

日本語初級学習者の筆記テスト時と 会話時の脳活動の近似性検証

—— fNIRS データのトレンドグラフと相関分析 ——

平田 裕

Abstract

This study is a part of the project that aims to examine the similarity and/or dissimilarity in brain activation while participants take written tests and engage in conversation. The fNIRS data of three beginner-level Japanese learners were examined. The trend chart analysis revealed that there were apparent individual differences in brain activation among different types of written tasks. Despite the claims made in some previous studies, a consistent hemispheric specialization was not observed. In the correlation analysis, the two types of conversation tasks, one in the native language and the other in Japanese, exhibited varying degrees of similarity among the three participants. It was speculated that this individual difference might be due to a difference in multi-language capability. Regarding the similarity to Japanese conversation tasks, the multiple-choice type 2 (three choices for three blanks) appeared to be most similar based on the number of channels exhibiting a strong correlation.

キーワード：日本語初級学習者，筆記テスト，脳賦活，

fNIRS (functional near-infrared spectroscopy: 近赤外光分光法)，相関分析

1. はじめに

1.1 研究目的

本稿にまとめる研究は、日本語の各種筆記テスト時と日本語での会話時において、日本語学習者の脳活動がどのような近似性・相違性を示すのか客観的に明らかにすることを目的として継続して行っている研究の一部である。研究の背景や目的、研究方法については筆者の過去の論文と重複する部分も多いが、独立した論文として本稿にも記載することとする。これまでの一連の研究で得られた知見について、詳しくは平田 (2013, 2014, 2015)、および、Hirata (2016)を参照されたい。

研究全体の動機は、日本語教育において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ところからきている。もしそれができれば、教育現場でのメリットは大きい。日本語教育を含め、近代の外国語教育においては文法や単語などの知識偏重から

実際の会話力／運用力を重視するようになってきているが、現実には教育成果の検証方法としては筆記テストに頼っている部分が多い。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問題があり、なかなか簡単には実施できないのが実情である。

筆記テスト時と会話時の脳活動の近似性・相違性の検証という研究課題は、脳イメージング手法である fNIRS (functional near-infrared spectroscopy: 近赤外光分光法) の応用研究としても新規性が高いものであり、研究方法の検討・確立自体が継続的な課題となっている。これまでの一連の研究では、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が、ここ2年程はタスク間の相関分析を行って脳活動の近似性・相違性の検証を評価している状況である。

本稿は、相関分析を使った研究として平田 (2015) と Hirata (2016) に続くものである。平田 (2015) は日本語初級学習者1名を対象として相関分析を試行し、Hirata (2016) では中上級学習者1名のデータを追加して比較検証しているが、本稿では初級学習者2名のデータを加え、初級学習者合計3名を対象として脳活動の近似性・相違性の検証と考察を行う。fNIRS を使った脳実験は、実験協力者数 (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り、データをエクセルや統計ソフトで使える形に処理するだけでも膨大な時間がかかるため、上述のように数名ずつ分析するという形になっている。

2. 先行研究

2.1 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 (Oblor 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、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)、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)、そして fMRI を使って会話時の予測プロセスを検証した Lyu *et al.* (2016) などまで、様々な形で応用が進んできている。PET または fMRI を使った研究に限定されているが、Price (2012) は当該分野の初期 20 年間に渡る研究のレビュー論文を提供している。

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、当該研究の実験協力者は2名で、TOEFLの点数は480点と570点である）。

脳イメージング技術を使ったこれらの研究は、脳の言語機能そのもの、あるいは特定の話者グループ（バイリンガル話者や外国語学習者、また、言語機能に障害を持つ人など）の脳の働きから見た特徴が主たる研究対象であると言える。これに対し、本研究は学習言語での各種筆記テストおよび会話、つまり学習言語での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・行動を促すものであり、脳活動が複雑になることは自明である。このような複合的な認知・行動を個別の構成要素に分解し、微視的に分析することは極めて難しいのであるが、それならば巨視的に、つまり複合的な認知・行動が促す脳活動をひとつのまとまりとして傾向把握できないだろうかというのが本研究の試みである。

2.2 筆記テスト時と会話時の脳活動に関する研究のこれまでのまとめ

筆者の一連の研究（平田，2013, 2014, 2015; Hirata, 2016）を簡単に総括すると、筆記テスト時および会話時の脳賦活のパターン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ている。平田（2013, 2014）は賦活総量比較、タスク間の分散分析など、fNIRSデータの総量や平均値で分析しているが、以下のような知見が得られた。

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実験協力者の日本語レベルと話す内容によって、脳の賦活は異なったパターンを示し、賦活総量も著しく違う。
3. 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。
4. 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。

続いて、平田（2015）とHirata（2016）ではfNIRSデータに対してトレンドグラフによる傾向把握と相関分析を行った。総量や平均値での分析はデータを静的に分析、つまり或る一定の値としての分析であるが、相関分析は時系列での測定データの並び方が問題になる。つまり、データの変化のパターンを比べていることになる。初級学習者1名と中上級学習者1名、分析対象者としてはミニマムであるが、相関分析によって得られた知見の主なものを以下にまとめる。

1. 初級学習者の場合はoxy-Hb（酸素化ヘモグロビン）データが脳の賦活に対応していると考えられる。
2. 中上級学習者の場合はブローカー野近辺でoxy-Hbよりもdeoxy-Hb（脱酸素化ヘモグロビン）

の変化量の方が増えている場合がある。

3. 正の相関性を示すチャンネルが多いほど近似性があると考えた場合、初級学習者は母語での会話と日本語での会話の脳活動の近似性は高いが、中上級学習者の場合は近似性が低いという解釈になる。これは、学習言語の能力が高くなると脳内では母語と同じように処理されるようになると示唆する一部の先行研究には反するものである (Illes *et al.*, 1999; Perani *et al.*, 2005; and Oishi, 2006 など)。

次章では、上にまとめた平田 (2015) および Hirata (2016) と同様の内容も多いが、本稿の分析対象者に対して実施した実験、および、分析方法を詳しく説明していく。

3. 研究方法

脳実験の概要は、実験協力者に実験タスクとして数種類の筆記テストを受けてもらい、最後に日本語での短い会話と英語での短い会話を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、そして、言語野付近の 14 チャンネルの測定データで相関分析を行う。本稿の分析対象者 3 名に対する実験は 2014 年度または 2016 年度と、違う年度に行っているが、実験タスクは同じものを使っている。以下の節で、研究方法を詳しく説明する。基本的には平田 (2015) で説明した内容と同じであるが、脳実験の実験器具と測定チャンネルの配置、そして、分析対象者について追加した内容がある。

3.1 fNIRS

筆記テスト時と会話時の脳活動の近似性・相違性に関する筆者の一連の研究では、脳データの測定のために島津製作所の FOIRE-3000 という fNIRS システムを使用している。脳イメージングに応用できる測定手法は 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 には測定部位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 (2013) や島津製作所の HP (2017) も参照されたい。

下の図 1 に 2014・2016 年度に使用したプローブホルダーおよびプローブ配置図を示す。

図 1 のプローブ配置図で示した赤・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いる。赤色プローブは近赤外光の照射用、青色プローブは、反射して返ってくる近赤外光を受光するためのものである。図 1 の赤・青の間の白のボックスがデータの計測位置に対応している (チャンネルと呼んでいる)。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、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。

図 1 の左側の写真で分かるように、2014 年度と 2016 年度は違うタイプのプローブホルダーを

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。そして、下の図3に示すように、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。

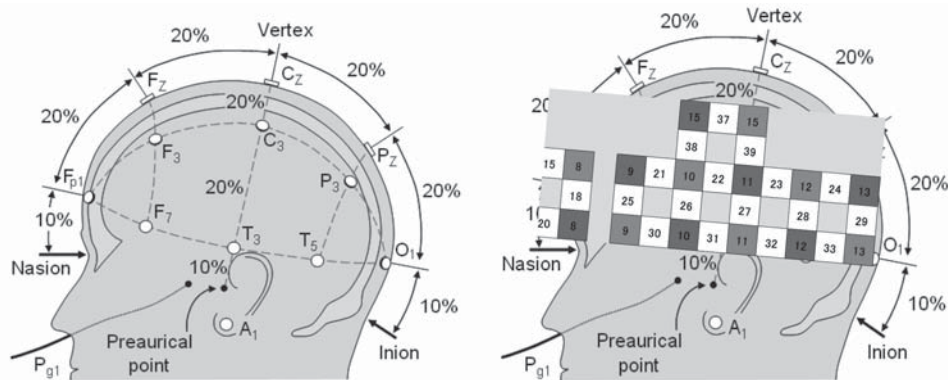


図3 International 10/20 system と今回のプローブ配置イメージ

上で説明したように、2014年度の実験と2016年度の実験では使用したプローブホルダーのタイプが違うことにより、頭の大きさと形の個人差に加えて、プローブホルダーの違いによっても測定チャンネルと頭部の位置関係は違ってくる。次節で本稿の分析対象者3名について説明するが、測定チャンネル毎の脳賦活をトレンドグラフで確認した結果、この3名の場合、ブローカー野に対応すると考えられるチャンネルはそれぞれ25, 27, 31近辺、ウィルニッケ野に対応すると考えられるチャンネルはそれぞれ31, 28, 28近辺であった。

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 実験協力者／分析対象者

脳実験を実施した対象者は、2014年度は合計18名、2016年度は合計10名であったが、膨大な時間がかかるため全員のデータを一度には分析できない。今回、初級と中上級ということでは、初級学習者のデータを対象とする。また、実験協力者の母語ということでは、筆記テストの指示文に媒介語として英語を使っているの、関係する言語要因をできるだけ減らすため、まず英語を母語とする実験協力者のデータから分析を進める。このような理由で、本稿での分析対象者は日本語のレベルが初級で母語が英語という条件に当てはまる3名とする。

今回の分析対象者3名の情報を次ページの表1に示す。日本に滞在した時期は全く同じではないが、脳実験実施時はこの3名とも同一の大学の短期留学プログラムで日本語を学習していた留学生である。日本語のレベルは3名とも同レベルで、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）。以下，本稿ではこの3名に対し，それぞれ，BL-1, JL-2, MB-3という略称を使うことにする。

この研究の実験については，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）。

表1 分析対象者情報

実験の年度	略称	性別	年齢	国籍	日本語学習歴	母語・日本語以外で話せる言語	利き手
2014	BL-1	女	20	オーストラリア	1年9か月	なし	右 56%
2016	JL-2	男	20	アメリカ	3年	ベトナム語	右 83%
2016	MB-3	女	21	アイルランド	2年	アイルランド語 ドイツ語	右 80%

（注）3名とも日本語のレベルは初級で，母語は英語。

3.3 タスクデザイン

3.3.1 タスクの構成

筆者の一連の研究全体としては実験協力者の個人別の分析を積み重ねている段階であり，比較検証のために，2014年度も2016年度も脳実験の言語タスクは全く同じものを使っている。筆記テストが4種類，それに加えて，日本語での会話と母語での会話である。筆記テスト4種類は，日本語教育で使われている代表的なものとして，①三択（1間につき選択肢3つ），②パズル式三択（3間に対し3つの選択肢を当てはめるもの），③訳の3形式と，筆者が通常の授業で使用していた④会話式という形式である。選択問題の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た。タスク内の問題数，タスクの繰り返し回数，時間配分などを調整し，実験の全工程を1時間でカバーできるようにしている。

右下の表2に実験全体のタスク構成を示す。この表には示していないが，タスクの種類が変わる場合はその前にタスクの例示を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。実験の実施時間は実験協力者1名に対し，だいたい30分程度である。実験協力者はプロープホルダーを被りプロープ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，プロープの装着や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。

Petersen *et al.* (1988) の研究以降，脳実験では「差分法」

表2 タスク構成

2014・2016の実験		
TASK01	三択1	30秒
TASK02	三択2	30秒
TASK03	三択3	30秒
TASK04	パズル式1	50秒
TASK05	パズル式2	50秒
TASK06	パズル式3	50秒
TASK07	訳1	30秒
TASK08	訳2	30秒
TASK09	訳3	30秒
TASK10	会話式1	1分
TASK11	会話式2	1分
TASK12	日本語会話1	1分
TASK13	日本語会話2	1分
TASK14	母語会話1	1分
TASK15	母語会話2	1分

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、筆者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）、交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）。

以下の節では、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初級学習者対応として漢字に適宜ルビを振っている。

3.3.2 実験タスクの種類

3.3.2.1 三択タスク

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。

(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。

3.3.2.2 パズル式三択タスク

これは、3つの設問に対し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。同じ形式のものを実験年度によって、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. 妹がかわいそうなので、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。

3.3.2.3 訳タスク

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。

(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.

3.3.2.4 会話式タスク

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。

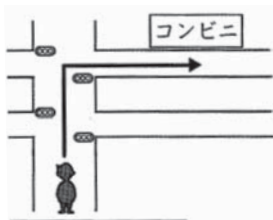
筆者は今回の分析対象者3名を直接教えていないが、彼女／彼らが学んでいたクラスの教材の大部分は筆者が作ったものを使用しているため、彼女／彼らもこの問題形式には慣れている。全体の時間調整のためこのタスクは2回のみとしている。以下は2つのタスクのうちの1つの例示であるが、もう1つのタスクは、「住むのは京都と自分の町のどちらがいいか、理由をあげて答える」というものである。

(4) TASK10

おばあさん： 近くにコンビニはありませんか。

自分： _____。

【



】

3.3.2.5 会話タスク

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、「日本にき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

筆者の一連の研究では、通常の筆記テストにできるだけ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実験協力者に渡し、実験協力者のペースで解答してもらうという形式をとっている。実験協力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。

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ている。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、実験協力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機と紙ベースでの実験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実験協力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

本稿における分析方法は、平田(2015)およびHirata(2016)と同様、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、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。また、今回のようなプローブ配置は FOIRE-3000 のマッピング図作成条件からすると不規則であり、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は技術的に難しい。

分析対象者は3名であるが、相関分析は個人内の同一測定チャンネルにおけるタスク間の相関分析である(ピアソンの積率相関係数を求める)。筆記テスト時や会話時の脳活動を巨視的に捉えようとすると個人差が大きいため、個人間の比較は行わない。一般に、fNIRSは各種ヘモグロビンの絶対量ではなく変化量を求めるものであるため、異なる被検者間の比較は行えないとされている(島津製作所のHP, 2017)。前頭前野部からもデータは収集しているが、分析作業の時間的制約から、本稿では分析対象のチャンネルを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(および、その左右反対側)に限定する。下の図4の黒丸で、右脳・左脳それ

ぞれ7チャンネル，合計14チャンネルの分析対象チャンネルを示す。

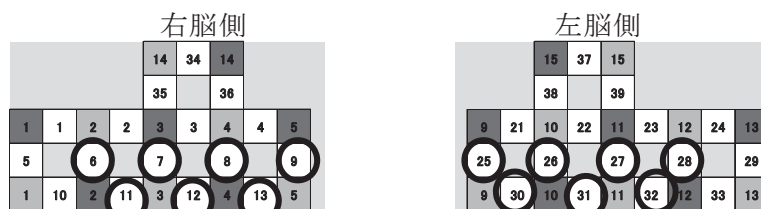


図4 相関分析対象チャンネル (CH6, 7, 8, 9, 11, 12, 13, 25, 26, 27, 28, 30, 31, 32)

既に説明したように，2014年度の実験と2016年度の実験では使用したプローブホルダーの形状が違うが，どちらの場合も，言語野近辺で安定したデータが取れるのは図4の黒丸で示した左右7チャンネルである（つまり，下から2段で，前頭部よりのチャンネル）。例えば，図4右図のチャンネル38や29など，頭頂部，あるいは後頭部に近くなると，プローブホルダーが頭部から浮きがちになり，ノイズが入ったデータが多くなる。

トレンドグラフ，および相関分析に使うデータは，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，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。スムージング点数25回，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，エクセル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，相関分析を行う。

平田（2014，2015）でも述べたが，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。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。fMRIに関して，Huettel *et al.* (2009)は，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。また，NIRSに関して福長ほか(2011)は，fMRIで使用されるBOLD (blood oxygenation level dependent) 信号と対応するものとしてNIRSの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と指摘している。

fNIRSを使用した先行研究で，oxy-Hbデータを分析対象とするものには，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）などがあり，筆者も平田（2013，2014）ではoxy-Hbを分析対象としてきた。しかし，筆記テスト時と会話時の脳活動に関するこれまでの実験データの中にはdeoxy-Hbが大きく反応するケースもあったため，平田（2015）とHirata（2016）ではoxy-Hbとdeoxy-Hbの両方について相関分析を行った。本稿では初級学習者3名が分析対象であるが，この3名のデータの中にもdeoxy-Hbが大きく反応しているケースが見られるため，

oxy-Hb と deoxy-Hb の両方について相関分析を行うことを継続する。

相関分析の対象とするタスクは全種類、つまり、三択、パズル式三択、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目的として分析する（例えば、三択 vs. 日本語会話、パズル式三択 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）。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

[パズル式三択 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）

それぞれの種類のタスクのデータは複数回の平均ではなく、トレンドグラフを見て言語野近辺の脳賦活が大きいと判断できるタスクを採用した。例えば、三択式という同一種類のタスクは3回行っているが、同一種類であってもタスク間のデータのばらつきが大きいということが過去の研究で分かっており（平田、2014 など）、平均値を使うことの妥当性に疑問が残るからである。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

この研究の1回の脳実験は15の言語タスクからなるが、前節で説明したように、分析対象のタスクはそれぞれの種類のタスク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ぶ。タスクの種類は6種類あるので、トレンドグラフは分析対象者1名につき6画面で、1画面につき39の測定チャンネルのトレンドグラフが表示されている。下の図5, 6, 7に、分析対象者 BL-1, JL-2, MB-3 のトレンドグラフを示す。1チャンネルのトレンドグラフの中で、赤のグラフは oxy-Hb（酸素化ヘモグロビン）、青のグラフは deoxy-Hb（脱酸素化ヘモグロビン）、緑のグラフは total-Hb（oxy-Hb と deoxy-Hb を合わせたもの）のデータを示している。

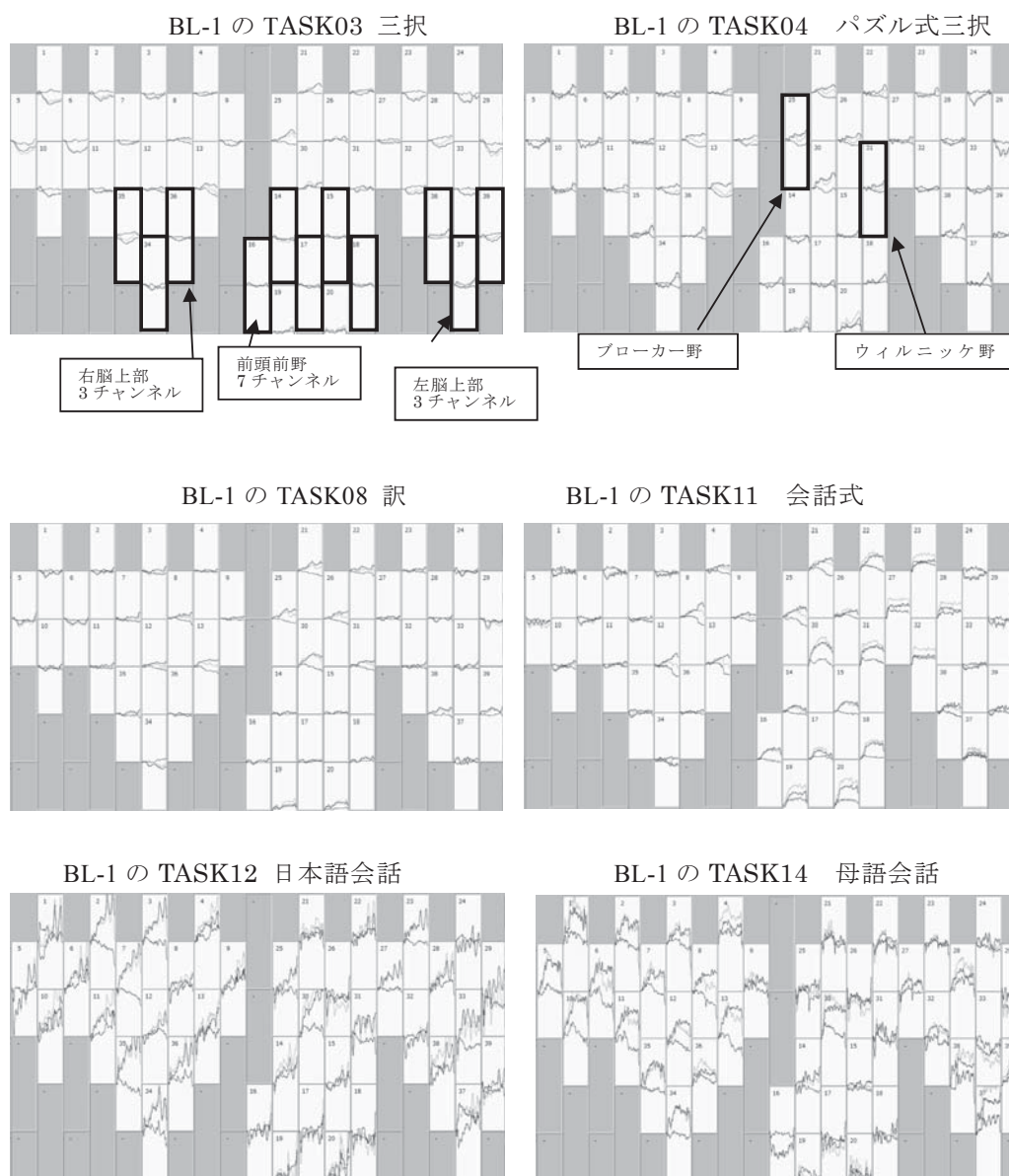


図5 BL-1のタスク別トレンドグラフ一覧

トレンドグラフは脳データ測定中のモニターでもあるので、測定チャンネル全てのトレンドグラフを1画面に表示することになる。今回は測定チャンネルが39あるのだが、画面上の配置の制約があり、プローブ配置図と一致した配置にはできない。上の図5の最上段左、TASK03のトレンドグラフに示すように、右脳上部の3チャンネルが下にくいて、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くいている。その右のTASK04のトレンドグラフに、BL-1のブローカー野に対応すると考えられるCH25とウィルニッケ野に対応すると考えられるCH31を示している。

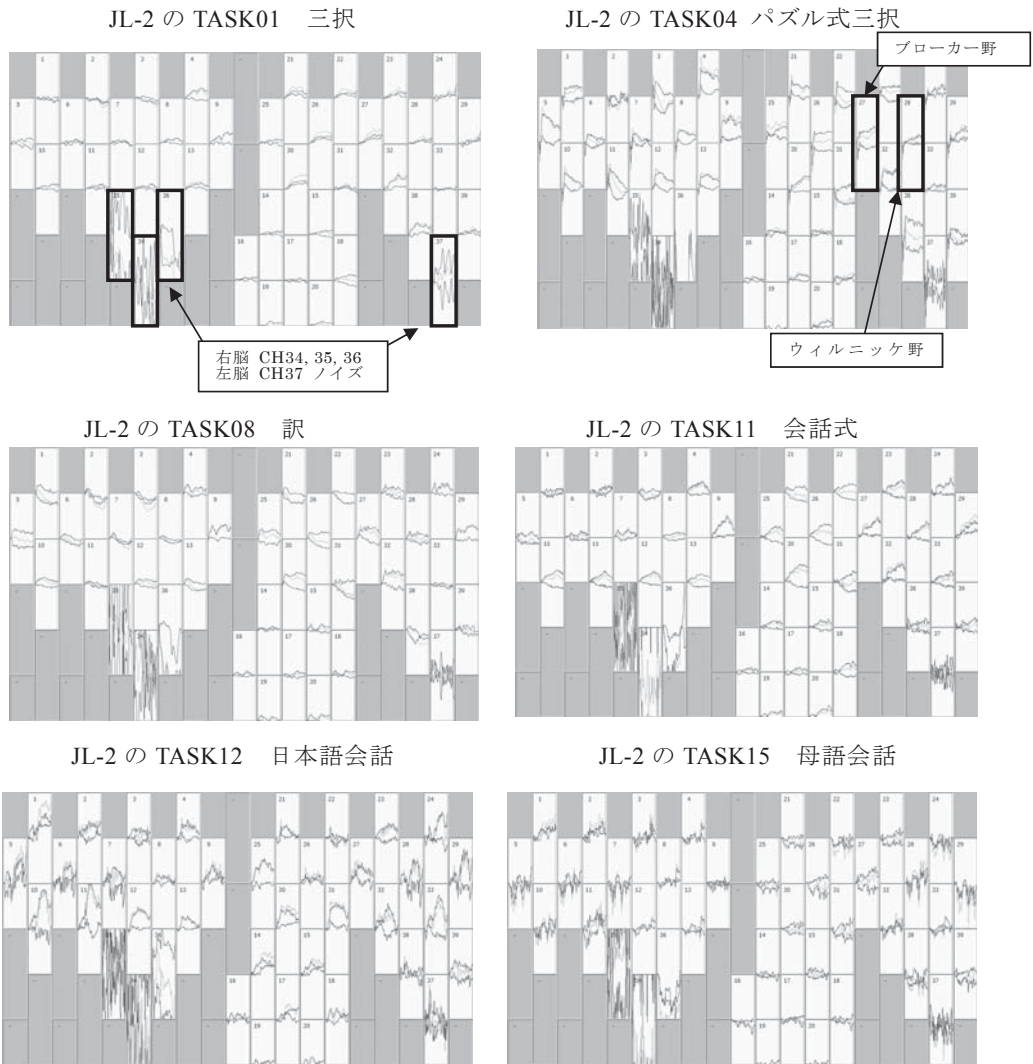


図6 JL-2のタスク別トレンドグラフ一覧

上の図6と下の図7では、それぞれ最上段左のTASK01のトレンドグラフで例示しているように、他のチャンネルと比べてデータの振幅が著しく大きく普通データではないと分かるチャンネルがある。図6(JL-2の実験)では右脳側のCH34, 35, 36, そして、左脳側のCH37, 図7(MB-3の実験)では右脳側のCH34, 35, 左脳側のCH37, 38であるが、これは、プローブが頭部に密着していなかったり、髪の毛が間にあることなどによってノイズをたくさん拾っている結果である。今回使用したプローブホルダーの影響だと考えられるが、いずれも頭頂部に近いところのチャンネルで、分析対象のチャンネルではないので無視してよい。

図6と図7ともに、分析対象者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チャンネルを最上段右のTASK04のトレンドグラフに明示している。図6のJL-2の場合はCH27とCH28, 図7のMB-3の場合はCH31とCH28である。

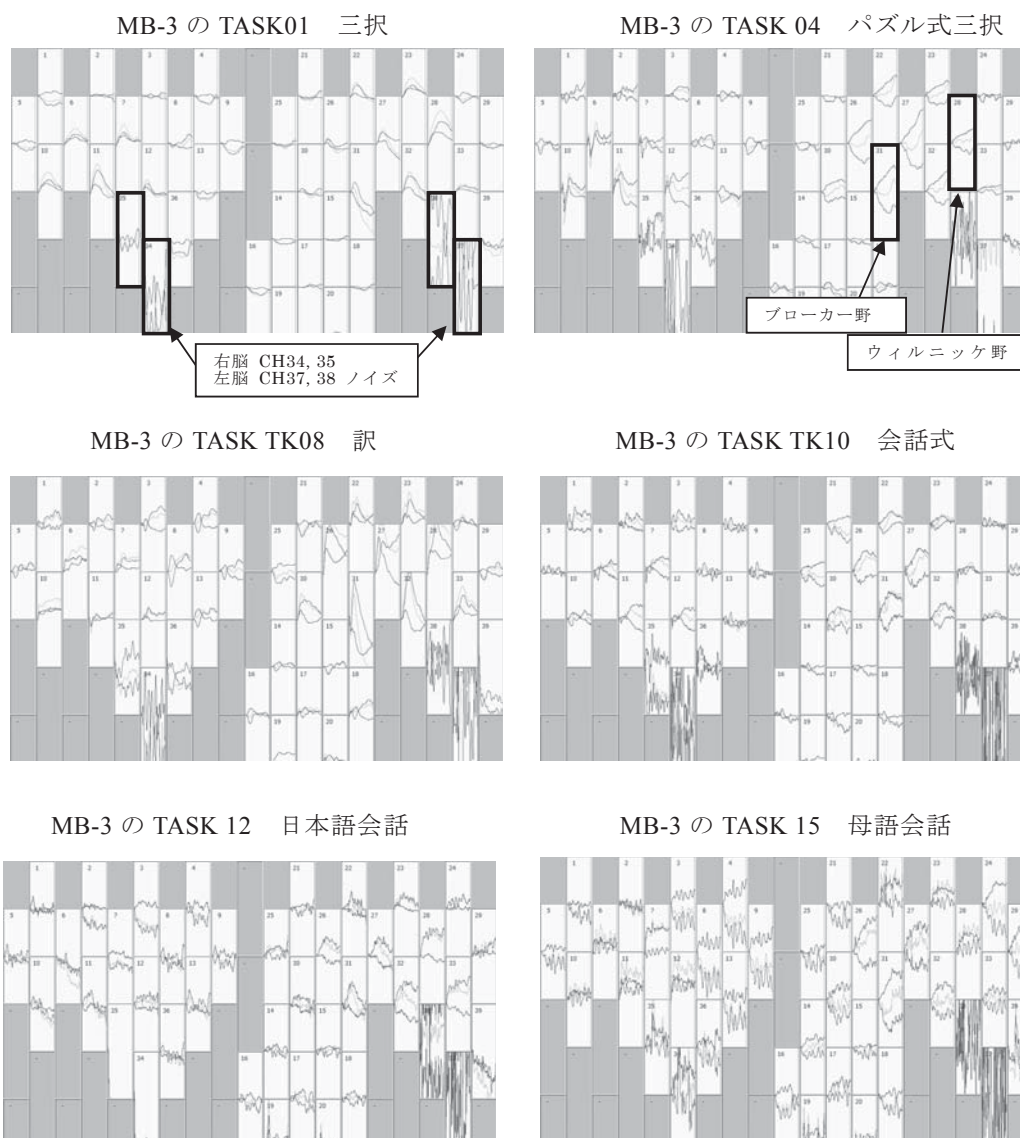


図7 MB-3のタスク別トレンドグラフ一覧

以下、トレンドグラフから分かることをまとめる。

1. 上の図5, 6, 7では、分析対象者3名に対しそれぞれ6種類のタスクのトレンドグラフを提示しているが、各図において、上の4つが筆記タスク（三択、パズル式三択、訳、会話式）、下の2つが会話タスクである（日本語会話、母語会話）。筆記タスクと会話タスクの比較ということでは、分析対象者3名とも筆記タスクの脳賦活の度合いは会話タスクより低い。これは筆者のこれまでの研究で得られた知見と同様の結果である（平田, 2013, 2014, 2015; Hirata 2016）。

2. 4種類の筆記タスクに対する脳賦活度には明らかに個人差がある。BL-1は会話式タスク TASK11の脳賦活度が比較的高めで(図5参照)、JL-2とMB-3は三択を除く3種類の筆記タスク(TASK04パズル式三択, TASK08訳, TASK10またはTASK11会話式)の脳賦活度が比較的高めである(図6, 図7参照)。
3. 図7のMB-3の脳賦活パターンは筆者のこれまでの実験協力者の中でも少数派に属するもので、かなり特徴的であると言える。筆者が設定している言語タスクに対する反応としては、言語野付近においてoxy-Hb(酸素化ヘモグロビン)の変化量が増加するのが多数派であるが、BL-1のデータでは筆記タスクのTASK04パズル式三択, TASK10会話式、そして会話タスクの母語会話TASK15においてdeoxy-Hb(脱酸素化ヘモグロビン)の変化量が言語野付近(CH26, 27, 28)で著しく増えている。それらのタスクの右脳側のチャンネルや、他のタスクのデータを見ると、他の実験協力者と同様にoxy-Hbの方が大きく反応しており、上述のdeoxy-Hbに関する特殊性は実験上のミスとは考えにくい。また、MB-3の筆記タスクでの脳賦活度は全体的に高いと言える(図7の上の4タスク)。
4. 分析対象者3名の筆記タスクでの共通の特徴として、三択タスクは脳賦活度が明らかに低いことがあげられる。脳賦活の程度ということでは、筆記の三択問題で会話時の脳活動に近づけるのは難しいと言えるだろう。
5. 本稿の分析では右脳と左脳の違いを定量的に検証することはしないが、トレンドグラフの目視からは、使用言語やタスクの違いと今回の初級日本語学習者3名の右脳側と左脳側の脳賦活との関係性に一定の傾向があるとは言えない。この3名は全員右利きで、主要な言語野は左脳側にあると考えられる。

図5の上の4タスクが示すように、BL-1は日本語の筆記タスクでは左脳側の賦活度が高い。図5の下2タスクを見ると、日本語でも英語でも会話タスクで左脳側が大きく賦活しているが、左脳側だけでなく、右脳側も同程度賦活していることが分かる。図6のJL-2のデータを見ると、パズル式三択以外の5タスクでは左脳側の脳賦活の方が高い。パズル式三択では左脳と右脳が同程度賦活しているようである。図7のMB-3のデータからは、TASK04パズル式三択とTASK10会話式では左脳側はdeoxy-Hbの変化量が多くなっているのに対し、右脳側はoxy-Hbの変化量が多くなっていることが分かる。一方、TASK15母語会話では左脳・右脳ともにdeoxy-Hbの変化量が多くなっている。また、日本語会話であるTASK12では左脳側のoxy-Hbの変化量が多くなっている。

4.2 相関分析の結果と考察

前章で説明したように相関分析の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)、対象チャンネルは言語野近辺とその左右反対側で合計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表にまとめる。BL-1, JL-2, MB-3の3名それぞれに対してoxy-Hbの相関、deoxy-Hbの相関という順番に提示する(下の表3から表8まで)。負の相関を示したチャンネルとその相関係数は四角囲いとシェードをかけて示している。

分析対象者の個人別の特徴を各人の結果提示後に簡単に述べ、全体の考察は結果を全て提示した後に行う。まず、下の表3（oxy-Hbの相関）と表4（deoxy-Hbの相関）はBL-1についての結果である。

表3 BL-1のoxy-Hbデータでの相関分析結果

タスク組み合わせ	oxy-Hb データで 高い相関があったCHの数	高い相関があったCHの相関係数(全て1%水準で有意) (相関係数が負の場合はシェードで示す)
三択 vs. 日本語会話	正の相関 3 (右脳 2, 左脳 1) 負の相関 0	右脳: CH12 (r=.782), CH13 (r=.706), 左脳: CH30 (r=.909)
パズル式三択 vs. 日本語会話	正の相関 5 (右脳 2, 左脳 3) 負の相関 0	右脳: CH12 (r=.712), CH13 (r=.731), 左脳: CH25 (r=.766), CH26 (r=.725), CH30 (r=.955)
訳 vs. 日本語会話	正の相関 2 (右脳 0, 左脳 2) 負の相関 0	右脳: ナシ 左脳: CH30 (r=.928), CH31 (r=.781),
会話式 vs. 日本語会話	正の相関 2 (右脳 0, 左脳 2) 負の相関 0	右脳: ナシ 左脳: CH27 (r=.718), CH30 (r=.899),
母語会話 vs. 日本語会話	正の相関 11 (右脳 5, 左脳 6) 負の相関 0	右脳: CH6 (r=.848), CH7 (r=.916), CH11 (r=.873), CH12 (r=.801), CH13 (r=.712) 左脳: CH25 (r=.779), CH26 (r=.790), CH27 (r=.787), CH28 (r=.752), CH30 (r=.905), CH31 (r=.927),

表4 BL-1のdeoxy-Hbデータでの相関分析結果

タスク組み合わせ	deoxy-Hb データで 高い相関があったCHの数	高い相関があったCHの相関係数(全て1%水準で有意) (相関係数が負の場合はシェードで示す)
三択 vs. 日本語会話	正の相関 1 (右脳 0, 左脳 1) 負の相関 1 (右脳 1, 左脳 0)	右脳: CH12 (r= -.738), 左脳: CH32 (r=.745)
パズル式三択 vs. 日本語会話	正の相関 0 負の相関 2 (右脳 2 左脳 0)	右脳: CH12 (r= -.765), CH13 (r= -.770) 左脳: ナシ
訳 vs. 日本語会話	正の相関 1 (右脳 0, 左脳 1) 負の相関 3 (右脳 3, 左脳 0)	右脳: CH9 (r= -.732), CH12 (r= -.804), CH13 (r= -.751), 左脳: CH31 (r=.951)
会話式 vs. 日本語会話	正の相関 1 (右脳 0, 左脳 1) 負の相関 0	右脳: ナシ 左脳: CH28 (r=.716)
母語会話 vs. 日本語会話	正の相関 2 (右脳 0, 左脳 2) 負の相関 0	右脳: ナシ 左脳: CH30 (r=.777), CH32 (r=.805)

上の結果を見ると、まず、BL-1の場合は同一チャンネルでタスク間の相関値が高い場合、表3のoxy-Hbデータの方は全て正の相関であるのに対し、表4のdeoxy-Hbデータの方は負の相関を示すチャンネルがあることが分かる。言語タスクの近似性を計る指標としては、正の相関の方が負の相関よりも妥当性が高いと考えられることや、BL-1のトレンドグラフでは言語タスクにoxy-Hbが反応している場合が多いことから、BL-1に関してはdeoxy-Hbのデータよりもoxy-Hbのデータに注目した方がよいと考えられる。fNIRSを使った先行研究では、多くの場合oxy-Hbを分析対象としている（例えば、田村, 2002; Shimoyama *et al.*, 2006, Toronov *et al.*

2007; 田浦, 2016 など)。

また、表3の〔母語会話 vs. 日本語会話〕の結果から分かるように、BL-1の場合は母語での会話時と日本語での会話時で高い相関を示すチャンネル数が全14チャンネル中11と多いことが分かる。今回の分析対象14チャンネルに限ってという前提ではあるが、言い換えると、BL-1の脳は母語である英語での会話時と外国語である日本語での会話時で同じような機能の仕方をしていると考えられる。これは下で提示するJL-2とMB-3の結果とは全く違うものである。

次に、下の表5と表6はJL-2についての結果である。

表5 JL-2のoxy-Hbデータでの相関分析結果

タスク組み合わせ	oxy-Hb データで 高い相関があったCHの数	高い相関があったCHの相関係数(全て1%水準で有意) (相関係数が負の場合はシェードで示す)
三択 vs. 日本語会話	正の相関 8 (右脳 3, 左脳 5) 負の相関 0	右脳: CH6 (r=.858), CH8 (r=.774), CH9 (r=.724), 左脳: CH25 (r=.902), CH26 (r=.826), CH27 (r=.800), CH30 (r=.907), CH32 (r=.806)
パズル式三択 vs. 日本語会話	正の相関 9 (右脳 5, 左脳 4) 負の相関 0	右脳: CH6 (r=.721), CH7 (r=.862), CH8 (r=.861), CH12 (r=.854), CH13 (r=.756) 左脳: CH27 (r=.734), CH30 (r=.761), CH31 (r=.738), CH32 (r=.746)
訳 vs. 日本語会話	正の相関 1 (右脳 0, 左脳 1) 負の相関 2 (右脳 2, 左脳 0)	右脳: CH7 (r= -.716), CH8 (r= -.813), 左脳: CH27 (r=.779),
会話式 vs. 日本語会話	正の相関 8 (右脳 4, 左脳 4) 負の相関 0	右脳: CH6 (r=.722), CH11 (r=.838), CH12 (r=.943), CH13 (r=.709) 左脳: CH26 (r=.815), CH27 (r=.836), CH30 (r=.978), CH32 (r=.944)
母語会話 vs. 日本語会話	正の相関 1 (右脳 0, 左脳 1) 負の相関 1 (右脳 1, 左脳 0)	右脳: CH7 (r= -.907), 左脳: CH27 (r=.819),

表6 JL-2のdeoxy-Hbデータでの相関分析結果

タスク組み合わせ	deoxy-Hb データで 高い相関があったCHの数	高い相関があったCHの相関係数(全て1%水準で有意) (相関係数が負の場合はシェードで示す)
三択 vs. 日本語会話	正の相関 1 (右脳 0, 左脳 1) 負の相関 0	右脳: ナシ 左脳: CH27 (r=.763)
パズル式三択 vs. 日本語会話	正の相関 1 (右脳 0, 左脳 1) 負の相関 1 (右脳 0, 左脳 1)	右脳: ナシ 左脳: CH30 (r= -.769), CH32 (r=.850)
訳 vs. 日本語会話	正の相関 0 負の相関 4 (右脳 3, 左脳 1)	右脳: CH8 (r= -.782), CH9 (r= -.718), CH13 (r= -.826) 左脳: CH31 (r= -.784)
会話式 vs. 日本語会話	正の相関 1 (右脳 0, 左脳 1) 負の相関 3 (右脳 3, 左脳 0)	右脳: CH8 (r= -.763), CH12 (r= -.930), CH13 (r= -.917) 左脳: CH27 (r=.710)
母語会話 vs. 日本語会話	正の相関 1 (右脳 1, 左脳 0) 負の相関 1 (右脳 0, 左脳 1)	右脳: CH11 (r=.717) 左脳: CH31 (r= -.801),

最初に見た BL-1 の oxy-Hb データは、相関がある場合は全て正の相関であったが、JL-2 の場合は表 5 の oxy-Hb データに負の相関が 3 つ見られる。つまり、正の相関は初級学習者の oxy-Hb データの共通した特徴ではないと言える。oxy-Hb データと deoxy-Hb データの比較ということでは、BL-1 と同様に正の相関は oxy-Hb データの方に多く見られ、JL-2 の場合も deoxy-Hb のデータよりも oxy-Hb のデータに注目した方がよいと考えられる。これはトレンドグラフ上での oxy-Hb データと deoxy-Hb データの動きからも言えることである。

また、BL-1 の場合は英語での会話時と日本語での会話時で oxy-Hb データが高い相関を示すチャンネル数が多かったが、JL-2 の場合は正の相関を示すチャンネルは 1 つだけである（表 5 の [母語会話 vs. 日本語会話] を参照）。つまり、JL-2 の脳は母語である英語での会話時と外国語である日本語での会話時ではかなり違った機能の仕方をしていると考えられる。

筆記タスクと日本語会話タスクとの相関性ということでは、JL-2 の oxy-Hb データは、[三択 vs. 日本語会話]、[パズル式三択 vs. 日本語会話三択]、[会話式 vs. 日本語会話] において正の相関性を示すチャンネルが多い（表 5 参照）。

次に、下の表 7 と表 8 は MB-3 についての結果である。

表 7 MB-3 の oxy-Hb データでの相関分析結果

タスク組み合わせ	oxy-Hb データで 高い相関があった CH の数	高い相関があった CH の相関係数(全て 1%水準で有意) (相関係数が負の場合はシェードで示す)
三択 vs. 日本語会話	正の相関 1 (右脳 0, 左脳 1) 負の相関 4 (右脳 2, 左脳 2)	右脳: CH9 (r= -.927), CH12 (r= -.748), 左脳: CH27 (r= -.897), CH28 (r=.922), CH31 (r= -.718)
パズル式三択 vs. 日本語会話	正の相関 2 (右脳 2, 左脳 0) 負の相関 8 (右脳 2, 左脳 6)	右脳: CH9 (r= -.847), CH11 (r=.775), CH12 (r=.861), CH13 (r= -.887), 左脳: CH26 (r= -.974), CH27 (r= -.761), CH28 (r= -.901), CH30 (r= -.778), CH31 (r= -.823), CH32 (r= -.943),
訳 vs. 日本語会話	正の相関 4 (右脳 2, 左脳 2) 負の相関 0	右脳: CH11 (r=.814), CH12 (r=.969), 左脳: CH28 (r=.973), CH32 (r=.881),
会話式 vs. 日本語会話	正の相関 0 負の相関 3 (右脳 0, 左脳 3)	右脳: ナシ 左脳: CH26 (r= -.886), CH27 (r= -.711), CH32 (r= -.892)
母語会話 vs. 日本語会話	正の相関 2 (右脳 2, 左脳 0) 負の相関 5 (右脳 2, 左脳 3)	右脳: CH9 (r= -.753), CH11 (r=.900), CH12 (r=.934), CH13 (r= -.806), 左脳: CH25 (r= -.752), CH26 (r= -.714), CH30 (r= -.736)

表8 MB-3の deoxy-Hb データでの相関分析結果

タスク組み合わせ	deoxy-Hb データで 高い相関があった CH の数	高い相関があった CH の相関係数(全て1%水準で有意) (相関係数が負の場合はシェードで示す)
三択 vs. 日本語会話	正の相関 1 (右脳 0, 左脳 1) 負の相関 1 (右脳 1, 左脳 0)	右脳: CH9 (r= -.816) 左脳: CH31 (r=.710)
パズル式三択 vs. 日本語会話	正の相関 0 負の相関 2 (右脳 1, 左脳 1)	右脳: CH13 (r= -.892), 左脳: CH32 (r= -.798),
訳 vs. 日本語会話	正の相関 1 (右脳 0, 左脳 1) 負の相関 4 (右脳 4, 左脳 0)	右脳: CH6 (r= -.728), CH8 (r= -.777), CH9 (r= -.752), CH13 (r= -.873) 左脳: CH25 (r=.855),
会話式 vs. 日本語会話	正の相関 3 (右脳 2, 左脳 1) 負の相関 2 (右脳 1, 左脳 1)	右脳: CH9 (r=.840), CH11 (r= -.710), CH13 (r=.801), 左脳: CH25 (r=.957), CH31 (r= -.765)
母語会話 vs. 日本語会話	正の相関 1 (右脳 1, 左脳 0) 負の相関 6 (右脳 5, 左脳 1)	右脳: CH6 (r= -.724), CH7 (r=.863), CH8 (r= -.844), CH11 (r= -.886), CH12 (r= -.878), CH13 (r= -.890), 左脳: CH30 (r= -.717)

分析対象者3人目のMB-3は、deoxy-Hbの方がoxy-Hbよりも変化量大きい場合が多いというのがトレンドグラフで視覚的に明らかで特徴的であったが、相関分析の結果もBL-1、JL-2とかなり違っている。BL-1とJL-2はともにoxy-Hbデータでは正の相関を示すチャンネルが多かったが、表8を見て分かるように、MB-3は負の相関を示すチャンネルが多い。表9のdeoxy-Hbのデータでも負の相関を示すチャンネルが多い。BL-1とJL-2の場合はdeoxy-Hbデータよりもoxy-Hbデータに注目する方が妥当であると言えたが、MB-3の場合はどちらのデータも正の相関性を示すことが少なく、どちらが妥当とも言えない。

表7と表8の[母語会話 vs. 日本語会話]においても正の相関性を示すチャンネルは少ないので、MB-3の脳は母語である英語での会話時と外国語である日本語での会話時ではかなり違った機能の仕方をしていると考えられる。この点については分析対象者2人目のJL-2と同じである。

分析対象者3名について母語での会話時と日本語での会話時の脳活動の相関性についてまとめると、BL-1は2つの言語活動時の脳活動は似ていると考えられ、JL-2とMB-3は違っていると考えられる。第二言語習得において母語と学習言語の脳内処理は同じか、あるいは、バイリンガル話者の第一言語と第二言語の脳内処理は同じかというのは、脳科学を応用した研究では大きなテーマの1つであるが(例えば、大石, 2006; Illes *et al.*, 1999; Perani *et al.*, 2005 など)、今回の分析対象者3名の上記の違いについても、母語以外の言語能力がその理由である可能性がある。表1に分析対象者3名の情報を提示したが、BL-1は母語と日本語の他に話せる言語がないのに対し、JL-2はベトナム語が話せ、MB-3はアイルランド語とドイツ語が話せるという違いがある。筆者のこれまでの研究でも言語タスクに対する脳活動は個人差が大きいということが分かっているが、言語能力に関する個人属性に照らして実験協力者を集め、分析することは十分にできておらず、今後の課題の1つである。

次に、分析対象者3名の筆記タスク時と日本語会話時の脳活動の近似性についてであるが、

日本語会話タスクとの比較で正の相関性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いと考えられるのでないか（平田, 2015）という見方を今回も採用する。考え方としては、同一の測定チャンネル（つまり、脳の同一の場所）で脳活動に高い相関性があるかどうか、そして、そういうチャンネルが多いかどうかで判断することになるので、一定の妥当性はあると言えるだろう。但し、筆者の一連の研究で分析しているのは脳の一部分のデータであり、この見方の妥当性については、今後、実験パターンを変えて検証データを増やし、継続的に考えていく必要がある。

BL-1の表3, JL-2の表5, そしてMB-3の表7を見ると、筆記タスクの中で日本語会話タスクに比較的近いのは、BL-1の場合はパズル式三択（正の相関が5チャンネル）、JL-2の場合は三択、パズル式三択、会話式（正の相関がそれぞれ8, 9, 8チャンネル）、そしてMB-3は訳（正の相関が4チャンネル）である。上でも述べたように、MB-3についてはoxy-Hbとdeoxy-Hbのどちらを見た方がいいのかは断定できないが、その両方を見ても正の相関性が高いチャンネル数が多いのは訳ぐらいである。

今回の分析対象者3名のデータからは、筆記タスクと日本語会話タスクの近似性について断定的なことは言えない。しかし、パズル式三択についてはBL-1とJL-2のデータで正の高い相関性を示すチャンネルが多く、MB-3の場合も、正の相関性が高いのは2チャンネルだけだが、負の相関性が高いのは8チャンネルと多くなっており、パズル式三択が特徴的なタイプの筆記タスクであることを示している。負の相関性が高いということは、oxy-Hbであれdeoxy-Hbであれ、血流データの変化量はプラスとマイナスで反対方向であるが、変化量の絶対値としては高い相関があるということである。言語タスクの近似性の判断において、血流データの負の相関性が高いことをどのように解釈するかについては、今後の課題としたい。

5. 結び

筆記テスト時と日本語会話時の脳活動の近似性について、今回は英語を母語とする日本語初級学習者3名を対象としてトレンドグラフでの傾向把握とfNIRSデータの相関分析を行った。

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、①4種類の筆記タスクに対する脳賦活度には明らかに個人差があり、実験協力者によっては、oxy-Hb（酸素化ヘモグロビン）よりもdeoxy-Hb（脱酸素化ヘモグロビン）の変化量の方が大きい場合がある。また、②三択タスクは脳賦活度が明らかに低く、脳賦活の程度ということでは、筆記の三択問題で会話時の脳活動に近づけるのは難しいと考えられる。そして、③使用言語やタスクの違いと今回の初級日本語学習者3名の右脳側と左脳側の脳賦活との関係性に一定の傾向があるとは言えない。

次に、相関分析であるが、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チャンネルで合計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。

以下、得られた知見の主なものをもとめる。まず、①トレンドグラフでの傾向把握、および、相関分析において正の相関性を示すチャンネルの多さから考えると、言語タスクの近似性を計

る指標としては deoxy-Hb よりも oxy-Hb の方が妥当である場合が多いと考えられる。また、② 相関分析でも母語での会話時と日本語での会話時の脳活動の個人差が確認されたが、これは話せる言語の数の違いによるものかもしれない。そして、③ 今回の分析対象者3名のデータでは、筆記タスクの中でパズル式三択（解答欄3つに対し選択肢3つ）が日本語会話タスクと近似性が高い可能性があると言える。

筆記テスト時と日本語会話時の脳活動の近似性について、本稿の分析結果で断定的なことは言えないが、実験協力者の属性と言語タスク時の脳の働きの関係に関して貴重な知見が得られたと言えるだろう。筆者の一連の研究では、研究方法の検討・確立自体を継続的な課題としているが、そのためには、言語能力に関する個人属性ができるだけ同じ人のデータをできるだけ多く集め、分析することが必要である。相関分析の有効性・妥当性については、正の相関性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いという見方を本稿でも採用したが、今後、実験パターンを変えて検証データを増やし、継続的に考えていく必要がある。また、血流データの負の相関性が高いチャンネルが多い場合をどのように解釈するのも同様の課題である。

本稿の先行研究レビューでもまとめたように、脳イメージング技術や脳科学の知見をバイリンガリズム研究や外国語教育学に応用しようとする動きは、近年、益々盛んになっている。しかし、全体としてはまだ基礎的な研究の段階であり、実際の教育現場で脳科学の知見を活かすには脳科学を応用した研究の更なる発展・熟成が必要だと考えられる。本研究もまだ基礎的な段階であるが、最終的には筆記テストを会話力向上や会話力の疑似的な評価に使えるようにすることを目標としている。研究の次の段階としては、対象とする筆記テストのタイプを会話時との近似性が高いものに絞り込み、より詳しい検証を行いたい。

参考文献

- 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—日本語と英語のリスニングにおいて—」 『ことばの科学』 第21号, 143-154.
- 酒井邦嘉 (2002) 『言語の脳科学』 中央公論新社
- 島津製作所 HP (2017) 「LABNIRS (ラボニルス) 原理と仕組み」 <http://www.an.shimadzu.co.jp/bio/nirs/nirs2.htm> (2017年09月11日最終参照)
- 田浦秀幸 (2016) 「第二言語ナラティブ時の脳賦活データによる言語臨界期説検証研究」 『立命館言語文化研究』 27巻2-3合併号, 117-125.
- 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 (2013) 「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 (2014) 「日本語初級学習者の筆記テスト時と会話時の脳活動 - fNIRSによる継続的研究 (トレンドグラフと統計分析) -」 『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 (2015) 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 - 『言語科学研究』, 第5巻, 立命館大学言語教育情報研究科, 2-32.
- 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.

- 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
- 梁志銳・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 ry, 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.
- Hirata, Y. (2016) Brain activation in an intermediate-level Japanese learner – Correlation analysis of fNIRS data during written tests and conversation –. *Buckeye East Asian Linguistics 2 (BEAL 2)*, The Ohio State University, 18-35.
- 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 reading difficulties. *Brain and Behavior*, vol. 4, issue 6, 886–902.
- Huettel, 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.
- Lyu, B., Ge, J., Niu, Z., Tan, L.H., and Gao, J.H. (2016) Predictive Brain Mechanisms in Sound-to-Meaning Mapping during Speech Processing. *Journal of Neuroscience* 36 (42). 10813-10822.
- 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.
- Oblor, 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.
- Price, C. J. (2012) A review and synthesis of the first 20 years of PET and fMRI studies of heard speech, spoken language and reading. *NeuroImage*, volume 62, Issue 2, 816-847.
- 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 Ansaldo, 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 29th 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.
- 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.