

氏 名 島田 浩二

学位(専攻分野) 博士(理学)

学位記番号 総研大甲第 1616 号

学位授与の日付 平成25年3月22日

学位授与の要件 生命科学研究科 生理科学専攻  
学位規則第6条第1項該当

学位論文題目 Proficiency-dependent cortical activation associated with  
speech production and comprehension in second language  
learners

論文審査委員 主 査 教授 南部 篤  
教授 定藤 規弘  
教授 小松 英彦  
教授 横川 博一 神戸大学

## 論文内容の要旨

Bilingualism is common in many cultures. However, not all of individuals achieve higher levels of proficiency in second language (L2). Individual differences in learning and mastering languages could be ultimately characterized by differences in brain function. Better understanding such differences would be of help to develop an efficient way of language training. Until now, neuroimaging studies have used two approaches to investigate the influence of proficiency on the language-related brain networks. One approach is to compare highly proficient native language (L1) with L2 of generally low proficiency. Previous studies showed that lower proficiency exhibited more extensive cortical activation associated with language production and smaller activation with language comprehension. Because this approach is to confound L1-L2 status with proficiency, another approach to compare high and low proficient L2 learners is needed. Although a few studies have tried to isolate the role of proficiency in shaping the neural networks of L2 processing, it remains still unclear how L2 proficiency modulates brain activation associated with language processes. Here, in the present study, the author aimed to determine the brain basis of proficiency-related individual differences in L2 production and comprehension. For this purpose, the author used a standardized test of spoken proficiency to evaluate proficiency levels in individuals who learned English as a non-native language. To measure brain activation related “directly” to proficiency, a modified version of this English test for an fMRI experiment was used. This modified version consisted of four production tasks, such as reading, repeating, replying question and sentence building, as well as one comprehension task (i.e., story comprehension). Brain activation associated with the five tasks was compared between three proficiency groups (low, medium and high). The hypothesis was that the proficiency dependency of the neural representation of L2 processes is linguistic process-specific. The author expected that the neural activation by the production tasks would decrease as proficiency increases, and vice versa by a comprehension task. Functional MRI study was conducted with 31 native Japanese speakers who learned English in a country where its language is not spoken in daily life. Proficiency levels of the learners were assessed with a standardized test of spoken non-native English skills (Versant English test: Pearson Education Inc., CA, USA). The test score report is comprised of an overall score and four subscores for “sentence mastery (grammatical knowledge),” “vocabulary,” “fluency” and “pronunciation.” The overall score represents the ability to understand spoken English and speak it intelligibly at a native-like conversational pace. Based on their proficiency levels indexed by overall scores in the test, they were divided into three groups (low, medium and high). During fMRI scanning, they performed five language tasks: reading (to read aloud a sentence), repeating (to listen to a sentence and repeat it), replying question (to listen to a question and give a simple answer to it), sentence building (to listen to

three phrases and rearrange them into a sentence), and story comprehension (to summarize a story while listening to it). As results, behavioral data analysis revealed an increase in the accuracy of the task performances other than reading, corresponding to higher levels of proficiency. In fMRI data analysis, the present results revealed that less activation in higher proficient L2 learners was shown in the left IPL (BA 40) during the reading task and in the left dorsal IFG (BA 45/44/9) during the sentence building task. In contrast, more activation in higher proficiency was observed in the right lateral-posterior cerebellum (Crus 1/2) and the left ventral IFG (BA 47/45/44) during the story comprehension task. Interestingly, the results also found that the proficiency subscore for "fluency" (relating to the manner of the response production) is a major determinant of the proficiency-dependent activation during both syntactic production and discourse comprehension. Consistent with the hypothesis, the results indicate that syntax and phonology in higher proficient L2 learners are dependent on a more automatic manner and that higher proficiency is related to more extensive semantic processing which is supported by more efficient syntactic processing. The present findings suggest that low proficiency in spoken L2 skills may be caused by less efficient, less automatic syntactic processes.

外国語 (L2) の運用能力には大きな個人差がある。そのような個人差を生み出す認知・神経メカニズムを理解することにより、外国語の効果的な学習方法の開発に貢献できるものと考えられるが、その理解は未だ十分ではない。島田氏は、外国語学習の個人差を考えるにあたって、母語 (L1) を対象とした研究が提示する言語処理モデルを参考とした。即ち、母語の聴覚的文章理解においては、文の統語構造処理は意味情報に先立つこと、その理解過程には、言語産出システムによって生成される予測情報が利用されることが判明していることから、島田氏は以下のような仮説を立てた：習熟レベルの高い L2 学習者は、産出システムによる予測情報の生成がより効率的であることで、聴覚的文章理解が高まる。

もしこの仮説が正しければ、習熟レベルのより低い L2 学習者は、発話産出の負荷が高まることから産出関連の脳活動がより高くなる一方、聴覚的文章理解に先立つ統語処理低下のため、文章理解関連の脳活動はより低くなると予測される。

この仮説を検証するために、L2 を実際に産出・理解しているオンライン言語処理課題中の脳活動を機能的 MRI によって計測し、習熟レベルの異なるグループ間で比較を行った。実験には日本人英語学習者 31 名が参加し、英語習熟レベルが標準化されたテスト (Versant English Test) により評価された。習熟レベルは、総合スコアと 4 つの下位スコア (構文、語彙、流暢さ、発音) で表わされた。総合スコアに基づき、参加者は習熟レベルの異なる 3 グループ (低、中、高) に分けられた。課題は、発話産出を求める課題 4 つ、音読、復唱、質問回答、文構築 (三つの語句を文の形に並べ替える) と、発話理解を求める文章理解であった。産出課題の中でも、音読と復唱は音韻処理、文構築は統語処理、質問回答は意味処理に強く関連する課題である。

実験の結果、予測された通り、より低い習熟レベルの学習者は産出課題で脳活動が増加し、理解課題で減少することを見出した。即ち、より低い習熟レベルの学習者は音読では左・下頭頂小葉の活動の増加、文構築では左・下前頭回背側部の活動の増加を示した。文章理解では右・小脳と左・下前頭回腹側部の活動が低下を示した。課題関連の脳活動に対する下位スコアの寄与については、下頭頂小葉の活動には「語彙」、下前頭回背側部の活動には「流暢さ」と「構文」、小脳と下前頭回腹側部の活動には「流暢さ」と「語彙」が寄与した。

音読課題の下頭頂小葉の活動増加は、文字から音韻への変換の負荷増大を反映し、文構築課題の下前頭回背側部の活動増加は、統語構造の構築の負荷を反映していると考えられる。一方、文章理解課題における下前頭回腹側部および同部と構造的・機能的な結合をもつ小脳の活動低下は、文章理解に必要な語彙の検索や意味役割の付与の関与を反映していると考えられる。さらに「流暢さ」という産出プロセスの効率化を表わす指標が、文章理解関連の脳活動に寄与するという結果も上記仮説を支持するものである。

以上、本研究の結果は、L2 運用能力 (産出・理解) の習熟レベルの個人差は、音韻と統語処理の効率性 (自動性) の差に起因することを示すものであり、外国語の習熟の脳内メカニズムの理解にあたって、重要な貢献をなすものである。実験方法は適切に考

えられ、導かれている結論も妥当であり、それらは明快かつ平易な英語で記載されている。これらのことから本論文は、学位論文として十分にふさわしい内容であるものと結論された。