

§ 2. 機械加工訓練に関する意識構造の図式化

1. はじめに

意識調査の図式化を行う手法の一つに、DEMATEL法¹⁾がある。スイスのバテル研究所が世界的複合問題の解決を促すのに用いたものである。ここでは数多くの関連の事象の各々について、「ある一つの事象が発生すると、他のどの事象を誘発するか」を一つ一つ回答する、という方法をとる。これにより、全ての事象の間の矢印の有無によって、回答データを図式的に構造表現することができるわけである。

また、類似の方法に、ISM法があるが、これは推移律²⁾を仮定するという点で、DEMATEL法と異なる。推移律の性質から概していえることは、事柄の因果関係がかなり明確であるときはISMが、また比較的漠然とした意識調査の場合とか推移性が保障できない場合は、DEMATELが適切と思われることである。

さて、ここでの“機械加工訓練”はDEMATELにもとづいている（北垣、多賀谷 198X）。当該の機械のみに着目すれば、たとえば故障や何らかの不備はそれなりに因果関係が明確ではあろうが、ここでの事例は、職業訓練研究の一環としてとり行ったものであり（北垣 1988）、内容的には“教育訓練”から“技術”まで多岐にわたるため、ISMでは意識構造の解釈に無理が生じることも予想されるわけである。

以下、回答データの図式化の手法を、実例に沿って説明する。図1.1の手順からも明らかのように、そこには、アンケート実施の予備調査やアンケート項目の選定など、データ解析結果の図式化とは直線係わりをもたない処理過程も含まれている。しかし、データ採取の際の枠組の明確化から図式化データの解釈まで一連の作業として示すため、あえて一括して報告することとした。

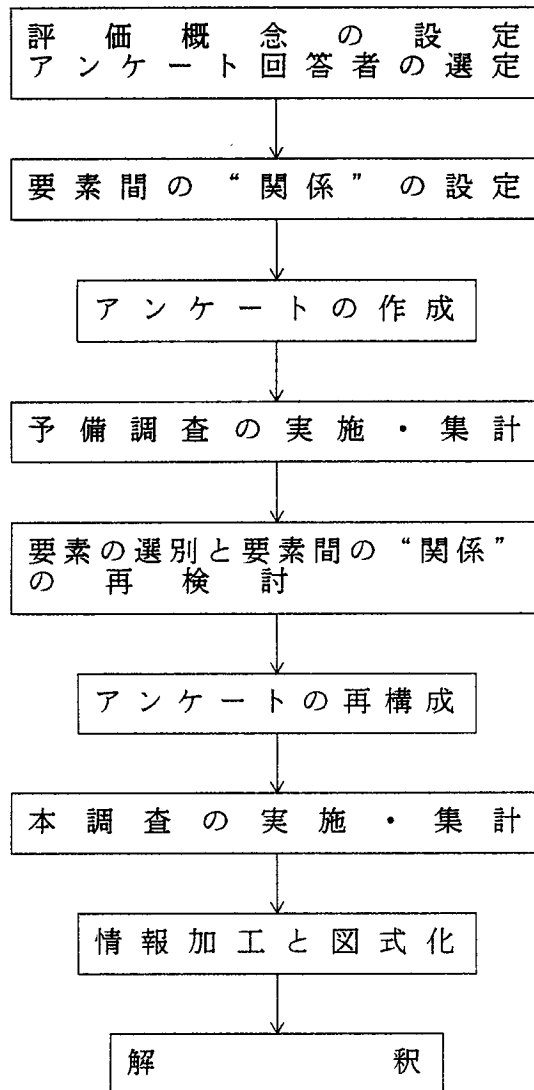


図 1. 1 “旋盤加工訓練”の意識調査の手順

2. 意識調査法と構造図の同定

本報では、機械加工訓練の構成要素間の関係を図式的に抽出し、その構造図から従事者によるその相違点を論じたり、特定の要素が全体構造の中でどのような位置づけとなっているかをのべて、図式化の有用性を示唆している。そして、個々の要素について従事者に関連の発問を行う際には、そのアンケートにおいて発問形式を統一する必要がある。さらに設定された一貫性の下に“機械加工訓練”のみ解釈が可能となる。

さて、要素間の関係（あるいは発問形式）は、教育訓練上の視点から次のように統一した。すなわち、学校教育では一般に、適切な指導法を検討する際、テストの誤答分析とかつまづきの原因の解明などを一つの拠り所とすることが多い。ここでも、それに準じ、作業上のミスや何らかの不備に着眼することとした。そして、当該の従事者に対しては、一貫して次の発問形式を採った。

要素 X_i に関して何らかの不備があったと聴くと、要素 X_j に関する不備・不完全性を思い起こす（？）

ここに“要素”は、のちの表1.1に示すように、作業的な訓練を構成する概念的な単位と考えてよい。この発問形式に対する全回答データから、“想起”なる関係の下での意識構造図が、矢印表示で視覚化されるわけである。

ところで一般に、複雑なあるいは一筋縄的解決が困難な課題を、便宜上先のような発問形式で細かい単位から積み上げてゆき、そののちに全体構造を図式的にとらえようとする試みは、システム工学での意思決定問題でよく行われる。先にも若干のべたが、これまでにISM (Warfield 1973, 1974)、FSM (田崎 1979)、DEMATEL (Fontela & Gabus 1973~1976) などが提案され、また現に人間社会の複雑な問題 (Baldwin 1975, Raymond 1974) や教育での教材構造化 (山下 & 祝原 1981) に応用されている。特に教育訓練の分野では、そのほかに沼野による教材構造化法 (1976) とか映像教材に構

造的な視点に向ける（織田 1983）など、構造の図式化の手法は教育工学における独自の興味ともいえる。尚、“構造化”の数理的研究の多くは、2つの要素間の“関係”を数値化しそれから得られる隣接行列をもとに図式化しているが、どの手法が適切であるかは、ひとえに、対象課題と各手法との性質上の整合性に依存する。

実際のところは、発問に含まれる“関係”に類する表現が一義に解釈されるかどうか、その選択にわたっての一つの基準となる。というのは、もし一義でなかったりある程度以上のあいまいさを含むと、推移律を仮定することが困難になり、その設定可能性が適切な図式化手法を定める一要因となるからである。そして本報のように“関係”が“想起”のときは、推移律が成り立つとはいえないので、1.でものべたようにこれを仮定しないDEMATEL法が検討の対象となる。ただしこの場合は、（ISMと異なり）すべての要素対に対して先の発問を行うことになるので発問数が多くなる傾向があるという不都合を生ずる。

以上のような考察の下に、本報ではDEMATEL法を採用すると共に、次の点に留意してアンケートの基本構成を図り、また実施基準などを設定した。

- (1) アンケートで、回答者に提示する項目数が膨大では、その回答意欲により影響をもたらさない。したがって、所望の図式化やその解釈に必要な情報を損なわない範囲で、構造図の要素数を制限することが望まれる。このうち要素数は、構造図の解釈の容易さから、10～30が適当とされる（寺野 1986）。
- (2) 一般に、図式化の目的は当該の構造の見やすさにある。ところが、構造図を初めての領域に対して作成しようとする、要素の設定の仕方に関する事前の情報がないなどのために、例えば殆どすべての要素間が矢印で連結され、一つの図としての了解性が損なわれるという問題を生じることがある。これに対処するのに、要素間の“関係”を回答させる際に、“関係”の強さを序列尺度として表現し選択させるのが無難である。そして、

構造モデルの解釈が容易なように適当に閾値を定め、例えばその閾値未満の“関係”の矢印を無視して構造図を求めるなどの方法が挙げられよう。

(3) ここでの意識調査は、単純な事実や客観的事柄を問うものではないので、回答者が当該の課題に対してある程度以上の知見や洞察力を有することが必要である。その意味から、強いていえば、不特定多数の回答者や“洞察”への関心の有無が不確実な回答者にアンケートを行うより、特定の回答者を対象とするのが適切である。

(4) 「作成された構造図は、それ自体が、訓練指導上のポイントを直接示すものではなく、指導の仕方の明確化を補助する資料である」との認識は重要である。

3. アンケートの制作

このアンケートでは、汎用旋盤加工の従事者が、その作業訓練に関してどのような意識構造をもっているかを調査することを目的とする。そこで、以下の要領でのその構成要素を選定し、アンケートを制作した。

まず構成要素は、旋盤加工訓練にかかわる検討や意見交換³⁾の内容とか汎用旋盤加工の教科書(労働省 昭57)などを参考にして、その教育訓練上重要と思われる概念用語をキーワード的に列記した。それを表1.1に示す。

次に、各要素間の“関係”は、“想起・被想起”で、回答の容易さから、序列尺度による多肢選択法(ここでは5段階評価)とした。

制作したアンケートの一部と「回答要領」を資料1に示す。このアンケートを旋盤加工の指導者3名(指導者グループT0とする)に依頼したが、その回答結果などから「想起の強さに関するバラツキ」、「要素数の過多」などを考慮して構成要素を選択し、アンケートの再構成を図った。

表1.2(b)~(h)に回答データの集計結果の一部を示す。この表において、“起点想起”は“ある一つの要素から別の要素を思いおこす”なる事象を指し、また“終点想起”は“ある一つの要素が別の要素から思いおこされる”

表 1. 1 “旋盤加工訓練”の構成要素（順不同）

・バイトの研削	・材質（の選定）
・工具の選択	・油
・工具の寿命	・旋盤の作動
・切削加工	・材料の取扱い* ¹
・切削条件	・付属品の取扱い* ²
・切削抵抗	・作業能力
・仕上げ	・加工順序
・切くず	・作業の姿勢
・発熱	・測定器の取扱い
・振動、音	・清掃、点検

*1 旋盤本体への取り付けと取りはずし

*2 チャック、回し板、振れ止めの旋盤本体への取り付けと取りはずし

表 1.2 “旋盤加工訓練”の意識調査回答のデータ処理

注：(h)で γ_i の最大値、最小値、平均値はそれぞれ37、3、20.8である。

(a)構成要素 (順不同)	起 点 想 起		終 点 想 起		(h) γ_i ($\equiv \gamma_i^{org.} + \gamma_i^{term.}$)	
	(b) $a_i^{org.}$	(c) $d_i^{org.}$	(d) $d_i^{org.}$ の 昇順 $\gamma_i^{org.}$	(e) $a_i^{term.}$		(f) $d_i^{term.}$ 昇順 $\gamma_i^{term.}$
・バイトの研削	-0.11	1.36	19	0.17	10	29
・工具の選択	-0.23	1.11	10	0.18	18	28
・工具の寿命	0.10	1.37	20	0.14	17	37
・切削加工	0.45	1.18	12	0.38	16	28
.....

なる事象を指す。またこれに関連し、いずれかを特定する必要がないとき又は双方共指し示すときは、単に“想起”と呼ぶ。さらに表記法に関し、想起の起点性や終点性を明記すべき変数には、それぞれorg., term. を肩字表示することにする。

同表において、(b)、(c)、(d)は起点想起に関するもので、(b)は3人の指導者の回答番号を平均したものである。ただし、一指導者において、その想起の相対的強さが重要であるので、それぞれ基準化回答値を算出し、そののちに各要素の想起の強さを求めさらに3人の指導者の平均値を求めている。たとえば、第*i*発問（起点的要素 X_i と考える）に対する平均値 $a_{i \cdot}^{org.}$ は次のようにして求める。すなわち、指導者 t_k ($k=1, 2, 3$)の「要素 X_i から要素 X_j への想起」に対する回答番号 $a_{i, j, k}$ とし、 t_k の全回答番号の平均と分散をそれぞれ a_k, σ_k^2 として、 $a_{i \cdot}^{org.} = (1/KJ) \sum \sum (a_{i, j, k} - a_k) / \sigma_k$ である。ここに、 K, J はそれぞれ指導者数、要素数で、いまの場合、 $K=3, J=20$ である。(c)は、指導者による起点想起の度合の差異を表しており、 $a_{i, k}^{org.} \equiv (1/J) \sum_j (a_{i, j, k} - a_k) / \sigma_k$ として $d_{i \cdot}^{org.} \equiv \max_k a_{i, k}^{org.} - \min_k a_{i, k}^{org.}$ としている。そして(d)は、(c)での $d_{i \cdot}^{org.}$ の値の小さい順に序列番号を付したものである。ただし、ある $d_{i \cdot}^{org.}$ の値が、その前の $d_{i' \cdot}^{org.}$ ($i \neq i'$)の値と一致するときは、同じ序列番号を付与するとともに、番号を一つ飛ばすようにしている。

(e)、(f)、(g)は終点想起に関するもので、計算手順はそれぞれ(b)、(c)、(d)とほぼ同様である。

(h)での γ_i は $\gamma_{i \cdot}^{org.}$ と $\gamma_{i \cdot}^{term.}$ の値を単に加算したもので、この値の小さなものが、構成要素の選出の対象となる。

“旋盤加工訓練”の構成要素として採択したものを表1.3に示す。表1.2からは、“バイトの研削”と“切削加工”は γ_i の値がそれぞれ29、28と平均値よりかなり大きい、これらが旋盤加工訓練でかなり重要な用語とされており、さらに γ_i の値の小さなものの中に切削行為を直接的に示す概念用語が少なかったため、これらを採択することとした。選択した13の構成要素

表 1. 3 選択された構成要素

切削・被削	現象・物性	(全体的に見た) 作業の質
バイトの切削 切削加工 仕上げ 切くず	発熱 振動、音 材質(の選定) 油	材料の取扱い* 作業能率 加工順序 作業の姿勢 清掃、点検

* 旋盤本体への取り付けと取りはずし

は、表 1. 3 のように、“切削・被削”、“現象・物性”、“（全体的に見た）作業の質”の 3 つのカテゴリに分けることができよう。

4. 回答データの処理法と“旋盤加工訓練”の意識構造の図式化

3. で選出された 13 の構成要素を用いてアンケートの再構成を図り、意識構造の本調査を行った。「回答要領」と発問形式は、先とほぼ同様である。このアンケートでは、特に、汎用旋盤の指導者と訓練者の意識構造の相違点を示唆することを一つの主眼とした。指導者は、先とは別の 4 名（指導者グループ T₁ とする）であり、訓練者は汎用旋盤に 10 年前後の経験をもつ 10 名（訓練者グループ S とする）である。そして、アンケートの実施にあたっては、指導者と訓練者のいずれも、「回答要領」を充分理解したのち回答を始めるよう依頼した。

グループ T₁ とグループ S の回答結果は、いずれも 3. と同じ要領で平均値を算出した。その値の大きいものから 20 対を、表 1. 4 に◎と○で示す。このうち◎は、その 20 対を平均値の大小で 2 つのグループに等分割したときの大きい方を示しており、いわば強い想起・被想起である。

さてこの表からは、当該の意識構造を起点的要素 X_i から終点的要素 X_j への矢印として図式的に表現し直すことができる。しかし、もし矢印の本数が多すぎると、必然的に一つの図としての特色が損なわれる。尚、いくつかの DEMATEL 法の事例からすると、矢印の総数は要素数の 1～2 倍強が見やすそうである。

また、構造図は、紙面上に 2 次元的に表現することが多いが、多変量解析的な手法を除いては、要素の適切な配置は定性的に行われることが多い。しかし、本報のように構造図の比較が目的であるときは、構成要素を何らかの座標上に配置することが望まれる。そこで、先の表 1. 4 の一種の行列から、次のようにして図式化を行う。

いま、要素 X_i について、これを起点とする矢印の本数を出力本数 n_i^{out} などとあらわす。したがって、X_i に連結した矢印の総数 n_i は、 n_i^{out}

表1.4 意識構造の行列表示

◎：“強い想起・被想起” ○：“想起・被想起”

(a) 指導者グループT1

		終 点 的 要 素 X i												
		1. …研削	2. 切削…	3. 仕上げ	4. 切くず	5. 発熱	6. 振動…	7. 材質…	8. 油	9. …取扱い	10. …能率	11. …順序	12. …姿勢	13. 清掃…
起 点 的 要 素 Xi	1. バイトの研削		◎	○	○									
	2. 切削加工	◎												
	3. 仕上げ	○												
	4. 切くず	◎	◎											
	5. 発熱	◎	◎						○					
	6. 振動、音									○				
	7. 材質 (の選定)		○			◎								
	8. 油					○								
	9. 材料の取扱い*				◎									
	10. 作業能率		○	○								◎		
	11. 加工順序		◎	○										
	12. 作業の姿勢													
	13. 清掃、点検													

表1.4 (続)
 (b) 訓練者グループS

起 点 的 要 素 Xi	終 点 的 要 素 X i												
	1…研削	2.切削…	3.仕上げ	4.切くず	5.発熱	6.振動…	7.材質…	8.油	9.…取扱	10.…能率	11.…順序	12.…姿勢	13.清掃…
1. バイトの研削	◎	◎	◎										
2. 切削加工	○		◎						○				
3. 仕上げ	◎	○		○									
4. 切くず													
5. 発熱	◎	○	○	○									
6. 振動、音	◎	◎	◎										
7. 材質 (の選定)			○										
8. 油													
9. 材料の取扱い*													
10. 作業能率	◎	◎	○										
11. 加工順序													
12. 作業の姿勢													
13. 清掃、点検													

* 旋盤本体への取りつけと取りはずし

+ n_i^{term} となる。ただし、表 1.4 で矢印の本数は◎を 1 本、○を 0.5 本と勘定することにする。

さて、構造図は、次の ξ_i と η_i をそれぞれ横軸、縦軸としてその座標上に記載する。

$$\xi_i = \frac{n_i^{org.} + n_i^{term.}}{\sum n_i}, \quad 0 \leq \xi_i \leq 1, \quad (\text{ここでは } \sum n_i = 30 \text{ となる}) \quad (1)$$

$$\eta_i = n_i^{org.} / n_i, \quad 0 \leq \eta_i \leq 1 \quad (2)$$

つまり、 ξ_i の大きい要素は、相対的に見て想起の度合の大きい要素であり、 η_i の大きい要素は終点的性格に比し、起点的性格の強い要素である。

さて、(1)、(2)を用いて表 1.4 を図式化したものが、図 1.2 である。要素は同表中の要素番号で示しており、矢印上に二重線を付したものは、表 1.4 中の◎印に対応する。そして、 $n_i = 0$ なる要素は、右方に破線で囲って示している。

さて、図(a)と(b)を比較すると、相違点などが次のように観測される。

- (1) 要素 1, 2, 3 の ξ の値は、概してグループ T₁ よりグループ S の方が高い。ちなみに、グループ S のその平均値を ξ_s などと表記すると、 $\xi_s = 0.43$ 、 $\xi_{T_1} = 0.32$ となる。つまり、グループ S は、“切削・被削”の相対的想起の度合がグループ T₁ より大きいことを示唆している。
- (2) グループ S の場合は、“切削・被削”のカテゴリーの中の“4 切くず”の ξ の値が、他の 3 つの要素に比べて低い。そこで、改めて表 1.3 のカテゴリーを個々に調べてみると、いずれの概念に属するかが必ずしも明確でないものが若干見あたり、“切くず”もその一つといえる。つまり、これは見方によっては“現象・物性”に含めることもできる。裏を返せば、グループ S は“バイトの研削”、“切削加工”、“仕上げ”といった作業者の直接的行為を表現する用語に想起の度合いが高いということにもなる。一方、グループ T₁ では、そのような傾向がより少ない。
- (3) グループ S では、想起の弱い要素（つまり破線内の要素）が多く、そのことは、グループ S では想起しやすい要素と想起しにくい要素が比較的

(a) 指導者グループ T₁

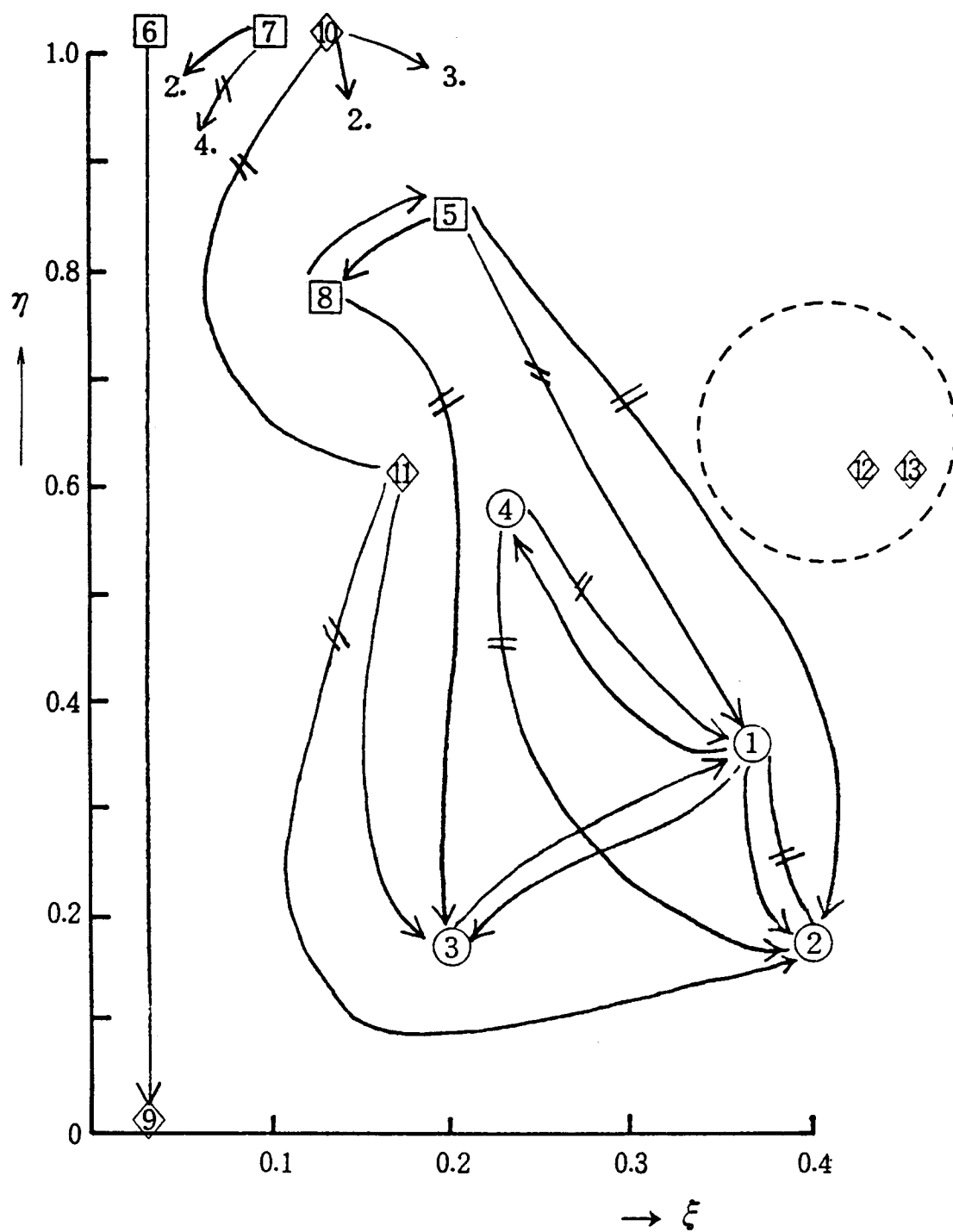


図 1.2 意識構造の図式化

(b) 訓練者グループ S

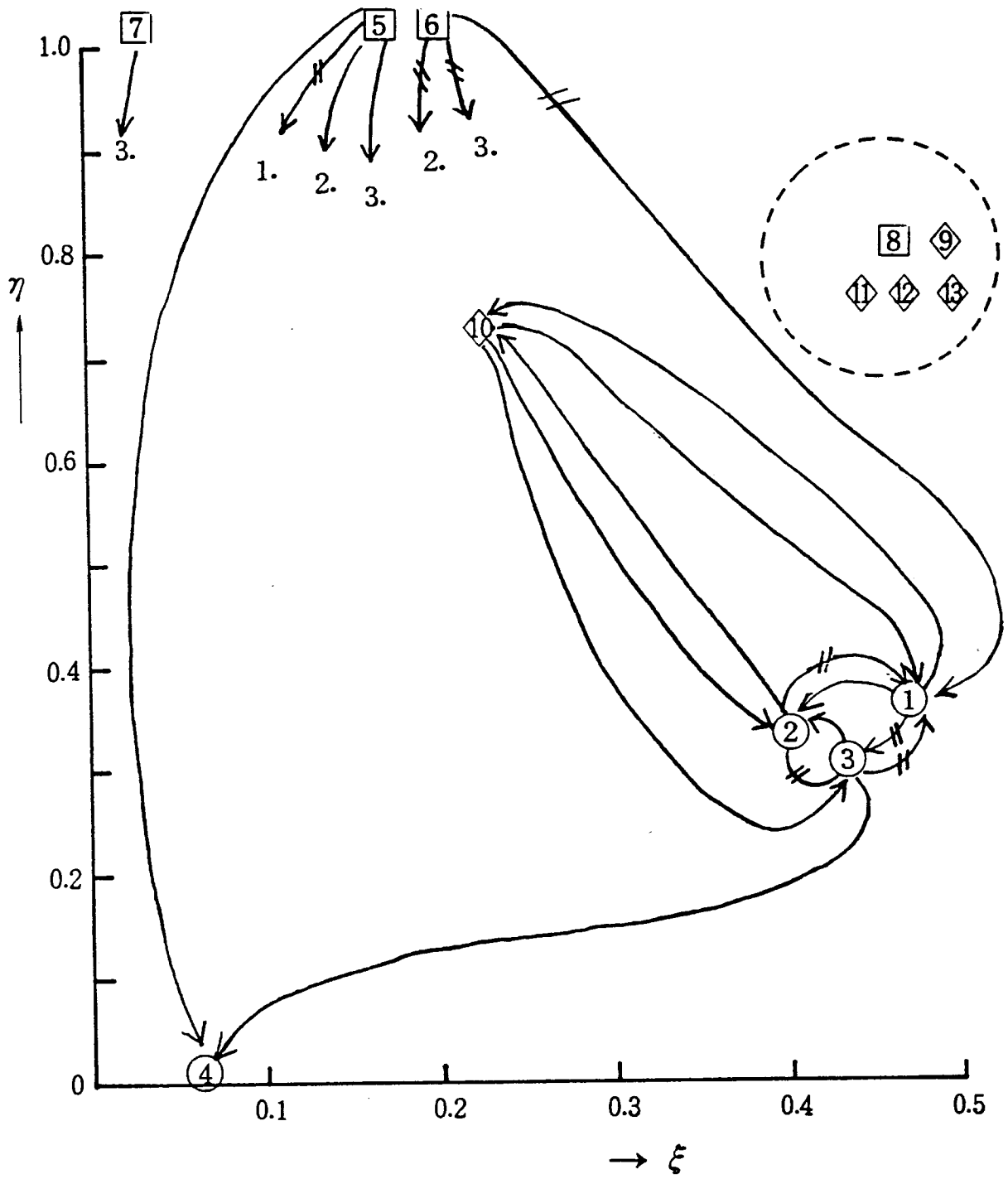


図 1.2 (続)

明確に分けられることを意味する。図(b)の要素1, 2, 3の関係を見れば明らかなように、これはいずれの対も互いに想起しやすく、強いてカテゴリー分けすれば“想起しやすい要素”となろう。

- (4) グループSでは、要素5, 6, 7の η の値がいずれも1であることから、“現象・物性”は終点的性格が弱く、「たとえば“切削行為”に何らかの不備が発生したと聴いても、“現象・物性”を思いおこすことが少ない」ことを示している。一方、グループT₁についても、“現象・物性”の要素の η が1に近いから、終点的性格が強いとはいえない。
- (5) グループSでは、“現象・物性”の4つの要素5, 6, 7, 8の間に矢印が存在しなく、何らかの一カテゴリーの4要素との認識が少ないことを示唆している。一方、グループT₁では、要素5と8の間に矢印が存在し、また要素7は“現象・物性”の属性を持ち得る“4切くず”に対する起点的要素となっている。
- (6) グループSでは、“作業の質”の多くの要素は、起点的にも終点的にも想起が弱い(要素9, 11, 12, 13)。
- (7) グループSでは、グループT₁と異なり、要素1, 2と要素4との間に矢印が存在しない。しかも、(3)でものべたように要素1, 2, 3が互いに想起しやすいことから、切削行為そのものに対する関心の強さを示唆している。

5. 他の作業的訓練での意識構造の図式化

本報では、アンケートの回答データから当該の意識構造を図式化する手順を、旋盤加工訓練に即してのべた。他の作業的訓練に対しても、ほぼ同様の手順で図式モデルを作成することができるが、構成要素の選定では、次の点に留意して、とりあげる作業領域ごとに十分な検討を要する。

- (1) いずれの構成要素も、当該の作業領域の全体からみて重要な概念と見なされること
- (2) 構成要素が表現上過度に抽象的であったり局所的に過ぎないこと、ある

いは抽象の度合がほぼ同じと見なせること

- (3) ある2つの構成要素が、意味的に完全な包含関係にないこと

実際問題としては、関連の教科書でのタイトルやサブタイトルに用いられる用語が、これらのヒントとなろう。

注

- 1) DEcision MAKing Trial & Evaluation Laboratory の略

- 2) 推移律が成り立つとは、たとえば要素Xに対する要素Yの関係をXRYで表現するものとする、次式が成り立つことをいう。

XRY かつ YRZ ならば XRZ

- 3) 本研究は、雇用促進事業団職業訓練研究センターにおける業務プロジェクト“従業員類型別教育訓練”の一貫として行われたものである。このプロジェクトでは、汎用旋盤加工に従事する現役の技能者に対してその技能のとらえ直しを図るという主旨の技能診断クリニックを一つの訓練コースとして開発した。当センターと山梨技能開発センターの数人のメンバーの共同研究として進められたもので、それらの間で数回関連の討論が行われた。

文 献

Warfield, T. N. (1973) : Binary matrices in System Modeling, IEEE Trans. SMC-3, 5, pp. 441-449

Warfield, T. N. (1974) : Toward Interpretation of Complex Structural Models, IEEE, Trans. SMC-4, 5, pp. 405-417

田崎栄一郎(1979) : あいまい理論による社会システムの構造化、数理科学、191, pp. 54-66

Fontela, E. & Gabus A. (1973 ~1976) : DEMATEL Reports, Battelle Geneva Research Centre

Baldwin M. M. (1975) : Portraits of Complexity, Applications of Systems Methodologies to Societal Problems, Battle Monograph 9

Bvo. Raymond Fitz(1974) : ISM as technology for Social learning, IEEE
Conf. on Decision & Control Phoenix

山下元、祝原進一（1981）：コンピュータによる数学教材の構造解析、日本数
学教育学会誌、63、11、pp.275-278

沼野一男（1976）：授業の設計入門、国土社、東京

織田守矢、仙田克己、下村勉、千村浩靖（1983）：ビデオ教材の概念構造・核
場面構造および感動構造、日本教育工学雑誌、8、2、pp.51-60

寺野寿郎（1986）：システム工学入門、共立出版、東京

労働省・雇用促進事業団・職業訓練研究センター（昭59）：機械（旋盤）、雇
用問題研究会

北垣郁雄、多賀谷敏夫(198X)：作業的な訓練にかかわる意識構造の抽出；DE
METAL 法による、日本教育工学雑誌、掲載予定（13巻2号）

北垣郁雄（1988）“旋盤加工訓練”の意識構造とその特徴抽出、訓研調査研究
資料第86号、pp.182-203