面積判断における周長の影響

—その実態と原因—

西 林 克 彦*

THE ORIGIN OF MISJUDGEMENT IN AREA

Katsuhiko NISHIBAYASHI

Misjudgement that areas are the same when their circumferences are identical is often made by pupils. The phenomenon has been interpreted by poor ability of discrimination between areas and circumferences and/or non-maturity of cognition in area. The present study, however, shows (a) that the phenomenon is not observed in less mature preschoolers, but emerges about the time of entering school, (b) that the origin of misjudgement is connected with acquirement of conservation, (c) that the phenomenon is caused by generalization of conservation legitimate in weight and volume, but not in area during transformation, (d) that conservation of area is supported by continuity of transformation at first, and (e) that circumferences, then, are extracted as the index of conservation through continuity and begin to show an influence on judgement in area.

Key words: conservation, area, circumference, continuity, error of growth

問 題

ある図形の面積が、その周囲の長さ（周長）に影響されて誤判断されやすいことはよく知られている（銀林, 1975）。とくに顕著なのは周長が同じであると面積までが同一であるとみなされる傾向である。したがって小学校算数教科書に、その点に留意した記述が見られるものもある。細谷（1968）は、小学校2—4年生に周長を等しく保ちながら長方形を平行四辺形の形に押しつぶして面積の比較をさせ、各学年とも、面積は同じであって変わらないとする反応が過半数に達する結果を得たという。このような傾向に関して、銀林は面積と周辺との混同に、細谷は児童の面積概念の未成熟さにその原因を求めている。

そこで、松浦と筆者は、3, 4歳児に同面積の円（周長小）と歯車状の図形（周長大）との対、同面積の長方形（周長小）と台形（周長大）との対、同面積の長方形（周長小）と大きなギザギザの縦辺を持つ長方形（周長大）の対などをあて、面積を比較させてみた。しかし、そこでは周

長が大きいものを広いとする反応も、また他の一貫した反応もみられなかった。5, 6歳児では、縦または横の次元に中心化して大小判断を行う反応が優勢で、やはりここでも周辺が大きい図形を、広いとする一貫した反応はみられなかった。（松浦, 1979）

また、Russell（1976）は、糸によってつくられる正方形を、両手の親指と人差指を用いて長方形に変形する課題で、変形前後で面積が同じだとする誤反応が成人によって高い率で示されるが、5, 6歳児においては同じ課題で同種の誤反応が著しく低いことを報告している。

これらの事実を考え合わせると、次のような推論が成立しよう。(1)面積判断における周長の影響は、発達の途中で出現するのである。(2)したがって、単なる面積概念の混乱や未成熟さには還元できない（単純に言えば年少児のほうがより未成熟の概念を持っているはずである）。(3)すなわち、十分な理解に達していないとはいえ、以前よりは進んだ概念を持つようになったため、周長が面積判断に影響をあたえるようになるのだと考えられよう。いわゆる「成長によるエラー」（Bruner et al., 1966）のような概念で捉えなければならない現象なのではないか。

以下に述べる3つの実験は、周長が面積判断に影響を

* 宮城教育大学 (Miyagi University of Education)

あたえ始める時期・実態を調べ、また、そのような現象が引き起こされる理由についてあきらかにしようとしたものである。

実験 1*

目的

(1)面積が異なっても、周長が同じであると同じ面積だと誤る反応の出現時期をみる。これまでの事実からすれば、出現時期は5, 6歳から小学2年の間と推測される。(2)また、この時期は数、液量、面積など各種の量の保存獲得時期とほぼ一致しており、面積の保存反応と、同じ面積とする誤反応の関係をみる。保存と、同じ面積であるとする誤反応間に、相関や必要条件等の関係があれば、誤反応は保存の過剰な適用によって生じると考えられる可能性がでてくる。

方法

〈被験者〉 3, 4歳から大学生までの5グループ計91名。各グループ内において男女はほぼ半数ずつ。①仙台市内保育所3, 4歳児15名, ②市内幼稚園年長組5, 6歳児9名, ③市内小学2年生43名, ④名取市内小学5年生11名, ⑤仙台市内大学生13名。

〈課題〉〔I〕面積の保存課題 標準にする B6 カード (18.3×12.7 , 以下断わらない限り数値の単位は cm, 順序は横 $\times$ 縦である) の長方形と, B6 カードを対角線に沿って切断したものと, B6 カードを $1/8$ の三角形と残りの変則的な四角形に切断したものとを用意する。まず最初に, 切断した部分を合わせながら同じ長方形の形にし, 3つが重なり合うことを示して等積であることを確認させる。その後, ①対角線で切断した1組を, 底辺 18.3, 斜辺 22.3, 高さ 12.7 の平行四辺形に, ②もう1組を, 底辺 18.3, 斜辺 13.5, 高さ 12.7 の平行四辺形に変形し, 標準の B6 カードと並べて面積の比較をさせる。

〔II〕等周長を保った連続変形課題 座金で角をとめた長方形の木枠 (18×13) を, 完全に潰れるまで4段階に平行四辺形に潰していき, それぞれの段階ですぐ前の段階(最初の長方形もふくむ)との面積の比較を問う。4つの小問から構成されることになる。

〔III〕等周長の対比較課題 長さ60の柵の模型を2本用意し, まず被験者に両者が伸ばした状態では同じ長さであることを教示する。そのあと実験者が, 2本の柵を折り曲げ, それぞれ面積の異なる2つの四角形 (15×15 の正方形, 20×10 の長方形) をつくり, 面積の比較をさせる。なお, 同じ長さであることを教示しないで, 大学生20名

に両図形の面積判断をさせたところ, 全員が正方形を広いと反応しており, 知覚的には十分正方形が大きいと判断されるといってよい。

また, 年少児には面積という言葉は, 理解されにくいと思われるので, 広さ, 大きさという語を併用またはそれのみを使用した。とくに課題Ⅲではおもちゃのウシを柵内に置き, どちらのウシが柵内の草を多く食べられるかそれとも同じであるかと聞いた。

結果と考察

FIG. 1 に次の3つの結果を各年齢グループ別に示す。

- (1)課題Ⅰの2小問をあわせた平均正反応率。(2)課題Ⅱにおいて1度でも同じという誤反応を示す被験者の割合。
- (3)課題Ⅲにおいて同じと誤反応するものの割合。

FIG. 1 保存, 連続変形, 対比較の年齢推移

大まかにいって3者は3, 4歳から5年にかけて同じような増え方をしており, これらの間に関係がありそうである。課題Ⅱでの同じとする誤反応が5, 6歳でやや高く, 連続変形課題での誤反応が, 等周長の対比較課題での誤反応に先行しそうである。

2年の課題Ⅱにおいて, 保存が, 同じ面積であると誤ることの必要条件になっていた。保存課題Ⅰの2小問に正答するもの(2年以上では保存課題で1問のみ正答のものはいない)27名中課題Ⅱにおいて1度以上面積が変わらないと答えたもの20名。保存反応のないもの16名中課題Ⅱで変わらないと反応したものは1名である。その他ではこのようなはっきりとした関係を見ることはできなかった。

FIG. 2 は課題Ⅲの各グループにおける反応別割合を示したものである。3, 4歳に少数の同じとする反応があるが, 彼らの反応の仕方はすこぶる不安定なので, それ

* 実験1は松浦と筆者の共同研究である。前者によるまともは松浦(1979)である。

FIG. 2 等周長課題に対する反応別割合

らは“散らばった”反応ではないかと思われる。周長が同じだから面積まで等しいとする誤反応は、5, 6歳からあとに発生し、5年生では全員がこの反応を示すまでに増加している。また、長方形の方が広いとする誤りは、5年生で無くなるまで漸減の傾向をみせており、これはある辺への中心化から脱してくること、また知覚的判断の向上の反映だと考えられよう。大学生になって正反応の割合が再度上昇するのは、面積と周長を分化しはじめるものがあるためである。大学生のこの場合の正反応は、すべて「面積は底辺×高さだから」といった“計算”によるものであり知覚的な判断によるのではない。

実験 2**

問題

同じ面積だと誤る反応の理由が、面積と周長が混同されるからだという言い方は正確ではない。少なくとも、面積と周長が取り違えられるのではない。というのは、実験1でみたように、この誤反応を生じ始める時期までに、子ども達は面積を一次的なある辺への中心化のみで判断することからかなりはなれており、二次元的になってきている。またこの時期に面積の保存もでき始めている。したがって、面積判断のなかに、不適切な次元である周長が入り込むのは、どのようにしてなのか、またなぜなのかと考えるのが生産的である。実験1で保存と関係がありそうだとしたこと、および連続変形課題での誤りが対比較課題でのそれに先行しそうであることをもとにすれば、つぎのような推測が可能であろう。

長さ、面積、体積、重さなどの物理量は、分割や移動などの操作がおこなわれても保存されるし、外部からの付加、除去によって変化を受けることも共通である。と

ころが、変形の場合では、長さ、面積は他の量とは異なった性質を示す。たとえば、ソーセージ状の粘土をもっと細長く変形すると体積、重さは保存されるが、長さも表面積も増加する。長さは一次的であって知覚的に変化をとらえ易い。それに対して、面積は、この点では、体積、重さなどの物理量と同じで知覚的に変化をとらえるのは難しい。面積、体積、重さなどの物理量は、器具を用いない限り特殊な場合を除いて、直接比較ができないし、目測も不正確であり、保存や変化を知覚的にとらえがたい。したがって、これらの知覚的なサポートを受けにくい物理量の非保存・保存の判断は、付加・除去の有無によるところが大きいだろう。長さは Braine (1959) の錯視を生じる矢羽のついた実験のような場合を除けば、通常は知覚的判断も併用され誤って保存判断をすることはまず考えられない。ところが、面積は長さと同様に変形において変化する物理量であるにもかかわらず、知覚のサポートを受けにくく、変形の連続性にもとづく誤った保存判断がなされやすいと考えられるのである。

そしてこの変形の連続性の中から、等周長であることが取り出されれば、等周長であることに依存して誤って保存判断がなされることとなろう。すなわち、面積判断に関して不適切次元である周長は、保存概念、変形の連続性を媒介にしなが、面積判断に混入してくると考えられるのである。保存の理由づけの1つとして、補償、可逆性とならんで同一性がよくあげられる (Piaget, 1952 など)。変形の連続性とはこの同一性のなかから付加・除去なしという条件を除いたものとして定義しておく。

もし以下の予測が正しいなら、その前提の上記の連続性に関する論は当面保持されてよいだろう。(1)保存能力と、等周長課題に同じと誤ることは並行して進み、両者に相関関係がみられるであろう。(2)逆に面積保存課題で、周長までおなじとする誤反応の程度は、やはり保存の能力と相関するであろう。(3)天岩 (1973) は面積の保存が物質量などの後に獲得されることを報告している。面積が連続性に依存しているなら、先行して獲得されている物質量の保存の性格も連続性であろう。(4)周長を等しく保って連続的に変形が行われる課題と、連続性がなくて周長が等しいことのみを示される課題があれば、同じ面積であると誤る反応は、まず前者において生じ、そのあと後者においても生じることになるであろう。

方法

〈被験者〉 仙台市内2小学校1—4年生計126名。男女比はほぼ1:1である。①1年34名、②2年23名、③3年33名、④4年36名。

〈課題〉 上記予測1をテストするために、等周長課題

** 実験2は日本教育心理学会第23回総会にて口頭発表したものに一部加筆、修正したものである。

(I, II)と面積の保存課題(III)を設け、予測2のテストのために、周長比較課題(IV)を設けた。また、液量の保存課題(V)をおき保存の理由も問う。これによって、予測3がテストできる。等周長課題には、連続性が保たれている等周長連続変形課題(I)と、連続性がなく周長のみが等しいと強調されている等周長対比較課題(II)とをおき、予測4のテストをおこなう。課題1はひとつの図形の変形前後、課題IIは空間的に並べられた2つの図形の比較であるが、比較される2つの図形は両課題で同じ形式になるようにされている。各課題は、いくつかの小問からなる。

保存課題からの影響を受けぬように、等周長課題をさきにおこなう。また、等周長課題I, II間での、順序効果を考慮し、等周長連続変形課題Iを先に行うグループと、等周長対比較課題IIを先に行うグループを設けた。したがって、ひとつのグループはI→II→III→IV→V、他方はII→I→III→IV→Vの順で課題を行うこととなる。被験者はランダムに割り当てられた。面積の比較に用いる用語は「広い・狭い」と、「大きい・小さい」を併用した。等周長課題では、おもちゃの羊を用いて「どちらがたくさん食べられるかな」といった問いも併用したが、1年生のごく一部を除いては必ずしも必要ではなかった。被験者は個別に検査された。所用時間は一人およそ6—10分程度である。

〔I〕等周長連続変形課題 周長が同じであると教示はされずに、周長が一定に保たれながら連続的に変形が行われる。以下の2つの小問がある。①座金で角をとめた長方形の木枠(20×15)を45°まで三段階に平行四辺形に潰していき、それぞれの段階ですぐ前の状態との面積の比較を問う。この小問は3つの項目からなることになる。②糸で環をつくり、それを両手の人差指と親指とで正方形(11×11)にしておき、指の間隔を狭くしながら、両手の間隔を広げて長方形(18×4)にする。そして前との面積の比較を問う。

〔II〕等周長対比較課題 同じ長さであることを教示したのち、2つの異なった形にして面積の比較をさせる。①まっすぐにのばして同じ長さであることを示したのち、一方を長方形(15×10)に、他方を45°の内角を持つ平行四辺形(底辺15, 斜辺10, 高さ7.1)の形にして面積を比較させる。②やはり、同じ長さであることを示したのち、一方を正方形(18×18)に、他方を長方形(29×7)にして面積の比較をさせる。

〔III〕面積の保存課題 標準のB6のカードの上に、対角線で切断された2組のB6カードをのせ、同じであることを教示したのち、①1組を平行四辺形(底辺18.3, 斜

辺22.3, 高さ12.7)に、②もう1つの組を三角形(底辺25.4, 高さ18.3)にして、それぞれ標準カードとの比較をさせる。

〔IV〕周長比較課題 IIIの面積の保存課題でできた平行四辺形と三角形の周長(それぞれ①81.2, ②70.0である)を標準B6カードの周長(62.0)と比較させる。

〔V〕液量の保存課題 あらかじめ2つの同形容器(直径5.5, 高さ7.0)に、同量水をいれておき、同形容器に等量入っていることを実験者から教示したのち、一方を細くて高い容器(直径4.2, 高さ9.0)に移し、①同形容器の水の残っているものと、細くて高い容器の水の量とを比較させる。②反応の理由を聞く。ただし、このとき水面の高さなどに実験者の方から注意を向けさせるといったことはせず、ただ、「どうして……と思ったの」とだけ聞く。

結果と考察

〈保存獲得順序, 理由, 保存レベル〉 液量の保存V, 面積の保存III①, III②の順に易しいとすることからはずれるのは被験者全体126名の10名(8%)にすぎない。面積の保存があつて液量の保存がないものは、その中の5名であつて、液量の保存獲得は、このような課題でみた面積の保存より先行するといつてよい。

液量の保存の理由づけで連続性(典型的な反応例は「移したただけだから」「移しても同じだから」というものである)にふれるものの割合は57%である。

最初同じだったからという理由は、論理的には保存の結論を導く2つの前提のうちの1つとして欠くべからざるものである。もう1つの必要な前提は移しかえても変わらないことに関する可逆性や補償や付加・除去の無いことや連続性の論理である。保存の理由づけをするときこの2つの要件に言及する者は保存者全体の44%である。他のものは2つの要件の1つのみにしかふれないが、それは他方を言わずもがなであると感じているからとも考えられる。そして、最初同じだったからと言うとき、他方の前提が連続性である可能性は高い。なぜなら、1, 2年では最初同じであったことのみを理由とするもの(19名)が、連続性と最初同じであったことの両者に言及するもの(9名)に比して多く、より論理的に述べるものが可能になったと考えられる3, 4年ではこの関係が逆転する(16名と34名)からである。もしこのように最初同じであったと述べるものの背後にも連続性を考えることが許されるなら、連続性の理由づけの比率はもっと高く88%にまで達する。

各理由づけの割合は、連続性や最初同じであったというものが高く、Piaget (1952)の記述や Lovell and Ogil-

vie (1960) の得た結果などとは、著しく異なっているが、それは用いた材料の違いというよりは、あらかじめ実験者の方から同じ量の水が入っていることを教示し、しかも「こちらの方が水面が高いから多いのでは」などといった補償の論理に誘導するような反論を一切していないためであろう。液量の保存を本実験のような手続で実施すれば、保存の理由は連続性によるものが著しく多い。ちなみにこの結果は補償、可逆性、同一性のどれを保存獲得の要因とするかの論議において、同一性を支持するものである。

面積の保存課題で難しさの違いがあることからわかるとおり、面積の保存といっても一挙にできあがるわけではない。したがって、これらの課題ができなかったからといって、面積の保存がまったくないとはいえない。むしろ、これらの課題は、知覚的印象がかなりかわって、変化があったように感じるし、Piaget, Inhelder, and Szeminska (1960) の保存課題のうちのいくつかのものよりは困難であろう。このことと、先の3つの保存課題の難易の順序が安定していることから、各被験者の保存レベルをこの3問に対する正反応数で考えることとする。1, 2年の平均保存レベルは1.6であり、3, 4年のそれは2.3である。このことから被験者は面積の保存を獲得中のものであるといつてよさそう。

〈保存と周長〉 等周長連続変形課題Ⅰの4小問および等周長対比較課題Ⅱの2小問に対する反応別の比率を保存レベルごとに示したのが、FIG. 3である。結果は歴然としており、同じ面積であるとする誤反応の比率は、保存レベルが上がるにつれて上昇している。保存レベル0で25%ものこの種の反応があるが、保存レベル0において同じ面積だとする15の誤反応のうち11は、Ⅱ→Ⅰグループの1年（このグループは実験Ⅱから始まるので「同じ」という言葉が実験全体の全く最初で教示され、低年齢では同じだと

いう反応を引きだされやすい）によってなされているのが理由になるだろう。同面積とする誤反応に各1点を与えたものと、保存レベルをそのまま点数化したものの間の相関係数は0.51である。

また、面積が保存される変形において周長を比較させる課題Ⅳの2小問に関して、同じ周長であると誤る反応出現率は、やはり保存レベルが上がるにつれて高くなる（保存レベル0で0%, レベル3で42%）。相関係数は0.40である。

〈等周長連続変形と等周長対比較〉 課題間の順序効果がありⅡ→ⅠグループとⅠ→Ⅱグループ間で、Ⅰ, Ⅱにおいて同じとする誤反応の出現には有意の差がみられる($\chi^2=17.99, p<0.001$)。したがって、ⅠとⅡの比較は、実験の最初に実施されており順序効果をうけていないⅠ→ⅡグループのⅠと、Ⅱ→ⅠグループのⅡですることしかできない。これらにおける同じとする誤反応は、学年とともに漸増するがⅡ→ⅠグループのⅡが一貫して高く、予測に反しⅠの方がⅡより先行するとはいえない。しかし、保存とⅠ, Ⅱの同じとする誤りの相関は、保存とⅠが先行して1, 2年で0.61と相関が高く（Ⅱ→Ⅰグループ1, 2年のⅡと保存の相関は0.18）、その後3, 4年で逆転してⅡと相関が0.54と高くなる（Ⅰ→Ⅱグループ3, 4年のⅠと保存との相関は0.27）。保存の性格が1, 2年では連続性に近く、3, 4年では連続性から離れ周長と近くなる変化をするのである。または、保存に関して注目される関連要因が、連続性から周長へと変化するのである。

実験 3***

目的

実験1, 2で面積の保存問題とされたのは、考えてみると移動をしても変わらないというものだけであった。そこで獲得期における保存能力の細かい実態を調べ、それと等積変形の課題を設けるなどして、実験2では相関のかたちでしか確認できなかった予測4（連続性が等周長に先行する）をより直接にテストする。

方法

〈被験者〉 仙台市内幼稚園年少・年中児から小学校5年生までの4グループ計124名。①年少・年中児（3:9—5:7）22名、②年長児（5:7—6:8）28名、③1年生40名、④5年生34名。

〈課題〉〔Ⅰ〕除去一面積の減少課題 板に穴をあけ、そこに釘を差し込みゴムを掛け最初長方形（17×14）を作っておく。釘の位置を変え長方形の右上隅から小さな長

FIG. 3 等周長課題に対する各保存レベルの反応別割合

*** 実験3は川島、佐藤、筆者の共同研究である。前二者によるまとめは、川島 (1986)、佐藤 (1986) である。

方形(4×7)が切り取られた形にして、面積が変化したかを問う。等周長ただし面積減少。

〔Ⅱ〕補完一相殺の理解課題 Iの器具を使い長方形の二縦辺のまん中を同時に右側へ4 cm引き矢羽の形にし、面積が変化したかを問う。周長大だし等面積。

〔Ⅲ〕木枠による等周長連続変形課題 実験2のI①と同じ。3小問あり潰していく角度は、①75°②45°③30°である。等周長ただし面積減少。

〔Ⅳ〕連続等積変形課題 Iと同様の器具を使い上・下辺が木、二縦辺がゴムで作られた正方形(12×12)を、下辺を固定したまま高さを変えずに上辺のみを右に移動させ平行四辺形にして面積の変化を問う。3小問あり角度は①75°②60°③45°である。等積の変形で、周長は当然大きくなる。

〔Ⅴ〕糸による等周長連続変形課題 3小問あり。後半の2小問は実験2のI②と同じ。12.5×12.5の正方形を、①下辺を右に2 cmのばし右縦辺が7.7左縦辺はもとの12.5の台形にする。その後再度正方形に戻した後、②15×10、③20×5の長方形に変形して面積の変化を問う。ただし、実験2と異なり等周長であることを教示した。これはVIで同じ長さであることを教示するのに合わせたものである。いずれも面積は減少する。

〔Ⅵ〕連続性なしの等周長対比較課題 同じ長さと教示した2本のテープ(50)を、正方形と長方形にしどちらが大きいかを判断させる。2小問①②があり、それぞれの長方形はVの②③に準ずる。

〔Ⅶ〕移動による面積保存課題 いずれもB6カードを用い、比較用の標準カードを左側に置いて右側の移動したカードとの面積の比較を求める。①右上隅から5×5の正方形を切り離し左上側部に移動する。②12.7×18.3のカード上部から12.7×5.6を切り離し90°回転させて右側面に置く。ちょうど立っていたカードを寝かせた形になる。③まん中から切り離し25.4×9.2の細長い長方形にする。④実験2のⅢ①に同じ。⑤実験2のⅢ②に同じ。

Iは年長児以下のみに、II, VIIは1年生以下のみに行った。ただし1年はVIIの⑤④③のみ。年長児以下は個別に、1年と5年とは個別検査と相似形の大きな器具を用い実験者が黒板上で示しながら、被験者が一斉に回答用紙に書き込むという方法をとった。課題の順序はI→II→IV→V→Ⅲ→VI→VIIで、年長児の一部を除いてVIIは難しい小問から易しい小問への順である(⑤→①)。VIは実験2での順序効果を参考に関連ある課題の中では最も後に置くこととした。

結果と考察

〈面積の保存の各種側面について〉 FIG. 4に年齢別に

FIG. 4 面積の保存の各種側面

る各種保存課題の成績を示す。それらから以下のことが読み取れる。(1)除去によって面積の減少することはかなり早くから理解されている。年長児では100%であるし、課題が周長の変わらない、紐による分りにくいものであることを考慮すれば、年少・年中児でも比較的良好な正答率だと思われる。ちなみに誤答した被験者数名に対して、ボール紙から一部を除去する課題を課したところ問題なく正答している。したがって、もっと除去だけをはっきりさせるような課題だと正答率も高くなると思われる。付加・除去で面積変化を理解することは、付加・除去なしで面積変化なしとすることの必要条件であろう。付加・除去なしで面積変化なしとすることは、連続性にとって必要条件である。したがって、この結果は年長児以上で付加・除去の点では連続性を持つことの必要条件が調っているのを示しているといえよう。(2)移動に関する保存には、問題間にかかなりの難易の差がある。図形の一部だけが移動され、大部分が静止している課題VII①②は易しく(年長児で84%の正答)、半分が移動されたり、2つの部分が両方とも移動したりする課題③④⑤は難しい(同じく年長児で43%)。この難易の差は、視点に起因するようである。すなわち前者では、大きい部分に視点が固定されていて両方に目がいくことなく楽なようである。それに比べて後者では視点が定まらず混乱をきたすようである(川島, 1986)。難しい課題で誤答したもののうち数人に、視点を安定させる手だてとして、1つの部分に着目させるようおもちゃの動物を置いて判断させると効果が認められたことから、この解釈は成り立ちそうである。(3)また、年長児のグループを2つに分け、一方には易しい課題から他方には難しい課題から与えたが、順

序による学習効果は大きく、難しい課題から入った者の難しい課題に対する正答率が図にみられるように43%であるのにたいして、ここには図示していないが逆の者は73%の高率を示している。移動の問題に関しては年長児ぐらいになれば易しい問題は自力で解けるし、難しい課題でも「学習の最近接領域」内にあると言ってよさそうである。ただし、年少・年中児はどちらの課題にも困難を感じており、その意味で課題間の難易差は少ない。(4) 補完は、実際の移動ではなく、頭の中での移動(すなわち凸部分と凹部分の相殺の操作)が可能であるかを見たつもりであるが、1年生でやっと過半数が出来るという状態であって、あまり相殺の操作が出来ているとは思えない。横方向への伸びが中心化を引き起こしたのかも知れない。周長の伸びも影響しているかも知れない。ただし、移動の難しい課題より1年生で正答率が高いということは、この課題が移動の問題としては易しいのか、それとも移動の問題としてみられずに連続性が関係しているのではないとも考えられる。

FIG. 5 移動と等積変形

FIG. 5 に移動課題Ⅶ④と連続等積変形課題Ⅳ①②③との関係を示す。Ⅳの③がⅦの④とほぼ同型である。年少・年中児を除けばⅣ①、②、③の順で正答率が高く、変形の小さい方が易しいといってよいだろう。小さな変形①の正答の伸びは、年長児から1年にかけて大きく、大きな変形②、③の正答の伸びはそれ以降になる。移動課題Ⅶ④の正答率は年長児から1年にかけてのびず、1年では小さな変形と大きな変形の間に位置する。1年に焦点を当ててみれば、連続性に基づいた保存反応は、比較的小さい変形のときに有効で、そのときには移動の論理に基づくよりずっと正反応が多い。しかし変形が大きき

くなると正反応は移動の論理に基づくものを下回る。逆にいえば、移動の論理はⅣ③程度の大きな変形のときにも有効だと言う強い面を持っているが、この年齢段階では小さな変形における連続性による論理より弱いのである(佐藤, 1986)。

1年生付近の保存概念をまとめて言えば、付加・除去の論理は十分あり、強くはないが移動の論理も持ち、小さな変形に適用される連続性を備えている。

〈知覚的な見えと論理的判断〉 等周長連続変形Ⅲ、Ⅴのそれぞれの③および等周長対比較Ⅵの②は変形の量が大きい課題である。この3問に対して大きな変形にも関わらず同じとする回答は年齢と共に着実に増え(年少・年中7%, 年長16%, 1年28%, 5年46%), 知覚的に健全な判断の回答(すなわち小さくなる)は5年で減り(年少・年中47%, 年長53%, 1年53%, 5年29%), 逆転する。これは5年では知覚的に正しく判断する能力が有りながら、それに抗して論理的に誤って同じだと判断していることを示している。小さい変形(Ⅲ④, Ⅴ②, Ⅵ①)において同じと誤る反応と、大きな変形にも同じとする反応との相関も、1年では0.24であるのに、5年では0.44と大きくなる。FIG. 5 で5年生の反応を見ればⅣの①②③と変形が大きくなっても同じとする反応が、1年のように大きく減らないのがわかる。また、Ⅴの①は奇妙な形の変形であるが、同じとする反応は5年では59%, 1年以下では10%前後である。これらも、上と同じ理由からだと思われる。

〈連続性と等周長性〉 1年生では知覚に抗してまで論理を一貫させることが少なく、連続性の適用も小さな変形に限られていた。この制限条件下で連続性と等周長性と

FIG. 6 小さな変形において等積だとする割合

の出現順序を見てみる。FIG. 6 にⅢ, IV, V, VIの小さな変形小問に同じと反応する割合を示した。1年のみに際だった特徴が見られる。等周長対比較課題VI①だけが43%と低く、他の連続性のある課題は70—80%の高率である。しかも、連続性のある3課題の延べ120反応のうち、連続性のある課題には同じと答えず等周長の対比較課題に同じとする反応は4(3%)に過ぎず、連続性が周長の必要条件になっている。すなわち連続性は等周長性に先行する。実験2の予測4は上の制限条件を付帯することによって初めて確認された。実験2で相關関係でしか捉えられなかったのは、この制限条件に気付かなかったためである。

Ⅲは周長が同じで連続的に変形されるが、面積は保存されない。IVは連続的に変形され、面積も保存されるが周長は大きくなる。これらの要因の中では連続性だけが共通である。したがって、これらの要因のみで考えることが許されるならば、両課題間の相関が高ければ、周長によるのではなくて連続性が面積判断において大きな役割を占めていることの根拠となろう。結果は次のようである。変形の程度が大きくなるに従ってⅢでは「小さく」と正しく判断される率が高くなるが、IVでは「大きく」と誤判断される率が高くなる。この意味では両課題は同じものと見られていないことは確かである。しかし、両課題において同じと反応する回数をそれぞれ得点とした場合、年少・年中児から5年までの全体で、相関係数0.58という高い値が得られる(ただし5年生のみでは0.35)。これらの事実は相反しているようであるが次のように考えれば統一的に解釈可能である。すなわち、知覚的に捉えられている場合には異なった課題として見られているが、保存の論理を媒介にした場合には同じ種類の課題だと考えられているのである。したがって、保存の論理の存在を前提にして両課題の共通要因である連続性が面積判断において大きな役割を果たしていると考えてよからう。

上と同様にVとVIを見る。Vは周長は同じで連続的に変形され、面積は小さくなる。VIは周長は同じであるが、連続的に変形されるのではなく対になった2つの図形を比較する。したがって、両課題間の相関が高ければ連続性よりは周長が面積判断において重視されていることになる。特徴的な結果を述べれば次のようである。年少・年中児、年長児ではそもそも同じとする誤答が少ない。1年では45—50%, 5年では55—65%程度の同じとする反応が得られる。ただ両課題の相関係数は1年で0.17, 5年で0.51であり、両課題の相関すなわち周長の重視は年齢の上の方で起こっていると考えられるだろう。

課題Ⅲ, IV, V, VIにおける同じとする判断をその回数で得点化し、それらに主因子法による因子分析を行った。1年ではⅢ, IV, Vの因子負荷が大きくそれぞれ0.60, 0.55, 0.54であるのに対し、VIは0.23である。5年では逆にVIが0.72と目だって高く、Ⅲ, IV, Vはそれぞれ0.49, 0.39, 0.50とかなりの値を保っているが相対的には低い。したがって1年では同じとする判断は連続性にかなり関係しており、5年でもその傾向は必ずしもなくなるが、等周長の影響が顕著となるといってよからう。

等積変形IVは、変形が小さいうちは連続性にサポートされて「同じ」であるが、変形が大きくなると周長が異常に増大するせいか「大きい」と判断されやすい。年長児や1年ほど(60%程度)でなくても、この傾向は5年でも残っている(41%)。学習指導のさい、等積であることを連続性の論理や周長の論理から弁別させるのに注意深くなければならない。子どもが等積変形を誤って連続性で理解していても、我々には変形が小さいあいだは正しく理解しているかのように見え、変形が大きくなると周長の論理へジャンプして正しく理解していなかったことに初めて気付くことになりかねないからである。

結 論

周長の面積判断への影響は、面積概念の混乱や未成熟さに帰せられるものでないことは明らかである。それは保存の概念を経由して入り込んでくるのであり、成長し保存の概念を獲得したが故に誤るようになるのである。Bruner (Bruner et al., 1966) は、「成長によるエラー」を、「正確にいうなら、1つの表象システムと、いま1つの表象システムとの間に照応性や一致性をうちたてようとして、うまくゆかない最初の段階を示しているのである」として、表象システム間に限っているが、もっと一般化してよい概念だと思われる。

引用文献

- 天岩静子 1973 Piaget における保存の概念に関する研究 教育心理学研究, 21, 1—11.
 Braine, M.D.S. 1959 The ontogeny of certain logical operations. *Psychological Monographs*, 73, 1—43.
 Bruner, J.S. et al. 1966 *Studies in cognitive growth*. John Wiley & Sons. (岡本他訳 1969 認識能力の成長 明治図書)
 銀林 浩 1975 量の世界 むぎ書房
 細谷 純 1968 空間・量・数の認識とその発達 黒田

- 他(編) 教育学全集6, 論理と数学 小学館
 川島久美子 1986 子どもの面積の大小判断について
 1985年度宮城教育大学卒業研究演習報告論文
 松浦公子 1979 子どもは広さをどうとらえているか
 ——周囲の辺の長さの面積への影響—— 1978年度
 宮城教育大学卒業研究演習報告論文
 Lovell, K. and Ogilvie, E. 1960 A study of the
 conservation of substance in the junior school
 child. *British Journal of Educational Psychology*,
 31, 109—118.
 Piaget, J. 1952 The child's conception of number.
 Routledge & Kegan Paul. (遠山他訳 1962 数の
 発達心理学 国土社)

- Piaget, J., Inhelder, B., and Szeminska, A. 1960
 The child's conception of geometry. Basic Books.
 Russell, J. 1976 Nonconservation of area. *Devel-
 opmental Psychology*, 12, 367—368.
 佐藤亜紀子 1986 子ども面積判断についての一考察
 1985年度宮城教育大学卒業研究演習報告論文

謝 辞

実験に協力して下さった園児・児童の皆さん, 校園長
 および担任の先生方に厚くお礼申し上げます。また1978
 年度および1985年度卒業研究演習参加4年生全員の積極
 的な討議に感謝します。

(1987年9月8日受稿)