愛知教育大学教科教育センター研究報告，第4号，pp. 23～35，March，1980

児童における比例概念の発達過程
(1) 序　　論

愛知教育大学心理学教室　子　安　増　生

I.

先に筆者は，児童の思考発達に関する最近の研究動向を展望したが（子安，1979a），その中で教科教育関係の論文にも少し言及した。そこでとりあげた論文の中には，ある教科についての素朴な実態調査の域を出ないという印象を与えるものも少なくなかった。筆者は，これまでに教科教育の研究に直接携わったことがなく，また限定された知識しかもちあわせていないが，教科教育の研究が今後更に実り豊かなものとなっていくには，児童の思考過程の詳細な分析と教授効果の厳密な検出が不可欠ではないかと考える。そのためには，発達心理学や教育心理学の方法と知見が，教科教育の研究の中に，もっと取り入れられてもよいだろうと思うのである。

では，現在の教科教育の研究体制は，どのようになっているのだろうか。教科教育という総称はあっても，実際には，国語科教育・理科教育などの教科ごとの各科教育が，それぞれの領域の中で研究をすすめているという側面が強いだろう。しかし，教科教育の統一性ということも，一方では主張されているのである。清永・大井・曽我（1976）は，日本教科教育学会発足の当時の事情を，次のように述べている。少し長くなるが，途中を省略せずに引用する。

> 日本教育大学協会（本部は東京学芸大学）の第二部会（教員養成系大学の全教官を以て組織）は，教員養成系大学の特色を強化することを願い，ここ8年程，毎年秋に，所謂「教科教育」を主とする研究発表会を開いて来ており，その他にも，夫々の教科で，例えば，理科教育学会のように，各教科毎の教育学会を持ち，現場との関連で各々独自の活動が盛んに行われ，会誌を発行しているところもある。他方，一部の逡巡にも拘〔ママ〕らず，昭和50年晩秋には，全教科に関するものを統合する所謂「教科教育学会」（仮称？）が発足したやに聞き及んでいる。前記の第二部会は13の部門に別れているが，著者の一人清永は，第二部会部門代表者会議（昭和50年7月）に，当時在籍の理科部門会長として出席し，御高説を拝聴する機会を得た。その折，既設の各教科教育学会と新「教科教育学会」との関係を質問した時，前者が各論であるのに対し，後者は総論の役割を果すべきものと説明され，重ねて，従来の教育学の分野における学習教授学若しくは教育方法論との抵触乃至その関連を尋ねた折に返って来た答では，教育学の専門家は各科

の内容に暗いことなどを例にあげて，従って，各科教育と教育学，心理学，更に社会科学などとの連絡融合の必要性が強調されたが，例えば，英語科教育法と理科教育法との通有性を見出して統合組織化する必要が何故あるのか，はた又，それは可能なのか，而してまた，そのような総論は空洞化し，根なし草になり，或いは，従来の教授方法学から独立し得るのか，などに対してはっきりした答は得られず，これらの疑念は残念ながら解消しなかった。しかし乍ら，無いよりはましだからという賛成論もあり，同時に，既存の各科教育学会を発展的に解消して新教科教育学会に統合することに対しては，何れの各科教育学会の責任者達も反対を表明され，一部からは，各教科教育学会の連絡機関として存在意義を認めるとの意見も述べられたが，新教科教育学会の主旨提唱者の方からは，連絡機関的存在には不満であり，あくまで superior な網羅的学会の性格の必要性が主張されたのであった。(P．234)

上に引用した文章の最後の文は，きわめて屈折した表現になっており，「総論としての教科教育学」をめぐる事情の複雑さを示唆している。確かに，目標や内容や方法を異にする各科教育を，ただ一つの理念や理論の下に統合することは，至難の業であろう。それにもかかわらず，「総論としての教科教育学」または教科教育の統一性が必要であるという意見が強いのはなぜだろうか。その理由は，教科・教師・生徒のそれぞれに内在していると思われる。

第一に，それぞれの教科は，基本的には互いに重複や矛盾がないように構成されているはずであるが，例えば，国語科の教材の中に未習の社会科の知識が入りこむということはありうる。逆に，現在どの教科でも扱われていないが，どこかで触れられなければならない新しい知識をどうするかという問題もあるはずである。このようなことは，各科教育学会間の連絡という次元をこえた問題を含んでいる。

第二に，特に初等教育においては，教師はほとんど総ての教科を一人で担当しなければならない。教科の目標や内容には共通性がなくても，せめて指導法には多少なりとも共通性を求めようとするのが自然であるだろう。

第三に，各教科がそれぞれの目標・内容・方法を持っているとしても，授業を受ける児童や生徒は，教科ごとに異なるわけではない。ある学年の児童・生徒が平均的に理解できることがらは，一定の範囲内である。知識だけでなく，技能や態度についても同じことが言える。

以上の他にも理由はあるだろうが，いずれにしても，今後「総論としての教科教育学」をめざすことが重要になると思われる。

Ⅱ．

それでは，「総論としての教科教育学」にとって心理学はどのような関連性があるのだろうか。心理学の研究の中には，ある特定の教科の問題を課題として用い，被験児群の課題

解決様式の発達的変化や，ある教授法の効果を調べるものがある。こういった研究は，教科教育の研究とどこが違っているのだろうか。

はじめに，後者の問題について，具体例をあげて考えてみる。河野（1978）は，小学5年生に「線対称」の概念を教える場合，最初に正事例（線対称の例となる図形）と負事例（線対称の例にならない図形）の割合をどのようにして示せばよいかについて調べた。そこで，事例の呈示のしかたに，5つのタイプが構成された。タイプⅠは正事例100％，Ⅱは正事例70％負事例30％，Ⅲは正事例30％負事例70％，Ⅳは負事例100％，そしてⅤは線対称の定義の逐語的記憶のみを行なわせ，事例を呈示しない群である。事後テスト（正事例4題と負事例3題）を与えて，呈示タイプの効果をみたところ，タイプⅠ・Ⅱでは正事例課題の正答率が高く，Ⅳでは負事例課題の正答率が高かったが，正・負事例7題をこみにしたときには，タイプによる差はあらわれないという結果がえられた。河野のこの研究は，小学5年生の児童に，線対称の概念を教えこむことを第一の目標としているのではないようである。なぜなら，この研究のタイトルは，「概念学習の教授プログラムの研究――正事例・負事例の割合の効果」であって，「線対称」という用語も，「小学5年生」という対象の限定も，そこにはみられない。更に，河野の別の研究では（河野，1977），正事例と負事例の割合の効果が，大学生に心理学の「コンフリクト（葛藤）」の概念を教える場合について，検討されているのである。この例のように，心理学の研究には，特定の教科をどう教えるかということに直接的に関心を持つよりは，より「一般的」な問題を志向するものが多いのである。

そこで，はじめの問題に戻って，「総論としての教科教育学」と心理学との関連性について考えてみると，心理学は「一般的」な問題を志向するという点では，「総論としての教科教育学」に近いと言えるかもしれない。しかし，分化した各領域を統合するものという意味でなら，あまり近いとは言えないであろう。先の清永他（1976）の引用文中に，「教育学の専門家は各科の内容に暗い」という一節があるが，このことは，心理学の専門家についてもほぼあてはまるだろう。

筆者が以下に論じ，また順次実証していきたいことは，「総論としての教科教育学」とは直接に関連しないかもしれないが，その必要理由の三番目にあげた児童の理解という観点から，いくつかの教科にまたがる問題を取りあげ，その解決には基礎となる共通の思考過程が存在するということである。ただし，ここでは，問題を児童後期の論理的思考の発達ということに限定して考えていく。

Ⅲ．

スイスの心理学者Piagetによると，子どもは，11～12歳から14～15歳にかけての時期――児童期の終期ないし前青年期（préadolescence）――において，論理が具体的な事物との結びつきから解放され，「形式論理」を構成することができるようになる（Inhelder & Piaget, 1958; Piaget, 1964; Piaget & Inhelder, 1966)。形式論理とは，どんな内容のも

のにも適用できる論理ということである。具体例をあげると，京大ＮＸ$_{5-8}$知能検査（５歳から８歳児を対象）の中に，推移律（transitivity）の課題がある。推移律とは，

Ａ＞Ｂ かつ Ｂ＞Ｃ ならば，Ａ＞Ｃ　　(1)

ということである。これは，Ａ・Ｂ・Ｃの各項にどのような事物が入っても，論理的に恒真な命題である。しかし，児童にとっては，Ａ＞Ｂ＞Ｃの関係が現実の事象と対応する課題（飛行機＜星，飛行機＞つばめの順で上にいるとき，上にいる順番に，○×一をつける）は解決しやすいが，現実との対応がない課題（三角＞丸，三角＜四角の順で重い）では，少し困難が生じ，現実とは逆の対応を示す課題（虎＜猫，虎＞象の順で大きい）では，内容にひきずられて，誤答が多くなる。図１は，この検査を改訂したときの標準化資料からとった結果である（子安，1979b）。現実とは逆の対応の課題の正答率は，９歳後半でも，現実と対応のある課題の６歳前半の児童の正答率に及ばないのである。

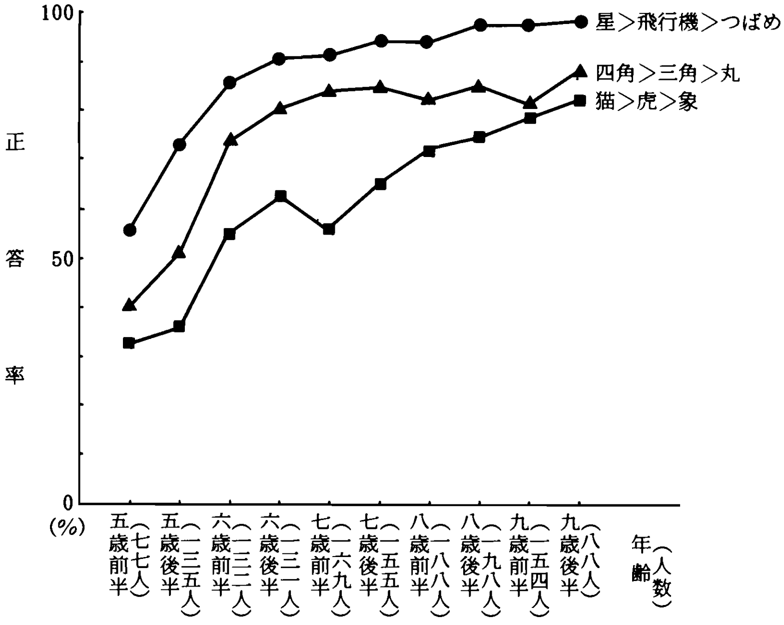


図１．三種の推移律課題での正答率の年齢変化（子安，1979b より）

児童後期の思考の特徴は，論理が内容に拘束されなくなるだけではなく，新しい論理構造が獲得されることにある。Piaget は，特にＩＮＲＣ群という４つの変換群の重要性を強調している。ＩＮＲＣ群は，Piaget が「Klein の四元群」のアナロジーとして構成した概念である。はじめに，志方（1970）により，群および「Kleinの四元群」の説明をおこなうこととする。まず，群とは，

定義：集合Gの元のあいだに演算が定義されており，Gの任意の元a，b，cのあいだに結合法則

$$(ab)c = a(bc) \qquad (2)$$

が成り立ち，Gのすべての元aについて共通に

$$a\ e = e\ a = a \tag{3}$$

なる関係を持つところの元 e が G に含まれ，また，

$$b\ a = a\ b = e \tag{4}$$

なる関係を満足する G の元 b が G のすべての元 a について存在するとき，G はこの定義されている演算に関して群をなすという（P．21)。

次に，「Kleinの四元群」は，回転操作によってつくられる群の一つである。空間内に直交座標軸 X，Y，Z があり，点Aを X 軸のまわりに180°回転することを b_X，Y 軸のまわりに180°回転することを b_Y，Z 軸のまわりに180°回転することを b_Z とすると，どのような回転もしないという操作 e を加えた4つの操作の間に，表1のような掛算表が成り立つ。この4つの操作は，結合法則，単位元の存在，逆元の存在という条件を満たしているので，群をなしている。ここで，結合法則〔例えば，$(b_X \cdot b_Y)\ b_Z = b_X(b_Y \cdot b_Z)$〕は，回転の順序を変えても，結果として生ずる点Aの位置が変わらないことを，単位元の存在〔例えば，$b_X \cdot e = e \cdot b_X = b_X$〕は，回転しないことも一つの操作と考えることを，逆元の存在〔例えば，$b_X \cdot b_X = e$〕は，180°の回転を2度おこなうと，360°の回転となり，回転しないこと（e）と同じになることを，それぞれ意味している。

表1．Kleinの四元群の掛算表（志方，1970より)。

	e	b_X	b_Y	b_Z
e	e	b_X	b_Y	b_Z
b_X	b_X	e	b_Z	b_Y
b_Y	b_Y	b_Z	e	b_X
b_Z	b_Z	b_Y	b_X	e

表2．PiagetのINRC群の掛算表

	I	N	R	C
I	I	N	R	C
N	N	I	C	R
R	R	C	I	N
C	C	R	N	I

さて，PiagetのＩＮＲＣ群とは，

Ｉ：同一変換

Ｎ：逆変換

Ｒ：相補変換

Ｃ：相関変換

の4つの変換が，表2に示されるような演算の関係において，群をなすというものである。Piaget & Inhelder (1966) は，含意（implication）を例にして，ＩＮＲＣ群を次のように説明している。

含意とは，「p ならば q である」という形式の命題をいう。これを，$p \supset q$ という記号であらわす。例えば，ある動体の停止が，ランプの点燈を伴うものとする。ここから，「点燈する（p）ならば，停止する（q）」という命題がとり出される。これは，「点燈し（p）かつ停止しない（$\sim q$）場合はない」という命題と同値である。これを，

$$\mathrm{I}:p\supset q\equiv\sim(p\sim q) \qquad (5)$$

であらわす。[1] 同一変換Ｉは，含意という命題そのもの，または，含意に何も操作をつけ加えないことと定義される。

逆変換Ｎは，(5)式の命題を否定することと定義される。つまり，

$$\mathrm{N}:\sim(p\supset q)\equiv(p\sim q) \qquad (6)$$

相補変換Ｒは，(5)式の変項同士を入れかえることと定義される。つまり，

$$\mathrm{R}:q\supset p\equiv\sim(q\sim p) \qquad (7)$$

相関変換Ｃは，(5)式の否定と変項の入れかえを同時におこなうことであると定義される。つまり，

$$\mathrm{C}:\sim(q\supset p)\equiv(q\sim p) \qquad (8)$$

いま，ＮにＲの変換をほどこすことを，ＲＮであらわすと，$(p\sim q)$ の変項同士を入れかえて，$(q\sim p)$ となり，Ｃと同値である。同様のことをおこなうことにより，

$$\mathrm{RN}\equiv\mathrm{NR}\equiv\mathrm{C},\ \mathrm{RC}\equiv\mathrm{CR}\equiv\mathrm{N},\ \mathrm{CN}\equiv\mathrm{NC}\equiv\mathrm{R} \qquad (9)$$

がえられる。また，

$$\mathrm{II}\equiv\mathrm{I},\ \mathrm{NN}\equiv\mathrm{I},\ \mathrm{RR}\equiv\mathrm{I},\ \mathrm{CC}\equiv\mathrm{I} \qquad (10)$$

および，

$$\mathrm{IN}\equiv\mathrm{NI}\equiv\mathrm{N},\ \mathrm{IR}\equiv\mathrm{RI}\equiv\mathrm{R},\ \mathrm{IC}\equiv\mathrm{CI}\equiv\mathrm{C} \qquad (11)$$

も成り立つ。従って，ＩＮＲＣの４操作は，表２の関係を満たしており，群をなしているのである。

Piaget によれば，児童が上のような命題操作を必要とする課題を解決しようとするとき，ＩＮＲＣ群の存在そのものを意識しているわけではないが，実際にはそれを用いているのだという。更に，このＩＮＲＣ群は，比例の概念を含むさまざまな課題にも適用可能であるとされる。Piaget & Inhelder (1966) から，三つの例を引用する。

(1) 天秤の釣合

天秤の片方に重りを加えるという操作を＋Ｐ，重りを除く操作を－Ｐとする。また，重りの位置を支点から遠くすることを＋Ｌ，支点に近づけることを－Ｌとする。ここで，＋Ｐを原操作（Ｉ），－Ｐをその逆（Ｎ）とすると，－Ｌは＋Ｐの相補（Ｒ）であり，＋Ｌは相関（Ｃ）である。この４つの間には，Ｉ／Ｒ＝Ｃ／Ｎ，つまりＩＮ＝ＲＣの関係が成り立つ。

(2) 二重の参照系

カタツムリが板の上を一定方向に動くとき，板を同じ速度で逆方向に動かすと，カタツムリは，外部の参照系から見れば，動いていないのと同じことになる。

Ｉ：カタツムリの右方向への移行

---

〔1〕論理記号は，近藤・好並 (1964) に従うこととする。p，q は二つの変項，$\supset$ は含意，$\sim$ は否定，$\equiv$ は同値を示す記号である。また，pq と $p\sim q$ は，それぞれ「p かつ q」および「p かつ q でない」を意味する。

Ｎ ： カタツムリの左方向への移行

Ｒ ： 板の左方向への移行

Ｃ ： 板の右方向への移行

とすると，カタツムリが右方向へ移行するとき，板を左方向へ移行させることは，カタツムリが左方向へ移行するとき，板を右方向へ移行させることと，結果的には同一である。これは，ＩＲ＝ＮＣであらわされる。

(3) 静水力学的均衡

液体の入ったＵ字型の水圧機の一方の枝にピストンを入れ，他方の枝の液面の高さを観察する。液面の高さを変える要因は，ピストンに加えられる重さと，液体の比重である。これは，

Ｉ ： ピストンの重量の増加

Ｎ ： ピストンの重量の減少

Ｒ ： 液体の比重の増加

Ｃ ： 液体の比重の減少

という構造によって説明される。

Piaget は，上のような例をあげて，ＩＮＲＣ群が，比例概念を含む課題にも適用できるという説明をおこなった。ところが，上の例は，実はＩＮＲＣ群の拡大解釈または誤用というべきものであって，いずれの場合も，ＩＮＲＣの４操作は群をなしていないのである。それは，まずＩが同一変換になっていないからである。Ｉが同一変換であれば，ＩＩ＝Ｉとなり，Ｉの操作を何度加えても，結果は元のままであるはずだが，上の例では，Ｉの操作を加えるたびに，天秤はいよいよ片方に傾き，カタツムリはどんどん右へ進み，ピストンの反対側の液面はますます高くなる。それだけでなく，ＩＮＲＣの４操作は，全体として，表２の関係を満たしていない。従って，含意をＩＮＲＣ群で説明することは可能だが，比例概念課題をＩＮＲＣ群で説明するPiaget の試みは，うまくいっていないのである。

Ⅳ．

比例概念の理解が児童後期の思考において本質的であるというPiaget の指摘は，重要な点であるように思われる。例えば，小学校の高学年の算数と理科の指導内容の中にも，比例に関するテーマがいろいろ盛りこまれている（文部省，1977，1978a，1978b）。まず算数についてみると，

〔５年生〕

分数の相等と大小

二つの量の割合でとらえられる数量（「単位量当たり」の考え方，速さ）

百分率

〔６年生〕

不確定事象の起こる程度

比例関係を活用する測定

図形の拡大図と縮図

比と比の値

正比例と反比例

資料のちらばり（平均，比率）

などが含まれている。理科では，

〔4年生〕

てんびんを作って，そのはたらきを調べる

〔6年生〕

てこを使って，力の加わる位置及び大きさを調べる

などの学習が，直接に比例概念に関係している。

比例概念の重要性は，算数や理科では当然であるが，それに尽きるわけではない。例えば，アナロジー表現の理解も，比例概念を基礎とするものである。アナロジーとは，AとBという事物の関係を，CとDの間に適用することである。つまり，

A：B ∷ C：D (12)

という形式の表現である。山口（1978）は，「女の子にはスカート，男の子には

という内容のアナロジーであれば，6歳児でもかなり理解できることを示している。しかし，より複雑なアナロジーは，児童期の後期にならないと理解がすすまないのである。その証拠の一つは，Sternberg & Rifkin（1979）の実験に見られる。これは，アメリカの小学校2年，4年，6年生と大学生を対象として，図形を用いたアナロジーの解決時間（潜時）を調べたものである。解決時間は，年齢とともに減少していくが，2年から4年への減少傾向が最も大きく，6年生の解決時間は，大学生と大差がなかった。この結果は，アナロジーの理解が児童後期にすすむことを示唆していると言えよう。

アナロジーは，国語の表現の中にもいろいろな形であらわれ，更に英語の表現の中ではより端的に登場する。次の二文は，「岩波英和大辞典」から引いたものである。

Intellect is to the mind what sight is to the body.

（知性と精神の関係は視覚と身体との関係に等しい）

What the elm and oak are to England, the olive is to Italy.

（イタリアにとってオリーブはイギリスにとってのにれとオークに相当する。）

この二つは，それぞれ，

A is to B what C is to D

および

What A is to B, C is to D

の形式をとっているが，これは(12)の「A：B ∷ C：D」を文として具現化したものに他ならない。このように，英語の表現には，文の形式そのものに，アナロジーを理解するための手がかりが含まれているのである。

アナロジーの一つの特徴は，(12)のＡ・Ｂ・Ｃ・Ｄの各項に具体的事物が入っても，数の比例や図形の相似の場合とは違って，関係が一義的に定まらないという点にある。「オーク：イギリス∷オリーブ：イタリア」は，アナロジーとして難しいものではないだろうが，「１：３＝２：６」ほど自明ではない。一応の説明を述べることはできても，それがこの文の話者の意味するものと一致するとは限らない。「１：３＝２：６」では，項目のどれか一つを取り去ろうとしても，他の数字で置きかえることはできない。しかし，「オーク：イギリス∷オリーブ：イタリア」では，どれか一つを取って，別のものにかえることができないではない。

アナロジーのもう一つの特徴は，各項に含まれる語が，具体的概念から抽象的概念や構成的概念に変わると，一般的に言って，理解が難しくなるということである。「女：スカート∷男：ズボン」や「オーク：イギリス∷オリーブ：イタリア」は，小学生でも十分理解ができるだろうが，「知性：精神∷視覚：身体」になると，高校生にとってさえ，それほどやさしくないと思われる。

各項に入れる語の種類や内容によって，アナロジーの理解の難易度が変化するという特性を利用して，アナロジー問題を下位検査として採り入れた知能検査がいくつかある。京大ＮＸ$_{8-12}$知能検査もその一つであり，「単語マトリックス」という下位検査をもっている。「単語マトリックス」とは，例えば，

ちち	おとこ
はは	☆

の星印のところに入る言葉を，５つの選択肢の中からさがさせる課題である。この課題は，マトリックスが２行２列の場合，(12)のヴァリエーションとなっている。アナロジーのヴァリエーションである「単語マトリックス」が，８歳から12歳の児童を対象とする京大ＮＸ$_{8-12}$知能検査に用いられていることは，児童後期において比例概念の理解が重要であることの傍証と言ってよいだろう。〔2〕

Ｖ.

前節では，児童後期または前青年期の思考にとって，比例概念が本質的であるというPiaget の主張の意義を展開した。しかし，比例概念の獲得をＩＮＲＣ群によって説明しようとするPiaget の試みには不十分な点があることは，既に見た通りである。従って，児童の比例概念の形成過程について，新しいモデルと研究法を探究していくことが，今後の重要な問題となっている。この点に関して，最近アメリカのSiegler が，Piaget の課題(In-

〔2〕なお，単語マトリックス検査は，ＮＸ$_{8-12}$の他にも，２行２列形式がＮＸ$_{9-15}$（９—15歳児対象）に，２行３列形式がＮＸ$_{15-}$（15歳以上対象）に含まれている。しかし，それ以前の年齢の児童を対象とするＮＸ$_{5-8}$，ＮＸ$_{7-9}$（７—９歳児対象）には含まれていない。

helder & Piaget, 1958) を用いながら，別の角度から比例概念の形成過程について検討し，有力な結果を得ている (Klahr & Siegler, 1978; Siegler, 1976, 1978; Siegler & Vago, 1978) ことは，注目に値する。そこで，次にSieglerの研究を概観してみよう。

Sieglerは，児童の思考を分析するにあたって，はじめに次の二つの仮定を置く。

(1) 児童の問題解決方略は，ルールに支配されたものである。そのルールは，年齢と共に，あまり洗練されていないものから洗練されたものへと発達する。

(2) このように仮定されたルールの発達を妥当化する一つの有力な方法は，用いられたルールに従属してはっきりと異なる正答と誤答のパターンを与えるような，問題のセットを案出することである。

上の二つの仮定のうち，(1)は言わば当然のことであって，とりたてて新しい考え方ではない。従って，ここでの主眼は(2)にあるわけだが，この仮定は，Piaget の児童発達研究法に対する批判から出たものであることに留意したい。つまり，Piaget の方法では，実験者がある課題を子どもに与えてその解決や回答を求め，そのときの問答の内容を評定することによって，その子どもの思考の発達段階が分類される。しかし，このような発達段階の分類には，実験者（評定者）の恣意的判断が混入することは避け難い。そこで，Siegler は，子どもが話す内容ではなく，課題に対する反応の正しさを従属変数として観察すべきであり，そのためには，正答率のパターンによって用いられたルールが推定できるように問題の呈示のしかたを工夫すべきであると主張したのである。例えば，Siegler は，Piagetも取りあげた天秤課題について，次のようなルール・モデルと問題構成を考えた。

まず，ルール・モデルは，子どもがある課題を解決するときに用いる方略をモデル化したものであり，天秤課題では，支点の両側に置かれる重りの数と，重りの支点からの距離の二要因を課題解決にどのように考慮するかによって，4種が区別される。

ルールⅠ：子どもは支点の両側の重りの数しか考慮に入れない。重りが同数なら，天秤はつりあうと予測され，同数でない場合には，数の多い方が下がると予測される。

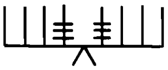
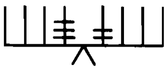
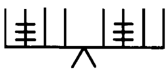
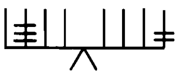
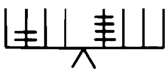
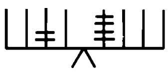
ルールⅡ：ここでもなお，重りの数が決定的である。しかし，もし重りが同数なら，次に距離の要因が考慮される。距離が同じなら，つりあうと予測され，同じでないなら，支点から遠くに重りがある方がさがると予測される。

ルールⅢ：すべての場合について，重りと距離の両要因が考慮される。両要因とも等しいなら，子どもは天秤がつりあうと予測する。もし一方の要因のみが等しいときは，他方の要因が結果を規定する。もし両要因とも異なり，かつ片方が重りの数と距離の両要因とも大きな値をとる場合には，そちら側がさがると予測される。しかし，片方は重りの数が多く，もう片方は支点からの距離が遠いという条件では，子どもは葛藤に直面し，一貫した解決法をもたない。

ルールⅣ：これは，成熟した知識を示すものである。子どもは，重りの数と支点からの距離をかけてモーメントを計算し，両方の結果を比較して判断する。

次に，子どもが用いているルールを推定するための問題構成の一例が，表3に示される。

表3．天秤課題における，児童が用いるルール別別の正答率パターンの予測（Siegler, 1978より)。数字はパーセントを示す。

問題のタイプ	ルール			
	Ⅰ	Ⅱ	Ⅲ	Ⅳ
A 均衡 	100	100	100	100
B 重り 	100	100	100	100
C 距離 	0 「つりあう」と言う	100	100	100
D 葛藤一重り 	100	100	33 チャンスレベルの反応	100
E 葛藤一距離 	0 「右がさがる」と言う	0 「右がさがる」と言う	33 チャンスレベルの反応	100
F 葛藤一均衡 	0 「右がさがる」と言う	0 「右がさがる」と言う	33 チャンスレベルの反応	100

表の中の数字は，あるルールに完全に従ったときの正答率をパーセントで示したものである。ルールⅢの葛藤条件（タイプD，E，F）で「33」となっているのは，この条件の場合，予測の基準がないので，「つりあう」・「右がさがる」・「左がさがる」のどれもが等しい確率で答えられることを示す。個々の問題のみでは，どのルールが用いられているかを特定することはできないが，6問を通してみると推定が可能になる。Siegler（1976）の実験Ⅰの結果では，年齢別の正答率は次のようになった。

（人数は各群30人）

5－6歳： 94, 88, 9, 86, 11, 7。

9－10歳： 99, 98, 78, 74, 32, 17。

13－14歳： 99, 98, 81, 53, 48, 26。

16－17歳： 100, 98, 95, 51, 50, 40。

数字は，順にA～Fの問題の正答パーセントである。これを表3と対照すると，5－6歳児はルールⅠに，9－10歳児はルールⅡに，13－14歳児はルールⅢに，それぞれ近似的に対応していることが分かる。しかし，ルールⅣは，16－17歳児でも，十分に取り入れられているとは言えないようである。

Sieglerは，以上の「天秤のつりあい」の他にも，基本的に同じ構造をもつ問題として，次のものを取りあげている。

(1) 光源のつくる影

二組の点光源とスクリーンを用意する。光源とスクリーンの間の一個所にT字型のバーを置き，その影をスクリーンにうつす。T字バーの大きさと光源からのバーの距離の二要因を変化させて，二つの影の大きさを子どもに比較して予測させる。

(2) 確　率

赤と青のおはじきを混ぜあわせたものを二組（例えば，「赤3個と青2個」および「赤5個と青4個」）呈示し，「目をつぶって赤のおはじきを取るとしたら，どちら側から取りたいか，それともどちらからでもよいか？」と問う。ここでは，望む色のおはじきの個数と望まない色のおはじきの個数の二要因を考えねばならない。

(3) 液量の比較

高さと底面積の異なるビーカーを幾つか用意する。そのうちの２つに，水を容器の1/4, 1/2, 3/4, 1 のどれかの割合で注ぎ，どちらがより「いっぱい (full)」であるかを比べさせる。正しい判断のためには，底面積が無関連要因であることを知り，液面の高さと空の部分の高さの両要因に注目する必要がある。

以上のように，Sieglerの研究は，今のところ理数的な分野に限定されているが，その理論の適用範囲は広いように思われる。

さて，本稿の締め括りになるが，上述のような問題の整理を基礎として，次に筆者が目標とすることは，

(1) 比例概念に関するSieglerの研究を再検討し，更に理論を展開すること。

(2) 比例概念を算数・理科の問題に局限せず，アナロジーなども含めて考察し，児童後期の子どもの思考の特徴を明らかにすること。

の二点である。序論はこれくらいにとどめて，今後は実証的なデータに基づいて論ずることにしたい。

文 献

Inhelder, B., & Piaget, J. 1958 *The growth of logical thinking from childhood to adolescence*. Basic Books.

清永嘉一・大井正道・曽我一郎 1976 自然科学教育の基本理念の検討（第２報）大阪教育大学紀要（第Ⅴ部門），**25**，233－248。

Klahr, D., & Siegler, R. S. 1978 The representation of children's knowledge. In H. Reese & L. P. Lipsitt (Eds.), *Advances in child development* (Vol. 12). Academic Press.

河野義章 1977 概念学習の教授プログラムに関する研究 ── 正事例・負事例の割合の効果 ── 福島大学教育学部論集（教育・心理），**29**，13－17。

河野義章 1978 概念学習の教授プログラムの研究 ── 正事例・負事例の割合の効果 ── 日本教育心理学会第20回総会発表論文集，644－645。

近藤洋逸・好並英司 1964 論理学概論 岩波書店。

子安増生 1979a 思考 日本児童研究所編，児童心理学の進歩，**XVIII**，63－90。

子安増生 1979b 新訂京大NX_{5-8}知能検査の項目分析 愛知教育大学研究報告（教育科学），**28**，109－122。

文部省 1977 改訂小学校学習指導要領 大蔵省印刷局。

文部省 1978a 小学校指導書算数編 大阪書籍。

文部省 1978b 小学校指導書理科編 大日本図書。

Piaget, J. 1964 *Six études de psychologie*. Edition Gonthie.（滝沢武久訳 思考の心理学 みすず書房 1968。）

Piaget, J., & Inhelder, B. 1966 *La psychologie de l'enfant*. P. U. F.（波多野完治・須賀哲夫・周郷博訳 新しい児童心理学 白水社 1969。）

Siegler, R. S. 1976 Three aspects of cognitive development. *Cognitive Psychology*, **4**, 481—520。

Siegler, R. S. 1978 The origins of scientific reasoning. In R. S. Siegler (Ed.) *Children's thinking : What develops ?* Lawrence Erlbaum Associates, Inc.

Siegler, R. S., & Vago, S. 1978 The development of a proportionality concept : Judging relative fullness. *Journal of Experimental Child Psychology*, **25**, 371—396。

志方守一 1970 生物学のための群論入門 朝倉書店。

Sternberg, R. J., & Rifkin, B. 1979 The development of analogical reasoning processes. *Journal of Experimental Child Psychology*, **27**, 195—232。

山口勝己 1978 幼児の類推能力 日本教育心理学会第20回総会発表論文集, 86—87。