

学習者の認知構造変容測定による教師の授業評価法と 学習者個人別評価法の開発(2)

— IWATによるP-Pグラフ分析(CATI方)のその後の展開 —

佐伯卓也*

(1990年12月10日受理)

Takuya SAEKI

Development of an Evaluation Method of Teaching and that of Achievement of
Learners by Measuring Changes of Cognitive Structure of Learners (2)
— Later Development of the P-P Graph Analysis (CATI-Method) by the IWAT —

教師は自分の実践した授業が、客観的な評価を経て、ただちにフィードバックされ、それをすぐに次時に利用できることをのぞんでいる。特に教育実習時の教生指導では強く望まれる。この要求に答えようとして1980年ころより実戦的研究を経て考案したのが、IWATによるP-Pグラフ分析を含む一連の分析手順である。これらの結果の大部分はそのつど断片的に公表してきたが、まとめて報告はしていない。本稿ではこれらの諸結果をまとめ、さらに二三の新しい知見をも加えることにする。

[キーワード] 認知構造、授業評価、IWAT、数学教育、算数教育、教師教育

1 はしがき

アメリカのJohnson(1969)、Shavelson(1972)、Geeslin and Shavelson(1975)、Shavelson

*岩手大学教育学部数学科

and Stanton(1975)、Branca(1980)、等により、物理や数学にかかわる子ども認知構造変容の幾つかの測定用具が研究開発されて来た。この中には、言語連想テストのほかに、類似判断テスト、カード分けテスト、グラフ作りテストがあった。これら諸テストの追試を経て、幾つかの用具の開発を試み、取り扱いや集計の仕方と事後の計算処理の簡単さの見地から、I式Aテスト(後に“IWAT”という)を完成した(佐伯、1981ab; 1982ab)。IWATの用具はアメリカのWAテストと異なっているが、測定の対象はほぼ同じと考えている。次にIWATの標準的データ処理法の同定の研究をした。そのため、多くの児童生徒の算数数学の授業時にIWATを課し、他の既存の諸テストとも併用し、基礎的データを集め、標準的な処理法と結果の解釈および授業へのフィードバックの仕方の標準的方法を得て、1983年文部省の科学研究費補助金(課題番号57580180)を戴き、学習者の認知構造変容測定による教師の授業評価法と学習者個人別評価法の開発 — I式WAテストによるCATI法 — としてまとめ公表し、一応の完成を見た。(佐伯・倉島、1983)。

このとき得られた主なる手法は、①P-Pグラフ分析(後に標準化し“標準P-Pグラフ”を用いるようになり、これを単に“P-Pグラフ”と呼ぶようになった)ここで3個のP-Pグラフパターン(I型、II型、III型)の同定と変容係数 β_1 、 β_2 の定義とそのデータの解釈、②DA分析、③個人別諸得点の分析(TA、CA、Wの諸得点と得点法の同定、S-P表分析を併用)④階差P-Pグラフ分析、2次階差P-Pグラフ分析、注意円分析(S-P表分析の“注意係数”に対応)であった。

その後CATI法に次のような新しい研究結果、⑤P-Pグラフ分析で新グラフパターン(IV型)を同定(佐伯他、1985)、⑥半階差P-Pグラフとキーワード分析(佐伯、1986a)、⑦P-PグラフとT-Rグラフ分析の併用(佐伯、1986b)、⑧IWAT様式1とIWAT様式2の比較検討研究(佐伯、1988)が加わって内容がより豊かになっている。また、1983年以来、筆者の研究室の学生によるパソコン教材の実践的研究の評価には必ずCATI法による評価が入っている。事実新しい分析の結果の幾つかはこれら一連の実践的研究の中から生まれたことも付け加えておく。

本稿は、1983年以後のCATI法としての結果を記し、その周辺部の研究も含めて考察するのが主なる目標である。

2 1990年現在のCATI法

P-Pグラフ(pretest-posttest graph)が考案されてからほぼ10年になる。これを含みCATI法(composite assessment for teaching through I-WA test)がうまれてきた。初めに、現在よく利用されているCATI法の手順を概観するが、その前にCATI

法で用いる主要な用語から記す。

IWAT (I式WAテスト=岩手式言語連想テスト: word association test of IWATE form) から始めるが、まず準備として幾つかの用語から記す。

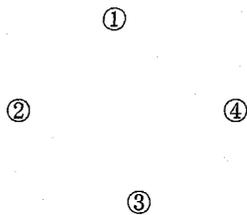
1) 内容構造 (content structure) 構造 (structure) とは、何等かの方法で同定した諸要素 (概念) と、それらの要素間の関係を合わせ考えた時の諸要素と諸関係の集合を意味する。次に、教材 (教科書) に表れる概念を表すと諸言語と、それらの間の諸関係を合わせて考えた集合を内容構造という。これは後で触れるが、“ふくらまし教材”としてのパソコン教材で授業したときは教科書がないので、違った形になる。

2) 認知構造 (cognitive structure) 学習者の比較的長期の記憶における、諸概念とそれらの諸関係を合わせて考えた仮説的機構のことである。これはピアジェの唱える“シェマ”と殆ど同じ概念である。

学習者の認知構造を考えるとメタ認知との関係はどうか問題になるが、認知構造を議論する時は基本的にはメタ認知は考えていない。

3) IWAT様式1・様式2 (IWAT version 1(=V1), IWAT version 2(=V2)) 上述の二つの構造を2次元的に空間化したテスト用具がIWATである。①、②、……は“キーワード”とすると、様式1と様式2の設問はそれぞれ次のようである。

(様式1) ①、②、…… キーワード次の語のうち、2語をとった時一方から他方が連想される時パス (線) で結びなさい。

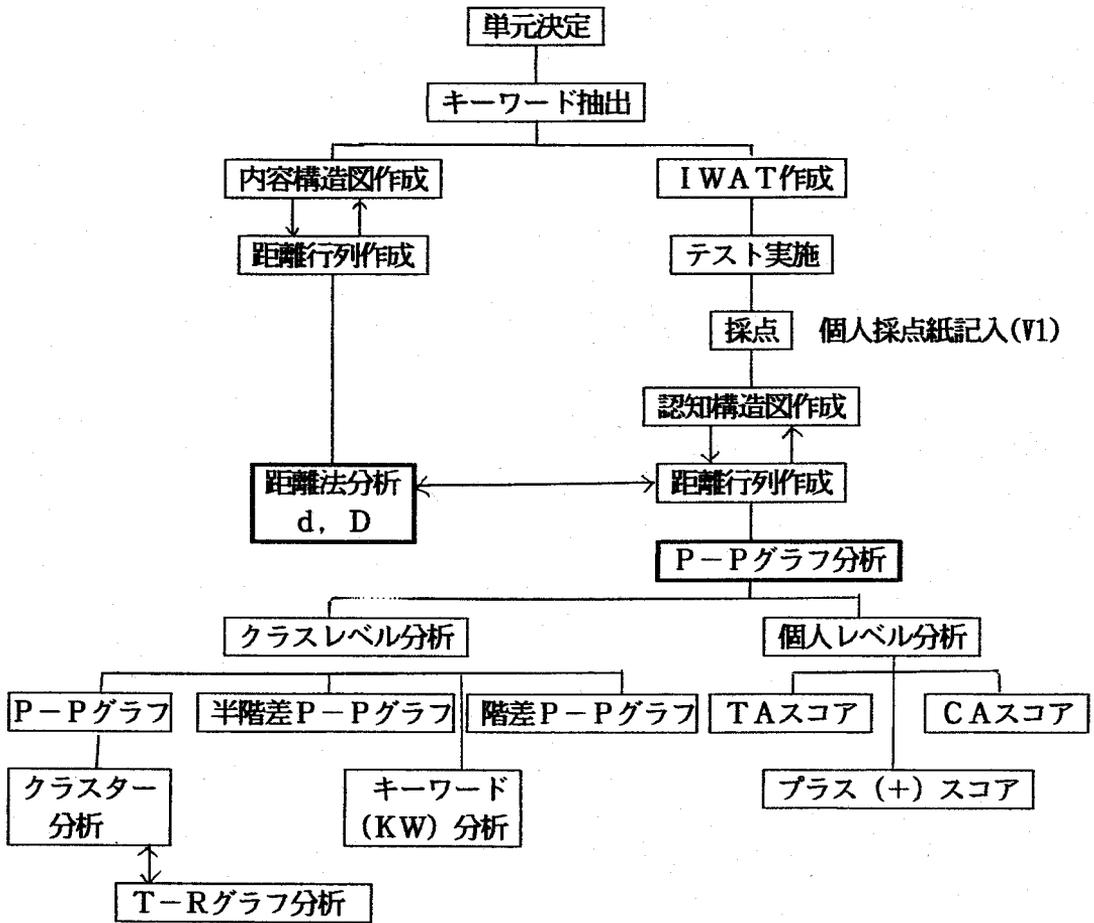


(様式2) 縦の語から横を見て交わった欄上の語が連想される時は1と記入し、連想されない時はそのままにしておきなさい。

	①	②	③	④
①				
②				
③	空	欄		
④				

第1図 IWAT様式1 (左) と様式2 (右)

IWATの様式1と様式2では様式2の方が一段階ステップ (個人採点紙作成段階) が減る。ここで、現在使用しているIWAT法一般の作業流れ図を示しておく。



第2図 CATI法手順流れ図

4) IWAT個人スコアのスコアリング (TAスコア、CAスコア、+スコア)
 個人採点紙 (IWAT-V2用紙ならそのまま)

	①	②	③	④
①	—	¹ 1	² 1	
②		—	1	³ —
③				
④				

(最高点)

TAスコア 3 (6)

CAスコア 2 (3)

+スコア 4 (6)

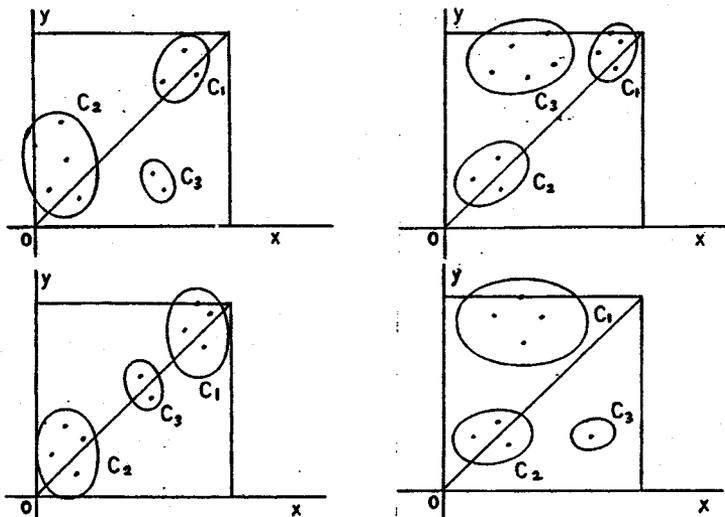
(TAスコア) パスの数 (V1) または、“1”の数 (V2)。

(CAスコア) 内容構造と一致するパスの数 (V1) または、“1”の数 (V2)。

(+スコア) 個人採点紙 (V1) またはV2用紙の、内容構造と一致している欄の数、つまり、内容構造の1の欄の記入された1の数と、内容構造の空欄ではそこが空欄のままである数 (もし1があれば誤答) の合計点。

この個人別採点は最初はTAスコアとCAスコアであった。ところが、CAスコアは記入がないのがたまたま内容構造の空欄とかさなっていると、正解になる問題がある。この矛盾を解消するため、重み付けスコアや+スコア等が定義された。しかし、手順が比較的簡単なことで、+スコアだけが残ったと言う経緯がある。

5) P-Pグラフのグラフパターン まずP-Pグラフであるが、I WATの事前Tのスコアを x 座標、事後のそれを y 座標として、2回 (事前と事後) のI WATの結果をユークリッド平面の1点として表示することにし、普通は複数個のキーワードの隣接箇所数に相当する数の点が表示される。標準P-Pグラフでは、この座標を標準化、つまり、0以上100以下の数になるようにして用いる。これらの点の配置のパターンが問題になる。これらすべての点の間のユークリッド距離を測定し、それらの点をクラスター分析をする。クラスター分析は、普通重心法をもちいているが、場合により最短距離法その他の分析法を併用する場合もある。ここでの要点はクラスター3個を残して止めることにある。この3個のクラスターの配置により、グラフパターンをI型、II型、III型、後に加わったIV型と判断する。授業の成功度 (学習者集団の認知構造を変容させ、授業目標に近付ける意味) の高い順は、II型、III型、I型の順である。また、IV型は、大体は“高い”のだが特別な条件で起こることが分かっているので、解決は別に行うことになっている。各グラフパターンは第3図に示す。



第3図 各種P-Pグラフパターンの型

実際は上のパターン分析と変容係数 β_1 、 β_2 (佐伯、1981；佐伯・倉島、1983、pp. 18～19を見よ) や注意円 (佐伯、1982b；佐伯・倉島、1983、p. 49) 等を総合的に判断して行う。この変容係数とは、P-Pグラフ上の点を相関図の点とみなし、 x の y に対する回帰直線を求め、その直線の y 切片の座標を100で割った値が β_1 、 $x=y$ との交点の y 座標を100で割った値が β_2 である。 β_1 、 β_2 がともに1に近い値の時評価が高い (ただし β_2 は1を越えることもある)。また、P-Pグラフ上の総ての点の集合の重心から各点での距離の標準偏差 σ を求め、前の重心を中心にして、半径 3σ の円をかく。これが注意円である。従ってこの円の外側にくる点はかなり掛け離れた性質を持つと解釈する。

6) キーワードの抽出と内容構造の決定

(教科書からの抽出と内容構造の決定) 「アメリカの先行研究の方法＝アメリカ式」：当該教科書から算数数学に関係するあらゆる言語の出現回数を数える。次いで出現回数の多い順に10個前後を抽出しキーワードとする。低学年では6個ぐらい、学年が進めば多く採ってもよい。ついて内容構造を決定するわけだが、これは教科書の中の文章でキーワードを2個以上含む文章を取り上げ、その中でキーワードの関係から結びつきを確かめ、全キーワードに及ぼし、関係するものを線 (これを「パス」と言う) で結び平面配置したものが内容構造であり、このような図を作る過程を内容構造の決定と言う)。

「教科書等の内容を理論的に考えてなす方法＝日本式」：ところが、日本では教科書から直接数えずに、理論的な観点から内容とその構造分析 (教材研究) から直接抽出・決定して行く方法があるので、これをかりにこのように呼んだ。

(「ふくらまし教材」等の教科書のない場合) 「命題式：筆者の研究室では、パソコン教材として指導要領の範囲を越えるものをも利用している。このときは授業目標 (これは指導案を作る時必ず必要) の命題群をもとにして、上の方法に準じて行っている。

初心者にはアメリカの方法が易しくて適している。

7) 距離行列の作り方 一般に内容構造図や認知構造図があれば、任意の2個のキーワード間のパスの数により一種の距離が導入され、それを用いて n 次正方行列が得られ、それを距離行列とっている。ただし、 n はキーワードの数である。(佐伯・倉島 (1983) pp. 10～11を見よ)。

認知構造図からも上と同じようにして距離行列が作られる。ただし、キーワードの数は内容構造のそれと同じにするのが原則である。さらに認知構造の場合は“孤立語” (isolated word) が出てくる事がある。この時の距離行列の当該セルの値は (距離行列の他の各セルの値の最大数) + 1の値とする方法が、経験的になされている。

次に2個の距離行列があるとき、2種類の距離を導入して効果判断に用いている。まず意味度であるが、これは、内容構造図のようなキーワードの平面的な配置があるとき、

一つのキーワードに集まるパスの数として定義をする。 n 個のキーワードがあれば n 次元ベクトルが決まる。それらのベクトル間の距離を意味度の距離と言ひ、 $d = \frac{\sum_{i=1}^n (a_i - b_i)^2}{n^p}$ で定義する。 n^2 次元の距離行列の距離は、 $D = \frac{\sum_{i,j=1}^n (a_{ij} - b_{ij})}{\{n(n-1)/2\}^p}$ で定義する。ただし、アメリカの先行研究にならひ、普通は $p = 1$ として扱っている

8) d 、 D の近さの基準 (暫定的) これは、 $p = 1$ の時、経験的に得られたもので、今後も変わりうるものである。

第1表 d 、 D の近さの基準

	大変近い	近い	やや近い	(中間)	遠い
記号	***	**	*		
d	$0 \leq d < .2$	$.2 \leq d < .3$	$.3 \leq d < .4$	$.4 \leq d < .5$	$.5 \leq d$
D	$0 \leq D < .1$	$.1 \leq D < .15$	$.15 \leq D < .2$	$.2 \leq D < .3$	$.3 \leq D$

9) 階差P-Pグラフ I WAT 3回のデータ t_1 、 t_2 、 t_3 (この1、2、3は必ずしもテストの順でなくともよい) があるとき、 t_1 、 t_2 の差の値を x 座標、 t_2 、 t_3 の差の値を y 座標として、前のP-Pグラフのように点として表示したものを、階差P-Pグラフ (difference P-P graph) と言ひ。また4回のデータ t_1 、 t_2 、 t_3 、 t_4 から3個の階差のデータ $t_1 \rightarrow t_2$ 、 $t_2 \rightarrow t_3$ 、 $t_3 \rightarrow t_4$ を作り、この3個のデータから階差P-Pグラフを作る。これを第2階差P-Pグラフと言ひ。これらのグラフの利用は、その点がどの象限にあるかにより、それぞれ増減と状態の変化を知ることができる。これを表3で示す (佐伯、1982 b)。これらはそれぞれ微分におけるもとの関数に対する導関数および第2次導関数に似ている。

第2表 階差P-Pグラフと第2階差P-Pグラフと象限の関係

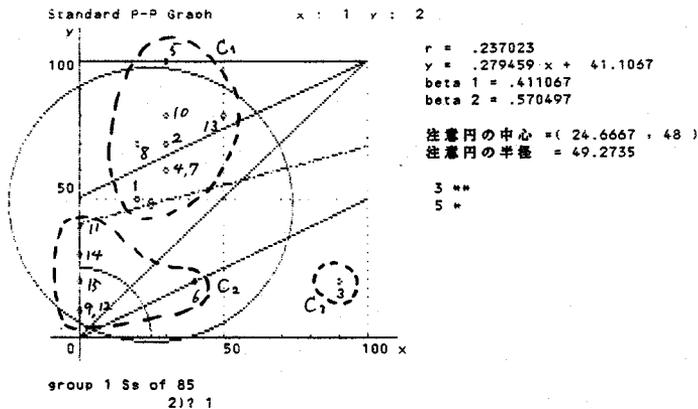
階差P-Pグラフ			第2階差P-Pグラフ		
$t_1 \rightarrow t_2$	$t_2 \rightarrow t_3$	存在する象限	$t_1 \rightarrow t_2$ の傾きに 対する $t_2 \rightarrow t_3$ の 傾きの増減	$t_2 \rightarrow t_3$ の傾きに 対する $t_3 \rightarrow t_4$ の 傾きの増減	存在する象限
増	増	I	増	増	I
減	増	II	減	増	II
減	減	III	減	減	III
増	減	IV	増	減	IV

階差P-Pグラフの導入の理由は、3回、4回のI WATの結果を一つのグラフに表現することにあった。

3 1983年以後の研究

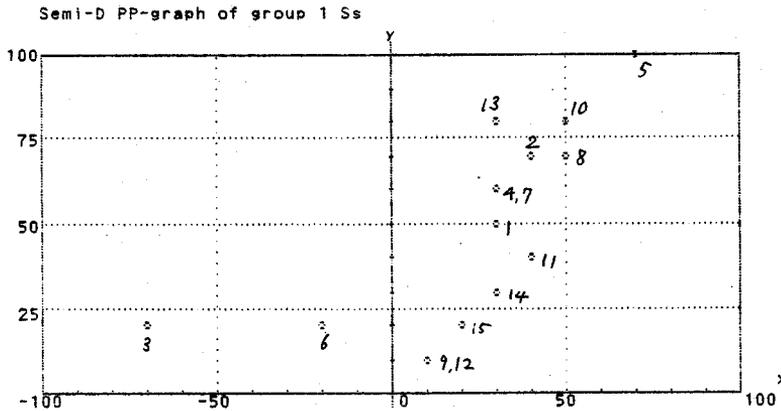
1) P-PグラフIV型の発見 P-PグラフIV型を同定したのは筆者のグループ(佐伯・時田他3人、1985)の指摘が最初である。ここでは、中学生対象の三角錐の体積の公式の証明のためのパソコン教材を用いた授業の評価の過程で得られた。このパターンは、ほぼII型であるがC₃クラスターの位置が従来のパターンとは全く違う上、このパターンの出た理由は、授業者によれば、事前Tの結果、内容構造の隣接箇所でないで結んでほしくない箇所(角錐-角柱)に多くのパスが出たので授業の中では意識的に「ここは結んでほしくない」ように留意して授業をした言う。授業者である教師は事前テストの結果を知る立場にあるから、このような結果がでることは有り得ることである。また、パスの実数では事前の9から事後は2に激減した結果である。

このような意図のもとに実践する授業も有り得るので、ここに新しいグラフパターンとしてIV型を同定した(第4図)。



第4図 IV型のP-Pグラフ

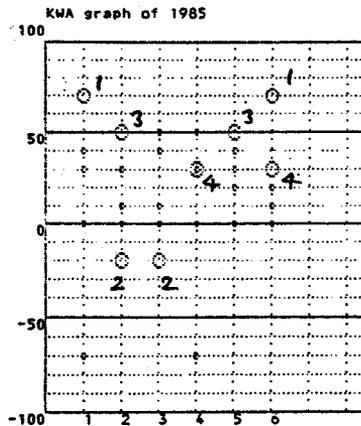
2) 半階差P-Pグラフとキーワード(KW)分析 さて、研究を進めていると、ある隣接箇所の事後テストの得点に対して(事後得点) - (事前得点)なる差が必要になる。これをグラフ化したのが半階差P-Pグラフである。これは、ある隣接箇所をx座標は(事後得点) - (事前得点)、y座標は事後得点の点として示し、実際は標準化してプロットしている。また、これを用いて分析をするのが半階差P-Pグラフ分析である。第5図で半階差P-Pグラフの例を示す。



第5図 半階差P-Pグラフの例

このグラフの読み方は、ある事後得点を示しているが、事前得点がどのように変容して今の点になったかを読み取り、結果を判断することになる。

次はキーワード分析グラフ (key word analysis graph : KWAグラフ) であるが、この分析の目的は、内容構造の選び方が妥当か、授業との関連で、内容構造の隣接箇所にしなかったが、した方がよかったのではないか、授業が初め考えた計画からずれているか、等を調べるために考えられた。第4図のデータを用いたKWAグラフを第6図に記す。○印は内容構造の隣接箇所を表し、○はその他の隣接箇所を表す。この例ではキーワードが6語であるから、隣接箇所は15箇所になり、図では2回ずつ表示される。例えば1と記した内容構造はキーワード1と6のパスに対応しているから、キーワード番号 (図の下にある1~6の数) 1と6の上にある2つの○で表される。表の点の Y 座標は、ある隣接箇所が事前のそれに対して事後のそれがどのようになったかを示している。隣接箇所1は事後になって70 (標準化した値) も増加した、と読み取る。隣接箇所2は逆に事後になり20だけ減少したことを示している。評価のしかたは、隣接箇所2は内容構造にしたのは不適當であったが、ほかは妥当であったとみることができる。



第6図 キーワード分析グラフの例

3) IWAT様式1と様式2 IWAT様式1と様式2があり、どちらを用いても結果にはあまり差がないと、言うことで使用されてきた。しかし、用具が異なれば結果も異なることはとうぜんなので、実際差の程度はどのくらいかを明らかにする必要があるのでその差を見ることを試みた(佐伯、1988)。研究は、Ssとして教育学部学生30名、工学部学生83名をそれぞれ2つのテストに配置して、事前事後と2度のテストから得たデータをもとにして、P-Pグラフを作成、さらにクラスター分析(最短距離法、最長距離法、重心法)をした結果で比較した。その結果グラフパターンはすべて一致した。なお、こまかく見ると、様式1の方が、位置効果が残っているように見えた。また様式2の方が多少優れているように見えるし、途中の処理で手順が1段階減るので、こちらの方からも様式2の方が良いのかも知れない。なお、この結果は、大学生をSsとし、対象もP-Pグラフパターンの比較に限られていることに注意すべきである。

4) 学習者の数学的能力と認知構造の関係 筆者の研究について触れる。アメリカ、イギリス等における数学的能力の因子分析の結果、主なる数学的能力の因子として、N(数因子)、M(記憶因子)、R(推論因子)そしてS(空間認識因子)が析出されているのでこれを利用することにした。これらの因子を代表するテスト問題を作成し、大学生(教育学部:40名)をSsにして積率相関係数を調べた。結果はR因子のみ事後のIWATのTAスコア、CAスコアが0.1%の水準で有意になった。また、これらをトータルしたスコア(“学力スコア”と見なす)とも1%の有意水準で相関する事も分かった。(佐伯、1983)。次いで、大学生(工学部:57名)をSsにしてついでを実施した。結果は事後のCAスコアがM因子並びにR因子とは5%の有意水準で、N因子とは1%有意水準で相関することが分かり、また学力スコアとは1%有意水準で相関することも分かった(佐伯、1984)。この結果IWATは学力テストとある程度代替できること、特にR因子関係の学力テストの代替ができると言っても良い結果となった。この結果は、IWATが学習者の認知構造を測定するものだから、推論は認知構造に深くかかわっていることを裏付けているように見える。

5) 学習者の数学への態度と認知構造の関係 Ssとして、大学生(工学部2年次学生67名)をとり、工業数学の単元「ベクトル場・スカラー場」で調べた。数学への態度を測定する用具としてMBSD(McCallon-Brown SD)を用い、IWATは様式2を利用、またスコアは個人別とクラスでとった。学力テストとしては、M因子、N因子、R因子を見る用具を利用した(佐伯、1985b)。仮説として、IWATのCAスコアは学力スコアと相関する、ということであったが、結果は命題を得るところまで至らなかった。このような研究は空白部分であったので試行して見たが、今後もあまり結果が期待できないように見える。しかし他のSsで試行して見る価値はあるだろう。

6) P-Pグラフ分析・CATI法の応用研究例

(a) T-R分析グラフとP-Pグラフ分析 T-Rグラフは、もともと滋賀大学教育学部の、板倉・富山のグループが中心になり開発した、整合評価(板倉・富山、1983)に基づいて、筆者が、教育実習の教生の評価用に新しく開発した手法である(くわしい手順や計算式は文献(1986)を参照のこと)。このT-Rの“T”とは teacher、“R”は range の頭文字から由来している。T-Rグラフは、教生が研究授業を行うような場面で、いくつかの評点を行うチェックリスト項目を準備し、指導教官の集団に評価させたデータと授業者の自己評価のデータのずれが一目でわかるようにグラフ化したものである。このとき同時に生徒にはIWA Tの事前・事後テストを課し、P-Pグラフを作成する。これら二つのグラフを基にして、授業者の授業の成功度を評価する。結果はいつでも教生による採点とパソコン利用で10分位で得られる。グラフ化したデータでの分析は、いつも授業者には露骨なフィードバックになるので、慎重に扱わなければならない、ことを教えてくれる。

(b) 提示順序とP-Pグラフの関係 これは、特に研究した例ではないが、教育現場でデータを取るとき目立って出て来る事実であり、ここで紹介したい。学校数学では、しばしば対称的な扱いになる単元がある。例えば高校数学の「回転体の体積」で x 軸の回りに回転させる問題と、 y 軸の回りに回転させる問題がある。学習した直後にIWA Tの事後テストをすると、 x 軸か、 y 軸かどちらを先に扱ったかの順序が結果に表れるのが常である。これは注目に値すると考えている。生徒にとってはこのような問題は扱う順序で、受ける印象が変わることを示唆するものとして興味があるし、IWA T用具自体がかなり細かい、授業の提示順序にも敏感に反応し、弁別する能力を持つ特質を有すると言うことができるだろう。

(c) 学校数学教科書の内容構造 この研究は1回の試行であるし、学校で使う教科書に関係するので、地方で公表した程度で(佐伯、1981c)、今まで公にしなかった。しかし、学習指導要領も新しくなったことなのでここで触れる。

研究の概要は、まずSsは大学生で工学部学生71名をとった。単元を行列・一次変換とし、高校の数学教科書は対象は日本で当時出版されている14種類の「代数・幾何」の教科書とした。そのうちの5種類の教科書(普通科の高校での使用頻度が多い教科書)から、そのキーワード(9個)と内容構造をアメリカ方式でとった。また同じキーワードでIWA Tを作り、上のSsでテストをした。その結果から、大学生のSsの認知構造と内容構造の2種類の距離 D と d で測定した。クラスター分析の結果は歴然と現れた。 G_1 社が最も近いクラスター、 O_2 、 S_1 、 S_2 の諸社が次のクラスターであった。使用率の多い T_2 社が第三のクラスターに入っている等興味ある結果が出てきた。この結果はどの社の教科

書を使うと大学に入り易いか否かを直接結果するものではない。教師の拘わり方もあるし、この研究例もわずか1単元の例に過ぎないからである。

4 CATI法の考察と今後の問題 — 結語にかえて

筆者が、アメリカの学習者の認知構造の研究を下敷きにして、IWATを考案し使用しはじめてからはほぼ10年になる。現在でも毎年研究しつつの学生の授業の実践の際に評価に利用して、新しい知見を得ている。この間、種々の学会でも公表してきているので、よそからもIWAT利用の研究や結果の報告を受けている。教科も算数数学以外に理科教育等もあったり、IWATを変形し、新しい用具にした研究例も報告されている。

このような背景でIWATによるCATI法の特徴をまとめると、

- ① 測定する対象が学習者の認知構造の変容であるので、単なる学力試験とは異なる部分を目標にしている方法である。
- ② 教師にとってはIWATの作成および内容構造の作成は、そのコツを覚えるのには多少時間がかかるが、一度覚えると作成は容易である。特にアメリカ式の場合は、教育実習時に教生対象に一回の指導（それも30分程度）で学生も容易に利用する程度の容易さである。現場の教師は日本式を交えて作成している。
- ③ 児童生徒にとっては、筆者が実施したのは小学校5・6年の児童から上の学年であるが、いずれも負担が少なく、また繰り返しの実施に耐える特徴を持つ。
- ④ 結果の処理（CATI法）は、数値化するのに多少時間がかかるが、あとはパソコン処理で、グラフ化されるので結果の判断が視覚的にできて容易である。
のようになろう。

今後の研究としてのこされているものの一つに、アメリカの先行研究に例があるのだが、授業をする教師の認知構造と、その教師に指導された生徒の認知構造の変容がどのような関係にあるか、の研究がある。このアメリカの研究では、教師が誤った認知構造をもっていると、その教師に指導された生徒の認知構造は、教師と同じような誤った認知構造になる、と言うのがあった。このような教師の認知構造とその教師に教えられている生徒の認知構造の関係を見る研究は、それ自体興味ある問題だが、かつて筆者の試行した、高校の数学の教科書と大学生（大学の入試で合格している）の認知構造の関係と同様に、日本の現状では、波及効果が意外な所に及ぼすと思われるので、なかなかなじまないものと考えている。

現在利用しているIWATとCATI法が標準化される過程で、IWATの前に、あるキーワードに対してSsに自由連想させ、記入させる方法も実施した（アメリカの先行研

究にあった方法の一つ)。ところが、そのS sの応答を見ていると、あまり学習に関係の無いS sの心の内面が現れて、プライバシーを犯す恐れもあることに気付き、その後は一貫して自由連想を取りやめて、現在のI W A T用具のように、一種の「制限連想」で通していることにも一言触れておく。

参 考 文 献

- Branca, N. A. (1980) Communication of mathematical structure and its relationship to achievement, *J. Res. Math. Educ.*, 11, 37~49
- Geeslin, W. E. and Shavelson, R. J. (1975) Comparison of content structure and cognitive structure in high school students' learning of probability, *J. Res. Math. Educ.*, 6, 109~120
- 板倉安正・富山朝司(1983)中学校技術・家庭科技術系列における新しい評価法、*信学技報*、E T 83-5、121-124
- Johnson, P. E. (1969) On the communication of concepts in science, *J. Educ. Psy.*, 60, 32~40
- 佐伯卓也(1981a)「数学的構造の学習」の評価法、*日数教会誌・数学教育*、35-1、31~36
- 佐伯卓也(1981b)言語連想テスト(I式)の処理 — WAテストP-Pグラフ分析、*日本教科教育学会誌*、6、195~199
- 佐伯卓也(1981c)高等学校の数学教科書の内容構造の比較 — 言語連想(WA)による、*東北数学教育学会年報*、12、13~18
- 佐伯卓也(1982a)学習者の認知構造変容と分析、*日本教育工学雑誌*、7、1~8
- 佐伯卓也(1982b)標準P-PグラフとP-Pグラフ分析(2) — 階差P-Pグラフ、*岩手大学教育学部研究年報*、42、237~246
- 佐伯卓也(1983)学習者の数学的能力と認知構造の関係、*日本教科教育学会誌*、8、81~86
- 佐伯卓也(1984)学習者の数学的能力と認知構造の関係(2)、*日本教科教育学会誌*、9、1~6
- 佐伯卓也(1985a)標準P-Pグラフ分析(3) — 半階差P-Pグラフとキーワード分析、*東北数学教育学会年報*、17、27~39
- 佐伯卓也(1985b)数学学習における認知構造変容と数学への態度の関係 — 工学部学生の場合、*東北北陸数学教育基礎研報告*、13、1~10
- 佐伯卓也(1986)P-Pグラフ分析とT-R分析 — 教生の授業評価への応用、*岩手大学教育工学センター教育工学研究*、8、37~43
- 佐伯卓也(1988)I W A T様式1とI W A T様式2の比較について、*東北数学教育学会年報*、19、3~8

佐伯卓也・倉島敬治(1983) 学習者の認知構造変容測定による教師の授業評価法と学習者個人別評価法の開発 — I式WAテストによるCATI法、文部省科研報告

佐伯卓也・時田教子・林純子・宮原ゆう子・村井佐千子(1985) パソコン化授業の実戦的研究(4) — 三角すいの体積(中学)、東北数学教育学会年報、16、3～10

Shavelson, R. J. (1972) Some aspects of correspondence between content structure and cognitive structure in physics instruction, *J. Educ. Psy.*, 63, 225～234

Shavelson, R. J. and Stanton, G. C. (1975) Construct validation : Methodology and application to three measures of cognitive structure, *J. Educ. Measurement*, 12, 67～85