

# 日本語初級学習者の筆記テスト時と会話時の脳活動

## —fNIRS データの相関分析試行—<sup>1</sup>

平田 裕\*

### 要旨

本論文は、「形式別、筆記テスト時と会話時の脳活動の近似性の比較検証」という3年計画の研究プロジェクトの中の1つである。前年度(2013年度)と同様、トレンドグラフを分析することによって視覚的傾向把握を行い、より客観的な分析としては新たに相関分析を試行した。分析対象の被験者は日本語初級学習者1名であるが、トレンドグラフでの傾向把握では、① 筆記タスクはどちらかという左脳優位の傾向がある、② 筆記タスクの中では会話式タスクの脳活性化度が比較的高めである、③ 会話タスクの場合は右脳の活性化度が大きい、というような傾向が確認できた。また、相関分析はoxy-Hb(酸化ヘモグロビン)とdeoxy-Hb(脱酸化ヘモグロビン)のデータそれぞれで行ったが、④ oxy-Hbデータの方は全て正の相関であるのに対し、deoxy-Hbデータの方は負の相関を示すチャンネルが多く、⑤ oxy-Hbの増減パターン(量ではなく質)としてはパズル式選択タスクと日本語会話との間の近似性が比較的高そうであると言える。今回の相関分析の試行により、分析データを1種類にせず、oxy-Hbとdeoxy-Hbの両方をもってタスク間の近似性・相違性の把握を試みるという新しい方向性も見えた。また、分析の対象とするチャンネル数を増やし、それぞれのチャンネルでの相関性を見ることで、タスク毎の特性が分かる可能性も示唆された。

キーワード: 筆記テスト形式、日本語初級学習者、脳活動、fNIRS (functional near-infrared spectroscopy: 近赤外光分光法)、相関分析

---

\* 立命館大学 大学院 言語教育情報研究科 教授

## 1. はじめに

### 1.1 研究目的

本論文は、3年計画の研究プロジェクトの最終年度に行った実験の一部を分析し、まとめたものである。これまで、筆記テスト時と会話時の脳活動の比較検証のため、マッピング図による傾向把握、測定チャンネル別の賦活度順位評価、賦活総量比較、トレンド図による傾向把握、タスク間の分散分析などを行っている。本プロジェクトでは、研究方法の検討・確立自体が継続的な課題であるが、本研究では、脳活動の測定データに相関分析を試行し、評価する。本プロジェクトでこれまで得られた知見については、平田(2013a, 2013b, 2014a)を参照されたい。研究の背景や目的については重複する部分も多いが、独立した論文として以下に簡単にまとめ直す。

このプロジェクトは、「日本語学習者の脳活動が、各種筆記テスト時と日本語での会話時でどのように質的・量的に違うのか客観的に明らかにする」ということを目的としている。研究の動機は、筆記テストを会話力向上やその評価に有効に使うことができないだろうかということからきている。言うまでもなく、筆記テストは本来会話力を測るものではない。会話力を測るテストフォーマットとしては方向性は2つあり、実際に会話をしながらその場で評価する場合と、設問に対する発話データを評価する場合があるが、いずれにしても、会話テストを実際の外国語教育の通常のコースで実施しようとする場合、テストに要する時間、評価に要する時間、評価者のトレーニングなどの課題があり、なかなか簡単には実施できないのが実情である。もし、筆記テストを会話力向上やその評価に有効に使うことができれば、教育現場でのメリットは大きいと言える。対面式の会話力テストとしては、例えばACTFL OPIやIELTSのspeaking testなどがあり、発話力評価タイプとしては、TOEFL speaking test、British CouncilのAptis speaking test、アルク社のJSSTなどがある。日本語のACTFL OPIについては、牧野ほか (2001)、会話力評価の難しさについては、Bachman and Savignon (1986)、Brown (2005)など、会話力評価全般についてはLuoma (2004)などを参照。

会話テスト導入の現実的な難しさから、大学などの通常外国語の授業では教育成果を検証する方法として筆記テストに頼っている部分が多いのであるが、これらのテスト形式の妥当性の検証は、今までのところ、学習行動および目標技能とテスト内容の対応の考察、そして統計的確認が主である(Bachman 1990; Bachman and Palmer 1996; 大友・中村 2002; Hughes 2002; 近藤ブラウン 2012 など)。それに対し、本研究は「会話時との脳活動の近似性・相違性」という新しい視点で様々な形式の筆記テストを検証し、筆記テストの新たな可能性を探ろうというものである。

### 1.2 前年度(2013年度)までのまとめ

本研究では脳活動の計測に近赤外光分光法(fNIRS: Functional Near Infrared Spectroscopy)による測定システム、島津製作所のFOIRE-3000を使用している。2012年度の研究

では、合計7名の被験者（日本語初級学習者4名、初中級から中級の範囲に入る学習者が3名）を対象にfNIRSで脳活動を測定した(平田 2013a, b)。2013年度の研究では合計11名（初級学習者2名、中上級学習者9名）を対象に延べ13回の実験を行っているが、平田(2014a)で分散分析ができたのは初級の2名で、それぞれ左脳のブローカー野とウィルニッケ野に対応すると考えられる2チャンネルのみである。右脳と左脳の比較まで含めた分析は口頭発表の平田(2014b)、中上級の2名に関しては口頭発表の平田(2014c)で分析結果を公表している。これまで得られた知見を、以下、簡単にまとめる。特に断らない限り、右利きの被験者群での知見である。

- [1] 筆記テストの形式としては同形式でも、問題の内容によって脳賦活の部位と賦活の程度は異なる。
- [2] 同様に、会話タスクにおいても被験者の日本語レベルと話す内容によって、脳の活性化は異なったパターンを示し、賦活総量も著しく違う。
- [3] 全般的に、中級学習者は筆記テスト時よりも会話時の脳賦活総量が大きい。
- [4] 初級学習者は筆記テストと会話タスクが同程度の脳賦活総量を示すものがある。
- [5] トレンドグラフによるデータの検証では、初級学習者・中上級学習者とも会話時は脳活動が活発であるのに対し、筆記テスト時の脳賦活度はあまり高くない。
- [6] 中上級学習者の場合、会話時は左脳右脳の賦活量は同程度であるが、筆記テスト時は左脳優位であった。
- [7] 初級学習者では、ブローカー野における賦活度の分散分析で「選択パズル vs. 訳」、「訳 vs. 会話式」、「選択パズル vs. 日本語会話」が近似性（差異に統計的有意差なし）を示した。中上級者に関しても、会話力が低い実験協力者のデータに有意差がない組み合わせが2つあり、会話力との関係が疑われる。

これまで分かったことを総括すると、実際の筆記テスト状況、そして会話状況における脳活動は一目瞭然と言えるようなものではなく、きわめて複雑、かつ個人差・タスク差も大きく、研究テーマの複雑さがより具体的に明らかになったと言える。また、研究方法の検討、分析方法の検討という点では、継続的な課題として以下のような整理に至っている。

- [1] 分析対象チャンネルの選別方法の検討（測定部位の検討も含む）、および、測定チャンネル毎の精査
- [2] 同種タスクでの難易度による違いの考慮、分析対象タスクの選別方法の検討
- [3] データの取り扱い方法（タスク毎か同種の複数タスクの平均かなど）の検討
- [4] 分析対象をoxy-Hb（酸化ヘモグロビン）とするか、deoxy-Hb（脱酸化ヘモグロビン）とするか

## [5] 個人差（母語、利き手、読解力、会話力など）の考慮

fNIRSを使つての脳実験は、被験者数×タスク数×測定チャンネル数という形でデータが大量になる。そして、このデータを分析するためには、適切な形でデータを分割し（タスクデザインによっては自動化される）、ベースライン補正その他の処理をして一旦テキストファイルとして出力、その後、エクセルやSPSSに移すという作業が必要になる。分析作業に膨大な時間がかかるため、これまで収集したデータを全て分析するところまでには至っていない。これらのデータを分析することも今後の課題である。

### 1.3 本研究の研究課題

研究方法を確立するためには上述のような課題に対応することが必要であるが、これまで、① 同種類のタスクの繰り返し回数を増やす、②測定部位にブローカー野だけでなくウィルニッケ野も含む、③ 分析では個人内データの比較にフォーカスする、④ 分散分析で賦活量を検証するというような対応・試みをやっている。

今回の研究では、2013年度と同様のトレンドグラフによる視覚的傾向把握と、相関分析を使った近似性把握を研究課題とする。相関分析では、ブローカー野とウィルニッケ野に対応すると考えられる測定チャンネルを含め、右脳7チャンネル、左脳7チャンネルの合計14チャンネルを分析対象とする。

### 2. 脳イメージング技術を使った言語学・応用言語学分野での先行研究

言語機能と脳の特定の部位がどのように対応するかについては、従来は、「言語産出はブローカー野」、「言語理解はウィルニッケ野」、「文字処理は角回」などのようにかなり単純化された形で考えられていたが、近年の研究ではこれらの部位が補完しながら連携して機能しているという見方が有力になってきている(Obler and Gjerlow 1999; Sakai *et al.* 2001; 酒井 2002など)。

脳イメージング技術を応用した言語学・応用言語学分野での先行研究については平田(2013a)にもまとめた通りであるが、PET を用いた先駆的なPetersen *et al.* (1988)の実験研究から、バイリンガリズム研究のScherer *et al.* (2006)、加齢と語彙処理の関係を研究したAmiri *et al.* (2014)、そして読解に障害を持つ児童の読解トレーニング評価に関するHorowitz-Kraus *et al.* (2014)などまで、様々な形で応用が進んできている。

言語能力のレベルと左脳・右脳の違いについては、バイリンガリズムや第二言語習得の分野で研究されていることが多い。例えば、Illes *et al.* (1999)は、英語とスペイン語の2言語上級話者の場合、2言語間で脳の賦活部位に有意な差はなかったとしている。また、Perani *et al.* (2005)もバイリンガル話者の脳では第一言語と第二言語は違った部位で処理されているという仮説を否定している。外国語学習に関しては、例えば大石(2006)によると、英語上級学習者は右脳より左脳の賦活度が高く、初級学習者は右脳と左脳の賦

活度に差がないとし、習熟度が高い学習者の方が左脳優位となる説を支持している。大石・木下(2008)では右脳と左脳の比較ではなく母語と第二言語の比較において、第二言語のリスニングの方がより大きく左脳が賦活するとしている(但し、当該研究の被験者は2名で、TOEFLの点数は480点と570点である)。

これらの先行研究には大きく2種類のタイプがあると言える。1つは、個人や同一の属性をもつ被験者グループに対し違うタスクを行い、言語機能と脳賦活部分の対応を特定しようとするタイプの研究である(城生 1997; Scherer *et al.* 2006; 苧阪 2007など)。もう1つのタイプは、中級学習者と上級学習者の違い、健常者と統語失調症患者の違い、諸条件の違うバイリンガルグループ間の違い、また、同一個人の経時的な変化などを脳イメージングによって検証しようとするものである(大石2002; Kubota *et al.* 2005; Taura and Nasu 2012, Andrews *et al.* 2013など)。

これら2つの研究タイプともに、人と脳が主たる研究対象であると言える。つまり、言語機能と脳の部位の対応、もしくは対応の度合いに着目した研究である。これに対し、本研究は各種筆記テストおよび会話、つまり言語タスク自体を主たる研究対象としている。それぞれの筆記タスク、会話タスクは様々な認知・行動要素を含んでおり、複雑な脳活動になることは自明である。それに対していかにマクロ的に傾向を把握できるかが本研究の大きなポイントである。

### 3. 研究方法

研究方法の概要としては、過去2年間(2012~2013年)と同様、実験タスクとして被験者に筆記テストを数種類受けてもらい、最後に短い会話を数回行うというものである。これらのタスク時の脳活動の状況をfNIRSで測定し、トレンドグラフで視覚的に傾向を把握、それに加え、今回は14チャンネルの測定データで相関分析を行う。

2013年度の実験では同種類のタスクを繰り返す回数を5回にしたため、全ての筆記テストの種類をカバーするためには実験を2日(1回1時間程度×2日)に分けなくてはならなかった。今回は繰り返し回数を3回にするなどの調整を行い、1日で全ての種類のタスクをカバーできるようにした。測定部位は2013年度と同様である。以下、今回採用した研究方法を詳しく見ていく。

#### 3.1 fNIRS

過去2年間と同様、今回の脳イメージングにも島津製作所のfNIRS測定システム、FOIRE-3000を使用した。PET (Positron Emission Tomography: 陽電子放射断層撮影) やMRI (Magnetic Resonance Imaging: 磁気共鳴画像法) など脳イメージングに応用できる測定手法は複数あり、それぞれメリット・デメリットがあるが、fNIRSに関しては、①非侵襲性で安全性が高い、②体の位置や向きに制約が少なく筆記テストを受ける時の実際の状態に近い形で実験/計測ができる、③測定時に大きな音を発生しないなどのメリ

ットがあり、筆記タスクおよび会話タスクを行う今回の実験に適していると言える。その一方、fNIRSには場所特定のための空間分解能が低いというデメリットがある。fNIRSの概要については平田(2013a)、詳細については島津製作所のHP (2015)も参照されたい。

下の図1に今回使用したプローブホルダーおよびそれぞれのプローブ配置図を示すが、これは2013年度と同じである。

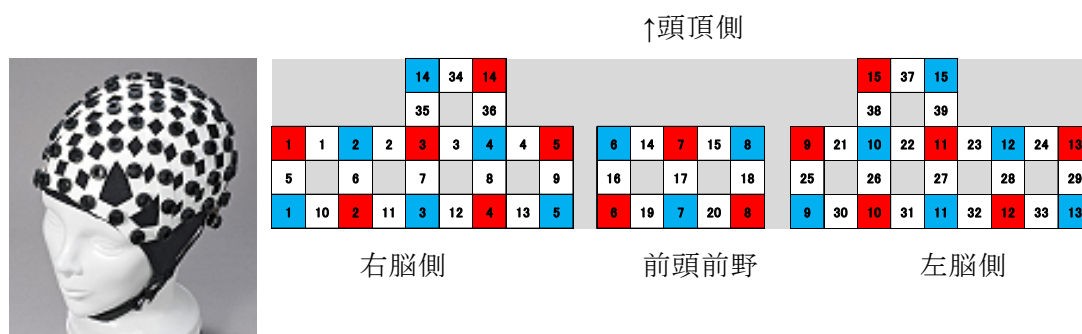


図1 プローブホルダーとプローブ配置図

ホルダーに取り付けられた各プローブはそれぞれ3センチずつ離れており、赤色プローブは近赤外光の照射用、青色プローブは、反射して帰ってくる遠赤外光を受光するためのものである。図1のプローブ配置図では赤・青の位置が赤色プローブと青色プローブの位置に対応しており、赤・青の間の白のボックスが実際の計測位置に対応している（チャンネルと呼んでいる）。今回使用したプローブは赤15本、青15本、測定チャンネル数は39チャンネルである。

fNIRSの測定チャンネルと脳部位の対応関係がイメージしやすいように、下の図2に人の頭部／脳イメージ図にブローカー野とウィルニッケ野を示す。

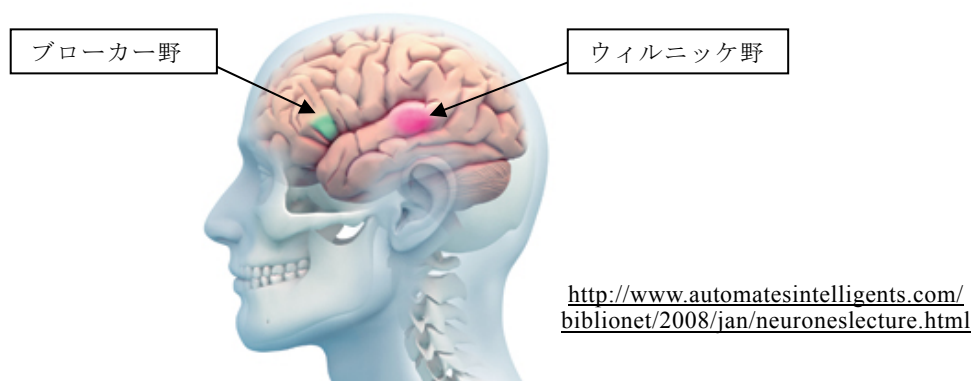


図2 ブローカー野とウィルニッケ野

プローブホルダーの装着にあたっては、鼻根点（ほぼ目と目の間）から頭頂を通る外周（うなじの窪みまで）の長さを測定し、鼻根点からその10分の1の距離のポイントに青7番の受光プローブが来るようにするとともに、プローブ最下列が脳波記録国際10-20法のT3-Fp1-Fz-Fp2-T4のラインにできるだけ一致するように装着する（下の図3参照）。今回のプローブ配置では、右利きで左脳側に主な言語野がある場合、上の図1および下の図3右の配置図でチャンネル25、26近辺がブローカー野に、チャンネル27近辺がウィルニッケ野に対応すると考えられる。（曲面が強い頭部への装着イメージを紙面で表しているため、チャンネル番号と実際の頭部での位置にはズレがある。また、本研究では機能と特定の部位の対応は研究対象にしていなかったため、ウィルニッケ野についても「近辺」でよいこととする。）

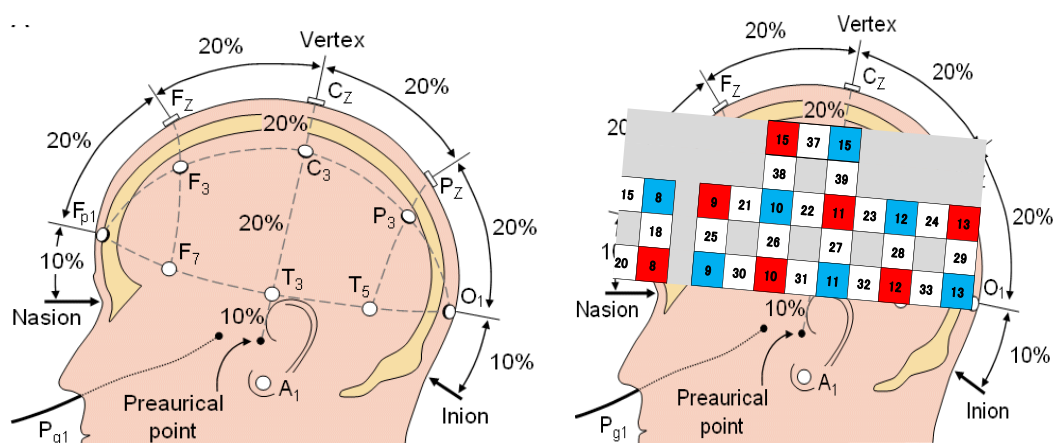


図3 International 10/20 system と今回のプローブ配置イメージ

右の図4に実際に使用したプローブホルダーに近いものの写真を示す。これも2013年度と同じものを使用した。顎で締める場合はプローブの位置によってはどうしても密着性に問題が出てくる。しかし、頭頂部と顎での固定ではなく、2013年度同様、プローブ最下列をT3-Fp1-Fz-Fp2-T4のラインにできるだけ一致させ、後頭部に紐を回して締め付けるという方法を取ることに対応した。プローブホルダーの装着状態は写真に撮っており、後からでもプローブの位置を確認できるようにしている。

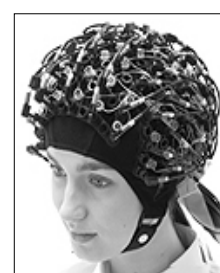


図4 全頭プローブホルダー  
(島津製作所のHPより)

実際にfNIRSが測定値として出すものは濃度変化と光路長の積で、単位は $\text{mM} \cdot \text{mm}$ （または $\text{mmol} \cdot \text{mm}$ : ミリモル(L)・ミリメートル）である。データの種類としては、酸素化ヘモグロビン（oxy-hemoglobin: oxy-Hb）、脱酸素化ヘモグロビン（deoxy-hemoglobin :

deoxy-Hb)、そして総合ヘモグロビン (total-hemoglobin: total-Hb) の3つについて計測・算出できる。

### 3.2 被験者

2014年度は18名を対象に実験を行ったが、相関分析の試行として本稿での分析対象は1名とする。この被験者の情報を表1に示す。彼女は大学の短期留学プログラムで日本語を学習しており、日本語のレベルについては学期当初のプレースメントテストで初級後半のクラス、ゼロ初級から1つ上のクラスにプレースメントされている。このクラスは初級教科書の『大地』の2冊目(山崎ほか 2009)を使って日本語を学習するレベルである。利き手の調査にはエジンバラ利き手アンケートを使用した(書く、描く、投げる、歯ブラシ、蹴り足などで点数化するもの)が、右利き度は100%ではなく、71%であった。

表1 被験者情報

性別	年齢	国籍	母語	学日 習本 歴語	レ日 べ本 ル語	外話以日 国せ外本 語るで語	利 き 手
女	20	オーストラリア	英語	1年9か月	初級	なし	右 71%

今回の実験については、立命館大学「人を対象とする研究倫理審査委員会」による審査を受けている(受付番号:衣笠 - 人 -2012)。

### 3.3 タスクデザイン

日本語教育で使われる筆記テスト形式の代表的なものとして、本研究では、①三択(1問につき選択肢3つ)、②パズル式三択(3問に対し3つの選択肢を当てはめるもの)、③訳、の3形式を筆記タスクにしている。(選択肢の数は四択や五択もよく見かけるが、実験時間を考慮して三択を採用している。)これに、筆者が通常の授業で使用していた④会話式という形式を加え、筆記タスクとしては合計4形式となる。会話タスクは、日本語での会話、母語での会話という2種類である。2013年度の実験では同一筆記タスクの繰り返し回数を5回としたことから、全ての筆記タスクをカバーするには実験を2日に分けて実施しなければならなかった。今回は全てのタスクの種類を1日でカバーできるように、タスク内の問題数、タスクの繰り返し回数、時間などを調整した。

下の表2に2013年度と今回のタスクデザインを示す。左の2つの表が2013年度のもの、一番右の表が今回のものである。この表には示していないが、それぞれの種類のタスク前にはタスクの例示を30秒行っており、例示から実際のタスクに進む場合も、タスクから次のタスクに進む場合も、それぞれの例示/タスクの前後には必ず30秒の休憩(レスト)を入れている。前年度(2013年度)、今年度ともに1回の実験実施時間はだいたい30



分程度である。被験者はプローブホルダーを被りプローブをつけて頭部の動きに制約を受けているので、実際の実験所要時間は30分程度、プローブの装着や被験者情報アンケートの記入なども合わせた全体の時間としては最長でも約1時間が目安となる。

表2 前年度(2013年度)と今回のタスク構成比較

前年度 実験1日目			前年度 実験2日目			今回の実験		
TASK01	三択1	1分	TASK01	訳1	1分	TASK01	三択1	30秒
TASK02	パズル式1	1分	TASK02	会話式1	1分	TASK02	三択2	30秒
TASK03	三択2	1分	TASK03	訳2	1分	TASK03	三択3	30秒
TASK04	パズル式2	1分	TASK04	会話式2	1分	TASK04	パズル式1	50秒
TASK05	三択3	1分	TASK05	訳3	1分	TASK05	パズル式2	50秒
TASK06	パズル式3	1分	TASK06	会話式3	1分	TASK06	パズル式3	50秒
TASK07	三択4	1分	TASK07	訳4	1分	TASK07	訳1	30秒
TASK08	パズル式4	1分	TASK08	会話式4	1分	TASK08	訳2	30秒
TASK09	三択5	1分	TASK09	訳5	1分	TASK09	訳3	30秒
TASK10	パズル式5	1分	TASK10	会話式5	1分	TASK10	会話式1	1分
TASK11	日本語会話1	1分	TASK11	日本語会話1	1分	TASK11	会話式2	1分
TASK12	日本語会話2	1分	TASK12	日本語会話2	1分	TASK12	日本語会話1	1分
TASK13	日本語会話3	1分	TASK13	日本語会話3	1分	TASK13	日本語会話2	1分
TASK14	母語会話1	1分	TASK14	母語会話1	1分	TASK14	母語会話1	1分
TASK15	母語会話2	1分	TASK15	母語会話2	1分	TASK15	母語会話2	1分
TASK16	母語会話3	1分	TASK16	母語会話3	1分	TASK15	母語会話2	1分

2013年度は、「できるだけ通常の日本語の授業で行われている筆記テストの状態に近い形で」という方針で考えていたため、三択、パズル、訳などのタイプでは1つのタスクに3問を入れ、1分で解答するようにしていた。今回は、複数問の脳活動データをまとめて分析するよりも1問毎のデータの方が問題形式の特性が識別しやすくなるのではないかということと、全種類のタスクを1回の実験でカバーするために時間短縮を図って、1つのタスクに設問は1つとし、タスクの設定時間は種類によって、30秒、50秒、1分という設定にした。

Petersen *et al.* (1988)の研究以降、脳実験では「差分法」という手法(「刺激状態(stimulated state)」から「統制状態(control state)」の差を用いるという方法)が広く採用されているが、本プロジェクトの一連の実験では差分法は採用せず、タスクとタスクの間は単純な休憩としている。本研究が対象とする認知/言語行動が極めて複雑で、差分法を使える条件にはない。また、差分法の大前提である「全ての認知/言語行動は線形的であり(モジュール的に加算可)、相互作用は存在しない」に対しては、脳活動にはこれがあてはまらないケースがあることも報告されている(Wagner 1999など)。

以下、それぞれのタスクの具体例を見ていく。本稿ではルビなしであるが、実際の実験に使ったものは漢字に適宜ルビを振っている。

### 3.3.1 三択タスク (1 out of 3) (TASK01, 02, 03)

この形式は1つの設問に対し3つの選択肢の中から正答を選ばせる、いわゆる三択問題である。2013年度は1つのタスクにつき3問解答させていたので、5タスクで合計15問だった。今回は1タスク1問、3タスクである。

#### (1) TASK01

雨（ に の で ）バスが遅れました。

#### TASK02

台風（ から なので なのに ）学校は休みです。

#### TASK03

昨日は大変だったから、今日は（やすんで おそく ゆっくり）して下さい。

### 3.3.2 パズル式三択タスク (3 from 3) (TASK04, 05, 06)

これは、3の設問に対し3つの正答選択肢を与え、どれにどれが入るかという組み合わせを考えさせるタイプである。同じ形式のものを年度によって、選択穴埋め、選択パズル、と呼んでいたが、データ処理の際の簡易名として「パズル」が分かりやすいので、今回、パズル式三択としている。

このタイプは必然的に1つのタスクに解答すべき設問が3つとなる。紙幅の関係上、3つあるタスクのうちの1つを下に例示する。残りの2つのタスクはそれぞれ、（さむい、つめたい、すずしい）、（うまい、じょうず、いい）が選択肢である。

#### (2) TASK06 選択肢： | | | | |-----|-----|-----| | あげる | もらう | くれる | |-----|-----|-----|

1. 田中くんを手伝って（ ）。
2. 田中さんが手伝って（ ）。
3. 妹がかawaiiそうなので、宿題を手伝って（ ）。

このタスクだけでも、単語の理解、文章の理解、選択組み合わせ、活用、書くという行為など、様々な認知・行動要素が含まれており、複雑な脳活動になる。

### 3.3.3 訳タスク (TASK07, 08, 09)

これは、学習者の母語や媒介語の使用を前提にしたもので、今回の実験では英語から日本語を産出するというものである。問題のレベルは単語やフレーズから、従属節や文全体のものまで考えられる。これも三択タスクと同様、2013年度は1タスク3問だったものを今回は1タスク1問に変更している。

## (3) TASK07

まどを \_\_\_\_\_ ください。  
open

## TASK08

\_\_\_\_\_。  
I think Japanese is easier than Chinese.

## TASK09

\_\_\_\_\_。  
I have never taken a taxi in Japan.

## 3.3.4 会話式タスク (TASK10, 11)

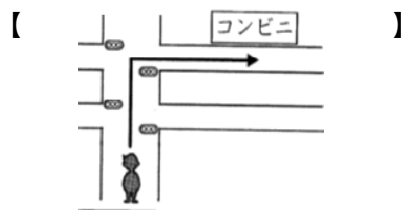
この問題形式のみ、日本語教育でごく普通に行われているタイプではないと思われるが、会話力向上と会話力測定につながる筆記テストの形式を模索する中で、筆者が実際に授業で使った形式である。筆記テストで出来るだけ実際の会話に近くなるように、コンテキストを絵や何らかの指示で分かるようにし、会話を完成させるものである。

筆者は今回の被験者を直接教えていないが、彼女が学んでいるクラスの教材の大部分は筆者が作ったものを使用しているため、彼女もこの問題形式には慣れている。2013年度はこの種類のタスクを5回行っているが、今回は全体の時間調整のため2回のみとした。以下は2つのタスクのうちの1つの例示であるが、もう1つのタスクは、「住むのは京都と自分の町のどちらがいいか、理由をあげて答える」というものである。

## (4) TASK10

おばあさん： 近くにコンビニはありませんか。

自分： \_\_\_\_\_。



## 3.3.5 会話タスク (日本語: TASK12, 13; 英語: TASK14, 15)

会話は、日本語での会話タスクが2つ(TASK12, 13)、母語での会話タスクが2つ(TASK14, 15)である。タスク時間はそれぞれ1分であるが、日本語会話の2つのタスクは、「日本に来て一番びっくりしたこと、困ったこと」、「大学の授業はどうか」という話題での会話である。今回は英語母語話者なので残り2つのタスクは英語での会話になるが、「日本に来て一番楽しかったこと」、「京都の生活はどうか」という話題での会話である。

### 3.4 実験手順

今回の実験もこれまでと同様、通常の筆記テストに近いやり方という要件から、会話以外のタスクを紙ベースで被験者に渡し、被験者のペースで解答してもらうという形式をとった。被験者がページをめくる指示はパワーポイントの画面切り替えでチャイムを鳴らしてコントロールし、fNIRSのデータには筆者がマーキングを入れるという作業をしている。タスク全体としては30分程度である。

解答が早く終わった場合は机上の缶を鉛筆で叩いて合図を送ってもらい、筆者がfNIRSのデータ内にマーキングを入れ、分析時にタスクの早期終了を判別できるようにした。タスクが早く終わった場合も、パケットのページをめくるのはパワーポイントのチャイムが鳴ってからである。

本研究の実験は、脳実験としては1つ1つのタスクの時間が長く、被験者の日本語能力次第でタスクが早く終わることもある。その辺りの自由度を確保するためやfNIRS機と実際の実験状況の時間同期の難しさなどから、本研究では「連続データ収集」という方法でデータを記録し、後でマーキングデータを元に全体を各タスクに分割するという作業を行っている。

今回使用したfNIRS機FOIRE-3000はビデオカメラとの同期ができるので、全体のタスク開始から終了まで被験者の様子を録画した。また、会話タスクについてはICレコーダーを使って全て録音した。

### 3.5 分析方法

本研究の分析方法は、トレンドグラフによる視覚的傾向把握と、相関分析の2つである。島津製作所のfNIRS機FOIRE-3000は脳活動を視覚的に捉える機能としてマッピング図とトレンドグラフを提供しているが、2013年度同様、視覚的傾向把握には今回もトレンドグラフを使う。マッピング図は或る時点での賦活状態のスナップショットであり、タスク期間全体の傾向をみるためにはトレンドグラフの方が向いているからである。マッピング図もムービー機能で時間軸に沿って動かせるが、色変化の動画であるので、論文の分析の中で扱うのは難しい。また、FOIRE-3000の機能上の理由で、今回のような不規則なプローブ配置の場合は、マッピング図を頭の位置と対応させて直観的に把握できるようにするのが難しい。チャンネル配置のギャップが大きい・多い場合、マッピング図としての見え方は補正值の影響も大きくなる。

研究課題のところでも述べたが、今回の研究ではタスク間・チャンネル間の相関分析を試行する。より具体的には、ピアソンの積率相関係数(Pearson product-moment correlation coefficient)を求め、散布図も作成して視覚的検証も行う。今回は一次分析として前頭前野部から収集したデータは分析の対象から外す。右脳・左脳部分のチャンネルも全てを分析対象とするのではなく、主要な言語野であるブローカー野とウィルニッケ野近辺ということで、下の図5の黒丸で示したように左右それぞれ7チャンネル、合計14

チャンネルを対象とする。

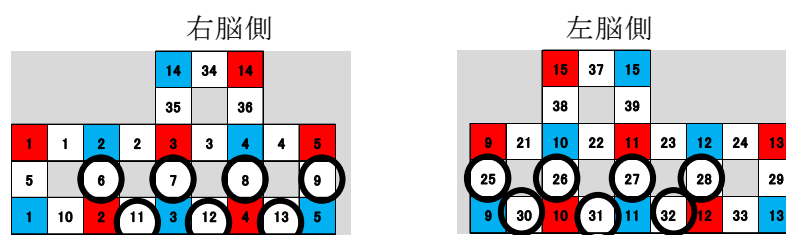


図5 相関分析対象チャンネル(CH6, 7, 8, 9, 11, 12, 13, 25, 26, 27, 28, 30, 31, 32)

トレンドグラフ、および統計処理に使うデータは、FOIRE-3000の機能を使って補正したものを使用する。ベースライン補正は、休憩状態から実験タスクによってどれくらい値が上がったかを見るための基準値補正であるが、ノイズの影響を考慮してタスク開始後1秒間の平均値を基準点とした。計測は0.1秒毎なので、タスク開始後10回計測した値の平均値を引く計算になる。また、今回はFOIRE-3000のスムージング機能も活用する。これは、平滑化フィルタとしてもよく用いられるSavitzky-Golay法を使用したもので、FOIRE-3000に対しスムージング点数とスムージング回数を設定することで自動的に行える。今回はスムージング点数25回、とスムージング回数5回で補正を行った。FOIRE-3000内でこのような処理をした後、分析対象のデータをテキスト出力し、Excelのデータに読み替える。これをIBMの統計ソフトSPSS 22に移し替え、統計処理を行う。

平田(2014a)でも計測手法の妥当性という研究全体の課題をあげたが、NIRSの解析方法には未だスタンダードはなく、fMRIで使用されるBOLD (blood oxygenation level dependent) 信号との対応付けとしてどの指標を用いるかは研究者の考え方によって異なっている(福長ほか 2011)。また、fMRI に関しても、Huettel *et al.* (2009)は、fMRIの測定において抑制作用の伝達信号と刺激作用の伝達信号という、相反するインプットによる神経活動とBOLD信号の関係の曖昧性を指摘している。fMRIもfNIRSも脳の神経活動から発せられる信号を直接測定するものではなく、神経活動の結果生じた血流量の変化を測定し、それによって脳神経活動を間接的に推定するものであるため、測定値によって脳活動の何が分かるのかについては研究と議論が継続している状況である。

筆者のこれまでの研究では、oxy-Hbの使用が妥当だとする先行研究に倣い(田村 2002; Shimoyama *et al.* 2006; Toronov *et al.* 2007; 梁ほか2008; Malonek *et al.* 1997; Strangman *et al.* 2002; 福田 2009など)、oxy-Hbを分析対象としてきた。今回の被験者1名に関しては、トレンドグラフを見る限りoxy-Hbが脳の活性化を反映しているように見える。しかし、これまでのデータの中にはdeoxy-Hbが大きく反応するケースがあったのも事実である。今回の相関分析では、近似性を探る指標を広く検証するために、oxy-Hbとdeoxy-Hbの双方について相関分析を行う。

相関分析の対象とするタスクは全種類、つまり、三択、パズル式、訳、会話式、日本語会話、母語会話の6種類であるが、全ての組み合わせではなく、日本語会話時との相関を見ることを主たる目的として分析する（例えば、三択vs.日本語会話、パズルvs.日本語会話など）。それぞれのタスクの組み合わせで、同じチャンネル同士に相関性があるかどうかを検証する（例えば、三択のチャンネル25 vs. 日本語会話のチャンネル25）。母語会話時と筆記タスク時の相関分析も参考情報を得るという目的で有効であると考えられるが、今回は分析作業量の関係で省略する。分析対象チャンネルも合わせて相関分析の実施方法をまとめると、以下のようになる（チャンネルはCHと省略）：

[三択CH6 vs. 日本語会話CH6], 以下同様に今回分析対象の残り13チャンネルのペア  
[パズルCH6 vs. 日本語会話CH6], 同上（合計14チャンネル）  
[訳CH6 vs. 日本語会話CH6], 同上（合計14チャンネル）  
[会話式CH6 vs. 日本語会話CH6], 同上（合計14チャンネル）  
[母語会話CH6 vs. 日本語会話CH6], 同上（合計14チャンネル）

これらの組み合わせでの相関分析を、oxy-Hbのデータとdeoxy-Hbのデータそれぞれで行う。2013年度の分散分析では同一種別内のタスク間のばらつきの対応方法としてそれぞれの種別内で3つのタスクの平均値を使用した。今回は平均値を使わず、トレンドグラフを見て脳活性化が大きいと判断できるタスクを採用した。また、分析対象の時間（データの量）が一番短い時間で終わったタスクに合わせた。

## 4. 実験結果と考察

### 4.1 トrendグラフによる分析

トレンドグラフの数はタスクの数だけ、つまり全部で15画面になるが、紙幅の関係で本稿ではそれぞれのタスクタイプの中で言語野近辺の賦活が一番大きいと思われるものを選んで提示する。各タスクタイプにつき1つなので、全部で6画面である。下の図6に一覧を示す。oxy-Hb（酸化ヘモグロビン）のグラフが赤、deoxy-Hb（脱酸素化ヘモグロビン）のグラフは青、total-Hb(oxy-Hbとdeoxy-Hbの合計)のグラフは緑色である。

FOIRE-3000のトレンドグラフのチャンネル配置上の制約から、プローブ配置図と一致した形では提示することができなかった。TASK03の図で示すように、右脳上部の3チャンネルが下にきて、左脳上部3チャンネルは右下、前頭前野部7チャンネルは画面中央よりの下にきている。

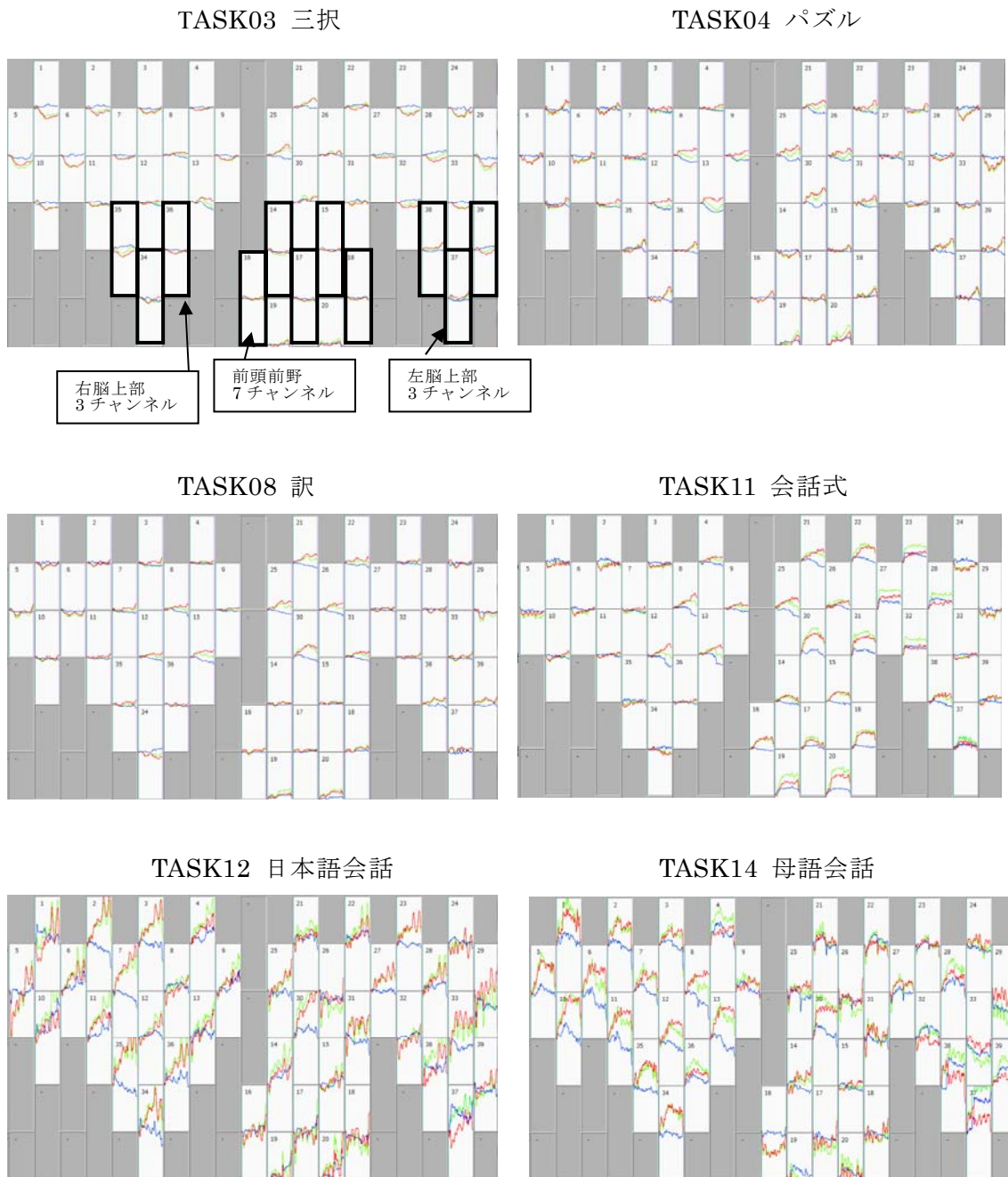


図6 タスク別トレンドグラフ一覧

以下、トレンドグラフから分かることを箇条書きでまとめる。

1. 筆記タスクvs.会話タスクということでは、筆記タスク(TASK03, 04, 08, 11)の脳活性化の度合いは低く、会話タスク(TASK12, 14)では大きいということが顕著に表れている。
2. 筆記タスクの中では、TASK11の会話式タスクの脳活性化度が比較的高めである。

逆に、全チャンネル的な傾向としてはTASK03の三択タスクの脳活性化度は低い。

3. TASK03の三択タスクの脳活性化度は全般的に低いと言えるが、左脳側のチャンネル21と25はタスク中盤からoxy-Hbが上昇している。
4. この被験者の場合、筆記タスクでは全般的に左脳の活性化度が大きめであるが、Task11 の会話式タスクに関しては右脳側のチャンネル8、12の活性化が特徴的である。また、TASK11の左脳側では、チャンネル30、31のグラフの盛り上がり方が特徴的である。
5. 会話タスク(TASK12, 14)は全般的に脳の活性化度が高いと言えるが、日本語での会話タスク(TASK12)では特に右脳側の活性化が顕著である。
6. 母語での会話タスク(TASK14)においても、グラフとしては筆記タスクと比べて動きが大きい。しかし、一般に右利きの人の言語野があるとされている左脳側においてoxy-Hb が正の値に大きく振れているのはチャンネル20ぐらいである。右脳側の方が全般的にoxy-Hbが正の値に大きく振れている。

今回のトレンドグラフによる傾向把握では、過去2年間の一連の研究で得られた知見と合致しないものもある。平田(2014a)では、初級学習者の場合筆記タスクは右脳優位で処理される可能性があるとしたが、今回の被験者の場合は筆記タスクはどちらかという左脳優位の傾向がある。また、会話タスクの場合は日本語会話でも母語での会話でも右脳の活性化度が大きかった。この被験者は利き手判定では右利き度が71%であったが、上述の脳活動の傾向は利き手判定にも表れている個人差なのかもしれない。当然のことであるが、今後も個人差に留意・着目して分析結果を蓄積していく必要がある。

## 4.2 相関分析の結果と考察

### 4.2.1 相関係数

対象被験者は1名であるが、上述のようにタスクの組み合わせは5パターン(三択vs. 日本語会話など)、対象チャンネルは14チャンネル(CH6 vs. CH6 ~ CH32 vs. CH32まで)、対象データは2種類(oxy-Hb、deoxy-Hb)である。分析の結果、高い相関がある(相関係数 $r$ に対し、 $0.7 < |r| < 1.0$ )という結果が出たものを下の表3(oxy-Hb)と表4(deoxy-Hb)にまとめる。表4の方では、負の相関を示したものは四角囲いとシェードをかけて示している。

まず、表3のoxy-Hbデータを使った分析結果と表4のdeoxy-Hbデータを使った分析結果の違いとして顕著なことは、oxy-Hbデータの方は全て正の相関であるのに対し、deoxy-Hbデータの方は負の相関を示すチャンネルがあるということである。表4に示すように、今回の分析では延べ11チャンネルで各タスクと日本語会話タスクとの間に高い相関が見られるという結果だったが、そのうち過半数の6チャンネルは負の相関である。



表3 oxy-Hbデータでの相関分析結果

タスク組み合わせ	高い相関があったCH数とCH番号 (oxy-Hb)	相関分析データ (oxy-Hb)
三択 vs. 日本語会話	3: CH12, 13, 30	CH12 (r=.782, p<.001), CH13 (r=.706, p<.001), CH30 (r=.909, p<.001),
パズル vs. 日本語会話	5: CH12, 13, 25, 26, 30	CH12 (r=.712, p<.001), CH13 (r=.731, p<.001), CH25 (r=.766, p<.001), CH26 (r=.725, p<.001), CH30 (r=.955, p<.001),
訳 vs. 日本語会話	2: CH30, 31	CH30 (r=.928, p<.001), CH31 (r=.781, p<.001),
会話式 vs. 日本語会話	2: CH27, 30	CH27 (r=.718, p<.001), CH30 (r=.899, p<.001),
母語会話 vs. 日本語会話	11: CH8/9/32以外全て	CH6 (r=.848, p<.001), CH7 (r=.916, p<.001), CH11 (r=.873, p<.001), CH12 (r=.801, p<.001), CH13 (r=.712, p<.001), CH25 (r=.779, p<.001), CH26 (r=.790, p<.001), CH27 (r=.787, p<.001), CH28 (r=.752, p<.001), CH30 (r=.905, p<.001), CH31 (r=.927, p<.001),

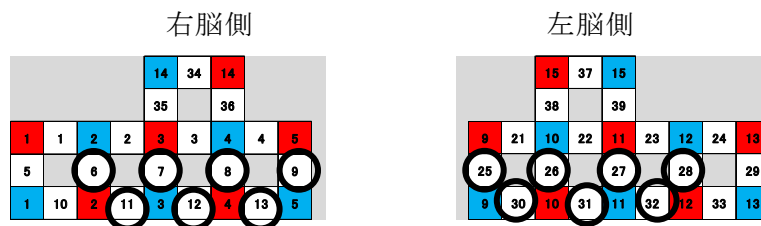
表4 deoxy-Hbデータでの相関分析結果

タスク組み合わせ	高い相関があったCH数とCH番号 (deoxy-Hb)	相関分析データ (deoxy-Hb)
三択 vs. 日本語会話	2: CH12, 32	CH12 (r= -.738, p<.001), CH32 (r=.745, p<.001)
パズル vs. 日本語会話	2: CH12, 13	CH12 (r= -.765, p<.001), CH13 (r= -.770, p<.001)
訳 vs. 日本語会話	4: CH9, 12, 13, 31	CH9 (r= -.732, p<.001), CH12 (r= -.804, p<.001), CH13 (r= -.751, p<.001), CH31 (r=.951, p<.001)
会話式 vs. 日本語会話	1: CH28	CH28 (r=.716, p<.001)
母語会話 vs. 日本語会話	2: CH30, 32	CH30 (r=.777, p<.001), CH32 (r=.805, p<.001)

(シェードは負の相関関係を示す)

結果解釈の妥当性の判断は今後の課題であるが、考え方としては、日本語会話のタスクとの比較で正の相関を示すチャンネルが多いほど日本語会話との近似性が高く、負の相関を示すチャンネルが多いほど近似性が低いという考えも成り立つのではないだろうか。表3のoxy-Hbでの相関分析の結果を見た場合、高い相関を示すチャンネルは、母語での会話と日本語での会話を比べた場合が一番多く（11チャンネル）、この妥当性についてはある程度（仮説的な）説明ができる。つまり、外国語（日本語）での会話と母語での会話は、今回の分析対象の14チャンネルに関しては、全く脳の働き方のパターンが違うという訳ではなく、高い近似性を示しているということである。

ここで、「どのチャンネルが相違性を示すのか」も重要な問題なので、チャンネル配置図を下に再掲する。



(再掲) 図5 相関分析対象チャンネル

oxy-Hbを使った相関分析で高い相関を「示さなかった」のは、チャンネル8, 9, 32の3つである。憶測段階であるが、この被験者の場合、この3つの部位が外国語での会話と母語での会話の時の脳活動の違いを特徴づける部分かもしれない。

単純ではあるが、仮に、「高い相関を示すチャンネル数が多いほど、タスクとして日本語会話により近いと言える」とすると、今回の実験では母語会話の次に近いのはパズル式三択タスクということになる。図6のタスク別トレンドグラフ一覧で見たように、脳の活性化度はパズル式と日本語会話では顕著に違うのであるが、相関性の高いチャンネルは5つという結果だった。ここでもチャンネル位置を確認すると、その5つは左脳側のブローカー野近辺(25, 26, 30)と右脳側のブローカー対応部位から少しずれているかと思われるチャンネルである(12, 13)。

本プロジェクトの立ち上げ当時から、筆者の固定観念的な予想(期待)としては、三択やパズル式三択などの典型的な筆記テスト時と日本語会話時とでは、脳の働き方が全く違うはずだというのがあった。しかし、今回の結果からすると、パズル式選択タスクは、各種筆記タスクの中では質的に日本語会話と似ている方であると解釈すべきかもしれない。この質的かというと、これはoxy-Hbの増加/減少のパターンとしてということであって、量的な視点、つまり賦活量ということではパズル式と日本語会話は顕著に違うものである。タスクの質ということで考えると、外国語での会話には言葉パズル的な要素が含まれるので、という解釈もできないこともないだろう。ただし、「各種筆記タスクの中では」と言っても、他の筆記タスクも相関性の高いチャンネル数が2つ、3つあるので、5つとの線引きの妥当性の問題もある。

ここで再びdeoxy-Hbを使った相関分析の結果について考察する。上では、表4が示すように負の相関性が高いチャンネルが発生することがdeoxy-Hbの特徴ではないかと述べた。仮に、「負の相関を示すチャンネルが多いほど近似性が低い」とすれば、三択、パズル式、訳の3タイプは負の相関を示すチャンネルがあり、会話式と母語会話は正の相関を示すチャンネルしかないので、後者2タイプのタスクの方が前者3タイプのタスクよりも日本語会話に近いという解釈になる。

また、deoxy-Hbの正の相関を詳しく見ると、母語会話と日本語会話の比較に特徴が出ている。oxy-Hbを使った分析では、正の高い相関性を示すチャンネルが11(測定14チャンネル中)もあったのに対し、deoxy-Hbの場合は2つしかないのである。

今回の分析で、oxy-Hbとdeoxy-Hbが分析のパラメータとして相当違うものであることがあらためて分かった。パラメータの妥当性の検討としては、先行研究では「どちらを使うのが正しいのか（より妥当なのか）」というトーンである。確かに脳の神経細胞を通る信号の行き来に対応するパラメータを検証する場合、「どれか一つ」、「何か一つ」かもしれない。しかし、本プロジェクトの研究ではかなり複合的な脳活動を促すタスク間の近似性を研究テーマとしており、分析パラメータの選択も択一的なものではなく、それぞれの属性を精査し、多面的な使い方の方が適している可能性も考えられる。いずれにせよ、今回の相関分析の試行は分析対象が1名のみであるため、他の複数の被験者のデータも分析して検証する必要がある。

#### 4.2.2 散布図

上のセクションでは相関係数だけから考察を行ったが、実はデータの大部分は相関がなくても外れ値の位置の影響で全体が直線的になっていて相関係数が高かったり、直線以外の相関が考えられるのに相関係数が低かったりといったことがあり得る。そこで、散布図を作って視覚的に2変数間の関係を捉える。今回は相関分析の試行であるので、どのようなグラフがどの程度の相関係数になるのかを確認することも目的である。

下の図7に、ほとんど相関なし( $0 < |r| \leq 0.2$ )、低い相関あり( $0.2 < |r| \leq 0.4$ )、相関あり( $0.4 < |r| \leq 0.7$ )、高い相関あり( $0.7 < |r| < 1.0$ )の例をあげる。高い相関の例は、相関係数が.700台、.800台、そして1に近い.955の例をあげる。

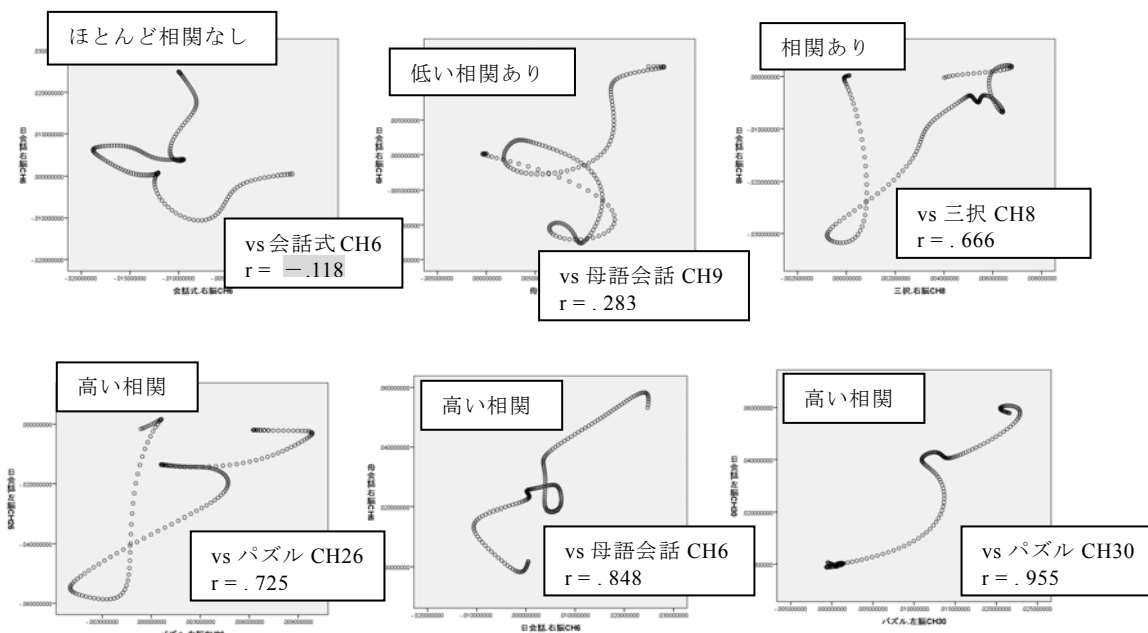


図7 各範囲の相関係数と散布図の例

データは全て各タスクと日本語会話タスクとの相関を検証したもののなので、図7中の表記、例えば「vs会話式CH6」は会話式タスクのチャンネル6と日本語会話タスクのチャンネル6の相関関係を検証したものという意味である。縦軸が全て日本語会話タスクのデータ、横軸が相関の検証対象の各タスクのデータである。

一般的に目にする散布図は連続データではないため、文字通りデータが“散布”しているが、本研究のデータは100ミリ秒(0.10秒)毎にfNIRSが計測しており、ほぼ連続データと言ってよいものである。そのため、上の散布図でも連続した線状の形になっており、データの素性として高い相関係数が出やすいと考えられる。確かに、下段の右2つ、相関係数が.848の図と.955の図は他の図よりも直線的であると言える。しかし、上段一番右の.666（相関あり）と下段一番左の.725（高い相関あり）の違いは視覚的に判断できるものではない。相関係数自体は客観的な統計処理によって出されているものであるが、本研究目的（近似性の判別）に適した閾値については、データを蓄積して検討すべきところである。

以下、負の相関（deoxy-Hbのデータ）も含め、高い相関あり( $0.7 < |r| < 1.0$ )の範囲に入っている散布図の例をもう少しあげておく。

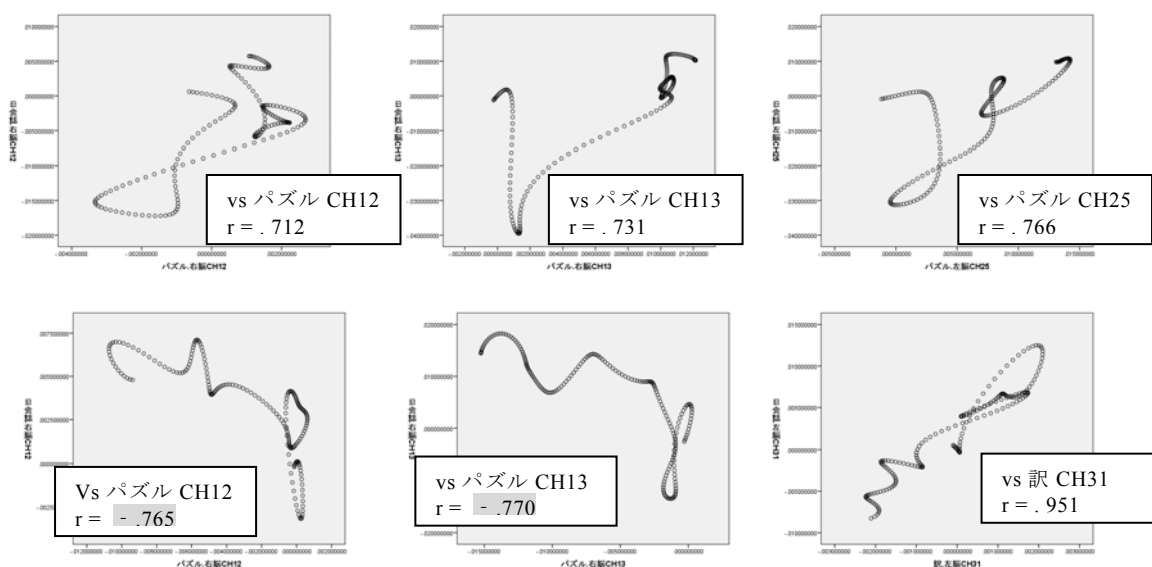


図8 「高い相関」の範囲にある散布図の例

これらの散布図を見る限り、相関係数の範囲と散布図の形状には一定の関連性が見て取れる。つまり、今回の相関分析で出した相関係数は「全く相関がないのに（或は相関性が低いのに）計算上はたまたま高い値になってしまった」というケースではないと考えられる。上述のように、適切な閾値の検討は課題となるが、筆記タスクと会話タスクの近似性を把握するツールとして、相関分析は1つの候補になるのではないだろうか。

## 5. 結論

筆者が行っている3年計画の研究プロジェクトは、筆記テスト時と会話時の脳活動の近似性／相違性の把握を目的としているが、そのための研究方法の妥当性の検討・確立自体が継続的な課題となっている。分析方法としては、これまでマッピング図による傾向把握、測定チャンネル別の賦活度順位評価、賦活総量比較、トレンド図による傾向把握、ブローカー野とウィルニッケ野のタスク間分散分析、分散分析による右脳・左脳比較などを行っている。本研究では、視覚的傾向把握のためには2013年度同様トレンドグラフを用いた分析を行い、より客観的な分析としては、新しい試みとして脳活動の測定データに相関分析を試行・評価した。

今回の分析対象者は日本語初級学習者1名で、トレンドグラフの分析から得られた知見の主なところをまとめると以下ようになる。まず、① 筆記タスクと会話タスクの比較ということでは、筆記タスクは全般的に脳活性化の度合いが低いのに対し、会話タスクでは日本語会話、母語会話ともに活性化度が大きい。これは前年度の平田(2014a)と同じ結果である。また、② 筆記タスクの中では会話式タスクの脳活性化度が比較的高めで、三択タスクはチャンネル全般的に脳活性化度が低い。三択タスクの脳活性化度が低いのは筆者のこれまでの研究でも観察されている。平田(2014a)では、初級学習者の場合筆記タスクは右脳優位で処理される可能性があるとしたが、③ 今回の被験者の場合は筆記タスクはどちらかというと左脳優位の傾向がある。また、④ 会話タスクの場合は日本語会話でも母語での会話でも右脳の活性化度が大きい。このような視覚的傾向把握の結果について、今回の研究では定量的な検証まで出来ていないので、次の分析課題としたい。

次に、相関分析の主な結果をまとめる。相関分析は、「日本語会話との相関性」ということに絞り、タスクの組み合わせとしては5パターン(各タスク vs. 日本語会話)、対象チャンネルは右脳・左脳各7チャンネル、合計14チャンネル(違うタスク時の同じチャンネルデータを比較)、対象データは2種類(oxy-Hb、deoxy-Hb)で行った。また、ピアソンの積率相関係数を求めるだけでなく、散布図を作成して視覚的にも相関性を検証している。

oxy-Hbデータを使った分析とdeoxy-Hbデータを使った分析それぞれで、5つのタスクの組み合わせ毎に日本語会話タスクと高い相関性がある( $0.7 < |r| < 1.0$ )チャンネルの一覧表を作ったが、そこから得られた主な知見は以下ようになる。まず顕著なことは、① oxy-Hbデータの方は全て正の相関であるのに対し、deoxy-Hbデータの方は負の相関を示すチャンネルが多いことである(タスクの全組み合わせ中、高い相関を示すチャンネルが11ある中、負の相関は6チャンネル)。

次に、② oxy-Hbデータでは、母語会話と日本語会話を比べた場合が高い相関のチャンネルが一番多い(11チャンネル)。この結果からは、今回の分析対象の14チャンネルに関しては、外国語(日本語)での会話と母語での会話は、全く脳の働き方のパターン

が違うという訳ではなく、高い近似性を示すということが考えられる。また、高い相関を「示さなかった」のは、チャンネル8, 9, 32の3つであり、この被験者の場合、この3つの部位が外国語での会話時と母語での会話時の脳活動の違いを特徴づける部分である可能性も考えられる。

また、③ 筆記タスクの中ではパズル式選択タスクが日本語会話との高い相関を示すチャンネル数が一番多かった(oxy-Hbでの比較で、他のタスクが2つ、3つのところ、パズル式は5つ)。トレンドグラフからも分かるように、脳の活性化度ということでは筆記のパズル式と日本語会話は量的に全く違うものであるが、今回の分析結果からは、oxy-Hbの増減パターンとしてはパズル式と日本語会話との間に近似性がありそうである。

散布図に関しては、相関係数が $-0.118$  (ほとんど相関なし)、 $0.283$  (低い相関あり)、 $0.666$  (相関あり)、 $0.725$  (高い相関あり)、 $0.848$  (高い相関あり)、 $0.955$  (高い相関あり)のケースを例として、相関係数の範囲と今回のデータの散布図の形状を確認した。隣り合う範囲では、閾値の妥当性を視覚的に判断するのは難しいが、全体としては相関係数の絶対値の大きさと散布図の形状には一定の関連性があると言える。適切な閾値の検討は課題となるが、筆記タスクと会話タスクの近似性を把握するツールとして、相関分析は1つの候補となり得そうである。

最後に、分析方法の試行結果として相関分析の可能性についてまとめる。今回の分析では、oxy-Hbとdeoxy-Hbの両方のデータに対して相関分析をかけることによって、非常に興味深い結果が得られ、それが仮説生成にもつながることが確認できた。例えば、「日本語会話のタスクとの比較で正の相関(oxy-Hb)を示すチャンネルが多いほど日本語会話との(質的)近似性が高く、負の相関(deoxy-Hb)を示すチャンネルが多いほど近似性が低い」という仮説である。これは、分析データを1種類にせず、oxy-Hbとdeoxy-Hbの両方をもってタスク間の近似性・相違性の把握を試みるという新しい方向性にもつながる。また、分析の対象とするチャンネル数を増やし、それぞれのチャンネルでの相関性を見ることで、タスク毎の特性が分かる可能性も示唆された(日本語会話と母語会話の違いなど)。

いずれにせよ、今回の相関分析の試行は分析対象が1名のみであるため、他の複数の被験者のデータも分析して検証する必要がある。また、相関分析では量的な近似性・相違性は検証できないので、賦活量に対する分析も併用する必要がある。この3年間の研究プロジェクトで、実験・分析を重ねるごとに研究テーマの複雑さ、脳活動の複雑さがより具体的に明らかになってきたと言えるが、それぞれの実験・分析で出てくる課題に対応する形で、研究方法も継続的に改善してきている。今後も研究を進め、最終的には筆記テストを会話力向上やその評価に有効に使う方法の模索・検証につなげたい。

## 注

1. 本研究は、科学研究補助金（挑戦的萌芽(H23~H25)、研究代表者：平田裕、課題番号：24652108）「形式別、筆記テスト時と会話時の脳活動の近似性の比較検証」の助成を受けて行っているものである。

## 参考文献

- 大石晴美(2002)「リスニングとリーディングにおける言語情報処理過程を探るー光トポグラフィにおける脳科学的解明に向けてー」『金城学院大学論集 英米文学編』第43号, 25-47. (英語学論説資料第36号収録)
- 大石晴美(2006)『脳科学からの第2言語習得論』昭和堂
- 大石晴美・木下徹(2008)「第一言語処理と第二言語処理における脳活性状態の違いー日本語と英語のリスニングにおいてー」『ことばの科学』第21号, 143-154.
- 大友賢二(監修)・中村洋一(著)(2002)『テストで言語能力は測れるか』桐原書店
- 荻阪直行(2007)「オノマトペの脳科学 (特集 オノマトペと日本語教育)」『日本語学』26(7), 16-23, 明治書院
- 近藤ブラウン妃美(2012)『日本語教師のための評価入門』くろしお出版
- 酒井邦嘉(2002)『言語の脳科学』中央公論新社
- 島津製作所 HP (2015) 「LABNIRS (ラボニルス) 原理と仕組み」  
<http://www.an.shimadzu.co.jp/bio/nirs/nirs2.htm> (2015年02月22日最終参照)
- 城生佰太郎(1997)「脳波でとらえた日本語教育(3)脳はアクセントをどのように捉えているのかその1」『月刊日本語』10(9), 58-61, アルク
- 田村守(2002)「光を用いた脳機能イメージング(1)」『臨床脳波』44, 389-397.
- 平田裕(2013a)「形式別、筆記テスト時と会話時の脳活動の検証に向けて：fNIRSによるパイロットスタディ」『言語科学研究』, 第3巻, 立命館大学言語教育情報研究科, 43-74.
- 平田裕(2013b)「fNIRSによる筆記テスト時と会話時の脳活動の検証ー脳賦活量に着目してー」『日本語教育学会2013年度秋季大会研究発表予稿集』, 145-150.
- 平田裕(2014a)「日本語初級学習者の筆記テスト時と会話時の脳活動ーfNIRSによる継続的研究(トレンドグラフと統計分析)ー」『言語科学研究』, 第4巻, 立命館大学言語教育情報研究科, 37-63.
- 平田裕(2014b)「初級学習者の筆記テスト時、会話時の脳活動ーfNIRSデータの個人内検証ー」SYDNEY-ICJLE2014(2014年日本語教育国際研究大会)@シドニー工科大学. (口頭発表2014.7.11)
- 平田裕(2014c)「筆記テスト時と目標言語会話時の脳活動の近似性ー日本語中上級学習者 fNIRSデータの個人内検証ー」日本言語テスト学会 第18回全国研究大会 @立命館大学BKCキャンパス. (口頭発表2014.9.20)

- 福田正人(2009) 『精神疾患とNIRS—光トポグラフィー検査による脳機能イメージング』  
中山書店
- 福長一義・大貫雅也・福井裕輝・舟久保昭夫・福井康裕・中島章夫・嶋津秀昭・石山陽  
事・大瀧純一(2011) 「NIRS を用いたニューロフィードバックシステムの開発」  
『杏林医会誌』 42 巻 1号, 2-11.
- 牧野成一・鎌田修・山内博之・斉藤真理子・荻原稚佳子・伊藤とく美・池崎美代子・中  
島和子(2001) 『ACTFL OPI入門』アルク
- 山崎佳子・佐々木薫・高橋美和子・町田 恵子・石井 怜子(2009) 『日本語初級〈2〉大  
地—メインテキスト』スリーエーネットワーク
- 梁志鋭・松野和子・杉浦正利(2008) 「コロケーションの処理過程における脳内活性部位  
と心的負荷 —NIRSによる脳機能測定法に基づく事例研究—」 『平成17年度 -  
平成19年度科学研究費補助金研究成果報告書』 197-220.
- Amiri, M., Pouliot, P., Bonn ery, C., Leclerc, P.O., Desjardins, M., Lesage, F., and Joannette, Y.  
(2014) An Exploration of the Effect of Hemodynamic Changes Due to Normal Aging  
on the fNIRS Response to Semantic Processing of Words. *Frontiers in Neurology*,  
vol.5, article 249.
- Andrews, E., Frigau L., Voyvodic-Casabo C., Voyvodic J. and Wright J. (2013) Multilingual-  
ism and fMRI: Longitudinal Study of Second Language Acquisition. *Brain Sciences*,  
3, 849-876.
- Bachman, L. F. (1990) *Fundamental considerations in language testing*. Oxford: Oxford Uni-  
versity Press.
- Bachman, L. F. and Palmer, A. S. (1996) *Language testing in practice*. Oxford: Oxford Univer-  
sity Press.
- Bachman, L. F. and Savignon, S. J. (1986) The evaluation of communicative language profi-  
ciency: A critique of the ACTFL oral interview. *The Modern Language Journal*, 70  
(4), 380-390.
- Brown, A. (2005) *Interviewer Variability in Oral Proficiency Interviews*. New York: Peter Lang  
Publishing.
- Horowitz-Kraus, T., Vannest, J.J., Kadis, D., Cicchino, N., Wang, Y.Y., and Holland, S.K.  
(2014) Reading acceleration training changes brain circuitry in children with read-  
ing difficulties. *Brain and Behavior*, vol. 4, issue 6, 886–902.
- Hughes, A. (2002) *Testing for Language Teachers. Second edition*. Cambridge: Cambridge  
University Press.
- Huetzel, S. A., Song, A. W., McCarthy, G. (2009) *Functional Magnetic Resonance Imaging*  
(2nd ed.), Massachusetts: Sinauer Associates.



- Illes, J., Francis, W.S., Desmond, J.E., Gabrieli, J.D., Glover, G.H., Poldrack, R., Lee, C.J., and Wagner, A.D. (1999) Convergent cortical representation of semantic processing in bilinguals. *Brain and Language*, 70(3), 347-63.
- Kubota, Y., Toichi, M., Shimizu, M., Mason, R. A., Coconcea, C. M., Findling, R. L., Yamamoto, K., and Calabrese, J. R. (2005) Prefrontal activation during verbal fluency tests in schizophrenia – a near-infrared spectroscopy (NIRS) study. *Schizophrenia Research*, 77, 65-73.
- Luoma, Sari (2004) *Assessing Speaking*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Malonek, D., Dirnagl, U., Lindauer, U., Yamada, K., Kanno, I., and Grinvald, A., (1997) Vascular imprints of neuronal activity: Relationships between the dynamics of cortical blood flow, oxygenation, and volume changes following sensory stimulation. *Proceedings of Natural Science Academy of the United States of America*, vol. 94, no.26. 14826-14831.
- Obler, L. K. and Gjerlow, K. (1999) *Language and the Brain*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Perani, D., and Abutalebi, J. (2005) The neural basis of first and second language processing. *Current Opinion in Neurobiology*, 15(2), 202-6.
- Petersen, S. E., Fox, P. T., Posner, M. I., Mintun, M., & Raichle, M. E. (1988). Positron emission tomographic studies of cortical anatomy of single-word processing. *Nature*, 331, 585-589.
- Sakai, K. L., Hashimoto, R., Homae, F. (2001) Sentence processing in the cerebral cortex. *Neuroscience Research*, 39(1), 1-10.
- Scherer, L. C., Giroux, F., Lesage, F., Senhadji, N., Benali, H., and Ansaldi, A. (2006) An optical imaging study of semantic and syntactic processing by bilinguals. *Brain and Language* 99(1-2), 185-186.
- Shimoyama, I., Sato, F., Nakazawa, K., and Ono, K. (2006) Single measurement of oxy- and deoxyhemoglobin for a functional near infrared spectroscopy. *Abstracts of the 29<sup>th</sup> Annual Meeting of the Japan Neuroscience Society (Neuroscience Research Special Issue 2006)*, 232-235.
- Strangman, G., Boas, D. A., and Sutton, J. P. (2002) Non-invasive neuroimaging with near-infrared light. *Biological Psychiatry*, 52, 679-693.
- Taura, H. and Nasu, A. (2012) The effects of onset-age and exposure duration on the L2 as observed in brain activation: an fNIRS study. *Studies in Language Science*, 2, 19-42. Ritsumeikan University.
- Toronov, V. Y., Zhang, X., and Webb, A. G. (2007) A spatial and temporal comparison of

hemodynamic signals measured using optical and functional magnetic resonance imaging during activation in the human primary visual cortex. *Neuroimage*, 34, 1136-1148.

Wagner, A. D. (1999). Working memory contributions to human learning and remembering. *Neuron*, 22, 19-22.