

資 料

小学生のメンタルローテーションと
知的能力との関係について

塩見 邦雄* 中 島 宏*

THE DEVELOPMENT OF THE ABILITY OF MENTAL ROTATION IN
CHILDREN AND ITS RELATIONSHIP WITH MENTAL ABILITIES

Kunio SHIOMI AND Hiroshi NAKASHIMA

The purpose of the present study was to investigate developmental progresses on the mental rotation in children. The subjects were 64 second-grade, 65 fourth-grade, and 62 sixth-grade primary-school children, and 44 university students. Four kinds of stimuli, that is, “2”, “5”, “よ”, “ろ” were used. These stimuli were rotated at an angle of 0°, 60°, 120°, 180°, 240° and 300° and presented to the subjects. They were asked whether the stimulus presented was the same as the non-rotated one. The results showed that there were developmental progresses in the correct responses and the reaction times by grades. Also, the relations between mental rotations and mental abilities showed that the strategies used in this problem were different by grades. Lower grade children were inclined to use spatial abilities while higher grade children were apt to use numerical and verbal abilities.

Key words: mental rotation, spatial ability, numerical ability, verbal ability, primary-school children

メンタルローテーション (mental rotation: 以下, MR と略記) の実験は, イメージ研究で最もよく知られている技法であり (高野, 1987), 一般には次のような方法でおこなわれる。被験者は, 互に同一か鏡像の関係にある図形の対を見せられるが, それらは互いに方向が異なるように片方を回転してある。被験者への課題は, 回転してあることを除いて, それらの図形が互いに同一であるか, 鏡像であるかを答えることである。

この方法は, Shepard & Metzler によって初めて用いられたが, 彼らや, その後の多くの研究者は, この課題の反応時間 (以下, RT と略記) が 2 つの図形の回転の角度差と一次関数関係にあることを見出した。Shepard らは, さらに, この線形関係が英数字や 2 次元の多角形や 3 次元のブロックを含む色々なタイプの刺激についてもあることを見出した (Shepard & Metzler, 1971;

Cooper & Shepard, 1973; 1975: Cooper, 1975)。

Shepard は, この結果を一連の処理過程, つまり (1) 刺激のイメージ化, (2) イメージを一致させるためのアナログ的な MR, (3) アナログ的な像の比較, (4) 筋肉運動による応答, を仮定することによって説明している。これらの過程が連続的で, それぞれが独立していることは, イメージ化と比較応答の過程が回転角度の差によって影響されないことを意味している。したがって, 角度の増加にともなう RT の増加はより大きな回転を心に描くために必要な時間の長さの増加によるものである。それゆえに, Shepard のモデルによれば, RT と回転角度の一次関数の傾きが MR の速さをあらわしていることになる。この関数の RT 切片は, イメージ化と比較と応答に必要な時間を表わしている。傾きと切片の 2 つのパラメーターは, 刺激のタイプによって変化することが分っている (Cooper & Shepard, 1978)。また, 性差については, 女性の傾きが男性よりも大きい, つまり回転速度が遅いこと

* 兵庫教育大学教育基礎講座 (Hyogo University of Education)

が示されている (Kail, Carter & Pellegrino, 1979; Tapley & Bryden, 1977)。

発達の研究では, Marmor (1975) は, 5歳の児童にはじめに自分の手で対象を実際に回転させて, 次に手を持ちいずに心のなかで回転するように教示する手続によってRTと角度の間に一次関数の関係があることを示した。これは前操作期の児童のイメージが静的な水準にとどまっていた, 操作的なことができないとする Piaget らの見解とは反する結果である。また, Kail et al. (1980) は, MR遂行の一般的な能力は8歳までに確立され, その後小学校の第3, 第4, 第6学年と進むにつれて傾きも切片も減少するが, いずれも大学生よりは高いことを示した。

RTの個人的な相違については, Shepard & Metzler (1971) でもすでに報告されており, Cooper & Shepard (1973) では, 反応の速いものと遅いものの2群にわけて検討している。上述のKail et al. (1980) は, Thurstoneの「基本的精神能力」のうち空間的關係の理解の仕方をあらわす因子がこれらの個人差を説明するだろうとの予測から, 2つのパラメーターと空間能力との相関を調べたが, 相関関係を見出すことはできなかった。

そこで, 本研究は, 児童のMRの発達の的な変化の検討をおこなってKailらの結果を確かめ, さらにKailらが調べていない空間能力以外の知的能力についてもMRとの関連をしらべる。具体的には, 小学生のMRの速さ, および切片の年齢による相違を調べ, さらに大学生と比較すること, また, それらとThurstoneの「基本的精神能力」に基礎をおいている京大NX式知能検査を使って, その数的因子や言語的因子までを含んだすべての下位検査との相関関係を調べることを目的とする。

方 法

1. 被験者

被験者は, 小学校2年児64名(男35名, 女29名), 4年児65名(男32名, 女33名), 6年児62名(男29名, 女33名), および, 大学生44名(男21名, 女23名, 平均年齢は20.2歳)である。実験は, 小学生児については, 昭和61年6月16日—7月7日に, 大学生については, 同年8月5日—8月9日におこなった。

2. 手 続

刺激

4種類の文字「2」「5」「よ」「ろ」を用いた。これらは, 鏡映像にしたり回転させたりしても, 別の文字に見えたりしないもので, 対称軸や対称の中心を持たないために選ばれた。回転の角度は0度から300度まで60度

間隔の6方向とし, それぞれ正常なものと鏡像を用意したので1つの文字について12, 全体で48の刺激があることになる。

刺激の提示

竹井機器工業製の図形発生装置 (Type CB-1) を使用した。これは, 図形をTV画面に表示する装置でプログラムによって表示する図形や表示の時間を制御できる。刺激は10cmの大きさに被験者から1m離れたTV画面の中央に提示された。

3. 課 題

2つの刺激を比較して, 回転の角度の相違を除いて同じかどうかを判断させる。2つの刺激は同時ではなく, 継時的に提示された。まず, 0度の正常な文字 (標準刺激) が3秒間提示され, なにも提示されない2秒間の空白のあとに同じ文字の12の刺激のうちの1つが比較刺激として提示された。被験者は, それらが回転の角度を除いて同じかどうかを判断し, 左右の手指でタイマーのボタンを押すことによって応答した。そして, 比較刺激が提示されてからボタンが押されるまでの時間をRTとして測定した。

実験は12回の測定を1ブロックとして, 練習としての2ブロックを除く2ブロック分のRTがデータとして採られた。1ブロック中に, 6通りの回転方向がランダムに2回ずつ登場するように刺激を配置したので, 1つの角度について4つのRTが測定されたことになる。課題の意味が分らずに, 誤反応の多い児童が2年生と4年生に若干名いたが, 彼らのデータは以後の分析からは除外された。また, 被験者ごとに測定された1つの角度に対する4つのRTは平均され, 以後の処理はこの値に基づきおこなわれた。そして, 実験終了後, どの様に課題を遂行したかを問うアンケートについて被験者に回答させた。

なお, 小学生の被験者については, 「新訂京大NX式知能検査 (8—12) 第1版」を施行した。この検査は, Thurstoneの知能の多因子説に基礎をおいたもので, 9つの下位検査によって構成されている, 集団用の検査である。それぞれの下位検査は1つの知的能力に対応しており, それらはさらに, 言語的因子, 空間的因子, 数的因子の3つの知能因子にまとめあげられている。各々の下位検査の知的能力は次の様になっている。つまり, 第1検査: (反対語) 言語的因子, 第2検査: (日常記憶) 言語的因子, 第3検査: (同図形発見) 空間的因子, 第4検査: (異質発見) 言語的因子, 第5検査: (点図形) 空間的因子, 第6検査: (数交換) 数的因子, 第7検査: (単語完成) 言語的因子, 第8検査: (数計算) 数的因子, 第9

検査：(単語マトリックス) 言語的因子，である。この知能検査の調査日に欠席したり，転校した児童がいたために，被験者数は実験時よりも2年生男子と4年生男女でそれぞれ1名ずつ減っている。

結果と考察

(1) 誤反応率について

角度と誤反応率の関係については，どの学年でも180度の誤反応が他の角度のものよりも多かった。また，学年と誤反応率との関係では，どの角度でも2年生の誤反応率が一番大きく，大学生の率が一番小さかった。4年生と6年生はその間にあり，ほぼ同率になっている。学年が進むにつれて誤反応が減る傾向があり，2年生と4年生の間で大きく減少し，それ以後徐々に減少して大学生のレベルにいたるものと思われる。誤反応率の結果をTABLE 1に示す。これを各角度ごとについて，すべての学年の対について χ^2 検定をおこなった。その結果，0°では，2年生と4年生，2年生と大学生間 ($.05 < p < .10$)，60°では，2年生と大学生間 ($.05 < p < .10$)，120°では，

TABLE 1 学年と誤反応率 (単位：%)

学年	0°	60°	120°	180°	240°	300°
2年生	16.4	15.1	25.0	41.8	24.6	18.5
4年生	6.8	7.8	15.2	28.1	12.1	8.6
6年生	8.3	7.9	17.7	33.7	14.5	11.5
大学生	2.6	2.0	7.7	14.8	4.6	4.6

TABLE 2 学年男女ごとのRTの平均とSD

	0°	60°	120°	180°	240°	300°
2年						
男子	2.04	2.10	2.21	2.39	2.20	2.04
n=32	(0.60)	(0.69)	(0.71)	(0.69)	(0.64)	(0.51)
女子	1.96	1.86	2.11	2.17	2.07	1.92
n=26	(0.62)	(0.58)	(0.58)	(0.72)	(0.61)	(0.54)
4年						
男子	1.62	1.57	2.05	2.28	1.92	1.71
n=31	(0.46)	(0.41)	(0.67)	(0.85)	(0.57)	(0.58)
女子	1.59	1.60	1.89	2.14	1.83	1.55
n=33	(0.41)	(0.50)	(0.53)	(0.71)	(0.53)	(0.43)
6年						
男子	1.13	1.16	1.40	1.48	1.45	1.14
n=29	(0.33)	(0.40)	(0.50)	(0.62)	(0.46)	(0.40)
女子	1.23	1.20	1.49	1.72	1.45	1.18
n=33	(0.41)	(0.34)	(0.50)	(0.62)	(0.39)	(0.33)
大学生						
男子	1.13	1.13	1.56	1.81	1.39	1.16
n=21	(0.38)	(0.41)	(0.77)	(0.84)	(0.60)	(0.52)
女子	1.05	1.08	1.36	1.61	1.24	1.11
n=23	(0.29)	(0.25)	(0.30)	(0.49)	(0.29)	(0.36)

() 内は標準偏差

(単位：秒)

2年生と大学生間 ($.02 < p < .05$)，180°では，2年生と大学生間 ($p < .001$)，6年生と大学生間 ($.025 < p < .05$)，240°では，2年生と4年生間 ($.05 < p < .10$)，2年生と大学生間 ($p < .001$)，300°では，2年生と大学生間 ($.025 < p < .05$)，にそれぞれ有意差がみられた。

(2) 傾きおよび切片の値と学年による変化について

まず，0度から300度までの6つの回転角度について，それぞれの学年，男女の群の平均RTと標準偏差を算出した。そして，学年×性×角度の分散分析をおこなうと，学年の主効果が有意 [$F(3, 220) = 35.65$, $P < 0.01$]，角度の主効果が有意 [$F(5, 1100) = 98.43$, $P < 0.01$]，そして，学年×角度の交互作用が有意 [$F(15, 1100) = 2.678$, $P < 0.01$] であった。性に関しては主効果も交互作用も有意でなかった。以上のことから，学年が進むにつれてRTが減少すること，角度が180度に近づくほどRTが増加すること，さらに角度によるRTの変化が学年によって違っていることが明らかになった。

TABLE 2は各学年男女ごとのRTの平均とSDを示したものである。そして，FIG. 1は男女を込みにした4つ

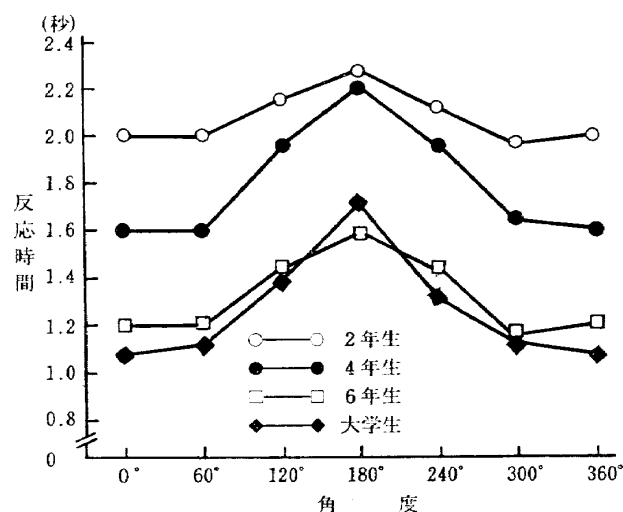


FIG. 1 学年ごとの角度とRT
(360°は0°の値をそのまま用いた。)

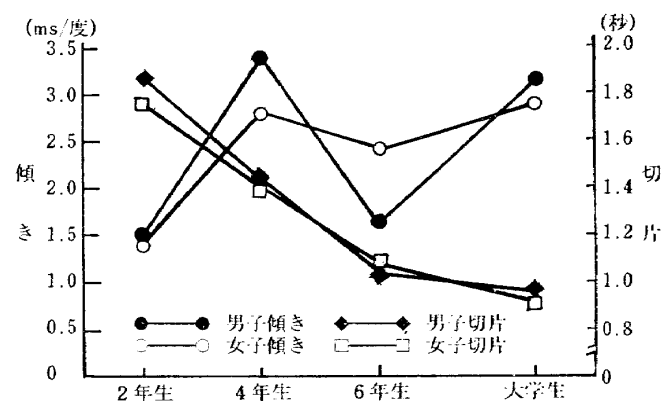


FIG. 2 学年男女ごとの傾きと切片

の学年の角度と平均RTの関係を示したものである。この図によれば、どの学年でもグラフは、180度を中心に山なりの形を描いている。このことは、角度とRTの一次関数的関係をうかがわせる。この関係を見るために被験者ごとに算出したRTの角度への回帰係数(傾き、切片)および R^2 から、群ごとの平均を算出した。 R^2 は2年女子の0.69を除き、0.9前後のかなり高い値を示したが(2年男子0.89, 4年男子0.87, 4年女子0.89, 6年男子0.86, 6年女子0.87, 大学生男子0.90, 大学生女子0.92), このことは、角度とRTの関係が一次関数でかなりよく近似されることを示している。また、FIG.2には、傾きと切片の学年による違いを図示した。傾きは1度あたりの回転に必要な時間をミリ秒単位であらわしてあり、小さいほどMRが速いことになる。

本研究とほぼ同じ条件でのCooper & Shepard (1973)は、大学生を被験者とした実験から傾きが約3.0, 切片が約0.5という値を得ている。本研究での大学生と比較すると、傾きはほとんど等しいことが分る。しかし、切片は本研究のほうが0.5ちかく大きい。本研究とCooperらのとで条件的に大きく異なっていた点に課題への習熟度があるが(本研究の方が習熟度が低い。本研究では1人につき10分ぐらしかかかっていない), 切片の値の差はこの習熟度の違いによるものと思われる。これは、習熟の程度はMRの速さとは無関係であり、むしろイメージ化や比較、応答の過程と関係が深いことを示唆している。すなわち、練習を多くすれば応答が速くなり、RTは全体に減少するが、イメージの回転はそれに影響されずに、同じ速さのまま保たれることになる。つまり、切片は角度差が0度の場合の反応時間なので、回転の操作は行われないと考えられる。したがって、切片はイメージを作るための時間と比較のための時間とボタンを押すための時間の合計だと考えられる。

傾きについては、学年があがるにつれて減少するという、Kail et al. (1980)の結果とは異なっている。特に、2年生と6年生男子で傾きが小さいが、これはMRが遅いことを意味するものではないと考えられる。2年生ではMRの能力が十分に確立されておらず、課題への習熟が少ない場合には、イメージを回転することなく判断するために、どの角度にも同じように反応する児童が多いと考えられる。そのために、平均すると結果的に傾きが小さくなるのである。6年生では大学生と比較すると180度のRTが落ち込んでいる。このことが傾きを小さくして、見かけの速さを大きくしている。この180度のRTの落ち込みは、課題をMR以外の方略で遂行した児童がいたためである、と考えられる。方略によってRT

と角度の関係が一次関数にならない場合があることは、佐伯(1980)やCochran et al. (1983)によって報告されている。本研究の被験者の自己報告にも、イメージ全体を回転させる方略とはちがったのをういた児童が少なからずいた。主なものを挙げてみると、比較刺激の筆順を目でおったり、指を動かしてなぞるもの、刺激の部分的な特徴(例えば、5という文字の横棒が右に折れ曲って付いていること)に着目して判断する、などである。また、本研究での刺激は、2年生の場合「書字動作」を誘発しやすいのではないかとおもわれたが、佐々木(1984)の「空書」行動は、2年生では0名、4年生では、男子2名、女子1名、6年生では男女各2名観察された。しかし、方略のあいまいな児童も多くいること、6年男子が他と比較してとくにかわったところはないことから、方略以外の原因によって6年男子の傾きが小さくなった可能性もある。

切片については、学年があがるにしたがって減少するというKail et al. (1980)の結果と同じになった。小学2年生から6年生までは、イメージ化、比較、応答といった能力が急激に発達し、その後ゆっくりとした発達をして成人にいたるものと思われる。

(3) 傾きおよび切片と知能偏差値との相関

知能検査の結果について、下位検査ごとに偏差値に換算した。ついで、被験者ごとの傾きと切片の値を9つの下位検査の偏差値と組合わせて、相関係数を算出した。TABLE3にその結果を示す。

傾きについては、2年生男子で第2検査(日常記憶:言語的因子)と、2年生全体で第3検査(同図形発見:空間的因子)との間に正の相関がある。これは2年生男子では日常記憶が良いほど、2年生全体では同図形発見の能力が高いほど、MRが遅くなることを意味していて、常識からすると逆になっているように見える。しかし、(2)で2年生ではMRの能力が十分に確立されておらず、そのために傾きが小さくなることをしめしたが、MRの能力を確かなものにするためにこの日常記憶や同図形発見の能力が必要であると考えれば説明がつく。さらに、4年生以上ではこの第2, 第3検査との相関は有意ではなく、日常記憶や同図形発見の能力は4年生の水準以上であればMRには十分であることが分かる。また、傾きは4年男子の第7検査(単語完成:言語的因子)と負の相関があり、これは単語完成の能力が高いほどMRが速いことを意味している。しかし、4年生女子や6年生では傾きと有意な相関のある検査がなく、MRの能力と本知能検査による知能因子とが独立していることが確かめられた。

切片については、2年女子で第5検査(点図形:空間的

TABLE 3 傾き・切片と知能検査の相関係数

検査番号	1	2	3	4	5	6	7	8	9
傾きとの相関係数									
2年									
男子	.113	.417*	.422*	-.213	.298	.219	-.069	.201	.252
女子	.151	.242	.401*	.046	-.116	.218	-.062	-.078	.301
4年									
男子	.024	-.142	.024	-.203	.235	-.050	-.438*	.043	.250
女子	.267	.204	.217	-.018	.146	.227	-.153	.033	.103
6年									
男子	-.319	-.204	-.179	-.262	.024	-.095	-.270	-.172	-.234
女子	.092	.093	-.032	.190	.207	-.005	.109	.058	.166
切片との相関係数									
2年									
男子	-.041	-.187	.004	.055	-.162	-.063	-.239	-.343	.010
女子	-.254	-.063	-.322	-.153	-.466*	-.058	-.070	-.135	-.369
4年									
男子	-.235	-.162	-.393*	-.007	-.019	-.207	-.204	-.115	-.126
女子	-.443**	-.051	-.360	-.159	-.200	-.290	-.261	-.211	-.190
6年									
男子	-.485**	-.319	-.033	-.182	-.232	-.293	-.270	-.346	-.292
女子	-.084	-.067	.051	-.031	.148	-.140	-.301	-.106	-.112

** $p < 0.01$, * $p < 0.05$

因子)と有意な相関が認められた。これは、やや高度な空間的能力で、この能力が高いほどイメージ化、比較あるいは応答の過程で素早い反応をすることを意味している。また、4年男子で第3検査(同図形発見:空間的因子)との有意な相関は、同図形発見の能力が高いほど同様な過程で素早い反応をすることを意味している。この場合はたぶん比較の過程とかかわっているであろう。4年女子と6年男子では第1検査(反対語:言語的因子)と有意な相関がある。これは単語理解力あるいは一般言語知能の程度が高いほど、イメージ化、比較、応答の過程で素早い反応をすることを意味している。

発達的な傾向としては、男女で相関の有意差が相違する場合が多いので一貫したものとは言いがたいが、以下のようにまとめられるであろう。すなわち、学年が進むにつれてMRおよびイメージ化、比較、応答の過程と関連する知能因子の質が大きく変化している。2学年では、第3、第5の空間的因子との関連が深いのに、4年生では空間的因子との関連がへり、かわって言語的因子が関連してくる。さらに、6年生では空間的因子との関連はまったくなくなり、言語的因子とだけ関連を持つようになる。これは、6年全体で第1検査および第7検査と切片の有意な関連によるものだが、女子ではこれらの検査との有意な相関はなく、言語的因子とも関連がなくなる。これらのことから、2年生では空間的直観力によってM

R課題を遂行するが、学年があがるにしたがって、男女間に若干の相違はあるものの、それらの能力を使わず、言語的能力によって課題を遂行するようになっていくと考えられる。

また、空間的因子は素質の意味あいの強い能力であり、それに対して言語的因子は学習努力知能として位置づけられるものである。さらに、学年が進むにしたがって切片の値が減少することや課題への習熟度がRTを減少させることを述べたが、学年があがるに従って学習努力知能と切片の関連が深くなるという事実は、このことを裏付けるものであろう。

引用文献

- Cochran, E.L., Pick, A.D. & Pick, H.L., Jr. 1983 Task-specific strategies of mental "rotation" of facial representations. *Memory & Cognition*, 11, 1, 41—48.
- Cooper, L.A. & Shepard, R.N. 1973 Chronometric studies of the rotation of mental images. In Chases, W.G. (Ed.) *Visual information processing*. Academic Press, 75—176.
- Cooper, L.A. 1975 Mental rotation of random two dimensional shapes. *Cognitive Psychology*, 7, 20—43.

- Cooper, L.A. & Shepard, R.N. 1975 Mental transformations in the identification of left and right hands. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception & Performance*, **1**, 48—56.
- Cooper, L.A. & Shepard, R.N. 1978 Transformations on representations of objects in space. In Carterette, E.C. & Friedman, M.P. (Ed.) *Handbook of perception*. (Vol. VIII): *Perception coding*. Academic Press.
- Kail, R. & Carter, P. & Pellegrino, J. 1979 The locus of sex differences in spatial ability. *Perception & Psychophysics*, **26**, 182—186.
- Kail, R., Pellegrino, J. & Carter, P. 1980 Developmental changes in mental rotation. *Journal of Experimental Child Psychology*, **29**, 102—116.
- Marmor, G.S. 1975 Development of kinesthetic images: When does the child first represent movement in mental images? *Cognitive Psychology*, **7**, 58—559.
- 佐伯 胖 1980 Empathy による回転図形の認知 日本心理学会第44回大会発表論文集, 225.
- 佐々木正人 1984 空書行動の発達——その出現年齢と機能の分化——. 教育心理学研究, **32**, 34—43.
- Shepard, R.N. & Metzler, J. 1971 Mental rotation of three dimensional objects. *Science*, **171**, 701—703.
- 高野陽太郎 1987 傾いた図形の謎 (認知科学選書11) 東京大学出版会.
- Tapley, S.M. & Bryden, M.P. 1975 An investigation of sex differences in spatial ability: Mental rotation of three dimensional objects. *Canadian Journal of Psychology*, **31**, 122—130.

(1988年2月24日受稿)