

空間的情報の符号化方略における発達的变化

— “Making Space” (Newcombe & Huttenlocher, 2000) から —

布施 光代¹⁾ 林 幹也¹⁾ 石橋 健太郎²⁾

1. はじめに

われわれは日常生活において多くの空間情報を用いた認知活動を行っているが、通常その事実は意識化されないことが多い。しかし、ひとたび何らかの不都合が起ると、空間情報がいかに生活に有用であるかが実感される。例えば、公園を散歩して帽子をどこかに忘れてきたことに気づいたとしよう。われわれは、「最後に帽子を持っていた場所はどこであったか」や、「あの広場では東の端のほうに座っていた」など、さまざまな空間情報を手がかりに、帽子の場所を推論する。そして、有効な情報が記憶の中にあること、もしくはないことに気づく——「いったい自分は何を見て、覚えていたのだろうか。」このような経験がある読者も多いのではないだろうか。

空間の認識に関する心理学的研究は、特にその発生的観点から、長い間Piagetの空間認知発達研究の流れを汲むものが中心であった。Piaget理論そのものに対しては、20世紀後半にさまざまな批判が展開されたが、彼が上げた問題への関心はいまだに色褪せることはない。すなわち、①人間は経験した空間をどのように表象するか、②知らない空間について既有的の表象を用いてどのように推論するか、そして③これらの空間認知能力はどのように発達するか、という問題である。

Piaget理論への批判は、情報処理論的観点に立って人間の認識を研究する認知心理学の領域にも少なからず影響を及ぼした。そして今日、認知心理学の成果は認知発達領域に再びさまざまな示唆を与えている。例えば、Case (1978) や Siegler (1981) に代表される新Piaget派は、情報処理論的アプローチを用いてPiaget

の保存課題を再検討している。そのさい、子どもが保存課題を解けるようになる発達の変化を説明するために、短期記憶の容量や支配的ルールの高次化などの情報処理論的見解に依拠している。このように、認知心理学と認知発達の両分野は相互に影響しあって発展を遂げてきた。

空間認知に関わる上記の3つの問題についても、認知心理学的な立場からのアプローチが見られる。特に①の表象に関する問題は、例えばイメージ論争³⁾に代表されるような状態記述的な観点⁴⁾から取り上げられてきたが、近年はそれを用いてどのような心的活動が発揮されるのかという機能的な分類が主流となりつつある。後者のアプローチは、操作という観点から表象の問題を取り上げたPiagetの考え方に通ずるところがあるといえてよいだろう。

ここで冒頭にあげた例に戻って考えてみると、われわれが帽子の場所という空間に関する表象にアクセスしているとき、その表象とは一体どのようなものであろうか。おそらくそれは、ビデオの映像のようなものではなく、少ない記憶容量で多用途に対応できるような簡略化された、もしくはバイアスのかかった表象であり、目的に合

3) アナログ的表象説では、イメージは、外界の事象と相似的な対応関係を持って記憶の中で表象されていると考えられている。それに対して、命題的表象説では、イメージも言語的情報と同様に命題 (proposition) の形で記憶の中に表象されていると主張される。イメージの記憶表象に関して、1970年代にこの2つの考え方を主張する研究者間で活発な議論が繰り広げられた。これをイメージ論争という。

4) 今日では、状態記述的なアプローチとしては、表象をニューロン間の重みづけの変化によって表現するコネクショニストモデルが相当すると思われる。また、ある認知活動に全く表象を仮定せず、環境入力への知覚的反応として行為を定義するダイナミックシステム理論も存在する。

1) 名古屋大学大学院教育発達科学研究科博士課程 (後期課程)

2) 名古屋大学大学院教育発達科学研究科博士課程 (前期課程)

わせて用いることができるものと考えられる。その用途は、単に情景を思い出す場合から、特定の場所を探す場合、ひいては行ったことのない場所を想像する場合とさまざまである。このような多様な空間表象は、自己中心的 (egocentric) 空間理解から相対的 (allocentric) 空間理解へ、また、位相的 (topological) 空間表象からユークリッド的 (Euclidean) 空間表象へと発達的に変化するというPiagetの理論では説明することができない。しかし、Newcombe & Huttenlocher (2000) は、空間表象を生成する際の符号化方略に注目し、新しい空間認知理論を発達的な観点から提唱した。

本稿は、Newcombe & Huttenlocher (2000) “*Making Space: The Development of Spatial Representation and Reasoning*” の紹介論文である。彼らの理論の特徴は、次の3点にまとめられる。われわれが空間を符号化するときに、①別々の用途に応じた4つの観点からの符号化が同時に行われているとすること、そして②符号化された表象は階層的なもので局所的な観点と同時により広い観点にも基づいて使用することができるということである。このような柔軟な空間表象を想定すると、われわれが多様な場面で適宜目的に応じてそれを用いていることや、時として記憶が不完全でエラーが生じてしまうことをうまく説明できる。さらに、③これまで考えられてきた乳幼児期の有能さとその限界すらうまく説明される。このように、彼らの理論によって、空間情報の心的処理機構に関わる問題の新たな展開が示されたといえる。そこで本稿では、まず、この①4つの符号化方略と②空間の階層的符号化、③乳児期の空間能力の再解釈を詳細に紹介する。その後、彼らの理論が現在の心理学研究に与える影響とその限界、そしてさらなる課題について検討する。

2. 空間的発達に関する理論的アプローチ

Newcombe & Huttenlocher (2000) は、空間領域における発達に関するアプローチとして、①Piaget派、②生得主義、③Vygotsky派の3つの理論的立場が存在すると述べている。

Piaget派は、乳児は空間的知識や対象の永続性の理解を持たずに生まれてくるため、対象の存在や場所は、自分自身の身体的行為や知覚的活動によって定義されると主張した。そして、初期の自己中心的思考からトポロジー的空間理解へと変化し、やがて大人が持つようなユークリッド的空間理解へと至るという発達的变化の様相を描いている (Piaget & Inhelder, 1948, 1967)。このようなPiagetの見解は数十年にわたって支持されてきたが、多くの空間能力がPiagetに示されたよりも早く獲

得されるという批判や、大人が常に空間的課題に正答するわけではないという批判がなされた。しかし、人間が発達初期から環境や文化について解釈するさいに、認知的理解を用いていることを示した点は重要であるといえる。

Piagetが乳幼児の空間能力を過小評価しているという批判や、自己中心的思考を否定的なものとしてしか捉えていないという批判は、急進的な生得主義やVygotsky派の文化的伝達理論の台頭へとつながった。生得主義の立場では、空間的理解は乳児に生得的に備わっている能力であると考えられている。その証拠として、幾何学的モジュールの存在が示されたり、脳の成熟によって空間的発達が説明可能であることが挙げられている。しかし、生得主義の主張には、空間能力の生得的起源を過度に強調し、焦点化するあまり、環境からの入力を軽視していることや、後の発達の変化に対する関心が相対的に欠如しているという弱点が見られる。

一方、Vygotsky派の見解も、Piaget批判によって再燃されたものである。Vygotsky派の立場では、空間的発達における大人や年長の子の働きかけによる「ガイドされた参加 (guided participation)」が強調される。また、個人と文化的環境要因との相互作用が強調され、空間的認知は状況に依存することが示されている。しかし、これらの主張に対して、大人の教授や文化的伝達を強調しすぎるあまり、個人や子ども自身の努力を無視しているという批判もなされている。

このように、主要な理論的背景を踏まえた上で、Newcombe & Huttenlocher (2000) はPiaget派とは異なる相互作用論の立場から、空間的発達変化を記述している。つまり、生物学的な初期状態と、生後の発達をもたらす空間的環境とが、どのように相互作用するのかを説明しようとしている。

3. 4つの空間的符号化方略

Newcombe & Huttenlocher (2000) によると、成人の空間的符号化は複数の下位方略によって行われると考えられている。対象の位置は“自己”を用いる方略と“外的参照 (目印)”を用いる方法によって符号化されるのであるが、この2つの符号化プロセスは同時に調和して生起するという。以下、この2つの符号化方略について紹介する (Table1 参照)。

- (1) 自己参照による符号化：反応学習 (response learning) と推測位置法による学習 (dead reckoning)

人は空間世界において自分自身の位置を理解しようと

する特徴を持つ。さらに、人は自分自身の位置を用いてある対象の位置を符号化していると考えられる。この符号化方略には単純な連合による方略と、距離・方向を数量的に符号化する方略の2種類がある。

前者は反応学習 (response learning) と呼ばれ、対象の位置をそこに至るまでの筋肉運動のパターンと連合させることによって符号化する方略である。例えば万年筆はデスクに座った状態で自分の右手を右方向に伸ばした位置にあり、目覚まし時計はベッドに横たわった状態で自分の頭の方に手を伸ばした位置にあるといった形で符号化される。この符号化には行為者が学習時と全く同じ状況に置かれているのでないかぎり有効ではないという制限がある。

これに対して推測位置法による学習 (dead reckoning) にはそのような制限はない。推測位置法による学習とは自己の移動に関する数量的な情報を用いる符号化方略である。この方略では、対象の位置は自己の現在地からの距離と方向によって数量的に符号化されるのであるが、自己が移動した場合、その移動の距離と方向を入力することによって自己と対象を再び位置づける処理を連続的に行うのである。推測位置法による学習は目印を多く必要としないため、後述する場所学習 (place learning) と呼ばれる方略が不可能な環境下でも機能できる。しかし、推測位置法による学習には“drift”があり、位置の符号化エラーが少しずつ累積することによって大きなミスが生じる。このエラーによって、後述の場所学習による自己および対象の位置との不一致が生じた場合には、推測位置法による学習よりも場所学習が優先権を獲得すると考えられている。例えば航海士は周期的に外的目印を確認するのであるが、これは航行記録から予測される船の位置が実際に外的な目印と一致するか確認するためであり、多くの場合にわずかな航行の修正が必要となる。すなわち推測位置法による学習は場所学習による修正を必要とする方略である。

(2) 外的参照による符号化：手がかり学習 (cue learning) と場所学習 (place learning)

外的参照による符号化とは、空間内の目立つ目印と対象の位置との関連性を符号化することによって、対象の

位置を符号化することを指す。この方式の符号化は自己参照による符号化と同様に単純な連合による方略と、距離・方向を数量的に符号化する方略の2種に分類することが可能であり、それぞれ手がかり学習 (cue learning) および場所学習 (place learning) と呼ばれる。

手がかり学習とは対象を何らかの目印と連合させて符号化する方略である。われわれがその位置を符号化しなければならないであろう対象は、日常生活において習慣的に決まった場所に存在していることが多い。カップはテーブルの上、イヤリングはジュエリーボックスの中、鍵はマットの下にあるという具合に、対象の位置をそれとペアになる目印と連合させることによって符号化するのである。この場合、目印は点であるのみではなく面や空間の形をとる。手がかり学習は有用であり発達的にも早くからあらわれると考えられるが、常に可能であるわけではない。対象と連合する目印が遠いなどの理由によって利用不可能である場合は、位置の符号化において目印からの距離に関する情報を符号化することが必要になる。

そこで、もうひとつの外的参照による符号化方略として場所学習が用いられることとなる。場所学習とは対象が目印から見てどの方向にあり、どの程度離れているのかを符号化することによって対象の位置を符号化する方略を指す。したがって、この方略を用いる場合は手がかり学習とは異なり、方向と距離を数量的に符号化する必要がある。この場合も目印は点、面、空間の形を取り得る。

4. 4つの符号化方略の発達の検討

上記の4つの符号化方略は、どのように発達し、また変化するのだろうか。

Newcombe & Huttenlocher (2000) によると、これまでの乳幼児期の空間認知能力は、上述の反応学習と手がかり学習をあわせて扱っており、2つの符号化方略の葛藤という観点で整理できるという。それでは、残りの方略も同様に生後間もない時期から発現するのであるかという問題が生じる。ここでは、Newcombe & Huttenlocher (2000) による4つの符号化方略それぞれの発達の検討について概観する。そのさい、発達の優勢となる順序に従い、反応学習、手がかり学習、場所

Table 1 4種類の符号化方略

	自己学習	外的参照
連合による	反応学習 (response learning)	手がかり学習 (cue learning)
距離・方向による	推測位置法による学習 (dead reckoning)	学習場所 (place learning)

学習、推測位置法による学習の順に見ていく。

(1) 反応学習

反応学習とは、対象の位置と、そこに至るまでの筋肉運動のパターンとを連合させることによって符号化する方略であり、発達のもっとも初期から見られる符号化方略である。特に、自己移動できない乳児にとって非常に有力な符号化方略であり、11ヶ月までの乳児は主に反応学習に依存していることが示されている。Acredolo (1978) や Bremner & Bryant (1977) は、この事実絵雄、自己中心的反応の証拠として捉えた。

このような知見に対して、Newcombe & Huttenlocher (2000) は反応学習の強まりという観点から検討を加えている。すなわち、Acredolo (1978) の研究では、乳児は繰り返し興味を引くようなおもちゃなどを見る過程で、ある特定の場所への反応が過度に強められたのだと解釈した。この状況では、たとえ条件が変わってもそれまでの反応が生じやすいと考えられる。しかしながら、こうした現象は加齢とともに次第に弱まっていく。そして、9ヶ月児は自己の運動が位置を調整させることに気づき、課題に対して反応学習では説明できない反応を示した。これは、移動や回転ができるようになることにより、反応学習による誤った反応が減少するためだと考えられている。さらに、「ハイハイ」ができるようになることが、符号化方略の発達を促進するものとして捉えられ、その重要性が指摘されている。

(2) 手がかり学習

手がかり学習とは、対象を何らかの目印と連合させて符号化する方略である。Acredolo (1978) は一連の研究から、6ヶ月児は一貫した目印（例えば、正しい方の窓には黄色の星がついている）を使うことができないため、手がかり学習を用いることができず、11ヶ月児になると目印を使うことができるようになり、手がかり学習による符号化が可能になると結論づけた。一方、Bremner & Bryant (1977) は、6ヶ月児でも反応学習と手がかり学習の両方を使うことができるが、9ヶ月までは、反応学習の方が優勢であるとしている。また、Rieser (1979) は、6ヶ月児が手がかり学習を使えるのは特殊な条件の下か、反応学習と手がかり学習による葛藤下にあるながら、その解決方法に関する知識を持たない場合のいずれかであることを示している。

このように、手がかり学習を用いるようになる時期をめぐり研究者間で議論が起こったが、現在では、6ヶ月児でも手がかり学習を用いることができるという見解で

ほぼ合意を得ているという (Baillargeon, 1986; McDonough, 1999参照)。

(3) 場所学習

場所学習とは、外的参照点との関係からある場所を距離と方向によって数量的に符号化することである。例えば、友人の家の場所を覚える場合に、近くの高層ビルとその家との距離・角度を数量的に符号化したならば場所学習の方略を用いたことになる。この符号化方略は、自己を参照とする符号化に比べて非常に正確かつ柔軟であり、われわれ成人にとって最も重要な方略であるという (Mittelstaedt & Mittelstaedt, 1980)。

乳幼児はもとより、年長の子どもでもさえ、これまでは場所を距離と方向によって数量的に符号化することはないと考えられてきた。この見解の背後には、距離と方向による符号化をするためには形式的操作期以降の比例や縮尺などの数量的な理解が不可欠であるという Piaget 理論の流れがある。したがって、数量的な理解を獲得する以前の子どもに対して、量的符号化に焦点を当てた研究が行われてこなかった。そこで Huttenlocher, Newcombe & Sandberg (1994) は、子どもが細長い砂箱におもちゃが隠されるのを見て、いったんその場を離れた後、埋められた場所を指し示すという課題を用いて、連続空間での量的符号化能力を調べた。砂箱は均質な平面を形成しているため、正しい位置を指し示すためには、埋められた場所を距離と方向によって符号化しなくてはならない。なお、埋める場所は砂箱の横軸のみに従って変化したので、子どもは1次元での距離と方向による符号化のみを行えばよかった。その結果、砂箱の枠を参照にして、生後16ヶ月までに場所を距離と方向を用いて符号化可能であることが明らかとなった。

さらに Newcombe, Huttenlocher & Learmonth (1999) は馴化/脱馴化法を用いて、より若い乳児を対象に同様の能力を調べた。すると、5ヶ月児でも、埋めたところから8インチ(約20cm)離れたところからおもちゃを掘り出すと、同じ場所から掘り出した場合に比べて注視時間が伸びた。この反応は、脱馴化条件が「奇妙な事態」であることに気づいていることを示しており、少なくとも5ヶ月児は連続空間での場所の符号化ができると結論された。

以上のとおり、子どもは生後かなり早い時期から連続空間での距離を量的に符号化することが可能である。しかしながら、これは成人が用いる場所学習の基礎となる能力に過ぎない。なぜなら、成人が行うような場所学習には視野外の離れた参照点からの距離を、複数統合しなければならぬからである。実際に、子どもが視野外の

外的参照点を用いて場所を符号化できるのは、課題が単純な状況であっても2歳すぎであるとされる(Newcombe, Huttenlocher, Drummey & Wiley, 1998)。そして、成人同様のパフォーマンスを示すのは、さらに年齢が上がってからである。

(4) 推測位置法による学習

自己参照による符号化であると同時に数量的符号化方略である推測位置法による学習は、単純な状況においては乳児期からみられる。しかしながらその時点では、回転と直進との組み合わせといった複雑な移動に用いることが困難であった。

Newcombe et al. (1998) は、子どもの目の前で砂箱におもちゃを隠したのち、子どもに反対側(砂箱の中心を軸にして180度移動させて)から隠した場所を答えさせる課題を行い、どの年齢で推測位置法による学習が可能となるのかを調べた。そのさい、場所学習を使うことができないよう、砂箱の周囲はカーテンで覆われていた。結果、16ヶ月児において、反対側から探したときの正確さがチャンスレベルを超え、この時期にはすでにある程度複雑な推測位置法による学習を用いていることが推測された。ただし、3歳になっても反対側に移動せずその場で探した場合のほうが推測位置法による学習を用いた際よりも成績がよく、これは16ヶ月児と比べても成績が変わらなかった。したがって、16ヶ月の段階ですでに獲得しているものの、推測位置法による学習を正確に使うことができるためには、さらに時間を要すると考えられている。

5. 4つの符号化方略使用の発達の検討

Newcombe & Huttenlocher (2000) は、発達のかなり初期から上述の4つの符号化方略が可能であることを示しているが、どの方略を優先的に用いるかには、年齢による違いが見られることも明らかにしている。ここでは、Newcombe & Huttenlocher (2000) による符号化方略使用の発達の発達の記述について概観する。

空間的符号化方略の発達について、そもそもPiagetは生後1年の間に感覚運動的知識に基づいた自己中心的符号化(egocentric coding)から、環境に客観的に関連した相対的符号化(allothetic coding)へと質的に変化すると主張した。この変化は、「ハイハイ」による移動が可能になることによって促進されると考えられている(e.g., Acredolo, 1990; Bertenthal & Campos, 1990; Thelen & Smith, 1994)。Piagetの主張は過去数十年にわたって一般的に支持されてきたが、異なる見解も出されている(Bertenthal, 1996; Haith

& Benson, 1998; Millar, 1994)。例えば、自分で動くようになる前の乳児もPiagetが考えたよりも優れた符号化の能力を持っているという知見や、空間的符号化の発達の变化とは、確かな手がかりに応じて異なる符号化の使用が可能になることであるという知見が出されている。乳児は1つの符号化方略しか持っていないのではなく、複数の符号化方略を持っているという見解のもとにPiagetの批判がなされ、新たに上述の4つの符号化方略に基づいた発達の变化の過程の説明が検討されている。

Acredolo (1978) や Bremner & Bryant (1977) は、乳児は自己中心的な符号化を行うのではなく、複数の符号化方略を持っていることを示している。自己参照による反応学習の他に、自分の動きの距離と方向を数量的に符号化することによって正しい反応を導く推測位置法による学習や、外的なランドマークを用いた手がかり学習による符号化が可能であるという。ただし、初期は主に反応学習に依存しているが、11ヶ月ごろ手がかり学習へ移行し、16ヶ月までに推測位置法による学習へ移行する(Acredolo, 1978; Bremner & Bryant, 1977)。しかし、手がかり学習や推測位置法による学習に関する研究では、これらの符号化方略を使い始める年齢について研究者間で相違が見られる。Acredolo (1978) や Bremner & Bryant (1977) の研究は複雑すぎて乳児の能力を過小評価しているという批判から、6ヶ月までに乳児も推測位置法による学習が使えるようになることが示されている(e.g., Kellman, Gleitman & Spelke, 1987; Rieser, 1979)。現在では、乳児は少なくとも6ヶ月までに、反応学習に加えて自己運動に伴う手がかり学習と推測位置法による学習が使えるようになるとみなされているようである。

さらに、符号化方略間の関係について、Gallistel (1990) は以下のような変化が生じることを示している。乳児が自分で動けないときは反応学習と手がかり学習が正反応を導き、推測位置法による学習による反応は誤りとなるが、自分で動けるようになると反応学習は不適切な反応をもたらすようになり、推測位置法による学習が正反応を導くようになる。外的参照による符号化方略や推測位置法による学習は、動けるようになることと対応すると考えられている。また、反応学習が他の符号化方略と競合する場合、経験が少なければ、反応学習が優勢であるが、経験が増加し手がかりがほぼ等しいときには、手がかり学習が反応学習よりも優勢となる。このような符号化方略が競合したときに、乳児の選択に影響を及ぼす要因として、手がかりの特性や乳児自身が動けるかどうか、反応学習の強化、乳児の感情的安定性、ストレス状況などが実証的に検討されている(Acredolo, 1979,

1982, 1988; Bai & Bertenthal, 1992; Bertenthal, Campos & Barrett, 1984)。

また、乳児の空間的発達に影響を及ぼす要因として、「ハイハイ」などの移動経験の他に視覚的经验 (Bertenthal et al., 1984) や皮質の成熟 (Bell & Fox, 1996) も検討されているが、その役割はまだ十分には明らかにされていない。

6. 空間の階層的符号化

空間認知発達を説明する Newcombe & Huttenlocher (2000) の理論のもう1つの特徴は、空間の階層的符号化を提唱している点である。階層的符号化とは、ある場所を複数のきめの細かさで符号化することであると定義される。例えば、机の上に置いてある本を符号化するとき、その場所は机という参照枠との関係で符号化することもできるし、部屋全体の中で別の物を参照としてさらに大きく符号化することもできる。また、机の端から量的にどれくらいの距離にあるかと同時に、机の左右どちらにあるのかというカテゴリー的符号化もできる。Newcombe & Huttenlocher (2000) が特に強調するのは、ある場所は距離と方向による符号化か、カテゴリー的符号化のいずれかの方法で符号化されているわけではなく、常に両者が同時に階層的に符号化されているという点である。こうした階層的符号化は、あるレベルの記憶が不確かであっても異なるレベルの記憶からその知識を補うことができ、きわめて有効な方略である。

上述した砂箱研究 (Huttenlocher et al., 1994) では、16ヶ月児が距離と方向による符号化を行っていることが示された。しかし、さらに結果を細かく見てみると、子どもは厳密に正確な地点を指し示しているわけではなく、常に箱の中心よりにバイアスのかかった場所を探していたことが明らかとなった。Newcombe & Huttenlocher (2000) はこの結果を、子どもが距離と方向による数量的符号化を行っていると同時に、箱の内部というカテゴリー的符号化をも行っている証拠として解釈した。

そもそも空間をカテゴリー的に理解する能力はすでに乳児期から見られ、生後6ヶ月までに上下や左右などの単純な区別ができるという (Baillargeon, 1986; Antell & Caron, 1985; Behl-Chandha & Eimas, 1995)。乳児がこの区別を行うためには、目に見える物理的領域が必要であるが、次第に心的カテゴリーの形成や複数次元でのカテゴリー形成といった発達の経路をたどる。

心的カテゴリーの形成とは、物理的なカテゴリーの分割基準がない場合に、心的に領域を分割して考えるようになることである。通常、大人が砂箱をカテゴリー的に符号化

する際には、左右に分けて考える。しかし、4~10歳児を対象とした研究では、このような分割のしかたは10歳にならなければ見られなかった (Huttenlocher, et al., 1994)。それ以下の子どもは、心的カテゴリーの形成が難しいために、物理的な砂箱の枠に基づいてしかカテゴリーを形成できないのである (したがって、先に見たように箱の中心へのバイアスがかかる)。しかし、4歳児でも心的にカテゴリーを分割すること自体はできる。では、なぜ一定の年齢に達しないと課題状況で成人と同様なカテゴリー分割が行われないのかは、現時点で明らかにされていない。

一方、われわれがある空間を考えると、それは概して2次元平面であることが多い。ここまでのところは主に1次元でのカテゴリー形成を扱ってきたが、子どもは複数次元でのカテゴリー的符号化も可能なのだろうか。例えば、円の内部にある点の場所を符号化する課題では、成人は中心からの距離や角度に基づいた量的符号化に加えて、円を4象限に区切ったカテゴリー内での符号化も同時に行う (Huttenlocher, Hedges & Duncan, 1991)。距離と方向による符号化と同時にカテゴリー的な符号化も行っているために、場所を再生させると4象限の中心付近にバイアスのかかった回答をする。これに対して、子どもは通常10歳にならないと成人同様の量とカテゴリーの同時符号化はできず、いずれか一方でしか符号化することができない (Sandberg, Huttenlocher & Newcombe, 1996)。このように、階層的符号化方略に関しては、それが成人と同様の使い方となるには、10歳まで待たなくてはならないのである。Newcombe & Huttenlocher (2000) によれば、発達的にどのような分割法が採用されるかは、それをういた際の成功経験や失敗の少なさによる学習の結果だとされる。

7. A-not-Bエラーの再検討

これまで見てきたように、Newcombe & Huttenlocher (2000) の理論の大きな特徴は、4つの符号化方略とその階層性にある。このような理論に基づけば、これまで認知発達研究で中心的位置を占めてきたPiagetの理論に対して、新たな解釈を試みることができる。ここでは、その1例として、Piagetによって示された乳児期のA-not-Bエラーを紹介する。

A-not-Bエラーとは、先立つ場所Aで見えなくなったモノを探し出した後、それが新たな場所Bへと置き換えられると、それを見ていたにもかかわらずAへと戻ってそこを探すという探索行動の誤りである (Piaget, 1937, 1954)。この現象は、Piaget以降“場所の記憶”の問題として扱われてきた。しかし、Newcombe &

Huttenlocher (2000) は、場所の符号化方略方法の観点から“場所の記憶”を捉え、A-not-Bエラーに対してPiagetとは異なる解釈を加えている。

Piagetは、モノの概念や対象の場所の理解の発達に関して、6つの発達段階を設定している。A-not-Bエラーは、その初期の発達過程における誤りであり、8～9ヶ月ごろの特定の年齢で生じるものであると考えられている。しかし、その後の研究では、どの年齢であっても、状況によって正しく探索できたり、エラーを示したり(ランダムな探索をする)することが明らかにされた(Wellman, Cross & Bartsch, 1987)。同時に、乳児はかなり初期から優れた空間的記憶能力を持っており、A-not-Bエラーは付加的な要因によるものであって、空間的記憶とは関係ないという知見もある(Baillargeon, 1993; Diamond, 1990)。一方、ダイナミックシステム理論(Thelen & Smith, 1994)やコネクショニストモデル(Munakata, McClelland, Johnson & Siegler, 1997)の立場では、能力とパフォーマンスを区別し、空間的記憶の能力はあるが、他の要因によって実行できないという説明をしている。このように、A-not-Bエラーについて複数の解釈がなされているが、これらは正しい場所に対する乳児の記憶についてのみ言及されており、そこに含まれる空間的符号化方略の種類については考慮されていない。

では、A-not-Bエラーと空間的符号化方略との間にはどのような関係があるのだろうか。A-not-B課題に必要とされる符号化方略は反応学習のみであり、他の3つ(手がかり学習、推測位置法による学習、場所学習)は不適切である(Newcombe, Huttenlocher, Drumey & Wiley, 1998)。そこで、正反応のためには、乳児はまず、反応学習によって符号化されたなじみのある反応パターンを意識的に抑制しなければならない。さらに、これに関連して、乳児は見たことを覚えていることができることや、6ヶ月児は、注視を導いた行動を5秒間空間的ワーキングメモリーに保持できること(Gilmore & Johnson, 1995)、乳児はリーチングに関するワーキングメモリーも保持できることなどが知られており、こうした能力が葛藤なく活用されることで、より正確な反応が発言することになる。そして課題に成功すると、こうした反応パターンが重視され、より積極的に用いられることになる。要するに、A-not-Bエラーは、他の手がかりの確からしさが低いために反応に葛藤が起こり、結局それまで強められた反応が出てしまうという誤りである。このエラーを克服するためには、符号化方略の確からしさに関する知識や環境からの適切なフィードバックが必要となる。

8. Newcombe & Huttenlocher (2000)の検討と今後の課題

これまでは、Newcombe & Huttenlocher (2000)の4つの符号化方略、空間の階層的符号化、そしてこれらの枠組みに基づくこれまでの空間認知発達研究の再解釈を詳述した。ここでは、彼らの理論が現在の心理学研究に与えた影響とその限界、さらなる課題について検討する。

すでに述べたように、Newcombe & Huttenlocher (2000)の理論によって、これまで空間認知の発達研究において中心的位置を占めていたPiagetの見解を新たに見直すことが可能となった。これにより、Piagetが示したよりも乳幼児は豊かな空間的符号化能力を持っていることが明らかとなった。これは、空間認知の心理学的研究に対する重要な功績といえよう。

続いて、彼ら理論の最大の特徴である、複数方略を同時に適用した空間の符号化とそれによって生成される表象との関係について検討する。近年の認知発達研究においては、発達を基本的には能力の直線的な増大とみなすと同時に、Piagetのいう質的变化(に見えるもの)を反映した説明が試みられている。その中でも、方略選択原理に基づいた発達の説明が注目される(e. g., Siegler, 1996; Kuhn, 2001)。この説明では、まずわれわれが複数の方略を何らかの獲得方法によってすでにもっていることを前提とした上で、ある課題に対してパフォーマンスとして発現する方略が加齢と伴に変化するとされる。つまり、年少の子どもはある課題に対してあまり有効ではない方略を用いるが、加齢に伴って有効な方略を選択する確率が増大し、結果的にその方略が高い頻度でパフォーマンスとして現れるということである。同時に、有効な方略を用いている年長の子どもであっても、不適切な方略は単に使用しないだけで、手放してしまっただけではない。つまり、複数の方略を保持しながら、そのうちのいずれかを課題に合わせて選択的に用いることになる。

この説明とNewcombe & Huttenlocher (2000)の説明とを比較してみると、複数方略を持っているという点は両者に共通している。しかしながら、その選択については若干の違いがみられる。方略選択原理による方略選択は、発現する方略が課題と1対1で対応する。これに対して、Newcombe & Huttenlocher (2000)の説明では、常に4つの方略が同時に用いられており、その中でどの方略を重視するのかが加齢に伴い変化するというのである。そう考えると、実際に生成される表象の性質はかなり曖昧になってしまう。それでは、4つの方略

によって生成される表象とはどのようなものであるのだろうか。

まず第1の可能性として、4種類の表象が同時に生成され、必要に応じてそのいずれかが用いられることが考えられる。4つの符号化によって常に4種類の表象を生成しているのであるとすると、その適用範囲は広くなおかつ精度も高い。しかしながら、処理や容量といった観点からみると非常に不利なシステムであることになる。第2の可能性としては、単一の表象であるが4つの符号化を反映しており、さらにいずれかの方略により重点を置いて生成される場合が考えられる。あえて定義するならば、4つの符号化方略の重みづけを考慮した、ある1状態の表象ということができよう。

しかしここで、先のPiaget課題でみたような葛藤状態による説明との関係について考慮すると、第2の可能性にもやはり不十分な点がある。上記の葛藤とは、実際の空間を体験したときというよりはむしろ、課題に際してどの解を採用するかを選択する時点で生ずるように思われる。そうであるならば、あらかじめ方略の重みづけが考慮されているわけではないのかもしれない。そこで、第3の可能性として、あらかじめ重みづけられた表象ではなく、課題に答える段階で何らかの一般的な記憶情報から、優先度の高い方略を重視しつつ符号化が行われたと考えることができよう。ただしこの場合は、方略の発現が遅れる理由を記憶の成熟要因との関連で語ることは難しくなる。

Newcombe & Huttenlocher (2000) は、符号化プロセスレベルでの議論については触れていないため、ここで挙げた3つの可能性のいずれが(少なくとも彼女らにとって)妥当であるのか、あるいはさらに別の可能性があるのかは定かでない。しかしながら、符号化と表象生成のより細かなプロセスが解明されることで、彼女らの議論はより精緻化されるであろうし、また空間認知研究一般への貢献ともなるであろう。今後の展開の方向性の1つとして、本稿で提案した可能性を検証する研究を行い、Newcombe & Huttenlocher (2000) の画期的な理論の妥当性を検討していくことが求められるのではないだろうか。

文 献

- Acredolo, L. P. 1978 Development of spatial orientation in infancy. *Developmental Psychology*, 14, 224-234.
- Acredolo, L. P. 1979 Laboratory versus home: The effect of environment on the 9-month-old infant's choice of spatial reference system. *Developmental Psychology*, 15, 666-667.
- Acredolo, L. P. 1982 The familiarity factor in spatial research. *New Directions for Child Development*, 15, 19-30.
- Acredolo, L. P. 1988 From signal to "symbol": The development of landmark knowledge from 9 to 13 months. *British Journal of Developmental Psychology*, 6, 369-372.
- Acredolo, L. P. 1990 Behavioral approaches to spatial orientation in infancy. In A. Diamond (Ed.) *The Development and neural bases of higher cognitive functions*. New York Academy of Sciences, pp. 596-607.
- Antell, S. E. & Caron, A. J. 1985 Neonatal perception of spatial relationships. *Infant Behavior and Development*, 8, 15-23.
- Bai, D. L. & Bertenthal, B. I. 1992 Locomotor status and the development of spatial search skills. *Child Development*, 63, 215-226.
- Baillargeon, R. 1986 Representing the existence and the location of hidden objects: Object permanence in 6- and 8- month- old infants. *Cognition*, 23, 21-41.
- Baillargeon, R. 1993 The object concept revisited: New directions in the investigation of infant's physical knowledge. In C. Granrud (Ed.) *Carnegie Symposium on Cognition: Visual Perception and Cognition in Infancy*. Lawrence Erlbaum, pp. 265-315.
- Behl-Chada, G. & Eimas, P. D. 1995 Infant categorization of left-right spatial relations. *British Journal of Developmental Psychology*, 13, 69-79.
- Bell, M. A. & Fox, N. A. 1996 Crawling experience is related to changes in cortical organization during infancy: Evidence from EEG coherence. *Developmental Psychology*, 29, 551-561.
- Bertenthal, B. I. 1996 Origins and early development of perception, action, and representation. *Annual Review of Psychology*, 47, 431-459.
- Bertenthal, B. I. & Campos, J. J. 1990 A systems approach to the organizing effects of self-

- produced location during infancy. In C. Rovee-Collier & L. P. Lipsitt (Eds.) *Advances in Infancy Research*, 6. Ablex Publishing, pp.1-60.
- Bertenthal, B. I., Campos, J. J. & Barrett, K. 1984 *Self-produced locomotion: An organizer of emotional cognitive, and social development in infancy*. In R. Emde & R. Harmon (Eds.) *Continuities and discontinuities in development*. Plenum Press.
- Bremner, J. G. & Bryant, P. E. 1977 Place versus responses as the basis of spatial errors made by young infants. *Journal of Experimental Child Psychology*, 23, 162-171.
- Case, R. 1978 Intellectual development from birth to adulthood: A neo-Piagetian approach. In R. S. Siegler (Ed.) *Children's thinking: What develops?* Erlbaum.
- Diamond, A. 1990 Developmental time course in human infants and infant monkeys, and the neural bases of inhibitory control in reaching. In A. Diamond (Ed.) *The Development and Neural Bases of Higher Cognitive Functions*. New York Academy of Sciences, pp. 637-676.
- Gallistel, C. R. 1990 *The Organization of Learning*. MIT Press.
- Gilmore, R. O. & Johnson, M. H. 1995 Working memory in infancy: Six-month-olds' performance on two versions of the oculomotor delayed response task. *Journal of Experimental Child Psychology*, 59, 397-418.
- Haith, M. M. & Benson, J. B. 1998 Infant Cognition. In D. Kuhn & R. Siegler (Eds.) *Handbook of Child Psychology: Cognition, Perception, and Language vol2*, Wiley and Sons, pp. 199-254.
- Huttenlocher, J., Hedges, L. V. & Duncan, S. 1991 Categories and particulars: Prototype effects in estimating spatial location. *Psychological Review*, 98, 352-376.
- Huttenlocher, J., Newcombe, N. & Sandberg, E. H. 1994 The coding of spatial location in young children. *Cognitive Psychology*, 27, 115-148.
- Kellman, P. J., Gleitman, H. & Spelke, E. S. 1987 Object and observer motion in the perception of objects by infants. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 13, 586-593.
- Kuhn, D. 2001 Why Development Dose (and Does Not) Occur: Evidence From the Domain of Inductive Reasoning. In J. L. McClelland & R. S. Siegler (Eds.) *Mechanisms of Cognitive Development: Behavioral and Neural Perspectives*. Lawrence Erlbaum.
- McDonough, L. 1999 Early declarative memory for location. *British Journal of Developmental Psychology*, 17, 381-402.
- Millar, S. 1994 Understanding and Representing Space: Theory and Evidence from Studies with Blind and Sighted Children. Clarendon Press.
- Mittelstaedt, M. L. & Mittelstaedt, H. 1980 Homing by path integration in mammal. *Naturwissenschaften*, 67, 566.
- Munakata, Y., McClelland, J. L., Johnson, M. H. & Siegler, R. S. 1997 Rethinking infant knowledge: Toward an adaptive process account of successes and failures in object permanence tasks. *Psychological Review*, 104, 686-713.
- Newcombe, N. S., Huttenlocher, J., Drumme, A. B., & Wiley, J. 1998 The development of spatial location coding: Place learning and dead reckoning in the second and third years. *Cognitive Development*, 13, 185-200.
- Newcombe, N. S., Huttenlocher, J. & Learmonth, A. 1999 Infants' coding of location in continuous space. *Infant Behavior & Development*, 12, 483-510.
- Newcombe, N. S. & Huttenlocher, J. 2000 *Making Space: The Development of Spatial Representation and Reasoning*. MIT Press.
- Piaget, J. 1937/1954 *The construction of reality in the child*. Basic Books.
- Piaget, J. & Inhelder, B. 1948/1967 *The Child's Conception of Space*. New York: Norton.
- Rieser, J. J. 1979 Spatial orientation in six-month-old infants. *Child Development*, 50, 1078-1087.
- Sandberg, E. H., Huttenlocher, J. & Newcombe, N. 1996 The development of hierarchical representation of two-dimensional space.

- Child Development*, 67, 721-739.
- Siegler, R. S. 1981 Developmental sequences within and between concepts. *Monographs of the Society for Research in Child Development*, 46.
- Siegler, R. S. 1996 *Emerging Minds: The Process of Change in Children's Thinking* Oxford University Press.
- Thelen, E. & Smith, L. 1994 *A Dynamic Systems Approach to the Development of Cognition and Action*. MIT Press.
- Wellman, H. M., Cross, D. & Bartsch, K. 1987 Infant search and object permanence: A meta-analysis of the A- not- B error. *Monographs of the Society for Research in Child Development*, 51, 1-51.

(2002年9月30日 受稿)

ABSTRACT

The developmental change of the coding strategies of spatial information:
A review of the “*Making Space*” (Newcombe & Huttenlocher, 2000)

Mitsuyo FUSE, Mikiya HAYASHI and Kentaro ISHIBASHI

This article reviewed the “*Making Space*” by Newcombe and Huttenlocher (2000). The theory by Piaget, suggested that the spatial coding develops from the egocentric spatial thought to the Euclidean spatial representation, had dominated the field of developmental theories of space. However, Newcombe and Huttenlocher (2000) suggested the new developmental theory concentrated on the coding strategy of spatial information. We described four coding strategies discussed by them in detail, pointed out the influence of this paper to the psychological studies of spatial cognition, and discussed issues related to their book.

Key words: spatial coding, response learning, dead reckoning, cue learning, place learning.