Tsukuba Psychological Research
1992, 14, 55-59

暗算の熟達化過程の情報処理的分析[1]

筑波大学大学院(博)心理学研究科　比留間太白

筑波大学心理学系　海保　博之

Acquiring expertise of mental calculation

Futoshi Hiruma and Hiroyuki Kaiho (*Institute of Psychology, University of Tsukuba, Tsukuba 305, Japan*)

This study examined how and to what degree a novice becomes an expert at the crossing method (an algorithm for squaring numbers of two figures mentally) by repeated practice. In the first phase of the experiment, three subjects practiced the crossing methed for five consecutive sessions, and after a week, for four consecutive sessions. Performance was assessed on isolated components of the algorithm after practice. In the second phase of the expriment, three subject's states of expertise were examined by the interference tasks. In the third phase of the experiment, the subjects practiced the crossing methed through writing down the process of calculation for two weeks. The speedup of calculation was found during the practice and at the end of the fifth session the plateau was indicated. But the level of expertise did not reach that of experts in the light of the speedup and the performance of the interference task. Results showed the speedup of calculation involved compiling (organization) of the procedure. The practice through writing down the process of calculation had a little effects for getting out of the plateau.
Key words: expert, expertise, mental calculation

知覚，記憶，計算，判断などの高次の認知機能において，並外れた能力を示すエキスパートを本稿では，運動能力において優れるエキスパートと区別して，認知エキスパートと呼ぶ．これまでに行なわれてきた認知エキスパートに関する研究は，大きく3つに分けることができる(これまでの認知エキスパート研究をレヴューしたものとして，比留間・海保，1990を参照)．

1つは，特定分野のエキスパートについての事例的研究である．もう1つは，エキスパートと初心者との比較研究である．最後の1つは，熟達化過程に関わる研究である．

このうち，熟達化過程に関する研究は，膨大な時間が必要とされるためか，その数は少ない．本研究は，「たすきがけ法」(この方法については，Fig. 1参照)という暗算方略を題材として，この方略を知らない初心者が，反復練習によって，どこまで，かつ，どのように熟達していくのかを検討する．具体的な検討課題は，次の3つである．

1つは，この暗算方略をただ反復練習するだけで，どこまで熟達化するかである．熟達化には，反復練習は必須であるが，果たしてそれだけで十分であるのかが検討される．

もう1つの検討課題は，はじめの課題と関連して，仮りに，単なる反復練習だけでは，十分な熟達化の段階にまで到達しないとするなら，熟達化を促進させるなんらかの方策がないかどうかを探ることである．

最後の検討課題は，反復練習に伴う認知的な情報処理がどのように変化するのかを見ることである．

1　本研究は比留間が1990年に筑波大学心理学研究科に提出した，修士論文の一部を加筆，修正したものである．

例　32×28＝896
段階０：３　２
　　　　２　８
段階Ａ　：２×８＝16…………………６(一位)
段階Ｂ　：３×８＋２×２＋１＝29…９(十位)
段階Ｃ　：３×２＋２＝８…………８(残りの位)

実方を上下に並べる(段階０)．実方の一位の積を求める．積の一位が最終解の一位となる．(段階Ａ)．実の十位と方の一位，実の一位と方の十位との積和を求める．もし，段階Ａの積が２桁であれば，その十位も加わる．その解の一位が最終解の十位となる(段階Ｂ)．実方の十位の積を求める．もし，段階Ｂの解が２桁以上であるなら十位あるいは，百位と十位も加える．これが最終解の残りの位となる(段階Ｃ)．

Fig. 1　「たすきがけ法」の例

暗算過程は，認知的情報処理の観点から幾つかの下位過程に分離することができる．この下位過程のどの部分の処理が効率化するのか，干渉課題に対する頑健性はどうなのか，方略の手続き化の進行はどのような経過をたどるのか等を，計算に要した時間から推論する．

方　法

実験の概略

実験は大きく３つの局面からなる．局面１として，「たすきがけ法」の反復練習と下位過程の変化を検討する課題(計算要素テスト，中間解操作力テスト，問題記憶テスト)が６日間にわたって実施された(ただし，反復練習は５日間にわたって行なわれた)．さらに，２週間の間隔をおいて，反復練習と上述した課題が４日間にわたって実施された．局面２として，約２ヵ月後に，第１日目に30試行の再練習を行い，第２日目に，干渉に対する頑健性という観点から，「たすきがけ法」の熟達化状態を検討するために，タッピング課題と中断課題が実施された．続いて，局面３として，熟達化をさらに促進させるための課題が実施された．各課題の具体的内容は以下で説明する．

「たすきがけ法」の練習

「たすきがけ法」の練習[2]は，２桁の積算を１日約27題行なうというものであった．この時，全ての試行で反応時間，解答の正誤が記録された．

下位過程の変化を検討するためのテスト

「たすきがけ法」では，単純な計算と，問題を記憶することと，途中結果を一時保持すること，の３つが主要な情報処理段階となる．これらが，暗算の反復練習にともない，どのように効率化していくかを局面１の随所でチェックした．具体的な方法は次の通りである．

計算要素テスト　暗算方法に含まれる計算要素(九九，足し算)と割り算，引き算を各５試行ずつ行わせ，その正誤と計算時間を測定した．

問題記憶テスト　Brown-Peterson 型の数字記憶課題を行なった．具体的には，２桁数字を縦に２つ提示して，逆算を10秒，または，20秒行ない，再生させた．各逆算時間ごとに５試行が行なわれた．

中間解操作テスト　まず，１桁の数字を記憶する．次に，計算(かけ算または割り算)を行なう．最後に，覚えた数字と計算結果を利用した計算(足し算，引算)を行なう．この時，解答の正誤と反応時間が測定された．１回のテストで，各組合せごとに５試行が行なわれた．

干渉に対する頑健性を探る課題

タッピング課題　タッピング課題では，暗算遂行中に定間隔，ランダム間隔で鳴る音に合せたタッピングを行い，その時の暗算の遂行時間が測定された．

中断課題　中断課題は，暗算実行中に，その時に計算している問題を再生させ，暗算の実行を中断させる課題である．ここでも，暗算の遂行時間が測定された．

計算の外在化訓練

筆算によって「たすきがけ法」を練習させた．練習は，１日，15分程度(24題)を２週間続けた．練習の教示において，最終的には暗算で計算ができるようになることが強調された．１週間，２週間後に，どの程度熟達化が進行したか検討するための指標として，暗算の遂行時間を測定し，タッピング課題と中断課題を実施した．

結果と考察

実験に参加した被験者は６名であったが，実験が長期間にわたって行なわれたため，最終的に全ての課題を遂行した被験者は３名であった．ここでは，

2　「たすきがけ法」の練習は，各桁の答えを逐次に解答する方法と，最後に一括して解答する方法との２通りが，それぞれ別々の被験者で練習された(逐次解答群，KN，OY．一括解答群，MS.)この操作については，本研究の検討内容とは直接関係がないため，一括して検討することにする．但し，両群の計算の遂行時間には，一括解答する方が各桁の解を記憶する負担がある分，差が見られる．

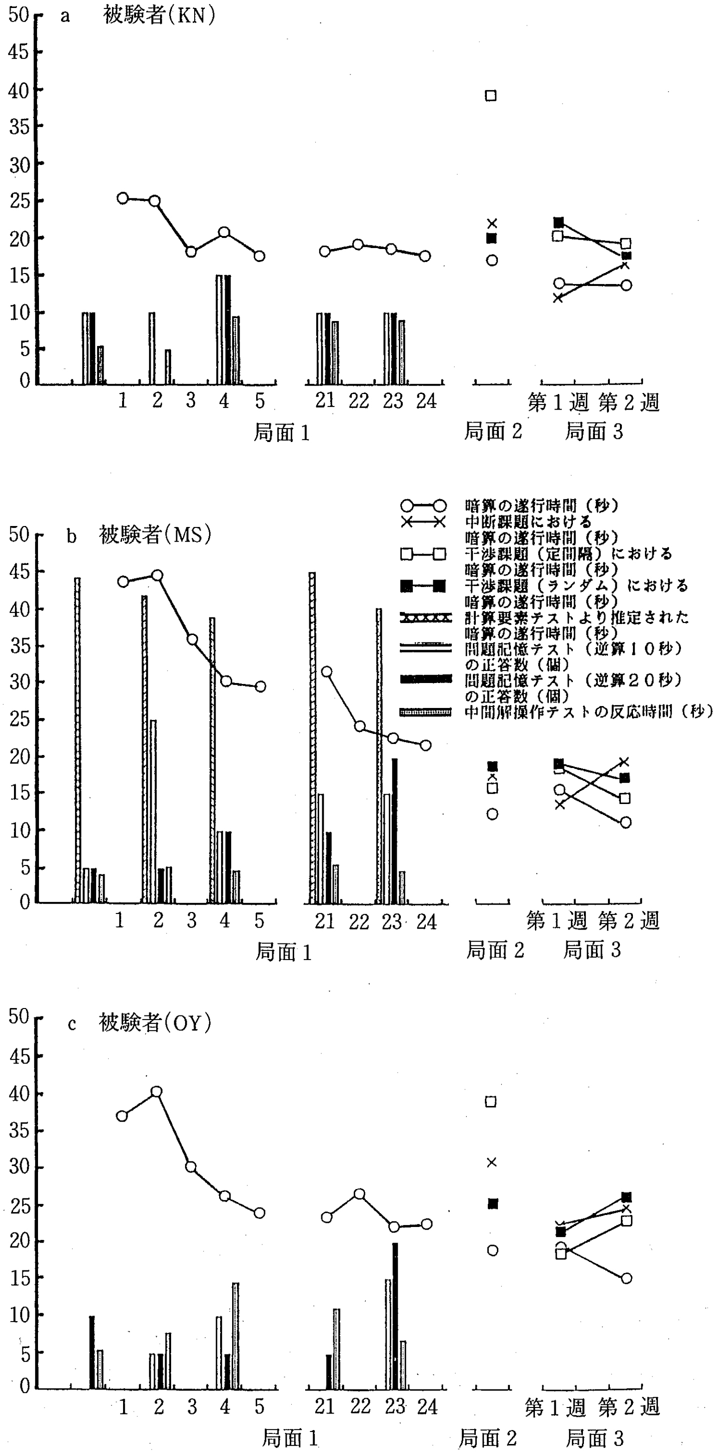

Fig. 2 暗算の遂行時間：各テストおよび，課題の結果
(注)問題記憶テストは1目盛を1題正答，中間解操作テストは1目盛りを1秒とした．

この3名の結果を参照しながら上述した課題を検討していく．Fig. 2 a から c は，各課題の結果を被験者ごとにまとめたものである．

反復練習の効果

暗算の遂行時間の推移は，1日目から5日目にかけて，ベキ関数的な顕著な短縮が見られた．間隔をおいた21日目から24日目では，3名とも5日目の到達水準近傍からスタートしたが，被験者MSを除いて，ほぼ横這いであった．このあたりに，プラトー状態があると考えることができる．

この時点の遂行時間と計算エキスパートが示す遂行時間とを比較することにより，どの程度，熟達化した状態であるかを検討することができる．Staszewski(1988)が報告している計算エキスパートの2桁の掛け算の遂行時間は5秒前後である．一方，本研究の被験者の遂行時間は最も速いKNで15秒以上であり，かなりの差がある．Staszewskiが報告している被験者は「たすきがけ法」を使用していたのではないが，それでも，本研究の被験者がエキスパートの水準にあるとは考え難い．

一般に，認知エキスパートがその技能を獲得するには，膨大な反復練習を要する．前述のStaszewskiの研究では，初心者がエキスパートの水準に達するまでに1年以上がかけられている．いかにミニチャア課題とは言え，わずか1ケ月足らずの反復練習では熟達の域に到達するには不十分ということであろう．

しかし，単に反復練習をするだけでは，熟達の域にまで到達しないとする報告もある(Hope, 1985, Hunter, 1962)．たとえば，彼らは，暗算課題で熟達するには，並外れた一般的な記憶力が必要であることを指摘している．本研究の3人の被験者で見られた当座の限界時間15秒あたりが，果して，反復練習の不足によるものか，それとも，この普通の記憶力をもった人間では越えることのできない限界点なのか．興味を引かれるところである．次の外在化による練習の促進効果のところで，この点は，もう一度検討される．

外在化による熟達化の促進

問題解決の事態で，頭のなかで起こることを外在化することが，問題解決技能を効果的にさせるという報告がある(Collins, Brown, Newman, 1989)．暗算でも，筆算という外在化をさせることが，暗算をより促進させることが考えるられる．そこで，局面3で，一定のプラトー状態を越えるための手段として，筆算による「たすきがけ法」を練習させてみた．

Fig. 2の局面3に示されるように，いずれの被験者においても，遂行時間の短縮がみられ，プラトー状態からの脱却の兆しが見られる．本研究では，筆算による練習を与えない統制群を設けて検討していないため，これが，外在化の効果か，単なる練習の継続によるのかを結論づけることはできないが，注目したい結果である．

ここで，ソロバンによる暗算の熟達化の研究が参考になる．いうまでもなくソロバンは，強力な外在化の道具である．暗算エキスパートは，完全にこの道具に従って長期間の反復練習を繰り返してきている．その結果として，波多野(1988)によれば，暗算エキスパートはソロバンという道具を心内化する．

本実験の筆算による「たすきがけ法」も，果して，心内化の段階まで到達させる「道具」となるのか．この点はさらに検討する価値がある問題といえる．

暗算に含まれている下位過程の変化

反復練習によって，一定のレベルにまで，計算時間の短縮が見られた．この短縮が，「たすきがけ法」の遂行に含まれている認知過程のどの段階での処理の効率化によるものかを，計算要素テスト，問題記憶テスト，中間解操作テストによって検討する．

Charness & Campbell(1988) は，反復練習による暗算の遂行時間の短縮は，計算に関与する下位段階の処理時間の短縮だけでは説明できず，それは，暗算全体の内的処理手順の手続き化(より上位の体制化)がより大きく寄与していることを示唆している．つまり，以下の3つの課題において，暗算の反復練習に伴うそれぞれの課題遂行の効率化が見られないことを確認することが，ここでの主な課題である．

計算要素テスト　計算要素テストは装置の不備のため，2名の被験者(KN, OY)についてのデータは採取できなかった．したがって，残りの被験者MSの成績がFig. 2には示されている．この成績は論理的に暗算の遂行に必要と考えられる各成分の反応時間を加算して算出したものである．この時間には短縮が見られたが，暗算の遂行時間の短縮を説明できる程の大きさではなかった．

問題記憶テスト　問題記憶テストの成績は，Fig. 2に示されているように，保持時間10秒，20秒のいずれにおいても，それほど明瞭な関係は，見られていない．

中間解操作テスト　「たすきがけ法」の遂行に含まれている，数字を記憶し，九九を行ない，足し算を行なうという一連の系列である．本実験の課題は，この最後の段階での処理時間の変化を見たことになる．Fig. 2には，反応時間の中央値が示されている．いずれの被験者においても，ほとんど変化がないか，むしろ時間の増加さえ見られる．

かくして，3つの課題において，Charnessらの

示唆を確認できたことになる．しかし，手続き化とはいかなるものかについてのモデル構築が求められるところである．

タッピング課題と中断課題　熟達化の進行は，当然，干渉課題に対して頑健になる．しかし，局面２，局面３で行なった２種類の干渉課題では，それによって暗算の遂行時間の延長が見られた．この延長時間をどのように評価するかは難しいが，この程度の熟達化のレベルでは，ある程度の干渉は避けられないので，この結果は当然と言える．

まとめ

本研究では，「たすきがけ法」と呼ばれる暗算法を題材として熟達化の時間過程を，認知的情報処理の観点から分析した．主な知見は以下の通りである．

1．暗算の遂行時間は，反復練習によって短縮をみせ，一定のプラトー状態にまで到達した．しかし，それは，遂行時間の点からも，また，干渉に対する頑健性の点からも，いわゆる熟達化のレベルには，ほど遠いものであった．

2．暗算の遂行時間の短縮をもたらしたものは，暗算全体の手続き化(より上位の体制化)によるものであることが示唆された．

3．熟達化を促進させるために，「たすきがけ法」を筆算で実施してみた．その結果，プラトー状態からの脱却の傾向を確認できた．単なる反復練習だけではなく，こうした外在化の支援が熟達化には有効のようである．

引用文献

Charness, N., & Campbell J. I. D. 1988 Acquiring skill at mental calculation in adulthood: A task decomposition. *Journal of Experimental Psychology: General,* **117,** 115-129.

Collins, A., Brown, J.S., & Newman, S.E. 1989 Cognitive Apprenticeship: Teaching the Crafts of Reading, Writing, and Mathematics. In L.B. Resnick (Ed.) Knowing, learning, and instruction: Essays in honor of Robert Glaser, Pp.453-494.

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　「認知科学の発展」　講談社　Pp.141-160.

比留間太白・海保博之　1990　認知エキスパートの情報処理特性　筑波大学心理学研究，**10,** 29-36.

Hope, J.A. 1985 Unravelling the mysteries of expert mental calculation. *Educational Studies in Mathematics,* **16,** 355-374.

Hunter, I.M.L. 1962 An exceptional talent for calculative thinking. *British Journal of Psychology,* **53,** 243-258.

Staszewski, J.J. 1988 Skilled memory and expert mental calculation. In M.T.H. Chi, R. Glaser, & M.J. Farr (Eds.) The nature of expertise. LEA. Pp.71-128.

付　記

比留間の所属が，上越教育大学学校教育学部(Department of School Education Joetsu University of Education)に変更となった．