

幼児の空間的自己中心性（II）

——Piaget の 3 つの山問題の関連実験と理論的考察——【註】

子 安 増 生

Spatial Egocentrism in Young Children (II) : Related Experiments of Piaget's
“Three-mountains Task” and a Theoretical Consideration.

KOYASU Masuo

4. 「3 つの山問題」の関連実験

前章では、3 つの山問題の実験手続きを大幅には変更せずに行なわれた、いわゆる追試研究の成果についてまとめた。この章では、3 つの山問題のヴァリエーションともいうべき関連実験について見ることにする。ここで関連実験とは、空間的自己中心性または視点取得をテーマにするものの、3 つの山問題とは実験方法が本質的な部分で異なるものをいう。ただし、追試研究と関連実験の境界線が曖昧なケースもあり得ることを予め断っておきたい。

4. 1. ミラーグラス課題

空間的自己中心性の最も原初的な形態は、対象物の存在に関するもので、自分に見えないものは存在しないと考えるかのような行動である。

Piaget & Inhelder (1966) は、はじめ見えていた物体が急に隠されて見えなくなっても、その物はなお存在し続けているという認識を「物の永続性」と呼んだ。Piaget らのいう感覚—運動的知能の時期（生後18カ月間）の第Ⅲ期（5～7カ月頃）には、子どもがつかもうとした物を布などの遮蔽物で隠すと、手を引っ込めるか、あてがはずれて泣き出すような、その物が雲散霧消してしまったかのような行動をとる。しかし、次の第Ⅳ期には遮蔽物を取り除いて目的の物を捜せるようになり、第Ⅴ期（9～10カ月頃）には子どもの目の前で物体をAの位置からBの位置に移し変えても、乳児は正しく捜しだすという。

【註】

本稿は、前号（子安、1990a）に引き続き、Piaget & Inhelder (1948) の3 つの山問題をめぐる研究文献の展望と理論的考察を行なうものである。なお、章および図表の番号は、前号からの続き番号とする。

また、子安(1990a)とほぼ同じ時期に、3 つの山問題の研究に関する文献展望を含むのものとして、Newcombe (1989) の論文、城 (1990) の著書、および松村 (1990) の著書が相次いで刊行されたことを付言しておきたい。このことは、空間的自己中心性ないしは視点取得という研究テーマが、Piaget らの原著書刊行から40年以上経った現在でもカレント・トピックの座を維持し続けている、という前号の筆者のことは裏付ける事実である。この3 つの出版物は、相互に独立に、かつ、それぞれオリジナルな観点ないしは立場で書かれているので、拙稿とあわせて読めば得るところが多いであろう。

しかし、「見えないものは存在しない」という認識は、乳児期の間に完全に消失するのではなく、幼児期にも、児童期にも、そして条件によっては成人期でもなお見られるものであると筆者は考えている。幼児期についてこのことを示唆した実験を以下に紹介する。

Flavellらの研究 Flavell, Shipstead, & Croft (1980) は、ミラーグラス (reflective glasses), すなわち表面からは鏡に見えるサングラスを材料に用いて次のような実験を行なった(ここでは、第1実験の7つの課題のうちミラーグラス課題のみを取り上げる)。被験者は、2歳半、3歳、3歳半、5歳の幼稚園・保育園児16人ずつと、大学生9人であった。実験者は、スヌーピーの人形が乗った机をはさみ、被験者と対面して座った。実験者と被験者が交互にミラーグラスをかけて被験者にそれぞれの見えかたを確認させた後、被験者がミラーグラスをかけた状態で「私にはあなたの眼が見えていますか?」、「私にはあなたが見えていますか?」と尋ねた。正答は、それぞれ「いいえ」と「はい」であるが、前者の質問の正答率は2歳半児でも94%であったのに、後者の質問は5歳児でさえ63%であった。

子安の研究 子安 (1983) は、4歳児 (平均4歳3カ月) 32人、5歳児 (平均5歳3カ月) 31人、6歳児 (平均6歳3カ月) 29人を対象に、実験者がミラーグラスをかける条件も加えて Flavell *et al.* (1980) の追試を行なった。その結果、被験児がミラーグラスをかける条件では、6歳児の半数以上の子どもが「自分の眼」が見られているとする誤った反応を示したが (正答率48.3%), 「自分自身」については4歳児でさえ正しい反応を示した (正答率90.6%)。この結果は、Flavell *et al.* (1980) とは逆の傾向を示すものである。また、実験者がミラーグラスをかける条件では、3・4歳児の30~40%の子どもたちが「自分自身」や「自分の眼」が見られていないとする誤った反応を示した。そして、5歳児でさえ「自分の眼」についての正答率は72.4%であった。

ミラーグラスのような幼児が日常生活で用いないものを実験材料とした場合には、「自己中心的」な反応がなお残るように思われる。

4. 2. サングラス課題

3つの山の問題は、基本的に形の見え方を問うものであるが、その提示刺激の中には色の要因も入っている。では、色だけについて調べればどうなるだろうか。このことを行なったのが、Liben (1978) の実験である。

Liben (1978) は、サングラス着用時の色見え方に関する実験を次のような手続きで行なった。被験児は、3歳から7歳の子ども100人である。物が黄色に見えるサングラス (子ども用) と緑色に見えるサングラス (実験者用) を用意し、罫線の入っていない白いカードを間において、「このカードがあなたにはどのように見えますか」、「このカードが私にはどのように見えますか」と尋ね、思った色を答えてもらう。実験条件としては、

- (a) 実験者だけがサングラスをかける場合、
- (b) 被験児だけがサングラスをかける場合、
- (c) 実験者と被験児の両方がサングラスをかける場合、

の3種類があった。この実験の結果、3歳児では「実験者に見える」色を誤って答える者が多いが、4歳になるとかなり正確に答えられるようになり、6・7歳児ではまったく間違えないこと

が明らかになった。

以上のように、色に関しては、4歳で他者が見ている色を正しく推定できるようである。もちろん、このことは「子どもが区別できる色の範囲で」という条件の下で成り立つことである。

4. 3. 座標系の変換

3つの山問題の提示刺激は、複雑にしようと思えば、要素数を増やし、それぞれの形・色や位置関係を操作していくらでも複雑にすることができる。他方、提示刺激を単純にしようと思えば、要素数をへらし、形や色をシンプルなものにし、重なり関係が生じないような配置にするなどの方法があるが、このようにどんどん単純化していくと最後は点の位置情報についての理解を調べる問題に行き着く。このことを実際に調べたのが、座標系の変換能力に関する城の一連の研究である(城, 1984, 1985, 1988, 1990; 城・花岡, 1984)。

実験装置は、図3のように、 6×6 のマトリックスが記された1辺33cmの亚克力板6枚を立方体の形に組み立てたものであり、底面には球のついた棒を立てることができるようになっている。その他、 6×6 のマトリックスボードと、2個のマグネットボタンが用いられた。

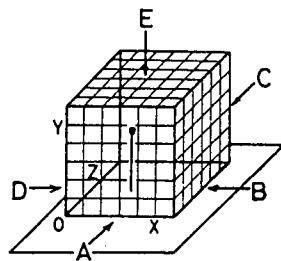


図3 座標系の変換能力を調べるための実験装置の略図(城, 1985)。

X, Y, Zは座標軸; A, B, C, D, Eは画面を表わしている。

城(1984)の実験Iでは、最初、原点・x軸・y軸の位置と座標のとり方、図2のA画面(被験者の正面から見たもの)に点の投影位置をマグネットボタンで表示する方法、それをマトリックスボードに表示する方法のそれぞれについて教えた後、次の3条件で実験を行なった。

パースペクティブ条件では、A画面から見て $(x, y, z) = (2, 4, 1)$ の位置に球がくるように棒を立て、A～Eの各画面への点の投影位置をAから予想させて、マトリックスボードに表示させた(身体移動は禁止)。

プロットング条件では、 $(1, 5, 4)$ の位置に球がくるように棒を立て、A～Eの各画面への点の投影位置をAから予想させて、その位置を当該画面上にボタンで表示させた(身体移動は禁止)。

身体移動条件では、 $(4, 2, 5)$ の位置に球がくるように棒を立て、B～Eのどこかの視点に子どもを移動させて当該画面への点の投影位置を確認させた後、再びAに戻ってその位置をマトリックスボードに表示させた。

先の分類で言うと(3.8.節参照)、パースペクティブ条件は推論課題、身体移動条件は再認課題に相当する。この実験の被験児は、小学1年生33人、3年生34人、5年生31人であった。条件ご

子安：幼児の空間的自己中心性 (II) — Piaget の 3 つの山問題の関連実験と理論的考察

とに正答率を調べると、パースペクティブ条件では学年差 ($1 \text{ 年} < 3 \text{ 年} = 5 \text{ 年}$) と地点差 ($B = E \geq D > C$)、身体移動条件でも学年差 ($1 \text{ 年} < 3 \text{ 年} = 5 \text{ 年}$) と地点差 ($B = C = D > E$) が見られたが、プロット条件では学年差、地点差ともに有意でなかった。

この城の方法は、図 3 の E にあたる「上からの見え方」をも尋ねている点が従来の 3 つの山問題とは異なっている。ただし、この課題は幼児に実施するには難しすぎるであろう。実際、城の一連の研究でも、対象とされたのは小学 1 年生以上の子どもたちであった。

4. 4. コンピュータ・グラフィックスによる視点変換課題

「上からの見え方」を調べた研究としては、城の一連の研究の他にも加藤 (1986, 1989) の実験がある。加藤は、視点取得課題の遂行と認知的マッピング (cognitive mapping) 課題の遂行との関連性について、線のみで図形を表現する「ワイヤーフレーム・モデル」のコンピュータ・グラフィックスを用いた実験によって検討した (ワイヤーフレーム・モデルについては、次章で詳しく述べる)。被験者は、大学生 30 人である。

視点取得課題は、格子上のプレートの上に置かれた、色・形ともに異なる 3 つの立体をワイヤーフレーム・モデルで描いたものを刺激画面とし、継時的に提示される 2 つの刺激画面が同一対象を視点を変えて見たものであるか否かをキーボードのキーを押して判断する課題 120 試行である (結果の分析は、「同じ」と判断された 60 試行分について行なわれた)。第一刺激画面は、真上から見た場合を 0° とすると、 0° 、 22.5° 、 45° 、 67.5° 、 85° の 5 条件のどれかでディスプレイに 2 秒間提示された。その後、0.5 秒のインターバルにおいて第二刺激画面が提示された。この第二刺激画面は、常に真上から見た 0° 条件で提示された。

認知的マッピング課題は、迷路課題の一種であり、ディスプレイに提示される仮想 3 次元トンネルの中をキー押しによって進み、終点についたら移動ルートを書き出すものであり、2 回連続正解するまで行なわれた。この迷路の移動ルートは、左右折それぞれ 3 回ずつであった。なお、両課題で用いられたコンピュータは、富士通 FM-16 β であった。

結果の分析に際しては、認知的マッピング課題で 7 回以内に正解に達した者 15 人を FL (fast learner) 群、8 回目でもなお正解に至らなかった者 15 人を SL (slow learner) 群とし、この被験者群と視点角度条件の 2 要因により、平均誤判断数と平均反応時間の差が調べられた。平均誤判断数では、群差の主効果、視点角度条件の主効果、両者の交互作用が有意となった。すなわち、(a) FL 群は SL 群よりも誤判断数が少ないこと、(b) 第一刺激画面と第二刺激画面の視点角度差が大きくなるほど誤判断数が多くなり、群差も拡大していくこと、の 2 点が明らかになったのである。他方、平均反応時間については、視点角度条件の主効果のみが認められ、第一刺激画面と第二刺激画面の視点角度差が大きくなるほど反応時間が長くなった。

加藤 (1989) は、本研究の特徴として、水平方向でなく垂直方向の視点取得課題であること、反応時間を指標としていることの 2 点をあげている。図 3 に即して言えば (後掲の図 9 も参照)、通常の視点取得課題が Y 軸を中心とする回転であるのに対し、本研究は X 軸を中心とする回転課題である。

4. 5. ワイヤー図形の見え方

加藤の実験では線だけで図形を表現するワイヤーフレーム・モデルのコンピュータ・グラフィックスが用いられたが、これを実際のワイヤーを用いて行なったのがRock らの一連の研究である (Rock, DiVita, & Barbeito, 1981; Rock & DiVita, 1987; Rock, Wheeler, & Tudor, 1989)。

Rock, DiVita, & Barbeito (1981) の実験 2 では、大学生28人を対象にワイヤー図形の再認実験が行なわれた。材料は、直径2.5mmのワイヤーを夜光塗料でコーティングした21種類のワイヤー図形であり(図4の例参照)、メタル製の立方体のフレームに糸で固定された。実験では、このワイヤー図形を50cmの距離からシャッターつきの窓を通して紫外線の照明で見るので、被験者には立体図形のみが見え糸は分からないようになっている。図3のように、被験者に対してx軸、y軸、z軸を定義すると、用いたワイヤー図形の大きさは、各軸について平均9cmであった。実験は、訓練系列とテスト系列から構成された。訓練系列では、7種のワイヤー図形が各4秒ずつ提示され、7段階で美的判断を評定することが求められた。テスト系列では、21のワイヤー図形を1秒ずつ見て、それが訓練系列で出てきたかどうかをイエス／ノーで再認させた。21のワイヤー図形のうち7つは訓練で用いたものであるが、元の方角に対して0°(そのまま)、x軸に90°と180°、y軸に90°と180°、z軸に90°と180°時計回りに回転した図形のどれかの条件で与えられた。また、残りの14種は新しい図形であった。

結果は表3に示される。0°(方向変化なし)条件の再認率が最も高く82%であり、新刺激の誤再認率は22%であった。z軸は奥行きの変化がない条件だが、0°条件より有意に低い再認率であった。x軸に90°回転する条件では新刺激と同程度の再認率、180°回転する条件では0°条件とぎりぎ

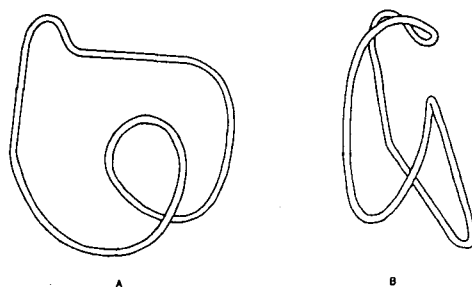


図4 Rock らの実験で用いられたワイヤー図形の例 (Rock & DiVita, 1987)。
Aは学習セッションで用いられたもの、BはAを垂直軸に90°回転したもので、
テストセッションで用いられたものである。

表3 ワイヤー図形の再認成績 (Rock, DiVita, & Barbeito, 1981)。

	テスト方向							
	X軸			Y軸		Z軸		新刺激
	0°	90°	180°	90°	180°	90°	180°	
イエス反応数*	23	6	17	12	24	13	16	86
イエス反応%	82	21	61	43	86	46	57	22

* nは28人、「新刺激」の欄のみ母数は392である。

り有意差が見られた。また、Y軸に90°回転する条件では予測に反して低い再認率が、180°回転する条件では予測通り高い再認率が見られた。実験前の予測では、Y軸の回転は左右の関係の変化を示すが、これは自己中心的座標の投影に基づく短時の方向性であり、対象物の左と右は世界を特徴づけないと考えられたのである。

続くRock & DiVita (1987) は、その実験1において、回転ではなく平行移動がワイヤー図形の再認に及ぼす影響を調べた。被験者は大学生21人であり、材料はRock *et al.* (1981) と同一のワイヤー図形が用いられた。はじめに、学習セッションにおいて被験者に12のワイヤー図形を4秒ずつ見せて美的判断を行なわせる。次に、テストセッションでは、先の12の旧図形に4つの新図形を加えたものを1つ2秒で提示し、イエス／ノー再認をさせた。ただし、旧図形は条件A（同じ位置で網膜像も同一になるように配置）、条件B（異なる位置で網膜像も異なるように配置）、条件C（異なる位置だが、約34°の回転を加えて網膜像が同一になるように配置）のいずれかで提示された。また、新刺激を条件Dとした。

正再認率の結果は、条件Aが75%、条件Bが39.3%、条件Cが70.4%、条件Dが23.8%となった。すなわち、網膜像が変化する平行移動は再認率を低下させたのである。この結果から、Rock & DiVita (1987) は、ワイヤー図形の知覚が物体中心（object-centered）でなく、観察者中心（viewer-centered）あるいは自己中心的（egocentric）であると解釈した。なお、この「物体中心」と「観察者中心」という区別は、Marr (1982) の理論に依拠したものである。

さらに、Rock, Wheeler, & Tudor (1989) の研究では、上記の2論文と同じようなワイヤー図形を材料として、3つの山問題に近い手続きで一連の実験が行なわれた。

その実験1では、被験者（大学生13人）は、4つのオレンジ色に塗ったワイヤー図形のそれぞれについて、はじめにそれを右90°および左90°から見たと想像した絵を描き、次いで正面・右90°の位置・左90°の位置の3カ所から見えるものの絵を描くことが求められた。そして、各被験者の各図形の3枚の絵（正面からの絵、実際に90°回転した位置から見た絵、90°回転した位置から見たと想像した絵）の3つ組について、90°回転した位置から見たと想像した絵がどちらに似ているかを、被験者とは別の21人の評定者に選択させた。その結果、90°回転した位置から見たと想像した絵が実際に90°回転した位置から見た絵と似ていると判断されたのは、チャンス・レベルとほぼ同等のわずか55.5%にすぎなかった。

続く実験2Aと2Bでは、刺激材料は同一だが、反応を描画法でなく4枚の絵から選択させる方法で実施した。正反応率の結果は、刺激の提示時間が無制限の実験2A（大学生35人）では50%、提示時間を4秒に制限した実験2B（大学生19人）では32.8%と低い値であった。

実験3は、大学生36人を対象とし、6種の白いワイヤー図形について、標準刺激と比較刺激を180cmの距離から見て異同判断を求める実験が行われた。ここで異同判断とは、比較刺激が標準刺激を一定の角度（45°、90°、180°）で回転した図形であるかどうかの判断を指す。比較刺激には、標準刺激を正しく回転した「同一」、回転角が違う「相違」、鏡映像になっている「鏡映」の3種があった。全体の正答率は71%、比較刺激の種類別では同一82%、相違71%、鏡映60%となった。この結果は50%のチャンス・レベルを越えているが、どちらか言うとして正しく想像することができておらず、また事後の言語報告からは、多くの被験者は図形のごく一部の部分に注目して反応したと推察された。

以上の結果から、物体中心の表象を持つこと、および、視点と独立した表象を操作することの困難さが示されたと Rock らは結論している。また、Rock らは、ワイヤー図形が日常生活に存在する物体の代表とならないのではないかという予想される批判に対して、自然物にも岩・泥・山・雲・枝のように不規則で熟知性の低いものがいくらかでもあり、ワイヤー図形の生態学的妥当性は意外に低くないと述べている (Rock & DiVita, 1987 ; Rock, Wheeler, & Tudor, 1989)。

以上のように、Rock らの一連の研究において、大人でも空間的自己中心性が示された。しかし、この結果が、ワイヤーという素材の特徴によるものか、図形の不規則性によるものなのか、熟知性 (familiarity) の要因によるものかなどについて、さらに検討を進める必要がある。

4. 6. LOGO によるコンピュータ・コントロール

この項では、LOGO を用いた研究をとりあげる。LOGO は、マサチューセッツ工科大学(MIT)の数学者 Seymour Papert らが開発した、子どもにも使えるコンピュータのプログラミング言語の名前である。LOGO は、当時やはり MIT にいた John McCarthy が開発した LISP というプログラミング言語を基礎にし、最初はリスト処理 (list processing) 機能をもった言語として出発した。その後、フロア・タートルと呼ばれるカメの形をしたロボットをコントロールする機能が付け加えられ、最後にディスプレイ (CRT 画面) 上でタートルと呼ばれるカメの形をしたカーソルを動かして図形を描くタートル・グラフィックス (turtle graphics) 機能が追加された。

Papert (1980) は、その著書 “*Mindstorms*” の中で、自身が1964年までの5年間にわたって Piaget の下で発生的認識論を学び、その知識を生かして LOGO を開発したと述べている。その意味からも、LOGO を幼児の空間認知の研究に応用することは、理にかなったことであるように筆者には思われる。ここでは、フロア・タートルだけを用いた Gregg (1978) の研究、フロア・タートルとタートル・グラフィックスを併用した Hughes ら (Hughes, Macleod, & Potts, 1985 ; Hughes, 1986) の研究、および、主としてタートル・グラフィックスを用いた子安 (1986, 1987) の研究を取り上げる。

Gregg の研究 Gregg (1978) は、幼児にフロア・タートル (2つの車輪と独立したステッピング・モーターで動くドーム型の小さなロボット) をコントロール・ボックスの3つのボタンを使って操作させ、2.5m 先に45cmおきに一列に置かれた、それぞれ約20cm大の赤い円・青い三角・黄色い四角の形のところまで移動させる実験を行なった。コントロール・ボックスのボタンは、B 1 (右90°回転)、B 2 (1回に約45cm直進)、B 3 (左90°回転) の3種類があり、箱の上に左から右に並べられたものである。また、フロア・タートルの動きは、PDP-11というコンピュータで制御された。

被験児は、4歳児6人と5歳児12人であり、実験は個別に行なわれた。実験は、ある年の秋から翌年の春にかけて、問題セット I～V の5期に分けて実施された。また、実験が行なわれた部屋は、正面に鏡、向かって左手に黒板、右手に窓があった。フロア・タートルは、スタート時の方向条件として、0°(被験児と同じ向き)、90°、180°、270°の4つがあった。

問題セット I の結果は、スタート時の方向 0°条件と180°条件を併せた平均値が4.72、90°条件と270°条件を併せた平均値が9.56となった (各12点満点)。また、4・5歳児が空間的自己中心性を示すのであれば、180°条件 (平均2.72) は0°条件 (平均2.00) よりも成績が悪いはずであるが、

両条件間に有意差は見られなかった。

問題セットIIでは、コントロール・ボックスにホーンボタンをつけ、最短距離で行けた時に鳴らせるようにして、被験児の動機づけを高めようとした。また、問題セットIIIでは、タートルに大きな張り子の頭をつけた。これは、頭をつけることによってカメラらしく見せるというよりも、進行方向を強調するためのものであった。しかし、このどちらの改良も成績の向上にはつながらなかった。すなわち、問題セットIIおよびIIIは、0°条件と180°条件のみで実施されたが、その平均値は共に6.61であった。

問題セットIVは、IV a（視点取得条件）とIV b（カラーコーディング条件）に被験児を二分して行なわれた。視点取得条件では、コントロール・ボックスにも張り子の頭をつけ、タートルの中にいて外を見ているところを想像させながら実験を行なった。他方、カラーコーディング条件では、タートルの頭の右側とB 1（右回転）ボタンにオレンジ色の耳あてを、タートルの頭の左側とB 3（左回転）ボタンに紫色の耳あてを付けて、操作の手がかりとした。実験前の仮説では、視点取得の方は難しく、カラーコーディングは子どもでもできる簡単な条件と考えられた。しかし、結果は両条件共に成績の向上が見られ、視点取得条件が8.11、カラーコーディング条件が9.14と平均値に有意な差はなかった。

最後に問題セットVでは、コントロール・ボックスの張り子の頭と耳当てを外したらどうなるかが調べられた。その結果、視点取得条件が8.13、カラーコーディング条件が6.71となった。

Gregg (1978) の解釈によると、このフロア・タートル課題では「部屋」、「タートル」、「ボックス」の3つのフレーム（参照系）があり、問題セットIIIまででは部屋の窓や黒板の手がかりが加えてタートルとボックスの関係を分かりにくくしているが、IVの視点取得条件ではボックスに頭を付けることによってその「前」が明瞭になり、ボックス・フレームをタートル・フレームにマッピングする（重ね合わせる）ことが容易になったと考えられる。また、カラーコーディング条件もボックス・フレームとタートル・フレームとの対応づけを容易にしたものと思われる。

Hughes らの研究 イギリスのHughes ら (Hughes, Macleod, & Potts, 1985 ; Hughes, 1986) は、抽象的な数の認識が困難な子どもの算数教育にLOGO を応用する研究を行なった。被験児は、5歳7カ月から6歳5カ月（平均6歳1カ月）の15人の子どもである。この子どもたちの知的能力はやや低い方で、自己の左右を言える者は7人、対面する人の左右を言える者は1人であった。用いた装置は、BBC‘B’マイクロコンピュータとエディンバラ・タートルであるが、タイプライター型のキーボードでなく、オリジナルなタッチ式の「コンセプト・キーボード」が用いられた。これは、1つ1つのキーが大きく、学習の段階に応じて必要なキーを付け足していく方式のキーボードであった。

LOGO の学習は、原則として子どもをペアにして、1セッションを15～25分で実施し、5カ月間で24セッション、総時間数にして約8時間の学習が行なわれた。最初の6セッションでは、フロア・タートルのみが用いられ、はじめはF（1単位、約28cm前進）、B（1単位後退）、R（右に90°回転）、L（左に90°回転）の4基本命令しか用いなかった。その後、ディスプレイを導入し、命令語につける引数（何単位移動するか、何度曲がるかなどを指示する数字）や、三角・四角・星・円といった基本図形を描く手続きなどを使って、タートル・グラフィックスで様々な図を描かせた。

全セッション終了後、LOGO でどんな絵が書けるようになったかのテストが行なわれたが、結果は個人差が大きく、一番簡単な「旗」の絵すら書けない子もいれば、一番難しい「人の顔」の絵を書ける子もいた。また、LOGO 学習の前後に実施した知能検査の得点比較を行なうと、積木検査・数唱・基本的数概念という3つの下位検査で有意な得点の向上が見られた。

この研究は、左右概念を理解していない子どもに対し、オリジナルな入力装置を用意し、段階を踏んでLOGOを学習させるという発想がユニークである。ただし、LOGO 学習群に対する統制群が設定されていないこと、LOGO 学習の結果、子どもたちの左右概念の理解にどのような進歩が見られたかが論文中に書かれていないこと、の2点に不満が残る。

子安の研究 子安(1986, 1987)は、1人の幼児(男児)を対象とし、5歳8カ月から6歳1カ月までの6カ月間にわたって日本語のLOGOを学習させる縦断的研究を行なった。使用したコンピュータは日立S 1/20のシステム、用いた言語は「ひらがなLOGO」であった。

LOGO 学習は、1回約1時間(55分～1時間35分、平均63.9分)で35回にわたって行なわれ、学習者とインストラクター(実験者)との会話の内容がマイクロカセットレコーダで録音された。そして、その録音内容に基づき、日本語ワードプロセッサでA 4判にして本文141ページ、コメント55ページ、図表131枚分の記録が残された。

学習内容は、フロア・タートルは1回だけで、大部分の回がタートル・グラフィックス機能についてであり、ごく一部の回でリスト処理機能も取り上げた。35回の学習を通じて、約50種のLOGOの基本命令を取り扱ったが、タートルを前進、後退、右回転、左回転させる「まえへ」、「うしろへ」、「みぎへ」、「ひだりへ」の4種は使用頻度の高い基本命令の中に入った。

この4つの基本命令だけを用いてできる課題の例として、図5に示す迷路問題がある。これは、図5の左端から出発して、タートルを前進、右回転、左回転させて壁に触れないように動かし、右下のゴールまで進むものである。前進の歩幅は20歩進めたい場合「まえへ 20」のように、また曲がり角での回転角は右に直角に折れる場合「みぎへ 90」のように、学習者自身が引数をつけて命令する必要があった。しかし、「まえへ」の引数を大きくしすぎると、タートルがオーバーランして壁を突き破る場合がある。その時には、「うしろへ」を用いて戻らなければならなかった。同じ迷路を4回実施した結果、最初は54ステップ、オーバーラン2回であったが、4回目には35ステップ、オーバーランなしでできるようになった。

タートルを動かす場合、タートルが画面の上を向いている時は子どもの向きとタートルの向き

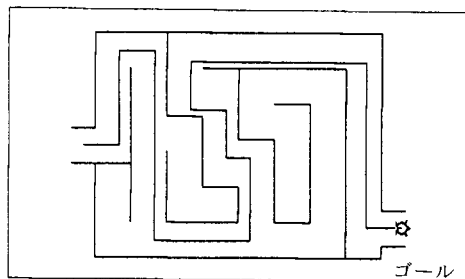


図5 タートル・グラフィックスによる迷路(子安, 1986)。

右下のカメの形をしたものが「タートル」と呼ばれるカーソルである。

が一致するので、左右を間違えたり、左右の混乱を起こすことは少ない。しかし、タートルが右を向いたり、左を向いたり、下を向いたりしている時には、子ども自身の向きとタートルの向きが一致せず、自己の視点から離れタートルの視点に立って考える必要があるため、幼児にとって難しい課題となる。幼児は、時には上半身を横に向けて自分の体の向きをタートルの向きに近づけようとする。

ここで用いたタートル・グラフィックスは2次元的であり、タートルの回転もz軸を中心とする回転しか扱わないものであるが、それでもタートルを自由自在に動かすためには、自己の視点に中心化せず、タートルの視点に立って考えることを必要とするのである。

4. 7. 身体回転再構成課題

鈴木らの一連の研究（鈴木・佐伯，1985；鈴木，1985，1986，1987；佐伯・鈴木・松崎，1986；鈴木・松崎・佐伯，1986，1987；松崎・佐伯・鈴木，1986）は、3つの山問題と類似の提示刺激を用いながら、異なる観点から子どもの空間表象の発達過程を検討する実験を行なっている。ここでは、それを仮に「身体回転再構成課題」と呼ぶことにする。その最も基本的な実験手続きは次のようなものである（鈴木・松崎・佐伯，1986の実験1）。

はじめに、図6に示すような形で2つの机と3脚の椅子を用意しておく。被験児をS1に座らせ、机の上の3つのもの（例：牛乳パック、紙皿、ミカン）の名前を言わせる。その後、この提示刺激と同じものが入った袋をわたし、「これを持って後ろの椅子（S2）にすわってください。そして、あの机（再構成用机）の上に○○ちゃんが今見た通りに並べてください」と教示する。その際、提示刺激はおおい隠し、後ろを振り返らせない。この方法で実験を行なうと、大別して図7のような3つの反応パターンが見られる。

Tはテーブルマット（table mat）対応の略で、正しい答である。Mは鏡映（mirror）対応の略で、左右が入れ違う誤りである。Gはグラウンドシート（ground sheet）対応の略で、提示刺激をそのまま平行移動してしまう誤りである。鈴木・松崎・佐伯（1986）の実験1では、幼稚園年長児21人を対象とし、提示刺激を変えて3問行なったところ、各反応パターンの出現率はMが61.9%、Tが33.3%、Gが4.8%となった。

しかし、実験条件を少し変えて、(a)はじめに提示刺激を大きな縄帳でおおって隠しておく条件（鈴木・松崎・佐伯，1986の実験2）、(b)キツネのぬいぐるみを被験児の前に置き、S2に移動す

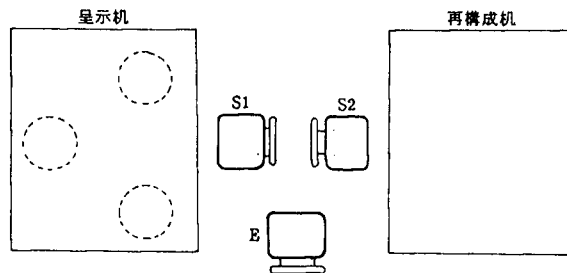


図6 「身体回転再構成課題」の実験状況（鈴木，1987）。

被験児ははじめS1に座り、呈示机の上の刺激を見る。その後、S2にすわって、再構成机の上に「今見た通りに」刺激を並べる。Eは、実験者の位置を示す。

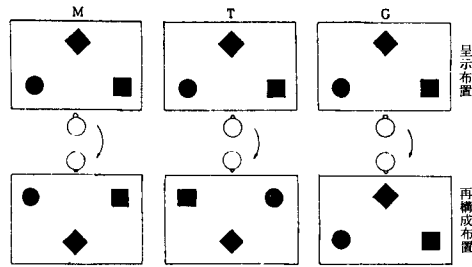


図7 「身体回転再構成課題」の典型的なパターン（鈴木，1987）

Tは正答，Mは鏡映対応，Gは平行移動である。

るときにキツネも持っていく条件（松崎・佐伯・鈴木，1986の実験3），(c)それに加えて「キツネが朝ごはんを食べる」などの物語化を導入する条件（松崎・佐伯・鈴木，1986の実験4），(d)提示刺激を並べるところは被験児に見せずに「これから，○○ちゃんにこれとおなじものをわたしますから，○○ちゃんも後ろのテーブルの上に，私がここに並べたのと同じ並べ方になるようにならべてくださいね」と教示する条件（鈴木・松崎・佐伯，1987の実験2）などでは，M反応が減りT反応が増える結果が見られた。

また，松崎・佐伯・鈴木（1986）の実験5では，上記の実験3のキツネを移す時，被験児に対面して置く条件の効果を検討し，G反応が62.7%になるという結果を得た。この条件は，「他者」の視点取得能力が問われており，その意味で3つの山問題のヴァリエーションとみなすことができる。

4. 8. 写真撮影課題

3つの山問題において「他者」を人形とするか，人間とするか，単にマーカー（目印）とするかという実験手続き上の問題を3.5.節で論じた。その時には取り上げなかったが，もう1つの実験手続きとして，「他者」の位置にカメラを置く方法がある。ここではこの方法を「写真撮影課題」と呼ぶことにする。この方法は，

- (a) 写真を用いたカード選択課題の場合，カメラと写真の関係が自然であること，
 - (b) カメラでは他視点からの見えに関するフィードバックが可能であること，
- という2つの特徴を持っている。次に，写真撮影課題を用いた研究として Kielgast(1971)，Ivesら（Ives, 1980, Ives & Rakow, 1983），および子安（子安, 1983, 1990b; Koyasu, 1987）の実験を取り上げる。

Kielgastの研究 写真撮影課題の最初の研究例は，おそらく Kielgast (1971) であろう。この研究は，6～8歳児36人を対象とし，丸テーブルにのせられた提示刺激（木，教会，家，塔）の見え方について，被験児から見た提示刺激の前後関係の特徴を述べさせる条件と，提示刺激のうち完全に見えるものと部分的に見えるものという映像的な特徴を述べさせる条件を設定し，それが後の視点取得にどのような効果を及ぼすかを検討するために行なわれた。そして，テスト・セッションの直前にカメラを視点の位置にセットし，被験児にファインダーをのぞかせておいた。テスト・セッションでは，カメラを「他者」とし，写真の中から選択する形式で3つの山問題が

行なわれた。

しかし、このKielgastの研究では、カメラを材料として用いた意味があまり明確に意識されていないように筆者には思えてならない。

Ivesの研究 Ives(1980)は、3歳児と4歳児計64人を対象に、言語反応条件と写真選択条件を設定して3つの山問題の実験を行なった。両条件とも、提示刺激は単一（自動車、人、家、車のどれか）で、90°または180°の位置に置かれたカメラから何が写るかを当てる「写真撮影のふりをする（pretending to take pictures）」ゲームの形式で実施された。言語反応条件では、「前」「後」「横」のいずれかで答えることが求められた。他方、写真選択条件では、5×7インチ大の3枚の白黒写真（提示刺激の前・後・横のいずれかが写っている）から選ぶことが求められた。

正答数の結果に基づく2（3歳児、4歳児）×2（男児、女児）×2（言語反応条件、写真選択条件）の分散分析では、反応条件の主効果（言語反応条件＞写真選択条件）と性別の主効果（女児＞男児）が見られたが年齢の主効果は有意でなかった。

この実験で3歳児でも言語反応条件で高い正答率が得られた（男児86%，女児93%）ことから、Ives(1980)は幼児も他者の視点に立つことができる、とまとめている。しかし、この研究では、提示刺激も反応方法もかなり単純化されていることに留意する必要がある。また、カラー写真でなく白黒写真を用いた理由についての説明がなく、その点も筆者には理解しにくい。

続くIves & Rakow(1983)の研究では、幼稚園児（平均5歳6カ月）と2年生（平均7歳5カ月）を対象に、新たに提示刺激の種類、課題の種類、見え方のタイプの3条件を付け加えて追試が行なわれた。提示刺激の種類は、前・後・横の特徴が明確なもの（自動車、馬）と不明確なもの（Shepard & Metzler, 1971の刺激のような立方体をいくつか組み合わせで作った積木）の2種類があった。また、課題の種類は3.7節で説明した視点課題と回転課題の2タイプであり、教示の違いで区別された。さらに、見え方のタイプは、単純（提示刺激の前、後、横からの見え）と複雑（前の隅と後の隅からの見え）の2つが用意された。その結果、言語反応条件・写真選択条件共に、回答の選択肢は3から5に増えた。用いられた写真は、Ives(1980)同様白黒であった。

正答数について、2（幼稚園児、2年生）×2（男児、女児）×2（特徴：明確、不明確）×2（見え方：単純、複雑）×2（言語反応条件、写真選択条件）×2（視点課題、回転課題）の6要因の分散分析が行なわれた。主効果の結果のみをまとめると、学齢（2年生＞幼稚園児）、見え方（単純＞複雑）、反応条件（言語反応条件＞写真選択条件）、課題（視点課題＞回転課題）のそれぞれの主効果が有意であった。しかし、性別の主効果は追認されなかった。

子安の研究 一般に写真撮影課題には、カメラと写真選択の関係が自然であることと、他視点からの見えに関するフィードバックが可能であること、という2つの利点があるが、上述のKielgast(1971)やIvesら（Ives, 1980, Ives & Rakow, 1983）の研究では、この利点があり生かされていない。筆者は、この点を考慮にいれ、以下に示すような一連の実験を行なった（子安, 1983; Koyasu, 1987; 子安, 1990b）。

子安(1983)は、幼稚園の4歳児（平均4歳3カ月）32人、5歳児（平均5歳3カ月）31人、6歳児（平均6歳3カ月）29人を対象に、机をはさんだ被験児の対面位置にカメラを置き、動物の人形が写っているカラー写真を1枚ずつ見ながら、それと同じ写真が撮れるようにカメラに向

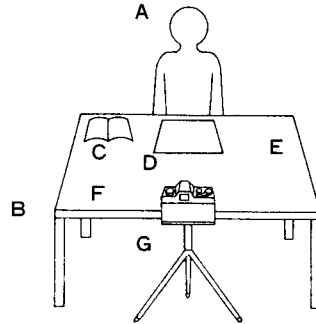


図8 子安 (1983, 1990b) の実験状況。

図中の記号は、Aが被験児、Bが実験者の位置、Cがポケット・アルバム、Dが人形を置く台紙、Eが人形3匹の定位置、Fが子安 (1990b) でカラーモニターテレビを置いた位置、Gがカメラ (ビデオカメラ) である。

かって人形を並べる課題を実施した(図8参照)。用いた人形は、テレビの幼児番組に登場する3匹のキャラクター動物であり、1匹の場合3通り、2匹の場合6通り、3匹の場合6通りの計15通りの写真を用意し(2匹および3匹の場合、左右の並びの異なるものは別の写真となる)、被験児ごとに順序をランダムに変えて提示した。なお、人形の並べ方に対するフィードバックは、一切与えられなかった。

この実験では、人形の顔を自分の方に向け、カメラにお尻を向ける格好になる「前後の自己中心的エラー」と、2匹および3匹の場合に左右の並びが逆になる「左右の自己中心的エラー」に注目して分析を行なった。その結果、前後の自己中心的エラー率では、4歳児43.8%、5歳児16.1%、6歳児17.2%となり、4歳と5歳の間に有意差が見られた。他方、左右の自己中心的エラー率については、4歳児100%、5歳児100%、6歳児93.1%と全年齢を通じてエラー率が極めて高かった。

次に、Koyasu (1987) の研究では、幼稚園の5歳児 (平均5歳5カ月) 29人と6歳児 (平均6歳4カ月) 35人を対象に、上述の実験と類似の状況でインスタント・カメラ (ポラロイド・スペクトラ) に向かって人形を並べさせた後、リモート・コントロール・スイッチで被験児自身にシャッターを押させ、約2分後にできあがる写真 (カラー) を見せることでその結果をフィードバックする実験を行なった。

その結果、第1試行目での前後の自己中心的エラー率は5歳児17.2%、6歳児11.7%となり、子安 (1983) の結果をほぼ追認する値が得られた。また、実験全体を通じての左右の自己中心的エラー率は5歳児59.3%、6歳児50.3%であり、一応フィードバックの効果が得られたが、結果をさらに細かく分析すると、実は人形の背景 (室内の様子を表わす家のセット) の手がかりがある条件も用意したことが正答率を高めたのであった。

ところで、インスタント・カメラによるフィードバック法には、約2分のディレイが生ずるという欠点がある。そこで、子安 (1990b) は、ビデオカメラと6インチのカラーモニターテレビを用いて、リアル・タイムにフィードバックを与える実験を行なった。被験児は、5歳児56人を自己フィードバック群と実験者フィードバック群の2群に均等に配置した。平均年齢は、共に5歳4カ月であった。実験は、子安 (1983) とほぼ同様の状況で行なったが、図8のFの位置にモニ

ターテレビ、Gの位置にビデオカメラをセットしたことで、全体を事前テスト・訓練・事後テストの3セッションに分け、訓練実験の形式にしたことが大きな変更点である。3セッションとも、3匹の動物の写真15枚のセットを用いたが、提示順序はセッションごとにランダムに変えた。事前テストと事後テストでは、フィードバックは与えられなかったが、訓練セッションでは、モニターテレビのスイッチを入れ、被験児が並べた人形の様子をフィードバックした。この時、自己フィードバック群ではモニターテレビを見て被験児自身で正誤を判断したが、実験者フィードバック群では写真とテレビの並び方が一致しない場合、その事実と誤っている点を実験者が指摘し、正しく並べ変えさせた。

結果は、次のようになった。まず、前後の自己中心的エラーを事前テストの成績から見ると、自己フィードバック群が14.3%、実験者フィードバック群では7.1%となった。しかし、その大部分は訓練セッションのフィードバックにより自己修正された。次に、左右の自己中心的エラーについては、事前テストでは両群の平均正答数に差がなかったが、事後テストでは実験者フィードバック群の方が有意に得点が高かった。しかし、その得点の分散（個人差）が大きく、得点分布を見ると正答数2点以下と8点以上の二極に分かれ、左右の自己中心性がなお根強いことが明らかになった。

4. 9. 期待背反課題

Shantz & Watson (1970, 1971) は、3つの山問題が幼児の視点取得を調べるのに適切な課題でないと考え、独自の「期待背反」手続き（“expectancy violation” procedure）を考えだした。

Shantz & Watson (1970) では、3歳0カ月から5歳2カ月の幼児48人を対象に、次のような実験が行われた。装置は、0°と180°の位置にスロットがあいた立方体の箱で、スロットの下ボタンを押すとライトが $\frac{1}{2}$ 秒点灯するものである。この箱の中にもちやのテレビと椅子に座った人形（別のセットもある）を置いておく。被験児は、最初0°の位置から中をのぞく。この時、何度ボタンを押してライトをつけてもよい。それが終わったら180°の位置に行き、そこのスロットから中をのぞきながらライトを点灯する。この時、「リアル」条件では何の操作も行なわないが、「トリック」条件では被験児の移動と同時に箱の中のものがプーリー・システムによって180°回転し、元の光景が見える。

トリック条件とリアル条件を比較した結果、ライトの点灯回数では差はないが、表情の変化と言語反応の数において、トリック条件の頻度が高かった。トリック条件においてびっくりしたような表情やことばが見られれば、その被験児は狭義の空間的自己中心性からは脱却しているものと解釈できる。

続くShantz & Watson (1971) では、期待背反課題を少し複雑にした上で、その成績と3つの山問題の成績との比較が行われた。被験児は、3歳8カ月から6歳半までの48人であり、期待背反課題が分かる者は3つの山問題もできることが結果において示された。

この期待背反課題の興味深い点は、第一に課題の内容や言語指示にあまり複雑な要素が含まれていないことであり、第二に子どもの認知的葛藤の生起を反応の指標とすることである。このことは共に、幼児を対象とする実験では重要な要素である。3つの山問題からは離れるが、同様の要素をもった実験法の1つにGelmanらの「手品実験」がある（Gelman, 1972 ; Gelman &

Tucker, 1975; Bullock & Gelman, 1977)。Piaget の数の保存課題では、例えば同数のおはじきを二列に平行に並べて同じ数であることを確認し、次に片方の列を変形すると数の関係がどうなるかが問われる。Gelman は、この方法では幼児の数能力を調べるには不適切と考え、次のような方法をとった。例えば、皿に2匹と3匹のネズミをのせ、カンでフタをして子どもに示し、どちらかのカンを開けさせる。ネズミの多い方を開ければ賞品がもらえる。このことを何度かやる途中で、ネズミの数をこっそりかえてしまう。数概念を持っている子どもなら、びっくりしたり、怪訝そうな反応を示すはずである（より詳しい解説は子安, 1982参照）。

期待背反課題は、狭義の空間的自己中心性の有無しか調べられないが、認知的葛藤場面で葛藤を感じるかどうかによってある概念の獲得を調べるという実験手続きは、大変応用性が高い。

4. 10. 二十の質問法

Eiser (1976) は、3つの山問題において子どもが自己の視点と他者の視点を協応させるためにどのような情報を集めようとするかを調べることを目的として、次のような実験を行なった。

被験児は、小学3年生（平均8.4歳）25人、5年生（平均10.3歳）21人、7年生（平均12.2歳）29人であった。提示刺激は、キノコ・ネズミ・カタツムリのおもちゃを直径30cmの円盤の上に接着し、それを回転盆の上に乘せたものであり、同一のものを2セット用意した。実験者と被験児は、それぞれ回転盆を前にし、間についたてをはさんで並んで座る。実験者は回転盆をある角度だけ回し、その結果が実験者にどのように見えているかを被験児に当てさせる。そのために被験児はいくつ質問をしてもよいが、実験者が「はい」か「いいえ」かのどちらかで答えられる質問に限られる。これは、「二十の質問」法（“twenty questions” technique）を応用したものである。被験児は、提示刺激が実験者にどのように見えているかが分かったら、自分の前の回転盆を回してその結果を実験者に見せた。全部で4試行が行なわれたが、実験者が回転盆を回す角度は、時計回りに270°、90°、315°、135°であった。

結果は、平均質問数では学年間に差がなかったが、回転盆を回した結果と正答との角度差の平均値では、3年生70.88°、5年生46.68°、7年生41.38°となり3年生と5・7年生の間に有意差が見られた。

この課題は、他者が見ているものを推定するものには違いないが、情報の収集と伝達が言語的に行なわれるという点で通常の空間的視点取得課題とは異なっている。

5. 「3つの山問題」の理論的考察

筆者は、前章までにおいて、3つの山問題の追試研究とその関連実験についてできる限り丹念なレビューを試みた（勿論、そのすべてをカバーできたわけではない）。それでは、このような多数の研究は、幼児の空間認知についてどのような事実を示してきたのであろうか。また、これらの研究結果をどのように解釈すればよいのであろうか。さらに、われわれは今後何を明らかにすべきであろうか。

このような問題に答えるために、筆者は、3つの山の問題をいわゆる認知科学（cognitive science）のアプローチから理論的に考察したいと考えている。では、認知科学からのアプローチと

は、具体的にどのようなことをいうのであろうか。Gardner (1985) は、認知科学の特徴を、次の5点にまとめている。

- (a) 人間の認知的諸活動について語る際に、心内表象について語ること。
- (b) 人間の心の理解に、コンピュータが重要な役割を果たすということに対する信念を持っていること。
- (c) 感情・情動の要因、歴史的・文化的な要因、行為や思考の背景となる文脈の役割をあまり強調しないこと。
- (d) 学際的研究から多くのものが得られるという信念を持っていること。特に、哲学・心理学・人工知能・言語学・人類学・神経科学の6つが重要である。
- (e) 西欧哲学の伝統において認識論学者が永年扱ってきた問題や関心事を取り上げること。

筆者は、この中の(a)・(b)・(d)に関連する問題として、コンピュータ・グラフィックスの理論と神経心理学の2つの観点が重要であると考えている。そこで、以下においては、はじめに発達心理学の観点から3つの山の問題についての知見と解釈を整理し、次いでコンピュータ・グラフィックスの理論の観点からこの問題を検討し、最後に今後の研究の発展方向を神経心理学的観点から探ることにしたい。

5. 1. 発達心理学からの考察

(1) 自己中心性の概念について

幼児の有能性(competence)の再発見をめざす最近の幼児心理学研究の流れの中で、「幼児は自己中心的でない」、「幼児だけが自己中心的であるのではない」などの主張が見られるようになってきた(Gelman, 1979; 麻生, 1980; Presson & Sommerville, 1985など)。前述のように(1章参照)、Piaget自身が1966年に“egocentrism”という用語の使用を断念したという経過があり、自己中心性概念の放棄を主張する方が「旗色がよい」ようにも見える。以下に、この点に関して筆者の考えを述べたい。なお、議論を混乱させないために、ここでのテーマがあくまで空間的自己中心性の問題、すなわち、様々な物体が視点を変えるとどのように見えるかという問題に限定したものであることを再確認した上で先に進むことにする。

まず、「幼児は自己中心的でない」という議論は正しいと言えるだろうか。これに答える前提として、念のため自己中心性の定義をもう一度振り返っておこう。Piaget (1948) の原研究では、他視点からどのような風景が見えるかを問われた時、それを正しく表現できないこと(広義)、特に自己の視点からの見えで答えること(狭義)が自己中心的反応と規定された。

3つの山問題の追試研究の結果は、3章および4章で詳しく見たように、自己中心的反応の出現率が細かな実験条件によって大きく左右されることを示している。しかし、追試研究全体を眺めれば、広義の自己中心的反応が幼児に一般的に見られることは確かであるし、幼児期から児童期にかけての年齢に伴う自己中心的反応の減少を報告している研究も多い。また、狭義の自己中心的反応が老年期には増える傾向にあること(3.11.節参照)、視覚障害児において自己中心的反応からの脱却が遅れること(3.12.節参照)などの事実も明らかになっている。このような研究データがあるにもかかわらず、幼児が自己中心的でない結論することは、かなり困難なように筆者には思われる。

では、もう1つの「幼児だけが自己中心的であるのではない」という議論についてはどうだろうか。例えば麻生(1980)は、「Piagetの“3つの山”課題では90°, 180°, 270°の位置からの“見え”が問題にされている。もし、5°, 10°, 15°...の位置からの“見え”を問題にするならば、大人ですらそれぞれの視座を区別することは困難であろう」(139ページ)と述べている。また、ワイヤー図形を材料とするRockらの一連の研究(Rock, DiVita, & Barbeito, 1981; Rock & DiVita, 1987; Rock, Wheeler, & Tudor, 1989)は、大人の空間的自己中心性の存在を鮮やかに証明したと言えよう。すなわち、「幼児だけが自己中心的なのではない」という議論は確かに成り立つのである。ただし、幼児が自己中心的でないことを論ずるために、大人でも自己中心性を示す場合があるという事実を引き合いに出すのは、誤った論証法であり、議論の混乱が見られるということも付け加えておきたい。

以上をまとめると、「幼児は自己中心的でない」という議論は実験的データと合わないが、「幼児だけが自己中心的であるのではない」とことの証拠は示されていると結論できる。

ところで、「幼児は自己中心的でない」とか「幼児だけが自己中心的であるのではない」という主張がしきりに行なわれる背景には、自己中心性という語が否定的価値のみを含み、肯定的価値を含んでいないとする考え方があるのではないだろうか。しかし、そのような考え方は誤りであると筆者は考える。

例えば、西洋絵画の歴史を繙くと、古代エジプトの壁画などでは歪んだ奥行き表現がごく普通に行なわれていたのであり、遠近法表現が確立されたのは、ようやく15世紀のイタリア・ルネサンスの時期になってからのことであるという(Gregory, 1970)。遠近法表現において重要なことは、近いものは大きく、遠いものは小さく描くというだけでなく、1枚の絵をただ1つの視点(point of view)から見たものとして描くという点にある。したがって、物体の大きさを表現する「線遠近法」だけでなく、近景と遠景で色が異なって見えることを表現する「色彩遠近法」もそこには含まれている。

しかし、立体物を理解したり表現したりする時、物体をただ1つの視点から見たものとしてとらえることは、実はそれほど簡単なことではない。パーソナル・コンピューティングの思想およびその理想型としてのダイナブック(Dynabook)の概念を提唱したことで著名なAlan Kayは、最近「視点は、IQ80に相当する」と言っているが(Kay, 1990)、これは大変含蓄のあることばである。コンピュータの技術が高度に進歩した現在では、人間の考える能力(論理的思考)のシミュレーションはある意味でそれほど難しいことではなく、むしろ人間の見る能力(ビジョン)のシミュレーションの方が意外に難しいことが明らかになってきた。コンピュータに「視点」を持たせることは、論理演算をさせることよりもはるかに難しい。この観点からすれば、「自己中心的」見方ができるということは、すなわち自己視点が確立されているということであり、それ自体立派な能力であると考えた方がよいのである。

(2) 視点取得の段階説について

さて、発達心理学では、発達の経過を連続的な(量的な)ものととらえるか、非連続的な(質的な)ものととらえるかという重要な立場の相違がある。後者の立場がいわゆる段階説(stage theory)である。既に見たように(2.2.節)、Piagetらは3つの山問題の結果から子どもの反応を段階II A, II B, III A, III Bの4期に区分している。しかし、4歳以前の幼児については、オリ

ジナルの3つの山問題に含まれる過剰な課題要求 (task demands) のために、実験の枠組みにのせることができなかった。

この点について補足をし、新たな視点に立って段階説を示したのが Flavell (1974) の理論である。Flavell は、他者の視点の理解について、次に示す4段階に分けた。

レベル0：自己および他者のいずれにおいても、また視点との関わりの有無に関係なしに、いかなる視覚的行為や経験の表象も持たない。

レベル1：視覚的行為および経験を表象したり、それを自己と他者に帰属させたり、この2つの帰属を区別する最低限の能力を示す。

レベル2：自己と他者が物を見るという事実だけでなく、見ている物について位置に規定された特定の見え方をも表象しうる。

レベル3：物の配列についての他者の網膜像上のイメージ（射影された角度や距離）を正確に再現することができる。3つの山問題は、このレベル3の段階にならないと理解できないとされる。

この段階区分にしたがって、Flavell らは乳児期後期（11カ月児から）や幼児期初期の子どもについても精力的にデータを集めている（3.11.節参照）。

さて、一般に段階説というものは、たとえば幼児と児童の認知能力の違いがどんな点にあるかなど、発達の大きな流れをとらえる時の手がかりとして大変有効であるし、段階説に含まれる発達の順序性や移行期の概念も重要である。しかし、限られた被験者集団についての限られた課題の結果から構成された段階区分をそのまま鵜呑みにしてしまうことは、子どもの多様な個人差を無視することになるという批判（Sigel & Cocking, 1977を参照）は、正鵠を射たものである。

筆者は、段階説を全面的に否定するものではなく、おおまかな発達の進行表としてそれを参照することは有用かつ必要と思っている。しかし、人間を含めた動物の認識にとって最も基本的な形式の1つである空間の概念が、様々な活動や行為を通じてどのように精緻化 (elaborate) されていくかについてもっと多くの事実を知らない限り、妥当な発達段階表は得られないと考える。

(3) 空間軸の精緻化の順序について

3つの山問題の追試研究と関連実験を通じて明らかになってきたことの1つに、「空間軸の精緻化」の順序性がある。ここで「空間軸」とは、上下、前後、左右の3軸のことをいう。「宇宙」の「宇」の字は「天地四方上下」を、「宙」の字は「古往今來」を表わすものという（諸橋轍次、『大漢和辭典』、大修館）。人間は心の中に宇宙を持っていると言われるが、その1つの意味は、空間軸と時間軸の表象を持っているということなのである。また、ここで空間軸の「獲得」や「形成」の語ではなく、「精緻化」という言葉を使うのは、人間が3次元的世界に生まれてくる以上、最初から最低限の空間軸概念は持っているものであり、発達はそれを精緻化する過程であるのとらえる立場によるものである。

上下 上下は、言うまでもなく、地球上では重力に規定される。そのため、横になっていても上下を間違えることはないし、共に立つか座るかする場合などのように、他者と上下軸の方向性を等しくする状況にあることが多い。それ故、上下は乳幼児にとって最も理解しやすい軸であるといえよう。

前後 前後の関係には、遠近 (near-far) と表裏 (front-back) の2側面がある。まず遠近

については、乳児期に子どもが人間や物体の方に手を伸ばすリーチング (reaching) の行動が前後の認識と関連する。リーチングは、満期産で自然分娩の新生児の場合には、生後5日目にして観察されるという (Bower, 1989)。また、Gibson & Walk (1960) による有名な視覚的断崖 (visual cliff) の実験は、はいはいのできる乳児 (6~14カ月) が十分に奥行き知覚を発達させていることを証明した。

次に、物体の表裏については、3.11.節で述べた Masangkay, McCluskey, McIntyre, Sims-Knight, Vaughn, & Flavell (1974) の研究において、イヌとネコの絵をボール紙の片面ずつに貼ったものを見せ、実験者と被験児に何が見えるかを答えさせる課題の結果から、3歳児になると区別が可能なが示されている。また、子安の実験 (子安, 1983, 1990b; Koyasu, 1987) では、5・6歳児の約6人に1人がカメラに向かって人形を並べる課題で人形のお尻をカメラに向けてしまった。しかし、この反応にビデオ・フィードバックを与えると、それはたちどころに消失したのである (子安, 1990b)。

なお、Jacobsen & Waters (1985) は、(a)左右の次元に対応するのは表裏でなく遠近であること、(b)子どもにとって前後関係の理解が比較的容易であるという先行研究の結果は、提示刺激に表裏の特徴が明確なものをを用いていることによる、と指摘している。

左右 幼児にとって最も理解が困難な問題は、物体の左右の関係である。Cox の一連の研究 (Cox, 1978a, 1978b, 1980; Cox & Willetts, 1982) は、3つの山問題において提示刺激の前後関係がまず分かり、その後に左右関係が理解できるようになるという順序性を明確に示している。方法は異なるが、子安の研究 (子安, 1983, 1990b; Koyasu, 1987) も同様の事実を示している。前後と左右の間に差がないことを示した研究 (Jacobsen & Waters, 1985) もあるが、これは2年生 (7歳児) と5年生 (9歳児) についての結果であり、幼児に関しては、前後よりも左右の関係の方が理解しにくいと言ってよいだろう。

3つの空間軸の中で左右の精緻化の発達が最も遅れる理由として、物体の左右は上下や前後に較べると情報価が低いからだとする説がある。たとえば、Rock, DiVita, & Barbeito (1981) は、「垂直と知覚される軸に関する対称性のみが (あるいは、第一義的に) 知覚された対称性に基づくのは何故か。その説明は、空間の左側と右側は記述的に等価な領域だが、上下はそうでないという事実と結びついていることを我々は指摘したい。実世界の事物は、左右 (sidedness) の違いによって別の物になることはなく、実際、後ろから近づけば、いわば左右が場所を移すのである。「左」と「右」は、世界を特徴づけるものではない。それは、ある瞬間の我々の自己中心的座標の投影に基づく、カゲロウのような方向性なのである」(720ページ) と述べている。

しかし、この説明ではまだまだ不十分であろう。これは、ワイヤー図形という特殊な物体の実験から出てきた説明であり、あらゆる物体について成り立つものではないし、第一、左右が何故幼児期までの子どもに理解されにくいのかについて、何も説明してくれない。

筆者は、この点に関してさらに踏み込んだ説明を得るためには、発達心理学のみに依拠するのではなく、物体の刺激特性を分析する枠組みとしてのコンピュータ・グラフィックス理論と、被験者の反応特性を理解する枠組みとしての神経心理学の2つを参照することが重要であると考えている。以下、この2つについて、順次述べていくことにする。

5. 2. コンピュータ・グラフィックスの基本概念

3つの山問題の解決には、3次元空間に存在する物体を他視点から見たときの光景を2次元平面に3次的に表象する能力が含まれる（そうでないと、他視点から見た絵や写真を同定することができない）。Fishbein, Lewis, & Keiffer (1972) に始まった回転反応課題（3.10.節参照）の中で、提示刺激も3次元、反応方法も3次元という条件で行なわれた実験（例：Gollin & Sharps, 1987）は、一見3次元の対象物から別の3次元の対象物への直接的変換課題のようであるが、この課題解決過程においても何らかの2次元平面に投影された表象が介在する可能性が高いように思われる。そのことは今はさておき、3つの山問題が3次元空間の対象物を2次元平面に表象する能力を含むものであるとすれば、コンピュータ・グラフィックス（computer graphics, 以下「CG」と略することがある）の理論が3つの山問題の課題構造を理解する上で有効ではないか、と筆者は考えている。その議論の前提となる知識を整理するために、この節ではまずCGの基礎理論についてまとめておく。そして次節において、CG理論に基づく3つの山問題の再解釈を試みる。

コンピュータは、入力された情報を最終的に2進法で計算処理するので、1/0形式にあてはめやすいデータを扱うのは得意であるが、視覚的情報のような複雑なものを扱うのは本来得意とするところでない。コンピュータ科学では、人間の視覚的情報に相当するものを画像（image, picture）という用語で表わす。画像とは「2次元平面上での濃淡や色彩の分布によって表現された情報」（長尾他, 1990）と定義される。コンピュータで画像を取り扱う場合、入力された画像から3次元物体の特徴をとらえようとする方向と、3次元物体の特徴の記述に基づいてそれを画像に表現しようとする方向の2つの研究方向がある。前者の方向は、広くはコンピュータのパターン認識の問題（長尾, 1985参照）に含まれるが、いわゆるコンピュータ・ビジョン（computer vision）の研究、あるいは、その下位分野としての物体認識（object recognition）の研究と呼ばれるものがこれに相当する。そして、後者の方向がコンピュータ・グラフィックス（CG）である。

3つの山問題における空間認知の研究は、CGよりもむしろコンピュータ・ビジョンの研究の方により関係が深いといえるかもしれない。しかし、両者は密接に関連するものであるし、現段階ではCGの方が理論的にも技術的にも完成度が高いように筆者には思われるので、ここではCG表現の概念を援用しながら3つの山問題を考えていくことにしたい。なお、CGは平面図形を扱う2次元グラフィックス、立体図形を扱う3次元グラフィックス、そして最近では4次元空間での図形処理を行なう4次元グラフィックス（宮崎・石原, 1989）まで実用化されているが、ここでは3次元グラフィックスに限定して議論を進める。

現実の複雑な3次元の物体を画像として表現するためには、情報を圧縮し単純化する必要がある。このような処理をモデリング、モデリングの結果できあがったデータをモデルと呼ぶ。モデリングは、物体の形状、表面の肌理、光源の位置、運動や変化、視点の位置や視野の角度など、様々な条件を考えて行なわれる（太田・竹内・大口, 1986）。その中でもまず第一に重要なのは、物体の形を表現する形状モデリング（geometric modeling）であろう。

形状モデリング CGで3次元の立体図形を描く場合、図形を針金のような線だけで表わすことを線モデリング（wire modeling）、それによって表わされるものをワイヤーフレーム・モデルという。ワイヤーフレーム・モデルでは、本来見えるはずのない隠線（hidden line）が見えた

ままになっている。そのため、多くの場合不自然に見えるし、描かれる物体が複雑な場合や数が多い場合には、線が錯綜して互いに区別がつかなくなる。

次に、ワイヤーフレーム・モデルに面を貼りつけた形のものを考えることを面モデリング (surface modeling), それによって表わされるものをサーフィス・モデルという。このモデルでは、ある任意の点がある面の内部にあるか外部にあるかを決定することができる。また、隠線だけでなく隠面 (hidden surface) を消去することができる。2つ以上の物体の間に重なりによる遮断 (occlusion) が生ずる場合でも、隠面消去によって前後関係を表現することができる。

最後に、物体を切断しても中身が詰まった完全な立体を表現するものを立体モデリング (solid modeling), それによって表わされるものをソリッド・モデルという。このモデルでは、任意の点がある面の内部にあるか外部にあるかだけでなく、物体の内部にあるか外部にあるかも決定することができる。これにより、切断して物体内部を示したり、内部の屈折率や重心を計算することが可能になる。

一般にCGでは、物体をポリゴン (多角形) で近似して、3次元直交座標上の点の集合として表現することが行なわれる。図9は、視点座標系 (左手系) における座標軸のとり方を示すもので、x軸は空間の左右を、y軸は上下を、z軸は前後を表わしている。物体の隠面消去法の1つにzバッファ法と呼ばれるものがあるが、これはポリゴン上の各画素のz値を記憶しておき、2つの面が重なる時はz値が小さい方の画素の色データを上書きすることで隠面を消去する手続きをいう (太田・竹内・大口, 1986)。

レイ・トレーシング 物体の影や表面の肌理 (texture) は、様々な陰影を作り出す。本論から少し外れるが、谷崎潤一郎 (1933~34) は『陰翳礼賛』の中で、日本の伝統文化が暗がりの中に美を求めることを指摘し、漆器、蒔絵、金襴、金屏風、能舞台、鉄漿^{おはぐろ}などの美しさはぼんやりとした薄あかりの中でこそ本領を発揮するのであり、羊羹やたまり醤油の色合いの深さも闇が堆積した色に通ずる、と述べている。

さて、CGによる陰影表示 (shading) の方法として、レイ・トレーシング (ray tracing) がある。これは、光線追跡法または視線 (逆) 探索法などと訳されることもある。レイ・トレーシングとは、スクリーン上の各画素を通る視線ごとに物体と交わる点を探して交点計算を行ない、その物体が不透明な場合には反射レイ、透明な場合には屈折レイをのぼして、それが別の物体と交わる点をまた計算するということを有限回繰り返す、画素に塗る色を決定していく方法をいう (太田・竹内・大口, 1986; Suffern & Murray, 1990)。レイ・トレーシングを用いれば、物体表面の光の反射率や透過率、近くにどんな物体があるかなどの情報を入力し、物体やその影の微妙な陰

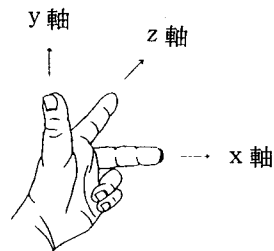


図9 視点座標系 (左手系) の座標軸のとり方

点の座標値 (x, y, z) を平行移動、回転移動、拡大・縮小し、新しい座標値 (X, Y, Z) を得るためには、次のような行列計算を行なう。

$$\begin{bmatrix} X & Y & Z & 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} x & y & z & 1 \end{bmatrix} T \dots\dots\dots(1)$$

A. 平行移動

x 軸方向の移動量を l , y 軸方向の移動量を m , z 軸方向の移動量を n とすると、変換行列 T_d は次の式で表わされる。

$$T_d = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ l & m & n & 1 \end{pmatrix} \dots\dots\dots(2)$$

B. 回転移動

x 軸の回りに α° , y 軸の回りに β° , z 軸の回りに γ° 回転させるための変換行列をそれぞれ T_{rx} , T_{ry} , T_{rz} とすると、これらは次の式で表わされる。

$$T_{rx} = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \cos\alpha & -\sin\alpha & 0 \\ 0 & \sin\alpha & \cos\alpha & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \dots\dots\dots(3)$$

$$T_{ry} = \begin{pmatrix} \cos\beta & 0 & \sin\beta & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ -\sin\beta & 0 & \cos\beta & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \dots\dots\dots(4)$$

$$T_{rz} = \begin{pmatrix} \cos\gamma & -\sin\gamma & 0 & 0 \\ \sin\gamma & \cos\gamma & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \dots\dots\dots(5)$$

C. 拡大・縮小

倍率を S ($S > 1$ なら拡大, $S < 1$ なら縮小) とすると、変換行列 T_s は次の式で与えられる。

$$T_s = \begin{pmatrix} S & 0 & 0 & 0 \\ 0 & S & 0 & 0 \\ 0 & 0 & S & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \dots\dots\dots(6)$$

図10 平行移動、回転移動、拡大・縮小のための行列計算（佐藤，1986）。

影を表現することが可能になる。

座標変換 物体の運動や物体そのものの变化、物体を見る視点の位置の変化、物体までの距離の変化、および物体をとらえる視角の変化は、すべて人間の眼の網膜像上の変化を引き起こす。CGでは、物体を近似的に表わすポリゴンの各頂点の座標 (X_n, Y_n, Z_n) の値を行列計算で変換して、このような網膜像上の変化に対応する画像を作り出す。物体の平行移動、回転移動、拡大・縮小を表わすための計算式は、図10のようなになる。なお、この図において、変換行列Tがすべて4行4列になっているのは、各変換をいくつか組み合わせて計算できるようにダミーの行または列を入れてそろえてあるのである。

座標変換においては、物体の動きと視点の動きは向きが逆である。そこで、次のような関係が成り立つ (佐藤, 1984)。

- (a) 視点の平行移動は、物体が逆の方向に平行移動したのと同じである。
- (b) 視点の回転は、物体が視点を中心として逆の方向に回転したのと同じである。
- (c) 物体が自分自身を中心として回転することは、視点が物体を中心として逆の方向に回転したのと同じである。

ここで、視点を中心とする回転と物体を中心とする回転を区別する必要がある。

まず、視点を中心として回転する場合であるが、x軸を中心として回転することをピッチ (pitch)、y軸を中心として回転することをヘディング (heading)、z軸を中心として回転することをバンク (bank) という (佐藤, 1984)。この表現は、航空工学の用語を借用したものと思われる。そして、この場合には、図10の変換行列による計算をそのまま用いることができる。

次に、物体が自分自身を中心として回転する場合は少し複雑になり、物体の回転中心を視点座標系の原点に平行移動し、座標原点を中心に物体を回転させ、物体を再び元の位置に平行移動する、という3段階の計算手続きをとらなければならない。

視角の変化 物体をとらえる視角の変化は、平行移動や回転とは別の表現をとる。視角の変化は、z軸に直交する平面への投影において生ずる。いま、その投影面を一边 $2k$ の正方形、視点から投影面までの距離を h 、視角を θ とすると、図11に示す関係式が成り立つ (佐藤, 1984)。視角 θ を大きくするということは、広角レンズで写真を撮ったことに相当し、物体が小さく見えることになる。

アニメーション 物体の運動や視点の位置の時間的变化などをCG表現においてスムーズに見せるために、リアルタイム・アニメーション (real time animation) の技法が用いられる。C

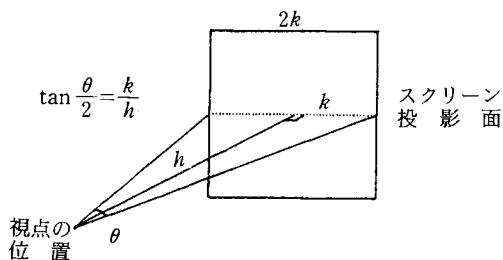


図11 視角と投影面に関する法則。

投影面を一边 $2k$ の正方形、視点と投影面の距離を h 、視角を θ とすると上記の式が成り立つ。

Gでは1枚1枚の画像をフレームというが、リアルタイム・アニメーションとは1秒間に15ないし30フレームを表示するものをいう（Suffern & Murray, 1990）。しかし、これらのフレームについてすべての画像を作り上げることは労力などの点で実際には不可能である。そこで、例えば1秒ごとにキーフレームを設定し、その中間のフレームは計算で補間するということが行なわれる。

5. 3. CG表現による3つの山問題の再解釈

前節では、CG表現の基本概念について要約した。そこで次に、このような知識が幼児の空間的自己中心性の研究にどのように関連するかについての筆者の見解を述べる。

(1) CG理論による課題および反応の分析

第一は、3つの山問題やその関連実験の課題構造を分析したり、この課題に対する子どもの反応や表象を推定するのに、CGの理論が役に立つのではないかということである。このことを形状モデリング、レイ・トレーシング、座標変換のそれぞれについて考えてみよう。

形状モデリングに関しては、城の一連の研究（城, 1984他）が「点モデル」、Rockらの一連の研究（Rock, DiVita, & Barbeito, 1981他）がワイヤーフレーム・モデルに相当するが、それ以外の研究はサーフィス・モデルないしはソリッド・モデルに相当する条件で行なわれていると考えられる。

レイ・トレーシングの考え方は、物体を観察するときの光源と影の条件の重要性を示唆するものであるが、3つの山問題ではほとんどの場合この変数に対する配慮が行なわれていない。Rockらの実験（Rock, DiVita, & Barbeito, 1981他）では、夜光塗料を塗ったワイヤー図形を箱の中に置き、紫外線で照明する方法で条件統制が行なわれたが、それ以外の研究では、光と影の条件についてまったく触れられていないと言ってよい。しかし、光源の条件は統制変数として意識しておく必要があるだろう。なお、3つの山問題とは直接関係がないので詳しい説明を省くが、DeVries (1986) が2歳から9歳までの子どもの「影」についての概念を実験的に検討した論文を発表していることを付言しておく。

座標変換に関しては、CG表現は、物体の回転がx軸、y軸、z軸のどの軸に関して生ずるものかを常に考慮に入れる必要があることを示している。通常の3つの山問題は、y軸に関する回転課題であると言える。これに対し、城の一連の実験（城, 1984他）や、加藤（1986, 1989）の実験には、x軸に関する回転が含まれている。また、Hughesら（Hughes, 1986他）や子安（1986, 1987）が用いたタートル・グラフィックスにおけるタートルの左右回転は、z軸に関する回転である。

さらに鈴木の一連の研究（鈴木, 1985他）でのT, M, Gの各反応（図7参照）は、元の配列を被験児を中心に「y軸に関して180°回転」、「x軸を中心に180°回転」、「z軸のマイナス方向に平行移動」という処理をそれぞれ行なうことによってできるものである。勿論ここでは、被験児がそのような処理をして表象を作り出していると言っているのではなく、CG表現で反応を記述する可能性について論じているにすぎない。

高野（1987）は、メンタル・ローテーション（mental rotation）に関する理論的考察の中で、Shepard & Metzler（1971）のオリジナルの研究がy軸に関する回転で行なわれたのに、その後

のほとんどの研究者は z 軸に関する回転しか扱っていないという意味のことを述べている。ところが、3つの山問題の研究は、まさに y 軸に関するメンタル・ローテーションの研究に他ならないし、上述のように x 軸、 z 軸に関する回転を扱った実験も行なわれている。その意味において、3つの山問題の研究とメンタル・ローテーションの研究は、今後理論的に統合されていく必要がある。

以上のような回転軸の問題の他に、視点を中心とする回転と物体を中心とする回転では、後者の方が計算がより複雑であるということにも注意する必要がある。これは、先に Rock らの研究を概観したとき(4.5.節)に少し言及した、Marr (1982) の「観察者中心座標系」と「物体中心座標系」の区別の問題と関連する。高野(1987)は、物体中心座標系を仮定しない方がシンプルな理論体系になると述べているが、そうすると他者の視点を中心とする物体の見え方の理解過程はどのように説明されるのであろうか。この点については、今後さらに詳しく理論的整理を行っていく必要がある。

(2) CG表現と子どもの表象の違い

第二には、仮にCG表現によって子どもの表象をディスプレイ上に再現することが可能になったとしても、CG表現と子どもの表象とではその生成の仕方や表象変換の困難さが異なるということに注意を払う必要がある。このことを、3.7.節でも引用した福田(1988)の研究を手がかりとして考えてみよう。

福田(1988)は、同一の刺激材料を用いるが教示の一部を変更することによって3つの山問題(福田は「三つ山型課題」と呼んでいる)とメンタル・ローテーション問題を構成し、両条件の違いを発達的に検討している。3つの山問題では、4個の立体を置いたボードが動かないことを被験者(小学1年生、3年生、5年生、大学生)に確認させ、「白い線(マーカー)のところにあなたが行って、ボードの上のものを見たとしたら」どう見えるかが尋ねられたが、メンタル・ローテーション問題では、ボードが回転することを確認させ、「ボードを回して白い線を置いた辺を自分の前にもってきたとしたら」どう見えるかが尋ねられた(回答は、写真選択による)。平均得点の結果では、3年生のみメンタル・ローテーション問題の方が値が高く、3つの山問題とメンタル・ローテーション問題の相関係数では、5年生と大学生のみが有意な正の相関を示した。この結果から福田は、「発達の初期には両課題に要する操作能力が別々に発達するが、5年生ごろに2つの操作の関係が密接になってくる」と解釈した。

ところがCG表現では、物体の背景がないと仮定した場合(Gregg, 1978などわずかな例外はあるが、空間的自己中心性の研究で実験室の窓やドアといった背景の手がかりについて述べている研究は少ない)、3つの山問題とメンタル・ローテーション問題はまったく同じことなのである。何故かと言えば、前述のようにCGでは視点を中心とする回転と物体がそれ自身を中心とする回転は計算手続き上区別されるが、物体を中心とする視点の回転(3.7.節の分類でいう「自己イメージ回転課題」)は、実は物体がそれ自身を中心として逆方向に回転することによって表現されるので、CG表現において3つの山問題とメンタル・ローテーション問題を区別することができないのである。

CG表現と人間の表象の違いは、形状モデリングの場合にも生ずる。CGでは、点の座標を表わすのは最も簡単なことであり、ワイヤーフレーム・モデル、サーフィス・モデル、ソリッド・

モデルの順に計算手順が複雑になっていく。ところが、人間の情報処理においては、情報量が多くなるほどそれに比例して処理量が増えるのではなく、情報の中に冗長 (redundant) な成分があれば、それをうまく利用して処理が促進される場合が少なくない。例えば、トランプのカードに色の要因がなくなった場合(カードすべてが黒である場合)、カードを見て一瞬でスペードかハートかを区別することはむしろ難しくなる。

このように考えると、CGでは最も簡単な点の座標位置の変換に相当する城の実験課題(城, 1984他)が、小学生にとっても決してやさしくないことの理由の一端が理解できる。同様の理由で、CGで言えばワイヤーフレーム・モデルに当たるRockらのワイヤー図形を用いた課題(Rock, DiVita, & Barbeito, 1981他)が大人にとって難しいことは、十分理解可能である。

5. 4. 神経心理学からの考察

次に、3つの山の問題について神経心理学の観点から検討する。現在までのところ、3つの山の問題あるいは空間的自己中心性について神経心理学的に検討した論文や著書はほとんど見られない。数少ない例外の1つは、脳梁無形成症 (callosal agenesis, agenesis of corpus callosum) の姉弟について調べた Temple & Vilarroya (1990) の研究である。これは、先天的に脳梁の神経繊維を欠いた6歳11カ月の女兒と5歳0カ月の男児に3つの山問題と「警官と強盗」問題(十字型に組んだ壁の1カ所にいる警官に見えない位置に人形を置く課題)ほかを与えたものである。「警官と強盗」問題は姉弟共に一応正答したが、3つの山の問題は姉のみに可能であった。この結果から、Temple & Vilarroya (1990) は、脳梁無形成症の子どもでも左右の脳を統合し、視点取得を行なえることが示されたと結論している。

さて、筆者の当面の関心は、3つの山問題が空間認知の障害の神経心理学的診断方法として有効であるかどうかということにはない。筆者が神経心理学的知見の重要性を感じるのは、幼児の左右概念の理解に関する説明を考える時、脳の左右半球の機能差の問題を考慮にいれない限り、うまく説明できそうにもないからである。

先に筆者が示したように、幼児は5～6歳になってもなお左右の自己中心性を根強く持っている(子安, 1983, 1990b; Koyasu, 1987)。この現象は、幼児に一般的に見られる、①正像と鏡映像を類同視する傾向の強さ、②鏡映書字の出現率の高さ、③両手利きの傾向の強さ、といった現象と併せて考える必要がある(この他、対称関係に比べて非対称関係の理解が困難であるという現象もある)。

まず①については、田中(1978)の研究において、幼児が文字や図形の正像に最も似ているものとして鏡映像を選択する傾向が明らかにされている。この研究の被験者は、5歳から14歳の各年齢の男女60人であった。材料は、標準刺激として平仮名6文字(り、も、す、ち、の、る)と幾何学的図形6種であり、比較刺激として45°右回転像、90°右回転像、180°回転像、左右反転(鏡映)像、上下逆位(鏡映像の180°回転)像の5タイプをランダム順に並べたものである。課題は、標準刺激に一番よく似ているものを比較刺激の中から1つ選び鉛筆で丸をつけるもので、5・6歳児は個別に、7歳児以上は集団で実施された。その結果、5・6歳児では文字・図形共に鏡映像を選択するものが過半数を越え、年齢と共に45°右回転像が鏡映像にとって代わるが、その時期は文字で6歳から7歳の間、図形で7歳から8歳の間となった。

次に、②の鏡映書字の出現率の高さと③の両手利きの傾向の強さについては前原（1989）のデータがある。鏡映書字の調査は、6歳から96歳の健常者9,500人を対象に、左手と右手で「今日は良い天気です」と書かせる方法で行なわれた。年齢別の出現率の結果では、年少児の6～7％に鏡映文字が現れるが、女子で9歳、男子で10～11歳頃に一旦減少する。ところが50歳代以降の中年・老年期になるとまた鏡映文字が出現するのである。このことは、老人にも空間的自己中心性が見られるとする Walsh, Krauss, & Regnier (1981) の知見（3.11.節参照）とよく整合している。また、両手利きの傾向については、6歳から93歳の約9,000人を対象に、「文字を書く」「ハシをつかう」「マッチをする」など10種の動作について使用する手を調べた調査の結果から、10歳ころまでは右手利きの頻度が低いことが示されている。

前原（1989）は、鏡映書字について、なぜ出現するかではなく、どのように抑制されているかを考えるべきであると述べている。このことは、大脳の中に正像の表象だけでなく鏡像の表象が存在し、両者が（おそらく大脳半球間で）競合することを含んでいる。では、どうして大脳の中に正像の表象だけでなく鏡像の表象が存在するのであろうか。図12は、Corballis & Beale (1976) による説明である。すなわち、記憶表象の場合には、片方の半球に入った情報がもう片方の半球に転送される時、神経系が構造上対称形をなしているので、反転が生じ鏡像になるというものである。しかし、このことは知覚情報では生じない。何故なら、もし知覚情報の反転情報が存在すれば、物が重複して見えることになるからである。

以上のような説明を対称的転移（homotopic transfer）仮説という。しかし、この説の真偽については、まだ明確な結論が得られていない（杉下, 1985）。

幼児期に見られる左右の自己中心性、正像と鏡映像の類同視、鏡映書字、両手利きの傾向といった現象が児童期に消失していくのは何故であろうか。それには、読み書きの教育が大きな役割を果たしているようである。左から右への眼球の走査や書字は、一貫した非対称性をつくりあげる。また、書字などによって利き手が分化することは、反応システムにおいて左右を区別する大

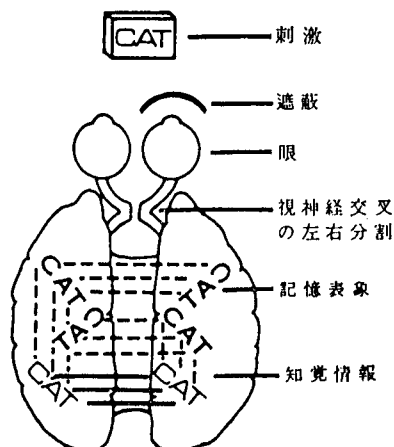


図12 対称的転移仮説の説明図（Corballis & Beale, 1976）。知覚情報は半球間の転移によって反転しないが、記憶表象は反転すると仮定される。視神経交叉の左右分割や片眼の遮蔽は、説明上必要な条件ではない。

きな手がかりとなる。田中（1978）の類同視の研究において、鏡映像が45°右回転像にとって代わられる時期が文字で6歳から7歳の間、図形で7歳から8歳の間であったという結果は、読み書きの教育の効果を考える上で大変示唆的な事実である。

神経心理学的な説明といえども、多くの仮説の積み重ねの上に成り立っているわけであるが、認知発達研究だけでは十分に解明できないことがらについて、多くの示唆を与える豊かな可能性を持っていると言えよう。

6. 結 語

筆者がここまで述べてきたことは、幼児の空間認知の発達に関する一定の結論というよりも、現時点までの知見の整理と再解釈、および、今後の発展方向に対する示唆とでもいうべきものである。

これまで述べてきたように、3つの山問題は解決済みの問題ではない。原研究から40年以上も経つというのにまだ研究が続いていると言え、分野によっては研究者の怠慢と思われることだろう。しかしながら、空間的表象という他人の目には見えないものを、実験場面での被験児の行動を通じて推測し、それに基づいて説明の体系を構築しようとすることは、もともと大変もどかしい行為なのである。とはいえ、そこに安住することなく、様々な関連領域での理論・方法・知見を積極的に取り入れながら考えていくことが重要である。

最後に、今回はほとんど取り上げることができなかったが、もう1つの重要な関連研究領域として、幼児の描画(drawing)の問題があることを指摘しておきたい。これについては、また別の機会に論ずることにしたい。

文 献

- 麻生武 1980 子供の他者理解——新しい視点から——. 心理学評論, 23, 135-162.
- Bower, T.G.R. 1989 *The rational infant : Learning in infancy*. New York : W.H.Freeman & Co.
- Bullock, M., & Gelman, R. 1977 Numerical reasoning in young children : The ordering principle. *Child Development*, 48, 427-434.
- Corballis, M.C., & Beale, I.L. 1976 *The psychology of left and right*. Hillsdale, NJ : Lawrence Erlbaum Associates. 白井常・鹿取廣人・河内十郎（訳）, 『左と右の心理学』, 紀伊國屋書店, 1978.
- Cox, M.V. 1978a Order of the acquisition of perspective-taking skills. *Developmental Psychology*, 14, 421-422.
- Cox, M.V. 1978b The development of perspective-taking ability in children. *International Journal of Behavioral Development*, 1, 247-254.
- Cox, M.V. 1980 Visual perspective-taking in children. In M.V.Cox (Ed.), *Are young children egocentric?* Batsford Academic and Educational Ltd, Pp. 61-79.
- Cox, M.V., & Willetts, E. 1982 Childhood egocentrism : The order of acquisition of before-behind and left-right relationships. *British Journal of Educational Psychology*, 52, 366-369.
- DeVries, R. 1986 Children's conceptions of shadow phenomena. *Genetic, Social, and General Psychology Monographs*, 112, 479-530.
- Eiser, C. 1976 Questions children ask about spatial arrays : An analysis of the processes involved in co-ordinating perspectives. *British Journal of Educational Psychology*, 46, 203-211.

- Fishbein, H.D., Lewis, S., & Keiffer, K. 1972 Children's understanding of spatial relations : Coordination of perspectives. *Developmental Psychology*, **7**, 21-33.
- Flavell, J.H. 1974 The development of inferences about others. In T.Mischel (Ed.), *Understanding other persons*. Oxford : Basil Blackwell, 1974, Pp. 66-116.
- Flavell, J.H., Shipstead, S.G., & Croft, K. 1980 What young children think you see when their eyes are closed. *Cognition*, **8**, 369-387.
- 福田由紀 1988 視点操作能力の発達について——三つ山型課題とメンタル・ローテーション型課題の比較——. 日本心理学会第52回大会発表論文集, 666.
- Gardner, H. 1985 *The mind's new science : A history of the cognitive revolution*. New York : Basic Books. 佐伯胖・海保博之 (監訳), 『認知革命——知の科学の誕生と展開』, 産業図書, 1987.
- Gelman, R. 1972 Logical capacity of very young children : Number invariance rules. *Child Development*, **43**, 75-90.
- Gelman, R. 1979 Preschool thought. *American Psychologist*, **34**, 900-905. 子安増生 (訳), 就学前児の思考. 波多野誼余夫 (監訳), 『現代児童心理学 3 子どもの知的発達』, 金子書房, 1981, Pp. 25-42.
- Gelman, R., & Tucker, M.F. 1975 Further investigations of the young child's conception of number. *Child Development*, **46**, 167-175.
- Gibson, E., & Walk, R.D. 1960 The "visual cliff". In R.C. Atkinson (Ed.), *Readings from Scientific American : Contemporary psychology*. San Francisco : W.H. Freeman & Co., 1971, Pp. 77-84.
- Gollin, E.S., & Sharps, M.J. 1987 Visual perspective-taking in young children : Reduction of egocentric errors by induction of strategy. *Bulletin of the Psychonomic Society*, **25**, 435-437.
- Gregg, L.W. 1978 Spatial concepts, spatial names, and the development of exocentric representation. In R.S. Siegler (Ed.), *Children's thinking : What develops?* Hillsdale, NJ : Lawrence Erlbaum Associates, Pp. 275-290.
- Gregory, R.L. 1970 *The intelligent eye*. London : Weidenfeld & Nicolson. 金子隆芳 (訳), 『インテリジェント・アイ——見ることの科学』, みすず書房, 1972.
- Hughes, M. 1986 *Children and number : Difficulties in learning mathematics*. New York : Basil Blackwell.
- Hughes, M., Macleod, H., & Potts, C. 1985 Using LOGO with infant school children. *Educational Psychology*, **5**, 287-301.
- Ives, S.W. 1980 Preschool children's ability to coordinate spatial perspectives through language and pictures. *Child Development*, **51**, 1303-1306.
- Ives, S.W., & Rakow, J. 1983 Children's use of feature descriptions to solve spatial perspective and rotation problems. *British Journal of Educational Psychology*, **53**, 143-151.
- Jacobsen, T.L., & Waters, H.S. 1985 Spatial perspective taking : Coordination of left-right and near-far spatial dimensions. *Journal of Experimental Child Psychology*, **39**, 72-84.
- 城仁士 1984 空間表象における座標系の変換能力の発達. 心理学研究, **55**, 242-245.
- 城仁士 1985 空間表象における座標変換ルールシステムの形成. 教育心理学研究, **56**, 8-14.
- 城仁士 1988 空間位置の視点変換と遊戯活動. 日本心理学会第52回大会発表論文集, 67.
- 城仁士 1990 立体の投影・構成行為の発達と形成. 風間書房.
- 城仁士・花岡真 1984 投影行為における座標変換システム. 日本教育心理学会第26回総会発表論文集, 794-795.
- 加藤健二 1986 視点変換課題の分析——迷路学習成績との関連性——. 日本心理学会第50回大会発表論文集, 229.
- 加藤健二 1989 Cognitive mapping と視点変換——マイコン・グラフィックスを用いた迷路学習課題と視点変換課題の遂行成績の関係. 東北学院大学論集 (人間・言語・情報), **94**, 1-15.
- Kay, A. 1990 Point of view is worth 80 IQ points : The user interface as an amplifier of human endeavour. In A. McDougall & C. Dowling (Eds.), *Computers in education*. Amsterdam : North Holland. P. 4.

- Kielgast, K. 1971 Piaget's concept of spatial egocentrism : A reevaluation. *The Scandinavian Journal of Psychology*, **12**, 179-191.
- 子安増生 1982 「前操作的」児童の認知的コンピテンスとパフォーマンス. 天岩静子（編）, 『ピアジェ派心理学の発展II——認知発達研究』, 国土社, Pp. 59-88.
- 子安増生 1983 幼児の視点の自己中心性について. 日本心理学会第47回大会発表論文集, 470.
- 子安増生 1986 子どものコンピュータ・リテラシーの教育——LOGO プログラミングの学習を中心に——. 愛知教育大学教科教育センター研究報告, **10**, 201-211.
- 子安増生 1987 幼児にもわかるコンピュータ教育——LOGO プログラミングの学習. 福村出版.
- Koyasu, M. 1987 Spatial egocentrism in young children : Understanding of the right-left relationship. *Paper presented at the IX Biennial Meetings of the International Society for Study of Behavioral Development*, 19.
- 子安増生 1990a 幼児の空間的自己中心性（I）——Piagetの3つの山問題とその追試研究——. 京都大学教育学部紀要, **36**, 81-114.
- 子安増生 1990b ビデオ・フィードバックによる幼児の空間的自己中心性の脱中心化過程に関する研究. 日本発達心理学会第1回大会発表論文集, 76.
- Liben, L.S. 1978 Perspective taking skills in young children : Seeing the world through rose-colored glasses. *Developmental Psychology*, **14**, 87-92.
- 前原勝矢 1989 右利き・左利きの科学——利き手・利き足・利き目・利き耳……. 講談社（ブルーバックス）.
- Marr, D. 1982 *Vision : A computational investigation into the human representation and processing of visual information*. New York : W.H.Freeman & Co. 乾敏郎・安藤広志（訳）, 『ビジョン——視覚の計算理論と脳内表現——』, 産業図書, 1987.
- Masangkay, Z.S., McCluskey, K.A., McIntyre, C.W., Sims-Knight, J., Vaughn, B.E., & Flavell, J.H. 1974 The early development of inferences about the visual percepts of others. *Child Development*, **45**, 357-366.
- 松村暢隆 1990 幼児の知的発達. 関西大学出版部.
- 松崎洋子・佐伯胖・鈴木忠 1986 身体—空間表象の発達（II）. 日本教育心理学会第28回総会発表論文集, 680-681.
- 宮崎興二・石原慶一 1989 4次元グラフィックス——高次元CGへの道. 朝倉書店.
- 長尾真 1985 コンピュータのパターン認識. 東大出版会（認知科学選書3）.
- 長尾真・石田晴久・稲垣康善・田中英彦・辻井潤一・所真理雄・中田育男・米澤明憲 1990 岩波 情報科学辞典. 岩波書店.
- Newcombe, N. 1989 The development of spatial perspective taking. In H.W. Reese (Ed.), *Advances in child development and behavior*. New York : Academic Press, Pp. 203-247.
- 太田昌孝・竹内あきら・大口孝之 1986 応用グラフィックス. アスキー出版局.
- Papert, S. 1980 *Mindsorms : Children, computers, and powerful ideas*. New York : Basic Books. 奥村貴世子（訳）, 『マインドストーム——子供, コンピューター, そして強力なアイデア』, 未来社, 1982.
- Piaget, J., & Inhelder, B. 1948 *La representation de l'espace chez l'enfant*. Paris : Presses Universitaires de France. Translated by F.J.Langdon & J.L.Lunzer, "*The child's conception of space*." London : Routledge & Kegan Paul, 1956.
- Piaget, J., & Inhelder, B. 1966 *La Psychologie de l'enfant*. Paris : Presses Universitaires de France. 波多野完治・須賀哲夫・周郷博（訳）, 『新しい児童心理学』, 白水社, 1969.
- Presson, C.C., & Somerville, S.C. 1985 Beyond egocentrism : A new look at the beginnings of spatial representation. In H.M.Wellman (Ed.), *Children's searching : The development of search skill and spatial representation*. Hillsdale, NJ : Lawrence Erlbaum Associates, Pp. 1-26.
- Rock, I., & DiVita, J. 1987 A case of viewer-centered object perception. *Cognitive Psychology*, **19**, 280-293.
- Rock, I., DiVita, J., & Barbeito, R. 1981 The effect on form perception of change of orientation in the

- third dimension. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, **7**, 719-732.
- Rock, I., Wheeler, D., & Tudor, L. 1989 Can we imagine how objects look from other viewpoints? *Cognitive Psychology*, **21**, 185-210.
- 佐伯胖・鈴木忠・松崎洋子 1986 身体-空間表象の発達 (III). 日本教育心理学会第28回総会発表論文集, 682-683.
- 佐藤義雄 1984 入門グラフィックス. アスキー出版局.
- 佐藤義雄 1986 実習グラフィックス. アスキー出版局.
- Shepard, R.N., & Metzler, J. 1971 Mental rotation of three-dimensional objects. *Science*, **171**, 701-703.
- Shantz, C.U., & Watson, J.S. 1970 Assessment of spatial egocentrism through expectancy violation. *Psychonomic Science*, **18**, 93-94.
- Shantz, C.U., & Watson, J.S. 1971 Spatial abilities and spatial egocentrism in the young child. *Child Development*, **42**, 171-181.
- Sigel, I.E., & Cocking, R.R. 1977 *Cognitive development from childhood to adolescence: A constructivist perspective*. Holt, Rinehart, & Winston. 子安増生 (訳), 『認知の発達——乳児期から青年期まで』サイエンス社, 1983.
- 杉下守弘 1985 言語と脳. 紀伊國屋書店.
- 鈴木忠 1985 身体移動と空間記憶 2. 日本教育心理学会第27回総会発表論文集, 122-123.
- 鈴木忠 1986 3つ山課題で「自己中心的エラー」をする幼児の空間認知について. 発達研究 (発達科学研究センター紀要), **2**, 137-146.
- 鈴木忠 1987 「行為媒介アプローチ」による空間認知のとらえなおし. 認知過程研究 (東京大学教育学部教育方法学研究室), **1**, 33-51.
- 鈴木忠・松崎洋子・佐伯胖 1986 身体-空間表象の発達 (I). 日本教育心理学会第28回総会発表論文集, 678-679.
- 鈴木忠・松崎洋子・佐伯胖 1987 身体-空間表象の発達 (IV)——行為の文脈と空間認識. 日本教育心理学会第29回総会発表論文集, 374-375.
- 鈴木忠・佐伯胖 1985 身体移動と空間記憶. 日本認知科学会第2回大会発表論文集, 71-72.
- Suffern, K.G., & Murray, M.J. 1990 A system for teaching rendering and animation techniques in computer graphics. In A.McDougall & C.Dowling (Eds.), *Computers in Education*. Amsterdam: North Holland. Pp. 305-310.
- 高野陽太郎 1987 傾いた図形の謎. 東京大学出版会 (認知科学選書11).
- 田中敏隆 1978 方向認知に関する発達——図形と文字について——. 教育心理学研究 **26**, 124-128.
- 谷崎潤一郎 1933~34 陰翳礼賛. 『経済往来』昭和8年12月号・9年1月号. (中公文庫, 1975).
- Temple, C.M., & Vilarroya, O. 1990 Perceptual and cognitive perspective taking in two siblings with callosal agenesis. *British Journal of Developmental Psychology*, **8**, 3-8.
- Walsh, D.A., Krauss, I.K., & Regnier, V.A. 1981 Spatial ability, environmental knowledge, and environmental use: The elderly. In L.S.Liben, A.H.Patterson, & N.Newcombe (Eds.), *Spatial representation and behavior across the life span*. New York: Academic Press, Pp. 321-357.