

# 子どもの科学的認識の論理分析について

—— 命題についての分析 ——

林 秀 雄

## A Logical Analysis of Children's Scientific Cognition

—— An Analysis of a Proposition ——

Hideo Hayashi

### 1. は じ め に

幼児教育での領域『自然』, 小・中学校における『理科』に直接的に関わりをもつ科学的認識<sup>(1)</sup>とその形成過程については, いろいろな角度から研究が行われている。その中でも, ピアジェの論理モデル等, 一連の研究はよく知られている<sup>(2)</sup>。

ピアジェの論理モデルは, 思考の結果を分析するための統計的モデルではなく, 子どもの思考活動の発達やそのメカニズムを考えるために, 記号論理学を駆使して提案されたものであり, 子どもの思考活動のパターンを記述・説明したり, まだ確かめられていない課題に対する反応を予測することができると言われている<sup>(3)</sup>。そして, 思考が均衡状態に達した時の『状態』の記述として具体的操作段階においては群性体モデル, 形成的操作段階においては群・束構造モデルを提示している。

ピアジェの論理モデルは, 思考の発達のプロセスをおさえることができる点で有効であり, 同時に, 科学的認識の形成過程を考える場合にもすぐれたものといえる。ピアジェの論理モデルは, 思考の均衡状態のモデルであり, 理想的認識の構造的特徴の説明をなすものであり<sup>(4)</sup>, 認識過程については『定性的』な分析を行っているともみることができる。

そこで, ピアジェの定性的な分析とは異なった方法, すなわち『定量的』な分析方法が可能かどうかを検討してみた。認識がもっとも広い意味での知識<sup>(5)</sup>であり, 知識が多かれ少なかれ命題(あるいは, 所定の文脈の中で命題的効果力をもつ発言)の体系である<sup>(6)</sup>とするならば, 命題についての真偽分析を行うことは, 知識, さらに認識についての一つの分析方法と考えられる。

まず子どもの発言を命題としてとり出し, 単一な命題, 仮言命題, 選言命題, 連言命題のそれぞれについて真偽分析を行った。

そして, ピアジェ課題の分析結果とピアジェの発達段階との比較を行ってみた。すなわち, 分析結果がピアジェの発達段階に対応するような何らかの規則性があるのかどうかをみてみた。

また、ピアジェ課題と理科授業プロトコールの結果を比較し、理科授業プロトコールに示される子どもの理解度がどの程度のものであるのか、同時に、ピアジェの発達段階でみるならばどの段階に位置づけられるのかをもみることにした。例えば、完全にマスターしている段階にあるのか、または、その一歩手前にあるといえるのかといった点についても検討してみた。

その結果として、(1)ピアジェの発達段階との対応が予想以上に成り立っており、子どもの認識過程をみていくうえで真偽分析が一定の有効性を持ち得るのではないか。(2)今回とり上げた理科授業プロトコールが、ピアジェ課題での真偽の割合比較から正しい認識を得られる前段階にあるとみなすことができ、そのことから、児童・生徒にとって十分に理解可能な内容となっていると判断できるのではないか。(3)さらに、(1)、(2)の点から真偽分析が、子どもの認識過程をみていく時、一定の有効性を持ち得るのではないか、また、学習評価の一つの方法として、あるいは教材分析の方法としての資格を持ち得るのではないか、といった様な点を指摘することができた。

## 2. 方 法

### 2.1 命題

命題は、きわめて単純化された分類をすれば、定言命題と条件命題、そして連言命題に分けることができる。そして、条件命題は仮言命題と選言命題に分けられる。ただし、本研究では、(A)単一な命題、(B)仮言命題について検討してみた。

#### (A) 単一な命題

定言命題に加えて、仮言命題の前件、後件、選言命題、連言命題の一つ一つを単一な命題として扱うことにした。

#### (B) 仮言命題

子どもの発言の中で、前件と後件がはっきり表現されている場合と、含意を示唆する発言であってもその前件または後件が表現されていない場合とがある。

後者の場合、表現されていない『かくれた部分』は単一な命題としてはカウントしないことにする。

また、前件、後件ともに真であっても論理的に飛躍がある場合については『J』命題と表示し、真命題とは区別した。

さらに、前件、後件ともに偽の場合(F Fタイプ)、記号論理学のおしえるところでは真となるが、一方、正しい認識であるのかどうかという観点からすれば必ずしも事実についての正しい判断とはいえない。したがって、このような場合には『N』命題として区別した。

#### (C) 選言命題

仮言命題と同様に、両命題がはっきり表現されている場合と、かくれた部分をもつ場合とがあるが、その扱い方は仮言命題の場合と同様にした。

#### (D) 連言命題

表1 仮言命題の真理表

| 命題<br>タイプ | p | q | $p \supset q$ |
|-----------|---|---|---------------|
| T T       | T | T | T             |
| T F       | T | F | F             |
| F T       | F | T | T             |
| F F       | F | F | T             |

p, q : 命題      T : 真  
 $\supset$  : 含意      F : 偽

選言命題の場合と同様にした。

## 2.2 分析課題

まずピアジェの保存課題、『物質量の保存<sup>(7)</sup>』、『重さの保存<sup>(8)</sup>』、『体積の保存<sup>(9)</sup>』について、子どもの発言を命題としてとり出し真偽分析を行った。この3つの課題では、4才半から12才の子ども(83名)の応答が扱われている。ピアジェの発達段階でみるならば、前操作的段階から具体的操作段階に相当する子どもたちと位置づけられる。

次に取り上げた課題は、ピアジェの『磁石の実験<sup>(10)</sup>』課題と言われているものである。この課題では、形式的操作段階に対応する子ども(14才11カ月)の応答について分析を行ってみた。

さらに、理科授業プロトコルの2例を取り上げた。ひとつは、具体的操作段階に相当する小学校6年生の理科授業『ろうそくの炎<sup>(11)</sup>』のプロトコルから子どもの発言をとり出し、命題の真偽分析を行った。また、形式的操作段階にある中学校3年生の理科授業『運動とエネルギー<sup>(12)</sup>』のプロトコルについても分析を行ってみた。

## 2.3 比較

各課題について真偽分析を行い、まずピアジェ課題での分析結果とピアジェの発達段階との比較を行ってみた。この場合、真偽による分析方法が一定の有効性を持ち得るのかどうかを検討してみた。

次に、ピアジェ課題と理科授業プロトコルとの比較を行ってみた。理科授業プロトコルが、ピアジェ課題のどのような段階と対応するのか検討してみた。

そして、上記の点から命題の真偽分析が教材分析の一つの方法となり得るのかどうかについても考えてみた。

## 2.4 データの処理

各課題ごとに、単一な命題、仮言命題、選言命題、連言命題について真偽の判断を行い、子ども一人ひとりの集計をとった。そして、(1)まず、すべての単一な命題、仮言命題、選言命題、連言命題の真偽の集計を各課題ごとに作成した。(表2参照)

(2)各課題に直接関わりをもつ単一な命題をとり出し集計をとった。(表3-1, 3-2, 3-3, 表4参照)

(3)各課題に直接関わりをもつ仮言命題についても集計をとった。(表5参照)

(4)仮言命題の4つのタイプ(TT, TF, FT, FF)別に集計を行った。(表6参照)

# 3. 分析結果

## 3.1 ピアジェの発達段階と分析結果

(i)まず、ピアジェの保存課題の分析結果とピアジェの発達段階とを比較してみた。

ピアジェは、各保存量について難易のヒエラルキーがあり一定の順序があるとして、発達段階を4

表2 各命題の真偽比

| 課題           | 命 題<br>段 階  | 単一な命題 |    | 仮 言 命 題 |    |   |    | 連言命題 |     | 選言命題 |   |
|--------------|-------------|-------|----|---------|----|---|----|------|-----|------|---|
|              |             | 真     | 偽  | 真       | 偽  | J | N  | 真    | 偽   | 真    | 偽 |
| 物質の<br>保存    | I (9人)      | 37    | 63 | 4       | 48 | 0 | 48 | 0    | 100 |      |   |
|              | II A (5人)   | 67    | 33 | 50      | 25 | 0 | 25 | 50   | 50  |      |   |
|              | II B (11人)  | 96    | 4  | 91      | 0  | 0 | 9  | 100  | 0   |      |   |
| 重さの<br>保存    | II B (12人)  | 52    | 48 | 15      | 59 | 4 | 22 | 35   | 65  |      |   |
|              | III A (7人)  | 69    | 31 | 36      | 40 | 8 | 16 | 59   | 41  | 100  | 0 |
|              | III B (10人) | 95    | 5  | 100     | 0  | 0 | 0  | 83   | 17  |      |   |
| 体積の<br>保存    | III B (4人)  | 56    | 44 | 44      | 12 | 0 | 44 | 42   | 58  |      |   |
|              | IV A (7人)   | 73    | 27 | 44      | 39 | 6 | 11 | 70   | 30  |      |   |
|              | IV B (8人)   | 98    | 2  | 96      | 0  | 4 | 0  | 93   | 7   |      |   |
| 磁石の<br>実験    | 14才11ヵ月(1人) | 84    | 16 | 100     | 0  | 0 | 0  | 100  | 0   | 100  | 0 |
| ろうそくの<br>炎   | 小学6年 (14人)  | 78    | 22 | 64      | 36 | 0 | 0  | 83   | 17  |      |   |
| 運動とエ<br>ネルギー | 中学3年 (10人)  | 73    | 27 | 71      | 29 | 0 | 0  | 50   | 50  | 100  | 0 |

※空白部分は該当する命題が存在しない

(%)

つに分け、さらに第2段階以降は2つの小段階に分けられるとしている<sup>(13)</sup>。

第1段階 (I) ……すべての物理量の保存が認められない。

第2段階

第1小段階 (II A) …物質量の保存が認められたり、認められなかったりする。保存の萌芽があらわれはじめる。

第2小段階 (II B) …物質量の保存は、どの子どもについても認められる。

第3段階

第1小段階 (III A) …重さの保存については不安定であるが、物質量の保存は確実となっている。

第2小段階 (III B) …重さの保存も認められるようになる。

第4段階

第1小段階 (IV A) …体積の保存については不安定。

第2小段階 (IV B) …体積の保存も認められ、3つの物理量の保存が確立する。

(A) まずはじめに単一な命題の真偽分析からみていく。

●単一な命題の真偽は、各課題とも段階が進むとともに真命題が増え、各物理量の保存が認められる段階ではほぼ真命題となる。すなわち、真命題の比率の推移は、物質量の保存課題で I 37%、II A 67%、II B 96%、重さの保存課題で II B 52%、III A 69%、III B 95%、体積の保存課題では III B 56%、IV A 73%、IV B 98%となっている。(表2)

●各物理量の保存に関わる命題だけをとり出した場合、初期の段階では真よりも偽が上回っているが、

段階が進むにしたがって真が着実に増え、各物理量の保存が確立する段階の第1小段階(II A, III A, IV A)においては、真・偽両命題が存在し不安定であるが、第2小段階(II B, III B, IV B)ではほぼ真命題のみとなる。このように、過渡的な第1小段階と保存が完成する第2小段階では、はっきりとした差があることが指摘できる。真命題の比率の推移をみていくと、物質量の保存課題では、I 0%, II A 53%, II B 100%, 重さの保存課題では、II B 8%, III A 48%, III B 100%, 体積の保存課題では、III B 4%, IV A 61%, IV B 100%となっている。(表4)

●体積の保存課題では、体積そのものに関わる命題と、体積概念に関わりをもつ『水の高さが同じかどうか』(以下『水位』と表示する)を表わす命題と、『水中で粘土が同じだけの場所をとるのかどうか』(以下『場所』と表示する)を表わす命題については、一括して体積の保存に関わる命題として扱った。これらの命題は、真偽判断にほぼ同じ傾向を持っている。これは、水位、場所についての判断と

表3-1 単一な命題の真偽比(物質量の保存課題)

| 段階       | 子どもの名前<br>(年 令) | 単一な命題 |    |    | 保存量に関する命題 |   |    | 保存量に関する真命題 |    |    | 保存量に関する偽命題 |    |    | その他の命題 |   |
|----------|-----------------|-------|----|----|-----------|---|----|------------|----|----|------------|----|----|--------|---|
|          |                 | 計     | 真  | 偽  | 計         | 真 | 偽  | 物質<br>量    | 重さ | 体積 | 物質<br>量    | 重さ | 体積 | 真      | 偽 |
| I        | Lou(4才6ヵ月)      | 8     | 4  | 4  | 4         | 0 | 4  | 0          | 0  | 0  | 2          | 2  | 0  | 4      | 0 |
|          | Bat(4才7ヵ月)      | 4     | 1  | 3  | 3         | 0 | 3  | 0          | 0  | 0  | 2          | 0  | 1  | 1      | 0 |
|          | Mar(5才5ヵ月)      | 12    | 6  | 6  | 6         | 0 | 6  | 0          | 0  | 0  | 3          | 3  | 0  | 6      | 0 |
|          | Cher(6才6ヵ月)     | 11    | 1  | 10 | 10        | 0 | 10 | 0          | 0  | 0  | 4          | 2  | 4  | 1      | 0 |
|          | Cop(6才)         | 3     | 1  | 2  | 2         | 0 | 2  | 0          | 0  | 0  | 2          | 0  | 0  | 1      | 0 |
|          | Jum(7才3ヵ月)      | 8     | 2  | 6  | 5         | 0 | 5  | 0          | 0  | 0  | 3          | 1  | 1  | 2      | 1 |
|          | Rog(7才3ヵ月)      | 9     | 4  | 5  | 5         | 0 | 5  | 0          | 0  | 0  | 3          | 2  | 0  | 4      | 0 |
|          | Fil(7才2ヵ月)      | 11    | 4  | 7  | 6         | 0 | 6  | 0          | 0  | 0  | 4          | 2  | 0  | 4      | 1 |
| II A     | Die(7才1ヵ月)      | 5     | 3  | 2  | 2         | 0 | 2  | 0          | 0  | 0  | 2          | 0  | 0  | 3      | 0 |
|          | Exe(6才)         | 7     | 4  | 3  | 6         | 3 | 3  | 3          | 0  | 0  | 3          | 0  | 0  | 1      | 0 |
|          | Jag(7才)         | 3     | 3  | 0  | 2         | 2 | 0  | 2          | 0  | 0  | 0          | 0  | 0  | 1      | 0 |
|          | Dan(7才)         | 7     | 5  | 2  | 4         | 2 | 2  | 2          | 0  | 0  | 1          | 0  | 1  | 3      | 0 |
|          | Roug(7才6ヵ月)     | 4     | 3  | 1  | 2         | 1 | 1  | 1          | 0  | 0  | 1          | 0  | 0  | 2      | 0 |
| II B     | Char(10才学業遅滞児)  | 21    | 13 | 8  | 8         | 2 | 6  | 2          | 0  | 0  | 4          | 1  | 1  | 0      | 0 |
|          | Fra(6才半)        | 4     | 2  | 2  | 3         | 1 | 2  | 1          | 0  | 0  | 0          | 1  | 1  | 1      | 0 |
|          | Rag(7才半)        | 4     | 4  | 0  | 2         | 2 | 0  | 1          | 0  | 1  | 0          | 0  | 0  | 2      | 0 |
|          | Apo(8才2ヵ月)      | 3     | 3  | 0  | 2         | 2 | 0  | 2          | 0  | 0  | 0          | 0  | 0  | 1      | 0 |
|          | Ber(9才)         | 3     | 3  | 0  | 2         | 2 | 0  | 2          | 0  | 0  | 0          | 0  | 0  | 1      | 0 |
|          | No(9才)          | 6     | 6  | 0  | 2         | 2 | 0  | 2          | 0  | 0  | 0          | 0  | 0  | 4      | 0 |
|          | Ev(9才)          | 1     | 1  | 0  | 1         | 1 | 0  | 1          | 0  | 0  | 0          | 0  | 0  | 0      | 0 |
|          | Fol(9才半)        | 8     | 8  | 0  | 3         | 3 | 0  | 3          | 0  | 0  | 0          | 0  | 0  | 5      | 0 |
|          | Bur(9才11ヵ月)     | 6     | 6  | 0  | 2         | 2 | 0  | 1          | 0  | 1  | 0          | 0  | 0  | 4      | 0 |
|          | Rug(10才半)       | 5     | 5  | 0  | 2         | 2 | 0  | 2          | 0  | 0  | 0          | 0  | 0  | 3      | 0 |
|          | Giv(11才)        | 1     | 1  | 0  | 1         | 1 | 0  | 1          | 0  | 0  | 0          | 0  | 0  | 0      | 0 |
| Ros(12才) | 3               | 3     | 0  | 1  | 1         | 0 | 1  | 0          | 0  | 0  | 0          | 0  | 2  | 0      |   |

(命題数)

表 3-2 単一な命題の真偽比（重さの保存課題）

| 段階       | 子どもの名前<br>(年齢) | 単一な命題 |    |    | 保存量に関する命題 |   |    | 保存量に関する命題 |    |    | 保存量に関する命題 |    |    | その他の命題 |   |
|----------|----------------|-------|----|----|-----------|---|----|-----------|----|----|-----------|----|----|--------|---|
|          |                | 計     | 真  | 偽  | 計         | 真 | 偽  | 物質<br>量   | 重さ | 体積 | 物質<br>量   | 重さ | 体積 | 真      | 偽 |
| I        | Rou(4才半)       | 4     | 1  | 3  | 3         | 0 | 3  | 0         | 0  | 0  | 0         | 2  | 1  | 1      | 0 |
|          | Dur(6才)        | 6     | 2  | 4  | 6         | 2 | 4  | 1         | 1  | 0  | 1         | 3  | 0  | 0      | 0 |
|          | Sala(7才半)      | 6     | 1  | 5  | 5         | 0 | 5  | 0         | 0  | 0  | 2         | 3  | 0  | 1      | 0 |
| II A     | Vis(5才半)       | 25    | 11 | 14 | 16        | 2 | 14 | 2         | 0  | 0  | 1         | 9  | 4  | 9      | 0 |
|          | Bon(6才)        | 23    | 13 | 10 | 14        | 4 | 10 | 2         | 2  | 0  | 1         | 8  | 1  | 9      | 0 |
| II B     | Oc(6才)         | 20    | 11 | 9  | 14        | 6 | 8  | 3         | 3  | 0  | 0         | 8  | 0  | 5      | 1 |
|          | Min(6才半)       | 10    | 6  | 4  | 6         | 2 | 4  | 1         | 1  | 0  | 0         | 4  | 0  | 4      | 0 |
|          | Suz(6才半)       | 10    | 6  | 4  | 6         | 2 | 4  | 1         | 0  | 1  | 0         | 4  | 0  | 4      | 0 |
|          | And(7才)        | 7     | 5  | 2  | 3         | 1 | 2  | 1         | 0  | 0  | 0         | 2  | 0  | 4      | 0 |
|          | Phil(7才)       | 5     | 2  | 3  | 3         | 1 | 2  | 1         | 0  | 0  | 0         | 2  | 0  | 1      | 1 |
|          | Mor(7才)        | 9     | 4  | 5  | 6         | 1 | 5  | 1         | 0  | 0  | 0         | 4  | 1  | 3      | 0 |
|          | Gai(8才)        | 9     | 4  | 5  | 6         | 1 | 5  | 1         | 0  | 0  | 0         | 5  | 0  | 3      | 0 |
|          | Rou(9才)        | 9     | 3  | 6  | 7         | 1 | 6  | 1         | 0  | 0  | 0         | 4  | 2  | 2      | 0 |
|          | Ado(10才2ヵ月)    | 22    | 9  | 13 | 13        | 2 | 11 | 2         | 0  | 0  | 0         | 11 | 0  | 7      | 2 |
|          | Mel(10才)       | 38    | 23 | 15 | 13        | 2 | 11 | 0         | 2  | 0  | 0         | 11 | 0  | 21     | 4 |
|          | Gra(10才半)      | 4     | 1  | 3  | 3         | 1 | 2  | 0         | 0  | 0  | 0         | 2  | 0  | 1      | 1 |
| Mul(10才) | 5              | 3     | 2  | 2  | 0         | 2 | 0  | 0         | 0  | 0  | 2         | 0  | 3  | 0      |   |
| III A    | Cru(7才半)       | 12    | 9  | 3  | 7         | 4 | 3  | 0         | 4  | 0  | 0         | 3  | 0  | 5      | 0 |
|          | Lip(7才10ヵ月)    | 5     | 4  | 1  | 2         | 1 | 1  | 0         | 1  | 0  | 0         | 1  | 0  | 3      | 0 |
|          | Thom(9才)       | 10    | 8  | 2  | 5         | 3 | 2  | 1         | 2  | 0  | 0         | 1  | 1  | 5      | 0 |
|          | Ben(9才2ヵ月)     | 32    | 19 | 13 | 14        | 5 | 9  | 2         | 2  | 1  | 0         | 6  | 3  | 14     | 4 |
|          | Cham(9才半)      | 14    | 9  | 5  | 11        | 6 | 5  | 2         | 4  | 0  | 0         | 5  | 0  | 3      | 0 |
|          | Gra(10才)       | 16    | 8  | 8  | 11        | 4 | 7  | 1         | 3  | 0  | 0         | 7  | 0  | 4      | 1 |
|          | Saz(10才半)      | 21    | 19 | 2  | 7         | 6 | 1  | 0         | 6  | 0  | 0         | 1  | 0  | 13     | 1 |
| III B    | Rob(8才)        | 2     | 2  | 0  | 2         | 2 | 0  | 0         | 1  | 1  | 0         | 0  | 0  | 0      | 0 |
|          | Jam(9才2ヵ月)     | 4     | 3  | 1  | 1         | 1 | 0  | 0         | 1  | 0  | 0         | 0  | 0  | 2      | 1 |
|          | Fog(9才9ヵ月)     | 8     | 8  | 0  | 4         | 4 | 0  | 3         | 1  | 0  | 0         | 0  | 0  | 4      | 0 |
|          | Bru(9才10ヵ月)    | 7     | 7  | 0  | 4         | 4 | 0  | 1         | 3  | 0  | 0         | 0  | 0  | 3      | 0 |
|          | Bon(10才1ヵ月)    | 9     | 9  | 0  | 3         | 3 | 0  | 0         | 3  | 0  | 0         | 0  | 0  | 6      | 0 |
|          | Ser(10才)       | 5     | 3  | 2  | 3         | 2 | 1  | 0         | 2  | 0  | 0         | 0  | 1  | 1      | 1 |
|          | Dub(10才半)      | 9     | 9  | 0  | 4         | 4 | 0  | 0         | 4  | 0  | 0         | 0  | 0  | 5      | 0 |
|          | Ron(11才)       | 6     | 6  | 0  | 2         | 2 | 0  | 0         | 2  | 0  | 0         | 0  | 0  | 4      | 0 |
|          | Gei(11才)       | 2     | 2  | 0  | 1         | 1 | 0  | 1         | 0  | 0  | 0         | 0  | 0  | 1      | 0 |
| Ma(12才)  | 4              | 4     | 0  | 4  | 4         | 0 | 2  | 2         | 0  | 0  | 0         | 0  | 0  | 0      |   |

(命題数)

表3-3 単一な命題の真偽比（体積の保存課題）

| 段階    | 子どもの名前<br>(年齢) | 単一な命題 |    |    | 保 存 量 に<br>関 する 命 題 |    |    | 保 存 量 に 関 する 真 命 題 |        |        |        |        | 保 存 量 に 関 する 偽 命 題 |        |        |        |        | そ の 他 の 命 題 |   |
|-------|----------------|-------|----|----|---------------------|----|----|--------------------|--------|--------|--------|--------|--------------------|--------|--------|--------|--------|-------------|---|
|       |                | 計     | 真  | 偽  | 計                   | 真  | 偽  | 物<br>質<br>量        | 重<br>さ | 体<br>積 | 水<br>位 | 場<br>所 | 物<br>質<br>量        | 重<br>さ | 体<br>積 | 水<br>位 | 場<br>所 | 真           | 偽 |
| I     | Ada(6才)        | 6     | 2  | 4  | 4                   | 0  | 4  | 0                  | 0      | 0      | 0      | 0      | 1                  | 1      | 0      | 2      | 0      | 2           | 0 |
| II B  | Rod(7才)        | 10    | 4  | 6  | 8                   | 2  | 6  | 1                  | 1      | 0      | 0      | 0      | 0                  | 0      | 1      | 2      | 2      | 2           | 0 |
|       | Nal(7才半)       | 10    | 3  | 7  | 7                   | 0  | 7  | 0                  | 0      | 0      | 0      | 0      | 0                  | 0      | 1      | 4      | 2      | 3           | 0 |
| III A | Beg(9才2ヵ月)     | 21    | 12 | 9  | 10                  | 1  | 9  | 0                  | 1      | 0      | 0      | 0      | 0                  | 1      | 1      | 1      | 6      | 11          | 0 |
|       | Clod(10才5ヵ月)   | 20    | 13 | 7  | 6                   | 0  | 6  | 0                  | 0      | 0      | 0      | 0      | 0                  | 1      | 0      | 2      | 3      | 13          | 1 |
| III B | Mey(8才早熟)      | 11    | 6  | 5  | 9                   | 4  | 5  | 2                  | 2      | 0      | 0      | 0      | 0                  | 0      | 1      | 2      | 2      | 2           | 0 |
|       | Lad(10才半)      | 11    | 5  | 6  | 3                   | 0  | 3  | 0                  | 0      | 0      | 0      | 0      | 0                  | 0      | 1      | 1      | 1      | 5           | 3 |
|       | Got(11才)       | 14    | 9  | 5  | 6                   | 2  | 4  | 0                  | 1      | 1      | 0      | 0      | 0                  | 0      | 1      | 0      | 3      | 7           | 1 |
|       | Fre(11才5ヵ月)    | 30    | 17 | 13 | 20                  | 7  | 13 | 4                  | 3      | 0      | 0      | 0      | 1                  | 0      | 2      | 5      | 5      | 10          | 0 |
| IV A  | Pel(9才)        | 14    | 10 | 4  | 8                   | 5  | 3  | 2                  | 0      | 0      | 0      | 3      | 0                  | 0      | 0      | 1      | 2      | 5           | 1 |
|       | Den(9才)        | 11    | 9  | 2  | 4                   | 3  | 1  | 1                  | 0      | 0      | 1      | 1      | 0                  | 0      | 0      | 0      | 1      | 6           | 1 |
|       | Ler(10才)       | 12    | 8  | 4  | 6                   | 2  | 4  | 0                  | 0      | 1      | 1      | 0      | 1                  | 0      | 1      | 0      | 2      | 6           | 0 |
|       | Drec(10才)      | 12    | 7  | 5  | 8                   | 4  | 4  | 0                  | 0      | 2      | 0      | 2      | 0                  | 0      | 2      | 1      | 1      | 3           | 1 |
|       | Div(10才半)      | 9     | 7  | 2  | 7                   | 5  | 2  | 0                  | 0      | 0      | 3      | 2      | 0                  | 0      | 0      | 1      | 1      | 2           | 0 |
|       | Via(11才)       | 14    | 11 | 3  | 11                  | 8  | 3  | 0                  | 2      | 4      | 2      | 0      | 0                  | 0      | 1      | 1      | 1      | 3           | 1 |
|       | Sed(11才)       | 10    | 9  | 1  | 7                   | 6  | 1  | 0                  | 1      | 0      | 4      | 1      | 0                  | 0      | 0      | 1      | 0      | 3           | 0 |
| IV B  | Gas(9才半)       | 6     | 6  | 0  | 4                   | 4  | 0  | 1                  | 0      | 1      | 1      | 1      | 0                  | 0      | 0      | 0      | 0      | 2           | 0 |
|       | Bur(9才10ヵ月)    | 5     | 5  | 0  | 3                   | 3  | 0  | 1                  | 0      | 0      | 2      | 0      | 0                  | 0      | 0      | 0      | 0      | 2           | 0 |
|       | Her(10才)       | 2     | 2  | 0  | 1                   | 1  | 0  | 0                  | 0      | 0      | 1      | 0      | 0                  | 0      | 0      | 0      | 0      | 1           | 0 |
|       | Vig(10才半)      | 9     | 9  | 0  | 8                   | 8  | 0  | 0                  | 1      | 1      | 4      | 2      | 0                  | 0      | 0      | 0      | 0      | 1           | 0 |
|       | Dub(10才10ヵ月)   | 18    | 18 | 0  | 14                  | 14 | 0  | 4                  | 3      | 1      | 2      | 4      | 0                  | 0      | 0      | 0      | 0      | 4           | 0 |
|       | Biv(11才)       | 11    | 10 | 1  | 7                   | 6  | 1  | 4                  | 0      | 0      | 1      | 1      | 0                  | 0      | 1      | 0      | 0      | 4           | 0 |
|       | Roug(11才半)     | 5     | 5  | 0  | 1                   | 1  | 0  | 0                  | 0      | 0      | 0      | 1      | 0                  | 0      | 0      | 0      | 0      | 4           | 0 |
|       | Her(12才)       | 7     | 7  | 0  | 2                   | 2  | 0  | 0                  | 1      | 0      | 0      | 1      | 0                  | 0      | 0      | 0      | 0      | 5           | 0 |

(命題数)

体積の保存とが同じレベルの思考力を必要としているのではないかと考えられる。(表3-3)

● 保存量の判断を示す命題以外のものについては、その多くが粘土の形状を表わす命題であり、またどの段階においても真命題が圧倒的に多い。子どもは、初期の段階にあっても、粘土の形状に関わる判断を誤ることは少ないといえる。(表3-1, 表3-2, 表3-3)

(B) 次に仮言命題の真偽分析をみていく。

「もし……ならば……」という仮言命題は、前件や後件の真偽を単独で主張するのではなく、例えば、前件が真であれば後件も真であると言明できるというものである<sup>(14)</sup>。だから、仮言命題の真偽の別は、前件、後件の真偽の組合せによって決まるといってもよい。そして、このとき前件は後件を『含意する』といい、この関係を『含意』とよび、因果関係や、推理<sup>(15)</sup>による論理的関係をあらわす<sup>(16)</sup>。そこで、定言命題（本研究では、単一な問題）の分析では、一つの事実についての判断が正しいのか誤っているのかをみるのであるが、仮言命題では、原因と結果の関係を正しく把握できるのかどうか、

また論理的推理が正しく働いているのかどうかをみることになる。

●この場合にも、真偽の割合については単一な命題と同じような傾向をもつ。真偽の比は、初期の段階では偽が上回っているが、漸次、真が増え、過渡期の段階で真偽がほぼ同率となり、完成段階では真のみとなる。真命題の比率の推移は、物質量の保存課題では、I 4%、II A 33%、II B 91%、重さの保存課題では、II B 15%、III A 36%、III B 100%、体積の保存課題では、III B 44%、IV A 44%、IV B 96%となっている。(表2)

●各物理量に関わる仮言命題<sup>(17)</sup>の真偽の割合も、同様の傾向をもっている。真命題の比率の推移は、物質量の保存課題では、I 8%、II A 33%、II B 100%、重さの保存課題では、II B 5%、III A 36%、III B 100%、体積の保存課題では、III B 31%、IV A 47%、IV B 94%となっている。(表5)

●J命題については、きわめて少数の例が確認できるとどまった。物質量の保存課題では、1例もみられなかった。重さの保存課題では、II B段階で2命題、III A段階で1命題みられるのみ。体積の保存課題では、III A段階で1命題、IV A段階で1命題、IV B段階で1命題のみとなっている。(課題に関わる仮言命題のみ)

●記号論理学のおしえるところでは、前件が偽の場合、後件を拘束しない。すなわち、後件の真偽にかかわらず仮言命題は真となる。そして、内容上の連関を必要としない<sup>(18)</sup>。これは、論理学の高度の統一性に対する要請によるものではあるが、常識的には奇怪に思える。さらに、子どもの事実についての判断をみる時、必ずしも前件が真の場合と同様には扱えない。

まず、前件が偽で後件が真となる仮言命題については、1例みられたのみであった。(体積の保存課題のIV A段階、Pel, 9才)

次に、前件、後件ともに偽であるN命題は、どの課題についても初期の段階からあらわれ、漸次減少していき、保存が確立する段階ではなくなっている。課題に関わる仮言命題でのN命題の比率をみていくと、物質量の保存課題では、I 33%、II A 17%、II B 0%、重さの保存課題では、II B 22%、III A 18%、III B 0%、体積の保存課題では、III B 54%、IV A 6%、IV B 0%となっている。(表5)

#### (ii) 磁石の実験課題での真偽分析

ピアジェの指摘では、形式的操作段階の子どもは、仮説からつぎの仮説へと順次吟味していくことができ、そのとき16の二項組合せ命題の集合にもとづいた正しい推理ができるとしている<sup>(19)</sup>。

##### (A) 単一な命題の真偽分析 (表4)

- 単一な命題については、真偽は、真が84%で、真命題が圧倒的に多い。
- 課題に関わる単一命題でも、真が84%となっている。

##### (B) 仮言命題の真偽分析 (表5)

- 仮言命題は、5命題すべて課題に関わるものばかりであり、すべて真命題。J命題、N命題は存在しない。

### 3.2 理科授業プロトコールの分析結果

#### (i) 『ろうそくの炎』課題の分析



分析の箇所は、ろうそくの炎のどの部分が一番熱いのかを答えさせ、その理由を説明させる授業場面を取り出したもので、14人の児童の応答について分析を行った。

(A) 単一な命題についての分析 (表4)

●単一な命題では、真命題が圧倒的に多く、真が78%となっている。また、炎の熱さに関わる命題だけでは、真は64%となっている。ただし、プロトコル全体をみた場合には、真の比率はさらに高くなっている。

(B) 仮言命題についての分析 (表5)

●仮言命題でもやはり、真が偽を上回っている。真が64%となっている。さらに課題に関する仮言命題では、真が75%となっている。J命題、N命題は存在しない。

(ii) 『運動とエネルギー』課題の分析

このプロトコルでは、ものが落下する場合の重力の働き、またその時の運動についての説明を生徒にもとめている場面を取り上げた。

(A) 単一な命題についての分析 (表4)

●真命題が圧倒的に多く、真の割合は73%となっている。また、課題に関わる命題を取り出した場合にも、真の割合は、78%となっている。

(B) 仮言命題についての分析 (表5)

●仮言命題も単一な命題と同様に、真が偽を大きく上回っている。真の割合は、71%となっている。課題に関わる仮言命題では、真の割合は77%となっている。J命題、N命題は存在しない。

表4 単一な命題についてのピアジェ課題と理科授業プロトコルとの比較

| 課題       | 命題<br>段階    | 単一な命題 |    | 個別課題に関わる命題 |     | 課題以外の命題 |    |
|----------|-------------|-------|----|------------|-----|---------|----|
|          |             | 真     | 偽  | 真          | 偽   | 真       | 偽  |
| 物質量の保存   | I (9人)      | 37    | 63 | 0          | 100 | 93      | 7  |
|          | II A (5人)   | 59    | 41 | 53         | 47  | 100     | 0  |
|          | II B (11人)  | 95    | 5  | 100        | 0   | 100     | 0  |
| 重さの保存    | II B (12人)  | 52    | 48 | 8          | 92  | 87      | 13 |
|          | III A (7人)  | 69    | 31 | 48         | 52  | 89      | 11 |
|          | III B (10人) | 95    | 5  | 100        | 0   | 93      | 7  |
| 体積の保存    | III B (4人)  | 56    | 44 | 4          | 96  | 86      | 14 |
|          | IV A (7人)   | 74    | 26 | 61         | 39  | 90      | 10 |
|          | IV B (8人)   | 98    | 2  | 100        | 0   | 100     | 0  |
| 磁石の実験    | 14才11ヵ月(1人) | 84    | 16 | 84         | 16  | 100     | 0  |
| ろうそくの炎   | 小学6年(14人)   | 78    | 22 | 64         | 36  | 85      | 15 |
| 運動とエネルギー | 中学3年(10人)   | 73    | 27 | 78         | 22  | 72      | 28 |

(%)

表5 仮言命題についてのピアジェ課題と理科授業プロトコールとの比較

| 課題       | 命題<br>段階    | 仮言命題 |    |   |    | 各課題に関わる仮言命題 |    |   |    |
|----------|-------------|------|----|---|----|-------------|----|---|----|
|          |             | 真    | 偽  | J | N  | 真           | 偽  | J | N  |
| 物質量の保存   | I (9人)      | 4    | 48 | 0 | 48 | 8           | 59 | 0 | 33 |
|          | II A (5人)   | 33   | 50 | 0 | 17 | 33          | 50 | 0 | 17 |
|          | II B (11人)  | 91   | 0  | 0 | 9  | 100         | 0  | 0 | 0  |
| 重さの保存    | II B (12人)  | 15   | 59 | 4 | 22 | 5           | 68 | 5 | 22 |
|          | III A (7人)  | 36   | 40 | 8 | 16 | 36          | 41 | 5 | 18 |
|          | III B (10人) | 100  | 0  | 0 | 0  | 100         | 0  | 0 | 0  |
| 体積の保存    | III B (4人)  | 44   | 12 | 0 | 44 | 31          | 15 | 0 | 54 |
|          | IV A (7人)   | 44   | 39 | 6 | 11 | 47          | 41 | 6 | 6  |
|          | IV B (8人)   | 96   | 0  | 4 | 0  | 94          | 0  | 6 | 0  |
| 磁石の実験    | 14才11カ月(1人) | 100  | 0  | 0 | 0  | 100         | 0  | 0 | 0  |
| ろうそくの炎   | 小学6年(14人)   | 64   | 36 | 0 | 0  | 75          | 25 | 0 | 0  |
| 運動とエネルギー | 中学3年(10人)   | 71   | 29 | 0 | 0  | 77          | 23 | 0 | 0  |

(%)

表6 仮言命題のタイプ比較

| 課題       | 段階          | 仮言命題のタイプ |    |    |    |
|----------|-------------|----------|----|----|----|
|          |             | TT       | TF | FT | FF |
| 物質量の保存   | I (9人)      | 4        | 48 | 0  | 48 |
|          | II A (5人)   | 33       | 50 | 0  | 17 |
|          | II B (11人)  | 91       | 0  | 0  | 9  |
| 重さの保存    | II B (12人)  | 20       | 59 | 0  | 21 |
|          | III A (7人)  | 44       | 40 | 0  | 16 |
|          | III B (10人) | 100      | 0  | 0  | 0  |
| 体積の保存    | III B (4人)  | 44       | 12 | 0  | 44 |
|          | IV A (7人)   | 44       | 39 | 6  | 11 |
|          | IV B (8人)   | 100      | 0  | 0  | 0  |
| 磁石の実験    | 14才11カ月(1人) | 100      | 0  | 0  | 0  |
| ろうそくの炎   | 小学6年(14人)   | 55       | 36 | 9  | 0  |
| 運動とエネルギー | 中学3年(10人)   | 71       | 29 | 0  | 0  |

(%)

#### 4. 考 察

命題の真偽分析なる方法が、子どもの認識過程の分析方法として一定の有効性を持ち得るかどうかに  
ついて検討した。

本研究では、二種類の命題について真偽分析を試みた。一つは、子どもが正しい概念理解ができて  
いるかどうかという点で定言命題をとり上げ、もう一つは基礎的な思考過程（あるいは、単純な推理  
といってもいい）を判断するものとして仮言命題をとり上げた。

ピアジェ課題での分析では、ピアジェが指摘している保存についての一定の順序性が予想以上には  
はっきり示すことができた。すなわち、課題に関わる単一な命題でみた場合、第2段階で物質量の保  
存、第3段階で重さの保存、第4段階では体積の保存の確立することが真偽分析の面から明らかにで  
きた。

さらに、ピアジェの定性的分析では必ずしも十分に指摘されなかった点として、各小段階ごとの特  
徴を真偽分析によって、定量的に示すことができた。すなわち、保存が完成する小段階(II B, III B,  
IV B)とその前の小段階である過渡的段階(II A, III A, IV A)とでは、真偽の割合にはっきりとし  
た差が認められる。課題に関わる単一な命題でみた場合、保存が完成する小段階では、すべて真命題  
であるのに対し、過渡的な小段階では、真偽の割合は比較的接近している。物質量の保存課題では、  
II Aでは真が53%、偽が47%。重さの保存課題では、III Aでは真が48%、偽が52%。体積の保存課題  
では、IV Aでは真が61%、偽が39%。また、過渡的小段階とその前の小段階(I, II B, III B)をみ  
た場合にも、はっきりとした差異をみることができる。この場合にもまず課題に関わる単一な命題で  
みるならば、過渡期の前段階での真偽の割合は、物質量の保存課題では、Iでは真が0%、偽が100%、  
重さの保存課題では、II Bで真が8%、偽が92%、体積の保存課題では、III Bで真が4%、偽が96%  
となっている。

このような小段階間での差異は、仮言命題の真偽をみた場合にもまったく同じことがみられた。(表  
5)

また、仮言命題におけるN命題の存在は、形式論理の体系と人間(子ども)が日常扱っている論理  
(自然言語)とのちがいを示すものといえるものであり、真偽分析をすすめていくうえで今後解決して  
いかなければならない大きな問題である。と同時に、このN命題は試行錯誤をくり返す段階では存  
在し、一旦保存が確立されれば消えてあられもないことから、また、N命題の存在する割合が比較的  
多い(物質量の保存課題では、I 33%、II A 17%、重さの保存課題では、II B 22%、III A 18%、体積  
の保存課題では、III B 54%、IV A 6%)ことからN命題が、課題の理解度を知らうえて、真偽命題  
と同等に参考にしていかなければならないと考えられる。(表5)

次に、理科授業プロトコルの分析結果をみてみる。2例とも課題に関わる単一命題、仮言命題と  
もに、真が偽を大きく上回っている。(表4, 5)このような真偽の割合は、ピアジェ課題では過  
渡的小段階と保存が完成する小段階の中間に位置するといえる。このことは、2例の理科授業では、  
子どもは課題理解の一手手前にいるのではないかと考えられる。つまり、この場合の教材はともに、

子どもにとって『多少やさしい』が、決して難し過ぎることはなく、すでに獲得されている課題ではなく、適切な水準にあるといえないだろうか。

ただし、ピアジェ課題の分析と理科授業プロトコールの分析とを比較することには、少々問題がある。まず同じ子どもを対象とした分析ではなく、理科授業プロトコールでは同一年令の子どもについてのみ分析を行ったにとどまるなどの点は十分に考慮しておかなければならず、今後の検討課題ともなってくるであろう。

しかし、そうであっても、いままでみてきたように命題の真偽分析が、子どもの認識過程を明らかにしていく一つの方法として、また、教材分析の一つの側面をもつものとして今後検討していくだけの可能性をもっているのではないかと考える。

## 5. 結 び

子どもの科学的認識の形成過程を明らかにする方法として、命題の真偽による分析が一定の有効性を持ち得ることが明らかになったといえる。しかしながら、本研究で扱った命題は、定言命題（単一命題）と仮言命題にとどまっており、更に、選言命題、連言命題についても検討を行っていく必要がある。また、科学的思考に必要な演繹推理（三段論法）、さらには、蓋然的推理についても今後の研究課題であると考えられる。

また、子どもがつまづきやすい教材とは何か、そして、その原因を探る方法として真偽分析が活用できないかといった点について今後の研究課題としていきたい。

本研究についての御指導、御助言をいただいた岐阜大学教育学部森幸雄教授に対して深く感謝をのべるものである。

## 注

- 1) 現代論理学の立場では、科学的認識の類型を、一般に、数学的認識と物理学的認識に分類している。また、ウィーン学団の論理学者たちの主張は、数学的認識は演繹に訴えることにより成立し、物理学的認識は経験の確認に訴えることにより成立するというものである。
- 2) Piaget, J. Traite de logique (Colin, 1949)
- 3) 波多野完治編 『ピアジェの認識心理学』 p211 国土社 1977年（以下、ピアジェの認識心理学と略す）
- 4) ピアジェの認識心理学p226
- 5) 林達夫他監修 『哲学事典』 p1071 平凡社 1979年
- 6) ノーウッド・R. ハンソン 野家啓一、渡辺博訳 『知覚の発見』（上）p190 紀伊国屋書店 1982年
- 7) J. ピアジェ, B. インヘルダー 滝沢武久, 銀林浩訳 『量の発達心理学』 p3～31 国土社 1981年（以下、量の発達心理学と略す）
- 8) 量の発達心理学p32～70
- 9) 量の発達心理学p71～95
- 10) ピアジェの認識心理学p242～244
- 11) 岐阜大学教育学部附属小学校6年, 加藤 卓教諭, 1980年
- 12) 岐阜大学教育学部附属中学校3年, 横幕 宣弘教諭, 1980年
- 13) ピアジェの認識心理学p.126～129

14) 近藤洋逸, 好並英司著 『論理学入門』 p28 岩波書店 1982年 (以下, 論理学入門と略す)

15) 梅津八三他編 『心理学事典』 p370~371 平凡社 1977年

推理には、『直接推理』と『間接推理』とがあり, 直接推理は推理に際して既知の知識ないし前提が1つのとき, 間接推理は知識または前提が2つ以上の場合をさす。間接推理の典型的なものが三段論法である。本研究の推理という場合は直接推理をさす。

16) 論理学入門p28~29

17) 後件が保存量に関わる場合をさす。

18) 論理学入門p31~34

19) ピアジェの認識心理学p240~246

### 参 考 文 献

沢田充茂 『現代論理学入門』 岩波書店, 1970年

J. ピアジェ, 芳賀純訳 『論理学と心理学』 評論社, 1972年

渋谷憲一, 井上尚美 『ピアジェによる論理的思考の構造』 明治図書, 1968年

滝沢武久編 『講座 現代思考心理学 4 科学的思考』 明治図書, 1967年

日本理科教育学会編 『現代理科教育大系 3』 東洋館出版社, 1980年

岸学, 須藤貢明 『児童における論理結合子の理解について』 東京学芸大学紀要第1部門第33集, p161~169, 1982年

岸学, 須藤貢明 『条件文の理解の発達』 東京学芸大学紀要第1部門第34集, p57~65, 1983年