

## 原著論文

## サッカー選手における筋パワーテストの準シンプレックス構造

## Quasi-simplex structure of muscular power tests for soccer players

山田 庸<sup>1)</sup>・西嶋 尚彦<sup>2)</sup>  
Hiroshi YAMADA<sup>1</sup>, Takahiko NISHIJIMA<sup>2</sup>

## Abstract

The purpose of this study was to confirm the quasi-simplex structure of selected control tests for muscular power development programs in soccer. Corresponding to the training phases of power development programs, squat (1RM), standing long jump, standing five-step jump and 30 m dash were selected. Muscular power performance of 66 male college soccer players was measured by tests. Test-retest reliability of the tests was analyzed. The quasi-simplex structure of the tests was analyzed statistically utilizing a correlation matrix and structural equation modeling (SEM). The reliability was .931 for the standing long jump, .948 for the standing five-step jump, and .858 for the 30 m dash. The correlation matrix of the tests indicated a simplex structure. The quasi-simplex structure model of the tests indicated a high goodness-of-fit. The degree of the model fitting indicator GFI was .994, and .972 for AGFI, .000 for RMSEA, .999 for CFI, .991 for NFI, 16.725 for AIC, and .725 (.696) for Chi-square (p-value). Pass coefficients between tests were significant statistically ( $p < 0.05$ ). In conclusion, it was inferred that some of the selected control tests had a quasi-simplex structure for muscular power development programs in soccer.

**Key word** : control test, structural equation modeling, reliability

## I はじめに

近年のサッカー競技では、コンパクトな状況での激しいディフェンスプレッシングやめまぐるしい攻守の切り替えが行われ、より質の高いプレーが要求されている<sup>19)</sup>。サッカー競技における筋パワーは、ダッシュ、ストップ、ターン、ジャンプなど多様で専門的な運動局面で要求される重要な体力領域の1つである。

一般に、筋パワートレーニング (power development program) はその目的に応じて段階的に行われている。金子<sup>5)</sup>は、筋パワートレーニングの方向性として、オーバーロード (過負荷) の原則、特異性の原則を挙げており、二つの原則間における矛盾を指摘している。つまり、過負荷の原則に従いトレーニング強度を増加させると、スポーツ競技で発揮される運動様式から遠ざかってしまい、特異性の原則から逸脱してしまう。逆に、特

異性の原則に従い競技の運動様式に従うと、トレーニング強度が減少し過負荷の原則から逸脱してしまう。この矛盾を解消する一つ的手段として、ベルホシャンスキーらは、筋力トレーニングの集中方式を提唱した。これは、最大筋力を発達させるためのトレーニングと技術トレーニングを時期的に集中させ、順序立てて行うことでトレーニング効果を向上させるトレーニング方法である<sup>11)</sup>。

この方法はサッカー選手に対しても応用されている。西嶋<sup>13)</sup>は、サッカー選手のための段階的な体力トレーニング構成を示した。トレーニングを体力領域別にスタミナ系、パワー系、スキル系の3系統に分類し、パワー系のトレーニングを基礎的筋力 (バルクアップ)、機能的筋力 (パワーアップ)、バリスティック・プライオメトリック、オーバースピード・オーバーロードの連続した4段階の領域で区分し、階層的に配置した。

このような段階的トレーニングの目標達成を効率良く行う上で、コントロールテストを用いて各段階で発達を

1) 筑波大学人間総合科学研究科体育科学専攻 *University of Tsukuba, Doctoral Program Health and Sport Science*

2) 筑波大学体育科学系 *University of Tsukuba, Institute of Health and Sport Science*

評価することが重要である。トレーニング管理を行う際、計画 (Plan) 実行 (Do) 評価 (Check) 見直し (Action) のマネジメントサイクルが中心的な内容となる。トレーニングプロセスにおいて、トレーニング段階に応じて定期的なテストを実施し、トレーニングの生産性 (成果) を評価することは、上述の管理サイクルを機能させるうえで有益である<sup>14)15)</sup>。

段階ごとの発達評価方法として、コントロールテストが用いられている。コントロールテストとは、トレーニングプログラムの進行に伴う競技に基礎的、専門的な体力・運動能力の発達を評価することを目的としたパフォーマンステストであり、代表例として、垂直跳、30 m走、メディシンボール投げなどがある。その特徴として、トレーニングの運動様式と類似していること、トレーニング段階に対応した発達評価が可能であること、簡便であること、などが挙げられる<sup>16)</sup>。筋パワーテストは運動課題の運動様式や特性を反映しており<sup>7)</sup>、各テストに固有の技能が必要とされる<sup>9)</sup>ことを考慮すると、コントロールテストはトレーニングに伴う筋パワー発達を評価する方法として内容的妥当性が高いことが要求される。

集中方式を採用した筋パワートレーニングでは、段階が進むにつれて運動様式の専門性が階層的に増していく。このことから、トレーニング段階に対応した一連のコントロールテスト群間には、階層性があることが仮定される。テストの専門性や複雑性が階層的に向上していくような単一方向に順序性のある一連のテスト群の相関行列には、主対角に近い値ほど大きく、遠い値ほど小さくなるシンプレックス構造がみられることが知られている。Guttman<sup>3)</sup>は、一連の変数における相互関係が示す一般的な序列型 (general order pattern) をラデックス (radex: radial expansion of complexityを指示する呼称) と位置付けた。そのなかでシンプレックスは、テスト間における複合性の程度の相違を単純序列体系で説明するものであるとした。つまり、同領域の一連のテスト間には、前段階の要素を後段階が包含していく関係を示すとした。また、完全なシンプレックスは、複合性負荷量に従って決められた割合で相関係数が変化する。実際のテストでは変量内誤差が含まれるため、相関係数が決められた割合では変化しない準シンプレックス構造が見られる。準シンプレックス構造を示すものには、数能力テスト<sup>2)</sup>、スポーツにおける動機づけ尺度<sup>10)</sup>などがある。これらと同様に、筋パワー発達のコントロールテスト間にも準シンプレックス構造が見られると考えられる。

近年、因果関係を示す仮説モデルを検証する分析手法

として構造方程式モデリング (Structural Equation Modeling: SEM) が用いられている。SEMの特徴として、検証的分析法である、因果関係を調べることで、自由にモデルを構成できること、すでに得られている知見をモデルに反映できること、構成概念を導入すること、が挙げられる<sup>21)</sup>。特に、変量内誤差モデルでは、潜在変数を導入することで測定誤差を取り除き真の値が推定することができる<sup>10)</sup>。階層性が仮定される一連のテスト群において、実際には完全なシンプレックスは成立せず、変量内誤差を含んだ準シンプレックスを示す<sup>3)</sup>ことを踏まえ、SEMの枠組みで変量内誤差モデルを用いて準シンプレックス構造を検証することが有効であると考えられる<sup>6)20)</sup>。

そこで本研究では、SEMを用いて、サッカー選手における筋パワーテストの準シンプレックス構造モデルを検証することを目的とした。筋パワー発達のコントロールテスト間の準シンプレックス構造を検証し、階層性を確認することは、コントロールテストの尺度構成、筋パワーの発達診断、トレーニング指導に有益であると考えられる。

## II. 方法

### 2.1 被験者

本研究の被験者は、サッカーを専門的に行っている男子大学生66名であった。被験者の身長、体重、年齢、競技歴の平均値および標準偏差は、173.7 ± 5.0 cm, 66.9 ± 5.4 kg, 19.7 ± 1.2歳, 10.1 ± 2.6年であった。

### 2.2 手続き

研究の手続きは、トレーニング段階に基づいた筋パワーテストの選定、再テスト法による信頼性の検討、相関行列におけるシンプレックス構造の検証、SEMによる準シンプレックス構造モデルの検証であった。

### 2.3 測定項目

サッカー選手の筋パワー発達の評価を目的として用いられているコントロールテストを整理し、内容的妥当性を満たす項目を選択するために、先行研究に基づき筋パワーコントロールテストの構成を特性要因 (魚の骨) 図に表した (図1)。西嶋<sup>13)</sup>が提示する体力トレーニング構造に基づき、筋パワートレーニング段階は基礎的筋力強化 (バルクアップ)、機能的筋力強化 (パワーアップ)、バリエーション・プライオメトリック、およびオーバー

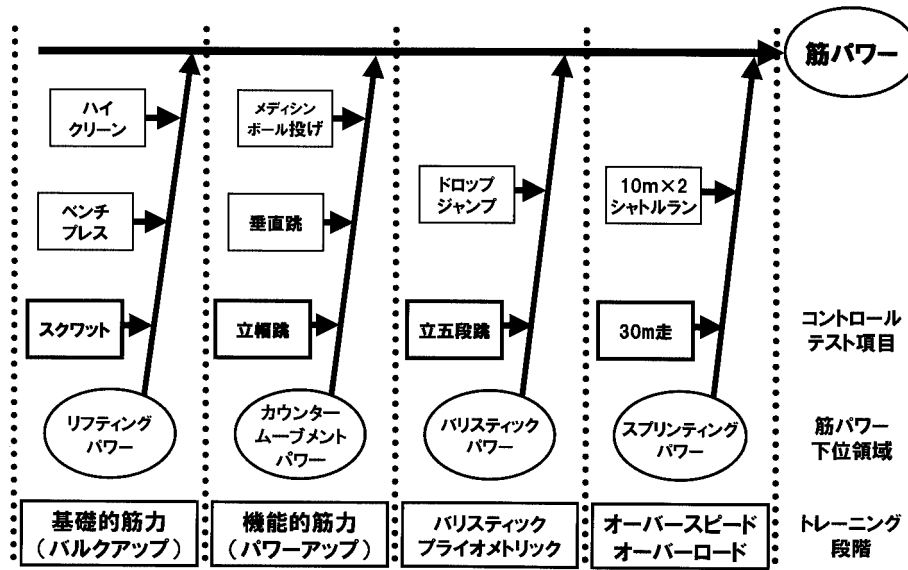


図1 筋パワートレーニングにおけるコントロールテストの構成

スピード・オーバーロードの連続した4領域と仮定した。また、各トレーニング段階に關与する筋パワー下位領域をリフティングパワー、カウンタームーブメントパワー、バリスティックパワーおよびスプリンティングパワーの4領域と仮定した。つぎに、各領域にコントロールテストを配置し、運動課題の運動様式や特性を反映している<sup>7)</sup>こと、各テストに固有の技能が必要とされる<sup>9)</sup>ことを考慮し、選択される測定項目間において運動様式が類似していることを内容的妥当基準とし、内容的妥当性に基づいて各領域からテスト項目を1つずつ選択した。リフティングパワー領域のスクワット1RM (repetition maximum, 最大挙上重量)、カウンタームーブメントパワー領域の立幅跳、バリスティックパワー領域の立五段跳、スプリンティングパワー領域の30m走がテスト項目に選択された。

立幅跳、立五段跳、30m走は同日に測定された。試技は2回とし、成績の良い方を測定値とした。測定の疲労回復を考慮して、1週間後にスクワット1RMを測定した。測定前にウォーミングアップを3セット行った後、1RMを測定した。挙上に成功した場合、5～10kgずつ重量を追加し最大挙上重量に到達するまで実施した。

## 2.4 解析方法

測定項目の信頼性は、スクワット1RMを除く項目について再テスト法により検討した。スクワット1RMについては、先行研究<sup>12)</sup>より信頼性を確認した。

テスト項目間におけるシンプレックス構造を確認するために、相関行列を算出した。相関係数はPearsonの積

率相関係数を用いた。

SEMを適用して変量内誤差を分離した準シンプレックス構造モデルを検証した。パラメータ推定には最尤法を用いた。識別性を確保するためにパラメータの拘束を行った。拘束条件は、誤差変数から内生変数へのパス係数を1に固定、内生変数である潜在変数から観測変数へのパス係数を1に固定、外生変数である潜在変数の分散を1に固定、誤差変数e1, e3, e4の分散を0に固定、であった。モデル適合度指標には、GFI (Goodness of Fit Index), AGFI (Adjusted Goodness of Fit Index), RMSEA (Root Mean Square Error of approximation), AIC (Akaike Information Criterion), CFI (Comparative Fit Index), NFI (Bentler-Bonett Normed Fit Index),  $\chi^2$ 値(p値)を用いた。統計処理には、Amos 4.0 JおよびSPSS 9.0 Jを用いた。

## Ⅲ. 結果

### 3.1 信頼性

表1は、測定項目の平均値、標準偏差および信頼性を示している。再テスト法による信頼性係数は、立幅跳が0.931、立五段跳が0.948、30m走が0.858と、各項目ともに高い値を示した。

### 3.2 シンプレックス構造

表2は、各テスト間における相関行列を示している。スクワット1RMと30m走との間の相関係数は有意な値

表1 測定項目

トレーニング段階	筋パワー下位領域	テスト項目 (単位)	平均	標準偏差	信頼性係数*
基礎的筋力強化 (バルクアップ)	リフティングパワー	スクワット (kg)	125.65	17.77	
機能的筋力強化 (パワーアップ)	カウンタームーブメント パワー	立幅跳 (cm)	245.56	14.40	0.931
パリストティック・ プライオメトリック	パリストティックパワー	立五段跳 (m)	12.65	0.87	0.948
オーバースピード・ オーバーロード	スプリンティングパワー	30m走 (s)	4.23	0.15	0.858

N = 66

\* 再テスト法

表2 コントロールテスト間の相関行列

項目	1	2	3	4
1 スクワット	1			
2 立幅跳	0.24 *	1		
3 立五段跳	0.21 *	0.77 *	1	
4 30m走	0.03	0.39 *	0.54 *	1

N = 66

\* : p < 0.05

適合度指標 **GFI = 0.994** **CHI-SQ = 0.725** **RMSEA = 0.000** **NFI = 0.991**  
**AGFI = 0.972** **(p = 0.696)** **AIC = 16.725** **CFI = 0.999**

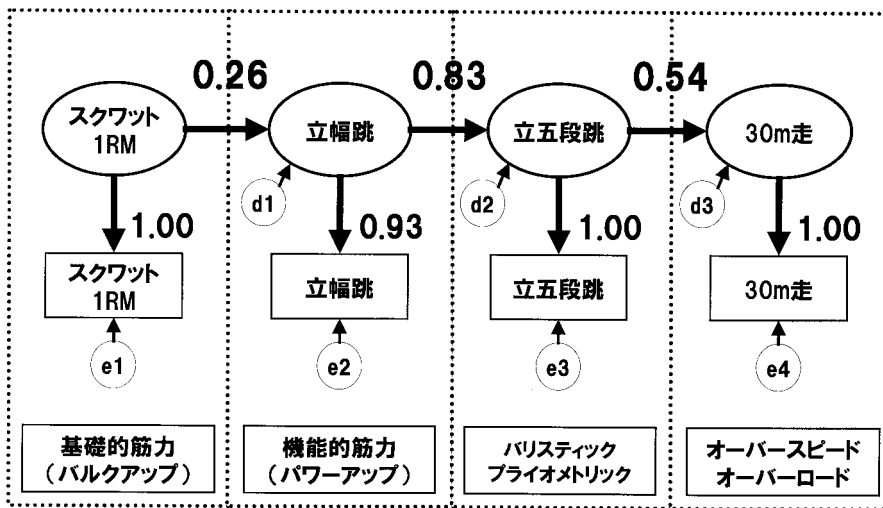


図2 筋パワーテスト間のシンプレックス構造

を示さなかったものの、その他の相関係数はいずれも 5%水準で有意であった。特に、立幅跳と立五段跳との間で0.77と高い相関係数を示した。立五段跳と30m走との間に0.54と中等度の相関係数を示した。スクワット 1RMと立幅跳との間の相関係数は0.24とやや低い値を示した。相関行列全体では主対角に近い値ほど大きく、遠い値ほど小さい構造を示した。

図2は、筋パワーテスト間の準シンプレックス構造モ

デルの分析結果の標準解を示している。モデル適合度指標 GFI=0.994, AGFI=0.972, RMSEA=0.000, CFI=0.999, NFI=0.991 など、いずれも良好な値を示した。スクワット 立幅跳のパス係数は0.26と低く、立幅跳 立五段跳は0.86と高く、立五段跳 30m走は0.54と中等度であった。モデル中のパスはいずれも 5%水準で有意であった。

## IV. 考察

本研究では、トレーニング段階にしたがって仮説された筋パワーの下位領域ごとにテスト項目を配置し、内容的妥当性に基づいて運動様式の類似する4項目を選択した。スクワット1RMを除く他の3項目では、再テスト法より0.85以上の高い信頼性が確認された。西嶋ら<sup>12)</sup>はサッカー技能発達のコントロールテストについて検討し、これら3項目の信頼性を確認しており、本研究の結果はこれと合致するものであった。

筋パワートレーニングでは、期分け(ピリオダイゼーション)や集中方式が用いられ、トレーニングの順序性を考慮し、トレーニングの量、強度、運動様式、専門性などを変化させることが有効であるといわれている<sup>8) 11) 15) 17)</sup>。このことを踏まえて、本研究では筋パワートレーニングを連続する4段階の領域であると仮定し、筋パワー発達を確認するための一連のコントロールテスト項目間には階層性が見られ、単一方向の順序性、すなわちシンプレックス構造を示すことを仮説し、相関行列ならびに構造方程式モデルから検証した。

相関行列をみると、スクワット1RMと30m走との間の相関係数を除く全ての係数が5%水準で有意であった。この結果は、選択された4つのテスト項目は運動様式が類似することを反映していると推察された。つまり、筋パワーテストは運動課題の運動様式や特性を反映している<sup>7)</sup>ことから、特に筋パワー領域における順序性や階層性を仮定したコントロールテストを選定する際には、運動様式を考慮する必要があることを示唆していると考えられる。スクワット1RMと立幅跳との間の相関係数が0.24と低い値を示している( $p < 0.05$ )ものの、相対的には相関行列の主体角に近い相関係数ほど値が強く、主対角から離れるほど弱いことから、これらのコントロールテスト項目間はシンプレックス構造であると判断された。

筋パワーテストの準シンプレックス構造モデルを検証した結果、モデル適合度指標はいずれも良好な値を示し、全てのパスは有意であったことから、モデルは採択され、筋パワーコントロールテスト項目間の準シンプレックス構造が検証された。

テストの専門性や複雑性が階層的に向上していくような単一方向に順序性のある一連のテスト群の相関行列には、シンプレックス構造がみられることが知られている。本研究で用いられたテスト項目では、段階が進むにつれ運動速度が増加すること、テスト課題に要求される

スキルが複雑になること、などの階層性があると考えられる。

特に立幅跳と立五段跳との間で有意に高いパス係数がみられた。このことは、前方跳躍動作によって行われること、筋の弾性を利用した運動であること、伸張反射を利用した運動であることなど立幅跳と立五段跳との間には共通する要因が多いことによると推察された。一方、立五段跳に代表されるリバウンド型<sup>18)</sup>の運動は、接地時間が短い<sup>22)</sup>、下肢に対する衝撃が強い<sup>4)</sup>、運動の初期にエキセントリックな負荷を強制される<sup>8)</sup>などが特徴であり、これらの条件に対して筋の弾性や伸張-短縮サイクルをよく利用した運動である<sup>1)</sup>と考えられる。このような性質は立幅跳には見られない。このような特異性が階層性を示す要因であると考えられる。

また、立五段跳と30m走との間で中等度の有意なパス係数が見られた。両領域間には、先述したリバウンド型運動の特徴のほかに、股関節伸筋群の関与が大きいことなどの共通要因があると考えられる。一方、30m走ではスプリント動作に専門の技術が必要である、運動速度が速い、などが特徴である。このような特異性が階層性を示す要因であると考えられる。

最後に、スクワット1RMと立幅跳との間には、有意ではあるものの低いパス係数が得られた。筋パワートレーニング段階では、スクワットなどのウェイトリフティング種目と立幅跳のようなジャンプ種目の間に、ハイクリーンのクイックリフティング種目が導入されることがある。筋パワー発達のコントロールテストにクイックリフティング種目の最大挙上重量などを加えることで、より鮮明にテスト項目間の階層性が示されることが推察される。しかし、クイックリフティング種目は種目特有の技能修得に期間が必要であり、一定の技能を修得した段階で最大値測定を行わないと傷害の恐れがあることなどから、コントロールテストとして実施する際には、重量を下げるために3RMを採用する、長期のトレーニング期間を置いた後測定を実施する、などの対策が必要と考えられる。

筋パワーテストの準シンプレックス構造モデルを検証した結果、項目間のパス係数が示され、各テスト項目間における階層性の程度が確認された。このことは、筋パワー発達を評価する上で有用であると思われる。

以上のことから、段階的手法が用いられた大学生サッカー選手の筋パワートレーニング(power development program)で使用されているコントロールテスト間には、準シンプレックス構造がみられ、階層性があることが検証された。

本研究で用いられた被験者は、男子大学生であった。性別や年齢、競技レベルを考慮し、サッカー選手一般について筋パワーテスト間のシンプレックス構造を検証することが今後の課題と思われる。

## V. 要約

本研究では、SEMを用いて、サッカー選手における筋パワーテストの準シンプレックス構造モデルを検証することを目的とした。被験者は男子大学サッカー選手66名であった。内容的妥当性を満足するスクワット1RM、立幅跳、立五段跳、30m走の4項目を用いて、以下の結果が得られた。

1. 用いられたテスト項目について、高い信頼性が確認された。
2. 立幅跳と立五段跳との間に有意に高いパス係数が、立五段跳と30m走との間に中等度のパス係数が見られたものの、スクワット1RMと立幅跳との間には有意ではあるが低いパス係数が得られた ( $p < 0.05$ )。
3. 筋パワーテストの準シンプレックス構造モデルは採択され、これらのテスト間の階層性が確認された。

以上のことから、サッカー選手における筋パワーテストの準シンプレックス構造モデルが検証された。用いられたテスト項目は筋パワー発達をトレーニング段階に対応して評価する上で有用であることが示された。

## 文 献

- 1) Bosco, C., Luhtanen, P., and Komi P. V. (1983) A simple method for measurement of mechanical power in jumping. *European Journal of Applied Physiology* 50 : 273-283.
- 2) Coombs, C. H. (1941) factorial study of number ability. *Psychometrika* 6 : 161-189.
- 3) Guttman, L. (1966) Order analysis of correlation matrix. *Handbook of multivariate Experimental Psychology*. Rand McNally & Company, Chicago : pp.439-458.
- 4) 伊坂忠夫, 瀬尾信哉, 石井喜八 (1988) Drop Jumpにおける跳躍技術と至適台高. 昭和62年度 日本体育協会スポーツ科学研究報告No. プリオメトリック・リアクティブ筋力トレーニングに関する研究 第2報 : pp.37-45.
- 5) 金子公宿 (1988) パワーアップの科学. 朝倉書店, 東京 : pp.140-165.
- 6) 狩野裕 (1997) 種々の共分散構造モデル(4), BASIC数学2月号. 現代数学社, 京都 : pp.42-46.
- 7) Manning, J. M., Manning, C. D., and Perrin, D. H (1988) Factor analysis of various anaerobic power tests. *Journal of Sports Medicine and Physical Fitness* 28 : 138-145.
- 8) マトヴェイエフ, L. P. 江上修代(訳) (1985) ソビエトスポーツ・トレーニングの原理. 白帝社, 東京 : pp.224-228.
- 9) Mayhew, J. L., Piper, F. C., and Ball, T. E. (1989) Contributions of speed, agility and body composition to anaerobic power measurement in college football players. *Journal of Applied Sport Science Research* 3 : 101-106.
- 10) Li, F. and Harmer, P. (1996) Testing the simplex assumption underlying the sport motivation scale: a structural equation modeling analysis. *Research Quarterly for Exercise and Sport* 67(4) : 396-405.
- 11) 村木征人 (1985) 跳躍競技者の専門的筋力トレーニングの理論と実際 上級ジャンパーの競技力向上を目指して. 月刊陸上 17 : 190-196.
- 12) 西嶋尚彦, 国土将平, 田中喜代次, 松浦義行, 小野剛, 山中邦夫, 松本光弘, 森岡理右 (1989) サッカー技能の発達管理のためのコントロールテスト項目の選択. 日本体育学会第40会大会号B : p.574.
- 13) 西嶋尚彦 (1993) チームにおけるサッカー選手のコンディショニング. 臨床スポーツ医学 10(12) : 1460-1465.
- 14) 西嶋尚彦 (1994a) サッカー選手のトレーニング計画 (PART 1). サッカーがうまくなるためのからだづくり. 森永製菓株式会社健康事業部, ミズノ株式会社第3事業部, 東京 : pp.129-141.
- 15) 西嶋尚彦 (1994b) サッカーチームにおけるトレーニングの計画. *トレーニング科学* 6 : 1-8.
- 16) 西嶋尚彦 (1996) トレーニングマネジメント. *トレーニング科学ハンドブック*. 朝倉書店, 東京 : pp.39-51.
- 17) Taiana, F., Grehaigne, J. F., and Cometti, G. (1993) The influence of maximal strength training of lower limbs of soccer players on their physical and kick performances. *Science and Football* : 98-130.
- 18) 高松薫, 宮坂雅昭, 関子浩二, 石島繁 (1988) 各種台高からのデプスジャンプにおける跳躍高と踏切各

- 局面の力学量. 昭和62年度 日本体育協会スポーツ科学研究報告No. プリオメトリック・リアクティブ筋カトレーニングに関する研究 第2報 : pp.56-62.
- 19) 瀧井敏郎 (1995) ワールドサッカーの戦術. 大修館書店, 東京 : p.127.
- 20) 豊田秀樹 (1992) SASによる共分散構造分析. 東京大学出版, 東京 : pp.191-196.
- 21) 山本嘉一郎, 小野寺孝義(1999) Amosによる共分散構造分析と解析事例. ナカニシヤ出版, 東京 : pp.1-47.
- 22) 関子浩二, 高松薫, 古藤高良 (1993) 各種スポーツにおける下肢の筋力およびパワー発揮に関する特性. 体育学研究 38 : 265-278.