

発達心理学における分化仮説の筋力領域での検討

筑波大学体育科学系 市村 操 一

A Testing of Developmental Differentiation Hypothesis in Physical Strength Domain

Souichi ICHIMURA

Correlational structure of strength domain of motor ability was analysed along with aging from school age one to twelve of both sexes. Correlation coefficients of pairs of strength tests were not equivalent across the different age levels, they showed rather systematic transitional changes with aging instead. Correlation coefficients were high in junior high school level and low in senior high school level. Principal component analysis of seven strength tests showed that contribution of the first principal component which corresponds to general factor also changed with aging. The transitional figure of the contribution showed bipolar curve, on which greater values of contribution appear in junior high school level.

Different correlational structure of motor ability at different age levels would lead different factor structures at different age levels, if motor ability test comprised of the greater number of tests would be used for factor analysis. It is also suggested that the factor structure of motor ability test reflected not only the structure of the ability but also developmental aspects of the ability.

本研究は、複数の運動能力テストの成績の間の相関関係が加齢に伴って変化する様相を、多変量統計学の手法を用いて分析し、発達心理学における発達分化仮説の運動能力領域での妥当性を検証しようとするものである。

運動能力の加齢に従う変化の研究は、主として各テストの成績を加齢に従って示す方法によって行なわれてきた。統計学的に言えば単変量的な処理によって能力テストのデータが扱われてきたと言える。

複数の能力テストの関係が加齢に伴って変化する様相を分析する研究は、研究方法が十分に確立されていなかったが、近年いくつかの方法とその応用が示されるようになってきた (Ichimura,

Kaino ; 1975, 市村 ; 1981, 松浦 ; 1982, 市村 ; 1982)。それまでの研究では、運動能力テストの因子分析の結果を並列的に提示し、研究者の主観的考察が述べられるという手段がとられてきた (井上, 松浦 ; 1972)。近年の研究は市村 (1981), 松浦 (1982) らの研究に示されるように、年齢の異なる標本の比較を行う際に、比較する指標を明確に定義し、その定義に数学的表現を与え、それによって客観的でかつ一貫性のある比較を行う方向に進んでいる。

複数の運動能力の関係を調べる方法としては因子分解法が最も頻繁に使われてきた。主成分分析法は因子分解の解法として用いられることはあわただ、本来この方法が持っている数学的特性に

従って解釈されることは少なかった。また、二変数間の相関係数のような簡単な方法も広い年齢幅について適用されることも少なかった。(相関係数を二変量、一因子の因子分析と見做すこともできる)

異なる年齢の標本から得られた因子分析の結果を比較的に検討するようになった背景には、能力テストの因子分析の結果は能力構造を示すと同時に、発達構造をも反映しているのではないかという考え方があった。このことは特に知能構造の研究では早くから問題にされてきた(Garrett; 1946)。

本研究では方法の上では因子分析よりも単純でかつ因子分析法の基礎となる統計的指標(相関係数, 主成分分析の第1成分の貢献度, 一般化分散)を用い、運動能力間の相関関係の総体が増加に伴って変化する証拠と、その変化の様相を示そうとする。この結果は因子分析の結果が能力構造を示すと同時に、きわめて発達に依存した構造を示すことの証拠を与えるであろう。発達に依存する構造の変化が発達心理学における古典的な発達分化仮説に合致するものかどうかの検証は、上記の分析によって行なわれるであろう。

方 法

標本：小学校1年から高校3年までの男子1286名、女子1244名。測定の期間は1972年から1978年にわたっている。データは大部分は横断的に集められた。

テスト項目：運動能力の筋力領域を測定するたむに7項目のテストを選んだ。1, 50m走, 2, 垂直跳, 3, 走り幅跳び, 4, 背筋力, 5, 腹筋力*1, 6, 静止懸垂*2, 7, ハンドボール投げ。この外に参照データとして身長, 体重のデータを用いた。

統計的分析：二変量(能力テスト)間の相関係数を年齢に従って算出し、その変化を観察する。これは因子構造の変化の有無を確かめる最も基本的な方法である。つぎに、7項目のテストデータを規準化した上で主成分分析を行い、第1主成分上の分散の大きさを年齢に従って示す。この処理の意味については考察の部で詳しく論ずる。以上は横断的データの分析法である。横断データから得られた変化の様相を発達のものと解釈することの支持を求めるために、小学校高学年から中学

へかけての縦断的データの分析を加える。縦断的データは三年間の間隔を置いて再テストされたものである。

結 果

運動能力と体位の相関係数および、運動能力テスト間の相関係数の年齢に伴う変化は表1に示される。男子の結果を図式すると図1ようになる。体位を参照データとして用いたのは、信頼性の高いデータであること、多くの因子分析的研究の中に変数として含まれること、多数の運動能力テストと高い相関関係を持つことなどの理由である。この結果を見ると相関係数は各年齢を通して一定の値を保持すると仮定することは困難であると考えられる。むしろ一定の規則性を持った変動を示すと考えたほうがよい。各組合せとも2・3学年と6～9学年に高い値を示す双峰型の年齢推移を示しているように見える。高校1・2年にあたる10・11学年ではほとんどの相関係数は急激な低下を示している。(3-6)の能力テスト間の相関係数の変化も同じようである。数表に示しきれなかった対の相関係数も全体的に同じような変化を示した。(50m走と垂直跳の相関 ①, .565 ②, .460 ③, .471 ④, .623 ⑤, .414 ⑥, .649 ⑦, .599 ⑧, .661 ⑨, .682 ⑩, .429 ⑪, .421 ⑫, .525) (○は学年)

女子においては、相関関係の高くなる時期は男子より約2年ほど早くなっている。8学年(中学2年)以降はほとんどの対で相関係数が明らかに低くなっていることが分かる。

主成分分析の結果は表2に示される。表2は各成分上の分散を全分散(7)で割り、百分率を求め、その累積を示している。なお、女子の11学年については欠損データが多いため結果の提示を省いた。図2は第1主成分の全分散に対する貢献度を示したものである。この指標は全体の個体分散が第1主成分の一次元上にどれだけ投影されるかを示すものであり、数値の大きさは7項目で測定された個体差を一次元の尺度上に映しとれる大き

*1 被験者の背筋に背筋力計を置き、大臀部の下端でハンドルを握らせ、上方へ引き上げる。このとき腹筋を使い、腕・肩・脚は使わないよう指示する。

*2 鉄棒をおでこの高さに位置するよう体重を支持し続けられる時間を計る。

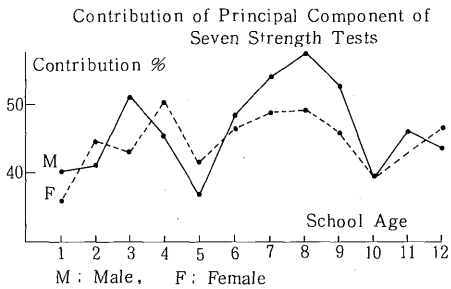
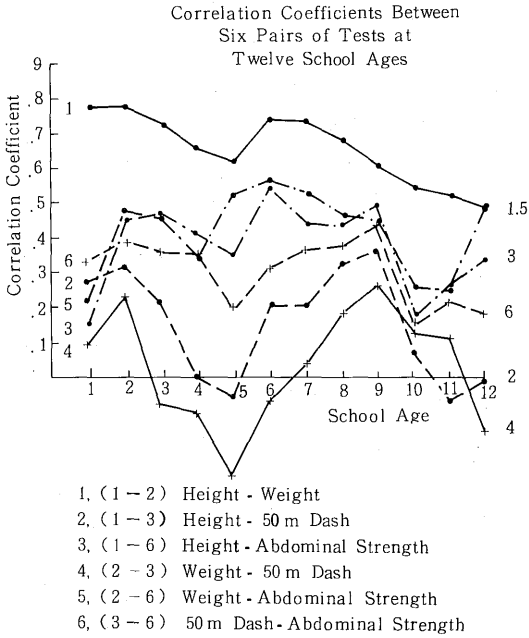


Fig. 2 Contribution of Principal Component of Seven Strength Tests

表 1

Fig. 1 Correlation Coefficients Between Six Pairs of Tests at Twelve School Ages

Correlation Coefficients of Six Pairs of Tests at Twelve School Age Levels Male and Female Students

School Age	Pairs of Tests					
	1-2	1-3	1-6	2-3	2-6	3-6
(Male)						
1	769	-273	143	-098	218	-334
2	773	-317	448	-235	474	-395
3	721	-211	466	073	457	-357
4	651	000	411	097	346	-349
5	619	051	349	268	520	-191
6	735	-206	538	067	562	-312
7	730	-202	441	-031	528	-368
8	683	-322	434	-182	461	-377
9	608	-363	491	-269	447	-437
10	548	-071	177	-132	355	-150
11	521	065	262	-119	351	-213
12	489	006	335	153	485	-185
(Female)						
1	748	-311	293	-101	249	-265
2	776	-355	459	-113	434	-428
3	736	-280	286	-175	282	-330
4	616	-183	167	133	111	-442
5	690	-356	256	007	241	-188
6	656	-263	342	085	418	-298
7	498	-285	177	127	244	-188
8	534	-080	220	253	239	-267
9	401	-175	202	253	239	-267
10	425	-015	079	191	228	-285
11	488	-111	113	038	224	-344
12	500	028	243	114	267	-247

* Decimal omitted

Test 1. Height, Test 2. Weight, Test 3. 50 m Dash, Test 6. Abdominal Strength

さを示す。この数値が大きいとき、児童・生徒の運動能力の現実に何が起っているかと言うと、子供達を集団として観察するとき、一つの能力に優れるものは他の能力にも優れるといった傾向を強く示している。数値の小さい時には一つの能力に優れるものがかならずしも他の能力に優れるとは限らない、つまり、個体内能力間の質的差異が多様化すると考えられる。

データ分析の結果を見ると男女とも中学期に一つの大きな山を見ることができる。女子に比較して男子のほうが、この時期には高い値を示している。この前後の時期は低い値が現れる。特に高校期に入ると急激な低下が見られる。これは二項目間の相関係数の推移と類似したものである。この結果は高校期においては筋力領域の限定された領域においても個体の得意・不得意の能力上の個性がより強く現れることを示唆している。中学期においてはボールを投げるのが得意な子は走り幅跳びその他も得意であるという傾向を強く示すであろう。この傾向を本研究では能力の集約化現象、あるいは個体差の低次元化という言葉で示すことにする。ここで注意を促すべきことは、第1主成分の貢献度が大きいときに、各能力テストのパフォーマンスが一つの潜在的な能力(因子)によって規定される、という因子分析的な解釈は採択しないことである。数学的モデルの示す事実のみを論じ、それ以上の推論はいったん留保する。ここで確実に示せる事実は標本として得られた集団内での個体の散布の状態である。そして、相関係数行列が高い数値の要素を全体として多く含んでいるということである。

個体分散の状態はもう一の観点から調べることができる。それは規準化されたテスト得点のベクトルによって張られる7次元空間の中での個体の散布状態を一般化分散によって調べる方法である。一般化分散は共分散行列の行列式の値によって定義され、多次元空間内での標本の総体的ちらばりぐわいを示す指標と考えることができる。主成分分析の結果から一般化分散を求めるには、全固有値を乗ずればよい。相関係数行列は正規行列であるからこれをRとすれば、ユニタリー行列Uによって $U^{-1}RU=A$ は対角行列となり、Aの対角要素はRの固有値である。よって固有値を乗じた結果はRの行列式に等しい。この方法によって、

男子5学年と8学年の一般化分散を調べると5学年は0.187、8学年は0.021となり、8学年のほうが個体のちらばりは大きな体積を作らず、低次元の軸に沿って大きくちらばっており、5学年の個体差は多次元元化していれことがわかる。この比較は第1主成分の比較と一致するであろう。

縦断的データの分析結果をつぎに示す。小学4年生(N=53)、5年生(N=42)、6年生(N=43)は三年後の7、8、9学年において同一のテストを受けた。テスト項目は11項目であった(身長、体重、50m走、走り幅跳、ハンドボール投げ、サイドステップ、垂直跳、背筋力、上体反し、体前屈、ハーバードステップ)。なお、標本はさきに示した筋力のテスト7項目を実施した標本とは異なるものである。この調査はテストバッテリーが筋力領域7項目とは異なるものが含まれるが、第1主成分の貢献度の変化は4~7学年で32.4~36.5%、5~8学年で35.8~42.9%、6~7学年で41.0~47.5%となり加齢に伴って確実に増大した。この結果は筋力領域7項目の第1主成分の小学生から中学生への変化とまったく一致しており、横断的データの結果を縦断的に解釈することの支持を与えるものと考えてよい。

考 察

相関関係における二つの意味：運動能力テスト間の関係を、複数の被験者からなる集団にテストを実施し、相関関係を算出するという方法で求めたとき、そこには二つの意味が存在する。いまXとYという二つのテストをN人からなる集団に実施し、相関関係数kを得たとする。kは十分に大きなものであったとする。このとき、これを解釈する方法の一つは、個人差は一次的に散布しているという考え方である。Xに優れた得点を示すものはYにも優れるという傾向を強くする。二次元テストベクターによって張られた空間に個体は一次元にちらばることになる。この状態を個体差の低次元化とよんだ。解釈の第2の方法はXとYというテストは共通の潜在能力を測定しているという見方である。この極端な一例は50m走と51m走の相関を考えればよい。理論的にはほとんど同じ能力を測定することになり、相関係数が1に満たない割合は、異なる能力を測定したためというより、テストの信頼性の問題として考えられね

表2

Contribution of Principal Components of Seven Tests in Strength Domain

School Age	Principal Components					
	1	2	3	4	5	6
(Male)						
1	40.3	56.8	69.7	80.2	87.9	94.2
2	41.0	59.0	71.3	81.2	89.9	96.7
3	51.1	67.1	77.9	86.2	92.0	96.3
4	45.3	63.0	75.3	85.1	92.3	96.6
5	36.7	57.1	71.5	82.6	89.3	95.2
6	48.5	65.9	75.9	84.3	91.5	96.6
7	54.1	71.6	81.5	89.1	93.7	97.8
8	57.5	72.0	82.8	88.8	94.0	97.3
9	52.8	69.4	79.8	87.7	92.6	97.0
10	39.2	57.2	71.7	80.8	88.8	95.1
11	46.1	62.3	77.2	84.4	90.7	95.7
12	43.6	61.5	74.7	84.6	91.3	97.2
(Female)						
1	35.8	53.7	69.4	81.0	88.5	95.4
2	44.8	65.8	75.5	83.7	90.8	96.8
3	43.0	58.6	71.9	81.9	89.6	95.9
4	50.5	66.5	77.9	85.8	92.1	96.5
5	41.4	57.7	70.5	81.9	90.6	96.0
6	46.5	64.4	76.3	85.7	90.7	95.6
7	48.8	66.4	78.5	87.8	93.1	97.3
8	49.1	63.9	76.0	84.4	91.9	96.3
9	45.8	65.5	79.7	87.2	92.4	97.3
10	39.3	59.2	71.1	81.3	90.2	96.0
11						
12	46.7	63.7	75.2	82.9	89.9	96.0

(percent)

ばならないであろう。

第1の解釈法は主成分分析の基礎となるものであり、第2の解釈法は因子分析の基礎となるものである。運動能力テストの相関関係は二つの解釈の可能性を与えるが、二つの可能な方法の信頼性については若干の相異がある。第1の方法は確定的な解法に従って、客観的な事実、つまり個体散布の状態を示す。しかし第2の方法はXとYとの間に存在するであろう潜在能力を推論によって主張しなければならない。もちろんその推論にはしかるべき理論的裏付けが諸科学の見聞から採用されるべきである。その推論の妥当性によって因子分析的方法は科学的方法として弁明を得る。

本研究では因子分析法を運動能力構造の加齢変

化の研究に利用する前に、一步退いて、客観的に主張できる最低限の事実を能力間の相関関係の中に発見しようとした。

7項目の主成分分析の結果についても二つの解釈が成り立つ。一つは第1主成分の貢献度を個体散布の全体を一次元上に写とる大きさと考える方法であり、他の一つは各テスト項目との相関係数の2乗和が最大になるベクターであると考えする方法であり、第2の方法は因子分析の一般因子を考えることになる。この研究では第1の方法で運動能力テスト間の関係を考察し、因子分析の立場からは一般因子の大きさだけを問題にして、その内容の解釈は留保している。

以上の観点から結果を考察すると運動能力テスト間の関係は、そのテストによって測定された散布の状態であり、テスト間の相関関係は、加齢を通して一定ではなく、さらにランダムな変動でもないことが解る。そこには一定の規則性を持った発達の変動を見ることが出来る。このことから予想されることは、より大きなテスト・バッテリーを構成し、理論的な裏付けを持った因子分析法による運動能力構造の研究が行なわれるとき、そこで得られる結果は年齢に関して普遍的なものではなく、発達による影響を必然的に受けるようになるであろう。

発達分化仮説と因子分析法：運動能力テストの相関関係をもとにした構造論が発達的に論じられるとき、つねに解釈の仮説となっているのは未分化から分化へという分化仮説である。分化仮説を因子分析的方法によって検討しようとする課題を、発達心理学の中へ持ちこんだのはGarrett (1947)であり、その後もAnastasi (1960)らによってその可能性は大きく主張され続けてきた。現在の運動能力構造の発達の研究にもこの分化仮説の考えは根強く残っている。ここで、問題とすべきことは、一つの大きな因子から、多くの因子の出現へと因子構造が変化したとき、能力構造は未分から分化への過程を進んだという主張である。

本来、生物学的発達理論の中で主張されてきたことは機能の分化であった。幼児はボールを投げるとき、ボールを持たないほうの手も前方へ突き出してしまふ。つまり両手の機能が分化していない状態を示す。そこから、片手の機能が分化してボー

ルを投げられるようになり、さらに反対側の手が強いモーメントを作るように協応する（これを統合ともいう）。このような文脈での未分化→分化は十分に理解し得るものである。しかし、能力テストの因子分析において筋力と柔軟性が独立因子として求められたときに主張される、「筋力と柔軟性は分化した」という立言は何を意味するであろうか。因子としては独立したことは明らかでも、それに対応する現象は何であろうか。そのとき子供たちに何が起ったのであろうか。これまでの因子分析研究では、因子のコンフィギュレーションについての数学的事実を述べているだけであって、それに対応する現象的事実については何も意味ある説明がなされていない。この点では因子分析は科学的モデルとしては半科学であるという批判を免れない。

この説明を求めるためには、多変量解析のデータの基本的性質を再確認することと、因子分析の文脈の中で使われる分化の意味を機能的分化ではなく別の意味の分化ではないかと疑うことが必要である。本研究で示したデータに見るように、運動能力間の相関関係は、それが二変量であろうと多変量であろうと、基本的には標本集団の成員の個体差の現われ方によって決定されている。ボール投げに示した例によって示唆されるように、機能的分化の研究は1人の追跡的事例研究によって、分化プロセスを確認することができる。しかし、多変量解析による研究はあくまでも集団が研究の対象となっている。分析の結果は集団内の成員がどのように能力を分有するかによって規定されるものである。握力に強い子供は背筋力にも強い、しかし、柔軟性は大きいとも小さいとも言えない。このような集団内の能力分有の形態が存在したときのみ、筋力因子と柔軟性は直交独立性を示すであろう。この状態を我々が二つの能力が分化した状態とよぶならば、それは伝統的な発生学や発達心理学の機能の分化とはまったく異った分化とならざるを得ない。

因子分析によって得られた独立因子を能力の分化と呼ぶとき、それは機能の分化ではなく、能力の集団内での分有の構造が分化したと考えなければならないであろう。そうすれば、静的筋力テストの一群の中にパワー・テストの項目がまじって一つの因子を代表したとき、二つの能力は未分化

であるとか総合されたと論じる無意味を回避することができるであろう。二種の能力テストが一因子を代表するように布置したとしても、静的筋力（アイソメトリック・ストレングス）もパワーもなお依然として別個な生理学的プロセスとして子供の生体内に存在している。ただその能力を子供たちがどのように分有するかという形態が変わっただけなのである。二つの能力が一因子にまとまったときには、この集団では二つの能力の個体差は一次的に存在すると解釈されるべきではないだろうか。

以上の討論を基に本研究のデータを再考するならば、中学は各種の能力は一次的に分有されており「筋力の強いものと弱いもの」という軸上で個体差を論じられる可能性が強い時期であり、高校に入ると急激に個体差が多様化する、一つの能力が一人の個体の運動能力上の個性を示す指標として明確に認知される時期が始まると考えられるのである。このことは女子の縦断データを分析した結果（市村；1981）、および中・高生のデータの分析結果（市村；1982）とも一致する。より大きな組テストによる因子分析研究においても同様な変化が確認されるであろう。

結 論

本研究は、運動能力テスト間の関係の加齢に伴う変動について分析が行なわれた。

二変数間の相関関係は加齢に伴って一定の規則的変動を示し、中学期で高く、高校期で低い傾向を示した。

7項目の筋力テストの主成分分析の結果から、第1主成分の貢献度を求め、加齢に伴う変化を調べた。その結果は、相関係数の変動と同様であった。

上の横断データの変動の様相を確かめるために、小学校高学年から中学へかけての縦断的データの分析を行った。その結果は横断データの変動と一致するものであった。

第1主成分の大きさの変動の様相は、発達分化説を十分に支持するものではなかった。さらに問題となることは、相関分析（因子分析を含む）によって確かめられる分化過程は個体内の分化を示すよりも、標本集団内の個体差分化を示すものではないかという、新たな仮説が本研究のデータ分

析の結果から提示されうるのではないかということである。

引用文献

- Anastasi, A. 1960. Standardized ability testing. (Chap. 11 in Mussen, P. H. ed., Handbook of research methods in child development, Wiley)
- Garrett, H. E. 1946. A developmental theory of intelligence. *American Psychologist*, 1, 372-378.
- 市村操一 1981 運動能力の構造に対する発達心理学的接近. 筑波大学体育科学系紀要, 4, 11-18.
- Ichimura, S. 1982. Growth changes in factor structure of motor ability in adolescence, *Bull. of Institute of Health and Sport Science, U. of Tsukuba*, 5, 19-23.
- Ichimura, S. and Kaino, T. 1975 A comparative study on the factor structure of motor ability of Japanese children and adolescence, *Bull. of Faculty of P. E., Tokyo U of Educ.*, 14, 47-57.
- 井上フミ, 松浦義行 1972, 発育に伴う運動能力構造の変化について, *体育学研究*, 16, 281-290
- Matuura, Y. 1982, A study on changes in the factorial structure of motor ability along with the physical growth and development with longitudinal data, *Bull. of Institute of Health and Sport Science, U of Tsukuba*, 5, 79-94.