障害科学研究, 32, 83－92, 2008

原　著

算数困難児における数処理の自動化に関する研究
ー数ストループ課題における干渉効果を指標とした検討ー

石塚　誠之・岡崎　慎治・前川　久男

本研究の目的は、算数困難児の数処理の困難について明らかにすることであった。算数困難児は、数を含む課題で特異的な困難があるといわれるが、数処理速度に焦点を当てた研究は少ない。本研究では、数処理の自動化、数処理の発達ならびにその困難について、数ストループ課題を用いて検討した。算数困難児の結果から、発達に伴う数処理速度の短縮ならびに、知覚判断と数値判断の課題間の反応時間差に短縮が認められた。しかし、課題間の反応時間差は、同年齢の児童より大きなものであった。効果率の分析から、算数困難児では、ニュートラル条件・不一致条件と比較し、一致条件の反応が特に有利であることが示された。知覚サイズの処理が早期に自動化しており、算数困難児の数値判断速度が知覚判断と比較して遅いため、一致条件で大きな促進効果が認められたと推測される。これらの結果は、算数困難児に数処理の特異的な困難がある可能性を示唆するものであった。

キー・ワード：算数困難　数処理の自動化　数ストループ　干渉　発達

Ⅰ．問題と目的

算数は、教科学習としてだけでなく、日常生活においても重要な位置をしめている。また算数障害児は学齢児の約１％に上るといわれるが（American Psychiatric Association, 1994）、これまでの研究を振り返ると、同じ学習障害である読み障害ほど研究は進んでおらず（Geary, 1993；Geary, Hamson, & Hoard, 2000）、算数障害についての報告は、いまだにその蓄積が十分とはいえない（長畑・田代・大石, 1989）。算数障害は数概念・数処理・計算・文章題など多領域から成る（熊谷, 2000）。広範囲の認知障害が算数困難に関係することが研究の進まない原因ではないかと考えられる。ただ、計算又は推論で困難を示す児童は約2.8%（特殊教育総合研究所, 2002）、算数で２学年以上（２年生は１学年）の遅れを示す児童は、２年生で0.29%、３年生で0.34%、４年生で0.91%、５年生で1.33%、６年生で1.55%と学年と共に増加しており（特殊教育総合研究所, 1995）、算数を支援する必要のある児童は決して少なくない。本研究では、教育現場を見据え、知的な遅れが認められず、算数で特に困難が生じている児童を算数困難児と定義した。また、算数困難は、算数障害よりも大きな枠組みであるため、以下の算数障害に関する研究は総じて算数困難と表記した。

算数困難児を対象とした研究では、指を使って計算するなど代替方略の使用が多く（Geary, 1990；Jordan & Montani, 1997；Siegler, 1988）、数に特異的なワーキングメモリの障害（McLean & Hitch, 1999；Siegel & Ryan, 1989）、全般的な処理速度の遅延（Bull & Johnston, 1997）、数の想起困難（Jordan & Montani, 1997；Landerl, Bevan, & Butterworth, 2004）が関係すると報告されている。数量の想起能力は、計算の実行ならびに熟達に関係しており（Tzelgov, Meyer, & Henik, 1992；Dehaene, 1992）、この能力が制限されると、指を用いて計算するなど代替方略を用いる

筑波大学大学院人間総合科学研究科

必要が生じる。そのため算数困難児の数処理能力について検討することは重要である。

本研究で用いる数ストループ課題は、知覚サイズと数値の相互干渉における干渉量の変化を指標とし、数処理が自動的に活性化する過程について検討する（Girelli, Lucangeli, & Butterworth, 2000；Rubinsten, Henik, Berger, & Shahar-Shalev, 2002）。自動的な活性化、即ち自動化とは、注意を必要としない無意識的な活性化を示しており（Logan,1985；Logan, 1988；Schiffrin, 1989）、算数の遂行でも数量の想起に注意の負荷が掛からないことで、計算がスムーズになると考えられる。Landerlら（2004）は、算数困難児に数ストループ課題を実施し、数処理速度が健常児群ならびに読み障害児群よりも遅延していることを明らかにした。しかし、数ストループで得られた数値ならびに知覚サイズの相互干渉については検討していない。そこで本研究では、以下の二点について検討することを目的とする。第一に、算数困難児の数処理速度を健常児と比較し、算数に困難がある児童の数処理速度が遅延しているというLanderlら（2004）の結果を検証する。第二に、知覚サイズと数値の干渉量の変化を指標として算数困難児の数処理について検討する。算数困難児の数処理について健常児と比較検討した研究は少ないため、本研究が算数困難児のアセスメントならびに指導につながる一助になればと考える。

Ⅱ．方　法

1．対象児

算数困難児群は、通常学級に在籍し、軽度発達障害児を対象とした療育機関に通っている、もしくは通常学級で特別な支援を受けている児童で、知的な遅れが認められず（WISC-Ⅲの言語性IQもしくは動作性IQが75以上、またはK-ABCの同時処理もしくは継次処理が80以上、またはビネーのIQが80以上）、算数に困難があるとの主訴が得られ、標準化された算数学力検査［TK式領域別標準学力検査 算数；1学年下の検査（中学生は5年生用）を実施］の得点が学年平均の－2SDよりも下の児童22名（男17名、女5名）を対象とした。3・4年生11名（男10名、女1名）を中学年群、5・6年生と中学1・2年生 11名（男：7名、女：4名）を高学年群とした（Table 1）。また統制群として公立小学校の

Table 1　対象児のプロフィール

対象児	学年	標準学力検査（算数偏差値）※	WISC－Ⅲ実施時CA	WISC－Ⅲ VIQ	WISC－Ⅲ PIQ	WISC－Ⅲ FIQ	K - ABC実施時CA	K - ABC 継次	K - ABC 同時	K - ABC 認知	K - ABC 習得度	ビネー実施時CA	ビネーIQ
A児	3	31	8:5	79	53	65		80	63	70			
B児	3	33										5:8	81
C児	3	31					7:3	70	81	74			
D児	3	28	7:11	90	100	94							
E児	3	30					9:1	56	86	71			
F児	4	32	7:0	75	73	71							
G児	4	28	8:7	86	80	82	9:11	73	98	82	115	8:2	92
H児	4	29	7:8	99	64	80							
I児	4	30					8:10	107	99	102			
J児	4	26	8:1	82	60	72							
K児	4	30					5:4	68	86	76			
L児	5	37					6:9	100	79	87			
M児	5	29					10:2	78	81	79			
N児	5	26	10:5	71	78	71							
O児	5	32	10:3	75	72	71							
P児	5	28	12:1	96	78	82							
Q児	6	25	9:8	82	79	79	10:3	80	97	88			
R児	6	25	10:0	115	103	110							
S児	6	25	10:9	75	60	64							
T児	6	29	9:8	97	110	104							
U児	中1	26	9:3	82	83	81							
V児	中2	25	14:5	90	85	86							

※学力検査は当該学年より1学年下を実施（中学1・2年生は5年生用を実施）
※点数が低く、偏差値が測定不能の際は、最低偏差値25となっている。

通常学級に在籍し、視力（矯正視力を含む）が正常な児童142名（小学１年生35名、小学２年生19名、小学３年生31名、小学４年生16名、小学５年生27名、小学６年生14名）と成人31名を対象とした。対象児は、実験に先立ち、本人及び本人の所属するクラス担任に実験内容を説明し参加の承諾を得た。

2．課　題

数ストループ課題は、Girelli ら（2000）、Rubinsten ら（2002）の研究を参考に作成した。知覚判断課題は、左右に並んだ２つの数字のうちサイズの大きい方を選択する課題である。また、数値判断課題は、２つの数字のうち数値の大きい方を選択する課題である。

3．刺　激

課題の作成には REAL Basic（アスキー社）を用いた。また刺激には黒色の１から９の数字（５以外）を用いた。背景は白色とし、対象児・者との距離約 50cmに設置したパソコンの中央に横並びで２つの数字を呈示した。

知覚判断課題と数値判断課題は、知覚サイズと数値の関係から一致条件、ニュートラル条件、不一致条件の３つの干渉条件で構成された（Fig. 1）。一致条件と不一致条件の刺激は、知覚判断課題と数値判断課題で共通である。一致条件では、２つの数字のうち値が大きいものとサイズが大きいものが一致している（2 1）。また不一致条件では、値が大きい数字はサイズが小さく、値が大きい数字はサイズが小さい（1 2）。

	一致条件	ニュートラル条件	不一致条件
知覚判断課題	2 1	2 2	1 2
数値判断課題	2 1	2 1	1 2

Fig. 1　数ストループ課題の課題条件

＊呈示された2つの数字のうち、**数値判断課題**では数値の大きい数字に反応し、**知覚判断課題**では知覚サイズの大きい数字に反応した。一致条件は、数値と知覚サイズの両方が大きく、不一致条件は、数値判断課題では知覚サイズ、知覚判断課題では数値が小さい。ニュートラル条件は，数値判断課題では知覚サイズが同じ、知覚判断課題では数値が同じであった。

ニュートラル条件の刺激は、知覚判断課題では、２つの数字の値が同じ（2 2）、数値判断課題では、２つの数字のサイズが同じであった（2 1）。呈示された数字の大きさは、両課題の一致条件と不一致条件、知覚判断課題のニュートラル条件では大サイズ（高さ12 mm/幅 8 mm）と小サイズ（高さ 6 mm/幅 4 mm）で数字ペアを作成した。また数値判断課題のニュートラル条件では、同じ大きさの中サイズ（高さ 9 mm/幅 6 mm）を２つ用いて数字ペアとした。知覚判断課題と数値判断課題では一致条件、不一致条件、ニュートラル条件を16試行ずつ組み合わせて１ブロック48試行の系列を作成した。表示される数字は縦２cm×横 3 cm（視角2.29°×3.43°）であった。刺激系列は、同じ数字は連続して現れない、正答が３回以上同じ側（左/右）に現れないことを条件に作成した。

4．手続き

課題の提示には Macintosh もしくは Windows コンピュータを使用した。注視点が 500ms 呈示され、注視点消失 500ms 後に刺激である数字ペアが提示された。反応にはキーボード上の左右にあるＡキーとＬキーを用い、知覚判断課題では、文字サイズの大きい側のボタン、数値判断課題では、数値の大きい側のボタンをできるだけ速く正確に押すように求めた。知覚判断課題ならびに数値判断課題は、練習試行を20試行実施した後に、本試行１ブロック48試行を２ブロック実施した。

5．分　析

分析から個人の条件ごとの平均反応時間の±３SDから外れた試行を除いた。反応時間の分析ではデータのばらつきを考慮し対数変換を行った上で群（９水準）×課題（２水準）×干渉条件（３水準）の３要因の分散分析を実施した。エラー率の分析では、角変換を行った上で群（９水準）×課題（２水準）×干渉条件（３水準）の３要因の分散分析を実施した。さらに数値判断課題の一致条件とニュートラル条件の反応時間差については、対数変換を行わず、群を要因とした１要因の分散分析を実施した。また干渉の強さ

については、群間で平均反応時間が異なるため、Spieler, Balota, and Faust (1996) を参考に効果率を算出して検討した。効果率は、一致条件とニュートラル条件の反応時間差をニュートラル条件の反応時間で除した値を促進値［(ニュートラル条件－一致条件)／ニュートラル条件］、不一致条件とニュートラル条件の反応時間差をニュートラル条件の反応時間で除した値を抑制値［(不一致条件－ニュートラル条件)／ニュートラル条件］とし、群 (９水準) ×課題 (２水準) ×効果率 (２水準) の３要因の分散分析を実施した。分散分析で主効果が有意であった際の多重比較には Ryan 法 (５％水準) を用いた。

Ⅲ．結　果

１．数ストループ課題における反応時間

健常児・者と算数困難児について、干渉条件ごとの平均反応時間と標準誤差を Table 2 に示した。分散分析の結果、群×課題×干渉条件に２次の交互作用が認められた ($F(16,372)=2.454$, $p<.005$)。また課題×干渉条件 ($F(2,372)=154.875$, $p<.001$)、群×干渉条件 ($F(16,372)=2.788$, $p<.001$)、群×課題 ($F(8,186)=8.290$, $p<.001$) に１次の交互作用が認められた。さらに干渉 ($F(2,372)=274.693$, $p<.001$)、課題 ($F(1,186)=1589.019$, $p<.001$)、群 ($F(8,186)=38.042$, $p<.001$) に主効果が認められた。

(1) 知覚判断課題および数値判断課題のニュートラル条件における群間の反応時間差

群の主効果が知覚判断課題 ($F(8,1116)=21.117$, $p<.001$)、数値判断課題 ($F(8,1116)=47.980$, $p<.001$) で認められた。知覚判断課題の反応時間は、算数困難児高学年群 527ms (SE=112ms) であり、Ryan 法による多重比較の結果、中学年群 682ms (SE=130ms) より速かった ($MSe=0.0068$, $p<.05$)。同様に、数値判断課題の反応時間は、算数困難児高学年群 854ms (SE=269ms) であり、中学年群 1317ms (SE=249ms) より速かった ($MSe=0.0068$, $p<.05$)。また、算数困難児中学年群の反応時間は、知覚判断課題では2年生群と同程度であったが ($MSe=0.0068$, n.s.)、数値判断課題では２年生群よりも遅かった ($MSe=0.0068$, $p<.05$)。同様に、算数困難児高学年群の反応時間は、知覚判断課題では5年生群と同程度であったが ($MSe=0.0068$, n.s.)、数値判断課題では５年生群よりも遅かった ($MSe=0.0068$, $p<.05$; Fig. 2)。

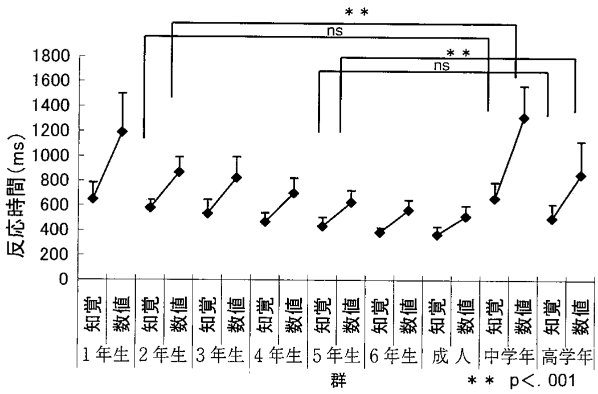

Fig. 2　健常群と算数困難群における知覚判断課題と数値判断課題ニュートラル条件の平均反応時間と標準誤差

Table 2　健常群と算数困難群の課題ごとの各条件における平均反応時間と標準誤差

	知覚判断課題						数値判断課題					
	一致		ニュートラル		不一致		一致		ニュートラル		不一致	
	平均	SE	平均	SE	平均	SE	平均	SE	平均	SE	平均	SE
1年生	650	143	649	137	678	149	1071	323	1190	311	1247	317
2年生	575	60	580	66	612	74	799	116	868	125	964	141
3年生	533	106	536	112	558	112	740	139	824	171	883	172
4年生	463	67	469	72	479	69	641	110	701	123	748	118
5年生	432	68	435	72	441	79	581	87	627	96	695	106
6年生	388	36	387	34	394	42	550	84	567	79	607	73
成　人	366	61	368	64	363	55	501	84	516	84	578	88
算数困難児中学年	656	129	682	130	686	124	1108	272	1317	249	1377	365
算数困難児高学年	495	103	527	112	494	105	761	240	854	269	902	292

単位（msec）

（2）知覚判断課題における数値の干渉

単純主効果検定の結果、干渉条件の主効果が1年生群（$F(2,744)=3.834$, $p<.05$）、2年生群（$F(2,744)=7.455$, $p<.001$）、3年生群（$F(2,744)=3.623$, $p<.05$）で認められた。1年生群、2年生群、3年生群の干渉条件について多重比較を行ったところ、各群ともに不一致条件の反応時間が一致条件とニュートラル条件より遅延していた（$MSe=0.0005$, $p<.05$；Fig. 3）。

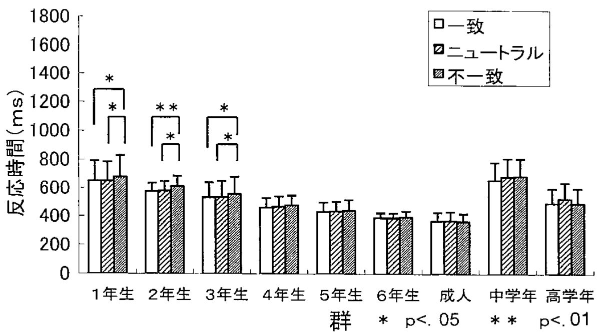

Fig. 3　健常群と算数困難群の知覚判断課題における干渉条件ごとの平均反応時間と標準誤差

（3）数値判断課題における知覚の干渉

単純主効果検定の結果、干渉条件の主効果が1年生群（$F(2,744)=45.497$, $p<.001$）、2年生群（$F(2,744)=59.549$, $p<.001$）、3年生群（$F(2,744)=53.654$, $p<.001$）、4年生群（$F(2,744)=42.171$, $p<.001$）、5年生群（$F(2,744)=55.145$, $p<.001$）、6年生群（$F(2,744)=18.754$, $p<.001$）、成人群（$F(2,744)=39.645$, $p<.001$）、算数困難児中学年群（$F(2,744)=89.529$, $p<.001$）、算数困難児高学年群（$F(2,744)=50.775$, $p<.001$）の全群で認められた。Ryan法による多重比較の結果、一致条件の反応時間が最も短く、ニュートラル条件、不一致条件の順に長くなる傾向が1年生群、2年生群、3年生群、4年生群、5年生群、成人群、算数困難児高学年群で認められた（$MSe=0.0005$, $p<.05$）。また6年生群では、一致条件とニュートラル条件よりも不一致条件の反応時間が長かったが（$MSe=0.0005$, $p<.05$）、一致条件とニュートラル条件の反応時間には差が認められなかった。また算数困難児中学年群では、ニュートラル条件と不一致条件よりも一致条件の反応時間が短かったが（$MSe=0.0005$, $p<.05$）、ニュートラル条件と不一致条件の反応時間には差が認められなかった（Fig. 4）。

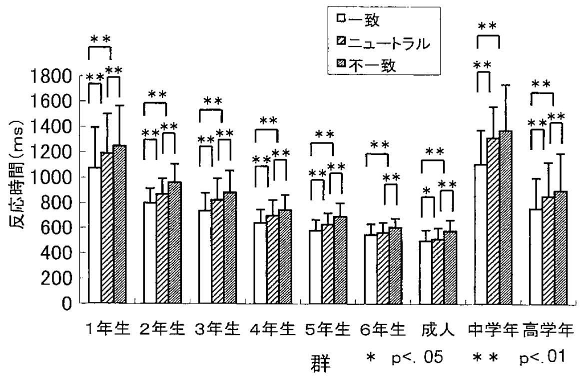

Fig. 4　健常群と算数困難群の数値判断課題における干渉条件ごとの平均反応時間と標準誤差

一致条件とニュートラル条件の反応時間差及び標準誤差は、1年生群119ms（SE=168ms）、2年生群69ms（SE=62ms）、3年生群84ms（SE=60ms）、4年生群61ms（SE=44ms）、5年生群46ms（SE=39ms）、6年生群17ms（SE=29ms）、成人群15ms（SE=19ms）、算数困難児中学年群208ms（SE=219ms）、算数困難児高学年群93ms（SE=88ms）で、算数困難児中学年群の反応時間差が最も大きかった。一致条件とニュートラル条件の反応時間差について、群を要因とした分散分析を実施したところ、主効果が認められ（$F(8,186)=5.787$, $p<.001$）、Ryan法による多重比較を行ったところ、2年生群、3年生群、4年生群、5年生群、6年生群、成人群より算数困難児中学年群の反応時間差が長かった（$MSe=9816.594$, $p<.05$）。しかし、1年生群ならびに算数困難児高学年との間に差は認められなかった。

2．数ストループ課題のエラー率

健常児・者と算数困難児について、数ストループ課題における干渉条件ごとのエラー率と標準誤差をTable 3に示した。分散分析の結果、

Table 3　健常群と算数困難群の課題ごとの各条件における平均エラー率と標準誤差

群	知覚判断課題						数値判断課題					
	一致		ニュートラル		不一致		一致		ニュートラル		不一致	
	平均	SE	平均	SE	平均	SE	平均	SE	平均	SE	平均	SE
1年生	3	7	3	6	3	5	2	4	3	4	17	15
2年生	0	1	1	2	1	2	1	2	1	2	10	6
3年生	1	2	2	3	2	3	2	2	2	3	14	12
4年生	3	6	2	3	2	3	4	5	3	4	14	9
5年生	1	2	1	2	2	3	2	3	2	2	11	8
6年生	2	3	0	1	1	2	3	3	3	3	16	8
成　人	1	2	2	3	1	2	2	2	1	3	9	9
算数困難児中学年	6	5	12	12	8	13	4	4	5	4	34	25
算数困難児高学年	2	3	5	9	3	2	3	2	3	5	20	13

単位（%）

群×課題×干渉条件に2次の交互作用が認められた(F(16,372)＝2.015, p<.05)。また課題×干渉条件(F(2,372)＝154.721, p<.001)、群×干渉条件(F(16,372)＝1.670, p<.1)、群×課題(F(8,186)＝1.717, p<.1)に1次の交互作用が認められた。さらに干渉(F(2,372)＝205.357, p<.001)、課題(F(1,186)＝135.663, p<.001)、群(F(8,186)＝11.294, p<.001)に主効果が認められた。

(1) 知覚判断課題のエラー率

単純主効果検定の結果、干渉条件の主効果が算数困難児中学年群に認められた(F(2,744)＝5.962, p<.005)。多重比較の結果、ニュートラル条件のエラー率が一致条件と不一致条件より高かった(MSe＝37.664, p<.05)。また、一致条件(F(8,1116)＝3.223, p<.005)、ニュートラル条件(F(8,1116)＝9.147, p<.001)、不一致条件(F(8,1116)＝2.900, p<.005)に群の主効果が認められた。Ryan法による多重比較の結果、一致条件では、算数困難児中学年群のエラー率が2年生、3年生、5年生、成人よりも高かった(MSe＝53.063, p<.05)。また、ニュートラル条件では、算数困難児中学年群のエラー率が全ての群よりも高かった(MSe＝53.063, p<.05)。不一致条件では、算数困難児中学年群のエラー率が成人群より高かった(MSe＝53.063, p<.05)。

(2) 数値判断課題のエラー率

単純主効果検定の結果、干渉条件の主効果が1年生群（F（2,744）＝39.868, p<.001)、2年生群(F(2,744)＝35.493, p<.001)、3年生群(F(2,744)＝36.790, p<.001)、4年生群(F(2,744)＝31.759, p<.001)、5年生群(F(2,744)＝27.306, p<.001)、6年生群(F(2,744)＝37.266, p<.001)、成人群(F(2,744)＝22.043, p<.001)、算数困難児中学年群(F(2,744)＝93.203, p<.001)、算数困難児高学年群(F(2,744)＝46.889, p<.001)の全群で認められた。Ryan法による多重比較の結果、不一致条件のエラー率が一致条件とニュートラル条件より高かった(MSe＝37.664, p<.05)。また、一致条件(F(8,1116)＝2.041, p<.05)、ニュートラル条件(F(8,1116)＝2.227, p<.05)、不一致条件(F(8,1116)＝10.672, p<.001；Fig. 5)に群の主効果が認められた。多重比較の結果、一致条件とニュートラル条件では、群間の差が認められなかったが、不一致条件では、算数困難児中学年群のエラー率が他の全ての群よりも高かった(MSe＝53.063, p<.05)。

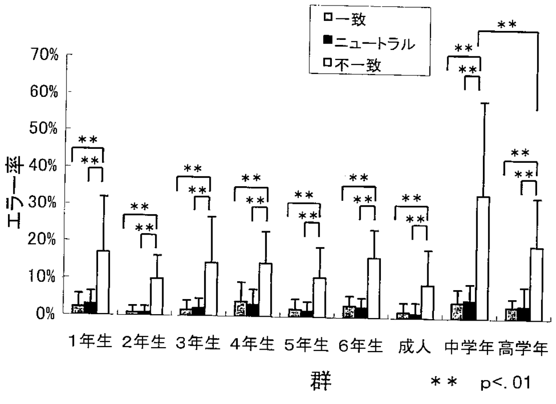

Fig. 5　健常群と算数困難群の数値判断課題における干渉条件ごとの平均エラー率と標準誤差

3．効果率の分析

分散分析の結果、群×課題×効果率に２次の交互作用が認められた(F(8,186)＝3.731, p<.001)。また課題×効果率（F（1,186）＝3.093, p<.1）、群×効果率（F（8,186）＝2.083, p<.05）に１次の交互作用が認められた。さらに課題（F（1,186）＝238.108, p<.001）、群（F（8,186）＝2.411, p<.05）に主効果が認められた。

（1）知覚判断課題における数値の干渉

単純主効果検定の結果、抑制値における群の主効果に有意傾向が認められた（F（8,744）＝1.748, p<.1）。また１年生群（F（1,372）＝3.522, p<.1）、２年生群（F（1,372）＝3.699, p<.1）で抑制値が促進値よりも高かった（Fig. 6）。

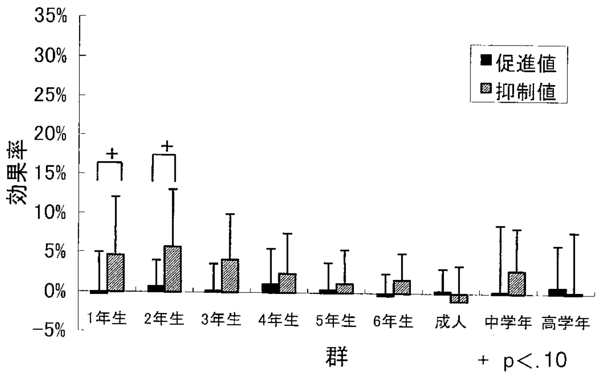

Fig. 6　健常群と算数困難群の知覚判断課題における効果率の平均値と標準誤差

（2）数値判断課題における知覚の干渉

単純主効果検定の結果、促進値における群の主効果が有意であり（F（8,744)＝5.628, p<.001）、Ryan 法による多重比較の結果、算数困難児中学年群の促進値が５年生群、６年生群、成人群よりも高かった（MSe＝0.0047, p<.05）。また抑制値における群の主効果が有意であり（F（8,744）＝2.557, p<.01）、Ryan 法による多重比較の結果、成人群の抑制値が算数困難児中学年群よりも高かった（MSe＝0.0047, p<.05）。効果率の主効果は、１年生群（F（1,372）＝3.154, p<.1）、6年生群（F（1,372）＝2.931, p<.1）、成人群（F（1,372）＝13.147, p<.001）、算数困難児中学年群（F（1,372）＝13.902, p<.001）で有意または有意傾向であり、１年生と算数困難児中学年群は抑制値よりも促進値が高く、６年生群と成人群は促進値よりも抑制値が高かった（Fig. 7）。

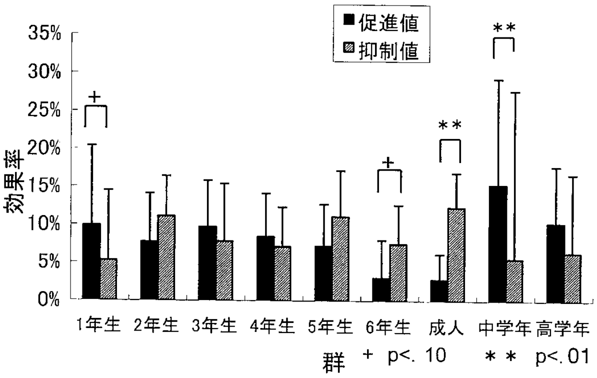

Fig. 7　健常群と算数困難群の数値判断課題における効果率の平均値と標準誤差

Ⅳ．考　察

1．算数困難児の数処理速度

本研究で対象とした算数困難児の数処理速度は、健常児と同様に発達に伴い短縮していたが、知覚処理と数処理の反応時間を健常児と比較したところ、知覚処理の速度について、算数困難児中学年群は当該年齢である３年生群より遅く、算数困難児高学年群も５年生より遅かった。さらに算数困難群における数処理能力は、知覚処理能力よりも低い学年に相当する水準であることが示され、算数困難児の数処理が特に遅延するという Landerl ら（2004）の研究を支持した。

2．知覚判断課題における数値の干渉

知覚判断課題では、１年生群、２年生群、３年生群で不一致条件の反応時間がニュートラル条件より遅延していた。また学年により反応時間が異なるため、効果率の分析を行ったところ、１年生群、２年生群で数値の抑制効果が認められた。これらの結果は、学齢児の数処理能力が成熟する過程を示していると考えられる。文字ストループの研究では、標的刺激である文字の学習が不十分だと干渉は弱く、文字処理が自動化する２年生で干渉は最大になり、発達に伴い減少することが示されている（Schiller, 1966）。数処理の自動化を連続的な現象と考えた場合（Logan, 1985；Logan,1988）、前学年と比べて最

も数値判断課題の反応時間が短縮する2年生で、最も大きな数値の抑制が生じたという結果は、数処理の自動化が反映された可能性が高い。一方、算数困難児中学年群の数値判断課題の反応時間は1年生群、高学年群の反応時間は3年生群と近い水準であったが、算数困難群には数値の干渉が認められなかった。処理速度が同程度であっても算数困難児と健常児で干渉の程度が異なることが示され、算数困難児の数処理過程が健常児と異なる可能性が示唆された。

3．数値判断課題における知覚の干渉

(1) 知覚の促進的な干渉

数値判断課題では、ニュートラル条件と一致条件の反応時間差が算数困難児中学年群で最も大きかった。これは、数処理が未熟な場合、知覚サイズの促進効果が大きいという先行研究を支持した(Rubinsten et al., 2002)。上記の傾向は学年が上がるに従って小さくなったが、早期に自動化している知覚処理に対し(Yonas, Granrud, and Pettersen, 1985)、数処理速度が学年と共に急激に上昇し、知覚処理との反応時間差が減少したためと考えられる。また効果率の分析でも1年生群と算数困難児中学年群で促進値が大きく、学年が上がるに従って促進値が小さくなるという傾向が認められた。算数困難児において、知覚サイズによる促進効果が大きいという結果は、数処理の負荷が軽減された可能性を示唆している。加減算の学習において、大きな数を視覚的に大きく呈示し(3＋1；4－1)、数を想起する処理の負荷を減少させるなど、指導のねらいに応じて活かすことができる知見なのではないかと思われる。

(2) 知覚の抑制的な干渉

健常群と算数困難児高学年群は、ニュートラル条件より不一致条件の反応時間が遅延していたが、算数困難児中学年群では、反応時間の遅延が認められなかった。算数困難児は数処理が未熟であるため、ニュートラル条件の反応時間が不一致条件と同じ程度まで遅延している。その結果、不一致条件における抑制効果が反応時間の遅延ではなく、エラー率の上昇として現れたではないかと考えられる。

4．本研究のまとめ

本研究では、算数困難児の数処理の発達について健常児と比較することで検討した。算数困難児の読み成績を統制していないなど課題はあるが、算数困難群における数処理能力は、知覚処理能力から予測されたよりも低い学年に相当するという示唆は重要である。また本研究では、算数困難児が発達過程にあるという森永(2003)の指摘と同じく、算数困難児の数処理に発達的な変化が認められ、児童の数処理能力を把握した上で指導を行うことの重要性が示唆された。本研究では算数困難児の数量の想起に焦点を当てたが、算数困難児が数を刺激とした課題で特異的な困難を有するという事例は他にも報告されており(Siegel et al.,1989; Geary, Hoard, & Hamson, 1999)、算数困難児の数処理について、さらなる検討が必要といえる。

V．文　献

American Psychiatric Association (1994) Diagnostic and Statistical *Manual of Mental Disorders* (4th ed). American Psychiatric Press.

Bull, R. & Johnston, R. S. (1997) Children's arithmetical difficulties: contribution from processing speed, item identification, and short-term memory. *Journal of Experimental Child Psychology*, 65, 1-24.

Dehaene, S. (1992) Varieties of numerical abilities. *Cognition*, 44, 1-42.

Geary, D. C. (1990) A componential analysis of an early learning deficit in mathematics. *Journal of Experimental Child Psychology*, 49, 363-386.

Geary, D. C. (1993) Mathematical disabilities: cognitive addition neuropsychological, and genetic components. *Psychological Bulletin*, 114, 345-362.

Geary, D. C., Hoard, M. K., & Hamson, C.O. (1999) Numerical and arithmetical cognition: Patterns of functions and dificits in children at risk for a mathematical disability. *Journal of Experimental Child Psychology*, 74, 213-239.

Geary, D. C., Hamson, C. O., & Hoard, M. K. (2000) Numerical and arithmetical cognition: A longitudinal study of processing and concept deficits in children with learning disability. *Journal of Experimental Child Psychology*, 77, 236-262.

Girelli, L., Lucangeli, D., & Butterworth, B.（2000）The development of automaticity in accessing number Magnitude. *Journal of Experimental Child Psychology*, 76(2), 104-122.

Henik, A. & Tzelgov, J.（1982）Is three greater than five: the relation between physical and semantic size in comparison tasks. *Memory & Cognition*, 10, 389-395.

Jordan, N.C. & Montani, T. O.（1997）Cognitive arithmetic and problem solving: a comparison of children with specific mathematics difficulties versus children comorbid mathematics and reading difficulties. *Child Development*, 74, 834-850.

国立特殊教育総合研究所（1995）教科学習に特異な困難を示す児童・生徒の類型化と指導法の研究. 国立特殊教育総合研究所.

国立特殊教育総合研究所（2002）通常の学級に在籍する児童・生徒の学習障害(LD)、注意欠陥/多動性障害(ADHD)、高機能自閉症等に対応した教育的支援に関する研究. 国立特殊教育総合研究所.

熊谷恵子（2000）学習障害児の算数困難. 多賀出版.

Landerl, K., Bevan, A., & Butterworth, B.（2004）Developmental dyscalculia and basic numerical capacities: A study of 8-9-year old students. *Cognition*, 93, 99-125.

Logan, G.（1985）Skill and automaticity: relations, implications and future directions. *Canadian Journal of Psychology*, 39, 367-386.

Logan, G.（1988）Toward an instance theory of automatization. Psychological Revie, 95, 492-527.

McLean, J. F. & Hitch, G. J.（1999）Working memory impairments in children with specific arithmetic learning difficulties. *Journal of Experimental Child Psychology*, 74, 240-260.

森永良子（2003）指定討論者から. 佐々木徳子・秋元有子・伊藤一美・梅田真里・森永良子・中川克子. 研修委員会企画シンポジウム：算数障害の分析と指導—事例を通して—. LD研究, 12(2), 165.

長畑正道・田代和美・大石敬子（1989）発達性構成障害と発達性計算障害. 小児の精神と神経, 29, 48-55.

Rubinsten, O., Henik, A., Berger, A., & Shahar-Shalev S.（2002）The development of internal representations of magnitude and their association with arabic numerals. *Journal of Experimental Child Psychology*, 81, 74-92.

Schiller, P. H.（1966）Developmental study of color-word interference. *Journal of Experimental Child Psychology*, 72, 105-108.

Stroop, J. R.（1935）Studies of interference in serial verbal reactions. *Journal of Experimental Psychology*, 18 (6), 643-661.

Siegler, R.（1988）Individual differences in strategy choices: Good student, not-so-good students, and perfectionist. Child Develoment, 59, 833-851.

Siegel, L. S. & Ryan, E. B.（1989）The development of working memory in normally achieving and subtypes of learning disabled children. *Child Development*, 60, 973-980.

Spieler, D. H., Balota, D. A., & Faust, M.E.（1996）Stroop performance in healthy younger and older adults and in individuals with dementia of the Alzheimer's type. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 22, 462-479.

Tzelgov, J., Meyer, J., & Henik, A.（1992）Automatic and intentional processing of numerical information. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, 18(1), 166-179.

Yonas, A., Granrud, C. E., & Pettersen, L.（1985）Infant's sensitivity to relative size information for distance. *Developmental Psychology*, 21, 161-167.

——2007. 9. 4 受稿，2008. 1. 15 受理——

J. J. Disa. Sci. 32, 83－92, 2008

The Experimental Study of Automaticity in Accessing Number Magnitude in Children with Mathematical Difficulties: Focusing on the Interference Effects in Number-Stroop Paradigms

Masayuki ISHIZUKA, Shinji OKAZAKI and Hisao MAEKAWA

The purpose of this study was to clarify number process deficits in children with mathematical difficulties. Previous study reported that children with mathematical difficulties have cognitive deficits for material involving numbers, but only few people address the issue of number process speeds in children with mathematical difficulties. This study traces developmental changes and difficulties in automatic and intentional process of Arabic numerals using a number - Stroop paradigms. The results revealed that speeds of number processing increased with age, the difference between RTs in physical size and numerical comparison decrease in children with mathematical difficulties. But, children with mathematical difficulties have great difference between RTs in physical size and numerical comparison tasks by comparing with age-matched controls. Moreover, the effect-size analysis indicated that the great advantage for the congruent pairs compared to neutral and incongruent condition in children with mathematical difficulties. A bigger facilitation effect in congruent condition was shown because of physical size was automatically processed from infancy, and the numerical comparison RTs were significantly slower than physical size comparison. These findings suggested that children with mathematical disabilities have difficulty in number processing.

Key Words : mathematical difficulties, number automaticity, number Stroop, inhibition, development

Graduate School of Comprehensive Human Sciences, University of Tsukuba