

系列化課題を用いた認知発達プロセスに関する 研究レビュー（展望）

園 田 直 子

要 約

本研究の目的は、第一にピアジェが認知発達プロセスを解明する為に創出した課題の中での代表的な課題である系列化課題に焦点を定め、その系列課題解決に必要な認知操作の発達の変化を追っていき、どのようなことが研究されてきているか、また研究者間でのアプローチにどのような差異がみられるかについての研究レビューを行うことである。第二の目的は、その研究レビューを踏まえて、ピアジェが主張した「真の意味での認知操作の発達」、その中でもあるステージからあるステージへと認知構造が向上していく過程は、どのような位相を辿っていくか、その詳細な変化過程を明らかにすることの重要性を指摘することである。

キーワード：認知発達 系列化 推移律 可逆性

はじめに

認知発達プロセスを捉える手段としての系列化

Piaget は、11～12歳にならないと、経験に依拠せずに、知識や与えられた命題から論理的な推論にもとづいて判断を行う命題的・論理的思考は可能にならないと論じた。Smedslund (1960) や Grick & Wapner (1968) は言語的な概念を用いた推移律課題は12歳を超えなければ偶然以上の確率で正答できないことを示している。このような論理判断が可能になる段階に至る前の7～11歳は、具体的に取り扱える対象であれば論理操作にもとづく判断と同様の認知操作を行うことができる段階であるとし、その時期を具体的操作期と位置づけた。Piaget は、前操作期から具体的操作期、具体的操作期から形式的操作期へのステージ間への移行については、同化、調節、均衡化という概念を用いて説明しているが、どのようなステップを経て何がどのように変化していくのかについての、詳細な移行過程について具体的な課題を用いて明らかにしていない。その移行プロセスを詳細に捉えるためには、認知が発達するにしたがって、ある一つの課題の達成の仕方がどのように変化していくか、その過程

を分析することが必要である。

具体的操作期には、対象を分類したり、順番に配列したりという行為が可能になる (Piaget, 1952)。これらの能力は数概念や論理的思考の重要な基礎となるものである。Piaget は具体的操作期における思考の特徴は、一貫した統合された認知体系ができ、その体系の枠に従って知覚に左右されずに頭の中で操作的に考えることができるようになり、それによって、子どもの行為が体系づけられるようになることであると論じた。この認知体系の代表のひとつが「関係についての操作の規則のまとまり」である。この認知体系によって、非対称的な関係についての可逆的な操作を必要とする推移律判断が可能になる。推移律判断が具体的にどのように表出されるかを説明するために、Piaget は系列化課題を創出した。

本研究の第一の目的は、前操作期から形式的操作期に至る子どもの認知発達の変化プロセスにアプローチする代表的な課題として系列化課題に焦点を定め、その課題解決に必要な認知操作の発達の変化についてどのようなことが研究されてきているか、また研究者間でのアプローチにどのような差異がみられるかについての研究レビューを行うことである。

第二の目的は、その研究レビューを踏まえて、ピアジェが主張した「真の意味での認知操作の発達」、その中でもあるステージからあるステージへと認知構造が向上していく過程は、どのような位相を辿っていくか、その詳細な変化過程を明らかにすること（ステージ間アプローチ）の重要性を指摘することである。

1. 系列化課題が解決できるためには

(1) 系列化課題の構造

系列化課題は、関係性についての操作である「推移律」判断を背景としている。推移律とは、1) A, B, C, D, ..., N という全要素の間には、A がもっとも大きく、N に近くなるに従ってだんだんと小さくなるというような非対称的な関係があること、2) かつ特定の要素 C はその前後を構成する他の要素 A, B より小さく同時に D・N より大きいという可逆的な関係性があること、3) さらにそのような非対称的で可逆的な関係が C のみではなく、配列全体のどの要素についてもあてはまるという全体の関係性の構造についての認識に基づく推論ができることである。系列化課題は、このような論理的判断にもとづいて解決できるように構成された課題である。

系列化課題を論理的判断にもとづいて解決しているかどうかは、まずはじめに一番小さい要素を見つけ、また次に残りの中で一番小さい要素を見つける、というように一貫した原理で課題を構成している要素間を比較・検討していくという作業をくりかえしていくことができるかどうか、また一度完成した配列に中間大の棒を挿入する課題では、その全体的な関係性を理解した上で列を崩してしまうことなく常に左隣はより大きく、右隣はより小さいということを同時に確かめながら行っていくことができるかどうかによって判断できる。

(2) 系列化課題を解決するために必要な認知操作

系列化課題が解決されるプロセス：

Piaget & Inhelder (1941) は 9 cm から 16.2 cm までの 0.8 cm ずつの差がある 10 本の棒を長さの順に配列するという課題を用いた。すべての棒を系列的に順番に配列するためには、ある要素が、その前にあるすべての要素より大きく、残りのすべての要素よりも小さいという双方向の関係を同時に理解するという推移律能力が必要である。また、系列化課題は、一度に把握できない複数の対象を比較して配列する必要があるために、基準を揃えて固定した比較行為を行わなければならない。最初の段階では、子どもは全く配列の意味

を理解せず、ランダムに並べる（段階 1, 4 歳以前）、次の段階では適切次元が大きさであることに気づき、大きいものと小さいものを区別し、いくつかの大小の対をつくったり、大まかに小さい棒のグループと大きい棒のグループに分けたりする、あるいは 5 ~ 6 本までは配列できるが、それ以上の数を配列することができない。棒の先端だけを階段状に並べたり、ピラミッド状に並べるなどの配列パターンも中間段階にみられる。（部分的系列化：段階 2, 4 ~ 6 歳）。次の段階では、目見当で棒を選んで置いてみながら、すでに置いた隣の棒と比較し、おき直すことを繰り返すことによって、試行錯誤的に系列を完成する。この段階では、中間大の棒を挿入することを求められると、同時に両側の棒と比較することができないために、配列を崩してしまい成功できない（試行錯誤的成功：段階 3, 6 ~ 7 歳）。最後の段階では、すでに並べた棒の中ではもっとも短く、同時に残った棒の中ではもっとも長いものを選ぶために、棒を配列する前にあらかじめ全部の棒を端を揃えて比較するという比較行為を行いながら系統だった方法で完成する。この段階になると、一度完成した系列の中間に中間大の棒を挿入することも可能になり、非対称的で可逆的な関係の理解が完成したとみなせる（操作的成功：段階 4, 7 歳以降）。

系列化の解決に必要な思考の可逆性とは：

操作的に系列化ができるということは、段階 4 になったときを意味している。あらかじめ棒の端を揃えて比較するということは、特定の要素 C はその前後を構成する他の要素 A B より小さく同時に D・N より大きいという可逆的な関係性を配列前に「予期」していることのあらわれである。棒同士の関係づけは、2 つの棒の間の比較にとどまるのではなく、より長いものとより短いものとの双方向に行われているという意味で、可逆的な操作を行っているといえる。

Piaget は、思考の可逆性をふたつのタイプに区別している。ひとつは「打ち消しに基づいた可逆性」で、もうひとつは「相補性に基づく可逆性」である。「打ち消しに基づいた可逆性」は、「保存課題」において例えば容器に入った水を別の形の容器に水を注いだり、水を加えたりする変換操作行っても、水を元に戻したり、加えたものを取り除くというような変換操作を取り消すこと（逆操作）で、同一のものになることが理解できるという思考操作である。このような「打ち消しに基づく可逆性」は、A という集合と B という集合を合わせると、C という集合になる場合、C から B を取り除くと A になるというような「クラス関係」

を理解するときにも必要とされる。

しかし、推移律判断が成立しているかどうかは、もうひとつのタイプの「相補性に基づく可逆性」が理解できているかどうかによって決定される。たとえば、3つの棒の長さの関係について、AはBより長い ($A > B$)、BはCより長い ($B > C$) からAはCより長い ($A > C$) を推論するとき、その論拠としてBはAに対してより短いと同時にCに対してはより長いことに依拠していることである。この論拠に依拠して判断できるということは、「より長い」と「より短い」ということが逆の関係にあり、「AはBより長い」ということは「BはAより短い」ということと同じ意味であることが理解されているからである。まだ配列していないすべての棒を比べ、置くべき棒を系統だてて選んでという手順をふんで系列化を操作的に完成できるということは、このような相補的な可逆性が理解できていることのあらわれである。

(3) 系列化課題を通してピアジェが仮定している認知発達過程：Piagetの発達段階論との対応

系列化課題は、上述のような推移律判断にもとづく思考が可能かどうかを確かめる課題であった。推移律のような知的操作の発達には、Piagetの知的発達論にどのように位置づけられているのであろうか。Piaget (1947)の発達論において重要な点は、知的な発達は一定の順序で継起するという点である。その主要な時期の区分のしかたは3区分、4区分、6区分などさまざまな区分法があるが、各時期の特徴および継起の順序は同じである。それぞれの段階は最終段階の形成のために必要であるので、順序自体は一定であり、入れ替わることはない。Piagetの理論において重要なのは、段階継起の順序であって、段階出現の年齢的対応ではない。ここでは中垣 (2007)の整理にもとづいて発達段階を大きく3つの時期に分け、系列化課題の発達がこの発達段階とどのように対応しているかをみていく。

まず、第1の段階である感覚運動の時期は1歳半頃まで続く段階である。この時期には、反射的・本能的な行為のパターンから脱し、新しい事態において柔軟な反応ができるようになる。この時期は知覚的構造ができ、感覚運動的に大小や重い・軽いの比較ができるようになる (Mounod & Bower, 1974)。

第2の段階である表象的思考の時期は、1～2歳頃からはじまる前操作の下位時期と7～8歳からはじまる第2下位時期に分けられる。この時期には具体的操作が獲得される。7歳以前の前操作期には可逆性や

保存はない。しかし可逆的ではない「方向づけられた関数」や「質的同一性」という、不十分であるが部分的な構造ができる。これは可逆的操作の論理の前半部分を構成している。この時期には、可逆的な思考はできないが、「だんだん大きくなる」というような方向づけられた量の関係を理解ができるようになり、3～4個の少ない数の差が目立ちやすい対象であれば、順番に配列することが可能になる。

第2下位時期の具体的操作期になると、可逆的な操作ができるようになり、保存、クラス化、系列化などの具体的操作が可能になる。この時期に操作的に系列化を行うことができるようになる。またこの時期には量的構造も構築される。例えば系列化において全ての棒を一度に比較することができるということは、 $A > B > C > D \cdots N$ という系列において、AとCの差異はAとBの差異より、あるいはBとCの差異より大きいこと、AとDの差はAとCの差異より大きいという量的構造が理解されていることを意味する。

第3の段階である命題操作 (形式的操作) の時期は、11～13歳にはじまる。この時期になると、具体的操作期にすでに存在していたふたつのタイプの可逆性が統合され、操作に対する操作、たとえば系列化に対する系列化として順列、組み合わせのような操作が可能になる。

2. 系列化課題解決の基底に流れている推移律

(1) 推移律課題とは

系列化課題解決の基底には、推移律に関する思考操作が機能していることをピアジェは指摘したが、1) その推移律に関する思考操作がどの発達段階から可能になるか、2) 推移律能力の有無を判断するための方法にはどのような条件を備える必要があるか、という問題については、長い間論争的になっている。その論争を歴史的に振り返ってみると、3つ位の時期に分類する事が可能である。

推移律判断の原理：

論争を振り返るにあたって、まず、Piagetが系列化課題とは別に、推移律課題として創案した課題を通じて、推移律課題を解決するために必要な認知操作について論じる。系列化課題も推移律課題もほぼ同時期に可能になり、二つの課題の背景には共通した原理の理解、すなわち「可逆的な非対称関係についての理解」が必要であるが、系列化は10本の棒をいかに操作的に配列できるかによって推移律の有無を判断する課題であるのに対し、推移律課題は、媒介となる要素との関

係を知ることで、まだ知らない2つの要素の関係を推論的に判断できるかどうかに焦点をあてた課題である。推移律判断とは、すでに述べたように、例えば3つの要素の関係について、AはBより長い ($A > B$)、BはCより長い ($B > C$) からAはCより長い ($A > C$) を推論するとき、その論拠としてBはAに対してより短いと同時にCに対してはより長いことに依拠していることである。

Piagetの考案した推移律課題；測定のものさしを自ら発見できるか：

Piagetは、このような認知操作にもとづく判断が可能かどうかを確かめるために、二つの要素を推移律判断によって推論するために、子どもがどのような行為を行うかを観察する課題を考案した。この課題は、直接比較できないAとCの関係を知るためには、それぞれを上記のBにあたる媒介項と比較し、その結果に依拠して推論できることを理解しているならば、Bを「ものさし」として使用すればよいことを子どもが自発的に発見できるであろうという仮定にもとづいている。

具体的な課題は以下のようなものである (Piaget, J., Inhelder, B., and Szeminska, A., 1960)。高さが90センチ違うふたつのテーブルを2メートル離して置く。ひとつのテーブルの上にブロックを積み重ねた塔（モデル）がある。子どもは、もうひとつのテーブルの上にモデルと同じ高さの塔を建てるように求められる。この課題を達成するためには、同じくらいの高さになったと思われる段階で、自分が作っている塔がモデルの塔と同じ高さになったかを測定し、もし低ければブロックを足さなければならないし、高ければブロックを取り除かなくてはならない。二つの塔は距離が離れており、置いてあるテーブルの高さが異なるため、直接較べることができない。このような状況で、子どもはどのようにして塔の高さを比較するかを観察した。

このとき、さまざまな長さのテープや棒を部屋の中に置いておくが、その使い方は教えない。4歳児は、テーブルの高さの違いを考えないで、モデルと同じ高さになるまでブロックを積んで塔を作った。5～6歳になると、テーブルの高さが違うことに気づき、自分の塔をモデルと同じテーブルに移そうとしたが、それはしてはいけないと禁じられた。その後、測定道具をみつけようとするようになる。測定道具を使うことは、推移律の論理的操作を前提にする。最初は測定道具として自分の身体を使い（手をひろげるなど）、大まかに

に比較するだけであるが、次第にそれでは不正確であることに気づき、7歳くらいになると、モデルと同じ長さの棒やテープを媒介項として、ふたつの塔を較べることができるようになる ($A = B$ で $B = C$ ならば、 $A = C$ であるという推移律判断)。8歳を過ぎると、棒やテープが同じ長さでなくとも媒介項とモデル、媒介項と自分の建てた塔との高さの比較を行うことで、モデルと自分の建てた塔の高さが同じか違うかを推論することができるようになる ($A > B$, $B > C$ ならば $A > C$ という推移律判断)。このような測定行為の観察にもとづいて、Piagetは7歳以下の子どもは長さの推移律判断が成立していないと論じた。

このように、比較するためにひとつの客観的な“ものさし”を用いることをみずから発見し、その“ものさし”を利用しながらふたつの塔の高さを推論できるかどうかを推移律能力の証であるとしたPiagetの方法に対し、その方法が妥当であるかどうかについての論争がおこった。

(2) 推移律研究の歴史的展開

推移律に基づく思考操作の有無を決定づける要因に関する論争の時期（1950年代～1980年代頃まで）：

i) Piagetの結果はFalse-negative-error (FNE)なのか

Piagetの著作が英訳された1950年代半ば以降、すでに1950年代の終わりから1960年代にかけて、Braine (1959, 1964) と Smedslund (1960, 1963 ab), Glick & Wapner (1968), Youniss & Murray (1968), Murray & Youniss (1970) らはPiagetの用いた課題の妥当性について論争を行っている。これらの研究は、二つの立場に分けることができる。すなわち、Piagetの方法は推移律の能力以外の、より複雑な認知能力を必要とするために、課題の達成年齢が実際の推移律の獲得より遅れるのだという批判的な視点から、課題をより単純化した形に改良・修正する反Piaget派の立場と、その単純化された方法は、非推移律判断によっても解決できることを証明し、彼らの方法は推移律の能力をはかっていることにならないと逆に批判するPiaget支持の立場である。

このふたつの立場の認知発達に関する論争を位置づけると、図1のようにあらわされる。

推移律能力を測るために考案された課題は多様な方法があるが、それらの課題は、推移律能力以外の認知能力を必要とすることがある。その中には、その能力は推移律が可能な発達段階ではまだ獲得されていないものと、それより以前に獲得されている能力がある。

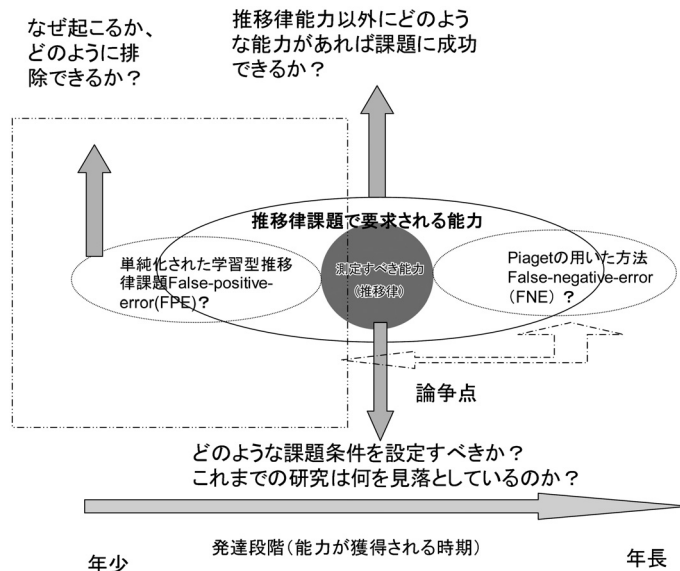


図1 推移律課題で生じる False-positive-error と False-negative-error に
関する論争の位置づけ

もし、まだ獲得されていない能力が必要な課題であるならば、潜在的に存在する推移律能力が発揮できず、実際には存在する能力を誤って「解決能力がない」と判断してしまう False-negative-error (FNE) が起こる。先に述べたように Piaget を批判する立場の研究者たちは、Piaget の方法が FNE を引き起こしているという立場をとり、課題要求を低減することを目的として課題を考案してきた。しかし、Piaget の支持者たちは批判者たちの方法では、推移律獲得以前に所有している能力によって課題の解決が可能になり、見かけの成功をもたらしていると主張した。このような場合には、逆に推移律能力が存在しないにもかかわらず、「ある」と判断してしまう False-positive-error (FPE) を起きているという指摘である。つまり、批判者たちの考案した課題は課題要求を低減してしまったために本体のものとは変質してしまっており、課題の本来の目的を果たしていない、とする立場である。本研究では、第1期と第2期の論争を通じて、この二つの立場の研究者たちが用いている方法論上の問題点を整理し、諸研究によって明らかになった推移律課題に成功するために必要な推移律以外の認知能力にはどのようなものがあるかについて論じる。

ii) 反 Piaget 派からの疑問は False-positive-error (FPE) なのか

まず Piaget を批判する立場として、Braine (1959)

は、Piaget の推移律課題の実験手続きに徹底した批判を加え、実験手続きの改良を行った。彼の批判点は次の3点である。第1に、子どもの測定行動を通じて推移律の有無を診断するという前提そのものに対する疑問である。測定行動は測定に関する知識や技能を反映しているだけであり、測定ができないことは推移律の欠如を意味しない。第2に、Piaget は測定活動をするか否かは子どもの自主性に任せているが、年少児は能力が不足していたのではなく、課題に積極的に取り組むという動機づけが欠如していた可能性がある。第3に、Piaget の質問は複雑であるため、年少児は言語能力の未発達から実験者の意図している質問の意味を理解できなかった可能性がある、という主張である。Braine は、Piaget の方法は FNE を起こすものであり、子どもは8歳より前に推移律判断が可能であるとする立場であった。そこで、Braine は「同じ高さの塔をつくる」という課題目標を設定するのではなく、ふたつの刺激のうち長いほうを選ぶとキャンディーがもらえるという長さの弁別課題の方法を用い、子どもの課題に取り組む動機づけを高めると同時に、言語的な複雑な教示の理解の必要性も排除することによってこの疑問を確かめようとした。その結果、4～5歳の子どもでも50%の者が二つの刺激の長いほうを選択することができた。

この結果に対し、Smedslund (1963 a) は、Braine

の主張は誤りであり、彼が用いた方法が不適切であったために、4～5歳児でも正答可能な課題に変質したことが達成年齢のズレを引き起こしたと反論した。Smedslund は、Piaget の方法が複雑であったことは認め、推移律課題をより客観的で標準化された方法に改良しようと試みた。彼は、 $A > B$, $B > C$ を示したあと、 $A > C$ という判断ができることが推移律の存在を示す「兆候反応」であるとし、推移律を欠いているにもかかわらず兆候反応があらわれる条件（FPE が生じている）と、推移律を理解しているにもかかわらず兆候反応を示さない条件（PNE が生じている）を詳しく分析した。その結果、前者の例としては（1）「あて推量」、（2）直接的な知覚判断、（3）推移律以外の手がかりにもとづく判断、すなわち「非推移律判断」が用いられている可能性を論じている。非推移律判断とは、実験特有の手順から答えを導き出すルールを見出すような場合に起こる方略である。例えば A と B では A が当たり、B と C は B が当たりなので、A の下にはキャンディーがあるが、C の下にはない、というようなヒューリスティックな推論による判断を指す。課題条件によっては、棒をたてる位置や比較の順番というような推移律とは無関係の手がかりにもとづいて正答に至ることもある。

まず、直接知覚を排除するために、Smedslund はミュラー・リエル錯視を用い、「長く見えること」と「長いと推論される」ことに矛盾が生じるような課題を作成した。もし、推論にもとづいて判断するのであれば、長く見えないほうを見えに逆らって「長い」と答えなければならない。また、非推移律判断を排除するために、なぜそう思ったかの理由を尋ねるようにし、正しくふたつの前提について言及した場合のみを推移律判断であると評定した。その結果、7歳では30%しか推移律判断をしておらず、8歳で72%という結果であった。また、1対だけの比較条件を設定することによって、4～5歳児は、二つの前提からではなく、 $A > B$ だけから A にキャンディーがあることを推論していることも示した。このように2対ではなく、1対のみの比較にもとづいて判断を行うことを、彼は「偽測定」と呼んでいる。

iii) 課題条件の違いによって異なるパフォーマンス

これに対してさらに Braine (1964) は、Smedslund の方法では、いつも実験者がはかってみせるほうを選べばキャンディーがもらえることがわかるという非推移律判断がなされていた可能性があるという実験手続き上の不備を指摘し、4歳から6歳の子どもを対象に、

前提となる AB, BC の関係を提示する条件として、比較を行わずに棒を見せるのみの知覚判断群、1対だけを比較する偽測定群、2対の比較を行う群という3つの条件を設定した。前提から AC の関係を尋ねるテストのパフォーマンスを比較した結果、2対の比較条件群のみににおいて有意に正答率が高かった。Braine はこの結果を、4～6歳児が推移律判断を行っているものと解釈した。この結果に対し、波多野 (1965) は、両者の実験方法の基本的な違いがこの違いを起しているとは指摘している。すなわち、Braine は回答にその都度フィードバックを与えていることから、大小の組み合わせの提示順序のルールから導き出される非推移律的な仮説にもとづいて子どもが正答した可能性がある。また Braine は大きさをそのまま見せるという非常にシンプルな形で課題を提示したのに対し、Smedslund は錯視を用いることで、推論と知覚が矛盾するような状況を作っているために、「長く見えること」と「実際に長いこと」のどちらの答えを求められているのかという課題要求の理解が曖昧になり、正答率が下がった可能性があるという指摘である。

iv) 推移律課題は推移律以外の認知能力によっても解決できる

この論争には、Murray & Youniss (1968), Youniss & Murray (1970), Murray & Youniss (1970), Roodin & Gruen (1970), Youniss & Denison (1971) も加わっている。Youniss らは、FNE が起きる理由として子どもが課題の意味を理解していない可能性、はじめの二つの前提を正しく理解していない、または忘れている可能性、および Smedslund のあげた FPE が起きる3つの可能性のすべてを考慮して、Smedslund の方法を改良して実験を行った。その結果は、Piaget を支持するもので、8歳になれば推移律判断が可能にならないというものであった。また、非推移律判断の中にラベリング方略の可能性もあることも指摘した。すなわち $A > B$, $B > C$ から $A > C$ を推論する課題では、子どもは A には大きい、C には小さいという呼称を付与することで、推移律判断をせずとも5～6歳児で成功できる。しかし、同じ長さのものがある条件、例えば $A = B$, $B > C$ から $A > C$ を推論する課題では、大きい、小さいという呼称を付与することができないために、ラベリング方略の有効性を発揮できないことから、論理的な推論判断が必要になる。そのために同じ長さのものを含んだ課題では、Smedslund (1963) の結果と同様に8歳になるまでは成功できないことを示し、以前の課題で

はラベリング方略によって解決していたということを示した。

さらに, Glick & Wapner (1968) は8歳から18歳を対象に具体物を用いた推移律課題と言語的な推移律課題の正答率の変化を検討している。言語的な推移律課題は, 10歳を超えなければ50%以上の正答に至らないが, 具体物を用いた推移律課題は, 8歳で正答率が57%であった。しかし, それは必ずしも正しい判断の根拠を伴っておらず, 課題に正答することは必ずしも推移律判断に基づいていないことを示している。同様に正答の理由の説明を求めた Roodin & Gruen (1970) も, 7歳までは, 正答はできても, 適切な説明ができないことから, 推移律判断とは異なる解決の仕方を行っている可能性を指摘した。

これらをまとめると, Piaget を批判する立場の研究者たちは, 1) 「測定活動」の必要性を排除すること, 2) 非言語的な弁別課題のパラダイムを用いることで, 言語理解が不十分であっても課題要求を理解できるようにすること, 3) さらに刺激選択行動をキャンディによって強化し, 動機づけを高めることによって FNE を避けられると考え, この手続きによって4歳でも推移律課題に正答できることを示した。それに対し, Piaget を支持する立場の研究者たちは, この方法が知覚的絶対判断, ラベリング, 非推移律判断によって解決できるために FPE を起こしているという視点から, 弁別課題のパラダイムを利用しながら, それを修正し, 錯視を用いて知覚と判断が矛盾する課題, 同じ大きさの対が含まれている課題, また答えの根拠を求め, 正しくふたつの前提に言及しているかどうかを正答の基準とするという条件を設けた。その結果, 8歳にならなければこれらの課題に成功することはできず, Braine の方法は推移律以外の方法で解決していたことが示され, 全体的には Piaget を支持する立場が主流であったといえる。

v) 推移律課題の更なる改善へ

この論争を通じて推移律課題において FNE と FPE を生じさせる課題条件について明確化され, 方法論上の主要な問題点が出揃った。そして, それらの問題点の改善のために用いられた手法がその後の研究に引き継がれていった。まず, 冒頭にあげた Braine の批判の第1の問題である「測定行動を通じて推移律の有無を診断するという前提そのものに対する疑問」については, その後の研究では, 実験者が測定をしてみせる方法に変わっている。第2の問題である「動機づけの不足」に関しては, 弁別学習の手法を用い, キャンディ

や正誤のフィードバックを与えることで動機づけを高める方法に変わった。第3の問題である「年少児は言語能力の未発達から質問の意味が理解できなかった可能性がある」ことに関しては, 弁別学習の手法を用いたことで, 非言語的な課題に変えられた。

ただし, 第1期の方法の限界点は, 知覚判断を排除するために主にミューラー・リエル錯視や水平垂直錯視 (Youniss & Murray, 1970) を用いたために, 課題要求が正しく理解されなかった可能性が残されることであった。さらに, 同じ長さの対を設けるなどの工夫をしているものの, 基本的に A, B, C という3つの要素しか用いておらず, 容易にラベリングやその他の非推移律判断にもとづく正答が導き出される可能性を排除しきれなかったことである。こうした問題点をふまえて, その後においては錯視を用いた3要素の課題は, 次第に用いられなくなり, Bryant & Trabasso (1971) の考案した色分けした5個の要素を用いる方法が主流になっていく。

推移律課題をめぐる構造論的アプローチと情報論的アプローチの発達論争の時期 (1971年～1980年代頃まで) :

i) 情報論的アプローチの立場からの Piaget の発達論への批判: 段階論への疑問

第期の論争における, Piaget に対する批判点は, 「ピアジェが用いた課題が, 測定しようとする能力以上の認知能力を要求するために, 前操作期の子どもの能力を過少評価してしまっている」という問題であった。その問題を証明するためにさまざまな方法が考案されてきたが, その達成時期は4歳から8歳と大きく幅があり, 推移律が発達のいつの時期に可能になるかについての結果は一貫していなかった。この達成時期のズレは, 研究者たちが, 「どのような課題に成功すれば推移律能力を持っていると判断できるか」という立場の違いを表している。要約するならば, 第期の論争は, 推移律能力を測るとき, どのような方法で測ることが妥当であるかという問題に焦点があったといえる。

第期の論争では, その問題に加え, 情報処理論的アプローチの立場から発達段階論への疑問が提出された。すなわち, 認知発達の変化プロセスには質的に異なる段階があるのではなく, 発達は連続しており, 推移律のような論理的な思考判断を要する課題は, 記憶, 注意, 動機づけ, 言語理解のような基本的認知能力の増大によって可能になるものであり, 思考の質的な変化によるものでないという主張である。

ii) 推移律判断は記憶容量の差異に還元できるのかどうかに関する論争

情報処理論の立場に立つ研究者たちは、推移律反応は、その課題解決に必要な諸能力、すなわち前提の学習が十分になされているならば推移律にもとづいて判断ができるという観点から、弁別学習の方法を用いて、記憶・学習のフィードバックの提示方法、前提となる情報の組みあわせかた、反応の引き出しかたを操作する方法を考案した。その基本的な方法を確立したのが、Bryant & Trabasso (1971) である。彼らの推移律課題の特徴は、確実に記憶された二つの前提（A と B、B と C の関係）から、まだ示されていない第3の関係（A と C の関係）を「推論する」という判断ができるかどうかを問題にし、子どもは対象に触れることなく、要素間の関係について推論判断を下すことができるか否かを診断するような課題構造になっている。

彼らは4歳児でも推移律判断は可能であるが、前提を記憶することが4歳児の作業記憶の容量を越えているために、推移律課題に失敗するという仮説のもとに、次の4つの手順を用いる課題を考案した。推移律判断課題の前に前提となる隣同士の対の関係を繰り返し学習し記憶するという手続きを設ける。また、A、B、Cの3つの要素だけでは、非推移律判断が生じやすいため、要素の数を5個（ABCDE）に増やす。知覚的手がかりを排除するために、色の異なる棒を1インチだけ頭を出すように穴に挿し、全体が見えないようにして学習を行うという手続きをとる。学習段階における正答率が基準に達し、隣同士の対の関係を記憶したことが確認された後に、学習した対に加えて隣同士以外の対の関係（どちらが大きい？）をたずねるといったテストの仕方に改善したのである。

具体的な学習の手続きは、次の通りである。まず、隣り合った対について小さいほうから（または大きいほうから）順番に「どちらが大きい（小さい）か」という質問に答えた後、棒全体が見えるように示し、フィードバックを与えた。10回中8回正答できるまで繰り返した。次いで、ランダムな順番で対を示し、6回連続で正答できるまで質問を繰り返した。正答できるようになった後に、テストに移る。テストは10個の可能な組み合わせのうち、4つの組み合わせについてはランダムであった。テストの際は、フィードバックを行わない。答えを分析する際、端の要素は「大きい」「小さい」という絶対判断がなされる可能性があるため、中間の要素同士の関係（BとD）が推移律判

断によって推論されるとみなすものである。

このような手続きを行った結果、4歳児の子どもでもBD以外の対では90%以上の正答を示した。この結果から、記憶学習が十分であったことと、端の要素（A = 大きいと E = 小さい）との組み合わせ（AC や CE）は推移律以外の方法で判断されていることを反映していることが確認された。それに対しBDは推移律判断が必要なため、やや正答率が低かった（85%程度）が、年齢の差はなく、4歳児でも8歳児と変わらない正答率を示すことが証明された。彼らは、学習時のフィードバックの際に棒全体を見せたことで、棒の長さを記憶していた可能性を検討するために、第二実験として、棒を見せずに言語的にフィードバックを与える方法も行ったが、結果はほぼ同じであった。また、BDの正答率の低さは、推移律の問題ではなく、ふたつの関係を組み合わせる必要から、BCの記憶量とCDの記憶量の積とほぼ一致していることも示し、BDの推論は、記憶量にもとづいているということを示した。この結果より、彼らは推移律判断ができるかどうかは、記憶の確かさおよび記憶処理に必要な作業記憶の容量に還元できると主張したのである。

これに対し、Piagetの構造論的アプローチの立場にたつ研究者として、de Boysson-Bardies & O'Regan (1973) は、Bryant & Trabasso (1971) の課題は推移律を用いなくとも成功できることを示すことによって、学習型推移律課題で正答できる認知能力は、Piagetの推移律の定義と質的に異なっていると反論した。彼らはまず、第1実験で、学習段階における通過率を、Bryant & Trabasso (1971) よりかなりゆるくした（2回連続正答）。その結果、テストの成績が低下したのは、学習した対に関してのみであり、学習しなかった対（BD）については、Bryant & Trabasso (1971) と同じ程度であったことを示した。このことは、推移律判断が記憶にもとづいているわけではないことを物語っている。また、第2実験では学習段階でのペアの提示順序をランダムにした。その結果、大人はランダム学習の場合には正答率が下がるが、子どもはランダム学習の影響はなかった。そこで、子どもは推移律以外の方略を用いていた可能性がある」と論じている。また、隣同士のペアの正答率が低かったことから、学習の手順を通じて（Aからはじめた場合は、Aは「大きい」BCは「どちらでもない」DEは「小さい」、Eからはじめた場合はABは「大きい」CDは「どちらでもない」Eは「小さい」のように）、要素にラベリングがなされたと解釈できた。さらに、

実験3では、Cを取り除いて学習を行い、テストではABCDEの5本の組み合わせでどちらが大きいかを尋ねたところ、Cは学習していなため、推論が不可能であるにもかかわらず、「どちらでもない」にラベリングされ、BDの中間に位置するような判断が下された。さらに、第4実験では、ABの対、CDの対のみの情報しか与えないという学習を行った。その結果は、ラベリング方略を用いていることを支持するもので、 $A > D$, $C > B$ という判断を行った。de Boysson-Bardies & O'Regan (1973) はこれらの結果について、Bryant & Trabasso は記憶や操作の難しさを巧妙に排除したが、この課題が他の方略でも解決可能であるという可能性についてのチェックを怠っていたと批判した。したがって、推移律判断ができるが否かの根拠は、Bryant & Trabasso が主張したように記憶に還元することはできないと反論した。

iii) 空間表象にもとづいた情報処理の可能性

情報論的アプローチの立場による研究からは、学習型推移律課題の方法によって、線形的な空間配列が利用されている可能性も明らかになった (Trabasso, 1975, 1977)。この仮説は、端から内側に符号化していく方略が使用されているというものである。まず頭の中でAとEを離して配置し、次いでABとDEが符号化され、内側の2番目におかれる。次にBCとCDが符号化され、Cが真ん中に置かれる。いったんこの順番ができると比較の質問に答えることは、ほとんど知覚的な問題に変質し、推移律の問題ではなくなるとTrabassoは論じている。この空間配列方略仮説を支持するデータは反応潜時の研究でも示されている (Trabasso, Riley & Wilson, 1975)。すなわち、端の要素ほど反応時間が早く、正答率も高い。この系列位置効果は6歳、9歳、大学生でも同様に見られる。また、隣同士のペアではCDがもっとも反応時間が長い。このことは、推論判断が前提を組み合わせで論理的に推論されたものではなく、線形的な配列の表象を利用しているという仮説に一致する。空間的な位置にもとづいて推論判断を行っているということは、Pears & Bryant (1990) も、対象の大きさではなく、位置関係 (上下関係) にもとづく推移律判断課題で示しており、年少児から成人まで、推論判断を行う際に空間的な位置関係の表象をつくることによって課題を解決している可能性が示されている。

iv) 推移律課題のパフォーマンスに影響を与える課題条件とは

その後、推移律論争に関するレビューは Miller

(1976), Thayer & Collyer (1978), Grieve & Nesdale (1979), Breslow (1981), Brainerd & Kingma (1984), 大津 (1986 ab, 1987, 1989, 1990), 松田 (1986 ab), Halford (1989), Reyna & Brainerd (1990), Brainerd & Reyna (1992), Chapman & Lindenberg (1992) など多数なされ、推移律課題の達成に影響を及ぼす要因が整理された。その論争を踏まえると、FPEを排除するために考慮すべき点としては次の7つの点が指摘できる。(1) 学習が成立したとする基準がゆるいほど、推移律判断は記憶にもとづくとはいえないと解釈できることから、前提学習の通過率の基準の設定を下げる、(2) 前提学習で、ABCDEの5つの要素について、AB, BC, CD・・・と順番をずらしながら隣同士のペアを比較する標準的な前提学習は、それぞれの前提からABCDEの順序を推論できるが、AB, CD, EFという6個の要素の分離したペアの比較を前提として学習した場合は推移律判断が不可能である。このような学習を行った場合でもABCDEFの順序をつくりあげるような解答を行なうことは、推移律以外の方略を用いていると解釈できるため、6個の要素を用いた分離ペアの前提を用いる、(3) 要素の長さを見せる知覚的フィードバックを行うと、絶対的知覚判断を行う可能性がある。この可能性を排除するため言語的なフィードバックを行う、(4) 場所の手がかりによって正答する可能性を排除するため、棒の位置をカウンターバランスしなければならない、(5) 特定の棒に固定した呼称を与えるラベリングを排除するため、比較するときに用いる言語を同じ要素について両方向 (「より大きい」と「より小さい」) で使用することが必要、(6) 「同じ」という判断を含んだ、より論理的な判断を引き出すため同じ大きさの対も含めることが有効である、(7) テストを行う時、2つの要素では「あて推量」で50%の正答確率があるため、2つの要素の関係ではなく、推移律判断を行わない限り正答できない3つの要素の関係について尋ねる、である。

それぞれの研究者の用いた課題は(1)~(7)の条件のいずれかが異なっており、結果の違いはこれらの課題条件の違いで説明できる。false-negative-error (4歳でも可能)の立場をとったのはAdams (1978), Bryant & Kopytynska (1976), Pears & Bryant (1990), などであり、false-positive error (ピアジェ支持)の立場にたったのはChapman & Lindenberg (1988), de Boysson-Bardies & O'Regan (1973), Halford (1984), Perner & Mansbridge (1983) な

どであった。

v) 情報論的アプローチから得られた示唆と残された問題

一方, Bryant (1973), Bryant & Kopytynska (1976) は, 推移律判断が能動的な行為にもとづくものか, 行為を必要とせず受動的になされるかという課題条件の違いが, 前操作期の子どもが推移律課題に成功できるかどうかの決め手になると論じ, 学習型推移律課題のような受動的な判断を求められる課題では就学前児でも正答ができるが, 能動的に前提を見出さなくてはならないような課題では, 8 歳頃にならなければ困難であると述べている。さらに, 推移律は 7 ~ 8 歳ではまだ不完全であり, 12 歳以上になって可能になる (成人と 8 歳前後の子どもの解決方略は異なる) という主張もある (Perner & Mansbridge, 1983, Youniss & Murray, 1970)。

推移律課題に成功しない場合, 二つの可能性が考えられる。ひとつは推移律能力がない場合であり, もうひとつは, 推移律能力はあるが, まだ不安定であるために, 課題条件が適切でないときにはその能力が喚起されない場合である。Flavell (1977) は喚起可能性という概念を用いてこのことを説明した。Flavell は, 7 歳以下の子どもでも訓練・フィードバックなどの状況があれば推移律能力が喚起されるとしている。Flavell は, Piaget 派の見解で可能とされるよりもっと幼い 5 ~ 6 歳の子どもたちでも, 訓練やフィードバックがあれば推移律能力が喚起可能であるが, 状況が適切でないために自発的にその能力を発揮できないのだと主張した。推移律の能力が安定し, 活用可能性が高まると, 自発的にほとんどの状況に能力を適用できるようになる。そして推移律の活用可能性が十分に高くなるのが, 8 歳頃であると論じている。課題条件の違いによって能力が喚起されるか否かによってパフォーマンスが変化するというこの問題を系列化課題の中でどのように解釈するかについては, 3 - (2) で論じる。

情報処理論的アプローチは, 推移律判断を記憶によって説明しようとしたという意味では, Piaget の観点とは異なる能力を測っていた可能性があるが, 学習型推移律課題を用いた研究を通じて, 推移律課題はあて推量, 知覚的判断, 非推移律反応, ラベリング方略, 線形配列の表象の利用によって解決できる可能性が明瞭になった。このように推移律課題に正答できることと, 推移律判断が可能であることは区別できることが論争を通じて明らかになったが, どのような課題条件のもとで, どのような手続きをとることで推移律能力

が測れるのであるかという問題が残る。

系統発生の立場からの推移律研究から推移律課題の解決プロセスのシミュレーションへ (1980 年代以降):

i) 動物の推移律行動

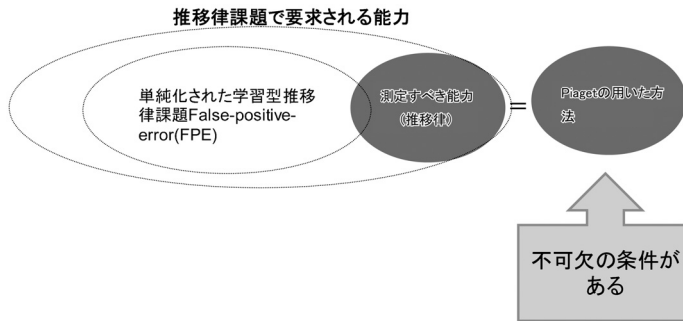
ヒト以外の動物でも推移律課題を解けるかどうかという研究は, 学習型推移律課題のパラダイムが考案されてまもなく始まった。ここでは, 本論文の主旨と離れるので, 現在に至るまでのこの領域に関連する研究の流れを簡単に要約するとどめる。

まず, 1977 年に McGonigle & Chalmers らが学習型推移律課題の方法を用いて, リスザルと 4 歳児のパフォーマンスが類似していることを示した。それ以降, 多くの動物を対象にした研究において '推移律' 行動 (Transitive Performance; TP) が見出されてきた (McGonigle & Chalmers, 1977, Gillan, Premack & Woodruff, 1981, Chalmers & McGonigle, 1984, Terrace, McGonigle & Brendan, 1994, Wynne, 1995, Hogue, Beaugrand & Lague, 1996, Dusek & Eichenbaum, 1997, 川合・松沢, 2000, 川合, 2002, Bond, Kamil & Bald, 2003, Vasconcelos, 2008)。この事実は, 推移律課題が, ピアジェの論じたような論理操作以外の方法で解決可能な課題であることを意味する (Calmer & McGonigle, 1984)。

ii) 推移律行動を包括するモデルの構築とシミュレーションの試み

動物を対象にした推移律課題研究の発展にともなうヒトの情報処理にも適用できる理論が生み出されるようになった。主な理論としては, Two-tier model (Bryson & Leong, 2007), Fuzzy-trace theory (Brainerd & Kingma, 1984, Reyna & Brainerd, 1990 ab, Boumeester & Sijsma, 2006), メンタル・モデル論 (Johnson-Laird, Byrne & Schaeken, 1992), Relational Complexity (RC) theory モデル (Andrew & Halford, 1998) などがある。このようなモデルによって, 動物の認知を含むさまざまな思考プロセスが情報処理論の立場から説明できるようになった。動物の認知とヒトの推論を含むモデルについては Wright (2001, 2006 ab), Goodwin & Johnson-Laird (2005) が近年レビューを行っている。

さらに, コンピュータ・プログラムによるシミュレーション研究によって, 推移律課題の解決のルールが明らかにされるようになった。例えば, Mareschal & Shulz (1999), Shulz & Fogel (2004) は, cascade-correction の生成コネクショニストアルゴリズムを用いることで, 先行研究における推移律課題結果をシミュ



1. 自発的な測定活動の重要性＝比較の必然性の認識を反映
 2. 関係把握(差の弁別, 要素の数)が作業記憶の容量を超えていること
 3. 知覚的な線形配列に依存しない判断を要すること
- * これらは、対象との相互作用(具体的な行為)として表わされる

図2 学習型推移律課題と Piaget の用いた推移律課題の測っている能力の違い

レーションプログラムによって再現できること示した。このシミュレーションによって生成された結果は、「要素の数が少なければ2～4歳でも成功する」「要素の差が大きければ成功する」「方略の多様性」「ステージが次第に移行していく」という現象、および推移律課題のパフォーマンスの特徴である「系列位置効果」「距離効果」「端末位置効果」「一致効果」「年齢効果」「発達に伴う距離効果の消失」などの学習型推移律課題のパフォーマンスと非常によく一致しており、その解決プロセスのモデル化に成功したといえよう。このような研究は、発達の変化には質的な変化はなく、量的な変化のみで説明できるという情報処理論の立場を支持するものである。情報処理論的アプローチのモデルは Piaget の論じたような、主体と対象の相互作用を通じて発達の質的な変化をとらえる立場とは観点が異なっているといえる。

3. 推移律研究の論争を踏まえると系列化課題解決にはどのようなステップが必要不可欠であるか

(1) 学習型推移律課題と系列化課題の類似性／差異性 学習型推移律課題に欠けていた3つの条件：

第 期と第 期の論争および Piaget の考案した推移律課題をふまえ、図2に、学習型推移律課題がどのように位置づけられるかを示した。この図に示すように、「学習型推移律課題」は、推移律以外のより低次の方略を使用して解決可能であるため、この課題に成功することは必ずしも推移律能力が存在することを実

証したことはならない。推移律能力の有無を診断するためには、Piaget の用いた方法の中にある3つの条件、すなわち「比較の必然性を理解し、自ら比較を行う課題であること」「要素の数が作業記憶の容量を超えており、操作によらなければ関係把握ができないこと」「知覚的な線形配列に依存しない判断を要する課題であること」を満たすことが必要である。この論点の主張は、まさに本研究の立場と符合するものである。

学習型推移律課題と構成型推移律課題である系列化課題は、いずれも推移律判断を背景にしているという意味では共通性があるが、課題構造がいくつかの点で異なっている。最も異なっているのは、比較のしかたのみならず、子ども自身が「どの要素とどの要素を比較すべきか」を発見しなければならないという「能動的な比較行為が要求されるか否か」である。学習型推移律課題においては、要素同士の比較を子どもが自発的に行うことは求められず、実験者が一定の手順に従って対を比較してみせる。あるいは、弁別学習の手法を用いて、どちらが長い（短い）かを記憶させる。この方法を用いることで、実験者は比較の仕方を操作できる。例えば、前提となる対の組み合わせ方、対の提示順序、フィードバックの仕方、比較級の用い方などの条件の設定を変えることでパフォーマンスが変化した場合、子どもがどのような情報を手がかりに推論判断を行っていたのかを課題条件の違いから解釈できるという利点がある。しかし Piaget は子どもが自ら能動的にどの要素とどの要素を比べたらよいかを発見す

る測定行為のやりかたそのものの中に推移律という思考操作が反映されると考えたのに対し、学習型推移律課題では比べるべき要素はあらかじめ準備されており、その大きさの差に関する情報も受動的に与えられることから、思考操作ではなく課題構造の理解の程度を測っていたにすぎない可能性がある。

学習型推移律課題の限界：

Piaget の研究によると、理解課題（要素を見せてどのような形になるか図版を見せて選ばせる、あるいは絵を描かせる課題）は実際に対象を配列する課題よりも早く可能になり、理解が行為に先行することを示している。理解することは、可逆的な操作を必ずしも必要としないためである。推移律判断が可能であるということは、具体的な対象を自分の思考の枠組みに合わせて操作することであり、そのためには単に見て理解するのではなく、可逆的な心内操作にもとづいて対象の関係をとらえることが必要である。推移律課題の場合、測定操作の必然性の理解ができることが推移律能力のあらわれであるとする立場にたつと、系列化のような構成型の推移律課題を用いることが、子どもの推移律能力の発達を知るためには不可欠であるといえよう。

学習型推移律課題のもうひとつの限界は、対の関係を学習することが前提であるために、最小限の数の要素しか用いていないことである。推移律判断が成立する最小の数は3個の要素であり、初期の研究は3個の要素を用いていた。しかし、3個ではラベリングや絶対的知覚判断方略が容易に用いられることから、Bryant & Trabasso (1971) 以降は、色分けされた5個ないし6個の要素を用いるようになった。このように、要素の数は、課題の困難度を左右する。系列化課題においては、3～4個の一度に把握できる数の要素を配列することは可逆的な操作を必要としないため、2, 3歳児でも可能である (Halford, 1989)。Bryant & Trabasso (1971) が用いた5～6個という数であっても、これは一度に把握できる数の範囲であり、対の学習を繰り返すことによって配列の順序が記憶され、その配列位置記憶を用いて学習後の判断課題を解くという方略を排除することができなかった。それに対し、Piaget は系列化課題において10個の要素を用いている。この一度に把握できる範囲を超える10個という要素を配列するためには、直観的な知覚や空間表象に頼るのではなく、可逆性の理解にもとづいて対象を操作的に比較しなければならないのである。

さらに、学習型推移律課題で、いったん前提を記憶

した後に行うテスト段階で2個の要素の関係について判断を求めるテスト条件は、非推移律的なプロダクション・ルール (Bryson & Leong, 2007) の積み重ねによって正答可能であるが、3個の要素の関係についての判断を求めるテスト条件ではこのルールが適用できない。2個のテスト条件で正答できる5～6歳児は、3個のテスト条件では正答できないことは、2個課題では非推移律的なプロダクション・ルールを用いている可能性を示している。従って、2個の関係を問う質問だけでは推移律以外のルール学習によるものか、推移律判断にもとづいているかを区別することが困難である。このようなことから、学習型推移律課題の方法では、推移律の発達を検討するには限界があるといえよう。

学習型推移律課題と系列化課題の解決方略の共通点：

一方、学習型推移律課題で用いられている方略は、系列化の操作的完成に至るまでの中間段階でも使用されていると考えられる。系列化の発達段階を順にみていくと、中間段階にみられる「いくつかの大小の対をつくる」「3～4本までの系列を作る」「大まかに小さい棒のグループと大きい棒のグループに分ける」行為で対象を大小に分ける「知覚的絶対判断」またはその知覚にもとづくラベリング方略 (Sincleir, 1967, 小田, 1983) が用いられている可能性がある。また、階段状にだんだん大きくなるという線形配列の表象は、「棒の先端だけを階段状に並べる」行動や、試行錯誤的に系列を完成する段階において、手がかりとして利用されていると考えられる。

表1に、系列化の発達の諸段階において、「知覚的絶対判断」「言語的ラベリング」「線形配列のイメージ」「偽測定 (1対の比較)」「推移律判断」のいずれの方略が用いられているかをまとめた。要素の数が差異の大きさによって系列化のパフォーマンスが変動することは (Kingma, 1982)、使用されている方略の違いから説明できる。差が大きく、数が少ない課題では知覚的絶対判断およびラベリング方略を用いて配列が可能であるが、差が小さい10本の棒の系列化で、1対の比較と置きなおしをしながら線形配列のイメージを用いて試行錯誤的に成功する段階を経て、可逆的な両方向の比較を用いる操作的成功に至るようになるという対応関係が見られる。

(2) 系列化課題を用いて推移律能力をはかるための必要条件とは

それでは、系列化課題は学習型推移律課題では測定できない推移律判断能力をはかることができるのであ

表1 系列化の発達の段階と使用されている方略の対応

推移律の段階		系列化の解決方略		可能な系列化課題	3つの立場
ピアジェによる系列化の研究	概念的推移律	基準を固定した双方向の比較		知覚困難で認知的な比較操作が必要な対象の系列化	立場3
	移行期	基準を固定しない総あ たりの比較			
	具体的推移律	基準をそろえた比較と、部分を全体に体系的に位置づける配列	相対的な比較言語表現	差が小さく比較操作が必要な10本の棒の長さの系列化	立場2
	移行期	1対比較と置きなおし			
	知覚的絶対判断	大小の区別	絶対的なラベリング	差の比較操作が不要な(差がわかりやすい)課題	立場1
	移行期	少ない要素の順番づけ			
感覚運動的な反応		対象の物理的特性に依存し、体系的な操作をしない		行為の手掛がある課題。要素数の少なくとも一度に把握できる課題	

ろうか。また、どのような条件が揃えば推移律判断をはかることが可能なのであろうか。この問題に答えるために、学習型推移律課題と系列化課題の達成時期を比較した研究結果を検討する。

Murray & Youniss (1968) は、Youniss & Murray (1970), Youniss & Dennison (1971) は系列化が可能であれば、推移律課題にも成功できることを示した。Achenbach & Weisz (1975)は、保存、系列化、推移律の順で発達することを示した。また、Clark (1983) も系列化は推移律の前提になっていると結論づけている。これらの結果によると、より低次の方略で解決可能な推移律課題よりも自発的に比較をし、配列を行わなくてはならない系列化のほうが推移律課題に先立って獲得されると結論づけられており、

本研究の立場とは矛盾する。この理由は彼らが用いた系列化課題において図2に示した次の3つの条件がそろっていたかどうかによって説明できる。

要素間の差の見えやすさと要素の数：

系列化課題は、推移律能力を測るために考案された課題であるが、研究者によっては系列化課題を必ずしも推移律にもとづくものと位置づけず、要素を順番に配列できるかどうかのパフォーマンスを問題にする研究も多い。もし順番に配列が可能であるかどうかだけを知るだけでよいのであれば、必ずしもPiagetの用いた0.8cmの差の10本の棒を用いる必要はない。Younissらの研究で用いられている系列化はほとんどが5～6本の棒または具体物や積み木などを用いている。すなわち、差の小さい10本の棒という課題条件

を備えていないため、可逆的な操作を要していたかどうか疑問が残る。

一方、Clark (1983) や、黒須 (1991) のように、比較行為が必要な差の小さな10本の棒を用いる系列化では、推移律課題のほうが容易であるという逆の知見が得られているが、黒須は推移律課題として3つの要素を用いるもっともシンプルな課題を用いていた。推移律課題と系列化課題のどちらが発達的に先行するかは、課題条件（要素の数、差の見えやすさ）によって違い、結論づけることはできない。系列化課題のほうが学習型推移律課題より早く可能になるという結果は、図2に示した第1の条件は満たしているが、第2の条件である「関係を把握すべき要素の数が作業記憶の容量を超えていること」、および第3の条件である「知覚的な線形配列に依存しない判断を要すること」という条件を満たしていないためであると解釈できる。

系列化課題を用いて推移律能力を測るための条件について結論を出すためには、10個の要素の系列化と5～6個の要素の系列化では課題の遂行において何が異なるかを明らかにしなければならない。このことを明らかにするために、なぜ第2の条件である「関係を把握すべき要素の数が作業記憶の容量を超えていること」が必要であるか、比較行為の重要性の観点から論じる。

系列化課題における比較行為の重要性：

i) 比較行為の必要性は困難度を決定する

学習型推移律課題では、対象がどのような関係にあるかという情報は、学習の段階で実験者によって提示されるため、対象の性質（大きさか、高さか、重さか）にパフォーマンスはほとんど影響されないが、対象を取り扱う必要のある系列化は、推移律判断にもとづいた自発的な比較行動が必要であるため、比較と配列に関する下位操作の困難度がパフォーマンスに影響を与える（大津1990）。要素の数が少なければ、また差が大きければ比較が容易になるため、より年少でも可能になることは当然である。

例えば、大きさが異なるカップを順に重ねていく入れ子課題は、順番通りでなければ入れることができないという操作の手がかりが材料にあるため、2歳でも可能（Greenfield, Nelson & Saltzman, 1972）、であり、大きさや体積、色などの「視覚的に弁別できる」対象の場合は4～5歳で可能である（Kingma, 1982, 1983 ab, 1984 ab, 1986, 1987, 園田, 1983 ab, 1984 a）。しかしこのような課題では、「見てわかる」ために必ずしも可逆的な操作は必要ない。園田の一連の研

究によると、カードの面積であっても、立体であっても、具体物であっても、大きさや色が混在していても、また、高さや幅が混在していても、その比較が「視覚的に弁別できる」限り、困難度は変わらなかった。また、差異の大きさそのものが達成の困難さを決定するのではなく、その差を較べるために対象を手にとって較べる必要があるかどうか困難さを決定していた。しかし、従来の系列化の研究では、その観点が明確に区別されていないものが多い。先に指摘した要素の数以外でも、例えばKingma (1983 abc, 1984 ab) では標準的な差の小さな10本の棒の系列化課題を用いているが、棒はスタンドに立てた状態で提示されており、端を揃えなくとも「見ることによって」長さの弁別ができるというより容易な課題になっている。このような提示の仕方では、差の小さい10本棒の課題であっても、課題を達成するための方略が、バラバラに棒を提示される課題とは異なってくる。操作が可能であるということは、論理の必然性（自明性）を理解し、その論理を対象にあてはめる（同化）することができることであると考えらるならば、比較行為を要求する課題設定をすることには重要な意味がある。

ii) 比較行為はスキルではなく、操作の本質と関わっている

一方、系列化課題における比較の困難さを認知発達の観点からどのように位置づけるかということについては、3つの異なった立場がある。第1の立場は、比較はスキルにすぎず、操作の本質とは関係がないとするものである。Koslowski (1980) は差が大きく要素数が4～6本の系列化課題と、標準的な差の小さい10本の棒の系列化課題を比較し、10本の課題の困難さは「端を揃える必要」があるためであるとした。そして、Piaget は「試行錯誤的成功」と「操作的成功」の間に質的な差異があるとみなしていたが、Koslowski は、Bayer, Gascon & Pother (1973) の系列化のシミュレーションにもとづくと、ステージ1（ランダム、または大小の区別）とステージ2（試行錯誤的段階）には質的な差異があるが、ステージ2とステージ3（操作的段階）には質的な差がないことを根拠に、試行錯誤は「比較のスキルが不足しているだけであり、推移律能力は有している」段階であると解釈している。

しかし、Piaget は、記憶、直接的知覚による系列化は真の系列化ではなく、真の操作的系列化であると判断するためには、一度に触れることができない10個程度の要素について、各要素が先行するすべての要素

より小さく、同時にすべての後続する要素より大きいということを理解し、それを見出すために系統だった比較を行うことの必要性を理解しているかどうかを調べることが必要だと考えた。系列化される要素の数が一度に把握できる範囲を超えていなければ、系統だった比較は必要ではなく、推移律の有無を診断できない。

このように考えると、Koslowski (1980) がステージ2とステージ3の間に質的な差異がないとする根拠としてあげた Bayer, Gascon & Pother (1973) の系列化のシミュレーションによる解決プロセスの解明には限界がある。シミュレーションにおいては、どちらが重いかという情報は最初から結論として与えられているが、重要なのは、思考の論理的構造にもとづいて能動的に対象を関係づけようとする操作である。しかしシミュレーションでは、実行の手順を説明することはできるが、その背景にある操作能力の有無の診断はできない。情報処理の観点では、プログラムがどのように進行していくかを問題にしたのに対し、Piaget は、プログラムの前提自体を問題にしたといえよう。このような観点にもとづき、本研究では、Piaget の論じたように、すでに配列したものの中ではもっとも小さく、まだ配列していないものの中ではもっとも大きいという双方向の比較の必然性にもとづく比較の行為を行うかどうか推移律判断を反映しているという立場をとる（第2または第3の立場）。

系列化課題において知覚的な線形配列表象が果たす役割：

i) 完成像のイメージを手がかりとした試行錯誤

Koslowski (1980) は比較行為は推移律にとって本質的なスキルではないという立場にたっていたが、Piaget の基準によると、「おき直し」を繰り返すことによる完成と、操作的完成とは区別される (Kingma, 1983 ab)。ここで、この区別に影響を及ぼす第3の条件である「知覚的な線形配列に依存しない判断を要すること」の必要性について論じる。園田 (1984 b) は系列化の下位操作として、「完成像のイメージとの照合」「おき直し」が必要であることを示した。「おき直し」をしながら完成できる段階は、課題の遂行に先行して比較が行われるのではなく、配列をしながら、前に置いたものとの1対比較を行い、材料の形状によるフィードバックを利用することを繰り返すというように連続的に比較が行われており、「同時」に可逆的な関係を理解しているとはいえない。その意味で推移律判断にもとづいているとはいえない。しかし対象の物理的特性は系列化課題において重要な役割を果たして

おり、配列の中間に棒を挿入する課題では、「段差が大きすぎる」「ここが飛び出している」「上がったりがったりしている」などのように、階段状の完成像のイメージを利用していることも示されている。このように、系列化課題は、保存課題が知覚的な見えと矛盾する判断を求められるのに対し、対象の知覚的特性が「順番に並べる」という配列のルールと一致していることから、知覚的な手がかりの果たす役割が大きい。

図3に示したように、試行錯誤的成功以前の段階では、要素間の差が大きく数が少ないために比較をしなくても「差が見えてしまう」課題では知覚的特性の明瞭さに依存して成功が導かれているのに較べると、試行錯誤的成功段階では、推移律の仮説的な枠組みはできかけているといえるが、その枠組みの強さはまだ不十分であり、対象の知覚的特性の手がかり（「とび出ている」、「段が大きすぎる」など）を利用しながら、偶然にもとづく比較を行ってみた結果から次の比較すべき対象を決めていくというように、対象との相互作用を繰り返しながら帰納的な方法で課題に成功している段階である。操作的段階では、「可逆的な比較」と対象の知覚的手がかりが一致し、演繹的に比較すべき要素を決定し、比較行為がすみやかに実行される。

ii) 比較方略の学習は操作的思考を可能にするか

第1の立場をとる研究者 (Koslowski, 1980) は、操作的完成ができないのは、比較スキルの未熟さによるものであるという解釈を行っていた。では、方略を学習することで操作的系列化は可能になるのだろうか。園田 (1984 a) は、このことを確かめるために自己教示訓練を通じ、端を揃える比較の実行方略を学習させることによって系列化のパフォーマンスが向上するかを確かめた。しかし、完成像のイメージをもたない群は系列化に成功することができず、完成像のイメージをもつ群はパフォーマンスは向上したが、試行錯誤的成功以上の段階には到達しなかった。このことから、実行方略を教えることは、課題の目標を理解したり、それを達成するための方法に気づかせることにはつながるが、それによって可逆的な関係把握にもとづいた操作的な比較が可能になるわけではないことが示された。このことから、比較行為は単なるスキルではなく、内的な操作と深く結び付いているといえる。従って、操作的な比較行為の必要性を自ら理解し、自発的に基準を固定した比較を行うに至る変化を分析することが内的な操作の発達を知るための手段であると考えられる。

ただし、標準的な長さの系列化課題では、知覚的にとらえられる課題の物理的特性と配列のルールが一致

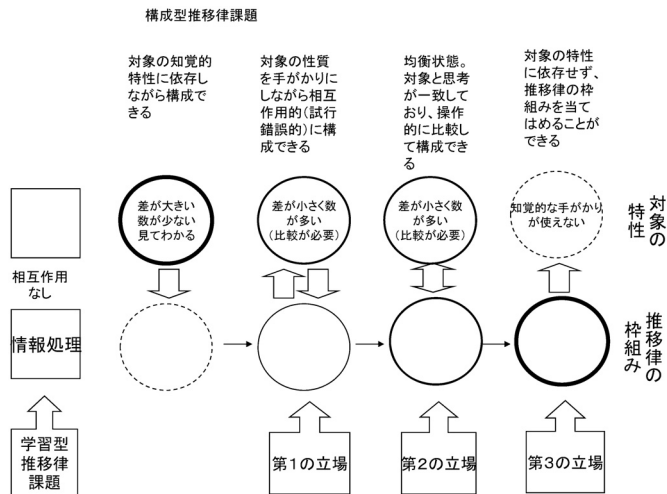


図3 論理的思考（推移律）の枠組みの強さと対象の物理的特性との相互作用

しているため、第2の立場に至る発達過程までしか検討することができない。系列化の最終段階は、線形配列のイメージという物理的特性から離れて思考操作を行うことができる段階であると考えられる（第3の立場）。この段階を知るためにはどのような課題条件を設定したらよいかについて、Piaget は具体的に示していない。ただ、「重さの系列化」の実験でその可能性を示唆している。次に、重さの系列化課題を通じて知覚の手がかりに依存せずに推移律判断が可能になる段階をとらえることの可能性について論じる。図3に推移律が可能とする第1、第2、第3の違いをまとめた。

(3) 知覚の手がかりに依存しない推移律に至るプロセス

重さの系列化課題から示唆されるもの：

Piaget & Inhelder (1941) は、長さの系列化と重さの系列化を比較し、長さは8歳で可能であるが、重さの系列化は10歳で可能になり、重さの系列化のほうが困難であることを示している。重さが長さより困難な理由は、視覚的に把握できる「長さ」は、“より長いものより短く”、“同時に”“より短いものより長い”、という双方向の関係性が、配列中に「見え」としてフィードバックされることによって理解しやすいが、筋感覚を通じて知覚する「重さ」は手を離すと感じられなくなり、常時直接的なフィードバックが得られず、視覚的に構造化することが困難なために、自己中心的な判断から脱することが難しいためであると Piaget は説

明している。

達成可能な年齢はやや高いものの、重さの系列化課題でも長さの系列化と同様に、はじめはただ、各要素を個別に重いか軽いかを判断するのみの段階、次にひとつの要素だけを持って何の意味もないことに気づき、二つの要素を対にして較べるようになる。そして、大雑把に重いものと軽いものに分けて並べるようになる段階がある。さらに次の段階では、複数の対を較べながら何度も置き換え、配列を完成させる。最後の段階になると、3つの要素の関係を念頭において、AB、ACを量るのみでなく、BCをはかりたすという推移律判断にもとづいた比較の組み合わせを作ることによって、操作的に系列化を成功させることができるようになる。

重さの推移律課題によって推移律の発達を検討した研究には、Miller & Lipps (1973)、Smith & Padilla (1977)、Perner, Steiner & Staehelin (1981) などがあるが、いずれも長さの推移律課題のパフォーマンスと大きな違いはない。この理由は、これらの研究では、重さは手で容易に識別できる課題が、実験者がはかりを使って比較してみせるという方法を用いており、能動的に比較行為を求める課題ではないためであると考えられる。例外は Smedslund (1963) の研究で、彼は、手で重さがわかる3要素の推移律課題で、フィードバックを行う際に、子ども自身が重さを確かめる方法を取り、手で重さがわかる条件とはかりを使わなければわからない条件の比較をした。その

結果、手で較べる課題は学習段階での達成基準には早く達成したが、推論課題では正答率が低かった。しかし、はかりを使って較べなければ違いがわからない課題では、学習のスピードは遅かったが、推論課題の正答率は高かった。手でわかる課題の場合、答えの理由を問うと、「そう感じた」などの説明が多く、二つを対で較べるのではなく、1個ずつを持って軽いか重いかを判断し、また次の重さのものを探すというやり方をしていた。この結果より、手で較べることによる前提の学習は「絶対判断」を用いることにつながるため、論理理解を促進しないと結論している。長さを用いた Adams (1978) も同様の結果を得ており、差が大きい対の比較は2つの要素を関係づけるのではなく、Smedslund の研究と同様に絶対判断を用いており、推論判断に結びつかないことを示している。

これらの結果は、重さの課題がより困難なのは、「長さ」(視覚)か「重さ」(筋感覚)かというモダリティの違いだけではなく、比較すべき要素間の差が容易に知覚的に判断できるかどうかによっていることをものがたっている。差が知覚的に判断できることは、必ずしも二つの要素を関係づけて比較していることにつながらない。このことについて、Piaget (1941) は、次のような例をあげて説明している、“推移律課題においては対象(小石)が「軽い」といったときに、それはより重い小石のどれよりも軽いという意味であり、同時により軽い小石の中ではより重いという意味なのであるが、自己中心的な段階である前操作期の子どもは、それ自体として「軽い」という判断をしている。この場合、たとえ配列に成功したとしても、それは系列化操作に基づくものではなく、ただ要素に「重い」「軽い」という性質を付与しているだけである。”

対の比較が不可欠な課題の創案：

Piaget は、推移律判断の確かさをはかるために、重さの系列化課題を実施するにあたって、10個の要素を自由な方法で自発的に配列する課題に加え、一度に2個ずつしか触れてはいけないという制限を加えて、3個から6個の要素を配列する課題条件を設定している。この課題は、偶然手に触れた対を比較することで解決できず、推移律判断に従って系統的に比較する対を決定しなければならないため、非常に困難であり、Piaget が対象とした8歳までの子どもではうまく遂行することができなかった。しかし、Piaget は8歳以降の発達については実験を行っておらず、推移律という思考枠組みを演繹的に対象に当てはめ、対象を操作できるようになる最終段階に至る発達過程(第3の

立場)を十分に明らかにしていない。Wright (2001) は、すべての非推移律判断の手がかりを排除した条件では、成人でも推移律課題に必ずしも成功しないことを示していることから、推移律判断は8歳ではまだ最終段階に至っていないことが考えられる。

推移律の発達の最終段階に至るプロセスを検討するためには、視覚的・知覚的な手がかりが使えない、

2個の要素を対にして、双方向の可逆的な比較をしなければ解決できない、というふたつの条件を満たす課題を用いる必要があるといえる。

園田(投稿中)は、この最終段階に至る発達過程を分析するために、上記の条件を満たし、2個の対をつくって双方向に比較することができなければ解決できない系列化課題を考案し、前操作期(4歳)から8歳以降(大学生まで)に渡って発達が続くと予想される推移律能力の発達の变化を検討した。Piaget の課題では、重さの差は15グラムであり、手でかるうじて比較できる差であり、はかりは手では判断がつかない場合の補助的な手段という位置づけであった。これに対し、園田の課題では、手で容易に重さの比較ができる課題条件に加え、差が手では知覚できないため、天秤ばかりを使って対をつくって2個ずつの要素を較べざるをえない課題条件を設定した。Piaget の方法のように2個ずつしか触れてはいけないという制限を設けることは、他の方略による解決も制限されるために、課題解決の発達の变化を連続的にとらえることができないと考えたためである。園田の課題において、子どもは、どのような対を作って比較をするかは自由であり、比較の仕方および比較の対の作り方の方略分析によって、推移律の発達段階を検討した。

その結果、手で重さの比較ができる課題条件では、棒の長さの系列化とほぼ同時期(8歳)に双方向の比較を通じた操作的系列化が可能になるが、はかりを使って対で比較しなければならない課題条件では、8歳は大部分が1対比較しか行わず、12歳にならなければ双方向の比較を行って系列化を完成することができなかった。このことは、8歳においては、可逆的な操作は対象の物理的特性と論理的な思考の枠組みが一致している場合には可能であるが、はかりという客観的な方法でしか比較することができず、知覚的に認識できる物理的特性が思考を方向付けない場合にはまだ困難であることを示している。これより、可逆的な操作が真に可能になるのは、12歳頃であることがわかった。この年齢は発達上の次の段階である形式的操作期への移行期である。思考操作が物理的特性とは独立して可能に

なることが、次の段階への移行を可能にするといえよう。

4. 考 察

レビューの要約と残された問題：

本論文の第一の目的は、系列課題解決に必要な認知操作の発達の変化に関する研究を整理し、研究者間でのアプローチにどのような差異がみられるかについてのレビューを行うことであった。Piaget は系列化の解決には、推移律という操作の枠組みが必要であると考えていた。本論文では、推移律とは何か、また推移律能力の有無を診断する方法の是非についての歴史的な論争をふりかえった。そこで見出されたのは、推移律能力の有無を診断するために考案された課題の多くが、推移律以外の解決方略によって解決されていたことである。それらは、知覚的絶対判断、ラベリング、線形配列の表象、偽測定、その他の非推移律判断であった。これらの能力は、課題遂行の発達の変化の過程においては、推移律に先行してあらわれるが、推移律の能力とどのような関係があるのだろうか。Piaget によると、発達段階の継起の順序は一定であり、それぞれの段階は次の段階の前提となっている。その意味では、これらの先行する方略は推移律の前提になっていると考えられるが、これらの方略がどのように推移律判断へと移行していくのかについてはまだ十分明らかではない。

第二の目的は、その研究レビューを踏まえて、ピアジェが主張した「真の意味での認知操作の発達」は、どのような位相を辿っていくか、その詳細な変化過程を明らかにすることの重要性を指摘することであった。本論文では、知覚的絶対判断による解決にはじまり、可逆的な比較による、知覚の手がかりに依存しない推移律課題の解決が可能になるに至るまでの系列化課題の遂行プロセスを概観し、その背景にある認知プロセスの発達の変化のモデル化を試みた（表 1）。

認知の発達における論理的思考と物理的特性との相互作用の重要性：

系列化においては、要素 ABCDE の順にだんだん大きくなっていること、隣同士の要 AB の差異は AC の差異より小さいことが、物理的特性として知覚することができ、発達にともなって論理においても同じ形で理解されるようになる。物理的特性と論理について、Piaget は次のように説明している。両者の関係をみると、例えば図 3 に示したように、操作的思考の枠組みが不明瞭な段階では、対象の物理的特性から答えを

引き出しているように見える段階がある。しかし Piaget (1970) は、純粹に物理的な経験というものはなく、物理的特性は必ず論理数学的経験と結びついていると論じた。彼の説明によると、数や順序という論理は「対象の特性からの抽象」ではなく、主体が「対象にはたらきかける行為からの抽象」に基づいている。つまり、このような特性は主体が行為する前から対象に属していたのではなく、主体が、不明瞭ではあるけれどもすでにもっている操作的思考の枠組みを使って対象を取り扱う（数えたり順序づけたりする）行為によって導入された特性を、対象上に発見することによって成り立つ。そこで主体は対象と相互作用し、試行錯誤を通じて新しい演繹の手段を見出すようになる。

Piaget はこのように、経験には対象から引き出されるものと、主体が論理の構造を創出していく構成的活動の両方が常に含まれており、「重さを測る」というような特定の行為は、論理数学的認識の源泉である、行為のより一般的な協応（「順序づけたり、合計したりすること」）から決して独立していないと論じている。系列化の例を考えると、長さを比べる、重さを比較するという個々の行為は、「順序づける」という、より一般的な目的と分離することはできない。

このような Piaget の説明にもとづくと、系列化課題の解決方略の発達は、感覚運動的な方法で対象の大きさや重さを区別する段階から、対象の知覚的わかりやすさにもとづいて配列を行う段階、対象の中に自分の持っている論理と同型の論理的構造を発見し、相互作用しながら配列を完成する段階を経て、論理的思考にもとづいて演繹的に対象を関係づけ、位置づけていく段階への変化として説明されるが、それらの背景に、論理数学的経験の積み重ねが横たわっているといえよう。

今後の課題：

推移律能力は、2 歳から 12 歳に渡る表象的思考の時期に獲得される推移律能力を背景にして可能になるが、この能力は、命題操作の時期になると知覚から離れて命題的・論理的思考へと発展していく。認知発達研究において推移律研究は、主に表象的思考（前操作期と具体的操作期）を中心に行われてきたが、論理数学的思考が完成する表象的思考から命題的・論理的思考へと移行するプロセスについては十分に研究されていない。対象の物理的特性と主体の論理数学的経験の相互作用によって、どのように物理的特性から離れていくのか、そのプロセスを探ることが今後の課題である。

文 献

- Achenbach, T.M., and Weisz, J.R. (1975). A longitudinal study of developmental synchrony between conceptual identity, seriation, and transitivity of color, number, and length. *Child Development*, **46**, 840-848.
- Adams, M.J. (1978). Logical competence and transitive inference in young children. *Journal of experimental child psychology*, **25**, 477-489.
- Andrew, G. & Halford, G.S. (1998). Children's ability to make transitive inferences: The importance of premise integration and structural complexity. *Cognitive Development*, **13**, 479-513.
- Baylor, G.W. and Gascon, J. (1974). An information processing theory of aspects of the development of weight seriation in children. *Cognitive Psychology*, **6**, 1-40.
- Bond, A.B., Kamil, A. & Bald, R.P. (2003). Social complexity and transitive inference in corvids. *Animal behavior*, **65**, 479-487.
- Bouwmeester, S. and Sijsma, K. (2006). Measuring the ability of transitive reasoning, using product and strategy information. *European Journal of psychological assessment*, **22**, 225-232.
- Braine, M.D.S. (1959). The ontogeny of certain logical operations: Piaget's formulation examined by nonverbal methods. *Psychological monographs: general and applied*, **73**, 1-43.
- Braine, M.D.S. (1964). Development of a grasp of transitivity of length: A reply to Smedslund. *Child development*, **35**, 799-810.
- Brainerd, C.J. (1973). Order of acquisition of transitivity, conservation, and class inclusion of length and weight. *Developmental psychology*, **8**, 105-116.
- Brainerd, C.J. & Kingma, J. (1984). Do children have to remember to reason? A fuzzy-trace theory of transitivity development. *Developmental Review*, **4**, 311-377.
- Brainerd, C.J. and Reyna, V.F. (1992). The memory independence effect: What do the data show? What do the theories claim? *Developmental review*, **12**, 164-186.
- Breslow, L. (1981). Reevaluation of the literature on the development of transitive inferences. *Psychological Bulletin*, **89**, 325-351.
- Bryant, P.E. and Kopytynska, (1976). Spontaneous measurement by young children. *Nature*, **260**, 773.
- Bryant, P.E. and Trabasso, T. (1971). Transitive Inference and Memory in Young Children. *Nature*, **232**, 456-458.
- Bryson, J. and Leong, J.C.S. (2007). Primate errors in transitive 'inference': A two-tier learning model. *Animal cognition*, **10**, 1-15.
- Chalmers, M. & McGonigle, B. (1984). Are Children any more logical than monkeys on the Five-term series problem? *Journal of experimental child psychology*, **37**, 355-377.
- Chapman, M. (1988). Constructive evolution: Origins and development of Piaget's thought. Cambridge: Cambridge University Press.
- Chapman, M. and Lindenberger, U. (1992). Transitivity judgements, memory for premises, and models of children's reasoning. *Developmental review*, **12**, 124-163.
- Chapman, M. and Lindenberger, U. (1988). Functions, operations, and decalage in the development of transitivity. *Developmental psychology*, **24**, 542-551.
- Clark, J.V. (1983). Development of seriation and its relation to the achievement of inferential transitivity. *Journal of research in science teaching*, **20**, 781-794.
- Connolly, K.J. & Bruner, J.S. (1979). コンピテンスの発達：知的能力の考察 (佐藤三郎訳編 1979 誠信書房) Connolly, K.J. & Bruner, J.S, 1973 *The growth of competence*, London: Academic press.
- De Boysson-Bardies, B., and O'Regan, K. (1973). What children do in spite of adult's Hypotheses. *Nature*. **246**, 531-534.
- De Soto, C.B., London, M. & Handel, S. (1965). Social reasoning and spatial paralogic. *Journal of Personality and social psychology*, **2**, 513-521.
- Dusek, J.A. and Eichenbaum, H. (1997). The hippocampus and memory for orderly stimulus relations. *Proceedings of the National Academy*

- of sciences of the USA, **94**, 7109-7114.
- Fischer, K.W. (1980). A theory of cognitive development: The control and construction of hierarchies of skills. *Psychological review*, **87**, 477-531.
- Flavell (1977) *Cognitive development*. Englewood Cliffs, N.J.,: Printice-Hall.
- Frank, M.J., Rudy, J.W., Levy, W.B. and O'Reilly, R.C. (2005). When logic fails: Implicit transitive inference in humans. *Memory and Cognition*, **33**, 742-750.
- Gillan, D.J., Premac, D. and Woodruff, G. (1981). Reasoning in the chimpanzee: I. Analogical reasoning. *Journal of experimental psychology: Animal behavior processes*, **7**, 1-17.
- Glick, J., & Wapner, S. (1968). Development of transitivity: some findings and problem of analysis. *Child Development*, **39**, 621-638.
- Goodwin, G.P. and Johnson-Laird P.N. (2005). Reasoning about relations. *Psychological Review*, **112**, 468-493.
- Greenfield, Nelson & Saltzman (1972). The development of rule-bound strategies for manipulating seriated cups: A parallel between action and grammar. *Cognitive Psychology*, **3**, 291-310.
- Grieve, R. and Nesdale, A.R. (1979). Observation on a test of transitive inference in children. *Australian journal of psychology*, **31**, 43-48.
- Halford, G.S. (1984). Can young children integrate premises in transitivity and serial order tasks? *Cognitive Psychology*, **16**, 65-93 Perner & Mansbridge, 1983
- Halford, G.S. (1989). Reflections on 25 years of Piagetian cognitive developmental psychology, 1963-1988. *Human development*, **32**, 325-357.
- 波多野完治 (1965). *ピアジェの発達心理学* 国土社
- Hogue, M.E., Beaugrand, J.P. and Lague, P.C. (1997). Coherent use of information by hens observing their former dominant defeating of being defeated by stranger. *Behavioral processes*, **41**, 159-170.
- Huttenlocher, J. (1968). Constructing spatial images: A strategy in reasoning. *Psychological Review*, **75**, 550-560.
- Johnson-Laird, P.N. & Byrne, R.M. & Schaeken, W. (1992). Prepositional Reasoning by Model, *Psychological Review*, **99**, 418-439.
- 川合伸幸 (2002). 系列的なシンボル操作の進化と発達. *動物心理学研究*, **52**(2), 97-104.
- 川合伸幸・松沢哲郎 (2000). チンパンジーの推移律とその転移について . 日本動物心理学会61回大会発表論文集, 93.
- Kingma, J. (1982). A Criterion problem: The use of different operationalization in seriation research. *Perceptual and Motor Skills*, **55**, 1303-1316.
- Kingma, J. (1983a). Length seriation and serial correspondence. *Perceptual and Motor Skills*. **56**, 603-610.
- Kingma, J. (1983b). Some behavioral characteristics of the partial seriators reconsidered. *The Journal of general psychology*, **108**, 231-247.
- Kingma, J. (1984a). The sequence of development of transitivity, correspondence, and seriation. *The Journal of genetic psychology*, **144**, 271-284.
- Kingma, J. (1984b). The influence of task variation on seriation research: Adding irrelevant cues to the stimulus materials. *Journal of Genetic psychology*, **144**, 241-253.
- Kingma, J. (1986). The range of seriation training effects in young kindergarten children. *Contemporary educational psychology*, **11**, 276-289.
- Kingma, J. (1987). Training of seriation in young kindergarteners. *Journal of Genetic psychology*, **148**, 167-181.
- Koslowski, B. (1980). Quantitative and qualitative changes in the development of seriation. *Merrill-Palmer Quarterly*, **26**, 391-405.
- 黒須俊夫 (1991). こどもの論理の発達 () 系列化操作と推移律操作 . 群馬大学教養部紀要, **25**, 27-45.
- Mareschal, D. and Shultz, T.R. (1999). Development of children's seriation: A connectionist approach. *Connection Science*, **11**, 149-186.
- 松田君彦 (1986a). 推移的推理能力の発達に関する研究 (). 鹿児島大学教育学部研究紀要, 人文社会科学編, **37**, 341-361.
- 松田君彦 (1986b). 推移的推理能力の発達に関する研究 (). 鹿児島大学教育学部研究紀要, 教育科

- 学編, 38, 275-292.
- McGonigle B.O. & Chalmers, M. (1977). Are monkeys logical? *Nature*, **267**, 694-696.
- Miller, S.A. and Lipps, L. (1973). Extinction of conservation and transitivity of weight. *Journal of experimental child psychology*, **16**, 388-402.
- Miller, S.A. (1976). Nonverbal assessment of Piagetian concepts. *Psychological Bulletin*, **83**, 405-430.
- Mounod, P. & Bower, T.G.R. (1974). Conservation of weight in infant. *Cognition*, **3**, 29-40.
- Murray, J.P., & Youniss, J. (1968). Achievement of inferential transitivity and its relation to serial ordering. *Child Development*, **39**, 1259-1268.
- 中垣 啓 (2007). 認知発達の科学のために. Piaget, J. (2007). *ピアジェに学ぶ認知発達の科学*. (中垣 啓, 訳) 京都: 北大路書房 収録 vi ~ xxiv. (Piaget, J. (1970) *Piaget's theory*. P.H. Mussen (Ed.), Carmichael's manual of child psychology (3rd ed.): Vol.1. New York: Wiley & Sons.)
- 小田直子 (1983). 系列化の発達と言語の獲得の関係について. *教育心理学研究*, **31**, 229-232.
- 小田直子・山内光哉 (1982a). 系列的順序づけの理解と行為. *九州大学教育学部紀要*, **26**, 269-277.
- 小田直子・山内光哉 (1982b). 長さとかきさの系列的順序づけの発達 - 遂行過程の分析と比較. *九州大学教育学部紀要*, **27**, 25-41.
- 小田直子・山内光哉 (1983). 5-6歳児の順序づけ行為における「意識性」. *九州大学教育学部紀要*, **27**, 113-232.
- 大津悦夫 (1986). 推移律と単位の同一性概念. *大正大学文学部研究紀要*, **2**, 97-67.
- 大津悦夫 (1987). 長さの推移律の研究: 研究方法の検討 (1). *立正大学文学部論叢*, **85**, 1-23.
- 大津悦夫 (1988). 長さの推移律の研究: 研究方法の検討 (2). *立正大学人文科学研究所年報*, **25**, 25-34.
- 大津悦夫 (1989). 長さの推移律の研究: 研究方法の検討 (3). *立正大学文学部論叢*, **89**, 61-80.
- 大津悦夫 (1990). 長さの推移律の研究: 研究方法の検討 (4). *立正大学人文科学研究所年報*, **26**, 44-60.
- Pears, R. & Bryant, P. (1990). Transitive inferences by young children about spatial position. *British Journal of Psychology*, **81**, 497-510.
- Perner, J. & Mansbridge, D.G. (1983). Developmental Differences in Encoding length series. *Child Development*, **54**, 710-719.
- Perner, J., Steiner, G., & Staehelin, C. (1981). Mental representation of length and weight series and transitive inference in young children. *Journal of experimental child psychology*, **31**, 177-192.
- Piaget, J. (1952). *The Origins of Intelligence in Children*, International Universities Press.
- Piaget, J. (1965). 量の発達心理学 (滝沢武久, 銀林浩訳) 国土社 (Piaget, J. 1941 *Le développement des quantités chez l'enfant* Neuchâtel: Delachaux & Niestlé.)
- Piaget, J. (1968). 思考の心理学: 発達心理学の6研究. (滝沢武久, 訳) 東京: みすず書房, (Piaget, J. (1964) *Six études de psychologie*. Genève: Editions Gonthier.)
- Piaget, J. (2007). *ピアジェに学ぶ認知発達の科学*. (中垣 啓, 訳) 京都: 北大路書房 収録 vi ~ xxiv. (Piaget, J. (1970) *Piaget's theory*. P.H. Mussen (Ed.), Carmichael's manual of child psychology (3rd ed.): Vol.1. New York: Wiley & Sons.)
- Piaget, J., Inhelder, B., and Szeminska, A. (1960). *The child's conception of geometry*, London: Routledge and Kegan Paul
- Piaget, J., & Szeminska, A. (1962). 数の発達心理学. (遠山 啓・銀林 浩・滝沢武久, 訳) 東京: 国土社 (Piaget, J., & Szeminska, A. (1941). *La gènesse du nombre chez l'enfant*. Neuchâtel: Delachaux & Niestlé.)
- Reyna, V.F. and Brainerd, C.J. (1990). Fuzzy-trace theory and children's acquisition of mathematical and scientific concepts. *Learning and individual differences*, **3**, 27-59.
- Reyna, V.F. and Brainerd, C.J. (1990). Fuzzy processing in transitivity development. *Annals of Operations Research*, **23**, 37-63.
- Riley, C.A. & Trabasso, T. (1974). Comparatives, logical structures, and encoding in a transitive inference task. *Journal of experimental child psychology*, **17**, 187-203.
- Roodin, M.L. & Gruen, G.E. (1970). The memory in making transitive judgements. *Journal of experimental child psychology*, **10**, 264-275.

- Shultz, T.R. & Vogel, A. (2004). A Connectionist model of the development of transitivity. *Proceeding of the 26th Annual conference of the Cognitive Science Society*.
- Siegler, R.S. (1996). *Emerging Minds: The process of change in children's thinking*. New York: Oxford University Press
- Sinclair, H. (1977). ことばの獲得と思考の発達. (山内光哉, 訳) 東京: 誠信書 (Sinclair, H. (1967). *Acquisition du langage et développement de la pensée*. Paris: Dunot.)
- Smedslund, J. (1960). Transitivity of preference patterns as seen by pre-school children. *Scandinavian Journal of psychology*, 1, 49-54.
- Smedslund, J. (1961). The Acquisition of Conservation of Substance and weight in children.; I. Introduction *Scandinavian Journal of Psychology*, 2, 11-20.
- Smedslund, J. (1963a). Development of concrete transitivity of length in children. *Child development*, 34, 389-405.
- Smedslund, J. (1963b). The acquisition of transitivity of weight in five-to-seven-year -old children. *Journal of genetic psychology*, 102, 245-255.
- Smedslund, J. (1965). Performance on measurement and pseudomeasurement tasks by five-to seven-year-old children. *Scandinavian Journal of Psychology*, 7, 81-92.
- Smith, E.L., Padilla, M.J. (1977). Strategies Used by First-Grade Children in Ordering Varying Numbers of Objects by Length and Weight. *Journal of Research in Science Teaching*, 14, 461-466.
- 園田直子 (1984a). 系列化の発達と要素間の関係の把握について. 九州大学教育学部紀要
- 園田直子 (1984b). 系列的順序づけを構成する認知過程と遂行過程の発達. 心理学研究, 55, 159-165.
- 園田直子 (1984c). 2次元を含む系列化のモニタリング. 九州大学教育学部紀要, 29, 7-16.
- 園田直子 (1987). 系列化構成過程におけるモニタリングの発達. 九州大学教育学部紀要, 31, 181-189.
- 園田直子 (1994a). 系列化構成課題における自己修正活動の発達. 山内光哉退官記念論文集, 137-144.
- 園田直子 (1994b). 系列的順序づけ課題における自己教示訓練の効果. 九州帝京短期大学紀要, 6, 17-26.
- 園田 (投稿中). 知覚的判断から推移律判断にもとづく系列化への変化過程: 重さ課題を用いて. 発達心理学研究
- Terrace, H.S; McGonigle, B. (1994). Memory and representation of serial order by children, monkeys, and pigeons. *Current Directions in Psychological Science*. 3 Dec 1994, 180-189.
- Thayer, E.S. & Collyer, C.E. (1978). The development of transitive inference: A review of recent approaches. *Psychological Bulletin*, 85, 1327-1343
- Trabasso, T. (1975). Representation, memory, and reasoning: How do we make transitive inference?, In Pick, A.D. (ed.) *Minnesota Symposium on Child Psychology*, vol 9, Minneapolis: University of Minnesota Press)
- Trabasso, T. (1977). The role of memory as a system in making transitive inferences, in perceptives on the development of memory and cognition, ed, R.V. Kail, Jr. and J.W. Hage (Elbaum, Hillsdale, NJ)
- Trabasso, Riley & Wilson, (1975). The representation of linear order and spatial strategies in reasoning: a developmental study, in Reasoning: Representation and process in children and adults, ed. R.J. Falmagne (Elbaum, Hillsdale, NJ)
- Vasconcelos, M. (2008). Transitive inference in non-human animals: An empirical and theoretical analysis. *Behavioural Processes*, 78, 313-334.
- Wright, B. (2001). Reconceptualizing the transitive inference ability: A framework for existing and future research. *Developmental Review*, 21, 675-422.
- Wright, B. (2006). The transitive task revisited: Investigatin key hallmarks from the start to the end of training. *Thinking & Reasoning*, 12, 91-123.
- Wright, B.C. (2006). On the emergence of the discriminative mode for transitive-inference. *Europeam Journal of cognitive psychology*, 18, 776-800.
- Wynne, C.D.L. (1995). Reinforcement accouts for transitive inference performance. *Animal*

- Learning Behavior*, **23**, 207-217.
- Young, R. (1976). *Seriation by children: An artificial intelligence analysis of a Piagetian task*. Basel: Birkhauser.
- Young, R.M. (1977). Mixtures of strategies in structurally adaptive production systems: Examples from seriation and subtraction. Psychological aspects of pattern-directed inference, *ACM SIGART Bulletin*, **63**, 65-71.
- Youniss, J., and Dennison, A. (1971). Figurative and operative aspects of children's inference. *Child development*, **42**, 1837-1847.
- Youniss, J. and Furth, H.G. (1973). Reasoning and Piaget. *Nature*, **244**, 314-315.
- Youniss, J. and Murray, J.P. (1970). Transitive Inference with nontransitive solution controlled. *Developmental Psychology*, **2**, 169-175.

A Review of studies on cognitive development using seriation tasks

NAOKO SONODA (*Kurume University*)

Summary

The paper reviews previous studies on seriation task. This task was made by Piaget to investigate the process of cognitive development. I first reviewed what have been investigated in those studies, and I then to find out the differences between the studies. The second purpose was to point out the importance of clarifying the process in details how cognitive structure changes from a stage to another (stage to stage approach), for understanding "a true sense of cognitive development", which Piaget argued.

Key words: cognitive development, seriation, transitive inference, reversibility