

## C A T I 法(P-Pグラフ分析)

佐伯卓也(岩手大学教育学部)

1 はしがき

筆者がアメリカの数種類の言語連想テストを下敷きにし、岩手大学の学生等の協力を得て追試的研究を繰り返し、さらに新しい手法も加えた結果、日本の風土に会うと思われる用具、I W A T (岩手式言語連想テスト) を考案してその利用法を1981年に公表(佐伯、1981a)した。その後、文部省の科学研究費補助金もいただき新しい知見も加えて一つの区切りとしてC A T I 法にまとめて公表した(佐伯、1983b)。その後いろいろな知見が加わり、大部分のグラフはパソコンソフトを開発したこともあり、コンピュータ処理が可能になっている。

ところで、その後キーワード分析グラフのような授業の流れとか授業の運びにかなり敏感に反応する有力な手法も開発された。さらに、各地からのC A T I 法の手法についての問い合わせが増えていること、昨年新しく重みつき内容構造の知見も加わったこと、岩手大学の学生のテキストとして指導上必要になったこと、今後の研究、特に授業評価の研究や授業の運び方の研究を進める上での知見の整理が必要になって来た。一方、すでに公表している知見も、断片的に個々の論文としてばらばらになっているので、関係者以外の人々には利用しにくい状態なので、本稿ではこれらの経緯を踏まえ、断片的な知見のうち、特に授業評価に関する部分を取り、さらに若干の新しい知見も加えてまとめることにした。

2 I W A T (I 式WAテスト=岩手式言語連想テスト: Word Association Test of IWATE Form) とその採点法

(2.1) 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(キーワードという)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)に現れる概念を表す諸要素(キーワード)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。

(2.2) 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。この用語はアメリカの先行研究によるが、ほとんどピアジェのいうスキーマと同じ概念と解される。

(2.3) キーワード (“KW” と略す) の抽出と内容構造の決定 (図1参照)

1° 教科書からの抽出と内容構造の決定 (a) 「アメリカの先行研究の方法」算数数学に関する語(記号・式をも含む)出現回数を数えて、多く出現した要素からいくつかを取りKWとする。KWの個数の目安は、小学校児童(適応は4年以上)対象では6個程度、中学以上では10個程度、多くとも13個止まりを標準とする。次に、内容構造の決定の要領は、教科書の中の文章で、KWを2個以上含む文を取り上げ、文の中でのKWの関係

を見て、関係する2 KWを隣接箇所として線で結ぶ。これをKW全体で行い内容構造とす

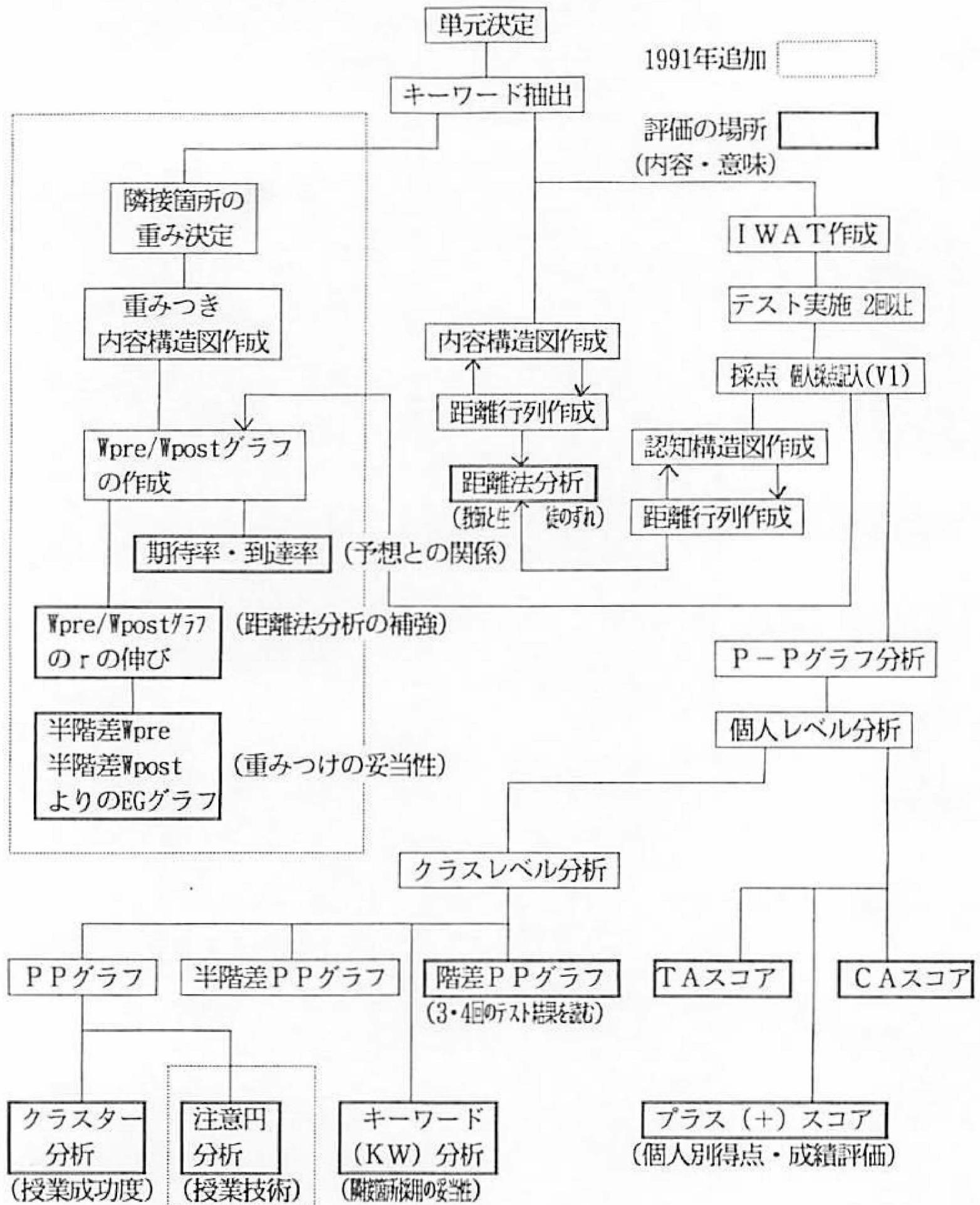


図1 CATI法流れ図 (1992年版)

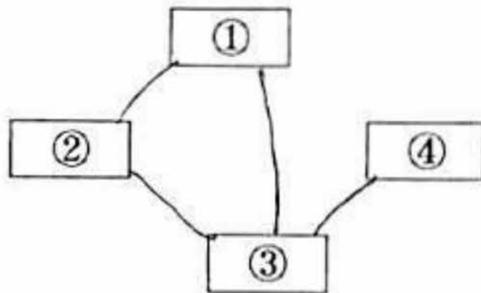
る。初心者（教育実習等）にはアメリカの方法が易しくて適している。

(b) 「日本での方法」 教材の内容とその構造分析（教材研究・目標行動分析等）からKWを選出し、さらに内容構造も論理的に決定することが行われている。

2° “ふくらまし教材”等の授業で教科書がない場合 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う。

#### (2.4) IWAT様式1・様式2 (IWAT version 1(=V1), IWAT version 2(=V2))の作成法

(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いて下さい。

	①	②	③	④
①		/	/	
②			/	
③	空	欄		/
④				

様式2の方は個人採点紙（様式2用紙そのもの）作成作業がいない（様式1はいる）。

#### (2.5) 認知構造の決定

IWAT（様式1・様式2）の実施後、IWATの様式2と同じ用紙に対象S<sub>s</sub>（被験者）の応答数を記入し加算していく。その結果の応答数の多い隣接箇所から順にとりあげそのクラスのS<sub>s</sub>の認知構造の隣接箇所とする。このときの隣接箇所の数は、対応する内容構造の隣接箇所に合わせて同じ数にするのを原則とする。

#### (2.6) 距離行列の作り方

内容構造と認知構造の場合は原理的には同じなので一緒に説明する（佐伯、1983bのp.10～11を参照）。様式1と2の用紙を準備する。様式1の用紙に得られた隣接箇所に相当するところのKW同志をを線で結ぶ。一つのKWから出ている線の数とそのKWの意味度（meaningfulness）となる。KWの個数をnとすると、意味度はn次元ベクトルである。これは様式2の用紙の欄外に記すと都合がよい。そこで内容構造と認知構造の意味度をそれぞれ (a<sub>i</sub>), (b<sub>i</sub>)で表すと意味度の距離dは、

$$d = \sqrt{\sum (a_i - b_i)^2 / n^p}$$

で定義される。ただしnはKWの個数、また、普通は p = 1 として扱っている。

距離行列 (distance matrix) 各KWで隣接箇所になっている場所に数1を付置し、様式2の用紙の該当する欄に1を記入する。次いでKW<sub>1</sub>とKW<sub>2</sub>の距離は様式1の用紙で、該当するKWが幾つの隣接箇所（すでに線が引いてある）の線（パス）を経由して結ばれるが、その線の数をもって2個のKWの距離とする（もちろん隣接箇所なら距離は1）。経路が複数個あるときは最短の距離を取って2つのKW間の距離とする。これを様式2用

紙の該当する場所に記入する。このような行列を距離行列という。認知構造の場合はどのKWとも線で結ばれない孤立してるKWが出てくることもある。これを孤立語 (isolated word) という。孤立語は空欄とするのはその後の処理に困るので、かりに(全隣接箇所の最大数) + 1の値をもって距離とすることになっている。2距離行列間の距離Dは

$$D = \Sigma \sqrt{(a_{ij} - b_{ij})^2} / \{n(n-1)/2\}^p$$

で定義される。ただしnはKWの個数、また、普通は  $p = 1$  として扱っている。

(2.6) 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。

	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	$0 \leq D < .1$	$.1 \leq D < .15$	$.15 \leq D < .2$	$.2 \leq D < .3$	$.3 \leq D$

もちろん、当該授業が成功的であればある程、事前の認知構造より、事後の認知構造の方が内容構造に近づくはずである。この近づく度合いを見て授業の成功度を判定する。

### (2.7) IWAT個人スコアのスコアリング (TAスコア、CAスコア、+スコア)

図2で個人採点紙 (IWAT-V2用紙ならそのまま) の例 (KWは4個) を示す。一般 (最高点)

	①	②	③	④			
①		<sup>1</sup> 1	<sup>2</sup> 1		TAスコア	3	( 6)
②			1	<sup>3</sup> 1	CAスコア	2	( 3)
③					+スコア	4	( 6)
④							

図2 IWAT個人スコアの処理法の例

には次のようにスコアリングを定義する。

(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。

### 3. データ処理とその解釈

採点されたデータはクラスレベルと個人レベルに分けて進める。クラスレベルでは主として授業者の授業処遇により学習者全体の認知構造がどのように変容したかを見て、授業

の成功度を判定する。一方個人レベルでは個人の認知構造の変容を知ることができるが、もし、テストがI W A Tでなくて学力テストなら、S P表分析の補強となる。

ここでは、手作業とコンピュータ作業の併用で行う。

(3.1) P-Pグラフのグラフパターン 0型、I型、II型、III型、IV型とある(図3)。

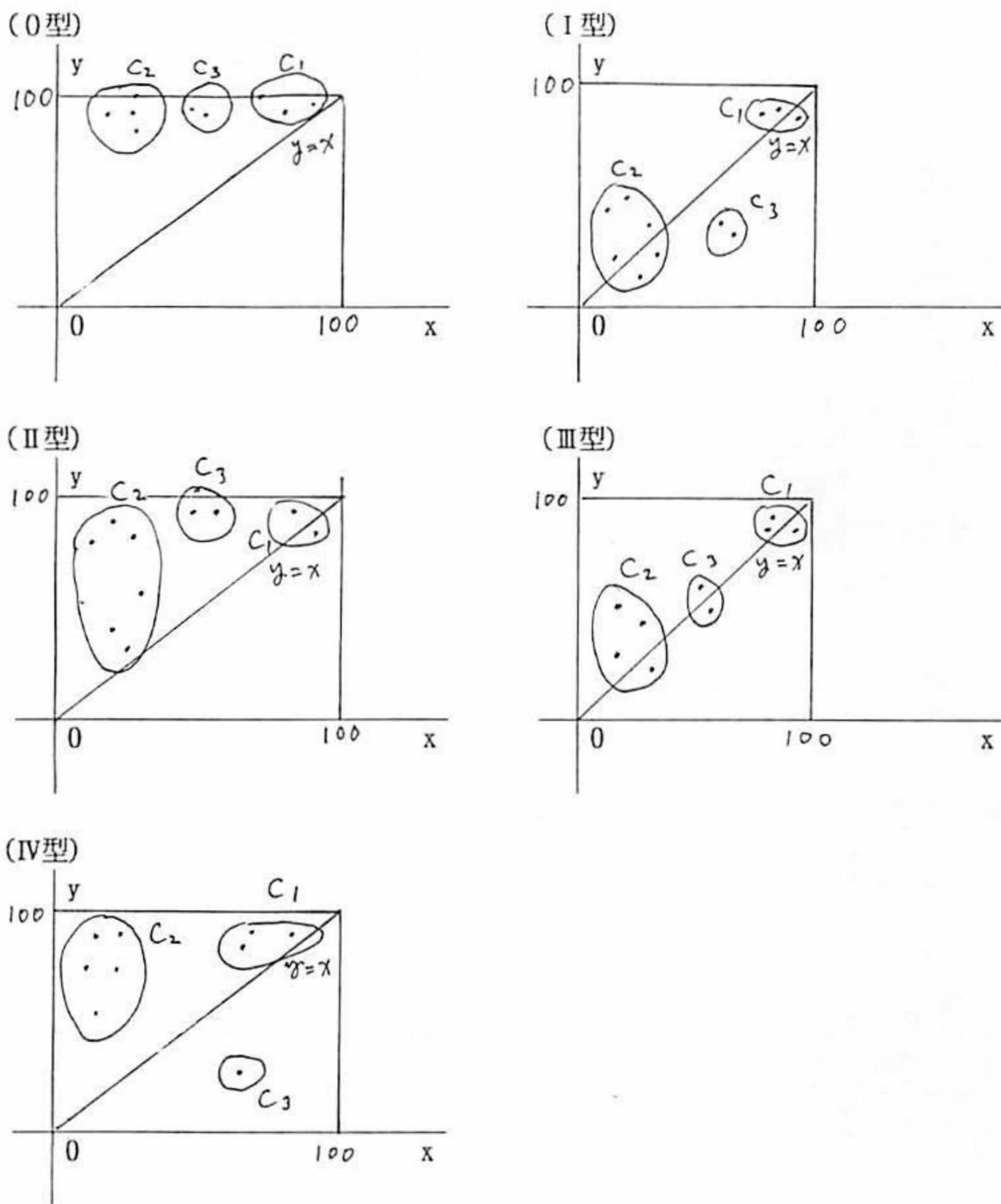


図3 P-Pグラフパターンの模式図

P-Pグラフ上の諸点をユークリッド距離でクラスター分析（普通は“重心法”）をし、ちょうどクラスターが3個になったところで止めて、そのときのクラスターパターンで判断する。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、0型、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ので、解釈は別に行うことになっている。

グラフパターンはコンピュータ〔ファイル名 PPnew1, DMCA〕で処理する。ただP-Pグラフは点（普通のP-Pグラフなら隣接箇所の事前Tの応答数はx座標に、事後のそれはy座標に持つ点として表示）、回帰直線（一点鎖線で、事前の事後への回帰）、注意円（原点から各点への距離の標準偏差の3倍を半径にする円で、この円の外側にくる点はそれだけ注意を要するという意味をもつ）、変容係数 $\beta_1$ 、 $\beta_2$ （ $\beta_1$ は回帰直線とy軸との交点のy座標を100で割った値、 $\beta_2$ は回帰直線と $y=x$ の交点のy（x）座標を100で割った値で、1に近いほど授業の成功度が高いと解釈する）が得られる。このときの各隣接箇所に相当する点の座標を用いて、各点のクラスター分析（重心法が規準）を経て、クラスターが3個になったときのクラスターの配置のパターンで0型～IV型のパターンが決まる。

#### 4 重みつき内容構造の決定とその処理法

(4.1)重みつき内容構造 (weighted content structure=WCS) 普通の内容構造では隣接箇所が重み (weight) = 1 になっているが、重みつき内容構造の場合は、教師の「重要さ」等の判断で1より大きい値になっている内容構造のことである。経験上重みは1～5の範囲で与えるのが都合がよい。また、授業前に気負って、あまり重みを高くすると授業の内容が付いて行けず、重みつきの妥当性の検討 (EGグラフ) の評価が下がってしまうので、重みづけほどほどにするのがよい。次に普通の内容構造 (CS) とWCSの例を並べて示す。

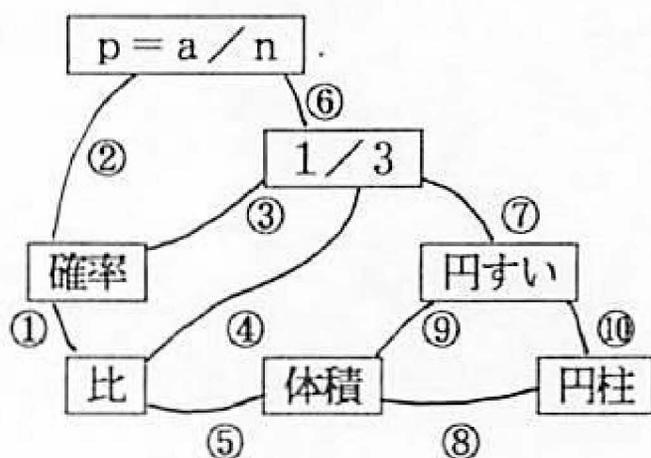


図4 (普通の) 内容構造図

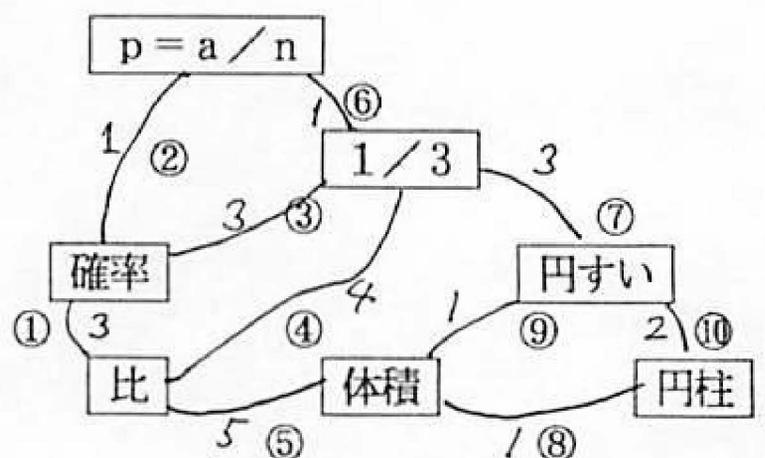


図5 重みつき内容構造図

ところで、「P-Pグラフ」の用語は Pre-Post graph から由来するので、事前、事後

以外の重みつき内容構造を用いたのでは本来の用語の意味に反する。しかし、ここでは、P-Pグラフに類するグラフという意味で、やはり「P-Pグラフ」の用語を用いる。

さて、P-Pグラフを作成するわけだが、本来の事前(x軸) - 事後(y軸)型のP-Pグラフの外に、類似のグラフとして、①WCS(x軸) - 事前(y軸)型、②WCS(x軸) - 事後(y軸)型のP-Pグラフを考えることにした(今後の研究ではこの外の方法も考案されるかも知れない)。P-Pグラフ①、②を略して、それぞれWpreグラフ、Wpostグラフと言う。

#### (4.2) WpreグラフとWpostグラフの作り方

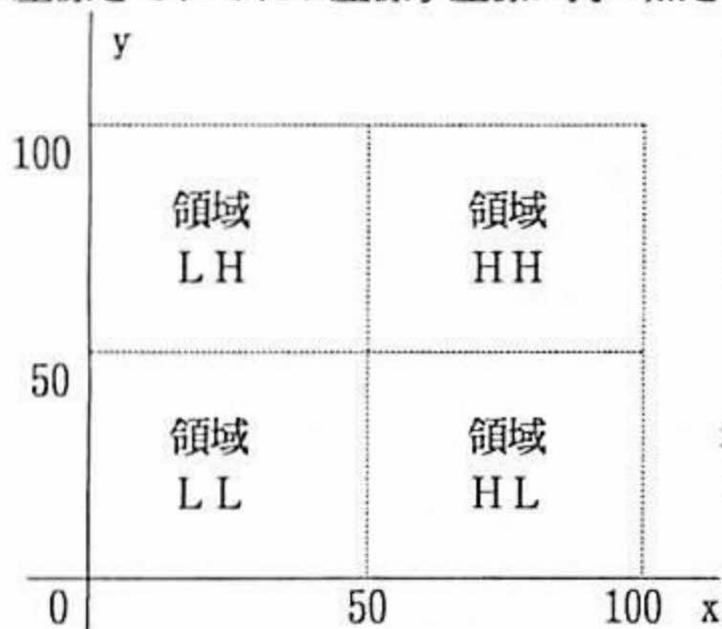
実際にWpreグラフ、Wpostグラフの作成方法を記す。P-Pグラフを作るわけだが、重みの値の最大値を人数に併せて100にする標準化の手続きがある。そのためにはP-Pグラフ用のパソコンソフト[ファイル名 PPnew1]に合わせた式を考える。一般式としてはNを人数、Wを重みの最大値とすれば、変換後の値xは  $x = (N/W)w$  で与えられる。ただし、wを重みのデータ値とする。この値を事前データ、Wpre(Wpost)グラフのときの事後データはS sの事前の応答数(S sの事後の応答数)としてコンピュータ処理する。

#### (4.3) WpreグラフとWpostグラフに関する数値

P-Pグラフの注意円のx座標=Wpreグラフの注意円のy座標：xとする

” ” y座標=Wpostグラフの注意円のy座標：yとする

この座標をそれぞれx座標y座標に持つ点をPとする。すなわち、P(x,y)とする。この点の存在位置を次の領域に分ける。



LH領域 =  $\{P(x,y) : 0 \leq x < 50, 50 \leq y \leq 100\}$

HH領域 =  $\{P(x,y) : 50 \leq x \leq 100, 50 \leq y \leq 100\}$

LL領域 =  $\{P(x,y) : 0 \leq x < 50, 0 \leq y < 50\}$

HL領域 =  $\{P(x,y) : 50 \leq x \leq 100, 0 \leq y < 50\}$

授業技術の観察による実感との関連で、領域HH > LH > LL > HLの順に下がるように見える。

期待率 (expectation ratio) Wpreグラフの注意円の中心のx座標とy座標の値から次の値Epreを求め、これを事前期待率という。

$$E_{pre} = (y \text{ 座標}) / (x \text{ 座標}) \times 100$$

同様にWpostグラフから事後期待率Epostが定義される。さらに、

$$AR = E_{post} - E_{pre}$$

を到達率 (achievement ratio) と言う。つまり、授業者の予想に対しどこまで到達したかを見る尺度という意味である。

この判断基準は、一般に値100が予想通りで、100以上は予想以上、100未満は予想以下と判断する。到達率ARの値の大小は、授業の技術面の実感とよく一致することが経験的に知られている。

P-Pグラフのパターンは0型、II型(IV型)、III型、I型の順に授業の成功度合が示されることは前に触れた。この実感に連動しそうな値としてP-Pグラフの点の相関係数 $r$ が対応していることが知られている。これはWpreグラフ、Wpostグラフの相関係数 $r$ の値は、授業者の重みと生徒の応答の一致の度合いが高ければ1の値になるはずであり、さらに、 $r$ の伸びとグラフパターンの順が対応してくる。

$$(\text{rの伸び}) = (\text{Wpostグラフのr}) - (\text{Wpreグラフのr})$$

Wpreの $r$ の値で負の値も出ることもある。これは授業をする前だから生徒の実態よりも教師の期待の方が高いのもあるからで、事後になると正の値にかわるのが多い。

#### (4.4) WpreグラフとWpostグラフの半階差P-Pグラフ

P-Pグラフ分析で、ある隣接箇所の事後テストの得点(y座標)に対して(事後得点) - (事前得点)なる差をx座標にした点をxy平面上に表示したグラフが普通の半階差P-Pグラフである。この事前得点を重みつき内容構造の標準化した得点に変え、事後得点はそのままのWpreなら事前得点、Wpostなら事後得点に置き換えて半階差P-Pグラフ[ファイル名PPnew1, EG1]を作る。このグラフをそれぞれ半階差Wpreグラフ、半階差Wpostグラフと名付ける。次に、この時の各隣接箇所に対応する点のx座標に着目する。この量は教師が考えた各隣接箇所の「重み」、つまり教師の授業時のある種の「期待」に対し、実際の学習者はどんな反応をしているかの度合いを示す量と考えられる。そこで、半階差Wpre(半階差Wpost)グラフの各点のx座標を事前と事後の期待得点(expectation score)と言ひ、それぞれ $E\text{ Spre}_i$ ( $E\text{ Spost}_i$ )と書くことにする( $i$ は隣接箇所番号)。更に、各 $i$ に対して期待の伸び(expectation growth)

$$EG_i = E\text{ Spost}_i - E\text{ Spre}_i$$

を定義する。各 $i$ に対応する点をxy座標上にプロットしたグラフで、P-Pグラフに似せたグラフがEGグラフ(expectation growth graph)である。このグラフではxy平面上の点として表示するのだが、第 $i$ 隣接箇所に対応する点 $P_i$ の座標は $P_i(E\text{ Spre}_i, E\text{ Spost}_i)$ として表示してある。

これらのグラフの解釈は、期待得点は重みを4とか5とかにとると概して負の大きな値になること、事後になっても正にはなりにくい項目が多い。これは当該項目の事前の期待が大きすぎたのか、授業では期待したほど伸びなかったかのいずれかの原因から起こっていると考えられる。また、EGが負になった項目(応答者の実数も減っている)は教師の意図に反した項目と解釈できる。こういう事実を加味し、多少筆者の恣意的な考えも入るが、少なくとも、この傾向に反した重みは問題があったと判定しても良いであろう。

従って、これらの値から、ある種の重みつけの妥当性を知ることができる。今後このような、期待得点及び期待の伸びにより、重みつき内容構造の各隣接箇所の重みつけの妥当性等を判定する手法をEG分析(expectation growth analysis)と言うことにする。

特に重みつきの場合の命題を挙げておく：

- (1) WpreグラフとWpostグラフの注意円の座標の値から到達率ARが得られ、このAR値の大小は、授業者の授業技術の良い良くないに関係しているように見える。
- (2) WpreグラフとWpostグラフから得られた「rの伸び」は学習者の認知構造の教師のそれへの接近の度合いを示しているように見える。
- (3) 事前事後の期待得点とその伸びの量から、重みつき内容構造の「重みのつけ方」の妥当性を評価する手掛かりを得た（EG分析）。

さしあたり以上の3個の命題を示しておく。これらはすべて今後の追試的研究が必要である。その結果これらの命題は誤りであるかも知れないし、より正しい方向に変質するかも知れない。

## 5 キーワード分析グラフ (key word analysis graph = KWAグラフ)

この分析の目的は、KWのセットから隣接箇所を選び内容構造を決定する過程で、選んだ隣接箇所が妥当であるか否かを評価することにある[ファイル名 KWA1]。

IWA Tの各KW (個数n) から2個をとったとき (取り方は $n(n-1)/2$ 通りある) それを結んだ応答人数の変容数の標準化した量 (事後応答数 - 事前応答数)  $\times 100 / (\text{人数}N)$  をグラフ化したグラフがキーワード分析グラフ (KWAグラフ) である。筆者のソフトでは隣接箇所が大きい丸○、非隣接箇所は小さい丸○で示している。また丸はいずれの場合も2度ずつ現れる。

グラフの見方は、大きい丸が $y = 0$ より下であれば、隣接箇所としたのが不適當である、または授業ではそこを指導するとき手抜きとか、不適切さがあつたのではないか、子どもには印象として薄かったと判断し、小さい丸で、 $y = 0$ よりはるか上にあるものは隣接箇所にしてもよかつたのではないか、または授業の中で必要以上に強調したか、子どもの印象に強く残つた箇所と判断する。

## 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
- 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 (1982a) 学習者の認知構造変容の測定と分析、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 (1983a) 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 (1983b) 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(一般研究C)報告
- 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 (1988) IWAT様式1とIWAT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 (1990) 数学教育における学習者の認知構造測定用具IWATの応用、第23回数学教育論文発表会論文集、139~144
- 佐伯卓也 (1991a) 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法)のその後の展開、岩手大学教育学部附属教育実践指導研究センター研究紀要、1、131~144
- 佐伯卓也 (1991b) 授業評価におけるP-Pグラフの型と重みつき内容構造、岩手大学教育学部研究年報、51 (No.1)、99~104
- Shavelson, R. J. (1972) Some aspects of correspondence between content structure and cognitive structure in physic 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

#### CATI Method (P-P Graph Analysis)

Takuya SAEKI(Iwate University)

(Abstracted)

CATI method means the Composite Assessment of Teaching by IWAT, and IWAT means a Word Association Test of Iwate Form. In the present paper, we shall describe an assessment about changes of cognitive structure of learners by the IWAT and about the assessment procedures.