

第2言語習得開始年齢が言語流暢性課題に及ぼす影響： fNIRS 脳イメージング手法によるバイリンガリティ研究

藤本未来*・田浦秀幸**

要旨

本研究は、言語流暢性課題（ひらがな1文字、アルファベット1文字から語を想起する文字タスクと、提示された語と同じ範疇に属する語を想起する日本語・英語両タスク）を行い、左ブローカ部位、前頭前野中央部、右ブローカ相当部位のfNIRS値を比較した。被験者は、第2言語接触開始が出生前のグループ(G1)、出生時から2言語接触したが実験時まで言語環境継続しなかったグループ(G2)、第2言語接触開始が3歳から小学校入学前までの間のグループ(G3)、6歳から12歳のグループ(G4)、16歳以降のグループ(G5)、第2言語圏滞在経験が皆無か数カ月以内のグループ(G6)を対象に行った。その結果、G3はG1とG2に比べて前頭前野中央部と右ブローカ相当部位のfNIRS値（血液成分の酸化ヘモグロビン濃度変化と光路長の積）が高くなり、左ブローカ以外の脳部位での第2言語処理が行われていることが明らかとなった。また、第2言語接触開始年齢が16歳以降のグループでは、英語タスク実行時の方が日本語タスク実行時よりもfNIRS値が高くなった。更に、意味タスク実行時と文字タスク実行時では意味タスクの方が想起語数が多く、またfNIRS値も低くなるという結果となった。

* 藤本未来：大阪府立大学学生

** 田浦秀幸：立命館大学 言語教育情報研究科教授

第1章 はじめに

第1章では、言語と脳機能に関する先行研究を概観し、未解決分野の研究を特定するとともに、本研究を行う目的とリサーチクエスチョンを述べる。

1.1 先行研究

脳機能に関する研究は、19世紀、ウィーンの脳解剖学者であるガルが機能局在論を唱えたところから始まった。ガルは、脳の特定の部位が特定の機能を担い、その機能が発達するとその部分が隆起し、機能の劣っている部分は未発達になると考え、その結果は頭蓋骨の形に影響を与えると説いた。その後、ドイツの神経解剖学者であるブロードマンによってブロードマンの脳図(1909)が作成され、脳の構造に基づいて大脳皮質の地図が示された。ブロードマンが人間の脳につけた番号は、1番から52番までであるが、人間の脳に関しては12番から16番と48番から51番までは欠番となっている。こうして、脳は場所によって働きが異なるとする機能局在論が発展し、言語の機能を担う3つの言語野、ブローカ野、ウェルニッケ野、角回・縁上回は、それぞれ前頭葉、側頭葉、頭頂葉にあることがわかっている。フランスのブローカ(1861)は、左脳の前頭葉の梗塞によって発話の障害が生じることを報告し、言語の機能が脳の一部分に局在することを示した。この左脳の場所がブローカ野であり、ブロードマンの44野と45野にあたる。ドイツのウェルニッケ(1874)は、話し言葉の理解や、発話時の言葉の選択に障害が現れる言語障害を発見し、発話の機能を果たす場所をウェルニッケ野と名付けた。

言語に関する脳機能研究は、元来失語症などの言語障害を持つ患者を対象に行われてきたが、近年科学の発達により機能的脳画像を用いた言語機能の研究が盛んになり、健常者も含めて言語使用時の脳の活動についてより多くの知見が得られるようになってきた。脳機能研究に貢献してきた手法として、たとえば脳波(EEG: Electroencephalogram)、ポジトロン断層撮影法(PET: Positron Emission Tomography)、機能的磁気共鳴画像法(fMRI: Functional Magnetic Resonance Imaging)、脳磁図(MEG: Magnetoencephalography)、近赤外光分光法(fNIRS: Functional Near-infrared spectroscopy)があるが、言語刺激を得てからどの時点でどのような反応があるのか、また脳のどの部分が活動するのかという疑問は、こうした脳の働きを画像化する手法の発展によって明らかにされてきた。これらの脳機能計測手法は、時間分解能に優れるもの、空間分解能に優れるものなど、それぞれ異なる特徴を持つ。例えばfMRIは空間分解能に優れるため、脳内の場所を特定するのに適している。fNIRSは時間分解能に優れており、さらに実験中に頭を完全に固定する必要がなく、被験者に負担をかけずに自然な状態で実験が行えるという利点から、近年では乳幼児を対象とした実験にも適した手法として使われている(桐谷・林, 2007)。

fNIRSを用いた研究の一つに言語流暢性課題がある。これは、前頭葉機能検査の一つであり、ある条件に合致する単語などを、特定の時間内にどれだけ話したり書くことができるかを調べる課題である。

この言語流暢性課題を用いた研究に、英語母語話者である健常者と統語失調症患者を対象にfNIRSで前頭葉の活性状況を調べたものがある(Kubota *et al*, 2005 Ehlis *et al*, 2007)。この研

究では、意味カテゴリータスク(例えば、vegetable とパソコン画面に表示された後に、意味的に関係する言葉をできるだけ多く被験者に言わせるタスク)と文字タスク(例えば、F とパソコン画面に表示された後に、F から始まる言葉をできるだけ多く被験者に言わせるタスク)を行い、タスク実行時の前頭葉前部の血流濃度の変化を調べた。その結果、健常者は文字タスク実行時の方が意味カテゴリー実行時に比べて前頭葉の血流濃度が高くなる一方、統合失調症患者は意味カテゴリータスク実行時の方が血流濃度が高くなった。また、意味カテゴリータスクと文字タスク実行時の前頭葉の血流濃度の差は、統合失調症患者の方が大きいことがわかった。しかし、脳の左右については差がないことがわかった。この結果から、第一言語については、統合失調症患者にとって意味のつながりによって言葉を羅列していく課題タスクはより困難で、脳もより活性化されることがわかる。また、健常者にとっては意味カテゴリーで言葉を思い出す課題の方が易しく、血流量も少なくなるということがわかる。

このように、英語を第一言語とする健常者に関する実験では、意味に関連づけて言葉を想起する意味カテゴリータスクの方が脳血流の濃度が低くなることがわかった。さらに、英語以外の言語を第一言語とする被験者についても、意味カテゴリータスクの方が文字タスクよりも前頭葉の血流濃度が低くなるのかどうかという疑問から、次に日本語(平仮名)でタスクを行った研究も行われている。Hatta *et al.* (2009)は、23 人の日本語母語話者(健常者)を対象に、意味カテゴリータスク(例えば、「しろ」と提示し、「くろ」など意味カテゴリーの同じ単語を思い出す限り言わせる)と文字タスク(例えば、「し」を提示し、「し」で始まる単語をできるだけ多く言わせる)を行い、fNIRS で前頭葉前部の脳のfNIRS 値の違いを調べた。この実験の結果、前頭前野では、文字タスク実行時は意味カテゴリータスク実行時に比べてfNIRS 値が高くなることがわかり、さらに文字タスクでは左脳より右脳の方が賦活した。これらの結果より、日本人の健常者に第一言語(日本語)でタスクを行っても、文字タスクの方が言語に関わらずfNIRS 値は高くなり、脳が活性化されるということがわかる。つまり、第一言語の場合、健常者は文字から単語を連想するタスクの方がより血流量が増加し、脳の前頭前野が賦活することが明らかにされている。

こうした第一言語に関する研究が行われる一方で、第2言語使用時の脳の賦活部位を特定する研究、あるいは第一言語と第2言語の間では脳の活性化程度や活性場所が異なるのか、に関する課題は以前から研究されてきた。例えば、日本語を第一言語とする大学院生および大学生(上級学習者と中級学習者)を対象に英語のリーディング課題を与え、fNIRS を用いて前頭葉と左脳の血流量を調べた研究では、上級学習者と中級学習者間を比較すると前頭葉の血流増加量の割合には差がないという結果が報告されている(大石、2003)。しかし、このリーディング課題の上級学習者と中級学習者は TOEFL の総合得点によって分類されており、英語の能力が脳の血流量に関係するかに結論づけることは研究の余地がある。さらに言語流暢性課題を用いた fMRI 研究の中で、中国語が優勢である英中バイリンガル 12 人を対象に、中国語・英語タスク実行時に左脳がより賦活するという結果が出た研究もある(Gui Xue, Qi Dong, Zhen Jin, and Chuansheng Chenc, 2004)。

第2言語の学習開始年齢を群分けに用いた研究に、次のような報告がある。幼少のときからバイ

リンガルで育ったグループと、10歳頃から第2言語を習得したグループを対象にfMRIを用いて比較した研究の中で、バイリンガルの被験者は2つの言語による脳の活動領域がブローカ野の中で同じである一方、後から第2言語を習得したグループでは2つの言語による脳の活動領域がブローカ野の中で異なるという報告である(K.H.S.Kim, N.R.Relkin, K.M.Lee and J.Hirsch, 1997)。さらに、韓国語と英語のバイリンガルで、韓国語をL1とし、英語を12歳以降で習得した後期バイリンガル24人を被験者としたfMRI研究では、L1タスクよりもL2タスク実行時の方がより右脳が賦活するという結果がある。また、左楔前部、右側上頭小葉、左中央後頭回、左小脳においてはL1とL2ともに同じ場所が賦活することも明らかとなった。これらの研究により、第2言語の学習開始年齢が脳の活動領域に深く関係することが示唆されているが、活動の程度にどれほどの差があるかは未解決である。ただ、モノリンガル被験者とバイリンガル被験者を対象にした言語流暢性課題研究の中で、英語学習開始年齢が早いほど英語の単語タスクではより多くの単語を想起するという結果は出ている。しかし、意味カテゴリータスクに関しては、バイリンガル被験者はモノリンガル被験者よりも得点が低いという報告もある(José S. Portocarrero, Richard G. Burright, Peter J. Donovan, 2007)。第2言語接触開始年齢によって脳の賦活部位が異なるかどうかを調べた研究に、中国語と英語バイリンガルを対象にしたものがある(Weber&Nerille, 1996)。1歳から3歳、4歳から6歳、7歳から10歳、11歳から13歳、16歳以降のグループに文法診断テストを行い、ERP(event-related brain potentials)と行動データを分析した結果、11歳以降の第2言語接触だと左脳以外(前頭前野中央部、右ブローカ相当部位)での第2言語処理が大きくなることがわかった。つまり、11歳までに左脳での言語処理に関する側性化が完了することが示唆された。

以上のように、第一言語や第2言語使用時の脳活動に関する研究はこれまでに多く行われてきた。本研究ではこれらの研究を踏まえ、日本語と英語の両方を第一言語とするバイリンガル被験者、日本語優勢日英バイリンガル、優勢英日バイリンガルを対象に、第2言語との接触開始年齢が日本語と英語使用時の脳の活動領域や活動程度にどのように関係するかについて、fNIRS(近赤外分光法)を用いて明らかにしていく。fNIRSはfMRIのように大きな音が出ないため、実験タスクに被験者が集中しやすい上、被験者の体の位置や向きに制約を課さないため、小学校低学年の被験者から成人の被験者まで幅広い年齢層の被験者を対象にした実験が実行可能である。

1.2 リサーチクエスト

本研究では、第一言語を日本語とする日本語母語話者、第一言語を英語とする英語母語話者、日英両言語を第一言語とするバイリンガルを対象に、次のリサーチクエストを明らかにしていく。

- (1) 言語流暢性課題実行時に、日本語と英語使用時ではどちらの方が脳のfNIRS値が高くなるのか。
- (2) 両言語使用時のfNIRS値は、英語接触開始年齢によって異なるのか。
- (3) 言語流暢性課題の文字タスクと意味カテゴリータスク実行時を比較して、両タスク間にはfNIRS値に差があるのか。
- (4) 言語流暢性課題の文字タスクと意味カテゴリータスクはどちらのタスクの方が想起語彙数

は多いのか。

第2章 実験手順

本章では、被験者・データ収集方法及び分析方法を記載する。

本研究は、立命館大学研究推進プロジェクトとして 2010 年度に立命館大学大学院・言語教育情報研究科が採択された「脳科学による言語処理メカニズム解明研究：言語習得と保持・喪失」（研究代表者は同研究科教授の田浦秀幸）の一環として行われた fNIRS を用いた3研究の中の1実験であるので、倫理審査及び被験者の募集はすべて研究代表者により行われた。

2.1 被験者

本研究の主たる研究対象者である出生前・出生直後から日英両語に接触しているバイリンガル被験者をできるだけたくさん確保できるように、大阪の某国際学校で研究協力者の募集を行った。募集に先立ち立命館大学「人を対象とする研究倫理審査委員会」による審査を経た（2010年9月1日付けの承認番号は衣笠-人-2010-10）。その後、国際学校長（日本人校長及びインターナショナルスクール校長）から許可を得て、1年生から12年生（日本の一条校の小学1年生から高校3年生に相当）の各担任教員を通して研究目的・実験方法を記載した研究協力申し込み用紙を配布した（補遺3参照）。全員未成年である為に保護者の同意を示すサイン或いは捺印のある申し込み書を回収した結果、129人からの応募があった。学校から指定された期間内にこなせる人数に限りがあるために、99人に実験協力依頼を行った。ただし10人は諸事情の為に参加できず、合計89名の被験者からデータ収集を行った。時期は2010年9月20日から10月3日まで及び10月23日から31日（30日を除く）までの22日間で、平日は放課後・週末は終日同校内で行った。

統制群としては、(1)国際学校在校生であるが海外生活体験の無い一般中高生、(2)日本語または英語を母語として第2言語を思春期以降に習得したが非常に高いレベルまで達し、日常的に2言語を使用している同校の教職員、(3)英語圏滞在経験に関して多様な某私立大学(院)生の合計45名を被験者として含めた。尚、学生対象の実験は、2010年10月18日から22日の5日間にわたり研究代表者の勤務先大学の個人研究室で行われた（研究参加同意書は未成年者には上記と同様の方法で、成年の場合は本人から同意書を取った）。

データ収集後分析に取り掛かる前に、実験時撮影したビデオ・写真データと実験実施者による実験ノート（fNIRS機操作者・行動記録者のメモ）を検証し、タスク遂行時の不具合及びプロープ装着ミスが発見された場合と、右脳にブローカがある可能性のある左利きの被験者は分析から除外した。その結果、実験群89名・統制群45名の合計134名から3名を除外し、実験群88名と統制群43名の合計131名を分析対象者とした。

分析対象者は、下記基準により6グループに分けられた（表1）。出生前に母親の体内で既に2言語接触を始め、本研究の実験時にもその言語環境が継続されていたバイリンガル（両親の母語が異なるようなケース）のみ第1グループとし、1歳の誕生日以前に第2言語との接触を始めたがその言語環境が本研究実施時まで継続しなかった（日本人の両親のもとにアメリカで生まれたが、その後帰国したようなケース）バイリンガルは第2グループとした。第2言語との接触開始が3歳以降で公教育開始前であれば第3グループ、小学校時代（6歳～12歳）であれば第4グループ、

第2言語習得開始年齢が言語流暢性課題に及ぼす影響

16 歳以降であれば第5グループとした。尚、グループ定義に用いた「言語接触」には「学校教育における外国語」との接触は含まれず、両親や地域社会の人々との大量のインターアクションを伴う言語接触のみを含めた。

表1 被験者グループの定義

グループ	グループ定義	人数	年齢		第2言語圏滞在開始年齢		第2言語接触期間	
			平均	標準偏差	平均(年齢)	標準偏差	平均(年)	標準偏差
1	出生前から2言語接触開始	25	12.70	3.70	0.00**	0.00	12.28**	3.85
2	出生時から2言語接触したが、実験時まで言語環境継続せず	20	16.75	6.21	0.75**	0.91	11.00**	4.05
3	第2言語接触開始が3歳から小学校入学前までの間	21	15.88	3.89	4.40	0.79	7.06	2.56
4	第2言語接触開始が小学生時代(6歳~12歳)	21	15.53	2.60	7.57	1.72	4.43	1.63
5	第2言語接触開始が16歳以降	18	33.11**	13.46	20.06	7.69	6.68	8.75
6	第2言語圏滞在経験が皆無か数カ月以内	26	21.67**	6.40	N/A	N/A	N/A	N/A

** $p < .01$

各グループの第2言語接触背景を見ると、実験時の平均年齢は16歳以降に第2言語圏滞在経験のある第5グループ(平均33.1歳)が他のグループよりも年齢が高い一方で、第2言語圏滞在経験の無い第6グループ(平均22.7歳)は第2(平均16.8歳)・3(平均15.9歳)グループと差は無いが、第5グループより低く、その他のグループ(12.7~15.5歳)よりも高かった。第2言語圏滞在開始年齢は、第1・2グループ間に差は無く他のグループよりも若い年齢(1歳前)であった。第2言語接触期間については、第1・2グループが11年以上と他グループよりも長く、第3~5グループは4年~7年半で群間差が無かった。この第2言語接触開始年齢による群分けは概ね、Web-Fox et al.(1996)の研究手法に従った。尚、実験タスク遂行時のfNIRS値の差がこのグループ(第2言語接触開始年齢)差に起因するのではなく、実験時の年齢に起因する可能性があるため、その確認の

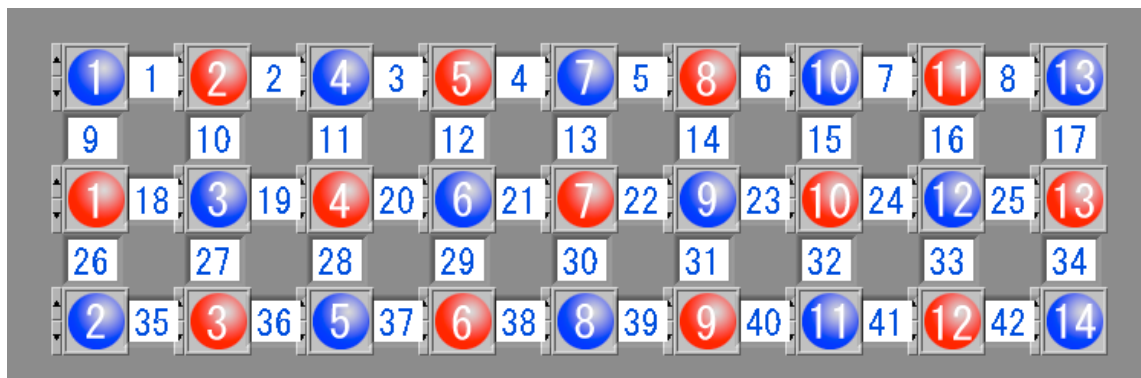
ために次のデータ比較を行った。被験者全員に右手で30秒間のタッピング動作を行ってもらい(左脳の運動野を賦活させ)、その間の fNIRS データを収集した。先ず第1～4グループから無作為に4名、第5・6グループからも無作為に4名抽出し、下 2.4 の本実験収集生データの分析方法と全く同様の手法で、左脳のブローカ部位の fNIRS 値を8被験者について算出した。t 検定の結果、第1～4グループの4名と、第5・6グループの4名との間には差が無かった($t(153)=1.497, p>.05$)。この数値を根拠に、年齢の低いグループと高いグループ間に VFT 中の fNIRS 値に関して差がある場合、実験時の実年齢の影響を排除して本研究ではデータ解釈を進めることにする。

2.2 データ収集方法

実験群の被験者からは、通学先の国際学校内の空き教室を利用した急造実験室でデータ収集を行った。統制群の被験者も、同校在籍の一般生と教職員は同じ部屋でデータ収集を行った。大学(院)生は、研究代表者の研究室でデータ収集を行った。実験場所にかかわらず全被験者からは個別に約 40 分(入室から退出まで)かけてデータ収集を行った。

タスク開始前に、(1)氏名確認、(2)被験者番号を含む顔写真撮影・頭部プローブ位置確認用左・中央・右からの写真撮影、(3)頭中特定と頭周計測、(4)フレキシブルプローブホルダーの頭部への設置と27プローブの装着、(5)タスク説明ビデオ聴視を行った。(3)～(4)実施中に言語背景やエジンバラ利き手アンケート調査を実施した(補遺3)。タスク開始に先立って、ホルダー装着の違和感やタスク中の気分の変化等に際しては実験を即刻中止する旨を伝えた。タスク自体は約 20 分から 25 分間で、終了後は謝礼の図書カードを渡し、質問等あれば事後にできるよう研究主担者の連絡先も渡した。

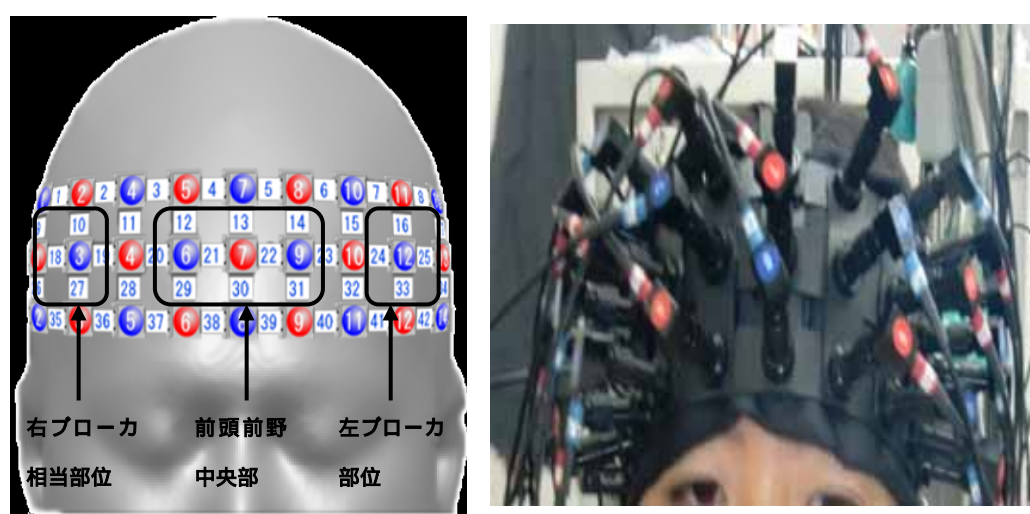
図1 プローブホルダー図



実験には機能的近赤外分光装置(functional near-infrared spectroscopy: fNIRS)として、FOIRE-3000(島津製作所)と OMM-3000(島津製作所)を用いた。両機は全く同一の機器であるが、後者は医療機器としての薬事承認を受けており(製造販売承認番号 21600BZZ00195000)、ビデオカメラ等の周辺機器を一切接続できない仕様になっている為に、被験者の実験時の様子を記録するに後者使用時のみ別途外部ビデオカメラ(SONY HDR-XR500V)を設置した(前者使用時

には付属のビデオカメラを使用した)。両機とも、入射光用 13 光ファイバー・プローブ(図1の赤丸数字)と受光用 14 光ファイバー・プローブ(同青丸数字)が、縦 3 列・横 9 列に 3 センチ間隔で長方形に並べられた 42 チャンネルからなるホルダーを、被験者に装着して $780 \pm 5\text{nm}$, $805 \pm 5\text{nm}$, $830 \pm 5\text{nm}$ の波長の近赤外光を使用して血中のヘモグロビンの変化量を計測する。プローブ及びプローブホルダー装着に当たっては、最下列が脳波記録国際 10-20 法の T3-Fp1-Fz-Fp2-T4 のラインに一致するように注意し、頭周及び正中線に沿って Cz-Nz(鼻根点)と Cz(最頭頂部)間の距離を記録した。

図2 頭部装着イメージ図



(左ブローカ部位、前頭前野中央部、右ブローカ相当部位の場所は被験者によって異なる)

タスク遂行中は、fNIRS 機・被験者の顔の様子を記録するためのビデオカメラ・行動データを記録するための IC レコーダー(SONY PCM-D50)による計測を行った。fNIRS 機は、前頭葉の 42 部位における「血液成分のヘモグロビンの濃度変化(mM)と光路長(cm)の積」を酸化ヘモグロビン(oxy-Hb)、脱酸化ヘモグロビン(deoxy-Hb)、総合ヘモグロビン(total-Hb)値としてモニター上に 3 色のトレンドグラフとして瞬時に提示する。この中で fNIRS 研究は代表値として oxy-Hb を用いることが多いので(福田、2009)、本研究も前例に従った。

fNIRS 機内で oxy-Hb は 42 チャンネル別に fNIRS データとして数列として記録されるのでそのデータを統計ソフトで処理しやすいように Excel file として、音声データは mp3 ファイルとして、ビデオデータは AVCDH(CPI)ファイルとして、頭部写真は JPEG ファイルとして分析用に保存した。またアンケート回答内容、エジンバラ利き手テスト結果、行動データは実験中は所定用紙に手書きで書き込み、その後 Excel にデータ入力を行った。

2.3 使用タスク

実験は、レスト 30 秒とタスク 60 秒が交互になるブロックデザインを組んで行った。これにより、

文字タスクやカテゴリータスク直前のレストタスクをベースラインと捉えることができた。レストタスクは、日本語では「あ、い、う、え、お、あ、い、う」と、あ行を、英語では'a, b, c, d, e, a, b, c'と、アルファベット最初の5文字をゆっくりと口頭で言い続ける指示を出した。タスクは2タイプ4種類行った。1 文字だけ提示して、その文字から始まる単語をできるだけ沢山言ってもらう文字タスク('き'なら'きせつ'等)と、範疇を示す語を提示してその範疇に属する語をできるだけ沢山言ってもらう意味タスク('job'なら'teacher'等)を日英語で行った。各文字・単語はコンピューター(Apple 社 MacBook Pro 17")のモニター上に20秒ずつ提示されるようマイクロソフト社のパワーポイントでタスクを作成した。提示文字・単語及び提示時間は下表の通りである。使用言語順による不要な媒介変数を取り除くために、日英版と英日版を作成し、カウンターバランスを取った。

表2 : VFT タスク

V F T (日 英)	レスト (日)	き	レスト (英)	F	レスト (日)	動物	レスト (英)	food	レスト (英)
		し		A		スポーツ		job	
		あ		C		色		country	

V F T (英 日)	レスト (英)	F	レスト (日)	き	レスト (英)	food	レスト (日)	動物	レスト (日)
		A		し		job		スポーツ	
		C		あ		country		色	

タスクに使用した「き」「し」「あ」「どうぶつ」「スポーツ」「いろ」「F」「A」「C」「food」「job」「country」は先行研究(村井他, 2004、安井他, 2004)を参考に作成した。

2.4 データ分析方法

fNIRS データは、タスク遂行中の42チャンネルそれぞれの酸化ヘモグロビン・脱酸化ヘモグロビン・総合ヘモグロビンの変化量として130ミリ秒(0.13秒)毎に本体に記録される。この生データは、130 m.s.前の血液中のヘモグロビン濃度の変化量と比較した光路長の積であり、そのまま被験者間及び被験者内比較に用いることはできず、必ずベースラインデータとの差分を求める必要がある。即ち、ブロックデザインのタスク生データ(の数列)からレスト生データ(の数列)を引いた差分を全タスクの全42チャンネルについて算出し、それを被験者内・被験者間比較するのが理想的である。但し、例えばVFT実験ではタスク開始から終了まで390秒かかるので、被験者1人の生データをExcelに書き出すだけでも、3,000行×42(チャンネル)列×3(oxy-Hb, deoxy-Hb, total-Hb)列の膨大なデータ量となる。本研究では、これをすべてを分析対象とするのではなく、(1) 先ずoxy-Hbだけを先行研究に従い分析対象とし、次に(2) 42チャンネルの中で本研究目的に合致する脳部位を特定し、そのデータを分析対象とし、最後に(3) 6群それぞれから各4名を無作為抽出し、そのレスト平均値をグループのベースラインデータと設定し、群構成員全員

た。この(2)、(3)の手法は fMRI 実験データ処理に関する芋阪(2010)の手法を踏襲した。但し、fNIRS に最も適した研究デザインであり、且つ言語研究には不可避である「個人差」を見るために、各群から抽出した4名だけは、それぞれのベースラインデータを基にした差分データを算出し、個人内比較も行った。以下に、分析対象の脳部位の特定方法とその理由、群間及び群内分析方法を記載する。

2.4.1 分析対象3脳部位の特定

各被験者毎に、実験時の頭部写真(左・中央・右)とビデオ映像を参考にして、(i)左ブローカ部位周辺の3~4チャンネル(17, 25, 34チャンネル付近)、(ii)前頭前野中心部周辺の3~5チャンネル(21, 22, 30チャンネル付近)、(iii)右のブローカ相当部位周辺3~4チャンネル(9, 18, 26チャンネル付近)を実験担当者2名で特定した。但し、oxy-Hb/deoxy-Hb/total-Hbのトレンドグラフから明らかに外的要因(プローブ外れや頭部の大きな動き等)でドリフトしていると判断できるデータは、そのチャンネルデータを分析対象から除外した。左右ブローカ部位を分析対象とするのは、本研究目的として第2言語接触開始年齢と言語賦活部位の関連性を見るためである。一方、前頭前野中心部に関しては未だに局在機能が解明されていないが、注意や計画性・創造性に関わる可能性を示唆する研究報告があるので、均衡バイリンガルと優勢バイリンガルの差を見るのに適切な部位であると判断し分析対象とした。

2.4.2 グループ間比較

(1) ベースラインデータの特定: 第1グループからランダムに4名を抽出し、30秒間レストタスク5回の平均値を、脳左・中央部・右部位別に算出しプロット化した。タスク開始直後と終了直前の5秒間を含めないよう留意して、ピークを含む10秒間を3部位別に特定した。このレスト代表値となる10秒間のfNIRSデータを第1グループ全員から抽出し、各被験者の(タスク種類とは無関係に)ベースラインデータとした。

(2) タスクデータの分析対象時間部分の特定: 第1群からの抽出被験者4名の4タスクデータに関しても、平均値を3脳部位別に求め、12(4タスク×3部位)プロット図を作成した。各タスクは60秒間であるが、1単語またはカテゴリー語提示は20秒間継続するので、タスク開始当初の5秒間と終了直前の5秒間を含まない点以外に、タスク開始後20秒と40秒データをまたがないように留意して、ピークを含む10秒間を4タスク遂行中の脳3部位について特定した。この12代表値となる10秒間のfNIRSデータを、第1グループ全員から抽出した。

(3) 変化量の算出: 上記(2)で求めたタスク代表値から(1)で求めたベースラインデータを引いた差分を、4タスク別・3脳部位別に各被験者毎に算出した(図3と図4を参照)。

(4) グループ平均値の算出: 上記(3)で求めた25人(第1グループ)の平均値を、4タスク別・3脳部位別に算出した。

(5) 全グループの平均値の算出: 上記(1)~(5)の手順をグループ2~6についても踏んで、グループ平均値を4タスク別・3脳部位別に算出し、3元配置の分散分析(6グループ×4タスク×3脳部位)で差を統計分析した。主効果が見られた場合は、多重比較(Bonferroni)を行い、具体的に有意差のあるグループ・タスク・脳部位を特定した。

図3 左ブローカ部位のタスク10秒

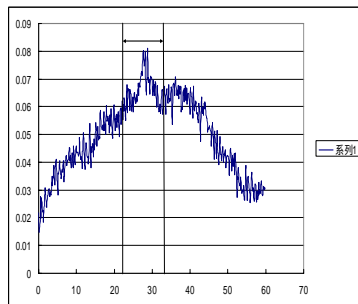
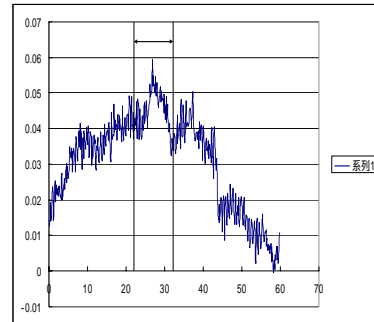


図4 左ブローカ部位のベースライン10秒



左ブローカ部位のタスク10秒(グループ平均)から左ブローカ部位のベースライン10秒(各グループの抽出被験者4名の平均)を引く」

タスク

レスト

0.010198
0.00431
-0.00088
-0.00442
-0.00648
-0.00372
0.002483
0.006999
0.000944
-0.00746

10秒

0.000346
-0.00914
-0.00862
-0.0015
0.030219
0.00573
0.025061
0.029094
0.029931
0.071376

10秒

2.4.3 各被験者内比較

6グループ合計131人それぞれのfNIRSデータを整理(タスクデータからベースラインデータを引いた差分を出)して、被験者内比較をし、グループ内で平均値を求めるのは膨大な作業量を伴うので、各群から無作為に4名抽出し、個人内タスク比較を行った。尚、無作為抽出の結果、群間

比較時の4名とは全く異なる被験者が各群から抽出された。

手順としては、まず、各被験者毎に5回のレストタスク時のfNIRSデータ平均値を脳の3部位別に求めてベースラインデータとした。次に、3部位別に各4タスクとベースラインデータの差分を算出して各タスクデータとした。差分算出時に、タスクは60秒であるのに対してレストは30秒であるので、レスト平均値数列を乱数を用いて60秒の数列に変換した後、差分を出した。このようにして求められた4タスク・3脳部位別データ(12列)を繰り返しの分散分析にかけて、個人内タスク比較を行った。有意差があれば、引き続き多重比較(Bonferroni)を行い、具体的に有意差のあるタスク・脳部位を特定した。この作業を24人分(6群から4人ずつ)繰り返した。

2.4.4 行動データ

ひらがな3文字とアルファベット3文字(単語課題)及び日本語3単語と英語3単語(カテゴリー課題)がモニター上にそれぞれ20秒間提示され、被験者は刺激文字で始まる単語や、刺激語により想起される語をできるだけ沢山言うことが求められた。例えば'F'提示なら'family' 'food'など、'動物'なら「きりん」「ゾウ」などと答えるが、20秒間に答えることができた単語を全て書きとり行動データとして集計し、fNIRSデータ解析時に参考にすることにした。音声データを基にこの行動データは集計された。

第3章 結果

本章では、グループ・タスク・脳部位に差があったかどうかに関する全体結果、言語流暢性課題のグループ1～グループ6のグループ間比較結果、グループ内比較結果、行動データ結果を順に提示する。

3.1 グループ・タスク・脳部位間の差

6グループ(対応無し)・4タスク(対応有り)・脳の3部位(対応無し)の3元配置の分散分析を行った結果、6グループ間に主効果があり($F(3,5599)=439.871, p<.001$)、4タスク間に主効果があり($F(2,5599)=180.651, p<.001$)、脳の3部位間にも主効果があり($F(5,5599)=332.523, p<.001$)、かつタスクと脳部位間に交互作用($F(6,5599)=83.615, p<.001$)があることが判明した。これより、6グループ間、4タスク間、3脳部位間に差があることがわかった。さらに、多重比較(Bonferroni)を用いて調べた結果、4タスク間に全て有意差があり(英語文字タスク平均.015>英語意味タスク平均.01>日本語文字タスク平均.007>日本語意味タスク平均.004)、脳3部位間にも全て有意差があり(前頭前野中央部平均.012>左ブローカ部位平均.008>右ブローカ相当部位平均.006)、グループ間ではグループ2とグループ4、グループ2とグループ6、グループ4とグループ6以外全てに意差があることがわかった。次に、グループ間、タスク間、脳部位間の差をさらに詳しく見ることにする。

3.2 グループ間比較

三元配置の分散分析で6グループ間に主効果があることがわかったので、次にグループ間の差異をタスク・脳部位別に提示する。

多重比較の結果(表3)、日本語文字タスクの全部位に関して、グループ3(第2言語接触が3歳

第2言語習得開始年齢が言語流暢性課題に及ぼす影響

から小学校入学前までのグループ)が最もfNIRS値が高く、左ブローカ部位ではグループ1(出生前から2言語接触開始のグループ)とグループ6(第2言語圏滞在皆無あるいは数カ月以内のグループ)に差がなかった。前頭前野中央部では、グループ2(出生時から2言語接触したが、実験時まで言語環境が継続しなかったグループ)とグループ6に差がなかった。右ブローカ相当部位では、グループ1とグループ6、グループ2とグループ4(第2言語接触開始が6歳から12歳のグループ)にそれぞれ差がないという結果になった。

表3 日本語文字タスクの脳部位別結果

	日本語文字タスク 左ブローカ部位			日本語文字タスク 前頭前野中央部			日本語文字タスク 右ブローカ相当部位		
グループ	平均 値	標準偏差	N	平均値	標準偏差	N	平均値	標準偏差	N
1	.0031	.00268	78	.0125	.00289	78	-.0058	.00678	78
2	.0083	.00301	78	.0172	.00180	78	.0056	.00408	78
3	.0135	.00146	78	.0314	.00141	78	.0175	.00248	78
4	-.0152	.00519	78	.0046	.00237	78	.0050	.00275	78
5	-.0008	.00232	78	.0032	.00464	78	.0019	.00307	78
6	.0043	.00361	78	.0160	.00145	78	-.0043	.00390	78
総和	.0022	.00956	468	.0141	.00971	468	.0033	.00868	468

F (5,462)=709.522, $p<0.01$

F (5,462)=1142.198, $p<0.01$

F (5,462)=325.731, $p<0.01$

次に、英語文字タスクの脳部位別多重比較結果(表4)より、左ブローカ部位では日本語文字タスクとは反対にグループ4(第2言語接触開始が6歳から12歳のグループ)が最もfNIRS値が高く、グループ1とグループ5(第2言語接触開始が16歳以降のグループ)、グループ3とグループ6に差はなかった。前頭前野中央部と右ブローカ相当部位は共通してグループ3が高く、逆にグループ1が最もfNIRS値が低いことがわかった。

表4 英語文字タスクの脳部位別結果

	英語文字タスク 左ブローカ部位			英語文字タスク 前頭前野中央部			英語文字タスク 右ブローカ相当部位		
グループ	平均 値	標準偏 差	N	平均値	標準偏差	N	平均値	標準偏差	N
1	.0132	.00190	78	.0094	.00300	78	-.0007	.00586	78
2	.0033	.00458	78	.0107	.00316	78	.0137	.00569	78

第2言語習得開始年齢が言語流暢性課題に及ぼす影響

3	.0170	.00132	78	.0287	.00117	78	.0205	.00234	78
4	.0282	.01575	78	.0189	.00529	78	.0143	.00213	78
5	.0109	.00266	78	.0117	.00113	78	.0104	.00295	78
6	.0167	.00458	78	.0196	.00142	78	.0248	.00381	78
総和	.0149	.01032	468	.0165	.00735	468	.0138	.00902	468

F (5,462)= 104.908, $p<0.01$

F (5,462)= 493.380, $p<0.01$

F (5,462)= 363.910, $p<0.01$

日本語意味タスクに関しては多重比較の結果(表5)、左ブローカ部位ではグループ4の fNIRS 値が明らかに高く、グループ6が最も低かった。前頭前野中央部と右ブローカ相当部位は共通してグループ3がグループ全体を通して高い値となった。

表5 日本語意味タスクの脳部位別結果

	日本語意味タスク 左ブローカ部位			日本語意味タスク 前頭前野中央部			日本語意味タスク 右ブローカ相当部位		
グループ	平均 値	標準偏差	N	平均値	標準偏 差	N	平均値	標準偏 差	N
1	.0058	.00256	78	.0042	.00659	78	.0004	.01243	78
2	.0034	.00536	78	.0071	.00204	78	-.0048	.00568	78
3	.0034	.00129	78	.0245	.00100	78	.0111	.00183	78
4	.0179	.01677	78	.0035	.00197	78	.0004	.00350	78
5	.0063	.00289	78	.0026	.00208	78	-.0106	.00274	78
6	-.0059	.00201	78	.0038	.00242	78	-.0078	.00237	78
総和	.0051	.01015	468	.0076	.00835	468	-.0019	.00923	468

F (5,462)= 82.396, $p<0.01$

F (5,462)= 531.145, $p<0.01$

F (5,462)= 129.306, $p<0.01$

一方英語意味タスクの脳部位別多重比較の結果(表6)、左ブローカ部位では、グループ5の fNIRS 値が最も高く、日本語意味タスクとは反対にグループ4の値は最も低かった。前頭前野中央部では他のタスク同様グループ3が最も高く、グループ1が最も低い結果になった。右ブローカ相当部位はグループ5が最も高く、グループ1が最も低いことがわかった。

表6 英語意味タスクの脳部位別結果

	英語意味タスク 左ブローカ部位			英語意味タスク 前頭前野中央部			英語意味タスク 右ブローカ相当部位		
グループ	平均 値	標準偏差	N	平均値	標準偏差	N	平均値	標準偏差	N

第2言語習得開始年齢が言語流暢性課題に及ぼす影響

1	.0004	.01243	78	-.0019	.00439	78	-.0065	.01850	78
2	-.0048	.00568	78	.0042	.00226	78	.0039	.00429	78
3	.0117	.00131	78	.0258	.00179	78	.0203	.00171	78
4	-.0128	.00619	78	.0090	.00252	78	.0134	.00227	78
5	.0316	.00274	78	.0106	.00136	78	.0236	.00368	78
6	.0051	.00181	78	.0046	.00137	78	.0093	.00223	78
総和	.0052	.01540	468	.0087	.00897	468	.0107	.01288	468

F (5,462)= 467.323, $p<0.01$

F (5,462)= 1105.546, $p<0.01$

F (5,462)= 147.654, $p<0.01$

全タスクを通して、前頭前野中央部ではグループ3の fNIRS 値が最も高くなり、右ブローカ相当部位では英語文字タスクを除いた全タスクに関してグループ1の fNIRS 値が一番低くなる傾向があることがわかった。

3.3 グループ内比較

三元配置の分散分析結果より4タスク間・脳の3部位間に主効果があることがわかったので、次に、各グループ内で Task と部位ごとに比較をした結果をグループごとに提示する。

3.3.1 グループ1

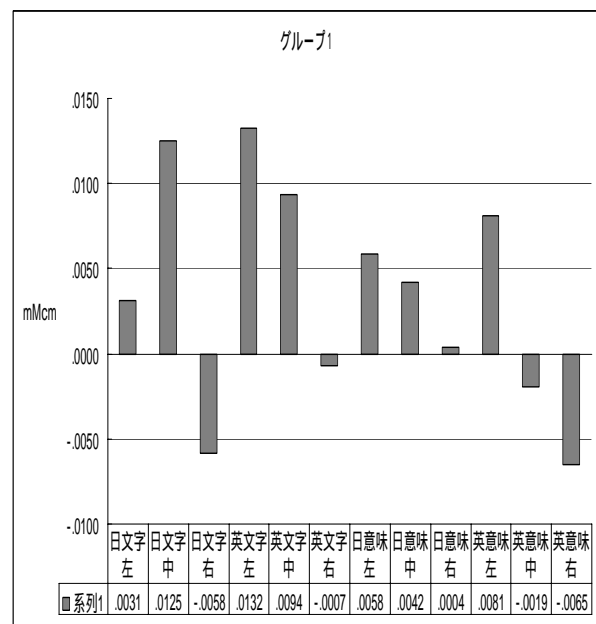
グループ1 (出生前から2言語に接し実験時まで同じ言語環境が続いたグループ) の左ブローカ部位では、文字タスクも意味タスクも、英語の方が fNIRS 値が高くなったが、前頭前野中央部では日本語の方が高くなった。また、全タスクとも共通して、右ブローカ相当部位はほとんど賦活しなかった(表7と図5)。

表7 タスク・部位別結果

F (11,67)=169.016, $p<0.01$

タスク	N	標準偏差	平均値
日文字左	78	.00268	.0031
日文字中	78	.00289	.0125
日文字右	78	.00678	-.0058
英文字左	78	.00190	.0132
英文字中	78	.00300	.0094
英文字右	78	.00586	-.0007
日意味左	78	.00256	.0058
日意味中	78	.00659	.0042
日意味右	78	.01243	.0004
英意味左	78	.00258	.0081
英意味中	78	.00439	-.0019
英意味右	78	.01850	-.0065

図5 タスク・部位別の平均値比較



3.3.2 グループ2

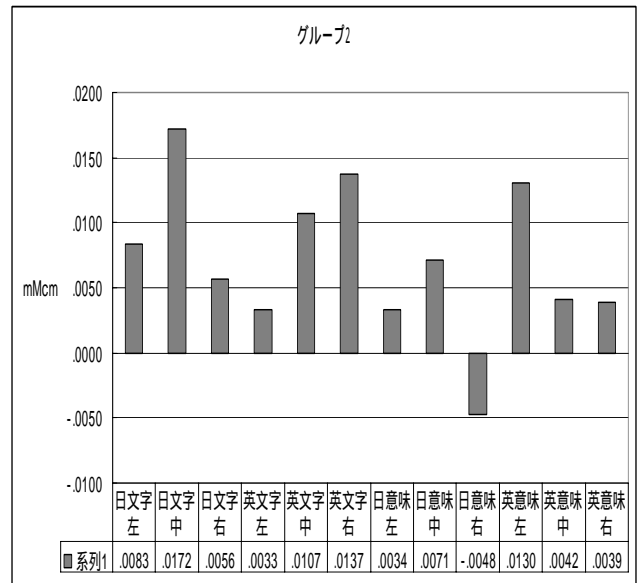
グループ2 (出生時から2言語に接触したが実験時まで同じ言語環境が続かなかったグループ) の左ブローカ部位では、文字タスクは日本語の方が、意味タスクは英語の方が、fNIRS 値が高くなるという結果になった。前頭前野中央部では、文字タスクも意味タスクも日本語の方が賦活し、右部位では英語の方が fNIRS 値が高くなった (表 8 と図 6)。

表8 タスク・部位別結果

F (11,67)=779.100, $p<0.01$

タスク	N	標準偏差	平均値
日文字左	78	.00301	.0083
日文字中	78	.00180	.0172
日文字右	78	.00408	.0056
英文字左	78	.00458	.0033
英文字中	78	.00316	.0107
英文字右	78	.00569	.0137
日意味左	78	.00536	.0034
日意味中	78	.00204	.0071
日意味右	78	.00568	-.0048
英意味左	78	.00357	.0130
英意味中	78	.00226	.0042
英意味右	78	.00429	.0039

図6 タスク・部位別の平均値比較



3.3.3 グループ3

グループ3 (第2言語接触開始年齢が3歳から小学校入学前までの間のグループ) の左ブローカ部位と右ブローカ相当部位では、文字タスクと意味タスクともに英語の方が日本語より fNIRS 値が高かった。前頭前野中央部では文字タスクの場合、日本語の方が英語より fNIRS 値が高く、逆に意味タスクでは英語の方が高い結果となった (表 9 と図 7)。

図7 タスク・部位別の平均値比較

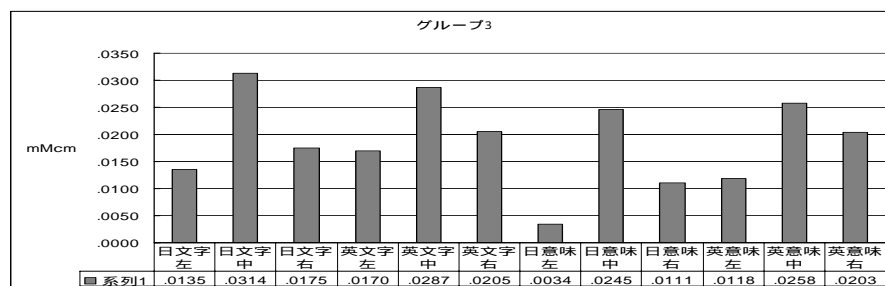


表9 タスク・部位別結果

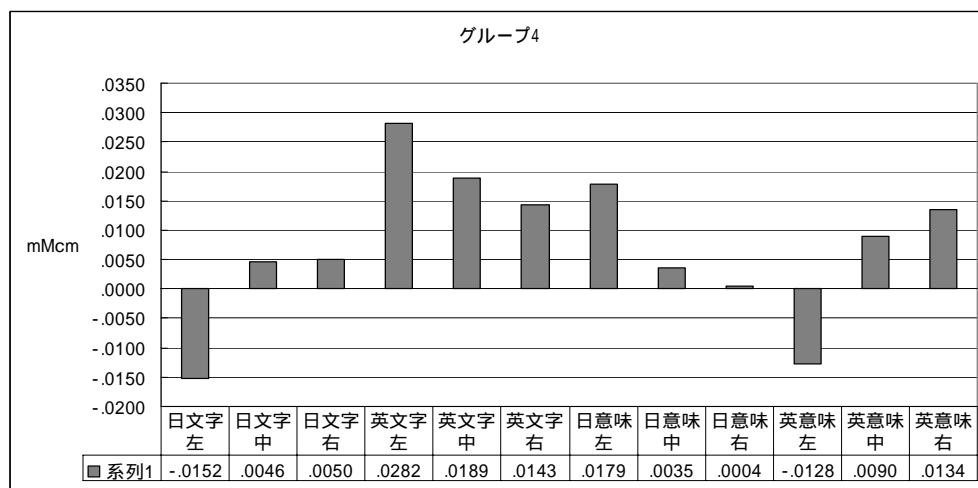
F (11,67)=2800.265, $p<0.01$

タスク	N	標準偏差	平均値
日文字左	78	.00146	.0135
日文字中	78	.00141	.0314
日文字右	78	.00248	.0175
英文字左	78	.00132	.0170
英文字中	78	.00117	.0287
英文字右	78	.00234	.0205
日意味左	78	.00129	.0034
日意味中	78	.00100	.0245
日意味右	78	.00183	.0111
英意味左	78	.00122	.0118
英意味中	78	.00179	.0258
英意味右	78	.00171	.0203

3.3.2 グループ4

グループ4(第2言語接触開始が6歳から12歳までのグループ)の左ブローカ部位では、文字タスクは英語の方が日本語よりfNIRS値が高くなったが、意味タスクは日本語の方が高くなった。前頭前野中央部と右ブローカ相当部位では、文字タスクも意味タスクも、英語の方が日本語より高い結果になった(表10と図8)。

図8 タスク・部位別の平均値比較



第2言語習得開始年齢が言語流暢性課題に及ぼす影響

表10 タスク・部位別結果

F (11,67)=534.154, $p<0.01$

タスク	N	標準偏差	平均値
日文字左	78	.00519	-.0152
日文字中	78	.00237	.0046
日文字右	78	.00275	.0050
英文字左	78	.01575	.0282
英文字中	78	.00529	.0189
英文字右	78	.00213	.0143
日意味左	78	.01677	.0179
日意味中	78	.00197	.0035
日意味右	78	.00350	.0004
英意味左	78	.00619	-.0128
英意味中	78	.00252	.0090
英意味右	78	.00227	.0134

3.3.3 グループ5

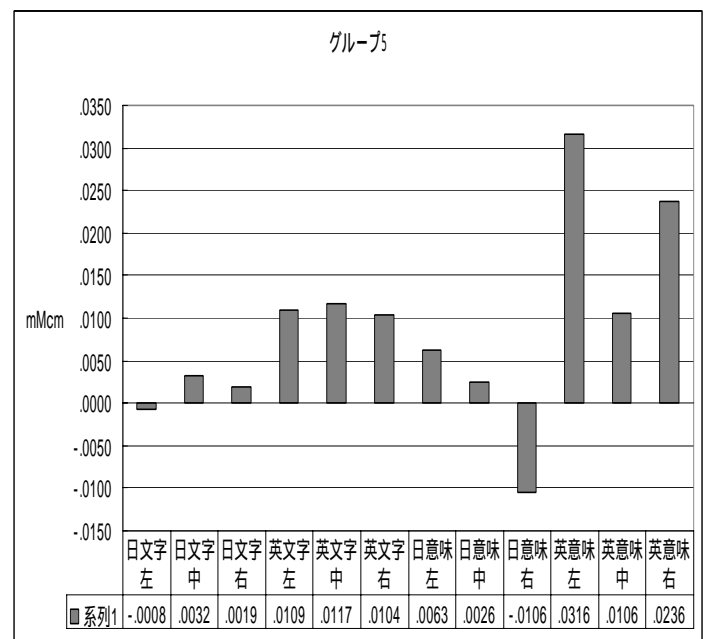
グループ5 (第2言語接触開始が16歳以降のグループ) では、全タスクの全部位に関して、英語の方が日本語よりfNIRS値が高くなる傾向が見られ、統計的に有意な差があった(表11と図9)。

表11 タスク・部位別結果

F (11,67)=1385.282, $p<0.01$

タスク	N	標準偏差	平均値
日文字左	78	.00232	-.0008
日文字中	78	.00464	.0032
日文字右	78	.00307	.0019
英文字左	78	.00266	.0109
英文字中	78	.00113	.0117
英文字右	78	.00295	.0104
日意味左	78	.00289	.0063
日意味中	78	.00208	.0026
日意味右	78	.00274	-.0106
英意味左	78	.00274	.0316
英意味中	78	.00136	.0106
英意味右	78	.00368	.0236

図9 タスク・部位別の平均値比較



3.3.4 グループ6

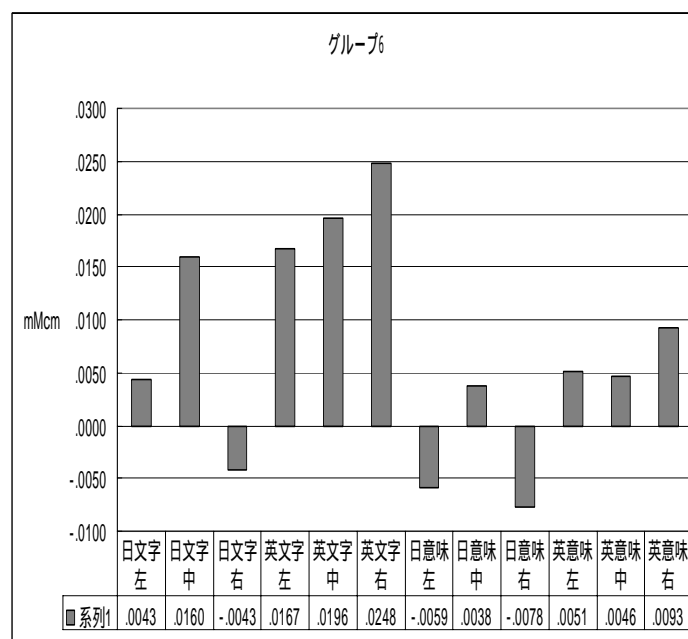
グループ6(第2言語圏滞在経験が皆無あるいは数カ月以内のグループ)では、左ブローカ部位と右ブローカ相当部に関して、全タスクで英語の方が日本語より fNIRS 値が高くなる傾向が見られた。

表12 タスク・部位別結果

F (11,67)=4357.345, $p<0.01$

タスク	N	標準偏差	平均値
日文字左	78	.00361	.0043
日文字中	78	.00145	.0160
日文字右	78	.00390	-.0043
英文字左	78	.00458	.0167
英文字中	78	.00142	.0196
英文字右	78	.00381	.0248
日意味左	78	.00201	-.0059
日意味中	78	.00242	.0038
日意味右	78	.00237	-.0078
英意味左	78	.00181	.0051
英意味中	78	.00137	.0046
英意味右	78	.00223	.0093

図10 タスク・部位別の平均値比較



以上の結果をまとめると、出生前から第2言語に接触していたグループ1、出生時から2言語に接触したが実験時まで同じ言語環境が続かなかったグループ2、第2言語接触開始年齢が3歳から小学校入学前までの間のグループ3、第2言語接触開始が6歳から12歳のグループ4に関しては、全体を通して共通した傾向は見られなかった。しかし、第2言語接触開始が16歳以降のグループ5、第2言語圏滞在経験が皆無あるいは数カ月以内のグループ6では、英語の方が日本語より fNIRS 値が高い傾向が見られた。

3.4 行動データ結果

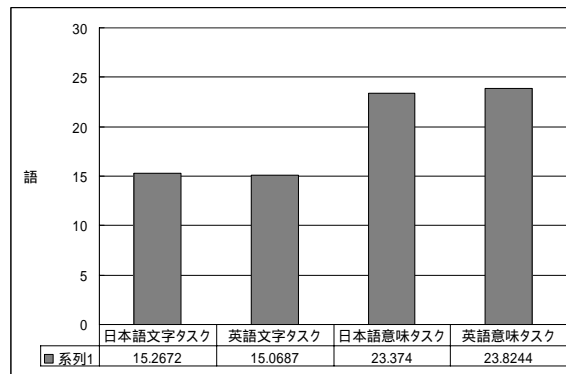
日本語文字タスク、英語文字タスク、日本語意味タスク、英語意味タスクの各タスクの想起語数のグループ間比較をクラスカル・ウォリス検定を用いて行った結果、日本語文字タスクに関しては6グループ間に差がなく($p>.05$)、英語文字タスクに関しては6群間に差があり(二乗=12.65, $df=5$, $p<.05$)、日本語意味タスクに関しては6群間に差がなく($p>.05$)、英語意味タスクに関しては6群間に差がない($p>.05$)ということがわかった。(下表13参照)

表13 4タスクの想起語彙数結果

	N	平均値	標準偏差	
日本語文字タスク	131	15.2672	5.15875	二乗= 6.576, p>.05
英語文字タスク	131	15.0687	4.95082	二乗=12.65, p>.05
日本語意味タスク	131	23.374	6.30425	二乗= 3.198, p>.05
英語意味タスク	131	23.8244	7.32486	二乗= 8.423, p>.05

英語文字タスクに関しては6グループ間に差があったので、更にマン・ウィットニー検定を全ての組み合わせについて行った結果、グループ5(第2言語接触開始が16歳以降のグループ)がグループ3(第2言語接触開始年齢が3歳から小学校入学前までの間のグループ)、グループ4(第2言語接触開始が6歳~12歳のグループ)、グループ6(第2言語圏滞在経験が皆無あるいは数カ月以内のグループ)よりも想起語数が有意に多いことが判明した。さらに、タスク間想起数に差があるかを明らかにするために、フリードマン検定を行った。その結果、4タスク間に差があることが判明した。(二乗=224.25, df=3, p<.001)そこで、全てのタスクの組み合わせに関してウィルコクソン検定を行った結果、日本語意味タスクと英語意味タスクの想起語数が日本語文字タスクと英語文字タスクの想起数よりも有意に多いことが判明した(図11参照)。

図11 4タスクの想起語彙数比較



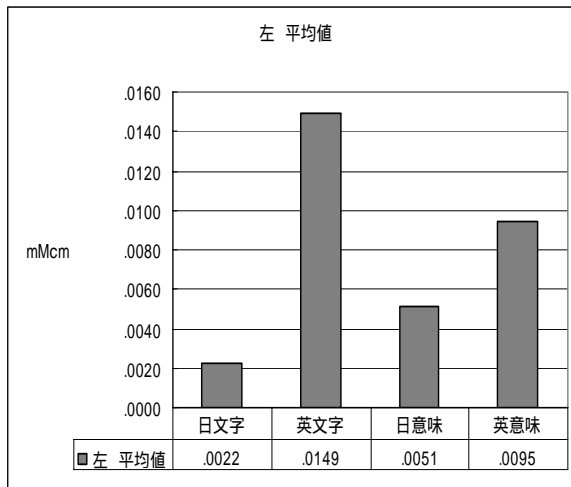
4章 考察

本章では、第3章で示したデータ分析の結果をもとにグループ全体、グループ間、グループ内の順に考察を行う。

4.1 グループ全体のグループ・タスク・脳部位間の差の考察

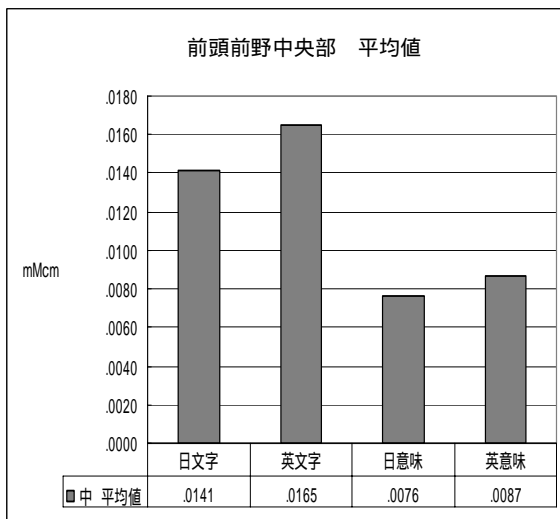
グループ全体の中で、タスク別の脳血液中のfNIRS値をグラフにしたのが図12~14である。

図12 全被験者のタスク別の結果(左ブローカ部位)



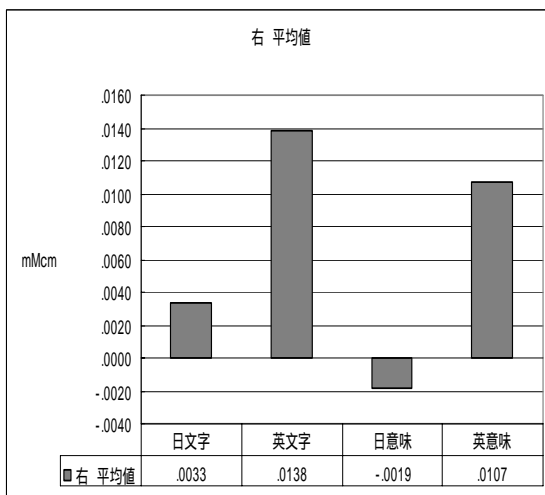
	平均値	標準偏差	N
日本語文字タスク	.0043	.04705	469
英語文字タスク	.0191	.09224	469
日本語意味タスク	.0115	.13866	469
英語意味タスク	.0180	.18476	469

図13 全被験者のタスク別の結果(前頭前野中央部)



	平均値	標準偏差	N
日本語文字タスク	.0162	.04655	469
英語文字タスク	.0208	.09188	469
日本語意味タスク	.0140	.13843	469
英語意味タスク	.0172	.18452	469

図14 全被験者のタスク別の結果(右ブローカ相当部位)



	平均値	標準偏差	N
日本語文字タスク	.0054	.04683	469
英語文字タスク	.0181	.09216	469
日本語意味タスク	.0045	.13892	469
英語意味タスク	.0192	.18466	469

第2言語習得開始年齢が言語流暢性課題に及ぼす影響

この結果より、脳の部位に関わらず英語文字タスク実行時に最もfNIRS値が高くなることがわかり、また文字タスクも意味タスクも日本語より英語の方が高くなる傾向にあることがわかる。すなわち、日本語のタスクよりも英語のタスクの方がより脳が賦活し、アルファベットから英単語を作る英語単語タスクの課題が最も脳を活性化させるものであったことがわかった。

さらに、グループ全体で、各タスク実行時に脳のどの部位が最もfNIRS値が高くなる傾向にあるかという結果をグラフにしたのが図15～18である。

図15 全被験者の脳部位別の結果
(日本語文字タスク)

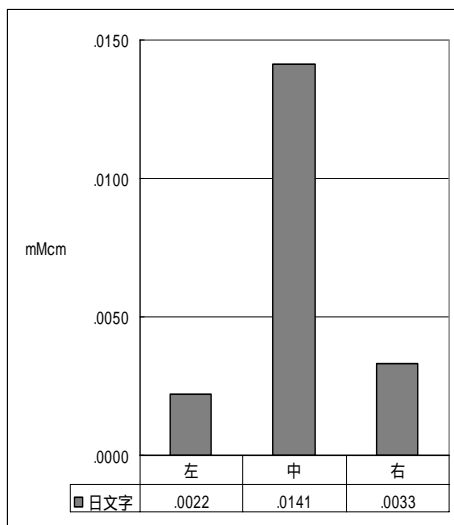


図16 全被験者の脳部位別の結果
(英語文字タスク)

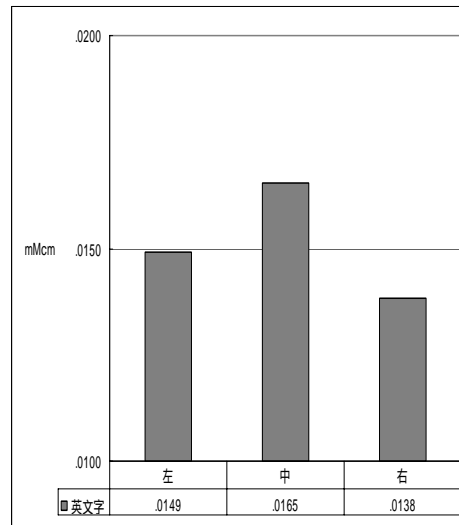


図17 全被験者の脳部位別の結果
(日本語意味タスク)

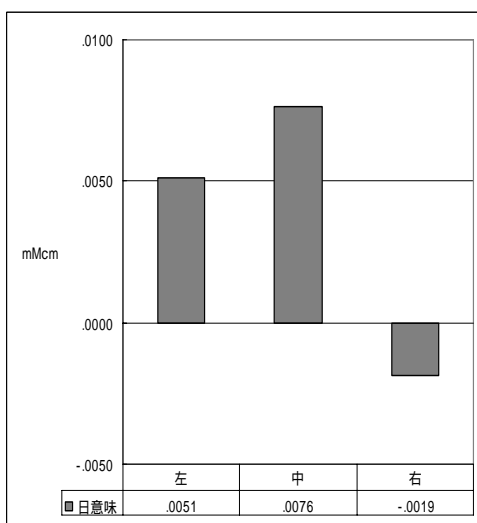
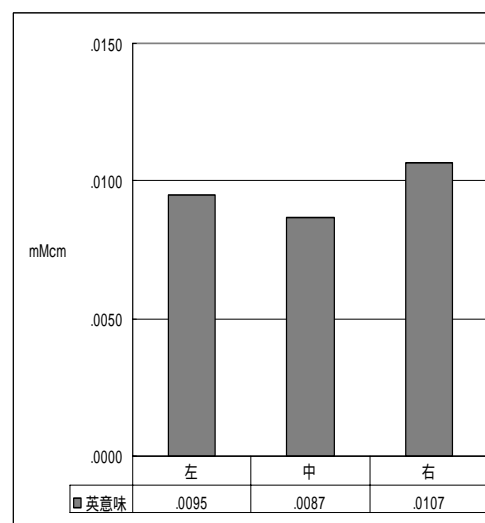


図18 全被験者の脳部位別の結果
(英語意味タスク)



この4つのグラフより、英語意味タスクを除いて日本語文字タスク、英語文字タスク、日本語意味タスクについては脳の中部位が最も賦活することがわかった。英語文字タスクに関しては、他のタスクに比べて左・中・右部位全てが

賦活しており、前頭前野の全範囲を使って課題に取り組んでいることがわかる。左部位については、英語タスクの方が日本語タスクよりもfNIRS値が高い傾向にあることもわかった。全体で見れば、本実験の被験者は英語タスクの方が日本語タスクよりも脳に負担をかけてタスクを行っていると言える。

4.2 グループ間のデータ分析結果の考察

グループ間のデータ分析結果から、特に共通の傾向が見られたグループ1(出生前から日英両言語に接触し、実験時まで同じ言語環境が続いていた群)、グループ2(生後から2歳まで日英両言語に接触したが、実験時まで同じ言語環境が続かなかった群)、グループ3(3歳から6歳まで日英両言語に接触した群)を比較した。その結果、脳の中部位と右部位で共通した傾向があり、それをまとめたのが図19～図26である。

この結果より、日本語意味タスクの左ブローカ部位を除いて、前頭前野中央部位と右ブローカ相当部位に関してはグループ1(出生前から日英両言語に接触し、実験時まで同じ言語環境が続いていた群)、グループ2(生後から2歳まで日英両言語に接触したが、実験時まで同じ言語環境が続かなかった群)、グループ3(3歳から6歳まで日英両言語に接触した群)の順にfNIRS値が高くなる傾向があることがわかった。日本語と英語を第一言語とする被験者に関して、日英両言語の接触開始年齢が早いほど両言語のタスク実行時にかかる負担は減り、英語接触開始年齢が一番遅いグループ3でより賦活したと考えることができる。Weber & Nerille (1996)の研究では11歳以降に第2言語の接触をした被験者は、左脳以外(前頭前野中央部と右ブローカ相当部位)での第2言語処理が大きくなるという結果が出ているが、本研究ではさらに第2言語接触開始が出生前、出生時、3歳から6歳の被験者にも当てはまることが明らかとなった。つまり、3歳から6歳の頃に第2言語に接触し始めた被験者は、出生前から第2言語に接触し始めた被験者よりも明らかに前頭前野中央部と右ブローカ相当部位が賦活していることがわかる(図27参照)。これは、言語習得過程における記憶が関係すると考えられる。3歳頃までの幼児は、自分の経験を記憶再生する際に言語をうまく使えないと言われているが、3歳に記憶能力が発達し、非言語記憶と併せて言語記憶を利用し、過去のことをことばで表現できるようになると考えることができる(フロイト, 2004)。したがって、3歳から6歳の頃に第2言語に接触し始めた被験者グループは、記憶能力が発達する頃に2言語に接触したことになり、この時期に2言語に接触するとその後も両言語を左ブローカだけでなく、前頭前野中央部や右ブローカ相当部位を使って処理すると言ええる。

第2言語習得開始年齢が言語流暢性課題に及ぼす影響

図19 日本語文字タスク 前頭前野中央部

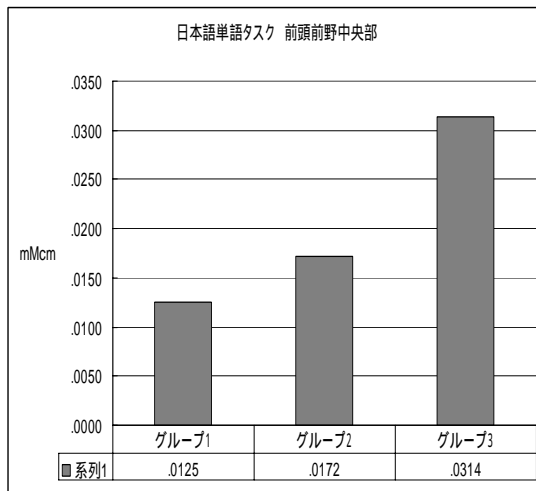


図20 日本語文字タスク 右ブローカ相当部

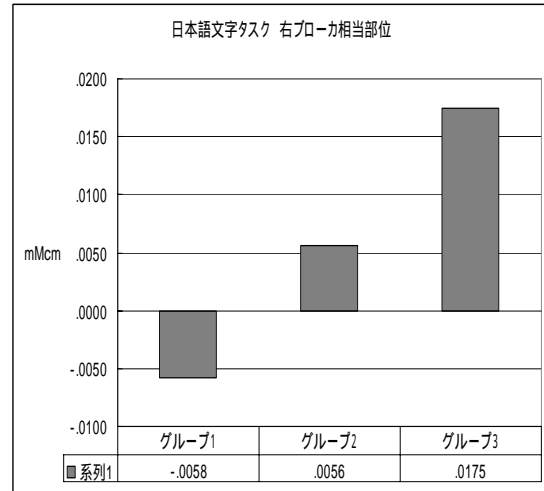


図21 英語文字タスク 前頭前野中央部

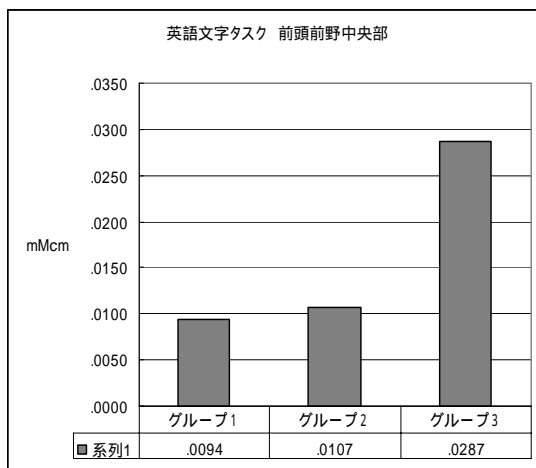


図22 英語文字タスク 右ブローカ相当部

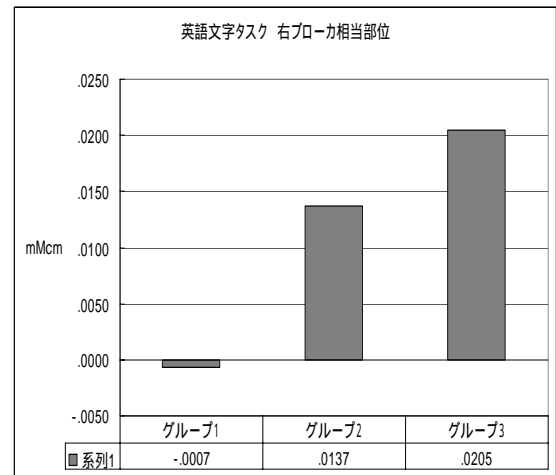


図23 日本語意味タスク 前頭前野中央部

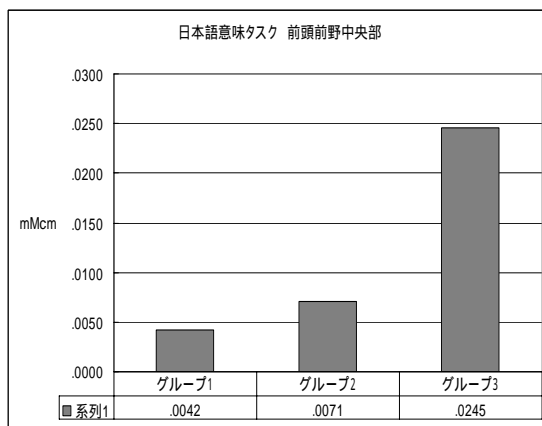


図24 日本語意味タスク 右ブローカ相当部

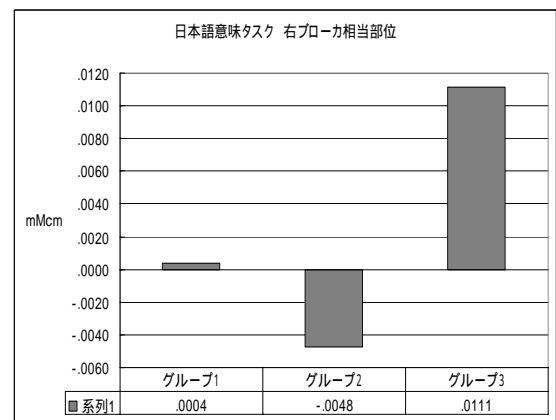


図 25 英語意味タスク 前頭前野中央部

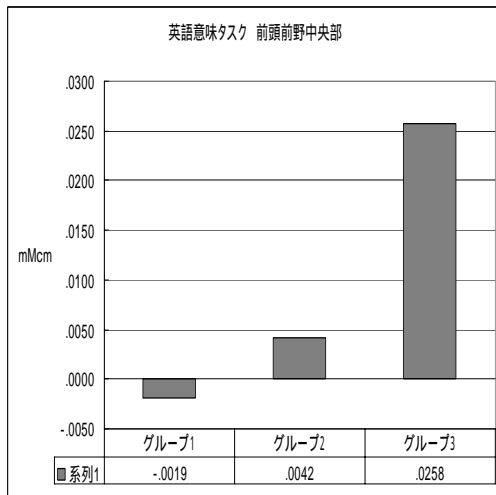


図 26 英語意味タスク 右ブローカ相当部位

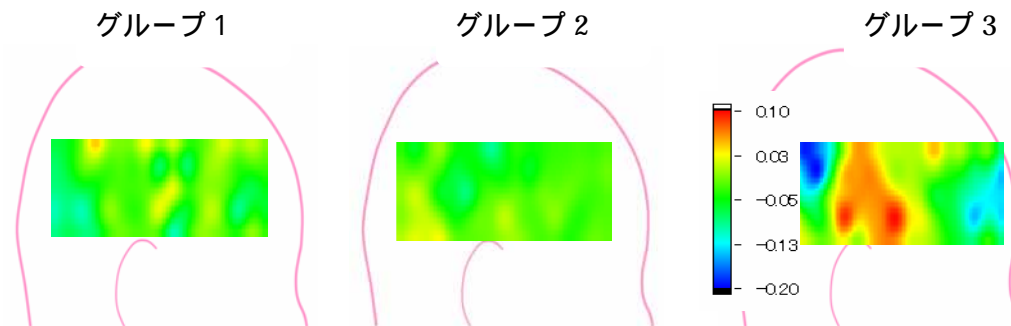
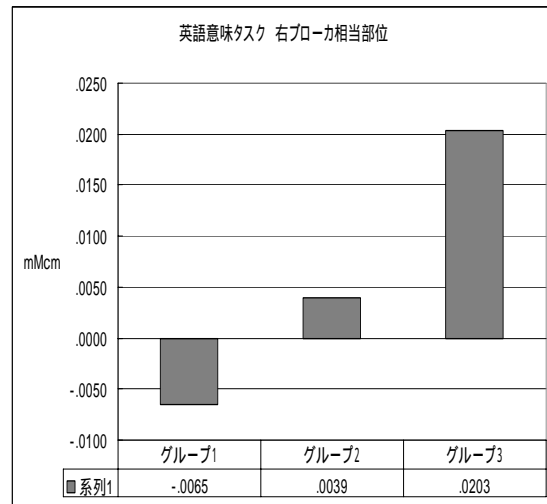


図 27 英語文字タスク実行時の右ブローカ相当部位賦活比較
(青 緑 黄 赤の順に賦活が大きい)

4.3 グループ内のデータ分析結果の考察

グループ5 (第2言語接触開始が16歳以降)とグループ6 (第2言語圏滞在皆無あるいは数カ月以内)では、グループ6の中部位を除いた全タスクの全部位に関して、日本語より英語の方がfNIRS値は高くなるという傾向が見られ(図28参照)、統計的に有意な差があった。このことから、第2言語接触開始年齢が16歳以降のグループ5、そして第2言語圏滞在経験がないあるいは数カ月のグループ6の被験者については、英語使用時の方が日本語使用時よりも前頭前野中央部を除いて、脳全体を通して賦活するという結果となった。つまり、本研究では、第2言語接触開始年齢が16歳以降だと英語タスクの方が賦活するということが明らかとなった。

さらに、行動データ分析結果より、英語文字タスクではグループ5 (第2言語接触開始が16歳以降)が最も想起語数が多いことがわかった。英語文字タスクの想起語数とfNIRS値の関係について、英語文字タスクの想起語数の方が日本語文字タスクの想起語数よりも多い一方、英語文字タスクの方が日本語文字タスクよりもfNIRS値が高くなったことから、想起しやすいタスクでfNIRS値が低くなり、想起しにくいタスクでfNIRS値が高くなるとは必ずしも言えないことがわかる。

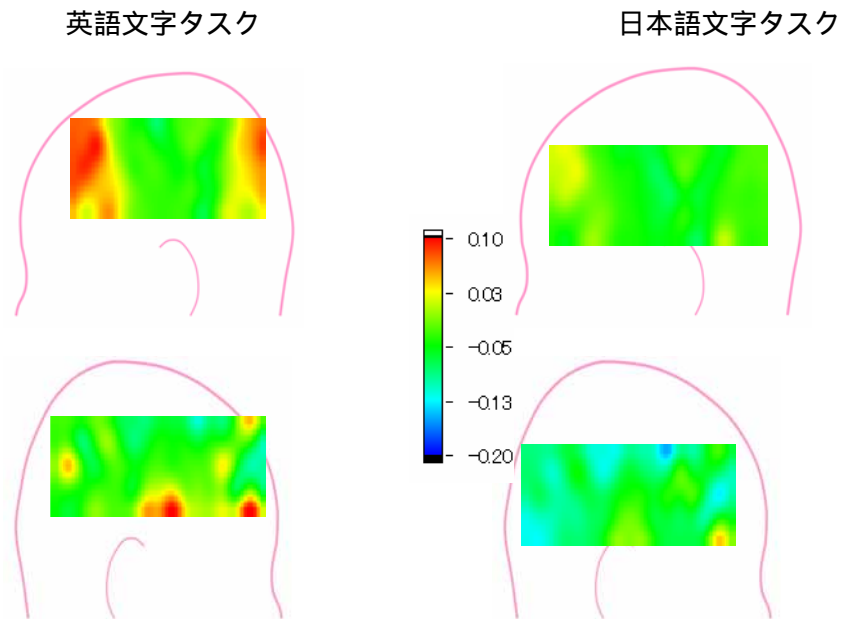


図 28 英語文字タスク実行時と日本語文字タスク実行時の脳部位賦活比較
(上:グループ 5、左ブローカ部位 下:グループ 6、右ブローカ相当部位)

また、行動データ分析結果より、日本語意味タスクと英語意味タスクの想起語数が日本語文字タスクと英語文字タスクの想起数よりも有意に多いことが判明した。つまり、日本語も英語も意味のつながりで言葉を想起する方が簡単であったと言える。文字タスクと意味タスクの差についても想起語数と fNIRS 値が、無関係なのかどうかを調べるために、文字タスクと意味タスクの fNIRS 値の統計結果をまとめたのが表 14～表 16 である。その結果、左ブローカ部位、前頭前野中央部位、右ブローカ相当部位の3部位全てにおいて、文字タスクの方が意味タスクより fNIRS 値が高かった。想起語数の多い意味タスクは容易であるという理由から fNIRS 値が低く、文字タスクに比べて脳が賦活しなかったと結論づけることができる。逆に、想起語数の少ない文字タスクは、タスクの難易度が高く脳がより賦活し、fNIRS 値が高くなったということがわかる。この結果は、第一言語タスク実行時の前頭前野で、文字タスクは意味タスクより fNIRS 値が高くなるという先行研究に合致している (Hatta *et al*, 2009)。

表 14 左ブローカ部位の文字タスクと意味タスクの fNIRS 値比較 ($p < .05$)

		平均値	<i>N</i>	標準偏差	平均値の 標準誤差
左ブローカ 部位	文字タスク	1.5000	1872	.50013	.01156
	意味タスク	.0079	1872	.01198	.00028

表15 前頭前野中央部位の文字タスクと意味タスクのfNIRS値比較 ($p < .05$)

		平均値	<i>N</i>	標準偏差	平均値の 標準誤差
前頭前野	文字タスク	1.5000	1872	.50013	.01156
中央部位	意味タスク	.0117	1872	.00940	.00022

表16 右ブローカ相当部位の文字タスクと意味タスクのfNIRS値比較 ($p < .05$)

		平均値	<i>N</i>	標準偏差	平均値の 標準誤差
右ブローカ	文字タスク	1.5000	1872	.50013	.01156
相当部位	意味タスク	.0065	1872	.01182	.00027

4.4 総合考察

本章では、第2言語接触開始年齢が3歳から6歳の被験者は、左脳以外(前頭前野中央部と右ブローカ相当部位)でのfNIRS値が高くなることがわかった。これにより、Weber & Nerill (1996)の研究で第2言語接触開始年齢が11歳以降の被験者に加えて、記憶能力が発達する3歳から6歳の頃に第2言語に接触し始めた被験者についても前頭前野中央部と右ブローカ相当部位での第2言語処理が大きくなるということが明らかとなった。フロイトが幼年期健忘と呼んだように(ブルーム、2004)、長期記憶が形成されるのは5歳までかかると言われ、記憶能力の発達が左ブローカ部位だけでなく前頭前野中央部や右ブローカ相当部位での言語処理に関係すると言える。

また、グループ5(第2言語接触開始が16歳以降)とグループ6(第2言語圏滞在皆無あるいは数カ月以内)では、グループ6の中部位を除いた全タスクの全部位に関して、日本語より英語の方がfNIRS値は高くなるという傾向が見られた。グループ5には英語を第2言語とする被験者と日本語を第2言語とする被験者がいるが、英語を第2言語とする被験者の方が多く、第2言語である英語のタスクの方がfNIRS値は高くなる傾向にあることがわかる。

さらに、言語流暢性課題の想起語数では、グループ5(第2言語接触開始が16歳以降)は英語文字タスク実行時に最も想起語数が多く、また、日本語意味タスクと英語意味タスクの想起語数が日本語文字タスクと英語文字タスクの想起数よりも有意に多いことがわかった。

第5章 結論

5.1. 結論

第一言語を日本語とする日本語母語話者、第一言語を英語とする英語母語話者、日英両言語を第一言語とするバイリンガルを対象に

- (1) 言語流暢性課題実行時に、日本語と英語使用時ではどちらの方が脳の fNIRS 値が高くなるのか。
- (2) 両言語使用時の fNIRS 値は、英語接触開始年齢によって異なるのか。
- (3) 言語流暢性課題の文字タスクと意味カテゴリータスク実行時を比較して、両タスク間には fNIRS 値に差があるのか。
- (4) 言語流暢性課題の文字タスクと意味カテゴリータスクはどちらのタスクの方が想起語彙数は多いのか。

の4つを明らかにするために本研究を行った。

被験者全体の傾向としては、脳の部位に関わらず英語文字タスク実行時に最も fNIRS 値が高くなることがわかり、また文字タスク・意味タスク共に日本語より英語の方が fNIRS 値は高くなることが明らかとなった。すなわち、(1) 言語流暢性課題実行時を英語と日本語で実行した場合、日本語のタスクよりも英語のタスクの方がより脳が賦活し、アルファベットから英単語を作る英語単語タスクの課題が最も脳を活性化させるものであったことがわかった。さらにグループ別に見ると、特に16歳以降に第2言語接触が開始したグループ5と第2言語圏滞在皆無あるいは数カ月のグループ6は、グループ6の前頭前野中央部を除いた全タスクの全部位に関して、日本語より英語の方が fNIRS 値が高くなり、(2) 第2言語接触開始年齢の差が fNIRS 値に影響することが明らかとなった。さらに、脳の中部位と右部位に関しては第2言語に出生前から接していたグループ1、出生前から第2言語に接していたが実験時まで同じ言語環境が続かなかったグループ2、第2言語接触開始年齢が3歳から小学校入学前までのグループ3の順に fNIRS 値が高くなる傾向になることもわかった。換言すれば、出生前に第2言語に接触し始めた被験者よりも、3歳～6歳に第2言語に接触し始めた被験者の方が左脳以外の前頭前野中央部、右ブローカ相当部位での第2言語処理が大きくなるということが言える。11歳以降の第2言語接触だと左脳以外で第2言語を処理する割合が多くなるという先行研究に加え、本研究では、3歳～6歳に第2言語に接触し始めた被験者も左脳での言語処理に関する側性化が小さくなるということを明らかにした。

また、言語流暢性課題の想起語彙数の結果より、第2言語接触開始年齢が16歳以降の被験者は英語文字タスクの想起語彙数が多く、他のグループと統計的に有意な差があるという結果が出た。さらに、(4) 一字から単語を想起する文字タスクと、カテゴリー内で連想し単語を想起する意味タスクを比較すると、意味タスクの方が文字タスクよりも想起語彙数が多く、統計的に有意な差があることがわかった。(3) 言語流暢性課題の文字タスクと意味カテゴリータスク実行時を比較して、両タスク間には fNIRS 値に差があるのかに関しては、fNIRS 値が意味タスクの方が文字タスクよりも低いことから、想起語彙数の多かった意味タスクは文字タスクに比べて容易で、脳の賦活も少なく、文字タスクの方が負担の大きい課題であったと結論づけることができる。

つまり、(1) 言語流暢性課題実行時に、英語タスク実行時の方が脳の fNIRS 値が高くなり、(2) 第2言語使用時の fNIRS 値は、第2言語接触開始年齢が3歳から6歳の被験者は前頭前野中央部と右ブローカ相当部位で fNIRS 値が高くなり、(3) 言語流暢性課題の文字タスクと意味カテゴリータスク実行時を比較した場合、文字タスク実行時の方が fNIRS 値は高くなり、(4) 意味タスクの

方が文字タスクよりも想起語彙数が多くなることが明らかとなった。

5.2 本研究の意義、課題と今後の方向性

本研究では、第2言語接触開始年齢が11歳以降の被験者は、左脳以外の前頭前野中央部と右ブローカ相当部でfNIRS値が高くなり、11歳以前に左脳の側性化が終わるという先行研究に加え、新たに第2言語接触開始年齢が3歳から6歳の被験者も左脳以外で賦活するという結果が出た。第1言語や第2言語使用時の脳活動に関する研究はこれまでに行われてきたが、日本語と英語を第1言語とするバイリンガルを対象に、第2言語接触開始年齢が左脳の局在化に関係することが明らかになった点で、本研究は大変意義のある結果となった。本研究結果の英語教育現場への還元として考えられるのは、文字から想起するよりも意味のつながりによって単語を想起する方が容易で、fNIRS値が低く脳にも負担がかからないことから、英語教育の観点から、英単語を暗記する際に意味に繋がりのある単語を連想して暗記していく方法は脳に負担がかかりすぎず、効果的であるということも言えるかもしれない。

fNIRS実験時の最も大きな課題は、被験者によって周頭の大きさが異なるため、被験者の左ブローカ部位、前頭前野中央部、右ブローカ相当部位がfNIRSのどのチャンネルに相当するのかを決めるのが難しく、本研究では実験時に撮影した頭脳写真とfNIRSキャプチャーデータを用いて脳部位を判断した。また、タスクデータからレストデータの差分を求める時に、各グループの平均値ではなく全被験者のレストを用いて行う必要があった。今後の研究では、被験者の脳部位が正確に計測できる機械の導入、そしてタスクデータの被験者と同じ被験者のレストデータを用いたデータ分析を行う。

本研究では、グループ5(第2言語接触開始が16歳以降)が英語文字タスクの想起語数が多いという結果が出た一方、同タスクのfNIRS値も同時に高くなることがわかった。想起語数が多いということは、タスクが他のタスクよりも容易でfNIRS値も下がり脳の負担が少なくなると予想していたが、結果は逆であった。想起語数とfNIRS値の関係性を今後明らかにする必要がある。また、被験者のグループ分けを行うにあたり、第2言語接触開始年齢を基準に行ったが、同じ第2言語接触開始年齢でも第2言語圏滞在年数は被験者によって異なる。本研究では、第2言語接触開始年齢によってfNIRS値が変化するという結果が出たが、fNIRS値の結果が第2言語接触開始年齢だけでなく、第2言語圏滞在年齢や性別が影響している可能性もある。今後、第2言語接触開始年齢以外の要因についても研究を進めていきたい。

参考文献・引用文献

- Ann-Christine Ehlis, Martin J. Herrmann, Michael M. Plichta & Andreas J. Fallgatter, (2007). Cortical activation during two verbal fluency tasks in schizophrenic patients and healthy controls as assessed by multi-channel near-infrared spectroscopy. *Psychiatry Research, Neuroimaging*, 156, 1-13.
- Gui Xue,a Qi Dong,a, Zhen Jin,b and Chuansheng Chenc, (2004). Mapping of verbal working memory in nonfluent Chinese English bilinguals with functional MRI. *NeuroImage*, 22, 1 10.
- Hatta, T., Kanari, A., Mase, M., Nagano, Y., Shirataki, T. and Hibino, S. (2009). Strategy effects on word searching in Japanese letter fluency tests. evidence from the NIRS findings: *Reading and Writing*, 22, 1041-1052.
- José S. Portocarrero, Richard G. Burright, Peter J. Donovan (2007) Vocabulary and verbal fluency of bilingual and monolingual college students. *Archives of Clinical Neuropsychology*, 22, 415 422.
- Kim,K.H.S., Relkin,N.R., Lee,K.M. and Hirsch,J., (1997). Distinct cortical areas associated with native and second languages. *Nature*, 388, 171-174.
- Kim,K.K., Byun,E., Lee,S.K., Gaillard,W.D., Xud,B., Theodore,W.H. (2010). Verbal working memory of Korean English bilinguals: An fMRI study. *Journal of NeuroLinguistics*, 24, 1, 1-13.
- Kubota Yasutaka, Motomi Toichi, Mitsue Shimizu, Richard A. Mason, Christinel M. Coconcea, Robert L. Findling, Kokichi Yamamoto & Joseph R. Calabrese. (2005). Prefrontal activation during verbal fluency tests in schizophrenia- a near-infrared spectroscopy (NIRS) study. *Schizophrenia Research*, 77, 65-73.
- Weber-Fox CM and Neville HJ (1996) Maturational constraints on functional specialization for language processing. ERP and behavioral evidence in bilingual speakers. *Journal of Cognitive Neuroscience* 8, 231-256.
- 安井千恵、小川隆夫、村井敏宏、山下光 (2004) 小児用語想起課題の試み 専門学校生への実践例 大阪教育大学紀要 第 部門 第53巻 第1号 91-94.
- 大石晴美 (2006) 『脳科学からの第2言語習得論』昭和堂 91-95, 144-147.
- 芦阪直行(2010) 『脳機能イメージング』培風館 80-82.
- 桐谷滋・林良子(2007) 『脳機能イメージング』河野守夫他 (2007) 『ことばと認知のしくみ』第2章 三省堂 104-115.
- フロイド・E・ブルーム (2004) 『新 脳の探検 下』講談社.
- 村井敏宏、山下光、小川隆夫、中尾和人、藤田香名子、島田優佳、瀧口紗緒理、安井千恵 (2004) 小児用語想起課題の試み 小学生への実践例 大阪教育大学紀要 第 部門 第53巻 第1号 83-89.

第2言語習得開始年齢が言語流暢性課題に及ぼす影響

補遺

fNIRS データ 日本語文字タスク

補遺では、日本語文字タスクの fNIRS データのみを提示するが、本研究では、英語文字タスク、日本語意味タスク、英語意味タスクのデータをもとに分析を進めた。以下の数字は、被験者 131 名の名血液成分のヘモグロビン濃度変化 (mM) と光路長 (cm) の積を平均したものである。

		グループ 1	グループ 2	グループ 3	グループ 4	グループ 5	グループ 6
日本語文字タスク	左ブローカ部位	0.002383541	0.004683168	0.013445249	-0.023291861	-0.001652967	-0.001271507
		0.003076147	0.005265383	0.016427698	-0.020069037	-0.002705088	-0.000147809
		0.003480294	0.005215016	0.014615326	-0.020064776	-0.000181523	0.002334384
		0.001446104	0.004953039	0.015723012	-0.018107412	0.00059248	0.000431089
		0.000683919	0.004330111	0.015778531	-0.011864064	-0.004732582	-0.002460233
		0.005118092	0.005480729	0.013943102	-0.020981432	0.000323345	-0.001841213
		0.005488519	0.005370543	0.015232083	-0.019796853	-0.002993575	0.000168432
		0.006993697	0.007682368	0.015366666	-0.022710679	-0.000724613	0.001012595
		0.006852804	0.009540498	0.014513817	-0.019463934	-0.003648111	0.000905703
		0.006273102	0.007704574	0.014713267	-0.011109764	-0.00309751	-0.00167142
		0.003822377	0.007154402	0.012995996	-0.02230422	-0.002680618	-0.000284175
		0.004096728	0.006379707	0.015603513	-0.017184548	-0.000298294	0.000416505
		0.00344638	0.009768969	0.01584078	-0.026660931	0.000685437	0.000694094
		0.005913502	0.006449521	0.014505712	-0.014453791	0.003280853	-0.000312564
		0.010575339	0.009567382	0.015725947	-0.019062406	0.00183774	-0.00116356
		0.005751062	0.009979553	0.013397629	-0.020208938	-0.003249862	-0.000761102
		0.005011784	0.00908546	0.015013447	-0.016097051	-0.00276908	-0.000802601
		0.004124243	0.007717242	0.01694758	-0.007092891	-0.000650949	-0.000965186
		0.006874648	0.006418043	0.014196671	-0.019453415	0.0024751	-0.000715642
		0.005842035	0.007832527	0.013149479	-0.0163822	-0.001810869	0.000250144

		グループ 1	グループ 2	グループ 3	グループ 4	グループ 5	グループ 6
		0.005015762	0.008848366	0.012390827	-0.005303838	-0.000872305	0.00273333
		0.00535722	0.007410927	0.011876044	-0.023714854	-0.006005582	0.002098433
		0.004212365	0.004906269	0.016843848	-0.011899538	-0.003924154	0.001460578
		0.000869257	0.005202336	0.01618611	-0.015507585	-0.003145456	0.002504457
		-0.006435141	0.0043738	0.015000499	-0.017607894	-0.000406359	0.001980846
		0.002092933	0.006595873	0.014818908	-0.019121636	-0.001831436	0.003754771
		0.008094147	0.007940912	0.013310599	-0.012859146	-0.006994589	0.003458983
		0.002904447	0.008328249	0.015172336	-0.012507455	-0.00358769	0.004693319
		0.006403924	0.005780622	0.014124558	-0.018082798	-0.000252898	0.004043053
		0.002465557	0.003819092	0.013922757	-0.017305312	-0.000859763	0.001872118
		0.005082514	0.00554689	0.011406004	-0.010302935	-0.004693601	0.001980282
		0.00481203	0.007638057	0.013210855	-0.015871439	0.00077024	0.004387375
		0.007498112	0.005651201	0.011183963	-0.019908938	-0.000839034	0.004444178
		0.005953296	0.004027149	0.013892478	-0.017190199	-0.002033573	0.006715974
		0.003566841	0.003975506	0.014399346	-0.009403999	-0.003093413	0.005007918
		0.005775923	0.004699202	0.014026114	-0.016559037	-0.00383455	0.005154479
		0.00543238	0.007886834	0.010620449	-0.019526241	-0.001006628	0.004270644
		0.0017703	0.00843136	0.011441802	-0.019662794	-0.001380566	0.003742066
		0.001852193	0.005650018	0.012504345	-0.022307476	0.001165508	0.006163119
		0.00271896	0.006869376	0.013531389	-0.019831145	-0.002464647	0.005787949
		0.002342686	0.007512044	0.011530583	-0.009372173	-0.000567092	0.003210731

第2言語習得開始年齢が言語流暢性課題に及ぼす影響

		グループ 1	グループ 2	グループ 3	グループ 4	グループ 5	グループ 6
		0.004368044	0.006313731	0.013031759	-0.018647168	-0.003492452	0.003710784
		0.004690395	0.004790888	0.013379905	-0.016868962	-0.004045675	0.004874075
		0.001964413	0.004974329	0.013827943	-0.017748015	0.001971741	0.01027906
		0.001579914	0.00561542	0.015781247	-0.017006323	0.002519618	0.00794834
		0.00199731	0.006967912	0.013025132	-0.014292828	-0.000151845	0.007447733
		0.003618913	0.010051305	0.014290141	-0.019057472	-0.006086399	0.006139915
		0.00301133	0.009481389	0.013028269	-0.012049472	-0.001030531	0.00776342
		-0.000303376	0.00223325	0.013279033	-0.023280625	0.001586084	0.007391532
		-0.001061612	0.007406355	0.01115483	-0.02073129	9.82874E-05	0.009187908
		0.004088602	0.012482724	0.012426215	-0.00676507	-0.003166655	0.006159016
		0.004197874	0.011162525	0.013006688	-0.014205158	-0.000827633	0.00483295
		0.002432162	0.011535401	0.013257572	-0.009066968	-0.001831862	0.004894623
		0.001698785	0.006360338	0.012532759	-0.018501774	-0.001337499	0.003703798
		0.004543536	0.007873554	0.011576231	-0.016865775	0.000658692	0.00440223
		0.001949855	0.01099658	0.01157816	-0.010907556	0.002619678	0.003160586
		0.003630822	0.012763235	0.012453577	-0.016192533	0.002414278	0.003683602
		0.003155501	0.012119883	0.012621131	-0.003092655	0.003028204	0.00451711
		0.002594054	0.012673143	0.012634037	-0.012893328	-0.000660888	0.0055619
		0.001600269	0.010575595	0.012109452	-0.018969108	0.001143452	0.007129508
		0.004287654	0.010356844	0.012138652	-0.008737626	0.000695162	0.005736924
		0.000661425	0.011051846	0.012875677	-0.010240663	0.001312299	0.007581187

		グループ 1	グループ 2	グループ 3	グループ 4	グループ 5	グループ 6
		0.000508764	0.014500583	0.010976806	-0.010000795	0.00021131	0.007777952
		-0.000181314	0.015207862	0.013130646	-0.004291656	2.20569E-05	0.008867028
		0.000126697	0.012366042	0.01288264	-0.008236662	-0.000296694	0.005337937
		-0.000997846	0.009345722	0.011512603	-0.015899455	0.002853688	0.004274115
		-0.001565951	0.010298342	0.012883663	-0.012788125	0.000843013	0.006768529
		-0.003209195	0.012221042	0.012771557	-0.00906663	0.002295738	0.007913447
		0.001299163	0.012450204	0.012573548	-0.009417685	0.001799673	0.009182644
		-0.000384849	0.012972703	0.01313255	-0.01165315	0.002102736	0.008726552
		-0.000569794	0.010474491	0.012601559	-0.007624401	0.000690909	0.008415551
		0.00062789	0.01019336	0.013382771	-0.007283371	0.000878306	0.005254411
		0.003265232	0.009580403	0.013996842	-0.01295883	-0.002094599	0.009495934
		0.001515975	0.011739936	0.014576945	-0.014283519	0.001533023	0.011763568
		0.002368131	0.013789248	0.013665864	-0.018991647	0.000582846	0.012807192
		0.001658166	0.014062599	0.01179864	-0.008481914	-0.001538334	0.010676617
		0.00326287	0.011864719	0.013015552	-0.010817529	0.001273851	0.01033169
		0.003590761	0.00895713	0.01390936	-0.019488107	0.00081743	0.008932984
	前頭前野中央部	0.01250359	0.01584808	0.027236639	-0.001848739	-0.00706737	0.017198643
		0.00372356	0.01675586	0.02705251	-6.71378E-05	-0.006863935	0.017511319
		0.013824812	0.018484614	0.028244126	0.002788536	-0.007535658	0.019826563
		0.008636355	0.015749965	0.026507448	-0.001408726	-0.005808289	0.018521405
		0.011040108	0.019007718	0.029801987	0.002944117	-0.005185552	0.018347621

第2言語習得開始年齢が言語流暢性課題に及ぼす影響

		グループ 1	グループ 2	グループ 3	グループ 4	グループ 5	グループ 6
		0.012191283	0.015026192	0.029212939	-0.000609999	-0.00508841	0.018361165
		0.00531149	0.018252951	0.028982214	0.002434364	-0.005580433	0.017935286
		0.01377399	0.018384899	0.030527509	0.004413304	-0.007852367	0.017784006
		0.009884059	0.015832692	0.030322675	0.001146064	-0.004863527	0.016801188
		0.010972044	0.018154755	0.031494815	0.005925341	-0.004459243	0.016984204
		0.011411097	0.017495812	0.031006785	0.002192932	-0.003241643	0.018748997
		0.006335633	0.017757612	0.031282113	0.004666225	-0.002333591	0.018280601
		0.012752761	0.017748498	0.031081257	0.006090119	-0.002868996	0.018520404
		0.010237737	0.016747104	0.030403982	0.003546658	-0.001128838	0.017119405
		0.010895587	0.01848473	0.032300642	0.004291925	-0.001011601	0.016876628
		0.011087056	0.017368373	0.030353564	0.003134348	0.000715207	0.016103533
		0.006651241	0.018195034	0.031556961	0.005559683	0.001457788	0.015939365
		0.013021292	0.017673499	0.032022373	0.004832898	-0.001069626	0.016870408
		0.011732231	0.017861318	0.031928524	0.005077327	0.001262461	0.015817195
		0.012465529	0.018582147	0.033253133	0.003311081	0.002483985	0.014830106
		0.012367642	0.017809037	0.032131258	0.005112881	0.001961744	0.014831824
		0.010322216	0.019791568	0.032253291	0.005924486	0.00194364	0.013869616
		0.016101778	0.018437513	0.031756796	0.004631065	0.000276255	0.0139427
		0.01226307	0.01781837	0.031354965	0.002613626	0.002192102	0.014732733
		0.013782195	0.018092909	0.032347675	0.002610219	0.002253949	0.014918729
		0.015610119	0.019259511	0.031459484	0.002514653	0.002657073	0.014983346

		グループ 1	グループ 2	グループ 3	グループ 4	グループ 5	グループ 6
		0.011100045	0.019016221	0.032508912	0.006776589	0.002981836	0.016401709
		0.015017067	0.0185359	0.032060725	0.003673021	0.00127984	0.016090733
		0.014090887	0.015761572	0.032570217	0.004658243	0.003734308	0.016807616
		0.015636934	0.016654554	0.033038707	0.00208863	0.001811613	0.015494412
		0.01352812	0.018615793	0.031702483	0.002825391	0.001682907	0.015855891
		0.010889562	0.01727892	0.033289741	0.003069199	0.003273344	0.015754712
		0.015529172	0.017723295	0.033333758	0.00314827	0.001723581	0.017462362
		0.013191376	0.016174739	0.03284256	0.004801804	0.004682125	0.016583448
		0.011755804	0.018201929	0.03283779	0.004027788	0.003694464	0.016632589
		0.011278864	0.018381816	0.031924041	0.001906588	0.002474364	0.015612948
		0.007648806	0.016299362	0.033319879	0.003683752	0.004547597	0.014626955
		0.011172874	0.018503542	0.033800751	0.003538558	0.00318625	0.015116221
		0.011494845	0.016863561	0.033396975	0.005608529	0.006012521	0.016362527
		0.013645563	0.016376007	0.032404655	0.003567363	0.006321137	0.017892362
		0.012131979	0.015737855	0.032596918	0.003327549	0.005030047	0.01592974
		0.009902582	0.014886031	0.032643708	0.003480618	0.004828578	0.016734373
		0.015305954	0.015225617	0.031527873	0.002969323	0.004237426	0.01650497
		0.013260641	0.015344406	0.031700071	0.00499421	0.006475185	0.01625871
		0.013527459	0.014984761	0.030819862	0.002943879	0.006632733	0.016690217
		0.011131119	0.014319091	0.03162056	0.004743256	0.004297238	0.01707205
		0.014559252	0.012190738	0.032106663	0.004192861	0.005707244	0.017472148

第2言語習得開始年齢が言語流暢性課題に及ぼす影響

		グループ 1	グループ 2	グループ 3	グループ 4	グループ 5	グループ 6
		0.01536222	0.013464788	0.031687944	0.004468293	0.005264775	0.016618785
		0.014406793	0.013831246	0.031641203	0.00462951	0.005695159	0.015582551
		0.013136137	0.01418399	0.030442095	0.003245515	0.005849734	0.016203558
		0.011258152	0.013603214	0.030795144	0.004457453	0.004184464	0.016235457
		0.013327824	0.017108153	0.030795176	0.003902526	0.006207381	0.016250295
		0.014084454	0.019758707	0.030176838	0.00565818	0.005124635	0.015569323
		0.017600042	0.014697604	0.032040608	0.005236555	0.006107419	0.016272823
		0.01493808	0.015303142	0.030768179	0.003891306	0.006797744	0.016408006
		0.014183333	0.014318233	0.031706028	0.00414333	0.006971728	0.015482062
		0.016208183	0.016069477	0.032053315	0.003914588	0.007358791	0.014983269
		0.015651927	0.018436332	0.030495886	0.007328355	0.005903328	0.014657271
		0.019392667	0.018827892	0.032747584	0.006705533	0.006257735	0.016025867
		0.014013887	0.017385514	0.031157799	0.005060022	0.005862595	0.016100605
		0.013774074	0.014233734	0.032355338	0.00659479	0.005397856	0.015469351
		0.014987337	0.017594686	0.032722096	0.003874336	0.007573527	0.01637552
		0.011949981	0.019423841	0.031748389	0.006666797	0.007029882	0.015422664
		0.018482504	0.020289788	0.032604895	0.006979768	0.006911333	0.016383404
		0.010637553	0.018760173	0.030665424	0.00476525	0.006528423	0.015543272
		0.011816156	0.016201736	0.031871046	0.007939385	0.006615452	0.014577458
		0.012246405	0.017365723	0.031935524	0.008223959	0.007733151	0.015188302
		0.008741806	0.020070061	0.030659756	0.008585952	0.008124851	0.014690449

		グループ 1	グループ 2	グループ 3	グループ 4	グループ 5	グループ 6
		0.016133459	0.021352933	0.031444159	0.006896283	0.007088812	0.014907822
		0.009389196	0.01829014	0.030815526	0.006236535	0.007257834	0.015026889
		0.012441627	0.017682064	0.031657195	0.008998392	0.007460543	0.014006953
		0.013131899	0.016255272	0.030924506	0.007370504	0.010050504	0.013461472
		0.008279639	0.016824423	0.029653273	0.00801699	0.00947097	0.012390829
		0.017524563	0.019426236	0.031237873	0.007673434	0.008923101	0.013187736
		0.009437131	0.017202152	0.029862362	0.007948905	0.008470444	0.014339952
		0.014228854	0.019161883	0.03128783	0.010179589	0.00766648	0.01348056
		0.014693194	0.016767932	0.030684368	0.006989904	0.009160914	0.014068931
		0.00886474	0.016733621	0.03003172	0.010787913	0.010389336	0.01292818
	右ブローカ相当部位	-0.009113852	-0.000828741	0.016762422	-0.003703664	-8.51219E-05	-0.011189776
		0.000198996	0.003517599	0.020627721	-0.000871016	-0.000186612	-0.011578315
		-0.003194935	0.00516731	0.017739708	0.001910484	0.001656434	-0.010414266
		-0.008804731	0.002587566	0.018490456	0.003752303	0.001438544	-0.01195109
		-0.005042371	0.0039563	0.018969136	-0.000118227	0.001141877	-0.011532347
		-0.008163079	-0.001711436	0.012859606	0.002741733	0.000477309	-0.011639756
		-0.000857977	0.002749012	0.019160109	0.003859021	0.000672145	-0.012110496
		-0.002906877	0.000475758	0.016696527	0.003078448	0.000242433	-0.011665575
		-0.001752414	0.000295777	0.018883858	0.005093708	-0.003391478	-0.010659304
		-0.009414401	0.003695856	0.01987191	0.003542312	-0.002792204	-0.007389194
		-0.010890453	0.001746833	0.01583815	0.000737005	-0.00191038	-0.010800711

第2言語習得開始年齢が言語流暢性課題に及ぼす影響

		グループ 1	グループ 2	グループ 3	グループ 4	グループ 5	グループ 6
		-0.00132134	0.00353465	0.01866579	0.004978959	-0.00270073	-0.0096659
		-0.005749989	0.001109524	0.015574688	0.000163088	0.000222803	-0.010018397
		0.007780701	0.001445293	0.018507894	0.003393526	-0.000370747	-0.011183771
		-0.00878735	0.003225941	0.019958628	0.002591693	-0.001276166	-0.005617427
		-0.009520662	-0.003793494	0.014824119	0.002403534	-0.002583555	-0.007105622
		-0.004916663	0.004896098	0.020519609	0.006086293	-0.000866933	-0.006081532
		-0.007632735	0.004156617	0.01595921	0.000183165	0.000815445	-0.008690994
		0.002601068	-0.000864955	0.019537428	0.002144218	0.000479855	-0.005760172
		0.00183764	-0.000226138	0.019827425	0.004903279	-0.000137365	-0.003157787
		0.001765971	-0.004891203	0.018557766	0.008057338	-0.001015827	-0.006087254
		-0.003666048	0.003933345	0.020053234	0.0050085	-0.003410986	-0.006003466
		-0.007335626	0.004398625	0.016215161	0.00244663	-0.003754318	-0.002727666
		-0.005987791	0.001287035	0.018181518	0.004011199	-0.00200907	-0.005288219
		-0.001316024	0.001024984	0.01965356	0.003158737	-0.004004357	-0.003245419
		0.001192267	-0.001048003	0.017279278	0.008131447	-0.00198697	-0.005773509
		-0.008171176	0.005550051	0.023328076	0.008572695	-0.001542125	-0.005990476
		-0.002543785	0.005110449	0.017935627	0.006375777	-0.001285703	-0.005663354
		-0.003982136	0.001495854	0.020528075	0.006134638	-0.002576439	-0.006273241
		-0.001252622	0.004693284	0.019247777	0.005536589	-0.000143104	-0.005291941
		0.002645505	0.002076818	0.014091049	0.003754825	0.003335509	-0.004642396
		-0.009185988	0.009392245	0.019950885	0.006603966	0.000791865	-0.004625429

		グループ 1	グループ 2	グループ 3	グループ 4	グループ 5	グループ 6
		-0.011235894	0.005498741	0.015037013	0.004666674	0.000490072	-0.003146136
		-0.004169067	0.004511601	0.01943443	0.004115452	-0.001817482	-0.003112716
		-0.001718158	0.007051249	0.018730827	0.003547783	0.000647966	-0.003436156
		-0.002943438	0.005633889	0.014007901	0.00491361	0.003358229	-0.004334445
		-0.009454142	0.011197432	0.019056294	0.001682851	0.000397075	-0.004419946
		-0.012124081	0.006347761	0.015618506	0.0041927	0.00494793	-0.003396741
		-0.009418653	0.007795789	0.018441229	0.004498954	0.001983426	-0.007204024
		-0.006914579	0.004907213	0.01896864	0.005974497	-6.97779E-05	-0.003266523
		-0.010795963	0.006398298	0.013897626	0.002342284	0.000795797	-0.001463468
		-0.009989333	0.005065041	0.019144104	0.00348318	0.002660955	-0.003536761
		-0.013254461	0.008103375	0.015398085	0.00118986	0.003169838	-0.003203501
		-0.011452442	0.006038885	0.018784626	0.006268626	0.001771156	-0.004744495
		-0.015048527	0.007116343	0.01862058	0.005387894	-0.000338634	-0.003629964
		-0.014016477	0.006402797	0.013692593	0.005242385	0.002844977	-0.00155167
		-0.001803342	0.007404973	0.019106227	0.003398469	0.002237699	-0.003240143
		-0.002729556	0.007444392	0.014039456	0.00210656	0.003845152	-0.003752459
		-0.009956167	0.004380301	0.017722306	0.005306137	0.004097426	-0.004954449
		-0.018164623	0.006091459	0.019327348	0.004974577	0.004653729	-0.003416499
		-0.017638014	0.003154827	0.014335374	0.007085234	0.003912897	-0.004059796
		-0.012343452	0.003749325	0.019358206	0.004160682	0.003325613	-0.003172586
		0.005368472	0.003886961	0.015385574	0.005201936	0.003160665	-0.00032696

第2言語習得開始年齢が言語流暢性課題に及ぼす影響

		グループ 1	グループ 2	グループ 3	グループ 4	グループ 5	グループ 6
		-0.003603864	0.007248938	0.018857124	0.002514494	0.00426879	-0.003062461
		-0.01421736	0.004044345	0.018873009	0.007624503	0.00447417	-0.001540616
		-0.018686795	0.00706587	0.013164342	0.007380425	0.006586394	-0.000166417
		-0.011109661	0.010572296	0.020299103	0.00612038	0.006899255	-0.000360185
		0.001417272	0.00983903	0.015477361	0.005239687	0.00380437	-0.003302846
		-0.008371679	0.008693511	0.017268893	0.004205903	0.003304289	-0.00209157
		-0.006497929	0.012841643	0.018959967	0.006676162	0.005599965	-0.000556658
		-0.025079727	0.012078114	0.013337886	0.009182271	0.005434654	-0.002189248
		-0.009396834	0.011738121	0.019492356	0.009089774	0.007286721	-0.001909453
		0.002968285	0.012072046	0.01497287	0.007671016	0.007223453	-0.002001788
		-0.009770725	0.014146769	0.017640562	0.007719413	0.007344187	-0.001510577
		0.003206362	0.012189453	0.019253271	0.005698484	0.005811813	-8.33041E-05
		-0.013679709	0.010433141	0.012145356	0.004852255	0.004664771	0.000542777
		-0.009547481	0.008590411	0.017714338	0.007392547	0.003552798	0.001086309
		0.004605088	0.012604661	0.015651186	0.007485647	0.002149051	0.00015143
		0.000265806	0.0088906	0.01797387	0.006502138	0.003408032	0.000463491
		0.002087975	0.01177034	0.019825888	0.00977586	0.0036072	0.001752208
		-0.005357217	0.008001964	0.009327183	0.006429327	0.003676623	0.000337882
		-0.013429224	0.010661139	0.017999027	0.007883307	0.005373618	0.000735998
		-0.003577719	0.008825107	0.016018086	0.009965628	0.00330253	-0.000857047
		0.000188906	0.009172252	0.017259678	0.009408005	0.004100644	-0.000199933

		グループ 1	グループ 2	グループ 3	グループ 4	グループ 5	グループ 6
		0.01740014	0.007887072	0.018700412	0.00768664	0.005017759	0.001591796
		-0.004258126	0.007913283	0.012778801	0.007302596	0.007313207	0.002942861
		-0.012159247	0.00968943	0.01821749	0.008970847	0.007622148	0.000641167
		-0.005029486	0.005682375	0.017765225	0.010623354	0.006033408	0.000335157