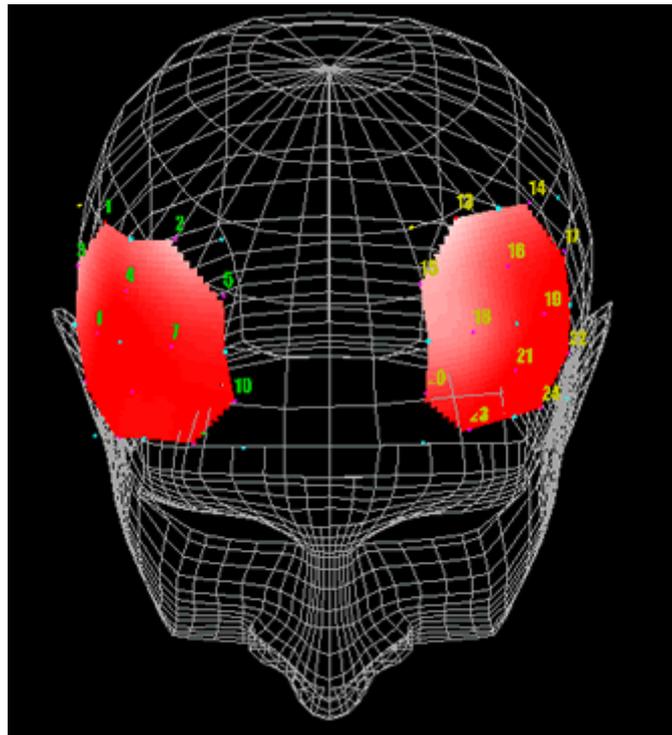


算数・数学で活性化する？脳



宮城教育大学 大学院教育学専攻科数学教育専攻

02061 上杉 茂樹

1 前頭葉の働き

脳の前部、前頭葉（前頭前野）は人間らしい生活を送る上で重要な役割を果たしている。

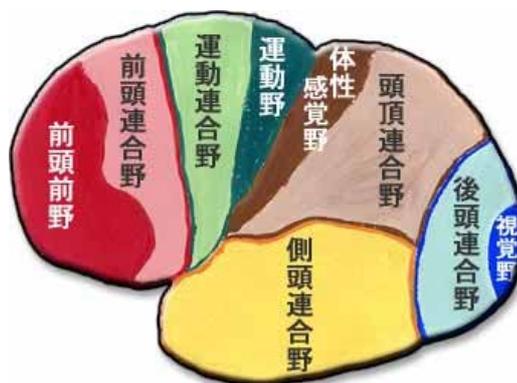
大脳の最前部の額のあたりに位置し、人間の「個性」を決める場所といわれる。本能をつかさどる視床下部や古い皮質などの働きを抑制する機能がある。イヌやネコなどには見られず、サルにもわずかにあるだけで、前頭前野が未発達だったり損傷を受けると、行動が子供っぽくなったり、感情のコントロールができなくなる。



（毎日新聞 ことば）

古くは 1848 年のフィアネス・ゲージの例、1928 年のペンフィールドの例にみられるように、ここの物理的な損傷は人格の破壊や料理「だけ」できないといった奇妙な現象として表出した。また最近では「ゲーム脳」と呼ばれ警告を寄せられている対象の部位もここに当たる。

逆に、意図的にここの活性化をはかれれば発達障害等の改善や、老人性痴呆の改善、キレやすい子供の改善が期待できる。



講談社 News Web JAPAN

2 どうやって前頭葉の働きを測るか

脳の内部ではさまざまな化学現象、物理的現象が観測される。これらを観測することが最近の技術の発達で可能となってきた。

ポジトロンCTは陽電子を用いて¹⁵Oを作りだし、H₂Oとして体内に注入してやりこれの運動を測定することができる。これにより体内における血流量の大きい部位が貸し科される。心臓の次に脳がこれに大きく反応する。

機能的MRIは磁気を用いて体内の水素原子の動きを捉えることができる。これを用いて脳内の血流量を可視化する。

光トポグラフィーはレーザーを用いて比較的手軽に脳内の血流量の変化を捉え、可視化することができる。

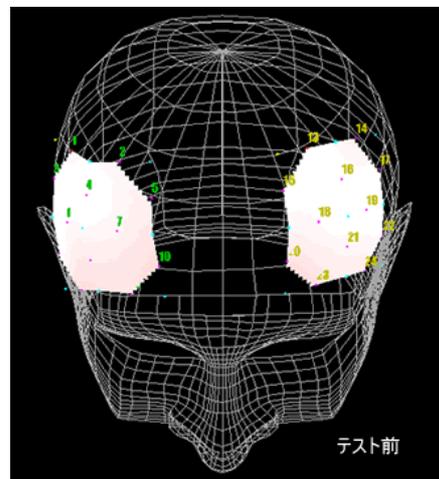
脳は盛んに活動するとき、内部の血流を増大させる。したがって血流の増大している部位が現在活動している部位であり、増加量が多いことはそれだけ活発に活動していることを意味する。今回の実験は、被験者に教育的な場面を想定したさまざまな刺激を与え、脳内の血流量の変化を光トポグラフィーで測定した。

3 実験 1

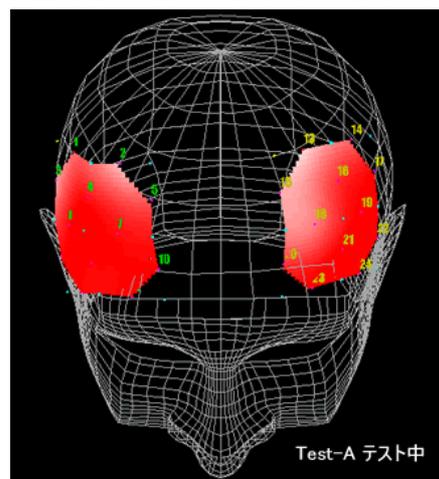
被験者は 20 名の男性（左利き）で、大学院教育学部社会科教育専攻修士課程 1 年。数

学に関してはふつうの素養は期待できるものの、微積分以降の専門性の強まる時期以降の数学に関しては全くの素人といえる。テストは頭部に光トポグラフィーの端子をセットした後、1分間の安静、1分間で2桁の足し算（Test-A）、2分の休憩、1分間で図形の証明問題（Test-B）、1分間の休憩で行った。テストに使用した問題は資料を参照のこと。

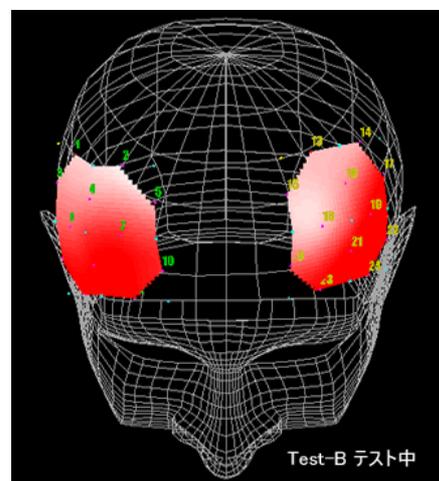
最初に安静時のデータを取る。被験者の頭部に測定器具（レーザーの出力部（左右5個ずつ）と受光部（左右4個ずつ））をセットし、目を瞑り何も考えないように指示をし血流量のデータを測定する。これはその後の血流量の変化を読み取るための基準とする。このときの脳内の血流の変化を可視化した画像を右に表示した。基準を白色で示し、血流量の増大を赤色で、減少（抑制）を青色で示し、その色の濃さが変化量を示すシステムとなっている。安静時は左右ともに血流量の変化は示していない。



Test-A は資料1(1)に示した単純な足し算。従来は左脳が活発に活動すると考えられていたので左脳（画像の右側）が活性化し赤くなると共に、右脳（画像の左側）は活性化したとしても左脳よりは弱いと期待された。しかし、光トポグラフィーのグラフ（資料2 a）を見ると左右の差はあまり感じられず、逆に右脳が強い反応を示している部位さえある。可視化した画像を見ても右脳（画像の左側）の方が強く反応している様子が感じられる。測定の誤差を考慮しても、左脳・右脳両方共に活発に働いていると理解できる。僕自身の経験則にのっとり述べると「 $6 + 7$ は1繰り上がって13」のような形態の計算が行われているのではなく「 $6 + 7 =$ （がぱっと）13」的な大雑把な感覚が働いているのかもしれない。逆に記憶をつかさどる領域との関係を調べてみると面白い結果が得られるかもしれない。このことから、単純な計算は左右の前頭前野を活性化させると考えてよさそうだ。



Test-B は図形の証明とした。問題は中学校2年生レベルを想定した資料1(2)とした。従来は図形の証明は右脳が活発に活動すると考えられていたので右脳（画像の左側）が活性化し赤くなると期待された。光トポグラフィーのグラフ（資料2 b）を見ると、予想通り右脳が活性化しているが、左脳も十分に反応して



いる。可視化した画像を見ると、左右を比較して、より右脳のほうが赤みが強く活性化していることがわかる。したがって、図形の問題も右脳の活性化の方が強いものの、左右の前頭前野を活性化させると考えてよさそうだ。

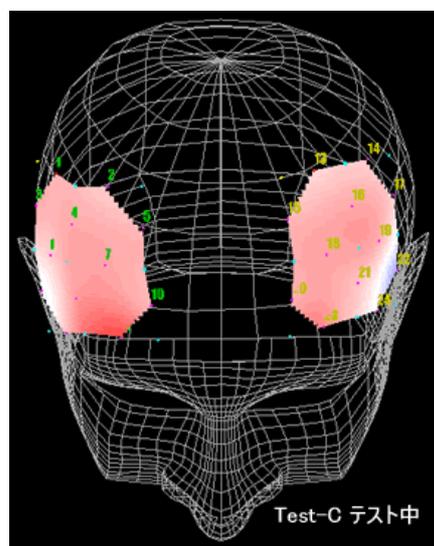
また、Test-A と Test-B を比較すると Test-A の方が全体に赤みが強く、より前頭前野が活性化していることがわかる。これは問題の性質によると推測する。見ただけで反応できる「足し算」と、最初に状況を把握し、慎重に考えをまとめる必要のある「図形」の差で、自動車のレースにたとえれば Test-A がサーキット場でのレースに対し、Test-B がラリーといったところだろうか。

また、このテストでは現れていないが、問題の難度は重要な役割を果たすように感じられる。「難しすぎず、やさしすぎず。」ここの加減は私たち教育に携わるものの腕の見せ所に思われる。これに関しては実際の被験者（生徒）のいる教室に持ち込むのが面白いと思われる。

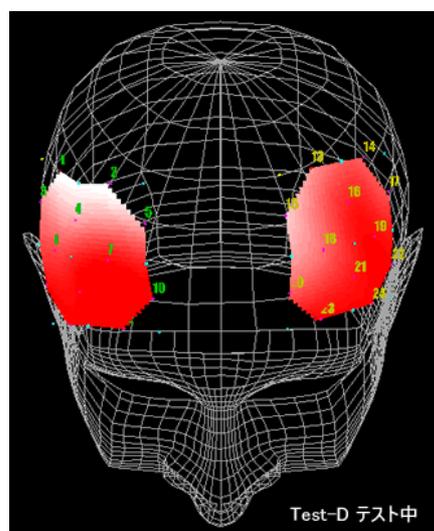
4 実験 2

実験 1 の難度の問題を明らかにするべく再度、実験 1 の被験者を対象に「黙読」と「音読」を実施した。読んでもらう本は、岩波基礎数学講座「複素解析」¹⁾。被験者が内容を理解できるとは思われない。なお、計測方法は実験 1 と同一にしている。

Test-C は黙読。内容が理解できることは期待していなかったため、前頭前野の活性化は見られないだろうとの予想のとおり、光トポのグラフ（資料 2 c）はあまり上がってこない。可視化したも画像も赤みがほとんどないことが見てとれる。



Test-D は音読。本の内容は十分に専門的な内容で、書いてあることを被験者が理解することはできないと考えた。したがって、発語に関する部分は活性化することは期待したが、それ以外は活性化しないと考えていた。しかし、予想に反し光トポのグラフ（資料 2 d）が表示しきれないほど強い活性化が右前頭葉下部を中心に現れた。可視化した画像ではより鮮明に表示されている。被験者が左利きであることから言語野が右にある可能性はあっても、両側の活性化状況は予想を超えた。



この実験を通して、書物を読むという活動に関しては「声に出して読む」という行動が重要であって、「理

解する・できる」ということは「前頭前野の活性化」という観点からはさほど重要ではないらしいことがわかった。しかしながらこの結果は、被験者にとって難解な書物でも声に出して読むことで理解できる可能性が高まることも示している。学習の場では、自宅での予習の場面で「声に出して読む」ことを予習の一部（開始時）に入れることが効果的であるという期待を持たせてくれる。

5 この実験の問題点

この実験の問題点は列記しておかなければならない。この実験はあくまでも授業の一環であり「やってみる」ことが重要であり、純粹にデータを取ることを目的に行ったものではない。したがって次のような問題点は内在する。

被験者が1名であること。すなわち、この現象がこの被験者に限り現れ、一般的なものではない、という疑いに対する答えを持っていないこと。ただし、Test-Aの結果については川島教授のさまざまな実験結果と合致する。Test-Bについては試したことがないらしい。

被験者の体調の影響を強く受けているはずである。ただし、僕のみから見て被験者の体調はよいようには見えた。

運動野の影響を受けている場所がある。これは特にTest-Aの左脳後部（資料2a）のグラフでは一番右の一行に強く現れ、これは「書く」動作の単純な影響と思われる。

6 教育へ生かす

陸上競技の長距離走の練習方法としてLSD（Long Slow Distance）という練習方法がある。「ゆっくり走れば強くなる」の標語の下、急速に普及した練習方法だが、ゆっくり長時間走って、体内の眠っている毛細血管を目覚めさせ、その結果、持久力をあげる効果があるといわれる。

この実験を行い、川島先生の講義を聞き、著書に目を通すにつれLSDの効果を思い出した。LSDは「話ができるくらいの速さ」が基本の運動強度となるが、これは問題の難度と合致すると思われる。しかしながら、この「速さ」は個人差が大きく、一流選手と私たち素人が速度で走って良い訳ではない。教育も同様で生徒の学力に合致した問題の難度が要求されると考えられる。また、強度の設定と共に継続期間が重要と思われる。これについては、できれば習慣化できるような方法が見つけられれば面白い。

私の勤務校（宮城野高校）は比較的学力が高く、学習に対する意欲の強い生徒も多い。僕自身も方法に興味を引かれることもあり、また、来月末に「宮城県算数数学教育研究大会」が本校をメイン会場として開催されることから、生徒に対して実験を行ってみてその結果を会場前にレポートとして置いておくのも面白い。

実際に実施することを想定すると、「こうやりなさい」との指示だけでは生徒はできるはずもなく、授業時間を削っての時間の確保が必要になる。これに関しては次のような問題

が想定される。

時間をどう確保するか。

プリントとして問題を準備しておき、授業開始前に教室に入り、授業開始のチャイムと同時に開始できるようにする。時間は4分程度が最大。最初は3分でやってみる。

答えあわせをするか

そのための時間は無駄なのではない。休み時間に相互に答えあわせをさせて1週間分をまとめて提出させると僕自身の負担が軽そう。

問題はどのように準備するか

生徒を想定して作成できれば最も望ましいが、時間的に余裕がないので市販のものともやさしい問題集から編集する。知研出版のものが候補。

目的の説明はどうするか

「動機付け」の意味からも趣旨説明ははっきりとしておいたほうがよい。プリントを作成し、生徒に説明する。あわせて、+音読グループも作っておく。

効果測定をどうするか

事前調査は、「授業評価」(昨年から年に2回実施している)のアンケートの中に紛れ込ませる。実験の印象を問うアンケートは研究大会にあわせ10月24日に実施可能であるが、試験の成績としての効果測定は12月の考査まで待つしかない。

比較実験になるか

実験対象とする2年理系クラスは、均質が2クラスとLowが1クラス。均質の2クラスでの比較が可能。

最後に、生徒用の趣旨説明のプリント、問題例を資料3・4として添付した。

7 謝辞

「脳が鍛えられる」ことを、シナプスの数が増える、伸びる。また、神経繊維が太くなると規定した場合、今回体験した単純計算や音読のような作業がこれに効果的であることはよく理解できました。果たしてこれが学校教育の場で、どれほどの効果を上げるのかについては僕たちの仕事でしょう。生徒の学習方法に様々なアプローチを試みてみたいと思います。ありがとうございました。大変おもしろかったです。

参考

脳科学レポート 脳を知り、脳を守り、脳を育てる (東北大学 まなびの森)

川島 隆太 <http://www.bureau.tohoku.ac.jp/manabi/manabi17/mm17-45.html>

脳を育て夢をかなえる (くもん出版) 川島 隆太

ゲーム脳が蔓延の恐怖 講談社 News Web JAPAN (2002.10.30)

http://kodansha.cplaza.ne.jp/broadcast/special/2002_10_30/content.html

脳の機能についてのさまざまな見解 京都大学 霊長類研究所

<http://www.pri.kyoto-u.ac.jp/brain/brain/41/index-41.html>

<http://www.pri.kyoto-u.ac.jp/brain/brain/42/index-42.html>

日本大百科全書 (小学館)

資料 1

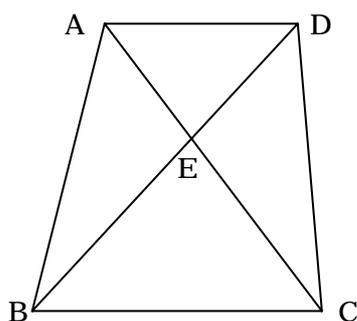
光トポグラフィーのテストに用いた問題

(1) 2桁の足し算

+	83	47	65	23	51	38	94	74	43	17
16										
58										

被験者は10カ所まで回答して時間となった。

(2) 図形の証明

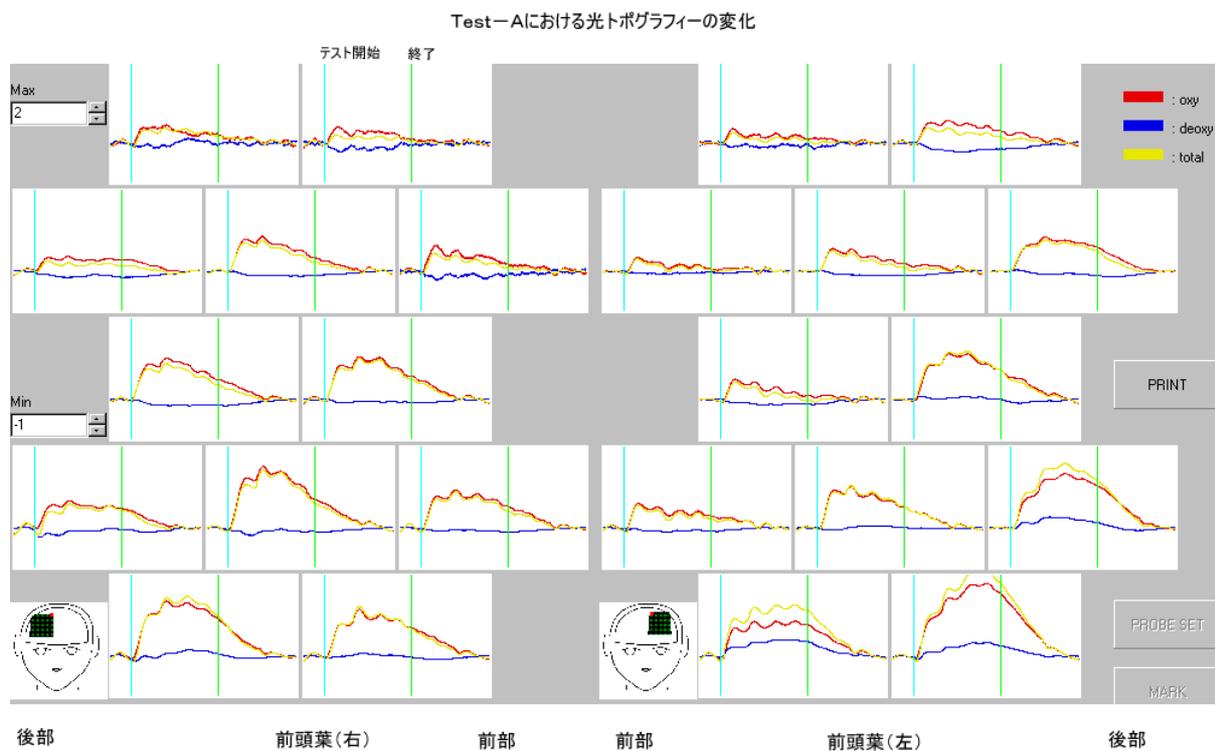


右のような台形 ABCD で、対角線 AC、BD を引き、その交点を E とするとき、三角形 ABE の面積と三角形 CDE の面積が等しいことを証明せよ。

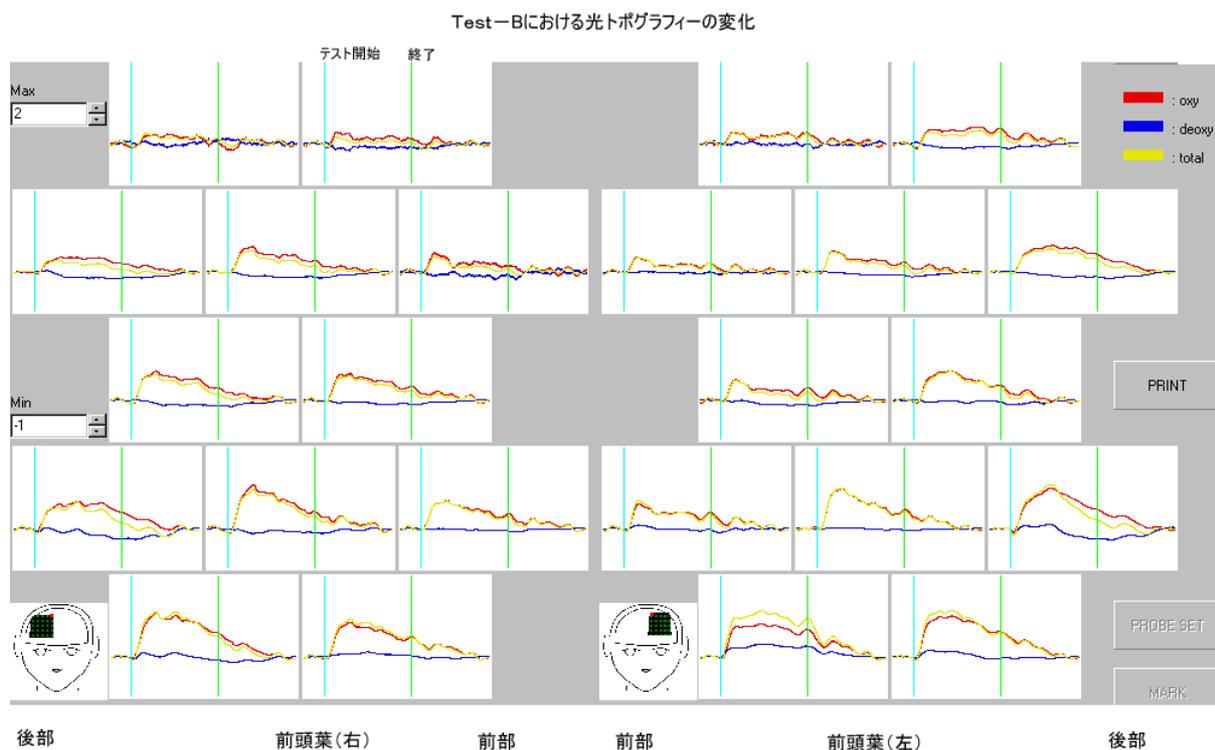
被験者は証明の方針をたて、4行書いたところで時間となった。

資料 2 a

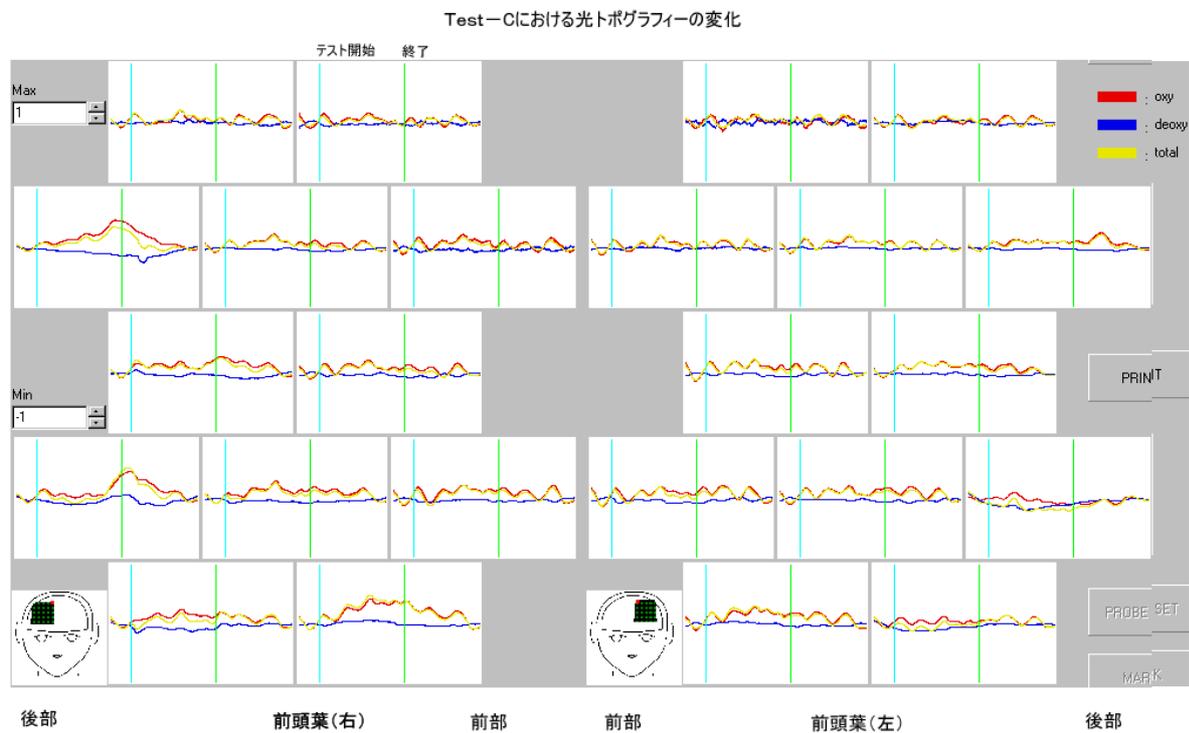
本来、資料 2 の図は黄色い線（総量を示す）をみる。見えなければ、赤を追っても大きな違いはない。



資料 2 b



資料 2 c



資料 2 d

