

そろばんの心理¹⁾

冷水啓子

1. はじめに

いま日本では、小学校の算数教育の一貫として、第3学年と第4学年の算数に珠算が導入されている。1989年に改訂された現行の“小学校学習指導要領”（文部省）によると、数と計算に関する指導内容において、第3学年では“そろばんによる数の表わし方を知り、そろばんを用いて簡単な加法及び減法ができるようにする”ことが、そして第4学年では“そろばんを用いて、加法や減法の計算ができるようにする”ことが明記されている。さらに第5学年では、“統計的に考察したり表現したりする際に大きな数を多く取り扱う場面や小数の乗法及び除法で計算法則が成り立つかどうかを確かめる場面などで、計算の負担を軽減し指導の効果を高めるため、そろばんや電卓等を第5学年以降において適宜用いさせるようにする”と記載されている。改訂の前では第3学年だけで行われていたそろばんの指導が、第4学年においても教科内容に関連づけて必ず指導し、第5学年以降ではその活用を促進するというように改変され、現在に至っている。このことは、小学校の算数教育の中で、そろばん利用による学習効果が再認識され、改訂前よりも珠算学習への依存度がわずかではあるが高められたことを意味する。

さらに、中学校では珠算の指導は直接行われていないが、数学の指導計画において、数値計算をする場合、必要に応じてそろばんや電卓などを使用し

て学習効果を高めるよう配慮されている。高等学校では、商業の1科目である“計算事務”の中で珠算が取り扱われている。また盲学校²⁾でも、算数や数学の授業の中で、紙と鉛筆に代わる計算道具としてそろばんが導入されている(全国珠算教育連盟, 1993)。

そろばんは、日本では重宝な計算用具として伝統的に使われてきた。電卓はもとよりコンピュータの進化とその利用が急速に発展していく現代においても、教育現場では依然としてこの古くからあるそろばんが利用され、数の表し方や加法や減法の計算の仕方、億・兆におよぶ大きな数の扱い方についての理解を深めることが目指されている。伝統のそろばんと新しい電子機器を巧みに使い分けることによって学習効果をさらに高めることが期待されているのである。

では、このようなそろばんは初歩の算数教育の中でどのように位置づけられるであろうか。次に、計算道具としてだけでなく数や計算学習のための“教具”としてのそろばんに焦点を合わせ、それがもつ固有な性質や利用方法を検討してみよう。

2. そろばんの特徴と初歩の算数教育への利用

a. そろばんに固有な性質

そろばんに固有な性質として、広中平祐(1983)は次の3点を挙げる。第1は、そろばんが“機械として非常に単純”な構造をもっている(子どもがみてもその原理がだいたい分かる)ということである。第2は、そろばんを使うと計算の結果だけでなく、その過程も“見える”ということである。そろばんでは、珠の配置パタンの変化にしたがって計算の途中経過を逐一目で追っていける。第3は、そろばんによって“数の座標化”が可能になるということである。これは、電卓にはない、そろばんに固有な数値表現システムである。

そろばんを計算道具として使いこなせるようになるには、ある程度の練習期間が必要である。したがって、単純計算をするだけなら誰にでもすぐに使

える電卓のほうが手軽で便利であろう。しかし、そろばんのもつ固有の数値表現システムに着目するならば、基本的な数概念や計算手続きを学習する初歩の算数教育の中では、そろばんは有効な教具になると期待できる。

周知のとおり、そろばんでは任意の定位点を原点にして、右から左へ順に1の位、10の位、100の位、……と、整然と位取りが行われる。それぞれの桁には、1を表す1珠が4つと5を表す5珠が1つあり³⁾、その組合せで0～9の数値が表示される。そして1珠が5つのかわりに5珠を1つ置き、5珠が2つのかわりに次の桁に上がって1珠を1つ置くという仕組みになっている。遠山啓(1972)は、この方法は5・2進法と呼ばれるものの一種で、10進法の理解の促進に役立つと述べている。そろばんでは、1から10へ行くまでに途中5でひとまず“結集”させるので、その5が仲立ちとなって10の意味が分かりやすくなるからである。しかも、そのほうが速く楽に計算ができる。また、このように数が座標化されると、表示された数値の大きさ(概数あるいは各位の大きさ)を直観的に読み取ることもできる。隣あった大小の位の間で数がやり取りされる“繰上がり”や“繰下がり”などの基本的な計算原理さえも、実際に珠を動かしながら具体的に理解できるのである。

b. 教具としてのそろばん

そろばんは、算数教育における教具としてどのように利用されているのであろうか。数の学習では、一般的には具体的な数の操作から記号を使った抽象的な操作へと、段階的に学習を進めていくのがよいとされている。そのほうが子どもへの負担が小さくなり、着実に数概念や計算手続きを習得させることができるからである。その際、そろばんを導入すればさらに学習が促進されるのではないだろうか。たとえば、はじめに、子どもに馴染みの深い玩具や食べ物などの日常具体物を使って、数の合成・分解操作などの学習を行う。次に、半具体物である数図、計算棒、タイルを導入する(遠山, 1972)⁴⁾。さらにタイルと対応づけながらそろばんを使った学習に移り、そろばんと数字と数詞との相互関係を正しく理解させるという手順をふむと効果的である。

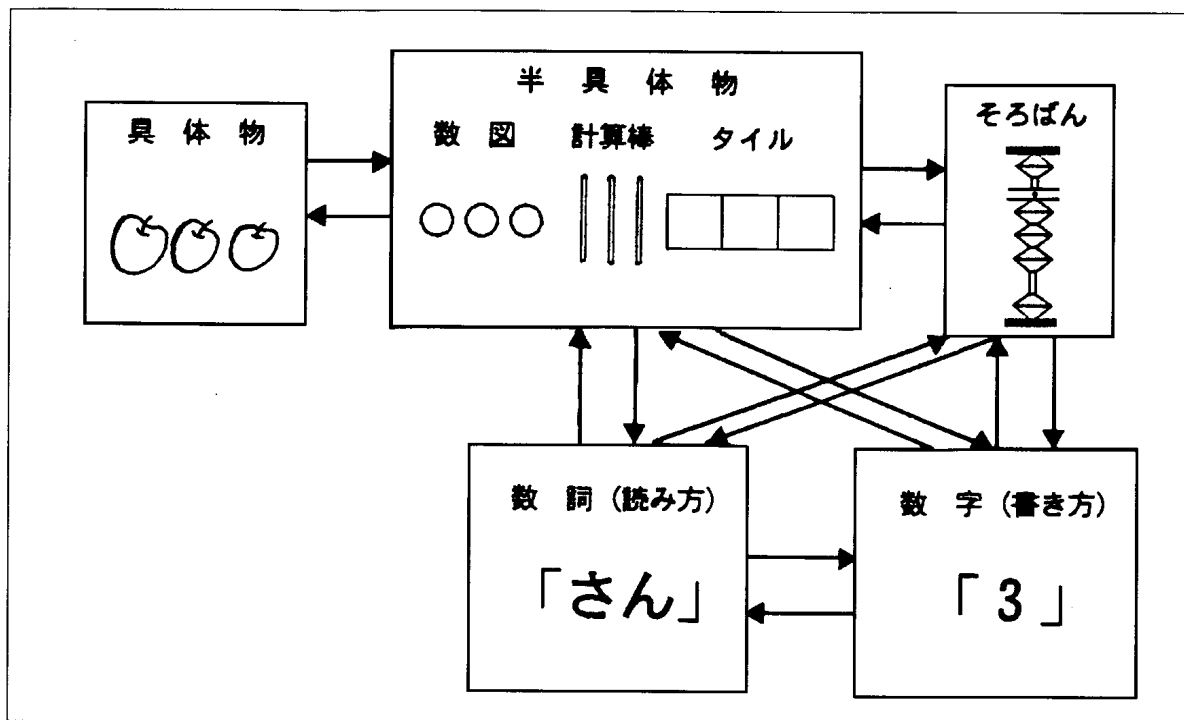


図1 (半)具体物, そろばん, 数字と数詞との相互関係 (冷水, 1988)

冷水啓子 (1988) はそれらの相互関係を図1に示すような図式で表した。

また佐伯胖 (1982) は, 子どもの計算手続きの理解を深めるために, K.VanLehn & J.S.Brown (1980) の“計画ネット (planning nets)”理論から提起されたそろばん導入学習が有効であると述べている。たとえば, 繰下がりを含む基本的な引算の筆算アルゴリズムを子どもに教えるときは, ディーンズ・ブロック (日本でいうタイル) からそろばんへ, そろばんから筆算へと進んでいくのがよいというのである。その考えに基づく学習方法の概要は次のとおりである。

初めに, 各位の大きさに比例した大小のディーンズ・ブロックを使って, 繰下がりの手続きが必要となる問題状況を子どもに与える。そのままでは引けないときは, 隣の大きい位から数を1つ借りてきて小さい位へ移し換えなければならないことを認識させる。次にそろばんの世界を導入する。そろばんを使って, 任意の原点を起点として右から左へ順に1,10,100, ……と各位の配列が決められていること, 1列には0~9までの数しか置けないこと, 0の値を取る位はその位置を開けておくことなどの重要性を理解させる。

そして最後に紙と鉛筆による筆算へ移って、右（小さい位）から左へ計算して行く便宜上の理由、即ち、右から計算すると途中の計算結果の書換えが減って効率が上がることを納得させるのである。

このように、数概念や計算のアルゴリズムを教えるときは、その手続きだけでなく“手続きの意味”を理解させなければならない。その手続きがどうしても必要となる事態を“心的モデル (mental model)”を使って明示した上で、それをを用いることの必要性や意味までも十分に理解させるべきである。そろばんはそのための教具——有意義な心的モデルを提供する素材——として有効である、と彼らは考えるのである。

3. 珠算学習による波及効果

ところで、珠算教育の現場で盛んに議論されている問題は、珠算学習が学校教育や子どもの知的発達へどのような波及効果をもつかということである。この問題に関して、次のような調査や実験報告がある。

まず、珠算学習による波及効果が認められたものに、“珠算塾に通っている子どもは通っていない子どもより珠算への関心が高く、加算力に優れている”（橋本 他, 1975）, “珠算学習によって、数値計算や数交換などの数処理能力や知覚的異同弁別能力が向上した”（旦尾, 1976）, “珠算技能水準が高い子どもほど、算数と読書 (reading) の成績がよい”（Stigler et al., 1986）などがある。そのうち、数値計算、暗算、数処理に関する能力の伸びは、それらの能力が珠算技能と直接の関連性が高いので当然予想される結果である。読書の成績の伸びは、珠算学習を通じて向上した空間的能力が間接的に読書能力に影響を及ぼしたためではないかと説明された。しかし、その他の一般的能力への波及効果には一貫した傾向がみられず、珠算学習との直接的因果関係は明らかでない。

一方、波及効果が認められなかったものに、“珠算と筆算間の転移は生じにくい”という天岩静子（1987 a）の報告がある。彼女は、珠算では3桁の減算が正しく解けても筆算になると偶発的な誤りが多かったり、一定のバグ

を示す小学2・3年生を対象に、同一問題を筆算と珠算で繰り返し交互に解く経験を与えた。その結果、珠算から筆算への転移がわずかに促されたが、その効果は大きくなかった。同様に、筆算の順序に合わせて1の位から行う珠算を導入しても効果が上がらなかった。その理由として挙げられた第1は、それぞれの計算方法を習得する背景（社会的文脈）が大きく異なることである。筆算は学校の教室で紙と鉛筆を使って学ぶが、珠算は塾でそろばんの珠の操作を通じて学ぶ。子どもにとって2つの計算の世界が異なる、即ち、それぞれを相異なる小世界（microworld）として別個に認知しているから転移が起こりにくいということである。第2は、珠算の各ステップが十分理解されていないことである。珠算塾では、どうしてそのように珠を動かすかが分かること（操作手続きの意味の理解）よりも、より速く、より正確に珠をはじく練習のほうが優先されているようである。したがって、珠算操作をその意味とともに学習すれば、他の学習への転移がもっと容易になると考えられる。

そのほかに、“珠算技能を6進法・12進法の加算へ適用することができない”（天岩，1987b）や、“多桁乗算・除算で記憶負担の小さい計算方略を適宜採用するという柔軟さがない”（天岩，1988）などの報告がある。いずれにしても、異なった計算手続きへの珠算技能の転移は困難なようである。

4. 珠算式暗算における“心的そろばん（mental abacus）”の特徴

a. 心的そろばんとは何か

珠算学習で重視されるのが珠算式暗算技能の習得である。この技能を持つ者は、実際のそろばんのかわりに記憶の中にあるそろばんのイメージを使って計算するので、非常に効率よく暗算ができる。この珠算式暗算技能、いわゆる“心的そろばん”は、領域に固有な（domain-specific）認知的技能の1つとして認知心理学研究者たちの関心をひき、記憶、表象（representation）、イメージ操作、問題解決の手続き、技能の獲得と熟達化の過程などの観点からさまざまな検討がなされた（たとえば、Hatano, Amaiwa & Shi-

mizu, 1987; Stigler et al., 1986; Stigler, 1984; Hatano & Osawa, 1983)。

心的そろばんは、実際のそろばんの珠を指で弾いて計算するという操作が心内化 (internalize) されたものである。珠算学習を通じてしだいに鮮明なそろばんの珠のイメージが形成されるようになると、そろばんの操作そのものも心内化されていく。珠算技能が2級に達すると、2位数・3桁 (2桁の数が3個) の加算が自然に暗算でできるようになるらしい。もっとも、特別に暗算練習を行ったほうが暗算技能の習得が速くなるのは広く認められている現象である (江崎, 1980)。

学習を開始した初期の段階では、実際のそろばんの珠に近い具象的なイメージを表象し、それをあたかも指で弾くようにして計算するという。これは、暗算手続きがまだ十分に心内化されていないために起こる現象である。正確な暗算を行うには、このような視覚・空間的イメージ操作と手指の運動との共応 (coordination) を必要とするのであろう。G. Hatano, Y. Miyake & M. G. Binks (1977) によると、暗算技能に習熟するまでの中間段階 (珠算1級～初段) では、手を固定して指の運動を禁止したりタッピングによって自然な指の運動を妨害すると、妨害効果が生じて結果に誤りが増えることが認められた。また、この段階では、“1”を“6”、“8”を“3”と誤るような5珠の過不足による“5違い”や、“3 2 5 8 9”から1字落として“3 2 8 9”と誤るような“数字の脱落”といった誤答がよくみられる (Stigler, 1984)。これらは珠算式暗算に特有の誤答パターンの例である。

さらに暗算練習を続けていき、そろばんイメージが5桁ぐらいの幅をもって安定してくる (4段以上) と、今度は少しずつその幅を広げる練習へ移行する。たとえば、G. Hatano & K. Osawa (1983) や大沢啓子 (1982) の研究における協力者の一人で、公式の珠算競技全国大会の読上暗算部門で優勝した経歴をもつ女性選手の場合は、小学4年生で本格的な練習を始めてから2年後には5～8桁の暗算ができるようになり、その後は1年にほぼ1桁の割合で桁数を増やしていったということである。

このように高度な習熟段階に入ると、手続きの心内化が確立し、暗算速度

はさらに増して、イメージ操作の自動化が進む。表象される珠のイメージは不鮮明で抽象的なものとなり、それが素早く自動的に変換操作されるようになる。その一方で、暗算にともなう手指の運動はしだいに小さくなっていき、最終的には消失する。その結果、実際にそろばんを使って計算するよりも、暗算で行うほうが速くなる。珠をいちいち指で弾かなくても済む分、計算の所要時間が短縮されるからである (Stigler, 1984)。実際に、珠算競技の全国大会で優勝するほどの暗算熟達者になると、数字の読み上げ速度が毎秒約3個という読上暗算の条件のもとで、5～10桁の加減算を誤りなく解くことができる。

b. そろばんイメージの視覚的特徴

珠算式暗算で使われるそろばんイメージは、基本的には、実際のそろばんが図式的にイメージ化されたものである。計算過程であまり重要でないそろばんの部位（たとえば、枠、珠軸、定位点など）は、たいていの場合捨象される (Hatano & Osawa, 1983)。しかし、珠の形や鮮明さ、色相、意識される位置などは、技能水準や個人によって異なるようである。

齊藤雍夫 (1975) が行った質問紙調査の結果を見ると、珠算の初級者では、上級者に比べ、実際に近い具体的な形態をもつ鮮明な珠のイメージを表象する者が多いようである (図2(イ)を参照)。そして、色は自分が日常使っているそろばんの珠と同じ色で、あたかも実際に指で珠を弾いているかのように指先に珠を意識するといった傾向があるらしい。それに対して、上級者ではぼんやりとして不鮮明な珠のイメージを表象する者が多くなる (図2(ロ)を参照)。しかも、彼らのほとんどが、珠の色は“ない”か“よくわからない”と答え、“額”か“眼の前”に珠を意識するという。

さらに優れた熟達者になるとどうだろうか。個人差が大きくて一概にはいえないが、たとえば前述の女性選手の場合は、10桁までの加減算を行うときでも、いつでも10桁分の珠のイメージがきちんと浮かんでいるわけではないらしい。ちょうど計算しているところの珠の列だけがまるでスポットライト

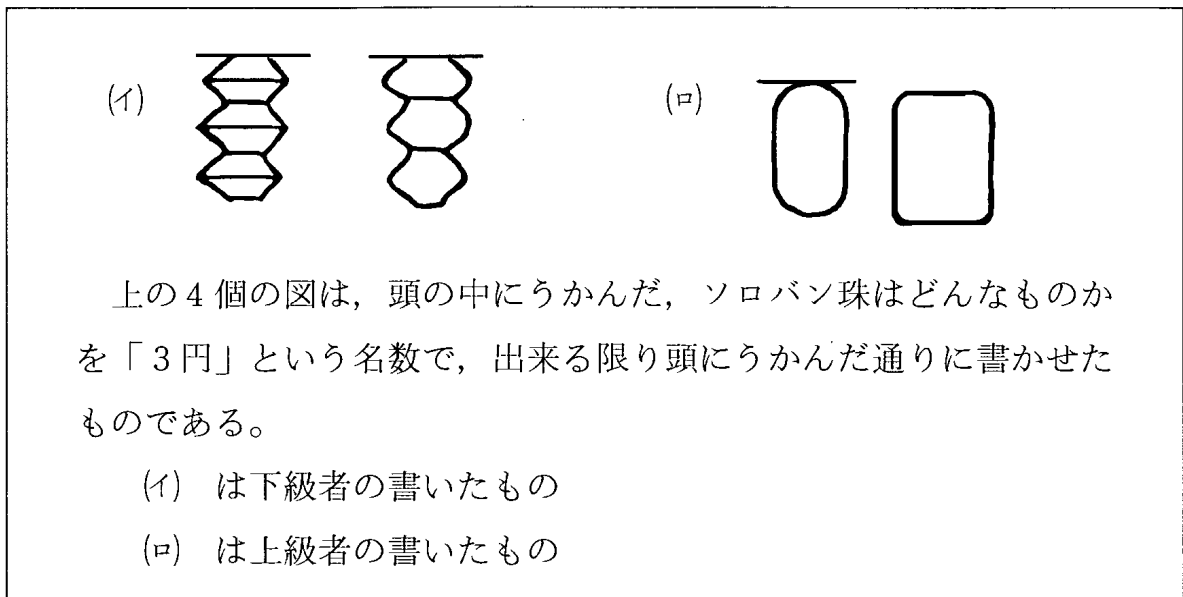


図2 技能水準によるそろばんイメージの違い (齊藤, 1975)

を浴びるように鮮明に浮かび上がり、その他の部分はぼやけてしまうという。計算の進行にともなって、鮮明なところと不鮮明なところが目まぐるしく交替するそうである。一方、東京都の珠算コンクールで優勝したある男子高校生は、そろばんイメージらしきものはほとんど意識しないらしい。“瞬間的に答えが出てくる”という(1980年5月15日付, 朝日新聞)。彼の場合、心的そろばんが高度に自動化された結果、意識閾下で働く特殊な認知的演算装置として機能するようになったと考えられる。

5. 珠算式暗算学習者における心的そろばんの形成と熟達過程

Hatano & Osawa (1983) と大沢 (1982) は、珠算式暗算の熟達者のもつ数記憶技能を調べ、数の記憶装置として使われる心的そろばんの心理学的メカニズムについて詳細な検討を行った。彼らの研究に協力した優れた熟達者たちは、いずれも公式の珠算競技大会の読上暗算部門で優秀な成績を修めた、日本珠算界の最高水準にある実力者たちである。さらに、G.Hatano, S.Amaiwa & K.Shimizu (1987) は、暗算技能の熟達化に伴って生ずる数の表象と記憶の仕方の変化を調べ、心的そろばんの形成とその熟達過程を検討した。次に、これらの研究から明らかにされた主な結果を5点挙げてみよう。

a. 数唱範囲⁵⁾

熟達者の数唱範囲は標準値（ 7 ± 2 ）の2倍以上の大きさになっているが、その他（アルファベットや事物名などの系列）の記憶範囲は標準値を示した。このように大きな数唱範囲は、もともとは普通の記憶能力しかもっていなかったものが、長期にわたる暗算練習を通じて心的そろばんを習得し、イメージの幅を広げていった結果の副産物であると考えられる。しかし、数唱範囲の拡大は、ある程度珠算学習を積まないと実現できないもののようである。暗算技能習得の中間段階にある中級者では、珠算学習の未経験者や初級者と比べても、まだ数唱範囲に顕著な差がみられないという（Hatano et al., 1977; 菱谷・山内, 1976）。また視覚障害者の場合でも、珠算技能水準が高くなるにつれて数唱範囲の拡大が認められている（Shimizu, 1995）。

b. 数を逆唱する速さ

熟達者が数系列を逆唱する速さは、順唱する速さとほぼ等しい。彼らが数系列を復唱するとき、そろばんイメージの上に置いた数値を、順唱では左から右へ、逆唱では反対に右から左へと、機械的に“読み上げていく”だけなので、両方の作業手続きの困難度に大きな違いがないということである。

このように順唱と逆唱の速さに差がなくなり、心的そろばんによる数記憶が安定してくるのは、珠算技能1・2級以上になってからである。3・4級の中級者は、心的そろばんの習得への移行段階にあって、音声コードを使ったりリハーサル緩衝器（rehearsal buffer）を折衷利用していると考えられる。それに対して、心的そろばんをまだ形成していない5・6級以下の初級者や珠算学習未経験者の場合は、逆唱は順唱よりもはるかに困難な作業となる。彼らが逆唱するとき、一度音声コードで記憶した数系列を逆に並べ換えながら唱えて行かなければならない。そのため、系列の置換を行う分だけ順唱よりも余計に時間がかかり、リハーサルに要する記憶負荷も大きくなるからである。

c. 数記憶と前負荷された (preloaded) 言語的記憶との両立性

熟達者は、数の前にその他の事物名を同時に並行して記憶することができる。つまり、数記憶と言語的記憶の両立性 (compatibility) が高いということである。“バナナ, メロン, ブドウ, 1, 7, 3, 8, 6, 2, 5, 9, 4, 8, 6, 9, 3, 7” というように、3音節の果物名の系列に続いて数系列を呈示した後で全体を復唱させるという“前負荷数唱課題”を行ったところ、熟達者は、先に覚えなければならない果物名の数がその記憶範囲より少なければ、数唱範囲に近い数系列は正しく復唱できた。したがって、彼らの数記憶は視覚・空間的作業貯蔵 (visuo-spatial working storage) によるものであり、リハーサル緩衝器を用いた聴覚・言語的 (aural-verbal) な果物名の記憶との並行処理がある程度可能になると考えられる。中央実行部 (central executive) による支援を必要としない記憶範囲内の貯蔵であれば、視覚・空間的作業貯蔵とリハーサル緩衝器が比較的独立して作動する (Baddeley, A., 1981) ために、両者の両立性が高まるのであろう。

ところが、数系列の代わりにアルファベット系列を使って、同様な前負荷復唱課題を行うと、先に覚えなければならない果物名の数が増えるにしたがって、アルファベットの復唱数が減少していった。果物名の数が自己の記憶範囲に達すると、アルファベットはほとんど貯蔵できなかつた。この条件では、熟達者でも、一般に行われているように、果物名とアルファベットを同じリハーサル緩衝器によって記憶するため、全体で 7 ± 2 の記憶範囲に達すると、それをさらに超えてアルファベットを貯蔵することは困難になるのであろう。

d. 挿入課題による数記憶への妨害効果の違い

熟達者の数記憶の性質をその他の言語的記憶と比較検討するために、選択的干渉パラダイム (selective interference paradigm : L.R.Brooks, 1968) に基づく記憶実験が行われた。この実験では、熟達者を対象に、数とアルファベットのそれぞれの系列について系列の提示終了直後から復唱開始までの間に別の挿入課題を行ったとき、その挿入課題の性質 (処理の様相が聴覚・言

語的であるか視覚・空間的であるか)によって、系列記憶への妨害効果がどのように異なるかが調べられた。その結果、彼らの数記憶は、視覚・空間的挿入課題 (interpolated task)⁶⁾ の遂行によって強い妨害を受けることが明らかになった。反対に、数以外のアルファベット系列の記憶では、聴覚・言語的挿入課題⁷⁾ によってより強い妨害を受けることも分かった。このパラダイムでは、同一の処理様相 (modality) をとる活動を並行して行うので、両者は互いに干渉し合い、遂行水準がともに低下するという。したがって、この結果は熟達者の数記憶が視覚・空間的作業貯蔵に基づくという証拠となるであろう。これに関連して、珠算式暗算学習者の左右大脳半球機能差を検討した八田 (1987) の研究⁸⁾ においても、熟達者の数処理システムにおける特殊性が認められている。

さらに、珠算式暗算技能水準による妨害効果の違いが検討された。その結果、数記憶に関しては、1・2級を境にして、それより低い段階では聴覚・言語的挿入課題による妨害のほうが大きく、反対に、それより高い段階になると視覚・空間的挿入課題による妨害のほうが大きくなる傾向が認められた (図3を参照)。他方、動物名系列の記憶では、技能水準の違いに関わらず、聴覚・言語的干渉をより強く受けることが明らかにされた (図4を参照)。

また、K.Shimizu (1995) は、視覚障害をもつ珠算学習者を対象に、同様の選択的干渉パラダイム⁹⁾ を使って珠算式暗算技能水準による妨害効果の相違を検討した。視覚障害者は、一般とは異なる特殊な心的そろばんを獲得すると考えられる。視覚経験の有無や障害の程度の違いによる影響は少ないであろうが、熟達化にともなって触覚的・空間的な様相が優位になっていくと考えられる。しかしその研究結果からは、暗算習熟レベルによる妨害効果の顕著な差違を認めることはできなかった。その理由として、珠算の下位クラスと上位クラスの学習者間に一般の場合ほど習熟レベルの差がなく、上位の学習者においても心的そろばんの形成が不十分であったことがあげられる。視覚障害者における珠算式暗算技能の獲得とその熟達化に関しては、今後の研究の発展に期待したい。

そろばんの心理

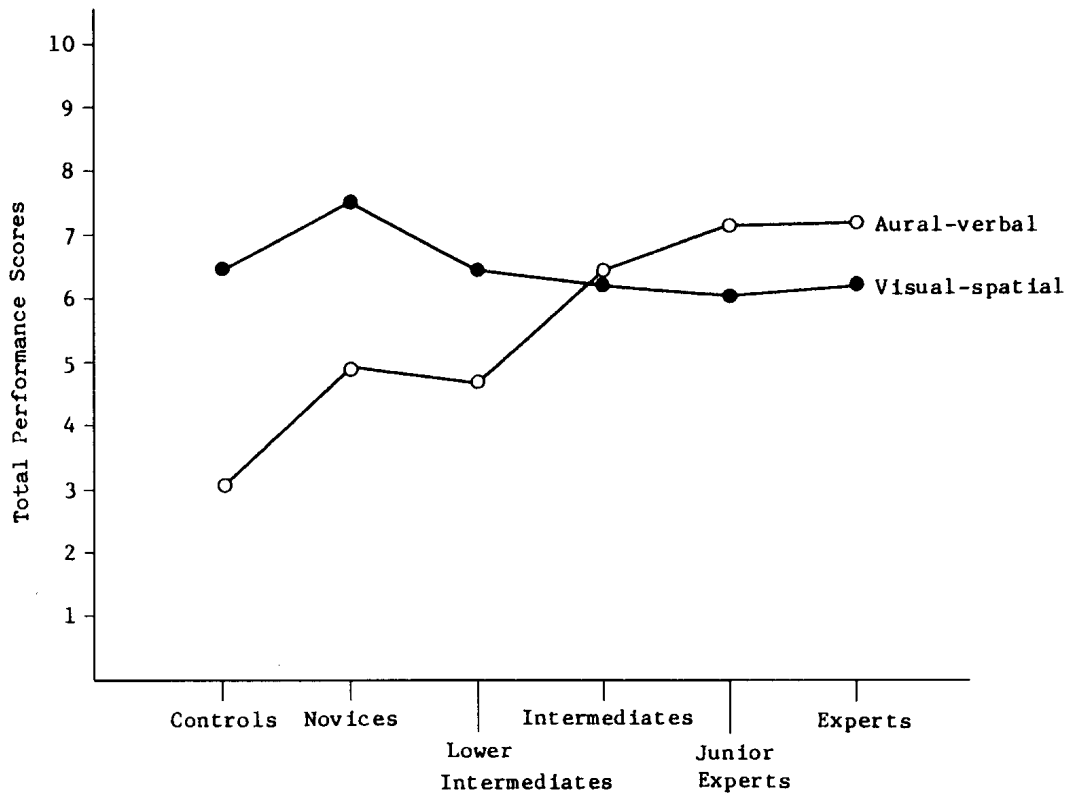


図3 2種類の挿入課題の遂行による数記憶への影響 (Hatano et al., 1987)

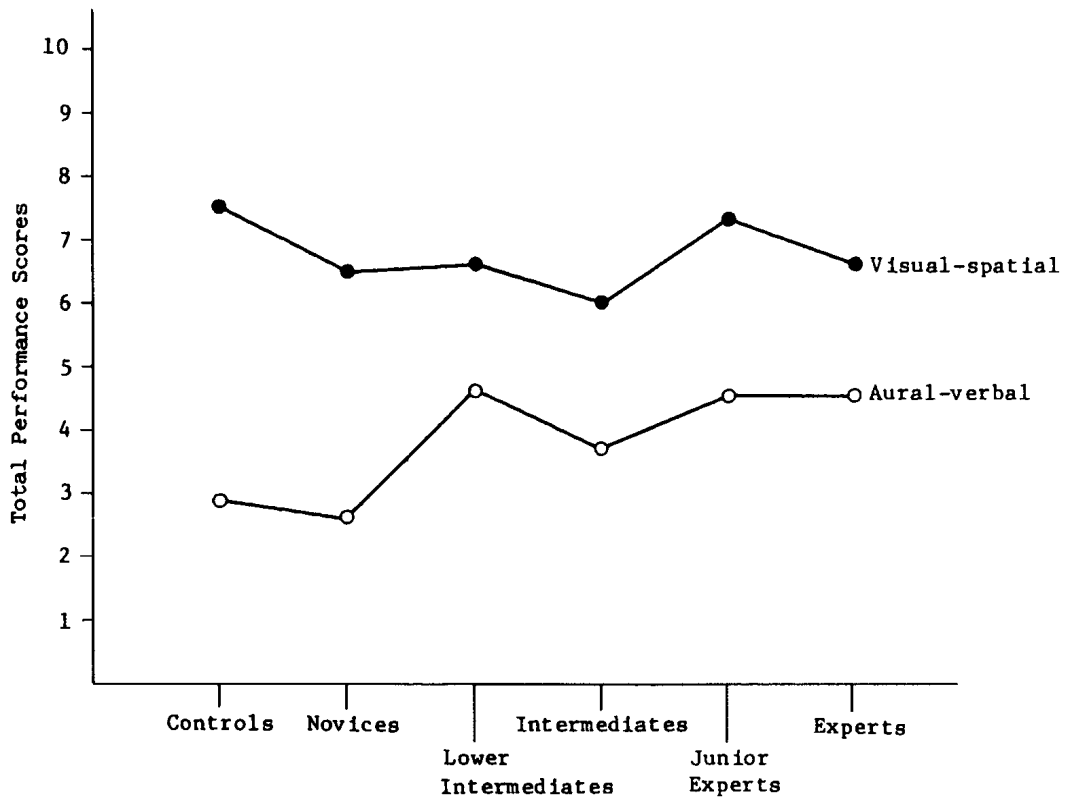


図4 2種類の挿入課題の遂行による数以外の記憶への影響 (Hatano et al., 1987)

e. 数の保持

熟達者は、各々の数唱範囲内にある数系列であれば、30秒以上、必要とならば何時間でもそのまま保持できる。しかし、その必要がなくなって保持していた数を一度“ご破算”してしまおうと、もはや再生も再認もできなくなる。彼らの場合、数はほとんど長期記憶へ転送されないようである。しかも、過大な数系列をいくつかのチャンクに分けて記憶し、記憶の負担の軽減と効率化を図るといった、チャンキング (chunking) 方略も用いていないようである。実際に暗算をするときは、心的そろばんで表象した数値を次々と新しい数値へ置き換えていかなければならない。長期記憶への転送やチャンキングを行わないほうがかえって効率がよく、速く正確な暗算処理ができるからであろう。

6. おわりに

珠算式暗算の熟達者は、数記憶に際しても心的そろばんを使う。このような特殊な数記憶方略は、高度に発達した暗算技能から自動的に転移されたものである。そもそも心的そろばんとは、そろばんイメージを使って数の記憶や四則演算を行う認知システムのことである。それは、基本的には、視覚的または聴覚的に入力した数の情報を、そろばんイメージという形態で視覚・空間的に表象し、作業記憶で貯蔵や変換処理を行うという手続き的 (procedural) 技能である。したがって、そろばんイメージの数値を次々と入れ換えながら暗算を行うという心的そろばんは、実際のそろばん操作のアナロジーとして珠算アルゴリズムがそのまま心内化された“定型的な (routinized)”技能だと考えられる。

心的そろばん技能が熟達化するにつれて処理の速さや正確さが増大し、自動化が進む。暗算処理のために配分される資源や注意は徐々に少なくなるため、それと競合しない性質の異なった別の作業であれば、同時に並行して行うことも可能となる。しかし、領域固有性による制約のため、数以外の言語的記憶や珠算とは異なる計算手続きに対してはその技能の転移は困難である。

Hatano (1982) は、こういった性質をもつ珠算式暗算の熟達者を“定型的熟達者 (routine experts)”と呼ぶ。その一方で、それとは異なるタイプ、すなわち、豊かな内容が高度に構造化された“宣言的知識 (declarative knowledge)”をもち、柔軟で適応的な問題解決を行う熟達者を“適応的熟達者 (adaptive experts)”と呼んで、2つのタイプの熟達者を明確に区別している。さらに波多野誼余夫 (1988) は、定型的熟達者または定型的熟達化の特徴として、4つの性質を挙げている。それらは、“技能の自動化 (automatization)”, “心内化”, “モジュール化” (これは、数系列を自動的に心的そろばんへ変換していくために使う専用の表象系の形成を意味する), “計算システムとしての純化” (熟達するにしたがって、そろばんイメージがより単純により抽象的になっていくことを意味する) である。これらの特徴は、彼とその共同研究者たちが行った一連の珠算式暗算熟達者研究を通じて明らかにされたものである。このように、珠算式暗算技能の熟達過程は、定型的熟達化をあらわす典型例の1つとして重要視されている。そのメカニズムを解き明かすために、今後の研究の発展を期待したい。

註

- 1) 本稿は、日本認知科学会 第7回“学習と対話研究分科会”(1988)での口頭発表に際し提出した資料(メンタル・アバカスの熟達過程『日本認知科学会第7回学習と対話研究分科会資料』, Vol. 88, No.1, 14-21)に加筆修正を加えたものである。
- 2) 視覚障害者が使うそろばんでは、そろばん珠のかわりに豆板が用いられている。数を入れるときはそれを上へ、払うときは下へ倒して計算する。
- 3) 現在の4つ珠そろばんは昭和13年に文部省によって標準化されたもので、それ以前は5つ珠が使われていた。それ以外に、上に2つ珠、下に5つ珠という構造をとる中国式そろばんもある。
- 4) 水道方式による計算体系を確立した遠山(1972)は、タイルはそれらの中で最も優れた教材で、“位取り原理”の前提となる10進法の理解に有効だと考える。タイルを縦横につなげたり分けたりする操作(タイル学習)を通じて、タイル、数詞、数字の3項関係を強め、10進法、位取り原理、繰り上り・繰り下り、加減

- 乗除の手続きの理解が促進されるという。
- 5) 数唱範囲とは、一度聞いただけで覚えて正しく復唱できる数字の系列の最大の長さ（数字の数）のことである。そのとき、聞いた通りに最初から系列を唱えていくのが順唱で、逆に系列の最後から唱えて行くのが逆唱である。これは記憶能力を測定するときによく使われる指標の1つである。
 - 6) 視覚・空間的挿入課題には2種類ある。その1つは、6つの選択肢の中から見本と同じものを選択するという線画のマッチング課題である。これは、KaganのMFF（Matching Familiar Figures）テスト児童版から項目を選出して用いた。もう1つは、短時間呈示された見本と同じものを5つの選択肢の中から再認するという線画の再認課題である（冷水, 1986a）。
 - 7) 聴覚・言語的挿入課題には2種類ある。“日本で一番高い山は何か？”といった簡単な質問に答える課題と、“ガラス”を“スラガ”に言い換えるといった3音節からなる事物名の逆唱課題である。
 - 8) 彼によれば、暗算技能の習熟にともなって、暗算処理に関与する脳が特異的に左脳から右脳へ移行するらしい。暗算をしながらコンピュータのキーボードを叩くという二重課題法による実験を行ったところ、珠算熟練者（2級～9段）では、左手でキーボードを叩くときのほうが右手で叩くときよりも成績が低下し、左手の運動によってより強い干渉を受けた。これは、彼らの暗算処理に右脳が強く関与していたことを意味する。反対に、珠算学習未経験者では、右手でキーボードを叩くときの成績のほうが有意に低下したので、左脳が強く関与していたと考えられる。しかし、ニュースを聞いて覚えたり文字を読みながらキーボードを叩く課題では、両群に差がなく、どちらの群でも右手による干渉のほうが強かった（左脳が関与した）という。
 - 9) ここでは、視覚・空間的挿入課題のかわりに触覚・空間的挿入課題を新たに作成して用いた。それらは、ボタン、布、ブロックなどの小物を触りながらマッチングさせる課題や、自動車、動物、果物などの小型模型を触って再認させる課題である。

引用文献

- 天岩静子 1987 a 珠算・筆算間の減算手続の転移 『教育心理学研究』, 5, 41-48.
- 天岩静子 1987 b 珠算技能の6進法・12進法への適用 『日本教育心理学会第29回総会発表論文集』, 670-671.
- 天岩静子 1988 珠算習熟者の多桁乗算・除算の計算方略 『日本教育心理学会第30回総会発表論文集』, 786-787.
- 且尾 広 1976 珠算学習が子供の知的発達に及ぼす効果<縦断的研究> 『日本珠算』, 269, 18-22.
- Baddeley, A. 1981 The concept of working memory: A view of its current state and probable future development. *Cognition*, 10, 17-23.
- Brooks, L.R. 1968 Spatial and verbal components of the act of recall. *Canadian Journal of Psychology*, 22, 349-368.
- 江崎真一 1980 珠算式暗算における心内化された運動について 『日本珠算』, 314, 2-5.
- 橋本重治・辰野千寿・福沢周亮 1975 珠算の学習は学校教育にどのような影響を与えるか 『珠算春秋』, 40, 2-20.
- Hatano, G. 1982 Cognitive consequences of practice in culture specific procedural skills. *The Quarterly News letter of the Laboratory of Comparative Human Cognition*, 4, 15-18.
- 波多野誼余夫 1988 珠算式暗算における習熟：定型的熟達化の一事例 日本認知科学会(編) 『認知科学の発展』, Vol.1, 141-160.
- Hatano, G., Amaiwa, S. & Shimizu, K. 1987 Formation of a mental abacus for computation and its use as a memory device for digits: A developmental study. *Developmental Psychology*, 23, 832-838.
- Hatano, G., Miyake, Y & Binks, M, G. 1977 Performance of expert abacus operators. *Cognition*, 5, 47-55.
- Hatano, G. & Osawa, K. 1983 Digit memory of grand experts in abacus-derived mental calculation. *Cognition*, 15, 95-110.
- 八田武志 1986 『伸びる育つこどもの脳』 労働経済社
- 広中平祐 1983 算数教育と珠算 『珠算春秋』, 55, 2-21.
- 菱谷晋介・山内光哉 1976 ソロバン習熟者の暗算における情報処理過程の分析 『九州大学教育学部紀要』, 20, 55-62.

- 大沢啓子 1982 熟達者—初心者の差異 波多野誼余夫(編)『学習と発達』(認知心理学講座4) 東京大学出版会
- 佐伯 胖 1982 心的モデルによる理解と学習 波多野誼余夫(編)『学習と発達』(認知心理学講座4) 東京大学出版会
- 斉藤雍夫 1975 珠算式暗算像の実態についての考察(その1) 『珠算界』, 267, 4-14.
- 冷水啓子 1983 珠算式暗算における視覚・空間的数記憶技能の熟達化 『日本心理学会第47回発表論文集』, 274.
- 冷水啓子 1986 中心・偶発学習課題における選択的情報処理行動の発達——刺激統合効果—— 『心理学研究』, 55, 327-334.
- 冷水啓子 1988 子どもの数概念の発達と珠算教育 『珠算時流』, 138, 10-25.
- Shimizu, K. 1995 Formation of a mental abacus for computation in the visually handicapped. 『川村学園女子大学研究紀要』, Vol.6, No.2, 91-97.
- Stigler, J. W. 1984 "Mental abacus": The effect of abacus training on Chinese children's mental calculation. *Cognitive Psychology*, 16, 145-176.
- Stigler, J. W., Chalip, L. & Miller, K.F. 1986 Consequences of skill: The cases of abacus training in Taiwan. *American Journal of Education*, 94, 447-479.
- 遠山 啓 1972 『数学の学び方・教え方』 岩波新書.
- VanLehn, K & Brown, J. S. 1980 Planning nets: A representation for formalizing analogies and semantic models of procedural skills. In R.E.Snow, P.Ferderico & W.E.Montague (Eds.), *Aptitude, learning, and instruction*, Vol.2, Lawrence Erlbaum Associates.
- 全国珠算教育連盟 1993 『そろばん教育の現状—1993年版—』

The Psychology of “Soroban”

Keiko SHIMIZU

An abacus, called “soroban” in Japanese, is used for arithmetic calculation throughout Asia. In Japan, children study the abacus as part of the third- and fourth-grade mathematics curriculum in elementary schools. They are taught the basics of addition and subtraction, using the abacus. The abacus is also an effective tool in order to acquire a basic conception of number through an elementary arithmetic: it can represent the structure of numbers; it can be manipulable and imaginable mentally by children, in the same way as “TILES” can (e.g. Toyama, 1972)

Recent investigations into the characteristics of abacus and abacus-derived mental calculation skills revealed that abacus operating skills contained a rapid, accurate, and automatic mental system for representing numbers: advanced abacus operators could construct a mental image of the configuration of the beads, and perform mental calculations by moving the “beads” of their mental abacus and reading off the resultant number as they would on a real abacus (Hatano, Miyake, & Binks, 1977; Stigler, 1984). In addition, grand experts of abacus-derived mental calculation had an extended and stable mental abacus and used it as a visuo-spatial memory device for digits (Hatano & Osawa, 1983). Furthermore, the digit memory of the mental abacus operators became more and more visuo-spatial in nature as they gained

expertise (Hatano, Amaiwa, & Shimizu, 1987). Discussions have also focussed upon whether the visually handicapped could develop an equivalent tactile-spatial mental abacus as they gained expertise; in other words, whether representational changes in digit memory would be observed among the visually handicapped as a function of the extent of expertise in mental abacus operation (Shimizu, 1995).

As a whole, these studies suggest that grand experts of mental abacus operating acquire a powerful system of representation of digits and calculation which is formed through routine problem solving, that is a mental abacus, and applied their mental abacus only to digit memory. Therefore, these experts can be called “routine experts” (Hatano, 1982).