

ファジィシステム理論を応用した
教材データベースのための素材評価システムの開発

研究課題番号 07808027

平成7・8年度科学研究費補助金（基盤研究C(2)）
研究成果報告書

平成9年3月

研究代表者 松本伸示

兵庫教育大学
附属図書館



00010633591

（学校教育学部助教授）

ファジィシステム理論を応用した
教材データベースのための素材評価システムの
開発

はじめに

本研究では、科学教材の解析・開発研究に現代数学のグラフ理論ならびにファジィシステム理論を応用し、科学教材をグラフで描像したものをグラフモデルと呼ぶ。そして、その可能性と妥当性を検証しようとするものである。特に、ファジィシステム理論の応用意図としては、科学に対する主観性の回復、行き過ぎた科学主義からの教育の人間性への回帰の視座から、科学というもともと主観性とかけ離れたものと考えられがちな領域における教材に、教師の、あるいは学習者の主観性を内在させたままで科学的でシステマティックな解析・開発アプローチの確立という一見矛盾するかのようと思われる課題を追究することにある。また、この過程はコンピュータの支援を必要とし、これを可能とするコンピュータソフトウェアの開発により次に示す二次的意義も顕在化してくる。すなわち、

- 1) コンピュータによって研究者自身も予想しなかったような全く新しい教材が開発される可能性があること。
- 2) 教材の解析・開発の過程でそれらのデータベース化が図れること。

以上の2点は、今後の教育研究へのコンピュータ活用の進展とそれに伴う行き過ぎた合理主義的現象解釈に一定の歯止めを与えながら教育活動に人間性を確保しつつ、その人間の英知を越える科学教材の開発の可能性を我々に示唆してくれるものと思われる。さらに、これまでどんなに素晴らしいと思われる教材であっても後世に保存するは容易なことではなかったが、本研究ではこれらの貴重な教材を保存・活用する方策を開くものとなると考えられる。

今日、教材をコンピュータを用いて分析する試みやグラフモデルを用いてそれらを表出しようとする試みはすでにいくつか存在する。あるいは、ファジィシステム理論を応用した教材の解析はすでに始まっている。しかし、人間の主観性を生かす方策としてファジィシステム理論を導入し、教育研究の行き過ぎた合理主義へのアンチテーゼとして人間性回復のためにそれらを活用していこうとするアプローチは皆無といってよい。

研究組織

研究代表者 : 松本伸示 (兵庫教育大学 学校教育学部)

研究協力者 :

菅原錦市 (兵庫教育大学大学院修士課程 :
大阪府茨木市立東中学校)

永山俊介 (兵庫教育大学大学院修士課程 :
千葉県鎌ヶ谷市立第三中学校)

藪野修民 (兵庫教育大学大学院修士課程 :
兵庫県加古川市立神吉中学校)

河村祐治 (兵庫教育大学大学院修士課程 :
愛知県名古屋市立陽明小学校)

原田周範 (兵庫教育大学大学院修士課程 :
愛媛県越智郡大三島町立大三島中学校)

研究経費 : 平成7年度 900千円
平成8年度 1,100千円

雑誌論文

松本伸示、他、「理科好き中学生育成に向けての基礎的研究 —内容理解と実験について—」、1995年、『日本教科教育学会第21回全国大会発表要旨集録』、pp. 23-23.

松本伸示, 「教育の樹林 新しい科学観に基づく理科学習理論の構成」、1996年『文部省 初等教育資料』pp. 68-71

松本伸示、他、「中学生の科学観形成に向けた実践的研究 - 電気单元に関する科学史事例の教材化を通して-」、1996年、『日本教科教育学会全国大会論文集』pp. 1-2

松本伸示、他、「生徒の理科授業に対する意識構造 - F S M法による構造同定法-」、1997年、『兵庫教育大学教科教育学会紀要』第10号

口頭発表

松本伸示、「現職理科教師が抱く科学観」、1995年、『日本教科教育学会第21回全国大会（金沢大会）』.

松本伸示、他、「理科好き中学生育成に向けての基礎的研究 - 内容理解と実験について-」、1995年、『日本教科教育学会第21回全国大会（金沢大会）』.

松本伸示、他、「中学校における理科の好嫌要因の解明 - 教師と生徒の観察・実験に対する意識分析を中心にして-」、1996年、『日本理科教育学会第46回全国大会（兵庫教育大学）』

松本伸示、他、「中学生の科学観形成に向けた実践的研究 - 電気单元に関する科学史事例の教材化を通して-」、1996年、『日本教科教育学会第22回全国（秋田大学）』pp. 1-2

目 次

はじめに	ii
序 章	1
第1章 教材グラフモデルのための定義と鍵概念	13
第2章 具体的な教材選択の要因解明	49
第3章 生徒の理科授業に対する意識構造－F S M法による構造同定法－	83

序 章

研究の視点

1. 教材研究におけるグラフモデル

グラフそのものについての研究は比較的歴史が古い。グラフ理論の最初の論文はレオナルド・オイラーが発表した1736年のケーニスベルグの橋渡りの問題だとされている。(1)現在では、意識されるか否かは別として様々な要素とそれらの関係を線で結んだいわゆるグラフ表示は様々な領域で活用されなじみの深いものになってきている。しかし、その中でもグラフ理論の数学的定理を活用した利用となると範囲はかなり狭められ、電子回路、通信、交通、ネットワークなどの分野がその主な活用領域となっている。教育においてワーフィールド (Warfield, J. N., 1973, 1974) (2)(3)によって発表されたISMが、佐藤 (佐藤隆博, 1979, 1979, 1980) (4)(5)(6)より学習要素階層分析に応用した。その後、このカリキュラムをグラフモデルで表し研究するという方策はコンピュータの普及と相まって瞬く間に日本中に広まり今日に至っている。詳細は先行研究の概略の部分にゆずることとし、ここでは導入からおよそ15年が経過した段階でのそれらの評価を佐藤の言を借りて考えてみたい。

ISMを活用した教材研究の利点 (7)

- ① 人の頭の中で一度に処理できる情報の量は限られているが、その情報処理の限界を拡大したり、補うことに役立つ。
- ② 教材についてのしっかりした認知構造を作ること助ける。つまり人の意識化を助け、頭の中の思考の整理を助ける。
- ③ 頭の中で観念的に考えていたときに気がつかなかった要素間の関連の補充・変更や追加すべき必要な要素、削除すればよい要素あるいはさらに分割したい要素や統合したい複数の要素を見つけることができる。
- ④ どこかに「もれ」がないかどうか、どこに重点をおけばよいかなど授業を計画するとき、時間配分を決めるときに非常に有効である。

上記の利点は佐藤がISM教材構造化法の利点としてあげたもので、また、教授用カリキュラム作成時を念頭において述べたものであるが本研究におけるグラムモデル活用した教材解析や開発の作業仮説となるものである。

2. 教育におけるファジィ理論

ここでは本研究が分析的手法としても理念的な枠組みとしても包含しようとするファジィシステム理論について特にその哲学的側面での研究視点を明確化しておくことにする。すなわち、ファジィシステム理論が我々に突きつけている新しい科学の捉えかた、そして、理科教材開発においてそれがどのような意味を待ってくるのかについて述べてみたい。

(1) 知の地殻変動

一切の不確かなもの、蓋然的あるいは曖昧なものを否定し、明晰にして判明なるもののみを受け入れ、合理的世界を追求することが近代合理主義の考え方であり、今日の科学主義、科学化の

思想の出発点である。(8)理科教育の在り方もこの近代合理主義の考え方に強い影響を受けてきたことは揺るぎのない事実である。

しかし、現在、中村（中村雄二郎，1989）によると、「知の地殻変動」ともいうべきものが起こっていて、それを無視しては哲学も科学も人々の真の要求にはこたえられなくなっていると言う。(9)また、菅野道夫によると、ここにきて科学そのものに対する考え方、デカルト的知に対する反省が始まっているという。(10)(11)その1つの契機となったのはマクロでは相対性理論、ミクロでは量子力学、あるいは、数学の世界での非ユークリッド幾何学の出現などをあげることができる。また、哲学的にはレヴィ＝ストロース等による構造主義の洗礼も考えられる。(12)(13)(14)(15)これはデカルト的な認識論に厳しく対立するものであり、直接的で安易な全体化的・中心化的思考に反対して、知の脱中心化・反全体化を目指すものといえる。これによって、我々は人間的・社会的な事象を扱う上で、人間活動における言語システムの持つ意味を重視し、そうした言語システムの解明方法をモデルにして、現実の隠された構造を明確に捉える新しい人間科学の可能性を切り開いたのである。

また、バシュラールによって明らかにされた物質の認識は明晰かつ判明ではありえないとする考え方は、デカルト的な明晰かつ判明な明証性という古典的な科学の基本原則を否定することになる。(16)

これまで我々が真理と考えているもの、あるいはそう見えているものは、実は我々がある知のシステムに閉じこめられているにもかかわらず、そのことに気付かず、それを当然だと思っていたことに起因するのではないかということである。この点については、N.R.ハンソンにより科学哲学的には観察の理論負荷性において明らかにされている。(17)

このような文脈において、今日、デカルトによって捨て去られたものを見直し、すなわち、パスカル的知の存在の見直しをなされようとしている。パスカルはデカルトと同時代を生き、すでに、この時点でデカルト的知の限界を予知していたと考えられる。(18)パスカル的知とはデカルトの理性に対して人間の心情を、合理性に対して人間の主観性の優位を主張し、また、幾何学の精神に対して彼の言葉で言えば繊細な精神を重視する。このようにパスカルは、当時から曖昧なものすなわち、ファジィネス、主観性と言うものを認めているのである。彼はその繊細な精神をもって確率の問題へと興味を向けている。そして、このパスカル的知を扱えるものとしてファジィ理論が注目を集めるに至った。ファジィ理論は1965年F. A. ザデーによって提唱された曖昧性を扱うための比較的新しい理論である。(19)

ファジィ理論のそもそもの出発点は在来のいかなる機械には存在しないが、人間にはほとんどだれもが持っている曖昧さを適切に処理する能力を見直し、論理的、数学的に表現し、機械にもそれを持たせようとするものであった。したがって、この意味においては確かに近代的な正当な科学の方法をとっていると言える。そして、今日では、ファジィ論理は広く一般的に、曖昧な状況のもとでの認識活動や判断力、曖昧な情報を使った推論能力など、人間の優れた能力を表現し、利用することに使われるようになってきている。(20)(21)(22)(23)(24)

日本ではファジィを「あいまい」と訳して「あいまい理論」と呼ばれる場合があり、近代合理主義に則った科学の方法論からすると逸脱科学ではないかとの疑義がもたれる。あるいはファジィ

ィを取り扱うことは、科学の墮落ではないかとの悪口をたたかれたりもする。それは、1つには「ファジィ」という用語の翻訳が「あいまい」、あるいは「ぼやけた」という意味で捉えられることに起因していると考えられる。しかし、本質的には、ファジィ理論が近代合理主義を背景とした論理実証主義的な科学観に突きつけているもう一方の側面、すなわち、前記したパスカルの知のように我々に科学の捉えかたを根本からかえさせてしまう強力な挑戦を含んでいるからではないかと考える。

(2) 科学の主観化

ファジィ理論が取り扱おうとしている曖昧性は、還元されることなく、あるいはまた、規範を受け取ることのない存在である。この曖昧性はただ現象するのである。この曖昧性は、近代合理主義をその基盤とする伝統的論理実証的な科学の方法の射程にはないことによって、自己の存在を誇示しているものである。ファジィ理論が行おうとしていることは、この曖昧性を取り扱うことにより優れて豊かな非科学的な主観性を他ならぬ科学の内に取り戻すことにある。しかし、この試みは、いわゆる伝統的で正統と考えられていた科学からはファジィ理論が科学の場に主観を持ち込み、科学の聖域を主観性によって汚そうとするものと映ることもまた確かなことである。⁽²⁵⁾

そこで、この両者の対立に対する方向性について1つの示唆を最近の科学哲学に求めて見ることとする。例えば、T. クーンによれば、科学はそれを生み出した科学者集団の大胆な推論のもとで創造的に構成されるものであり、決して客観的なものではありえないことを示している。彼によれば、科学の進歩は科学者集団間の心的実態としての「科学の書式」、すなわち、パラダイム間の相対的優劣があるだけになる。⁽²⁶⁾同様な文脈において、P. K. ファイヤアーベントは事実の理論依存性の観点から論理実証主義的科学が科学の客観性の根拠とする事実そのものの主観性を激しく主張する。すなわち、われわれはすべて、ある文化によって色眼鏡をかけているのであるから、そこにはその文化が持つ主観性が存在することになるのである。⁽²⁷⁾⁽²⁸⁾これは科学の相対化と呼ばれ、これまで信じられていた論理実証主義的な科学に対するアンチテーゼとして科学の世界に新しいパラダイムを切り開こうとするものである。ファジィ理論による科学の主観化もまさにこの文脈から捉えられる試みとして最近様々な分野で注目を集めていることは間違いない。

それではファジィ理論の革新的な点はどこにあるのであろうか。それは、第一に、ファジィネスという曖昧さの存在を積極的に認めて研究対象に取り入れたこと。そして、第二に、ファジィ集合により、曖昧さを数量化して捉えたこと、である。

人間と機械とが共存する社会で人間の主観を排除することは、人間優先を放棄することを意味している。人間の幸福のためには、これまでの現代科学技術が排除してきた主観を積極的に認める理論の開発が是非とも必要なのである。また、ファジィ集合は、普通の集合を拡張したものであるから、もちろん数理論理学が適用できる。すなわち、表現や解釈は曖昧でも、論理展開は厳密な数学的取り扱いができるのである。これを用いると、文章で述べられた論理を数学的に扱える。これは文系の学問を理科系の手法である程度扱えることを意味しており、非常に興味深い。

(3) 科学の理解

さて、このような知に対する地殻変動とでも言うべきものが起きていると言うことを念頭におきながら、理科教育とも関連が深い、科学に対する理解というものを考えてみることにする。

科学を理解するということについては2つの理解が考えられる。その1つは科学が日常性からどんどん抽象化の方向に向かうことによって作り上げられてきた科学のいわゆる理論体系を理解するというものである。

たとえば、宇宙論における時間と空間の理解をあげることができる。日常的な感覚からはニュートン力学における時間・空間の考え方がもっとも一致しているように思われる。ところがこの時間・空間に関する考え方もアインシュタインの特殊相対論、一般相対論における時空の考え方の中では空間は不偏ではなく膨張・収縮をしてしまう。そして、ビッグバンにおいては時空における空間の体積がゼロとなり虚数時間を考える必要が生じてくることになる。このように時間と空間に関する考え方もどんどん日常的な感覚では捉えきれないほど抽象的になっていくのである。(29)

これに対して、もう一方の理解では、もっと単純にもっと日常的意味で、わかったとか腑に落ちるとかで表現される理解である。これは先程のどんどん抽象的になっていった理解をもう一度、日常的感覚へ回帰させたものと言うことができる。

これは、あるいはメタファという言葉で表現されるものかもしれない。アナロジーというものかもしれない。その特徴は自然言語や感性を媒体として不完全であいまいなものであるかもしれないが、抽象度が高くわれわれの生活から遊離してしまった科学の理論体系をわれわれの現実の空間の中に引き戻してくれる理解と考えることができる。(30)

われわれが科学を理解していく過程は当然のことながらこれら2つの理解がお互いに交差しながら形作られていくものと考えられる。そして、このような理解を成し遂げる上で重要な役割を演じているのが前者では分析的理性と呼ばれるもので、これはデカルト的知の領域として捉えることができ、後者は言語的理性と呼ばれるものでパスカルの知に属すものとして捉えられる。

中村が言うように知の地殻変動が起こりつつある現在、科学の理解に於いても後者のパスカルの知を形成する言語的理性の見直しも必要ではないかと考えられる。

なぜなら科学がことばからイメージを追い出し、あるいは切り捨てたために、人間の持つ豊かな能力が学問や理論の内では生かされなくなっていることが問題だからである。

そして、このもう一方のアプローチのしかたを支え、自然言語を直接取り扱うことができるものがファジィ理論なのである。

(4) ファジィ理論への批判

さて、このようなファジィ理論の特性にも関わらず、この理論は多くの非難にもさらされているのが現実である。それらは次の3つの立場に大別できる。(31)

1：確率論の立場：

これは、不確実性は確率論で扱えるから、ファジィ理論はいらないというもの、さらにはファジィ理論には統計的解析のような客観性を保証する作業が欠けているので、信用できないというものも含む。

確かに、確率論はこれまで自然科学の研究の様々な領域で応用され、理科教育においても調査研究などで多様な不確かさを扱ってきた。しかし、この中には過ぎた適用はなかつただろうか。なぜなら、人間の認識実態の不確実性はおそらく確率的蓋然性ともっともかけ離れたところにあるように思われる。

2：伝統的人工知能研究の立場：

AI研究においては人間の知能の捉え方が従来のデカルト的方法をよって行われ、推論のプロセスにしても、そこで使われる言葉は、記号論理における記号として取り扱われるからである。

しかし、言語がその本質として還元不可能な曖昧性を持つ以上、人間の知能を記号論理学だけに置き換えることが本当にできるかという反論もまた可能である。

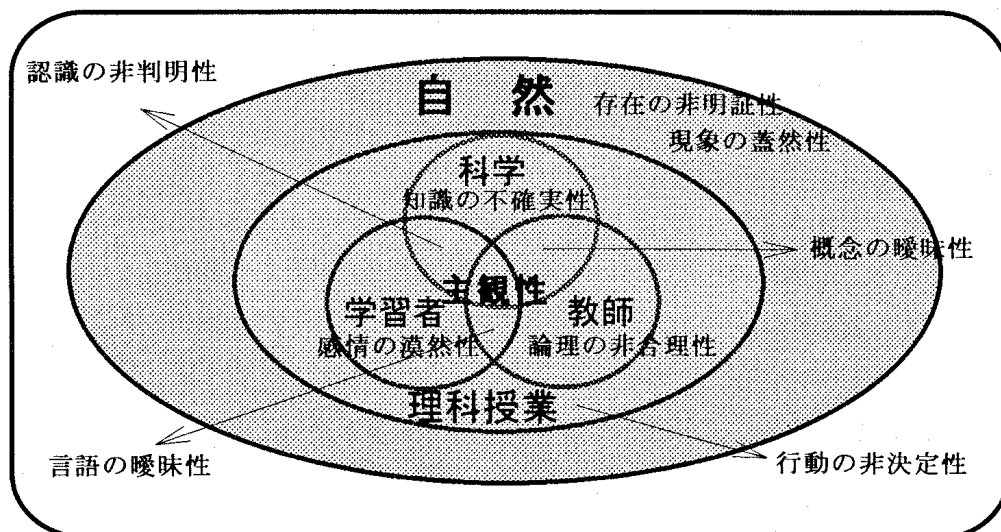
3：伝統的科学一般の立場：

彼らの批判は、一言で言えば、ファジィ理論は二流の科学である。さらに、逸脱科学である、科学ではないというものである。ファジィ理論は論理性に乏しく、客観性は認められない。科学的探究を途中で放棄している、等々である。平たく言えば、ファジィ理論はいい加減な学問だということである。伝統的科学にとって、人間の主観性をいかに排除し、いかに客観性を保証するかが、これまでの科学の使命だった。したがって、個別主観の存在を中心に捉えるファジィ理論が受け入れられないのは当然である。

しかし、これらの批判に対してはファジィ理論は異端の科学であるという方が当を得ている。前記したように、近年、伝統的科学が問い直されている中で指摘されていることは、普遍的と思われる科学そのものが1つのイデオロギーに過ぎないのではないかという疑義である。

これらの点について、ザデーはパーティに着ていく服装を礼にあげ、黒服に白のワイシャツが伝統的科学、ジーンズにシャツがファジィ理論だといっている。現在ではよほどのパーティでもない限りジーンズも認められる。しかし、これも最初から認められていたわけではない。それとおなじでファジィ理論もおそらく数十年のオーダーで認められるようになるだろうと期待を持って語っている。(32)

(5) 理科授業の中の不確かなもの



理科授業における不確かなもの

ここでは理科教育におけるファジィ理論の意義について考察してみることにする。図は理科授業の中の不確かなものを概略したものである。理科教育がその学びの対象とするところの自然はその存在に非明証性を残している。また、それが織り成す現象は量子論では蓋然的であるといわれる。科学の知識も実は不確実なものであると考える人々もいる。したがって、科学から引き出してくる概念には曖昧性が付きまとう。

教育活動についても考えてみる。教育そのものにも教育的配慮という名のもとで非合理的な部分があり、あるいは教師と学習者との間のコミュニケーションは言語を媒体とし、言語はその根源的性格として曖昧性を持つ。また、学習者自体の自然さらには科学に対する感情は漠然としたものとして表現される。さらに、学習者の認識は非判明的であるといわれる。⁽³³⁾

このように分析してみると理科授業を構成するシステム自体が本質的にファジィネスを内在させた存在として定立される。そして、このシステムの多くのファジィネスは還元不可能な存在であり、いわゆるデカルト的知のアプローチではどうしても限界がきてしまう。

そこで、この不確かさを取り扱っていくパスカルの知のアプローチとしてファジィ理論の出番があるわけである。

ザデーによれば人間を含むようなシステムを扱うとき、精密化を追求する数値的方法を用いるのではなく、ある程度量的なものは犠牲にして巨視的な見通しのよい定性的なモデルで表したほうがうまくいくと述べている。⁽³⁴⁾今見てきたように、理科授業は、ザデーの言う人間を含む複雑なシステムと捉えることができ、内在するファジィネスをそのまま受け入れ、それらを取り扱う定性的モデルの構築が必要となってくると思われる。そこで、本研究では理科カリキュラムや授業が内在する様々なファジィネスをそのまま受け入れた定性的なモデルで表現し、そこから何が抽出されてくるのかを明らかにしてみたい。ここでのキーワードの1つは、理科カリキュラムの中に主観性を回復させることである。すなわち、熟練教師がもっている主観を最大限分析モデルの中に生かすことに留意するものである。

3. 先行研究の概略

ここでは、グラフ理論及びファジィ理論を応用した構造モデルを教育活動に導入した先行研究についてまとめてみることにする。その前に、グラフ理論及びファジィ理論の起源について簡単にまとめる。

グラフについての研究は、比較的歴史が古い。グラフ理論の最初の論文はレオナルド・オイラーが発表した1736年のケーニスベルグの橋渡りの問題だとされている。⁽³⁵⁾現在では、意識されるか否かは別として様々な要素とそれらの関係を線で結んだいわゆるグラフ表示は様々な領域で活用されなじみの深いものになってきている。その中でもグラフ理論の数学的定理を活用した利用となると、電子回路、通信、交通、ネットワークなどの分野でめざましい成果を認めることができる。

教育においてもワーフィールド (Warfield, J. N., 1973, 1974)⁽³⁶⁾⁽³⁷⁾によって発表されたISMは、佐藤 (佐藤隆博, 1979, 1979, 1980)⁽³⁸⁾⁽³⁹⁾⁽⁴⁰⁾が学習要素階層分析に応用し、日本においても瞬く間に普及するに及んだ。さらに、竹谷 (竹谷誠, 1979, 1979, 1980)⁽⁴¹⁾⁽⁴²⁾⁽⁴³⁾はテスト項目間の順序関係を有向グラフで表し解析するIRS (Item Relational Structure) を発表し、具体的な活用例として小学校算数の事例を使って紹介した。また、佐藤等 (佐藤隆博, 千村浩靖, 1982)⁽⁴⁴⁾は教科書内容の中からキー概念を抽出し、それを達成させるために必要な教材モジュールの2種類の要素教材の関連づけて表す教材構造グラフの作成方法を発表し、小学校算数の事例を使って紹介した。宮地 (宮地功, 大野勝久, 三根久, 1982)⁽⁴⁵⁾はISMに分枝限定法を組み合わせて最適教授項目の決定法を提案した。そして、この方法を利用して高専の数学における最適教授項目決定の実践事例とその妥当性を報告した。

阿部等 (阿部治, 吉岡亮衛, 宮本定明, 高野義幸, 中山和彦, 1985)⁽⁴⁶⁾は有向グラフを用いた有向階層化法を提案した。これにより中学校理科の生物学習の前後における知識変容の事態を学習集団を対象として報告している。

下条等 (下條隆嗣, 金田知之, 内藤誠一, 倉岡祐子, 中野誠, 1986)⁽⁴⁷⁾は中学校理科の教科書内の力学領域を有向グラフを用いて表し、その概念の関連構造を分析した。その結果、92個にも及ぶ力の概念が複雑に関連した概念集団が表出され、様々な活用可能性が示唆された。竹谷 (竹谷誠, 1987, 1988)⁽⁴⁸⁾⁽⁴⁹⁾は学習者の心理的な領域を評価するために用いられている評定尺度法で得られたデータの分析方法としてSS (Semantic Structure:意味構造) 法を提案した。この方法は項目評定値の大小関係に基づき項目間順序関係を求め、階層構造グラフを求める方法で、表出されたグラフを、もとにして項目や項目群の意味を解析し、学習者の心理的構造を明らかにできることが報告された。赤堀 (赤堀侃司, 1990)⁽⁵⁰⁾はISM階層構造化法によって表出される有向グラフの弱点であった強連結グラフの解釈の困難性を克服するためにフィードバック枝の数を最適化するアルゴリズムを提案した。これを高等学校物理の学習階層分析に適用してその有効性を報告している。

ファジィ理論は1965年、アメリカ・カリフォルニア大学のザデー, L. A. (Zadeh, L. A., 1965)⁽⁵¹⁾が論文「Fuzzy Sets」で初めて提唱した比較的新しい学問領域である。ザデーはこ

の論文の中で「美しい女性」という集合、あるいは「背の高い人」の集合などの境界のはっきりしない集合に対して「Fuzzy集合」という語で表現し、0から1までの値をとるメンバーシップ関数を用いて数学的に処理する理論を確立したのである。1970年、ゲルマンとザデー（Bellman, R. E. and Zadeh, L. A., 1970）⁽⁵²⁾は現実世界の曖昧な状況下における意志決定について、メンバーシップ関数の表し方と目標及びその制約における数学的処理の実際について紹介している。1973年、ザデー（Zadeh, L. A., 1973）⁽⁵³⁾はファジィ理論を応用して、経済、経営科学、人工知能、心理学、言語学、生物学等における複雑で正確な量的分析が難しいシステムを処理するアルゴリズムの概念フレームを提案した。1984年、ザデー（Zadeh, L. A., 1984）⁽⁵⁴⁾は人間が持つ曖昧性を処理する能力が実生活でいかに有用なものであり、機械にこの曖昧さを処理させることができるファジィロジックがこれまでのクリスパな処理手続きに対して有効であるかを力説している。なお、ファジィ理論は出発当初の激しい批判にもかかわらず1985年には国際ファジィ・システム学会（IHSA: International Fuzzy Systems Association）が旗揚げし、現在ではこの国際会議が2年に一回の割合で世界各地で開催されている。また、北アメリカ支部、ヨーロッパ支部、中国支部、そして、日本支部と各地に支部が設立され研究が進められている、日本でも1987年、東京の学習院大学で第二回の国際会議が開催され、25カ国380名（うち外国人は105名）の参加者が集まり、210編の研究論文が発表された。

教育における応用については、洲之内等（洲之内治男、山下元、祝原進一、森岡正臣、1987）⁽⁵⁵⁾が高等学校数学の二次方程式、二次不等式、二次関数のグラフの3つの教材についてファジィ理論を適応してそれらの間の構造を解析する方法を紹介している。宮武等（宮武直樹、長谷川洋介、1990）⁽⁵⁶⁾はファジィ推論を応用して生活科における評価システムを提案して、これにより形成的評価が行えること、定性的な基準が設定できることなどを報告している。山下等（山下利之、皆川順、岡田裕、1992）⁽⁵⁷⁾はファジィグラフを用いて学習者の主観的な教科間の関係把握の実態分析を試みている。この結果、ファジィグラフの連結度などの分析より小学生から大学生へと学年が進むに従って教科間の関係を意識することが少なくなっていることなどが明らかにされた。

また、人間の主観を対象とした分析方法の1つとしてトーマスサーティ（Saaty, T. L., 1980, 1986）⁽⁵⁸⁾⁽⁵⁹⁾はAHP（The Analytic Hierarchy Process）を提案し、主観を含んだ人間の意志決定を構造グラフを用いてシステムティックに処理する方法を紹介した。これを木下（木下栄蔵、1991, 1992）⁽⁶⁰⁾⁽⁶¹⁾は交通経路問題に適用してその有効性を示した。教育における応用例は宮地等（宮地功、清水誠一、岸誠一、1991）⁽⁶²⁾による書写の評価がある。これにより書写のように量的評価が難しい状況下における意志決定をシステムティックに客観性を持たせて行えることが実証されている。

序 章 主要引用参考文献

- (1) M. Behzad, G. Chartrand, L. Lesniak-Foster、秋山仁、西関隆夫訳 (1981) 『グラフとダイグラフの理論』 共立出版, pp. 31-33
- (2) Warfield, J. N., (1973) Binary Matrices in System Modeling, IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics, Vol. SMC-3 No. 5, September, pp. 441-449
- (3) Warfield, J. N., (1974) Toward Interpretation of Complex Structural Models, IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics, Vol. SMC-4 No. 5, pp. 405-417
- (4) 佐藤隆博 (1979) 「ISM法による学習要素の階層的構造の決定」『日本教育工学雑誌』 Vol. 4、No. 1, pp. 9-16
- (5) Sato Takahiro (1979) Determination of Hierarchical Networks of Instructional Units Using the Interpretive Structural Modeling Method, Educ. Technol. Res., Vol. 3, pp. 67-75
- (6) 佐藤隆博, 竹谷誠, 倉田政彦, 森本泰弘, 千村浩靖 (1980) 「学習データ分析装置 S P E E D Y のアプリケーションプログラム」『日本電気技報』 No. 134, pp. 84-92
- (7) 佐藤隆博 (1987) 『ISM構造学習法』 明治図書出版, pp. 16-17
- (8) 中村雄二郎, 菅野道夫, 中沢新一, 村上陽一郎, 藤田晋吾, 寺野寿郎, 向殿政男 (1989) 『ファジィ 新しい知の展開』 日刊工業新聞社, p. 111
- (9) 前掲 (8), pp. 2-28
- (10) 前掲 (8), pp. 109-138
- (11) 菅野道夫 (1989) 『ファジィ理論展開 科学における主観性の回復』 サイエンス社, pp. 17-54
- (12) 中村雄二郎 (1967) 『哲学入門 生き方の確実な基礎』 中公新書
- (13) 中村雄二郎 (1977) 『哲学の現在 - 生きること考えること -』 岩波新書
- (14) 橋爪大三郎 (1988) 『はじめての構造主義』 講談社現代新書
- (15) 北沢方邦 (1966) 『構造主義』 講談社現代新書
- (16) バッシュラール, G., 中村雄二郎・遠山博雄訳 (1974) 『否定の哲学』 白水社
- (17) ハンソン, N. R., 村上陽一郎訳 (1986) 『科学的発見のパターン』 講談社学術文庫
- (18) 野田又夫 (1953) 『パスカル』 岩波新書
- (19) Zadeh, L. A. (1965) Fuzzy Sets, Information and Control, 8, pp. 338-353
- (20) 西田俊夫、竹田英二 (1978) 『ファジィ集合とその応用』 森北出版
- (21) 向殿政男, 本多中二 (1990) 『ファジィ「あいまい」の科学』 岩波書店
- (22) 浅居喜代治, 田中英夫, 奥野徹示, Negoita, C. V., Ralescu. D. A. (1978) 『ファジィシステム理論入門』 オーム社

-
- (23) 田中英夫 (1990) 『ファジィモデリングとその応用』 朝倉書店
- (24) 本多中二, 大里有生 (1989) 『ファジィ工学入門』 海文堂出版
- (25) 前掲書 (8), pp. 128-138
- (26) クーン, T. S., 中山茂訳 (1971) 『科学革命の構造』 みすず書房
- (27) ファイヤアーベント, P. K., 村上陽一郎, 渡辺博訳 (1981) 『方法への挑戦』 新曜社
- (28) ファイヤアーベント, P. K., 村上陽一郎訳 (1993) 『知とは何か 三つの対話』 新曜社
- (29) 佐藤文隆 他 (1991) 『ファジィな世界を最新仮説で確信する』 U P U, pp. 7-28
- (30) 村上陽一郎 (1979) 『科学と日常性の文脈』 海鳴社
- (31) 前掲書 (8), pp. 128-138
- (32) 菅野道夫, 向殿政男 (1992) 『サデー・ファジィ理論』 日刊工業, p. 20
- (33) 前掲書 (8), pp. 114-128
- (34) Zadeh, L. A. (1973) Outline of a New Approach to the Analysis of Complex Systems and Decision Processes, IEEE Transactions on Systems, and Cybernetics, Vol. SMC-3 No. 1, January, pp. 28-44
- (35) 前掲書 (1), pp. 31-33
- (36) 前掲書 (2), pp. 441-449
- (37) 前掲書 (3), pp. 405-417
- (38) 前掲書 (4), pp. 9-16
- (39) 前掲書 (5), pp. 67-75
- (40) 前掲書 (6), pp. 84-92
- (41) 竹谷誠 (1979) 「教育評価に利用するテストの項目関連構造分析」『電子通信学会論文誌』 J62-D(7), pp. 451-458
- (42) 竹谷誠 (1979) 「項目関連構造分析を応用したテストの特性解析」『電子通信学会論文誌』 J62-D(11), pp. 695-702
- (43) 竹谷誠 (1980) 「I R S テスト構造グラフの構成法と活用法」『日本教育工学雑誌』 Vol. 5 No. 3, pp. 93-103
- (44) 佐藤隆博, 千村浩靖 (1982) 「キー概念と教材モジュールを関連づけて表わした教材構造グラフの作成法」『日本教育工学雑誌』 Vol. 6 No. 4, pp. 147-156
- (45) 宮地功, 大野勝久, 三根久 (1982) 「最適教授項目決定問題の解法」『日本教育工学雑誌』 Vol. 6 No. 3, pp. 89-98

-
- (46) 阿部治, 吉岡亮衛, 宮本定明, 高野義幸, 中山和彦 (1985) 「授業前後における知識変容の評価法としての有向階層化法」『科学教育研究』 Vol. 9 No. 3, pp. 123-129
- (47) 下條隆嗣, 金田知之, 内藤誠一, 倉岡祐子, 中野誠 (1986) 「物理領域における概念集団のグラフ理論による構造分析」『日本教育工学雑誌』 Vol. 10 No. 2, pp. 1-12
- (48) 竹谷誠 (1987) 「評定尺度データの意味構造分析法」『行動計量学会誌』 Vol. 14 No. 2, pp. 10-17
- (49) 竹谷誠 (1988) 「意味構造分析の利用法と授業評価への応用」『日本教育工学雑誌』 Vol. 12 No. 1, pp. 1-8
- (50) 赤堀侃司 (1990) 「教授設計における学習課題の階層構造表示法」『C A I 学会誌』 Vol. 7 No. 3, pp. 99-107
- (51) 前掲書 (19), pp. 338-353
- (52) Bellman, R. E. and Zadeh, L. A. (1970) Decision-Making in a Fuzzy Environment, Management Science Vol. 17 No. 4, December, pp. B141-B164
- (53) Zadeh, L. A. (1973) Outline of a New Approach to the Analysis of Complex Systems and Decision Processes, IEEE Transactions on Systems, and Cybernetics, Vol. SMC-3 No. 1, January, pp. 28-44
- (54) Zadeh, L. A. (1984) Making Computers Think Like People, IEEE Spectrum, August pp. 26-32
- (55) 洲之内治男, 山下元, 祝原進一, 森岡正臣 (1987) 「教材の構造解析」『科学教育研究』 Vol. 11 No. 1, pp. 185-194
- (56) 宮武直樹, 長谷川洋介 (1990) 「絶対評価に関する一試行 - 生活化のためのファジィ評価システム -」『日本教育情報学会教育情報研究』 Vol. 6 No. 4, pp. 14-22
- (57) 山下利之, 皆川順, 岡田裕 (1992) 「ファジィグラフを用いた教科の主観的關係の分析」『日本教育工学雑誌』 Vol. 16 No. 1, pp. 55-62
- (58) Saaty, T. L. (1980) The Analytic Hierarchy Process, McGraw-Hill
- (59) サーティ, T. L. (1986) 「AHPを用いた意志決定の構造と判断」『オペレーションズ・リサーチ』 Vol. 31 No. 8, pp. 9-11
- (60) 木下栄蔵 (1991) 『好き嫌いの数学 イメージを科学する』 電気書院
- (61) 木下栄蔵 (1992) 『意志決定論入門』 啓学出版
- (62) 宮地功, 清水誠一, 岸誠一 (1991) 「階層化意志決定法による書写の評価」『C A I 学会誌』 Vol. 8 No. 4, pp. 163-170

第 1 章 教材グラフモデルのための定義と鍵概念

第1章では、グラフの数学的な定義と本研究に特に取り上げたキー概念をグラフ理論とファジィ理論の2つの節に分けて記述し、その教材研究上での再定義を行う。また、代表的なカリキュラムに例示的に適用し、それらの理論的な意味付けを行った。

第1節ではグラフ理論の無向グラフ（一般的には単にグラフと呼ぶ）と有向グラフの違いを示し、それらを扱う上での完全グラフと部分グラフの考え方、並びに、最も基本となる木グラフの性質について考察する。また、カリキュラムの階層構造を解析する上で基本となる根付木の考え方、連結グラフと非連結グラフの考え方を取り上げた。そして、これらの考え方を適用するためにカリキュラム研究上の概念をグラフ理論上で再定義した。そのうえで既成の代表的なカリキュラム、例えば、教科中心カリキュラム、子供中心カリキュラム、学問中心カリキュラム等がどのようにグラフによって描像できるのか検討した。加えて、カリキュラムの主要な要素となる教材の定義を行った。

第2節では、カリキュラム解析にファジィ理論を応用するために、ファジィ理論における集合の定義について検討した。ここでは、一般的なクリスパな集合とファジィ集合について対比的に取り上げ、カリキュラム研究上の理論化を行った。特に、ファジィ理論におけるキー概念であるメンバーシップ関数の意義とそれによるカリキュラム研究上の教材の定義について示した。さらに、メンバーシップ関数を内包したグラフ描像について定義し、そのファジィグラフのファジィ度の解析法を数学的に明らかにし、カリキュラム構造のファジィ度の理論的な解析法を定義した。このようにして解析されるファジィ度を第1節のところで定義してグラフの連結性と組み合わせて、既成の代表的なカリキュラムである教科中心カリキュラム、子供中心カリキュラム、学問中心カリキュラムにおける理論的な連結度の解析とその意義について検討した。

1-1 構造解析のためのグラフ理論

グラフ理論は数学の一分野で、近年システム工学を中心に多く応用されている。ここでは、本研究においてカリキュラムの構造をグラフモデルに表すために関係するグラフ理論の基本的な用語のみを取り上げる。

1. グラフと有向グラフ

グラフ(graph) G は、空でない有限集合 V と、 V の相異なる元の非順序対からなる集合 E とからなる。ここで、 E は V と素であり、空であるかも知れない。 V の各元を点(vertex)といい、 V それ自身を G の点集合(vertex set)という。また、辺集合(edge set) E の元を辺(edge)という。グラフの元(element of a graph)とは、点または辺を表すものとする。(1)

有向グラフ(directed graph または digraph)Dは、空でない有限集合Vと、Vの相異なる元の順序対からなる集合Eとからなる。ここで、EはVと素であり、空であるかも知れない。グラフと同じように、VはDの点集合と呼ばれ、Vの各元は点である。また、Eの各元を弧(arc)という。有向グラフの元とは、点または弧を表すものとする。(2)

有向グラフと対比して考える場合には、点と辺との集合からなるグラフは方向性を持たないので、無向グラフと呼ばれることがある。無向グラフは、点の集まりを線(辺)で結んだ図形、有向グラフは、点の集まりを矢線(弧)で結んだ図形ということができる。これらの例をに図1-1-1に示す。

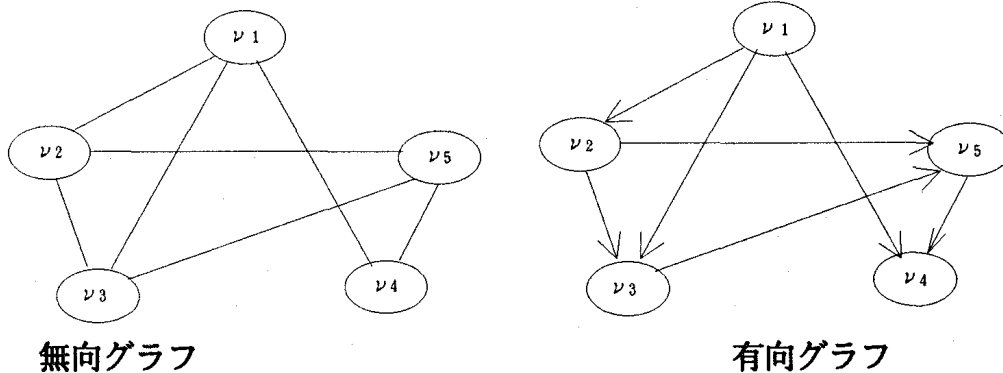


図1-1-1 無向グラフと有向グラフの例

2. 完全グラフと部分グラフ・木グラフ

任意の2点 v_i と v_j が辺または弧で結ばれている場合に、 v_i と v_j は隣接している(adjacent)という。グラフの全ての点が互いに隣接するならば、これを完全グラフと呼び、あるグラフから何個かの点と辺(有向グラフの場合は弧)を取り除いて残ったものを、もとのグラフの部分グラフと呼ぶ。(3)

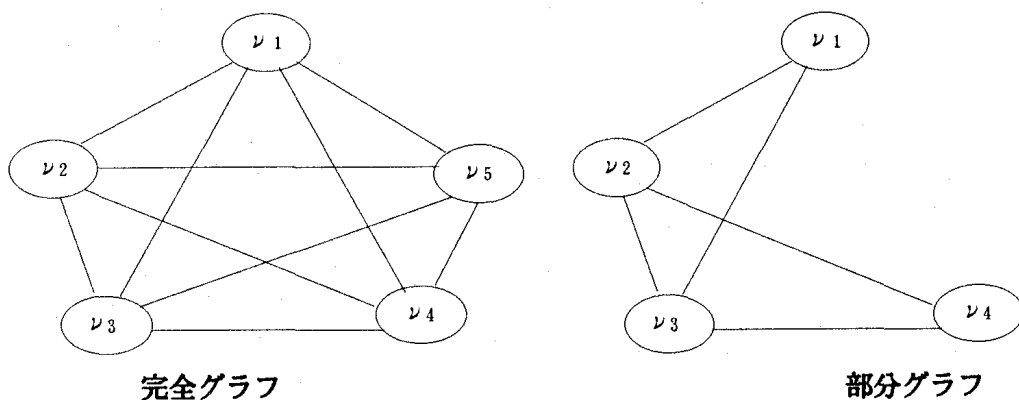


図1-1-2 完全グラフとその部分グラフ

ある点から別な点へ辺(弧の場合は矢印の方向)をたどって到達できる場合、その経路をパス(path)と呼び、出発した点へ戻るようなパスをサーキット(circuit)と呼ぶ。サーキットを持たな

いグラフを木グラフ(tree graph)と呼ぶ。矢印の向きを問題にせず、ともかく連結する弧があつてつながっているとき、それを連鎖またはチェーン(chain)という。(4)

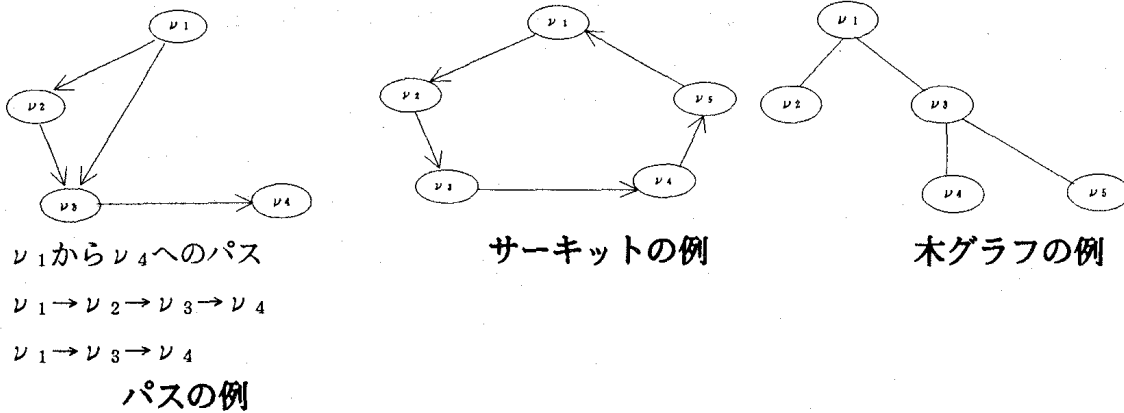
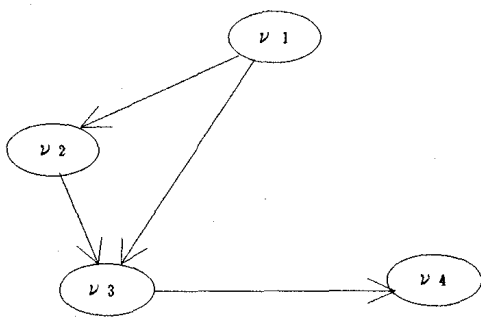


図1-1-3 パス, サークット, 木グラフ

3. 根付木

パスに含まれる辺(弧)の数をパスの長さという。また、有向グラフにおいて任意の点に入る弧の数を、入次数(indegree)、任意の点から出ていく弧の数を出次数(outdegree)と呼ぶ。(5)

先の木グラフにおいて、ある点のみ入次数が0で、残りの入次数が全て1であるグラフを考える。この入次数が0の点からパスの長さが1、2、……の順の点を同位に並べた有向グラフを、根付木(rooted tree)と呼ぶ。入次数が0の点を根(root)と呼び、出次数が0の点を葉(leaf)と呼ぶ。根付木の例として2枝根付木(2-ary rooted tree)をに示す。(6)



入次数と出次数の例

v_3 の入次数(2), 出次数(1)

図1-1-4 次数

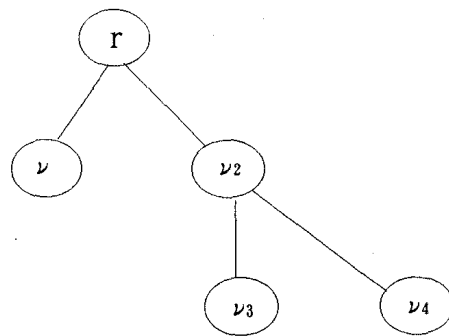


図1-1-5 根付木(2枝根付木)

4. 連結グラフと非連結グラフ

(1) 無向グラフの場合

グラフに関する最も基本的な性質は、その連結性 (Connectivity) である。あるグラフにおいて方向性を無視したとき、任意の一点から他の任意の一点へのパスが常に存在するならば、これを連結グラフ (connected graph) と呼び、任意の一点から他の任意の一点へのパスが存在しないことがあるならば、これを非連結グラフ (disconnected graph) と呼ぶ。(7)

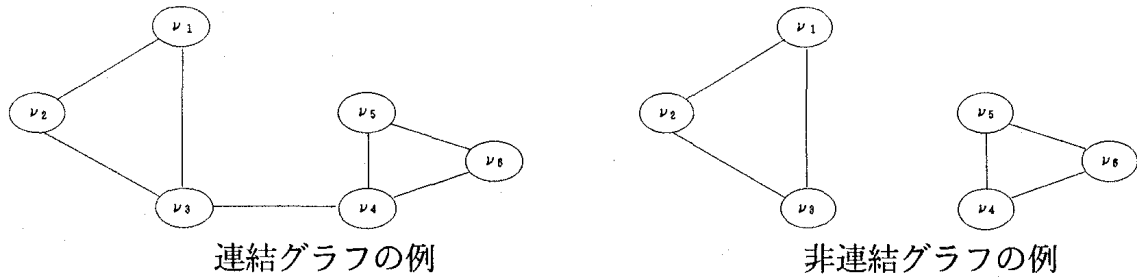


図1-1-6 無向グラフの連結性

(2) 有向グラフの場合

有向グラフにおける連結性についてはさらに以下に示す定義とキー概念がある。有向グラフの場合は、連結の程度によって次の4つに分類される。(8)

- 1: 強連結—グラフの任意の2点間にどちらからも相互にパスが存在する時、このグラフは強連結であるという。
- 2: 片連結—グラフの任意の2点間で、少なくとも一方からのパスが存在する時このグラフは片連結であるという。
- 3: 弱連結—グラフの任意の2点間にチェーンが存在する時、このグラフは弱連結であるという。このグラフでは2つの点の間でどちらからもパスがないものがある。
- 4: 非連結—弱連結でないグラフで、孤立点が存在する。

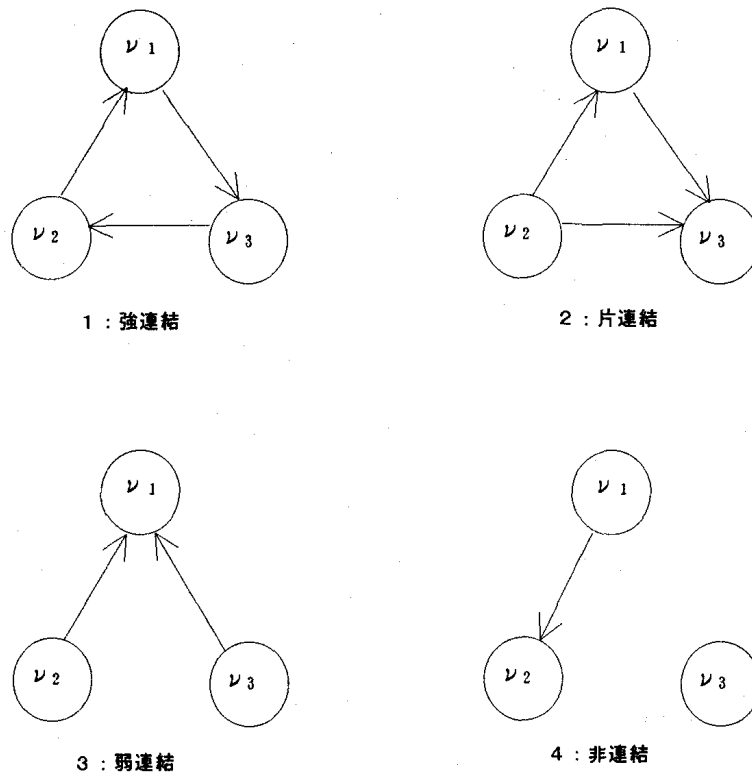


図1-1-7 有向グラフの連結性

5. カリキュラムのグラフ化のための定義

カリキュラムをグラフ化するために、次のようにカリキュラムの要素を定義する。一般に、カリキュラムは教育目標に沿って教授内容が組織されたものであると考えられる。ここで、教授内容 V は p 個の教授要素 v_1, v_2, \dots, v_p の集合からなるとする。すなわち、 $V = \{v_1, v_2, \dots, v_p\}$ 。これをグラフ理論で言う点 (vertex) に対応させる。言うまでもなく、この集合の要素は大きな視点 (マクロ) でカリキュラムを捉えれば単元を表す。さらにこれを小さな視点 (ミクロ) で捉えれば、その単元を構成する教材であるとみなすことができる。さらに、教授内容の任意の2つの間に (この場合も2つが異なることを要しない) 何らかの関係が認められるとき、これら2つの教授内容をグラフ理論で言うところの辺で結ぶ。これによって、カリキュラムがグラフ化できる。ここで、単元をグラフの要素としてグラフ化したものを教科構造、教材を要素としてグラフ化したものを教材構造と呼ぶ。(9)

2つの教授内容の間関係 (relation) については、1) 論理的な関係、2) 非論理的な関係が考えられる。前者は、各教科のバックグラウンドとなっているところの学問体系に沿った関係分析が可能である。一般的には、接近 (時間・空間)、類似、反対、因果関係が考えられる。(10) 後者は、さらに、ア: 学習要素の順序関係、イ: 学習要素の心的関係などが考えられる。(11)

ただし、グラフ理論では、任意の2つの間に順序関係が成立するとき2点を弧（arc）で結び、有向グラフ（ダイグラフ）で表す。そこで、カリキュラムをグラフ化する際にも教授内容に順序関係が認められるとき、これらをダイグラフで表すことにする。

図1-1-8は、例として、マクロで捉えた教科構造とミクロで捉えたそれとの関連を示したものである。

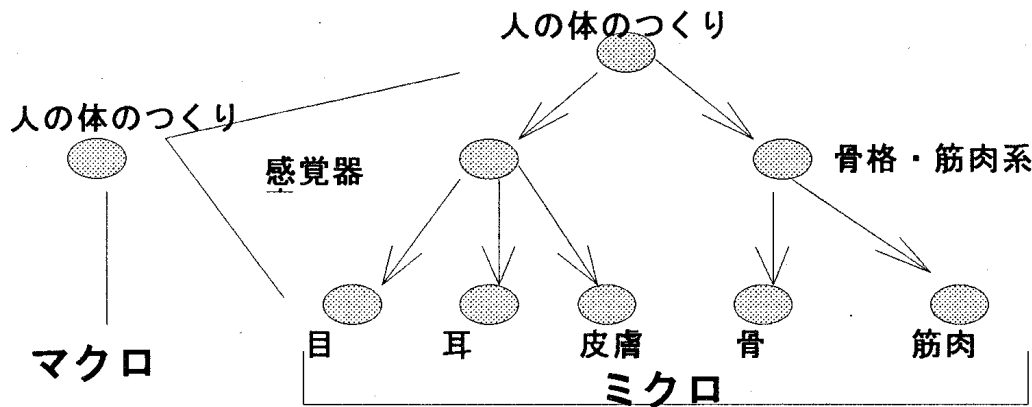


図1-1-8 平成元年小学校学習指導要領

理科第3学年内容A（3）⁽¹²⁾のグラフ化

この「人の体のつくり」の学習の単元をマクロで捉えると1つの教授要素の点となる。しかし、これをミクロで捉えると右側に示したように8つの教授要素からなる教材構造グラフとして図示することができる。教科構造は左に示したような単元がいくつか集まったものとして捉えられる。したがって、カリキュラムを説明していくうえで、グラフの要素をどのレベルでグラフ化しているのかによって、教科構造を見るのか、教材構造を見るのかが決定される。

今、見てきたように教科構造は、その教科の目標を最上位として、それを達成するための学習内容（単元）が構造化されたものと捉えることができる。そこで、ここでは、この学習内容に期待される目標を、今度は最上位の目標として、これを目標分析の手法を通して、具体的な内容、素材、活動などを含めた教材構造をグラフ化してみることにする。一般には、図1-1-9で表されるようなグラフになることが知られている。すなわち、教材構造は、その最上位に根（ROOT）と呼ばれるその単元での目標が位置し、この目標を達成する下位目標として具体的な学習内容がさらに構造化され、それを分析するとその下に具体的な教材が位置する。⁽¹³⁾

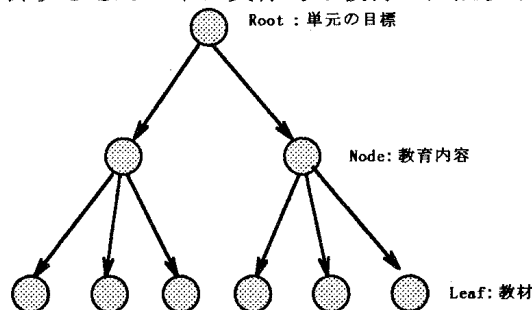


図1-1-9 教材構造の一般的グラフ化

1-2 構造解析のためのファジィ理論

1. 集合の定義⁽¹⁴⁾

集合とは、どんなものの集まりであるかその範囲がはっきりしているものの集まりをいう。ものの集合の全体を X とし、その個々の構成要素を x ($= x_1, x_2, \dots, x_n$) とするとき、

$$X = \{x\} = \{x_1, x_2, \dots, x_n\} \quad (1-2-1)$$

のように表される。このとき、個々の構成要素を集合 X の要素あるいは元 (element) といい、次の記号で表す。

$$x \in X, \text{ または } x_1 \in X, x_2 \in X, \dots, x_n \in X \quad (1-2-2)$$

また、集合 X を台集合 (support set) と呼ぶ。もし、 x が X の要素でない場合、次の記号で表す。

$$x \notin X \quad (1-2-3)$$

台集合 X を、10進数の一桁の数字の集合としよう。すなわち、

$$X = \{0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9\} \quad (1-2-4)$$

とすると、集合 X 中の奇数の集合 A は、

$$A = \{1, 3, 5, 7, 9\} \quad (1-2-5)$$

となる。

一般に、集合 $A = \{x\}$ で、 x についての条件 (あるいは属性) を $\{ \mid \}$ 内の縦線の右に記述する方法もよく用いられる。例えば、

$$A = \{x \mid x \text{ は } 0 \text{ 以上 } 9 \text{ 以下の奇数}\} \quad (1-2-6)$$

である。(1-2-6)式は、(1-2-5)式の別な表現である。これをベン図 (Venn diagram) で表すと図1-2-1の通りである。

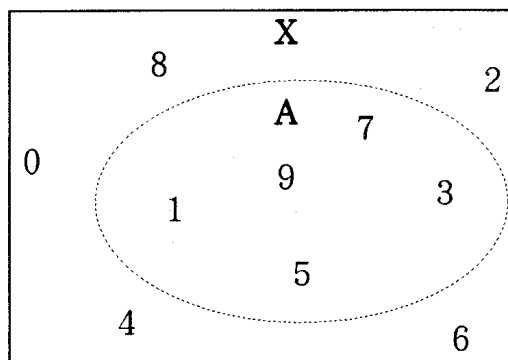


図1-2-1 集合のベン図

図1-2-1で、集合 A の全ての元が、集合 X の元でもある。このとき、集合 A は、集合 X の部分集合 (subset) といい、

$$A \subset X \quad \text{または} \quad X \supset A \quad (1-2-7)$$

で表す。このとき、 A は X に含まれる。または X は A を含むという。図1-2-1において、集合 X の元で、集合 A (奇数の集合) に属さないものの全体の集合 (偶数の集合) を、 A の補集合

(complement) といひ、記号 A^c で表す。論理記号では、 A の否定を \bar{A} で表すから、記号 A^c を \bar{A} で表現することもできる。 A^c を次のように表す。

$$A^c = \{x \mid x \in X, x \notin A\} \quad (1-2-10)$$

(1) 特性関数によるクリस्प集合の定義

図1-2-1に示した集合 X と集合 A は、それらの元の集まりの範囲がはっきりとしている集合である。通常、このような集合をクリस्प集合 (crisp set) という。ここで全体集合 (または台集合) $X = \{x\}$ における集合 A の特性関数 $\mu_A(x)$ を次のように定義する。

X を全体集合、 A を X の部分集合とする。このとき、

$$\mu_A(x) = \begin{cases} 1 & (x \in A \text{ のとき}) \\ 0 & (x \notin A \text{ のとき}) \end{cases} \quad (1-2-9)$$

全体集合 X の各々の元 (または要素) は、集合 A の属性 (奇数) を満たすとき A の特性関数は 1、満たさないときは 0 の値をとるものとする。このとき、集合 X の全ての元 x は 2 値の集合 $\{0, 1\}$ の 1 つに対応する。この対応を X から $\{0, 1\}$ への関数または写像といひ、次の記号で表す。

$$X \rightarrow \{0, 1\} \quad (1-2-10)$$

また、 X の元 x を A の特性関数 $\mu_A(x)$ に対応させることを

$$x \mapsto \mu_A(x) \quad (1-2-11)$$

で表す。上記の特性関数を用いて、逆に集合 A を定義する。全体集合 X 上で、ある属性 (例えば奇数) を持つ集合 A は、 X の元 x を集合 A の特性関数 $\mu_A(x)$ に対応させ、 $x \in A$ のとき、 $\mu_A(x) = 1$ 、 $x \notin A$ のとき $\mu_A(x) = 0$ として定義される。このように、特性関数 $\mu_A(x)$ による集合 A の定義は、次の図1-2-2の概念図で示される。

ただし、縦軸に $\mu_A(x)$ 、横軸に X をとる。

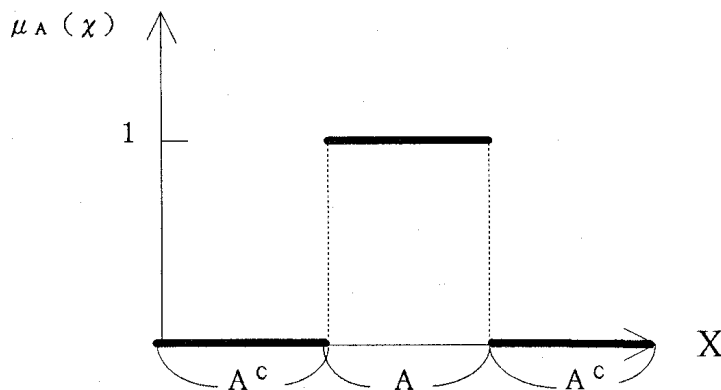


図1-2-2 特性関数による集合の定義

(2) 集合論の公理

A, Bを2つの集合とする. A, Bのうちの少なくとも一方の要素であるものの全体からなる集合をAとBとの和集合 (union) といい,

$$A \cup B \quad (1-2-12)$$

で表す. また, A, Bのどちらにも属する要素の集合をAとBの共通部分または積集合 (intersection) といい,

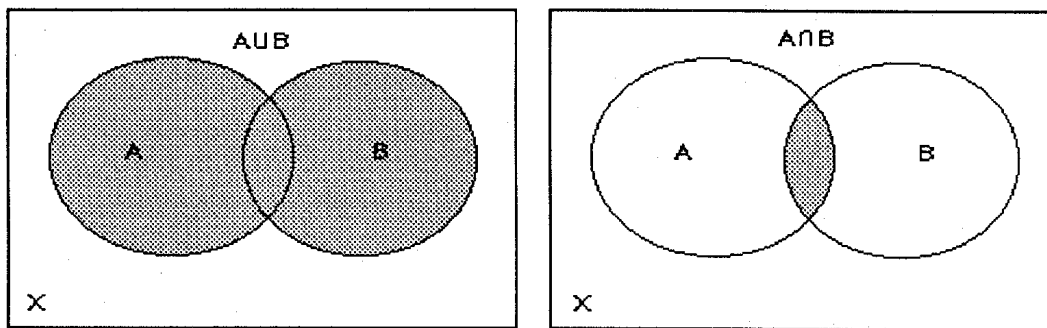
$$A \cap B \quad (1-2-13)$$

で表す. すなわち,

$$A \cup B = \{x \mid x \in A \text{ または } x \in B\} \quad (1-2-14)$$

$$A \cap B = \{x \mid x \in A \text{ かつ } x \in B\}$$

これをベン図で示したものが図1-2-3である. ただし, Xは台集合を表す.



(a) $A \cup B$

(b) $A \cap B$

図1-2-3 和集合と積集合

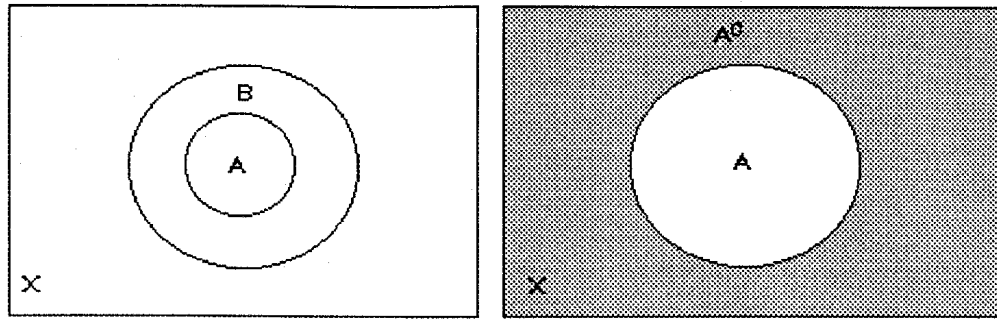
$A \cup B$, $A \cap B$ の集合について, それぞれの特性関数を $\mu_{A \cup B}(x)$, $\mu_{A \cap B}(x)$ として, 集合A, 集合Bのそれぞれの特性関数を $\mu_A(x)$, $\mu_B(x)$ とする. ただし, x は台集合Xの要素である. このとき, $A \cup B$, $A \cap B$ の集合を特性関数で表すと次のようになる.

$$\mu_{A \cup B}(x) = \mu_A(x) \vee \mu_B(x) \quad \text{ただし, } \forall x \in X \quad (1-2-15)$$

$$\mu_{A \cap B}(x) = \mu_A(x) \wedge \mu_B(x) \quad \text{ただし, } \forall x \in X \quad (1-2-16)$$

ここで用いた記号 \vee , \wedge はそれぞれ値の大きいもの, または小さいものをとる演算を表す. すなわち, \vee をmax演算, \wedge をmin演算と呼ばれる記号である. また, $\forall x \in X$ で用いた記号 \forall は, 全称記号 (universal quantifier) と呼ばれ, "全ての (all)" と読む. すなわち, $\forall x$ とは"全ての x " という意味である.

次に, 集合の包含関係や補集合について考える. 集合Aが集合Bの部分集合, すなわち $A \subset B$ ($A \subset B$ は $A = B$ のと記も含む) のベン図は図1-2-4の(a)で表現される. また, 集合Aの補集合 A^c のベン図は, 図1-2-4の(b)で示した. ただし, Xは台集合を表す.



(a) $A \subset B$

(b) A^c

図1-2-4 集合の包含関係, 補集合

$A \subset B$, A^c をそれぞれ特性関数で定義すれば, 次のようになる.

$$\mu_A(x) \leq \mu_B(x) \quad \text{ただし, } \forall x \in X \quad (1-2-17)$$

$$\mu_{A^c}(x) = 1 - \mu_A(x) \quad \text{ただし, } \forall x \in X \quad (1-2-18)$$

ここで, 図1-2-3 (a),(b) のベン図とそれに対応する特性関数の概念図を対比すると, 次のようになる (図1-2-5の(a),(b)).

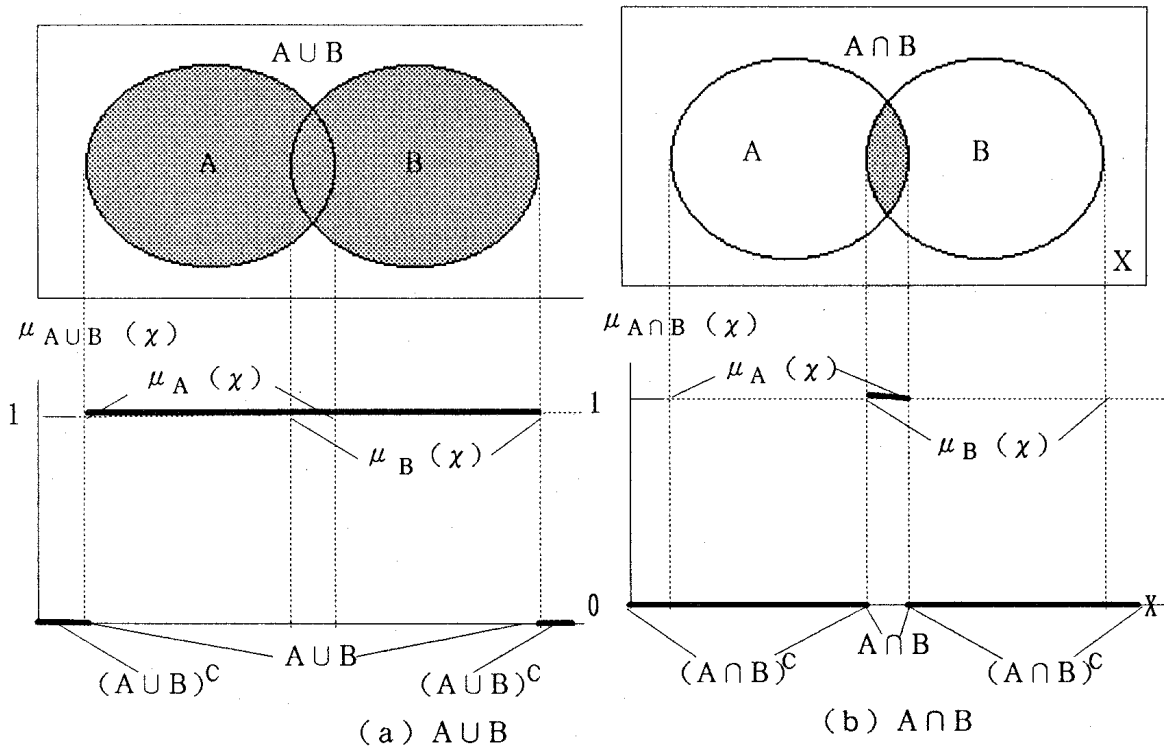


図1-2-5 特性関数による $A \cup B$, $A \cap B$

一般に集合論の公理として, 以下のようなものがある.

(1) 冪等律 (idempotent law) (1-2-19)

$$A \cap A = A, \quad A \cup A = A$$

(2) 交換律 (commutative law) (1-2-20)

$$A \cap B = B \cap A, \quad A \cup B = B \cup A$$

(3) 結合律 (associative law) (1-2-21)

$$A \cap (B \cap C) = (A \cap B) \cap C, \\ A \cup (B \cup C) = (A \cup B) \cup C$$

(4) 吸収律 (absorption law) (1-2-22)

$$A \cup (A \cap B) = A \cup (A \cap B) = A$$

(5) 分配律 (distributive law) (1-2-23)

$$A \cap (B \cup C) = (A \cap B) \cup (A \cap C), \\ A \cup (B \cap C) = (A \cup B) \cap (A \cup C)$$

(6) 相補律 (complemented law) (1-2-24)

$$A \cap A^c = \phi, \quad A \cup A^c = X$$

これらの公理のうち(1), (2), (3), (4)の4つを満たす集合を束 (lattice) といい, (1)~(6)の6つの公理を満たす束をブール束 (Boolean lattice), あるいはブール代数 (Boolean algebra) という.

ブール代数のうち, 集合の要素が, 0 と 1 の 2 要素のみからなる場合を 2 要素ブール代数 (two-element Boolean algebra) といい, 次の演算のルールに従う. すなわち,

$$0 \cup 0 = 0, \quad 0 \cup 1 = 1 \cup 0 = 1 \cup 1 = 1 \quad (1-2-25)$$

$$0 \cap 0 = 0 \cap 1 = 1 \cap 0 = 0, \quad 1 \cap 1 = 1$$

他方, ブール否定 (negation) は, 0 でなければ 1, 1 でなければ 0 である. これを論理的には否定記号 ($\bar{\quad}$) を用いて表すと,

$$\bar{0} = 1, \quad \bar{1} = 0 \quad (1-2-26)$$

となる. なお, ブール否定に関する次の 2 つの公理は重要である. 集合 A の補集合 A^c を A の否定と考えると, 記号 \bar{A} で表すことができる. したがって, A の 2 重否定を考えると, 次式が成立する.

(1) 2 重否定 (double negation)

$$A^{cc} = \bar{\bar{A}} = A \quad (1-2-27)$$

また, つぎのド・モルガンの法則が知られてる.

(2) ド・モルガンの法則 (de Morgan's Law)

$$\overline{(A \cap B)} = \bar{A} \cup \bar{B} \quad (1-2-28)$$

$$\overline{(A \cup B)} = \bar{A} \cap \bar{B} \quad (1-2-29)$$

2. ファジィ集合⁽¹⁵⁾

前節においてクリस्प集合を定義した。クリस्प集合は、その性質が0と1の2値で表すことができる世界である。しかし、一般的な事象は、このように2値(0と1,あるいはNOとYES)で表すことができない場合の方が多い。我々が日常生活で用いている知識や概念にはファジィ性が含まれている。それにも関わらず、我々はあいまいな知識としての常識を持ち、それを処理するあいまいな思考力によって日常生活で当面する諸問題に対処しているのである。

理科授業を考えた場合でも、序章でも述べたとおりその中で用いられる様々な事象は、まさに価値の概念を含む2面性を持つもので、それらの集合や構造を考えると、その集合の境界が不明確で、ぼやけたものとなる。このようなファジィ集合を定義するためには、個々の要素がその集合に属する度合いというものを考える。その集合に属する度合いは、それぞれの要素ごとに異なったものである。この度合いを個々の要素の関数とみなし、それをメンバーシップ関数(membership function)で表すことを試みる。

メンバーシップ関数とは、ファジィ集合に属する度合いであるから、当然0と1との間の数として数量化される。メンバーシップ関数を1つ与えれば、それによって1つのファジィ集合が定まる。つまり、ファジィ集合は、メンバーシップ関数によって定義される。ファジィ理論では、0または1の2値評価 $\{0, 1\}$ を、0以上1以下の無限多値評価 $[0, 1] = \{x \mid 0 \leq x \leq 1\}$ に拡張したメンバーシップ関数を用いる。すなわち、クリस्पな全体集合をX, その要素を x , 集合X上のファジィ集合 A とすると、ファジィ集合 A は、そのメンバーシップ関数 $m_A(x)$ で定義される。

$$\begin{array}{rcl}
 m_A(x) & : & X \rightarrow [0, 1] \\
 & & \psi \quad \psi \\
 & & x \rightarrow m_A(x)
 \end{array} \tag{1-2-30}$$

ただし、 $[0, 1] = \{x \mid 0 \leq x \leq 1\}$, ファジィ集合を A と表示し、クリस्प集合Aを区別する。本研究では、ファジィ集合の記号はKaufmannの記号(集合記号の下に \sim を付す)を用いることにする。⁽¹⁶⁾

ファジィ集合は、メンバーシップ関数によって厳密に定義されるもので、決してデタラメ(random)なものではない。メンバーシップ関数は、ある法則性によって決められるものであって、集合の各要素がその集合に属する度合いを表す。しかし、集合の要素がその集合に属する確率ではない。確率は、偶然性が関係するが、メンバーシップ関数を決めるのは、ある法則性による。ただし、ここで言う法則性とは、予備的なデータによるとか、エキスパートの意見によるとか、ある程度主観的判断によって決めた規則性をいう。例えば、理科の成績で合格点という集合を考えてみる。理科は比較的得点しにくい教科だと考える人は低めの得点を予想することが考えられる。また、一方では理科が得意な人は合格点は高いと予想するかもしれない。あるいは一般的な合格点を適用する人があるかもしれない。このように、合格点といってもそれを受けとめる人によってこの集合は、一義的に決定できるものではない。したがって、このような集合はファジィ集合と考えた方がより現実的である。いまこの集合を A と表し、 A のメンバーシップ関数 $m_A(x)$ を、例えば、次のように決めたとする。

$$\begin{array}{ll}
0.1, & x \leq 40 \\
0.2, & 40 < x \leq 50 \\
0.5, & 50 < x \leq 60 \\
m_A(x) & 0.8, \quad 60 < x \leq 70 \\
& 0.9, \quad 70 < x \leq 80 \\
& 1.0, \quad x > 80
\end{array} \tag{1-2-31}$$

このときの x の制約条件がメンバーシップ関数を決める規則性である。ただし、この規則性は全国的な達成度調査などに関する統計データを参考とし、何人かの人々の意見を参考にして常識的に決められればよい。ザデーによるとファジィ集合は、(1-2-30)式で定義されるが、そのメンバーシップ関数の解釈は個人にまかされる。(17)

したがって、例えば、 $m_A(x) = 0.8$ とは、 x が A らしさを8割程度有するという主観的評価を表す。そこで、同一の A に対しても”私のメンバーシップ関数”、”あなたのメンバーシップ関数”あるいは”エキスパート(専門家)のメンバーシップ関数”などが存在することになる。従って、 $m_A(x)$ の値は評価する人によってその値が異なる。

また、クリस्प集合とファジィ集合との関連について考えれば、 $\{0, 1\}$ の2値は、 $[1, 0]$ の閉区間に含まれている。従って、クリस्प集合は、ファジィ集合の特別な場合の集合といえる。すなわち、ファジィ集合は、クリस्प集合概念を包含した拡張概念であるといえる。このことを別な表現でいえば、メンバーシップ関数は特性関数の一般化に他ならない。(18)

(1) ファジィ集合論の公理(19)(20)

クリस्पな全体集合 X 上のファジィ集合 $A(x)$ を考えるとき、通常のカリブ集合論の公理(1)から(6) ((1-2-19)式~(1-2-24)式)のうち(6)の相補律は成立しないが、他の公理は成立する。ファジィ集合 A, B において、その包含関係 $A \subset B$ 、 A の補集合 A^c 、和集合 $A \cup B$ 、及び積集合 $A \cap B$ の定義は、次式に示すように、それぞれメンバーシップ関数によってなされる。すなわち、

$$A \subset B \rightarrow m_A(x) \leq m_B(x) \quad \text{ただし } \forall x \in X \tag{1-2-32}$$

$$A^c \rightarrow m_{A^c}(x) = 1 - m_A(x), \quad \forall x \in X \tag{1-2-33}$$

$$A \cup B \rightarrow m_{A \cup B}(x) = m_A(x) \vee m_B(x), \quad \forall x \in X \tag{1-2-34}$$

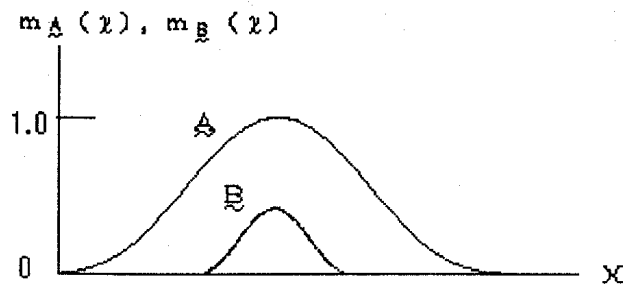
$$A \cap B \rightarrow m_{A \cap B}(x) = m_A(x) \wedge m_B(x), \quad \forall x \in X \tag{1-2-35}$$

ただし、 x は台集合 X の要素である。

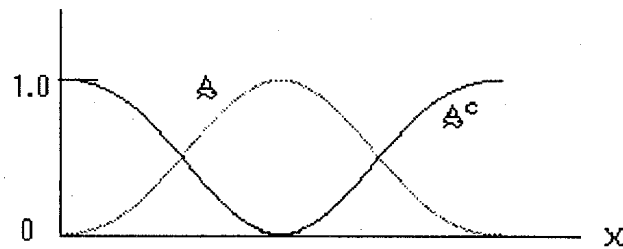
以上の基本的なファジィ集合演算を、メンバーシップ関数の概念図で示したのが図1-2-6の(a), (b), (c), (d)である。クリस्प集合 A では、相補律 $A \cap A^c = \phi$, $A \cup A^c = X$ が成立した((1-2-24)式)。しかし、ファジィ集合 A では、

$$A \cup A^c \supset \phi, \quad A \cup A^c \subset X \tag{1-2-36}$$

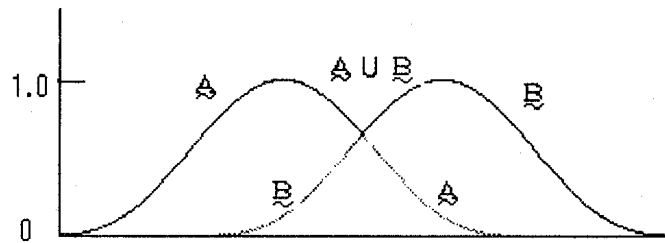
となって等号は成立しない。



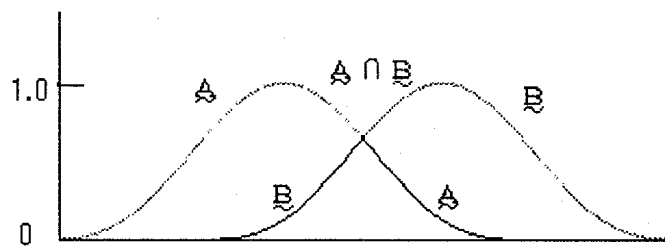
(a) $A \subset B$



(b) A^c



(c) $A \cup B$



(d) $A \cap B$

図1-2-6 基本的ファジィ集合の演算

また、ファジィ集合においても、ド・モルガンの法則が成立する。すなわち、

$$\overline{A \cup B} = \overline{A} \cap \overline{B} \quad (1-2-37)$$

$$\overline{A \cap B} = \overline{A} \cup \overline{B} \quad (1-2-38)$$

(2) メンバーシップ関数による素材の定義⁽²¹⁾

素材の定義にみられる”あいまいな概念”を、ファジィ集合のメンバーシップ関数で定義する。これは”あいまいな概念”の新しい定義の方法である。教材の素材となる要素を x とし、その全体集合を X とする。このとき、

$$X = \{x\} \quad (1-2-39)$$

はクリस्प集合である。この集合上で”科学的価値を持つ教材の素材集合”を考えると素材の価値的意味が”あいまい”なため、それらの集合の境界がはっきりしない領域のファジィ集合 A を形成する。このファジィ集合 A は、メンバーシップ関数 $m_A(x)$ で次のように定義される。すなわち、

$$m_A(x) : X \rightarrow [0, 1] \quad (1-2-40)$$

$$\begin{matrix} \psi & \psi \\ x & \rightarrow m_A(x) \end{matrix}$$

ただし、 $[0, 1] = \{x \mid 0 \leq x \leq 1\}$ とする。

(1-2-39)式で、 $m_A(x)$ の数值は、科学的教材としての価値的意味を定量化したもので、科学的教材とみなされるファジィ集合 A に属する度合いを表現している。

メンバーシップ関数は、ファジィ集合の内包(意味)を定量化(数値化)する事によって”あいまいな概念”を定義する方法である。従って、メンバーシップ関数には教育者の経験的主観性が表現されるとともに、主観に基づく恣意性(arbitrariness)がつきまとう。

他方、教材の2面性(科学的価値と教育的価値)からみて、”教育的価値を持つ素材集合”としてファジィ集合 B を考える。このファジィ集合 B のメンバーシップ関数 $m_B(x)$ も(1-2-39)式と同じ形式で定義される。そこで、教材が具備すべき二面性(あるいは二重性)からみて、その最適な定義は、ファジィ集合 A とファジィ集合 B の共通集合 $A \cap B$ のメンバーシップ関数 $m_{A \cap B}(x)$ によって与えられる。すなわち、

$$m_{A \cap B}(x) = m_A(x) \wedge m_B(x), \quad \forall x \in X \quad (1-2-41)$$

(1-2-41)式を、概念図で示すと、図1-2-7のようになる。

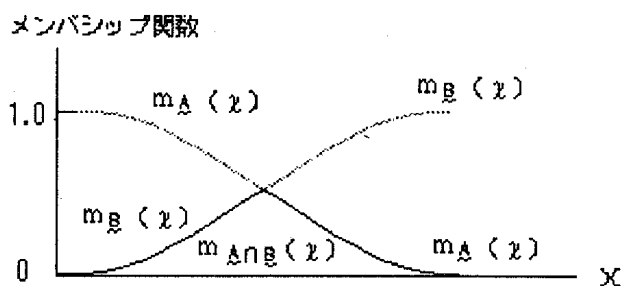


図1-2-7 メンバーシップ関数による素材の定義 ($m_{A \cap B}(x)$: 濃線部分)

図1-2-7において、最適な教材の定義は $A \cap B$ の範囲に限定されるため素材数は、かなり減少する。

3. ファジィグラフのファジィ度⁽²²⁾(23)

(1) ファジィ度

ファジィ集合ではそのメンバーシップ関数の値が0か1に近づいてくるにしたがって、その集合に属するかの境界がはっきりしてくる。そこで、ファジィ集合の間での近さを調べるものとして相対的ハミング距離が使われる。

いま、全体集合Xが有限集合

$$X = \{x_1, x_2, \dots, x_n\} \quad (1-2-42)$$

であるとする。Xにおける2つのファジィ集合AとBが与えられたとき、AとBとの相対的ハミング距離 $h(A, B)$ は、次式で与えられる。

$$h(A, B) = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |m_A(x_i) - m_B(x_i)| \quad (1-2-43)$$

$h(A, B)$ は、集合Aと集合Bに関して、各要素ごとのメンバーシップ関数の値の差、すなわち、“へだたり”を平均化したものである。

次に、ファジィ度を定義しよう。与えられたファジィ集合Aに、相対的ハミング距離の意味で最も近いようなクリस्प集合をAとしたとき、Aの特性関数 $m_A(x_i)$ は、次式で与えられる。

$$m_A(x_i) = \begin{cases} 1, & m_A(x_i) > 0.5 \\ 0, & m_A(x_i) < 0.5 \\ 0.5, & m_A(x_i) = 0.5 \end{cases} \quad (1-2-44)$$

ファジィ集合Aのファジィ度 $d(A)$ は、次のように定義する。

Aに最も近いクリस्प集合をAとすると、

$$d(A) = 2h(A, A) = \frac{2}{n} \sum_{i=1}^n |m_A(x_i) - m_A(x_i)| \quad (1-2-45)$$

で与えられる。ここで $h(A, A)$ を2倍するのは、ファジィ度が最大の時に1になるようにするためである。 $d(A) = 1$ の時は集合Aの境界が最もぼやけたものになり、 $d(A) = 0$ の時は、集合はクリस्प集合であることを示す尺度となる。

ここで、教材構造について、そのファジィ度を計算するためには、上述のファジィ集合を、ファジィ関係の集合 $R(x_i, x_j)$ と考え、そのRに、相対的ハミング距離の意味で、最も近いクリस्प集合 $\underline{R}(x_i, x_j)$ を考える。 $R(x_i, x_j)$ を正方行列 (n行n列) とすれば、そのファジィ度 $d(R)$ は、(1-2-45)式より、次の通り与えられる。

$$d(R) = 2h(R, \underline{R}) = \frac{2}{n^2} \sum_{i=1, j=1}^n |m_R(x_i, x_j) - m_{\underline{R}}(x_i, x_j)| \quad (1-2-46)$$

ただし、 n^2 はファジィ関係行列n行n列のよう素数である。

(1-2-45)式は、ファジィ集合間のファジィ度が求められ、(1-2-46)式はファジィ関係のファジィ度を求めることができる。

(2) ファジィ度の計算例

図1-2-8のようなファジィ関係グラフ \underline{G} が与えられたとする。このときの \underline{G} のファジィ関係行列が、(1-2-47)式で表される。

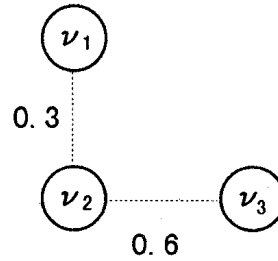


図1-2-8 ファジィ関係グラフ \underline{G}

$$\underline{R} = R_{\underline{G}} = \begin{bmatrix} 0 & 0.3 & 0 \\ 0.3 & 0 & 0.6 \\ 0 & 0.6 & 0 \end{bmatrix} \quad (1-2-47)$$

(1-2-47)式の行列の要素 $[r_{ij}]$ は、ファジィ関係のメンバーシップの値、

$$r_{ij} = m_{\underline{R}}(\chi_i, \chi_j) \quad (1-2-48)$$

である。

そこで、 $R_{\underline{G}}$ に最も近い、クリस्प関係行列 \underline{R} の要素は、 $m_{\underline{R}}(\chi_i) > 0.5$ のときに1、 $m_{\underline{R}}(\chi_i) \leq 0.5$ のとき0とする。すなわち、

$$\underline{\underline{R}} = R_{\underline{\underline{G}}} = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \\ 0 & 1 & 0 \end{bmatrix} \quad (1-2-49)$$

よって、(1-2-46)式より、

$$d(\underline{R}) = \frac{2}{9} \times (0.4 + 0.4 + 0.3 + 0.3) = 0.155\dots \quad (1-2-50)$$

このようにファジィ関係グラフが与えら得れば、そのファジィ度が計算によって求められる。

4. ファジィグラフにおける連結性⁽²⁴⁾⁽²⁵⁾

ファジィグラフでは、弧の存在がファジィである。そのためどの連結グラフの組に属するかははっきりと出来ない。ファジィグラフでは、それぞれの組に属する度合いが考えられるだけである。いま図1-2-9に示すファジィグラフが与えられたとして各組に属する度合いの計算法を示す。

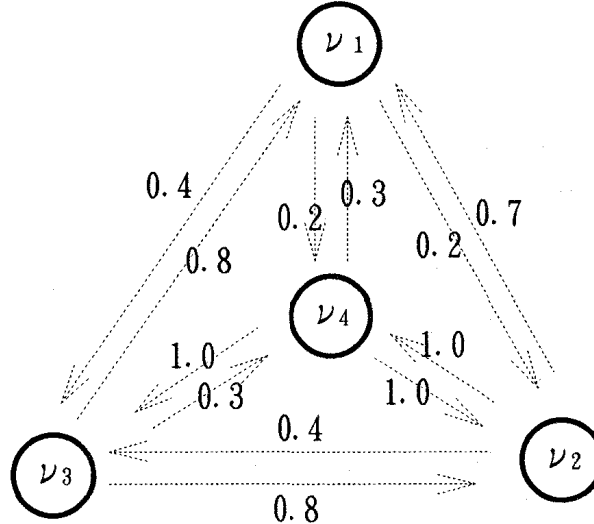


図1-2-9 ファジィグラフ \underline{D}

1) 強連結グラフの組 C_3 に属している度合い

図1-2-9のファジィグラフの関係行列 \underline{R} は、次のマトリクスで与えられる。

$$\underline{R} = \begin{bmatrix} 0 & 0.2 & 0.4 & 0.2 \\ 0.7 & 0 & 0.4 & 1 \\ 0.8 & 0.8 & 0 & 0.3 \\ 0.3 & 1 & 1 & 0 \end{bmatrix} \quad (1-2-51)$$

また、ファジィグラフ \underline{D} を次のように表す。

$$\underline{D} = (V, \Gamma) \quad (1-2-52)$$

ただし、 V は点の集合 ($V = \{v\}$)。 Γ は写像関係で、点 v から直接に結ばれている点の集合、 $\Gamma(v)$ を表す。また、点 v から何段階かで結ばれている点の集合を写像 Γ の推移包 (Transitive closure) と呼び、 $\hat{\Gamma}$ で表す。ただし、 V の任意の点 v に対して、

$$\hat{\Gamma}(v) = \Gamma(v) \cup \Gamma(v)^2 \cup \dots \cup \Gamma(v)^n \quad (1-2-53)$$

で定義する。 $\hat{\Gamma}$ は点 v から道 (Path) が存在する点のファジィ集合を意味し、そのメンバーシップ関数

$$m_{\hat{\Gamma}(v_i)}(v_j) \quad (1-2-54)$$

は、点 v_i から点 v_j への道が存在する度合いを表す。また、点 v_i への道が存在するとき、 v_j は v_i から到達可能であるという。全ての点は自分自身から到達可能であると見なされる。そこで、点 v_j が点 v_i から到達可能な度合いを p_{ij} とすると、

$$p_{ij} = \begin{cases} 1, & \text{if } i=j \\ m_{f(v_i)}(v_j), & \text{if } i \neq j (i, j=1, 2, \dots, n) \end{cases} \quad (1-2-55)$$

この p_{ij} を要素とする行列を \underline{P} とすると

$$\underline{P} = [p_{ij}] \quad (i, j=1, 2, \dots, n) \quad (1-2-56)$$

一般に、次式が成立する。これを「可到達度合い行列」と呼ぶ。

$$\underline{P} = I + \left\{ \underline{R} + \underline{R}^2 + \underline{R}^3 + \dots + \underline{R}^{k-1} \right\} \quad (1-2-57)$$

$$\text{(ただし、 } I : \text{単位行列, } \underline{R}^{k-1} = \underline{R}^k \text{)} \quad (1-2-58)$$

n 行 n 列の行列では、 $k \leq n$ である。

次に、ファジィグラフ \underline{D} 全体としての到達可能な度合いは、 \underline{D} が強連結グラフの組 C_3 に属する度合いを $m_{C_3}(\underline{D})$ とすると、

$$m_{C_3}(\underline{D}) = \min_{1 \leq i, j \leq n} p_{ij} \quad (1-2-59)$$

と定義される。

以下に具体的な計算を行う。

(1-2-51)式より、 $\underline{R}^2, \underline{R}^3, \dots, \underline{R}^7$ を求めると次の通りである ($\underline{R}^8 = \underline{R}^6$ なので \underline{R}^k 計算は(1-2-58)式より $k \leq 7$ までの計算でよい)。

$$\underline{R}^2 = \begin{bmatrix} 0.4 & 0.4 & 0.2 & 0.3 \\ 0.4 & 1 & 1 & 0.3 \\ 0.7 & 0.3 & 0.4 & 0.8 \\ 0.8 & 0.8 & 0.4 & 1 \end{bmatrix} \quad (1-2-60)$$

$$\underline{R}^3 = \begin{bmatrix} 0.4 & 0.3 & 0.4 & 0.4 \\ 0.8 & 0.8 & 0.4 & 1 \\ 0.4 & 0.8 & 0.8 & 0.3 \\ 0.7 & 1 & 1 & 0.8 \end{bmatrix} \quad (1-2-61)$$

$$\underline{R}^4 = \begin{bmatrix} 0.4 & 0.4 & 0.4 & 0.3 \\ 0.7 & 1 & 1 & 0.8 \\ 0.8 & 0.8 & 0.4 & 0.8 \\ 0.8 & 0.8 & 0.8 & 1 \end{bmatrix} \quad (1-2-62)$$

$$\tilde{R}^5 = \begin{bmatrix} 0.4 & 0.4 & 0.4 & 0.4 \\ 0.8 & 0.8 & 0.8 & 0.8 \\ 0.7 & 0.8 & 0.8 & 0.8 \\ 0.8 & 1 & 1 & 0.8 \end{bmatrix} \quad (1-2-63)$$

$$\tilde{R}^6 = \begin{bmatrix} 0.4 & 0.4 & 0.4 & 0.4 \\ 0.8 & 1 & 1 & 0.8 \\ 0.8 & 0.8 & 0.8 & 0.8 \\ 0.8 & 0.8 & 0.8 & 1 \end{bmatrix} \quad (1-2-64)$$

$$\tilde{R}^7 = \begin{bmatrix} 0.4 & 0.4 & 0.4 & 0.4 \\ 0.8 & 0.8 & 0.8 & 0.8 \\ 0.8 & 0.8 & 0.8 & 0.8 \\ 0.8 & 1 & 1 & 0.8 \end{bmatrix} \quad (1-2-65)$$

I, $\tilde{R}^2, \tilde{R}^3, \dots, \tilde{R}^7$ を(1-2-57)式に代入すると,

$$\tilde{P} = \begin{bmatrix} 1 & 0.4 & 0.4 & 0.4 \\ 0.8 & 1 & 1 & 0.8 \\ 0.8 & 0.8 & 1 & 0.8 \\ 0.8 & 1 & 1 & 1 \end{bmatrix} \quad (1-2-66)$$

を得る.

(1-2-66)式より, \underline{D} が強連結グラフの組 C_3 に属する度合い $m_{C_3}(\underline{D})$ は, \tilde{P} 行列要素の最小値であるから,

$$m_{C_3}(\underline{D}) = 0.4 \quad (1-2-67)$$

となる.

2) 片連結グラフの C_2 に属する度合い

ファジィグラフ \underline{D} において, 任意の2点 ν_i, ν_j の間で, 少なくとも一方から到達可能な度合いは,

$$\max(p_{ij}, p_{ji}) \quad (1-2-68)$$

と考えられるから, グラフ全体として片連結グラフの C_2 に属する度合いは,

$$m_{C_2}(\underline{D}) = \min \max_{1 \leq i, j \leq n} (p_{ij}, p_{ji}) \quad (1-2-69)$$

となる。

そこで、行列 \underline{P} とその転置行列 \underline{P}' との最大値をとる意味での和を求めると、

$$\underline{P} + \underline{P}' = \begin{bmatrix} 1 & 0.4 & 0.4 & 0.4 \\ 0.8 & 1 & 1 & 0.8 \\ 0.8 & 0.8 & 1 & 0.8 \\ 0.8 & 1 & 1 & 1 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 1 & 0.8 & 0.8 & 0.8 \\ 0.4 & 1 & 0.8 & 1 \\ 0.4 & 1 & 1 & 1 \\ 0.4 & 0.8 & 0.8 & 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 0.8 & 0.8 & 0.8 \\ 0.8 & 1 & 1 & 1 \\ 0.8 & 1 & 1 & 1 \\ 0.8 & 1 & 1 & 1 \end{bmatrix} \quad (1-2-70)$$

となる。この行列(1-2-70)式の要素の最小値として

$$m_{C_2}(\underline{D}) = 0.8 \quad (1-2-71)$$

を得る。

3) 弱連結グラフの組 C_1 に属する度合い

ファジィグラフ \underline{D} において、矢印の向きに関係しない連鎖の度合いを調べるため、グラフの任意の点 v_i から出ていくアークか、あるいは v_i に入り込むアークが存在するような点のファジィ集合を $\Delta(v_i)$ とすると、

$$\Delta(v_i) = \Gamma(v_i) \cup \Gamma^{-1}(v_i) \quad (1-2-72)$$

ただし、 $\Gamma(v_i)$ は点 v_i から直接に結ばれている点集合 (写像 Γ という)、 $\Gamma^{-1}(v_i)$ は $\Gamma(v_i)$ の逆写像である。

ここで、推移包 $\hat{\Delta}(v_i)$ を、次のように定義する。

$$\hat{\Delta}(v_i) = \Delta(v_i) \cup \Delta^2(v_i) \cup \Delta^3(v_i) \cup \dots \cup \Delta^n(v_i) \quad (1-2-73)$$

これについては、矢印の向きに関係がないことから、

$$m_{\hat{\Delta}(v_i)}(v_j) = m_{\Delta(v_i)}(v_j) \quad (v_i \neq v_j) \quad (1-2-74)$$

が成立する。これは点 v_i と点 v_j の間に連鎖が存在する度合いを示す。

これを q_{ij} とすると、

$$q_{ij} = \begin{cases} 1, & \text{if } i=j \\ m_{\hat{\Delta}(v_i)}(v_j), & \text{if } i \neq j (i, j=1, 2, \dots, n) \end{cases} \quad (1-2-75)$$

となる。

そこで、 q_{ij} を要素とする行列を Q とすると、

$$Q = [q_{ij}] \quad (i, j=1, 2, \dots, n) \quad (1-2-76)$$

(1-2-51)式の行列 \underline{R} より、 Δ 、 Δ^2 、 Δ^3 、 Δ^4 、 Δ^5 を計算し、それらから $m_{\hat{\Delta}(v_i)}(v_j)$ を要素とする関係行列 $\hat{\Delta}$ を求め、これによって Q 行列を決定する。(4) すなわち、行列 \underline{R} の転置行列を \underline{R}' とすれば

$$\Delta = \underline{R} + \underline{R}' = \begin{bmatrix} 0 & 0.2 & 0.4 & 0.2 \\ 0.7 & 0 & 0.4 & 1 \\ 0.8 & 0.8 & 0 & 0.3 \\ 0.3 & 1 & 1 & 0 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 & 0.7 & 0.8 & 0.3 \\ 0.2 & 0 & 0.8 & 1 \\ 0.4 & 0.4 & 0 & 1 \\ 0.2 & 1 & 0.3 & 0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & 0.7 & 0.8 & 0.3 \\ 0.7 & 0 & 0.8 & 1 \\ 0.8 & 0.8 & 0 & 1 \\ 0.3 & 1 & 1 & 0 \end{bmatrix} \quad (1-2-77)$$

を得る. これより, Δ^2 , Δ^3 , Δ^4 , Δ^5 を計算すると, 次の通りである.

$$\Delta^2 = \begin{bmatrix} 0.8 & 0.8 & 0.7 & 0.8 \\ 0.8 & 1 & 1 & 0.8 \\ 0.7 & 1 & 1 & 0.8 \\ 0.8 & 0.8 & 0.8 & 1 \end{bmatrix} \quad (1-2-78)$$

$$\Delta^3 = \begin{bmatrix} 0.7 & 0.8 & 0.8 & 0.8 \\ 0.8 & 0.8 & 0.8 & 1 \\ 0.8 & 1 & 1 & 1 \\ 0.8 & 1 & 1 & 0.8 \end{bmatrix} \quad (1-2-79)$$

$$\Delta^4 = \begin{bmatrix} 0.8 & 0.8 & 0.8 & 0.8 \\ 0.8 & 1 & 1 & 0.8 \\ 0.8 & 1 & 1 & 0.8 \\ 0.8 & 0.8 & 0.8 & 1 \end{bmatrix} \quad (1-2-80)$$

$$\Delta^5 = \begin{bmatrix} 0.8 & 0.8 & 0.8 & 0.8 \\ 0.8 & 0.8 & 0.8 & 1 \\ 0.8 & 1 & 1 & 1 \\ 0.8 & 1 & 1 & 0.8 \end{bmatrix} \quad (1-2-81)$$

なお, $\Delta^6 = \Delta^4$ であるから Δ^n 計算は, $n=5$ までの計算でよい. これから $\hat{\Delta}$ を計算する.

$$\hat{\Delta} = \Delta + \Delta^2 + \Delta^3 + \Delta^4 + \Delta^5 = \begin{bmatrix} 0.8 & 0.8 & 0.8 & 0.8 \\ 0.8 & 1 & 1 & 1 \\ 0.8 & 1 & 1 & 1 \\ 0.8 & 1 & 1 & 1 \end{bmatrix} \quad (1-2-82)$$

$\hat{\Delta}$ 行列より, Q を求めると

$$\tilde{Q} = \begin{bmatrix} 1 & 0.8 & 0.8 & 0.8 \\ 0.8 & 1 & 1 & 1 \\ 0.8 & 1 & 1 & 1 \\ 0.8 & 1 & 1 & 1 \end{bmatrix} \quad (1-2-83)$$

となる。Q行列の最小値として、 $m_{C_1}(\underline{D})$ は、

$$m_{C_1}(\underline{D}) = 0.8 \quad (1-2-84)$$

を得る。

4) 非連結グラフの C_0 に属する度合い

この組 C_0 に属する度合いとしては、連鎖の存在しないところが少なくとも1つあることから

$$m_{C_0}(\underline{D}) = 1 - \min_{1 \leq i, j \leq n} q_{ij} \quad (1-2-85)$$

として求められる。すなわち(1-2-84)式より

$$m_{C_0}(\underline{D}) = 1 - 0.8 = 0.2 \quad (1-2-86)$$

となる。

1-3 ファジィなグラフ構造を導入した解析

1. 研究の目的と方法

本研究では、第2章でグラフ理論におけるグラフを用いて科学カリキュラムを構造モデルとして描画し、その解析・開発を行ってきた。第3章3-1では、グラフの連結性を応用した各教授要素のカリキュラム構造に対する役割の解析などである。特に、3-1の解析方法は、ISMによってカリキュラムグラフの階層構造が解析され、あるいは、強連結部分等が抽出された後に、各教授要素の役割についてさらに一步踏み込んだ解析を行うことができることが確かめられた。

一方、最近、ファジィ理論が急速に様々な研究分野に浸透し、“あいまい”な問題の克服にすばらしい威力を発揮してきた。⁽²⁶⁾構造モデルを応用したカリキュラム研究の領域においても、このファジィ理論の考え方が浸透しつつある。⁽²⁷⁾⁽²⁸⁾本来、カリキュラムの研究においても、このあいまいさがつきまとっていた。“よいカリキュラム”“すばらしいカリキュラム”などがその例である。また、グラフを用いたカリキュラム解析においてもこのことは例外ではない。この解析手法においては、教授要素間の関連づけが、最も根源的で重要な部分である。⁽²⁹⁾しかし、実はこの部分がこの手法の最大のネックになる危険性をはらんでいる。すなわち、教授要素間の関連づけがあまりにも二値的(0・1)に割り切りすぎるのである。一般的に、教授要素間の関連は、二値の数理世界で表現できるほどにはクリスプな関係ではないのが普通である。それにもかかわらず、これらを大胆に二値の世界で表現してしまおうとするのである。

実際には、だからこそ、グラフで表してカリキュラムの構造が浮き彫りになってくるのだという主張もある。⁽³⁰⁾あるいは、カリキュラムの骨組みを明らかにするためには、基本的なことのみを残して大胆に切っていくことこそ重要であるという意見もある。⁽³¹⁾

これらの論議の決着は他に譲るとして、本研究では、カリキュラム解析にファジィ理論をも導入して、その可能性を検討してみることにした。すなわち、“あいまいなもの”は、あくまでも“あいまいなまま”で処理してみようとするのである。

ここでは、ファジィ理論を取り入れて、教授要素間をメンバーシップ関数で表したときに、グラフ構造はどのように描画されるのかを検討する一方、ファジィグラフにおけるグラフの連結性⁽³²⁾の考え方を取り入れたカリキュラム解析の可能性についても検討を加える。試行分析の対象としては、カリキュラム構造が比較的是っきりと意識され、かつ、各教授内容がモジュールの形になって解釈しやすいSAPAⅡ⁽³³⁾を選んだ。このカリキュラムは「科学の方法」と呼ばれるプロセススキルが初等理科教育の教育内容として、カリキュラムの目標として設定されている⁽³⁴⁾ことでも注目されたものである。

これらのモジュールにそれがねらいとするスキルや科学概念あるいは教師用書などをもとにしてメンバーシップ関数を与えていき(0から1の間の数値で関連づけ)、ファジィグラフを描画した。そして、ファジィグラフにおける強連結、片連結、弱連結の度合い⁽³⁵⁾と、それに基づく構造解析(解析用コンピュータプログラムの開発も含め)について検討した結果について報告する。

2. SAPAⅡの構造とプロセススキル

SAPAⅡ（1974年）は、1963年に発表されたSAPAの改訂版である。改訂にあたって初版で14個のスキルがあげられていたが、モデルの設定のスキルが子どもの発達段階から考えて程度が高いということで削られている。⁽³⁶⁾

SAPAⅡは、全部で105のモジュールから構成され、それぞれのモジュールは表1に示すようなプロセススキルが強調されている。⁽³⁷⁾

表3-2-1. SAPAⅡに示されるプロセススキルズ

-
- 1 : Observing
 - 2 : Using space/Time Relations
 - 3 : Using Numbers
 - 4 : Measuring
 - 5 : Classifying
 - 6 : Communicating
 - 7 : Predicting
 - 8 : Inferring
 - 9 : Interpreting Data
 - 10 : Formulating Hypotheses
 - 11 : Controlling Variables
 - 12 : Defining Operationally
 - 13 : Experimenting
-

これらは1～8までのBasic Skillsと9～13までのIntegrated Skillsに分かれている。Basic Skillsの育成を目標とするモジュールは幼稚園から小学校3年生にわたる60個のモジュールに配列されている。小学校4年生からはIntegrated Skillsが目標となっている（4学年用の第61モジュールのみがInferringでBasic Skillsである）。

各モジュールには図3-2-1のような後続モジュールとの関連図が最初に示されている。

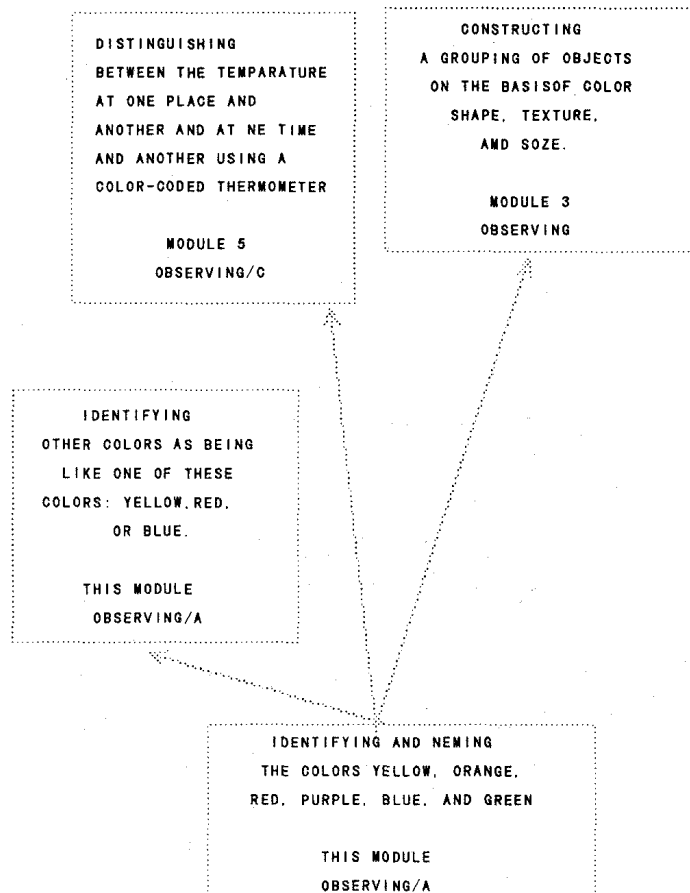


図3-2-1 第1モジュール (Perception of Color) の関連図⁽³⁸⁾

そこで、これらの図を手がかりとして、SAPA II 全体のモジュールの関連図を作成した。その結果、4年生以降のIntegrated Skillsについては、「データの解釈」「仮説の設定」「変数の制御」「操作的定義」の4つのスキルが系統立って設定され、適宜、他のスキルのモジュールとも関連づけられ、最終的には、「実験」と「データの解釈」のスキルに収斂されていることが認められた。また、Basic Skillsのモジュールから関連づけられてくるものは、「データの解釈」のスキルのモジュールが主なものであることも読み取れた。

しかし、幼稚園から小学校3年生までの Basic Skillsの関連については、それぞれの関連があまりにも複雑でこのままでは読みとることが困難である。

3. BASIC SKILLSの構造解析

そこで、Basic Skills (幼稚園から小学校3年生用の第60モジュールまで) についてISMおよびファジィ理論を付加して構造解析をおこなった。

なお、これらのモジュールのタイトルとスキルの目標については次ページの通りである。

SAPAI : 第1～第60モジュール
BASIC SKILLS 幼稚園から小学3年

- 1 : Perception of Color. (Obs.)
- 2 : Recognizing and Using Shapes. (Spa./Tim.)
- 3 : Color, Shape, Texture, and Size. (Obs.)
- 4 : Leaves, Nuts, and Seashells. (Cla.)
- 5 : Temperature. (Obs.)
- 6 : Direction and Movement. (Spa./Tim.)
- 7 : Perception of Taste. (Obs.)
- 8 : Length. (Mea.)
- 9 : Sets and Their Members. (Num.)
- 10 : Spacing Arrangements. (Spa./Tim.)
- 11 : Listening to Whales. (Obs.)
- 12 : Three-Dimensional Shapes. (Spa./Tim.)
- 13 : Numerals, Order, and Counting. (Num.)
- 14 : Alternate Topics:
 - Animals / Familiar Things. (Cla.)
- 15 : Perception of Odors. (Obs.)
- 16 : Alternate Topics:
 - Living and Nonliving Things /
Trees in Our Environment. (Cla.)
- 17 : Change. (Obs.)
- 18 : Using the Senses. (Obs.)
- 19 : Soils. (Obs.)
- 20 : Counting Birds. (Num.)
- 21 : Weather. (Obs.)
- 22 : The Same but Different. (Com.)
- 23 : Comparing Volumes. (Mea.)
- 24 : Metric Lengths. (Mea.)
- 25 : Introduction to Graphing. (Com.)
- 26 : Using a Balance. (Mea.)
- 27 : Pushes and Pulls. (Com.)
- 28 : Molds and Green Plants. (Obs.)
- 29 : Shadows. (Spa./Tim.)
- 30 : Addition Through 99. (Num.)
- 31 : Life Cycles. (Com.)
- 32 : A Terrarium. (Cla.)
- 33 : What's Inside? (Inf.)
- 34 : About How Far? (Mea.)
- 35 : Symmetry. (Spa./Tim.)
- 36 : Animal Responses. (Obs.)

- 37 : Forces. (Mea.)
- 38 : Using Graphs. (Pre.)
- 39 : Solids, Liquids, and Gases. (Mea.)
- 40 : How Certain Can You Be? (Inf.)
- 41 : Temperature and Thermometers. (Mea.)
- 42 : Sorting Mixtures. (Cla.)
- 43 : A Plant Part That Grows. (Com.)
- 44 : Surveying Opinion. (Pre.)
- 45 : Lines, Curves, and Surfaces. (Spa./Tim.)
- 46 : Observations and Inferences. (Inf.)
- 47 : Scale Drawings / A Tree Diary. (Com.)
- 48 : The bouncing Ball. (Pre.)
- 49 : Drop by Drop. (Mea.)
- 50 : The Clean-up Campaign. (Pre.)
- 51 : Rates of Change. (Spa./Tim.)
- 52 : Plants Transpire. (Inf.)
- 53 : The Suffocating Candle.(Pre.)
- 54 : Static and Moving Objects. (Mea.)
- 55 : Sprouting Seeds /
Magnetic Poles. (Obs.)
- 56 : Punch Cards. (Cla.)
- 57 : Position and Shape. (Com.)
- 58 : Liquids and Tissues. (Inf.)
- 59 : Metersticks, Money and Decimals. (Num.)
- 60 : Relative Position and Motion. (Spa./Tim.)

Obs. : Observing:
 Mea. : Measuring
 Num. : Using Numbers
 Spa./Tim.:Using space/Time Relations
 Cla. : Classifying
 Com. : Communicating
 Inf. : Inferring
 Pre. : Predicting

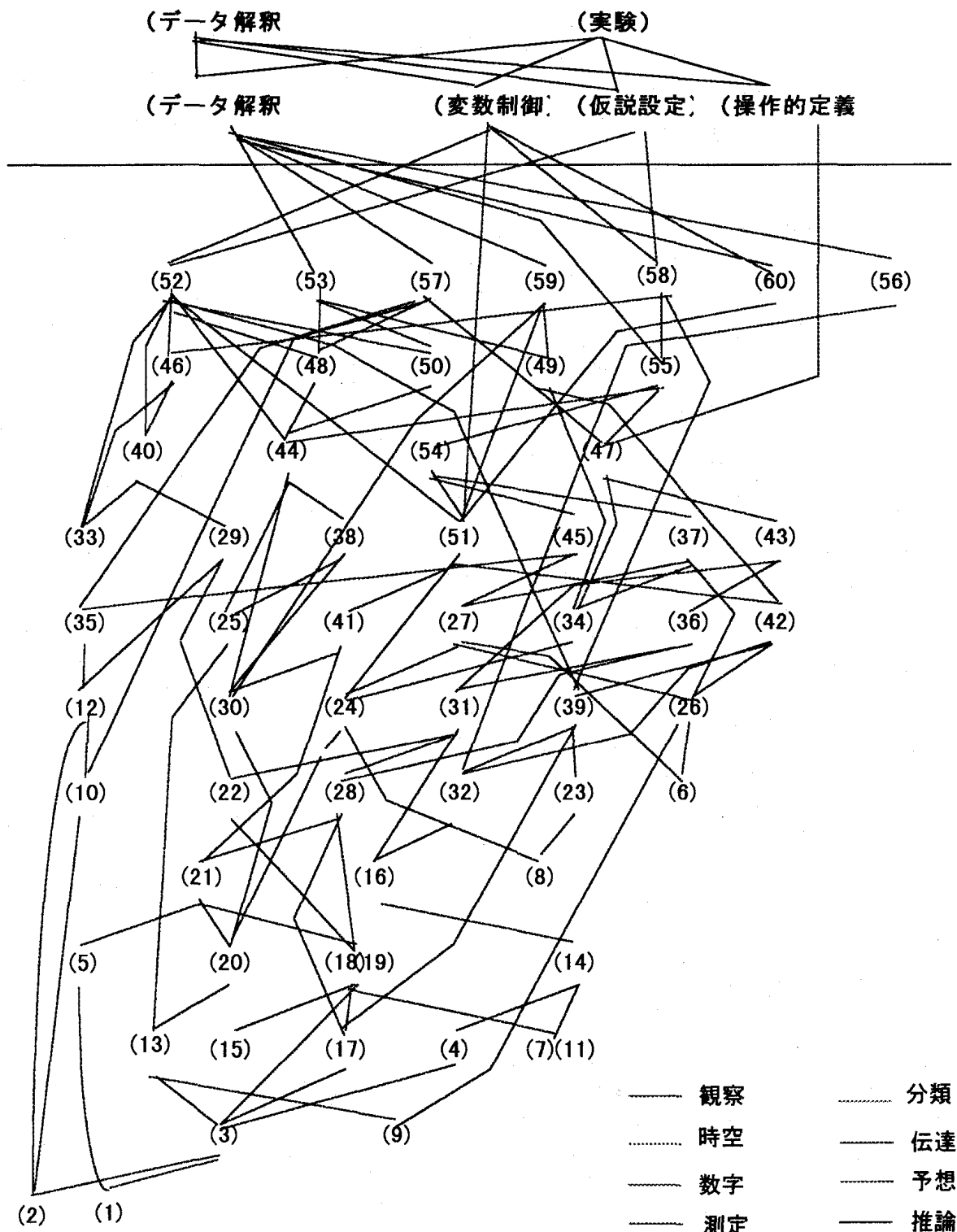


図3-2-3 ISMによるBasic Skillsの構造図

図3-2-3はSAPAⅡで考えられている関連（各モジュールに示されている関連図）をもとにしてISMで得られたBasic skillsの構造図である。(39)

しかし、図3-2-3においても関連が複雑すぎてカリキュラム全体を統一的に把握する事がむずかしいように思われる。SAPAⅡで示されている関連図は、当該モジュールとその他のモジュールの関連が細かく検討されているが、この関連図から即全体像が構築されるようには配慮されているとは限らないようである。そこで、ここで示されている関連図に対してファジィ理論を適用して解析してみることにする。

まず、各モジュール間の関連が余りにも詳細に示されていることがかえって全体像を分かりにくくしていると考えられることからISMにおける（関連ある：1、なし：0）値をファジィ理論のメンバーシップ関数(40)で表現し直すことにした。

メンバーシップ関数の与え方は、モジュール内で取り扱われているスキル、素材、そして、モジュールに示されている語彙を参考として、文字通りファジィな感覚でアナログ的に入力した（ファジィ対応解析プログラムによりマウス入力した：APPENDIX(Ⅱ)参照）。もちろん、これらの値の0.1以上の値を1.0に変換するとともに図3-2-3のISMによるものと同じカリキュラム構造が得られる。さて、ここに改めて作られた60個のモジュールのファジィなデータ行列を使って、各モジュールの連結性の観点から解析する。

各々の連結に属する度合いを計算すると以下に示す値が得られる（解析手順は第1章4. ファジィグラフにおける連結性を参照のこと）。

$$\text{強連結に属する度合い： } m_{C_3}(\underline{D}) = 0.0$$

$$\text{片連結に属する度合い： } m_{C_2}(\underline{D}) = 0.0$$

$$\text{弱連結に属する度合い： } m_{C_1}(\underline{D}) = 0.4$$

となった。したがって、この \underline{P} は、分解定理より、

$$\underline{P} = 0.4\underline{P}_{0.4} \cup 1\underline{P}_1$$

で、 $\underline{P}_{0.4}$ を用いて階層構造を描画すると、図3-2-4のようになる。

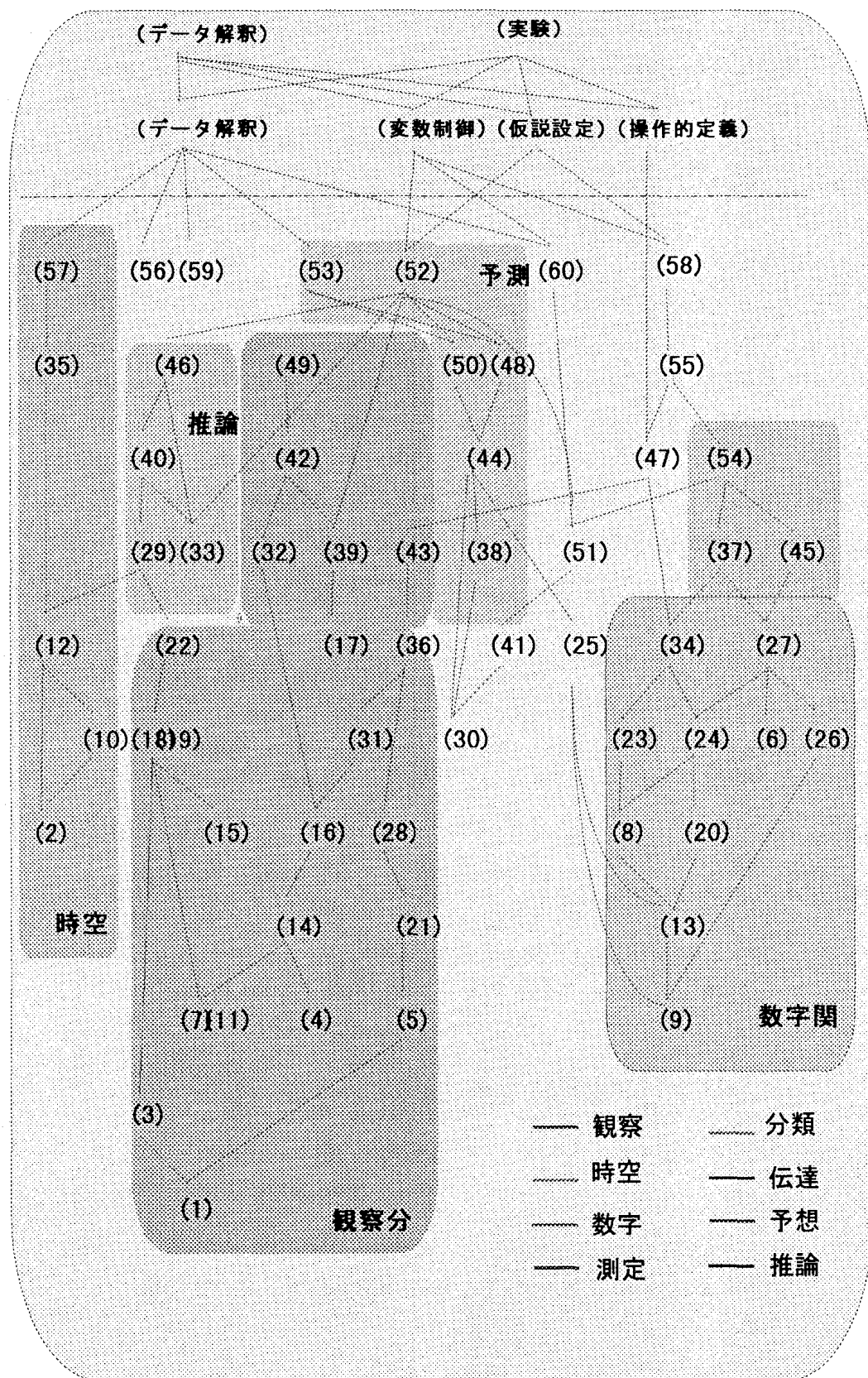


図3-2-4 Basic Skillsの $P_{0.4}$ による構造図

図3-2-4は図3-2-3よりもかなり分かりやすい構造図になった。ただし、あくまで、これはSAPAⅡに示されているクリスプなモジュール間の関連をファジィなものにしていることに留意しなければならない。今回の解析では、この構造図のファジィ度は0.4以上の関連が認められるものが階層構造に関与していることになる。ともあれ、ファジィにすることでBasic Skillsの構造が見えてきたことには違いない。図3-2-4から次のようなことが読み取れる。

- 1 : Basic Skillsの最初の段階では主に観察モジュールが組み合わされて階層構造をなしている。
- 2 : これが分類モジュールや他のモジュールと組み合わされて推論あるいは予測モジュールに引き継がれている。
- 3 : 観察とは別に後2つ系列が認められ、1つが時間空間モジュールによるもの、もう1つが数字を主に扱うモジュールによる系統である。
- 4 : 数字を扱うモジュールから分かれて予測モジュールによる系統が認められる。

以上の点からやはりSAPAⅡは、かつてSAPAにおいて北沢弥吉郎が指摘したように⁽⁴¹⁾かなり意図的にスキルの階層構造を配慮してカリキュラムが開発されていることが改めて認められる。

4. 考 察

理科教育の現代化時代に開発された代表的な初等カリキュラムの1つであるSAPAの改訂版SAPAⅡの構造を解析するとともに、その手法にファジィ理論を応用することを試みた。その結果、ファジィによる解析はこれまでのISMを否定するものでなく、これをより柔軟なものにすることができることが明らかになった。なぜなら、モジュール（教授内容）間の関連を表すメンバーシップ関数が0より大きいものを全て1に置き換えることにより解析結果はISMと一致する。したがって、ファジィによる構造解析の特殊な場合がISMによる構造解析であるとも考えられる。さらに、発展的に強連結、片連結、弱連結のレベルなど、異なったレベルでの構造解析が行える可能性がある。また、何よりもモジュール間の関連を調べる（決定する）時に、柔軟に対応でき、非常に人間的である。

今回のSAPAⅡを例にとると各モジュールに掲載されていた関連図は、開発側がほんの少しでも他のものと関連がありそうだと認めると全て「ある」とされ、このことが全体構造を把握させることを困難なものにしていたと考えられる。

今回の試みはあいまい性を残したままで本質的な部分に迫れる可能性を示したものと言えよう。

第1章 主要引用参考文献

- (1) M. Behzad, G. Chartrand, L. Lesniak-Foster、秋山仁、西関隆夫訳 (1981) 『グラフとダイグラフの理論』 共立出版, p. 1
- (2) 前掲 (1), p. 3
- (3) 寺野寿郎『システム工学入門 - あいまい問題への挑戦』、共立出版、(1985) pp. 31-32
- (4) 前掲 (3), p. 33
- (5) 前掲 (3), p. 32
- (6) 前掲 (3), p. 34
- (7) 浜田隆資、秋山仁 (1982年) 『グラフ論要説』 槇書店, p10-12
- (8) 前掲 (1), pp. 341-343
- (9) 伊藤信隆 (1989) 『グラフ理論を応用した科学カリキュラムの構造解析』 東洋館出版 pp. 37-66
- (10) 沼野一男 (1976) 『授業の設計入門』 国土社, pp. 57-84
- (11) 前掲 (9), pp. 38-39
- (12) 文部省 (1989年) 『平成元年小学校学習指導要領』, p. 59
- (13) 前掲 (9), pp. 40-41
- (14) 寺野寿郎, 浅居喜代治, 菅野道夫 (1989) 『応用ファジィシステム入門』 オーム社 pp. 9-14
- (15) 前掲 (28), pp. 20-25
- (16) Kaufmann A. (1975) Introduction to the Theory of Fuzzy Subsets, Academic Press.
- (17) Zadeh, L. A. (1965) Fuzzy Sets. Information and Control. No. 8, pp. 338-353
- (18) 伊藤信隆, 松本伸示, 木原寛 (1992) 『ファジィ理論を応用した科学教材の構造解析』 学事出版, p. 24
- (19) 西田俊夫、竹田英二 (1978) 『ファジィ集合とその応用』 森北出版, pp. 5-13
- (20) 前掲 (32), pp. 24-27
- (21) 前掲 (32), pp. 27-29
- (22) 前掲 (33), pp. 51-58
- (23) 前掲 (32), pp. 93-98

-
- (24) 前掲 (33), pp. 58-85
- (25) 前掲 (32), pp. 112-118
- (26) 寺野寿郎 (1985) 『システム工学入門 - あいまい問題への挑戦』 共立出版
- (27) 宮武直樹, 長谷川洋介 (1990) 「絶対評価に関する一試行 - 生活化のためのファジィ評価システム -」 『日本教育情報学会教育情報研究』 Vol. 6 No. 4, pp. 14-22,
- (28) 山下利之, 皆川順, 岡田裕 (1992) 「ファジィグラフを用いた教科の主観的関係の分析」 『日本教育工学雑誌』 Vol. 16 No. 1, pp. 55-62,
- (29) 前掲 (3)
- (30) 伊藤信隆 (1989) 『グラフ理論を応用した科学カリキュラムの構造解析』 洋館出版
- (31) ブルーナー, J. S. (1963) 鈴木祥像蔵, 佐藤三郎訳 『教育の過程』 岩波書店, pp. 21-41
- (32) 前掲 (10), pp. 112-118
- (33) AAAS Commission on Science Education (1974) Science - A Process Approach II, XERO X
- (34) AAAS Commission on Science Education (1974) Approach Commentary for Teachers, XEROX
- (35) Kaufmann, A. (1975) Introduction to the Theory of Fuzzy Subsets, Vol. 1,
Academic Press
- (36) 学校理科研究会 (1986) 『現代理科教育学講座 6巻 方法編 (下)』 明治図書 pp. 43-44
- (37) 前掲 (23)
- (38) 前掲 (23) MODULE 1, p. 2.
- (39) 前掲 (3)
- (40) 菅野道夫 (1989) 『ファジィ理論展開 科学における主観性の回復』 サイエンス社, pp. 72-83
- (41) 北沢弥吉郎 (1973) 『理科教育の過程 - ヒューマナイズングへの位置づけ』 第一法規

第2章 具体的な教材選択の要因解明

具体的な教材選択の要因解明（予備：観察・実験したい対象）

調査目的

現状把握によって「観察・実験」が好嫌要因の一つと明らかになったことから、児童・生徒が「観察・実験」したい対象間の関係を探る質問紙を構成する対象を抽出することを目的とする。

調査項目と内容

小学校用については調査対象の児童が利用している3年生から6年生までの教科書⁽¹⁾から観察・実験の対象と考えられるものを全て抽出した。また、中学校用⁽²⁾⁽³⁾⁽⁴⁾⁽⁵⁾についても同様に1年から3年までを抽出し、その対象に対して観察・実験をしたいかを質問した。

調査方法

小学校においては抽出した約800個の観察・実験の対象をこのままでは数が多すぎて調査できないため4つ（1グループ200個前後）に分割する。ここで、グループを構成する対象を等質にするために乱数表を用いて分類した。つぎに学級担任と性差による影響を少なくするためにそれぞれの学級の男女に4つの調査用紙が均等に配布し調査した。たとえば1組の男子に調査用紙（その1）と（その2）と（その3）と（その4）を配布した。1組の女子にも同様に配布した。これを他のクラスにも行い調査を実施した。以上を学級担任が行った。

中学校においては抽出した約1000個の観察・実験の対象を等質に分類するために乱数表より5つに分類した。あとは小学校と同様にし、教科担任が行った。

回答方法としては、「次のことがらについて、観察したり、そのものを使って実験したいときには○を、したくないものには×をつけてください。」で回答を求めた。

調査対象・期日

調査対象は小学校、中学校の理科を全て学習している6年生、3年生が調査目的に適切と考え以下を対象者とした。兵庫県内公立小学6年、中学3年。調査期日は平成8年2月上旬に行った。

分析方法

調査した観察・実験したい対象物（質問紙において○がついているもの）について校種別にクラスター分析を行い、以下の基準で観察・実験したい対象を抽出することにした。

- ・教育的に意味のあるもの、・抽象度の高いもの
- ・クラスターが低く、親近性の高いもの
- ・観察・実験が可能なもの

分析結果

次の抽出結果を本調査用に採用することにした。

表1 小学校用抽出結果

1	試験管	51	インゲンマメ
2	血管	52	乾電池
3	あおむし	53	溶け方(とけかた)
4	百葉箱(ひゃくようばこ)	54	花だん
5	呼吸	55	クレーター
6	色	56	火山
7	ふりこ	57	ベニシダ
8	心ぞう	58	えき体
9	ジャガイモ	59	肥料(ひりょう)
10	めしべ	60	太陽の高さ
11	速さ	61	しお水
12	方位	62	きょうりゅう
13	酸性	63	球根(きゅうこん)
14	触角(しよっかく)	64	光電池
15	太陽	65	泡(あわ)
16	雪	66	北斗七星
17	発熱	67	こだま
18	金ぞく	68	力点(りきてん)
19	沸騰(ふっとう)	69	快晴(かいせい)
20	田	70	月
21	体積	71	じょう発
22	雲	72	シロツメクサ
23	力	73	種子
24	羽(はね)	74	たいせき岩
25	下水	75	畑
26	空気	76	糸電話
27	磁石(じしゃく)	77	モンシロチョウ
28	オオクロアリ	78	受精
29	ばねはかり	79	水さいばい
30	種いも	80	茎(くき)
31	め花	81	リニアモーターカー
32	天体望遠鏡	82	野原
33	土	83	銅(どう)
34	メスシリンダー	84	日時計
35	かいちゅう電とう	85	さなぎ
36	セロハンテープ	86	食物のつながり
37	おもり	87	毛虫
38	水	88	カッター
39	風	89	夏の大三角
40	カメ	90	気管(きかん)
41	成長	91	食塩
42	ろか	92	かがみ
43	ほね	93	方位磁針(ほういじしん)
44	ギンヤンマ	94	エビ
45	電流	95	しも柱
46	スチールウール	96	水よう液
47	葉	97	フラスコ
48	アサガオ	98	中性
49	日光	99	黒点(こくてん)
50	雨水	100	草

101	受精卵 (じゅせいらん)	152	てこ
102	鉄粉	153	カエル
103	レンズ	154	霜 (しも)
104	夜空	155	水のゆくえ
105	燃え方	156	岩石
106	針金 (はりかね)	157	気象えい星
107	ツバメ	158	うすい塩酸
108	0℃	159	おたまじゃくし
109	スイッチ	160	目
110	川	161	ヘチマ
111	影 (かげ)	162	マツ
112	せんぬき	163	日の出
113	豆電球	164	日なた
114	オリオン座	165	関節 (かんせつ)
115	ねんど	166	ヒマワリ
116	さし木	167	フジツボ
117	アルミニウムはく	168	噴火 (ふんか)
118	ふ化	169	さび
119	でんぶん	170	イヌ
120	フナ	171	ほのお
121	石灰水 (せっかいすい)	172	時計
122	コーヒシュガー	173	化石 (かせき)
123	虫めがね	174	空気でっぼう
124	気温	175	エノコログサ
125	コンピュータ	176	モーター
126	天気予報	177	台風
127	プレパラート	178	花粉
128	サクラ	179	三球ぎ
129	しゃ光ばん	180	氷点下 (ひょうてんか)
130	南中 (なんちゅう)	181	雨
131	ミョウバン	182	卵黄 (らんおう)
132	氷	183	氷河
133	オニユリ	184	発芽
134	温度計	185	れき岩
135	血液	186	花
136	てんびん	187	注射器 (ちゅうしゃき)
137	根	188	子ぼう
138	アンモニア水	189	ホタル
139	木	190	オシロイバナ
140	太鼓 (たいこ)	191	ろうそく
141	天気	192	肺
142	音	193	電磁石 (でんじしゃく)
143	運動	194	胃
144	草花	195	けんび鏡
145	クンショウモ	196	本葉
146	アルコールランプ	197	カメラ
147	星座	198	ゆげ
148	ビーカー	199	風向
149	カタツムリ	200	海
150	星	201	地そう
151	安山岩 (あんざんがん)	202	ボルボックス

表2 中学校用抽出結果

1	恐竜類(きょうりゅうるい)	51	風
2	楽器(がっき)	52	火山活動
3	ほ乳類	53	作用点
4	電流計	54	プリズム
5	アンモナイト	55	ペトリ皿(シャーレー)
6	ポンプ	56	力の大きさ
7	ファイバー・スコープ	57	火花
8	凸レンズ	58	重力
9	うすい水酸化ナトリウム水溶液	59	質量保存の法則
10	炎	60	イルカ
11	光合成(こうごうせい)	61	エンジン
12	塩化銅(えんかどう)	62	てこの原理
13	酸素	63	燃焼
14	反射	64	金
15	断層(だんそう)	65	エタノール
16	河口付近	66	屈折
17	トランシーバー	67	太陽
18	質量	68	コイル
19	チャート	69	人体
20	銀	70	ソウ類
21	六甲山	71	海岸段丘(かいがんだんきゅう)
22	化学式	72	花火
23	ルーペ	73	ゾウリムシ
24	鉄粉	74	ジュールの法則
25	テレビ	75	氷
26	さび	76	衝突(しょうとつ)
27	磁石	77	スポイト
28	電流	78	放電(ほうでん)
29	回転	79	川
30	顕微鏡(けんびきょう)	80	南極
31	でんぷん	81	電気分解
32	丸底フラスコ	82	望遠鏡(ぼうえんきょう)
33	混合物	83	レンズ
34	ろうそく	84	アンモニア
35	海面	85	電力量
36	たい積作用	86	両生類(りょうせいるい)
37	プレート	87	貝
38	フズリナ類	88	節足動物(せつそくどうぶつ)
39	人工衛星(じんこうえいせい)	89	発生
40	銅	90	熱
41	ブドウ糖	91	速さ
42	海底山脈	92	雨水
43	方位磁針	93	流水
44	コンピュータ	94	試験管
45	プラスチック	95	目
46	被子植物(ひししょくぶつ)	96	しゅう曲
47	整合(せいごう)	97	E=IR
48	火山灰	98	発電機
49	地層	99	マンモス
50	電卓	100	豆電球

101	レーザー	151	ビーカー
102	石灰水 (せっかいすい)	152	無機物 (むきぶつ)
103	風速計 (ふうそくけい)	153	色
104	硫酸 (りゅうさん)	154	焦点
105	シダ植物	155	海中
106	波	156	湖
107	魚類	157	圧力
108	蒸気	158	音
109	温度計	159	雪
110	北極	160	電子
111	ガスバーナー	161	イオン
112	天体観測	162	オシロスコープ
113	絶縁体 (ぜつえんたい)	163	蛍光灯 (けいこうとう)
114	時計	164	地球内部
115	鉱物 (こうぶつ)	165	海岸線
116	けむり	166	呼吸
117	核分裂 (かくぶんれつ)	167	硫黄 (いおう)
118	磁界 (じかい)	168	気圧
119	電極	169	誘導電流 (ゆうどうでんりゅう)
120	海底	170	地震
121	ダイヤモンド	171	鳥類
122	陰極線 (いんきょくせん)	172	メスシリンダー
123	電池	173	弦 (げん)
124	示相化石 (しそうかせき)	174	導線
125	花こう岩 (かこうがん)	175	使い捨てカイロ
126	は虫類	176	日光
127	電気抵抗	177	隆起 (りゅうき)
128	水素	178	月
129	フィルム	179	電動機 (でんどうき)
130	海	180	スペースシャトル
131	内視鏡 (ないしきょう)	181	上皿てんびん
132	熱量	182	ピンホール・カメラ
133	スピーカー	183	声
134	塩酸	184	沈殿 (ちんでん)
135	バネののび	185	ロケット
136	大理石 (だいにせき)	186	結晶
137	魚群探知機 (ぎょぐんたんちき)	187	電子顕微鏡 (でんしけんびきょう)
138	単体 (たんちき)	188	フェノールフタレイン液
139	泡 (あわ)	189	氷河
140	化学変化	190	酸化
141	塩化コバルト紙	191	塩素
142	風化 (ふうか)	192	光ファイバー
143	裸子植物 (らししょくぶつ)	193	塩化ナトリウム
144	光	194	電磁誘導 (でんじゆうどう)
145	マグマ	195	月面上
146	スチールウール	196	二酸化炭素
147	マグネシウム	197	ガラス繊維 (せんい)
148	ナイロン	198	サンゴ
149	軟体動物 (なんたいどうぶつ)	199	雷 (かみなり)
150	磁力 (じりょく)	200	有機物 (ゆうきぶつ)

具体的な教材選択の要因説明：（本調査：観察・実験したい対象）

調査目的

具体的な教材選択の要因説明（予備調査）で抽出した「観察・実験」をしたい具体的対象をもとに児童・生徒の意識を調査・分析し、好嫌度と理解度に基づく教材選択の軸と範囲を明確化することを目的とする。

調査項目と内容

児童・生徒に対して予備調査で精選した結果を用いて行った。

調査方法

小学校においては学級担任が中学校においては教科担任が行った。

回答方法としては、予備調査と同様に行った。

調査対象

調査対象は小学校、中学校の理科を全て学習している6年生、3年生が調査目的に相当と考え以下を対象者とした。

兵庫県内公立小学6年、中学3年

調査期日

調査は、小学校、中学校の理科を全て学習している3学期が調査目的に相当と考え平成8年3月上旬に行った。

分析方法

分析の信頼度をさらに高めるために質問項目の精選を行う。200を越える質問項目に対する児童・生徒のモチベーションの低下、および元々まじめに回答していない児童・生徒の存在が懸念されるからである。そこで全質問項目中前半の100項目に対して児童・生徒の反応に偏りがいかを調べる。具体的には χ^2 検定により項目に対する反応の偏りを分析した。

1. 第1段階として理科好き育成への要因説明（教師と児童・生徒との関連）を基に児童・生徒を理科好きグループと理科嫌いグループおよび理科学習の内容が理解できているグループと学習が理解できていないグループに分類する。
2. 第2段階として児童・生徒の「観察・実験したい対象」に対するイメージ構造を明らかにするために数量化第Ⅲ類を用いた。これによりそれぞれのグループの児童・生徒の反応を基に各対象と児童・生徒を分類する軸を3軸抽出する。
3. 次に3つの軸に対する各対象のウェイトからそれぞれの軸が何を表す軸かを解釈する。
4. さらにこれらの3軸からなる各空間の意味づけを行う。このようにして児童・生徒の「観察・実験したい対象」に対するイメージ構造を明らかにしようとした。
5. 第3段階としてさらに、児童・生徒のスコアからこれらの空間上に児童・生徒をプロットすることにより、各グループの特徴を明らかにする。

児童・生徒の好嫌度・理解度と観察・実験したい対象

児童の好嫌度と観察・実験したい対象

児童の好嫌度によって分類されたグループにおける「観察・実験したい対象」の構造を明らかにするために、数量化第Ⅲ類を使用して分析をした。

はじめに、次の表35、表36は児童の好きグループ全体の数量化第Ⅲ類で得られた第Ⅲ軸までの値と固有値と累積寄与率である。

表3 児童の好きグループにおける各軸の説明アイテムとウェイト

	観察・実験したい対象	第Ⅰ軸	第Ⅱ軸	第Ⅲ軸	観察・実験したい対象	第Ⅰ軸	第Ⅱ軸	第Ⅲ軸	
変数1	試験管	-0.82698	-0.51766	0.76146	変数51	インゲンマメ	-0.68346	2.01999	-0.16991
変数2	血管	2.93969	-0.69676	-1.06903	変数52	乾電池	-0.50751	-0.89262	2.01443
変数3	あおむし	5.03403	0.5103	2.27985	変数53	溶け方(とけかた)	-0.30767	-0.15748	0.43731
変数4	百葉箱(ひやくようぼこ)	-0.44309	0.15992	0.29928	変数54	花だん	-0.5355	2.3662	-0.80113
変数5	呼吸	0.33168	0.13978	-0.74097	変数55	クレーター	0.31753	-0.9449	-1.23366
変数6	色	-0.58196	-0.647	-0.36959	変数56	火山	0.42619	-1.43085	-1.11056
変数7	ふりこ	-0.70763	-0.55893	1.29643	変数57	ベニシダ	1.24602	1.56829	-0.67287
変数8	心ぞう	2.81698	-1.10241	-1.21978	変数58	えき体	-0.40811	-0.29963	0.35209
変数9	ジャガイモ	-0.51294	0.59998	0.04809	変数59	肥料(ひりょう)	-0.32784	1.82851	-0.08877
変数10	めしべ	-0.72668	1.70526	0.06829	変数60	太陽の高さ	-0.13597	-1.12965	-0.65058
変数11	速さ	-0.05567	-1.02063	0.72307	変数61	しお水	-0.61916	0.44434	-0.79642
変数12	方位	-0.50783	-0.44586	0.75368	変数62	きょうりゅう	0.41035	-1.10631	-1.01913
変数13	酸性	0.21499	-0.75704	0.37995	変数63	球根(きゅうこん)	-0.54091	1.53838	0.02968
変数14	触角(しよっかく)	2.22353	0.13018	-0.36064	変数64	光電池	-0.18136	-1.29592	1.42345
変数15	太陽	0.1811	-0.95387	-1.34014	変数65	泡(あわ)	-0.25524	-0.09066	-0.90126
変数16	雪	0.14265	-1.31504	-1.09755	変数66	北斗七星	-0.42087	-0.61825	-1.39485
変数17	発熱	-0.37956	-0.4571	0.69894	変数67	こだま	0.18499	-0.045	-0.26914
変数18	金ぞく	-0.28402	-0.87833	1.55406	変数68	力点(りきてん)	-0.60812	0.25396	1.17747
変数19	沸騰(ふつとう)	-0.40061	0.2808	0.51255	変数69	快晴(かいせい)	-0.37242	0.08044	-0.86528
変数20	田	0.16945	1.84888	-0.82103	変数70	月	-0.05053	-1.15223	-1.56818
変数21	体積	-0.60226	0.81146	1.64923	変数71	じょう発	-0.70019	0.1339	0.56931
変数22	雲	0.03858	-1.18597	-1.53439	変数72	シロツメクサ	0.18084	2.31533	-0.9293
変数23	力	-0.35032	-0.82182	0.62204	変数73	種子	-0.07642	2.10211	-0.53338
変数24	羽(はね)	0.28192	-1.01301	-1.45417	変数74	たいせき岩	-0.20203	0.08173	0.47743
変数25	下水	2.03854	0.54898	-0.86876	変数75	畑	0.19083	2.26623	-0.63592
変数26	空気	-0.72529	-0.44127	0.11588	変数76	糸電話	-0.46298	0.57328	1.06027
変数27	磁石(じしゃく)	-0.6168	-0.90208	1.34131	変数77	モンシロチョウ	2.23585	1.92245	0.88648
変数28	オオクワアリ	3.95482	0.10669	0.74684	変数78	受精	1.21155	1.54413	0.90327
変数29	ばねはかり	-1.0143	0.0031	1.42507	変数79	水さいばい	-0.20193	1.69516	-0.54092
変数30	種いも	-0.49464	1.98669	-0.33516	変数80	茎(くき)	-0.43897	2.26471	-0.50708
変数31	め花	-0.77712	2.09588	-0.21569	変数81	リニアモーターカー	0.11011	-1.43501	0.7051
変数32	天体望遠鏡	0.06495	-1.48498	-0.57003	変数82	野原	-0.10427	0.95332	-1.2609
変数33	土	-0.29044	0.87988	-0.61849	変数83	銅(どう)	-0.26774	-0.6329	1.03151
変数34	メスシリンダー	-0.62926	0.67696	0.58699	変数84	日時計	-0.28872	-0.68133	-0.20095
変数35	かいちゅう電とう	-0.28731	-0.18091	1.60536	変数85	さなぎ	3.42415	1.40323	1.97306
変数36	セロハンテープ	-0.17317	0.31194	-0.29798	変数86	食物のつながり	0.06348	0.92236	0.07215
変数37	おもり	-0.84673	-0.16512	2.15359	変数87	毛虫	4.76638	0.48487	2.48467
変数38	水	-0.33731	-0.89188	-0.40983	変数88	カッター	0.05117	-0.43485	1.76384
変数39	風	-0.36233	-0.44854	-0.80383	変数89	夏の大三角	-0.63387	-0.3012	-0.89923
変数40	カメ	3.52521	-0.17866	0.69117	変数90	気管(きかん)	0.82951	0.30968	0.03625
変数41	成長	0.45338	0.57128	-0.56069	変数91	食塩	-0.79928	0.94115	0.17225
変数42	ろか	-0.06006	0.28833	1.07198	変数92	かがみ	-0.32808	-0.68448	-0.62364
変数43	ほね	2.41527	-0.66884	-0.8182	変数93	方位磁針(ほういじしん)	-0.74336	-0.22803	1.1767
変数44	ギンヤンマ	3.90387	0.68947	1.35048	変数94	エビ	1.8893	0.88912	0.25315
変数45	電流	-0.35964	-1.02518	1.35585	変数95	しも柱	-0.12286	-0.34384	-1.37738
変数46	スチールウール	-0.72318	-0.02206	1.37498	変数96	水よう液	-0.24333	0.33957	0.40425
変数47	葉	-0.80455	1.25525	-0.85077	変数97	フラスコ	-0.65974	0.20289	0.74768
変数48	アサガオ	-0.55364	1.56354	-0.69606	変数98	中性	-0.46023	0.29387	0.09602
変数49	日光	-0.43419	-0.42799	-1.53574	変数99	黒点(こくてん)	0.23102	-0.86773	-1.35504
変数50	雨水	-0.09051	0.01102	-1.11968	変数100	草	-0.26141	1.71097	-1.11532

表4 児童の好きグループにおける各軸の固有値、累積寄与率

	固有値	累積寄与率
第Ⅰ軸	0.05103	0.0948
第Ⅱ軸	0.04592	0.1801
第Ⅲ軸	0.02372	0.2241

軸の命名について

軸を命名していく上で、数値のうち-1.0以下、あるいは、1.0以上の値を中心にしてみていくと、図の第Ⅰ軸では、正の方向に「3 あおむし」「87 毛虫」「28 オオクロアリ」「44 ギンヤンマ」などがあり、第Ⅰ軸は、「動くもの-動かないもの」の軸と命名した。

第Ⅱ軸は正の方向に「54 花だん」「72 シロツメクサ」「75 畑」「80 茎」などが、負の方向には「32 天体望遠鏡」「81 リニアモーターカー」「56 火山」「16 雪」などがあることから、第Ⅱ軸は、「生物-無生物」の軸と命名した。

第Ⅲ軸は正の方向に「37 おもり」「52 乾電池」「88 カッター」「21 体積」などが、負の方向には「70 月」「22 雲」「49 日光」「24 羽」などがあることから、第Ⅲ軸は、「直接観察・実験したもの-話だけで観察・実験していないもの」の軸と命名した。

これらの軸の命名をまとめてみると次のようになる。

第Ⅰ軸 (動くもの \leftrightarrow 動かないもの)

第Ⅱ軸 (生物 \leftrightarrow 無生物)

第Ⅲ軸 (直接観察・実験したもの \leftrightarrow 話だけで観察・実験していないもの)

このイメージ構造を模式的に表したものが、次の図1である。

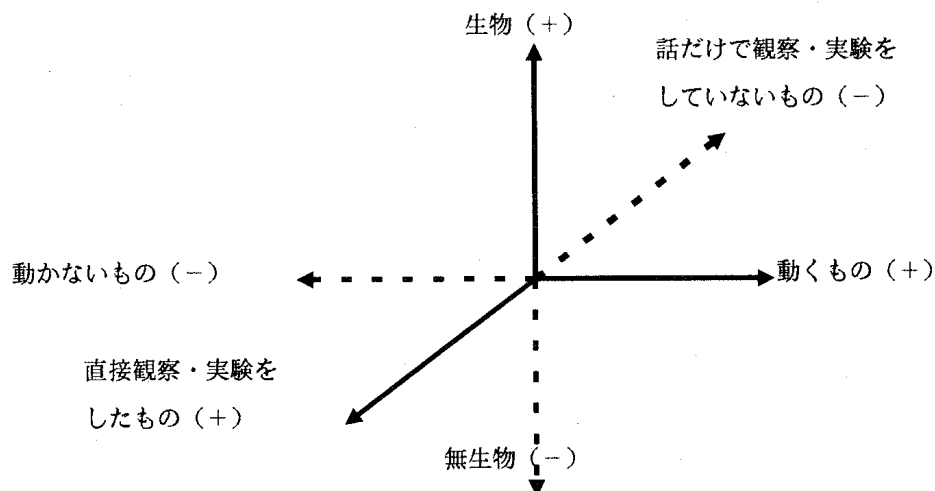


図1 児童の好きグループの観察・実験したい対象に対するイメージ構造のモデル

各空間は、次のように意味づけられる。

空間1 : (動くもの) : (生物) : (直接観察・実験したもの)

空間2 : (動くもの) : (生物) : (話だけで観察・実験していないもの)

- 空間3：（動くもの）：（無生物）：（直接観察・実験したもの）
空間4：（動くもの）：（無生物）：（話だけで観察・実験していないもの）
空間5：（動かないもの）：（生物）：（直接観察・実験したもの）
空間6：（動かないもの）：（生物）：（話だけで観察・実験していないもの）
空間7：（動かないもの）：（無生物）：（直接観察・実験したもの）
空間8：（動かないもの）：（無生物）：（話だけで観察・実験していないもの）

好嫌度の高いグループの児童は、「観察・実験したい対象」をこの各空間の中でとらえていると考えられる。

次に児童の嫌いグループの全体像であるが、次の表5、表6は、数量化第Ⅲ類で得られた第Ⅲ軸までの値と固有値と累積寄与率である。

表5 児童の嫌いグループにおける各軸の説明アイテムとウェイト

	観察・実験したい対象	第I軸	第II軸	第III軸		観察・実験したい対象	第I軸	第II軸	第III軸
変数1	試験管	-0.82698	-0.51766	0.76146	変数51	インゲンマメ	-0.68346	2.01999	-0.16991
変数2	血管	2.93969	-0.69676	-1.06903	変数52	乾電池	-0.50751	-0.89262	2.01443
変数3	あおむし	5.03403	0.5103	2.27985	変数53	溶け方(とけかた)	-0.30767	-0.15748	0.43731
変数4	百葉箱(ひやくようばこ)	-0.44309	0.15992	0.29928	変数54	花だん	-0.5355	2.3662	-0.80113
変数5	呼吸	0.33168	0.13978	-0.74097	変数55	クレーター	0.31753	-0.9449	-1.23366
変数6	色	-0.58196	-0.647	-0.36959	変数56	火山	0.42619	-1.43085	-1.11056
変数7	ふりこ	-0.70763	-0.55893	1.29643	変数57	ベニシダ	1.24602	1.56829	-0.67287
変数8	心ぞう	2.81698	-1.10241	-1.21978	変数58	えき体	-0.40811	-0.29963	0.35209
変数9	ジャガイモ	-0.51294	0.59998	0.04809	変数59	肥料(ひりょう)	-0.32784	1.82851	-0.08877
変数10	めしべ	-0.72668	1.70526	0.06829	変数60	太陽の高さ	-0.13597	-1.12965	-0.65058
変数11	速さ	-0.05567	-1.02063	0.72307	変数61	しお水	-0.61916	0.44434	-0.79642
変数12	方位	-0.50783	-0.44586	0.75368	変数62	きょうりゅう	0.41035	-1.10631	-1.01913
変数13	酸性	0.21499	-0.75704	0.37995	変数63	球根(きゅうこん)	-0.54091	1.53838	0.02968
変数14	触角(しよっかく)	2.22353	0.13018	-0.36064	変数64	光電池	-0.18136	-1.29592	1.42345
変数15	太陽	0.1811	-0.95387	-1.34014	変数65	泡(あわ)	-0.25524	-0.09066	-0.90126
変数16	雪	0.14265	-1.31504	-1.09755	変数66	北斗七星	-0.42087	-0.61825	-1.39485
変数17	発熱	-0.37956	-0.4571	0.69894	変数67	ごだま	0.18499	-0.045	-0.26914
変数18	金ぞく	-0.28402	-0.87833	1.55408	変数68	力点(りきてん)	-0.60812	0.57328	-1.17747
変数19	沸騰(ふつとう)	-0.40061	0.2808	0.51255	変数69	快晴(かいせい)	-0.37242	0.08044	-0.86528
変数20	田	0.16945	1.84888	-0.82103	変数70	月	-0.05053	-1.15223	-1.56818
変数21	体積	-0.60226	0.81146	1.64923	変数71	じょう発	-0.70019	0.1339	0.56931
変数22	雲	0.03858	-1.18597	-1.53439	変数72	シロツメクサ	0.18084	2.31533	-0.9293
変数23	力	-0.35032	-0.82182	0.62204	変数73	種子	-0.07642	2.10211	-0.53338
変数24	羽(はね)	0.28192	-1.01301	-1.45417	変数74	たいせき岩	-0.20203	0.08173	0.47743
変数25	下水	2.03854	0.54898	-0.86876	変数75	畑	0.19083	2.26623	-0.63592
変数26	空気	-0.72529	-0.44127	0.11588	変数76	糸電話	-0.46298	0.57328	1.06027
変数27	磁石(じしゃく)	-0.6168	-0.90208	1.34131	変数77	モンシロチョウ	2.23585	1.92245	0.88648
変数28	オオクロアリ	3.95482	0.10669	0.74684	変数78	受精	1.21155	1.54413	0.90327
変数29	ばね(はかり)	-1.0143	0.0031	1.42507	変数79	水さいばい	-0.20193	1.69516	-0.54092
変数30	種いも	-0.49464	1.98669	-0.33516	変数80	莖(くき)	-0.43897	2.26471	-0.50708
変数31	め花	-0.77712	2.09588	-0.21569	変数81	リニアモーターカー	0.11011	-1.43501	0.7051
変数32	天体望遠鏡	0.06495	-1.48498	-0.57003	変数82	野原	-0.10427	0.95332	-1.2609
変数33	土	-0.29044	0.87988	-0.61849	変数83	銅(どう)	-0.26774	-0.6329	1.03151
変数34	メスシリンダー	-0.62926	0.67696	0.58699	変数84	日時計	-0.28872	-0.68133	-0.20095
変数35	かいちゆう電とう	-0.28731	-0.18091	1.60536	変数85	さなぎ	3.42415	1.40323	1.97306
変数36	セロハンテープ	-0.17317	0.31194	-0.29798	変数86	食物のつながり	0.06348	0.92236	0.07215
変数37	おもり	-0.84673	-0.16512	2.15359	変数87	毛虫	4.76638	0.48487	2.48467
変数38	水	-0.33731	-0.89188	-0.40983	変数88	カッター	0.05117	-0.43485	1.76384
変数39	風	-0.36233	-0.44854	-0.80383	変数89	夏の大三角	-0.63387	-0.3012	-0.89923
変数40	カメ	3.52521	-0.17866	0.69117	変数90	気管(きかん)	0.82951	0.30968	0.03625
変数41	成長	0.45338	0.57128	-0.56069	変数91	食塩	-0.79928	0.94115	0.17225
変数42	ろか	-0.06006	0.28833	1.07198	変数92	かがみ	-0.32808	-0.68448	-0.62364
変数43	ばね	2.41527	-0.66884	-0.8182	変数93	方位磁針(ほういじしん)	-0.74336	-0.22803	1.1767
変数44	ギンヤンマ	3.90387	0.68947	1.35048	変数94	エビ	1.8893	0.88912	0.25315
変数45	電流	-0.35964	-1.02518	1.35585	変数95	しも柱	-0.12286	-0.34384	-1.37738
変数46	スチールウール	-0.72318	-0.02206	1.37498	変数96	水よう液	-0.24333	0.33957	0.40425
変数47	葉	-0.80455	1.25525	-0.85077	変数97	フラスコ	-0.65974	0.20289	0.74768
変数48	アサガオ	-0.55364	1.56354	-0.69606	変数98	中性	-0.46023	0.29387	0.09602
変数49	日光	-0.43419	-0.42799	-1.53574	変数99	黒点(こくてん)	0.23102	-0.86773	-1.35504
変数50	雨水	-0.09051	0.01102	-1.11968	変数100	草	-0.26141	1.71097	-1.11532

表6 児童の嫌いグループにおける各軸の固有値、累積寄与率

	固有値	累積寄与率
第I軸	0.11391	0.0936
第II軸	0.08645	0.1647
第III軸	0.06801	0.2206

軸の命名

今回も、数値のうち-1.0以下、あるいは、1.0以上の値を中心にしてみると、の第I軸では、正の方向に「43 ほね」「14 触角」「28 オオクロアリ」「40 カメ」などがあり、負の方向には「51 インゲンマメ」「98 中性」「97 フラスコ」「31 め花」などがあることから、

第Ⅰ軸は、「動くー動かないもの」の軸と命名した。

第Ⅱ軸は正の方向に「87 毛虫」「77 モンシロチョウ」「85 さなぎ」「54 花だん」などが、負の方向には「18 金属」「52 乾電池」「68 力点」「64 光電池」などがあることから、第Ⅱ軸は、「生物ー無生物」の軸と命名した。

第Ⅲ軸は正の方向に「87 毛虫」「77 モンシロチョウ」「85 さなぎ」「44 ギンヤマ」などが、負の方向には「2 血管」「8 心臓」「55 クレーター」「42 ろか」などがあることから、第Ⅲ軸は、「身近な用語ー身近でない用語」の軸と命名した。ただし、「3 あおむし」「25 下水」は他のカテゴリーと大きく離れているので解釈に入れなかった。

これらの軸の命名をまとめてみると次のようになる。

第Ⅰ軸 (動くもの \leftrightarrow 動かないもの)

第Ⅱ軸 (生物 \leftrightarrow 無生物)

第Ⅲ軸 (身近な用語 \leftrightarrow 身近でない用語)

このイメージ構造を模式的に表したものが、次の図2である。

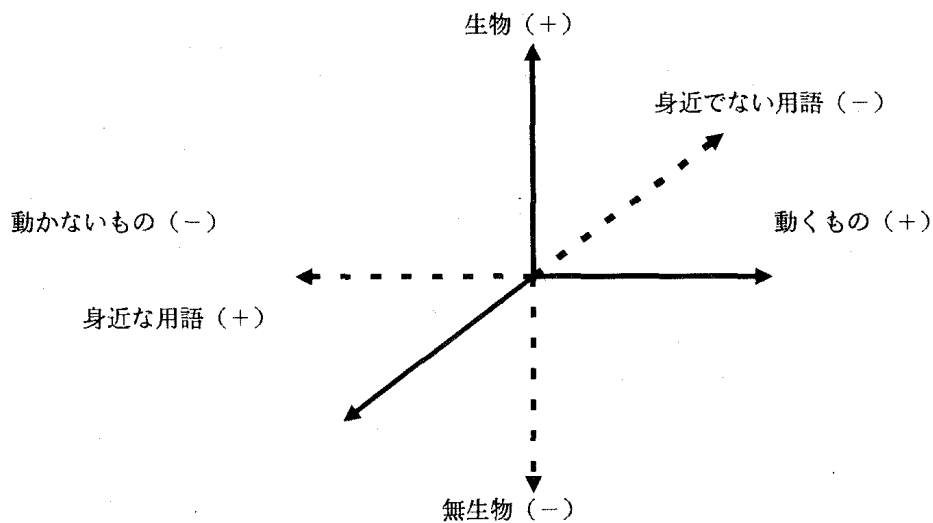


図2 児童の嫌いグループの観察・実験したい対象に対するイメージの構造モデル

各空間は、次のように意味づけられる。

空間1：(動くもの)：(生物)：(身近な用語)

空間2：(動くもの)：(生物)：(身近でない用語)

空間3：(動くもの)：(無生物)：(身近な用語)

空間4：(動くもの)：(無生物)：(身近でない用語)

空間5：(動かないもの)：(生物)：(身近な用語)

空間6：(動かないもの)：(生物)：(身近でない用語)

空間7：(動かないもの)：(無生物)：(身近な用語)

空間8：(動かないもの)：(無生物)：(身近でない用語)

好嫌度の低いグループの児童は、「観察・実験したい対象」をこの各空間の中でとらえていると考えられる。

さらに各空間への児童の散らばり具合を詳しく調べるために各空間に入る児童の人数を調べ、 χ^2 検定をおこなうとともに連関係数を求めた。その結果が次の表7、表8である。

表7 各空間に属する好きグループの児童の人数と割合

空間	第I軸 +				第I軸 -			
	第II軸 +		第II軸 -		第II軸 +		第II軸 -	
	第III軸 +	第III軸 -	第III軸 +	第III軸 -	第III軸 +	第III軸 -	第III軸 +	第III軸 -
人数	23	60	27	35	39	34	24	52
割合	7.82	20.41	9.18	11.90	13.27	11.56	8.16	17.69

自由度 $df = 7$ $\chi^2_{0.01} = 18.48$ $\chi^2_0 = 33.62$

$\chi^2_{0.01} < \chi^2_0 = 33.62$ ** $p < 0.01$

1パーセントで有意差が認められ、また連関係数は0.32であった。

表8 各空間に属する嫌いグループの児童の人数と割合

空間	第I軸 +				第I軸 -			
	第II軸 +		第II軸 -		第II軸 +		第II軸 -	
	第III軸 +	第III軸 -	第III軸 +	第III軸 -	第III軸 +	第III軸 -	第III軸 +	第III軸 -
人数	6	2	20	8	9	4	11	11
割合	8.45	2.82	28.17	11.27	12.68	5.63	15.49	15.49

(イエーツの修正済み)

自由度 $df = 7$ $\chi^2_{0.01} = 18.48$ $\chi^2_0 = 20.71$

$\chi^2_{0.01} < \chi^2_0 = 20.71$ ** $p < 0.01$

0.1パーセントで有意差が認められ、また連関係数は0.47であった。

以上のことから理科が好きな児童は表4-1より第III軸の負の空間に偏っている。つまり理科が好きな児童は「観察・実験したい対象」として「話だけで観察・実験していないもの」を好むと考えられる。自分の知らないものに対する知的好奇心が旺盛で知らないものに反応しているためと考えられる。特に空間2の「動くもの・生物・話だけで観察・実験していないもの」という条件を満たすものを観察・実験の対象にすることで今まで以上に、理科好きにすることが可能であると考える。

また、理科が嫌いな児童は第II軸の負、第III軸の正の空間に偏っている。このことは「観察・実験したい対象」として「無生物」や「身近な用語」の条件を満たすものを好んでいると考えられる。そのためにこれらの条件を満たすような観察・実験を対象にすることで意欲的に取り組み、理科に対して興味・関心が高くなり理科好き育成につながると思う。特に「動くもの・身近な用語・無生物」という条件を満たすものが効果が大きいと考える。

また、連関係数が理科好きグループよりも嫌いグループの方が大きいため、嫌いグループの方が、上記の解釈を基に観察・実験の対象を選択することは理科嫌いの児童の興味・関心を理科に向けさせることに効果的と考える。

児童の理解度と観察・実験したい対象

児童の理解度によって分類されたグループにおける「観察・実験したい対象」の構造を明らかにするために、数量化第Ⅲ類を使用して分析をした。その結果が次の表9が得られた。

はじめに、児童の理解度の高いグループの全体像であるが、次の表10は、数量化第Ⅲ類で得られた第Ⅲ軸までの値と固有値と累積寄与率である。

表9 児童の理解の高いグループにおける各軸の説明アイテムとウェイト

	観察・実験したい対象	第Ⅰ軸	第Ⅱ軸	第Ⅲ軸		観察・実験したい対象	第Ⅰ軸	第Ⅱ軸	第Ⅲ軸
変数1	試験管	-0.54613	-0.53694	-0.28027	変数51	インゲンマメ	-1.42832	1.62549	0.28168
変数2	血管	3.04094	-0.14228	2.09961	変数52	乾電池	-0.41768	-1.1051	-2.17428
変数3	あおむし	3.22805	2.60541	-1.21394	変数53	溶け方(とけかた)	-0.21461	-0.28217	-0.34566
変数4	百葉箱(ひやくようばこ)	-0.71638	-0.04195	0.18886	変数54	花だん	-1.47401	1.95781	0.8242
変数5	呼吸	-0.08979	-0.18175	0.61093	変数55	クレーター	0.64652	-0.93163	0.57229
変数6	色	-0.38321	-0.60721	0.77452	変数56	火山	1.04993	-1.17897	0.58611
変数7	ふりこ	-0.55209	-0.76013	-0.69989	変数57	ベニシダ	0.46262	1.77492	-0.11639
変数8	心ぞう	3.14997	-0.57893	1.77399	変数58	えき体	-0.18885	-0.20967	-0.63736
変数9	ジャガイモ	-0.98027	0.45294	-0.03698	変数59	肥料(ひりょう)	-0.88081	1.46067	0.61875
変数10	めしべ	-1.19299	1.17615	0.36577	変数60	太陽の高さ	0.19818	-1.07394	0.78253
変数11	速さ	0.3471	-1.15309	-0.84865	変数61	しお水	-0.70233	0.35204	-0.03764
変数12	方位	-0.22923	-0.61019	-0.35844	変数62	きょうりゅう	1.31113	-0.75118	1.25382
変数13	酸性	0.0663	-0.77555	-0.55574	変数63	球根(きゅうこん)	-1.05131	1.40051	0.37905
変数14	触角(しよっかく)	2.86525	0.30174	-0.30502	変数64	光電池	0.22961	-1.48532	-1.99299
変数15	太陽	0.55197	-0.88592	1.21338	変数65	泡(あわ)	-0.16543	-0.23332	0.63943
変数16	雪	0.6386	-0.93939	1.28362	変数66	北斗七星	-0.31102	-0.46033	0.64973
変数17	発熱	-0.05675	-0.78175	-0.68233	変数67	こだま	0.3228	0.04112	-0.10545
変数18	金ぞく	0.04759	-1.00321	-1.21596	変数68	力点(りきてん)	-0.596	-0.21951	-0.98688
変数19	沸騰(ふっとう)	-0.58161	0.03809	-0.36942	変数69	快晴(かいせい)	-0.15533	-0.10459	0.88988
変数20	田	-0.26694	1.75722	1.58461	変数70	月	0.3733	-1.07509	1.48071
変数21	体積	-0.75226	0.03219	-0.98297	変数71	じょう発	-0.8638	-0.17516	-0.36183
変数22	雲	0.69958	-0.87216	1.33455	変数72	シロツメクサ	-0.30267	2.41138	1.15988
変数23	力	0.34122	-0.81409	0.0371	変数73	種子	-0.78993	1.61252	0.52196
変数24	羽(はね)	0.93438	-0.74158	1.78923	変数74	たいせき岩	-0.02875	-0.04237	-0.29235
変数25	下水	1.5913	1.35754	-0.11153	変数75	畑	-0.6122	1.90219	1.07076
変数26	空気	-0.52531	-0.62871	0.05876	変数76	糸電話	-0.26598	0.43189	-0.95798
変数27	磁石(じしゃく)	-0.38308	-0.92759	-1.79011	変数77	モンシロチョウ	1.03181	2.97916	-2.08039
変数28	オオクワアリ	4.21336	2.03163	-1.61681	変数78	受精	0.83519	2.08534	-0.50884
変数29	ばねはかり	-0.7591	-0.49967	-1.22668	変数79	水さいばい	-0.52173	1.24823	0.53628
変数30	種いも	-1.26443	1.38265	0.32541	変数80	茎(くき)	-1.05638	1.58273	0.92364
変数31	め花	-1.4251	1.41138	0.36615	変数81	リニアモーターカー	0.31616	-1.12989	-1.51056
変数32	天体望遠鏡	0.54267	-1.33536	-0.18905	変数82	野原	-0.46411	1.30115	0.92747
変数33	土	-0.81387	0.96912	0.57594	変数83	綱(どう)	-0.20343	-0.52028	-0.85839
変数34	メスシリンダー	-0.89352	0.3051	-0.34875	変数84	日時計	-0.00558	-0.53027	0.19368
変数35	かいちゅう電どう	-0.13394	-0.3884	-1.5397	変数85	さなぎ	1.94567	2.59953	-1.39102
変数36	ゼロハンテープ	-0.36904	0.1811	-0.0361	変数86	食物のつながり	-0.17021	1.03036	0.40477
変数37	おもり	-0.96646	-0.1523	-1.26143	変数87	毛虫	3.82366	2.00806	-1.92766
変数38	水	-0.11623	-0.68479	0.43045	変数88	カッター	-0.02308	-0.2247	-1.32932
変数39	風	-0.0797	-0.56454	0.94107	変数89	夏の大三角	-0.32766	-0.39153	0.46407
変数40	カメ	3.06048	1.65193	-1.08029	変数90	気管(きかん)	0.78564	0.21115	0.46099
変数41	成長	0.42209	0.53534	0.80821	変数91	食塩	-0.90612	0.57222	-0.01152
変数42	ろか	-0.21279	0.41256	-0.7426	変数92	かがみ	0.00561	-0.55688	0.66153
変数43	ほね	2.53856	-0.22512	2.12667	変数93	方位磁針(ほういじしん)	-0.57209	-0.33905	-0.44602
変数44	ギンヤンマ	3.20987	2.90832	-3.18067	変数94	エビ	1.85272	1.93295	-1.6978
変数45	電流	-0.26287	-1.10861	-1.72128	変数95	しも柱	0.22184	-0.15595	1.19961
変数46	スチールウール	-0.84716	-0.25143	-1.07435	変数96	水よう液	-0.42509	0.04928	-0.51919
変数47	葉	-1.2828	0.97903	0.80552	変数97	フラスコ	-0.79795	0.15553	-0.60872
変数48	アサガオ	-1.10596	1.14057	0.68504	変数98	中性	-0.55458	0.03104	0.05067
変数49	日光	-0.26686	-0.59054	1.13885	変数99	黒点(こくてん)	0.59918	-0.87682	0.60839
変数50	雨水	-0.06381	-0.06718	1.01199	変数100	草	-1.02207	1.88397	0.71435

表10 児童の理解度の高いグループにおける各軸の固有値、累積寄与率

	固有値	累積寄与率
第Ⅰ軸	0.05492	0.093
第Ⅱ軸	0.04892	0.1758
第Ⅲ軸	0.02553	0.219

軸の解釈

好嫌度と同様の視点で解釈を行った。図の第Ⅰ軸では、正の方向に「28 オオクロアリ」「87 毛虫」「44 ギンヤンマ」「3 あおむし」などがあり、負の方向には「54 花だん」「51 インゲンマメ」「31 め花」「47 葉」などがあることから、第Ⅰ軸は、「動くもの←動かないもの」の軸と命名した。

第Ⅱ軸は正の方向に「77 モンシロチョウ」「44 ギンヤンマ」「85 さなぎ」「3 あおむし」などが、負の方向には「64 光電池」「32 天体望遠鏡」「56 火山」「11 速さ」などがあることから、第Ⅱ軸は、「生物←無生物」の軸と考えられる。

第Ⅲ軸は正の方向に「24 羽」「20 田」「70 月」「22 雲」などが、負の方向には「44 ギンヤンマ」「52 乾電池」「77 モンシロチョウ」「64 光電池」などがあることから、第Ⅲ軸は、「直接観察・実験をしたもの←話だけで直接観察・実験をしていないもの」の軸と命名した。

これらの軸の解釈をまとめてみると次のようになる。

第Ⅰ軸 (動くもの←→動かないもの)

第Ⅱ軸 (生物←→無生物)

第Ⅲ軸 (直接観察・実験をしたもの←→話だけで直接観察・実験をしていないもの)

このイメージ構造を模式的に表したものが、次の図3である。

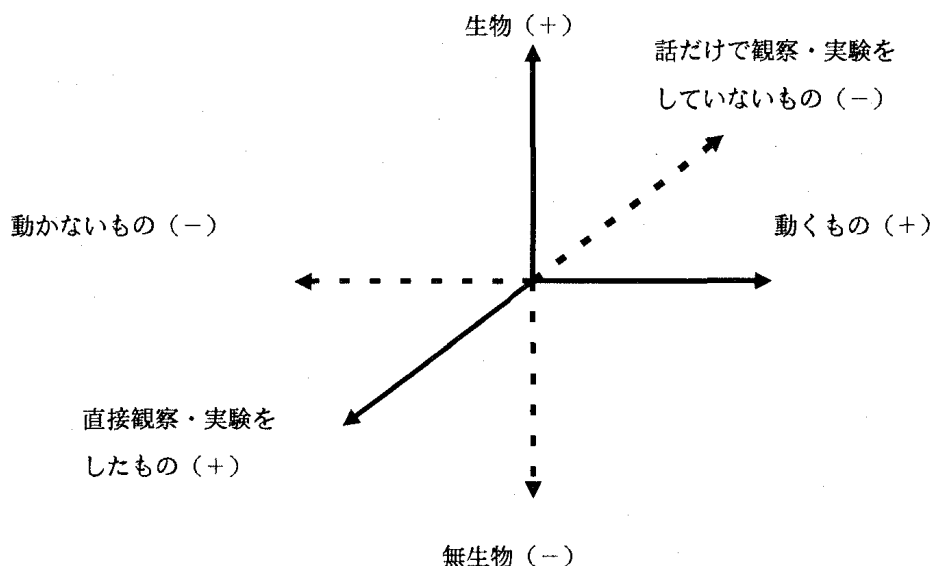


図3 児童の理解度の高いグループの観察・実験したい対象に対するイメージの構造モデル

各空間は、次のように意味づけられる。

- 空間1：（動くもの）：（生物）：（直接観察・実験したもの）
- 空間2：（動くもの）：（生物）：（話だけで観察・実験していないもの）
- 空間3：（動くもの）：（無生物）：（直接観察・実験したもの）
- 空間4：（動くもの）：（無生物）：（話だけで観察・実験していないもの）
- 空間5：（動かないもの）：（生物）：（直接観察・実験したもの）
- 空間6：（動かないもの）：（生物）：（話だけで観察・実験していないもの）
- 空間7：（動かないもの）：（無生物）：（直接観察・実験したもの）
- 空間8：（動かないもの）：（無生物）：（話だけで観察・実験していないもの）

理解度の高いグループの児童は、「観察・実験したい対象」をこの各空間の中でとらえていると考えられる。

次に児童の理解度の低いグループの全体像であるが、次の表11、表12は、数量化第Ⅲ類で得られた第Ⅲ軸までの値と固有値と累積寄与率である。

表11 児童の理解度の低いグループの各軸における説明アイテムとウェイト

	観察・実験したい対象	第I軸	第II軸	第III軸		観察・実験したい対象	第I軸	第II軸	第III軸
変数1	試験管	-0.21727	-0.47809	-0.13139	変数51	インゲンマメ	-2.18159	1.53843	0.18552
変数2	血管	2.69333	1.21195	-2.29808	変数52	乾電池	-0.77143	-1.9965	0.44601
変数3	あおむし	2.33509	0.72838	7.18055	変数53	溶け方(とけかた)	-0.24794	-0.12153	-0.84884
変数4	百葉箱(ひやくようばこ)	-1.10462	-0.58625	-1.138	変数54	花だん	-1.13779	2.3556	1.15286
変数5	呼吸	-0.35807	-0.10978	-0.85368	変数55	クレーター	1.32306	-0.86164	-1.52276
変数6	色	0.4281	0.16486	-0.70986	変数56	火山	0.94657	-0.70875	-0.41822
変数7	ふりこ	0.10598	-1.07936	1.68179	変数57	ベニシダ	-0.66531	1.61559	1.48587
変数8	心ぞう	2.44629	1.46211	-1.61712	変数58	えき体	-0.31678	-0.42862	0.12004
変数9	ジャガイモ	-0.94703	0.70615	-0.34061	変数59	肥料(ひりょう)	-0.87908	2.00025	0.26227
変数10	めしべ	-1.19134	0.76002	-0.54388	変数60	太陽の高さ	0.38768	-0.09583	-0.17018
変数11	連さ	0.51853	-1.24832	0.82599	変数61	しお水	-1.14976	0.16041	-0.62972
変数12	方位	-0.10568	-0.63609	-0.23259	変数62	きょうりゆう	1.48404	-0.48258	0.0578
変数13	酸性	-0.66631	-0.76604	-0.68889	変数63	球根(きゅうこん)	-1.17195	1.02124	-0.04569
変数14	触角(しゅかく)	2.9281	0.71898	1.39585	変数64	光電池	-0.4201	-1.76393	0.71746
変数15	太陽	0.62902	-0.06213	-0.18514	変数65	泡(あわ)	-0.06012	0.21924	-0.54463
変数16	雪	1.03288	-0.00936	0.10496	変数66	北斗七星	1.02011	0.63218	-0.68123
変数17	発熱	-0.47744	-1.03207	0.47297	変数67	こだま	0.2953	-0.7155	-0.14439
変数18	金ぞく	-0.37207	-2.41241	1.44608	変数68	力点(りきてん)	-0.86829	-1.90935	0.43157
変数19	沸騰(ふつとう)	-0.6127	0.13116	-0.12203	変数69	快晴(かいせい)	-0.44184	0.13346	0.17339
変数20	田	-0.20397	2.02602	1.34591	変数70	月	0.96242	0.01771	-0.82211
変数21	体積	0.13803	-1.30368	1.06032	変数71	じょう発	-0.9669	-0.18981	-1.14536
変数22	雲	0.80981	-0.11654	-0.04356	変数72	シロツメクサ	-1.01421	2.30334	0.47206
変数23	力	0.66512	-0.78991	0.57421	変数73	種子	-1.16984	1.62447	-0.06502
変数24	羽(はね)	1.98248	0.60235	0.25238	変数74	たいせき岩	0.01502	-0.44007	-0.93486
変数25	下水	0.43918	-0.86772	5.7629	変数75	畑	-1.45188	1.56867	-0.25315
変数26	空気	0.24935	-0.29845	-0.55235	変数76	糸電話	0.25639	-0.42931	0.77392
変数27	磁石(じしゃく)	-0.33812	-1.52908	-0.39448	変数77	モンシロチョウ	0.15334	2.76598	2.69523
変数28	オオクロアリ	2.86557	0.98261	2.01822	変数78	受精	0.38467	0.58737	0.26057
変数29	ばねばかり	-0.99355	-0.94846	-0.00813	変数79	水さいばい	-1.30944	1.69794	-0.40266
変数30	種いも	-1.20057	1.25791	0.02675	変数80	茎(くき)	-1.60665	1.29631	-0.29716
変数31	め花	-1.27509	0.93542	-0.33118	変数81	リニアモーターカー	-0.13664	-1.03593	1.51846
変数32	天体望遠鏡	0.88871	-0.12012	-0.86691	変数82	野原	-0.57265	1.74942	0.45666
変数33	土	-0.91288	1.40165	0.09323	変数83	鯛(どう)	-1.12284	-1.38775	0.66508
変数34	メスシリンダー	-1.19932	0.22484	0.02602	変数84	日時計	0.18763	-0.05155	0.25069
変数35	かいちゆう電とう	-0.61708	-0.72596	0.97705	変数85	さなぎ	0.56428	2.74083	2.86678
変数36	セロハンテープ	-0.71751	-0.1474	1.20136	変数86	食物のつながり	-0.28656	1.48033	-0.24268
変数37	おもり	-1.01318	-0.15853	0.1795	変数87	毛虫	1.32135	3.06149	4.86595
変数38	水	-0.12139	-0.16676	-0.57866	変数88	カッター	0.21776	-1.58806	1.14497
変数39	風	0.59204	-0.34268	-0.39109	変数89	夏の大三角	0.63599	0.5209	-1.22067
変数40	カメ	2.64419	0.42865	0.51433	変数90	気管(きかん)	-0.36382	-0.59318	0.3163
変数41	成長	0.9066	1.45033	-0.70018	変数91	食塩	-0.66063	-0.23143	-0.82142
変数42	ろか	-0.86465	-0.05706	-2.01178	変数92	かがみ	0.18883	0.03622	-0.10693
変数43	ほね	3.33041	0.2941	-0.72285	変数93	方位磁針(ほういじしん)	-0.32765	-1.10305	0.17067
変数44	ギンヤンマ	-0.11245	1.99961	1.87211	変数94	エビ	1.26258	0.23623	1.25772
変数45	電流	-0.70043	-1.78467	0.33758	変数95	しも柱	-0.04286	0.59899	-0.56553
変数46	スチールウール	-1.34423	-1.7304	0.16307	変数96	水よう液	-1.3673	-0.79298	-0.35701
変数47	葉	-1.36244	1.62403	0.39169	変数97	フラスコ	-1.54362	-0.46955	-0.11654
変数48	アサガオ	-0.83794	1.01927	-0.20275	変数98	中性	-1.38483	-0.25499	-0.55067
変数49	日光	0.28903	-0.64314	-0.175	変数99	黒点(こくてん)	1.03382	0.23387	-0.78399
変数50	雨水	0.26114	0.00598	-0.62753	変数100	葎	-0.85605	1.02	1.52118

表12 児童の理解度の低いグループにおける各軸の固有値、累積寄与率

	固有値	累積寄与率
第I軸	0.1109	0.0898
第II軸	0.08359	0.1576
第III軸	0.06561	0.2107

第I軸では、正の方向に「43 ほね」「14 触角」「28 オオクロアリ」「40 カメ」などがあり、負の方向には「51 インゲンマメ」「80 茎」「97 フラスコ」「75 畑」などがあることから、第I軸は、「動くもの-動かないもの」の軸と命名した。

第II軸は正の方向に「87 毛虫」「77 モンシロチョウ」「85 さなぎ」「54 花だん」な

どが、負の方向には「18 金ぞく」「52 乾電池」「68 力点」「45 電流」などがあることから、第Ⅱ軸は、「生物—無生物」の軸と命名した。

第Ⅲ軸は正の方向に「3 あおむし」「25 下水」「87 毛虫」「85 さなぎ」などが、負の方向に「2 血管」「42 ろか」「8 心ぞう」「55 クレーター」などがあることから、第Ⅲ軸は、「身近な用語—身近でない用語」の軸と命名した。

これらの軸の解釈をまとめてみると次のようになる。

- 第Ⅰ軸 (動くもの \leftrightarrow 動かないもの)
- 第Ⅱ軸 (生物 \leftrightarrow 無生物)
- 第Ⅲ軸 (身近な用語 \leftrightarrow 身近でない用語)

このイメージ構造を模式的に表したものが、次の図4である。

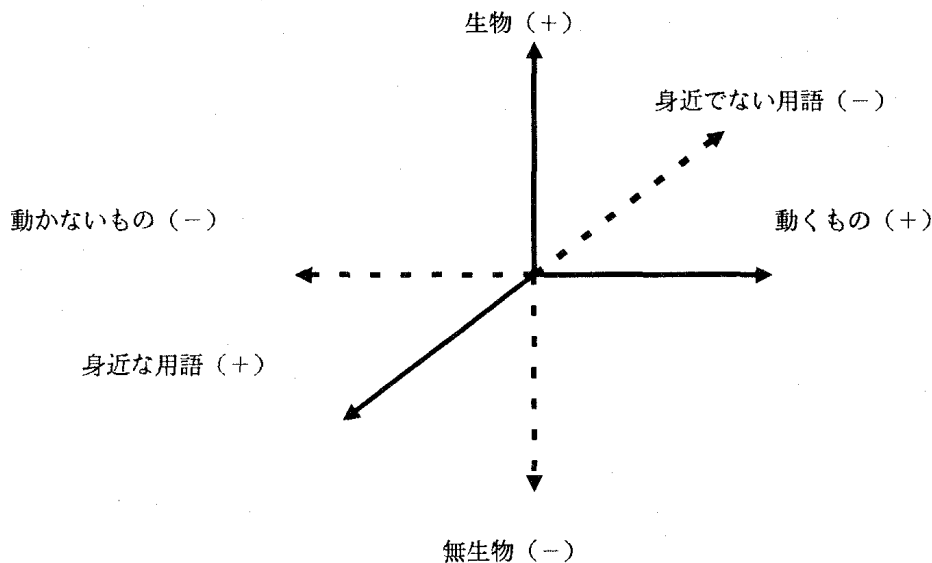


図4 児童の理解度の低いグループの観察・実験したい対象に対するイメージの構造モデル

各空間は、次のように意味づけられる。

- 空間1：(動くもの)：(生物)：(身近な用語)
- 空間2：(動くもの)：(生物)：(身近でない用語)
- 空間3：(動くもの)：(無生物)：(身近な用語)
- 空間4：(動くもの)：(無生物)：(身近でない用語)
- 空間5：(動かないもの)：(生物)：(身近な用語)
- 空間6：(動かないもの)：(生物)：(身近でない用語)
- 空間7：(動かないもの)：(無生物)：(身近な用語)
- 空間8：(動かないもの)：(無生物)：(身近でない用語)

理解度の低いグループの児童は、「観察・実験したい対象」をこの各空間の中でとらえていると考えられる。

同じく各空間への児童の散らばり具合を詳しく調べるために各空間に入る児童の人数を調べ、 χ^2 検定をおこなうとともに連関係数を求めた。その結果が次の表13である。なお、理解度の低いグループにおける分析については該当する児童の人数が、少ないために分析を行わなかった。

表13 各空間に属する理解度の高いグループの児童の人数と割合

空間	第I軸 +				第I軸 -			
	第II軸 +		第II軸 -		第II軸 +		第II軸 -	
	第III軸 +	第III軸 -	第III軸 +	第III軸 -	第III軸 +	第III軸 -	第III軸 +	第III軸 -
人数	17	63	35	37	46	42	20	61
割合	5.30	19.63	10.90	11.53	14.33	13.08	6.23	19.00

自由度 $df = 7$ $\chi^2_{0.01} = 18.48$ $\chi^2_0 = 49.16$

$\chi^2_{0.01} < \chi^2_0 = 49.16$ ** $p < 0.01$

1パーセントで有意差が認められ、また連関係数は0.36であった。

以上のことから理科が理解できている児童は第II軸の負の空間に偏っている。理科がよく理解できている児童は「観察・実験したい対象」して「無生物」、「話だけで観察・実験していないもの」という条件を満たすものを好むと考えられる。好嫌度の場合と同様に自分の知らないものに対する知的好奇心が影響していることがひとつ考えられる。理科が理解できている児童には「無生物・話だけで観察・実験していないもの」という条件を満たすものを教材にし、観察・実験をしていくことで児童の知的好奇心を刺激することができ、今まで以上に理科に興味・関心を向けさせることができると考える。また、空間1、空間7については反応が低い。これは「直接観察・実験したもの」については「観察・実験したい対象」にしていないことである。これは一度観察・実験をしてしまえばそれで満足してしまうためだと考えられる。新しい問題（一つ上のレベルの知的好奇心）につながらないで、それで終わってしまっていることには問題が残ると考える。それだけで終わらずに次の問題を自ら見つけそれを解決するために積極的に取り組む態度を育成することが課題としてあげられる。

児童の観察・実験したい対象のまとめ

児童の観察・実験したい対象の分析をまとめと、以下ようになる。

- ① 理科が好きな児童は「観察・実験したい対象」として「話だけで観察・実験していないもの」を好む、これは自分の知らないものへの知的好奇心の現れであると考えられる。特に「動くもの・生物・話だけで観察・実験していないもの」という条件を満たすものは効果的である。
- ② 理科が嫌いな児童は「観察・実験したい対象」として「無生物」「身近な用語」の条件を満たすものを好み、この条件を満たすものを「観察・実験したい対象」とすることで理科好き育成につながると考える。

- ③ 理科が理解できている児童は好嫌度と同様に「観察・実験したい対象」として「話だけで観察・実験していないもの」を好む。
- ④ 理科が理解できている児童は「直接観察・実験したもの」が「観察・実験したい対象」とならない。これは一度経験してしまうと満足してしまい次の知的好奇心につながらない。
- ⑤ この解釈を基に観察・実験の対象を選択することは、連関係数が理科が好きグループよりも嫌いグループの方が大きいため理科嫌いの児童に興味・関心を理科に向けさせることに効果的である。

生徒の好嫌度と観察・実験したい対象

好嫌度の高いグループ

生徒の好嫌度においても小学校と同様の分析を行った。好嫌度の高いグループの全体像であるが、次の表14、表15は、数量化第Ⅲ類で得られた第Ⅲ軸までの値と固有値と累積寄与率である。

表14 生徒の好きグループにおける各軸の説明アイテムとウェイト

	観察・実験したい対象	第Ⅰ軸	第Ⅱ軸	第Ⅲ軸		観察・実験したい対象	第Ⅰ軸	第Ⅱ軸	第Ⅲ軸
変数1	恐竜類(きょうりゆうるい)	-1.16936	-0.80772	-0.54645	変数51	鳳	-0.85417	-0.46479	0.93239
変数2	楽器(がっき)	-0.72968	-0.83082	0.6539	変数52	火山活動	-0.93687	0.19973	0.88381
変数3	ほ乳類	-1.03728	0.75293	-1.29218	変数53	作用点	1.80508	0.56474	1.80534
変数4	電流計	1.67378	-0.66976	0.80824	変数54	プリズム	-0.21937	-0.75779	0.00618
変数5	アンモナイト	-1.25959	-0.56878	-1.21377	変数55	ペトリ皿(シャーレー)	0.94165	1.76711	-1.62525
変数6	ポンプ	0.30389	-0.20563	0.58933	変数56	力の大きさ	1.4835	-0.21977	2.03705
変数7	ファイバー・スコープ	-0.28247	-1.70526	-0.58044	変数57	火花	-0.43556	-0.86487	-0.04725
変数8	凸レンズ	0.77305	0.15353	0.93712	変数58	重力	0.82698	-0.09463	1.49095
変数9	うすい水酸化ナトリウム水溶液	1.32742	-0.46372	-1.91039	変数59	質量保存の法則	1.83315	0.17667	-0.51839
変数10	炎	-0.49212	-1.33975	-0.41124	変数60	イルカ	-1.28713	-0.65794	-1.42797
変数11	光合成(こうごうせい)	-0.15822	1.04757	-0.3644	変数61	エンジン	-0.50164	-1.98645	0.61772
変数12	塩化銅(えんかどう)	1.53197	-0.0567	-1.77378	変数62	この原理	0.78513	-0.15635	1.5762
変数13	酸素	0.63771	-0.05789	-0.99301	変数63	燃焼	0.77853	-0.35639	-0.62221
変数14	反射	0.36329	0.66413	1.2978	変数64	金	0.29887	-1.29201	-1.95337
変数15	断層(だんそう)	-1.08032	0.74134	0.97251	変数65	エタノール	1.43119	0.58432	-2.08653
変数16	河口付近	-0.92301	1.27157	1.35643	変数66	屈折	0.93648	1.02932	1.07679
変数17	トランシーバー	-0.55214	-1.8047	0.09034	変数67	太陽	-0.51175	-0.17786	0.0992
変数18	質量	2.2393	0.4784	0.35265	変数68	コイル	1.39052	-0.4847	1.21059
変数19	チャート	-0.56466	1.25048	0.04875	変数69	人体	-0.8562	0.16025	-1.50124
変数20	銀	0.25002	-0.58906	-1.47153	変数70	ソウ類	-0.72511	2.04502	-0.72488
変数21	六甲山	-1.45281	-0.04909	0.59163	変数71	海岸段丘(かいがんだんきゅう)	-1.07161	1.669	0.93139
変数22	化学式	1.9172	-0.02157	-1.16737	変数72	火花	-0.73071	-0.91522	-0.10173
変数23	ルーペ	0.348	0.73343	-0.27718	変数73	ゾウリムシ	-0.52849	1.8152	-1.19583
変数24	鉄粉	1.37465	0.68691	-1.60051	変数74	ジュールの法則	2.24234	0.17391	0.61472
変数25	テレビ	-0.78886	-1.99123	-0.03814	変数75	水	-0.30675	-0.07057	-0.00114
変数26	さび	0.72579	0.42793	-0.33908	変数76	衝突(しょうとつ)	-0.23555	-0.86895	1.32269
変数27	磁石	0.56372	-0.56684	0.87257	変数77	スポット	0.81589	0.96151	-0.26407
変数28	電流	1.60978	-0.66481	0.84159	変数78	放電(ほうでん)	0.05028	-1.23373	0.40348
変数29	回転	0.54804	-0.52513	1.85224	変数79	川	-1.1447	1.12632	0.21
変数30	顕微鏡(けんびきょう)	-0.38697	-0.16133	-0.63316	変数80	南極	-1.01038	-0.22176	-0.18823
変数31	でんぷん	0.1951	1.86621	-1.45442	変数81	電気分解	1.45857	-0.25576	-0.42796
変数32	丸底フラスコ	0.75395	0.87902	-0.90976	変数82	望遠鏡(ぼうえんきょう)	-0.64321	-1.00684	-0.21205
変数33	混合物	0.92977	0.58136	-1.31615	変数83	レンズ	0.88765	0.07564	0.89589
変数34	ろうそく	-0.12917	0.32996	-0.22604	変数84	アンモニア	1.25327	0.99471	-1.43124
変数35	海面	-1.51092	0.71807	0.73532	変数85	電力量	2.22584	0.03179	1.09564
変数36	たい積作用	-0.79621	1.66065	1.30846	変数86	両生類(りょうせいらい)	-1.01516	1.49545	-0.7334
変数37	プレート	-0.90513	0.27093	0.96469	変数87	貝	-1.04786	1.4842	-0.45706
変数38	フズリナ類	-1.65533	0.60835	-0.42239	変数88	節足動物(せつそくどうぶつ)	-1.00537	1.78479	-0.69106
変数39	人工衛星(じんこうえいせい)	-0.86418	-1.6412	-0.15341	変数89	発生	0.57329	0.26453	-0.05928
変数40	銅	1.59202	0.23612	-1.85437	変数90	熱	1.03015	-0.12992	0.66699
変数41	ブドウ糖	0.51011	1.53961	-1.30661	変数91	凍さ	1.29711	-0.38468	1.61912
変数42	海底山脈	-1.40474	-0.26252	0.81702	変数92	雨水	-0.6869	0.62781	0.73317
変数43	方位磁針	0.49951	0.29994	1.78266	変数93	流水	-0.46487	0.95877	0.44469
変数44	コンピュータ	-0.5539	-1.7878	-0.74296	変数94	試験管	1.19252	0.69314	-1.1919
変数45	プラスチック	0.27944	-0.60125	0.40904	変数95	目	-0.54203	0.57282	-0.21213
変数46	被子植物(ひしよくぶつ)	-0.11138	2.21031	-0.4987	変数96	しゅう曲	-0.36647	1.53756	1.13289
変数47	整合(せいこう)	-0.52694	1.83016	1.34614	変数97	E=IR	2.20014	-0.00143	0.79089
変数48	火山灰	-0.54225	1.47042	1.03416	変数98	発電機	1.46356	-0.91978	1.40739
変数49	地層	-0.89786	0.99314	1.29304	変数99	マンモス	-1.29725	-0.29301	-0.57149
変数50	電卓	0.50316	-1.65639	0.3354	変数100	豆電球	1.48841	-0.05406	1.04691

表15 生徒の好きグループにおける各軸の固有値、累積寄与率

	固有値	累積寄与率
第Ⅰ軸	0.10477	0.123
第Ⅱ軸	0.06753	0.2024
第Ⅲ軸	0.03577	0.2444

第Ⅰ軸では、正の方向に「18 質量」「74 ジュールの法則」「85 電力量」「97 E = I R」などがあり、負の方向には「38 フズリナ」「35 海面」「42 海底山脈」「21 六甲山」などがあることから、第Ⅰ軸は、「可逆-非可逆」の軸と命名した。

第Ⅱ軸は正の方向に「46 被子植物」「70 ソウ類」「31 でんぷん」「47 整合」などが、負の方向には「61 エンジン」「25 テレビ」「17 トランシーバー」「44 コンピューター」などがあることから、第Ⅱ軸は、「自然科学-技術」の軸と命名した。

第Ⅲ軸は正の方向に「56 力の大きさ」「53 作用点」「29 回転」「43 方位」などが、負の方向に「65 エタノール」「64 金」「9 うすい水酸化ナトリウム水溶液」「40 銅」などがあることから、第Ⅲ軸は、「抽象-具象」の軸と命名した。

これらの軸の解釈をまとめてみると次のようになる。

- 第Ⅰ軸 (可逆 \leftrightarrow 非可逆)
- 第Ⅱ軸 (自然科学 \leftrightarrow 技術)
- 第Ⅲ軸 (抽象 \leftrightarrow 具象)

このイメージ構造を模式的に表したものが、次の図5である。

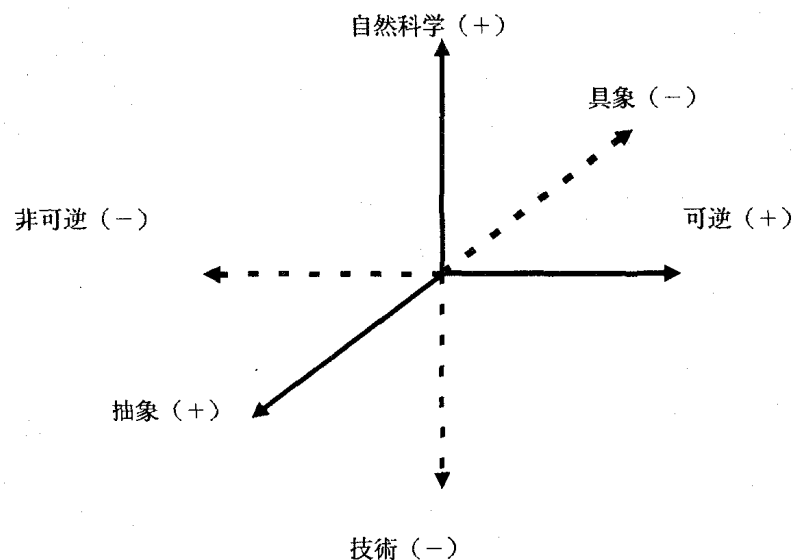


図5 生徒の好きグループの観察・実験したい対象に対するイメージの構造モデル

各空間は、次のように意味づけられる。

- 空間1 : (可逆) : (自然科学) : (抽象)
- 空間2 : (可逆) : (自然科学) : (具象)
- 空間3 : (可逆) : (技術) : (抽象)
- 空間4 : (可逆) : (技術) : (具象)
- 空間5 : (非可逆) : (自然科学) : (抽象)
- 空間6 : (非可逆) : (自然科学) : (具象)
- 空間7 : (非可逆) : (技術) : (抽象)
- 空間8 : (非可逆) : (技術) : (具象)

好嫌度の高いグループの生徒は、「観察・実験したい対象」をこの各空間の中でとらえていると考えられる。

好嫌度の低いグループ

好嫌度の低いグループの全体像であるが、次の表16、表17は、数量化第Ⅲ類で得られた第Ⅲ軸までの値と固有値と累積寄与率である。

表16 生徒の嫌いグループにおける各軸の説明アイテムとウェイト

	観察・実験したい対象	第Ⅰ軸	第Ⅱ軸	第Ⅲ軸		観察・実験したい対象	第Ⅰ軸	第Ⅱ軸	第Ⅲ軸
変数1	恐竜類(きょうりゅうるい)	-1.41648	-0.12588	-1.56096	変数51	風	-0.7261	0.14682	0.87583
変数2	楽器(がっき)	-0.90863	-0.4089	1.20028	変数52	火山活動	-0.52001	1.06754	-0.86424
変数3	ほ乳類	-0.73092	0.44915	-0.33255	変数53	作用点	1.8304	0.1306	-0.6321
変数4	電流計	2.32543	-1.31672	-2.02819	変数54	プリズム	-0.36707	-0.71848	-0.91518
変数5	アンモナイト	-1.0845	0.34578	-1.09598	変数55	ベトリ血(シャーレー)	2.09734	0.03592	-0.35297
変数6	ポンプ	0.28889	-0.33487	0.5523	変数56	力の大きさ	1.51611	-0.17696	-0.21474
変数7	ファイバー・スコープ	-0.59763	-1.23697	-0.9022	変数57	火花	-0.73823	-0.51437	0.43149
変数8	凸レンズ	1.03398	-0.27019	1.89043	変数58	重力	1.06337	-0.51091	-0.30475
変数9	うすい水酸化ナトリウム水溶液	1.81084	-0.60365	-0.1905	変数59	質量保存の法則	2.15985	-0.53615	-0.03195
変数10	炎	-0.54963	-0.82466	-0.30016	変数60	イルカ	-1.51812	-0.54787	0.07312
変数11	光合成(こうごうせい)	0.2854	0.89334	1.47847	変数61	エンジン	-0.38724	-1.26907	-1.22936
変数12	塩化銅(えんかどう)	2.02013	-0.40112	0.15182	変数62	てこの原理	0.78486	-1.01315	0.27637
変数13	酸素	0.8167	-0.29172	0.4226	変数63	燃焼	1.15473	-0.71879	0.87775
変数14	反射	0.49398	-0.05522	2.2545	変数64	金	-0.40755	-1.81709	0.34059
変数15	断層(だんそう)	-0.44402	1.53766	-0.40488	変数65	エタノール	2.05062	-0.07497	0.47101
変数16	河口付近	-0.36568	1.89411	-0.33919	変数66	屈折	1.3489	-0.51571	0.67325
変数17	トランシーバー	-1.11605	-1.49947	-0.11514	変数67	太陽	-0.52739	-0.11665	0.50249
変数18	質量	2.32239	-0.44095	-1.89146	変数68	コイル	1.75154	-0.47539	-0.27085
変数19	チャート	0.49875	1.09692	-0.30008	変数69	人体	-1.01405	0.40854	-1.05494
変数20	銀	0.24225	-0.89956	-0.08211	変数70	ソウ類	0.3266	2.25101	-0.28002
変数21	六甲山	-0.95268	0.02134	-0.33029	変数71	海岸段丘(かいがんだんきゅう)	0.17974	1.99354	-0.59791
変数22	化学式	1.94526	-0.93748	-2.51242	変数72	花火	-1.16889	-0.88165	0.42876
変数23	ルーペ	0.7515	0.47338	1.95919	変数73	ゾウリムシ	0.49803	2.0119	0.37599
変数24	鉄粉	1.5622	-0.80081	0.02009	変数74	ジュールの法則	2.76833	-0.96655	-2.26334
変数25	テレビ	-0.92538	-1.15272	0.4681	変数75	氷	-0.4893	-0.31044	1.23224
変数26	さび	0.23584	0.07111	0.23704	変数76	衝突(しょうとつ)	-0.33111	-0.60088	-0.56265
変数27	磁石	0.69764	-0.74783	1.55163	変数77	スボイト	1.4927	0.51428	1.20812
変数28	電流	2.30272	-1.54839	-1.35221	変数78	放電(ほうでん)	0.51772	-0.63887	-0.83201
変数29	回転	0.65392	-0.93668	-0.65595	変数79	川	-0.50015	0.75958	0.3166
変数30	顕微鏡(けんびきょう)	-0.01955	-0.13418	1.03673	変数80	南極	-0.91298	-0.08386	-0.66125
変数31	でんぷん	0.6884	0.87467	1.23038	変数81	電気分解	2.21011	-0.02654	-0.45955
変数32	丸底フラスコ	1.36421	0.04357	1.14759	変数82	望遠鏡(ぼうえんきょう)	-0.28384	-0.1529	0.88842
変数33	混合物	1.69502	0.06071	-0.14936	変数83	レンズ	1.16561	0.24204	1.31798
変数34	ろうそく	0.07379	-0.23857	1.87196	変数84	アンモニア	1.61128	0.21998	-0.17967
変数35	海面	-0.68928	0.87444	0.12296	変数85	電力量	2.74212	-1.37785	-4.25189
変数36	たい積作用	0.54506	1.98378	-1.14663	変数86	両生類(りょうせいるい)	0.0417	1.83599	-0.76593
変数37	プレート	-0.16813	1.13215	-1.05131	変数87	貝	-0.50443	0.77	1.0689
変数38	フズリナ類	-0.245	1.8189	-1.386	変数88	節足動物(せつそくどうぶつ)	0.15535	1.93601	-0.52639
変数39	人工衛星(じんこうえいせい)	-1.17118	-1.14803	-0.79637	変数89	発生	1.12112	-0.17557	-0.75217
変数40	餌	2.01166	-0.49801	-0.39676	変数90	熱	1.52279	-1.47547	-1.23304
変数41	ドウ糖	1.11422	0.78389	0.93258	変数91	速さ	1.11065	-1.33376	-0.77639
変数42	海底山脈	-0.7724	1.08726	-1.50986	変数92	雨水	-0.14176	0.62556	0.75883
変数43	方位磁針	0.8301	-0.06654	1.1001	変数93	流水	0.06669	0.57624	0.01733
変数44	コンピュータ	-0.94623	-1.4757	0.04435	変数94	試験管	1.66176	-0.1589	0.99997
変数45	プラスチック	0.05039	-0.21308	0.27401	変数95	目	-0.63009	0.19115	0.51335
変数46	被子植物(ひしよくぶつ)	0.36989	1.53633	1.38546	変数96	しゅう曲	0.14367	1.91694	-0.65752
変数47	整合(せいごう)	0.10618	2.30935	-0.38371	変数97	E=IR	2.65689	-1.0594	-4.53514
変数48	火山灰	0.31618	1.68522	-0.29493	変数98	発電機	1.37457	-1.36854	-2.07707
変数49	地層	-0.16803	1.89723	-0.58399	変数99	マンモス	-1.38468	-0.04732	-1.2569
変数50	電卓	-0.33752	-0.92768	1.02512	変数100	豆電球	1.43086	-1.21561	-0.07688

表17 生徒の嫌いグループにおける各軸の固有値、累積寄与率

	固有値	累積寄与率
第Ⅰ軸	0.17054	0.1085
第Ⅱ軸	0.08386	0.1618
第Ⅲ軸	0.05378	0.196

第Ⅰ軸では、正の方向に「74 ジュールの法則」「85 電力量」「97 $E = IR$ 」「18 質量」などがあり、負の方向には「60 イルカ」「1 恐竜類」「99 マンモス」「72 花火」などがあることから、第Ⅰ軸は、「可逆-非可逆」の軸と命名した。

第Ⅱ軸は正の方向に「74 整合」「70 ソウ類」「73 ゾウリムシ」「71 節足動物」などが、負の方向には「64 金」「17 トランシーバー」「44 コンピュータ」「61 エンジン」などがあることから、第Ⅱ軸は、「自然科学-技術」の軸と命名した。

第Ⅲ軸は正の方向に「14 反射」「23 ルーペ」「34 ろうそく」「8 凸レンズ」などが、負の方向に「97 $E = IR$ 」「85 電力量」「22 化学式」「74 ジュールの法則」などがあることから、第Ⅲ軸は、「具象-抽象」の軸と命名した。（第Ⅲ軸は好きグループの軸と正負が逆転している）。

これらの軸の命名をまとめてみると次のようになる。

- 第Ⅰ軸 (可逆 \leftrightarrow 非可逆)
- 第Ⅱ軸 (自然科学 \leftrightarrow 技術)
- 第Ⅲ軸 (具象 \leftrightarrow 抽象)

このイメージ構造を模式的に表したものが、次の図6である。

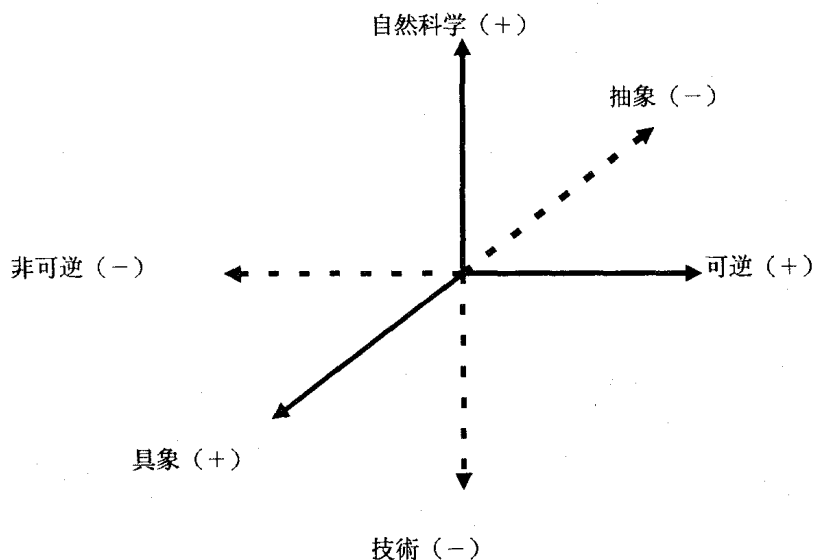


図 6 生徒の嫌いグループの観察・実験したい対象のイメージの構造モデル

各空間は、次のように意味づけられる。

- 空間1 : (可逆) : (自然科学) : (具象)
- 空間2 : (可逆) : (自然科学) : (抽象)

- 空間 3 : (可逆) : (技術) : (具象)
 空間 4 : (可逆) : (技術) : (抽象)
 空間 5 : (非可逆) : (自然科学) : (具象)
 空間 6 : (非可逆) : (自然科学) : (抽象)
 空間 7 : (非可逆) : (技術) : (具象)
 空間 8 : (非可逆) : (技術) : (抽象)

好嫌度の低いグループの生徒は「観察・実験したい対象」をこの各空間の中でとらえていると考えられる。同じく各空間への生徒の散らばり具合を詳しく調べるために各空間に入る生徒の人数を調べ、 χ^2 検定を行うとともに連関係数を求めた。その結果が次の表 18、表 19 である。

表 18 各空間に属する好きグループの生徒の人数と割合

空間	第 I 軸 +				第 I 軸 -			
	第 II 軸 +		第 II 軸 -		第 II 軸 +		第 II 軸 -	
	第 III 軸 +	第 III 軸 -	第 III 軸 +	第 III 軸 -	第 III 軸 +	第 III 軸 -	第 III 軸 +	第 III 軸 -
人数	26	69	30	70	27	47	31	50
割合	7.43	19.71	8.57	20.00	7.71	13.43	8.86	14.29

自由度 $df = 7$ $\chi^2_{0.01} = 18.48$ $\chi^2_0 = 53.10$

$\chi^2_{0.01} < \chi^2_0 = 53.10$ ** $p < 0.01$

1パーセントで有意差が認められ、また連関係数は 0.36 であった。

表 19 各空間に属する嫌いグループの生徒の人数と割合

空間	第 I 軸 +				第 I 軸 -			
	第 II 軸 +		第 II 軸 -		第 II 軸 +		第 II 軸 -	
	第 III 軸 +	第 III 軸 -	第 III 軸 +	第 III 軸 -	第 III 軸 +	第 III 軸 -	第 III 軸 +	第 III 軸 -
人数	29	19	18	8	44	35	98	53
割合	9.54	6.25	5.92	2.63	14.47	11.51	32.24	17.43

自由度 $df = 7$ $\chi^2_{0.01} = 18.48$ $\chi^2_0 = 147.68$

$\chi^2_{0.01} < \chi^2_0 = 147.68$ ** $p < 0.01$

1パーセントで有意差が認められ、また連関係数は 0.57 であった。

以上のことから理科が好きな生徒は第 III 軸の負の空間に偏っている。つまり「観察・実験したい対象」として「具象」的な対象を求めている。中でも空間 2、空間 4 に多く属していることから、特に「可逆・自然科学・具象」や「可逆・技術・具象」という条件を満たすものを「観察・

実験したい対象」としていると考えられる。しかし、第Ⅲ軸の正の空間には余り偏っていないため「観察・実験の対象」として「抽象」的な条件を持つものに集中しているとは言えない。理科の学習の流れはある意味で「具象」から「抽象」へ流れとも言い換えることができる。「抽象」的なものを取り扱うことは避けては通ることはできない。そのため「観察・実験の対象」として「抽象」的なものを理科嫌いにさせないようにしながら取り扱う方法を考える必要がある。

理科が嫌いな生徒は全体的に第Ⅰ軸の負の空間と第Ⅲ軸の正の空間に偏っている。つまり理科が嫌いな生徒は「観察・実験したい対象」として「非可逆」的と「具象」的な条件を満たすものを求めていると考えられる。特に、「非可逆・技術・具象」的な条件を満たすものを求めていると考えられる。

このことから理科嫌いの生徒に対して「非可逆」的と「具象」的な条件を満たすものの中でも、「非可逆・技術・具象」的な条件を満たすものを「観察・実験」の対象として用いることにより、理科嫌いの生徒の理科に対する興味・関心を高め、意欲的に取り組ませることが可能であると考えられる。また、連関係数が理科好きグループよりも理科嫌いグループの方が大きいいため、上記の方法は理科嫌いグループにより効果的と考えられる。

生徒の理解度と観察・実験したい対象

生徒の理解度においても小学校と同様の分析を行った。その結果が次のように得られた。

理解度の高いグループ

表20 生徒の理解度の高いグループにおける各軸の説明アイテムとウェイト

	観察・実験したい対象	第I軸	第II軸	第III軸		観察・実験したい対象	第I軸	第II軸	第III軸
変数1	恐竜類(きょうりゆうるい)	-1.41784	-1.11008	-0.29632	変数51	風	-0.80422	-0.07861	0.73002
変数2	楽器(がっき)	-0.86687	-0.6892	-0.6277	変数52	火山活動	-1.08138	0.31646	0.81639
変数3	ほ乳類	-1.19645	0.74691	-0.43724	変数53	作用点	1.39506	0.73624	1.70934
変数4	電流計	1.6538	-0.68337	0.88226	変数54	プリズム	-0.35032	-0.81405	-0.12913
変数5	アンモナイト	-1.43215	-0.68233	-0.70637	変数55	ベトリ皿(シャーレー)	1.195	1.28594	-2.27171
変数6	ポンプ	0.45432	-0.16978	0.11245	変数56	力の大きさ	1.48418	0.00722	2.2262
変数7	ファイバー・スコープ	-0.44819	-1.7784	-0.71741	変数57	火花	-0.33269	-0.78635	-0.00274
変数8	凸レンズ	0.5573	0.23417	0.55335	変数58	重力	0.8254	-0.08915	1.7138
変数9	うすい水酸化ナトリウム水溶液	1.50611	-0.31169	-1.68797	変数59	質量保存の法則	1.60135	0.08873	-0.16585
変数10	炎	-0.47226	-1.182	-0.68862	変数60	イルカ	-1.30552	-0.34514	-1.34239
変数11	光合成(こうごうせい)	-0.05979	1.00366	-0.33998	変数61	エンジン	-0.60234	-1.65135	0.96461
変数12	塩化銅(えんかどう)	1.5475	0.16293	-1.49281	変数62	てこの原理	0.55974	-0.27944	1.29366
変数13	酸素	0.8316	0.02917	-0.70307	変数63	燃焼	0.94547	-0.33933	-0.57519
変数14	反射	0.20744	0.61671	0.9058	変数64	金	0.27844	-1.30474	-1.88892
変数15	断層(だんそう)	-1.07221	0.84159	0.81498	変数65	エクノール	1.41981	0.43606	-2.12726
変数16	河口付近	-0.98075	1.3652	1.14859	変数66	屈折	0.77655	0.94406	0.73209
変数17	トランシーバー	-0.89187	-1.98249	-0.18953	変数67	太陽	-0.58242	-0.19247	0.31885
変数18	質量	1.9045	0.34572	0.45607	変数68	コイル	1.49035	-0.36081	1.33481
変数19	チャート	-0.46301	1.16461	-0.315	変数69	人体	-0.96522	0.31595	-1.31932
変数20	線	0.00857	-0.81327	-1.57959	変数70	ソウ類	-0.59283	2.08048	-0.89517
変数21	六甲山	-1.57274	-0.21973	0.41196	変数71	海岸段丘(かいがんだんきゅう)	-1.11167	1.54235	0.84559
変数22	化学式	1.78678	-0.45344	-0.32196	変数72	花火	-0.67518	-0.96052	-0.5314
変数23	ルーペ	0.26612	1.07204	-1.0264	変数73	ゾウリムシ	-0.45299	2.03811	-1.60493
変数24	鉄粉	1.61166	0.74107	-1.5402	変数74	ジュールの法則	1.99782	0.06841	1.11811
変数25	テレビ	-0.9621	-1.87365	0.21173	変数75	水	-0.25204	-0.10533	-0.12084
変数26	さび	0.5104	0.23064	-0.99951	変数76	衝突(しょうとつ)	0.06726	-0.41042	1.07764
変数27	磁石	0.6487	-0.60357	0.64056	変数77	スポイト	0.9787	1.2289	-1.41743
変数28	電流	1.46041	-0.80411	1.06225	変数78	放電(ほうでん)	0.23698	-1.28234	0.39578
変数29	回転	0.5042	-0.21487	1.07207	変数79	川	-1.07984	0.6359	0.31943
変数30	顕微鏡(けんびきょう)	-0.37587	-0.2007	-0.55713	変数80	南極	-0.92845	-0.17055	-0.13082
変数31	でんぶん	0.30522	1.7527	-1.34895	変数81	電気分解	1.44052	-0.55654	-0.03391
変数32	丸底フラスコ	0.89644	0.68338	-1.45992	変数82	望遠鏡(ぼうえんきょう)	-0.62544	-0.93143	-0.00202
変数33	混合物	1.31086	0.32488	-1.24787	変数83	レンズ	0.94358	0.32576	0.36317
変数34	ろうそく	0.20044	0.58277	-0.4276	変数84	アンモニア	1.17782	0.83533	-2.02946
変数35	海面	-1.34692	0.91838	0.84658	変数85	電力量	1.89657	-0.2753	1.57286
変数36	たい積作用	-0.90227	1.41154	1.58034	変数86	両生類(りょうせいるい)	-0.77243	1.69294	-0.46848
変数37	プレート	-1.01631	0.43827	0.59362	変数87	貝	-0.80163	1.57515	-0.59611
変数38	フズリナ類	-1.30999	0.83808	-0.17623	変数88	節足動物(せつそくどうぶつ)	-0.80438	2.02561	-0.42912
変数39	人工衛星(じんこうえいせい)	-0.92799	-1.6774	0.04354	変数89	発生	0.80774	0.34445	-0.18422
変数40	銅	1.59911	-0.0397	-1.51474	変数90	熱	1.14661	-0.16849	0.80351
変数41	ブドウ糖	0.51978	1.33005	-1.66314	変数91	凍さ	1.3552	-0.01946	1.75282
変数42	海底山脈	-1.32935	0.13639	1.0129	変数92	雨水	-0.50858	0.86545	0.68454
変数43	方位磁針	0.43374	0.40461	1.18366	変数93	瀧水	-0.30895	1.17161	0.58788
変数44	コンピュータ	-0.61955	-1.81528	-0.38508	変数94	試験管	1.18796	0.20951	-1.05369
変数45	プラスチック	0.28815	-0.73244	-0.21808	変数95	目	-0.55229	0.75497	-0.14862
変数46	被子植物(ひしよくぶつ)	-0.16055	2.1144	-0.20247	変数96	しゅう曲	-0.3632	1.40652	1.20546
変数47	整合(せいごう)	-0.58644	1.64332	1.42563	変数97	E=IR	1.97924	-0.20075	1.83463
変数48	火山灰	-0.63593	1.45253	0.84672	変数98	発電機	1.37456	-0.93652	2.0125
変数49	地層	-0.89576	1.30648	1.39842	変数99	マンモス	-1.37362	-0.51627	-0.54646
変数50	電卓	0.3534	-1.54341	0.94137	変数100	豆電球	1.47181	-0.45034	0.82621

表21 生徒の理解度の高いグループにおける各軸の固有値、累積寄与率

	固有値	累積寄与率
第I軸	0.11017	0.1296
第II軸	0.07483	0.2176
第III軸	0.03387	0.2575

第I軸では、正の方向に「74 ジュールの法則」「97 E=IR」「85 電力量」「18 質量」などがあり、負の方向には「21 六甲山」「5 アンモナイト」「1 恐竜類」「99 マンモス」などがあることから、第I軸は、「可逆-非可逆」の軸と命名した。

第II軸は正の方向に「46 被子植物」「70 ソウ類」「73 ゾウリムシ」「88 節足動物」などが、負の方向には「17 トランシーバ」「25 テレビ」「44 コンピュータ」「7 ファイバー・スコープ」などがあることから、第II軸は、「自然科学-技術」の軸と命名した。

第Ⅲ軸は正の方向に「56 力の大きさ」「97 E = I R」「91 速さ」「53 作用点」などが、負の方向に「55 ペトリ皿」「65 エタノール」「84 アンモニア」「64 金」などがあることから、第Ⅲ軸は、「抽象-具象」の軸と命名した。

これらの軸の解釈をまとめてみると次のようになる。

- 第Ⅰ軸 (可逆 \leftrightarrow 非可逆)
- 第Ⅱ軸 (自然科学 \leftrightarrow 技術)
- 第Ⅲ軸 (抽象 \leftrightarrow 具象)

このイメージ構造を模式的に表したものが、次の図7である。

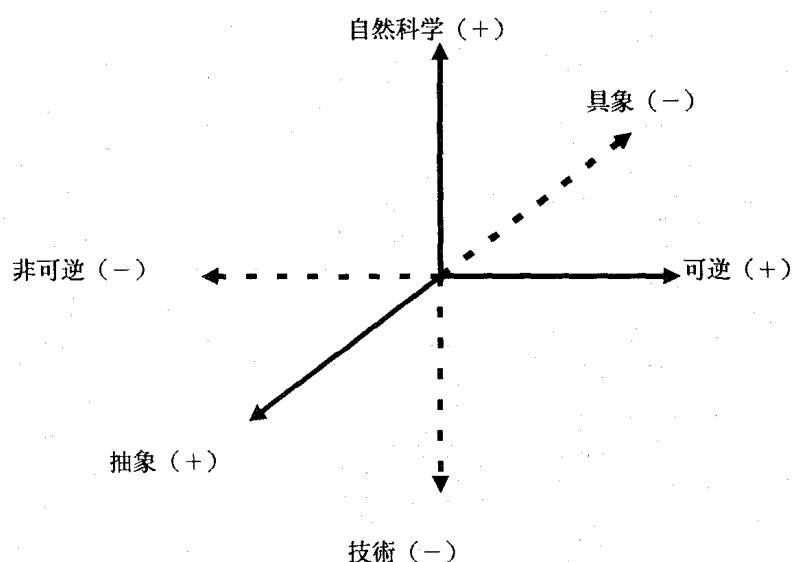


図7 生徒の理解度の高いグループの観察・実験に対するイメージの構造モデル

各空間は、次のように意味づけられる。

- 空間1 : (可逆) : (自然科学) : (抽象)
- 空間2 : (可逆) : (自然科学) : (具象)
- 空間3 : (可逆) : (技術) : (抽象)
- 空間4 : (可逆) : (技術) : (具象)
- 空間5 : (非可逆) : (自然科学) : (抽象)
- 空間6 : (非可逆) : (自然科学) : (具象)
- 空間7 : (非可逆) : (技術) : (抽象)
- 空間8 : (非可逆) : (技術) : (具象)

理解度の高いグループの生徒は、「観察・実験したい対象」をこの各空間の中でとらえていると考えられる。

理解度の低いグループ

表22 生徒の理解度の低いグループにおける各軸の説明アイテムとウェイト

	観察・実験したい対象	第I軸	第II軸	第III軸		観察・実験したい対象	第I軸	第II軸	第III軸
変数1	恐竜類(きょうりゆうるい)	-1.33945	0.10092	-0.894	変数51	風	-0.79988	-0.18275	0.41613
変数2	楽器(がっき)	-1.28415	-0.08173	0.61883	変数52	火山活動	-0.27898	1.15618	-0.78665
変数3	ほ乳類	-0.87533	0.79337	-0.11054	変数53	作用点	2.21895	0.23343	-1.23851
変数4	電流計	2.45909	-0.67815	-1.8223	変数54	プリズム	-0.29612	-0.84244	-1.70093
変数5	アンモナイト	-1.07119	0.48355	-0.76693	変数55	ベトリ皿(シャーレー)	1.6007	0.71683	0.51738
変数6	ポンプ	0.11344	-0.33398	1.33944	変数56	力の大きさ	1.29266	-0.35994	-0.28693
変数7	ファイバー・スコープ	-0.44063	-1.21182	-1.91096	変数57	火花	-0.93938	-0.31292	0.00214
変数8	凸レンズ	1.29191	-0.77929	1.76508	変数58	重力	1.03986	-0.57439	-0.6934
変数9	うすい水酸化ナトリウム水溶液	2.00127	-0.43112	0.18641	変数59	質量保存の法則	2.34789	-0.4476	-0.61748
変数10	炎	-0.47233	-0.79026	-0.15944	変数60	イルカ	-1.38558	-0.20447	-0.01325
変数11	光合成(こうごうせい)	0.39654	0.51681	1.16023	変数61	エンジン	-0.33759	-1.41212	-0.7215
変数12	塩化銅(えんかどう)	2.18534	-0.30697	0.87967	変数62	てこの原理	0.67366	-1.23741	0.33239
変数13	酸素	0.63893	-0.47765	0.45669	変数63	燃焼	0.77351	-0.35376	0.78941
変数14	反射	0.67863	-0.24824	1.98149	変数64	金	-0.36892	-1.44976	0.26964
変数15	断崖(だんそう)	-0.12059	1.33321	-0.4511	変数65	Etaノール	2.0696	0.01528	0.29993
変数16	河口付近	-0.25262	1.80617	-0.26527	変数66	屈折	1.34099	-0.71739	1.02822
変数17	トランシーバー	-1.21884	-1.45105	-0.21055	変数67	太陽	-0.52383	-0.42728	0.28083
変数18	質量	1.8548	-0.80449	-1.97378	変数68	コイル	1.80054	-0.65823	0.20703
変数19	チャート	0.17899	1.24982	-1.06989	変数69	人体	-0.93741	0.71769	-0.29727
変数20	銀	0.33622	-0.77179	0.29667	変数70	ソウ類	0.24697	2.34846	-0.12355
変数21	六甲山	-0.83047	-0.00116	-0.58751	変数71	海岸段丘(かいがんだんきゅ)	0.34468	2.06223	-0.28901
変数22	化学式	2.26337	-0.06018	-1.53561	変数72	花火	-1.30107	-0.73317	-0.00713
変数23	ループ	0.85074	0.33309	1.60246	変数73	ゾウリムシ	0.64829	2.00108	0.49062
変数24	鉄粉	1.39704	-0.57821	-0.57183	変数74	ジュールの法則	2.81936	-0.64381	-3.27654
変数25	テレビ	-0.84095	-1.05993	0.46302	変数75	氷	-0.74701	-0.46192	0.86457
変数26	さび	0.3908	-0.03044	0.3329	変数76	衝突(しょうとつ)	-0.31528	-0.7388	-1.24769
変数27	磁石	0.59689	-0.834	1.13641	変数77	スポット	1.25488	0.48609	2.28831
変数28	電流	2.25662	-1.39872	-2.01126	変数78	放電(ほうでん)	0.76902	-0.56627	-1.09001
変数29	回転	0.64332	-1.44468	0.1575	変数79	川	-0.63607	0.19809	0.76194
変数30	顕微鏡(けんびきょう)	0.12525	-0.21049	0.96185	変数80	南極	-0.76305	-0.06856	-0.26868
変数31	でんぶん	0.54445	0.82288	1.32859	変数81	電気分解	2.16184	-0.29657	-0.13396
変数32	丸底フラスコ	1.1968	0.42848	1.42979	変数82	望遠鏡(ぼうえんきょう)	-0.52612	-0.26288	0.49835
変数33	混合物	1.35091	0.31875	0.00559	変数83	レンズ	0.97054	-0.14565	1.32123
変数34	ろうそく	-0.08604	-0.32768	1.87284	変数84	アンモニア	1.75834	0.41935	0.58656
変数35	海面	-0.90646	0.57173	0.177	変数85	電力量	2.88633	-1.21117	-4.97049
変数36	たい積作用	0.48111	2.06073	-1.55633	変数86	両生類(りょうせいるい)	0.12854	2.10718	-0.09854
変数37	プレート	0.03958	1.01232	-1.05834	変数87	貝	-0.6142	0.66372	0.84896
変数38	フズリナ類	-0.38938	2.14432	-1.35458	変数88	節足動物(せつそくどうぶつ)	0.06007	2.26808	0.08492
変数39	人工衛星(じんこうえいせい)	-0.98245	-1.1563	-0.95011	変数89	発生	0.9224	-0.01327	-0.55306
変数40	鋼	1.90772	-0.30257	0.72712	変数90	熱	1.001	-1.38437	-1.72506
変数41	ブドウ糖	1.24046	0.16906	0.85235	変数91	速さ	0.95431	-1.68364	-0.64424
変数42	海底山脈	-0.64183	1.06903	-0.89978	変数92	雨水	-0.37124	0.12209	0.48038
変数43	方位磁針	0.92294	-0.40364	1.0734	変数93	流水	-0.26872	0.01125	-0.25327
変数44	コンピュータ	-1.01402	-1.30607	-0.50991	変数94	試験管	1.72754	-0.03997	2.06199
変数45	プラスチック	0.0572	-0.39657	0.2601	変数95	目	-0.72036	0.09381	0.26897
変数46	被子植物(ひしよくぶつ)	0.65626	1.48399	0.80976	変数96	しゅう曲	0.22573	2.17813	-0.78486
変数47	整合(せいごう)	0.15935	2.4527	-0.92015	変数97	E=IR	2.5256	0.0174	-5.57379
変数48	火山灰	0.2612	1.71773	0.35267	変数98	発電機	1.90674	-1.52941	-1.60216
変数49	地層	0.21303	1.65526	-0.29451	変数99	マンモス	-1.30667	0.34844	-0.58578
変数50	電卓	-0.46264	-1.23575	0.90365	変数100	豆電球	1.28256	-1.09439	1.04055

表23 生徒の理解度の低いグループにおける各軸の固有値、累積寄与率

	固有値	累積寄与率
第I軸	0.17306	0.1045
第II軸	0.09293	0.1606
第III軸	0.05798	0.1956

第I軸では、正の方向に「85 電力量」「74 ジュールの法則」「97 E = I R」「4 電流計」などがあり、負の方向には「60 イルカ」「1 恐竜類」「2 楽器」「72 花火」などがあることから、第I軸は、「可逆-非可逆」の軸と命名した。

第II軸は正の方向に「47 整合」「70 ソウ類」「88 節足動物」「96 しゅう曲」などが、

負の方向には「91 速さ」「98 発電機」「17 トランシーバ」「29 回転」などがあることから、第Ⅱ軸は、「自然科学-技術」の軸と命名した。

第Ⅲ軸は正の方向に「77 スポイト」「94 試験管」「14 反射」「34 ろうそく」などが、負の方向に「97 $E = IR$ 」「85 電力量」「74 ジュールの法則」「28 電流」などがあることから、第Ⅲ軸は、「具象-抽象」の軸と命名した。（第Ⅲ軸は理解できているグループの軸と正負が逆転している）

これらの軸の解釈をまとめてみると次のようになる。

- 第Ⅰ軸 （可逆 \leftrightarrow 非可逆）
- 第Ⅱ軸 （自然科学 \leftrightarrow 技術）
- 第Ⅲ軸 （具象 \leftrightarrow 抽象）

このイメージ構造を模式的に表したものが、次の図8である。

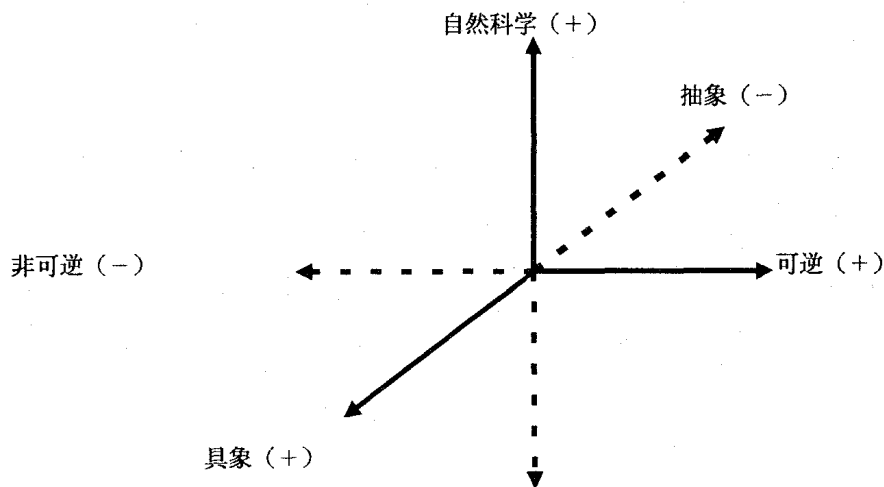


図8 生徒の理解度の低いグループの観察・実験に対するイメージの構造モデル
技術 (-)

各空間は、次のように意味づけられる。

- 空間1：（可逆）：（自然科学）：（具象）
- 空間2：（可逆）：（自然科学）：（抽象）
- 空間3：（可逆）：（技術）：（具象）
- 空間4：（可逆）：（技術）：（抽象）
- 空間5：（非可逆）：（自然科学）：（具象）
- 空間6：（非可逆）：（自然科学）：（抽象）
- 空間7：（非可逆）：（技術）：（具象）
- 空間8：（非可逆）：（技術）：（抽象）

理解度の低いグループの生徒は、「観察・実験したい対象」をこの各空間の中でとらえていると考えられる。同じく各空間への生徒の散らばり具合を詳しく調べるために各空間に入る生徒の人数を調べ、 χ^2 検定をおこなうとともに連関係数を求めた。その結果が次の表24、表25である。

表24 各空間に属する理解度の高い生徒の人数と割合

空間	第I軸 +				第I軸 -			
	第II軸 +		第II軸 -		第II軸 +		第II軸 -	
	第III軸 +	第III軸 -	第III軸 +	第III軸 -	第III軸 +	第III軸 -	第III軸 +	第III軸 -
人数	22	60	25	59	23	30	28	53
割合	7.33	20.00	8.33	19.67	7.67	10.00	9.33	17.67

自由度 $df = 7$ $\chi^2_{0.01} = 18.48$ $\chi^2_0 = 52.32$

$\chi^2_{0.01} < \chi^2_0 = 52.32$ ** $p < 0.01$

1パーセントで有意差が認められ、また連関係数は0.38であった。

表25 各空間に属する理解度の低い生徒の人数と割合

空間	第I軸 +				第I軸 -			
	第II軸 +		第II軸 -		第II軸 +		第II軸 -	
	第III軸 +	第III軸 -	第III軸 +	第III軸 -	第III軸 +	第III軸 -	第III軸 +	第III軸 -
人数	22	11	14	10	33	28	81	33
割合	9.48	4.74	6.03	4.31	14.22	12.07	34.91	14.22

自由度 $df = 7$ $\chi^2_{0.01} = 18.48$ $\chi^2_0 = 127.44$

$\chi^2_{0.01} < \chi^2_0 = 127.44$ ** $p < 0.01$

1パーセントで有意差が認められ、また連関係数は0.59であった。

以上のことから理科が理解できている生徒ほど第III軸の負の空間に偏っている。つまり「観察・実験したい対象」として「具象」的な対象を求めている。中でも空間2、空間4に多く属していることから、特に「可逆・自然科学・具象」や「可逆・技術・具象」という条件を満たすものを「観察・実験したい対象」としていると考えられる。しかし、第III軸の正の空間には余り偏っていないため「観察・実験の対象」として「抽象」的な条件を持つものに集中しているとは言えない。理科の学習の流れはある意味で「具象」から「抽象」へ流れとも言い換えることができる。「抽象」的なものを取り扱うことは避けては通ることはできない。そのため「観察・実験の対象」として「抽象」的なものを理科嫌いにさせないようにしながら取り扱う方法を考える必要がある。

理科が理解できていない生徒ほど全体的に第Ⅰ軸の負の空間と第Ⅲ軸の正の空間に偏っている。つまり理科が嫌いな生徒は「観察・実験したい対象」として「非可逆」的と「具象」的な条件を満たすものを求めていると考えられる。空間7に偏っていることから、特に「非可逆・技術・具象」的な条件を満たすものを求めていると考えられる。

このことから理科嫌いの生徒に対して「非可逆」的と「具象」的な条件を満たすものの中でも、「非可逆・技術・具象」的な条件を満たすものを「観察・実験」の対象として用いることにより、理科嫌いの生徒の理科に対する興味・関心を高め、意欲的に取り組ませることが可能であると考えられる。また、連関係数が理科好きグループよりも理科嫌いグループの方が大きいため、上記の方法は理科嫌いグループにより効果的と考えられる。

生徒の観察・実験したい対象のまとめ

生徒の観察・実験したい対象の分析をまとめると、以下のようになる。

- ① 理科が好きな生徒は「観察・実験したい対象」として「具象」的な対象を求めている。特に「可逆・自然科学・具象」や「可逆・技術・具象」という条件を満たすものは、理科好きをさらに理科に意欲的に取り組ませることが可能になる。
- ② 理科好きの生徒に「観察・実験したい対象」として「抽象」的なものを理科嫌いにさせないようにしながら取り扱う必要がある。
- ③ 理科が嫌いな生徒は「観察・実験したい対象」として「非可逆」的と「具象」的な条件を満たすものを求めている。特に「非可逆・技術・具象」的な条件を満たすものを求めている。これらの条件を満たすもので理科嫌いの生徒の理科に対する興味・関心を高め、意欲的に取り組ませることが可能であると考えられる。
- ④ 理科が理解できている生徒ほど「観察・実験したい対象」として「具象」的な対象を求めている。特に「可逆・自然科学・具象」や「可逆・技術・具象」という条件を満たすものを求めている。
- ⑤ 理科が理解できていない生徒ほど「非可逆」的と「具象」的な対象を求めている。特に「非可逆・技術・具象」的な条件を満たすものを求めている。
- ⑥ 児童と同様にこの解釈を基に観察・実験の対象を選択することは、連関係数が理科が好きグループよりも嫌いグループの方が大きいため理科嫌いの生徒に興味・関心を理科に向けさせることに効果的である。

-
- (1) 大木道則, 1992, 「小学校理科教科書 3年」, 啓林館
 - (2) 大木道則, 1992, 「中学校理科教科書 1分野上」, 啓林館
 - (3) 大木道則, 1992, 「中学校理科教科書 1分野下」, 啓林館
 - (4) 大木道則, 1992, 「中学校理科教科書 2分野上」, 啓林館
 - (5) 大木道則, 1992, 「中学校理科教科書 2分野下」, 啓林館

第3章 生徒の理科授業に対する意識構造

－FSM法による構造同定法－

生徒の理科授業に対する意識構造

— F S M法による構造同定法—

生徒が理科授業を受けるとき、どのようなことから重視しているかという観点から、生徒の授業に対する意識構造をF S M (Fuzzy Structural Modeling) 法によって同定する。

1-1 理科授業に関する要素リストの作成

理科授業を受けるクラスの生徒を対象とし、ブレインストーミングまたは、アンケート方式により、彼らが理科授業において重視している項目を列挙させる。以上の陽にして得られた項目を、例えば、K J法によって整理・抽出する。

以上の結果、整理・抽出された項目、すなわち要素リストは表1の13項目となった。ここで、要素リストは、教師によってブレインストーミングのまとめとして作成する。

表1 理科授業に関する要素リスト

番号	項目(要素)の内容
S ₁	環境保全に関する研究をしてみたい。
S ₂	観察や実験の授業を多くしてほしい。
S ₃	進学に必要な基礎学力を付けたい。
S ₄	自然の事物・現象について探求したい。
S ₅	興味・関心の持てる楽しい授業をしてほしい。
S ₆	教科書の内容がよくわかる授業をしてほしい。
S ₇	身の回りの自然についてよく理解したい。
S ₈	分かりやすい授業をしてほしい。
S ₉	授業中、いろいろな学習活動をさせてほしい。
S ₁₀	規則性を発見できる学習をしたい。
S ₁₁	野外の調査など探求活動をしたい。
S ₁₂	科学の法則をよく理解したい。
S ₁₃	好きな課題研究をしたい。

以上の要素リストに関し、要素 S_i が要素 S_j にどのような影響を及ぼすかを0.0から1.0の数値で

生徒に答えさせる。このとき、生徒の判断を軽減するため、多々おえば、次の尺度を与える。

表2 影響度の尺度

影響度の尺度	定義
0.0	全く影響しない。
0.3	やや影響する。
0.5	かなり影響する。
0.7	非常に影響する。
1.0	確実に影響する。

1-2 ファジィ従属行列 \tilde{A} の作成

表1で設定された項目に対する覚醒と個人のファジィ従属行列 $\tilde{A}^\ell = [a_{ij}^\ell / n]_{13 \times 13}$ 、 $\ell = 1, 2, 3, \dots, n$ を設定し、さらに n 人の生徒の \tilde{A}^ℓ の平均行列を求め、これを生徒を代表するファジィ従属行列 \tilde{A} とする。

$$\tilde{A} = \left[\sum_{\ell=1}^n a_{ij}^\ell / n \right]_{13 \times 13} \quad (1)$$

ただし、 a_{ij}^ℓ は、 S_i は S_j より a_{ij}^ℓ 程度重要である、ことを意味する。

生徒に対するアンケートの結果、上記のファジィ従属行列 \tilde{A} は、次のように与えられた。

$$\tilde{A} = \begin{matrix} S_1 \\ S_2 \\ S_3 \\ S_4 \\ S_5 \\ S_6 \\ S_7 \\ S_8 \\ S_9 \\ S_{10} \\ S_{11} \\ S_{12} \\ S_{13} \end{matrix} \begin{bmatrix} 0 & 0.3 & 0.2 & 0.3 & 0.2 & 0.2 & 0.3 & 0.2 & 0.2 & 0.3 & 0.3 & 0.3 & 0.3 \\ 0.3 & 0 & 0.6 & 0.4 & 0.7 & 0.3 & 0.3 & 0.2 & 0.4 & 0.4 & 0.4 & 0.6 & 0.3 \\ 0.2 & 0.3 & 0 & 0.1 & 0.3 & 0.3 & 0.2 & 0.3 & 0.3 & 0.2 & 0.2 & 0.3 & 0.2 \\ 0.6 & 0.4 & 0.3 & 0 & 0.4 & 0.3 & 0.6 & 0.2 & 0.3 & 0.3 & 0.6 & 0.3 & 0.4 \\ 0.2 & 0.4 & 0.2 & 0.4 & 0 & 0.3 & 0.2 & 0.2 & 0.3 & 0.3 & 0.4 & 0.3 & 0.3 \\ 0.2 & 0.6 & 0.6 & 0.3 & 0.4 & 0 & 0.2 & 0.4 & 0.6 & 0.3 & 0.2 & 0.6 & 0.3 \\ 0.7 & 0.3 & 0.3 & 0.3 & 0.4 & 0.3 & 0 & 0.2 & 0.3 & 0.3 & 0.3 & 0.3 & 0.3 \\ 0.2 & 0.5 & 0.5 & 0.3 & 0.5 & 0.5 & 0.2 & 0 & 0.6 & 0.1 & 0.2 & 0.4 & 0.2 \\ 0.3 & 0.3 & 0.6 & 0.3 & 0.3 & 0.3 & 0.2 & 0.3 & 0 & 0.3 & 0.3 & 0.6 & 0.3 \\ 0.3 & 0.6 & 0.6 & 0.3 & 0.6 & 0.2 & 0.3 & 0.1 & 0.3 & 0 & 0.3 & 0.6 & 0.3 \\ 0.6 & 0.4 & 0.3 & 0.3 & 0.4 & 0.2 & 0.6 & 0.1 & 0.3 & 0.3 & 0 & 0.2 & 0.3 \\ 0.3 & 0.3 & 0.7 & 0.3 & 0.3 & 0.3 & 0.3 & 0.3 & 0.3 & 0.3 & 0.3 & 0 & 0.2 \\ 0.6 & 0.4 & 0.2 & 0.3 & 0.3 & 0.2 & 0.6 & 0.2 & 0.3 & 0.3 & 0.6 & 0.3 & 0 \end{bmatrix} \quad (2)$$

上記行列の要素 $S_{71} = 0.7$ は、 S_7 は S_1 に非常に影響する、ことを意味し、 S_7 は S_1 に従属することを表す。なお、行列要素の数値の閾値 $P = 0.5$ として、それ以下の数値は、従属度は無視することにする。

ファジィ行列 $\tilde{A} = [a_{ij}]$ は、 13×13 行列で、その要素 a_{ij} は、ファジィ 2 項関係が存在する。すなわち、項目 S_i は S_j に従属する度合い (メンバーシップ関数) f_r は

$$a_{ij} = f_r(S_i, S_j), \quad 0 \leq a_{ij} \leq 1 \quad (3)$$

で与えられる。これは任意の 2 つの項目は、お互いに独立したものではなく、相互に相乗的 (または相殺的) な相互作用があるとする。ファジィ集合 \tilde{A} の補修号 $\overline{\tilde{A}}$ について、その 2 項関係に関するメンバーシップ関数を $f_{\overline{r}}$ とすると、 f_r と $f_{\overline{r}}$ の関係は次式で与えられる。

$$f_{\overline{r}} = \frac{1 - f_r}{1 + \lambda f_r} \quad (4)$$

ただし、 $-1 < \lambda < \infty$

ここで、 λ は、2 項関係の相乗効果 ($\lambda > 0$) または相殺効果 ($\lambda < 0$) を表し、 $\lambda = 0$ のときは、ファジィ行列の各項目はお互いに独立して相互作用はないことを示す。(2) 式に示した \tilde{A} 行列は、

$$P = 0.5, \quad \lambda = -0.3 \quad (5)$$

とする。

1-3 ファジィ従属行列 \tilde{A} の修正

(3) の f_r は、次の 3 つの性質を満たすように定義する。

<1> ファジィ非反射律の成立

すべての (S_i, S_j) に対して、 $f_r(S_i, S_j) \leq P$ が満たされるならば、ファジィ非反射律が成立する。(2) 式の行列において、対角行列の要素は 0 であるからファジィ非反射律を満たす。

<2> ファジィ非対称律の成立

すべての (S_i, S_j) 、 $i \neq j$ に対して、 $f_r(S_i, S_j) < P$ あるいは $f_r(S_j, S_i) < P$ の少なくともどちらから一方が成り立つならば、ファジィ非対称律が成立する。(2) 式の行列はファジィ非

対称律を満たす。

<3> ファジィ半推移律の成立

すべての (S_i, S_j) 、 (S_j, S_k) 、 (S_i, S_k) 、 $i \neq j$ 、 $j \neq k$ 、 $i \neq k$ に対して

$$M = \bigvee_{j=1}^{13} (f_r(S_i, S_j) \wedge f_r(S_j, S_k)) \geq P \quad (6)$$

ファジィ行列 \tilde{A} の要素の数値を修正すると、次のファジィ従属行列 \tilde{A}' を得る。

$$\tilde{A}' = \begin{matrix} S_1 \\ S_2 \\ S_3 \\ S_4 \\ S_5 \\ S_6 \\ S_7 \\ S_8 \\ S_9 \\ S_{10} \\ S_{11} \\ S_{12} \\ S_{13} \end{matrix} \begin{bmatrix} 0 & 0.3 & 0.2 & 0.3 & 0.2 & 0.2 & 0.3 & 0.2 & 0.2 & 0.3 & 0.3 & 0.3 & 0.3 \\ 0.3 & 0 & 0.6 & 0.4 & 0.7 & 0.3 & 0.3 & 0.2 & 0.4 & 0.4 & 0.4 & 0.6 & 0.3 \\ 0.2 & 0.3 & 0 & 0.1 & 0.3 & 0.3 & 0.2 & 0.3 & 0.3 & 0.2 & 0.2 & 0.3 & 0.2 \\ 0.6 & 0.4 & 0.3 & 0 & 0.4 & 0.3 & 0.6 & 0.2 & 0.3 & 0.3 & 0.6 & 0.3 & 0.4 \\ 0.2 & 0.4 & 0.2 & 0.4 & 0 & 0.3 & 0.2 & 0.2 & 0.3 & 0.3 & 0.4 & 0.3 & 0.3 \\ 0.2 & 0.6 & 0.6 & 0.3 & 0.6 & 0 & 0.2 & 0.4 & 0.6 & 0.3 & 0.2 & 0.6 & 0.3 \\ 0.7 & 0.3 & 0.3 & 0.3 & 0.4 & 0.3 & 0 & 0.2 & 0.3 & 0.3 & 0.3 & 0.3 & 0.3 \\ 0.2 & 0.5 & 0.5 & 0.3 & 0.5 & 0.5 & 0.2 & 0 & 0.6 & 0.1 & 0.2 & 0.6 & 0.2 \\ 0.3 & 0.3 & 0.6 & 0.3 & 0.3 & 0.3 & 0.2 & 0.3 & 0 & 0.3 & 0.3 & 0.6 & 0.3 \\ 0.3 & 0.6 & 0.6 & 0.3 & 0.6 & 0.2 & 0.3 & 0.1 & 0.3 & 0 & 0.3 & 0.6 & 0.3 \\ 0.6 & 0.4 & 0.3 & 0.3 & 0.4 & 0.2 & 0.6 & 0.1 & 0.3 & 0.3 & 0 & 0.2 & 0.3 \\ 0.3 & 0.3 & 0.7 & 0.3 & 0.3 & 0.3 & 0.3 & 0.3 & 0.3 & 0.3 & 0.3 & 0 & 0.2 \\ 0.6 & 0.4 & 0.2 & 0.3 & 0.3 & 0.2 & 0.6 & 0.2 & 0.3 & 0.3 & 0.6 & 0.3 & 0 \end{bmatrix} \quad (8)$$

2-1 ファジィ従属行列 \tilde{A}' の構造

ファジィ従属行列 \tilde{A}' のグラフ化は、次のSTEPに沿って行う。

STEP 1

グラフ化する対象システム（生徒の授業に対する意識構造）Sは、次の集合からなる。

$$S = \{S\} = \{S_1, S_2, S_3, \dots, S_{13}\} \quad (9)$$

このSの要素の集合を、最上層レベルの集合 $L_t(S)$ 、中間レベルの集合 $L_i(S)$ 、最下層レベルの集合 $L_b(S)$ の3つに分ける。これがSTEP 1の手順である。

ただし、 $L_t(S)$ の t は、top の意味、 $L_i(S)$ の i は、intermediate（中間）の意味、 $L_b(S)$ の b は、bottom の意味を表す。

以上の集合分類は、ファジィ従属行列 \tilde{A}' によって決められる。

< 1 > $L_t(S)$ 集合の決め方

行列において、 S_k 行の各要素の max 演算 ($\bigvee_{j=1}^{13} a_{kj}$) の値が閾値Pよりも小さい、かつ S_k 列の各要素の max 演算 ($\bigvee_{l=1}^{13} a_{lk}$) の値が閾値Pよりも大きい要素の集合とする。

< 2 > $L_b(S)$ 集合の決め方

行列において、 S_k 行の各要素の max 演算 ($\bigvee_{j=1}^{13} a_{kj}$) の値が閾値Pよりも大きく、かつ S_k 列の各要素の max 演算 ($\bigvee_{l=1}^{13} a_{lk}$) の値が閾値Pより小さい要素の集合とする。

以上、 $L_t(S)$ と $L_b(S)$ が決まると $S = \{S_1, S_2, S_3 \dots, S_{13}\}$ から、 $L_t(S)$ と $L_b(S)$ を取り去った残りの集合が $L_t(S)$ である。

次に、 $L_t(S)$ と $L_b(S)$ との従属関係を示す集合 $B(S_i)$ は、 \tilde{A} より表3で与えられる。

表3 $L_b(S)$ と $L_t(S)$ の従属関係

$S_i \in L_b(S)$	$B(S_i) \subset L_t(S)$
S_4	S_1
S_8	S_3, S_5
S_{10}	S_3, S_5
S_{13}	S_1

表3より、 $B(S_4) \cap B(S_8) = B(S_4) \cap B(S_{10}) = \phi$

$$B(S_4) \cap B(S_{13}) \neq \phi$$

また、 $B(S_4) \cup B(S_{13}) = \{S_1\}$ (10)

(10)式は最上層レベルの S_1 に、最下層レベルの S_4, S_{13} が従属していることを示す。

(10)式をブロック Q_1 とする。すなわち、

$$Q_1 = B(S_4) \cup B(S_{13}) = \{S_1\} \quad (11)$$

次に表3より

$$B(S_8) \cap B(S_4) = B(S_8) \cap B(S_{13}) = \phi \quad (12)$$

$$B(S_{10}) \cap B(S_4) = B(S_{10}) \cap B(S_{13}) = \phi \quad (13)$$

で、 $B(S_8) \cap B(S_{10}) \neq \phi$ (14)

よって、ブロック Q_2 を

$$Q_2 = B(S_8) \cup B(S_{10}) \quad (15)$$

とすると、 $Q_2 = \{S_3, S_5\}$ (16)

となる。

(16)式は、最上層レベルの S_3 、 S_5 に、最下層レベルの S_8 、 S_{10} が従属していることが示す。

STEP 2

$L_t(S)$ 、 $(L_b(S))$ が決まったため、 \tilde{A}' 行列から S_1 、 S_3 、 S_5 行を消す。その理由は、 S_1 、 S_3 、 S_5 は最上層レベルであるから、それらを従属させる S_i が存在しないからである。同様に、 \tilde{A}' 行列から最下層レベルの S_4 、 S_8 、 S_{10} 、 S_{13} 列を消す。その理由は、これらの要素に従属する要素が存在しないためである。かくして、次の新たな従属行列 $\tilde{A}'' = [a_{ij}]_{10 \times 9}$ が得られる。

$$\tilde{A}'' = \begin{matrix} & S_1 & S_2 & S_3 & S_5 & S_6 & S_7 & S_9 & S_{11} & S_{12} \\ \begin{matrix} S2 \\ S4 \\ S6 \\ S7 \\ S8 \\ S9 \\ S10 \\ S11 \\ S12 \\ S13 \end{matrix} & \begin{bmatrix} 0.3 & 0 & 0.6 & 0.7 & 0.3 & 0.3 & 0.4 & 0.4 & 0.6 \\ 0.6 & 0.4 & 0.3 & 0.4 & 0.3 & 0.6 & 0.3 & 0.6 & 0.3 \\ 0.2 & 0.6 & 0.6 & 0.6 & 0 & 0.2 & 0.6 & 0.2 & 0.6 \\ 0.7 & 0.3 & 0.3 & 0.4 & 0.3 & 0 & 0.3 & 0.3 & 0.3 \\ 0.2 & 0.5 & 0.5 & 0.5 & 0.5 & 0.2 & 0.6 & 0.2 & 0.6 \\ 0.3 & 0.3 & 0.6 & 0.3 & 0.3 & 0.2 & 0 & 0.3 & 0.6 \\ 0.3 & 0.6 & 0.6 & 0.6 & 0.2 & 0.3 & 0.3 & 0.3 & 0.6 \\ 0.6 & 0.4 & 0.3 & 0.4 & 0.2 & 0.6 & 0.3 & 0 & 0.2 \\ 0.3 & 0.3 & 0.7 & 0.3 & 0.3 & 0.3 & 0.3 & 0.3 & 0 \\ 0.6 & 0.4 & 0.2 & 0.3 & 0.2 & 0.6 & 0.3 & 0.6 & 0.3 \end{bmatrix} \end{matrix} \quad (17)$$

STEP 3

ブロック Q_1 ((10)式)の要素は S_1 であるから、行列 \tilde{A}'' において S_1 列だけを調べればよい。すなわち、

$$S_{4,1} > 0.5 \quad S_{7,1} > 0.5 \quad S_{11,1} > 0.5 \quad S_{13,1} > 0.5 \quad (18)$$

であるから、 Q_1 に従属するすべての要素は、

$$S_4, S_7, S_{11}, S_{13}$$

である。

従って、 Q_1 に対応した単一階層行列 $\tilde{A}^{(1)}$ は、 \tilde{A}'' 行列の S_4 、 S_7 、 S_{11} 、 S_{13} 行と S_1 、 S_7 、 S_{11} 列を考えればよい。すなわち、

$$S_1 \quad S_7 \quad S_{11}$$

$$\tilde{A}^{(1)} = \begin{matrix} S_4 \\ S_7 \\ S_{11} \\ S_{13} \end{matrix} \begin{bmatrix} 0.6 & 0.6 & 0.6 \\ 0.7 & 0 & 0.3 \\ 0.6 & 0.6 & 0 \\ 0.6 & 0.6 & 0.6 \end{bmatrix} \quad (19)$$

$\tilde{A}^{(1)}$ 行列において、ある行を $[a_{i.}]$ で表すと、そのうちの1つの a_{ij} のみが $a_{ij} > p$ である行を regular 行という。 $\tilde{A}^{(1)}$ で言えば、 S_1 に対応する regular 行は S_7 である。すなわち S_7 は、 S_1 のみに従属し、他の要素に従属しない。これをグラフで表示すると次の通りである。(図1)



図1 構造グラフの形成

S_7 のグラフ構造上のレベルが分かったから $\tilde{A}^{(1)}$ 行列から消去するため、 S_1 列すなわち $[a_{.1}]$ を次式の $[a_{.1}^*]$ 列に置き換えて S_7 行を消去する。すなわち、

$$[a_{.1}^*] = [a_{.1}] \wedge [\bar{a}_{.7}] \quad (20)$$

\tilde{A}'' 行列より、

$$\begin{aligned} [a_{.1}^*] &= \begin{matrix} S_4 \\ S_7 \\ S_{11} \\ S_{13} \end{matrix} \begin{bmatrix} 0.6 \\ 0.7 \\ 0.6 \\ 0.6 \end{bmatrix} \wedge \begin{bmatrix} \overline{0.6} \\ \overline{0} \\ \overline{0.6} \\ \overline{0.6} \end{bmatrix} = \begin{matrix} S_4 \\ S_7 \\ S_{11} \\ S_{13} \end{matrix} \begin{bmatrix} 0.6 \\ 0.7 \\ 0.6 \\ 0.6 \end{bmatrix} \wedge \begin{bmatrix} 0.48 \\ 1 \\ 0.48 \\ 0.48 \end{bmatrix} \\ &= \begin{bmatrix} 0.48 \\ 0.7 \\ 0.48 \\ 0.48 \end{bmatrix} \quad (21) \end{aligned}$$

$$\text{ただし、} \overline{0.6} = \frac{1-0.6}{1-0.3 \times 0.6} \approx 0.4878$$

(21) 式の $[a_{.1}^*]$ 値をもって (19) 式の $[a_{.1}]$ を置き換え、 S_7 行を消去すると次式の $A_1^{(0)}$ 行列を得る。

$A_1^{(0)}$ において、 S_7 に対応する regular 行は S_{11} である。すなわち、 S_{11} は S_7 にのみ直接従属し、他の要素には従属しない。これをグラフ化すると次の通りである (図2)。



図2 構造グラフの形成

上述の計算と同様に、(2) 式において $[a_{.1}]$ を $[a_{.1}^*]$ に置き換え、 S_{11} 行を消去する。

$$\begin{aligned}
 [a_{.7}^*] &= [a_{.7}] \wedge [\bar{a}_{.11}] \\
 &= S_4 \begin{bmatrix} 0.6 \\ 0.6 \\ 0.6 \end{bmatrix} \wedge \begin{bmatrix} 0.48 \\ 1 \\ 0.48 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0.48 \\ 0.6 \\ 0.48 \end{bmatrix} \quad (23)
 \end{aligned}$$

(22) 式の $[a_{.7}]$ を (22) 式の $[a_{.7}^*]$ で置き換えて、 S_{11} 行を消去すると $A_2^{(0)}$ 行列を得る。

$$A_2^{(0)} = \begin{matrix} & S_1 & S_7 & S_{11} \\ \begin{matrix} S_4 \\ S_{13} \end{matrix} & \begin{bmatrix} 0.48 & 0.48 & 0.6 \\ 0.48 & 0.48 & 0.6 \end{bmatrix} \end{matrix} \quad (24)$$

$A_2^{(0)}$ 行列で、 S_{11} に対する regular 行は S_4 、 S_{13} である。これをグラフ化すると次の通りである (図3)。これは、ブロック Q_1 の構造グラフの完成である。

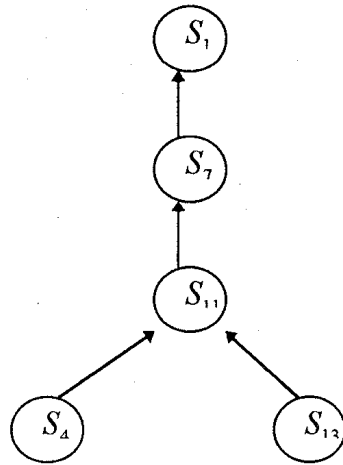


図3 ブロック Q_1 の構造グラフ

図3に示したグラフの要素を言語で表現すると次の階層構造をなす。これは生徒の授業に対する意識構造モデルの一部（ブロック Q_1 ）である。

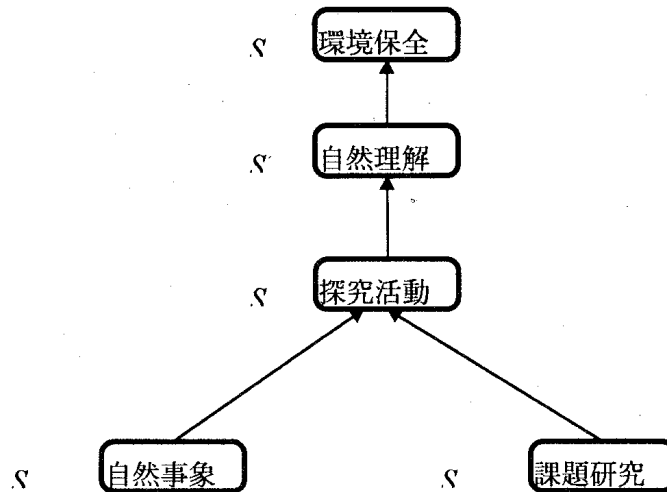


図4 意識構造モデルの一部（ブロック Q_1 ）

STEP 4

ブロック Q_2 に対応した単一階層行列を $\tilde{A}^{(2)}$ とする。 \tilde{A}'' 行列に関し、ブロックは Q_1 と Q_2 の2個だけであったから、(18)式の \tilde{A}'' 行列から $\tilde{A}^{(1)}$ の部分行列（(19)式）を取り除いた残りの行列が $\tilde{A}^{(2)}$ である。

$$\tilde{A}^{(2)} = \begin{matrix} & S_2 & S_3 & S_5 & S_6 & S_9 & S_{12} \\ S_2 & \begin{bmatrix} 0 & 0.6 & 0.7 & 0.3 & 0.4 & 0.6 \end{bmatrix} \\ S_6 & \begin{bmatrix} 0.6 & 0.6 & 0.6 & 0 & 0.6 & 0.6 \end{bmatrix} \\ S_8 & \begin{bmatrix} 0.5 & 0.5 & 0.5 & 0.5 & 0.6 & 0.6 \end{bmatrix} \\ S_9 & \begin{bmatrix} 0.3 & 0.6 & 0.3 & 0.3 & 0 & 0.6 \end{bmatrix} \\ S_{10} & \begin{bmatrix} 0.6 & 0.6 & 0.6 & 0.2 & 0.3 & 0.6 \end{bmatrix} \\ S_{12} & \begin{bmatrix} 0.3 & 0.7 & 0.3 & 0.3 & 0.3 & 0 \end{bmatrix} \end{matrix} \quad (25)$$

$Q_2 = \{S_3, S_5\}$ であるから、まず S_3 に対する regular 行は、 S_{12} である。すなわち S_{12} は S_3 に直接従属し、他の要素には従属しない。グラフ化すると次の通りである。



図5 構造グラフの形成

$\tilde{A}^{(2)}$ において、 S_3 列を、 $[a_{\cdot 3}^*] = [a_{\cdot 3}] \wedge [\bar{a}_{\cdot 12}]$ で置き換え、 S_{12} 行を消去すると $\tilde{A}_1^{(2)}$ 行列を得る。

$$[a_{\cdot 3}^*] = \begin{matrix} & [a_{\cdot 3}] & [\bar{a}_{\cdot 12}] \\ S_2 & \begin{bmatrix} 0.6 \\ 0.6 \\ 0.5 \\ 0.6 \\ 0.6 \\ 0.7 \end{bmatrix} & \begin{bmatrix} 0.48 \\ 0.48 \\ 0.48 \\ 0.48 \\ 0.48 \\ 0.38 \end{bmatrix} \\ S_6 & \begin{bmatrix} 0.6 \\ 0.6 \\ 0.5 \\ 0.6 \\ 0.6 \\ 0.7 \end{bmatrix} & \begin{bmatrix} 0.48 \\ 0.48 \\ 0.48 \\ 0.48 \\ 0.48 \\ 0.38 \end{bmatrix} \\ S_8 & \begin{bmatrix} 0.5 \\ 0.5 \\ 0.5 \\ 0.5 \\ 0.5 \\ 0.5 \end{bmatrix} & \begin{bmatrix} 0.48 \\ 0.48 \\ 0.48 \\ 0.48 \\ 0.48 \\ 0.38 \end{bmatrix} \\ S_9 & \begin{bmatrix} 0.3 \\ 0.6 \\ 0.3 \\ 0.3 \\ 0 & 0.6 \end{bmatrix} & \begin{bmatrix} 0.48 \\ 0.48 \\ 0.48 \\ 0.48 \\ 0.48 \\ 0.38 \end{bmatrix} \\ S_{10} & \begin{bmatrix} 0.6 \\ 0.6 \\ 0.6 \\ 0.2 \\ 0.3 & 0.6 \end{bmatrix} & \begin{bmatrix} 0.48 \\ 0.48 \\ 0.48 \\ 0.48 \\ 0.48 \\ 0.38 \end{bmatrix} \\ S_{12} & \begin{bmatrix} 0.3 \\ 0.7 \\ 0.3 & 0.3 & 0.3 & 0 \end{bmatrix} & \begin{bmatrix} 0.48 \\ 0.48 \\ 0.48 \\ 0.48 \\ 0.48 \\ 0.38 \end{bmatrix} \end{matrix} = \begin{matrix} & \begin{bmatrix} 0.48 \\ 0.48 \\ 0.48 \\ 0.48 \\ 0.48 \\ 0.38 \end{bmatrix} \\ S_2 & \begin{bmatrix} 0.6 \\ 0.6 \\ 0.5 \\ 0.6 \\ 0.6 \\ 0.7 \end{bmatrix} \\ S_6 & \begin{bmatrix} 0.6 \\ 0.6 \\ 0.5 \\ 0.6 \\ 0.6 \\ 0.7 \end{bmatrix} \\ S_8 & \begin{bmatrix} 0.5 \\ 0.5 \\ 0.5 \\ 0.5 \\ 0.5 \\ 0.5 \end{bmatrix} \\ S_9 & \begin{bmatrix} 0.3 \\ 0.6 \\ 0.3 \\ 0.3 \\ 0 & 0.6 \end{bmatrix} \\ S_{10} & \begin{bmatrix} 0.6 \\ 0.6 \\ 0.6 \\ 0.2 \\ 0.3 & 0.6 \end{bmatrix} \\ S_{12} & \begin{bmatrix} 0.3 \\ 0.7 \\ 0.3 & 0.3 & 0.3 & 0 \end{bmatrix} \end{matrix} \quad (26)$$

$$\tilde{A}_1^{(2)} = \begin{matrix} & S_2 & S_3 & S_5 & S_6 & S_9 & S_{12} \\ S_2 & \begin{bmatrix} 0 & 0.48 & 0.3 & 0.4 & 0.6 \end{bmatrix} \\ S_6 & \begin{bmatrix} 0.6 & 0.48 & 0 & 0.6 & 0.6 \end{bmatrix} \\ S_8 & \begin{bmatrix} 0.5 & 0.48 & 0.5 & 0.6 & 0.6 \end{bmatrix} \\ S_9 & \begin{bmatrix} 0.3 & 0.48 & 0.3 & 0 & 0.6 \end{bmatrix} \\ S_{10} & \begin{bmatrix} 0.6 & 0.48 & 0.2 & 0.3 & 0.6 \end{bmatrix} \end{matrix} \quad (27)$$

$\tilde{A}_1^{(2)}$ において、 S_{12} に対する regular 行は、 S_9 である。そこで、 S_{12} 列を $[a_{\cdot 12}^*] = [a_{\cdot 12}] \wedge [\bar{a}_{\cdot 9}]$ で置き換え、 S_9 行を消去すると、 $\tilde{A}_2^{(2)}$ 行列を得る。

なお、 S_3 列の要素は、0.5より小さく、 S_2 、 S_6 、 S_8 、 S_9 、 S_{10} は S_3 に直接従属しないので、 S 列を消去する。

ここまでをグラフ化すると図6となる。

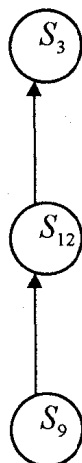


図6 構造グラフの形成

$$\begin{array}{c}
 [a \cdot 12] \quad [\bar{a} \cdot 9] \\
 \begin{array}{c} S_2 \\ S_6 \\ S_8 \\ S_9 \\ S_{10} \end{array} \begin{bmatrix} 0.6 \\ 0.6 \\ 0.6 \\ 0.6 \\ 0.6 \end{bmatrix} \wedge \begin{bmatrix} 0.68 \\ 0.48 \\ 0.48 \\ 1 \\ 0.77 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0.6 \\ 0.48 \\ 0.48 \\ 0.6 \\ 0.6 \end{bmatrix}
 \end{array} \quad (28)$$

$$\underset{\sim}{A}_2^{(2)} = \begin{array}{c} S_2 \\ S_6 \\ S_8 \\ S_{10} \end{array} \begin{array}{ccccc} S_2 & S_5 & S_6 & S_9 & S_{12} \\ \begin{bmatrix} 0 & 0.7 & 0.3 & 0.4 & 0.6 \\ 0.6 & 0.6 & 0 & 0.6 & 0.48 \\ 0.5 & 0.5 & 0.5 & 0.5 & 0.48 \\ 0.6 & 0.6 & 0.2 & 0.3 & 0.6 \end{bmatrix} \end{array} \quad (29)$$

$\underset{\sim}{A}_2^{(2)}$ において regular 行は存在しないが、 S_8 に対する regular 列は S_6 である。すなわちに S_6 に従属する要素は S_8 である。ここまでをグラフ化すると図7となる。

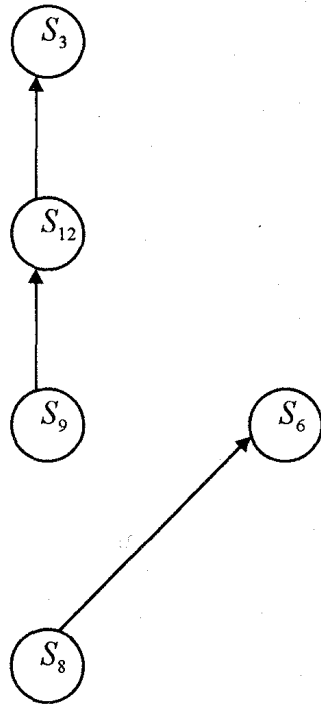


図7 構造グラフの形成

$A_2^{(2)}$ 行列から S_6 列を消去すると $A_3^{(2)}$ を得る。

$$A_3^{(2)} = \begin{matrix} & S_2 & S_5 & S_9 & S_{12} \\ S_2 & 0 & 0.7 & 0.4 & 0.6 \\ S_6 & 0.6 & 0.6 & 0.6 & 0.48 \\ S_8 & 0.5 & 0.5 & 0.5 & 0.48 \\ S_{10} & 0.6 & 0.6 & 0.6 & 0.6 \end{matrix} \quad (30)$$

$A_3^{(2)}$ は、regular 行、regular 列が存在しないため、2次の分割ですむ S_2 行を S_{2A} 、 S_{2B} に分割すると次の $A_4^{(2)}$ 行列を得る。

$$A_4^{(2)} = \begin{matrix} S_{2A} & 0 & 0.7 & 0.4 & 0 \\ S_{2B} & 0 & 0 & 0.4 & 0.6 \\ S_6 & 0.6 & 0.6 & 0.6 & 0.48 \\ S_8 & 0.5 & 0.5 & 0.5 & 0.48 \\ S_{10} & 0.6 & 0.6 & 0.3 & 0.6 \end{matrix} \quad (31)$$

$A_4^{(2)}$ において、 S_5 に対する regular 行は S_{2A} である。そこで、 S_5 列を $[a_{.5}^*] = [a_{.5}] \wedge [\bar{a}_{.2}]$ で置き換え、 S_{2A} 行を消去すると $A_5^{(2)}$ を得る。ここまですをグラフ化すると図8となる。



図8 構造グラフの形成

$$\begin{matrix} S_{2A} \\ S_{2B} \\ S_6 \\ S_8 \\ S_{10} \end{matrix} \begin{bmatrix} 0.7 \\ 0 \\ 0.6 \\ 0.5 \\ 0.6 \end{bmatrix} \wedge \begin{bmatrix} 1 \\ 1 \\ 0.48 \\ 0.58 \\ 0.48 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0.7 \\ 0 \\ 0.48 \\ 0.5 \\ 0.48 \end{bmatrix} \quad (32)$$

$$\underset{\sim}{A}_5^{(2)} = \begin{matrix} & S_2 & S_5 & S_9 & S_{12} \\ S_{2B} & \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0.4 & 0.6 \end{bmatrix} \\ S_6 & \begin{bmatrix} 0.6 & 0.48 & 0.6 & 0.48 \end{bmatrix} \\ S_8 & \begin{bmatrix} 0.5 & 0.5 & 0.5 & 0.48 \end{bmatrix} \\ S_{10} & \begin{bmatrix} 0.6 & 0.48 & 0.3 & 0.6 \end{bmatrix} \end{matrix} \quad (33)$$

$\underset{\sim}{A}_5^{(2)}$ において、 S_{12} に対する regular 行は S_{2B} である。そこで、 S_{12} 列を、 $\underset{\sim}{[a_{\cdot 12}^*]} = \underset{\sim}{[a_{\cdot 12}]} \wedge \underset{\sim}{[a_{\cdot 2}]}$ で置き換えて消去すると $\underset{\sim}{A}_6^{(2)}$ を得る。ここまですをグラフ化すると図9を得る。

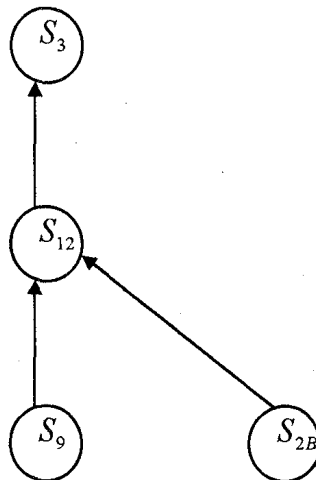


図9 構造グラフの形成

S_{2A} 、 S_{2B} は共に S_2 であるから図8、図9を統合すると図10を得る。

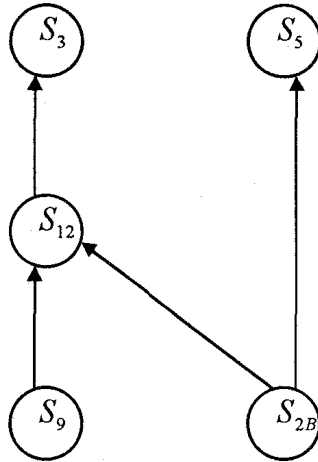


図 1 0

$$[a_{\cdot 12}^*] = \begin{matrix} S_{2B} \\ S_6 \\ S_8 \\ S_{10} \end{matrix} \begin{bmatrix} 0.6 \\ 0.48 \\ 0.48 \\ 0.6 \end{bmatrix} \wedge \begin{bmatrix} 1 \\ 0.48 \\ 0.58 \\ 0.48 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0.6 \\ 0.48 \\ 0.48 \\ 0.48 \end{bmatrix} \quad (34)$$

$$\underset{\sim}{A}_6^{(2)} = \begin{matrix} & S_2 & S_5 & S_9 & S_{12} \\ S_6 & 0.6 & 0.48 & 0.6 & 0.48 \\ S_8 & 0.5 & 0.5 & 0.5 & 0.48 \\ S_{10} & 0.6 & 0.48 & 0.3 & 0.48 \end{matrix} \quad (35)$$

$\underset{\sim}{A}_6^{(2)}$ において、 S_{12} に従属する要素がないから S_{12} 列を消去する。また、 S_2 に対応する regular 行は S_{10} であるが、 S_{10} 列がないので、 S_{10} 行を消去すると $\underset{\sim}{A}_7^{(2)}$ 行列を得る。ここまでをグラフ化すると図11となる。

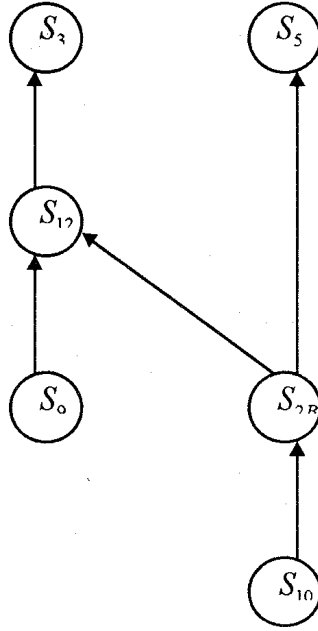


図 1.1 構造グラフの形成

$$A_{\sim 7}^{(2)} = \begin{matrix} & S_2 & S_5 & S_9 \\ S6 & \begin{bmatrix} 0.6 & 0.48 & 0.6 \end{bmatrix} \\ S8 & \begin{bmatrix} 0.5 & 0.5 & 0.5 \end{bmatrix} \end{matrix} \quad (3.6)$$

$A_{\sim 7}^{(2)}$ で、 S_8 に対応する regular 列は S_5 であり、 S_8 は S_5 に従属するが S_5 行がいなからそのまま S_5 列を消去する。かくして $A_{\sim 8}^{(2)}$ を得る。ここまですをグラフ化すると図 1.2 となる。



図 1.2

$A_{\sim 8}^{(2)}$ において S_6 列、 S_9 列が存在しないため、 S_6 は、 S_2 と S_9 に従属し、 S_8 も S_2 と S_9 とに従属する。ここまですをグラフ化すると図 1.3 となる。

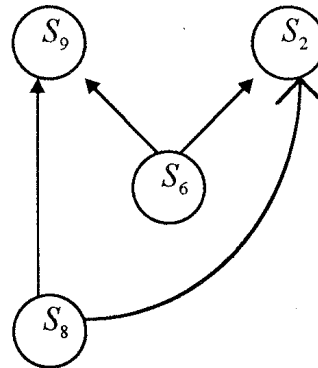


図 1.3 構造グラフの形成

図7, 図10、図11、図12、図13を統合するとブロック Q_2 の構造グラフが得られる。

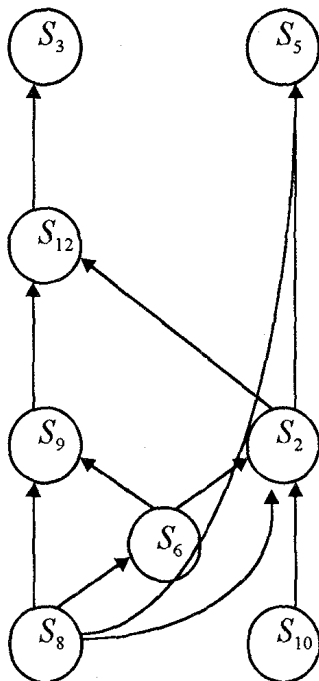


図14 ブロック Q_2 の構造グラフ

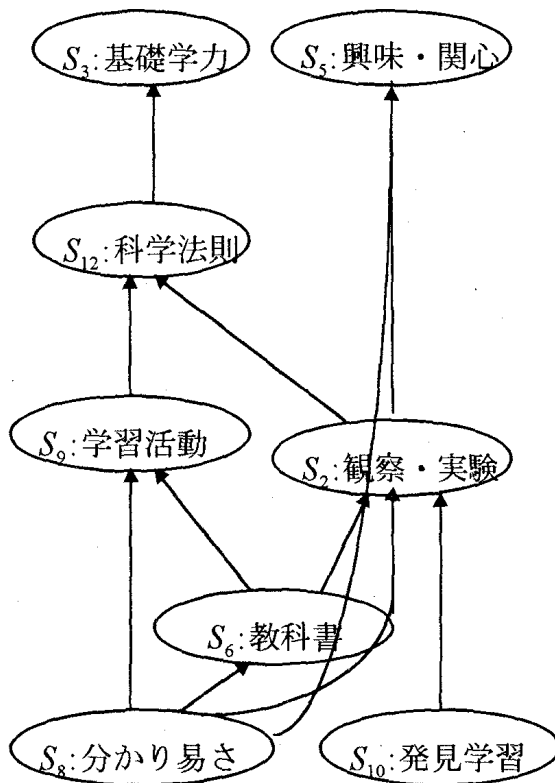


図15 意識構造モデルの一部 (ブロック Q_2)