動的因子分析法によるコンディション変動の要因構造分析

中野 貴博¹⁾ 山田 剛史²⁾ 西嶋 尚彦³⁾

Factor structural analysis of condition fluctuation by dynamic factor analysis

Takahiro Nakano¹, Tsuyoshi Yamada² and Takahiko Nishijima³

Abstract

The purpose of this study was to identify the factorial structure of perceived condition fluctuation considering a time lag in a single case design applying dynamic factor analysis (DFA). The subject was a female swimmer who had won the 200-m individual medley in the 1998 inter-collegiate competition in Japan. The 15 selected items measured her perceived physical and mental condition; the amount of training per day and her regular lifestyle were recorded by herself on the "Quality Control (QC) Sheet" every day for 167 days, 24 weeks. Common factors of condition fluctuation were extracted from multivariate time-series data using DFA with the maximum likelihood (ML) method and quartimax rotation. The lag-2 variance/covariance was most optimal for DFA according to autocorrelation and partial autocorrelation of all variables. Five factors and the lag-2 DFA model were adopted considering several model-fitting indicators. The factorial structure of condition fluctuation was different in each lag model, although such factors as the amount of practice, meal satisfaction, perceived condition, and fatigue were extracted in all lag models. It was inferred that the factorial structure of perceived condition fluctuation in a female swimmer could be constructed with a time-lag consideration. It was expected that changes of factorial structure accompanying time progression could be confirmed by using DFA for multivariate time-series data.

Key words : multivariate time series analysis, swimmer, single-case-research

(Japan J. Phys. Educ. Hlth. Sport Sci. 48: 369-381, July, 2003)

1) 筑波大学体育科学研究科
〒305-8574 茨城県つくば市天王台 1-1-1
2) 東京大学大学院教育学研究科
〒113-0033 東京都文京区本郷 7-3-1
3) 筑波大学体育科学系
〒305-8574 茨城県つくば市天王台 1-1-1
連絡先 中野貴博

1. *Doctoral Program in Health and Sport Sciences, University of Tsukuba*
1-1-1 Tennodai, Tsukuba, Ibaraki 305-8574
2. *Graduate School of Education, University of Tokyo*
7-3-1 Hongo, Bunkyo-ku, Tokyo 113-0033
3. *Institute of Health and Sport Sciences, University of Tsukuba*
1-1-1 Tennodai, Tsukuba, Ibaraki 305-8574
Corresponding author taka@stat.taiiku.tsukuba.ac.jp

キーワード：多変量時系列分析，競泳選手，単一事例研究

Ⅰ はじめに

スポーツ活動において心身の状態（コンディション）を正確に把握し整えていくことは，競技スポーツ場面で最良のパフォーマンスを発揮するために，またレクリエーションスポーツや健康運動を継続していくためにも極めて重要な要素である．競技者のコンディショニングでは，目指す大会期日に照準を合わせてトップコンディションになるように準備することを目的とし，選手自らがコントロールしなければならない．選手の主体的なコンディション管理は，コンディション管理の土台となる（和久・河野，1996）．

コンディションは毎日のトレーニング生活に伴って変動しており，体重，体温，脈拍，自覚的体調などの簡易な項目を用いてほぼ毎日，主体的に測定することで，各個人のコンディション変動に関する時系列データが得られる．コンディションの変動はトレーニング内容や量などの影響を受けて変動するために，競技水準が高くなるほど個人差が大きくなるのが特徴である．このため，競技水準の高い選手については複数の選手のデータを平均するよりも，個々の選手について個体内変動を捉えた方が得られる情報が多い．さらに，こうしたコンディションの個体内変動を簡易に分析および評価することができれば，スポーツコンディショニングを実施している選手，監督，コーチなどに有益な情報をフィードバックすることとなり，選手の主体的なコンディション管理を促進することができる．

競技者のコンディション評価に関する研究には，血液検査による体調把握の妥当性を示すもの（河野，1990），コントロールテストを用いた体力把握（和久・河野，1993），POMSなどの心理学的アンケートによる精神状態の把握（川原，1991）などがある．いずれの報告も任意の時点でのコンディションを測定しようとするものであり，継続的測定による時系列データを得るまでには至って

いない．また，トレーニングに伴う体力・運動能力の発達傾向を分析した研究においてもグラフ観察が中心であった．この原因としては，系列的変動を示すデータに対する統計解析法が未開発であったこと，コンディションの系列的変動は個別性が大きく，推測統計学的に有意な結果を得ることが困難であったことが考えられる．

近年の単一事例研究分野における推測統計学的手法の発展（山田，2000，2001）はこれらの問題を解消し，個々の競技者における系列的なコンディション変動の評価を可能にするものであると考えられる．単一事例研究法における研究のフレームワークは同一個人あるいは同一集団における系列的変動を評価するのに適しており，個体間の差を検討するのではなく個体内変動を検討するものである（Barlow and Hersen，1984）．単一事例研究は事例研究（ケース・スタディ法）より一歩進んだ段階として説明される．単一事例研究は量的な測定を用いて独立変数と従属変数を決め，数量的データを取り，反復測定をして統計処理をするというものである（丹野，2000）．競技者のトレーニングに伴うコンディション変動のような個人差の大きな現象を扱っていく上では，単一事例研究法の導入が有用であると考えられる．

計量経済学分野では，系列的に変動する経済においてはさまざまな要因が複雑に絡まりあって1つのシステムを作り上げているという考えに沿って，その中の核となる主要なものを抜き出し，これら相互の因果関係を分析する計量モデル分析という方法が確立している（津田，1994）．時系列に変動するデータ間に潜在する主要要因を抽出し，その因果構造を明らかにするという考え方はコンディション変動要因の抽出およびその因果構造モデルの検証に適用できる．

単一事例研究における多変量時系列データに対する変動要因抽出を目的として，西嶋ほか（2000）は時系列に沿って測定したデータに対して因子分析を適用するというp技法因子分析を用いている．しかしながら，p技法による因子分析法では系列相関が考慮されていないという理論的問題点がある．この問題を解決する方法として，Mole-

naar (1985) は動的因子分析法という方法を提案している。Wood and Brown (1994) は本研究のような、単一の被験者において繰り返し測定をすることで時系列データを得るような測定をSSMRM (Single Subject Multivariate Repeated Measures) と呼び、これに適用できる有効な方法として動的因子分析法を示している。

以上のことを踏まえて、本研究では単一事例研究法の考え方に基づいて、時系列に変動する選手のコンディションデータに対して動的因子分析法を適用することによって、競技者のトレーニングに伴うコンディション変動要因の構造を検証することを目的とした。

II 方 法

1. 対象者

200m 個人メドレーを専門種目とする大学生女子競泳選手1名であった。測定開始時の年齢は22歳、身長は166.0cm、体重は54.0kgであった。最高競技成績は平成10(1998)年学生選手権優勝、記録2分19秒38(自己ベスト)であり、本研究期間内における最終的な成果であった。

2. 測定方法

競技に専念している選手から長期間にわたり毎日のコンディションデータを収集するに当たり、西嶋ほか(2000)の方法に準拠して、以下の諸点に留意して測定を行った。

- ①対象者の自己管理を促すものであること。
- ②個人のフィードバックデータとして有用なものとなること。
- ③対象者に対して負担にならない程度の作業量および作業内容であること。

したがって、コンディション項目は対象者が選定し、対象者にとって有用な形式の記録用紙を作成した。

本研究で取り扱う競技者の心身のコンディションは、菅野ほか(1992, 1996)、大庭ほか(1998)、西嶋ほか(2000)の定義に準拠し、西嶋ほか(1990)が使用した記録用紙である「コンディシ

ョンのQCシート」で用いられている項目に基づいて測定項目を選択し、対象者が容易に使用できるように改良を加えた。また、和久ほか(1996)が示している競技選手の健康管理に関する3層構造における最下位層に位置するセルフコントロールの概念は対象者の自己管理を促すものであると判断されたので、和久ほか(1996)の提案項目の中から、起床時脈拍、起床時体温、練習終了後体重、トレーニング内容に関する項目を付加した。食事に関する項目は、朝食、昼食、夕食における栄養バランスと食事量に関する満足度(食事満足)を選定した。基本的生活習慣に関する項目を8項目、練習に関する項目を13項目、体調に関する項目を5項目用意した。

合計26項目の中から、継続のし易さ、変動の捉え易さなどを考慮して対象者によって最終的に選択された項目は、基本的生活習慣に関する項目では就寝時刻、睡眠時間、朝食満足、昼食満足、夕食満足であった。練習に関する項目では、朝練習時刻、朝練習総泳距離(泳いだ距離)、朝練習後体重、午後練習時刻、午後練習総泳距離、午後練習後体重、自覚的練習強度、自覚的練習意欲、自覚的練習達成感であった。体調に関する項目では、自覚的体調、自覚的疲労感、起床時脈拍、自覚的な心身の状態であった。

時刻に関する項目は24時間表記で記録した。体重は小数点以下第1位まで、総泳距離はメートル単位で記入した。脈拍、体温は実測値を記入した。それ以外の項目には5件法尺度を用いた。練習時間は一日の総練習時間、総泳距離は一日の合計、練習後体重は一日の全練習終了後の体重を測定した。B4用紙横書き一枚に1週間分を記入できるように記録用紙を作成した。測定期間中は対象者が記録用紙を所有し、期間終了後に複写を入手した。

測定期間は、平成10年2月23日から平成10年9月5日までの167日、24週間であった。コンディショニングの第一目標は6月12日および13日の日本選手権であり、最重要な大会として9月4日の学生選手権を最終目標に設定した。

Fig. 1 Path diagram of dynamic factor model
(Wood and Brown (1994) was improved)

3. 統計解析

本研究では主体的なコンディション管理に関する多変量時系列データに動的因子分析法を適用して少数の共通変動要因を抽出し、その要因構造を検証した。

多変量時系列データには時系列データ特有の系列相関があり、そのために一般的な因子分析法を適用することは望ましくない。これまでは、時系列データに対する因子分析法としてはCattell (1952) により提案されたPテクニックによる因子分析法があった。Pテクニックによる因子分析法は時期を観測対象とする多変量データに直接因子分析法を適用しているものであり、ラグ付き共分散を考慮できないという理論的欠点を持っていた (Anderson, 1963)。この問題を解決するために提案された方法がMolenaar (1985) による動的因子分析法である。Fig. 1は、ラグ1を考慮に入れた動的因子分析の1因子モデルをパス図により表現したものである。このモデルの中には、時間差を持った関係が2つの形で現れされている。

1つ目は、観測変数間に存在する系列相関はFig. 1における「F Lag1」のように時間差を持った潜在変数として現れると仮定している。2つ目はFig. 1の破線の部分であり、これはラグ付きの因子負荷を示す。また、Fig. 1中の双方向矢印は観測時点間における誤差間の相関を認めていることを示している。多変量時系列データへの因子分析法としては、この他に互いに関連のある多数の時系列の背後に観測できない少数の時系列が存在するという観点から提案された時系列因子分析法がある (Toyoda, 1997; 豊田, 1998)。また、多変量時系列データからの因子抽出法として、独立成分分析 (Independent Component Analysis) (Jutten and Herault, 1991; Attias, 1999) という分析法も近年提案されている。独立成分分析は、脳波のデータやfMRI (functional Magnetic Resonance Imaging) という人の神経活動に伴う信号変化を捉える装置のデータ、あるいはMEG (Magnetoencephalography) という脳磁計の時系列データの解析への適用が試みられている方法で

Fig. 2 Toeplitz-transformed covariances for window size of 2
(Wood and Brown (1994) was improved)

あり、複数の独立に観測される変数が混合したデータとして観測された時に、統計的に独立な変数の線形結合として表現する方法である（甘利，1998）。このため、観測される変数が独立なものであると考えられる場合には有効であると考えられるが、本研究のように同一個人における判断基準に基づいてコンディションに関する複数の項目のデータを得た場合は、各変数が独立であるとは考えづらい。そのため、本研究では独立成分分析の適用は行わなかった。

動的因子分析はP-テクニックによる因子分析を拡張した手法であり、時間的ラグを考慮した因子分析法である。モデル式は以下ようになる。

$$Z_t = \sum \lambda_u \eta_{(t-u)} + \varepsilon_t$$

ここで、 Z ：観測変数， λ ：因子負荷量， η ：潜在変数， ε ：誤差変数，添え字 t は時間を表し，添え字 u は組み込むラグ数である。データ解析は構造方程式モデリングのプログラムを用いて実行することができるが，Hershberger et al. (1994) や Wood and Brown (1994) では各ラグにおける因子負荷量行列に対する明確な仮説を持って行っているのではなく，ラグによる因子負荷量行列の構造の違いを見ており，検証的立場ではなく探索的立場に立った因子分析法として紹介している。本研究においても同様の視点から探索的立場に立

って分析を行った。実際の分析にあたって，本研究ではデータが欠損値を含んでいたために欠損値処理を行った。欠損値は主に練習関連の項目で見られたが，これは練習のない日にはこれらの項目は記入されなかったためである。対象者が学生であるために一週間サイクルの生活をしていると考え，項目ごとに一週間の平均値を用いて欠損値を埋めた。

動的因子分析では，最初に分散共分散行列に組み込むラグの数を決定する。本研究では各変数における自己相関，偏自己相関を算出し，ラグ数を決定した。ここで， n 次の自己相関とは元のデータと元のデータを n 期ずらしたものと同一変数内における相関係数のことで，一方 n 次の偏自己相関とは途中の1期から $n-1$ 期までの影響を取り除いた後の相関係数のことである（石村，1999；縄田，1997）。これらの相関係数の有意性を見ることで，考慮すべき時間的ラグの数が決定できるものと考えられる。Fig. 2は，ラグ1までのラグ付き分散共分散（トープリッツ行列）の形式およびサイズを模式的に表したものである。トープリッツ行列は正方対称行列である。Fig. 2における三角部分には通常の分散共分散行列が配置され，四角部分には変数にラグ1を与えた際の分散共分散行列が配置される。同様にラグ2やラグ3を考慮する際には積み上げ式に分散共分散行列のサイズは大きくなるが，形状はやはり正方対称行列となる。

決定されたラグ数を組み込んだラグ付き分散共分散行列より動的因子分析を実行した。因子の抽出法は最尤法を用いた。抽出された因子数ごとに動的因子分析モデルの適合度指標を確認し，因子数を決定した。動的因子分析ではラグごとに初期解が得られるため，各ラグにおける初期解を独立に扱い因子の回転を行った。動的因子分析においては因子間相関行列を単位行列とする仮定を置いているために理論上，斜交回転は行えない。このような理由から，各変数が最も影響を及ぼす因子を明確にするために，変数における各因子への因子負荷量の分散の和を最大化させる回転であるコーティマックス基準による直行回転（柳井ほか，

Table. 1 Descriptive statistics of measurement items

領域	項目 (単位)	標本数	平均値	中央値	標準偏差	最大値	最小値
練習意欲	自覚的練習意欲 (1-5)	135	3.9	4	1.1	5	1
	自覚的練習達成感 (1-5)	135	3.6	4	1.0	5	1
自覚的体調	自覚的体調 (1-5)	140	3.6	4	0.9	5	1
	心身の状態 (1-5)	165	3.4	3	0.9	5	1
	自覚的疲労 (1-5)	140	3.3	3	1.0	5	1
	自覚的練習強度 (1-5)	135	3.8	4	1.1	5	1
食事満足	朝食満足 (1-5)	167	2.6	2	1.1	5	1
	昼食満足 (1-5)	166	3.4	3	1.0	5	1
	夕食満足 (1-5)	162	4.1	4	1.1	5	1
練習	総練習時間 (分)	120	199.8	200	70.9	390	10
	総泳距離 (m)	127	6,290	6,000	2,973	15,100	200
体重	最終練習後体重 (kg)	119	54.6	55	0.8	56.2	53
脈拍	起床時脈拍 (拍)	159	47.1	47	1.0	49	45
睡眠時間帯	就寝時刻 (時：分)	162	25：07	25：00	1：36	29：00	22：30
	睡眠時間 (時間：分)	162	6：31	6：30	1：43	11：30	2：00

Table 2. Auto-correlation and partial auto-correlation of variables

項目	ラグ 1 自己相関	ラグ 2 自己相関	ラグ 3 自己相関	ラグ 1 偏自己相関	ラグ 2 偏自己相関	ラグ 3 偏自己相関
自覚的練習意欲	*0.747	*0.724	*0.631	*0.747	*0.376	0.034
自覚的練習達成感	*0.557	*0.452	*0.374	*0.557	*0.205	0.090
自覚的体調	*0.613	*0.398	*0.273	*0.613	0.036	0.026
心身の状態	*0.631	*0.458	*0.314	*0.631	0.099	-0.013
自覚的疲労	*0.688	*0.516	*0.384	*0.688	0.082	0.004
自覚的練習強度	*0.348	*0.325	*0.205	*0.348	*0.231	0.045
朝食満足	*0.549	*0.407	*0.331	*0.549	*0.151	0.087
昼食満足	*0.258	*0.294	*0.271	*0.258	*0.244	*0.172
夕食満足	0.066	0.031	0.057	0.066	0.027	0.054
総練習時間	*0.416	*0.342	*0.238	*0.416	*0.205	0.050
総泳距離	*0.379	*0.319	*0.297	*0.379	*0.205	0.150
最終練習後体重	*0.868	*0.842	*0.773	*0.868	*0.360	-0.032
起床時脈拍	*0.377	*0.168	0.089	*0.377	0.030	0.020
就寝時刻	*0.320	*0.289	*0.304	*0.320	*0.208	*0.191
睡眠時間	-0.065	0.046	-0.001	-0.065	0.042	0.004

*：p<.05

1995) を施した。各ラグの因子構造に対して因子負荷量が0.3以上の変数を中心に因子の解釈を行った。

モデルの適合度指標には、データの分散・共分散に対するモデルの説明率を示すGFI, AGFI, モデルが説明できなかった標本共分散行列 (相関行列) の残量を1セルあたりの平均として示す

RMR, 最も当てはまりの悪い独立モデルとどれだけかけ離れているかを示すNFI (狩野, 1997; 豊田, 1998; 山本・小野寺, 1999) を用いた。また、モデルの真の分散・共分散行列との距離を表すRMSEA, モデルが正しいという仮説を検定する χ^2 二乗 (p 値) も算出したが、動的因子分析においてはこれらの指標はあてにならない

ため、(豊田, 1998) モデル適合度判定には用いなかった。

III 結 果

Table. 1に測定項目の記述統計量を示す。基本的生活習慣の中の食事に関する3項目と、練習に関する練習の意欲、達成感、強度、体調、疲労などの5件法で評価した多くの項目の平均値は、2.6—4.1の範囲であった。特徴的な傾向が見られたのは、朝食満足では平均値が2.6、中央値が2であった。一方、夕食満足では平均値が4.1、中央値が4であった。このことから、対象者は夕食重視の食生活であったことが伺えた。その他の項目の平均はそれぞれ一日の総練習時間が3時間19分、総泳距離が6,290m、最終練習後体重が54.6Kg、起床時脈拍が47.1拍、就寝時刻は午前1時7分(表中では午後25時7分)、睡眠時間が6時間31分であった。総練習時間と総泳距離に関しては一日の練習の合計値を用いた。最終練習後体重に関しては、一日の全練習終了後の体重を用

いた。

Table. 2に、各変数における自己相関および偏自己相関係数を示す。ラグ1およびラグ2の自己相関係数は16変数中14変数において有意な自己相関係数が得られた。ラグ3の自己相関係数では13変数で有意な自己相関係数が得られた。また偏自己相関係数ではラグ1は自己相関と同じことを意味しており、ラグ2では9変数が有意な自己相関係数を示した。ラグ3では2つの変数のみが有意な自己相関係数を示した。これらの結果に基づいて、本研究ではラグ2までの標本トリーッ行列を用いて動的因子分析を実行することとし

Table. 3 The degree of fit indices of a dynamic factor analysis

適合度 指標	4 因子モデル			5 因子モデル		
	0ラグ	1ラグ	2ラグ	0ラグ	1ラグ	2ラグ
GFI	0.690	0.760	0.815	0.700	0.780	0.839
AGFI	0.650	0.720	0.763	0.660	0.730	0.783
RMR	0.180	0.150	0.120	0.180	0.150	0.115
NFI	0.640	0.730	0.808	0.650	0.760	0.841

Table. 4 Factor pattern of dynamic factor analysis (Lag 0)

項目	F1 練習量	F2 食事満足	F3 自覚的疲労	F4 自覚的体調	F5 脈拍	共通性
総練習時間	0.54	0.16	-0.12	-0.01	0.15	0.35
自覚的練習強度	0.80	-0.08	0.05	-0.02	-0.24	0.71
総泳距離	0.46	0.09	-0.13	-0.19	0.12	0.29
自覚的練習意欲	0.08	0.41	-0.12	0.16	-0.04	0.21
自覚的疲労	-0.06	-0.14	0.54	0.10	0.06	0.33
心身の状態	-0.02	0.19	-0.13	0.20	0.18	0.12
自覚的練習達成感	-0.05	0.17	-0.09	0.29	0.14	0.15
最終練習後体重	-0.11	-0.05	0.29	-0.07	-0.10	0.11
昼食満足	0.03	0.43	-0.01	-0.01	-0.03	0.19
夕食満足	0.27	0.23	-0.05	0.02	0.00	0.13
朝食満足	0.07	0.34	-0.01	-0.12	0.00	0.13
自覚的体調	-0.20	-0.10	-0.10	0.31	0.00	0.15
就寝時刻	0.00	-0.01	-0.04	-0.27	0.04	0.08
睡眠時間	-0.01	0.04	-0.05	-0.22	0.10	0.06
起床時脈拍	0.04	-0.05	-0.01	-0.10	0.27	0.09
因子寄与	1.29	0.67	0.46	0.44	0.25	3.11
因子寄与率 (%)	8.61	4.45	3.10	2.92	1.66	20.74

(網掛け)：因子の解釈に言及した負荷量

(アンダーライン)：因子の解釈の参考にした負荷量

Table. 5 Factor pattern of dynamic factor analysis (Lag 1)

項目	F1 練習強度	F2 自覚的疲労	F3 自覚的体調	F4 練習量	F5 食事満足	共通性
自覚的練習強度	0.83	-0.04	-0.03	-0.12	0.12	0.72
自覚的練習意欲	0.42	-0.05	0.16	0.13	0.07	0.23
心身の状態	0.43	0.02	0.26	0.10	0.05	0.27
自覚的練習達成感	0.36	0.01	0.29	0.05	0.12	0.23
最終練習後体重	-0.16	-0.07	0.04	0.04	-0.03	0.03
自覚的疲労	-0.20	0.95	0.20	-0.10	0.06	1.00
睡眠時間	0.20	-0.03	-0.06	-0.02	-0.13	0.06
起床時脈拍	0.16	-0.05	-0.03	-0.01	-0.03	0.03
自覚的体調	-0.10	0.00	0.55	-0.03	-0.11	0.32
就寝時刻	0.11	0.14	0.40	0.22	-0.05	0.24
夕食満足	0.04	0.00	-0.02	0.03	0.21	0.05
昼食満足	0.18	0.05	-0.12	-0.11	0.22	0.11
朝食満足	0.26	-0.02	-0.13	-0.19	0.22	0.17
総練習時間	-0.05	-0.03	0.11	0.58	0.12	0.37
総泳距離	-0.02	-0.02	0.00	0.43	-0.04	0.18
因子寄与	1.44	0.94	0.74	0.67	0.23	4.02
因子寄与率 (%)	9.58	6.26	4.91	4.49	1.54	26.77

(網掛け)：因子の解釈に言及した負荷量

(アンダーライン)：因子の解釈の参考にした負荷量

た。

Table. 3に、因子数および各ラグ数における動的因子分析モデルの適合度を示す。自己相関係数と偏自己相関係数の値より、ラグ2までの標本トープリッツ行列を用いることに決定したが、ここでは参考のために標本トープリッツ行列に組み込むラグ数を0から2、抽出する因子数を4および5とした時の動的因子分析モデルの適合度を示した。すべての適合度指標は5因子ラグ2のモデルで最も高い値を示し、それぞれGFIは0.839、AGFIは0.783、RMRは0.115、NFIは0.841であった。この結果に基づいて5因子2ラグのモデルを採用することにした。

Table. 4は、回転後のラグ0における因子パターン行列である。練習量、食事満足、自覚的疲労、自覚的体調、脈拍と解釈される5つの因子が抽出された。練習量因子では総練習時間、自覚的練習強度、総泳距離、食事満足因子では朝食満足、昼食満足、自覚的練習意欲が、自覚的疲労因子では自覚的疲労、自覚的体調因子では自覚的体調が0.3以上の高い因子負荷量を示した。その他にも

練習量因子における夕食満足や食事満足因子における夕食満足、自覚的疲労因子における最終練習後体重、自覚的体調因子における就寝時刻、睡眠時間、脈拍因子における起床時脈拍の因子負荷量は0.3には達していなかったものの相対的に高い因子負荷量を示したので因子の解釈の参考にした。

Table. 5は、回転後のラグ1における因子パターン行列である。練習強度、自覚的疲労、自覚的体調、練習量、食事満足と解釈される5つの因子が抽出された。練習強度因子では自覚的練習強度、自覚的練習意欲、心身の状態、自覚的練習達成感、自覚的疲労因子では自覚的疲労、自覚的体調因子では自覚的体調、就寝時刻、練習量因子では総練習時間、総泳距離が0.3以上の高い因子負荷量を示した。ラグ0の時と同様に、その他にも自覚的体調因子における自覚的練習達成感、食事満足因子における朝食満足、昼食満足、夕食満足、は因子負荷量が0.3には達していなかったものの、相対的に高い因子負荷量を示したので因子の解釈の参考にした。

Table. 6 Factor pattern of dynamic factor analysis (Lag 2)

項目	F1 食事満足	F2 自覚的疲労	F3 練習量	F4 心身の状態	F5 自覚的体調	共通性
昼食満足	0.45	-0.06	-0.16	-0.20	-0.01	0.27
朝食満足	0.28	-0.03	-0.20	-0.03	-0.18	0.15
夕食満足	0.34	-0.01	0.04	-0.05	0.02	0.12
心身の状態	0.46	-0.06	0.03	0.31	-0.05	0.32
自覚的練習達成感	0.36	-0.01	-0.03	0.25	0.07	0.20
就寝時刻	-0.24	-0.29	-0.24	-0.16	-0.17	0.25
自覚的過労	-0.25	0.84	0.25	-0.05	-0.02	0.83
自覚的練習強度	0.04	-0.16	0.40	-0.29	-0.12	0.29
総練習時間	0.04	0.05	0.32	0.05	-0.02	0.11
総泳距離	-0.05	0.06	0.31	0.00	-0.03	0.10
最終練習後体重	0.01	0.16	-0.04	-0.27	0.03	0.10
自覚的練習意欲	0.00	0.01	0.01	0.26	-0.03	0.07
自覚的体調	0.10	0.04	-0.15	-0.01	0.41	0.20
睡眠時間	-0.19	-0.01	-0.09	0.02	-0.10	0.06
起床時脈拍	-0.01	0.07	-0.01	0.10	0.03	0.02
因子寄与	0.91	0.87	0.57	0.47	0.27	3.08
因子寄与率 (%)	6.04	5.77	3.81	3.13	1.77	20.51

(網掛け)：因子の解釈に言及した負荷量

(アンダーライン)：因子の解釈の参考にした負荷量

Table. 6は、回転後のラグ2における因子パターン行列である。食事満足、自覚的疲労、練習量、心身の状態、自覚的体調と解釈される5つの因子が抽出された。食事満足因子では昼食満足、夕食満足、心身の状態、自覚的練習達成感、自覚的疲労因子では、自覚的疲労、練習量因子では自覚的練習強度、総練習時間、総泳距離、心身の状態因子では、心身の状態、自覚的体調因子では自覚的体調が0.3以上の高い因子負荷量を示した。ラグ0、ラグ1同様に、その他にも食事満足因子における朝食満足、自覚的疲労因子における就寝時刻、練習量因子における自覚的疲労、心身の状態因子における自覚的練習強度、最終練習後体重、自覚的練習意欲は因子負荷量が0.3には達していなかったものの、相対的に高い因子負荷量を示したので因子の解釈の参考にした。

ラグ0、ラグ1、ラグ2すべての因子パターン行列において、練習量、食事満足、自覚的疲労、自覚的体調の4因子が共通変動要因（因子）として抽出された。しかし、考慮する時間的ラグによって各因子を構成する変数が異なることが確認さ

れた。ラグ0、ラグ1、ラグ2での分散説明率はそれぞれ約21%、約27%、約21%であり、合計で約69%の分散を説明することができた。また、共通性に関しては普通の因子分析と同様に各測定値の分散の中で共通因子によって説明される分散の割合を示していると考えられるが、表中にある共通性を分散説明率と同様に合計すると自覚的疲労および自覚的練習強度の2項目は1を越えてしまう。この理由として第一に、これらの項目が共通因子で説明されるというよりはひとつの特殊因子になっているために共通性が高くなってしまっていることが考えられる。また、動的因子分析では全ての変数において同様のラグを考慮するため共通因子による説明率が過剰になることが考えられる。このことから、各項目において最も高い負荷量を示したラグ付きの変数のみを用いて変動因子構造モデルを検証していくことも必要であると考えられる。

IV 考 察

1. コンディション変動因子

菅野ほか（1996）、大庭ほか（1998）、西嶋ほか（2000）によって、心身のコンディションとコンディションに影響を及ぼすライフスタイル要素に関する系列的変動要因を評価する試みがなされてきた。これらの研究が以前のコンディション評価に関する研究と異なっていた点は、コンディションの一時点を評価するのではなく、時々刻々と変化するコンディションの変動を評価しようとした点である。本研究では、同様な立場から競技水準の高い競泳選手におけるトレーニングに伴う時系列なコンディション変動に潜在する変動要因を明らかにした。加えて、ラグ付き分散共分散行列を用いた動的因子分析法の適用により、時間的ラグを考慮した際における共通変動要因の構造の違いを検証した。

各ラグにおいて抽出されたコンディション変動因子は、練習量、食事満足、自覚的疲労、自覚的体調の共通な4因子と、ラグ0における脈拍因子、ラグ1における練習強度因子、ラグ2における心身の状態因子であった。これらの共通変動要因は西嶋ほか（2000）の結果のように生活時間帯により区分されるものとは異なり、練習に関する項目を多く取り入れた大庭ほか（1998）の結果に類似していた。

ラグごとのコンディション変動要因構造は、各ラグ共通の因子として、練習量、食事満足、自覚的疲労、自覚的体調が抽出されたが、因子によっては強い説明力を持つ変数の構成が変わっていた。中でも、自覚的疲労因子においてラグ0、ラグ1では関係の強い変数ではなかった就寝時刻が、ラグ2では0.29と時間的経過とともに大きな因子負荷量を示すようになっていた。これより、就寝時刻が時間的ラグを持って影響をおよぼしている可能性がある。しかし、いずれのラグにおいても自覚的疲労が極端に高い因子負荷量を示しているために、自覚的疲労因子は特殊因子であるとも考えられる。また、自覚的体調因子においては

自覚的体調がラグ0に比べてラグ1において因子負荷量が高くなっていたことより、自覚的体調が当日よりも前日の状態に影響を受けることが推察された。また、ラグ0およびラグ2においては自覚的体調のみが高く負荷していたため特殊因子とも考えられるが、ラグ1において就寝時刻も高く負荷することより、前日の影響を取り入れることで自覚的体調因子が共通変動要因として抽出されたものと考えられる。練習量、食事満足因子に関しては、考慮するラグが変わっても大きな構造の変化は見られなかった。

ラグ0でのみ抽出された脈拍の因子は起床時脈拍が0.27と最も高い因子負荷量を示していたが、ラグ1やラグ2においては起床時脈拍が高い因子負荷量を示しておらず、起床時脈拍が独立して変動している可能性が示唆された。

練習強度因子はラグ1でのみ抽出されており、また、この因子では練習強度が特に高い因子負荷量を示したことより、前日の練習強度がその日の練習内容に強く影響していたことが推察された。

ラグ2でのみ抽出された心身の状態因子はラグ0では練習強度因子と類似した項目が強い関係性を示していたことより、ラグ2における心身の状態因子は練習強度因子とも解釈できるものと思われる。このことは、その日の練習強度が前日あるいは前々日の練習強度に影響を受けていることを示唆していたと言える。

このように、動的因子分析を用いて時間的ラグを考慮した際の変動要因構造を検証することで、各ラグに共通の要因として練習量、食事満足、自覚的疲労、自覚的体調の4因子を抽出することができた。また、起床時脈拍は独立して変動をしていたことが推察され、練習強度は前日あるいは前々日の強度によってその日の強度が設定されている可能性が示唆された。

2. 多変量時系列データにおける動的因子分析法

単一事例研究法に基づいて選手のコンディションデータを収集した場合、得られるデータは多くの場合、多変量時系列データの形式になる。トレーニングに伴うコンディション変動は大庭ほか

(1998) や西嶋ほか (2000) が示したように複数の要因が相互に絡みあって変動をしており、それらの要因は少数の観測変数を用いて測定可能である。そのため、因子分析法を適用することで、少数のコンディション変動に関する共通変動要因を抽出してきた。しかし、多変量時系列データに対して因子分析法を適用する場合には、理論的に前述の時系列因子分析法 (Toyoda, 1997) あるいは動的因子分析法 (Molenaar, 1985) を用いることが望ましいと考えられる。Velicer and Plummer (1998) も時系列分析の有効性を示す中で、多変量時系列データへの動的因子分析法の有効性を示している。Hershberger et al. (1994) は、父と娘における情緒的反応と継父とまま娘における情緒的反応について多変量を用いて時系列に観察したデータに対して動的因子分析法を適用した。これにより、情緒的反応の因子構造が時間的ラグを考慮することで変化することを示した。

本研究では、コンディションに関する多変量時系列データに対して Wood and Brown (1994) が示したプログラムをもとに動的因子分析法を適用した。Wood and Brown (1994) で示されたプログラムは因子分析の初期解を求めることと、複数のモデルを適合度という観点から比較することを目的としたものであったが、本研究では Hershberger et al. (1994) で提案されているように探索的因子分析の立場から初期解に対してコーティマックス基準による直行回転を適用して因子の解釈を行った。ラグを考慮することで、より複雑となる因子構造を単純化し、因子の解釈を容易にすることができた。

動的因子分析の適用により、これまでの p テクニックによる因子分析では不可能であった時間的ラグを考慮した変動要因構造が確認できるようになった。また、練習強度のように時間的ラグを伴ってコンディション管理に影響を及ぼしている変数の存在を明示することができた。同様に、時間的ラグの有無に関わらず構造の変わらないコンディションの変動要因を明示することができた。

以上のことより、コンディションに関する多変量時系列データに対して動的因子分析法を適用す

ることで、データの系列相関に対応した時間的ラグを考慮した少数の共通変動要因を抽出し、その要因構造を検証できることが示唆された。

本研究では、動的因子分析を用いて時間的ラグを考慮した変動要因構造を捉えることが可能であることを示した。しかし、抽出された変動要因がどのように変動した際に、他の変動要因あるいはコンディション自体が良くなるかを検証するまでには至っていない。この点に関しては、近年、急速に発展しているデータマイニング技法などを用いることで、コンディションが良い状態となる法則を明確にしていくことが課題となる。また、データが時系列データであるために、抽出された変動因子の因子得点を用いることで指数平滑化モデルや ARIMA モデルを適用して変動の予測を試みることも可能であると考えられる。この点に関しては現在進行中であり、今後の課題である。

V 総 括

本研究の目的は、動的因子分析法を適用して、単一事例研究法における時間的ラグを考慮した自覚的コンディション変動の要因構造を検証することであった。

対象は、1998 年の全日本大学選手権において女子 200m 個人メドレーで優勝した水泳選手 1 名であった。対象者自身がコンディションの QC シートを用いて、自覚的な体調、練習および基本的な生活習慣に関する 15 項目を 167 日、24 週間にわたって毎日記録した。自覚的コンディションデータが多変量時系列データで表現されることを考慮して、最尤法及び直行コーティマックス回転を適用した動的因子分析法により、コンディション変動の共通変動要因をデータから抽出した。

動的因子分析に用いる分散共分散行列に組み込むラグ数は、各変数の自己相関係数および偏自己相関係数よりラグ 2 が最適であると判断した。モデルの適合度指標から、5 因子ラグ 2 の動的因子分析モデルが採択された。練習量、食事満足、自覚的疲労、自覚的体調の 4 因子は全てのラグにおいて抽出されたが各ラグにおける自覚的コンディ

ション変動の要因構造は異なることが示唆された。

本女子水泳選手におけるコンディショニング変動の要因構造は時間的ラグを持って構成されることが推察された。多変量時系列データに対しては、動的因子分析法を用いて因子構造の変化を検討することで時間経過に伴う因子構造の変化を確認できることが期待される。

文 献

- 甘利俊一 (1998) 独立成分解析とは. *Computer today* 87 : 38-43.
- Anderson, T.W. (1963) The use of factor analysis in the statistical analysis of multiple time series. *Psychometrika* 28: 1-25.
- Attias, H. (1999) Independent factor analysis. *Neural Computation* 11: 803-851.
- Barlow, D.H. and Herson, M. (1984) *Single-case experimental designs: strategies for studying behavior change* (2nd ed.). Pergamon: New York, pp. 195-222. (高木俊一郎・佐久間徹監訳 (1988), 一事例の実験デザイン. 二瓶社: 東京)
- Cattell, R.B. (1952) *Factor analysis: an introduction and manual for the psychologist and social scientist*. Harper, New: New York: pp. 102-112.
- 石村貞夫 (1999) SPSSによる時系列分析の手順. 東京図書: 東京, pp. 35-45.
- 菅野 淳・西嶋尚彦 (1992) サッカーのトレーニング管理に関する研究—QC手法を用いた実践例. 第12回サッカー医・科学研究報告書: 143-148.
- 菅野 淳・西嶋尚彦 (1996) プロサッカー選手のシーズンを通したコンディショニング—Jリーグサテライト選手における実践—. *トレーニング科学* 8 : 43-50.
- 狩野 裕 (1997) グラフィカル多変量解析. 現代数学者: 京都, pp. 77-164.
- 川原 貴 (1991) コンディショニングチェック指標としての体重, 脈拍, 尿検査, POMSの検討. 日本体育協会スポーツ医科学研究報告 9, オーバートレーニングに関する研究第2報: 85-91.
- 河野一郎 (1990) 免疫から見たオーバートレーニング. *臨床スポーツ医学* 7 : 557-560.
- Molenaar, P.C.M. (1985) A dynamic factor model for the analysis of multivariate time series. *Psychometrika* 50: 181-202. *Psychology*
- Hershberger, S.L., Corneal, S.E., and Molenaar, P.C.M. (1994) Dynamic factor analysis: an application to emotional response patterns underlying daughter/father and stepdaughter/stepfather relationships. *Structural equation modeling* 2: 31-52.
- Jutten, C. and Herault, J. (1991) Blind separation of sources, Part I: An adaptive algorithm based on neuromimetic architecture. *Signal processing* 24: 1-10.
- 縄田和満 (1997) TSPによる計量経済入門. 朝倉書店: 東京, pp. 129-138.
- 西嶋尚彦 (1990) サッカー選手のコンディショニングのための自己管理手法. *トレーニング科学研究会* 2 : 68-77.
- 西嶋尚彦・中野貴博・山田剛史 (2000) 単一事例研究法を用いた自覚的コンディショニング変動の統計的分析. *体育学研究* 45 : 619-630.
- 大庭恵一・渋谷俊浩・西嶋尚彦・永井 純・和田典子 (1998) 女子長距離選手におけるコンディショニングの自己管理システムの開発. *陸上競技研究* 35 : 36-44.
- 丹野義彦 (2000) 効果研究とメタ分析. 下山晴彦編 *臨床心理学研究の技法*. 福村出版: 東京, pp. 126-132.
- Toyoda, H. (1997) Time series factor analysis model: factors generated by auto-regression and moving average process. *Sociological theory and methods* 12: 1-14.
- 豊田秀樹 (1998) 共分散構造分析 (応用編). 朝倉書店: 東京, pp. 75-98.
- 津田博史 (1994) *株式の統計学*. 朝倉書店: 東京, pp. 89-160.
- Velicer, W.F. and Plummer, B.A. (1998) Time series analysis in historiometry: A comment on Simonton. *Journal of personality* 66: 476-486.
- 和久貴洋・河野一郎 (1993) 剣道選手のコンディショニングに関する研究—コンディショニング把握のための指標と競技現場におけるコンディショニング管理方法の検討—. *武道学研究* 26 : 12-24.
- 和久貴洋・河野一郎 (1996) コンディショニングに用いる指標. 黒田善雄編 *スポーツのためのセルフケア*. 文光堂: 東京, pp. 88-94.

- Wood, P. and Brown, D. (1994) The study of intra-individual differences by means of dynamic factor models: Rationale, Implementation, and Interpretation. *Psychological Bulletin* 116: 166-186.
- 山田剛史 (2000) 一事例実験. 下山晴彦編 臨床心理学研究の技法. 福村出版: 東京, pp. 133-140.
- 下山晴彦・丹野義彦編著 (2001) 講座臨床心理学第2巻 一事例実験とメタ分析. 東京大学出版会: 東京, pp. 203-222.
- 山本嘉一郎・小野寺孝義編著 (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. 83-96.
- 柳井晴夫・繁榊算男・前川眞一・市川雅教 (1995) 因子分析: その理論と方法. 朝倉書店: 東京, pp. 107-111.
- (平成14年4月23日受付)
(平成14年11月9日受理)