

地域在住中高齢者における筋機能, 運動機能, 生活機能間の因果構造

西嶋尚彦¹⁾ 鈴木宏哉²⁾ 大塚慶輔⁴⁾ 田中秀典³⁾
 中野貴博²⁾ 高橋信二²⁾ 田渕裕崇³⁾ 山田庸⁴⁾
 加賀谷淳子⁵⁾ 福永哲夫⁶⁾ 久野譜也¹⁾ 松田光生¹⁾

CAUSAL STRUCTURE BETWEEN MUSCLE, MOTOR AND LIVING FUNCTIONS IN COMMUNITY DWELLING ELDER

TAKAHIKO NISHIJIMA, KOYA SUZUKI, KEISUKE OHTSUKA, HIDENORI TANAKA, TAKAHIRO NAKANO,
 SHINJI TAKAHASHI, HIROTAKA TABUCHI, HIROSHI YAMADA, ATSUKO KAGAYA,
 TETSUO FUKUNAGA, SHIN-YA KUNO and MITSUO MATSUDA

Abstract

The purpose of this study was to confirm the causal structure model of muscle, motor and living functions utilizing structural equation modeling (SEM). As subjects, 103 community-dwelling older men and women, aged 65.7 ± 6.9 years of age, participated in the study to measure muscle cross-sectional area, maximum voluntary contractions, muscle power, 4 physical performance tests, and 16 questionnaires regarding ability of activities of daily living. The causal structure model of muscle, motor and living functions was hypothesized to be a hierarchical causal structure. The causal structure model of muscle function was hypothesized to be a hierarchical causal structure consisting of 3 sub-domains of muscle mass, muscle strength, and muscle power. Data analysis procedures were as follows: a) testing of construct validity of muscle function variables using confirmatory factor analysis (CFA) in SEM; b) testing of causal structure using SEM; c) testing of factor invariance using multi-group analysis for gender. The highest goodness of fit indices was obtained in the causal structure model of muscle, motor and living functions (NFI = .928, CFI = .978, RMSEA = .061). The causal coefficient of muscle function to motor function was .98 ($p < .05$), followed by .34 for motor function to living function. From the results of multi-group analysis, the measurement invariance model indicated the highest goodness of fit indices (TLI = .968, CFI = .977). It was concluded that the hierarchical causal relation was among muscle, motor and living functions, and in which muscle function was consisted of 3 sub-domains.

(Jpn. J. Phys. Fitness Sports Med. 2003, 52 Suppl : 213~224)

key word : functional fitness, physical fitness, activities of daily living (ADL),
 structural equation modeling, factor invariance

¹⁾ 筑波大学体育科学系,
 〒305-8574 茨城県つくば市天王台1-1-1

²⁾ 筑波大学大学院体育科学研究科, 同上

³⁾ 筑波大学大学院体育研究科, 同上

⁴⁾ 筑波大学大学院人間総合科学研究科,
 同上

⁵⁾ 日本女子体育大学
 〒157-8565 東京都世田谷区北烏山8-19-1

⁶⁾ 早稲田大学人間科学部
 〒359-1192 埼玉県所沢市三ヶ島2-579-15

*Institute of Health and Sport Sciences, University of Tsukuba 1-1-1,
 Tennodai, Tsukuba 305-8574 JAPAN*

*Doctoral Program of Health and Sport Sciences, University of Tsukuba,
 Same above*

*Master's Program in Health and Physical Education, University of
 Tsukuba, Same above*

*Graduate School of Comprehensive Human Sciences, University of
 Tsukuba, Same above*

Japan Women's College of Physical Education 8-19-1

Kitakarasuyama, Setagaya, Tokyo 157-8565 JAPAN

*School of human sciences, Waseda University 2-579-15 Mikajima,
 Tokorozawa, Saitama 359-1192 JAPAN*

I. 緒 言

人口の高齢化が進展し, 2020年には4人に1人が65歳以上という超高齢化社会になると見積もられている¹³⁾。社会状況において, 高齢者が自ら社会貢献をするプロダクティビティ (productivity) の概念が重要性を増してきている。柴田²⁸⁾は, 高齢者におけるプロダクティビティの向上は1984年に世界保健機構 (WHO)³⁴⁾が定義した「生活機能における自立」という健康概念のような自己完結的幸福のみならず, 生活の質 (quality of life: QOL) を高めるうえで大きな意義があると指摘している。また, 高齢者の社会参画活動を促進し, プロダクティビティを向上させるための基本的要件として, 「生きがいつくり」と「健康つくり」を一体化し, 身体機能に支えられた生活機能を維持増進する健康推進生活を実現することの重要性が指摘されている¹³⁾。つまり, 高齢期における健康で生きがいのある健康推進生活を規定する生活機能とその維持増進のための基礎となる身体機能の関係性を解明することは, 高齢者の健康推進生活を実現し, 社会参画を促進させる施策を打ち出すための一助となる重要な知見と考えられる。

生活機能とその基礎となる身体機能との間の因果関係について, 多変量データを用いて総合的に検証した研究が報告されている^{21, 29, 30)}。西嶋²¹⁾は質問紙テストを用いて体力と健康生活行動との間の因果関係を検証し, 体力から日常生活動作に対して高い因果係数が得られたことを報告した。また, 重松ら²⁹⁾は連続上腕屈伸, 豆運び, 8の字歩行, ファンクショナルリーチを用い, 標準的な日常生活動作よりも高度な身体能力に相当する体力 (身体機能) と質問紙により測定される日常生活における自立度の因果関係を検証し, 高い身体機能が日常生活における自立度に貢献することを報告した。

江橋ら⁵⁾, 沢井ら^{26, 27)}は筋機能と日常生活動作を用いたパフォーマンステストから測定される運動機能との関係を検証した。種田ら³¹⁾は筋機能と歩行能力との関係性を検証した。金ら¹⁰⁾は, 高齢者の転倒を防止するために要求される歩行能

力を規定する主要因が筋量であることを示唆した。これらの研究では, 高齢者の自立した生活機能に要求される身体機能を分析する立場から, 歩行能力や日常生活動作の運動機能とその基礎となる筋機能との関係性を解明している。また, 福永⁶⁾, 財団法人健康・体力づくり事業団³⁶⁾は, 加齢に伴う筋機能の低下は姿勢の悪化, 腰痛や骨粗鬆症などの疾患を誘発し, 寝たきり老人の増加を引き起こす可能性が大きいことを報告した。これらの研究成果から, 高齢者の自立した生活機能を維持増進することを目的とした体力づくりの立場では, 運動機能とその基礎となる筋機能の向上が身体機能向上の主要因であることが認識される。

これらの研究報告から, 生理的指標により測定される筋機能, 体力テストなどのパフォーマンステストにより測定される運動機能, および自立した日常生活動作尺度により測定される生活機能との間における関係性を総合的に捉えることで, 筋機能, 運動機能, 生活機能との間に存在する階層的な因果関係性を解明することが可能であると思われる。以上のことを踏まえて, 本研究では筋機能指標, 体力テスト, 日常生活動作に関する多変量データに構造方程式モデリング (共分散構造分析) を適用して, 筋機能, 運動機能, 生活機能間の階層的因果構造モデルを検証することを目的とした。

II. 方 法

A. 標 本

対象者は茨城県大洋村に在住している60歳以上の在宅中高齢者, 男性32名 (66.9±7.7歳), 女性71名 (65.2±6.5歳), 計103名 (65.7±6.9歳) であった。対象者の身体特性は表1に示されている。対象者には本研究の目的および測定内容を十分に説明し, 研究参加の承諾を得た。本研究プロジェクトは筑波大学体育科学系の倫理委員会の承認を得た。

B. 手続き

筋機能, 運動機能, 生活機能との間の因果関係を検証する手続きは, 以下の手順で行った。①仮

説モデルの構築, ②測定項目の選定, ③筋機能における測定項目の構成概念妥当性および下位領域間の階層的因果構造モデルの検証, ④筋機能, 運動機能, 生活機能の間の階層的因果構造モデルの検証.

C. 仮説モデル

中高齢者における筋機能, 運動機能および生活機能間の因果関係性を検証するために, 先行研究を手掛かりとして図1に示されるような階層的因果関係を仮説モデルとして設定した. 久野ら^{15~17)}は中高齢者における筋量低下と生活習慣との関係性を報告し, 西嶋ら^{23,24)}は中高齢者の体力は筋力, 筋パワーの影響を大きく受けていることを報告している. 高齢期では歩行能力に代表される運動機能は自立した生活機能を維持増進するための基礎となり, 筋機能は全身を使った巧みで安全な運動機能を維持増進するための基礎となることから, 筋機能, 運動機能, 生活機能の階層的な因果関係を仮説モデルに設定した. 久野ら^{15~17)},

福永⁶⁾に言及して筋機能を構成する下位領域を筋量, 筋力, 筋パワーと仮定した. 運動機能は西嶋ら^{23,24)}に言及して歩行能力領域とその基礎となる筋力・筋パワー領域から構成されていると仮定した. 生活機能は金ら¹¹⁾に準拠して移動系, 上肢操作系, 手指操作系, 姿勢変換系の4下位領域から構成されていると仮定した.

構造方程式モデリングの枠組みで, 概念的因果構造モデル(図1)に基づいて図2に示される多重指標モデルによる階層的因果構造モデルと, 図3に示される歩行能力に大きく関与すると仮定される測定項目間の階層的因果関係を表現するシンプレックス構造モデルを構築した. また, 筋機能は筋量, 筋力, 筋パワーの3下位領域から構成され, これらの領域間の階層性に基づいて因果構造モデルを構築した.

D. 測定項目

Bembem et al.¹⁾, 福永⁶⁾, 久野¹⁴⁾, McDonagh et al.¹⁹⁾の研究では, 加齢に伴う筋機能の変化は上肢に比べて下肢の方が著しいことを報告していたことから, 下肢の筋量, 筋力, 筋パワーから筋機能を測定した. 運動機能はパフォーマンステストによる体力テストを用いて測定し, 日常生活動作質問紙を用いて生活機能を測定した.

1. 筋 量

Magnetic resonance imaging(MRI)装置(Signa, GE社製)を用いて筋横断画像を撮影し, NIH imagingを用いて筋横断面積を測定した. 測定部位は大腰筋, 大腿四頭筋, ハムストリングを構成する大腿二頭筋, 半腱様筋, 半膜様筋, 内転筋群の大内転筋, 短内転筋, 長内転筋であった. 仰臥位で腸骨稜点を確認し, 腸骨稜点における大腰筋横断面積を測定し, 左右の大腰筋横断面積を合算した. 大腿部伸筋群および屈筋群では右脚の大転子と頸骨々頭の外側顆間

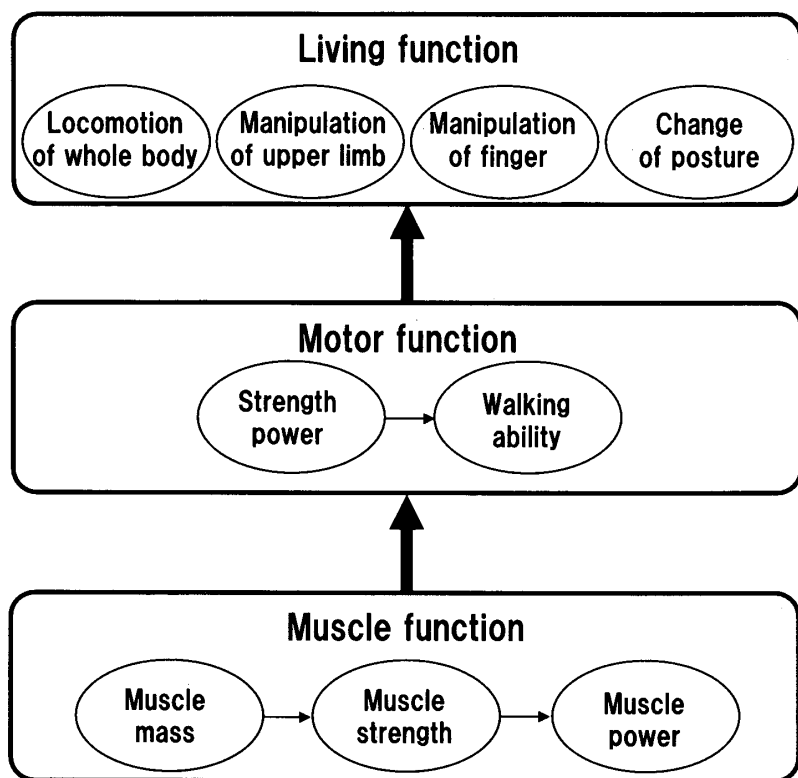


Figure 1. Hypothesized model among muscle, motor and living functions.

結節を同定し, 近位方向へ50%の距離にあたる部位の筋横断面像を撮影した. 各筋群の横断面積は大腿四頭筋を大腿部伸筋群, ハムストリングと内転筋群を大腿部屈筋群として算出した.

2. 筋力

関節トルクメータ(VINE社製)を用いて, 股関節屈曲, 膝関節伸展, 膝関節屈曲の等尺性随意最大筋力(maximum voluntary contraction: MVC)を測定した. 対象者は椅座位で股関節および膝関節を90°屈曲位固定され, 筋力を測定した. 力はひずみゲージ式変換器(LUR-A-500 NSA 1, 共和電業)により計測した. 検出された力に関節の回転中心からひずみゲージ式変換器までの距離を乗じてトルクに換算した. 各対象者ともに右脚のみを2回測定し, 最良値を採用した.

3. 筋パワー

歩行パワー, 走行パワーおよび脚伸展パワーを測定した. 歩行パワーは歩行中に, 走行パワーは走行中に発揮されるパワーであると定義した. 自走式トレッドミルをベースとした走エルゴメータ(コンビ社製)上で, 最大努力での歩行および走行を行い, 速度が定常に達した6歩分を用いて, 最大速度時に発揮されたパワーを測定した.

脚伸展エルゴメータ(アネロプレス3500, コンビ社製)を用いて, 脚伸展パワーを測定した. 対象者は椅座位膝屈曲位からフットプレートを両足で伸展させ, 伸展開始から0.1~0.3秒間に発揮された最大パワーを測定した. 各対象者に5回試技を行わせ, 最高値を採用した. 得られた最大パワーを体重で除して分析に用いた.

4. 体力

筋機能と生活機能との間の階層的因果関係性を考慮して, 運動機能の下位領域として筋力と歩行能力の2領域を仮定した. 筋力領域のテストとして握力と上体起こしを実施し, 歩行能力領域のテストとして10m障害物歩行と6分間歩行を実施した. 測定方法は文部科学省新体力テスト(65歳~79歳対象)に準拠した²⁰⁾. 医師による問診と血圧測定の後, 20分間のウォーミングアップを実施し, 上体起こしと6分間歩行は1回のみ測定し, 他のすべて項目は2回測定し, 最良値を採用した.

但し, 測定の安全性に留意し, 2回目の測定実施は対象者の自発的意志に基づいて実施した. 測定は屋内で実施した. 6分間歩行はフロアマット上の50m直線歩行路にて実施した. 上体起こしは頭部保護のために枕を使用し, ストレッチマット上で実施した.

5. 日常生活動作

WHOのテクニカルレポート³⁴⁾では, 生活機能は生活を自立して営むための機能や能力であると定義されており, 身体的生活機能, 精神的生活機能, 社会的生活機能から構成される. 財団法人明治生命厚生事業団³⁷⁾では同様な立場から, 身体的生活機能が低いレベルで維持されることが社会的生活機能および精神的生活機能を亢進させると定義している. これらの定義に言及して, 生活機能は身体的生活機能に相当する概念であると仮定した.

金ら¹¹⁾は, 高齢者が日常生活において成就が困難と感じる動作および日常生活に必要とされる500以上の諸動作に基づいて尺度を構成し, 信頼性および妥当性を検証し, 日常生活活動能力質問紙を標準化した. これを改良した質問紙²³⁾を用いた. 質問項目は移動系, 上肢操作系, 手指操作系, 姿勢変換系の4領域ごとに各4問, 計16問から構成し, 4件法回答形式を用いて, 「十分にできる」を4点, 「まあできる」を3点, 「あまりできない」を2点, 「まったくできない」を1点として分析した.

E. 統計解析

構造方程式モデリング(structural equation modeling: SEM)^{3,7,9,12,18)}を用いて仮説された因果構造モデルを検証した. 観測変数(測定項目)間の相関行列はピアソンの積率相関係数により算出した. まず, 検証的因子モデルを用いて筋機能を構成する3下位領域のテスト項目の構成概念妥当性を検証した. 次に, 筋機能を構成する3下位領域の二次因子構造モデルを検証した. 続いて, 多重指標モデルを用いて筋機能を構成する3下位領域間の因果構造モデルを検証した. 筋機能測定項目の構成概念妥当性を考慮し, 各下位領域にお

ける最も大きなパス係数を示した観測変数(テスト項目)を選択して多重指標モデルを構築し、筋機能、運動機能、生活機能間の階層的因果構造モデルを検証した。最後に、階層的因果構造モデルの因子不変性を検証するために男女集団間での多母集団同時分析を行った。

因子不変性は複数の測定項目に關与する因子構造が母集団によらず一致していることを示す。因子不変性水準は数段階に区分される。Bentler²⁾に言及して、集団間で存在する全てのパスの位置が一致したモデルが適合する配置不変、集団間で配置不変が成立し、かつ、パスの因子負荷量がすべて等しいモデルが適合する測定不変、集団間で測定不変が成立し、かつ、因子の分散共分散が同一のモデルが適合する強因子不変、および集団間ですべてのパラメータが同一のモデルが適合する厳格な因子不変の4水準を設定した。

観測された分散共分散行列から推定される分散共分散行列が一意に定まることをモデルの識別性が確保されたと表現する³⁵⁾。モデルの識別性を確保するために、独立変数である潜在変数の分散、従属変数である潜在変数から観測変数へのパスのうち1つ、ならびに誤差変数から観測変数への各パスをそれぞれ1に拘束した。

これらのモデルにおけるパラメータ推定には、構造方程式モデリングの応用的研究において最も多く利用されている最尤法を用いた³²⁾。モデルの妥当性は、測定値から得られる分散共分散(相関)構造とモデルから推定される分散共分散(相関)構造のくいちがいの程度を示すモデル適合度指標から検討される。適合度指標は、標本数に依存せずにモデルの評価が可能なGFI(Goodness of fit index)、観測変数間に相関を仮定しないモデルを比較対照としてモデルを評価するNFI(Normed fit index)、NFIの標本数が少ない場合に過小評価する欠点を修正したTLI(Tucker-Lewis index)、NFIの欠点とTLIの0から1の値をとらないという欠点を解消したCFI(Comparative fit index)、モデルの複雑さによる見かけ上の適合度の上昇を調整するRMSEA(Root mean square error of approximation)および複数

のモデル間の相対的な比較をする際に有効なAIC(Akaike information criterion)を用いて、総合的にモデル適合度を判定した^{4,8,32,33)}。GFI, AGFI, NFI, CFIは1に近いほど適合が良いことを示し、経験的に0.90以上、あるいは厳格な判定基準では0.95以上がモデル採択基準として推奨される。RMSEA, AICは値が小さいほど適合が良いことを示す。RMSEAは0.08以下あるいは厳格な判定では0.05以下で適合度が良好であると判定する。

パス係数、相関(共分散)および分散の有意性の検定には一変量ワルド検定(Amos 4.0J)を用いた。ワルド検定はパス係数の絶対値が標準正規分布の上側2.5%点である1.96以上のときに5%水準で有意となり、パス係数や相関係数がゼロであるという仮説が棄却される。モデル修正では、統計的有意性に基づいて変数間のパスおよび相関(共分散)を削除し、修正指標(Amos 4.0J)の大きさと変数間の内容的妥当性に基づいて変数間のパスおよび相関(共分散)を追加した。修正指標は、相関やパスを仮定していない変数間に相関やパスで仮定した場合のカイ2乗値の有意な減少箇所を示す³²⁾。また、GFIを中心とした適合度指標を用いてモデル修正の効果を確認した。統計的有意水準はすべて5%とした。修正指標に言及して、初期モデルの誤差変数間に相関を仮定することでカイ2乗値が有意な減少を示すモデルの中で、内容的に解釈可能であり有意性の確認された相関を追加したモデルを最終モデルとした。

以上の統計解析には、Windows版SPSS 11.0JおよびAmos 4.0Jを使用した。Amos 4.0Jでは相関(共分散)関係は2変数間の双方向矢印で記述する。原因変数から結果変数へのパスは因果関係を仮定しており、単方向矢印で記述する。影響の程度を示す統計量であるパス係数は矢印上に示され、(偏)回帰係数に相当する。潜在変数を楕円、観測変数を長方形で表す。検証的および二次因子構造モデルでは楕円から長方形へのパス係数は因子負荷量に相当する。双方向矢印上の値は標準解では変数間の相関係数、非標準解では共分散を示す。これらのルールにしたがって描写された因果

構造モデルをパス図という^{8,9)}。

Ⅲ. 結 果

A. 筋機能項目の妥当性

表1は, 対象者の身体特性ならびに測定項目の平均値および標準偏差を示している. 文部科学省新体力テストに含まれる4項目において, 上体起こしを除いた3項目が, 同年代の全国平均値 ± 1 標準偏差の範囲内にあり, 全国平均値に近似していた²⁰⁾. また, 生活機能を測定する手指操作系得点を除いたすべての測定値において男性が女性に比べて優れた値を示し, ほとんどの項目で統計的に有意な性差が認められた ($p < 0.05$).

表2は, 筋機能を測定する9項目における構造方程式モデリングによる検証的因子分析, 二次因子分析, 因果構造分析の結果を示している. 表中に示された数値はすべて統計的に有意であった ($p < 0.05$).

表3は筋機能領域における検証的因子構造モデル, 二次因子構造モデル, 因果構造モデルの各最終モデルにおける適合度指標を示している. NFI = 0.954, CFI = 0.986と0.95以上, RMSEA = 0.063と0.08以下であり, いずれもモデル容認基準を超える適合度を示し, モデルは採択された. 因子(潜

在変数)から9つの測定項目(観測変数)へのパス係数は0.53~0.91の範囲, 潜在変数間の相関係数は0.67~0.83の範囲にあり, 全体的に有意な中等度から高いパス係数が得られた.

B. 筋機能下位領域間の因果構造

検証的因子分析結果における潜在変数(因子)間の相関係数の大きさに基づいて, 筋量, 筋力, 筋パワーの3下位領域(一次因子)間に共通に関与する潜在変数(二次因子)として筋機能を配置した二次因子構造モデルを仮定した. 構造方程式モデリングによる二次因子分析の結果, モデル適合度指標はNFI = 0.954, CFI = 0.986と0.95以上, RMSEA = 0.063と0.08以下であり, いずれもモデル容認基準を超える適合度を示し, モデルは採択された(表3). 二次因子の筋機能から一次因子の筋量, 筋力, 筋パワーへのパス係数は0.78~0.97と有意に高い範囲の値を示した(表2).

筋機能を構成する3下位領域における階層的因果構造モデルを分析した結果, モデル適合度指標はNFI = 0.954, CFI = 0.987と0.95以上, RMSEA = 0.059と0.08以下であり, いずれもモデル容認基準を超える適合度を示し, モデルは採択された. 相対的なモデル評価指標であるAICが77.187と

Table 1. Means, standard deviations.

Domain	Sub domain	Variable	Unit	Male		Female	
				Mean	SD	Mean	SD
Muscle function	Muscle mass	Psoas major CSA	cm ²	18.0	4.7	11.2	2.6 *
		Extensor CSA	cm ²	50.5	7.8	39.8	5.5 *
		Flexor CSA	cm ²	51.4	9.8	41.1	5.4 *
	Muscle strength	Knee extension	Nm	122.0	39.3	84.5	22.7 *
		Knee flexion	Nm	58.6	20.1	38.0	11.3 *
		Hip joint flexion	Nm	292.8	90.3	212.6	58.2 *
	Muscle power	Running power	w/kg	2.5	1.0	1.8	0.5 *
		Walking power	w/kg	1.4	0.6	1.2	0.3 *
		Leg extension power	w/kg	14.0	4.5	9.4	2.9 *
Motor function		Grip strength	kg	35.9	7.7	23.7	4.4 *
		Sit-ups	reps	19.2	6.6	11.7	5.6 *
		10m hurdle walk	s	6.4	1.1	7.2	1.1 *
		6 min walk	m	594.7	58.5	587.2	55.7
Living function		Locomotion of whole body	pts (1-16)	13.9	2.3	12.7	2.3 *
		Manipulation of upper limb	pts (1-16)	14.8	1.6	14.3	2.0
		Manipulation of finger	pts (1-16)	14.3	1.8	14.8	1.9
		Change of posture	pts (1-16)	14.4	2.2	14.2	2.2
Physique		Height	cm	162.3	6.3	150.8	5.4 *
		Weight	kg	61.4	8.1	54.1	6.7 *
Age			yr	66.9	7.7	65.2	6.5
N				32		71	

Note. CSA = cross-sectional area ; pts = points ; * : $P < 0.05$.

Table 2. Factorial structure of muscle function for the elderly people in CFA, SFA and Multiple indicator models : standardized solution.

CFA model				
Variable (n=103)	Factor loadings			Correlated uniqueness ^a
	Muscle mass	Muscle strength	Muscle power	
Psoas major CSA	0.80	0	0	0.47
Extensor CSA	0.91	0	0	0.53
Flexor CSA	0.70	0	0	
Knee extension	0	0.93	0	
Knee flexion	0	0.78	0	0.24
Hip joint flexion	0	0.69	0	0.38
Running power	0	0	0.55	0.46
Walking power	0	0	0.53	
Leg extension power	0	0	0.90	
Factor correlations				
Factor	F1	F2	F3	
Muscle mass	1			
Muscle strength	0.83	1		
Muscle power	0.67	0.76	1	
SFA model				
Causal effects	Path coefficients			
	Muscle mass	Muscle strength	Muscle power	
Muscle function	0.86	0.97	0.78	
Multiple indicator model				
Causal effects	Path coefficients			
	Muscle mass	Muscle strength	Muscle power	
Muscle mass		0.84		
Muscle strength			0.77	

Note. CSA=cross-sectional area ; CFA=confirmatory factory analysis ; SFA=second order factor analysis.

a : The five correlated uniquenesses posited are between psoas major CAS and Flexor CSA, extensor CSA and walking power, psoas major CSA and knee flexion, hip joint flexion and leg extension power, running power and walking power.

Table 3. Goodness of fit indices of muscle function models.

Model	χ^2	df	GFI	NFI	TLI	CFI	RMSEA	AIC
CFA	26.803	19	0.943	0.954	0.973	0.986	0.063	78.803
SFA	26.803	19	0.943	0.954	0.973	0.986	0.063	78.803
Multiple indicator	27.187	20	0.942	0.954	0.976	0.987	0.059	77.187

CFA=confirmatory factory analysis ; SFA=second order factor analysis ; GFI=goodness-of-fit index ; NFI=normed fit index ; TLI=Tucker-Lewis index ; CFI=comparative fit index ; RMSEA=root mean square error of approximation ; AIC=akaik information criterion.

検証的因子分析結果および二次因子分析結果と比較して低い値を示し, モデル適合度が最良であった(表3). 潜在変数間のパス係数は, 筋量→筋力が0.84, 筋力→筋パワーが0.77といずれも有意に高い値を示した(表2).

男女2集団における多母集団同時分析の結果, 配置不変水準における適合度指標は TLI=0.914, CFI=0.950と0.90以上であり, モデルの容認基

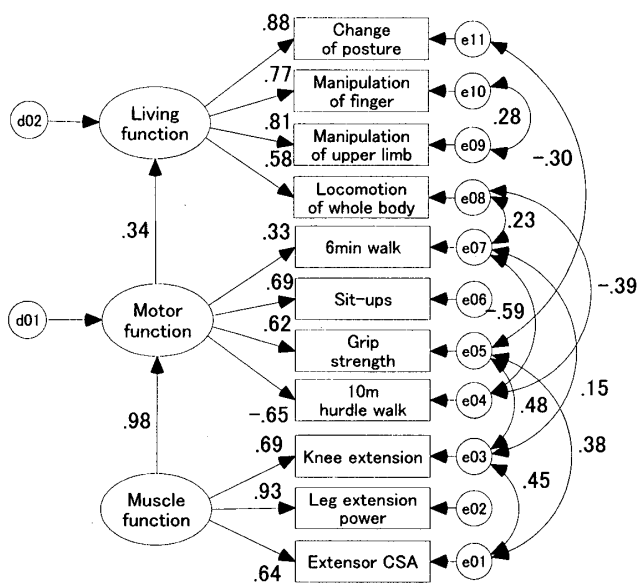
準を超える適合度を示した. 他の因子不変水準では容認基準を超える適合度を示さなかったことから, 配置不変水準の因子不変性が採択された. 各潜在変数から観測変数へのパス係数の中で最も高いパス係数を示したのは, 男女とも, 大腿部伸筋群, 膝関節伸展, 脚伸展パワーであった.

C. 筋機能, 運動機能, 生活機能間の因果構造

図2は, 筋機能, 体力, 生活機能間の階層的因果構造モデルの分析結果を示している. 適合度指標は $GFI=0.924$, $NFI=0.928$, $CFI=0.978$ は0.9以上, $RMSEA=0.061$ と0.08以下であり, いずれもモデル容認基準を超える適合度を示し, モデルは採択された. 潜在変数間のパス係数は有意であり, 筋機能→体力が0.98, 体力→生活機能が0.34を示した.

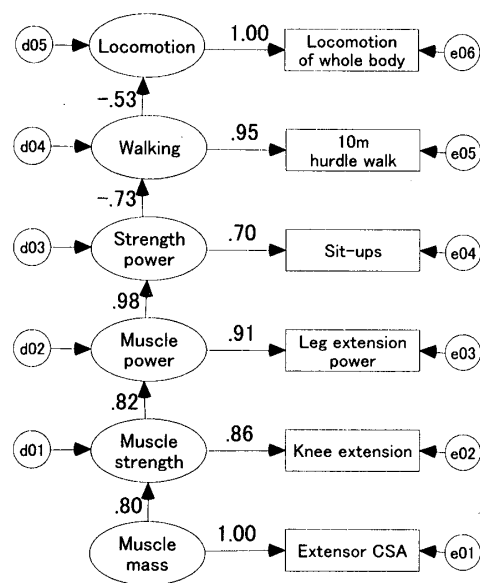
男女2集団における多母集団同時分析の結果, 測定不変水準における適合度指標は $TLI=0.968$, $CFI=0.977$ と0.95以上であり, モデルの容認基準を超える適合度を示した. モデルの相対的評価指標である AIC は配置不変水準で194.963, 強因子不変水準で195.053であり, 測定不変水準で193.494と最低値を示した. いずれもモデル容認基準を超える適合度を示し, 測定不変水準の因子不変性が採択された. 潜在変数間には有意なパス係数が得られ, 男女集団間に有意差は認めなかった.

図3は, 筋機能, 運動機能, 生活機能の中で歩行能力に大きく関与すると仮定される諸領域を代表する測定項目から構成されたシンプレックス構造



$GFI=.924$ $NFI=.928$ $TLI=.965$ $CFI=.978$
 $CHI-SQ=47.030(P=.068)$ $RMSEA=.061$ $AIC=111.030$

Figure 2. Causal structure among muscle, motor and living functions.



$GFI=.979$ $NFI=.974$ $TLI=1.000$ $CFI=1.000$
 $CHI-SQ=6.944(P=.435)$ $RMSEA=.000$ $AIC=34.944$

Figure 3. Simplex structure among sub-domains of muscle, motor and living functions.

造モデルである. 適合度指標は $GFI=0.979$, $NFI=0.974$, $CFI=1.000$ と0.95以上であり, $RMSEA=0.000$ と0.05以下であり, いずれもモデル容認基準を超える適合度を示し, モデルは採択された. 潜在変数間には有意な中等度から高いパス係数が得られ, 伸筋断面積→膝伸展筋力が0.80, 膝伸展筋力→脚伸展筋パワーが0.82, 脚伸展筋パワー→上体起こしパフォーマンスが0.98, 上体起こしパフォーマンス→10 m 障害物歩行パフォーマンスの絶対値が0.73, 10 m 障害物歩行パフォーマンス→日常生活での移動系動作得点の絶対値が0.53であった.

男女2集団における多母集団同時分析の結果, 強因子不変水準における適合度指標 $TLI=0.936$, $CFI=0.958$ と0.90以上であり, モデルの容認基準を超える適合度を示した. モデルの相対的評価指標である AIC は配置不変水準で71.030, 測定不変水準で73.959であったのに比較して, 強因子不変水準で70.617と最低値を示した. いずれもモデル容認基準を超える適合度を示し, 強因子不変水準の因子不変性が採択された.

Ⅳ. 考 察

高齢期における要介護および寝たきりを予防し、自立した生活行動を維持することは、地域における社会活動によるプロダクティビティを維持増進させるとともに、市町村における医療経済的効果を拡大することが期待される。このために、市町村行政やスポーツクラブでは様々な運動プログラムを提供してきている。高齢者の生産的社会生活や自立した健康生活機能を維持増進するためには、高齢者における歩行能力に代表される運動機能の維持増進、その基礎となる全身持久性、筋力、柔軟性、身体組成などの健康関連体力や身体機能の維持増進が要求されると考えられる。本研究ではこのような立場における科学的根拠を得るために、筋機能、運動機能、生活機能間の因果関係性を検証することを試みた。

しかしながら、多くの場合には筋機能は実験室にて測定され、運動機能はパフォーマンステストを用いて測定され、生活機能は質問紙調査によって測定される。測定方法、単位、尺度特性の異なる多変量データには誤差が影響して相関関係が希薄化するために、回帰分析などでは因果関係の検証が困難である場合が多い。構造方程式モデリングは誤差変数と潜在変数を導入することで、相関係数の希薄化の問題を解決している。加えて、統計的仮説検定を伴う分散共分散(相関)行列に基づいたモデリング技法であり、因果構造モデルの適合性と算出されたパラメータおよび平均値差の有意性を検定することができる。これにより、多変量データから推定される潜在変数間の関係性が推測統計学的に検証される。そこで、構造方程式モデリングの枠組みにおいて測定項目(観測変数)間の共分散(相関)を手掛かりとして、筋機能を測定する9項目の構成概念妥当性を検証した上で、筋機能、運動機能、生活機能間および諸下位領域を代表する測定項目間の階層的因果構造(シンプレックス構造)モデルを検証した。

3下位領域9測定項目から構成された筋機能の検証的因子構造モデルは、表2および表3に示されるように、モデル採択基準を越える良好なモデル適合度が得られ、採択された。潜在変数から観測変数へのパス係数はすべて有意な中等度以上であり、少なくとも1つの測定項目(観測変数)は0.90以上であったことから、筋機能の9測定項目の構成概念妥当性が検証された。検証的因子構造モデルにおいて3つの潜在変数間に中等度から高い有意な相関関係が得られた。この結果は、筋量、筋力、筋パワーの3下位領域(一次因子)の上位に二次因子である筋機能が存在する可能性、ならびに3下位領域間の因果関係が存在する可能性を示すものであった。

筋機能の二次因子構造モデルは、表2および表3に示されるように、モデル採択基準を越える良好なモデル適合度が得られ、採択された。二次因子の筋機能から一次因子の筋量、筋力、筋パワーへは有意な中等度から高いパス係数を示したことから、筋機能とその下位領域である筋量、筋力、筋パワーの構成概念間の妥当性が検証された。

筋機能の3下位領域間における筋量→筋力→筋パワーの階層的因果構造モデルは、表2および表3に示されるように、モデル採択基準を越える良好なモデル適合度が得られ、採択された。モデル適合度指標AICが検証的因子構造モデルと二次因子構造モデルの中で最低値を示したことと、下位領域間に中等度から高い有意なパス係数が得られたことから、筋量→筋力→筋パワーの階層的因果構造が検証された。この階層的因果構造モデルでは男女集団ともに配置不変性水準の因子不変性が確認された。これらの結果から、中高齢者の歩行能力の基礎となる下肢の筋パワーは大腿筋群および大腰筋群の筋横断面積や容積に大きく依存していることが確認された。しかし、男女集団間には同一の因果構造を仮定できるものの、関係性の程度に違いがある可能性が示された。

検証的因子構造は仮定された測定(方程式)モデルの妥当性を示し、二次因子構造は仮定された構造(方程式)モデルの妥当性を示す。すなわち、構造方程式モデリングによる検証的因子分析と二次因子分析の結果は、図1に示されるような筋機能領域の概念的仮説構造に対して内容的妥当性に基づいて構成された9測定項目が妥当であることを示す。

検証的因子構造は仮定された測定(方程式)モデルの妥当性を示し、二次因子構造は仮定された構造(方程式)モデルの妥当性を示す。すなわち、構造方程式モデリングによる検証的因子分析と二次因子分析の結果は、図1に示されるような筋機能領域の概念的仮説構造に対して内容的妥当性に基づいて構成された9測定項目が妥当であることを示す。

示した。

続いて, 構成概念妥当性が確認された複数の測定項目を用いて, 筋機能, 運動機能, 生活機能の間に見られる階層的な因果構造モデルを検証した。種田ら³¹⁾は, 60歳以上の在宅高齢者917名を対象に下肢の最大筋パワーと起居動作や移動動作に関連したパフォーマンステストを測定し, それらの項目間の相関係数の絶対値は, 男性で0.35~0.50, 女性で0.47~0.55であったと報告した。江橋ら⁵⁾は, 高齢者において筋厚と日常の起居動作能力に関連性があることを報告した。図2に示されるように, 筋機能→運動機能へのパス係数は0.98と有意な非常に高い値を示した。筋機能では脚伸展パワー, 運動機能では上体起こしや10m障害物歩行が有意に高いパス係数を示し, 先行研究を指示する結果が得られた。

また, 筋機能→運動機能→生活機能の階層的因果構造モデルが採択され, 測定不変水準の因子不変性が確認された。男女集団間における因果構造の相違は認められなかった。これらの結果から, 筋機能は運動機能を介して生活機能に影響を与えることが確認され, 図1に示された仮説構造モデルが検証された。つまり, 高齢期における自立した生活機能の維持増進のためには運動機能を向上させることが要求され, 運動機能の維持増進のためには筋機能の向上が要求される。そして, 筋機能の維持増進のためには筋量の向上が要求されることを示している。

加えて, 下位領域を代表する測定項目に注目して, 筋機能→運動機能→生活機能間の階層的因果関係に基づいて, 日常生活における移動能力に関与する諸階領域の測定項目間の階層的因果構造型モデルを検証した。歩行能力に基礎的に関与すると仮定された下位領域を代表する測定項目から構成されたシンプレックス構造モデルでは, 男女集団間における潜在変数間の関係性を等値とする強因子不変性水準の因子不変性が検証された。この結果は, 歩行能力に関与する下肢伸筋の筋量, 下肢伸筋の筋力, 下肢伸筋の筋パワー, 上体起こしの筋力・筋パワー, 10m障害物歩行の歩行能力, 日常生活での移動動作能力間の階層的因果関係性

は性別に関わらず同一であり, 下肢筋量の向上が日常生活における歩行能力の向上に影響を与えることを示している。

シンプレックス構造は, 一般的に必要とされる知識の範囲が階層的に増加していく一連のテスト項目の横断的データなどの相関行列に観察される³²⁾。図3に示される形式のモデルは, 潜在変数を導入することによって誤差の影響を取り除いた準シンプレックス構造モデルである。歩行能力に大きく関与すると仮定された7下位領域の観測変数(測定項目)間における準シンプレックス構造モデルでは, 有意な中等度から高いパス係数が得られた。この結果から, 中高齢者の日常生活における安全で巧みな歩行を支える筋機能および運動機能は, 下肢伸筋の筋量, 筋力および筋パワー, 上体起こしが測定する筋力・筋パワー, 10m障害物歩行が測定する歩行能力であり, これらは階層的因果関係にあることが示された。

下肢伸筋の筋断面積, 膝伸展筋力, 脚伸展筋パワー, 上体起こしおよび10m障害物歩行パフォーマンス間の階層的因果関係から, 中高齢者における歩行能力の維持増進のためには大腿部および腸腰部筋群の維持増進が大きな効果を与えることが示唆される。中高齢者を対象とする運動教室などにおいて, 楽しく継続して行える簡易な運動課題プログラムにより大腿部および腸腰部筋群の維持増進させることと, 日常生活における歩行活動量を確保することが, 高齢者の歩行能力の維持増進に効果的であることが推測される。

上体起こし運動では歩行能力の基礎となる大腿部および腸腰部筋群の筋力・筋パワーが総合的に発揮されていることから, 上体起こしは歩行能力の基礎となる筋力・筋パワーの簡易測定項目として妥当であることが推察される。同様に, 10m障害物歩行運動では日常生活での移動動作に要求される大腿部および腸腰部筋群の筋力・筋パワーが総合的に発揮されていることから, 10m障害物歩行テストは歩行能力の簡易測定項目として妥当であることが再確認された。

以上のように, 本研究では60歳以上の在宅高齢者103名(65.7±6.9歳)を対象に, 9項目の筋機能

測定, 4項目の体力テスト, 16項目の日常生活動作調査を実施し, 得られた多変量データに対して構造方程式モデリングを適用して, 筋機能→運動機能→生活機能間の階層的因果構造モデルを検証した. しかしながら, 自発的な参加者による標本には男女構成比率に偏りがあり, 標本による研究の限界として結論の一般化に制限を与える要因のひとつであると考えられる. 後期高齢者ならびに高齢低体力者を標本に追加し, 因果構造モデルを再検討することが今後の課題として残されていると考えられる.

V. ま と め

本研究の目的は, 構造方程式モデリングを適用して筋機能, 運動機能, 生活機能の因果構造モデルを検証することであった. 対象者は在宅中高齢者103名(65.7±6.9)であり, 筋横断面積3項目, 最大筋力3項目, 筋パワー3項目, 体力パフォーマンステスト4項目, 日常生活動作質問紙16項目の測定を実施した. 筋機能領域の筋量, 筋力, 筋パワー間, および筋機能, 運動機能, 生活機能間に, それぞれ階層的因果構造モデルを仮定した. 多変量統計解析の手続きは構造方程式モデリングを適用して, a) 検証的因子分析による構成概念妥当性の検証, b) 階層的因果構造モデルの検証, c) シンプレックス構造モデルの検証 d) 男女集団間での因子不変性の検証であった. 筋機能, 運動機能, 生活機能の階層的因果構造モデルは高い適合度を示し, 筋機能から運動機能へのパス係数は有意な .98, 運動機能から生活機能へは有意な .34 であった($p=.05$). 多母集団同時分析では測定不変性水準のモデルが最も高い適合度を示した. これらの結果から, 筋機能, 運動機能, 生活機能間には階層的な因果関係性が存在することが検証された.

本原著に用いた研究成果の一部は, 平成11~16年度に実施される文部科学省科学技術振興調整費(代表村上和雄)により実施されたものである. ここに記して感謝する.

(受理日 平成15年2月10日)

文 献

- 1) Bembem, M. G., Massey, B. H., Bembem, D. A., Misner, J. E., Boileau, R. A. Isometric muscle force production as a function of age in healthy 20- to 74-yr-old men. *Med. Sci. Sports Exerc.*, (1991), **23**, 1302-10.
- 2) Bentler, P. M. EQS structural equations program manual. 1st. Ed., Multivariate software, Encino, CA, (1995).
- 3) Bollen, K. A. Structural equations with latent variables, 1st. Ed., Wiley, New York, (1989).
- 4) Bollen, K. A. and Long, J. S. Testing structural equation models, 1st. Ed., Sage, Newbury Park, (1993).
- 5) 江橋 博, 荒尾 孝, 種田行男, 永松俊哉, 前田明, 西嶋洋子, 青木和江, 高齢者の筋厚と起居動作能力との関係, 体力研究, (1994), **84**, 17-25.
- 6) 福永哲夫. 元気に「貯筋」しようー高齢者の筋肉づくりー, (編著) 岡田守彦, 松田光生, 久野譜也, 高齢者の生活機能改善法, 初版, ナップ, 東京, (2000), 39-45.
- 7) Hoyle, R. H. Structural equation modeling : concepts, issues, and applications, 1st. Ed., Sage, Thousand Oaks, (1995).
- 8) 狩野 裕, グラフィカル多変量解析ー目で見える共分散構造分析ー, 増補版, 現代数学社, 京都, (2002).
- 9) Kelloway, E. K. Using LISREL for structural equation modeling : A research's guide, 1st. Ed., Sage, Thousand Oaks, (1998).
- 10) 金 俊東, 久野譜也, 相馬りか, 増田和実, 足立和隆, 西嶋尚彦, 石津政雄, 岡田守彦, 加齢による下肢筋量の低下が歩行能力に及ぼす影響, 体力科学, (2000), **49**, 589-596.
- 11) 金 禧植, 稲垣 敦, 田中喜代次, 高齢女性の日常生活における活動能力を評価するための簡易質問紙の作成, 体力科学, (1994), **43**, 175-184.
- 12) Kline, R. B. Principles and practice of structural equation modeling, 1st. Ed., Guilford, New York, (1998).
- 13) 厚生省老人保健福祉局福祉振興課. 新しい高齢者社会の創造, 初版, 中央法規出版, 東京, (1997).
- 14) 久野譜也, 生化学から筋力のエイジングの機構を探る, (編著) 山田茂, 福永哲夫, 骨格筋 運動による機能と形態の変化, 初版, ナップ, 東京, (1997), 172-188.
- 15) 久野譜也, 石津政雄, 岡田守彦, 西嶋尚彦, 松田光生, 勝田 茂, 加齢にともなう筋萎縮における個人差と活動量との関係, 小野スポーツ科学, (1997), **5**, 47-55.
- 16) 久野譜也, 勝田 茂, 石津政雄, 赤間 広, 高齢者における筋量と筋力の低下は加齢によるものか不活動によるものか?, デサントスポーツ科学, (1998a), **19**, 175-182.
- 17) 久野譜也, 金 俊東, 石津政雄, 坂戸英樹, 西嶋尚彦, 松田光生, 勝田 茂, 岡田守彦, 加齢に伴

- う骨格筋萎縮とライフスタイルとの関係, 第13回「健康医科学」研究助成論文集, (1998b), 71-77.
- 18) Maruyama, G. M. Basic of structural equation modeling, 1st. Ed., Sage, Thousand Oaks, (1997).
 - 19) McDonagh, M. J., White, M. J., Davies, C. T. Different effects of aging on the mechanical properties of human arm and leg muscles. *Gerontology*, (1984), **30**, 49-54.
 - 20) 文部科学省. 新体力テスト有意義な活用のために, 初版, ぎょうせい, 東京, (2000).
 - 21) 西嶋尚彦, 体力と健康生活行動の因果関係, 保健の科学, (2001a), **43**, 432-437.
 - 22) 西嶋尚彦, 体力の簡易チェック, (編)松田光生, 福永哲夫, 烏帽子田 彰, 久野譜也, 地域における高齢者の健康づくりハンドブック, 初版, ナップ, 東京, (2001b), 98-99.
 - 23) 西嶋尚彦. 健康生活行動の計量分析, (編)大沢清二, スポーツの統計学, 初版, 朝倉書店, 東京, (2000), 125-145.
 - 24) 西嶋尚彦, 市村国夫, 野田洋平, 野田文子, 間野義之, 工藤保子, 小松崎 敏, 榎本恵子, 高倉亜維, 中野貴博, 高橋信二, 生涯スポーツ学習に伴う高齢者の体力と健康・スポーツ生活の変容に関する研究(課題番号09680085), 平成9・10年度科学研究補助金(基盤研究(C))研究成果報告書, (1999).
 - 25) Reuben, D. B., Valle, L. A., Hays, R. D., Siu, A. L. Measuring physical function in community-dwelling older persons: A comparison of self-administered, interviewer-administered, and performance-based measures. *J. Am. Geriatr. Soc.*, (1995), **43**, 17-23.
 - 26) 沢井史穂, 村山光義, 中高年者の筋力トレーニングが日常動作を用いたパフォーマンステストの成績におよぼす影響, 平成6年日本体育協会スポーツ医・科学研究報告 No.Ⅷ中高年者の筋機能向上に関する研究第2報, (1995), 71-84.
 - 27) 沢井史穂, 村山光義, 日常動作を用いての中高年者の上・下肢筋力の評価, 平成5年日本体育協会スポーツ医・科学研究報告 No.Ⅸ中高年者の筋機能向上に関する研究第1報, (1994), 49-60.
 - 28) 柴田 博, 高齢社会の実像, 栄養日本, (1999), **42**, 521-530.
 - 29) 重松良祐, 西嶋尚彦, 小松崎 敏, 金 憲経, 田中喜代次, 在宅高齢女性の身体機能が日常生活における自立度に及ぼす影響, 筑波大学体育科学系紀要, (2001), **24**, 89-96.
 - 30) 鈴木宏哉, 西嶋尚彦, 高齢者の健康推進生活の共分散構造分析, (編)柳井晴夫, 岡太彬訓, 繁樹算男, 高木廣文, 岩崎 学, 多変量解析実例ハンドブック, 初版, 朝倉書店, 東京, (2002), 348-356.
 - 31) 種田行男, 荒尾 孝, 西嶋洋子, 北畠義典, 永松俊哉, 一木昭男, 江橋 博, 前田 明, 高齢者の身体的活動能力(生活体力)の測定法の開発, 日本公衆衛生雑誌, (1996), **43**, 196-207.
 - 32) 豊田秀樹. SASによる共分散構造分析, 初版, 東京大学出版会, 東京, (1992), 57-98.
 - 33) 豊田秀樹. 共分散構造分析〈入門編〉, 初版, 朝倉書店, 東京, (1998).
 - 34) World Health Organization. The uses of epidemiology in the study of the elderly, Report of a WHO Scientific Group on the Epidemiology of Aging, WHO Technical Report Series 706, Geneva, (1984).
 - 35) 山本嘉一郎, 小野寺孝義. Amosによる共分散構造分析と解析事例, 初版, ナカニシヤ出版, 京都, (1999).
 - 36) 財団法人健康・体力づくり事業財団. 科学技術振興調整費 高齢者が自由で自立した生活をおくるための心身の健康増進に関する調査(平成10年度)調査報告書, (1998), 57-122.
 - 37) 財団法人明治生命厚生事業団. 高齢者の健康支援づくり支援ハンドブック生活体力の維持・増進をめざした健康づくり, 初版, 明治生命厚生事業団, 東京, (2001).