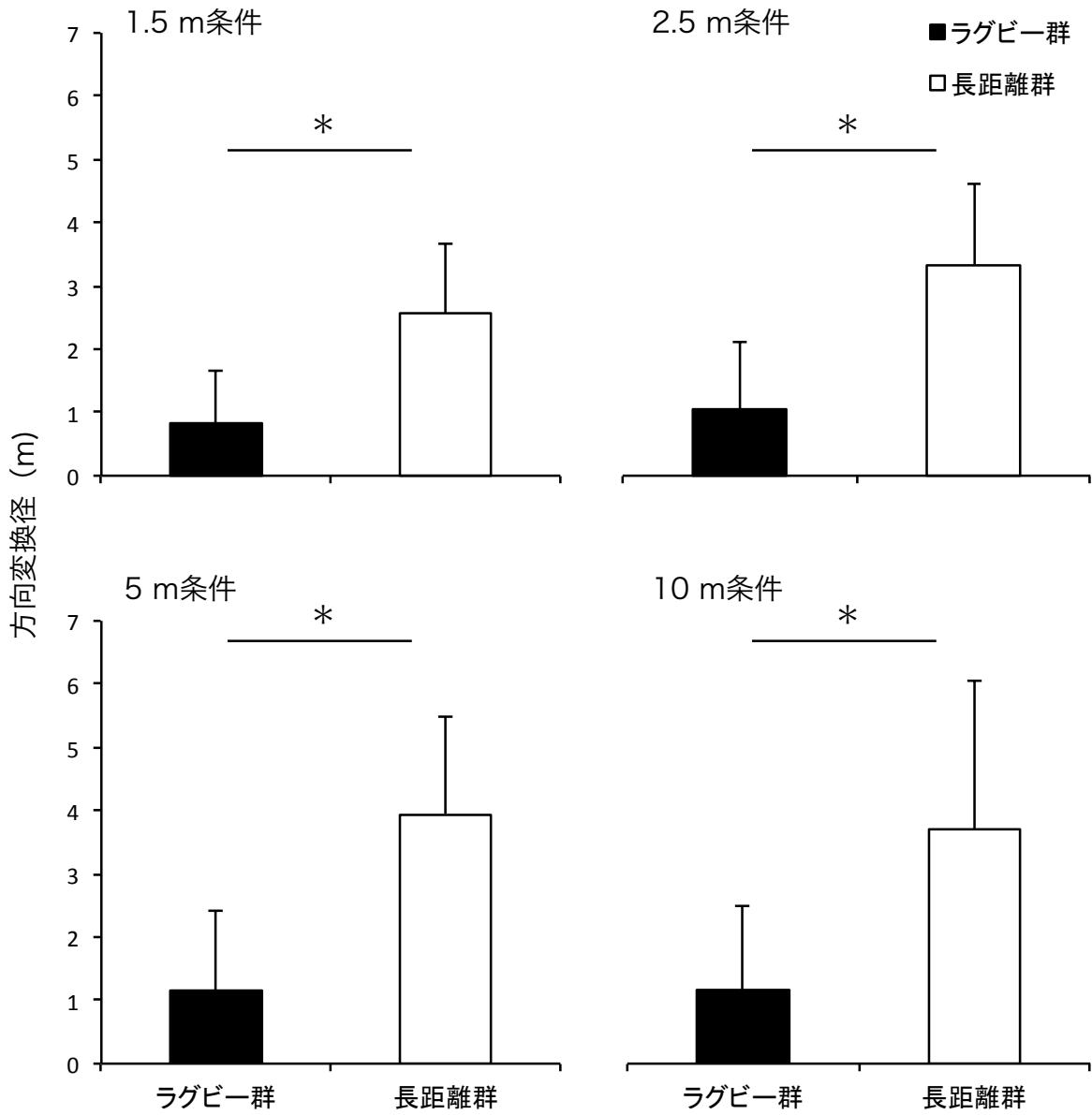


図 5-6 ターン径の群間比較

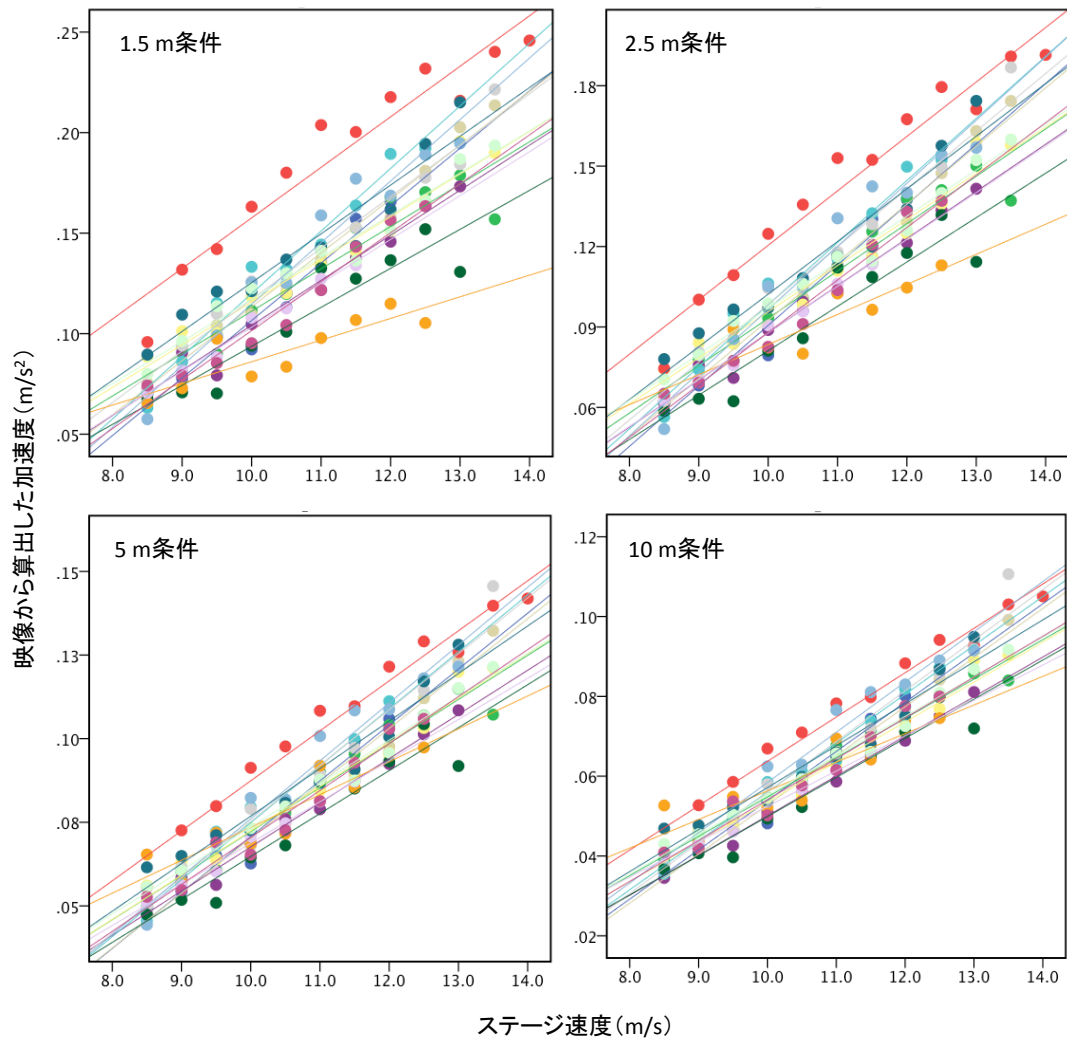


図 5-7 位置データより算出した加速度とステージ速度との関係
個人毎のプロットで色分けをしており、実線は個人毎の回帰直線を示している。

表 5-2 各モデルにおける情報量基準

区間条件		モデル1	モデル2	モデル3
1.5 m 条件	AIC	-940.9	-1126.3	-1163.7
	BIC	-937.6	-1119.8	-1153.8
2.5 m 条件	AIC	-1134.0	-1288.2	-1316.9
	BIC	-1130.7	-1281.6	-1307.0
5 m 条件	AIC	-1340.6	-1459.6	-1479.3
	BIC	-1337.3	-1453.0	-1469.5
10 m 条件	AIC	-1503.1	-1601.4	-1616.6
	BIC	-1499.8	-1594.8	-1606.7

4. 考察

4.1. 競技特性間のターン能力の相違

SRT の走行の軌跡を反映するターン径は、半数以上が 1 m 未満の区間に分布しており、正規分布ではなかった (図 5-4)。また、箱ひげ図から、どの区間条件でも中央値が比較的小さい値であった (図 5-5)。さらに、ターン径を群間で比較した結果、ラグビー群で小さい値を示し (図 5-6)、10 m 条件を除くすべての条件で 1 m 未満の区間に分布しているのは全員がラグビー群であった。これらのターン径の結果と走行軌跡の典型例 (図 5-3) とを考慮すると、ラグビー選手はそのほとんどが直線的な走行であるのに対し、長距離選手は全員が楕円を描くような走行であることが明らかとな

った。

ラグビー選手と長距離選手のように、競技特性やそれに基づくトレーニングが異なる被験者ではターン能力が異なると指摘されており、本研究課題ではその指摘を実証した。ラグビー選手は、試合や普段のトレーニングで繰り返しや急激な加減速を多く経験している。この経験から鋭角的なターンを行うことに長けており、より直線的な走行の軌跡になっていたと考えられる。ところが、長距離選手は急激な方向変換の経験が少なく、一定速度での走行に特化していると推察される。よって、加減速の大きい直線的な走行をしないことでターンの影響を小さくするように走行していた可能性がある。先行研究では、ジグザグ走のタイムを球技選手（バスケットボール、サッカー）と長距離選手とで比較した結果から、球技選手は長距離選手よりも繰り返し走能力が優れていると報告されている（岡本ら、2012）。また、ラグビー選手を対象とした試合中の走行の質的評価を行った先行研究では、ラグビー選手は陸上短距離選手よりも走行中の姿勢が低く、繰り返しに適した走行をしていると報告されている（Sayers, 2000）。これらの先行研究を踏まえると、このような繰り返し走能力の違いが SRT のターン能力に反映されたとも推察される。また、長距離選手は特徴的なターンの仕方をである集団と考えられる。

4.2. 20 m シャトルランテストにおけるターン能力を捉えるための方法

本研究課題では、SRT 中の位置データによりターン能力を捉えるための方法を検討した。走行の軌跡を示すターン径は、ラグビー選手と長距離選手とに差が認められ、

ラグビー選手と長距離選手のようなターン仕方が著しくことなる場合には有効な方法であること示された。しかしながら、ヒストグラムから0~1 mの区間は最も人数が多く、その全員がラグビー選手であった(図5-4)。この結果から、ターン能力をターン径で捉える場合、直線的か楕円的な走行であるとの概観は判別可能であるが、ラグビー選手間ではターン径では個人差が弁別できず、ターン径だけでは十分な評価ができない可能性がある。この理由として、対象者のカテゴリーが挙げられる。本研究課題で対象としたラグビー選手は、少なくとも3年以上ラグビーに関するトレーニングを行っており、ラグビー以外のトレーニング経験も含めるとそれ以上であった。よって、ほとんどのラグビー選手が鋭角的なターンを行った結果として床効果が生じ、ターン径だけではターン能力を十分に弁別することができなかつたと推察される。

そこで、ラグビー選手のターン能力を捉えるために、ターン径ではなくターン局面の加減速に着目した。ラグビー選手のみを対象とし、ターン局面の加減速に個人差があるのかを検討するために、ステージ速度の増加に対する X_{ACC} の増加を3つのモデル比較により検討した。その結果、単回帰モデル(モデル1)よりもランダム切片モデル(モデル2)およびランダム切片・ランダム傾きモデル(モデル3)が高い適合を示し、中でもモデル3が高い適合を示した(表5-2)。すなわち、ステージ速度の増加に伴い X_{ACC} は増大し、その増大の傾向に個人差が影響することを示している。この結果は、ターンの仕方で捉えることが困難であったラグビー選手のターン能力が、ターン局面の加減速で捉えられることを示唆している。ラグビー選手を対象とした場合でも試技中のターン能力(原文ではターンのスキルの巧拙と表現している)が異な

る可能性を指摘している研究があり（村上ら，1992），本研究課題ではこの指摘をも実証した．これらの結果から，走行の軌跡では同様に見受けられるラグビー選手のターン能力が，ターン局面の加速度を捉えることで明らかになると考えられる．

5. まとめ

本研究課題では，SRT中の位置データにより，ターン能力を捉えるための方法を検討した．大学ラグビー選手と大学長距離選手を被験者とし，20-MSTの位置データを算出するためのSRTを行った．試技を撮影した映像により頭部中央部分をデジタル化した後，2次元DLT法により2次元座標値（位置データ）を算出した．軸方向は，SRTの折り返しラインに垂直の方向である走行方向をX軸方向，折り返しラインに平行な方向をY軸方向とした．分析区間はX座標が0の地点（折り返しの地点）を基準とし，その前後1.5 m 区間，2.5 m 区間，5 m 区間，10 m 区間とした．SRTの走行の軌跡を反映する値として，分析区間の始点と終点のY座標値の差をターン径とした．ターン径は，最終ステージにおける各シャトルの平均値を代表値とした．また，2次元座標値を2階微分することで加速度を算出し，X軸方向成分（ X_{ACC} ）を分析対象とした． X_{ACC} は，分析区間でRMSを算出した後ステージ毎に平均した．ターン径は，ラグビー群と長距離群とに有意差が認められた．しかしながら，ラグビー選手のみを対象とした場合には，ターン径を用いたターン能力の違いの判別は難しいと考えられる．一方，ターン局面の加減速を表す X_{ACC} では，その増加傾向にラグビー選手

間でも個人差があると示された。したがって、ターン能力を捉えるには、ターン径ではなくターン局面の加速度を用いるのが適切であると考えられる。

第6章 ターンが加速度センサの出力に及ぼす影響（研究課題3-1）

1. 目的

研究課題2より、ターン能力はターン局面の加減速を表すに反映されることが明らかとなった。この結果より、加速度センサを用いてターン能力を捉えることができると予想される。したがって本研究課題では、まず加速度センサの出力で20-MST中のターンを捉えることができるかを確認するために、20-MSTとトレッドミルでの走行での加速度センサの出力を比較することで、ターンの存在が加速度センサの出力に及ぼす影響を明らかにすることを目的とした。

2. 方法

2.1. 被験者

被験者は研究課題1（第4章）と同一の被験者であった。

2.2. シャトルラン課題およびトレッドミルランニング課題

本研究課題では、20-MST中の加速度センサの出力を計測するためにSRTを行った。また、ターンの存在の影響を検討するために、SRTと同一の負荷かつ同一の速度漸増率での走行をトレッドミル上で行うTRTも行った。SRTとTRTは研究課題1（第4

章) と同一の方法で行った.

2.3. 加速度センサ

SRT 中および TRT 中の加速度センサの出力を, 加速度センサ (無線モーションレコーダ: MVP-RFA3-10A, MicroStone 社製) により計測した. 加速度センサを, 被験者の右腰部 (上前腸骨棘上) に本体のフックとゴム製のベルトで固定した. 加速度センサの本体重量は 90 g であった. センサの計測範囲は $\pm 98.0 \text{ m/s}^2$ (10 G) であり, サンプル周波数は 5 Hz であった. 両運動課題の前に, 重力加速度 (9.8 m/s^2) により加速度センサを較正した. 加速度センサにより計測されたデータを, 専用ソフト (3次元モーション解析ソフトウェア: MVP-RF-S, MicroStone 社製) によりコンピュータに CSV ファイルとしてダウンロードした. CSV ファイルには, 各軸における単位時間 (200 ms) あたりの加速度センサの出力 (m/s^2) が記録された. 加速度センサの出力における 60 秒毎の RMS を算出し, 各軸の代表値とした. 加速度センサの出力が 60 秒に満たない場合は切り捨てとした.

加速度センサの軸方向は, 上下方向, 前後方向, 左右方向とした. 図 6-1 は, 加速度センサの軸方向とターン局面の関係を表した模式図である. 上下方向は重力と同一方向であり, 上下方向の加速度センサの出力は走行中の 1 歩の重力方向の衝撃の大きさを反映する. 前後方向は走行における進行方向つまり矢状面方向と同一であり, 前後の加速度センサの出力は進行方向における速度変化を反映する. 左右方向は進行方向と直交つまり前額面における左右方向と同一であり, 左右方向の加速度センサの出

力は体幹部の揺れ，およびターン能力が反映されると予想される。

2.4. 統計解析

本研究課題における統計解析は，研究課題1（第4章）と同様の方法である3要因の Mixed model を用いて行った。本研究課題の従属変数は各軸方向の加速度センサの出力，独立変数は運動課題，ステージ速度，群とした。また，変量効果には被験者を指定した。統計的有意水準は $\alpha=0.05$ とした。

3. 結果

SRT と TRT の加速度センサの出力を比較するための3要因の Mixed model による分析の結果を表6-1に示す。すべての軸方向において，運動課題×ステージ×群の交互作用に有意性は認められなかった（表6-1⑦）。さらに，前後方向および左右方向の加速度センサの出力において運動課題×ステージの交互作用に有意性が認められた（表6-1④）。この結果は，SRT と TRT の出力が異なる（ターンによって出力が増加する）と解釈できる。SRT と TRT を比較した単純主効果検定において，前後方向でステージ11，12，14，左右方向でステージ7以降に運動課題間の有意差が認められた（図6-2）。

異なる競技特性間でターン能力を比較するために，前後方向と左右方向の加速度センサの出力にて，群毎に運動課題とステージを独立変数，さらに被験者を変量効果と



図 6-1 シャトルラン課題におけるターン局面の模式図 (ラグビー選手)

したと2要因のMixed modelにより分析した。ラグビー群では、前後方向で交互作用に有意性は認められなかったものの ($F_{10,63} = 0.85, P = .586$), 運動課題の主効果 ($F_{1,63} = 15.72, P < .001$) に有意性が認められた。また、左右方向で交互作用に有意性が認められた ($F_{10,63} = 2.89, P = .005$)。SRTとTRTを比較した単純主効果検定において、前後方向でステージ9, 11, 左右方向でステージ7以降に運動課題間の有意差が認められた(図6-3)。ところが、長距離群では、前後方向で交互作用 ($F_{13,75} = 1.75, P = .068$) にも、運動課題の主効果 ($F_{1,75} = 3.13, P = .081$) にも有意性は認められなかった。また、左右方向で交互作用に有意性は認められなかったものの ($F_{13,75} = 1.08, P = .387$), 運動課題の主効果に有意性が認められた ($F_{1,75} = 17.94, P < .001$)。SRTとTRTを比較した単純主効果検定において、左右方向ではステージ10と12以降で運動課題間に有意差が認められた(図6-4)。

表6-1 Mixed modelの結果

		上下方向	前後方向	上下方向
主効果				
①運動課題	$F (1, 138)$	40.48 ($P < .001$)	21.99 ($P < .001$)	69.84 ($P < .001$)
②ステージ速度	$F (13, 138)$	22.89 ($P < .001$)	36.95 ($P < .001$)	26.89 ($P < .001$)
③群	$F (1, 6)$	0.05 ($P = .834$)	0.337 ($P = .582$)	4.80 ($P = .071$)
交互作用				
④運動課題×ステージ速度	$F (13, 138)$	1.24 ($P = .260$)	2.08 ($P = .019$)	41.05 ($P < .001$)
⑤運動課題×群	$F (1, 138)$	0.47 ($P = .492$)	10.26 ($P = .002$)	8.38 ($P = .004$)
⑥ステージ速度×群	$F (10, 138)$	1.28 ($P = .247$)	3.13 ($P = .001$)	0.22 ($P = .994$)
⑦運動課題×ステージ速度×群	$F (10, 138)$	1.07 ($P = .390$)	0.22 ($P = .994$)	0.45 ($P = .916$)

F(df₁,df₂)df₁ = Numerator df, df₂ = Denominator df

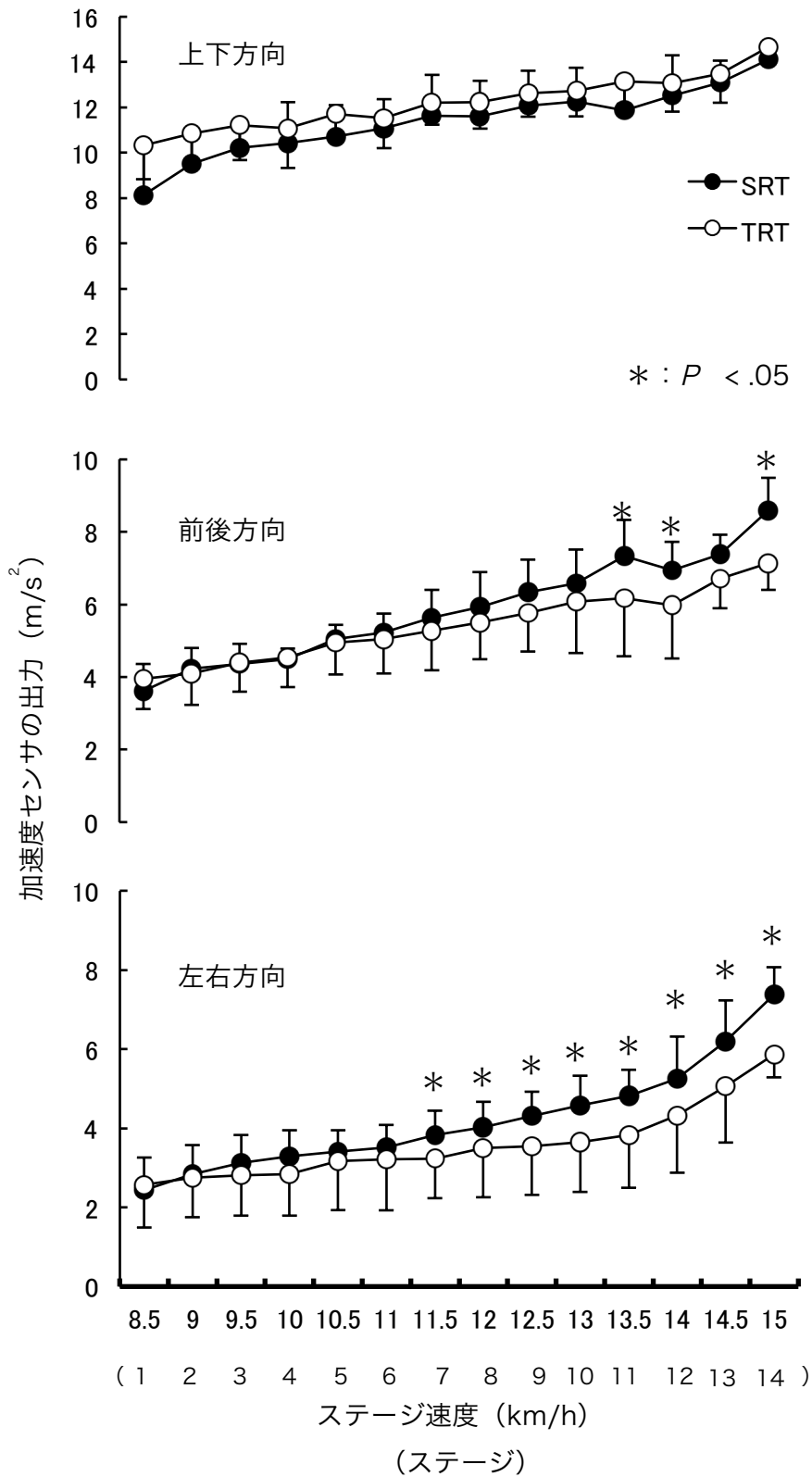


図 6-2 SRT と TRT における加速度センサーの出力 (全被験者のデータ)

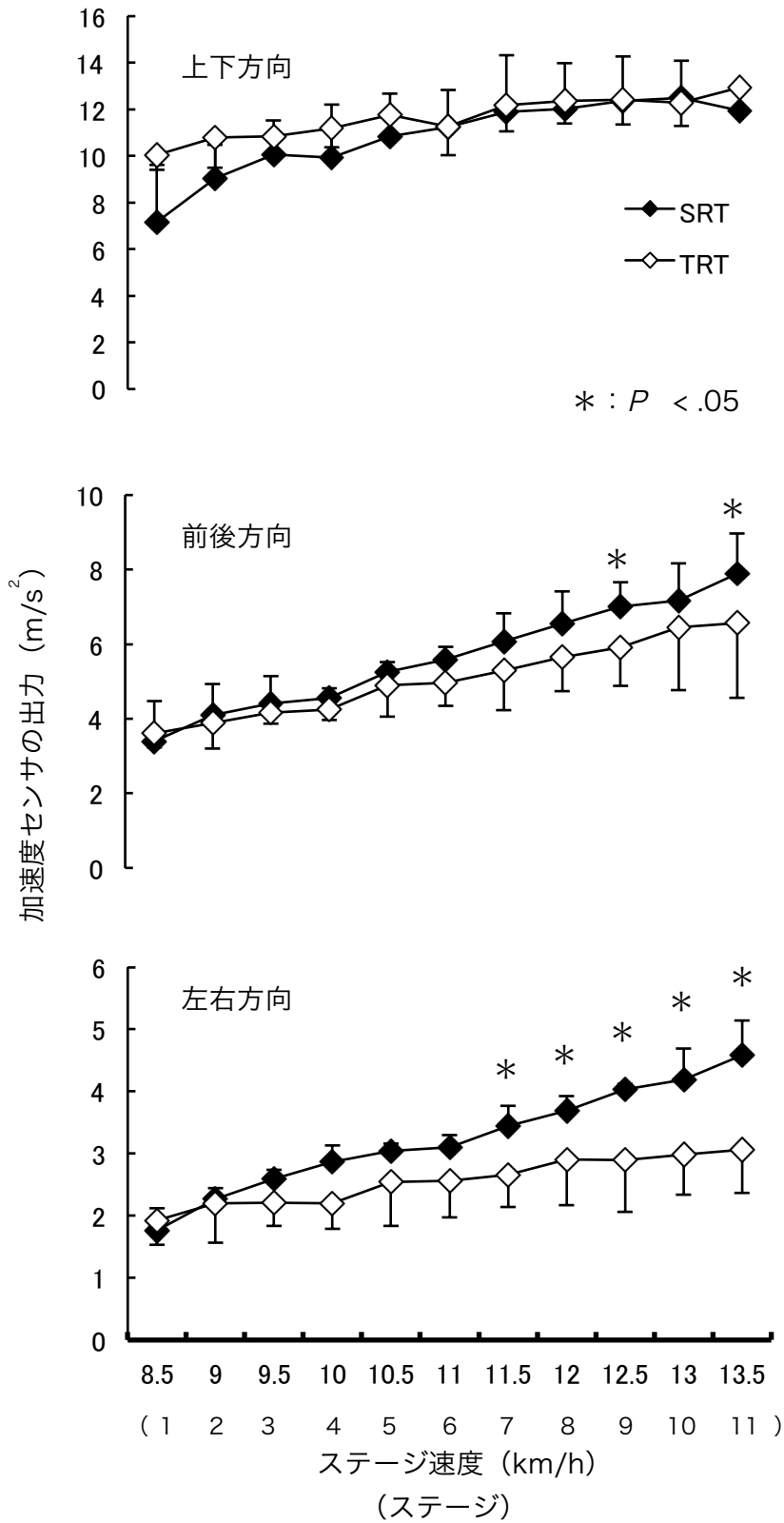


図 6-3 SRT と TRT における加速度センサの出力 (ラグビー群)

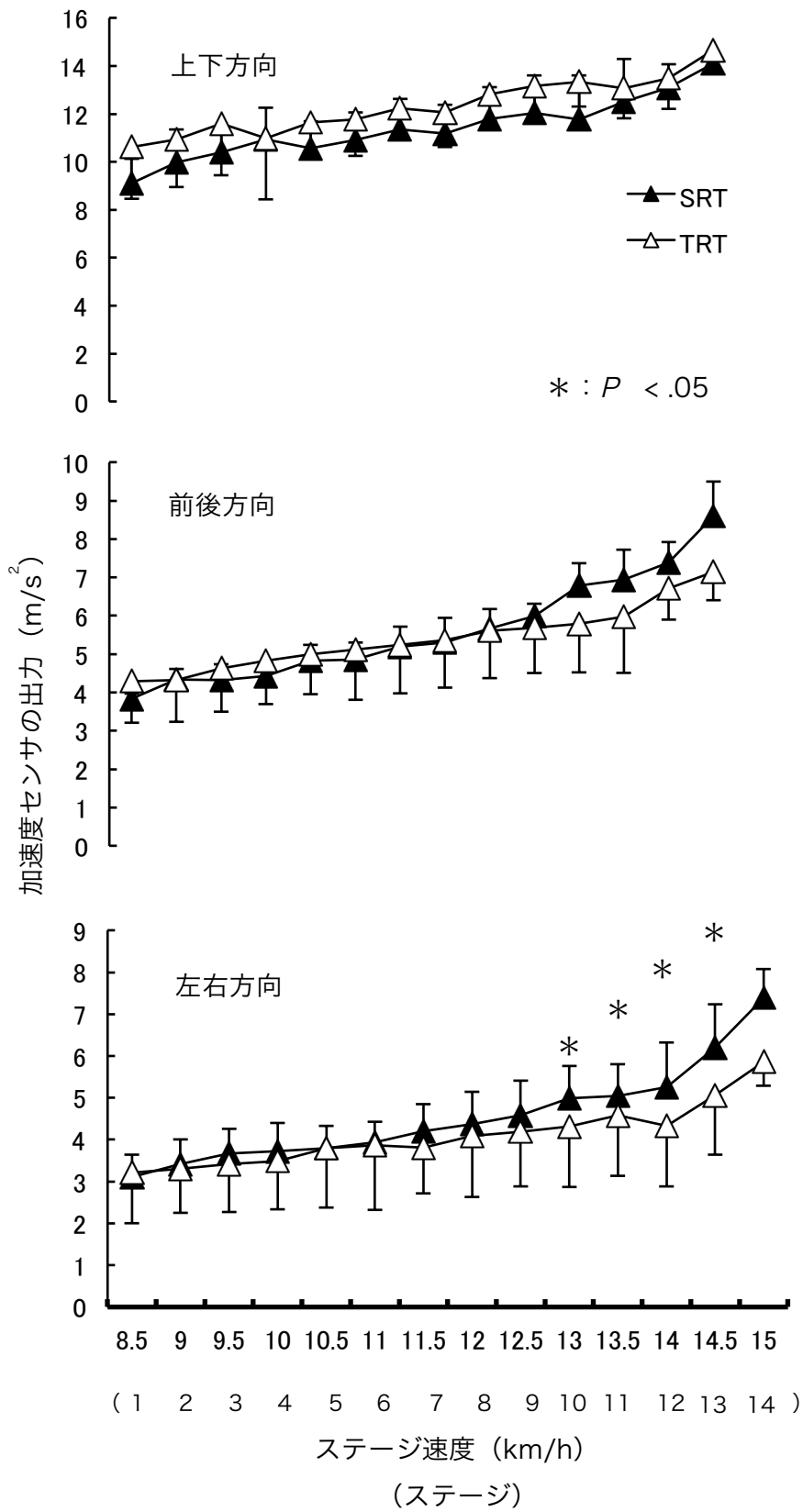


図 6-4 SRT と TRT における加速度センサの出力 (長距離群)

4. 考察

本研究課題では、ターンの存在が加速度センサの出力に及ぼす影響を検討するため、SRT と TRT の加速度センサの出力を軸方向毎に比較した。また、ターン能力が異なると考えられるラグビー選手と長距離選手に分けて分析を行った。それぞれを以下に考察する。

4.1. 20 m シャトルランテストにおける加速度センサの出力

本研究課題では、ターンの存在の影響を検討するために、SRT と TRT の加速度センサの出力を比較した。まず、それぞれの軸方向における加速度センサの出力について考察する。上下方向の加速度センサの出力で、運動課題間に統計的な有意性は検出できなかった。先行研究において、重力方向(本研究課題の上下方向と同一とみなす)の加速度センサの出力は、速度が大きくなるに連れてプラトーになることや(Fudge et al., 2007)、大きい速度ではステップ頻度との相関が低くなることが報告されている(Rowlands et al., 2007)。よって、SRT でも上下方向の加速度センサの出力はSRT中のターンを捉えるのに適さないと考えられる。したがって、上下方向の加速度センサの出力では、ターンの存在を捉えることが難しいと判断できる。

一方、前後方向において得られた有意な交互作用は、走行速度の増大にともなってターン局面の加減速も増大した結果と解釈できる。SRT と TRT の平均の走行速度は同じにも関わらず、規定走行速度の増大に従い両運動課題間における前後方向の加速

度センサの出力の差が拡大した。さらに、規定速度が大きくなるに従い SRT のターン局面の加減速も大きくなる。単純主効果検定で後半のステージに有意差が認められた理由も、後半のステージになるほどターンの影響すなわちターン局面の加減速が大きくなることにあると推察される。軸の方向および本結果を考慮すると、前後方向の加速度センサの出力は、SRT 中のターンによって生じる速度変化を検出していると示唆される。

また、左右方向において得られた有意な交互作用は、走行速度の増大に伴ってターン局面の加減速も増大した結果と解釈できる。左右方向の出力でも、単純主効果検定において後半のステージで運動課題間に有意差が認められ、運動課題間の差は前後方向よりも早いステージで確認された。この結果より、前後方向の加速度センサの出力と同様に、SRT 中のターンが左右方向の加速度センサの出力に反映されたと考えられる。さらに、左右方向の出力は、他の2つの軸方向の出力と比較して SRT 中のターンをより反映している可能性がある。左右方向の加速度センサの出力に反映される SRT と TRT の差は、SRT 中のターン局面の加減速での体幹の揺れが影響すると推察される。また、SRT 中のターンでは体が反転するため（図 6-1 左）、折り返しの際の衝撃は左右方向の加速度センサの出力に反映される可能性がある。ところで、左右方向の加速度センサの出力は走行中の体幹の揺れを検出している可能性もある。ただし、走行中の体幹の揺れは TRT においても同様であり、比較する際に相殺されると推察される。

さらに、前後方向でも左右方向でも、特に後半部分に運動課題間の差が認められた

(図 6-2). 研究課題 2 (前章) の結果より, SRT は後半になるほどターン局面での加減速が大きくなるが, TRT ではターンが存在しないことから, SRT と TRT との差分はターンの存在の影響である. よって, SRT では特に後半部分でターンの存在の影響が大きい可能性がある. このことから, ターンの存在の影響は, SRT の前半と後半で異なると考えられる. したがって, 20-MST のターン能力を分析するには, 前半のステージと後半のステージとに分け, 特に後半のステージを分析することが望ましいと考えられる.

4.2. ターン能力の相違による影響

加速度センサの出力にターン能力の違いが反映されるかを検討するために, 群毎に SRT と TRT 中の前後方向および左右方向の加速度センサの出力を比較した. その結果, ラグビー群では前後方向と左右方向の両方に運動課題間の差異が認められたが, 長距離群では左右方向にのみ運動課題間の差異が認められた (図 6-3, 6-4). つまり, ターン能力の違いが加速度センサの出力に反映され, ターン能力の違いを加速度センサで検出できることが示唆された.

SRT での前後方向の加速度センサの出力は, ラグビー群で TRT よりも高い値を示した. ところが, 長距離群では加速度センサの出力に運動課題間の差があると判断できなかった. また, SRT における左右方向の加速度センサの出力は, ラグビー群と長距離群で TRT よりも高い値を示した. ただし, 交互作用に有意性が認められたことや単純主効果検定の結果を考慮すると, 特に走速度が大きい後半のステージでラグビ

一群の増加が長距離群の増加よりも大きいと判断できる。本研究課題の結果と、研究課題2で明らかとなったターン能力を合わせて考察する。ラグビー群では前後方向の加速度センサの出力に運動課題間の差がみられたものの、長距離群では運動課題間の差がみられなかったことから、加減速の大きいラグビー群とは対照的に SRT のターン局面の加減速を小さくするように走行していると推察できる。研究課題2(第5章)の結果では、ラグビー選手は直線的な走行を行っており、長距離選手は楕円を描くような走行を行っていた。つまり、長距離選手は、楕円を描くように走行することで、ターン局面の加減速を小さくしていた可能性がある。このような違いが、加速度センサの出力にも反映されたと考えられる。また、長距離選手は特に後半のステージで SRT 中のターンの効率が低下するとの観察的な指摘があり (Grant et al., 1995), 本研究結果では、長距離群が単純主効果検定において後半にのみ有意差が得られた。これらのことから長距離選手は、速度が大きくなるにつれ、急激な速度変化を起こさざるを得なくなったと推察される。

5. まとめ

本研究課題では、加速度センサの出力で SRT 中のターンを捉えることができるかを確認するために、20-MST とトレッドミルでの走行での加速度センサの出力を比較することで、SRT 中のターンが加速度センサの出力に及ぼす影響を検討した。ラグビー選手および長距離選手を対象に、20-MST 中の加速度センサの出力を計測するため

の SRT, さらに SRT と同速度および速度漸増率に設定したトレッドミルでの走行課題である TRT を行った. 両運動課題中の加速度センサの出力を計測し比較することで, 加速度センサの出力によりターンを捉えることができるかを検討した. また, 群間で加速度センサの出力における運動課題間の増加の傾向を比較することで, ターン能力の違いを加速度センサで捉えられるかを検討した.

SRT と TRT 中の加速度センサの出力を比較すると, SRT で前後方向および左右方向の軸に有意な増加がみられた. この結果から, 加速度センサの前後方向および左右方向の, 特に後半のステージの出力により, ターンの存在を捉えられることが示された. また, ラグビー選手では前後方向と左右方向の両方の軸方向の出力で増加がみられたものの, 長距離選手では左右方向のみで増加がみられた. さらに, 左右方向の出力における SRT での増加量は, ラグビー選手の方が大きかった. これらの結果から, ターン能力の違いを加速度センサで捉えられることが示唆された.

第7章 ターン局面の加減速と加速度センサの出力との関係（研究課題3-2）

1. 目的

研究課題2より、ターン局面の加減速によりターン能力を捉えられることが示された。また研究課題3-1より、ターンは加速度センサの出力で捉えられることが示されている。これらを踏まえて本研究課題では、ターン局面の加減速を見積もることやターン能力を捉えることに対する加速度センサの有用性を明らかにすることを目的として、映像データを用いて算出したターン局面の加減速と加速度センサの出力との関係や、ステージ速度の増加に対する加速度センサの増加の様相を検討した。

2. 方法

2.1. 被験者

被験者は、大学のラグビー部に所属するラグビー選手15名とした。被験者は全員週5日以上専門的なトレーニングを行っていた。被験者の身体特性は、身長 171.4 ± 7.1 cm、体重 75.8 ± 9.0 kg、年齢 19.3 ± 1.0 歳であった。被験者には事前に測定の内容と内容を十分に説明し参加への同意を得た。本研究課題は筑波大学人間総合科学研究科倫理委員会の承認を得て行った（22-157 課題番号第560号）。

2.2. シャトルラン課題

20-MST中の位置データおよび加速度センサの出力を計測するためにSRTを行った。SRTは前章までと同一の方法で行った。

2.3. 映像データの収集

DVカメラを用いて試技の撮影を行った。本研究課題の映像データの収集において、撮影に用いた機器、機器の設定、撮影場所、キャリブレーション方法、データ収集の方法および2次元座標値（位置データ）の算出は、研究課題2（第5章）と同一の方法で行った。

2.4. 映像データの分析区間

分析区間は研究課題2と同一に設定した。

2.5. 映像データの処理

研究課題2と同一の方法で、ターン局面の加減速を示す値として、2次元座標値を2階微分することでX軸方向の加速度成分（以下、 X_{ACC} ）を算出した。

2.6. 加速度センサの出力の収集および処理

SRTの試技中、加速度センサ（無線モーションレコーダ：MPV-RF8, MicroStone社製）を腰部中央に専用のベルトと伸縮性のあるテーピングテープ（ピップキネシオ

ロジック®) を用いて固定した。加速度センサのサンプリング周波数は 50 Hz とした。加速度センサは計測の前に重力加速度によりキャリブレーションを行った。加速度センサの設定、計測中の制御およびデータ収集は、専用のアプリケーションソフト (MVP-RF8-S, MicroStone 社製) により行った。加速度センサの軸方向は、前後方向 (矢状面における前後方向)、左右方向 (前額面における左右方向)、上下方向とし、計測値は CSV 形式のテキストファイルにて出力した。加速度センサの出力では、通過帯域が 0.2~10 Hz の band-pass Butterworth filter により平滑化した。SRT の開始と同時に計測を開始することで、映像と加速度センサとを同期した。各軸の加速度センサの出力は、映像の分析区間と時間で同期した同区間で RMS を算出し、さらにステージ毎の平均値を算出した。X_{ACC} と加速度センサの出力との比較は、それぞれが同じ区間条件同士の比較に加えて、X_{ACC} の各区間条件と全体と同義である 10 m 条件での加速度センサの出力との比較を行った。加速度センサの出力の処理は、数値計算システム (Scilab ver. 5.4.1, INRIA 配布) により行った。

2.7. 統計解析

本研究課題では、ターン局面の加速度を加速度センサの出力で見積もることができるとかを検討する。よって、X_{ACC} と加速度センサの出力との関係を検討することが必要である。また、加速度センサの出力のみで個人のターン能力を捉えられるかを検討する。よって、加速度センサの出力とステージ速度との関係も合わせて検討することが必要である。

X_{ACC} と加速度センサの出力との関係の検討には相関係数を用いた。研究課題2から、走行速度の増加に対する X_{ACC} の増加は個人毎に異なることが明らかとなっている。そのため、全被験者でのデータの相関係数に加えて個人内相関も算出するのが望ましいと考えられる。よって、個人毎にも X_{ACC} と加速度センサの出力との相関係数を算出し、Fisher の Z 変換および逆 Z 変換を利用して個人内相関の平均値を求めた。

さらに、 X_{ACC} と加速度センサの出力との関係を検討するために、研究課題2と同様に Mixed model を用いた3つのモデルを比較した。

モデル1 : $y_i = \beta_0 + \beta_1 x_i + e_i$ (単回帰モデル)

モデル2 : $y_i = \beta_0 + \beta_1 x_i + b_i + e_i$ (ランダム切片モデル)

モデル3 : $y_i = \beta_0 + \beta_1 x_i + b_i + b_i x_i + e_i$ (ランダム切片・ランダム傾きモデル)

ここで、 y_i は被験者 i における応答変数 (X_{ACC}) であり、 x_i は被験者 i における説明変数 (加速度センサの出力)、 β_0 は切片、 β_1 は x_i の係数、 e_i は誤差である。また、 b_i は被験者による変量効果である。モデル比較における情報量基準は AIC と BIC を採用した。

また、研究課題3-1では特に後半のステージでターンの存在の影響が大きいことが示されている。よって、加速度センサのデータを個人毎に前半のステージと後半のステージとに分けて、ステージ速度の増加に対する加速度センサの出力を検討した。加速度センサの出力は、後に加速度センサのみで用いることを考慮し、全体のデータと同義である 10 m 条件で分析を行った。データの数か偶数個の場合には、前半のステージと後半のステージが同数になるように分け、奇数個の場合には中央のステージ

を除いて前半のステージと後半のステージとに分けた（例えば13ステージの場合には、ステージ1～6を前半のステージ、ステージ7を除いてステージ8～13を後半のステージとした）。ステージ速度の増加に対する加速度センサの出力の関係の検討にも、全被験者のデータによる相関係数、個人内相関の平均値、Mixed modelによりモデル比較を、前半のステージと後半のステージそれぞれで行った。個人内相関の平均値の算出には、FisherのZ変換および逆Z変換を利用した。また、比較に用いたモデルは先述したモデルと同様であるが、ここでの y_i は被験者*i*における応答変数（加速度センサの出力）であり、 x_i は被験者*i*における説明変数（ステージ速度）である。

統計解析は、SPSS ver.21（IBM社製）およびMicrosoft Excel for Mac 2011（Microsoft社製）により行った。なお、すべてのデータは平均値±標準偏差で示し、統計的有意水準は $\alpha=0.05$ とした。

3. 結果

X_{ACC} と加速度センサの出力とにおける各分析区間での全被験者のデータでの相関係数を表7-1に示す。全被験者のデータでは、すべての組み合わせで有意な中程度の相関係数を示した。 X_{ACC} と加速度センサの出力での、個人内相関の平均値を表7-2に示す。また、 X_{ACC} と前後方向の加速度センサの出力との関係を図7-1に、左右方向の加速度センサの出力との関係を図7-2にそれぞれ示す。個人内相関の平均値は、すべての組み合わせにおいて高い値を示した。さらに、 X_{ACC} と加速度センサの出力と

における、3つのモデルの情報量基準を表7-3に示す。情報量基準は、説明変数が前後方向の出力の場合でも、左右方向の出力の場合でも、単回帰モデルであるモデル1よりも、個人の変量効果を指定したランダム切片モデルであるモデル2、およびランダム切片・ランダム傾きモデルであるモデル3が低い値を示した。つまり、モデル3が最も良い適合であった。

加速度センサの出力とステージ速度における全被験者のデータでの相関係数および個人内相関の平均値を表7-4に示す。また、ステージ速度と加速度センサの出力との関係を図7-3に示したように、個人内の適合は高い。全被験者のデータの相関係数は、低いまたは中程度の値を示した。一方、個人内相関の平均値は、すべての組み合わせにおいて高い値を示した(表7-4)。X_{ACC}と加速度センサの出力とにおける、3つのモデルの情報量基準を表7-5に示す。また、ステージ速度に対するの加速度センサの出力との関係を図7-4に示す。情報量基準は、説明変数が前後方向の出力の場合でも、左右方向の出力の場合でも、ランダム切片モデルおよびランダム切片・ランダム傾きモデルが単回帰モデルよりも低い値を示した。

表 7-1 X_{ACC} と加速度センサとの出力との相関係数（全被験者のデータ）

加速度センサ		映像			
軸方向	区間条件	1.5 m 条件	2.5 m 条件	5 m 条件	10 m 条件
前後方向	同区間条件	0.53	0.62	0.72	0.69
	10 m条件	0.54	0.61	0.67	0.60
左右方向	同区間条件	0.51	0.59	0.67	0.69
	10 m条件	0.40	0.50	0.58	0.60

表 7-2 X_{ACC} と加速度センサとの出力との相関係数（個人内相関の平均値）

加速度センサ		映像			
軸方向	区間条件	1.5 m 条件	2.5 m 条件	5 m 条件	10 m 条件
前後方向	同区間条件	0.91	0.95	0.95	0.97
	10 m条件	0.96	0.96	0.95	
左右方向	同区間条件	0.94	0.97	0.97	0.98
	10 m条件	0.98	0.98	0.97	

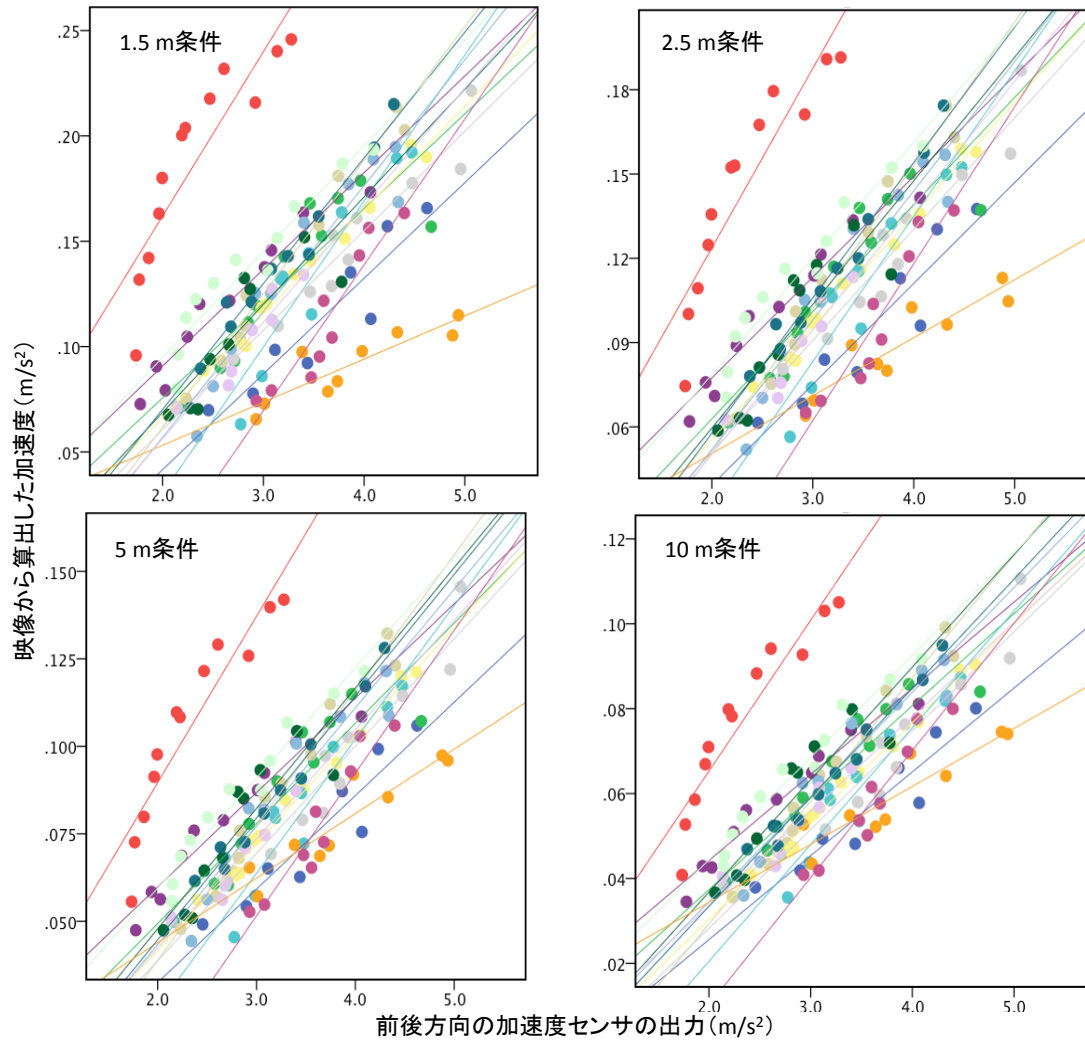


図 7-1 映像から算出した加速度と前後方向の加速度センサの出力との関係
色は個人を示しており，直線は個人毎の回帰直線を示す。

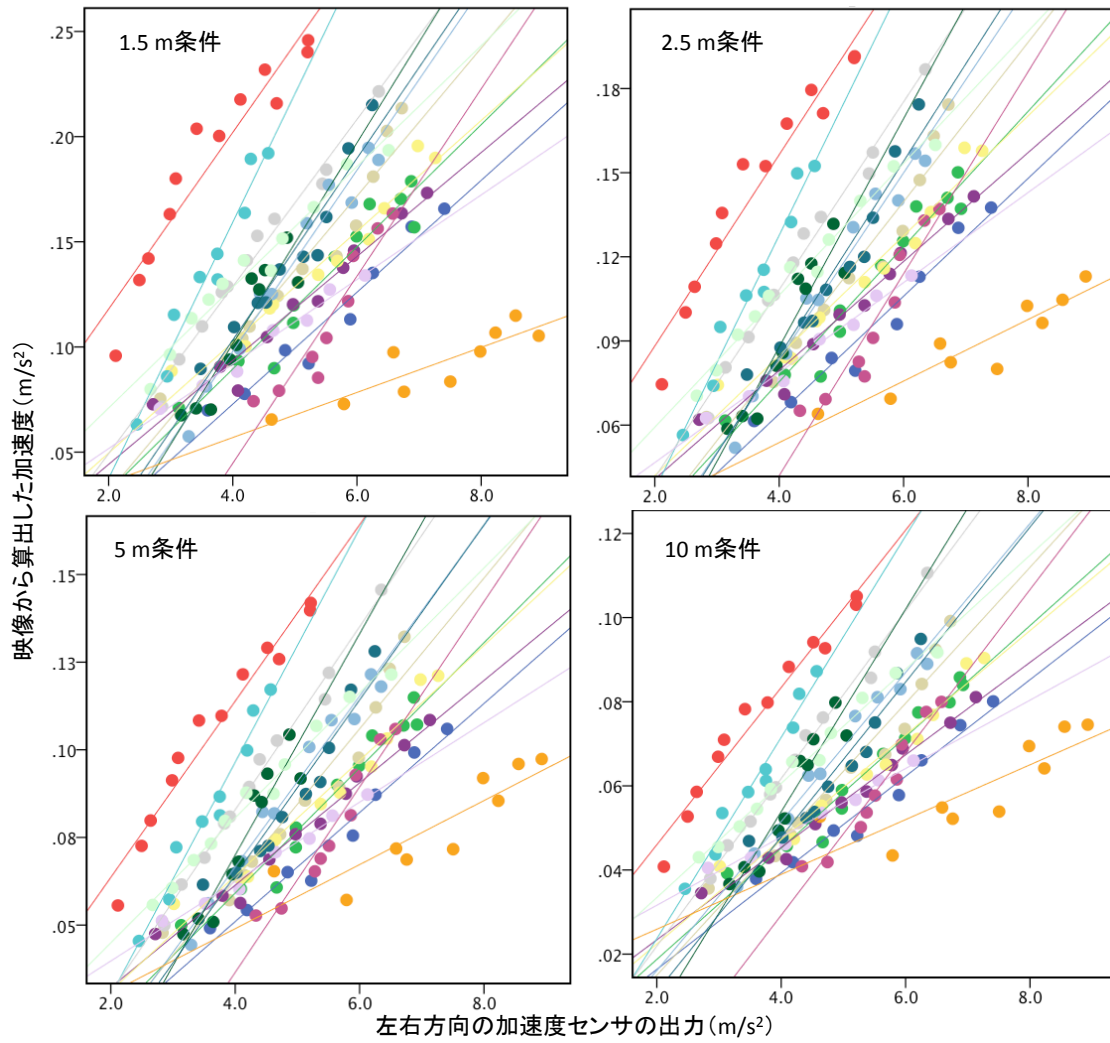


図 7-2 映像から算出した加速度と左右方向の加速度センサの出力との関係
色は個人を示しており、直線は個人毎の回帰直線を示す。

表 7-3 X_{ACC} を応答変数としたモデルの情報量基準

区間条件		前後方向			左右方向			
映像	加速度センサ	モデル1	モデル2	モデル3	モデル1	モデル2	モデル3	
1.5 m 条件	同区間条件	AIC	-547.2	-661.9	-679.3	-547.3	-696.8	-733.5
		BIC	-542.2	-651.9	-664.3	-542.3	-686.8	-718.6
2.5 m 条件	同区間条件	AIC	-649.3	-764.7	-788.4	-644.5	-797.2	-849.3
		BIC	-646.3	-758.7	-779.4	-641.5	-791.2	-840.3
5 m 条件	同区間条件	AIC	-781.5	-928.6	-938.1	-759.2	-932.3	-1009.3
		BIC	-778.6	-922.7	-929.1	-756.2	-926.3	-1000.3
10 m 条件	同区間条件	AIC	-859.1	-1035.7	-1052.7	-828.9	-1008.0	-1093.0
		BIC	-856.1	-1029.7	-1043.7	-825.9	-1002.0	-1084.0
1.5 m 条件	10 m 条件	AIC	-541.1	-738.7	-756.9	-522.0	-734.5	-808.8
		BIC	-538.1	-732.7	-747.9	-519.0	-728.5	-799.8
2.5 m 条件	10 m 条件	AIC	-641.3	-828.7	-845.6	-617.9	-821.9	-901.4
		BIC	-638.3	-822.8	-836.6	-614.9	-815.9	-892.4
5 m 条件	10 m 条件	AIC	-759.6	-937.8	-952.2	-732.4	-919.6	-1000.2
		BIC	-756.6	-931.9	-943.2	-729.4	-913.6	-991.3

応答変数： X_{ACC}

説明変数：加速度センサの出力（固定効果），対象者（変量効果）

表 7-4 ステージ速度と加速度センサとの出力との相関係数

軸方向		相関係数	
		全被験者データ	個人内相関の平均値
前後方向	前半	0.36	0.97
	後半	0.41	0.96
左右方向	前半	0.45	0.98
	後半	0.25	0.99

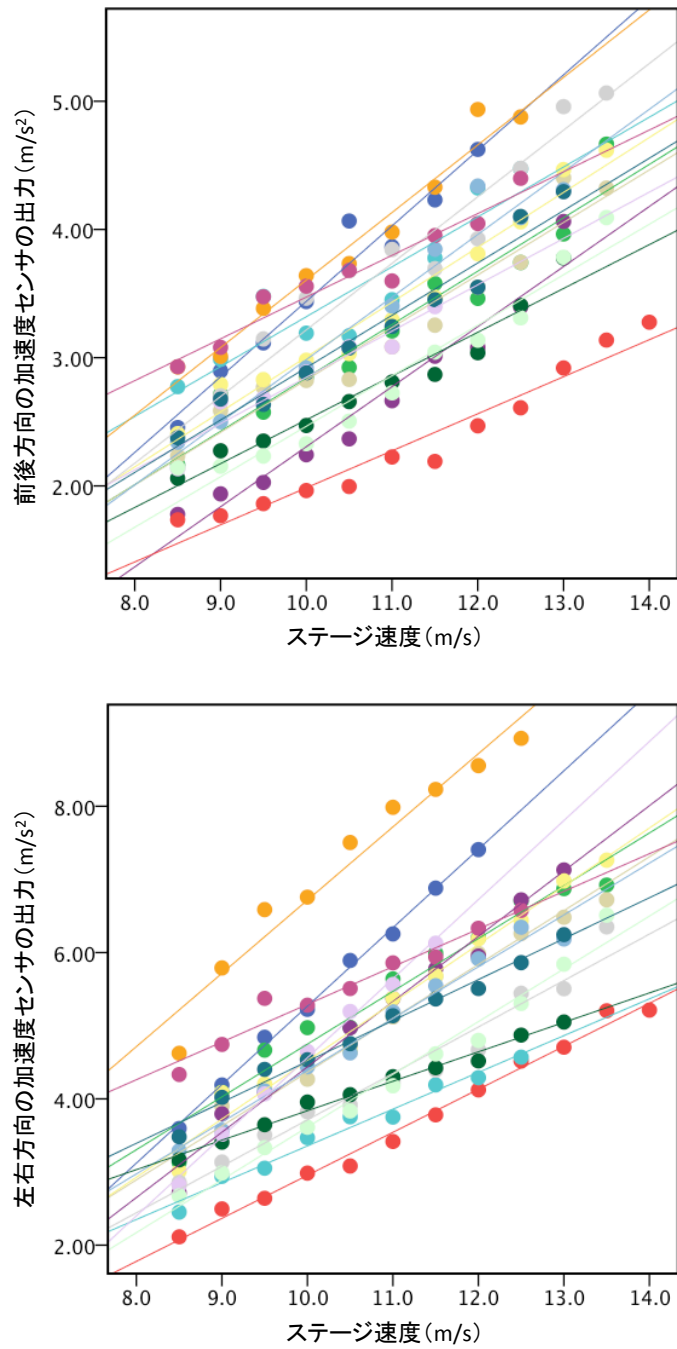


図 7-3 ステージ速度と加速度センサの出力との関係
 上：前後方向，下：左右方向の加速度センサの出力。
 色は個人を示しており，直線は個人毎の回帰直線を示す。

表 7-5 ステージ速度を応答変数としたモデルの情報量基準（10 m条件）

軸方向			モデル1	モデル2	モデル3
前後方向	前半	AIC	96.4	2.2	-8.1
		BIC	98.6	6.7	-1.5
	後半	AIC	130.9	13.3	13.6
		BIC	133.1	17.8	20.3
左右方向	前半	AIC	178.8	74.4	64.0
		BIC	181.0	78.8	70.7
	後半	AIC	211.9	48.3	45.8
		BIC	214.1	52.8	52.4

応答変数：ステージ速度,

説明変数：加速度センサの出力（固定効果），対象者（変量効果）.

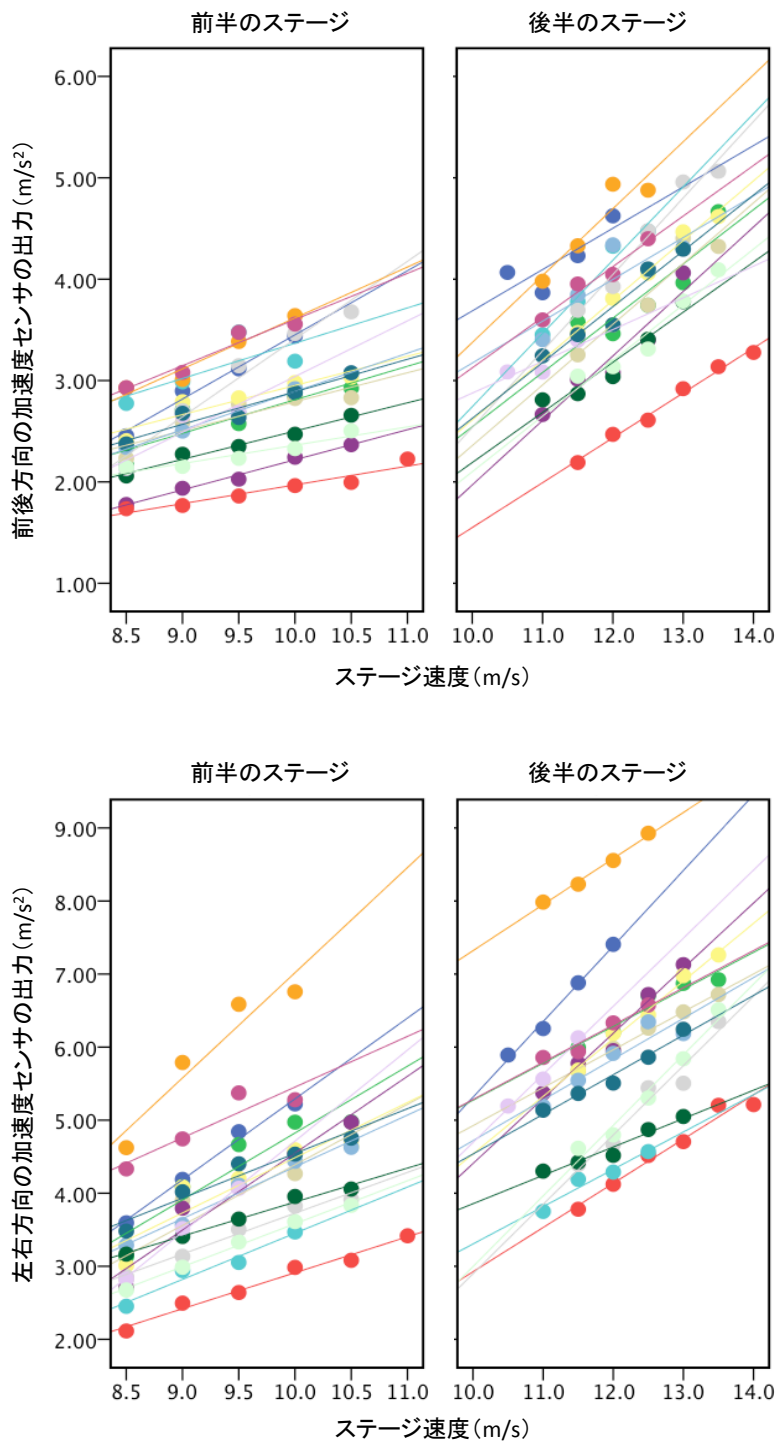


図 7-4 前半のステージと後半のステージにおけるステージ速度と加速度センサの出力との関係
 上：前後方向，下：左右方向の加速度センサの出力。
 色は個人を示しており，直線は個人毎の回帰直線を示す。

4. 考察

4.1. 映像から算出した加速度と加速度センサの出力との関係

全被験者のデータにおける X_{ACC} と加速度センサの出力との相関係数は中程度からやや高い相関係数であり、同じ区間条件同士の相関係数と、各区間での X_{ACC} と 10 m 条件での加速度センサの出力との相関係数とで顕著な違いはみられなかった(表 7-1). また、全被験者のデータの相関係数は、左右方向よりも前後方向の出力でやや高い値を示した。さらに、個人内相関の平均値はどの場合でも $r=0.90$ 以上と高い値を示した。走行の速度と前後方向および左右方向の加速度センサの出力とに関係があるとの報告や (Fudge et al., 2007 ; Bonomi et al., 2009), 切り返し走に要するタイムと身体重心速度の減少量とに相関関係があるとの報告は (鈴木・榎本, 2008), ターン局面の加減速が重心付近である腰部に装着された加速度センサの出力に反映された可能性を支持している。さらに、走行におけるステップの頻度と加速度センサの出力とに関係があることや (Rowlands et al., 2007), 切り返しの動きを反映する指標 (原文では方向変換指数と表記) と身体重心水平速度の変化量とに関係があることが報告されている (鈴木ら, 2010)。したがって、身体重心付近である腰部に装着した加速度センサの出力から、ターン局面の加減速を捉えられていると考えられる。

ただし、全被験者のデータの相関係数 ($r=0.40\sim0.72$) よりも個人内相関の平均値 ($r=0.91\sim0.98$) が全体的に高い値を示した (表 7-1, 表 7-2)。全体のデータの相関係数がやや低い理由として、ターン能力の影響が挙げられる。ターン能力の違いはタ

ーン局面の動きにも影響しており、加速度センサの出力はターン局面の動きも含まれると推察される。ところが、位置データにはターン局面の動きは含まれない。この違いが、特に短い区間条件で全被験者のデータにバラツキが認められた理由であると推察される。また、個人の影響をモデルに指定したランダム切片・ランダム傾きモデル（モデル3）で最も高い適合度を示した結果も（表7-3）、データの傾向に個人差の影響を含んでいることを示している。したがって、加速度センサはターン局面の加減速と、ターンの動きの両方を反映していると考えられる。

4.2. ステージ速度と加速度センサの出力との関係

加速度センサを用いてターン能力を検討するために、ステージ速度に対する加速度センサの出力の関係を前半のステージと後半のステージとに分けて検討した。ステージ速度と加速度センサの出力との全被験者のデータの相関係数は、どの区間条件でもやや高い正の値を示した（表7-4）。この結果は、データ全体の傾向としてステージ速度が増加するに従って、加速度センサの値も増加することを示している。また、個人内相関の平均値はどの場合でも $r = 0.90$ 以上と高い値を示した（表7-5）。さらに、モデル比較ではランダム切片・ランダム傾きモデルの適合度が最も高かった。この結果は、ステージ速度の増加に対する加速度センサの出力の増加の傾向が、個人毎に異なることを示している。

ステージ速度の増加はどの被験者でも同様であるが、ステージ速度の増加に対する加速度センサの出力の増加は個人毎に異なる結果であった。前項でも述べた通り、加

速度センサはターン局面の加減速と、ターンの動きの両方を反映していると考えられる。よって、この結果からも加速度センサの出力にターン能力が反映されることが示唆される。このことから、ステージ速度に対する加速度センサの出力の増加傾向に、20-MSTのターン能力が反映されることが考えられる。

4.3. ターン能力を捉える指標としての回帰係数

加速度センサを用いてターン能力を捉える方法として、ステージ速度に対する加速度センサの出力の増加傾向を用いることができる可能性がある。この個人毎に異なる増加傾向を表現する指標として、ステージ速度を説明変数、加速度センサの出力を応答変数とした個人毎の回帰直線の傾きが考えられる。すなわち、ターン能力を、この回帰直線の傾きで捉えられる可能性がある。回帰直線を指標として用いることのメリットはどのステージで終了しても値が定まることである。20-MSTでは、持久力によって終了するステージが異なる。ステージの増加に伴い走速度は増大するが、走速度が増大するに伴って加速度センサの出力も増加する (Fudge et al., 2007)。よって、加速度センサの出力そのものではなく、増加の傾向を捉えることのできる回帰係数が有用な指標になると考えられる。

5. まとめ

本研究課題では、ターン局面の加減速を見積もること、またターン能力を捉えるこ

とに対する加速度センサの有用性を確認するために、映像データを用いて算出したターン局面の加減速と加速度センサの出力との関係を検討した。20-MST中の位置データおよび加速度センサの出力を計測するためにSRTを行った。映像による位置データの算出方法、および分析区間の設定は研究課題2と同一の方法で行った。また、SRT中の映像データと加速度センサの出力を同期した。映像から算出された加速度である X_{ACC} と加速度センサの出力、またはステージ速度と加速度センサの出力との比較には、個人内相関の平均値、全被験者のデータの相関係数、Mixed modelによるモデル比較により行った。Mixed Modelによるモデル比較は、研究課題2と同様のモデルで行った。その結果、全被験者のデータの相関係数は、 X_{ACC} と加速度センサの出力、加速度センサの出力とステージ速度、両方の関係において中程度の相関係数を示した。また、個人内相関の平均値はすべての場合で高い値を示した。この結果から、加速度センサの出力を用いることで、ターン局面の加減速を捉えられることが示された。さらに、ターン能力を捉えるために、加速度センサの出力とステージ速度との関係を前半のステージと後半のステージとに分けて検討した。加速度センサの分析区間は、加速度センサのみで分析を行うことを想定し、全体のデータと同義である10 m条件とした。加速度センサの出力とステージ速度におけるモデルの適合性は、個人の影響を反映したランダム切片モデルおよびランダム切片・ランダム傾きモデルがもっとも良い適合を示した。この結果は、ステージ速度の増加に対する加速度センサの出力の増加傾向が、個人毎に異なることを示している。このことから、ターン能力を表現する指標として、ステージ速度を説明変数、加速度センサの出力を応答変数として得られ

た個人毎の回帰直線の傾きを用いることができると示唆された。また、特に後半のステージにおける個人毎の回帰直線の傾きを用いることで、無酸素性エネルギー供給が動員される中でのターン能力を評価できると考えられる。

第8章 ターン能力とラグビー選手の競技水準との関係（研究課題4）

1. 目的

研究課題4では、ターン能力を捉える回帰係数を競技水準間で比較することで、ターン能力を含んだ20-MSTの複合評価の有用性を検証することを目的とした。

2. 方法

2.1. 被験者

本研究の被験者は、高校ラグビー選手50名であった。対象としたラグビー選手は週に5日以上練習を行っており、所属しているラグビー部は地区トップレベルであった。被験者およびチームの指導者には、事前に測定の趣旨を十分に説明した上で測定参加への承認を得た。被験者をポジション（FW, BK）とトップチームでの試合出場経験で群分けを行った。試合出場経験での群分けは、測定日に近い3試合を対象として、トップチームの試合に出場した選手をトップチーム群、出場していない選手を非トップチーム群とした。被験者の身体特性を表8-1に示す。

表8-1. 被験者特性

			身長(cm)	体重(kg)
非トップチーム	FW	(n = 14)	173.0 ± 3.8	72.1 ± 9.1
	BK	(n = 15)	168.5 ± 4.8	63.7 ± 6.8
	全体		170.7 ± 4.8	67.8 ± 8.9
トップチーム	FW	(n = 11)	174.8 ± 3.8	82.5 ± 9.6
	BK	(n = 10)	171.1 ± 4.7	70.9 ± 7.7
	全体		173.0 ± 4.5	77.0 ± 10.4

mean±SD

2.2. 20 m シャトルランテストおよび加速度センサの出力

20-MST は、前章までの方法と同一の方法で行った。20-MST の試技中に加速度センサ（無線モーションレコーダ：MPV-RF8, MicroStone 社製）を腰部中央に装着し、研究課題3-2（第7章）と同一の方法で加速度センサの出力の計測を行った。試技および試技中の加速度センサの出力の計測は最大で8人同時に行った。研究課題3の結果を考慮し、前後方向および左右方向の加速度センサの出力を分析対象とした。

本研究課題では研究課題3-2のように映像のデータがないため、特定の区間でデータを切り取ることが困難である。よって、約1分でステージが増加する20-MSTのテスト特性を利用して、1分（60秒）毎のRMSを算出した。データが1分に満たない場合には切り捨てとした。加速度センサの出力の処理は数値計算システム（Scilab

ver. 5.4.1, INRIA 配布) および表計算ソフト (Microsoft Excel for Mac 2011, Microsoft 社製) により行った.

2.2.1 加速度センサの出力を用いたターン能力を捉えるための指標

研究課題3では, ステージ速度に対する加速度センサの増加傾向に個人差が確認され, その増加傾向を示す回帰直線の傾きがターン能力を捉えるための指標となる可能性を示した. よって本研究課題では, 前後方向および左右方向の加速度センサの出力それぞれを応答変数, ステージ速度を説明変数とする回帰分析を行い, 回帰直線の傾きである回帰係数を, 前半のステージと後半のステージとに分けて算出した. また, 前後方向の加速度センサの出力を用いて算出した回帰係数を前後係数, 左右方向の加速度センサの出力を用いて算出した回帰係数を左右係数とした.

2.3. 繰り返し走およびラグビー選手に必要とされる体力要素の測定

繰り返し走能力を見積もるために, 180° 繰り返し走および同距離での直線スプリントを行った. また, ラグビーに必要とされる体力要素であるスピード, 下肢パワーの測定を行った. 以下に, それぞれの測定法を記述する.

2.3.1. 50 m 走

スピードの指標として 50 m 直線スプリント走の走タイムを測定した. タイムの測定には光電管 (Test Center Timing System, Brower Timing System 社製) を用いた. 光

電管は、スタート位置から 20 m 地点、50 m 地点にそれぞれ設置した。20 m 地点でのタイムは後述する切り返し走で用いるために測定した。スタートの際、被験者はスタートラインにつま先を接するように立ち、スタンディングでスタートし 50 m の直線走を行った。走タイムは 2 回測定し、タイムの短い方を記録とした。さらに、そのタイムから平均速度を算出し代表値とした。

2.3.2. 立幅跳びおよび立 5 段跳び

下肢パワーの指標として、立幅跳びおよび立 5 段跳びを行った (Chuman et al., 2011)。

立幅跳びは、両足を軽く開いてつま先が踏み切り線の前端にそろうように立ち、両足で同時に踏み切って前方へ跳躍しその距離を測定した。測定値は、身体が地面に触れた位置のうち、最も踏み切り線に近い位置と、踏み切り前の両足の中央の位置（踏み切り線の前端）とを結ぶ直線の距離とした。立幅跳びは 2 回測定し、距離の長い方を代表値とした。

立 5 段跳びは、立幅跳びと同様に踏み切った後、さらに片足で交互に跳躍を繰り返して、5 歩目に両足で着地しその距離を測定した。測定値は、着地の際に身体が地面に触れた位置のうち、最も踏み切り線に近い位置と、踏み切り前の両足の中央の位置（踏み切り線の前端）とを結ぶ直線の距離とした。立 5 段跳びは 2 回測定を行い、距離が長い方を代表値とした。

2.3.3. 切り返し走

切り返し走能力を見積もるために 180°の切り返し走を行った。切り返し走では 10 m の直線走の後 180° の方向変換を行い、さらに 10 m 走行しそのタイムを測定した。切り返し走タイムは、スタート位置に設置した光電管により測定した。切り返し走タイムは 3 回測定し、平均値を算出し代表値とした。先行研究（田中ら、1999）では、切り返し走能力の見積りに、切り返し走タイムを同距離の直線走タイムで除した値を用いている。よって本研究でも、田中ら（1999）の方法に基づき、先述した 20 m 走タイム（50 m 走の 20 m 地点でのタイム）を切り返し走タイムの平均値で除した値を切り返し走指数とし、切り返し走能力の指標とした。切り返し指数は 1 に近いほど直線スプリントと切り返し走との差が小さいことを意味する。

2.4. 統計解析

各測定値の競技水準間およびポジションでの比較は、2 要因の分散分析により行った。また、ターン能力を含んだ 20-MST の評価を行うために、前後係数、左右係数、20-MST の成績の T 得点をそれぞれ算出した。各係数と 20-MST の T 得点との和を算出し、ターン能力をも含んだ 20-MST の評価指標とし、前後係数の T 得点と 20-MST の T 得点との和を前後係数シャトル得点、前後係数の T 得点と 20-MST の T 得点との和を左右係数シャトル得点とした。さらに、判別分析を用いてターン能力を含んだ 20-MST の評価が競技水準の判別に有用であることを確認した。すべての統計処理は SPSS ver. 21（IBM 社製）により行い、統計的有意水準は $\alpha = 0.05$ とした。

3. 結果

怪我などの理由で、2名の被験者で立幅跳びおよび立5段跳びの測定を行うことができなかった。

3.1. ターン能力を示す回帰係数の比較

競技水準およびポジション毎の前後係数および左右係数を図8-1に示す。前半のデータの前後係数における2要因分散分析の結果、交互作用 ($F_{1,46} = 0.09, P = .766$), ポジションの主効果 ($F_{1,46} = 0.82, P = .370$), 競技水準の主効果 ($F_{1,46} = 0.98, P = .327$) に有意性は認められなかった (図8-1 左上)。後半のデータの前後係数における2要因分散分析の結果、交互作用 ($F_{1,46} = 0.59, P = .466$), ポジションの主効果 ($F_{1,46} = 1.99, P = .165$) に有意性は認められず、競技水準の主効果 ($F_{1,46} = 4.74, P = .035$) に有意性が認められた (図8-1 右上)。前半のデータの左右係数における2要因分散分析の結果、交互作用 ($F_{1,46} = 0.01, P = .911$), ポジションの主効果 ($F_{1,46} = 0.64, P = .429$), 競技水準の主効果 ($F_{1,46} = 1.26, P = .268$) に有意性は認められなかった (図8-1 左下)。後半のデータの左右係数における2要因分散分析の結果、交互作用 ($F_{1,46} = 0.20, P = .656$), ポジションの主効果 ($F_{1,46} = 0.02, P = .887$) に有意性は認められず、競技水準の主効果 ($F_{1,46} = 7.76, P = .008$) に有意性が認められた (図8-1 右下)。

3.2. 20-MST の成績および複合評価の結果

競技水準およびポジション毎の20-MSTの成績を図8-2に示す。2要因分散分析の結果、交互作用 ($F_{1,46} = 0.64, P = .801$), 競技水準の主効果 ($F_{1,46} = 2.68, P = .109$) に有意性は認められず、ポジションの主効果 ($F_{1,46} = 6.42, P = .015$) に有意性が認められた。

競技水準およびポジション毎の前後係数シャトル得点, 左右係数シャトル得点を図8-3に示す。前半のデータの前後係数シャトル得点における2要因分散分析の結果、交互作用 ($F_{1,46} = 0.23, P = .635$), ポジションの主効果 ($F_{1,46} = 1.85, P = .180$), 競技水準の主効果 ($F_{1,46} = 0.27, P = .604$) に有意性は認められなかった (図8-3左上)。

後半のデータの前後係数における2要因分散分析の結果、交互作用 ($F_{1,46} = 0.60, P = .444$) に有意性は認められず、ポジションの主効果 ($F_{1,46} = 9.00, P = .004$), 競技水準の主効果 ($F_{1,46} = 8.35, P = .006$) に有意性が認められた (図8-3右上)。

前半のデータの左右係数シャトル得点における2要因分散分析の結果、交互作用 ($F_{1,46} = 0.02, P = .887$), ポジションの主効果 ($F_{1,46} = 3.16, P = .082$), 競技水準の主効果 ($F_{1,46} = 0.25, P = .622$) に有意性は認められなかった (図8-3左下)。

後半のデータの左右係数シャトル得点における2要因分散分析の結果、交互作用 ($F_{1,46} = 0.15, P = .903$), ポジションの主効果 ($F_{1,46} = 3.21, P = .080$) に有意性は認められず、競技水準の主効果 ($F_{1,46} = 8.47, P = .006$) に有意性が認められた (図8-3右下)。

判別分析の結果を以下に示す。判別分析は、競技水準を従属変数, 回帰係数および20-MSTの成績を独立変数として行った。前半のステージにおける前後係数と20-MST

の成績による判別分析の結果, 有意な判別関数は得られなかった (*Wilks's* $\Lambda = 0.96$, $P = .338$). 左右係数と 20-MST の成績による判別分析の結果でも, 有意な判別関数が得られなかった (*Wilks's* $\Lambda = 0.95$, $P = .321$). ところが, 後半のステージにおける前後係数と 20-MST の成績による判別分析の結果, 有意な判別関数が得られ (*Wilks's* $\Lambda = 0.87$, $P = .042$), 判別率は 66.0%であった. 左右係数と 20-MST の成績による判別分析の結果も, 有意な判別関数が得られ (*Wilks's* $\Lambda = 0.84$, $P = .016$), 判別率は 62.0%であった.

3.3. 体力測定の結果

競技水準およびポジション毎の各体力要素の測定結果を図 8-4 に示す. 50 m 走速における 2 要因分散分析の結果, 交互作用 ($F_{1,46} = 0.76$, $P = .388$), 競技水準の主効果 ($F_{1,46} = 1.13$, $P = .293$) に有意性は認められず, ポジションの主効果 ($F_{1,46} = 7.14$, $P = .010$) に有意性が認められた (図 8-4 左上). 立幅跳びにおける 2 要因分散分析の結果, 交互作用 ($F_{1,46} = 1.90$, $P = .176$), 競技水準の主効果 ($F_{1,46} = 2.78$, $P = .102$) に有意性は認められず, ポジションの主効果 ($F_{1,46} = 10.13$, $P < .001$) に有意性が認められた (図 8-4 左下). 立 5 段跳びにおける 2 要因分散分析の結果, 交互作用 ($F_{1,46} = 2.13$, $P = .152$), 競技水準の主効果 ($F_{1,46d} = 3.39$, $P = .072$) に有意性は認められず, ポジションの主効果 ($F_{1,46} = 4.48$, $P = .040$) に有意性が認められた (図 8-4 右下). 繰り返し指数における 2 要因分散分析の結果, 交互作用 ($F_{1,46} = 3.39$, $P = .072$), 競技水準の主効果 ($F_{1,46d} = 1.22$, $P = .274$), ポジションの主効果 ($F_{1,46} = 0.58$, $P = .449$)

に有意性は認められなかった (図 8-4 右上).

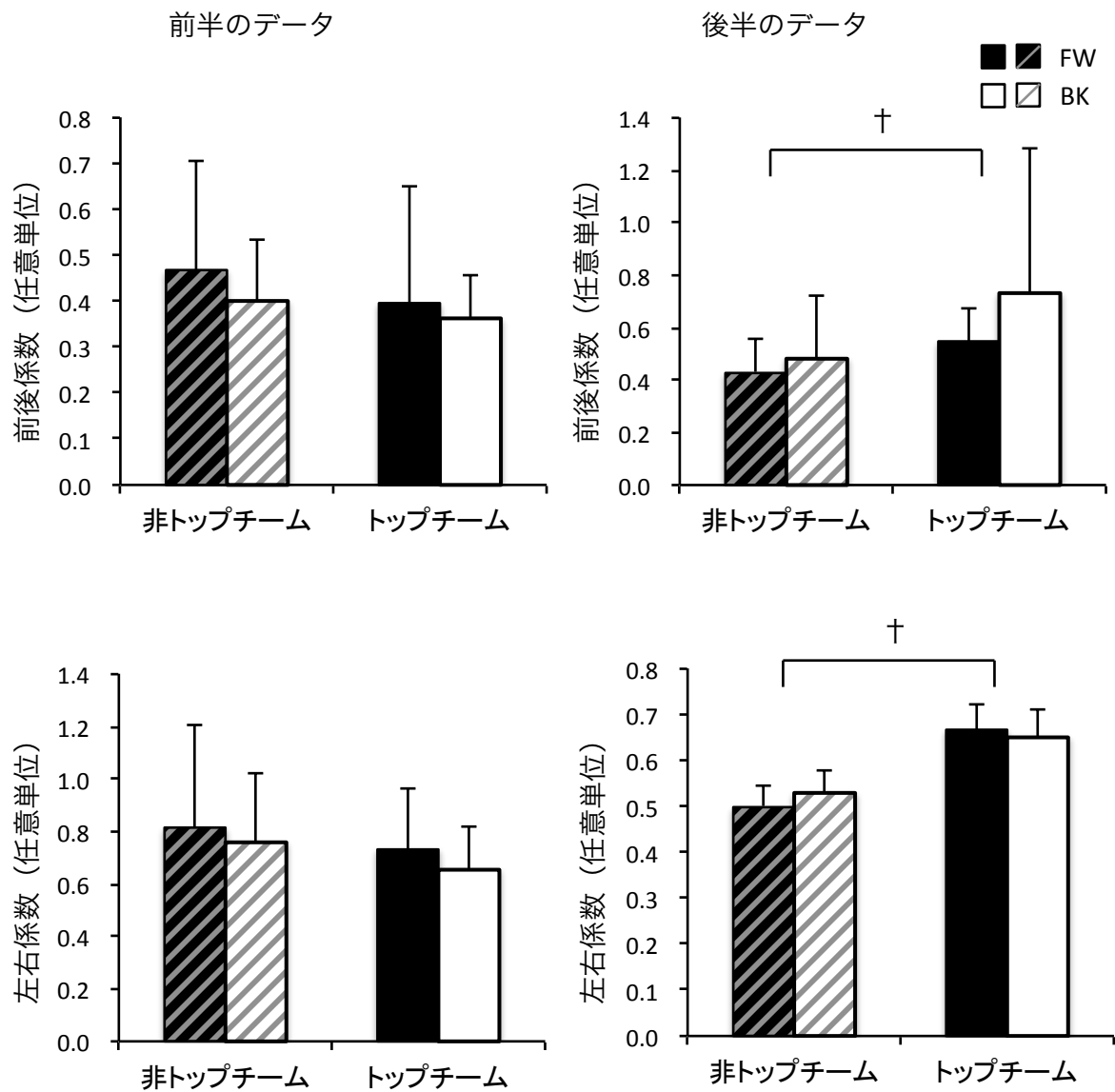


図 8-1 前半のステージと後半のステージの回帰係数における競技水準およびポジション間の比較
 上左：前後係数の前半のデータ, 上右：前後係数の後半のデータ,
 下左：左右係数の前半のデータ, 下右：左右係数の後半のデータ,
 †：有意な競技水準の主効果を示す.

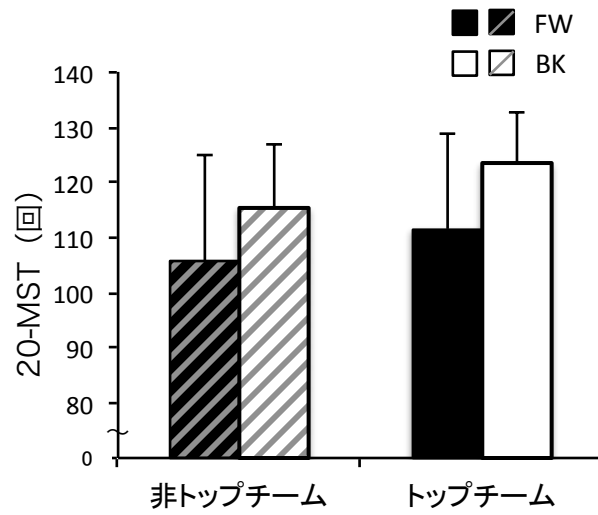


図 8-2 20-MSTにおける競技水準およびポジション間の比較

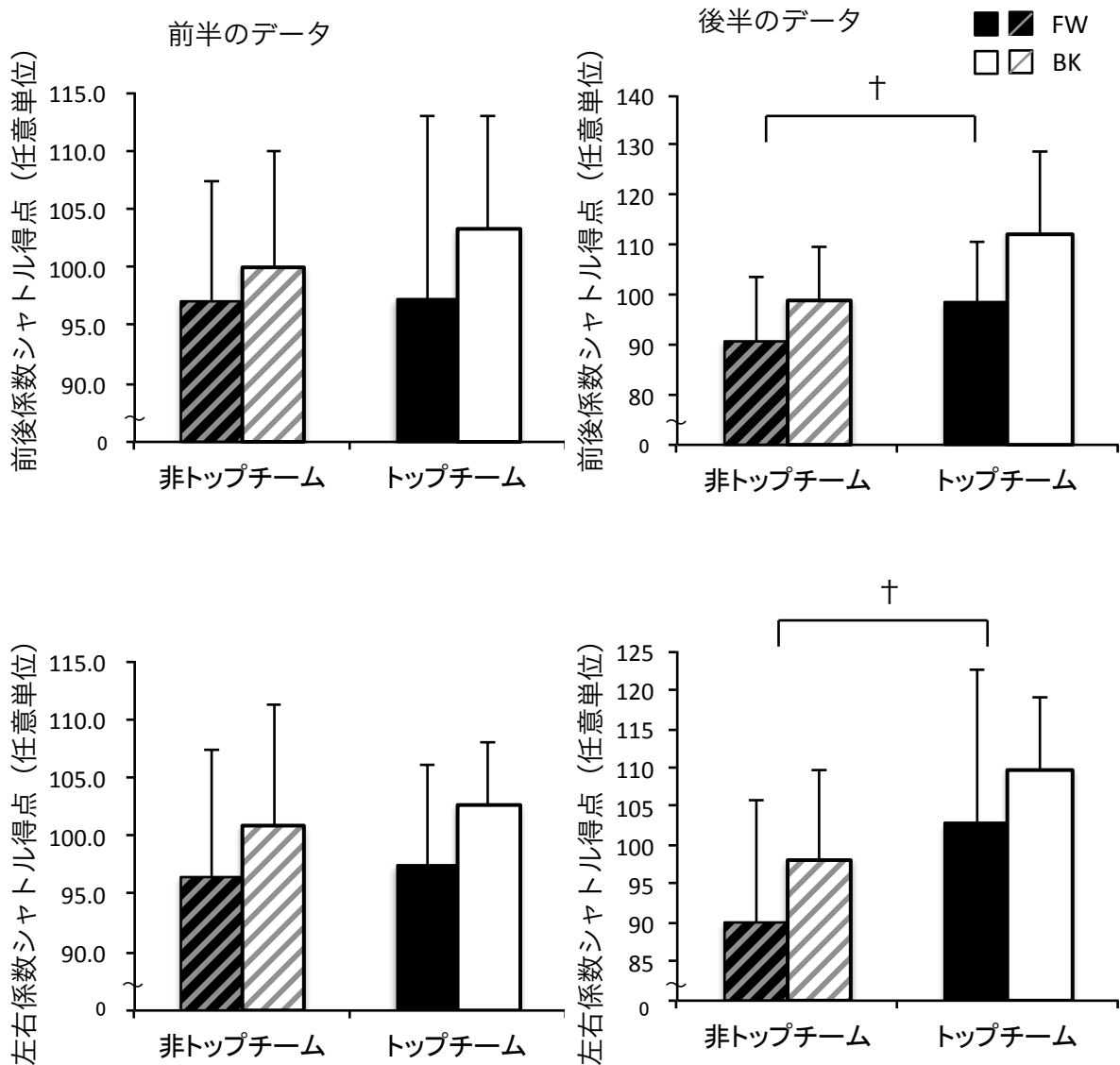


図 8-3 前半のステージと後半のステージの前後係数における競技水準およびポジション間の比較
 上左：前後係数の前半のデータ， 上右：前後係数の後半のデータ，
 下左：左右係数の前半のデータ， 下右：左右係数の後半のデータ。
 †：有意な競技水準の主効果を示す。

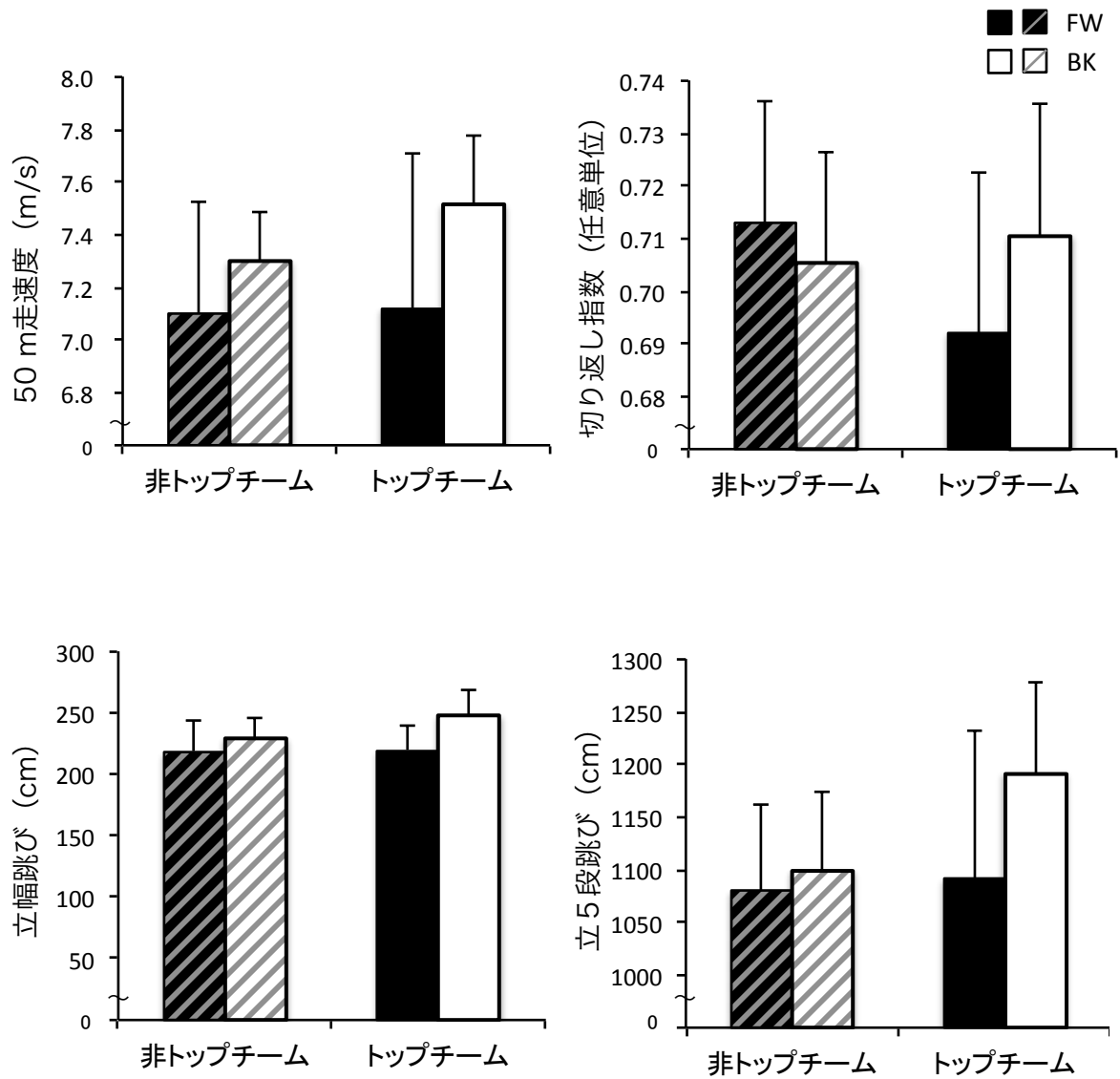


図 8-4 体力テストにおける競技水準およびポジション間の比較
 上左：50m走速度，上右：切り返し指数，下左：立幅跳び，
 下右：立5段跳び.

4. 考察

4.1. ターン能力を含んだ20 mシャトルランの有用性

本研究課題では、ターン能力をも含んだ20-MSTの複合評価を検討するために、それぞれの測定値をポジションおよび競技水準間で比較した。まず、20-MSTのターン能力の指標と考えられた前後係数および左右係数では、後半のデータのみで競技水準間に有意差が認められ、トップチーム群が高い値を示した(図8-1)。また、20-MSTの成績のみでは競技水準間に有意性は認められなかったものの(図8-2)、20-MSTとターン能力とを同時に評価した前後係数シャトル得点および左右係数シャトル得点では後半のデータで競技水準間に有意差が認められ、トップチーム群が高い値を示した(図8-3)。判別分析の結果でも、後半のステージの回帰係数を用いた判別式が有意であった。これらの結果から、ターン能力の評価をも含んだ20-MSTはラグビー選手の競技水準の判別に用いることができる可能性が示された。

20-MSTのターン能力の指標とした前後係数および左右係数は、特に後半のステージで競技水準間に有意差がみられた。研究課題2の結果より、20-MSTのテスト特性として、ステージが進むほど走行速度が増加し、ターン局面の加減速が大きくなることが挙げられる。また、研究課題1でのエネルギー代謝を検討した結果でも、ターンが存在しないトレッドミルでの走行課題(TRT)と比較して後半のステージで顕著に $\dot{V}O_2$ および $\dot{V}CO_2$ が増加しており、さらに終了後には La も増加していた。これらの結果から、20-MSTの後半のステージではターンの存在の影響が大きくなり、解糖系

などの無酸素性エネルギー供給が動員されると示唆される。つまり、後半のステージでのターン能力は、無酸素性エネルギー供給の動員を伴う中での連続したターンを行う際のターン能力を捉えていると考えられる。実際の試合では、無酸素性エネルギー供給が動員される中での動きが要求される。したがって、20-MSTの後半のステージでのターン能力を捉えることは、実際の試合に近いパフォーマンスを反映する指標である可能性がある。

また、本研究課題では、20-MST中のターン能力の評価の他に従来用いられている体力測定を行っている。先行研究では、スピード（石原ら、1997；中井ら、2012）、下肢パワー（石原ら、1997）、切り返し走（Green et al., 2011；中井ら、2012）において競技水準間に差がみられたと報告されている。しかしながら本研究課題では、スピードと下肢パワーでポジション間に有意性が認められ、FWよりもBKが高い値を示したものの、すべての測定項目で競技水準間に有意性は認められなかった。この理由は、被験者のカテゴリーにあると考えられる。先行研究では、大学ラグビー選手または成人のラグビー選手を対象としていたが、本研究課題では高校ラグビー選手を対象としている。高校ラグビー選手では、大学生や成人の選手と比較すると、特に筋力の発達が不十分であると推察できる。このように被験者の特性の違いにより、チーム内での測定値バラツキが小さく、競技水準間に差が生じなかった可能性がある。

4.2. ターン能力の評価を含んだ20-MSTの活用例

本研究課題の結果から、ターン能力を含んだ20-MSTの現場での活用法を提案した

い. 例えば, 図 8-5 のように, 横軸に 20-MST の回数による T 得点, 縦軸に回帰係数を取り散布図を作成する. 黒抜き (●▲) で示しているのはトップチームの選手, 白抜き (○△) で示しているのは非トップチームの選手である. さらに, 平均値 (T 得点が 100) で実線を引くと, 実線よりも上にトップチームの選手が多く分布している. トップチーム群で平均値より下の人数, 非トップチーム群で平均値より上の人数を数えると, 前後係数と 20-MST ではそれぞれ 9 人と 5 人, 左右係数と 20-MST ではそれぞれ 7 人と 7 人であり, 合計するとどちらも 14 人が外れていた. また, 判別分析での判別率は前後係数で 66%, 左右係数で 62%であった. 一方, 20-MST の成績で判別を試みた場合, トップチーム群で平均値を下回る人数は 9 人, 非トップチーム群で平均値を上回る人数は 14 人であり, 合計すると 23 人が外れていた. これらの結果から平均値による評価を用いても, 判別分析の結果を用いても, 複合評価が 20-MST のみの評価より優れていると考えられる. この方法は, 選手のセレクションなどに利用できる可能性がある. ただし, 前後係数と左右係数のどちらが有用であるかは, 本研究課題の結果からは判断できなかった.

また, 本研究では, 有用性の評価指標として競技水準すなわち指導者の評価を用いた. しかしながら, さらなる有用性の確立のためには, より試合のパフォーマンスに近い基準値を用いるのが望ましい. 例えば, 全地球測位システム (Global Positioning System: GPS) を用いた Time motion analysis などが考えられる. このようなデータを追加し, さらなる有用性の検討を行うことは今後の課題である.

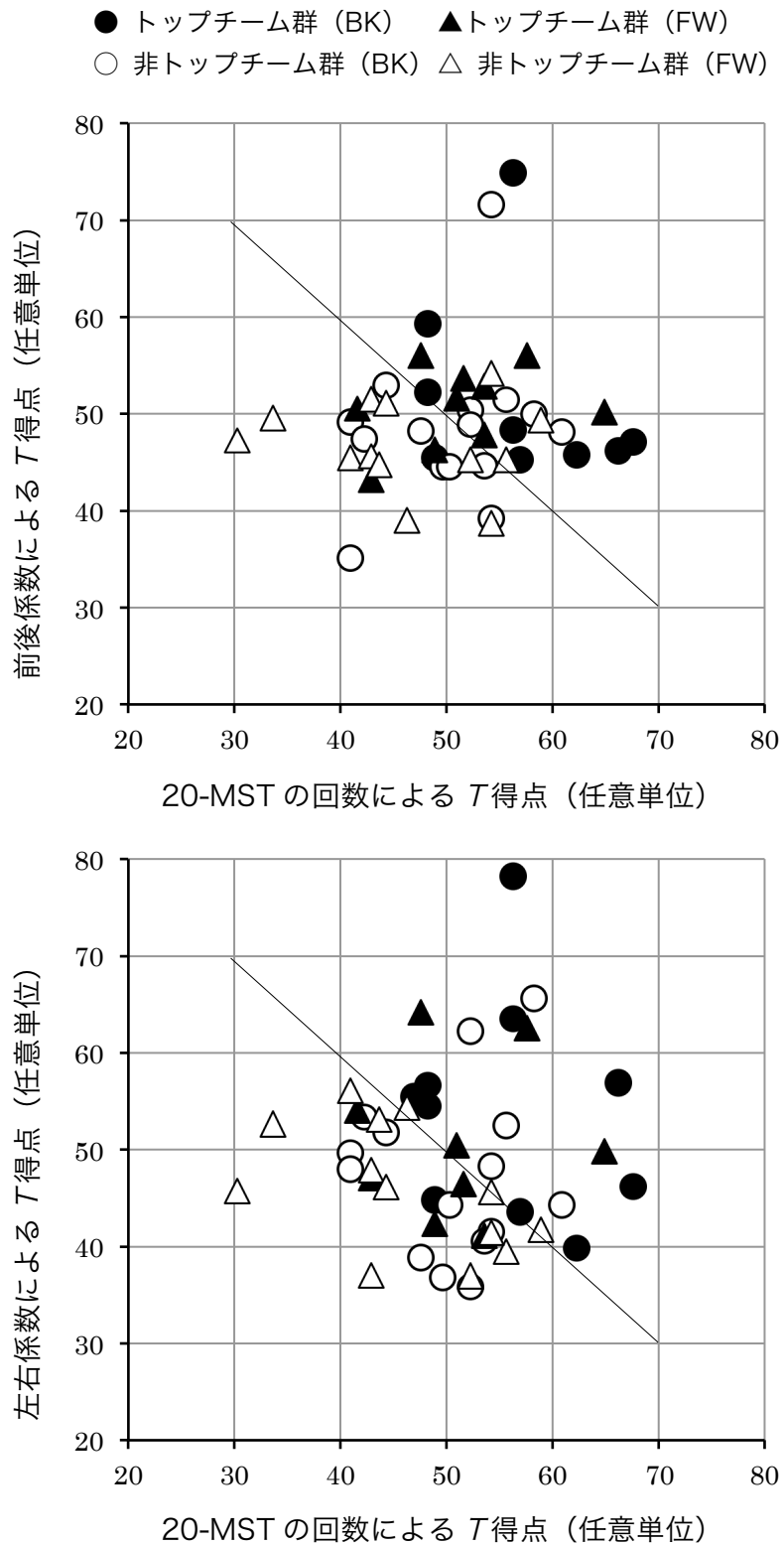


図 8-5 競技水準別の 20-MST と回帰係数の散布図
実線は合計の値の平均値 (100) を示している。

5. まとめ

本研究課題では、ターン能力を捉える回帰係数を競技水準間で比較することで、ターン能力の評価を含んだ 20-MST の有用性を明らかにすることを目的とした。被験者を高校ラグビー選手とした。被験者は 20-MST を行い、試技中の加速度センサの出力を計測した。加速度センサの出力における 60 秒毎の RMS を算出し、前半のデータと後半のデータとに分け、それぞれのデータで回帰直線の傾きを算出した。前後方向の回帰直線の傾きを前後係数、左右方向の回帰直線の傾きを左右係数とした。また、50 m 走速度、立幅跳び、立 5 段跳び、切り返し走タイムから算出した切り返し指数をそれぞれ測定した。それぞれの測定値を、2 要因分散分析を用いて競技水準およびポジション間で比較を行った。その結果、後半のデータでの前後係数および左右係数に競技水準間の差が認められ、それ以外の測定値には競技水準間の差が認められなかった。また、20-MST と後半のデータでの回帰直線の傾きとを合計した前後係数シャトル得点および左右係数シャトル得点でも競技水準間に有意性が認められた。これらの結果から、ターン能力の評価を伴った 20-MST は、ラグビー選手の競技水準判別に用いることができる可能性が示された。

第9章 総括

1. 要約

競技スポーツでは体力をより高い水準に向上させること、あるいは維持することが重要であり、ラグビー選手にはスピード、下肢パワー、アジリティ、さらに必要とされる動きを試合終了まで継続させる全身持久力などの体力要素が要求される。全身持久力の測定方法は数多くあるが、ラグビーに関する研究では20-MSTがよく用いられている。20-MSTは全身持久力を評価するためのテストであるが、先行研究では20-MSTの成績にターンの存在が影響すると示唆されている。特に、球技選手と長距離選手とを比較した場合に、20-MST中のターンの仕方やターン局面での加減速の程度（ターン能力）が異なると指摘されている。また、ラグビー選手のみを対象とした研究でも20-MSTの成績にターン能力が影響すると示唆されている。したがって、ラグビー選手間でもターン能力に個人差が存在する可能性があった。

一方、20-MSTはターン局面を有する方向変換走である。さらに、アジリティや方向変換技能がラグビー選手の競技水準間で異なると報告されている。したがって、20-MSTを実施する際、シャトル数に加えてターン能力も捉えることで、複合的な能力評価ができると考えられた。また、ターン能力の評価を含んだ20-MSTは、ラグビー選手における競技水準の判別に利用できる可能性があった。

これらの可能性を実証するために本研究では、20-MSTを用いてラグビー選手にお

けるターン能力を捉えるために、20-MST 中のターン能力を捉えるための測定法および評価法を確立することを目的とした。研究課題は以下のように構成した。まず、20-MST がラグビー選手の全身持久力を適切に反映するのかが確認した(研究課題 1)。さらに、ターン能力を捉え評価する方法を確立した(研究課題 2, 3-1, 3-2)。最後に、20-MST におけるターン能力を含めた複合評価の有用性を検討した(研究課題 4)。それぞれの研究課題の要約を以下に示す。

研究課題 1 では、ラグビー選手の全身持久力評価における 20-MST の妥当性を確認することを目的とした。ラグビー選手と、先行研究の指摘から比較対象とした長距離選手を対象として、20-MST 中の最高酸素摂取量 ($\dot{V}O_2$) を測定するために 20-MST をプロトコルとした SRT (shuttle running task) を行った。また、トレッドミルを用いた漸増負荷法による $\dot{V}O_{2max}$ の測定を行った。さらに、SRT 中の $\dot{V}O_{2peak}$ が漸増負荷法による $\dot{V}O_{2max}$ に達するかを検討した。その結果、SRT 中の $\dot{V}O_{2peak}$ は、ラグビー選手では $\dot{V}O_{2max}$ を下回らなかったが、長距離選手では下回った。したがって、ラグビー選手では 20-MST を用いて全身持久力を適切に評価できることが確認できた。

研究課題 2 では、映像データによりターン能力を捉えることを試みた。ラグビー選手と長距離選手を対象として、20-MST 中の 2 次元座標値 (位置データ) を測定するために SRT を行った。全試技の撮影映像から、頭部のデジタイジングによって位置データを算出した。さらに位置データより、ターンの仕方を捉えるターン径と、ターン局面の加減速の程度を見積もる加速度を算出した。ターン径はターンの仕方を捉え

る指標であり、その値が小さいほど鋭角的なターンを行い直線的に走行していることを示し、反対に値が大きいほど鋭角的なターンを行わず楕円的に走行していることを示す。その結果、ターン径はラグビー選手が長距離選手よりも小さい値を示し、ラグビー選手は長距離選手に比較して直線的な走行をしていることが示された。ただし、ターン径の分布を検討すると、ターン径でラグビー選手間のターン能力の相違を弁別するのは難しいと考えられた。そこでターン径ではない指標を用い、ラグビー選手間でターン能力を捉える方法を検討するために、ターン局面の加減速の程度を表す加速度に着目した。その結果、ターン局面の加速度では、SRTの規定走行速度（ステージ速度）に対する加速度の増加傾向に個人差が確認された。これらのことから、ターン能力は、ターン径よりもターン局面の加速度で捉え得ることが示された。

研究課題3では、ターン能力を捉えるにあたり、データの収集が比較的簡便なデバイスである加速度センサの有用性を検討した。まず研究課題3-1では、20-MST中とトレッドミルによる走行中との加速度センサの出力を比較することにより、加速度センサの出力でターンの存在が反映されるのかを検討した。ラグビー選手と長距離選手を対象として、20-MST中の加速度センサの出力を計測するためにSRTおよびSRTと同速度かつ同速度漸増率の走行をトレッドミル上で行うTRT (treadmill running task)を行った。両運動課題中の加速度センサの出力を比較した結果、前後方向と左右方向の加速度センサの出力はSRTの特に後半のステージで大きな値を示した。さらに、ラグビー選手と長距離選手を分けて検討した場合、ラグビー選手では前後方向と左右方向の軸方向の加速度センサの出力がSRTで大きな値を示し、一方で長距離選手で

は左右方向のみ SRT で大きな値を示した。これらのことから、加速度センサの出力にはターンの存在が反映されることが実証された。さらに、ターン能力の違いも加速度センサの出力に反映されることが示唆された。

研究課題 3-2 では、映像データにより算出したターン局面の加速度と加速度センサの出力との関係から、加速度センサがターン能力を捉えるデバイスとして有用であるかを検討した。ラグビー選手を対象として、ターン局面の加速度や加速度センサの出力を計測するために SRT を行った。研究課題 2 と同様に映像による位置データよりターン局面の加速度を算出し、さらに運動課題中の加速度センサの出力を計測した。映像より分析した加速度と加速度センサの出力（前後方向、左右方向）との関係は、個人内相関の平均値と、全体の被験者のデータの相関係数を算出する方法により検討した。その結果、個人内相関の平均値は、非常に高い値を示した。また、全体の被験者のデータから算出した相関係数は、中程度から高い値を示した。これらのことから、加速度センサはターン局面の加減速を捉える方法として有用であると示唆された。さらに、ステージ速度の増加に対する加速度センサの出力を、前半のステージと後半のステージとに分けて検討したところ、その増加傾向に個人差があることが確認された。このことから、個人の増加傾向を示す個人毎の回帰直線傾きである回帰係数は、ターン能力を反映する指標として利用できることが示唆された。また、特に後半のステージにおける個人毎の回帰直線の傾きを用いることで、無酸素性エネルギー供給が動員される中でのターン能力を評価できると考えられた。

研究課題 4 では、ターン能力を捉える回帰係数を競技水準間で比較することで、タ

ーン能力の評価を含んだ 20-MST の有用性を検討した。高校ラグビー選手を対象として 20-MST を行い、試技中の加速度センサの出力を計測した。加速度センサの出力における 60 秒毎の RMS を算出し、前半のステージのデータと後半のステージのデータとに分け、それぞれのデータで回帰直線の傾きを算出した。前後方向の回帰直線の傾きを前後係数、左右方向の回帰直線の傾きを左右係数とした。また、50 m 走速度、立幅跳び、立 5 段跳び、切り返し走タイムから算出した切り返し指数をそれぞれ測定した。それぞれの測定値を、競技水準およびポジション間で比較を行った。その結果、後半のデータでの前後係数および左右係数に競技水準間の差が認められ、それ以外の測定値には競技水準間の差が認められなかった。また、20-MST と後半のデータでの回帰直線の傾きとの T 得点を合計した前後係数シャトル得点および左右係数シャトル得点でも競技水準間に有意性が認められた。これらの結果から、ターン能力の評価を含んだ 20-MST は、ラグビー選手の競技水準判別に用いることができる可能性が示された。

2. 結論

本研究の結果から、加速度センサを用いて 20-MST のターン能力を捉えるための、測定および評価法を確立できた。

3. 今後の検討課題

3.1. 異なったカテゴリーでの検討

本研究ではラグビー選手の競技水準の判別に、高校生のデータを用いて検討した。対象としたチームは高校生のチームとして十分高い実績を残している。しかしながら、大学生や社会人のカテゴリーの選手に同様の評価法が適応できるか断定できない。他のカテゴリーで検討することによって、本研究の評価法の汎用性が示されると考えられる。

3.2. 異なった競技種目での検討

本研究ではラグビー選手を対象として研究を行った。ただし、競技に方向変換が必要な種目は数多くあり、本研究の結果が転用できる可能性がある。したがって、他競技で検討することで、本研究の適用範囲が広がり一般化につながると考えられる。

謝 辞

本博士論文の執筆にあたり大変多くの方々にご指導、ご協力、そしてご支援を頂きました。簡単ではございますが、ここに感謝の意を表します。

筑波大学体育系、西嶋尚彦教授には、論文指導の他に、研究者としての姿勢についてもご指摘を賜りました。筑波大学体育系、藤井範久教授には、機器の取り扱いやデータの解釈に至るまで貴重なご指摘を賜りました。筑波大学体育系、中川昭教授には、コーチング学的観点から大変貴重なご意見を賜りました。ご多用の中、懇切丁寧なご指導を頂きました先生方に、心より感謝申し上げます。

筑波大学体育系、木塚朝博教授には、指導教員そして主査として多大なご指導を賜りました。異分野から闖入してきた小生を受け入れて頂き、実験の方法、データの解釈、研究発表、論文執筆まですべての過程におきましてご指導を賜りました。とりわけ、文章での表現方法におきましては大変丁寧なご指導を賜りました。また、研究者として、そしてひとりの人間としての心構えや振る舞いについてご助言を賜りました。心より感謝申し上げます。博士後期課程での経験は、自分の一生の財産となることを確信しております。これまでの自分を顧みて、さらなる成長を志すことを誓います。

東北学院大学教養学部地域構想学科、高橋信二准教授には、博士後期課程進学以前よりご指導を頂いております。高橋准教授は、小生が博士後期課程の進学のきっかけを作って下さいました。また、大変多くのご相談をさせて頂き、ときに厳しいときに温かいご指導を賜りました。心より感謝申し上げます。

本研究の実験に快くご協力頂きました茗溪学園中学校高等学校ラグビー部の皆様、そして茗溪学園中学校高等学校、高橋健教諭、芥川俊英教諭に心より感謝申し上げます。茗溪学園ラグビー部には、実験に協力いただいただけでなくコーチとしても携わらせて頂きました。この現場での経験は、今後の研究生生活の幅を広げるものであると確信しております。

大学院生活において多くの示唆やご助言を頂きました、岐阜聖徳学園大学短期大学部幼児教育学科、板谷厚准教授、東京農工大学工学部生命工学科、岩見雅人助教、株式会社 FRONTIER GATE 苦瓜一斉氏に深く感謝致します。先輩方の寛大なご指導のおかげで、大学院生活がとても充実したものになりました。また、博士後期課程の大田穂氏をはじめ、実験など様々なご協力を頂きました木塚研究室の皆様に深く感謝致します。

最後に、学位取得までの長い学生生活を暖かく見守り、精神的にも経済的にも惜しみのない支援を頂きました家族に心より感謝致します。ありがとうございました。今後は、これまでの経験を糧とし、今後の研究活動に邁進することを誓い謝辞とさせて頂きます。

参考文献

- Atkins, S.J. (2006) Performance of the Yo-Yo intermittent recovery test by elite professional and semiprofessional rugby league players. *J. Strength Cond. Res.*, 20: 222-225.
- Aziz, A.R., Chia, M.Y.H., and Teh, K.C. (2005) Measured maximal oxygen uptake in a multi-stage shuttle test and treadmill-run test in trained athletes. *J. Sports Med. Phys. Fitness.*, 45:306-314.
- Bangsbo, J., Iaia, F.M., and Krstrup, P. (2008) The Yo-Yo intermittent recovery test a useful tool for evaluation of physical performance in intermittent sports. *Sports Med.*, 38: 37-51.
- Baker, D.G. and Newton, R.U. (2008) Comparison of lower body strength, power, acceleration, speed, agility, and sprint momentum to describe and compare playing rank among professional rugby league players. *J. Strength Cond. Res.*, 22:153-158.
- Bonomi, A.G., Goris, A.H., Yin, B., and Westerterp, K.R. (2009) Detection of type, duration, and intensity of physical activity using an accelerometer. *Med. Sci. Sports Exerc.*, 41:1770-1777.
- Boreham, C.A., Paliczka, V.J., and Nichols, A.K. (1990) A comparison of the PWC170 and 20-MST tests of aerobic fitness in adolescent schoolchildren. *J. Sports Med. Phys. Fitness*, 30: 19-23.

- Bouten, C. V., Westerterp, K. R., Verduin, M., and Janssen, J. D. (1994) Assessment of energy expenditure for physical activity using a triaxial accelerometer. *Med. Sci. Sports Exerc.*, 26: 1516-1523.
- Caruso, J.F., Olson, N.M., Taylor, S.T., McLagan, J.R., Shepherd, C.M., Borgsmiller, J.A., Mason, M.L., Riner, R.R., Gilliland, L., and Grisewold, S. (2012) Front squat data reproducibility collected with a triple-axis accelerometer. *J. Strength Cond. Res.*, 26: 40-46.
- Carlo, C., Grant, A., and Stefano, D'O. (2005) Competitive-level differences in Yo-Yo intermittent recovery and twelve minute run test performance in soccer referees. *J. Strength Cond. Res.*, 19: 805-809.
- Chen, K. Y. and Bassett, D. R. Jr. (2005) The technology of accelerometry-based activity monitors: current and future. *Med. Sci. Sports Exerc.*, 37: 490-500.
- Chuman, K., Hoshikawa, Y., and Iida, I. (2009) Yo-Yo intermittent recovery level 2 test in pubescent soccer players with relation to maturity category. *Football Science*, 6:1-6.
- Chuman, K., Hoshikawa, Y., Iida, T., and Nishijima, T. (2011) Yo-Yo Intermittent Recovery Level 2 Test Performance and Leg Muscle Growth in a Six-month Period among Pubescent Soccer Players at Different Stages of Maturity. *Int. J. Sport and Health Sci.*, 9: 105-112.
- Cooper, K.H. (1968). A means of assessing maximal oxygen intake. Correlation between

field and treadmill testing. *JAMA*, 203: 201-204.

Durandt, J., Toit, S., Borresen, J., Hew-Butler, T., Masimla, H., Jokoet, I., and Lambert, W.

(2006) Fitness and body composition profiling of elite junior South African rugby players. *South African J. Sports Med.*, 18(2) : 38-45.

Duthie, G., Pyne, D., and Hooper, S. (2003) Applied physiology and game analysis of rugby union. *Sports Med.*, 33: 973-991.

Eston, R. G., Rowlands, A. V., and Ingledew, D. K. (1998) Validity of heart rate, pedometry, and accelerometry for predicting the energy cost of children's activities. *J. Appl. Physiol.*, 84: 362-371.

Flouris, A.D., Koutedakis, Y., Nevill, A., Metsios, G.S., Tsiotra, G., and Parasiris, Y. (2004) Enhancing specificity in proxy-design for the assessment of bioenergetics. *J. Sci. Med. Sport*, 7: 197-204.

Flouris, A. D., Metsios, G. S., and Koutedakis, Y. (2005) Enhancing the efficacy of the 20 m multistage shuttle run test. *Br. J. Sports Med.*, 39: 166-170.

Flouris, A.D., Metsios, G.S., Famisis, K., Geladas, N., and Koutedakis, Y. (2010) Prediction of $\dot{V}O_2\text{max}$ from a new field test based on portable indirect calorimetry. *J. Sci. Med. Sport*, 13: 70-73.

Fudge, B. W., Wilson, J., Easton, C., Irwin, L., Clark, J., Haddow, O., Kayser, B., and Pitsiladis, Y. P. (2007) Estimation of oxygen uptake during fast running using accelerometry and heart rate. *Med. Sci. Sports Exerc.*, 39: 192-198.

- Gabbett, T.J., Kelly, J.N., and Sheppard, J.M. (2008) Speed, change of direction speed, and reactive agility of rugby league players. *J. Strength Cond. Res.*, 22: 174-181.
- 後藤幸弘 (2006) 技術. 日本体育学会監修, 最新スポーツ科学辞典. 平凡社: 東京, pp165-166.
- Grant, S., Corbett, K., Amjad, A. M., Wilson, J., and Aitchison, T. (1995) A comparison of methods of predicting maximum oxygen up take. *Br. J. Sports Med.*, 29: 147-152.
- Green, B.S., Blake, C., and Caulfield, B.M. (2011a) A comparison of cutting technique performance in rugby union players. *J. Strength Cond. Res.*, 25: 2668-2680.
- Green, B.S., Blake, C., and Caulfield, B.M. (2011b) A valid field test protocol of linear speed and agility in rugby union. *J Strength Cond. Res.*, 25: 1256-1262.
- Hewitt, J.K., Cronin, J.B., and Hume, P.A. (2012) Understanding change of direction performance: A technical analysis of a 180°ground-based turn and sprint task. *Int. J. Sports Sci. Coaching*, 7: 493-501.
- 石原一成・堀田昇・高杉紳一郎・照屋博行・三村寛一 (1997), 九州学生ラグビーフットボール選手の脚筋力および形態・体力. *健康科学*, 19: 53-66.
- Iwashita, S., Takeno, Y., Okazaki, K., Itoh, J., Kamijo, Y., Masuki, S., Yanagidaira, Y., and Nose, H. (2003) Triaxial accelerometry to evaluate walking efficiency in older subjects. *Med. Sci. Sports Exerc.*, 35: 1766-1772.
- Jindrich, D.L., Besier, T.F., and Lloyd, D.G. (2006) A hypothesis for the function of braking forces during running turns. *J. Biomech.*, 39: 1611-1620.

- 片桐幹雄・佐藤佑 (2000) サッカー競技者の全身持久力を生理学的に評価するための
20m シャトルランテストの研究. 仙台大学大学院スポーツ科学研究科研究
論文集, 1: 49-56.
- Kilding, A. E., Aziz, A. R., and Teh, K. C. (2006) Measuring and predicting maximal aerobic
power in international-level intermittent sport athletes. *J. Sports Med. Phys.
Fitness*, 46: 366-372.
- 河野一郎 (1997) マルチステージ・20m シャトルラン・テスト (特集 体力テストの
刷新). *体育の科学*, 47: 879-883.
- Le Bris, R., Billat, V., Auvinet, B., Chaleil, D., Hamard, L., and Barrey, E. (2006) Effect of
fatigue on stride pattern continuously measured by an accelerometric gait
recorder in middle distance runners. *J. Sports Med. Phys. Fitness*, 46: 227-231.
- Léger, L. and Gadoury, C. (1989) Validity of the 20 m shuttle run test with 1 min stages to
predict $\dot{V}O_2\text{max}$ in adults. *Can. J. Sport Sci.*, 14: 21-26.
- Léger, L. A. and Lambert, J. (1982) A maximal multistage 20-m shuttle run test to predict
 $\dot{V}O_2\text{max}$. *Eur. J. Appl. Physiol. Occup. Physiol.*, 49: 1-12.
- Léger, L., Lambert, J., Goulet, A., Rowan, C., and Dinelle, Y. (1984) Aerobic capacity of 6 to
17-year-old Quebecois--20 meter shuttle run test with 1 minute stages. *Can. J.
Appl. Sport Sci.*, 9: 64-69.
- McNaughton, L., Hall, P., and Colley, D. (1988) Valodation of several mesthodes of
estimating maximal oxygen uptake in young men. *Percept. Mot. Skills*, 87:

575-584.

Meckel, Y., Machnai, O., and Eliakim, A. (2009) Relationship among repeated sprint tests, aerobic fitness, and anaerobic fitness in elite adolescent soccer players. *J. Strength Cond. Res.*, 23: 163-169.

Metsios, G.S., Flouris, A.D., Koutedakis, Y., and Nevill, A. (2008) Criterion-related validity and test-retest reliability of the 20m square shuttle test. *J. Sci. Med Sport*, 11: 214-217.

文部科学省（2000）新体力テスト-有意義な活用のために-. ぎょうせい：東京.

Montoye, H. J., Washburn, R., Servais, S., Ertl, A., Webster, J. G., and Nagle, F. J. (1983) Estimation of energy expenditure by a portable accelerometer. *Med. Sci. Sports Exerc.*, 15: 403-407.

村上純・中原一・山本純生・河野一郎・江田昌佑（1992）ラグビー選手の持久力に関する研究-マルチステージフィットネステストの応用-. 福岡大学体育学研究, 22: 1-17.

村上純・岩本英明・下園信博・片峯隆・高野裕光・古川拓生・樋口幸治（1997）ラグビー選手の持久力測定におけるマルチステージフィットネステストの妥当性に関する研究. 福岡大学体育研究, 27: 57-70.

中井俊行・菅勝揮・梅林薫（2012）大学ラグビー選手の体力特性-スピード, パワー, 筋力に着目して-. 大阪大学紀要, 43: 11-21.

中村夏美（2007）加速度計を用いた水上競技パフォーマンス評価の可能性. バイオメ

カニクス研究, 11 : 113-123.

Nicholas, C. (1997) Anthropometric and physiological characteristics of rugby union football players. *Sports Med.*, 23: 375–396.

Nichols, J. F., Morgan, C. G., Sarkin, J. A., Sallis, J. F., and Calfas, K. J. (1999) Validity, reliability, and calibration of the tri-trac accelerometer as a measure of physical activity. *Med. Sci. Sports Exerc.*, 31: 908-912.

日本ラグビーフットボール協会 (2012) U20 日本代表候補トライアウト実施概要.

<http://sakura.rugby-japan.jp/youth/2012/id13102.html> (参照日 2014年1月9日)

O'Gorman, D., Hunter, A., McDonnacha, C., and Kirwan, J.P. (2000) Validity of field tests for evaluating endurance capacity in competitive and international-level sports participants. *J. Strength Cond. Res.*, 14: 62-67.

岡本直輝・伊坂忠夫・藤田聡 (2012) 球技選手の方向変換能力向上のためのジグザグ走の検討. *体育学研究*, 57: 225-235.

Olds, T., Tomkinson, G., Léger, L., and Cazorla, G. (2006) Worldwide variation in the performance of children and adolescents: an analysis of 109 studies of the 20-m shuttle run test in 37 countries. *J. Sports Sci.*, 24: 1025-1038.

Paliczka, V. J., Nichols, A. K., and Boreham, C. A. (1987) A multi-stage shuttle run as a predictor of running performance and maximal oxygen uptake in adults. *Br. J. Sports Med.*, 21: 163-165.

Quarrie, K.L., Handcock, P., Toomey, M.J., and Waller, A.E. (1996) The New Zealand rugby

injury and performance project. IV. Anthropometric and physical performance comparisons between positional categories of senior A rugby players. *Br. J. Sports Med.*, 30: 53-56.

Ramsbottom, R., Brewer, J., and Williams, C. (1988) A progressive shuttle run test to estimate maximal oxygen uptake. *Br. J. Sports Med.*, 22: 141-144.

Rampinini, E., Sassi, A., Azzalin, A., Castagna, C., Menaspà, P., Carlomagno, D., and Impellizzeri, F.M. (2010) Physiological determinants of Yo-Yo intermittent recovery tests in male soccer players. *Eur J Appl Physiol.*, 108: 401-409.

Röcker, K., Striegel, S., Freund, T., and Dickhuth, H.H. (1994) Relative functional buffering capacity in 400-m runners, long-distance runners and untrained individuals. *Eur. J. Appl. Physiol. Occup. Physiol.*, 68: 430-434.

Rontu, J.P., Hannula, M.I., Leskinen, S., Linnamo, V., and Salmi, J.A. (2010) Onerepetition maximum bench press performance estimated with a new accelerometer method. *J. Strength Cond. Res.*, 24: 2018–2025.

Rowlands, A. V., Stone, M. R., and Eston, R. G. (2007) Influence of speed and step frequency during walking and running on motion sensor output. *Med. Sci. Sports Exerc.*, 39: 716-727.

Salaj, S. and Markovic, G. (2011) Specificity of jumping, sprinting, and quick change-of-direction motor abilities. *J. Strength Cond. Res.*, 25: 1249-1255.

笹木正悟・金子聡・矢野玲・浅野翔太・永野康治・櫻井敬晋・福林徹（2002）方向転

換走と直線走および垂直跳びの関係ー重回帰分析を用いた検討ー. トレーニング科学, 23(2): 143-151.

Sayers, M. (2000) Running techniques for field sport players. Sports Coach, 23: 26-27.

Sheppard, J. and Young, W. (2006) Agility literature review: Classifications, training and testing. J. Sports Sci., 24: 919-932.

St Clair Gibson, A., Broomhead, S., Lambert, M. I., and Hawley, J. A. (1998) Prediction of maximal oxygen uptake from a 20-m shuttle run as measured directly in runners and squash players. J. Sports Sci., 16: 331-335.

Stone, N.M. and Kilding, A.E. (2009) Aerobic Conditioning for Team Sport Athletes. Sports Med., 39: 615-642.

鈴木雄太・榎本靖士 (2008) サイドステップおよびクロスステップにおける身体重心速度と地面反力との関係. 京都体育学研究, 24: 1-12.

鈴木雄太・阿江通良・榎本靖士 (2010) サイドステップおよびクロスステップによる走方向変換動作のキネマティクスの研究. 体育学研究, 55: 81-95.

Takahashi, S., Chiba, T., Matsubara, S., Ishii, H., and Maeda, A. (2007) Expired gas kinetics during 20 m shuttle running test. Human Performance Measurement, 4: 9-16.

高橋信二・中川昭・中馬健太郎・西島尚彦 (2005) ラグビー選手に要求される総合的体力評価指標の開発. スポーツコーチング研究 3, http://www.taiiku.tsukuba.ac.jp/sc/3_2/02/index.html (参照日 2014年1月9日)

宝田雄大 (2002) , ラグーマンの肉体改造法. ベースボールマガジン社: 東京.

- 田中守・佐伯敏亭・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.
- 田中喜代次（2000）全身持久性体力の測定．体育学研究，45: 679-694.
- Taylor, H.L., Busirk, E., and Henschel, A. (1955) Maximal oxygen uptake measure of cardio-respiratory performance. *J. Appl. Physiol.*, 8: 73-80.
- Thomas, A., Dawson, B., and Goodman, C. (2006) The Yo-Yo test: Reliability and association with a 20-m shuttle run and $\dot{V}O_2\text{max}$. *Int. J. Sports Physiol. Perform.*, 1: 137-149.
- Troiano, R. P. (2005) A timely meeting: objective measurement of physical activity. *Med. Sci. Sports Exerc.*, 37: 487-489.
- 筒井健裕・荒川崇・伊藤寿彦・李應柱・中山正和・山田睦雄・内山達二・上野裕一（2009）大学ラグビー選手のポジション別にみた体力特性．流通経済大学スポーツ健康科学部紀要，1(2): 89-96.
- Wilson, B. (2012) Rugby fitness training. The Crowood Press Ltd: UK.
- 山地啓司（1992）最大酸素摂取量の科学．杏林書院，東京．
- Young, W.B., McDowell, M.H., and Scarlett, B.J. (2001) Specificity of sprint and agility training methods. *J. Strength Cond. Res.* 15: 315-319.
- Young, W.B., James, R., and Montgomery, I. (2002) Is muscle power related to running speed with change of direction?. *J. Sports Med. Phys. Fitness*, 42: 282-288.