筑波大学体育科学系紀要 Bull. Health & Sports Sciences, Univ. of Tsukuba 7 : 21—27, 1984.

1次元上に射影された運動能力の個人差の構造

市 村 操 一

The Structure of Individual Difference of Motor Ability on One Dimensional Scale

Souichi ICHIMURA

Individual differences (ID) in motor ability measured by sixteen tests were reducedly projected on one dimensional scale which satisfied the following two conditions.(1) The scale has the highest degree of correlations with sixteen tests. (2) The projected variance of the ID is to be largest. The extent to which ID can be projected on the scale was examined at twelve different age groups of male from the first grade of primary school to the third grade of senior high school. Following results were obtained. (1) One dimensionality of the ID was high in junior high school ages and low in senior high scool ages. (2) Running, Jumping, throwing abilities and strength were radically determinative factors to ID in motor ability at all age levels. (3) While agility had considerable effect on ID in primary school ages, it became less determinative in junior and senior high school ages.

児童，生徒の集団において，その成員の運動能力の個人差がどのようにちらばっているか，その様相を把握することがこの研究の目的である。短距離走の能力の個人差，持久力の個人差，バランス能力の個人差など，単一の能力について個人差を把握することは容易である。しかし，個人の能力は多様な側面を持っており，複数の異なるテストによって測定される。これら複数の能力の側面を持つものとして個人を観察し，その観察をもとに集団の成員の運動能力の個人差のちらばりを理解することはいささか複雑な仕事となる。

本研究であつかう個人差のちらばりは，各々の単一のテスト種目で測られる能力についての個人差ではなく，複数のテストで測られる比較的総体的な運動能力についての個人差のちらばりである。統計の用語では散布を使うのが正しいが，ここでは現象として生徒達が示す個人差にちらばりという言葉を使用し，数学モデル上でのデータのちらばりには散布という言葉を区別して用いる。

教師が生徒集団を前にしたとき，生徒の運動能力の個人差が比較的総体的な運動能力の領域の中でどのようにちらばっているかを知ることは教育実践のいくつかの場面で役立つであろう。生徒の能力に応じたスポーツ種目や役割を判断し助言する。授業の教材種目での成績を運動能力を参照した上で評価する。能力の似たようなサブ・グループを作る。個人の運動能力の発達状態を評価する，など多くの場合を指摘することができる。

本研究の主たる焦点は上に示した適用例の最後のものにあてられる。現在最も広く使われている文部省のスポーツ・テストによる運動能力の評価は，複数のテストの各々の成績の評価とその合計点の評価によって行なわれている。ここでは，まず合計点の評価について若干の論評を加える。合計点は複数のテストで測られた結果を一本の物差の上に移し替えたものである。この方法は能力の選別に便利であるということ以前に，個人差を判別するときに，複雑な情報をまとめて1次元的な配列の上に個人を置こうとする人の知覚の特性になじんでいるように思われる。しかしながら合計点及び平均点（この二つは統計学的には同じ意味を持っている）は，個体の能力の総体的ちらばり

を1次元上に映すための物差としては，簡便ではあるが厳密なものではない。本研究ではより厳密で，さらに個人差のちらばりを理解する上にいくつかの利点を持った方法を適用する。この方法によって，運動能力の個人差のちらばりについて，次の諸点を明らかにしようとする。

1．個人差を1次元的に把握するとき，その把握の方法はどれほどの適切さを持ちうるか。つまり個人の能力を一本の尺度の上に置き替えたとき，複数の能力の側面を持つ個人差のちらばりの情報がどれほど効率的にまとめられたかが，ここで問題となる。
2．個人差を最もよく判別する1本の尺度上に個人差を映したとき，その尺度上での個人差を生みだすのに関与する能力は何かを判定する。
3．個人差を1次元的に把握できる効率，そして その次元上での個人差のちらばりの方向の発達的変化を調べる。

以上の三つの目的はつぎのような現実問題とかかわっている。生徒集団をm種目の運動能力テストで測定した場合，任意の個人 i の能力をm種目のテストで得られた情報をむだにせずに理解するためには，mテスト全部のデータを読んで記憶し，判断しなければならない。しかし生徒集団の成員全体に対してこの作業を行うことは効率的ではない。そこでテストで得られた情報をまとめて，集団内の個人差を把握しようとする行動が生まれる。その方法は得られた情報のいくらかの部分を捨てさることにはなるが，個人差把握の効率は増大する。つまり情報処理の精度と効率の葛藤がそこに生ずることになる。本研究では，効率を優先して，個人差を1次元にまで集約し，そこで情報処理の精度がいかに保たれ，あるいはそこなわれるかを問題とするのである。

方　法

標本：茨城県土浦市内の小・中・高，男子児童・生徒。小2，小3のみ東京都立川市第二小学校児童を含む。この標本は身長，体重，および文部省スポーツテストと参照できる限りでは，全国平均にきわめて近いものであった(市村；1981)。標本数および測定年度はつぎのとおりである。中1は7学年，高1は9学年とし，通算学年による表示をする。

学　年	標本数	測定年度
1	80	’75，’76
2	93	’72，’75
3	117	’72，’76
4	113	’75，’77
5	121	’75，’76，’77
6	88	’75，’76，’77
7	89	’78
8	116	’78
9	103	’78，’79
10	165	’81，’83
11	139	’81，’83
12	137	’81，’83
合　計	1361名	’72〜’83年

テスト項目；1，身長．2，体重．3，50m走．4，垂直跳．5，走り幅跳び（以下走幅跳と記す)．6，背筋力．

7，腹筋力*（背筋力計を背後において直立する。ハンドルを大でん部の下端に合せる。上体を反して両手ハンドルを握り，上体を戻しながら引き上げる。2回実施してよいほうの記録をとる)。

8，持久懸垂（上肢を曲げ鉄棒がおでこの高さになるようにぶら下る。順手逆手どちらでもよい。用意の合図で補助者が被験者（S’s）を持ち上げる)。

9，サイドステップ(1m間隔の3本の線で15秒間実施)。

10，ベンド・ツイスト（壁を背にして立つ。壁面上，頭の高さにマークを置く。S’sは合図とともに前の地面に両手をつき，体ねじりながら起き上りマークに両手をつく，再び地面に手をつき，今度は逆のほうへひねりながら起き上りマークに手をつく。この動作をくら返す。得点はマークに手をついた回数。ひざは曲げてもよい。マークは横30cm，縦20cmの長方形を用い底辺がS’sの両肩を結ぶ線に合せる。1回実施)。

11，ハンドボール投げ。

12，8の字ダック（3m間隔でポールを立て，S’s

*　このテストでは，実際には脚筋力もパフォーマンスに関与してくると思われるが，Fleishman (1964) に従い，テスト名は「腹筋力」とした。

のウエストの高さにゴムテープを張る。S'sは１本のポールが左側にくる位置からスタートし，２本のポールを８の字になるよう，テープの下をくぐりながら四回周回する。１回実施し，時間を計る)。本テストは，Fleishman（1964）による。
13，上体反し。14，立位体前屈。
15，片足バランス(板の高さ８cm，幅1.8cm，長さ40cmの上で，好みの片足を板にクロスさせて立ちバランスをとる。２回実施。60秒を上限とし測定を打切る〉
16，六角バランス（上記の板で長さ60cmのものを六角に組む。その上をS'sは後方に歩く，次のステップに入る前に爪先を前足のかかとにつける。得点は落ちるまでに通過した辺の数。１回実施。Fleishman（1964）を参照)。

上記のテストはFleishman(1964)，Ichimura & Kaino(1975)の運動能力の因子分析研究の成果から，体格，瞬発力，筋力，敏捷性，バランス，柔軟性などの能力領域を測定するように選ばれた。体格のデータは各学校で測定したものを借用した。文部省スポーツテストで実施される種目のデータは高校と中学の一部では各学校で測定したものを借用した。

統計的分析；合計点は各種目の成績に得点を与え，各種目の得点に１を乗じて加えたものである。各種目の成績は測定単位や分散が異なるため，種目ごとに標準化された得点が与えられる。平均０，標準偏差１とする。種目ｊについての個人ｉの標準得点をZ_{ij}としると，個人ｉの全種目の合成得点f_iはつぎのように表わされる。

$$f_i = \sum_{j=1}^{m} w_j Z_{ij} \quad (m；テスト数) \tag{1}$$

ここでw_jはテストｊに与えられる重みである。平均点はすべてのｊについて$w_j = 1$とした特別なケースとみることができる。本研究では$f = (f_1, f_2, f_3, \cdots, f_n)'$，（ｎ；標本数)が合成得点として全体のテストによって示される個人差のちらばりを最もよく映すものにするためにつぎの基準を与える。

ｆの得点とZ_j(テストｊの得点ベクトル)の相関係数を$r_j = \frac{1}{N} Z'_j f$とする。この式を得るためにはｆをその要素の平均０，標準偏差１であるベクトルとする。そして，全テストとｆの相関係数の２乗和が最大になるようにw_j($j = 1, 2, 3, \cdots, m$)を決定する。

$$V = r'r, \ \{r = (r_1, r_2, r_3, \cdots, r_m)\} \tag{2}$$

とする。ここではＶが最大になるようにｆを求めるためにＺを決定する。ｒベクトルは，

$$r = \frac{Rw}{\sqrt{w'Rw}}, \quad \{w' = (w_1, w_2, w_3, \cdots, w_m)\} \tag{3}$$

と表わされる（芝：1967)。Ｒ：相関係数行列。$w'Rw$はｆの分散で１であるから，

$$r = Rw \tag{4}$$

となる。これを(2)に代入すれば

$$V = w'R'Rw = w'R^2w \tag{5}$$

となり，これが最大によるようにwを決定する。wには$w'Rw = 1$なる条件があるから，w_j（$j = 1, 2, 3, \cdots, m$〉に関する偏微分をつぎの式について行う。

$$w'R^2w - \ell(w'Rw - 1) \tag{6}$$

ℓはラグランジュの未定乗数項である。偏微分の結果を０とおきw_j（$j = 1, 2, 3, \cdots, m$）の値を求める（この方法は多変量解析の主成分分析の章にはかならず示されているので省略する)。

$$R^2w - \ell Rw = 0 \tag{7}$$

となり，ついで(4)式より

$$Rr - \ell r = 0 \tag{8}$$

となり，Ｒの最大固有値がℓとなる。そのℓに対応する固有ベクトルがｒとなる。(7)式に左からw'を乗ずると(4)式より

$$w'R^2w = \ell w'Rw = \ell = r'r \tag{9}$$

となり，各テストと合成得点との相関係数の２乗和はℓとなる。ｆを得るためのwは，(８)式と(４)式から

$$r = \frac{1}{\ell} Rr, \quad r = Rw \tag{10}$$

よって

$$w = \frac{1}{\ell} r$$

となる。このwベクトルによって重みづけられた合成得点（$f = w_1Z_1 + w_2Z_2 + \cdots + w_mz_m$）は$Z_j$（$j = 1, 2, 3, \cdots, m$）との相関係数の２乗和が最大という意味でよい代表値となりうる。

また，この合成得点をwのノルム（$w'w$）を１に標準化して作ると，個人差を最大に判別する尺度となる。その証明はつぎのごとくである。合成得点ｆの分散をV_fとすると（１）より，

$$V_f = w'Rw \tag{12}$$

となる（以下（13）式までMorison；1967参照）。ここではwベクトルに$w'w = 1$なる条件を与えた上でV_fを最大とする。その偏微分は

$$\frac{\partial}{\partial w}\left[w'Rw + \ell\,(1 - w'w)\right]$$
$$= 2\,(R - \ell I)w \tag{13}$$

となり

$$(R - \ell I)w = Rw - \ell w = 0 \tag{14}$$

を解けばよい。これは形式上(8)式と同じでありℓはRの固有値となり，(14)式に左からw'を乗ずれば$w'Rw = \ell = V_f$となり，固有値は合成得点の分散となる。

相関係数の２乗和が最大になるように作られたwも，合成得点の分散が最大になるように作られたwもともに相関係数行列Rの固有値ℓに対応するベクトルであることがわかる。二つのwはノルムの大きさが異なり，前者は(11)式より$1/\ell$であり，後者は定義により１である違いはあるがベクトルの方向性には変りがない。ここで後者の$w'w = 1$によって作られた合成得点と各テストの相関を検討すると，前者の方法で得られたものと変らないことがわかる。前者で得られた合成得点をf_aとし，後者のそれをf_bとすると，$f_b = \sqrt{\ell}\,f_a$なる関係がある。相関係数を算出する場合，得点の標準化が行なわれるから，任意のベクトルとf_bおよびf_aの相関係数は同じになる。

よって，相関係数行列Rの固有値に対応する固有ベクトルのノルムを１に基準化して作られた重みベクトルwによって作られる合成得点は，個人差のばらつきを最もよく一次元上に映しとる尺度であると同時に，各テストとの相関係数の２乗和が最大であることから，最もよく各々のテストとの関連を保った代表値であることがわかる。この尺度上でこの分散は固有値ℓによって示され，$w'/\sqrt{\ell}$は合成得点と各テストの相関係数となる。

ℓの大きさの評価は，全分散をm（テスト数）とし，ℓ/mの比率をもって行う。

以上の方法を各学年のデータに適用し，発達的な考察を行う。

結　果

各学年の16テスト種目のデータ行列を各種目ごとに標準化し，それをＺ行列とし，右からwベクトル（$w'w = 1$）を乗じ，ｆの分散を最大にするようなwを求めるわけであるが，Wの算出は相関係数行列Rをもとに行なわれた。ｆの分散は表１の＊１の行に示され，その分散が全分散を映しとっている比率を＊２に貢献度として示した。表内の縦ベクトルはｆと各テスト種目の相関係数を学年進行に従って左から並べたものである。例示すれば，１学年におけるｆと身長の相関は0.285であり，ｆとベンドツイストおよびハンドボール投げの相関はそれぞれ0.718と0.767である。１学年のｆの貢献度は0.276である。

16項目のテストで測られた個人差をどれほど１次元の尺度上に映し得るかを，学年進行に従って見ていくと，７～９学年の中学期では，その比率が大きくなり，いずれの学年でも0.3を越えている。高校期に入るとその比率は小さくなる。１～12学年にわたっての全体の様相を図１に示す。この図から明らかなように１次元上の分散の大きさは学年進行に伴ってランダムな変動を示すものではなく，発達に伴う規則的な変化を示しているようにみえる。すなわち，１次元上に個人差を映しとれる大きさは二つの峰を持つ山形の変化をしており，３－４学年と７－９学年がその峰にあたっており，この時期は他の時期に比べて運動能力の個人差が１次元的ちらばりを示す度合が強いことがわかる。同時に，高校期は１次元上に生徒を配して評価することが，中学期よりかなり困難なものとなることがわかる。

ここでの結果には合成得点ｆそのものは示していない。それは本研究の目的がｆの分散とｆの各テストの相関係数を求めることにあるからである。つぎにｆと各テストとの相関を学年進行を追って示す。

表１　各学年における合成得点の分散・貢献度・各テストとの相関*3

学年 / テスト	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1.身長	285	583	431	211	194	556	366	518	620	541	189	341
2.体重	251	476	229	019	050	286	178	432	528	379	−088	−043
3.50m走	−666	−764	−763	−745	−622	−751	−820	−728	−720	−655	−687	−782
4.垂直跳	608	503	662	494	708	741	751	808	774	551	709	642
5.走幅跳	531	647	672	756	616	785	791	833	835	649	796	841
6.背筋力	685	667	687	573	545	637	598	736	779	716	711	349
7.腹筋力	330	542	734	522	274	627	643	773	665	603	518	267
8.持久懸垂	391	246	392	503	343	439	598	361	080	−009	215	241
9.サイドステップ	494	466	300	744	782	321	560	515	573	355	609	537
10.ベンドツイスト	718	468	553	416	626	491	672	371	175	235	222	466
11.ハンドボール投	767	655	804	755	614	668	714	777	745	707	749	600
12. 8の字ダック	−594	−610	−698	−729	−722	−530	−528	−493	−312	−274	−462	−478
13.上体返し	558	567	511	349	391	382	263	278	341	400	456	299
14.体前屈	395	440	494	441	312	209	507	504	423	331	523	178
15.片足バランス	321	354	218	499	394	214	398	131	299	403	470	429
16.六角バランス	421	427	326	533	292	215	317	160	300	249	202	109
*1	4,420	4,681	5,063	4,948	4,188	4,459	5,296	5,226	5,030	3,716	4,411	3,510
*2	0.276	0.293	0.316	0.309	0.262	0.279	0.331	0.327	0.314	0.232	0.276	0.219

＊1　合成得点の分散，　＊2　その貢献度，　＊3　小数点省略

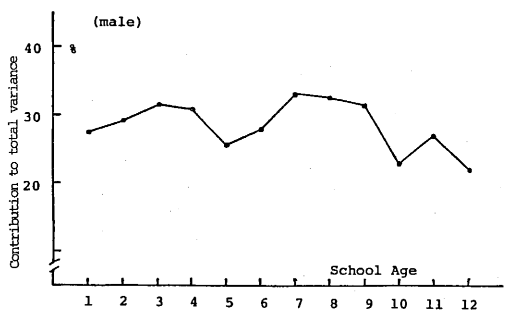

図１　合成得点の分散の全分散に対する貢献度

身長は個体差を１次元的に配列するときに，中学期とその前後でやや大きな関係を持っている。しかし高校１・２年にあっては関係が薄くなる。このことは，中３（９年）の生徒集団を前にしたとき，身長の大きさを見て，大きい生徒は全体的能力があるだろうとする推定の適中率は高校高学年においての適中率よりは高いという日常の経験とも合っているだろう。体重の大きさも高校高学年ではまったく関係がない。体重の大小はそこでは全体的能力を１次元にまとめてみようとするときまったく関係がないのである。

走種目は時間の少ないほうがすぐれているので相関係数にマイナスがついているが，絶対値のみを問題とすればよい。

全学年を通してｆと0.5以上の相関を持っている種目は，50m走，走幅跳，背筋力，ハンド・ボール投げの４種目である。16種目のテストで測定された運動能力の領域が競技型の運動能力のものであるためもあるが，この領域で個人差を「能力あり，なし」というような１次元的把握をする場合には，その次元は上記の走・跳・投そして筋力という基本的な能力と深い関係があることがわかる。

学年進行と共にｆとの相関がシステマティックに変化するテストの群がある。ベンドツイスト，８の字ダック，六角バランスは小学期では高い相関を示すが，中学から高校へかけて相関が減少する傾向を示している。これら三つのテストは敏捷性とバランス，つまり身体運動をコントロールする能力に関与するものである。この能力の有無は小学期においては，個人差の総体的能力を最もよく判別する次元に関与している。しかし中学・高校にあっては，コントロール能力の有無は単にその能力の個人差を生み出しはするが，能力の総体的個人差にはあまり関与しなくなってくる。現実的な場面でこのことを例示すれば，小学期ではコントロール能力のある児童を運動能力のあるものと，能力の総体に敷衍し推測することを可能にするが，中・高校期ではその推測の適中率は低くなる。

以上の結果をまとめると，多元的な運動能力の個人差を１次元上に集約的に配列したとき，その１次元上での個人差が全体的ちらばりをどの程度代表しうるかという度合(貢献度)は，発達に従ってシステマティックな変化を示すことがわかった。中学期では個人差の１次元性は高く，高等学校では低くなった。

個人差を１次元的に見るとき，その次元につねに関与する能力は走・跳・投・筋力などであった。運動をコントロールする能力は，小学校低学年ではその次元に関与したが，中高では関与の度合が低きなった。体格の大きさは中学期には大きな関与を示したが，小４・５年及び高校２・３年では関連を低くした。

考　察

生徒集団を構成する生徒個人個人の運動能力の個人差を多次元的に観察することは望ましいことであり，個人差の把握の精確さを増すことになる。しかし，多数の個人についてそれを行うことは，１人の教師の知覚・記憶能力を越える場合が多い。一方，個人差を低次元に集約して個人差をみることは，精密さを失うが，知覚・記憶の効率を増大させる。本研究で行った１次元上への個人差の集約は，学年によってその効率を異にする。１次元上に個人差を集約しうる程度は中学期で高く，高校期で低くなる顕著な傾向が見られた。中学期における１次元上への集約は全体の分散の３分の１に達している。しかし，これは幾向学的モデルの上で理想的に１次元上への集約を行った結果であって，教師の知覚プロセスがこの通りに行なわれることを保証するとは限らない。幾向学的にどの程度の１次元上への集約ができれば教師の知覚に個人差が１次元的と映ずるのか，あるいは教育実践においおいて１次元的取扱いができるのかは，さらに研究が必要であろう。

個人差の１次元化は，現実の生徒集団の中に「あるテストに良い成績を示す者は他のテストでもよい成績を示す」という傾向が強く現れることを示唆するものである。

走・跳・投・筋力などの基礎的能力はすべての学年段階で個人差を最大に判断する上で重要な能力であることがわかった。これらの能力のみの相関構造の学年による変化は，本研究の16種目の相関構造の変化ときわめて似た変化を示している（市村；1983)。このことは個人差の１次元上への集約の学年による変動にも，走・跳・投・筋力などの能力が大きく関与することを裏づけるものである。

本研究で得られた個人差の集約水準の変化は単調な変化ではなかった。この変化の中で中学期の高い集約水準と高校期の低い集約水準は，特に注目すべき特徴であるが，これが本研究の標本誤差によるものか，あるいは横断データによる変動であり縦断的に解釈すべきものでないのではないかという疑問が残る。標本誤差については，他の標本を分析した研究（市村；1982，1983）との一致によって部分的には弁明できるであろう。また横断データである欠点については，本研究の学年幅の一部分を縦断的に調査した結果（市村；1981，1982）によって部分的に保証されるものと考えられる。

本研究の結果は理論的にはGarrett（1930）の発達心理学における分化仮説の批判となる。

結　論

16種目のテストで測定された運動能力の個人差を１次元尺度上にどれほど写し替えられるか，そして写し替えられた個人差の構造が発達に伴ってどのように変化するかを調べるために，本研究を行った。

個人差を射影する尺度はつぎの二つの条件を満している。(1)各テストと最大の相関関係を持っていること。(2)個人差の散布を最大に写し取れること。この条件を満すものとして，主成分分析の主軸が用いられた。

小学校１年から高校３年までの男子1361名について分析が行なわれ，次の結果を得た。

(1) 中学期では個人差が１次元上に並ぶ傾向が強く現れ，高校ではそれまでの時期にくらべて多次元化する傾向を示す。

(2) 個人差を生みだす要因として，走・跳・投・等尺性筋力などの基礎能力が全学年にわたって大きく関与している。

(3) 敏捷性と運動をコントロールする能力は小学期では運動能力総体の個人差を生み出すのに大きく関与するが，中学・高等期ではその度合は低くなる。

(4) 個人差の１次元上への集約の程度は，発達に伴う単調変化ではなく，本研究の対象となった年齢の幅の中で双峰的な変動を示した。

引 用 文 献

1) Fleishman, E.A. 1964. The structure and measurement of physical fitness. Prentice-Hall.

2) Garrett, H.E. 1946. A developmental theory of intelligence. American Psychologist, 1, 372-378.

3) 市村操一．1980．発達に伴う運動能力構造の変化。筑波大学（心理学研究科）学位論文

4) 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。

5) Ichimura, S. 1982. Growth changes in factor structure of motor ability in adolescence. 筑波大学体育科学系紀要，５，19—23。

6) 市村操一。1983。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紀要，６，39—45

7) Ichimura, S. and Kaino, T. 1975. A comparative study on the factor stucture of motor ability of Japanese children and adolescents. Bullt. Facuity of P.E. Tokyo Univ. of Educ., 14, 47-57.

8) Morrison, D.F. 1967. Multivariate statistical methods. McGraw-Hill.

9) 芝裕順。1967。行動科学における相関分析法。東大出版会。