

資 料

重さの加法性判断における課題遂行量の 発達的变化および体積の保存との関係

青 木 多 寿 子* **

RELATION BETWEEN JUDGING ADDITION OF WEIGHTS AND CONSERVATION OF VOLUME

Tazuko AOKI

In a task of judging addition of weights, a U-shaped growth curve was observed (Piaget, 1973; Aoki, 1988). Aoki also showed that the performance of them went down in 6th grade according to judgment and explanation corresponding to criteria. Concerning this curve, Piaget (1973) claimed that this phenomenon was related to the conservation of volume though without empirically proving it. The purpose of this study was to re-examine the U-shaped curve in this task with another corresponding criteria (only judgment criteria), and to clarify the relation between the phenomenon of these weights' tasks and conservation of volume. From second graders to college students, 267 subjects participated in this experiment with a given problem paper. The results proved that the U-shaped curve could be found again, though sex differences were not observed; and it was found that the relation between conservation of volume and the weights' tasks was observed. It was also confirmed that the achievement of conservation of volume did not always explain every phenomenon concerning this curve.

Key words; addition of weights, U-shaped growth curve, conservation of volume, corresponding criteria, sex difference

「重さの加法性」とは、2つ以上のものが一緒になっている時、全体の重さはそれぞれの重さの「和」になる重さの特性を指す。古井（1982）は、このように全体の重さが、それぞれの重さの「和」で関係付けられることは、科学構造上の最も基本的、かつ重要な例のひとつであると指摘している。そして、この重さの加法性概念の発達に関するいくつかの先行研究（銀林、1975; Piaget, 1973; 青木、1988）は、「重さの加法性の判断の発達には、課題遂行量が落ち込む時期がある」という点で一致している。

その中で青木（1988）では、この現象を確認するため、Piaget（1973）の課題、手続を拡張、改良し、より厳密な方法で、重さの加法性判断における発達的变化の検討を行った。その結果、単におもりの重さを加えれば正解の得られるこれらの課題において、小学校5年生では正しくおもりを加えることが出来るのに、6年生で課題遂行量が落ち込むこと、課題遂行量には性差が見られること、誤答に関する偏好性に発達差があり、幼児以外の2年生から中学1年生までのすべての学年において、「おもりが下の方（地面に近い方）にかたまっているおもりの重さは、重さの単なる和よりも重くなる」と感じる内的基準があること、判断理由のプロトコールにも学年差がみられ、6年生は、それまでの学年に比べ、「小さいものは重さが伝わりにくい」、「下にある方が引力が大きくなる」

* 九州大学教育学部 (Department of Educational Psychology, Faculty of Education, Kyushu University.)

** 本論文を作成するにあたり御指導下さいました九州大学教育学部山内光哉教授に厚く御礼申し上げます。

など、判断理由が、より複雑になることを示した。

ところで、この研究では、正しい判断に正しい説明を与えたものだけを正解として学年別の課題遂行量を比較している。しかしながら、この方法では、言語能力の未熟な者の説明、重さは同じだとわかっていながら重さに関することには言及せず、他の属性について（おもりの距離、位置、ひもの長さなど）述べた説明が誤答とされ、そのために幼児や6年生の課題遂行量が低くなった可能性があることを否定できない。Piaget 課題において、判断だけを正答とする場合と、判断+説明（なぜそうなるか）を正答とする場合において、時には異なった結果が得られ、どちらが子供の認知能力を反映するかは議論のあるところである（天岩, 1983; Bovet, Parrat-Dayana and Kamii, 1986）。さらに、先行研究での被験者は、中学1年生までの生徒であり、中1以上の学年について、課題遂行量は上昇するのか、「おもりが下の方（地面に近い方）にかたまったおもりは、重さの単なる和よりも重く感じる」とする、重さについての内的基準が見られるのか否かは不明である。そこで、本研究では、中学1年生以上の生徒をも含めた被験者を対象に、課題判断のみを正解の基準とし、(1)6年生で課題遂行量の落ち込みは生じるか、中1以上で課題遂行量は上昇するのか、(2)重さに関する内的基準は、中学1年生以降についても存在するか、(3)性差は見られるか、について追試的検討を行うことにする。

ところで、このように、発達の一時点で課題遂行量が上昇し、その後下降し、再度上昇するという位相の変化が存在する発達では、なぜ位相が変化するのか、すなわち、各位相の背後にあるもの、各位相間の関係等が明らかにされるべきであると考え（Strauss, 1982; 山内, 1969）。そして、この重さの加法性判断に関する課題遂行量の落ち込み現象に関して、Piaget 自身は、「体積の保存」の前提となる「粒子のシエマ」の欠如のためにこの現象が生じるとしている（Piaget, 1941, 1973）。つまり、体積の保存を示す以前の子供にとって、体積とは、集合の構造に基づいて変化するもので、例えば、部分が分割されると、圧縮されたり、濃度が変わったりして体積は変化すると考えるとする。さらに、これらの変化は、分割された場合に限らず、位置の違いによっても生じると Piaget は述べている。そして、粒子論的構造、すなわち細粒から成る構造のみが、その材料に関する濃度や密度、重さなどを不変の物にするとしている。これらのことから、粒子観を前提とする「体積の保存」が完成すれば、重さの加法性判断に関してもおもりの1つの重さはすべて均等と見なされ、正しくおもりの重さが加算される

とする。

しかし、Piaget のこの考えは1つの解釈であり、彼自身もこのことを検証していない。従って、本研究では、重さの加法性判断の能力と「体積の保存」との関係をもあわせて調べることにする。

方 法

被験者

- 小学校2年生 29人（男子16人、女子13人：平均年齢8歳5か月）
- 小学校4年生 40人（男子21人、女子19人：平均年齢10歳10か月）
- 小学校5年生 30人（男子16人、女子14人：平均年齢11歳6か月）
- 小学校6年生 45人（男子23人、女子22人：平均年齢12歳11か月）
- 中学校1年生 35人（男子18人、女子17人：平均年齢13歳5か月）
- 中学校2年生 33人（男子16人、女子17人：平均年齢14歳6か月）

大学生 55人（男子34人、女子17人：平均年齢20歳）

大学生は、福岡内市の私立理科系大学から男子17人、市内私立文科系大学からは男子17人、女子21人を被験者とした。小、中学校生は、福岡県内の公立中学校の児童・生徒である。体積の保存課題は、小2、小5、中1、中3、及び理科系大学生について行った。実験は、6年生を除く小、中学校においては3月下旬に行い、6年生については7月に行った。

課 題

(1) 重さの加法性判断課題

青木（1988）の用いた課題から、左右の均衡を問う課題6題を用いた（Fig.1）。おもりには大、小の2種類の大きさがあり、おもりの重さは大きさに比例している。各課題の特徴は次の通りである。

- (A) おもりの数、下のおもりの位置は同じだが、おもりの間隔が異なる課題。
- (B) 上下のおもりの位置は同じだが、左右でおもりの数が異なる課題。
- (C) おもりの数、下のおもりの位置は同じだが、左右で並び方が異なり、一方は垂直、一方は水平に並んでいる課題。
- (D) おもりの数、上下のおもりの位置は同じだが、左右でおもりの形が異なり、おもりの1つを細長く引き伸ばした課題。
- (E) 1つのおもりを2つに分割した小さなおもりがあ

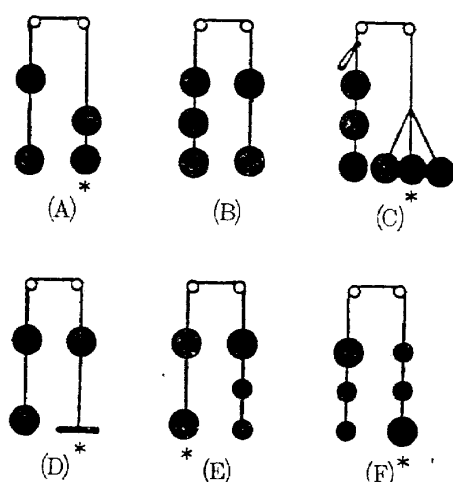


FIG. 1 重さの加法性判断課題

(注) (C)の結び目は左右の糸の
重さを調整するためのもの

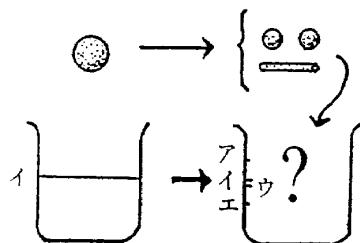


FIG. 2 体積の保存課題

るため、左右でおもりの数が異なる課題。

(F) 左右で大きなおもりの位置が異なる課題。

これらの課題は、(B)以外はすべて「つり合う」が正解である。各課題はすべて質問紙に書き、各問題の図の下には、a : 右が下がる, b : 左が下がる, c : つりあう, の3つの選択肢を設けた。

(2) 体積の保存課題

Piaget (1941) が用いた体積の保存課題を2種類用いた。体積の保存課題とは、ビーカーに水を入れ、その中に粘土玉を入れた時、どこまで水位が上がるかを問うものである。今回の調査では、

(a) 粘土を細長く伸ばした課題,

(b) 粘土を2つに分割した課題,

の2種類を用いた。課題は、選択肢として、ア、イ、ウ、エの4種の水位の高さを記したビーカーの図を示した (FIG. 2)。

手続き 各課題は、質問紙で調査したが、どの課題も教壇の前で実物を示し、1題ずつ課題の特徴を説明しながら調査を進めた。つまり、重さの加法性判断課題では、実際におもりをつるして課題を構成して見せ、体積の保存課題では、生徒の前で、水のはいったビーカーを横に置き、粘土を変形して見せた。しかし、どちらの場合も、

正解は示さなかった。被験者には、選択肢を記した図を前もって渡した。調査の順番は、各学年とも「重さ課題」→「体積の保存課題」の順で行った。各課題についての教示は次の通りである。

(1) 重さの加法性判断課題

(A) 「1つずつのおもりの重さは同じですが、重りの間隔が一方は広く、一方は狭くなっています。」

(B) 「1つずつのおもりの重さは同じですが、3個と2個おもりが付いています。」

(C) 「一方は縦向き、一方は横向きにおもりが並んでいます。」

(D) 「長いおもりは1つのおもりの形を細長くしたものです。」

(E) 「小さいおもりは1つのおもりを2つに分けたものです。だから重さは2つで1個分です。」

(F) 「一方は大きなおもりを上に付けたもの、一方は下に付けたものです。」

これらは各課題ごとに教示し、各教示の最後に「紐を押さえている手を離すとどうなると思いますか。ア、イ、ウの中から選んでください」と尋ねた。

(2) 体積の保存課題

図を示し、次のような説明をする。「粘土玉をビーカーの中に入れたらイの所まで水が上がりました。これと同じ粘土玉を、細長く伸ばして同じ量の水位中に入れたらどこまで水位が上がると思いますか。また、粘土玉を2つに分けて入れたら、どうなると思いますか。ア、イ、ウ、エ、の中から選んでください」。

結果と考察

重さの加法性判断課題 正解を1つ1点の6点満点とし、学年(7)×性別(2)の分散分析を行った (TABLE 1)。その結果、学年の主効果は有意であったが ($F(6/252) = 4.610, p < .001$)、判断基準のみを正解とした質問紙による調査では、性差は見られなかった。次に、学年の主効果についてはティューキー法で下位分析を試みたところ、大学生は、5年生以外の学年より成績が良く (2年, 4年, 6年; $p < .01$, 中1, 中2; $p < .05$)、5年生は、2年, 4年, 6年生より成績が良いことがわかった ($p < .01$)。このことは、質問紙による今回の調査でも青木 (1988)

TABLE 1 重さ判断課題の成績

	2年	4年	5年	6年	中1	中2	大学生
男	2.75	2.60	4.06	3.26	3.17	2.81	4.44
女	2.62	2.94	4.00	3.00	3.59	3.94	3.91
計	2.69	2.76	4.03	3.13	3.37	3.39	4.24

TABLE 2 誤り方の偏好性

課 題	学 年						
	小 2	小 4	小 5	小 6	中 1	中 2	大学生
A	p<.01 (96.5)	p<.001 (65.0)	p<.02 (46.7)	p<.001 (84.4)	p<.001 (60.0)	p<.001 (72.7)	p<.001 (41.8)
B							
C		p<.01 (47.5)	p<.001 (56.7)	p<.001 (75.5)	p<.01 (65.7)	p<.001 (63.6)	p<.001 (52.7)
D	p<.01 (37.9)	p<.01 (70.0)					
E		p<.001 (57.5)		p<.001 (46.7)	p<.01 (51.4)	p<.001 (51.5)	p<.001 (34.5)
F	p<.001 (55.2)	p<.001 (57.5)	p<.02 (43.3)	p<.001 (60.0)	p<.01 (48.6)	p<.001 (57.6)	p<.001 (38.2)

注) ()内の数字は分析の対象とした被験者の割合

の結果と同じく、6年生で課題遂行量が下がることを示している。

一方、中学1年生以降の課題遂行量については、中学生で6年生に比べ少し成績が上昇するものの、大学生になってやっと他の学年より成績が有意に良くなり、5年生程度に課題遂行量が回復することを示している。しかし、大学生はある特殊な基準で選ばれた人達の集団であり、そのため、平均的集団である他の被験者(公立小、中学校)に比べて成績が良かったという可能性は否定できない。このことから、この結果については、大学生になって課題遂行量が回復するというより、先行研究での中学1年生と同様に、中学2年生になっても5年生程に課題遂行量が回復しないことに注目すべきであろう。またこのように、重さの加法的判断課題について、判断のみを正解の基準とした新たな調査でも、判断+説明を正解とした時同様に、6年生での課題遂行量が落ち込んでおり、「6年生で課題遂行量が落ち込み、中学生以降も課題遂行量が5年生程度に回復しない」という現象は、かなり一般的に見られる現象であると言えよう。

重さに関する内的基準 誤り方については、「右が下がる」「左が下がる」の2種類があるが、これらの誤りに偏好性があるか否かを、課題ごとに χ^2 検定で調べてみた。その結果、左右でおもりの位置が異なる課題について(A)(C)(E)(F)、小学校低学年から、おもりが下の方にある課題(FIG. 1, で*印を記した課題)が重いと判断されやすいことがわかった(TABLE 2)。このことから、いったん形成された内的基準は小学校低学年児から大人に至るまで、判断に影響することがうかがえよう。

体積の保存との関係 体積の保存課題2課題のうち、2つとも正解した者を保存群、1つ正解した者を中間群、2つとも間違えた者を非保存群とし(TABLE 3)、体積の保存が何歳で完成するかを調べるため Everitt (1977)、の

TABLE 3 各群の学年別人数と重さ判断課題平均点

群	学 年					重さ判断 課題平均 得点
	小 2	小 5	中 1	中 2	大学生	
保 存	10* (34.5)	18 (60.0)	15 (42.9)	19 (57.6)	14* (76.5)	3.83*
中 間	12* (41.4)	5 (16.7)	9 (25.7)	7 (21.2)	2 (11.8)	2.97
非保存	7 (24.1)	7 (23.3)	11 (31.4)	7 (21.2)	2 (11.8)	2.97

注) 各セルの上段は人数、下段は学年別の人数の全体の比率(%)を示す。

* p<.05

線形一対数モデル***のあてはめをおこない、学年別の群の人数を比較した。その結果、2年生の保存群の人数が他の学年に比べて少ないこと($\hat{u} = -0.55$, $SE = 0.24$, $p < .05$)、2年生の中間群の人数が多いこと($\hat{u} = 0.54$, $SE = 0.25$, $p < .05$)、さらに、大学生の保存群の人数が多いこと($\hat{u} = 0.69$, $SE = 0.32$, $p < .05$)がわかった。このことは、中学生と5年生では保存群の人数に差はなく、5年生以降は保存群の人数が急激に変化しないこと、つまり、課題遂行量の落ち込む6年生よりも前の段階で体積の保存は完成される傾向があることを示している。

次に、重さの加法課題の得点(6点満点)が、群によって違いがあるかどうかを調べるため、群(3)×性別(2)の分散分析を行った。その結果、群の主効果が有意であった($F(2/120) = 3.97$, $p < .05$)。そこで、下位検定を試みると、保存群が他の群に比べて成績が良いことがわかった($p < .01$)。このことは体積の保存課題がわかる者は、重さの加法的判断課題で高得点を示すことを表わしている。

ところで、この結果に関しては、(D)、(E)課題が体積の保存課題と類似した課題(Dは1つのおもりを細長く変形、

*** 静岡大学教育学部 弓野憲一助教授のプログラムを使用させて頂きました。

(E)は1つのおもりを2つに分割したもの)であるために、保存群の成績が良かった可能性が残されている。そこで、(D)、(E)課題を除く4課題について、群(3)×性別(2)の分散分析を試みた。その結果、主効果(群; $F(2/120)=2.27$, NS, 性別; $F(1/120)=1.32$, NS), 交互作用($F(2/120)=0.01$, NS)ともに何の有意性も見いだせなかった。さらに、保存群の被験者について、体積の保存と、重さの加法判断課題との(D)、(E)課題における判断の一致度(たとえば、体積の保存課題で形を変形した方が水面が下がると考えた被験者は、重さ判断課題でも形を変えたら重さが減少すると考えているか、等)を調べてみたところ、(D)課題は91.2%、(E)課題は63.2%が一致した判断をしていた。このことは、保存群は、保存課題と重さ判断課題が類似している時のみ、課題遂行量間に関連があることを示している。

以上の結果から、体積の保存と、重さの加法性判断課題における6年生での課題遂行量の落ち込み現象に関して、次のことが考察される。

まず第1に、体積の保存の保存群が重さ判断課題で高得点を示したことから、保存課題で知覚的变化に惑わされずに体積を正しく判断した被験者は、重さの加法性判断課題においても、重さを正しく判断できることを示唆している。しかし、(D)(E)課題を除いた場合に群差がなかったことと、(D)(E)課題で重さ判断と体積の保存課題とに判断の一致が見られたことから、保存課題と関連した重さ判断課題((D)(E))でのみ課題遂行に関連が見られることがわかった。このことは、(D)(E)課題以外は、体積の保存と重さ判断に関係がないことを意味し、重さ判断において「粒子観が形成(体積の保存が完成)されると、重さを不変のものとする(位置の違いによって重さは変わらないと考えるようになる)と」するPiagetの見解とは必ずしも一致しないと思われる。さらに、課題遂行量の降下する6年生の前の学年(5年生)で60%が保存に達していることは、体積の保存完成後も重さが不変のものとなっていないことをさらに裏付ける結果と思われる。また、大学生の保存群の人数が他の学年より多いことから、もし仮に、体積の保存は5年生ではなく、中学生以降に完成すると仮定しても、保存が未完成の5年生と6年生のうち、5年生だけが高得点を示すことを説明できない。これらのことから、体積の保存は、重さの加法性判断と部分的には関連を示すものの、これだけでは、6年生での課題遂行量の落ち込みを説明できないと言えるのではなかろうか。

性差については、青木(1988)では明確な差が見られたが、本研究では差が見られなかった。これに関しては、本研究と青木(1988)では、手続きが少し異なり、本研

究が、個人面接調査ではなく質問紙調査を行ったこと、正解基準が判断+説明でなく判断のみであったことから、次のことが考えられる。つまり、男女とも学校教育で質問紙によるテストに慣れているため、質問紙調査では性差が見られなかったのではないかと、男子の判断理由の方に、「理由はわからないけどつりあう」「なんとなくつりあうと思った」等、判断+理由を正解基準とした場合では、誤答となるものが多かったのではなかろうか、ということである。

以上、本研究より、重さの加法性判断課題では、従来のPiaget型の判断+説明を正解の基準とする方法だけでなく、判断のみを基準とする方法でも、6年生で課題遂行量の落ち込みが見られ、中学2年生になっても5年生ほど課題遂行量がよくなること、小学校低学年から大学生に至るまで「下にかたまっているものは重い」とする内的基準が存在することが明らかとなった。さらに、課題遂行量の落ち込みの原因について、Piagetの解釈—重さの加法性判断での課題遂行量の落ち込みは、体積の保存(粒子観の形成)と関係する—について検討してみたが、保存群は、他の群より成績がよいことが明らかとなったものの、保存課題と類似した重さ判断課題についてだけしか課題遂行量との関連は見られず、しかも、5年生から体積の保存の保存者の割合が変化しないことから、体積の保存の欠如だけでは6年生での課題遂行量の落ち込みは説明できないことが示された。さらに、判断だけを正解の基準とした調査では、判断+説明を正解とした個別実験で明確に見られた性差が見られないことも明らかとなった。

引用文献

- 青木多寿子 1988 重さの加法性判断における判断の質的变化および性差に関する発達的研究 教育心理学研究, 36, 327—332.
- 天岩静子 1983 ピアジェ理論と測定 サイコロジー, 34, 30—36.
- Bovet, M., Parrat-Day, S., & Kamii, C. 1986 Early conservation: what does it mean? *The Journal of Psychology*, 120, 21—35.
- Everitt, B.S. 1977 The analysis of contingency tables. London: Chapman & Hall. 山内光或(監訳) 弓野憲一, 菱谷晋介(訳) 1980 質的データの解析 新曜社.
- 銀林浩 1975b 子供はどこでつまづくか —数学教育を考えなおす— 国土社.
- 古井伸哉 1982 ピアジェ理論と科学教育 ピアジェ理

論と教育 国土社.

Piaget, J. 1973 *La composition des forces et le problème des vecteurs*. Paris: Presses Universitaires de France.

Piaget, J. & Inhelder, B. 1941 *La développement des quantités chez l'enfant*. Neuchatel: Delachaux & Niestle. 滝沢武久・銀林浩訳 量の発達心理学 国土社 1965.

Strauss, S. 1982 *U-shaped behavioral growth*. New York: Academic Press, 1—36.

山内光哉 1967 認知過程におけるU字型発達曲線の特性について 広島女学院大学論集, 17, 123—134.

謝 辞

本研究遂行にあたり, 快く調査に御協力下さいました福岡県田川市立後藤寺小学校, 後藤寺中学校, 福岡市立箱崎小学校の先生方, そして生徒のみなさんに心から感謝致します.

(1988年9月16日受稿)