

平成 27 年 6 月 8 日現在

機関番号：12201

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2013～2014

課題番号：25870107

研究課題名(和文)日本人英語学習者における英語形態素処理に関する脳内メカニズム：事象関連電位研究

研究課題名(英文)The brain mechanisms underlining English morphological processing in Japanese learners of English: An event-related brain potential study

研究代表者

立田 夏子(Tatsuta, Natsuko)

宇都宮大学・基盤教育センター・助教

研究者番号：50364831

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 1,500,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、日本人英語学習者における三人称単数現在-sと過去形-edの英語形態素処理に関する脳内メカニズムを、英語接触開始年齢、英語習熟度、そして、英語と日本語の言語学的相違点・類似点という観点から、事象関連電位を用いて検証した。研究の結果、日本人英語学習者は、英語習熟度が高まれば、英語学習開始年齢とは関係なく、英語形態素処理ができ、そして、その処理は、英語と日本語の言語学的相違点による影響を受けることが明らかになった。さらに、第二言語処理のある条件下において、作業記憶負荷と関わりがある認知作用が優位に働くことがあり、それは英語接触開始年齢の影響を受けることが示唆された。

研究成果の概要(英文)：The present study investigated the brain mechanisms underlying English morphological processing in 3rd person singular present -s and past tense inflection-ed in Japanese learners of English using event-related brain potentials in terms of the effects of the age of learning English, the English proficiency level, and the linguistic differences/similarities between English and Japanese. The results indicated that Japanese learners of English were able to process English morphological operation once their English proficiency reached a higher level, regardless of the age of learning English, and the linguistic differences could have effect on the processing. In addition, the present study suggested that the general cognitive function associated with working memory seemed to be more predominantly involved in a certain aspect of second language processing, which could be affected by the age of learning English.

研究分野：第二言語処理研究

キーワード：第二言語処理 事象関連電位 (ERP) 英語形態素処理 生成文法 P600 LAN N400

## 1. 研究開始当初の背景

### (1) 先行研究

Kutas and Hillyard (1980) が、成人英語母語話者において、意味逸脱文に対して刺激提示後約 400ms 後に頭頂部で陰性成分 (N400) が検出されることを報告して以来、脳内の言語処理に伴う時間的な変化を観察するのに適した ERPs を指標として、言語と人間の脳・心の関係を探る研究が盛んに行われてきた。形態素処理を反映する ERP 成分としては、刺激提示後 300ms から 500ms にかけて左半球前頭部で陰性成分 (Left Anterior Negativity: LAN; 形態素・統語処理を反映) と刺激提示後約 600ms 後に中心部から後頭にかけて陽性成分 (P600; コントロールされた意識性の高い処理を反映) が報告されている (Colson, King, & Kutas, 1998)。

一方、日本人英語学習者における英語処理の ERP 研究は、まだ初期段階と言える。日本で最初のこの種の研究は、Tatsuta, Fukuda, and Tomita (2001) である。Tatsuta et al. (2001) では、日本人英語学習者を英語読解能力により二群に分類し、意味逸脱文に対して検出される N400 の出現動態 (出現潜時・電圧の強さ) を比較した。実験の結果、第一言語処理と第二言語 (外国語) 処理の両者において、意味逸脱文に対して N400 が検出され、また、その出現形態は英語読解能力とは関連がないことが明らかになった。英語形態素処理研究では、Ojima, Nakata, and Kakigi (2005) が、中学校から英語を学習し始めた成人日本人の中で、英語習熟度が高い上級学習者においては、三単現 -s の非文に対して LAN は検出されるが P600 は検出されず、中級学習者においては、LAN も P600 も検出されないと報告している。また、Wakabayashi, Fukuda, Bannai and Asaoka (2007) は、成人日本人英語学習者においては、主語と動詞の人称の不一致に対して P600 が検出されるが、数の不一致に対しては検出されないと報告している。

上記の先行研究より、日本人英語学習者は、英語母語話者とは異なった英語形態素処理を行っていることが分かる。しかし、研究数が少ないため、その違いを生じさせる要因や違いの性質については、未だ脳生理学的には解明されていない。

### (2) ERP 実験

本研究の計画を進めていく上で、多チャンネル脳波計 (128 電極) を用いて約 250 名の成人を対象に ERP 実験を行った。ERP 実験では、日本人英語学習者を、中学校に入る前に英語を学習し始めたグループ (Early) と中学校に入ってから学習し始めたグループ (Late) に分け、次に、各グループを英語習熟度が高いグループ (High; TOEIC 平均 898.27 点) と

低いグループ (Low; TOEIC 平均 498.50 点) に分けた。したがって、日本人英語学習者は四群 (Early-High: EH、Early-Low: EL、Late-High: LH、Late-Low: LL) となり、その他に統制群として英語母語話者 (English native speakers: ENS) も加わり、合計五群が実験に参加した。実験文は、母語 (日本語) の影響を調査するために、1) 英語と日本語において表層言語表示を備える、つまり、音形を持って現れるが、日本語ではその言語表示が英語のように Agree (一致操作; 照合される必要がある素性とそれを照合する素性の間で照合を行い、解釈不可能素性を削除する操作) によるのではなく、形態併合 (形態素を既存の構造に導入する操作) による過去形 (英語: -d、日本語: -た) に関する文 (In those days, many boys *liked*/\**like* movies with action.)。そして、2) 英語には Agree による表層言語表示 (-s) が存在するが、日本語には表層言語表示が存在しない現在形の主語と動詞の一致 (三人称単数現在: 三単現 -s) に関する文 (Many boys *like*/\**likes* movies with action.) の二条件を使用した。実験の結果、次のような予備的結果を得ている。

#### 三単現 -s の処理

ENS においては、LAN と P600 が検出された。High グループにおいて、LH には陰性波と P600 が検出されたが、EH には P600 のみ検出された。Low グループにおいては、ERP 成分は検出されなかった。

#### 過去形 -ed の処理

ENS においては LAN と P600 が検出されたのに対し、Early グループにおいては陰性波、Late グループにおいては持続性陰性波 (Sustained Anterior Negativity: SAN) が検出された。

## 2. 研究の目的

本研究は、日本人英語学習者にとって習得が難しいと言われている三単現 -s と過去形 -ed の処理に関する脳内メカニズムを、1) 英語接触開始年齢、2) 英語習熟度、3) 英語と日本語の言語学的相違点・類似点という三要因の観点から、ERPs を用いて解明することを目的とする。更に、日本における英語教育への脳科学データの応用へと展開するための研究基盤を確立する。

## 3. 研究の方法

本研究では、基礎研究と応用研究の完成を計画している (図 1)。

基礎研究では、脳波解析ツール (EEGLAB/MATLAB) 操作スキルを習得し、新解析方法を開発する。その後、日本人英語学習者にお

ける、三単現-*s* と過去形-*ed* の処理に関する脳内メカニズムを解明する。そして、応用研究では、日本人英語学習者における、英語形態素処理に関する脳内メカニズムのモデルを構築し、効果的な英語教育導入や英語学習法・英語指導法への考察を行う。

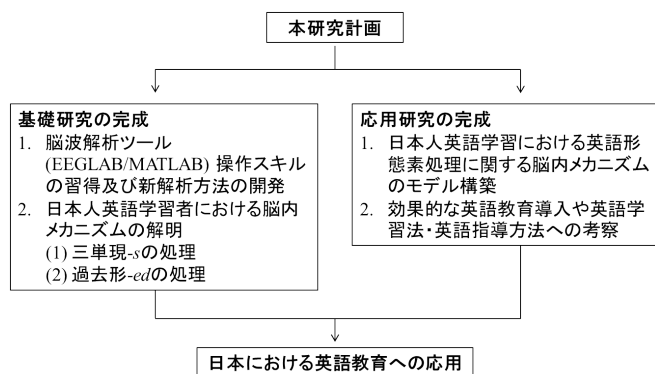


図1 本研究の計画

日本人英語学習者における脳内メカニズムの解明においては、以下の研究方法を用いる。

#### (1) 三単現-*s* の処理

日本人英語学習者の個人の脳波を EEGLAB と MATLAB により解析し、グループ間の P600 の出現形態（ピーク潜時・電圧の強さ）の量的な違いを測定することによって、英語習熟度と P600 の出現形態の関連性を調べる。その後、グループ間比較を行うことにより、日本人英語学習者における英語の三単現-*s* に関する脳内メカニズムを解明する。

#### (2) 過去形-*ed* の処理

第二言語（外国語）処理は、第一言語処理より速度が遅いという見解があるため（Weber-Fox & Neville, 1996）本研究では、日本人英語学習者の脳波を、これまで解析対象としていた刺激提示後 800ms より以降の潜時帯も解析域に入れた解析を行うことによって、P600 出現有無を再検討する。次に、三単現-*s* の処理と同様の解析方法を導入し、グループ間の陰性波の出現形態の量的な違いを測定することによって、英語習熟度・英語接触開始年齢と陰性波の出現形態の関連性を調べ、日本人英語学習者における英語の過去形-*ed* 処理に関する脳内メカニズムを解明する。

### 4. 研究成果

#### (1) 三単現-*s* の処理

##### ERP

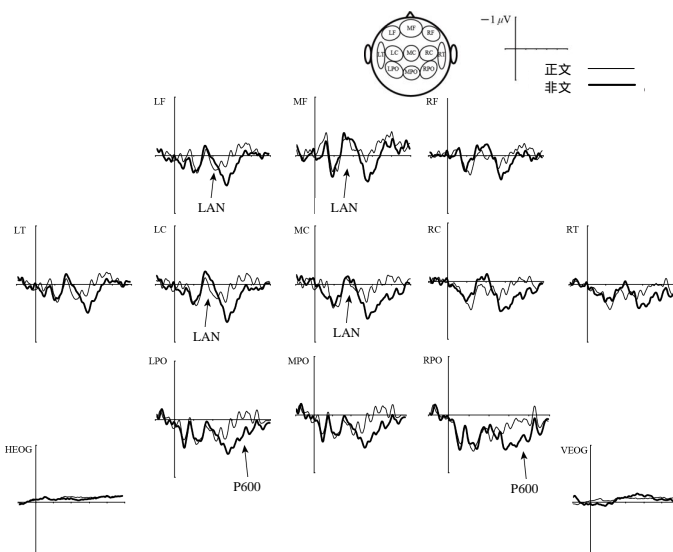


図2 - 1 英語母語話者グループの ERP（三単現-*s*）

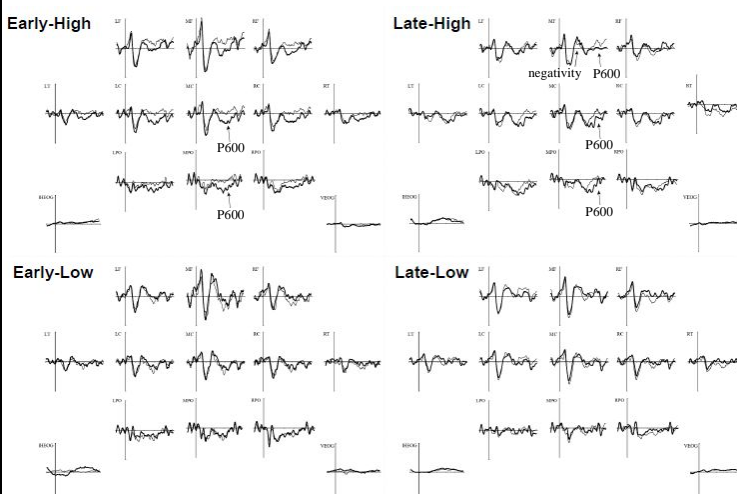


図2 - 2 日本人英語学習者話者グループの ERP（三単現-*s*）

#### 解析結果

三単現-*s* に関する非文に対して、ENS においては、形態素処理を反映するとされる典型的なパターン、つまり刺激提示後 350ms から 400ms にかけての LAN と、500ms から 800ms にかけての P600 が検出された（図2 - 1）。High グループにおいては、LH には刺激提示後 300ms から 400ms にかけての陰性波と、600ms から 700ms にかけての P600 が検出されたが、EH には刺激提示後 400ms から 800ms にかけての P600 のみ検出された。Low グループにおいては、ERP 成分は検出されなかった（図2 - 2）。

次に、グループ効果を検証するために、ENS と High グループにおける P600 のピーク潜時と電圧を比較した。P600 の出現潜時とされる刺激提示後 500ms から 800ms にかけての潜時帯において、ENS と High グループにおいて P600 が検出された共通の頭皮上分布である midline site の ERP を解析値として解析を行っ

た。その結果、LH における P600 のピーク潜時が ENS と EH グループより有意に長く、( ENS: 572ms; EH: 568ms; LH: 698ms,  $F(2, 60) = 1.67$ ,  $MSE = 0.57$ ,  $p = .016$  ) ピーク電圧は、High グループが、ENS よりも有意に低かった ( ENS: 0.52uV; EH: 0.39uV; LH: 0.32uV,  $F(2, 60) = 2.34$ ,  $MSE = 0.36$ ,  $p = .014$  )。

### 考察

High グループにおいて、LH には陰性波と P600 が検出されたのに対し、EH には P600 のみの検出であった。EH の結果のように、第二言語処理を反映する成分として、意識性がより低い形態素・統語処理が LAN や陰性波として検出されるよりも、コントロールされた意識性の高い処理が P600 として検出される傾向は、第二言語習熟度が高い被験者を対象とした先行研究においても報告されている ( Rossi, Gugler, Friederici, & Hahne, 2006 )。このことを踏まえると、ENS と High グループ間における三単現-s の処理の違いは、P600 のピーク潜時と電圧の量的な違いであり、High グループは ENS と同質の処理、つまり Agree を伴った言語処理ができていると考えられる。

一方、P600 の出現に関して High グループと Low グループ間で違いが見られたことより、日本人英語学習者における三単現-s の処理は、英語習熟度の影響を受けることが明らかになった。Low グループにおいて P600 が検出されなかった一因としては、英語と日本語の言語学的相違点が挙げられる。現在形の主語と動詞の一致は、英語には Agree による表層言語表示 (-s) が存在するが、日本語には存在しないため、Low グループの英語習熟度が、日本語に存在しない Agree を伴った言語処理が可能となるために必要なレベルに達していなかったと考えられる。

### (2) 過去形-ed の処理

#### ERP

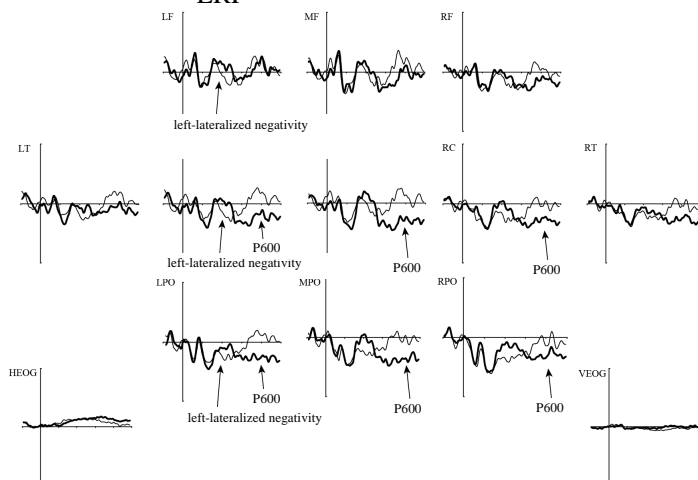


図 3 - 1 英語母語話者グループの ERP (過去形-ed)

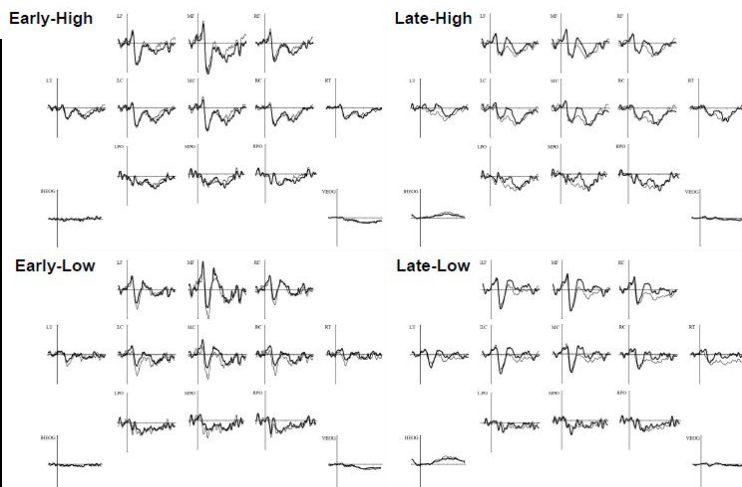


図 3 - 2 日本人英語学習者話者グループの ERP (過去形-ed)

### 解析結果

過去形-ed に関する非文に対して、ENS においては、刺激提示後 400ms から 500ms にかけての左半球優位の陰性波 ( left-lateralized negativity ) と、700ms から 800ms にかけての P600 が検出された ( 図 3 - 1 )。一方、Late グループにおいては、刺激提示後 300ms から 800ms までの SAN、そして、Early グループにおいては、目視では確認できないが、統計的には、刺激提示後 300ms から 500ms にかけての陰性波が検出された ( 図 3 - 2 )。

次に、日本人英語学習者における P600 の出現有無を再検討するため、これまで解析対象としていた刺激提示後 800ms より以降の潜時帯も解析域に入れた解析を行った。刺激提示後 800ms から次の刺激が提示される 1000ms までを、多くの先行研究で用いられてきた 100ms ごとの解析ではなく、10ms ごとの解析を行ったが、どの潜時帯においても ERP 成分は検出されなかった。この結果とこれまでの研究結果を総合すると、本研究においては、過去形-ed に関する非文に対して、日本人英語学習者には P600 が検出されなかったと結論付けるに至った。

続いて、グループ効果を検証するために、陰性波の出現形態の量的な違いの測定を試みた。しかしながら、解析の結果、日本人英語学習者における陰性波の出現範囲が広範囲にわたることが明らかになったため、三単現-s の処理と同様の解析方法、つまり、比較グループにおいて ERP 成分が検出された共通の頭皮上分布を基に解析値を決定する解析方法を導入することが不可能であった。陰性波の継続時間に関しては、上記のように、Late グループの陰性波が ENS と High グループよりも持続していた。

### 考察

ENS において検出された陰性波は、左半球前頭部ではなく左半球優位であるため、典型



的な LAN とは認められないが、LAN に近い ERP 成分と考えると、形態素処理を反映するとされる典型的な LAN-P600 パターンが検出されたことになる。一方、日本人英語学習者グループにおいては、陰性波のみが検出されたことより、日本人英語学習者グループにおける過去形-ed の処理は、ENS における処理とは違うが、過去形-ed の非文に対し何らかの脳反応があったと考えられる。

次に、日本人英語学習者において検出された陰性波を特定し、ENS と日本人英語学習者グループの過去形-ed の処理の違いの性質について考察する。

検出された陰性波の一つ目の可能性としては、言語処理における陰性成分の一つ、意味逸脱文に対して検出される N400 が挙げられる。Steinhauser, White, and Drury (2009) は、第二言語習得を遅く (Late) から始めた第二言語学習者は、習得初期段階において、第二言語の形態統語に関する文に対して、形態統語処理ではなく意味処理を行い、第二言語習熟度が高まるにつれて、形態統語処理が可能になるという発達段階のモデルを提案している。しかしながら、本研究では、LH を含む High グループにおける三単現-s の処理が ENS と同様の形態素処理を行ったことを考慮すると、本研究における日本人英語学習者が、形態統語処理を行えない発達段階であるとは考えられず、検出された陰性波が N400 である可能性は低い。

二つ目の可能性としては、典型的な出現頭皮上分布は異なるが、陰性成分である LAN が挙げられる。LAN は、形態素・統語処理の他に、短い時間に心の中で情報を保持し、物事を同時に処理する能力である作業記憶を反映すると報告されている (Kluender & Kutas, 1993)。本研究における実験文を検証すると、三単現-s に関する文 (Many boys like/\*likes movies with action.) では、一致関係がある主語名詞句 (Many boys) と動詞 (like/\*likes) が隣接しているのに対し、過去形-d に関する文 (In those days, many boys liked/\*like movies with action.) では、一致関係がある過去を表す副詞句 (In those days) は文頭に位置し、一致関係がある動詞 (liked/\*like) との間に、主語名詞句 (many boys) が存在するため、「過去時制」という記憶を一時的に保持していなければならない、作業記憶の負荷がかかることになる。このことを考慮すると、本研究では、日本人英語学習者における過去形-d の処理は、ENS における処理とは質的に異なる、つまり、形態素処理よりも、認知処理である作業記憶に関わる処理が優位に行われた可能性が示唆された。ENS と日本人英語学習者におけるこの処理の違いの一因としては、英語と日本語の言語学的相違点が挙げられる。過去形は、

英語と日本語において表層言語表示を備える、つまり、音形を持って現れる (英語: -d、日本語: -た) が、日本語ではその表層言語表示が英語のように Agree によるのではなく、形態併合によるためである。

ここで、Late グループの陰性波が Early グループよりも持続していたことから、英語接触開始年齢が遅い方が、第二言語形態素処理のある条件下における作業記憶の負荷が優位に働くことが示唆された。

- (3) 日本人英語学習者における英語形態素処理に関する脳内メカニズムのモデル構築
- 三単現-s に関する条件に対して、ENS と High グループ間で ERP 結果に質的な違いがなかったことより、日本人英語学習者における英語形態素処理は、英語習熟度が高まれば、英語学習開始年齢とは関係なく、英語母語話者と同様の処理、つまり Agree を伴った言語処理ができることが明らかになった。三単現-s に関する非文に対して Low グループで ERP 成分が検出されなかった理由として、現在形の主語と動詞の一致は、英語には Agree による表層言語表示 (-s) が存在するが、日本語には表層言語表示が存在しないためと考えられる。また、過去形-ed に関する非文に対して陰性波が検出されたことより、第二言語処理のある条件下において、作業記憶負荷と関わりがある認知作用が優位に働くことがあり、それは英語接触開始年齢の影響を受けることが示唆された。これらの考察を基に、日本人英語学習者における英語形態素処理の脳内メカニズムを検討し、モデルを提案した (図 4)。

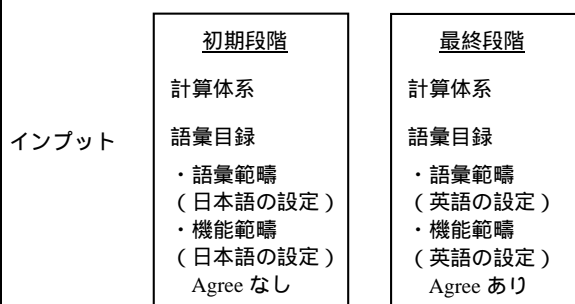


図 4 日本人英語学習者における英語形態素処理に関する脳内メカニズムのモデル

日本人英語学習者における英語形態素処理に関しては、英語習得初期の段階において、英語の機能範疇 (三単現-s や過去形-ed 等の動詞の屈折など、文法に関する範疇) は日本語の設定、つまり、表層言語表示に必要な Agree が存在しない状態である。その後、英語習熟度が高まるにつれて、英語学習開始年齢とは関係なく、名詞や動詞といった語彙範疇が習得され、機能範疇も英語の設定にリセットされる。そして、第二言語習得の最終段階にお

いては、英語母語話者のように Agree を伴った言語処理が可能となる。

#### (4) 効果的な英語教育導入や、英語学習方法・英語指導方法への応用への考察

本研究の研究対象は、英語形態素の一部の三単現-s と過去形-ed のみであるため、英語教育全体への提言は避けるが、本研究の日本における英語教育への脳科学データの応用を考察した。

はじめに、日本人英語学習者における英語形態素処理は、英語習熟度が高まれば、英語学習開始年齢とは関係なく、英語母語話者と同様の言語処理ができることが明らかになった。このことより、英語形態素に関する教育の導入時期は、小学校における英語教育時である必要性は低く、中学校入学以降に導入したとしても、英語形態素の習得や処理は可能になると言えよう。

次に、英語と日本語の表層言語表示の違いによる影響が、三単現-s の処理において Low グループの EPR 結果に現れた。したがって、特に英語習熟度が低い日本人英語学習者に対しては、英語と日本語の表層言語表示システムの違いに注目した明示的な指導が、学習者の効果的な学習を推進できる可能性がある。

#### (5) 本研究の位置づけと今後の展望

今日、言語処理の脳内メカニズムを検討するために、脳機能検査方が応用されるようになってきているとは言え、国内での脳機能検査方を用いた日本人英語学習者における第二言語（外国語）処理研究は、まだ初期段階と言える。また、国外でのこの種の研究においてもまだ明らかにされていない部分が多いため、今後発展し、日本における英語教育への脳科学データの応用が進むことが期待されている。このような状況の中で、本研究は、今後の機能検査方を用いた第二言語（外国語）処理研究の発展性ある初期研究として位置づけられるであろう。

本研究は、前述のように、多チャンネル脳波計（128電極）を用いて、約250名の成人を対象にERP実験を行ったが、この多チャンネル脳波を用いて大人数を対象とした第二言語（外国語）処理研究は、世界でも数少ない。初めてのものである。また、印欧語とは語族の異なる日本語話者を対象とした本研究は、欧米主導の当該分野に新たな視点を与えるとも言えよう。今後、三単現-s や過去形-ed 以外の項目を研究対象とすることにより、日本人英語学習者と英語母語話者との質的・量的な英語形態素処理の違い、更にその違いを生じさせる要因をより包括的に解明することが可能となり、本研究の日本における英語教育への応用に寄与できるものと考えられる。

#### <引用文献>

- Colson, S., King, J. W., & Kutas, M. (1998). Expected the unexpected: Event-related brain response to morphosyntactic violations. *Language and Cognition*, 13, 21–58.
- Kluender, R., & Kutas, M. (1993). Bridging the gap: Evidence from ERPs on the processing unbounded dependencies. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 5, 196–214.
- Kutas, M., & Hillyard, S. A. (1980). Reading senseless sentences: Brain potentials reflect semantic incongruity. *Science*, 207, 203–205.
- Ojima, S., Nakata, H., & Kakigi, R. (2005). An ERP study of second language learning after childhood: Effects of proficiency. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 17, 1212–1228.
- Rossi, S., Gugler, M. F., Friederici, A. D., & Hahne, A. (2006). The impact of proficiency on syntactic second-language processing of German and Italian: Evidence from event-related potentials. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 18, 2030–2048.
- Steinhauer, K., White, J. E., & Drury, J. (2009). Temporal dynamics of late second language acquisition: Evidence from event-related brain potentials. *Second Language Research*, 25, 13–41.
- Tatsuta, N., Fukuda, K., & Tomita, Y. (2001). An ERP study of second language processing by Japanese EFL learners. *Annual Review of English Language Education in Japan*, 12, 131–140.
- Wakabayashi, S., Fukuda, K., Bannai, M., & Asaoka, S. (2007). Japanese speakers' sensitivity to third person singular -s in English: Arguments based on ERP data. *Second Language*, 6, 19–46.
- Weber-Fox, C. M., & Neville, H. J. (1996). Maturational constraints on functional specialization for language processing: ERP and behavioral evidence in bilingual speakers. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 8, 231–256.

#### 5. 主な発表論文等

なし

#### 6. 研究組織

##### (1) 研究代表者

立田 夏子 (Tatsuta, Natsuko)

宇都宮大学・基盤教育センター・助教

研究者番号：5 0 3 6 4 8 3 1