

■シンポジウム The Joy of Neuropsychology

珠算およびピアノ熟達者の大脳半球機能差について

八 田 武 志*

要旨：熟達者の脳機能を検討する実験を紹介した。珠算熟達者に数系列を記憶保持した後再生を求めた第1実験では、熟達者は非熟達者とは異なり、保持時間中に提示された数字には干渉を受けないが、そろばん図や顔写真では干渉を受けた。手指運動と言語、計算課題を同時に課した第2実験では、珠算熟達者は計算時に右半球を関与させ、非熟達者が左半球を関与させるのとは異なる傾向を示した。ピアノ熟達者を対象に触系列刺激の記憶再生を求めた第3実験では、熟達者は刺激をメロディに置換するなど特殊な認知方略を採用することが明らかとなった。これらの実験結果は、一定の課題を長期にわたって訓練した場合、課題の遂行に特別な認知方略を使うようになり、異なる大脳半球機能の働きが生じる可能性を示唆している。

神経心理学 8 : 9 ~ 16

Key Words : 半球特殊化, 学習効果, 珠算熟達者, ピアノ熟達者, 時間分割課題
hemisphere specialization, learning effect, abacus expert, piano expert, time-sharing task

I はじめに

Beaumont (1988) が指摘するように、実験神経心理学は健常者が研究対象であり、その主たる役割は、健常者を対象に得られた知見を脳損傷の正確な理解のために提供することやリハビリテーション分野への示唆を提供することなどにあると考えられる。本稿では、健常者を対象にして学習、訓練の脳機能への影響を検討した実験を紹介し、他の神経心理学の領域に与えられるべき知見を探りたい。

以下記述する一連の実験は、一定の認知機能を長期間訓練した熟達者が認知課題を遂行するとき、非熟達者とは異なる脳機能を示すかどうかをラテラルリティ（大脳半球機能差）の視点から検討したものである。なお、本稿はすでに別の機会に発表した実験に基づいてまとめたものである (Hatta & Ikeda, 1988 ; Hatta & Ejiri,

1989 ; Hatta et al, 1989)。

さて、学習経験がラテラルリティに影響するという指摘は、手話を学習した子供が手指の形の認知に左半球関与優位の視覚誘発電位を示したのに対して、学習経験のない子供は右半球優位の視覚誘発電位を示したとする報告 (Nevill, 1977) を始め、表記の学習経験に伴い単語認知の視野差が左視野 (右半球) 優位から右視野 (左半球) 優位へ移行したとする報告 (Silberberg et al, 1979 ; Endo et al, 1981 ; Yoshizaki & Hatta, 1987) などで見られる。このように学習経験によりラテラルリティが変化するのであれば、一定の課題について長期にわたって訓練を重ねた熟達者の場合に、通常検知されるものとは異なるラテラルリティを示すことが予想できる。熟達者は、非熟達者とは異なる認知方略を採用することが予想できるためである。

ここでは、珠算熟達者とピアノ熟達者を対象

1991年11月13日

Hemisphere Function in Abacus and Piano Experts

*大阪教育大学心理学教室, Takeshi Hatta : Department of Psychology, Osaka University of Education

に、いわゆる熟達者が特殊な認知方略を採用することによって、従来の報告とは異なるラテラリティを示すのかどうかを検討する。とくに、学習経験により右半球機能優位が左半球優位に移行したことを指摘した前述の先行研究とは逆方向（左半球優位が右半球優位へ）のラテラリティの移行が生じるのかどうかを検討する。

II 実験1：珠算熟達者の数記憶

被験者

29名の珠算熟達者で、平均2.4段（経験年数4～11年）の右きき成人（男10名、女19名）が実験群の被験者となった。統制群の被験者は、珠算学習経験2カ月未満の右きき大学生29名（男10名、女19名）であった。いずれの被験者も特記すべき神経学的問題のない者であった。

刺激および手続き

各被験者は、毎秒一つの割合でヘッドフォンから提示される6～12桁の乱数を15秒間保持した後、言語的に再生するよう教示された。15秒の保持時間の間、被験者は以下の4条件に示す干渉刺激を注視するように求められた。

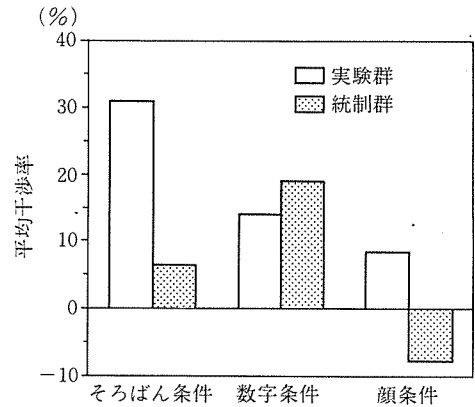
- 数字(D)条件；横書きにした6～12桁の数字を印刷したB5判大のカードが1秒毎に提示される。提示される数字は記憶材料の数字とは異なるものであった。
- そろばん図(S)条件；6～12桁の数をそろばんに置いたものを図示したB5判大のカードが1秒毎に提示される。そろばんに置かれた数は記憶材料とは関係がない。
- 顔(F)条件；8×8cm大の成人の顔写真を中央に添付したB5判大のカードが1秒毎に提示される。
- 統制(C)条件；15秒の保持時間中に何も提示されない。

結果

正しく再生された各条件での数字の平均桁数を表1に示す。この指標では、たとえば最初の3桁が正しく再生され、4桁目で誤反応があったときは3点と得点化するようにした。分散分析の結果、被験者群と条件の間の交互作用が有意となり（ $F_{2,76}=24.88, p<0.001$ ）、主効果で

表1 条件別にみた数字の平均記憶再生桁数

条件	統制	数字	そろばん	顔
実験群 Mean	6.75	5.82	4.71	6.11
SD	0.70	0.80	0.63	0.75
統制群 Mean	6.10	5.01	5.72	6.58
SD	0.91	0.65	1.11	0.67



ある条件も有意となった（ $F_{2,76}=41.36, p<0.001$ ）。被験者群の要因は有意とはならなかった（ $F_{1,38}=1.20$ ）。下位検定の結果、実験群は数字条件で統制群より優れ（ $F_{1,144}=10.00, p<0.01$ ）、統制群はそろばん条件で実験群より優れた（ $F_{1,144}=15.27, p<0.01$ ）。顔条件では群間差はみられなかった（ $F_{1,144}=3.33$ ）。

図1は、保持時間中に刺激が提示されたS, D, F条件での平均干渉量(R)を統制条件での再生成績を基準にして求めたものである。Rの算出式は、 $R=(C-(S, D, F))\div C$ である。分散分析の結果、主効果である被験者群、条件、および交互作用の全てが有意となった（ $F_{1,38}=9.17, p<0.044$ ； $F_{2,76}=44.01, p<0.001$ ； $F_{2,76}=26.72, p<0.001$ ）。下位検定の結果、交互作用はそろばん条件、顔条件で、実験群が統制群に比べてより大きな干渉効果を示したこと（ $F_{1,44}=28.52, 12.54, p<0.001$ ）、数字条件では干渉効果に群間差がみられなかった（ $F_{1,144}=1.43$ ）ことを反映することが明らかになった。

以上の結果は、実験群である珠算熟達者は、数系列を記憶保持する際に統制群である非熟達者とは異なる方略を用いたことを示唆している。記憶保持中に提示された刺激の干渉効果の結果から、珠算熟達者は数系列を心象上のそろばんに置く方略を用いたことが推定できる。このことは「そろばん日本一」の被験者を対象にメンタル・アパカスの存在を指摘した Hatano & Osawa (1983) の結果を支持するものである。また、顔条件でも干渉効果が大きかったことは、珠算熟達者の場合、心象の利用にかなりの範囲の視空間的機能が含まれる、言わば般化のようなものが見られるという Hatta & Miyazaki (1990) らの指摘を支持するものと言えよう。これらの結果は、珠算への熟達が数の処理における認知処理方略差をもたらしたことを示唆している。

III 実験2：珠算熟達者の計算および言語聴取機能

被験者

実験には、実験群として平均2.9段の珠算熟達者23名（男子6名、女子17名）、統制群として珠算学習経験2カ月未満の大学生23名（男子6名、女子17名）が参加した。いずれの被験者も右ききであり、特記すべき神経学的問題は持たない者であった。

刺激および手続き

本実験では、手指運動と認知課題を同時に遂行することでラテラルリティを検討する、Kinsbourne タイプの2重課題法を用いた (Kinsbourne and Cook, 1971 ; Kinsbourne and Hiscock, 1982 ; 池田・八田, 1986)。手指運動課題は、片手でコンピュータ・キーボードをII指-IV指-III指-V指の順に出来るだけ速く正確に打鍵することであった。一方、認知課題は1) 言語課題：イヤホンから聞こえるニュースを聴取した後に実験者の質問に答えること、2) 計算課題：イヤホンから聞こえる計算問題を暗算することであった。各被験者は、左右の手指運動のみを行う条件（以下基準試行）と、左右手の運動と認知課題とを同時に行う条

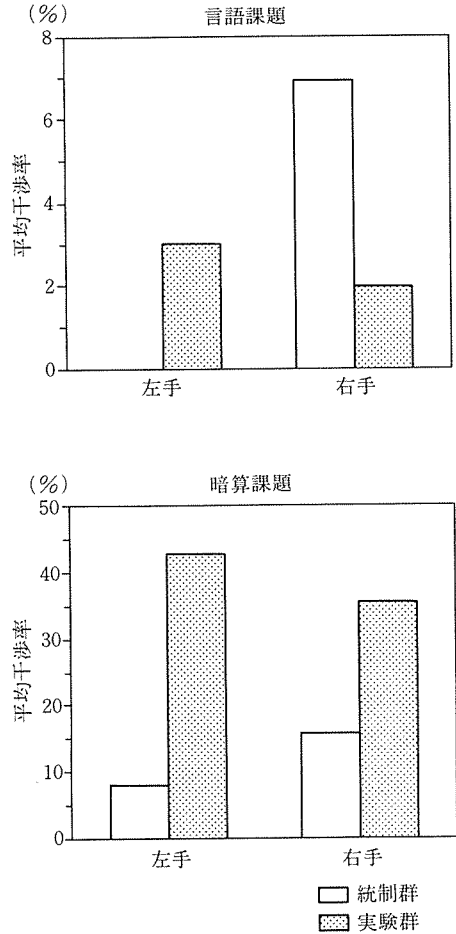


図2 言語課題, 暗算課題における左右手の平均干渉率

件とをランダムな順で合計24試行与えられた。各試行時間は15秒で、試行間隔は7秒であった。各試行での打鍵数を結果の分析の指標とした。なお、基準試行は被験者の疲労、練習効果を統制するためにテストの前、後、中途2カ所の計4カ所に挿入した。

結果

認知課題の同時遂行が手指運動遂行に及ぼす干渉効果を以下の式で求めた。

$$\text{干渉率} = 100 \times ((\text{基準試行} - \text{認知課題試行}) \div (\text{基準試行}))$$

この計算式によって求めた左右手別、条件別の干渉率を示すと図2のようになった。

言語課題での結果についての分散分析は、左右手の主効果と被験者群×左右手の交互作用が

有意なことを示した ($F_{1,44}=5.13, p<0.05$; $7.34, p<0.01$)。交互作用についての下位検定では、統制群では右手の干渉率が高いのに対して ($F_{1,44}=12.37, p<0.01$)、実験群では左右手間に差がみられないことが示された。

一方、計算課題の結果についての分散分析は、被験者群の主効果と左右手×被験者群の交互作用が有意となった ($F_{1,44}=64.11, 19.79, p<0.01$)。下位検定の結果、有意な交互作用は実験群では左手の干渉率が高いのに対して統制群では逆に右手の干渉率が高いことを反映していた。

これら2重課題の結果は、言語課題については被験者群間に差はみられないが、計算課題では被験者群間に差がみられることを示している。2重課題法の背景理論では、認知課題の遂行に左半球が強く関与すれば右手の手指運動遂行に干渉が生じ、逆に右半球が強く関与すれば左手での運動遂行が干渉を受けることになる。このような考え方に基づいて、所与の認知課題への左右半球の関与を検討する本実験の結果は、珠算非熟達者が計算時に左脳の方を強く関与させていたのに対して、珠算熟達者は計算時に右半球を関与させていたことになる。これらの結果は、計算には左半球が強く関与するという Brain (1964), Bogen (1975), Sperry (1968) らの脳損傷者での指摘が珠算非熟達者に対しては当てはまるが、珠算熟達者ではむしろ右半球の関与が強く、異なる半球が関与することを示している。実験1の結果からも推定できるように計算に心象を用いるという認知方略を採用したためではないかと考えられる。言語課題での結果が群間に差を認めず、左半球の関与が大きいと解釈できることや、計算と手指運動を同時に行うときの干渉の大きさなどからも、実験群は異なる認知方略を用いて計算課題を実行したことが推定でき、これらが学習経験によってもたらされた可能性を示唆している。

IV 実験3：ピアノ熟達者と触系列刺激認知

実験3-A

被験者

実験群の被験者には、ピアノ学習歴6年以上の特別音楽課程の大学生20名（男子10名、女子10名）を用い、統制群の被験者には国語学、心理学専攻の大学生で、特別なピアノ学習経験を持たない20名（男子10名、女子10名）を用いた。いずれの者も右ききで、特記すべき神経学的所見を持たなかった。

刺激および手続き

系列的な触刺激を提示する装置として、触覚刺激装置 (Sanwa Ho-87) を用いた。これは、被験者の各指にあらかじめ設定した強さ、時間、刺激種の触刺激が提示できる装置である (Hatta & Moriya, 1988)。各被験者は、手のひらを下にして装置上に片手を置き、5, 7, 9個の刺激が提示された後、刺激された順に指を上げて再生するように求められた。用いられた刺激は34~45V, 20mA, 300msの矩形波で500msの時間間隔で与えた。刺激の強さはあらかじめテストし、各被験者毎に検知可能で強すぎないものとなるように設定した。刺激を与える指の順序はランダムとなるようにし、左右手それぞれにつき15試行を与えた。左右手への提示順序は被験者間でランダムになるようにした。

結果

刺激された指を正しい順序で再生できた場合に得点を与えた。たとえば1-2-2-5-5-3-4の刺激に対して1-2-3-4-5-4-3と再生した反応では指と提示順番が一致するものは3つなので、3点を与えた。なお、全試行正解すると105点となった。このようにして得た平均再生数を被験者群別に示すと表2のようになった。左右手、被験者群、性を要因とする混合型分散分析の結果は、被験者群、性の主効果 ($F_{1,36}=12.84, 6.30, p<0.02$)、被験者群×性 ($F_{1,36}=5.12, p<0.03$) と被験者群×左右手 ($F_{1,36}=6.01, p<0.02$) の交互作用が有意となった。下位検定の結果からは、1) 統制群では、左右手、性、交互作用いずれも有意とならないこと、2) 実験群では、左手の成績が右手より優れること、3) 実験群では男子の成績が女子より優れること、4) 実験群の女子では左手の成績が優れることが顕著であ

表2 左右手別にみた実験群および統制群の平均再生得点

	実験群	統制群
左手		
男子 Mean	75.90	46.80
SD	12.07	9.28
女子 Mean	57.00	47.90
SD	9.69	15.39
右手		
男子 Mean	71.40	50.90
SD	14.23	15.35
女子 Mean	49.80	47.70
SD	9.61	19.62

ることが明らかとなった。つまり、実験群の成績が統制群より優れ、実験群では左手優位がみられるが、統制群では左右手間の成績に差はないということになる。

実験3-B

被験者

実験群にはピアノ学習経験6年以上の特別音楽課程大学生22名（男子8名、女子14名）、統制群には特別なピアノ学習経験のない大学生22名（男子11名、女子11名）が被験者となった。全員右ききで、特記すべき神経学的問題を持たないものであった。

刺激および手続き

使用した装置は触刺激装置をはじめ実験3-Aと同じであり、一般的実験手続きも同様である。ただ、本実験では、触刺激と同期してメロディがヘッドフォンから提示された。メロディはコンピュータでランダムに合成したものである。各被験者は、実験3-Aと同じように、触系列刺激だけが提示される条件（以下S一条件）と触刺激に加えて音刺激が同時に提示される条件（以下D一条件）をランダムな順序で行った。各被験者は左右手それぞれに15試行ずつ合計30試行を行った。実験終了後、各被験者は課題遂行時の方略について質問を受けた。

結果

実験3-Aと同じ方法で得た平均再生数を被験者群別、実験条件別に示したのが表3である。分散分析の結果、被験者群、条件、左右手の主効果がいずれも有意になり（ $F(1, 42) = 15.36,$

表3 左右手別にみた実験群および統制群の平均再生得点

	実験群	統制群
D条件		
左手 Mean	52.00	44.77
SD	12.67	14.77
右手 Mean	52.09	40.18
SD	10.86	10.69
S条件		
左手 Mean	64.70	45.27
SD	13.22	10.80
右手 Mean	58.05	44.36
SD	18.35	9.95

$14.91, 6.5, p < 0.015$), 被験者群×条件と被験者群×条件×左右手の交互作用が有意となった（ $F(1, 42) = 5.34, 5.85, p < 0.026$ ）。下位検定の結果、実験群では、条件の主効果と条件×左右手の交互作用がうかがわれた（ $F(1, 63) = 21.92, p < 0.001; 2.86, p < 0.09$ ）。

分散分析の結果をまとめると、1) 実験群は統制群より成績が優れること、2) 実験群ではS一条件がD一条件より優れ、メロディ提示が干渉効果を示したこと、3) 実験群ではS一条件では左手の成績が右手より優れたが、D一条件では左右手間差はみられないこと、4) 統制群ではS一条件とD一条件間に差が見られず、メロディは干渉効果を示さなかったことが明らかにされた。

実験群の成績が優れる原因を探るために、被験者が使用した処理方略をまとめると、次の4種になることが判った。

- 1) メロディ・タイプ：指先への系列刺激からメロディを喚起し、記憶再生に利用した
- 2) ドレミ・タイプ：指先への系列刺激を音階に置き換えて記憶再生に利用した
- 3) 数字タイプ：指に番号を割り振り、系列刺激を数系列に置き換えて記憶再生に利用した
- 4) 傍観タイプ：特別な方略を利用せず、指先を見ていた

表4はピアノ学習経験の量と使用した認知方略の関係を示したものである。この表から明らかのように、実験群の被験者ではメロディ・タ

表4 ピアノ学習経験と採用認知方略のタイプ(人数)

タイプ	0~1	3~5	6~8	9~11	12~14	15~17年
メロディ				1	2	3
ドレミ	3	3	4	6	2	
数字	9	1	3			
傍観	6		1			

表5 認知方略別にみた左右手の平均再生得点

タイプ	S-条件		D-条件	
	左手	右手	左手	右手
メロディ	80.2	62.3	61.8	61.7
ドレミ	52.9	47.3	40.9	40.6
数字	66.2	51.0	56.4	52.7
傍観	37.9	32.1	42.4	42.3

イプ、ドレミ・タイプ以外の方略を使用した者はほとんどいないことが判る。さらに、学習経験の少ない被験者では傍観タイプ、数字タイプがほとんどであり、メロディ・タイプやドレミ・タイプの方略を使用しないことが判る。

表5はこれら被験者が利用した認知方略別に平均再生量を示したものである。分散分析の結果、処理方略タイプと条件の主効果が有意となった($F_{3,40}=13.92, p<0.01$, $F_{1,40}=28.49, p<0.01$)。条件×左右手と方略タイプ×条件×左右手の交互作用も有意であった($F_{1,40}=4.60, p<0.038$; $F_{3,40}=2.87, p<0.048$)。下位検定からは、傍観タイプを除いた方略群で条件間に差異がみられた。これらの結果をまとめると、1)メロディの同時提示は傍観タイプを使用した被験者以外では干渉効果を示すこと、2)使用した方略によって成績が異なること、3)メロディ・タイプとドレミ・タイプを使用した被験者の成績は他の2タイプの方略を使用した被験者より優れること、になろう。

これらの結果は、実験群ではメロディ・タイプ、ドレミ・タイプなどの処理方略を使用したために成績が優れたことと、このような課題遂行に有利な方略は学習経験の量が多い者によって採用されることを示唆している。従来からメロディの処理は右半球機能が優れることが報告されてきており、刺激系列の時空間的解析は左半球機能優位とされている(Beaumont, 1988)。

したがって、ピアノ学習経験の長い被験者では異なるラテラルリティを示したことになる。

V おわりに

紹介した一連の実験は、いずれも熟達者は非熟達者とは異なる認知方略を使用して課題に取り組んでいることを示唆するものであった。珠算熟達者では、数の記憶において心象を媒介とした方略を用い、計算課題の実行に、右半球の強い関与をうかがわせた。また、ピアノ熟達者は、系列刺激の解析にメロディ方略を使用することが推定

でき、右半球の強い関与がうかがわれた。これらは、従来指摘されている健常者のラテラルリティとは異なるものである。統制群の被験者では、従来の指摘を支持する結果が得られていることからこれは熟達者に特有の傾向といえることができる。つまり、熟達者は非熟達者とは異なるタイプの大脳半球機能により課題を遂行していることがうかがえる。また、従来は学習経験によって右半球優位が左半球優位に移行した報告のみであったが、逆の方向の移行も生じ得ることを示している。本研究で用いた熟達者の脳機能の特殊性が、個人の特殊性に帰属する可能性も残しており今後の検討が必要であるが、特定の課題を長い期間にわたって訓練した結果、もたらされたと考えてよからう。これは、実験3-Aでの学習経験量と採用方略の関係や、珠算学習経験量を変数にし、計算時のラテラルリティを検討した実験(八田・神庭, 1989)で、訓練量と暗算時の右半球関与に一定の関係があることが明らかになっていることから指摘できる。一定の課題を長期にわたって学習訓練することで、課題に関与するラテラルリティが変化することは、認知機能のリハビリテーションを計画する上での理論的背景に示唆を与えるものと考えられる。

文 献

- 1) Beaumont G: Understanding Neuropsychology. Blackwell, Oxford, 1988

- 2) Bogen JE : The other side of the brain, VII. Some aspects of hemispheric specialization. *UCLA Educator* 17 : 24-32, 1975
- 3) Brain L : *Clinical Neurology*. Oxford University Press, London, 1964
- 4) Endo M, Shimizu A, Nakamura I : The influence of Hangul learning upon laterality differences in Hangul word recognition by native Japanese subjects. *Brain Lang* 14 : 114-119, 1981
- 5) Hatano G, Osawa K : Digit memory of grand experts in abacus-derived mental calculation. *Cognition* 15 : 95-110, 1983
- 6) Hatta T, Ejiri, A. : Learning effects of piano playing on tactile recognition of sequential stimuli. *Neuropsychologia* 27, 1345-1356, 1989.
- 7) 八田武志・神庭真弓 : 珠算訓練が脳半球機能差に及ぼす影響について. *教育心理学研究* 37; 320-326, 1989
- 8) Hatta T, Hirose T, Ikeda K et al. : Digit memory of soroban experts : Evidence of utilization of mental imagery. *Applied Cognitive Psychology* 3 : 23-33, 1989
- 9) Hatta T, Ikeda K : Hemisphere specialization of abacus experts in mental calculation. *Neuropsychologia* 26 : 877-893, 1988
- 10) Hatta T, Miyazaki M : Visual imagery processing in Japanese abacus experts. *Imagination, Cognition and Personality* 9 : 91-102, 1990
- 11) Hatta T, Moriya, K. : Developmental changes in hemispheric collaboration for tactile sequential information. *Int J Behav Develop* 11:451-465, 1988
- 12) 池田和夫・八田武志 : 二重課題法からみた脳半球機能差の発達. *大阪教育大学紀要* 35 ; 19-32, 1986.
- 13) Kinsbourne M, Cook J : Generalized and lateralized effects of concurrent verbalization on a unimanual skill. *Quart J Experi Psycho* 123 : 341-345, 1971
- 14) Kinsbourne M, Hiscock, K : Asymmetries of dual-task performance. In *Cerebral Hemisphere Asymmetry*, ed by Hellig JB Praeger, New York, 1982
- 15) Neville H : Electroencephalographic testing of cerebral specialization in normal and congenitally deaf children. In *Language Development and Neurological Theory*, ed by Segalowitz S, Gruber FA, Academic Press, New York, 1977
- 16) Silverberg R, Bentin S, Gazal T et al. : Shift of visual field preference for English words in native Hebrew speakers. *Brain Lang* 8 : 184-190, 1979
- 17) Sperry RW : Mental unity following surgical disconnection of the cerebral hemispheres. *The Harvey Lecture Series* 62 : 293-323, 1968
- 18) Yoshizaki K, Hatta T : Shift of visual field advantage by learning experience of foreign words. *Neuropsychologia* 25 : 589-592, 1987

Hemisphere function in abacus and piano experts

Takeshi Hatta

Department of Psychology, Osaka University of Education

To examine the hemisphere functioning in experts, three experiments were conducted. In Experiment 1, abacus experts and the control subjects were given digit memory tasks under

three conditions—soroban pictures, pictures of digits sequences, and human faces were presented to subjects during the retention period of 15s. The abacus experts were more affected by the

presentation of the soroban pictures and faces than by the digits, whereas the controls showed more interference from digits than by the presentation of faces or soroban pictures. In Experiment 2, hemisphere specialization for mental calculation and verbal tasks in abacus experts and control subjects was tested using time-sharing tasks. The effects of auditorily presented mental calculation and news-listening tasks on sequential finger tapings were examined.

The results revealed that in the mental calculation condition, abacus experts showed greater interference effects on left hand tapping, whereas controls showed greater interference effects on right hand tapings. In the news listening condition, abacus experts showed no hand difference while the controls showed greater interference effects on the right hand.

In Experiment 3-A, pianists and control subjects were given sequential tactile stimuli and

were asked to report the stimulated fingers and the order by lifting the fingers. The pianists showed a left hand superiority and performed better than the control group. In Experiment 3-B, the pianists and the controls were given both sequential tactile stimuli and auditory stimuli (unrelated melodies) simultaneously. The sequential stimuli recognition of the pianists was interfered with by the presentation of melodies. That is, piano experts employed a special strategy such as transforming tactile stimuli into something like a melody.

These results of the experts suggest that experts employed a special cognitive strategies, such as using imagery code in digit memory retention, using right hemisphere engagement, transforming tactile stimuli into something like a melody to improve their performances. Based upon these results, effects of learning experiences on hemisphere function were discussed.