

キーワード分析グラフの方法と解釈

—— 中学校数学の授業の場合 ——

佐伯卓也（岩手大学）

I W A Tによる内容構造、認知構造は認知心理学でいう命題的ネットワークと関係付けられ、心理的実在とみなしてよい。また、I W A Tの分析の過程で現れるキーワード分析グラフは該当する授業実践と密接にかかわり、授業の教師、教材、学習者の関係を記述するのに適した材料を提供していることが分かる。キーワード分析グラフの標準的な分析法を同定した。

〔キーワード〕 キーワード分析グラフ、I W A T、認知心理学、数学教育、授業分析、授業評価、中学校数学

1 はしがき

岩手式言語連想テスト（Word Association Test of Iwate Form = I W A T）は1981年に、アメリカの数学教育分野での学習者の認知構造変容の先行諸研究に触発されて、筆者が周辺の小学校・中学校・高等学校・大学の児童生徒学生の協力で1年ほどの試行開発研究を経て概念化して公表したテストである（佐伯、1981a）。その後10年の間毎年筆者の授業研究では必ずこの用具を用いて研究を続けて、新しい知見が得られるとその都度公表して来て現在に至っている。とりわけ、最近ではI W A Tの手順でキーワード分析グラフにかかわる結果が授業の結果はもちろん、教師と生徒の細かい相互作用の状態を記述していることが分かり、その解釈の研究をして、暫定的ではあるが、一つの見方解釈を同定したので、報告することにした。

一方、I W A Tはその作成法から、最近急に研究が増えている認知心理学とどのような関係があるかを明確にしておく必要がある。本稿ではこの検討を行った結果をも報告する。

2 岩手式言語連想テストの認知心理学からの位置付け

学習して行く際に脳の中にモデル的に作られる機構の一つとして、古くから、認知構造が考えられている。認知構造はオースベルが1960年代の一連の先行オーガナイザの理論展開の際に、意味的学習で強調したのが始まりのように見える。これはピアジェのいうシェマとほとんど同じと考えてよい。その後、数学教育における先行オーガナイザの研究の展開に際しても、認知構造がこの意味で用いられ、さらに教科書等に基づいた1970年代に数学教材から発した内容構造（content structure）の概念が生まれた。

ところで、認知心理学については、例えば、市川・伊藤（1989）では、「認知心理学とは、人間の“知”を情報処理モデルに立って研究する科学である」と言い、その特徴として、①人間の認知機能に関する科学、②情報処理モデルに立つ、の2つを挙げる。その中で注目されるのに、想起モデルにも関係すると思うが、「命題的ネットワーク」を注目しておきたい。

認知心理学では、命題を視覚的に表現する方法として、動詞の格関係を中心にして記述する

フィルモアの格文法を用いて行うネットワーク表現がある。このネットワーク表現を連結して、大きなネットワークシステムが作られる。このシステムは人間の知識構造をモデル化したものと位置付けられている。このシステムと認知構造の関係を考察する。

まず、内容構造は数学のある単元から選んだキーワードをとり、それらを2個以上含む文章（命題）を選び、キーワード間の関係を、隣接箇所に値するか否かで線で結ぶか否かを判定して決めたものである。例えば、①「大きさと向きで定まる量をベクトルという」②「・・・実数をベクトルの成分という」をとる。下線はキーワードである。これをネットワークシステムにしてみる。この②は②' 「成分は実数である」②'' 「ベクトルには成分がある」に分かれる。これをネットワーク表現をすると図1のようになる。これを更に



図1 単元「ベクトル」のネットワーク表現の一部

内容構造に作り替えた図を図2で示す。図1の①のベクトルは②''のベクトルと同じ、また②'の成分と②''の成分は同じであるので、これらを連結すれば図2のような内容構造図が得られる。この例は佐伯（1983）からの引用図の一部である。

さて、授業で学習が成立し、成功的な授業になれば、生徒達の佐伯の意味の認知構造は内容構造に一致することが知られている。このことは佐伯の意味の認知構造はこのとき、ネットワーク表現に一致することにもなる。このことは内容構造を通してネットワーク表現

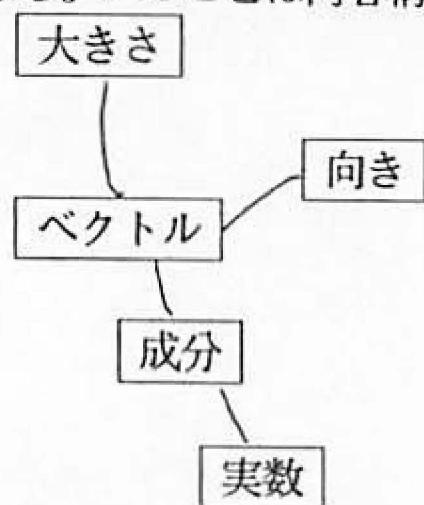


図2 単元「ベクトル」の内容構造の一部

と佐伯の意味の認知構造は結線の矢印（有向性）を無視してることからくる誤差を除けば、ほぼ、一致しすると言える。したがってP-Pグラフ分析（pre-post graph analysis）で用いていた内容構造および佐伯の意味の認知構造も、認知心理学でいう人間の知識構造のモデルであったことを示唆しているし、かつ同ように“心理的実在性”を有すると考えることが可能になる。

ところで、初めに筆者が内容構造を考えた時は認知心理学でいう命題的ネットワーク表現と

は独立になされていた。後に認知心理学の命題的ネットワーク表現を知ったわけだが、内容構造の作成過程ではキーワードの抽出とか論理上の繋がり等、ネットワーク表現のときと同じように、数学の命題の分析をしているので一致するのは当然の帰結と言えるように考えられる。

さらに、被験者がI W A Tの応答をする段階を考えると、その過程でメタ認知過程が入っていることが指摘される。いくらテスト時に「このテストは数学の成績に関係ありません」とか「ありのまま答えて下さい」といっても、その過程で応答者は「こんなことを答えて良いのか」とか「この応答は数学的におかしくないか」とかのメタ認知が働いていると考えられる。この関係は後にもう一度論ずることにする。

3 キーワード分析グラフ (key word analysis graph=K W A グラフ)

この分析の目的は、キーワード (K W) 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。

I W A Tの各K W (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 (K W A 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 $y = 0$ より下にあれば、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、不適切さがあったのではないか、子どもには印象として薄かったと判断し、小さい丸で、 $y = 0$ より上にあるものは隣接箇所にしてもよかったのではないか、または授業の中で必要以上に強調したか、子どもの印象に残った箇所と判断する。

1990年～1992年にはコンピュータ利用の授業を岩手大学教育学部附属中学校のC A I 教室を用いての普通クラスサイズの授業を11回行っている (表1)。この中の例として9

表1 普通クラスサイズコンピュータ利用の授業

記号	担当者	題 目
90A	男子2名	モンテカルロ法による立体の体積計算
90B	女子2名	線・面の移動による立体の生成
90C	女子2名	立体の切断で生じるいろいろの図形
91A	男子2名	立体図形の切断
91B	男子2名	線・面の移動による立体の生成
91C	女子2名	区分求積法による球の体積
91D	女子2名	傾き関数から微分へのアプローチ

1Dを取り説明する (表2)。この授業のキーワードは8個で、表2の①2乗に比例する関数～⑧直線である。表2の数値は、それぞれ、事前テスト、事後テストの応答数である。応答数の右肩についている番号は内容構造の隣接箇所番号である。この例では隣接箇所番号は10箇所である。また、下線をつけた箇所は、それぞれ、事前テスト、事後テストの応答数から得た当該クラスの生徒集団の認知構造の隣接箇所である。

このI W A Tの応答数の表があれば、キーワード分析グラフを作ることができる。その実際

を図3で示す。

表2 事前・事後I W A Tの応答数

<div>事前 事後</div>		2乗 比附る 関 数	傾 き	3乗 比附る 関 数	曲 線	接 線	1 次 関 数	接 点	直 線	意味 度
①2乗に比附る関数			6	3	<u>34</u> ¹	1	2	3	2	1
②傾　　き		<u>20</u>		4	1	2 ²	<u>28</u> ³	2 ⁴	<u>12</u>	3
③3乗に比附る関数		7	11		<u>13</u> ⁵	2	2	2	2	1
④曲　　線		<u>29</u> ¹	3	<u>26</u> ⁵		7 ⁶	3	<u>11</u>	5	3
⑤接　　線		14	13 ²	<u>15</u>	<u>15</u> ⁶		6 ⁷	<u>18</u> ⁸	<u>9</u> ⁹	5
⑥1次関数		5	<u>21</u> ³	4	3	6 ⁷		<u>9</u>	<u>29</u> ¹⁰	3
⑦接　　点		11	10 ⁴	8	13	<u>22</u> ⁸	10		<u>11</u>	2
⑧直　　線		4	17	7	5	<u>19</u> ⁹	<u>32</u> ¹⁰	<u>23</u>		2

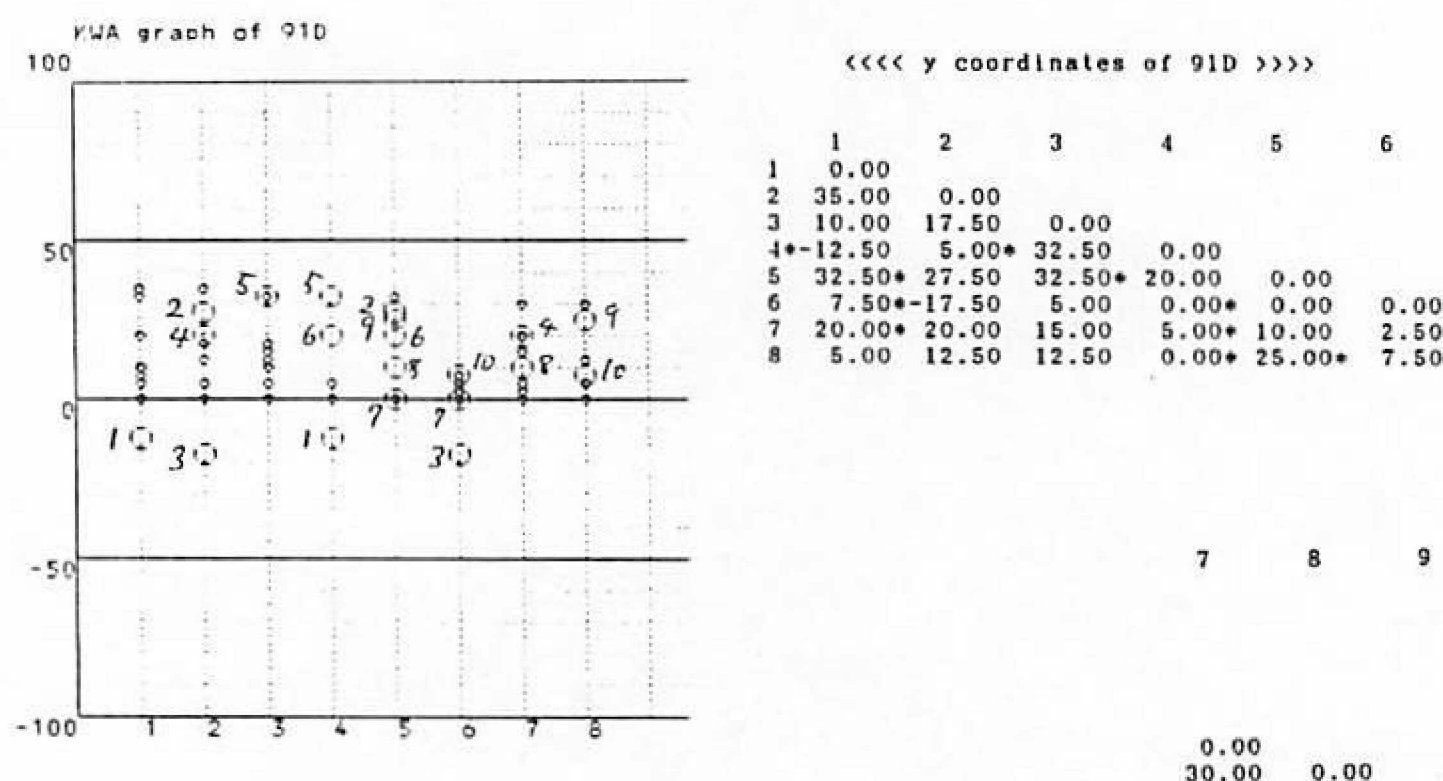


図3 91Dのキーワード分析グラフ

また、比較のためにこの例の意味度と距離行列の距離を表3で示す。

次に、今回同定したキーワード分析グラフの観点と実例を説明する。まず3つの観点をとる。

①グラフが「大変容」とは、隣接箇所も非隣接箇所も含めて、 y 座標が $0 \leq y \leq 100$ の範囲の点があるときに、グラフが「小変容」とは、 y 座標が $0 \leq y < 50$ の範囲の点があるときに言う。変容が負になることもあるが、普通は正に変容することから、負の範囲は考えないことにする。91Dの例は小変容と位置付けられる。

②グラフが「分離型」とは、隣接箇所に対応する点の y 座標がすべて $0 \leq y$ となっていると

表3 意味度と距離行列の距離

D \ d	内容構造	事前認知	事後認知
内容構造		.53	.35*
事前認知構造	.14**		.43
事後認知構造	.14**	.18*	

* やや近い ** 近い

きに言う。また、「混合型」とは、隣接箇所に対応する点の y 座標が正と負が混在する場合を意味する。91Dは混合型である。

③グラフがⅠ型とは、非隣接箇所に対応する点の y 座標が $0 \leq y$ となっているとき、Ⅱ型とは、非隣接箇所に対応する点の y 座標が、正と負にまたがっているとき、さらに、Ⅲ型とは、非隣接箇所に対応する点の y 座標が、 $0 \geq y$ となっているときにいう。91DはⅠ型である。

次にこれらの解釈について触れる。ここの隣接箇所については、そのときのここの点の y 座標をみればよいのであるが、ここで言うことは授業のトータルとしての所見である。

①グラフが「大変容－小変容」 キーワード間の隣接箇所の応答数が授業後に大きく伸びたか、伸びが小さかったかということで、換言すれば学習者の認知構造がの変容が大きかったか小さかったかの度合いを示していることになる。

②グラフが「分離型－混合型」 分離型は、内容構造に関する隣接箇所が y 軸の上だけにある意味で、授業を通しての学習者の認知の変容が、教師の意図通りに変容した事示している。つまり、このときの授業が成功的であり、かつ、少なくとも当該の隣接箇所の取り方は妥当であることがいえる。また、混合型であれば、このときの授業は内容構造通りでない部分もあった（成功的ではない）か、または少なくとも当該の隣接箇所のうち妥当性を欠くものがあったことになる。

③グラフが「Ⅰ型－Ⅱ型－Ⅲ型」 ここでは、内容構造の隣接箇所の作り方が十分条件として妥当であったか否かを見ることができる。Ⅰ型・Ⅱ型であれば、非隣接箇所特に y 座標が高いものがあるなら、内容構造の隣接箇所にしてもよいものか含まれている可能性がある。この意味で内容構造の決定に妥当性を欠く部分がある、となる。また、Ⅲ型であれば、非隣接箇所が全部負に変容したので、隣接箇所の作成が妥当であったと言える。

以上から、キーワード分析グラフで最も理想的な授業は、大変容分離Ⅲ型の授業という一応の結論が得られる。この分析を、1990年と1991年の例に適用する（表4）。

表4 7回の授業例のキーワード分析グラフ

授業記号	①	②	③	P-グラフ型	距離D	内容
90A	小変容	混合	I	Ⅲ	.37	モンテカルロ法
90B	大変容	分離	Ⅱ	O	.05***	立体生成
90C	小変容	混合	Ⅱ	Ⅳ	.44	立体切断
91A	大変容	分離	I	Ⅱ	.21	立体切断
91B	大変容	分離	Ⅲ	O	.00***	立体切断
91C	大変容	混合	I	Ⅳ	.27	区分求積法
91D	小変容	混合	I	Ⅲ	.14**	傾き関数

表4の所見を記す。まず、91Bが大変容分離Ⅲ型であり、キーワード分析グラフの上では「理想的な授業」と言うことになる。これはP-Pグラフの型がO型、また内容構造と事後の認知構造の距離が.00であり、P-Pグラフ分析と距離法分析でも成功的であったので、結果としては矛盾していない。その他の所見について触れる。

- ・キーワード分析グラフで小変容型であればP-PグラフはⅢ型の傾向がある。これは意味から考えれば当然である。
- ・今回の授業に限れば、ふくらまし教材の授業のキーワード分析グラフは混合Ⅰ型の傾向がある。
- ・P-PグラフがO型、内容構造と認知構造の距離が0の時のキーワード分析グラフは大変容分離型の傾向がある。

このほか、一般的ではないが、90Cの授業の実際は予定通り行かなかった例であるがそのキーワード分析グラフは小変容混合Ⅱ型で、点がばらばらという観がある。

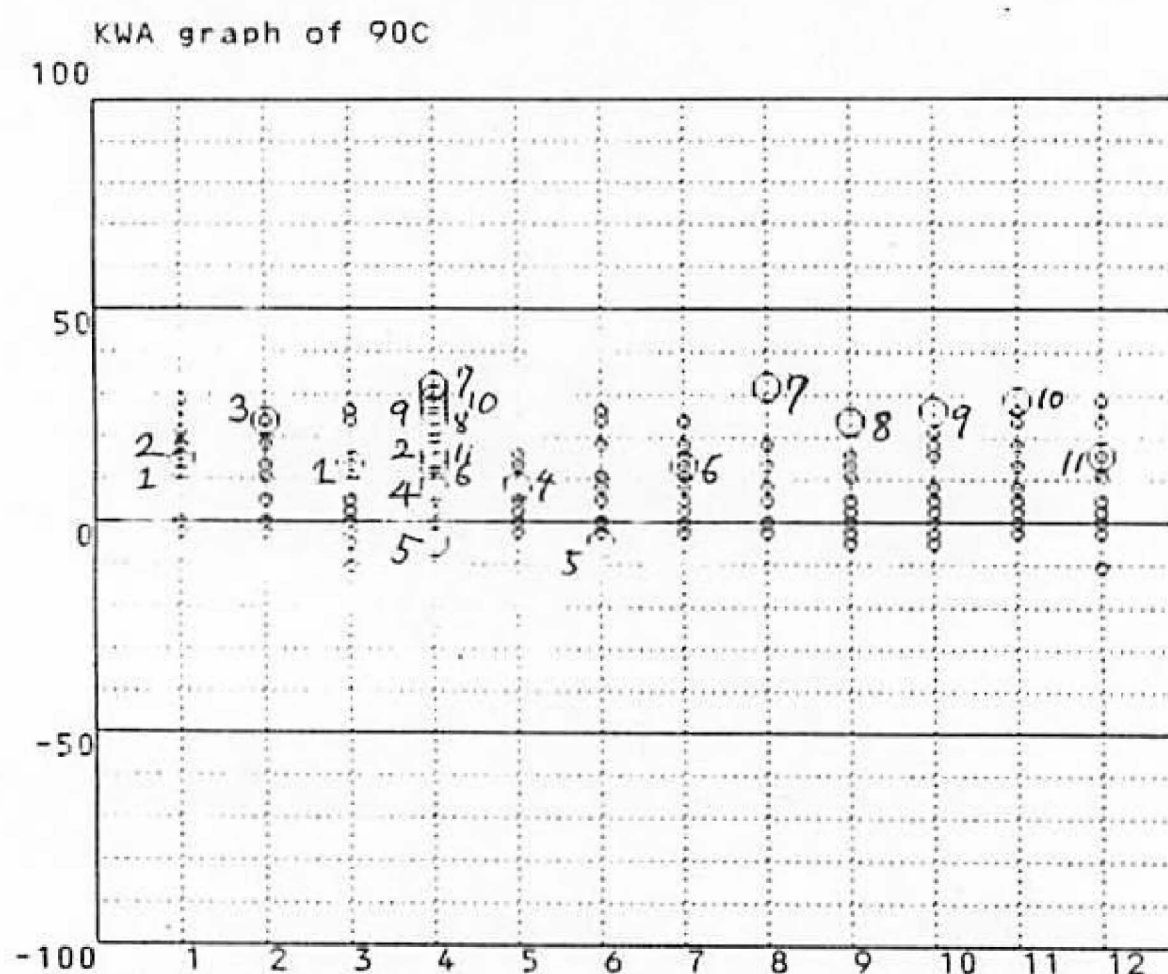


図4 キーワード分析グラフの例

4 結語

キーワード分析グラフの結果、内容構造の隣接箇所にしたのに、y座標が負の値になる箇所があるのであって、問題になる。この所は授業者に聞くと、いつも授業のときあまり強調しなかった、とか授業中一度も触れなかった、という言葉が帰ってくる。こんなことなら最初から隣接箇所にしないう方がよかったのではないと思われる。また、逆に内容構造の隣接箇所でないのに、高い変容を示す箇所も時々出てくる。この場合はたいてい内容構造の隣接箇所の取り方が、不備であり、教師本位の数学の論理から隣接箇所にしなかったようである。しかし、生徒の側に立って見ると、授業の流れからそうなる必然的理由が必ず見つかるのが常である。

このため、このキーワード分析グラフを詳しく検討することで授業における、教師・教材（メディア）・学習者間の交互作用、そして教室において働く授業進行のベクトルとかエネルギーの流れを記述するデータの提供を受けることになる。これが、キーワード分析グラフを用いる最大のメリットになるであろう。

さらに、I W A TによるC A T I法の分析、特に距離法の分析をしたとき、内容構造と認知構造の距離が、事後テストの方が事前テストより遠くなる場合が時々起こる。91Dの距離法分析の結果の表3は、距離Dが、事前と事後が同じであり変容していない。他の例では事後が遠くなることがある。この解釈について触れたい。

被験者が事前テストとしてI W A Tを課されるとき、特に内容がふくらまし教材のような、被験者の目には全く触れたことのないキーワード間に、I W A Tの応答の基本となる連想がどのように働くかを見てみよう。認知心理学ではメタ認知が働きにくい場面として、

①問題に対する構えがあらかじめかなり強く形成されている場合、ドゥンカーのいう機能的定着が起こっている場合もこれに入るだろう。

②目標が明確でないため、考慮する事柄が起こらない場合、
が指摘されている。一般に被験者がI W A Tの応答時に、メタ認知を働かして応答すると考えられるから、特にふくらまし教材のような、被験者にはなじみの薄いキーワードでは、上の②の、「目標が明確でない」原因から、メタ認知の働きが阻害されることは大いに有り得ると考えられる。このため、キーワードに対しては被験者個人個人の学習経験とか、単に言葉が似てるからという理由等からの比較的不安定な応答になってしまうのではないかと考えられる。この考えは今のところ仮説的なもので、今後研究を必要とする問題である。

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
- 市川伸一・伊東裕司 (1989) 認知心理学を知る<第2版>、ブレーン出版、東京
- 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 —— W A 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 W A テストによる C A T I 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) 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 (1990) 数学教育における学習者の認知構造測定用具 I W A T 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) —— I W A T による P-P グラフ分析 (C A T I 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

Method of the Key Word Analysis Graph and Interpretation of its Result

Takuya SAEKI (Iwate University)

(Abstracted)

The ideas of a content structure and a cognitive structure of the IWAT are concerned with a propositional network in cognitive psychology. Then, a cognitive structure is regarded as actual being. On the other hand, the result of a key word analysis graph which appears in a process of the CATI-method plays an important role in description about relations between a teacher, materials and learners in teaching practice. And we have also identified a standard process of key word analysis graph method.