

電子計算機演習の成績に影響を与える学生の諸因子について (教育データによる解析事例)

岡田幸子 菅野文友
東京理科大学 工学部経営工学科

本学工学部経営工学科におけるコンピュータ教育のうち、2年次で履修するFORTRAN言語による電子計算機演習Ⅱの成績評価を対象とし、それに影響を与える諸因子の関連性について、解析した。

諸因子としては、1年次の一般教養科目に注目した。それらの成績評価に電子計算機演習Ⅱの成績評価を加えた教育データを適用した。各教科間の相互関係を明瞭に把握するために、主成分分析で解析を試み、データの解釈を行なった。結果として、「総合能力」因子、「語学適正能力—化学的能力」因子、「数式解法能力—記号操作能力」因子の3つの能力因子を得た。また、これらの抽出した3つの能力因子それぞれについて、電算機演習Ⅱの成績評価の優劣による差異が見られるかどうかを、分散分析法で解析した。

The Study of Effective Factors on Computer Programming Exercise
(The Case Study of Educational Results)

Sachiko Okada Ayatomo Kanno

Department of Management Science, Faculty of Engineering, Sience University of Tokyo

1-3, Kagurazaka, Shinjyuku-ku, Tokyo 162, Japan

This paper describes various effective factors on a result of FORTRAN programming exercise in one class of our university. The factors are four subjects such as ; mathematics, physics, chemistry and English. These educational results including FORTRAN programming exercise were studied using the principal component analysis (PCA).

As a result, three ability factors ("synthetic ability", "linguistic-chemical ability" and "solving numerical formula-coding ability") were taken out.

This paper shows two abilities out of these three give their significance at the 1% and 5% level toward the result of FORTRAN programming exercise.

1. はじめに

本学当学科のコンピュータ教育は、まず、1年次で電子計算機序説の講義と、パソコンを使用しているBASIC言語による、プログラム作成の実習を伴う電子計算機演習Ⅰを学習する。次に、2年次で大型コンピュータを使用してOS（オペレーティング システム）、エディタ機能、コンパイラなどを学習しながら、FORTRAN言語による、プログラム作成の実習を伴う電子計算機演習Ⅱ（電算機演習Ⅱ）の履修を基礎としている。この電算機演習Ⅱの成績評価は、レポート提出に加えて、学期末のテストで合格点に達しなければ、単位取得は不可能である。このテストの評価得点に対して、影響を与える要因を探り、その関連性について解析するのが目的である。先に、BASIC言語によるプログラム作成経験、性別、履修別、通学方法別、コンピュータの使用機種別などを、要因として取り上げ、解析を行なった(1)。今回は、諸因子として、1年次の一般教養科目に注目し、その中から数学、物理、化学、英語の4科目の成績評価を取り上げた。

2. データ解析

2.1 解析データ

サンプルを構成する70個の対象は、本学当学科の、X年度入学者の学生教育データの中から無作為抽出で取り出し、欠測値を取り除いたものである。特性値として、電算機演習Ⅱ、数学、物理、化学、英語の5科目の成績評価を扱う。これらの5科目は、すべて必修科目である。特に一般教養科目のうち英語、数学、物理か化学のいずれか一方を、指定必修科目と決め、2年次進級に単位取得が義務づけられている。

2.2 データの集約化

5個の特性値の最大値、最小値、範囲、平均、標準偏差、変動係数、歪み、尖りなどの基本統計量の算出結果を表1に示した。それぞれのヒストグラムを作成して分布の正規性、はずれ値を確認した。

表1 基本統計量

項番	項目\区分	電算	数学	物理	化学	英語
1	最大値	98.00	95.00	98.00	96.00	94.00
2	最小値	10.00	45.00	49.00	60.00	58.00
3	範囲	88.00	50.00	49.00	36.00	36.00
4	平均	59.64	69.86	71.10	76.20	75.30
5	標準偏差	22.10	11.95	9.94	8.35	8.28
6	変動係数	0.37	0.17	0.14	0.11	0.11
7	歪み	-0.67	0.06	0.46	0.27	-0.19
8	尖り	-0.33	-0.31	0.18	-0.67	-0.73

表1から、標準偏差の特に大きい特性値は22.10の値をもつ電算機演習Ⅱだけである。残りの4つの特性値の標準偏差は、電算機演習Ⅱに比べて小さく、8.28から11.95のほぼ同じ値をもっている。平均値では、数学、物理の69.86、71.10に対して、化学、英語が76.20、75.30とやや高く、電算機演習Ⅱは59.64と低い。一般教養科目の平均が電算機演習Ⅱに比べて高い理由は、指定必修科目には再試制度があり、90%近くが単位取得するのに対して、電算機演習Ⅱは専門科目であり、原則として、再試制度は無いことが原因であろう。

バラツキの相対的な大きさを示す変動係数は、電算機演習Ⅱが37%と圧倒的に大きく、他の4つの特性値は11%から17%である。また、特性値間の関連性を表2の相関係数で評価し、ケースの特徴を散布図でとらえた。相関係数のうち、2つの特性値間の関係が、r表により検定をして、統計的に有意であるものには*（5%有意水準：*、1%有意水準：**）をつけ、寄与率 r^2 の値が、0.5以上のものに対しては、下線をひいた。相関係数に見られる主要な特徴としては、特

表2 相関係数行列 (R)

項番	区分	電算	数学	物理	化学	英語
1	電算	1.00	**0.64	**0.51	**0.55	**0.49
2	数学	**0.64	1.00	**0.72	**0.56	**0.56
3	物理	**0.51	**0.72	1.00	**0.52	**0.48
4	化学	**0.55	**0.56	**0.52	1.00	**0.45
5	英語	**0.49	**0.56	**0.48	**0.45	1.00

別に相関の高いもの（８０％以上）や、低いもの（１０％以下）は認められない。ただし、特性値間の相関係数は、いずれも正の相関があり、その値は０．４５から０．７２であり、数学と物理の特性値間に、やや高いのが認められる程度である。

２．３ 解析方法

各特性値間に相関関係があることは、２．２において確認した。従って、５つの特性値間の相関関係に注目して、特性値に共通する要素を抽出するために、ここでは、多特性を同時に総合的に取り扱うことのできる主成分分析（ＰＣＡ）を取り上げた。また、電算機演習Ⅱの成績の優劣によって、ＰＣＡの結果得られた主成分に、差異がみられるかどうかを分散分析法で解析した。

３． 解析結果と考察

相関係数行列Ｒ（表２）にＰＣＡを施した結果を表３～表５、図１～図２に示す。得られた結果から、データの特徴の解釈をする。

３．１ 各主成分の意義の解釈

表３から、第一主成分の寄与率は、寄与率が６３．８９％であり、他の４つの主成分の寄与率を大きく上まわっている。すなわち、この１つの成分で、すべての特性値のもつ情報の６割強が要約されているといえる。

累積寄与率を見ると、第３主成分までとれば、全情報の８５．８０％が集められたことになる。残余の約１４％に含まれる細かい情報をノイズとすれば、第１主成分から第３主成分だけを考慮すればよいと思われる。今回の解析結果においては、 $\lambda \geq 1$ である固有値は、第１主成分の固有値 λ_1

表３ 固有値と寄与率

項目 \ 区分	Z_1	Z_2	Z_3	Z_4	Z_5
固有値	3.19	0.56	0.54	0.46	0.25
寄与率(%)	63.89	11.19	10.72	9.21	4.99
累積寄与率(%)	63.89	75.08	85.80	95.01	100.00

表４ 固有ベクトル

項番 \ 項目	Z_1	Z_2	Z_3	Z_4	Z_5
1 電算	0.45	-0.16	-0.37	0.74	-0.28
2 数学	0.49	-0.07	0.32	0.15	0.79
3 物理	0.45	-0.18	0.67	-0.18	-0.53
4 化学	0.43	-0.40	-0.54	-0.60	0.03
5 英語	0.41	0.88	-0.15	-0.16	-0.08

（３．１９）だけであるが、累積寄与率を８０％以上と考えたので、第２主成分の λ_2 （０．５６），第３主成分の λ_3 （０．５４）までを取り入れた。

表４から、３つの主成分は総合特性値を Z_k 、もとの特性値を x_i とすると、次式で与えられる。

$$Z_1 = 0.45x_1 + 0.49x_2 + 0.45x_3 + 0.43x_4 + 0.41x_5$$

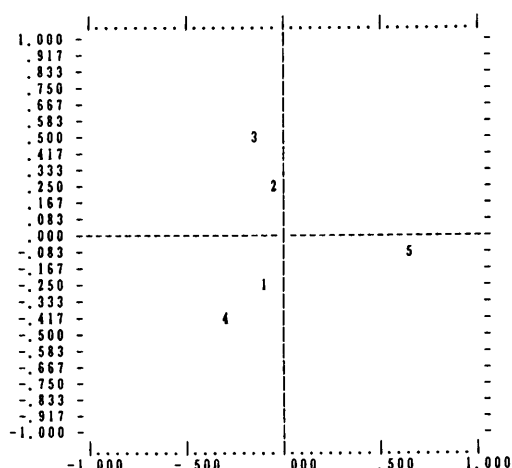
$$Z_2 = -0.16x_1 - 0.07x_2 - 0.18x_3 - 0.40x_4 + 0.88x_5$$

$$Z_3 = -0.37x_1 + 0.32x_2 + 0.67x_3 - 0.54x_4 - 0.15x_5$$

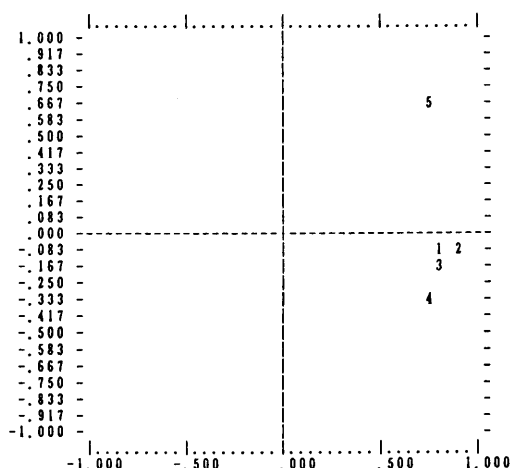
これから、 Z_1 の係数は、すべて正でその値は０．４１から０．４９の範囲にある。５個の特性値が大きければ大きいほど、 Z_1 は大きくなるという傾向を示している。すなわち、５科目の得点が高ければ高い者ほど Z_1 の値は大きくなる。従って、第１主成分はもとの特性値に共通する「総合能力」の因子と言える。

Z_2 の係数は、英語だけが正で０．８８と大きく、他はすべて負であり、その値は化学の０．４０を除くと０．１８から０．０７と比較的小さい。英語の影響度が非常に大きい、化学も影響度を無視することはできない。従って、第２主成分は、「語学適正能力－化学的能力」因子と言える。

Z_3 の係数には正、負のものがまじっており、正の係数をもつものは物理、数学で、その値はそれぞれ、０．６７、０．３２である。また、化学、電算機演習Ⅱ、英語の係数は負であり、その値はそれぞれ０．５４、０．３７、０．１５である。物理、数学に共通な数式の解法を得意とする因子と、化学、電算機演習Ⅱに共通な記号の操作力を得意とする因子と言えるので、「数式解法能力－記号操作能力」の因子と名づける。



横軸=第1主成分,縦軸=第2主成分



横軸=第2主成分,縦軸=第3主成分

図1 因子負荷量のグラフ

図1に第1主成分と第2主成分、第2主成分と第3主成分の因子負荷量を、それぞれ2次元のグラフにプロットしたもの示す。図中の数字1から5は、それぞれ特性値である電算機演習Ⅱ、数学、物理、化学、英語を示す。図1より、3次元的に見ると、特性値は物理と数学グループ、電算機演習Ⅱと化学グループと英語の3つに分かれ、科目間の特徴がよくわかる。

表5には主成分 Z_k と、もとの特性値 x_i との相関係数である因子負荷量と寄与率を示し、一番下の欄に、特性値である5科目のすべての合計点との相関を示した。また、因子負荷量の絶対値が0.5を超えるものにアンダーラインが引いてある。

表5から、第1主成分の因子負荷量はすべてが正で、その大きさ0.736から0.881は比較的大きい。このことは、第1主成分はすべての科目と正の大きな相関をもっていると言える。大きさは数学、物理、電算機演習Ⅱ、化学、英語の順である。また、合計点との相関係数は98.8%と圧倒的に大きく、前述の第1主成分の解釈は妥当であろう。表5から、第2主成分の因子負荷量は英語だけが正で、その大きさは0.657でやや大きい。負の方で相関が見られるのは化学である。他の科目はほとんど相関がなく、寄与していない。

すなわち、英語が比較的大きく寄与するが、化学も無視できない。また、合計点との相関係数はゼロに近い。従って、総合能力を表わすものではなく、英語と化学の2科目にそれぞれ存在する要素を考慮すると、前述の第2主成分の解釈は妥当であろう。表5から、第3主成分の因子負荷量は物理、数学が正で、その大きさは0.488, 0.235である。負の方で相関が見られるのは化学、電算機演習Ⅱで、その大きさは0.393, 0.274である。従って、寄与率は低く、あまり多くの情報は得られないが、ここではノイズとして無視せず、情報として拾い上げた。英語はほとんど相関がなく、寄与していない。また、合計点との相関係数はゼロに近い。従って、総合能力を表わすものではなく、物理、数学と化学、電算機演習

表5 因子負荷量と寄与率

項目	区分	因子負荷量			寄与率	因子負荷量		寄与率
		Z_1	Z_2	Z_3		Z_4	Z_5	
1	電算	<u>0.797</u>	-0.121	-0.274	0.725	<u>0.505</u>	-0.141	1.000
2	数学	<u>0.881</u>	-0.052	0.235	0.833	0.103	0.395	1.000
3	物理	<u>0.811</u>	-0.135	0.488	0.914	-0.121	-0.267	1.000
4	化学	<u>0.765</u>	-0.301	-0.393	0.832	-0.409	0.016	1.000
5	英語	<u>0.736</u>	<u>0.657</u>	-0.113	0.986	-0.112	-0.042	1.000
6	合計点 と相関	0.988	-0.035	-0.053	—	0.139	-0.026	—

Ⅱの2科目間ずつのバランス度であり、前述の第3主成分の解釈は妥当であろう。

3. 2 主成分得点の解釈

図2に主成分得点を第1主成分と第2主成分、第1主成分と第3主成分をそれぞれ2次元のグラフにプロットしたものを示す。

(1) サンプルの分類

サンプルの主成分得点をグループ分けする前に、本学科の学生の特徴である次の2点を考慮する必要がある。1つは入試科目の理科が物理か化学の何れかの選択であり、化学だけあるいは物理だけを受験科目の目標とした者がいるということである。もう1つは学科内の調査で、入試時の理数系科目に対して、英語が得意でない学生がやや多い傾向にあることである。

この特徴をふまえて図2を見ると、図中のグループAは総合能力に優れ、語学適正能力と化学的能力のバランス度がよい。また、数式解法能力と記号操作能力のバランス度もいいが、やや理数系の方が優れている傾向が見られる。このグループは総合能力タイプで70人中8人が属し、いわゆる成績評価のトップグループである。

グループBは総合能力としては中間に位置するグループで平均的である。しかし、英語が特に低く平均点を大きく下まわっており、物理も平均点以下であるが、化学は高得点でトップグループである。70人中3人だけが、先に挙げた当学科の特徴を大きく持ったグループである。

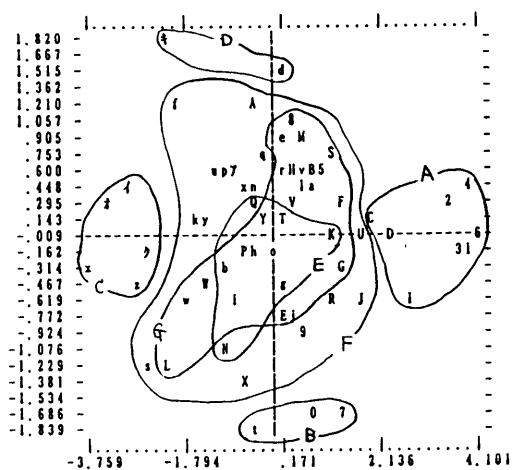
グループCは総合能力の下位グループで、特別に得意の科目も無く、いわゆる成績評価の悪いグループである。70人中7人が属する。

グループDは70人中2人だけが属している。総合能力について、1人は平均的で、他の1人は平均を大きく下まわっているが、共に英語は高得点を取っている学生のグループであり、当学科では貴重な存在と言える。

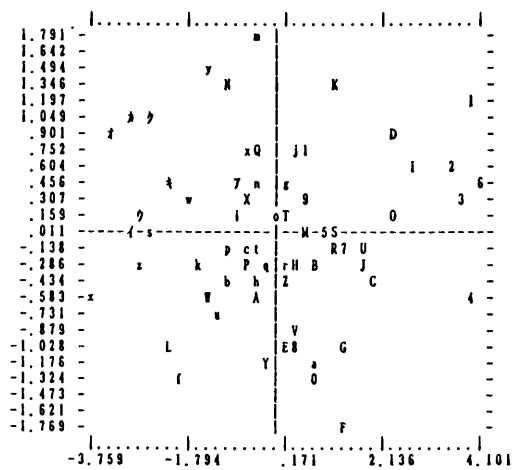
グループEは総合能力としては中間に位置するグループで平均的である。しかし、化学は平均点を大きく下まわっているが、物理は高得点を取っているグループである。70人中3人だけが属するが、Bグループ同様、先に挙げた当学科の特徴を大きく持ったグループである。

グループFは総合能力としては中間に位置するグループで、特徴が無く、70人中39人を含む当学科の平均的学生のグループである。

グループGは総合能力としては中間に位置する



横軸=第1主成分, 縦軸=第2主成分



横軸=第1主成分, 縦軸=第3主成分

図2 主成分得点のグラフ

グループで平均的である。しかし、物理は平均点を大きく下まわっているが、化学は高得点を取っているグループである。70人中8人が属しているが、Eグループ同様、先に挙げた当学科の特徴を大きく持ったグループである。

このように、全体を7グループに分類できた。

(2) 電算機演習Ⅱの成績群と3つの能力因子の差異の検定

主成分分析の結果、5つの特性値が3つの能力因子に縮約できた。

また、図3は電算機演習Ⅱの成績別(A, B, C, D)に各能力因子を示したグラフである。この図3を見ると、「総合能力」因子は成績のA, B, C, Dの順に低くなっている。「語学適正能力ー化学的能力」因子は成績に関係無く、ほぼゼロラインである。「数式解法能力ー記号操作能力」因子は成績のA, Bではほとんど同じであるが、Cでいったん下降しDで正の方向へ上昇している。従って、これらの3つの能力因子の程度が、電算機演習Ⅱの成績の優劣によって、差異が認められる可能性は十分に考えられる。そこで、成績群を要因とし、水準4の一元配置の分散分析を行った。

この結果(表6)から、電算機演習Ⅱの成績群と「総合能力」因子間では1%水準で高度な有意差が認められた。しかし、「語学適正能力ー化学的能力」因子間では差が見られない。また、「数式解法能力ー記号操作能力」因子間においては、有意差(有意水準5%)が見られた。

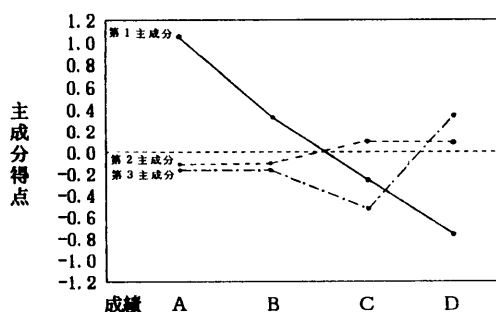


図3 成績と能力因子のグラフ

すなわち、電算機演習Ⅱの成績の優劣によって、「総合能力」因子と「数式解法能力ー記号操作能力」因子の2つの能力因子間に差異が認められた。

各水準間の母平均の差の検定(t検定)を行ったところ、「総合能力」因子ではAとC, AとD, BとDで高度な有意差(有意水準1%)が認められ、AとB, BとCで有意差(有意水準5%)が認められた。また、「数式解法能力ー記号操作能力」因子においてはCとDで高度な有意差(有意水準1%)が認められたが、他の水準間での差異は認められない。

表6 分散分析の結果

能力	要因	F値	自由度	検定結果
総合能力	成績群	21.52**	3	1%水準で有意
語学適正能力ー化学的能力	成績群	< 1.00	3	—
数式処理能力ー記号処理能力	成績群	2.79*	3	5%水準で有意

図3のグラフと表6の結果から、電算機演習Ⅱの成績評価が優秀な学生ほど高い総合能力を持ち、数式解法能力と記号操作能力のバランス度がよい。また、成績評価が悪い学生は、総合能力は低く、数式解法能力と記号操作能力のバランス度はくずれ、どちらかに偏る傾向が見られる。

4. 結論

電算機演習Ⅱの成績評価に影響を与える学生の諸因子として、1年次の履修科目である教養科目の中から数学、物理、化学、英語の4教科の成績評価を取り上げた教育データに、主成分分析を施した。また、電算機演習Ⅱの成績群(A, B, C, D)と抽出された能力因子間での分散分析を行った。

4.1 能力因子の抽出

特性値である電算機演習Ⅱ、数学、物理、化学、英語の5教科の成績評価から、次の3つの能力因子が抽出された(表7)。3つの能力因子はそれぞれ直交し、無相関であることが確認できた。

(1) 「総合能力」因子

固有値 3.19 をもつ第1主成分で、すべての特性値と正の大きな相関を持つ因子であり、5教科の評価が高ければ高い学生ほど総合能力がある。

(2) 「語学適正能力-化学的能力」因子

固有値 0.56 をもつ第2主成分で、特性値のうち、英語とはやや高い正の相関を持ち、化学とは低いが無視できない負の相関を持つ因子である。これら以外の特性値は、ほとんど寄与しない。

(3) 「数式解法能力-記号操作能力」因子

固有値 0.54 をもつ第3主成分で、この因子に対する特性値の相関は全体的に低い。そのなかで、物理、数学が正の相関を、化学、電算機演習Ⅱが負の相関を示し、英語は寄与していない。

に対しては、負の方向に布置する。すなわち、(1) に対して正の相関があり、(2)、(3) に対しては負の相関をもつ科目である。5つの特性値のうち、この2科目は近い位置関係にある。

(3) 英語

4.1 の(1)、(2) は正の方向へ、(3) に対しては負の方向に布置する。すなわち、(1)、(2) に対して正の相関があり、(3) に対しては負の相関をもつ科目である。5つの特性値のうち、この科目は離れた位置にある。

4.3 主成分得点の分類

70個のサンプルが3つの能力因子によって、次の7タイプに分類することができた。

4.2 特性値の分類

4.1 の3つの能力因子を用いて、5つの特性値は次の3グループに分類することができた。

(1) 数学と物理

4.1 の(1)、(3) は 正の方向へ、(2) に対しては負の方向に布置する。すなわち、(1)、(3) に対して正の相関があり、(2) に対して負の相関をもつ科目である。5つの特性値のうち、この2科目は近い位置関係にある。

(2) 電算機演習Ⅱと化学

4.1 の(1) は正の方向へ、(2)、(3)

(1) 成績評価のトップグループ

(2) 化学が高い評価をもち、物理と英語の評価が低い中間グループ

(3) すべての成績評価が劣っているグループ

(4) 英語だけが低い評価をもつグループ

(5) 化学の評価が平均以下で物理が高い評価をもつ中間グループ

(6) 平均的な中間グループ

(7) 物理の評価が平均以下で化学が高い評価をもつ中間グループ

本学科は入試科目の理科が物理か化学のどちらかの選択であるので、化学だけあるいは物理だけを受験科目の目標とした者がいるということと、

表7 能力因子の抽出

主成分	因子(能力)	特性値との関連性
Z_1	総合	すべての特性値と正の大きな相関をもつ
Z_2	語学適性 -化学的	特性値の英語とやや高い正の相関をもち、化学とは低いが無視できない負の相関をもつ
Z_3	数式解法 -記号操作	すべての特性値との相関は低い、物理、数学と正の相関をもち、化学、電算機演習Ⅱとは負の相関をもつ

学科内の調査で、入試における理数系科目に対して英語の得意でない学生がやや多い傾向があるという特徴を考慮すると、(2), (5), (7)のグループに本学科の特徴が見られる。(4)のグループは当学科にとっては貴重な存在と言えよう。

4.4 成績群と能力因子の差異

電算機演習Ⅱの成績の優劣によって、3つの能力因子のうち、次の2つに差異が認められた。

(1) 「総合能力」因子

成績群(A, B, C, D)との差異は高度(有意水準1%)に有意であった。また、各水準間の母平均の差の検定の結果、AとC, AとD, BとDで高度(有意水準1%)な有意差が認められ、AとB, BとCで有意差(有意水準5%)が認められた。

(2) 「数式解法能力-記号操作能力」因子

成績群(A, B, C, D)との差異は有意差(有意水準5%)があった。また、各水準間の母平均の差の検定の結果、CとDで高度な有意差(有意水準1%)が認められた。他の水準間での差異は認められない。

5. おわりに

取り上げた教育データについて、主成分分析の結果、5教科間の相互関係が明瞭に把握できた。また、一元配置の分散分析の結果から、電算機演習Ⅱの成績評価の優劣によって、「総合能力」因子と「数式解法能力-記号操作能力」因子のバラツキに差異が認められた。すなわち、電算機演習Ⅱの成績評価が優秀な学生ほど総合能力が高く、数式解法能力と記号操作能力のバランス度が良い。そして、成績の良くない学生ほど総合能力が低く、数式解法能力と記号操作能力のバランス度も低く、どちらかに偏りをもつ。

電算機演習Ⅱの成績評価はバラツキが大きいので、授業の進め方はなかなか困難である。すなわち、(1)現在、優秀な学生には、より高度な課

題を与え、いくつかの段階に分けて順に先へ進むように指導している。(2)成績の良くない学生には、基礎の部分をゆっくり理解させてから、次へ進む方針で指導している。しかし、基礎の部分を理解しないで、先の課題に飛びついてしまう学生もいて、ステップを追った教育はなかなか困難である。(3)段階的なチェックポイントを設け、理解度に合わせた授業を徹底させることが重要である。(4)優秀な学生には基礎をふまえた応用力を養わせ、成績の良くない学生には、2年がかりで基礎知識をゆっくり理解させる教育を実施することが、筆者らの課題である。

なお今後は、電算機演習Ⅱに影響を与える要因として、次を加えて解析を進める予定である。

- (1) 語学系として、ほとんどの学生が大学の入学以前に履修経験の無い独語を追加する。
- (2) 数学系の微積分学、解析学、線形代数学の3つを、それぞれ別の評価得点にする。
- (3) 入試時の理科の選択科目を追加する。
- (4) 一般教養科目の他の科目である論理学、経済学、社会学を追加する。

6. 参考文献

- (1) 岡田, 菅野: 電子計算機演習の成績に影響を与える諸要因における解析事例, 89-ET(投稿中)
- (2) 中央情報教育研究所: 情報処理技術者の適性検査に関する調査研究報告書、平成元年度3月
- (3) 御牧義: 大学などの情報処理教育について—昭和63年度調査報告—、情処研報 VOL89, N 0.58
- (4) 奥野, 芳賀他: 多変量解析法、日科技連出版社、(1975)
- (5) 芳賀, 大橋: 回帰分析と主成分分析、日科技連出版社、(1980)
- (6) 菅野: データの集め方・見方・解析の仕方、建築保全, VOL. 14~23 (1981~1983)