

# 教育における脳機能の評価と改善に向けた支援方法の検討

池田 千晶\*・成田 正明\*\*・成田 奈緒子\*\*\*

## Neurophysiological evaluation of the brain function under environmental stimuli to apply for schoolroom activities

Chiaki IKEDA, Masaaki NARITA, Naoko NARITA

### 1. はじめに

子どもや子どもを取り巻く環境が変わったといわれて久しいが<sup>1)</sup>、学校現場では、子どもが生きる力をはぐくみ<sup>2)</sup>、自己実現してよりよく生きられるように、様々な教育活動の工夫をしている。その中の一つとして、教育環境のあり方が教育効果に大きく影響する可能性があることは多くの人が感じており、様々な実践例も報告されている<sup>3) 4)</sup>。ここでいう教育環境とは、物的環境・人的環境をさす。物的な環境とは、子どもをとりまく様々な音、子どもの生活空間である建物、あるいは自然など多くのものがあげられる。また、人的環境とは、家族や友だちや教師や地域の人々とのかかわり、子どもの気分や使われる言葉など、これもまた、様々なものがあげられる。

例えば教師は日常的に静かに学習するように指示を出す。また、子ども達が発するネガティブな言葉や態度は、気分や情動を変化させる。このような物的・人的な環境は学習効果になんらかの影響を与える可能性がある。谷崎らは、各種刺激音下での語音聴取時の前頭葉活性変化を調べ、「小川のせせらぎ音」「なんとないざわめき音」に比較し「製材機械音」での変化が大きいことを報告した<sup>5)</sup>。また情動の変動は脳機能の変化として観察され、例えば不安や恐怖を感じる時には、右側前頭葉の活性が抑制され、左右非対称な前頭葉の活性化パターンが認められることが分かっている<sup>6)</sup>。

このような知見をふまえ我々は、特に騒音環境と静寂環境の差異、及び惹起される情動から受ける影響につき、それぞれ簡単な計算タスクを試行することにより学習効果として測定して比較することを試みた。また、タスク試行中の前頭葉機能を測定するために、近赤外線酸素モニター(near-infrared spectroscopy、NIRS)を用いて酸素化ヘモグロビン濃度を測定する方法を用いた。これにより、物的・人的環境による児童の学習効果への影響を、脳科学的に実証することを試みた。

\* いけだ ちあき 横浜市立千秀小学校／文教大学生活科学研究所客員研究員  
\*\* なりた まさあき 三重大学大学院医学系研究科  
\*\*\* なりた なおこ 文教大学教育学部

## 2. 対象

小学校に健常児として通学する46名（男子19名、女子27名、年齢8歳～12歳：平均9歳）を対象被験者とした。被験者には、実験前に趣旨を口頭と文書で説明した後同意を得、必要な場合には、文書で承諾書を得て試行した。

## 3. 方法

### (1) 計算タスク

本研究においては、独自に作成した計算タスクを用いて学習効果の判定を行った。計算タスクはタスク毎に全く異なる小学1年終了程度の同難易度の問題で構成されており、前半は視覚による出題12問、後半は聴覚による出題12問、計24問である（図表1-A）。また、各問題は五秒ごとにPCから自動的に出題されるように設定され、前半1分、後半1分の合計2分間のタスクとなる。

### (2) 静寂環境刺激と教室騒音刺激

静寂環境刺激においては、静寂な研究室、または小学校の相談教室など騒音のない教室を用いて実験を行った。これに対し教室騒音刺激は、学校の教室で録音した子どもの声をICレコーダーから流しながらタスクを試行した。いずれの刺激においてもその前後に、ビデオ視聴（なかえよしを、上野紀子：ねずみくんのチョコッキ、ポプラ社、東映ビデオ、東北新社、2006）による安静時間を確保し、影響を排除した。図表1-Bに全体の実験の流れを示す。

また、静寂環境刺激と教室騒音刺激の順番は被験者によってランダムに変更し、刺激の順番による学習効果の影響を考慮した。

### (3) 情動刺激負荷

情動刺激とは、情動想起と言語復唱からなり、ポジティブ情動刺激とネガティブ情動刺激の二種類からなる。ポジティブ情動刺激では「今までで一番嬉しかったこと」を想起し言語化させた後に5種類のポジティブ言語を実験者の後に復唱した。ネガティブ情動刺激では、「今までで一番悔しかったこと」を想起し言語化させた後に5種類のネガティブ言語を実験者の後に復唱した。そして情動刺激の直後に計算タスクを試行した。全体の流れを図表1-Cに示す。ポジティブ情動刺激とネガティブ情動刺激の順番は被験者によってランダムに変更し、刺激の順番による学習効果の影響を考慮した。

### (4) 近赤外線酸素モニター（near-infrared spectroscopy、NIRS）による前頭葉機能の測定

NIRSは、組織に光ファイバーを介して近赤外線を照射し反射してきた近赤外線の減衰を測定し、脳組織内の酸素化ヘモグロビン（以下 $O_2Hb$ ）と脱酸素化ヘモグロビン（以下 $HHb$ ）濃度の変化を計測することにより組織内の酸素状態を経時的に観察することができる<sup>7)</sup>。今回の実験に用いたNIRO-200（浜松ホトニクス社）は、変形Beer-Lambert法に基づき計測を行っている。このとき、個体間の光路長の偏移については、既報<sup>8-12)</sup>、及び浜松ホトニクス社のマニュアルに従い、ほぼ一定であると仮定して、ベースラインからの吸光度の変異をもとに $O_2Hb$ と $HHb$ 濃度の測定を行った<sup>8, 13, 14)</sup>。今回の被験者である小児については照射プローブと検出プローブの間隔を3cmに設定し、前額部左右に両面シールを用いて固定し、アーチファクトを避けるために

上から黒色のヘアバンドを巻いた。

対象被検者のうち、同意が得られた8歳～12歳までの健常児7名（男児0名、女児7名）においてNIRO-200を用いた左右前頭葉における酸素化ヘモグロビン（O<sub>2</sub>Hb）濃度測定を行った。得られたO<sub>2</sub>Hb濃度変化の相対値は、タスクや刺激の時間ごとに解析を行い、それぞれのタスクごとの変化や刺激ごとの比較を行った。

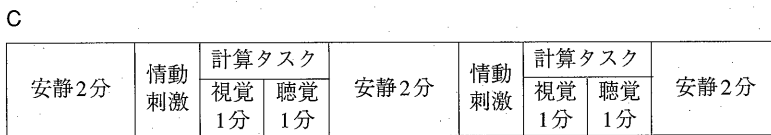
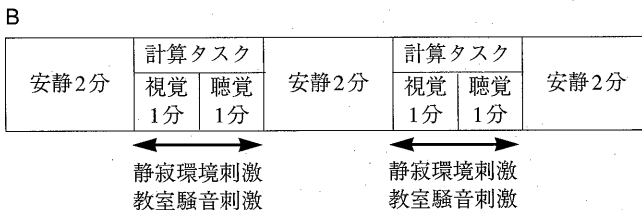
(5) 結果の解析

学習効果の判定を、計算タスクの誤答数の比較によって行った。刺激の種類による変動を統計学的に解析し、 $p < 0.05$ をもって有意差とした。

図表1 刺激とタスクの概要

A

| 視覚による出題例1<br>(1分間) | 聴覚による出題例1<br>(1分間) | 視覚による出題例2<br>(1分間) | 聴覚による出題例2<br>(1分間) |
|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|
| 1+3=4              | 2+2=4              | 1+5=6              | 1+4=5              |
| 3+4=7              | 1+7=8              | 2+5=7              | 3+5=8              |
| 2+7=9              | 3+6=9              | 6+2=8              | 4+4=8              |
| 5+6=11             | 4+8=12             | 5+8=13             | 4+7=11             |
| 7+7=14             | 3+8=11             | 7+9=16             | 8+6=14             |
| 6+7=13             | 9+6=15             | 9+9=18             | 9+8=17             |
| 5-1=4              | 6-1=5              | 8-1=7              | 9-1=8              |
| 8-5=3              | 9-5=4              | 7-5=2              | 6-5=1              |
| 9-2=7              | 8-6=2              | 9-7=2              | 9-6=3              |
| 12-2=10            | 14-4=10            | 17-7=10            | 18-8=10            |
| 10-6=4             | 12-3=9             | 11-3=8             | 12-4=8             |
| 13-8=5             | 15-7=8             | 14-9=5             | 16-7=9             |



情動刺激：ポジティブ言語（うれしい、ありがとう、さすが、やった、わたしてって天才）

情動刺激：ネガティブ言語（いやだ、ゆるさない、だめだなあ、むり、わたしてって最低）

A 計算タスク

実験に用いた計算タスクの一例を示す。同一被験者に対して同一の問題が行われないよう、計96問の同難易度の設問を用いた。

B 静寂環境刺激・教室騒音刺激負荷 実験の流れ

静寂環境刺激・教室騒音刺激を負荷しながら計算タスクを試行

C 情動刺激負荷 実験の流れ

情動刺激負荷後に計算タスクを試行

## 4. 結果

### (1) 静寂環境刺激と教室騒音刺激下における学習効果

全被験者での静寂環境刺激、教室騒音刺激下における計算タスクの誤答数を図1に示す。静

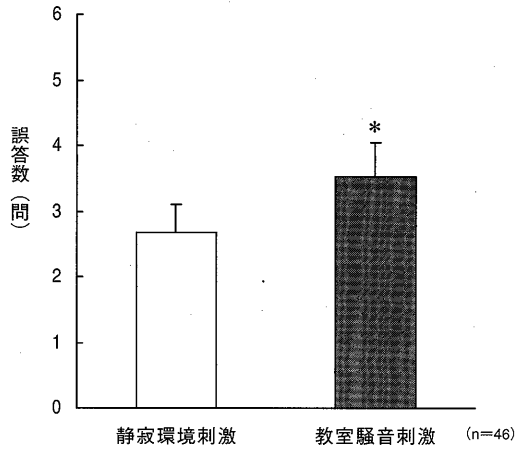


図1 静寂環境刺激・教室騒音刺激負荷中の計算タスクの誤答数の比較

静寂環境刺激下での誤答数の平均 (左側グラフ) は  $2.7 \pm 0.4$  問 (mean $\pm$ -SEM)、教室騒音刺激下での誤答数の平均 (右側グラフ) は  $3.6 \pm 0.5$  問 (mean $\pm$ -SEM) であった。\*  $p < 0.01$  (Wilcoxon の符号付き順位検定による)

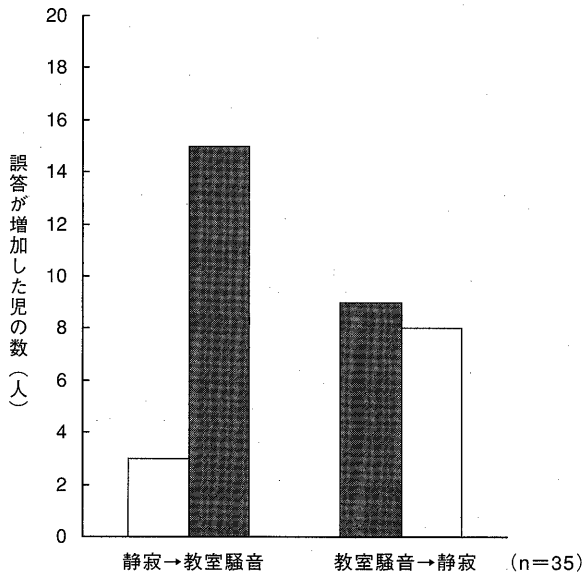


図2 タスク試行の順番による静寂環境・教室騒音刺激負荷中の計算タスク誤答数増加人数の比較  
教室騒音刺激から静寂環境刺激の順で行った群 (左側グラフ) と比較し、静寂環境刺激から教室騒音刺激の順番で行った群 (右側グラフ) において、教室騒音刺激での誤答数が増加している児が多い。

寂環境刺激下での誤答数の平均は2.7+/-0.4問 (mean+/-SEM)、教室騒音刺激下での誤答数の平均は3.6+/-0.5問 (mean+/-SEM) であり、教室騒音刺激下での誤答数の増加がみられた。これらは、Wilcoxonの符号付き順位検定において、 $p<0.01$ の有意差を認めた。また、刺激を行った順番により分類した結果を図2に示す。教室騒音刺激から静寂環境刺激の順で行ったのと比較し、静寂環境刺激から教室騒音刺激の順番で行ったものの方が、教室騒音刺激での誤答数が増加している児が多い。

## (2) 情動刺激負荷と学習効果

全被験者でのポジティブ情動刺激、ネガティブ情動刺激後に行った計算タスクの誤答数を図3に示す。ポジティブ情動刺激後の誤答数の平均は2.8+/-0.5問 (mean+/-SEM)、ネガティブ情動刺激後の誤答数の平均は3.8+/-0.5問 (mean+/-SEM) であり、Wilcoxonの符号付き順位検定において、 $p<0.005$ の有意差を認めた。これを、静寂環境刺激下での誤答数を標準としてそれぞれ増減を算出し、その平均を図4に示した。ポジティブ情動刺激では、静寂環境刺激と比較し誤答数が0.2+/-0.3問 (mean+/-SEM) とほぼ同程度であったのに対し、ネガティブ情動刺激では1.2+/-0.3問 (mean+/-SEM) と大きく増加していた。これは、t検定で $p<0.05$ の有意差を認める結果であった。

また、これらポジティブ情動刺激下とネガティブ情動刺激下で行った計算タスクの誤答数については順番の効果に関係なくネガティブ情動刺激後の計算タスクにおいて、誤答数が増えている児が多い傾向がみられた (図5)。

## (3) NIRSによる酸素化ヘモグロビン濃度の変化

図6にNIRSで測定したO<sub>2</sub>Hb濃度変化のグラフのうち、典型的な健常9歳女児の結果を示す。

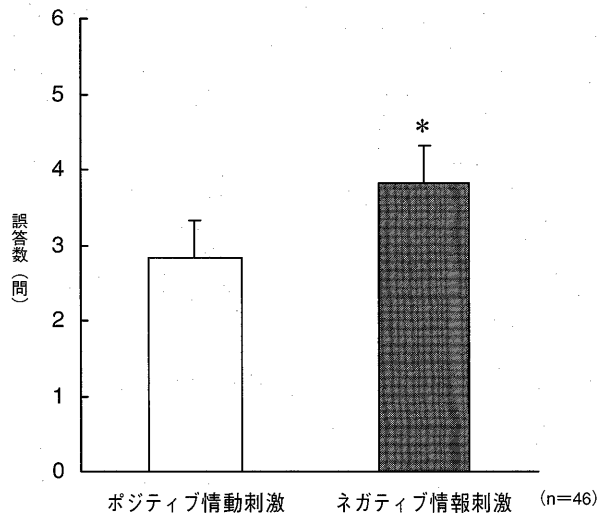


図3 情動刺激負荷後の計算タスクの誤答数の比較

ポジティブ情動刺激後の誤答数の平均 (左側グラフ) は2.8+/-0.5問 (mean+/-SEM)、ネガティブ情動刺激後の誤答数の平均 (右側グラフ) は3.8+/-0.5問 (mean+/-SEM) であった。\*  $p<0.005$  (Wilcoxonの符号付き順位検定による)

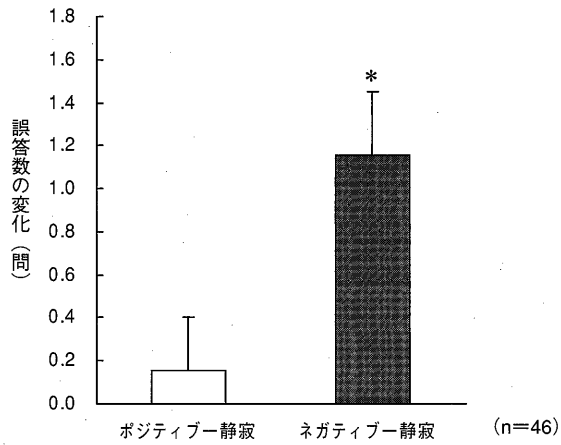


図4 静寂刺激を標準とした情動刺激負荷後の計算タスクの誤答数の変化

静寂環境刺激下での誤答数を標準としてそれぞれ増減を算出した平均：ポジティブ情動刺激では、静寂環境刺激と比較し誤答数が0.2±/0.3問 (mean±/SEM) とほぼ同程度 (左側グラフ) であったのに対し、ネガティブ情動刺激では1.2±/0.3問 (mean±/SEM) と大きく増加 (右側グラフ) した。

\*  $p < 0.05$  (t検定による)

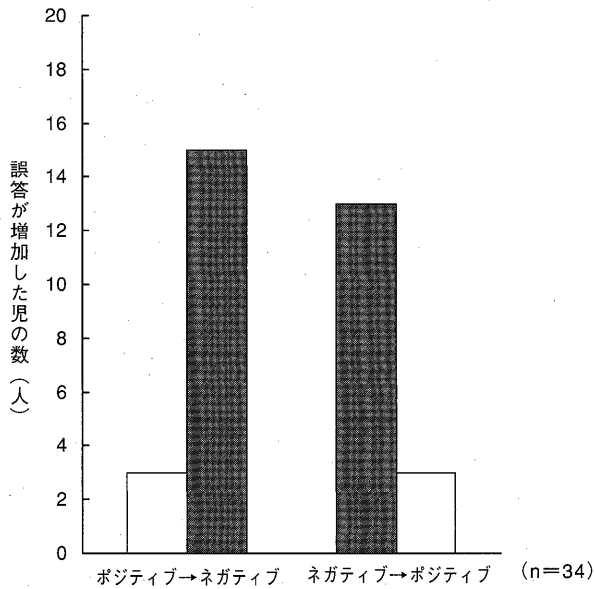


図5 タスク試行の順番による情動刺激負荷後の計算タスク誤答数増加人数の比較

ポジティブ情動刺激からネガティブ情動刺激の順で行った群 (左側グラフ) と、ネガティブ情動刺激からポジティブ情動刺激の順で行った群 (右側グラフ) において、いずれもネガティブ情動刺激後の誤答数が増加している児が多い傾向がみられた。

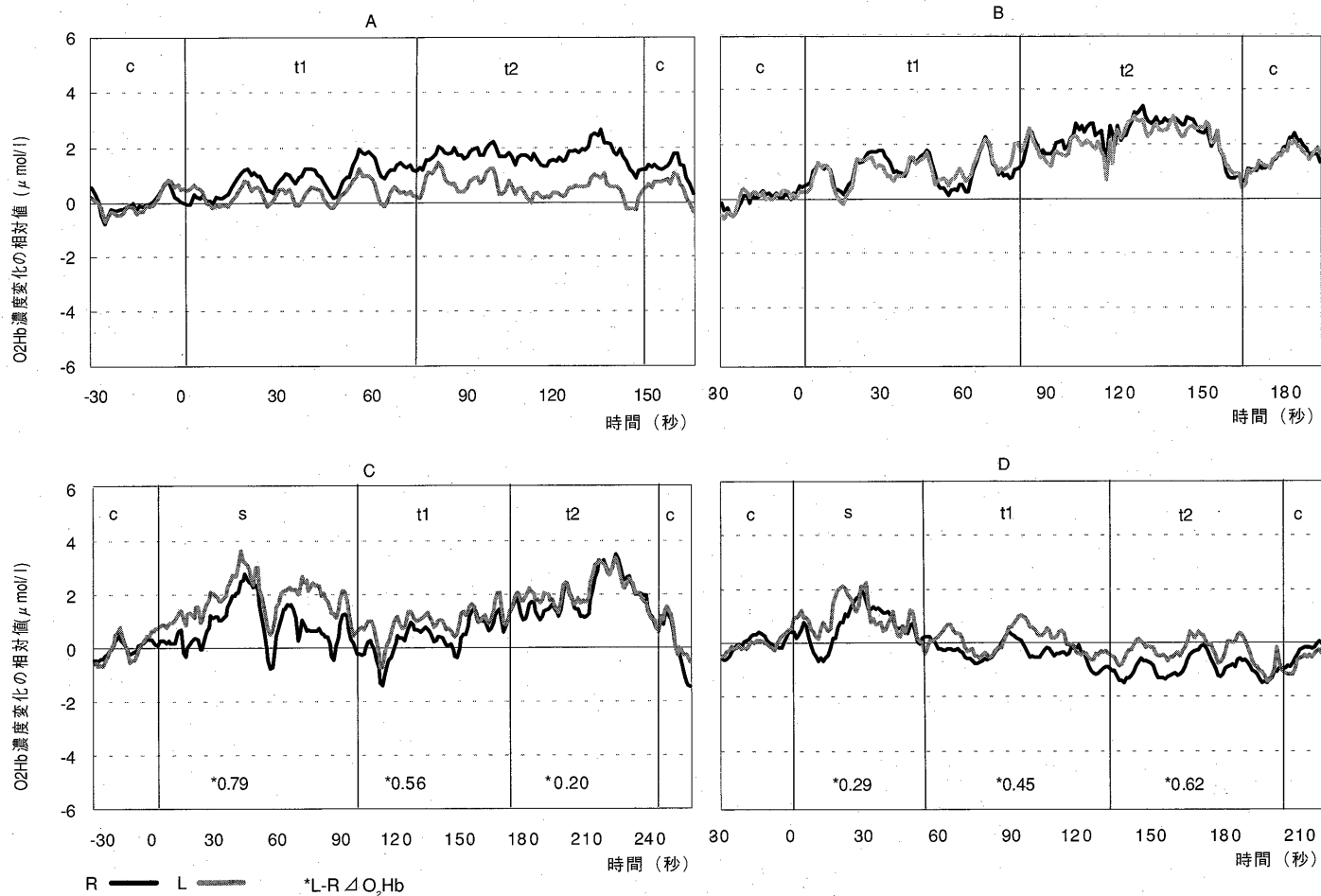


図6 NIRSによるO<sub>2</sub>Hb濃度の変化

静寂環境刺激(A)、教室騒音刺激(B)、ポジティブ情動刺激(C)、ネガティブ情動刺激(D) 試行中における、前頭葉酸素化ヘモグロビン濃度(O<sub>2</sub>Hb)の経時変化、R=右 L=左

c: 安静時、t<sub>1</sub>: 計算タスク(視覚刺激)時、t<sub>2</sub>: 計算タスク(聴覚刺激)時、s: 刺激(ポジティブ情動刺激又はネガティブ情動刺激)時を表す。

\*: L-R ΔO<sub>2</sub>Hb 刺激タスク毎のO<sub>2</sub>Hb濃度変化の相対値の毎秒平均(ΔO<sub>2</sub>Hb)を左側右側ごとに算出し、左側-右側で左右差を算出した値(μmol/l)

図6-Aは静寂環境刺激下でのO<sub>2</sub>Hb濃度変化の相対値の結果である。静寂環境下において計算タスクが開始されると、右側、左側前頭葉共にO<sub>2</sub>Hb濃度の上昇が観察され、活性が上昇していることがわかる。この児の場合は右側優位に推移していることが観察された。この児において、教室騒音刺激下で計算タスクを行った際のO<sub>2</sub>Hb濃度の変化を図6-Bに示す。静寂環境刺激と同様計算タスクの開始とともにO<sub>2</sub>Hb濃度の上昇が観察され、前頭葉機能が活性化していることが示唆されるが静寂環境刺激と比較すると、左右差が縮まり、特に聴覚による計算タスク中のO<sub>2</sub>Hb濃度の相対値が大きく上昇していることが観察された。

一方、ポジティブ情動刺激においては、情動刺激を行っている間にO<sub>2</sub>Hb濃度の上昇が観察され、このうち右側前頭葉の活性が比較的抑制される傾向がみられ、左右非対称な波形を呈する被検者が多いことが特徴的であった。さらに計算タスク試行によりO<sub>2</sub>Hb濃度が下降する傾向がみられ、左側優位の傾向が左右同等に変化していることも特徴的であった(図6-C)。これを数値化するために、刺激タスク毎のO<sub>2</sub>Hb濃度変化の相対値の平均( $\Delta$ O<sub>2</sub>Hb)を左側右側ごとに算出し、左側-右側で左右差(L-R  $\Delta$ O<sub>2</sub>Hb)を算出した。情動刺激においては左右差が0.97  $\mu$  mol/lの差があったものの、計算タスク(視覚刺激)では0.56  $\mu$  mol/l、計算タスク(聴覚刺激)においては0.20  $\mu$  mol/lと減少し、その差が次第に収束した。図6-Dは、ネガティブ情動刺激の結果である。ポジティブ情動刺激と同様に情動刺激の間、O<sub>2</sub>Hb濃度の上昇が観察され、右側前頭葉の活性が比較的抑制され左右非対称な波形を呈する傾向がみられた。L-R  $\Delta$ O<sub>2</sub>Hbは情動刺激において0.29  $\mu$  mol/l、計算タスク(視覚刺激)では0.45  $\mu$  mol/l、計算タスク(聴覚刺激)では0.62  $\mu$  mol/lとポジティブ情動刺激に比較し、収束が遅れる傾向が観察された。

## 5. 考察

今回の実験より、教室騒音刺激下で、有意に誤答数が増加することがみとめられた。さらに、順番の効果も認められ、静寂環境刺激から教室騒音刺激の順番で行ったときに、誤答数が増えた児が多かったことから、もともと静かであった環境に騒音が発生すると、誤答数が増加し学習効果の低下が起りやすいということが示唆された。

また、NIRSでの前頭葉O<sub>2</sub>Hb濃度変化の相対値測定において、計算タスク試行中の前頭葉の活性化が観察され、今回用いたような比較的難易度の低い計算タスクにおいても従来の報告どおり<sup>15,20)</sup>前頭葉機能を活性化することが明らかとなった。興味深いことに、教室騒音刺激下での計算タスク試行中、特に聴覚からの出題において明らかに静寂刺激に比較して前頭葉の活性上昇が見られた。これは、聴覚からの騒音刺激の中から出題する音声を選別するため、前頭葉の機能の一つである注意を惹起するためにおこった現象<sup>521, 22)</sup>ではないかと考えられる。すなわちPCから出力される計算を試行するという作業記憶を選択し維持するために、刻々と入ってくる騒音刺激という情報を抑制したことが推測される。

一方、情動刺激後の計算タスクでは、ネガティブ・ポジティブの順番に関係なく、ネガティブ情動刺激後に誤答数の増加が観察された。さらに、静寂環境刺激を標準としても、ネガティブ情動刺激で有意に誤答数が増加することがみとめられた。このことより、否定的な感情や言動が明らかに学習効果に負の影響を与えるということが考えられた。

NIRSでの前頭葉O<sub>2</sub>Hb濃度変化の相対値の測定では、右側の活性が抑制され、左側優位の活性が多く、被験者において認められた。これは、Tomarkenらがポジティブとネガティブな感情



が、前頭葉の脳波の左右の非対称を誘引し非対称と恐怖の感情が強い関係性を示すこと<sup>23, 24)</sup>、Melissaらは免疫機能とも関係して情動想起刺激が左側優位の脳波を示すこと<sup>6)</sup>、野々らは直接自己体験想起法を用いて、怒り感情想起時に左前方大脳皮質が活動したこと<sup>25)</sup>を報告していることからわかるように、情動刺激によるものと思われる。

また、ポジティブ情動刺激に比較しネガティブ情動刺激においては、左右の乖離が遷延した。これは、Jiongjongらの報告にあるように、精神的なストレスはネガティブな情動と警戒を誘引し、ネガティブな感情は、右の前頭葉の活性低下を引き延ばすということと関連しているものと思われる<sup>26)</sup>。脳機能、特に前頭葉機能については、近年様々な画像診断法や光トポグラフィーなどの技術の進歩により研究が進められている。今回の実験に用いたような計算タスクを行っている際には、前頭葉の左側前頭葉中央部及び両側の側頭葉下部と後頭葉皮質の部位での認知機能を賦活化して対応していることがこれまでに報告されている<sup>17, 19)</sup>。情動もまた前述したように前頭葉の活性変化を引き起し、特に右側での活性低下がネガティブな情動刺激で回復が遅れ、左右前頭葉活性の差が遷延することを考え合わせると、今回の実験で明らかになったネガティブ情動刺激における誤答数の増加、つまり学習効果の低下は、ネガティブ情動想起による前頭葉機能の相対的な低下によるものと結論付けることができる。

可塑性を持つ脳は、生後の環境刺激によりそのシナプスの数を飛躍的に増大させることが知られている。時実は著書の中で神経細胞の突起が伸びていく様子を述べているが<sup>27)</sup>、Volkmarらは環境の豊かなほど神経細胞の樹状突起の枝分かれが多くなり複雑な神経回路が形成されるだけでなくシナプスを増やすことを報告しており<sup>28)</sup>、またKempermannらも知的刺激の貧しい環境下で育てられたマウスに比べ、刺激の豊富な環境下で育てられたマウスの方が神経細胞の数が増えることを報告している<sup>29, 30)</sup>。また、Rosenzweigらは、刺激の豊富な環境条件で育ったラットは刺激の乏しい環境下で育ったラットより、大脳皮質が重いことを<sup>31)</sup>、Nakaらは発育発達期の環境因子は明らかに脳内の構築と生化学的変化に影響を与えること<sup>32)</sup>など、豊かな環境刺激と脳の関係について多くの効果が報告されている。

だが、脳を刺激する豊かな環境があればそれでいいのかということ永江は投げかけている<sup>33)</sup>。それを証明する実験として、Heldらの実験が興味深い。彼らはネコの視覚行動の発達に於いて、同じ環境の中にあっても受動的ではなく能動的に働きかけないと脳機能の一部の発達が抑制されることを報告している<sup>34)</sup>。上記の研究は視覚野や海馬などの神経細胞についての報告であるが、前頭葉に特化して実験した酒谷らは、語想起課題とドライビングシュミレーションタスクを試行し、前頭葉におけるO<sub>2</sub>Hb濃度変化を調べたところ、前者に前頭葉の活性上昇、後者に前頭葉の活性低下がみられたことを報告している<sup>35)</sup>。ドライビングシュミレーションはHeldらのいうところの前頭葉への受動的働きかけ、語想起課題は前頭葉への能動的働きかけといいかえることもできるのではないだろうか。

今回の実験より、学習効果が上昇する教育環境、すなわち物的環境として静かな環境で学習することや、人的環境としてポジティブな情動の想起と発語を促すような教師や友達とのかかわりをもつことが、脳機能の変化をもたらす重要な刺激であることが明らかになった。前頭葉の体積は年齢と共に増大し8歳～15歳で前頭前野が顕著に増大すること<sup>36)</sup>、前頭葉連合野は早期より成長が開始するものの長期にわたり脆弱性が高いこと<sup>37)</sup>を考えても、今回の実験での知見はすなわち、教育現場での環境の違いが長期効果として児童生徒の脳内に変化をもたらすことを示唆するものであり、看過できない意義を持つものであると認識していく必要があると考えられた。今

後さらに児童生徒の教育環境と脳機能の関連につき、研究を進めていきたいと考える。

## 謝辞

本研究は、日本私立学校振興・共済事業団 平成19年度学術研究振興資金、及び日本学術振興会平成19年度科学研究費補助金（基盤研究（B））の交付を受け行われた。本研究の遂行にあたっては、日本大学医学部脳神経外科 酒谷薫教授にデータの解釈、分析に関する助言を頂いた。また、横浜市立千秀小学校 馬場正徳校長に被検者及び実験場所の許可及び提供を頂いた。

## 注

- 1) 高橋勝：子どもの自己形成空間、川島書店 1997
- 2) 小学校学習指導要領、文部省1989
- 3) 宮本三郎・小林毅夫：小学校 生活科の学習環境づくり、東京書籍 1991
- 4) 田中仁一郎：フレネ教育 教室を変える、青木書店 1999
- 5) 谷崎みゆき、飯島亜紀、中原凱文：各種刺激音下における語音聴取時の脳血流動態に関する研究、疲労と休養の科学, 16, 1, 87-98 2001
- 6) Melissa A. Rosenkranz, Daren C. Jackson, Kim M. Dalton, Isa Dolski, Carol D. Ryff, Burt H. Singer, Daniel Muller, Ned H. Kalin, and Richard J. Davidson, Affective style and in vivo immune response : Neurobehavioral mechanism. PNAS 100, 11148-11152 2003
- 7) Suzuki S, Takasaki S, Ozaki T, Kobayashi Y, A tissue oxygenation monitor using NIR spatially resolved spectroscopy, Proc SPIE, 3597582-592. 19999)
- 8) Tanida M, Sakatani K, Takano R, Tagai K, Relation between asymmetry of prefrontal cortex activities and the autonomic nervous system during a mental arithmetic task: near infrared spectroscopy study, Neurosci Lett, 369 69-74. 2004
- 9) Delpy DT, Cope M, van der ZP, Arridge S, Wray S, Wyatt J, Estimation of optical pathlength through tissue from direct time of flight measurement, Phys Med Biol, 33, 1433-1442. 1998
- 10) Essenpreis M, Cope M, Elwell CE, Arridge SR, van der ZP, Delpy DT, Wavelength dependence of the differential pathlength factor and the log slope in time-resolved tissue spectroscopy, Adv Exp Med Biol, 333. 9-20. 1993
- 11) van der ZP, Cope M, Arridge SR, Essenpreis M, Potter LA, Edwards AD et al., Experimentally measured optical pathlengths for the adult head, calf and forearm and the head of the newborn infant as a function of inter optode spacing, Adv Exp Med Biol, 316,143-153. 1992
- 12) Hiraoka M, Firbank M, Essenpreis M, Cope M, Arridge SR, van der ZP et al., A Monte Carlo investigation of optical pathlength in inhomogeneous tissue and its application to near-infrared spectroscopy, Phys Med Biol, 38, 1859-1876. 1993
- 13) Sakatani K, Yamashita D, Yamanaka T, Oda M, Yamashita Y, Hoshino T et al., Changes of cerebral blood oxygenation and optical pathlength during activation and deactivation in the prefrontal cortex measured by time-resolved near infrared spectroscopy, Life Sci, 78 2734-2741. 2006
- 14) Tanida M, Katsuyama M, Sakatani K, Relation between mental stress-induced prefrontal cortex activity and skin conditions : A near-infrared spectroscopy study, Brain Res, 1184 , 210-216. 2007
- 15) Yoko Hoshi, Mamoru Tamura. Detection of dynamic changes in cerebral oxygenation coupled to neuronal function during mental work in man. Neuroscience Letters150, 5-8 1993
- 16) Yoko Hoshi, Hiroataka Onoe, Yasuyoshi Watanabe, et al. Non-synchronous behavior of neuronal activity, oxidative metabolism and blood supply during mental tasks in man. Neuroscience Letters 172,129-133 1994

- 17) O. Gruber, P. Indefrey, H. Steinmets, et al. Dissociating Neural Correlates of Cognitive Components in Mental Calculation. Oxford University Press 11, 350-359 2001
- 18) 大久典子、鈴木真悠子、佐々木春香、他：計算負荷における心拍変動と脳神経細胞の酸素代謝、自律神経、40、166-169 2003
- 19) Ryuta Kawashima, Masato Taira, Katsuo Okita, et al. A functional MRI study of simple arithmetic—a comparison between children and adult. *Cognitive Brain Research* 18, 227-233 2004
- 20) Masahiro Tanida, Kaoru Sakatani, Ruriko Takano, et al. Relation between asymmetry of prefrontal cortex activities and the autonomic nervous system during a mental arithmetic task : near infrared spectroscopy study. *Neuroscience Letters* 369, 69-74 2004
- 21) 田中啓治、岡本仁：脳科学の進歩、放送大学教育振興会 2006
- 22) 加藤元一郎：〔高次機能とその障害〕注意と注意障害 前頭葉機能と注意障害、*Clinical Neuroscience* 21,7, 821-822 2003
- 23) Tomarken AJ, Davidson RJ, Henriques JB. Resting frontal brain asymmetry predicts affective responses to films. *J Pers Soc Psychol.* 59 (4) , 791-801 1990
- 24) Tomarken AJ, Davidson RJ, Wheeler RE, Doss RC. Individual differences in anterior brain asymmetry and fundamental dimensions of emotion. *J Pers Soc Psychol.* 62 (4) : 676-87 1992
- 25) 野々さゆり、清水遵、杉本助男：自己体験情動想起中の脳内活動源及び情動情報伝達の検討 怒りの情動を対象としたダイポール解析の試み、愛知淑徳大学論集；コミュニケーション学部篇、4、117-128 2004
- 26) Jiongjiong Wang, Hengyi Rao, Gabriel S. Wetmore, Patricia M. Furlan, Mark Korczykowski, David F. Dinges, and John A. Detre : perfusion functional MRI reveals cerebral blood flow pattern under psychological stress : *PNAS* 102, 17804-17809 2005
- 27) 時実利彦：人間であること、岩波新書 1970
- 28) Volkmar, F. R. & Greenough, W. T. : Rearing complexity affects branching of dendrites in the visual cortex of the rat : *Science* 176, 1445-1447 1972
- 29) Kempermann, G., Kuhn, H. G., & Gage, F. H. :, More hippocampal neurons in adult mice living in an enriched environment : *Nature* 386, 493-495 1997
- 30) Henriette van Praag, Gerd Kempermann and Fred H. Gage : Neuronal consequences of environmental enrichment : *Nature Reviews Neuroscience* 1, 191-198 2000
- 31) Rosenzweig, M. R., Bennett, E. L., & Diamond, M. C., : Brain changes in response to experience. : *Scientific American*, 226, 22-30 1972
- 32) Naka F, Narita N, Okado N, Narita N. Modification of AMPA Receptor Properties Following Environmental Enrichment. *Brain and Development*, 27: 275-278 2005
- 33) 永江誠司：子どもの脳の発達と環境、福岡教育大学紀要第52,4,239-245 2003
- 34) Held, R., & Hein, A., : Movement-produced stimulation in the development of visually guided behavior. *Journal of comparative and Physiological Psychology* 56,872-876 1963
- 35) Kaoru Sakatani, Daisuke Yamashita, Takeshi Yamanaka, Motoki Oda, Yutaka Yamashita, Tetsuya Hoshino, Norio Fujikawara, Yoshihiro Murata, Yoichi Katayama, Changes of cerebral blood oxygenation and optical pathlength during activation and deactivation in the prefrontal cortex measured by time-resolved near infrared spectroscopy : *Life Science* 78, 2734-2741 2006
- 36) 金村英秋、相原正男、青木茂樹、畠山和男、神谷祐子、小野智佳子、佐田佳美、中澤眞平：三次元MRIによる前頭前野定量的体積測定に関する検討、脳と発達31,519-524 1999
- 37) Dobbing J, Sands J : Vulnerability of developing brain ; The effect of nutritional growth retardation on the timing of the brain growth spurt. *Biol Neonate* 19, 363-378 1971