様　式　Ｃ－１９、Ｆ－１９、Ｚ－１９　（共通）

科学研究費助成事業　　研究成果報告書

平成 ２８ 年　 ６ 月 １０ 日現在

機関番号：１２６０１
研究種目：基盤研究(B)（一般）
研究期間：2012～2015
課題番号：２４３２００７２

研究課題名（和文）日本語の即時処理はなぜ可能か：情報の予測的・統合的・選択的利用の総合的検討

研究課題名（英文）What makes incremental processing possible in Japanese: predictive, integrative, selective use of various sources of information

研究代表者
広瀬　友紀（HIROSE, Yuki）

東京大学・総合文化研究科・准教授

研究者番号：５０３２２０９５

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費）　　14,000,000円

研究成果の概要（和文）：本プロジェクトでは、日本語のような主要部後置言語においても逐次的な処理が可能であるという多くの先行研究の観察結果について、それがいかにして可能であるのかという問いに迫るものである。複数の異なる手法の実験を通し、意味・選択制限情報、韻律という言語内情報と、世界知識や視覚的に得られる状況などの言語外情報が即時的な分析のみならず予測的に用いられることを示した。それらの成果は複数の論文・学会報告にわたるが、本報告書ではそのうち主要なものについて紹介する。

研究成果の概要（英文）：This project investigated in what way (not "whether") real-time incremental processing is possible in head final languages such as Japanese. We conducted several experiments employing various psycholinguistic method to show how information in the linguistic domain (such as selectional restrictions such as prosody) and extra-linguistic domain (such as world knowledge and referential context) play a role in predicting the upcoming structure. In the document to follow, we report selected experiments among several more.

研究分野：心理言語学

キーワード：日本語　主要部後置　予測的処理

日本語理解における動詞情報と項の予測

1．研究開始当初の背景

人間の文処理は、時間軸に即して得られる入力を保留することなく即時的に行われるという前提がこれまで西欧語を対象とした研究を中心に共有されてきた。この即時処理という前提に対し、各句や節の重要な情報を担う主要部（特に動詞）が最後まで入力されない日本語のような主要部後置言語の存在はその反証根拠として９０年代以降注目を集めた(Pritchett, 1991)。その後さらに最近の研究では、日本語のような言語でも、不完全な情報に基づいて遅延のない即時処理が行われるとする研究成果が注目を集めている(Kamide & Mitchell, 1999, Miyamoto, 2002 等)。しかし、こうした主張に伴い欠かせない次なる課題は、統語的な情報が常にタイムリーに得られない条件で、では一体どのようにして、こうした理論上は極めて困難と考えられる主要部後置言語実時間処理が可能なのかという問いへの具体的な答えである。理論的に極めて説明困難な、日本語の即時処理が可能とするからには、言語内外の情報利用のあり方について、従来想定されていた範囲を超えた積極的な予測的利用や情報統合、および実時間処理に適合するような情報選択の可能性を検討することが必要とされていた。

2．研究の目的

人間の文理解の研究においては、その処理は入力に則し、速やかに漸進的・即時的に行われるという大きな前提がこれまで主要部前置型の言語を対象とした研究を中心に共有されてきた。この前提に対し、日本語のような主要部後置言語（処理に必要とされる情報が句・節の最後まで得られない）の存在は大きな挑戦とされたが、近年の研究では、日本語においても即時的な処理が行われるという主張がなされている。しかしながら、では一体どのようにして完全主要部後置言語での実時間処理が可能なのかという問いに対する本格的な検討は課題として残されたままである。本研究は、視覚世界パラダイム法と言った近年開発された実験技術を活用しつつ複数の視点からその答えに迫るものである。言語内外の情報の予測的活用近年では、入力に即して得られる諸情報をいかに素早く利用して構造構築を行うかという即時性にとどまらず、すでに得られた情報をもとに、まだ得られていない要素に関する予測を含めた構造構築を行うという予測処理に関する研究が注目を集めている。特に近年眼球運動を用いた実験手法の発展に伴い、統語情報の予測による予測注視という現象が報告されている(Altmann & Kamide, 1999; Kamide, Altmann & Haywood, 2003 他)。項構造の手掛かりとなる格助詞や語彙情報やそれに伴う統計的情報などの知識ならびに、自分を取り巻く状況（視覚文脈，世界知識などを含む）から取り入れた情報などのうちどのような情報が、どれだけ早い時点で、どの程度具体的な情報予測を可能にするのかという問いに答え、より具体的な知見を得ることが本研究の主な目的である。

3．研究の方法

眼球運動測定を用いた読み実験及び視覚世界パラダイム法、更には新しい実験方法を用いた多角的なアプローチでテーマの検討を行った（用語説明：視覚世界パラダイムとは、音声呈示される刺激文によって指示される内容に即して、同時に提示されている絵刺激に対する被験者の視線の動きを眼球運動測定装置を用い観察する方法である。その注視対象やタイミングは、音声刺激の理解過程を反映したものと解釈でき、自然な言語使用に近い状況で、実時間言語理解過程の検討に極めて有用とされる）。
「言語内外の情報の予測的活用」及び「情報の相互作用的な統合」のテーマのもと、実験方法の異なる３つの研究についてそれぞれ研究方法を述べる。

3-(1). 動詞予測実験

主要部後置言語において、動詞より先に現れる情報に基づいて特定の動詞に対する予測が行われるか否か新しい実験手法を用いて調査を行った。同じテーマを持つ過去の研究においては、読み手が動詞を見た後の反応（読み時間又は事象関連電位など）を指標としている場合が多く、それでは読み手が特定の動詞を事前に予測したために処理が楽になったのか、単純に文全体に対してその動詞の意味的な整合性が高いために処理が楽だったのか判別不可能であった。その問題を解決する為本研究では、自己ペース読み課題と語彙判断課題を組み合わせるという以前にはなかった方法によって、動詞の予測を実証しようと試みた。被験者には移動窓式自己ペース読み課題によって「レストランでウェイトレスがお客に料理を見せた」という文を読んでもらった。通常「料理を」まで読んだ時点で、「運ぶ」という動詞が予測されると考えられるが、実際には「見せた」という予想されないが、意味として適切な動詞が提示された。これに対し、「レストランでウェイトレスがお客に笑顔を見せた」という文を「運ぶ」という動詞の予測不可能なコントロール条件として用いた。そしてこの読み課題の後に続く独立した別の試行で語彙判断課題を行ったもらい反応時間を計測した。まず実験に先だって、用意した 24 の項目で実際に予想されると考えられる動詞が想起されるか確かめる為に文完成課題を行った。この結果実際に予想を促す文の後では予測される動詞を産出する確率は予想を促がさない文の後にくらべて有意に高かった。これを受けて第 1 実験では語彙判断課題において予測される動詞（「運ぶ」）又は無関係且つ予測不可能な動詞（「約束する」）を提示した。（つまり文タイプ（予想を促す文 vs. 予想を促がさない文)と単語タイプ（予想される単語 vs. 予想されない単語)の 2 x 2 デザインを採用)。第二実験では、文完成課題の結果に基づき予測された動詞の代わりに意味としてはほぼ同義だが、予測される確率が低い動詞を提示することによって予測されたのは実際に特定の動詞であるのかまたは抽象的な意味情報であるのか調査した。

3-(2). 語彙の意味情報の動詞及び構造予測への影響

本申請書で提案された研究の理論的柱である Surprisal theory、または Expectation-based models

という言語処理モデル（Hale, 2001; Levy, 2008）においては、特定の言語情報における処理負荷は、その言語情報が得られる前までの情報に基づく確率分布と、その言語情報を受け取った後の確率分布の差に基づくとされている。これによると、特定の動詞・構造の予測確率が非常に高い言語情報（「レストランでウェイトレスがお客に料理を」）の後に、予想と異なる語彙・構造（「かけられた」）が現れた場合には処理負荷が非常に高くなると予想される。しかし、語彙の意味情報により文脈を操作すること（「お客に」の前に「意地悪な」）によって、その語彙・構造の予測確率を高め、その結果処理負荷を軽減することができると考えることができる。本研究はこれを確かめ Surprisal theory の実証を目的として行った。実験では自然な読みにおける眼球運動を観測し、その実時間における言語処理を観察し分析した。被験者は文脈から予想される語彙（「運ぶ」）・文構造（能動態）が続く(1a)または、予想されない語彙（「かける」）・文構造（受動態）が続く(1b)を読んだ。それぞれ、「意地悪な」という修飾語を加えた条件を用意し、2 x 2 デザインで実験を行った。

1a. 喫茶店でウェイトレスが（意地悪な）お客にアイスコーヒーを運んだらしい。
1b. 喫茶店でウェイトレスが（意地悪な）お客にアイスコーヒーをかけられたらしい。

3-(3). 語彙的整合性と構造選好性との交互作用の研究
今までの研究により日本語においても格助詞の情報を用いて、各句が現れた時点で可能な統語的関係性を構築することがわかっている。その際 Constraint-based models といった文処理モデルにおいては、構造的な選好性や、語彙の意味情報に基づく整合性（plausibility）といった情報が同時に制限（constraint）として作用すると考えられている。しかしそのような異なる種類の制限がお互いに相反する言語情報をサポートする場合、どのように影響しあうか未だよくわかっていない。これを確かめる為、日本語の関係節文を用い、主語とその次に来る目的語の結びつきの強さを語彙の意味によって操作し、視覚世界パラダイムを用いて調査した。具体的には以下の(2)の文を被験者に聞かせ、同時に提示した絵刺激における視線を記録することで調査した。

2a. OL がワインをゆっくりと飲み干した男性に微笑んだ。
2b. 子供がワインをゆっくりと飲み干した男性に微笑んだ。
2c. カバンがワインをゆっくりと飲み干した男性にぶつかった。

本実験の前に実際に 24 用意した実験刺激の意味的整合性の操作の有効性を調べるために予備調査を行った。被験者（27 名）は関係節主部以下を切った主節解釈にあたる文（「OL がワインをゆっくりと飲み干した」）を読み、その内容の実現可能性に対して 7 段階でレーティングを行った。その結果条件間に有意な差が観測された。続く本実験では Tobii TX-300 眼球測定器を用い、動詞を聞いた直後からの関係節主部に当たる絵刺激に対する眼球運動を分析した。

4. 研究の結果
上記した 3 つの研究の結果について以下に述べる。

4-(1). 動詞予測実験
第一実験の語彙判断課題における反応時間を分析した結果、有意な交互作用が認められ、これによって特定の動詞の予想を促す文の後では、予想された単語は、予想されない単語よりも反応時間が早かった。そして予想が可能ではない文の後では、予想される単語と予想されない単語への反応時間の間に差は見られなかった。Fig 1 はその交互作用を表すグラフである。

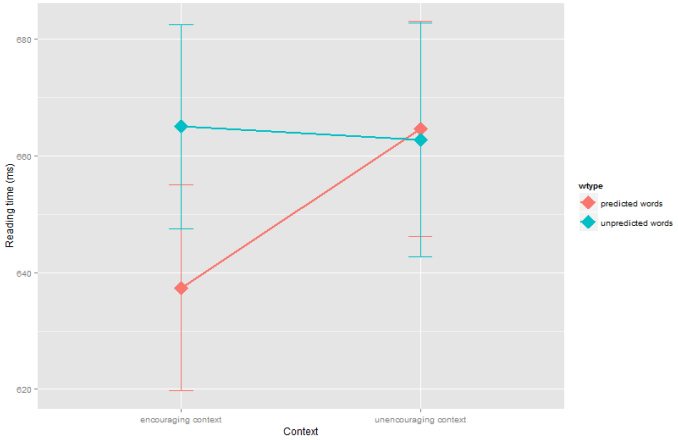

Fig 1. 語彙判断課題における反応時間の結果

次に予測確率の低い類義語を提示した第二実験では反応時間において交互作用は観測されなかった。この結果第一実験で観測された効果は、単に抽象的な意味を予測したのではなく、特定の動詞を予測したことに起因することが明らかになった。現在この研究結果を論文にまとめていて国際学術雑誌 Journal of Memory and Language に投稿する予定である。

4-(2). 語彙の意味情報の動詞及び構造予測への影響
被験者の自然な読みにおける眼球運動を分析した結果、動詞を見る前のリージョン（「アイスコーヒーを」）において、first pass 及び right-bounded といった比較的早い処理を反映する指標において文タイプと修飾語有無の要因の間に有意な交互作用が見られた。これによって、修飾語が含まれない文では、(a)の方が(b)の方より読み時間が短かったのに対し、修飾語が含まれた文では差が無く、パターンとしては逆転している結果が得られた。上記の結果より、主要部後置言語である日本語においても動詞以前に現れる情報を用いて動詞の予測が行われていることが明らかになった。この後、動詞部分を自分で完成してもらう文完成課題を行い、どの程度の確率で、それぞれ受け身構造を予測したか調査した結果、修飾語を

含まない文では予測される

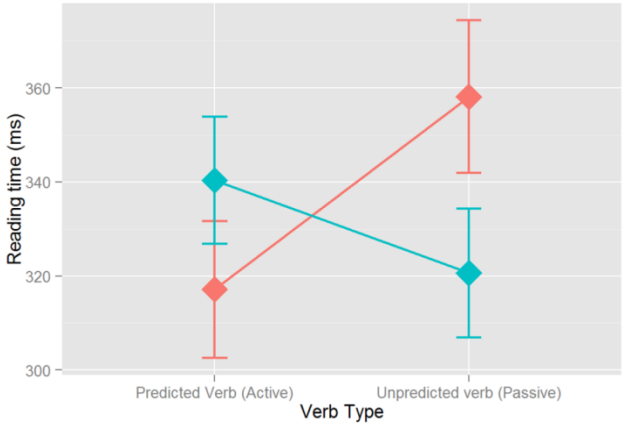

Fig 2. 動詞の前のリージョンにおける first pass 読み時間の結果

動詞の出現確率が、修飾語を含む文に比べて有意に高く、さらに受け身文の出現確率は 0.6%とほぼ無いに等しかったのに対し、修飾語を含む場合にはその確率が有意に高かったことがわかった(6.1%)。この結果から予測される動詞における surprisal の値を計算し、2 項変数の代わりとして統計モデルに含めて分析を行った結果、この要因が有意であることがわかった。これによって、surprisal の値が大きい程（つまり事前の予測確率が低ければ低い程）読み時間が長かったことが明らかになった。この結果は、主要部後置言語における予測に基づく文処理理論の実証的な証拠として非常に貴重なものとなった。現在この研究結果を論文にまとめている。

4-(3). 語彙的整合性と構造選好性との交互作用
本実験では第一の動詞を聞いてさらに関係節主部を聞くまでの時間枠において、関係節主部の名詞に対応する絵に対する注視量が関係節構造の予測を反映していると仮定し、その注視量を指標として分析した。(2b)では主節解釈の意味的整合性の低さから(2a)に比べて関係節の予測の確率が高かったことが確認された。興味深いことに、(2c)は主節解釈の意味的整合性がより低いのにも関わらず(b)よりも関係節の予測の確率が低かった（しかし(a)よりは高かった）。これによって整合性が低すぎる条件では逆に混乱し、正しい文構造の予測の妨げになった可能性を示唆した。これを確認する為、認知的処理負荷を反映する瞳孔サイズの時間的変化を分析した。その結果、(c)の条件に限り、瞳孔の大きさが時間と共に拡大したことが明らかになり、被験者がこの条件においてありえない主節解釈（「カバンがワインをゆっくりと飲み干す」）を採用し、大きな処理負荷を経験していたことが明らかになった。これによって構造的な処理におけるバイアス（ここでは主格名詞句と目的格名詞句、そしてその後の動詞の結びつけ）が強いため、語彙に基づく整合性の低さが処理負荷を一方的に増加し、正しい文構造へのアクセスをさまたげることがあることが明らかになった。この結果は二つの候補がある場合、ひとつの整合性が低ければ、もう一つの候補の確率が自動的に上がると考えられている Constraint-based models などに疑問を呈する貴重な報告となった。現在この研究結果はほぼ論文にまとめ終わっており、近日中に国際学術雑誌に投稿する予定である。

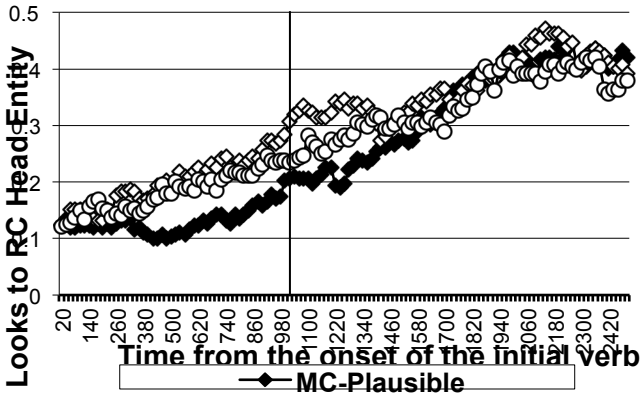

Fig 3. 第一動詞の音声オンセットからの関係節主節の絵に対する注視量の変化

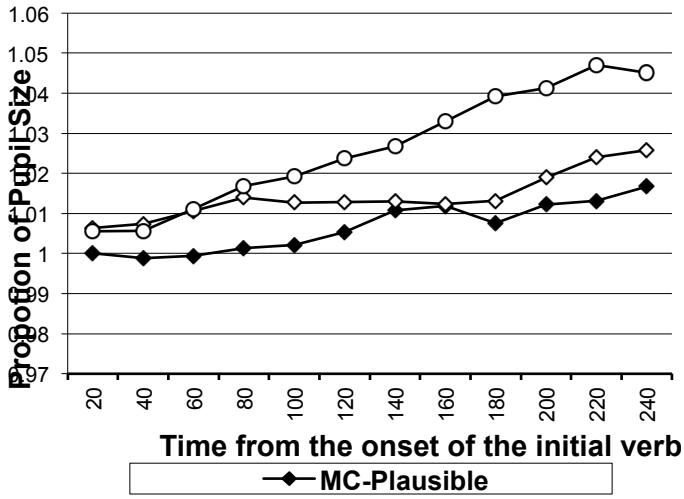

Fig 4. 第一動詞のオンセットからの瞳孔のサイズの時間的変化

5. 主な発表論文等
[雑誌論文]　（１４件）

1. Hirose, Y. and R. Mazuka. (2015) Anticipatory processing of novel compounds: Evidence from Japanese. Cognition, 136. 350-358. 査読有

2. Ito, K., Arai, M. & Hirose, Y. (2015). The interpretation of phrase-medial prosodic prominence in Japanese: Is it sensitive to context? Language, Cognition, and Neuroscience. Language, Cognition and Neuroscience, 30, Nos. 1-2, 167-196. 査読有

3. Shuai Yin, Manami Sato, Yingyi Luo, Yosuke Igarashi, and Hiromu Sasai (2015), Do Chinese L2 learners of Japanese incrementally use prosodic cues in word recognition?－Eye-tracking evidence－, Journal of the Phonetic Society of Japan 19(3) 1-12　査読有

4. Kahraman, B., Sakai, H.: Relative clause processing in Japanese: Psycholinguistic investigation into typological differences, In M. Nakayama (ed.), Handbook of Japanese Psycholinguistics, Berlin:De Gruyter, 423-456, 2015. 査読有

5. Wilson, B. G., & Miyamoto, E. T. (2015). Proficiency effects in L2 processing of English number　agreement across structurally complex material. Proceedings of the 151st Meeting of the Linguistic Society of Japan. Nagoya University. 査読無

6. Siriwittayakorn, T.,　Miyamoto, E. T., & Ratitamkul, T. (2015). Contextual Effects and Locality Preferences in Relative Clause Attachment in Thai. Proceedings of the EuroAsianPacific Joint Conference on Cognitive Science　(pp. 686-691). 査読無

7. Miyamoto. E. T., et al. (2014). Information Structure and the Comprehension of Non-Canonical Word Orders in Japanese. Tsukuba Ooyoo Gengogaku Kenkyu, 21, 31-41. 査読有

8. Miyamoto, E. T. (2014). Understanding wh-questions in context. In S. Kawahara and M. Igarashi (Eds.), Proceedings of FAJL 7: Formal Approaches to Japanese Linguistics. MIT Working Papers in Linguistics 73, pp. 125-130.　査読無

9. Ishikawa, M., Arai, M., & Hirose, Y. Shared structural representations for short and full passives in Japanese children and adults, *Proceedings of FAJL 7. MITWPL.* 101-112, 2014. 査読無

10. Ono, Hajime & Kentaro Nakatani. (2014). Integration costs in the processing of Japanese wh-interrogative sentences. Studies in Language Sciences, 13, pp.13−31. 査読有

11. Nakamura, M., & Miyamoto, E. T. (2013). The object before subject bias and the processing of double-gap relative clauses in Japanese. Language and Cognitive Processes, 28, 303-334. http://dx.doi.org/10.1080/01690965.2011.634179 査読有

12. Hirose, Y., M. Arai and K. Ito. (2012). What is in contrast? - The role of prosodic prominence in ambiguity resolution. IEICE Technical Report TL2012-21. 63-66. 査読無

13. M. Arai, Y. Hirose, C. Nakamura, and E. Miyamoto. (2012). Priming of branching structure in comprehension. IEICE Technical Report TL2012-21. 59-62. 査読無

14. Kitagawa, Y. and Y. Hirose (2012) Appeals to prosody in Japanese Wh-interrogatives—Speakers' versus listeners'　strategies. Lingua, 122 (6), 608-641. 査読有

[学会発表]　（２０件）

1. Uchida, S., Arai, M., Miyamoto, E. T., & Hirose, Y. Prune early or prune late? Surprisal will cost you either way. Paper presented at Annual CUNY conference on Human Sentence Processing. Los Angeles (U.S.A.). March 19. 2015.

2. Nakamura, C., Arai, M., & Hirose, Y. What is helpful for native speakers can be misleading for L2 learners: Evidence for misinterpretation of contrastive prosody. Poster presented at Annual CUNY conference on Human Sentence Processing. Los Angeles, (U.S.A). March 20. 2015.

3. Hirose, Y. Predictive processing of compounds in adults and six to seven- year- old children.　International Conference on Phonetics and Phonology (ICPP) 2015. Keio University, (Minago-ku, Tokyo). September 26. 2015.

4. Hirose, Y. Predictive processing of novel compounds: Evidence from Japanese and possible future projects. Workshop on Experimental linguistics in East-Asian Languages. Konkuk University, Seoul (Korea). March 27. 2015.

5. Arai, M., Nakamura, C. & Hirose, Y. Thematic fit does not always help ambiguity resolution. Poster presented at 20th Annual Conference on Architectures and Mechanisms for Language Processing, Edinburgh (U.K.) September　4. 2014.

6. Arai, M., Hirose, Y. & Nakamura, C. Getting ready for a surprise. Poster presented at 20th Annual Conference on Architectures and Mechanisms for Language Processing, Edinburgh, (U.K.) September 4. 2014.

7. Yamada, T., Arai, M., & Hirose, Y. Unforced revision in the processing of relative clause association ambiguity in Japanese. Paper presented at Annual CUNY conference on Human Sentence Processing. Columbus (U.S.A.), March 14. 2014.

8. Nakamura, C., Arai, M., Harada, Y., & Hirose, Y. Processing Filler-gap dependencies in L2: Evidence for the use of subcategorization information. Poster presented at Annual CUNY conference on Human Sentence Processing. Columbus (U.S.A.), March 14. 2014.

9. Jin, L., Deng, Y., Arai, M., & Hirose, Y. An effect of verb repetition in the production of head-final passive construction. Poster presented at Annual CUNY conference on Human Sentence Processing. Columbus (U.S.A.), March 14. 2014.

10. Andrew Martin, Yosuke Igarashi, Nobuyuki Jincho, Reiko Mazuka. Speech rate and final lengthening in Japanese infant-directed speech The 88th Annual Meeting of the Linguistic Society of America, Minneapolis (USA), Jan 4. 2014

12. Hirose, Y. & R. Mazuka. Interpretation of the Role-ambiguous Prosodic Cue in Children and Adults. International Workshop on Children's Acquisition and Processing of Head-Final Languages (CAPHL 2014). Harvard University, Boston (USA.) November 5. 2014.

13. Miyamoto, E. T. (2014). Where dues are due: representations, algorithms, heuristics, rationality, morality, the kitchen sink,… Invited talk at the workshop 「日本語の文理解研究のこれまでとこれから」. Kyushu University, (Fukuoka-shi) . September 27, 2014

14. Arai, M., Miyamoto, E. T., Hirose, Y. & Nakamura, C., The influence of structural ambiguity on an antilocality effect in Japanese. Poster presented at the 19th Annual Conference on Architectures and Mechanisms for Language Processing, Marseille (France) September 4. 2013.

15. Arai, M., Miyamoto, E. T., Nakamura, C., & Hirose, Y. Surprising Surprisal: No free lunch during sentence comprehension. The 14th Tokyo Conference on Psycholinguistics, Keio University, (Minato-ku, Tokyo), March 9. 2013.

16. Hirose, Y., T. Ohki & R. Mazuka. Evidence for Word-internal Pre-head Processing of Novel Compounds. The 14th Tokyo Conference on Psycholinguistics, Keio University, (Minato-ku, Tokyo), March 9. 2013.

17. Hiromu Sakai, Yosuke Igarashi, Akira Utsugi, Youngju Kim. Genitive Subjects in Korean and Japanese at Prosody-Syntax Interface. Japanese/Korean Linguistics 23, MIT, Boston, (USA). Oct 11, 2013

18. Youngju Kim, Yosuke Igarashi, Hiromu Sakai. Syntactic Structure of Genitive Subject Clauses in Korean-A View from Prosody-Syntax Interface-Technical Committee on Thought and Language (TL) Kwansei Gakuen University Satellite Campus at Umeda, (Osaka-shi), Aug 3 . 2013

19. Hiromu Sakai, Yosuke Igarashi, Youngju Kim。Genitive Subject in Korean and Japanese: A view from Prosody-Syntax, The 8th International Workshop on Theoretical East Asian Linguistics Taipei, (Taiwan), June 5. 2013

20. Arai, M., Hirose, Y., Nakamura, C., & Miyamoto, E. T. Priming the internal structure of noun-phrases in comprehension. Poster presented at the 18th Annual Conference on Architectures and Mechanisms for Language Processing, Riva del Garda (Italy), September 6. 2012.

21. Ono, Hajime, Miki Obata, & Noriaki Yusa. Interference and subcategorization information: A case of pre-verbal NPs in Japanese. Formal Approaches to Japanese Linguistics 6 (FAJL-6). ZAS/Humboldt University, Berlin, (Germany). September 28, 2012.

[図書] （２件）

1. Hirose, Y. (2015) Resolution of branching ambiguity and the role of prosody. in M. Nakayama (Ed.) Handbook of Japanese Psycholinguistics. Morton: De Gruyter, 329-351.

2. Yosuke Igarashi (2014), Typology of intonational phrasing in Japanese dialects。Prosodic Typology II 464-492 .

6. 研究組織

(1) 研究代表者
広瀬友紀（HIROSE, Yuki）
東京大学・総合文化研究科・准教授
研究者番号：50322095

(2) 研究分担者
五十嵐陽介(IGARASHI, Yosuke)
一橋大学・社会学研究科・准教授
研究者番号：00549008

酒井弘 (SAKAI, Hiromu)
早稲田大学・理工学術院・教授
研究者番号：50274030

MIYAMOTO, T. Edson
筑波大学・人文社会系・准教授
研究者番号：60335479

小野創（ONO, Hajime）
津田塾大学・学芸学部・准教授
研究者番号：90510561