



SPSSによるCAI学習データの分析（1）： わかば幼稚園のデータの場合

メタデータ	言語: Japanese 出版者: 北海道教育大学 公開日: 2012-11-07 キーワード: 作成者: 中野, 嘉弘, 清水, 清 メールアドレス: 所属:
URL	https://doi.org/10.32150/00002226

SPSSによるCAI学習データの分析(1)

——わかば幼稚園のデータの場合——

中 野 嘉 弘

北海道教育大学 札幌分校 物理学教室

清 水 清

北海道教育大学 函館分校 物理学教室

SPSS and the CAI Learning Data Analysis of the WAKABA Kindergarten

Yoshihiro NAKANO

Physics Laboratory, Hokkaido University of Education, Sapporo 064

Kiyoshi SHIMIZU

Physics Laboratory, Hokkaido University of Education, Hakodate 040

Abstract

The statistical analyses of the CAI learning data are performed to see the merits of the SPSS programs over the usual correlation analysis in the past. The previously reported article "An Approach to pre-School Children's Play through CAI (the case of the WAKABA Kindergarten)" was reexamined for this purpose.

In the searching for the elementary statistical quantities such as means, standard deviations, several correlation coefficients and T-tests between groups, the SPSS shows only its elegance and higher speed of treatment over the usual methods.

The SPSS shows its surpassing merits in the multi-variates analysis such as discriminant, regression and factor analysis. They are the principal part of this article.

It is shown that the successive combination of Factor analysis and the Quantification analysis III(after Dr.Chikio HAYASHI) makes clear the interesting internal relations among the stages of the CAI learning program. This new method may be useful in the course of multi-variate analysis. The authors call this method the SECOND FACTORIZATION method.

要 旨

SPSSを用いてCAI学習記録データの分析を能率的に進め、そのメリットを明らかにする目的

で、従来からの克明な方法との比較と発展を行った。

分析材料としては既報（文献1，1973）の「CAIシステムによる幼児の遊び（わかば幼稚園児のデータ）」を用いた。

取扱った統計量のうち、平均、標準偏差、相関係数、群間比較（ t 値）などについては、SPSSの結果は既報を裏付け、その処理のエLEGANSSさを示すのみであるから、記述統計に関する話は本報告ではしない。

本稿の主眼は、SPSSによる多変量解析たとえば回帰分析、判別分析、因子分析などである。

とくに、因子分析と林 知己夫氏の数量化分析とを結合する方法によって、学習プログラム内のステージの概念や役割をクリヤ・カットに示す例が得られたので報告する。著者達は、この方法を仮りに「再度因子化法（the SECOND FACTORIZATION method）」と呼びたい。今後、有力な新しい分析法として役立つものと期待する。

1. 序 論

SPSS(Statistical Package for the Social Science, 人文・社会科学のための統計パッケージ)は米国スタンフォード大学において開発された有機的統計処理プログラム・パッケージである。それが京大人文科学研究所の三宅一郎氏により日本に導入され、さらに国産プログラムを追加して京大版が作られた。内容は多変量解析を含め、およそ24ヶの統計用タスクから成り、その第3版が、まず北大大型計算機センターに移入された（現在は第4版、第5版を併用している）。本報告の分析は、安定性のある第3版で行った。

さて、従来からの教育哲学者と教育科学者間の視点の相異はさてをき、少く共CAIなど教育学においてはMeasurements(測定)に大きなウエイトがかけられている。しかし、実際的には、生物科学における測定と同様に、計量化に際しては多くの困難がつきまとう。その理由は主として、そのデータが物理的科学的のそれのように簡明ではないからである。

いづれにしても、B・ラッセル氏の云うように「個々の特殊の事例から、何らかの共通な法則を導き出す。」ことが肝心であり、そのためには統計的手法が有効である。しかし、ユーザー独自のプログラムのみで、短時間に効果的な統計処理を行うことは容易ではない。

幸いに、SPSSという国際的に定評のある統計手法のパッケージを入手した今日、これを充分に活用して、今までの我々の統計処理を検討し、その成果を再び今後のCAIの実験研究の発展にフィードバックしたい。その最初の試みをお伝えする。

この仕事は清水が着手した後を承けて、中野がしめくくったものである。仕事の引き継ぎに多少のミスがあるかも知れないことには御寛恕をお願いする。

また、SPSSそのものについての詳細は、文献2および文献3を参照されたい。

2. 分析材料とSPSS入力

詳細は原報告（文献1）にゆずり、要点をまとめれば

テーマ：「図形による数の対応の認識」

端 末：3台（TML1, TML2, TML3）、各々実験教師1名、学習者11名づつ。被験者の合計33名。

質 問：4問（Q1, Q2, Q3, Q4）

解答時間：4問（AT1, AT2, AT3, AT4）

初反応時間：IRT, 教師の説明開始から生徒の初反応までの時間、AT1の中に含まれる。

タイムアップ(10秒単位)回数：4問(TU1, TU2, TU3, TU4)学習得点には無関係
誤答回数：4問(WA1, WA2, WA3, WA4)

ノーマッチ(無効解答)回数：4問(NM1, NM2, NM3, NM4)

得点 = $5 - (WA + NM)$ ：4問(EV1, EV2, EV3, EV4)

総得点：各問の得点の和(TEV), 20点満点

総学習時間(分)：TLT

成績群：16点以上は上位(H)群 10名,

15~12点は中位(M)群 15名,

11点以下は下位(L)群 8名.

これらの素データの一覧表が図1である。これは既に成績群別にしてあるが、成績ランキング(たとえば、RNK3はH群のこと)を除いた24個の数値が元来の素データである。

この素データを読み込んでSPSSで処理するプログラムの先頭部分を図2に示しておく。

VARIABLE LIST に続くものが変数名で、24種用意したので、素データは順次に格納される。VAR LABELS に続いては、変数の夫々の意味を与えてある。

SUBFILE LIST は端末群別の3ヶのサブファイル構造を指示している。

OF CASES に続いては、端末群別のデータが夫々11名(ケース)であることを指示している。

RECODE の項では、ランキングの仕方と総得点の分割点の採り方の関係を指示している。

READ INPUT DATA の次には素データのカード・デッキを挿入する。

なお、この図2の例では、データ読み込み後に真先に行うタスクは、全端末データについて(PROCESS SBFIL ALL), ある変数群の中の変数対についてノンパラ相関を計算するように指示されているが、記述統計の話であるからこれ以上は触れない。

また、COMMENT 文では、このタスクが原報告の第6~13表の追試であることをコメントしている。

3. 多重回帰分析

SPSS内のサブプログラムの約半分が、いわゆる多変量解析に属するもので、これを利用すれば統一的に高度な統計処理が容易にできる。

この際、特に注意すべきことは、1)外的基準の有無、7)変数値がメトリックか定性的か、3)変数が互いに独立か(特に一次従属性のないことに注意せよ)等々である。CAI学習記録データは、物理実験と同様に一般には定量的であるので、まず、それに適した回帰分析を行ってみる。その場合、目的変数(外的基準、CRITERION)として学習総得点TEVを採った場合と、学習総時間TLTの場合とを調べた。

これらの目的変数に対して大きく寄与すると思われる説明変数を選択する際に、主観的バイアスが掛らないように回帰方程式に投入する変数の選択は、SPSS側の自動選択プログラムに委ねた。いわゆるステップワイズ・モード(前進選択手順)であって、その原理は、目的変数Zと最も相関の高い説明変数X1をまず1個選び、つぎにこのX1に対する偏相関係数が最高になるような第2説明変数X2を選択する、ということが続けるもので、この方法は、各ステップで、説明変数の寄与率の変化が、おおむね最大になるような選択である。

ステップワイズ・モードの回帰分析はSPSSでは、インクルージョン・レベル(1)の指定で行われる。

選択された説明変量の有意性を調べるには、標本数 N 、回帰変量の自由度 P （そのステップまでに選択された説明変量の個数）、残差の自由度 $N - P - 1$ とすると、重回帰係数 R の平方が自由度 $(P, N - P - 1)$ の F 分布に従うことを用いる。SPSSでは各ステップ毎に、分散分析による回帰の有意性の検定を行い、 F 値やトレランス・レベルなどが出力される。ただし、ステップ毎の点検を必要としないならば、その出力を省き、概括表のみを印刷させれば充分である（OPTIONS 6）。特に、各ステップでの出力におけるつまらない打出しエラー（標本数が少ない時には、 $P = N - 1$ すなわち重回帰係数 $R = 1$ に到達しやすいので、エラーASSIGNED WIDTH OVERFLOWの発生する確率が増す）を避けるためにも有効である。

概括表の内容は図3に示すように、回帰方程式に選択投入された順番に変数名と変数ラベル、多重回帰係数 R 、 R の平方とその変化分 RSQ CHANGE（関与または寄与率）、目的変量との間の単相関係数、回帰係数 B と定数、そして標準化回帰係数 $BETA$ である。

図3の例は、L群において、目的変量TLTに対する説明変量として時間的変数を採った時の回帰関係を示すもので、抽出された情報は図4に転記しておいたので比較されたい。

これら多数の回帰関係データから、次のような知見が得られる。

(1) 成績群と端末群の特徴には対応が見られる。図4のA表によれば、L群とTML3群には平行性があり、M群とTML2群にも類似性がある。このことは図4のB表、C表にも見ることができる。

(2) H群については、目的変量をTLTとした時、最大の寄与はIRT（初期反応時間）の関与率67%である（図5のii表を参照）。充分納得するまで、指導者の説明を聴き得る児が成績上位となったのであろうか？

(3) L群とTML3群とに共通な特徴は、図4のC表に見るように、目的変量をTEV（学習総得点）とした時、TLT（総学習時間）の関与率が著しく大きく、しかも負相関を示していることである。このことの解釈はさておき、その事実、総得点TEVの代りに総時間TLTを用いても成績のランキングができる、ということの意味する。実証は次節4、判別分析の項で与える。

(4) 全群についても、図5のii表に見るように、総得点TEVの代りに、総時間TLTと初期反応時間IRTとを用いて、同様に成績のランキングが可能である。

(5) 総得点TEVに最も関係の深い変量を、成績群別に求めれば、図5のi表に見るように、第1問の得点EV1が共通して重要である。さらに、第3問目までの得点でM群が決まり、第4問目になってH群が選別される。

L群には、最初に行われる説明時間を大部分として含む初期反応時間IRTの影響が著しい。すなわち、第1問目でL群はお、むね判別される傾向にある。

(6) さらに、L群についてはIRT（お、むね説明時間）とTEV（学習総得点）とは負相関であり、このことは長時間の説明を受け入れ難い要因がL群にはあるらしいことを示唆する。これが全群になると、両変数の関係は常識通りに正相関であり、説明時間の長い方が成績にも好結果を与えている。

H群については、説明時間IRTの最大の寄与は、明らかに総学習時間TLTの延長に対してであって、学習成績TEVとは直接の関係は見出されない（図5のii表参照）。H群に対しては、長い説明時間は不要なのであろうか？それとも、不要と感ぜられる説明でもじっと耳を傾ける態度が、好成绩につながっているのであろうか？

以上のような知見は、従来の相関係数のみの議論では到底明らかにし難い情報であって、原報告（文献1）の結論を補足し深化するものである。

4. 判別分析

成績のランキングを、本来の基準変数である学習総得点TEV 以外の変数によって代行可能か否かを調べる。その可能性は、前節3の末尾のように既に予想したものである。そのテストを、次の4種類の条件下で判別分析を行うことによって試みた。

- 1) 総得点TEVの他に、時間的変量TLTとIRTを付加する。
- 2) TEVの代わりに、元来の起源である各問の誤答回数WAとノー・マッチ回数NM自身で置換してみる。
- 3) TEVの代わりに、純粹の時間的変量である説明時間IRTと各問の思考時間ATのみを用いて判別する。
- 4) 前項の条件に総学習時間TLTをも動員して、時間的変量の全てを(そしてそのみを)用いる。

これらの場合に、最初の成績ランキングにどのような異動が生ずるかを、SPSSの判別分析サブプログラムを用いて調べた。その1例として、上記のうち最後の条件4)の場合の結果のリストを図6に示した。群の中心からのマハラノビス距離の2乗と、その群内に入る事後確率の大小によって、最大確率を与えられた群が、それぞれのケース番号毎に出力されている。

図7には、判別変数のインクルージョン・リストの選択法についての上記の4種類に対して、所属する群に異動の生じた場合を示した。番号は異動を生じた学習者のそれで、図1の素データのリストのうち、左端のランクを除いた最初の変数VAR1に対応するものである。

以下、結果について若干の考察を行う。

- 1) 既に述べたように、H群の特徴は説明時間IRTが充分長く、逆に総学習時間TLT が短いことであり、L群の特徴はその反対であった。

さて、判別変数の選択法1)の結果、M群の#22の学習者がむしろL群と判定されたのは、図1の素データより見られるように、IRTが37秒で最も短く、TLTが8分と最も長い学習者であったため、L群の特徴を充分持つものと判別されたのである。

- 2) L群の#29の学習者が、選択法2)によってL群より浮上してM群に判定し直されたのは、NM回数が最も少く、誤答回数も余り多くはないためである(しかも総得点でもL群中のトップである)。

3) 選択法の3)では変動例が多数であり、また2階級ダウンした例もあり、この判別法は信頼性が薄い。

- 4) ところが、さらに総学習時間TLTを判別変数に追加した選択法4)になると、今度は2階級変動は消失し、判別の安定さが恢復される。異動例のうち、M群の#13の学習者がH群に上昇したのはTLTが5分で短いためであり、#16が逆にL群に下降したのはIRTの方が大変短かいためであろう。その他の異動例も同様にして理解できる。

このように様々な判別が可能であることは、学習というものの本質にも関係し、原報告(文献1)の考察を深化するものである。

5. 因子分析

学習データに含まれる一般的傾向を探究するためには、共通因子を抽出して議論する因子分析法(Factor Analysis)を用いるのが常道である。我々は今回、

データ・サブファイルは7群：端末ブース別の3群、全群一括、成績別の3群のそれぞれについて、

因子分析法は5種：PA1(主成分分析), PA2(主因子法), RAO(カノニカル因子解), ALPHA(アルファ法), IMAGE(イメージ法)を行った。

そのうち、最も一般的なPA2(繰返し計算付き主因子法)を用い、バリマックス回転後に因子負荷(Factor Loading)を求め、因子プロットをさせた例を述べる。

SPSSのおかげで、因子分析のプログラムを通すだけならば、カード2~3枚の指令で済む(図8参照)が、実際には、次の諸点に注意すべきである。

1) データの内部共線性(一次従属性)の有無。

今回のデータ項目(変数の種類)は、被験者番号を除けば23種類あるが、そのうちタイム・アップ回数TU(VAR3~VAR6)と解答時間AT(VAR15~VAR18)とは、単位の相異だけで本質的には同じものと考えられる。また、各問の得点EV(VAR20~VAR23)も、内容的にはノーマッチ回数NMと誤答回数WAとから加減算のみによって得られたものである。これらの間には、明らかに数学的な一次従属関係がある。従って、分析すべき変数リストから除かなければならない。

一般に、特別の制約のついたデータを処理する場合には、演算の途中で行列式がゼロ(10の-8乗以下)になり、逆行列を求めるなどのその後の計算が遂行不可能になる。こうした特異性(Singularity)の影響は、標本(ケース)数が少ない(特に予測変数の個数に比べて)場合——群別の処理——において、しばしば経験された。記述統計と異なった難かしさである。

2) 抽出因子のこと

前項の内部共線性の問題を考慮した後の、互いに独立と考えられる15変量から抽出できる共通因子の個数は、Thurstoneの公式によれば、高々8~10個である。

従って、抽出すべき因子数を8でいどに指定すべきであるが、SPSSの処理プログラムでは、このパラメータ指定を欠く時には、内蔵パラメータ(default value)によって、因子抽出過程はコントロールされる。

この場合、我々の今の例では、抽出因子は5~6ヶであった。しかし、ある特定の因子に高い負荷を示す変数が8ヶも集中する例があり、いわゆる単純構造ではないので、分析は難しい。なお、一般に、変数の個数が8ヶ以下ならば因子分析を行うまでもなく、逆に多い場合にも60ヶどまり、因子数で10ヶでいどというのが、因子分析処理に妥当なところとされている(文献4)。

また、一般に因子分析では、3ヶ以上の変数が1つの因子内で高い負荷を示すようなパターンが、分析の簡単さから望ましいとされている。その点、我々の因子パターンはや、複雑であった。また、標本数が我々の場合には、50ヶを下回るので(33ケース)、因子負荷の大小についての細かい議論は無駄であろう。そこで、因子負荷行列の掲載は省略し、因子プロットの例(図9)と、因子パターンの特徴を示す表(図10のA, B)を示す。

因子分析の結果についての考察

1) 因子負荷の平方和である因子寄与は、各因子毎に3~1の程度であり大差はない。このように寄与が均等化されていることは、今回のCAI学習実験で測定した変数項目が、計量的ではあるが、や、単調であることを示している。

2) 因子プロットについて

因子プロットの出力は、LP用紙の枚数を組合せ論的に著しく増大させるが、その一例のみを図9に掲載した。対象は全群(ケース数33名)、変数は15ヶ、水平軸は因子#1、垂直軸は因子#2、軸の端点は因子負荷の絶対値で1であり、それを超えるとプロットされない(ただし、その旨のコメントはされる)。

図9は、分析に投入された変数の14番目(VAR19, IRTのこと)が、ほとんど因子#2そのものであることを示している。

また、垂直軸(変数IRT)に対して、変数の1番(VAR2, TLTのこと)と変数の15番(VAR24, TEVのこと)が対称に位置しているのは、成績の上(下)位のものほど、総学習時間が短(長)いという傾向が全体的に存在することを意味する。このような、IRT(説明時間)、TLT(学習時間)間の特徴的関係こそ、今回の分析からの最も重要な結論である。

3) 因子パターンのごと

図10A~Bには、成績別のH, M, L群と全群について、主因子法PA2によって抽出された共通因子と、因子の因子寄与および因子負荷の状況を示してある。因子負荷量大きい変数項目にはコード1を与え、小さい変数にはコード0(またはブランクのまゝ)を与えてある。負荷量の数値の記載は繁雑であり、議論の展開にとって本質的でないので省略する。

H群とM群からは8因子、L群から7因子、全群から6因子が抽出されている。Q1などは質問であって、その内で110などのパターンは夫々WR(誤答)、NM(ノーマッチ)、AT(解答時間)にこの順序で対応している。

この図10A~Bの表の読み方を、さらに説明する。

たとえば、H群の因子H4では因子寄与は0.77、パターンの内容は知見という欄に記入したように、IRT(説明時間)が長いのでQ1のAT(解答時間)が延び、従ってTLT(総学習時間)が延ばされるという因果関係がある。あるいは逆に云えば、H群でTLTが長くなったとすれば、それは主としてQ1において説明時間をたっぷりとしたためであり、しかもそれだけが原因である。これがH群の共通的傾向である。

同様な因子パターンを端末別にも作った(掲載は省略)。これらの因子パターンを端末群の1つと、成績群の1つを採って重ねて見ると面白いことが判る。それは、端末群と成績群のパターンの対応がランダムでは無く、偏りが見出されることである。すなわち、TML1~H, TML2~M, TML3~Lという対応が認められる。この一見不思議な対応の理由付けのために、被験者に対して別途にIQテストなど、いわゆる知能テストや心理テストを行なって対照して見たいものである。また、もし、上記の偏りの存在が尤もらしければ、今後は、各端末に被験者をよりランダムに配置するように工夫するか、少くとも標本数を増すようにしたい。

しかし、学習の当初から意識的に説明時間の長さに3段階の差をつけたのであれば(原報告第3表、文献1)説明時間には長過ぎず、短か過ぎない最適時間が存在することが確認されたことになるのであろうか? これが実は原報告の重要な結論の(2)であった。

6. 再度因子化法

今まで行って来た分析のうち、多重回帰分析では、基準変量が存在するものとしている。それは総得点TEVと総学習時間TLTとであった。ところが回帰分析の結果、得点と時間との互換性が見出され、さらに判別分析によって、互換性の成立することが証明された。そして、前節の因子分析の結論の一つとして、さらに説明時間IRTを加えて、三者間の親近性が確認されたと見られる。

かくして、今回の我々のCAI学習の分析では、諸々の変数には基準変量はなく、むしろ平等な役目を担う反応パターンとして共存するように思われる。そこで、これらの変量のうち似たような役割を果たすものを集めて分類し、今回の学習プログラムそのものの性格を明らかにする必要がある。

こうした目的のためには一般にクラスター分析手法があるが、SPSSでは単独プログラムとし

ては用意されていない（第5版までのところ）。

ところが我々は既に因子分析の際に、因子パターンに1, 0を与えてコード化してある（図10A, B）。これは抽出因子を個人ケースと見、測定変量をアイテムカテゴリーと見たときの反応パターンと同等である。こうした場合、上記の目的のためには、林 知己夫氏の数量化理論第3類（QUANTIFICATION ANALYSIS III）というのがあるが適用できるはずである。SPSSのサブプログラムで云えばHAYASI 3である。

このHAYASI 3は名義尺度変数についての因子分析（詳しくは主成分分析）であり、分析に投入すべき変数のみを指定すれば実行される。それは図10A～Bの表に従って、IRT, Q1のWR, NM, ATへの反応、同じくQ2, 同Q3, 同Q4, TLT, TEV の15変量であり、コードの最小値は0, 最大値は1であるから、アイテム・カテゴリーは30ヶとなる。入力ケースは、H, M, Lの成績別群と全群に対する抽出因子数だけある。

数量化理論第3類（HAYASI 3）による分析の結果、第5次元解まで求められた。入力変数に対して、各次元解で得られた数値の対を用いて、因子分析における因子プロットと同様な分布図を作ることができる。それらのうち、著しい特徴を持つ例を図11に示した。これは第1次元解を水平軸に、第3次元解を垂直軸にとって、変数の数値解の値をプロットしたものである。

この結果（図11）を見ると、親近性のある3群が明瞭に現われている。初期と書かれた群には、IRTとQ1に対するWA, NM, AT（それぞれ1W, 1N, 1Aと略記した、以下同様）が一同となって集っている。終期の群には、4W, 4N, 4Aが塊っている。中期の群はほゞ直線状の分布をなし、その中央部に質問の第2すなわちQ2に対する反応2W, 2N, 2Aが局在したサブ構造をなしている。TEVとTLTも同じ直線上で近くの位置を占めている。これを見れば、総得点と総時間の相関の高いことと、互換的であることは明らかであろう。また、第3問目Q3に対する反応は、同じ直線上ではあるが互いに遠く離れていて、これは学習プログラムの進行につれて、反応も複雑多岐化したこと物語っている。

また、総得点、総時間に最も影響を与えるのは、第2, 第3問であることも判る。

このようにして、今回のCAI学習プログラム内の4つの質問ステージの果たす役割が明確となった。第4問目Q4は、ほとんど補足的な役割を持ち過ぎないようだ。

本節の分析例のように、因子分析の結果そのものではなく、得られた因子負荷あるいは因子パターンをコード化して、その結果に再び（名義尺度の）因子分析を行うことによって、さらに見通しのよい分析が可能になる場合がある。著者達の試みたこのような方法は、いわば「再度因子化法」とでも名付けられるべきものであろう。物理学の分野では、量子力学に「再度量子化法」という有力な方法がある。我々も名前だけはあやかって、英訳ではthe SECOND FACTORIZATION method と呼びたい、この再度因子化法が今後あちこちで活用され、有力な手法として定着することを希望するものである。

7. 結 論

CAI学習記録データの分析に多変量解析を用いて、従来からの分析を補足・深化した。手法は、多重回帰分析、判別分析、因子分析、林の数量化理論などであり、これらはSPSSのサブプログラムとして、容易に使用できるものである。

また、新しく「再度因子化法」という試みを行ない、学習プログラムの分析に効果が大きいことを示した。

文 献

- 1) 清水 清 他：CAI研究報告 第2号(昭和48年)，北海道教育大学函館分校 P. 59
- 2) 三宅一郎：社会科学のための統計パッケージ(東洋経済新報社，昭和48年11月刊)
- 3) 北海道大学大型計算機センター・ニュース， サブルメントNo.7(1974) SPSS使用の手引
- 4) 芝 祐順：因子分析法(東京大学出版会，1972) P. 359

(本学教授・札幌分校，函館分校)

(40ページよりつづく)

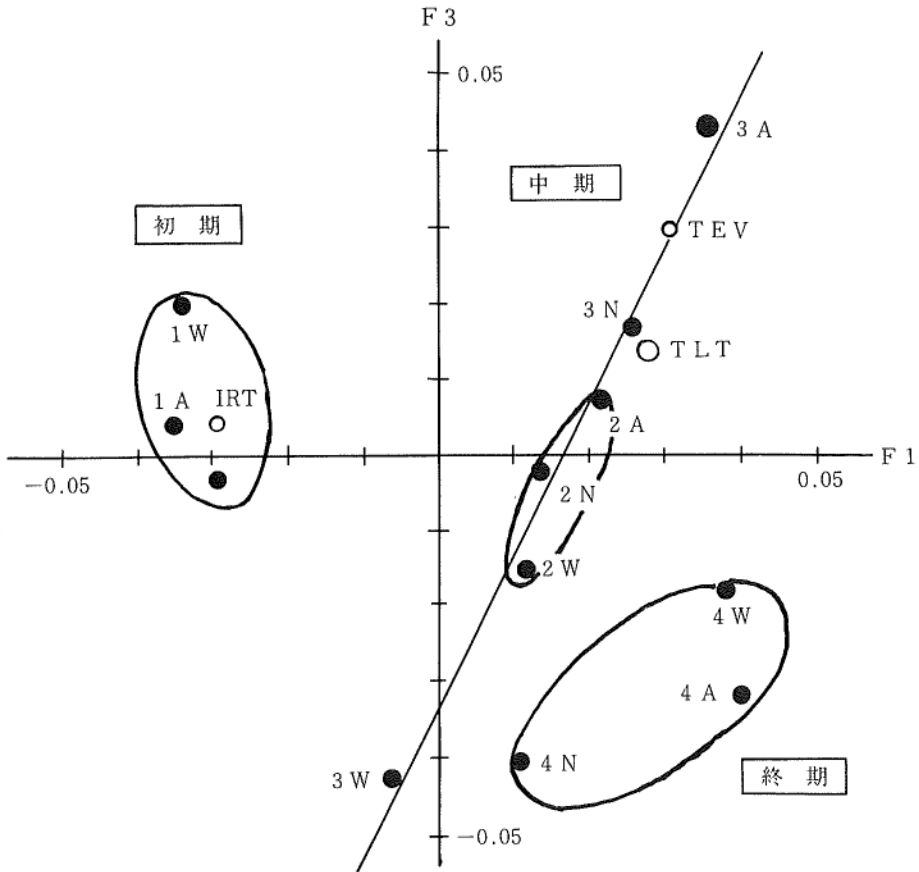


図11 再度因子化法による学習ステージの分離。因子分析の後，数量化理論Ⅲ類を用い，第1次元と第3次元解によってソートされた数値をもってプロットした分布図。学習のステージや測定変数の役目が明確になっている。

FILE WAKABA (CREATION DATE =APR. 12, 1974)

RNK3	1	6	10	2	1	2	0	0	0	0	0	0	3	1	100	24	11	40	100	5	5	5	1	16
RNK3	2	6	15	2	1	2	0	0	0	0	0	0	0	0	154	25	19	24	154	5	5	5	5	20
RNK3	7	4	6	1	2	1	0	1	1	0	0	0	0	0	65	21	24	16	61	4	4	5	5	18
RNK3	8	7	12	2	0	2	0	0	0	0	0	0	4	0	129	21	7	41	129	5	5	5	1	16
RNK3	3	5	11	0	0	1	3	0	0	0	0	0	0	0	126	7	5	9	57	2	5	5	5	17
RNK3	4	5	10	1	0	1	1	0	0	0	0	0	1	0	107	12	8	12	102	4	5	5	4	18
RNK3	9	5	8	3	1	1	2	0	1	0	0	0	0	0	90	30	13	13	77	3	4	5	5	17
RNK3	10	5	7	2	1	1	3	0	0	0	1	0	0	0	96	24	22	10	75	2	5	4	5	16
RNK3	5	4	4	1	3	3	0	0	0	0	0	0	1	0	45	11	27	39	45	5	5	5	4	19
RNK3	6	6	14	2	1	1	2	1	0	0	0	0	0	1	158	24	14	14	147	2	5	5	4	16

FILE WAKABA (CREATION DATE =APR. 12, 1974)

RNK2	13	5	4	2	1	1	0	0	2	0	3	0	0	0	41	28	31	12	41	5	3	2	5	15
RNK2	14	6	6	1	1	2	0	0	3	0	0	0	2	0	60	27	13	31	60	5	2	5	3	15
RNK2	15	7	12	4	2	1	2	1	1	1	1	0	2	0	127	53	25	13	100	2	3	4	3	12
RNK2	16	5	4	1	0	0	2	0	1	0	1	0	2	0	51	11	10	13	47	3	4	4	3	14
RNK2	17	6	4	1	1	0	3	0	2	0	2	0	1	0	66	21	25	13	49	2	3	3	4	12
RNK2	18	6	5	2	1	1	2	0	1	0	3	0	1	0	69	31	24	17	55	3	4	2	4	13
RNK2	19	6	7	1	1	1	0	4	2	0	2	0	0	0	93	19	24	11	40	1	3	3	5	12
RNK2	20	5	7	0	0	0	0	1	0	0	4	1	1	0	74	4	14	5	71	4	5	0	0	13
RNK2	21	4	3	1	0	0	2	0	2	0	2	0	1	0	51	22	15	10	39	3	3	3	4	13
RNK2	22	8	3	1	11	2	1	0	0	0	6	0	2	0	44	11	137	31	37	4	5	0	3	12
RNK2	23	6	4	0	2	2	1	0	0	0	5	1	2	0	50	9	41	27	43	4	5	0	3	12
RNK2	24	4	6	0	0	0	0	2	0	0	1	4	0	0	60	4	26	5	43	3	5	0	5	13
RNK2	25	5	6	0	1	1	1	0	0	0	0	0	2	3	69	9	11	32	59	4	5	5	0	14
RNK2	11	8	7	12	1	5	0	0	3	0	0	0	2	0	71	136	15	63	71	5	2	5	3	15
RNK2	12	6	6	4	2	1	0	1	1	0	1	0	2	0	64	51	32	18	61	4	4	4	3	15

FILE WAKABA (CREATION DATE =APR,12, 1974)

RNK1	26	9	10	3	1	2	3	1	1	1	2	0	5	0	119	38	29	53	73	1	3	3	0	7
RNK1	27	8	5	1	1	6	0	0	1	4	0	0	3	7	56	36	14	65	56	5	0	5	0	10
RNK1	28	7	11	0	0	3	4	2	1	0	0	1	2	1	137	14	10	44	46	0	4	4	2	10
RNK1	29	6	4	1	0	0	0	0	1	1	2	0	5	0	54	22	23	20	49	5	3	3	0	11
RNK1	30	7	6	3	1	0	2	0	2	0	4	0	1	0	78	39	33	10	49	3	3	1	4	11
RNK1	31	7	7	1	2	1	0	3	1	1	3	0	4	0	78	34	35	21	42	2	3	2	1	8
RNK1	32	6	5	0	0	0	1	0	4	0	4	1	0	0	60	25	17	6	51	4	1	0	5	10
RNK1	33	9	5	7	1	0	1	0	3	1	7	1	1	0	62	86	42	4	53	4	1	0	4	9

図1 「わかば幼稚園児」のCAI学習素データ。

STATISTICAL PACKAGE FOR THE SOCIAL SCIENCES, KYOTO 3RD VERSION APR. 12, 1974

```

RUN NAME          WAKABA CAI 1
FILE NAME        WAKABA
VARIABLE LIST    VAR 1, VAR 2, VAR 3, VAR 4, VAR 5, VAR 6, VAR 7, VAR11, VAR 8, VAR12,
                VAR 9, VAR13, VAR10, VAR14, VAR15, VAR16, VAR17, VAR18, VAR19, VAR20,
                VAR21, VAR22, VAR23, VAR24
SUBFILE LIST     TML 1, TML 2, TML 3
INPUT MEDIUM     CARD
INPUT FORMAT     FREEFIELD
# OF CASES       11, 11, 11
COMPUTE          STMUP=VAR 3 +VAR 4 +VAR 5 +VAR 6
COMPUTE          SWRNG=VAR 7 +VAR 8 +VAR 9 +VAR10
COMPUTE          SNMCH=VAR11+VAR12+VAR13+VAR14
COMPUTE          SANST=VAR15+VAR16+VAR17+VAR18
COMPUTE          RANK=VAR24
RECODE           RANK(LOWEST THRU 11= 1) (12 THRU 15= 2) (16 THRU HIGHEST= 3)
COMPUTE          HRANK=RANK
RECODE           HRANK( 1 = 3 ) ( 2 = 2 ) ( 3 = 1 )
VAR LABELS      VAR 1  LEARNER NUMBER/
                VAR 2  TOTAL LEARNING TIME/
                VAR 3  TIME UP Q 1 /
                VAR 4  TIME UP Q 2 /
                VAR 5  TIME UP Q 3 /
                VAR 6  TIME UP Q 4 /
                VAR 7  WRONG ANS Q 1 /
                VAR 8  WRONG ANS Q 2 /
                VAR 9  WRONG ANS Q 3 /
                VAR10  WRONG ANS Q 4 /
                VAR11  NO MATCH Q 1 /
                VAR12  NO MATCH Q 2 /
                VAR13  NO MATCH Q 3 /
                VAR14  NO MATCH Q 4 /
                VAR15  ANS TIME Q 1 /
                VAR16  ANS TIME Q 2 /
                VAR17  ANS TIME Q 3 /
                VAR18  ANS TIME Q 4 /
                VAR19  INITIAL RESPONSE TIME/
                VAR20  EVALUATION Q 1 /
                VAR21  EVALUATION Q 2 /
                VAR22  EVALUATION Q 3 /
                VAR23  EVALUATION Q 4 /
                VAR24  EVALUATION TOTAL/
                STMUP  SUM  TIME UP EVENTS/
                SWRNG  SUM  WRONG ANS/
                SNMCH  SUM  NO-MATCH EVENTS/
                SANST  SUM  ANS-TIMES/
                RANK   TOTAL EVAL RANKING
PROCESS SBFILE   ALL
COMMENT          TAB 6, 7, 8, 9, 10, TAB12, 13(ALL)
COMMENT          TABLE 11
NONPAR CORR     VAR20 TO VAR24 WITH VAR15 TO VAR18, VAR 2
READ INPUT DATA
    
```

図2 SPSSによる分析プログラムの先頭部分、ファイル定義文から、入力データの読み込みまで。

FILE WF (CREATION DATE =MAY 10, 1974)

SUBFILE L

***** MULTIPLE REGRESSION *****

DEPENDENT VARIABLE. . TLT TOTAL LEARN TM SEC

SUMMARY TABLE

VARIABLE		MULTIPLE R	R SQUARE	RSQ CHANGE	SIMPLE R	B	BETA
Q 2 T	ANS TIME Q 2	0.70071	0.49099	0.49099	0.70071	2.70065	0.82450
Q 4 T	ANS TIME Q 4	0.94484	0.89273	0.40174	0.36066	1.54371	0.50117
Q 1 T	ANS TIME Q 1	0.98624	0.97268	0.07995	0.26314	0.62596	0.27853
I R T	INITIAL RESPONSE TIME	0.99701	0.99404	0.02136	0.65449	1.34386	0.17631
Q 3 T	ANS TIME Q 3	0.99925	0.99851	0.00447	0.42730	0.76283	0.12015
	(CONSTANT)					160.48041	

図3 多重回帰分析の結果の例, 概括表の形でまとめて出力されている。

A) 目的変数TLTに対する時間変量の寄与

変 量	L		T M L 3			M		T M L 2	
	関与率	単 R	変 量	関与率	単 R	関与率	単 R	関与率	単 R
A T 2	0.49	0.70	0.62	0.78	A T 4	0.44	0.66	0.20	0.68
A T 4	0.40	0.36	0.20	0.33	A T 3	0.18	0.51	0.47	0.68
A T 1	0.08	0.26	0.09	0.36	A T 1	0.22	0.27	0.08	0.01
I R T	0.02	0.65	0.006	0.24	A T 2	0.03	0.59	0.07	0.06
A T 3	0.004	0.43	0.005	0.31	I R T	0.001	0.34	0.01	0.09

B) 目的変数TEVに対する各問得点の寄与

変 量	L		T M L 3		変 量	M		T M L 2	
	関与率	単 R	関与率	単 R		関与率	単 R	関与率	単 R
E V 1	0.24	0.47	0.47	0.45	E V 1	0.51	0.71	0.10	0.14
E V 2	0.17	-0.07	0.31	0.56	E V 3	0.25	0.53	0.70	0.84

C) 目的変数TEVに対する得点以外の変量からの寄与

変 量	L		T M L 3		
	関与率	単 R	変 量	関与率	単 R
T L T	0.40	-0.64	T L T	0.67	-0.82
N M 1	0.29	-0.52	N M 1	0.16	-0.44
I R T	0.14	-0.52	N M 3	0.03	-0.05

図4 A, B, C : 多重回帰分析の結果の整理 (その1)

i) 目的変数TEVに対する寄与の群間比較

H			M			L		
変 量	関与率	単 R	変 量	関与率	単 R	変 量	関与率	単 R
EV 4	0.70	0.46	EV 1	0.51	0.71	IRT	0.27	-0.52
EV 1	0.21	0.46	EV 3	0.25	0.53	EV 1	0.19	0.49

ii) IRTから大きな寄与を受ける目的変数例, ()内に示す

H群 (TLT)			L群 (TEV)			全群 (TEV)		
変 量	関与率	単 R	変 量	関与率	単 R	変 量	関与率	単 R
IRT	0.67	0.82	IRT	0.27	-0.52	TLT	0.37	-0.61
AT 3	0.13	-0.58	EV 1	0.19	0.49	IRT	0.29	0.49

図5 i, ii: 多重回帰分析の結果の整理 (その2)

WAKABA CAI10

DISCRIMINANT RANK WITH VAR15 TO VAR18, VAR19, VAR 2
 OPTIONS 2
 STATISTICS ALL

GROUP	CASE	GROUP WITH LARGEST PROB.	SQUARE OF MAHALANOBIS DISTANCE(D**2) FROM THE GROUP AND POSTERIOR PROBABILITY FOR GROUP						
			1.00		2.00		3.00		
H	3.00	1	3.00	18.899,	0.000	6.847,	0.087	2.138,	0.913
	3.00	2	3.00	52.885,	0.000	28.936,	0.000	8.596,	1.000
	3.00	3	3.00	42.991,	0.000	22.987,	0.000	6.051,	1.000
	3.00	4	3.00	31.086,	0.000	9.095,	0.067	3.818,	0.933
	3.00	5	→2.00	15.878,	0.021	→ 9.210,	0.586	10.007,	0.393
	3.00	6	3.00	23.915,	0.000	8.268,	0.025	0.910,	0.975
	3.00	7	3.00	20.043,	0.001	12.402,	0.049	6.454,	0.950
	3.00	8	3.00	18.388,	0.000	3.888,	0.223	1.397,	0.776
	3.00	9	3.00	32.325,	0.000	11.409,	0.157	8.047,	0.843
	3.00	10	3.00	20.147,	0.000	4.767,	0.162	1.481,	0.838
M	2.00	1	3.00	13.709,	0.011	6.155,	0.475	5.994,	0.514
	2.00	2	2.00	29.009,	0.024	21.684,	0.952	29.071,	0.024
	2.00	3	2.00	4.083,	0.144	0.538,	0.847	9.637,	0.009
	2.00	4	→1.00	→ 4.372,	0.576	4.995,	0.422	16.128,	0.002
	2.00	5	2.00	11.137,	0.016	3.234,	0.826	6.534,	0.158
	2.00	6	2.00	10.745,	0.008	1.251,	0.930	7.053,	0.052
	2.00	7	2.00	6.531,	0.130	2.748,	0.863	12.337,	0.007
	2.00	8	2.00	2.576,	0.434	2.051,	0.564	13.818,	0.002
	2.00	9	2.00	17.962,	0.001	3.543,	0.818	6.552,	0.182
	2.00	10	2.00	32.016,	0.021	24.292,	0.976	35.856,	0.003
	2.00	11	2.00	11.054,	0.007	1.124,	0.973	8.904,	0.020
	2.00	12	2.00	5.347,	0.177	2.282,	0.819	13.088,	0.004
	2.00	13	2.00	18.611,	0.000	3.673,	0.673	5.118,	0.327
	2.00	14	2.00	12.401,	0.006	2.861,	0.731	4.912,	0.262
	2.00	15	2.00	5.044,	0.204	2.342,	0.787	11.132,	0.010
L	1.00	1	→2.00	3.507,	0.450	→ 3.110,	0.549	15.905,	0.001
	1.00	2	1.00	1.580,	0.894	5.845,	0.106	21.585,	0.000
	1.00	3	1.00	4.597,	0.998	16.649,	0.002	31.087,	0.000
	1.00	4	1.00	8.353,	0.995	19.116,	0.005	37.352,	0.000
	1.00	5	1.00	12.724,	0.961	19.174,	0.038	28.482,	0.000
	1.00	6	1.00	0.967,	0.886	5.064,	0.114	20.438,	0.000
	1.00	7	1.00	3.222,	0.719	5.105,	0.281	19.258,	0.000
	1.00	8	1.00	13.379,	0.999	28.574,	0.001	56.349,	0.000

図6 判別分析の例, 原群, 群内の処理番号, 最大確率の群, 群の中心からのマハラノビス距離の2乗, 事後確率(後の2つは各群毎に)が与えられている。

判別変数の選び方

原群	番号	1	2	3	4
H	# 8			M	
	# 3			L	M
	# 5			M	
M	# 13				H
	# 14			L	
	# 16			L	L
	# 17			H	
	# 22	L			
L	# 26			M	M
	# 29		M		
	# 32			M	
	# 33			M	

図7 判別方法の違いによる所属群の判別の異同の例

```
FILE WAKABA ( CREATION DATE =APR. 12, 1974)
SUBFILE      TML 1  TML 2  TML 3
FACTOR       VARIABLES =VAR 2, VAR 7 TO VAR19, VAR24/
              TYPE =PA 2/ NFACTORS = 8/
STATISTICS   ALL
```

VARIABLE	MEAN	STANDARD DEV	CASES
VAR 2	6.0303	1.3575	33
VAR 7	1.0909	1.2084	33
VAR11	0.5152	0.9722	33
VAR 8	1.0303	1.1035	33
VAR12	0.2727	0.7613	33
VAR 9	1.6364	1.9497	33
VAR13	0.2727	0.7613	33
VAR10	1.5152	1.4603	33
VAR14	0.3949	1.3214	33
VAR15	81.9394	33.0860	33
VAR16	28.1515	25.3206	33
VAR17	24.1212	22.4691	33
VAR18	22.4848	16.5664	33
VAR19	66.1212	30.4074	33
VAR24	13.6061	3.1912	33

FACTOR	EIGENVALUE	PCT OF VAR	CUM PCT
1	3.49624	27.2	27.2
2	2.87374	22.4	49.6
3	1.66630	13.0	62.6
4	1.36879	10.7	73.3
5	1.15839	9.0	82.3
6	1.01402	7.9	90.2
7	0.81458	6.3	96.5
8	0.44375	3.5	100.0

図8 SPSSによる因子分析のコントロールカードの例（上から3段目）以降のわずかに3行である。6段目は真先に投入された変数の平均値と標準偏差が真先に計算されることを示す。下から9段目以降は抽出された8因子と、その固有値などである。

FILE WAKABA (CREATION DATE=APR. 12, 1974)

SUBFILE TML1 TML 2 TML 3

HORIZONTAL FACTOR 1 VERTICAL FACTOR 2

- 1 = VAR 2 (TLT)
- 2 = VAR 7
- 3 = VAR 11
- 4 = VAR 8
- 5 = VAR 9
- 6 = VAR 12
- 7 = VAR 13
- 8 = VAR 10
- 9 = VAR 14
- 10 = VAR 15
- 11 = VAR 16
- 12 = VAR 17
- 13 = VAR 18
- 14 = VAR 19 (IRT)
- 15 = VAR 24 (TEV)

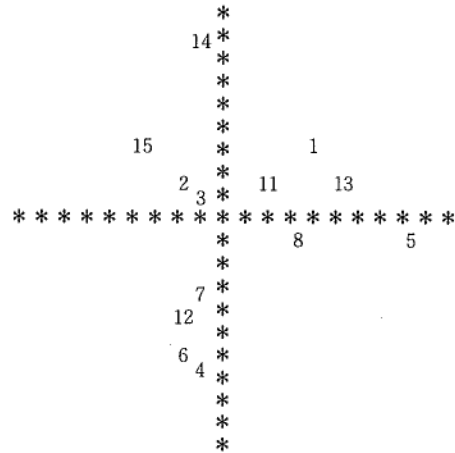


図9 因子プロットの例。水平軸は第1因子、垂直軸は第2因子(番号14の変数=VAR19, すなわちIRTによって代表されている)。変数番号1(=VAR 2, TLT)と変数番号15(=VAR24, TEV)のプロットが、第2因子軸(IRT)に関して対称であり、正反対の傾向を持つことが十分に示されている。

因子	因子寄与	IRT	Q 1	Q 2	Q 3	Q 4	TLT	TEV	知 見
H 1	0.81		0 1 0						IRT(説明時間)がQ1のATを延ばし、従ってTLTも延びる 総得点は実験条件に無関係
H 2	0.74		NM			1 0 1			
H 3	0.74				1 0 1				
H 4	0.77	1	0 0 1				1		
H 5	1.00			1 0 1					
H 6	0.64							1	
H 7	0.81					0 1 0			
H 8	0.64		1 0 0						
M 1	2.26	1	0 0 1	0 1 0					Q 2, Q 4のWRのためATが延び、従ってTLTも延びた Q 1のNM, Q 4のWRでTEV減少 Q 2のWR, Q 3のWRでTEV減少 Q 3のWRでQ 3のATが延び、従ってTLTも延びた
M 2	2.30		AT	1 0 1		1 0 1	1		
M 3	1.49		0 1 1			1 0 0		1	
M 4	1.13		NM	1 0 0	1 0 0			1	
M 5	1.06			1 0 0	0 1 0				
M 6	0.64		1 0 0						
M 7	1.16		WR		1 0 1		1		
M 8	0.64					0 1 0			

図10A : HとM群の因子パターン。負荷の大小は1, 0でコード化されている。知見のらんは、その行内のパターンから汲みとった情報を文章化したもの。

因子	因子寄与	IRT	Q 1	Q 2	Q 3	Q 4	TLT	TEV	知 見
L 1	2.96			1 1 0 WR NM AT	1 0 1	0 1 1	1		Q 2～4でのWRやNMがAT、従ってTLTを延ばした
L 2	2.52			0 0 1	1 0 1		1	1	Q 2, 3のAT延長がTLTを延ばし、Q 3のWRがTEVを減少させた
L 3	3.06			1 0 0	1 1 0	1 0 0			
L 4	1.97		1 0 1	0 1 0					
L 5	1.31	1					1	1	IRT (説明時間)の長いこと(あるいは長いことが必要であったこと)がTLTを延ばし、TEVを減少させた
L 6	1.46		0 1 1					1	Q 1のNMの影響がATの延長、TEVの減少に見られる
L 7	0.16				0 1 0				
全 1	2.59			0 1 0		1 1 1	1	1	Q 4の影響でTLT延長、TEV減少、IRT (説明時間)はQ 1のAT、Q 2のWRに影響がある、
全 2	1.80	1	0 0 1	1 0 0					
全 3	1.75			1 0 1			1		Q 2のWRのためATが延びればTLTに及ぶ
全 4	1.80				1 0 1		1	1	Q 3のWRはTLT、TEVに波及する
全 5	1.00		1 0 0						
全 6	0.88		0 1 0		0 1 0				

図10B L群と全群の因子パターン。負荷の多少は1、0コード化されている。知見のらんは、その行内のパターンから容易に汲みとれる情報を文章化したもの。

(33ページにつづく)