

言語・数の課題解決時における脳内ヘモグロビン量の変化

天 岩 静 子

問 題 と 目 的

一般に言語情報は左脳、図形は右脳によって、より早く処理されるといわれる。これは脳の働きが局在化しているためで（伊藤，1988），左脳は分析的・論理的思考を、右脳は空間理解や物の認知をする際に働くという。脳の外側から脳の複雑な働きを知るための測定法は、医学の分野で様々に工夫されてきた。主な検査法として2つの流れがある。

1つは脳の電気的変動を脳波によりとらえるものである。しかし、頭の表皮にあてた電極から電流の変化を測定することができても、脳内を流れている血流の状態や脳に運ばれる酸素やぶどう糖の消費状態などは分からず、各種の刺激に対する脳の機能もはっきりしない（高倉，1983）。

もう1つは脳の活動している部分を画像によってとらえる方法である。この方法には(1)X線断層撮影（CT スキャン）、(2)ポジトロン断層撮影（PET）、(3)磁気共鳴画像（MRT）がある。CT スキャンは、血管に入れた造影剤をコンピュータを用いてX線撮影するもので、あらゆる方向からの脳の断面写真が得られる。PET は陽電子放射断層撮影装置のことで、測定したい化学物質に放射能の標識をつけた上で脳内に入れ、放射能を測定することによって、化学物質の位置や動きをとらえようとする方法である。音楽の美しさを鑑賞する働きが右脳にあることを調べるためには、PET を使い、音楽を聴かせて脳の糖代謝を検査する。もし右脳の代謝が音楽を聴いて感動したときに深く関わっていれば、そのように結論してもよい（高倉，1983）。MRT は、磁気共鳴現象を応用して生体の断面像を写し出すもので、CT スキャンよりも鮮明な画像が得られる。MRT にもいくつかの種類があるが、その1つは脳組織内の水分子の拡散現象に基づく微小動態の情報を画像化するものである。細胞も分子、さらに原子から成り立ち、水が存在するところでは水素と酸素の原子が存在する。水を構成する水素と酸素は一定の配列をしており、かつ磁場を作っている。外から強力な磁場をもってくると原子の磁場は外からの磁場に誘導されて一定の向きをとるようになる。その微細な変化から正常な組織と病気の組織を見分けることができる。もう1つは血液中のヘモグロビンの酸化一還元化の変化に基づく信号強度変化をとらえる方法である（成瀬，1995）。

しかしPETにしるMRIにしる、装置が非常に大がかりで高額であること、医者以外では操作できないことから、誰でも使うというわけにはいかない。ところが近年、近赤外光を用いて無侵襲に脳内のヘモグロビン量を測定する酸素モニターが考案されてきた。このモニターは、センサーを額に貼るだけで脳の外側から内部の情報が得られるので、きわめて簡単に扱うことができ、被験者に不快感を与えることが少ないという利点がある。酸素モニター

は主に医学、生理学分野で用いられているが、心理学における課題解決の際にも、このモニターによって脳内の活動の変化が測定できる可能性が大きい。

酸素モニターはいくつかの会社によって生産されておりそれぞれ特徴があるが、本研究ではバイオメディカルサイエンス社のPSA IIIを用いた。この製品の原理等は斉藤・酒井(1996)に述べられているが、ヘモグロビンの量的変化を測定できることが他社のものと異なる。

酸素モニターを用いた心理学的な研究結果は非常に少ないが、Hoshi & Tamura (1993)は、相対的变化量を検出するタイプの酸素モニターを使って(センサーは左前頭部につけた)算数問題と暗算を行い、問題を解くことが困難な場合と容易な場合とで、酸化ヘモグロビンや総ヘモグロビンの波形が異なることを報告した。課題解決が困難な場合には酸化ヘモグロビンと総ヘモグロビンがともに有意に増加するが、容易な場合は酸化ヘモグロビンに増加が見られなかったのである。彼らは、解決が容易な場合はニューロンの活性化が少なく、その結果酸化ヘモグロビンの変化がはっきりと現れないと解釈している。

本研究は、定量的な測定のできる酸素モニターによって、1)言語・数的課題解決時に、課題の種類によって左右の脳のヘモグロビン量に差が生じるか否か、2)同種の課題であっても、課題の難易度が異なればヘモグロビン量に変化が見られるか否か、3)数的課題を解決する際に、珠算学習の経験がヘモグロビン量の変化に影響するか否か、の3点について検討することを目的とする。

方 法

1. 被験者

大学生32名(男子9名、女子23名)。この内、小学生の時に珠算塾に通い、当時3級～1級を持っていた10名を珠算学習群、それ以外の22名を非学習群とした。被験者は全員が右利きであった。

2. 手続き

まず最初に、被験者に酸素モニターの簡単な説明(センサーを額に貼って、脳内の血流を測定するための装置であること)を行い、各種の課題解決をしてもらう旨を述べた。次に被験者の左右の額のこめかみ近くに、それぞれセンサーを貼りつけた。(緊張の程度を調べるために、発汗や指尖脈波の測定も同時に行ったが、今回の報告ではヘモグロビン量の変化だけを取りあげる。)

安静な状態から測定を開始し、次にあげる状態や課題を順に実施した。④～⑦は文と数の記憶課題、⑧～⑪は文章の理解課題、⑫～⑮は計算の文章題、⑯～⑰は暗算課題であった。

①閉眼状態

②開眼状態

③音楽(クラシック)を聞く

④文章の記憶1:実験者が述べた25文字の文章を正確に繰り返す

⑤文章の記憶2:幾分長い42文字の文章を正確に繰り返す

- ⑥数字の記憶 1：8 数字の順唱
- ⑦数字の記憶 2：9 数字の順唱
- ⑧文の理解 1：200文字程度の文を音読する
- ⑨文の理解 2：音読した文の大意を言う
- ⑩文の理解 3：300文字程度の文を音読する
- ⑪文の理解 4：音読した文の大意を言う
- ⑫文章題 1：文章題を音読する
- ⑬文章題 2：音読した文章題を解く
- ⑭文章題 3：文章題（やや難易度が高い）を音読する
- ⑮文章題 4：音読した難易度の高い文章題を解く
- ⑯暗算 1：たし算（2桁の数字を4つ加える）
- ⑰暗算 2：かけ算（2桁又は3桁×1桁のかけ算）
- ⑱暗算 3：わり算（3桁又は4桁÷1桁のわり算）

3. 波形の数値化

酸素モニターでは、酸化ヘモグロビン、還元ヘモグロビン、これらを合わせた総ヘモグロビン量の3種の波形が出力される。これらの波形は、コンピュータ上の解析ソフトによって数値化された。波形の数値化としては、一定時間内の平均値、最大値、最小値、波の高さ（最大値－最小値）等を得ることが可能であるが、今回の分析では、刺激提示中又は課題解決中に現れた波形の平均値を採用した。

結 果

1. 課題内容の相違による左右の脳内ヘモグロビン量の変化

図1～図3は、各種の課題解決を行った際の左右の脳における総ヘモグロビン量、酸化ヘモグロビン量、還元ヘモグロビン量の変化を示したものである。

図を見ると総ヘモグロビン量及び酸化ヘモグロビン量については、課題の種類や脳の測定箇所により値の変化が見られるが、還元ヘモグロビンについてはほとんど差がない。還元ヘモグロビン量にほとんど差がないために、総ヘモグロビン量と酸化ヘモグロビン量の変化は同一傾向を示している。

総ヘモグロビン量と酸化ヘモグロビン量について、課題間、右脳左脳間の平均値に有意差は認められなかったが、右脳では⑤文章の記憶 2（幾分長い文章を繰り返す）や⑥数字の記憶 1（8数字の順唱）、⑦数字の記憶 2（9数字の順唱）の課題を解く際に高い値がみられる。一方左脳では、⑮文章題 4（難易度の高い文章題を解く）と⑯⑰⑱の暗算で高い値となっている。還元ヘモグロビン量に変化がないので、測定部位の付近で酸素が消費されたとはいえないが、左右の脳において、課題の種類により血流の増加が異なる傾向が見い出されたことは興味深い。

難易度の異なる同種の課題間の比較については、解決が困難な課題で常に酸化ヘモグロビン量が増加するわけではなかった。Hoshi & Tamura (1993) が行ったように、左脳につけ

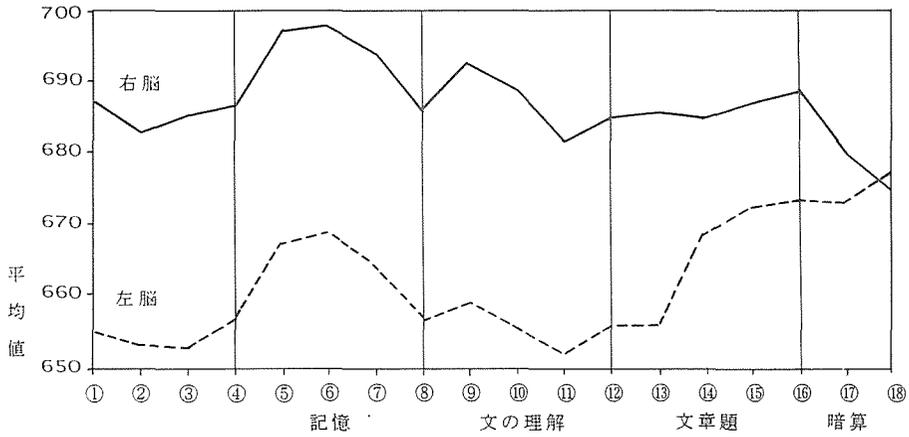


図1 課題別、右脳左脳別の総ヘモグロビン量

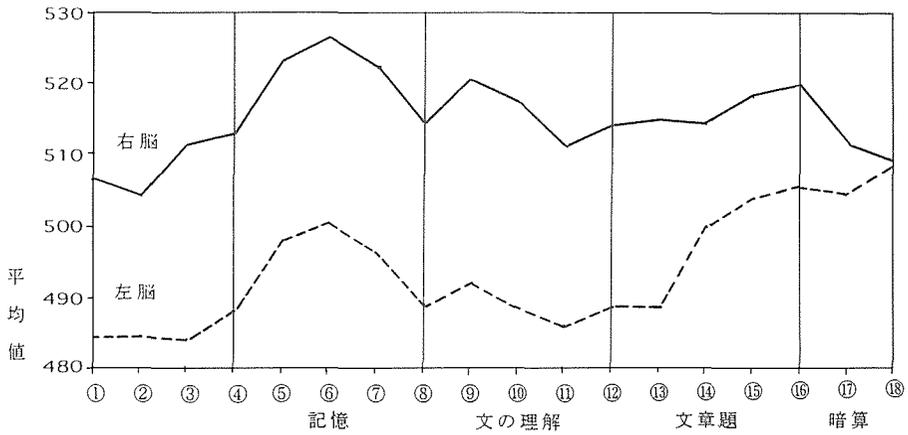


図2 課題別、右脳左脳別の酸化ヘモグロビン量

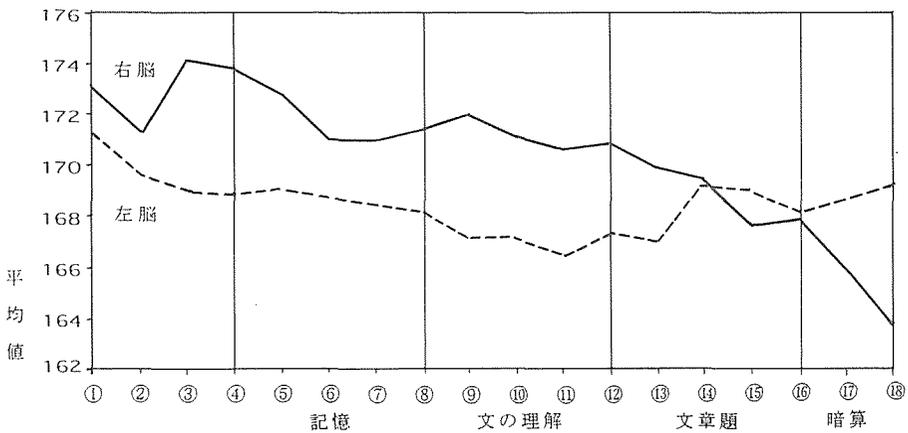


図3 課題別、右脳左脳別の還元ヘモグロビン量

たセンサーで計算の課題解決時を測定した場合に限れば、本研究においても総ヘモグロビン量と酸化ヘモグロビン量に増加傾向が見られたが（有意差はなし）、数の記憶課題や文の理解課題に関しては、解決困難な場合の方が酸化ヘモグロビン量が減少するという異なる傾向が出ている。課題内容や測定箇所による差について、詳細なデータの収集が必要と考えられる。

総ヘモグロビン量及び酸化ヘモグロビン量がほぼ一貫して右脳で高いこと、この傾向は最初の安静時から現れていることは、本研究で用いた被験者に右脳の値の高い者が多かったことによる。安静時の測定で、左右の脳の総ヘモグロビン量の差が100以上の者を左右差がある者、100未満の者を左右差がない者とする、左右差のある者は32人中16人で、その中で右脳の値が高い者は11人であった。被験者数が限られているので、このような傾向が安定的にみられるかどうかは不明である。

2. 珠算学習経験の有無がヘモグロビン量の変化に与える効果

次に、小学生の時に3級～1級を持っていた珠算学習群と特別に珠算を学んだ経験のない非学習群を比較し、各種の課題を解く際に、珠算経験の有無が左右の脳のヘモグロビン量に影響を及ぼすか否かを検討した。結果は図4～図6に示す通りである。

判別分析によって珠算学習群・非学習群間の差について調べた結果、各課題間の平均値に有意差は認められなかった。しかし、総ヘモグロビン量（図4）をみると、非珠算群では、暗算課題を解く際に左脳で平均値が増加し、右脳で減少する傾向が認められ、左脳の関与の大きいことが推測される。非学習群で暗算課題の際に左脳の関与が大きいことは還元ヘモグロビン量（図6）からも推測ができる。左脳では酸素消費がわずかに増え、右脳では減少が見られた。

考 察

本研究の結果から、次の点が示された。1)酸素モニターを用いた測定により、左右の脳において、課題内容が異なればヘモグロビン量も変化すること。2)大学生を被験者とした場合、右脳では記憶課題、左脳では暗算や難易度の高い文章題を解く際に血流量が増加し、その結果総ヘモグロビン量が増える傾向があること。3)同種の課題において、解決が困難な場合は容易な場合に比べて、常に総ヘモグロビン量と酸化ヘモグロビン量が増加するわけではないこと。4)珠算学習経験の有無によって被験者をわけたところ、珠算塾に通った経験のない群では、暗算を解く際に左脳が関わっていること。

上記の結果から、定量的な測定のできる酸素モニターによって、知的な課題解決を行う際の脳内血流量の増加、ヘモグロビン量の変化を測定することは可能であると思われる。しかし、本研究では課題間、右脳左脳間に有意差が認められなかったので、さらに多方面からの分析や研究をすすめることが必要であろう。

検討すべき点の1つは、センサーを貼る位置と思われる。立花（1996）の紹介しているRoland & Fribergの研究結果からは、イメージを展開する課題（心の中で家のドアを開けて外に出て、まず右に行き、次に左に行った時の光景を思い浮かべる）と引き算をする課題

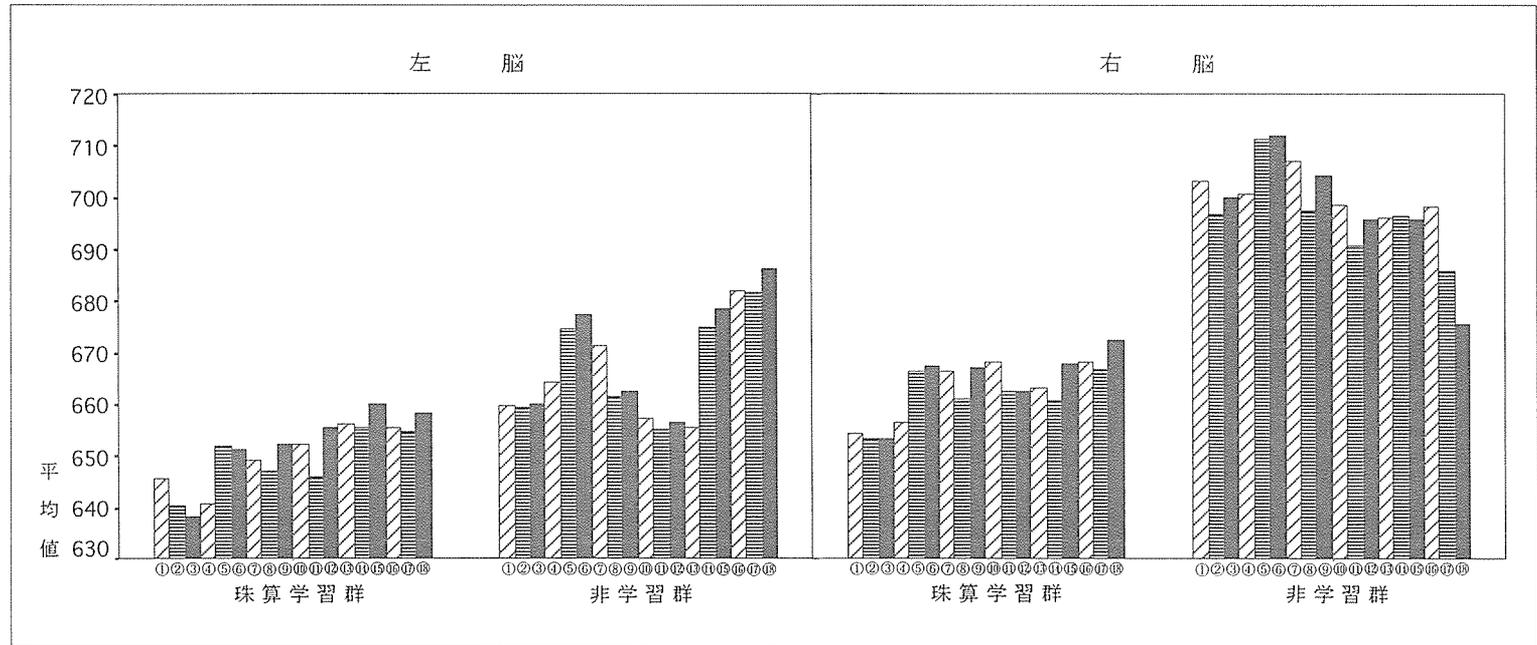


図4 群毎に示した課題別、右脳左脳別の総ヘモグロビン量

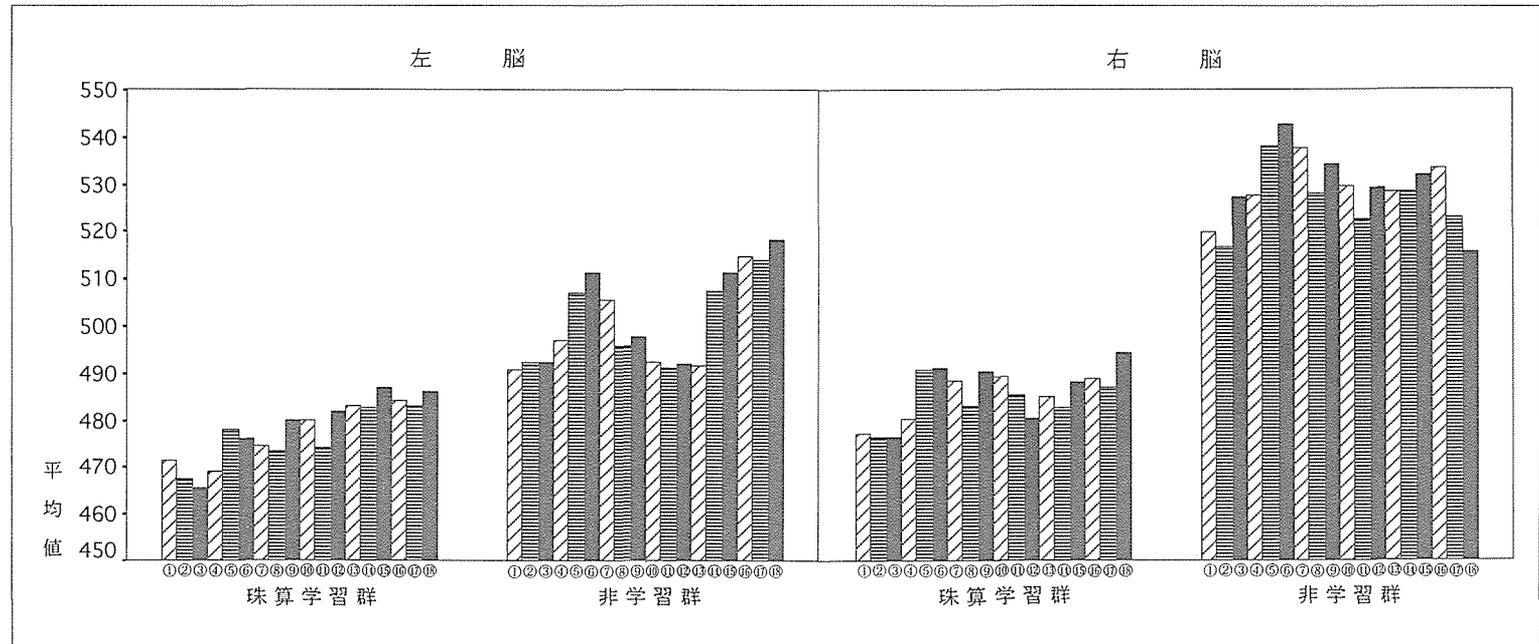


図5 群毎に示した課題別,右脳左脳別の酸化ヘモグロビン量

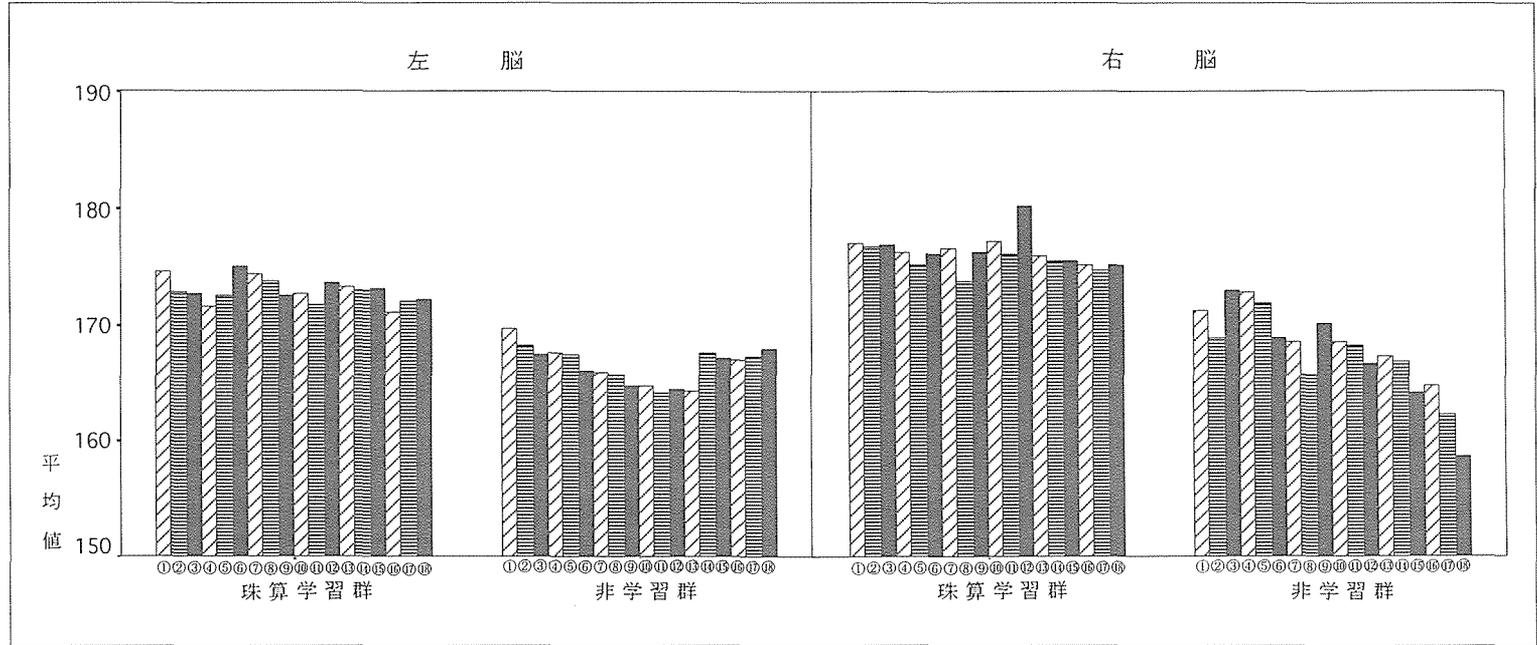


図6 群毎に示した課題別、右脳左脳別の還元ヘモグロビン量

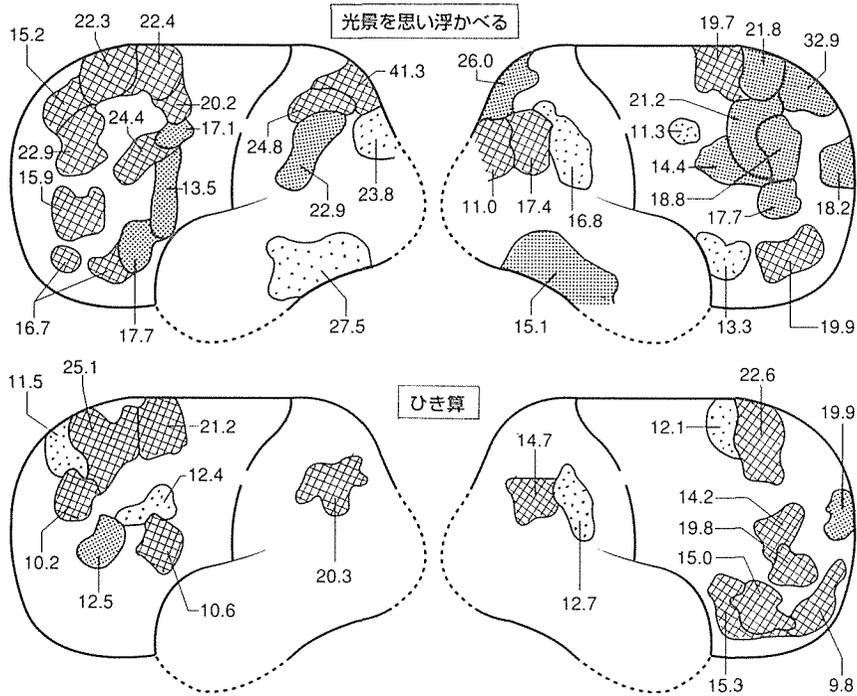


図7 さまざまな思考に伴う大脳皮質の血流量の変化

注) は0.5%有意, は1%有意, は5%有意の領域 (思考作業とそれぞれの領域の結びつきは, 有意の%が低い箇所ほど確かと判断される)

[Roland & Friberg, 1985 より]

(50から3を引き, その答えからまた3を引くことを繰り返す) では, 血流量が増加する脳の小領域がかなり異なることがわかる。イメージ課題で33, 引き算課題で18の小領域が見いだされた (図7)。課題により, 情報を得やすい測定位置は異なるので, 十分に検討する必要があると思われる。

第2の点は, 分析に用いる数値の検討である。本研究で用いた一定時間内の波形の平均値に加えて, 波形の高さ (最大値-最小値) などを加えて分析すると, さらに多くの点が明らかになる可能性がある。

第3には, 珠算学習者として, レベルの高い珠算有段者のデータを得ることである。本研究で用いた被験者は, 小学生の頃に珠算の3級~1級をとった者で, イメージを用いた珠算式暗算が十分にできるとは断言できない。このために非学習者との間に有意差が出なかったことが予想される。八田 (1986) は, 平均珠算段位2.4の2段~9段の被験者を対象に2重課題法を用いて実験した結果, 珠算習熟者は暗算時にイメージを用いるので右脳が関わり, 非習熟者は左脳で暗算を処理することを報告している。2重課題法とは, 脳の同一半球内に統制中枢がある2種の課題 (例えば発声と右手指の運動) を同時に遂行すると干渉が生じることを手がかりに, 2種の課題の同時遂行を左・右手で比較することによって, ある課題の遂行にいずれの大脳半球が関与するかを推定するものである。さらに, 八田 (1989) は, どの程度の珠算訓練によって暗算時に右脳を用いるようになるかを調べたが, 初段程度では明

白な右半球の関与はまだ見られないという結果を述べている。

総ヘモグロビン量の上昇は血流の増加を反映していることは間違いがない。血流の増加は、脳の活性化によると考えられるので、酸素モニターによって非常に簡単に脳内のヘモグロビン量を測定できることは、脳内の貴重な情報をもたらす。今後は、児童においても酸素モニターの測定結果が有効であるかどうかの検討、2人で話し合いながら行う課題解決の際の両者の脳内の変化についても研究をすすめたいと考えている。

引用文献

- 八田武志 1986 珠算熟練者の大脳半球機能に関する研究II 珠算春秋 2-20.
- 八田武志 1989 珠算訓練が大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.
- Hoshi, Y. & Tamura, M. 1993 Detection of dynamic changes in cerebral oxygenation coupled to neuronal function during mental work in man. *Neuroscience Letters*, 150, 5-8.
- 伊藤正男 1988 認知機能の神経学的基礎 伊藤・佐伯編 認識し行動する脳——脳科学と認知科学—— 東京大学出版会 33-44.
- 成瀬昭二 1995 磁気共鳴法による脳機能画像 板倉・前田編 神経科学の基礎と臨床シリーズIII 大脳皮質運動領野 プレーン出版 37-53.
- 斉藤建夫 1996 近赤外分光を用いた Venous Occlusion 法による組織血流計測 *Therapeutic Research*, 17, 6, 39-42.
- 立花隆 1996 脳を究める——脳研究最前線—— 朝日新聞社
- 高倉公朋 1983 脳を見る 東京大学公開講座38 脳と心 東京大学出版会 29-58.

(1997年4月28日 受理)