

第二言語習得への脳認知科学からのアプローチ An Approach to Second Language Acquisition from Cognitive Neuroscience

横山 悟¹・鄭 嬌婷¹・尾島 司郎²・千葉 克裕^{1,3}・エマニュエル マナロ⁴・吉本 啓¹
Satoru Yokoyama, Hyeonjeong Jeong, Shiro Ojima, Katsuhiko Chiba,
Emmanuel Manalo, Kei Yoshimoto

¹東北大学, ²東京大学, ³文教大学, ⁴早稲田大学
Tohoku University, Tokyo University, Bunkyo University, Waseda University
kei@compling.jp

Abstract

The development of functional neuroimaging technologies has deepened our knowledge on second language (L2) acquisition and brought about a great deal of data and analyses. However, the studies have been conducted in different areas with different methods, and we have a need to consider what are common and what are distinct of the findings we have obtained and the opinions that exist. Researchers who have been applying varied research methods (i.e., functional magnetic resonance imaging, magnetoencephalography, event-related potential, psycholinguistic approaches, and methods used in applied linguistics and teaching English as a second language) to the study of L2 acquisition and education participate in this workshop. They report the results of their recent researches and discuss whether the different standpoints can favorably influence each other or can even be developed toward a unified one.

Keywords —second language acquisition, second language education, functional neuroimaging, event-related potential

1. はじめに

脳機能画像法等の脳活動を計測する手段により、ヒトの言語活動に関する知見が深まり、第二言語(外国語、以下では L2) 習得の過程についても、多くの観測データや分析結果が得られるようになった。しかし、研究は様々な研究分野で異なる手段を用いて行われており、これまでに得られた発見や行われている見解の間の共通点と相違点について整理する必要がある。提案するワークショップでは、L2 の習得および教育について様々な異なる研究手法(機能的磁気共鳴画像法 fMRI、脳磁図 MEG、事象関連電位 ERP、および言語心理学・応用言語学・英語教育の手法)を用いてきた

研究者が集い、これらの問題について検討する。

2. ワークショップのトピック

本ワークショップでは、以下のトピックについて話題提供者が最近の研究成果から発表を行い、またモデレーターとともに討論する。

○L2 は第一言語(母語; L1) と同一の脳内領域で処理されているのか?

○L2 学習が進展するにつれ、脳活動はどのように変化するのか?

○L2 に関する能力は、L1 の能力からどのような影響を受けるのか?

○上記を中心とする問題に関して、分野を超えて共有できる知見や考え方は何か? 相違のある点については、それが生じるのはなぜか?

○各研究分野の利点を生かした、研究の補完や共同研究は可能か?

3. 発表者の構成

話題提供者

Emmanuel Manalo (早稲田大学理工学部)

尾島 司郎 (東京大学総合文化研究科)

千葉 克裕 (文教大学/東北大学)

モデレーター

横山 悟・鄭 嬌婷 (東北大学加齢医学研究所)

4. 第二言語の習熟度と ERP (尾島 司郎)

脳波の一種である ERP (event-related potential, 事象関連脳電位) を用いた L2 習得研究は、海外では珍しいものではなくっており、既に多くの知見が蓄積されている。過去の研究は、脳内の L2 処理に影響する要因として、L2 習得の開始年齢 (age of acquisition, AOA) と L2 習熟度 (L2 proficiency) の重要性を指摘している [1]。こうした研究は今も継続して行われているが、L2 話者の言語能力の全体像を解き明かすには、L2 との関連で母語 (L1) も同時に調べる必要がある。

アメリカへの移民に関する先行研究では、AOA が早い (L2 学習開始が早い) と最終的な L2 習熟度は高いが、逆に L1 習熟度は低い (母語が失われている) と報告されている。こういった現象は行動データとして報告されているが、あまり注目されていない。

しかし、L2 と母語の関係は外国語教育にとって大きな意味を持つ。特に日本人の英語学習のように、習得までに数千時間を要する場合、それだけの長い学習が母語にとってプラスなのかマイナスなのかは、社会的に重要な問題である。また、プラス・マイナスいずれの関係があったとしても、日本語と英語のように表面的な共通性が少ない 2 言語の組み合わせの場合、そういった関係が一体どんなメカニズムで生じるのか明らかではなく、科学的にも興味深い研究テーマである。

こうした背景の中、尾島らは最近の研究で、日本人の成人において、英語習熟度 (L2 proficiency) の高いグループと低いグループを、日本語 (L1) において比較した。つまり、L2 能力の高低によって、母語能力がどう違ってくるのかを検討した。英語力高グループは TOEIC850 点以上、低グループは TOEIC350 点以下の英語力だった。ともに、中学入学時に英語学習を始めていたが、特に大学以降の英語学習時間に大きな差があった (高 > 低グループ)。

実験結果として、行動 (メタ言語意識課題) と脳機能計測 (ERP) の両面において、英語力の高いグループが日本語でも優れていることが示された。

母語におけるメタ言語意識は、母語の文法などについてどれだけ明確な直感があるかを示すが、先行研究から予想された通り、L2 (英語) 能力が高いほうが、L1 (日本語) についてのメタ言語意識が高かった。

このようなメタ言語意識は、提示された文全体を処理した後に、つまりオフラインで、グローバルな判断をくだした時のものだが、脳計測で用いた ERP は、文を処理している途中の、もっと言えば、それぞれの単語を処理している途中の段階のオンラインデータである。

英語力高グループ・低グループの被験者が、日本語の簡単な文を黙読している時の ERP を計測したところ、単語提示後、予想よりかなり早いタイミングでグループの間で差が見られた。高グループは日本語でのメタ言語判断が正確だが、そのようなオフライン判断が下される遥か前に、日本語処理スピードにおけるアドバンテージがあると考えられる。

これらの行動・脳計測データは、思春期から外国語教育で L2 を学ぶ場合、L2 と L1 にはお互いを高めあう正の相関があることを示唆する。今後は、L2 学習開始以前の L1 能力と、L2 学習そのものの影響を分離できるような研究パラダイムの創出が必要となる。

5. MEG による第 2 言語語彙処理と習熟度に関する研究 (千葉 克裕)

5.1. はじめに

中学生から英語を学びはじめた多くの日本人英語学習者にとって、学習の初期には英単語の訳語により意味を理解し、やがて習熟度が上がるにつれて日本語を意識せずに意味を理解できるようになった経験はめずらしいものではない。これまでの第 2 言語の語彙処理に関する研究では、2 つの言語の語彙はそれぞれ別々に保存されるが、概念は共通なものとして存在するとされる。語彙リンクと概念リンクの結びつきについては、Word Association Model (母語連結モデル) と Concept Mediation Model (概念連結モデル) が提案され、

習熟度が上がれば、前者から後者へ移行すると考えられてきた[2004]。また [3] は改訂版階層モデル(Revised Hierarchical Model)を提案し (図 1), L1 と L2 のそれぞれの語彙と共通概念の結びつきにはその数と強さに差があるという階層性を主張し, 第 2 言語学習の初期段階では L1 を介して L2 の意味概念にアクセスし, 意味統合を行うプロセスを説明した。しかしそれらの研究は, 語彙処理のモデルに対して翻訳課題などの反応時間とその正確さを用い, 間接的な観察にもとづく推論によるものである。

近年はバイリンガルの脳内辞書について最新の脳機能計測法を援用し, 脳内の活動を直接観察する研究が数多くなされてきている。しかしながら, 外国語学習者を対象にその習熟度の変化について検証しているものは極めて限られている。

本研究は, 初級学習者が第 2 言語の語彙を第 1 言語の翻訳を通して理解しているか, 上級学習者は翻訳を介さず直接 L2 を理解しているかなど, 日本人英語学習者の語彙処理過程に対する習熟度の影響について MEG (Magnetoencephalography) により検証する。

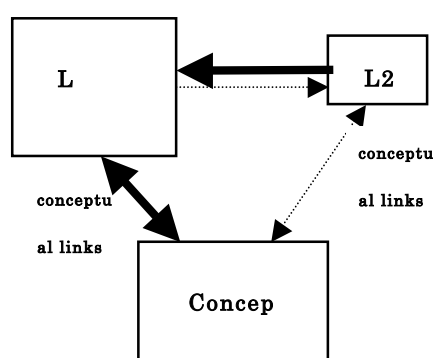


図 1 Revised Hierarchical Model
Kroll & Stewart (1994)

5.2. 先行研究

fMRI による第 2 言語の意味処理プロセスに関する研究において, [4] は, 初級学習者は左下前頭回(LIFG), 左下頭頂小葉(LIPL) が賦活し, 上級学習は LIFG, LIPL が賦活しないことを報告し

た。[5] は, 同様に初級学習者は下頭頂小葉(LIPL) が賦活し, 上級学習は LIFG, LIPL が賦活しないことを確認し, さらに左中側頭回(LMTG) が初級学習者は賦活せず, 上級学習者は賦活することを報告した。

[6] は, 英語・スペイン語初級バイリンガルの語彙処理を EEG を用い言語内・言語間両方の反復効果をプライミング実験により確かめ, L2 と L1 で N400 の大きさが違うことと, 翻訳方向では L1 から L2 への順方向にのみより大きく現れることを報告した。

[7] は, 刺激提示のオンセットから 300ms-500ms のタイムウィンドウを対象に N400 による分析を行い, 逆方向の翻訳方向においてより大きな N400 を確認したが, 反応時間では, 日常的に目標言語を使う環境での上級学習者は, 翻訳方向による有意差が見られないことを報告した。

これらの先行研究から, 習熟度の違いにより左下前頭回 (ブローカ野), 下頭頂小葉, 左中側頭回の賦活量の違いがあることと, L2 から L1 への意味プライミング効果が N400 の時間的变化に現れることが確認できる。しかし, 上述の研究では時間的情報と空間的情報が同時に計測されていない事に加え, 連続した習熟度の被験者を対象にその違いによる影響を検証したものは一例 [4] しかないため, 習熟度の違いにより, どの時間帯にどの部位が賦活しているのかを確かめることができない。

従来の研究で採用されてきた EEG による脳波 (ERPs) の測定では空間分解能に劣り, 言語の機能局在を観察できないという短所があった。また, fMRI による研究は高い空間分解能を持つが, 血流の変化を捉えるという原理上, 時間分解能に大きく欠けるという問題がある。一方, MEG は EEG の空間分解能と fMRI の時間分解能の二つの問題を同時に解決し, 視覚野, 運動野, 言語野の活動を時間的・空間的に同時に観察することが可能になる。

[8] は MEG を用いて文章における単語提示と

word pair における単語提示課題においてコンテキストに沿っている場合とそうでない場合との比較を行った結果、文章と単語では 300ms から 500ms の間の N400 効果が質的に変わらないとを指摘した。

5.3. 研究の方法

5.3.1. 実験デザイン

本研究では、語彙判断課題と意味判断課題の 2 つの実験を、MEG (脳磁図計測器) 内で横臥姿勢で行った。また英語の習熟度を比較する指標として英語理解に関する総合的な習熟度テストである Minimal English Test (以下 MET, [9]) を被験者全員に受けさせた。

実験プログラムは E-Prime 2.0 上で作成し、頭上の画面に提示される課題に対し、正解なら人差し指、不正解なら中指のボタンを押して回答させた。一つの実験ユニットは刺激語提示 (1000msec)、+マーク (2500msec) *マーク (1000msec) の組み合わせにより構成され、被験者は刺激語を提示された後なるべく早く回答するように指示された。また、どうしてもまばたきが必要な場合は *マークが提示された時間帯にするよう指示された。反応時間は刺激語提示の瞬間をオンセットとして計測した。

第 1 の実験である語彙判断課題は、単語の形式の処理過程を計測するための課題であり、モニター上にある文字列を提示し、その単語が英単語か非英単語かをボタン押しにより判断させた。これは英語学習者の単語理解における単語認知の反応時間や正確さを測定する課題である。提示する語数は英単語 100 語 (生物 50・非生物 50)、非単語 50 語とした。第 2 の実験の意味判断課題は、単語の意味処理過程を計測するための課題で、モニター上に提示される語が生物を表す語か非生物を表す語かを回答するよう指示された。1 ユニットの課題数は、第 1 の実験における英単語に合わせて、生物 50 語、非生物 50 語であった。

5.3.2. 刺激語

刺激語は 200 語の生物名詞と 200 語の非生物名詞を MRC Psycholinguistic Database [10] から抽出した。[7] にならい、文字数、音節数、親密性の各項目について条件間に差が出ないようにデータベースを用いて調整した。非単語は ARC Nonword Database [11] から英単語と同じ文字数と音節数で抽出し、さらに、1) 英語の正字法的に正しい綴りのみ、2) 語頭が正字法的に正しいもののみ、という条件で統制した。

5.3.3. 被験者

被験者は、東北大学の 18 歳から 25 歳 (平均 21.3 歳, SD=1.66) の学部生および大学院生 29 名 (男子 20, 女子 9) である。すべての被験者の母語は日本語であり、海外への留学経験はなく、利き手は右手である。いずれの被験者も実験開始前にインフォームドコンセントが求められ文書による同意書に署名した上、実験後に謝金が支払われた。

5.4. 解析と結果

5.4.1. 行動データ

行動データの解析 [12] では、語彙判断課題、意味判断課題ともに正答のみの反応時間を各被験者で平均化し、その結果と英語習熟度テストである MET のスコアとの相関を解析した。また、意味アクセスの時間と習熟度との関係を検証するため、語彙判断課題での単語と非単語との処理時間の差、及び意味判断課題と語彙判断課題の処理速度の差についても、それぞれ MET スコアとの相関に関して解析を行った結果、習熟度が単語理解の処理速度へ与える効果は、意味アクセスに至る前の単語認知処理の段階で影響を与えていると判断した。

5.4.2. MEG データ

語彙判断課題と意味判断課題遂行中の MEG データは、刺激提示のオンセットを基準とし -100ms から 1000ms までの信号を -100ms から 0ms をベースラインとして取り出した。その後、誤答あるいは 2pT 以上の信号を認めた試行は解析から除外

した上で被験者ごとに加算平均をした。加算平均後のデータは 2-30Hz のバンドパスフィルターを適用し、全被験者の総加算平均を計算した。本研究では、意味アクセスの時間帯と考えられる N400 の成分を分析するために [6, 7] 等にならない 100ms-300ms と 300ms-500ms のタイムウィンドウで信号強度と習熟度テスト MET の得点との相関を分析した。また単語認知処理に対する影響を確認するため [13] を援用し、50ms-150ms を分析対象に加えた。語彙判断課題の分析結果として 100ms-300ms のタイムウィンドウで左半球の合計 8 カ所、50ms-150ms で 28 カ所のチャンネルに有意な相関が確認された。部位の詳細と考察、及び意味判断課題については当日の発表において詳述する。

5.5. 今後の課題

ここまでの分析は信号強度（振幅）のみの分析であるが、有意差を示したチャンネルのタイムラインを用いて初級学習者は語彙判断課題においてより反応時間が長い、潜時がタイムラインの後ろにずれるかどうかなど潜時と習熟度との関係も分析する必要がある。また、MEG の利点である空間分解能を生かした信号源の解析も進めたい。

6. Do Variations in L2 Speaking Performance Correspond to Detectable Differences in Brain Activity? (Emmanuel Manalo)

6.1. Introduction

Speaking is generally considered as the most salient indicator of the extent to which an L2 learner has developed skills in the target language. Understanding the processes underlying L2 speech acquisition and exploring ways to more effectively facilitate this acquisition are therefore important. A number of studies have already examined how various factors affect L2 students' speaking performance. Where Japanese students'

English speaking performance is concerned, for example, the relationships with factors such as L2 study experiences and practices, vocabulary development, personality, and state anxiety have been investigated [14, 15].

With recent advances in brain imaging technology, researchers have begun examining what happens in the brain when various tasks requiring L2 use are carried out. For example, differences in brain activation have been found between fluent and non-fluent L2 learners when they listen to L2 sentences and read L2 words [16, 8]. The development of a statistical model of the relationship between L2 sentence reading performance and brain activation has also been initiated [17]. In the area of medical science, some brain imaging studies like these have led to the development of biological evidence-based methods for addressing issues of human performance, such as the debilitating effects of dementia [18].

To date, however, only a very limited number of brain imaging studies have examined L2 speech, and none of these have directly examined the connection between brain activity and indices of L2 speech proficiency. To establish this connection therefore became the main objective of the present study.

6.2. Previous Research in L2 Brain Imaging

The few neuroimaging studies that have examined L2 speech production have, until recently, only required very limited, basic speech responses such as in naming tasks, syllable production, and production of constrained sentences. In a more recent study [19], however, comparisons were made of brain activity during direct interviews (with a live interviewer) and semi-direct interviews (with a video-recorded interviewer) in both L1 and L2.

Hence, speech produced was more natural and longer. In this study, greater activation in parts of the brain involved in social communication (i.e., in the medial prefrontal cortex and the bilateral posterior superior temporal sulci) was found during L2 direct interviews. However, individual differences in L2 proficiency were not examined, so the study provided no insights into how L2 proficiency might relate to activity in the brain.

6.3. Previous Research in Measurement of L2 Proficiency

Many studies have been conducted to measure and numerically index the quality of L2 speech, as well as to identify some of the behavioral and psychological correlates of such indices. The most commonly used measurements pertain to L2 speech complexity (e.g., mean length of utterance, or the average number of morphemes in sentences uttered), accuracy (e.g., the proportion of correct verbs or clauses used in utterances), and fluency (e.g., speech rate, such as the total number of words or syllables divided by the total speaking time). These indices together are often referred to as CAF measurements.

Despite the number of CAF-related studies in the applied linguistics research literature, there had been no investigations into biological evidence to verify the indices that have been commonly used. In other words, we did not know for example if (or how) the activity in the brain of a person who is fluent in L2 might differ from that of another who is less fluent.

6.4. Challenges that Had to Be Overcome

Aside from designing tasks and associated indexing methods to represent various qualities of L2 speech in ways that are ecologically valid

and detectable through current brain neuroimaging techniques, the other challenges that had to be dealt with included the treatment of “noise” in the data arising from facial (speaking) and eye movements. Additionally, it was subsequently decided as necessary to also gather brain activity data while participants spoke in their first language (L1) so that intra-subject analysis could be undertaken between L2 and L1 conditions to identify L2 related speaking process activation in the brain.

6.5. Hypotheses

The main hypothesis was that there would be significant correlations between measurements of L2 speech proficiency and activity in various parts of the brain. More specifically, it was hypothesized that: (i) brain areas involved in procedural memory would be linked to L2 speech complexity; (ii) areas involved in the supervision of word retrieval, and in morphosyntactic processing, would be linked to L2 accuracy; and (iii) areas associated with semantic memory and lexical knowledge would be linked to L2 fluency.

6.6. Method

The participants were 58 university students who were native Japanese speakers and for whom English was an L2.

The participants were administered a description task while fMRI (functional magnetic resonance imaging) scans were taken of their brain. The description task required them to describe 31 randomly presented pictures during the 30-second period that each picture was shown. An event-related design was used whereby the participants were first provided a visual warning signal (2 seconds)

prior to the stimulus picture then being presented (during which the participant was asked to describe what they saw using complete sentences as much as possible); this was followed by a 4-second rest period (during which nothing was shown); then the sequence was repeated until all 31 pictures had been presented.

Each participant was required to complete the description task in both L1 and L2. Equivalent (but not the same) pictures were used in the L1 and L2 trials.

6.7. Expected Results

At the time of writing this paper for the conference workshop, data collection - but not analyses - had been completed. It was expected that connections would be detected between L2 speaking competence and activity in different parts of the brain. More specifically, the expectations were that:

- ・ Complexity scores would correlate with activity in the left inferior frontal gyrus, which is part of the procedural memory circuit [8, 20].
- ・ Accuracy scores would correlate with activity in the right prefrontal cortex, an area previously found to relate to naming accuracy [21].
- ・ Accuracy scores may also correlate with activity in the sub-regions of the inferior frontal gyrus which have previously been found to relate to morphosyntactic processing [22].
- ・ Fluency and vocabulary fluency would correlate with activity in the left middle temporal gyrus, usually associated with semantic memory and lexical knowledge [17].

Actual findings from completed analyses are planned to be reported and discussed during the JCSS workshop presentation of this study.

Acknowledgements

The authors of this initial report would like to thank Nobue Tanaka-Ellis, Hyeongjeong Jeong, Hiroshi Hashizume, Kei Takahashi, Akitake Kanno, and Ryuta Kawashima for their help and advice. This study was supported by a grant-in-aid for scientific research from the Japan Society for the Promotion of Science.

参考文献

- [1] Ojima S, Nakata H, & Kakigi R. (2005) An ERP study of second language learning after childhood: effects of proficiency. *Journal of Cognitive Neuroscience* 17, 1212-28.
- [2] French R. M. & Jacquet M. (2004) "Understanding Bilingual Memory: Modes and Data." *TRENDS in Cognitive Sciences*, 8, no2, 87-93.
- [3] Kroll, J. F. & Stewart, E. (1994). Category Interference in Translation and Picture Naming: Evidence for Asymmetric Connections between Bilingual Memory Representations. *Journal of Memory and Language*, 33, 149-174.
- [4] Chee, M. W. L., Hon, N., Lee, Soon, C. S. (2000) "Relative Language Proficiency Modulate BOLD Signal Change when Bilinguals Perform Semantic Judgments." *Neuroimage* 13, 1155-1163.
- [5] Yokoyama, S., Kim, J., Uchida, S., Miyamoto, T., Yoshimoto, K., Riera, J., Yusa, N., Kawashima, R. (2009) "Left middle temporal deactivation caused by insufficient second language word comprehension by Chinese-Japanese bilingual." *Journal of Neurolinguistics*, 22, 476-485
- [6] Alvarez, R. P., Holcomb, P., J., & Grainger, J. (2003) "Accessing word meaning in two languages: An event-related brain potential study of beginning bilinguals."

- Brain & Language, 87, 290-304.
- [7] Palmer, S. D., van Hooff, J. C., & Havelka, J. (2010). "Language representation and processing in fluent bilinguals: Electrophysiological evidence for asymmetric mapping in bilingual memory." *Neuropsychologia*, 48, 1426-1437.
- [8] Lau, E., Almeida, D., Hines, P. C., Poeppel, D. (2009), "A lexical basis for N400 context effect: Evidence from MEG." *Brain & Language*, 111, 161-172
- [9] Goto et al. (2010).
- [10] Wilson, (1988).
- [11] Rastle & Coltheart (2002.)
- [12] 千葉克裕・横山悟・吉本啓 (2010). 「第2言語の習熟度と語彙処理速度の検証 —語彙判断課題および意味判断課題の反応時間から—」『東北大学高等教育開発推進センター紀要』第7号, pp. 35-42.
- [13] Friedrici A. D., (2002). "Towards a neural basis of auditory senence processing." *TRENDS in Cognitive Science* 6, No2, 78-84.
- [14] Oya, T., Manalo, E., & Greenwood, J. (2004). The influence of personality and anxiety on the oral performance of Japanese speakers of English. *Applied Cognitive Psychology*, 18, 841-855.
- [15] Oya, T., Manalo, E., & Greenwood, J. (2009). The influence of languagecontact and vocabulary knowledge on the speaking performance of Japanese students of English. *The Open Applied Linguistics Journal*, 2, 11-21.
- [16] Sakai, K. L., et al. (2009). Distinct roles of left inferior frontal regions that explain individual differences in second language acquisition. *Human Brain Mapping*, 30, 2440-2452.
- [17] 横山悟、イブトスシラ、大澤剛士、川島隆太. (2009). 「脳機能画像データを用いた英語学習者のリーディング習熟度評価」『電子情報通信学会技術研究報告』109 (297), 57-62.
- [18] Kawashima, R., et al. (2005). Reading aloud and arithmetic calculation improve frontal function of people with dementia. *Journal of Gerontology*, 60A(3), 380-384.
- [19] Jeong, H., et al. (2011). Testing second language oral proficiency on direct and semidirect settings: A social-cognitive neuroscience perspective. *Language Learning*, 61, 675-699.
- [20] Ullman, M. T. (2001). A neurocognitive perspective on language: The declarative/procedural model. *Nature Reviews Neuroscience*, 2, 717-726.
- [21] Videsott, G., et al. (2010). Speaking in multiple languages: Neural correlates of language proficiency in multilingual word production. *Brain and Language*, 113, 103-112.
- [22] Yokoyama, S., et al. (2006). Cortical mechanisms involved in the processing of verbs: An fMRI study. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 18, 1304-1313.