

平成 21 年 5 月 20 日現在

研究種目：基盤研究 (C)

研究期間：2006～2008

課題番号：18520291

研究課題名 (和文) 脳機能イメージング法にもとづく脳内文処理過程のモデル化

研究課題名 (英文) Study of Neurocognitive Sentence Processing based on Brain Imaging

研究代表者

吉本 啓 (YOSHIMOTO KEI)

東北大学・高等教育開発推進センター・教授

研究者番号：50282017

研究成果の概要： 脳機能計測、特に機能的磁気共鳴イメージング法 (fMRI) および脳波計測 (EEG) の手法によってヒトが言語タスクを遂行中の脳活動を特定する実験を行い、そのデータにもとづいて、ヒトが脳内で文情報を処理する過程を論理文法的手法を用いてモデル化した。ヒトの言語処理過程に関するデータにもとづいて、文処理ストラテジーおよび文処理規則を形式文法理論を用いて構築した。

交付額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2006 年度	1,100,000	0	1,100,000
2007 年度	800,000	240,000	1,040,000
2008 年度	800,000	240,000	1,040,000
年度			
年度			
総計	2,700,000	480,000	3,180,000

研究分野：言語学

科研費の分科・細目：言語学・言語学

キーワード：統語論、言語の生物学的基盤、意味論、脳認知科学

## 1. 研究開始当初の背景

脳機能計測データにもとづく脳内文処理モデルは Friederici (2002) によって提案されているが、まだ萌芽的なものにとどまっており、統合的な言語情報処理モデルとはいえない。研究代表者らの考えによれば上記研究も含めて脳機能イメージング法による言語研究にもっとも欠けているのは、諸モジュールを統合し合理的な検証の可能な文法モデルであり、その欠如のために現行の研究の多くは断片的なデータの収集と解釈にとどまっている。そのようなモデルを持つこと

真に科学的な基礎づけを与えられる。脳機能計測に関連して研究代表者らはこれまでに、fMRI を用いた統語上の逐次的文解析の研究や EEG を用いた意味上の逐次的文解析の研究を行い、データを蓄積してきた。前者の一連の研究では、各モジュール処理をになう脳部位を解明するとともに、日本語処理において、未入力語の予測を行いながらインクリメンタルに文解析を行っていくプロセスの概要を明らかにした。また後者の EEG 実験では、英語の形態論的カテゴリーが一致しない文および日本語の意味的カテゴリーが一致しない文の研究を通じて、統語モジュールと

意味モジュールとの相互関係について定式化のための端緒を得た。他方、数理論理的な文法理論であるダイナミック統語論の日本語の様々な文法事象への適用を行ってきた。それによって、ヒトの認知能力に関わる文法事象の解明に同理論が有効であることを示すことが出来た。これらの過程を通じて、認知情報処理過程、特に前者の提供するような脳内処理に関わるデータの解析のためには後者の理論が適していることを明らかにした。

## 2. 研究の目的

脳機能計測、特に機能的磁気共鳴イメージング法 (fMRI) および脳波計測 (EEG) の手法によってヒトが言語タスクを遂行中の脳活動を特定する実験を行い、そのデータにもとづいて、ヒトが脳内で文情報を処理する過程を論理文法的手法を用いてモデル化することを目的とする。具体的には、文情報のモジュールごとの空間-時間的処理過程の解明、および脳内文処理の基本ストラテジーの解明、の2つの観点から脳機能計測実験を行って得たヒトの言語処理過程に関するデータにもとづいて、文処理ストラテジーおよび文処理規則をダイナミック統語論等の形式文法理論を用いて構築する。

## 3. 研究の方法

(1) 脳内文処理過程に関するデータを得るために、機能的磁気共鳴イメージング法 (fMRI)、脳波計測 (EEG)、および心理実験を行う。

(2) 脳内文処理過程データをモデル化するための文処理システムとして、ダイナミック統語理論 (Dynamic Syntax) および主要句駆動句構造文法 (Head-driven Phrase Structure Grammar) を用いる。

## 4. 研究成果

(1) 機能的核磁気共鳴イメージング法 (fMRI) を中心とする脳機能画像法による文処理過程の計測実験

構文に関する母語/外国語間の処理の違いを解明した。日本語母語話者が日本語 (母語) と英語 (外国語) の単純な構文 (能動文) と複雑な構文 (受動文) を処理する過程について観察を行った。母語話者と外国語学習者とは共通の脳内基盤も用いているが、外国語学習者の場合は課題の難易度 (複雑な構文か否か) により異なる処理を行っていることが分かった (図1参照)。

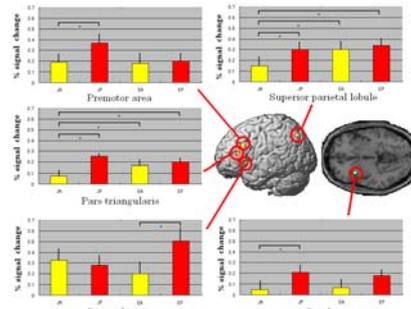


図1: 日英語の能動/受動構文の比較

(2) 日本語文の逐次的処理における優先的読みの解明

文の処理途中で後続する単語を予想しながら処理を行うメカニズムについて解明を試みた。「太郎が花子に英語を教えてもらった」のような補助動詞をともない、主語と間接目的語の意味的な格を入れ替える文型 (「太郎が」は通常は動作主を表すことがもつとも多いが、この場合は補助動詞の働きによって、「教える」という行為の受益者となる) の文を取り上げてリーディング・タイムを計測する言語心理実験を行った。文処理の途中でまだ入力されていない述語が補助動詞等をともしない単純な動作動詞であるとの予測が行われていることを明らかにした。この種の主張はドイツ語に関してなされていたが、例文として用いた日本語文の特徴を生かしてより精密な解明を行うことが出来た (雑誌論文 (12))。このような予測効果が顕著に見られるのはドイツ語の一部の構文や日本語において動詞が文の最後に表れるからであるが、このような研究を今後は英語や中国語等、語順の異なる言語間の学習の問題として発展させることが重要である。

(3) 逐次的な文解析シミュレーション法の開発

ヒトは発話 (文) をほとんど瞬間的に理解できるが、このことは、1つの言語の持つ語彙の膨大さ、構文の複雑さに対してヒトの作業記憶が非常に限られた容量しか持たないことを考えると驚異的なことである。この秘密を解明するための重要なステップとして、ヒトが文を逐次的に (リアルタイムに) 処理する過程を明らかにすることが必要である。また、言語によって語順はさまざまであるのに対して、文処理システムは共通と考えられることから、文処理の脳内基盤のうち何が個々の言語に特有で何が共通であるかを明らかにするためにも逐次的文処理モデルを考えることが不可欠になる。このために、本研究では数理論理的な文解析理論であるダイナミック統語理論を用いてヒトの脳内における文処理をシミュレートすることを目的として脳・認知的文処理モデルを構築し

た。ヒトの文処理は逐次的（入力順）に行われ、後続の入力を予測したデフォルト処理を特色とする。特に動詞を後置する日本語の処理では処理の途中結果を不完全なまま保持しておく情報未指定（underspecification）のメカニズムが不可欠である。研究代表者らはこれを可能にするダイナミック統辞理論を後続入力予測のためのデフォルト論理によって強化したシステムを用いて、上記（2）の研究の観察データを含む言語心理、ERP 実験の結果のとおり文処理のシミュレーションを行った（雑誌論文（2）、（6）、図2参照）。

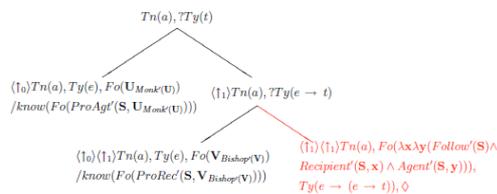


図2: ダイナミック統辞理論にもとづく文解析シミュレーション

例えば、

i. 太郎が花子に英語を

まで発話を聞くと、「太郎」は動作主、「花子」は受益者、そして続く動詞は「教える」のような動作動詞であるとの予測を聞き手は行っている。このことは、上の部分に「教えてもらった」のような補助動詞をとまなう文が続くと、リーディングタイムが長くなったり特有の ERP が発生したりというような、通常は見られない反応が観察されることから分る。研究代表者らはこのような後続入力の予測を行いながら文を逐次的に解析する過程をシミュレートすることに成功した。

(4) リアルタイムの文処理における作業記憶の役割の研究

ヒトが文を入力順に理解していくにあたって、作業記憶の衰退がどのような役割を果たしているかについて、リーディング・タイムの測定とアンケート調査にもとづく解明を行った（雑誌論文（4）、（7）、（18）、（23）、（24）、学会発表（3）、（9）、（12））。以下のような文

- a. Ken agreed with, but Mary denied that Mike was wrong.
- b. Mary denied, but Ken agreed with that Mike was wrong.

で、従来の統語理論にもとづく説明では（a）と（b）との間に違いは無いことになるが、実際には（a）の方が（b）よりも容認度が高いとの意見がある。日英語のこのような並列構文について、本研究では調査を行った。その結果、（a）のタイプの文の方が（b）のタイプよりも有意に容認度が高いことが判明した。このことは、agree with と that-節とが（b）では隣接しているのに対し、（a）では離れているため、agree with が課す統語論的条件に関する作業記憶が衰退するからだと説明することが出来る。リアルタイムの文処理モデルを構築するに当たって、作業記憶は重要な要因となることになる。さらに、作業記憶が文処理の進行とともに衰退することを考慮に入れた文処理メカニズムを提案した。

5. 主な発表論文等

（研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線）

〔雑誌論文〕（計 27 件）

- (1) Alastair Butler and Kei Yoshimoto. Shallow Grammar + Constrained Semantics = Deep Grammar. 『言語処理学会第 15 回年次大会発表論文集』 662-665. 2009 年. 査読無.
- (2) Yoshiki Mori. Causal Implicature of Temporal Subordinate Clauses. *Proceedings of International Congress of Linguists 18*, Vol. 2., p. 161. ソウル. 2008 年. 査読有.
- (3) 吉本啓・蘇雅玲・杉浦謙介「インターネット仮想学習環境を用いた日本語学習者の格助詞習得過程データの収集」『言語処理学会第 14 回年次大会発表論文集』 654-657. 東京大学. 2008 年. 査読無.
- (4) 高橋慶・横山悟・神原利宗・吉本啓・川島隆太「文処理における容認性と語順の関係」『言語処理学会第 14 回年次大会発表論文集』 1105-1108. 東京大学. 2008 年. 査読無.
- (5) Rui Otake and Kei Yoshimoto. A Multimodal Type Logical Grammar Analysis of Japanese: Word Order and Quantifier Scope. In: Ken Satoh, et al. (eds.), *New Frontiers in Artificial Intelligence: JSAI 2007 Conference and Workshops*, pp. 135-148. Springer Verlag. 2008 年. 査読有.
- (6) Alastair Butler, Chidori Nakamura and Kei Yoshimoto. Topic/Subject Co-reference in the Hierarchy of Japanese Complex Sentences.

- Proceedings of the Fifth International Workshop on Logic and Engineering of Natural Language Semantics*, pp. 1-13. 22nd Annual Conference of the JSAI. 2008年. 査読有.
- (7) Hiroaki Nakamura, Kei Yoshimoto, Yoshiki Mori and Masahiro Kobayashi. "Multiple Subject Constructions in Japanese: A Dynamic Syntax Account." *Proceedings of the Fifth International Workshop on Logic and Engineering of Natural Language Semantics*, pp. 14-30. 22nd Annual Conference of the JSAI. 2008年. 査読有.
- (8) Kei Yoshimoto, Chidori Nakamura and Alastair Butler. Hierarchy-based Interpretation of Tense in Japanese Complex Sentences. *Proceedings of International Congress of Linguists 18*, Vol. 2, 332-333. 2008年. 査読有.
- (9) Kei Takahashi, Satoru Yokoyama, Toshimune Kambara, Kei Yoshimoto and Ryuta Kawashima. A Decay Effect in Real-time Sentence Processing. *Proceedings of the 6th International Conference of Cognitive Science*, 218-221. 2008年. 査読有.
- (10) 高橋慶・横山悟・神原利宗・吉本啓・川島隆太「文理解における脳内情報抽出メカニズムの解明」電子情報通信学会技術研究報告 TL2008-12~35 [思考と言語] TL2008-14, pp. 11-15. 2008年. 査読無.
- (11) Yusuke Taka and Yoshiki Mori. Bedeutungserweiterungen und aspektuelle/temporale Eigenschaften von temporalen Subjunktionen. *Neue Beiträge zur Germanistik*, 7: 1. 2008年. 査読有.
- (12) Satoru Yokoyama, Masatoshi Koizumi, Jungho Kim, Noriaki Yusa, Kei Yoshimoto and Ryuta Kawashima. Thematic Difficulty Causes Processing Cost for Sentence Comprehension. *Proceedings of the European Cognitive Science Conference 2007*, p. 915. 2007年. 査読有.
- (13) Satoru Yokoyama, Kei Takahashi, Toshimune Kambara, Tadao Miyamoto, Kei Yoshimoto and Ryuta Kawashima. Working Memory System as a Sentence Processor in the Human Brain. 電子情報通信学会 思考と言語研究会 (TL) 7月研究会. 2007年. 査読無.
- (14) 神原利宗・横山悟・生田奈穂・ジョン・ヒョンジョン・高橋慶・関口敦・宮本正夫・高橋大厚・小泉政利・吉本啓・堀江薫・佐藤滋・川島隆太. 「日本語の脳内における統語処理と語彙意味処理のfMRI研究」『日本認知科学会第24回大会発表論文集』日本認知科学会, pp. 160-165. 2007年. 査読無.
- (15) Masahiro Kobayashi and Kei Yoshimoto. Transition and Parsing State and Incrementality in Dynamic Syntax. In: Hee-Rahk Chae, et al. (eds.) *The 21st Pacific Asia Conference on Language, Information and Computation (PACLIC21): Proceedings*, 249-258. 2007年. 査読有.
- (16) 横山悟・吉本啓・川島隆太「外国語学習者の言語能力評価における脳機能データの応用」電子情報通信学会 思考と言語研究会 (TL) 11月研究会, pp. 37-40. 2007年. 査読無.
- (17) Kei Yoshimoto, Masahiro Kobayashi, Hiroaki Nakamura and Yoshiki Mori. Processing of Information Structure and Floating Quantifiers in Japanese. In: Takashi Washio, et al. (eds.) *New Frontiers in Artificial Intelligence: Joint JSAI 2005 Workshop Post-Proceedings*, pp. 103-110. Springer Verlag. 2006年. 査読有.
- (18) Kei Yoshimoto and Shigeru Sato. Syntactic Underspecification in a Neuro-Cognitive Model of Human Sentence Processing. *The Proceedings of the 5th International Conference of the Cognitive Science*, pp. 223-224, Vancouver, 2006年. 査読有.
- (19) 大竹墨・吉本啓「修辞関係による名詞句の指示対象の推論に関する研究」『情報処理学会研究報告』2006-NL-174. 2006年. 査読無.
- (20) 高橋慶・吉本啓「語順効果における、作業記憶に基づく文処理モデル」『情報処理学会研究報告』2006-NL-174. 2006年. 査読無.
- (21) 酒井由美・岩田一樹・ホルヘ・リエラ・万小紅・横山悟・下田由輝・川島隆太・吉本啓・小泉政利「事象関連電位で見る名詞と助数詞の照合プロセス」『認知科学』13:3, pp. 443-454. 2006年. 査読有.
- (22) Kei Yoshimoto and Shigeru Sato. Towards a Neuro-Cognitive Model of Human Sentence Processing. *Proceedings of PACLIC 20*, pp. 21-27. 2006年. 査読有.
- (23) Kei Takahashi, Kiyoshi Ishikawa and Kei Yoshimoto. An Activation-based Sentence Processing Model of English.

- Proceedings of PACLIC 20*, pp. 303-310. 2006年. 査読有.
- (24) Rui Otake and Kei Yoshimoto. Multiply Quantified Internally Headed Relative Clause in Japanese: A Skolem Term Based Approach. *International Journal of Computational Linguistics and Chinese Language Processing* 11:4, 333-348. 2006年. 査読有.
- (25) Naho Ikuta, et al. Brain Activation during the Course of Sentence Comprehension. *Brain and Language* 97, 154-161. 2006年. 査読有.
- (26) 森芳樹「主観性と文法化: テキスト言語学の可能性」『日本認知言語学会第6回大会論文集』. 523. 2006年. 査読無.
- (27) 森芳樹「時制の主観性とコンテキスト依存性」『日本認知言語学会第6回大会論文集』. 536-539. 2006年. 査読無.
- [学会発表] (計 18 件)
- (1) 森芳樹「さらにV2 (Verb Second) の『意味』について」広島大学総合科学研究科言語と情報研究プロジェクト第22回公開セミナー、ワークショップ「節の構造と意味: Left Periphery をめぐって」2009年2月28日.
- (2) 森芳樹・高裕輔「目的節の日独対照研究」広島大学総合科学研究科言語と情報研究プロジェクト第22回公開セミナー、ワークショップ「節の構造と意味: Left Periphery をめぐって」広島大学. 2009年2月28日.
- (3) Yuko Kobukata and Yoshiki Mori. HAVE Light for HAVE Holders and HAVE Owners. FFF-Workshop “Verbal and Nominal Possession”, HHU Düsseldorf. (Research Unit FOR 600 “Functional Concepts and Frames”) Düsseldorf. 2009年1月29日.
- (4) 高橋慶・横山悟・神原利宗・吉本啓「Right Node Raising 構文処理にみられる統語依存情報減衰効果」『日本言語学会第136回発表論文集』学習院大学. 2008年6月21日.
- (5) 横山悟・高橋慶・神原利宗・宮本正夫・吉本啓・川島隆太「文理解を支える下位処理—単語認知と作業記憶—」『日本言語学会第136回大会発表論文集』学習院大学. 2008年6月21日.
- (6) Satoru Yokoyama, Kei Takahashi, Toshimune Kambara, Tadao Miyamoto, Jorge Riera, Kei Yoshimoto and Ryuta Kawashima. Neural Efficiency for Sentence Comprehension and Working Memory. 14th Annual Meeting of the Organization for Human Brain Mapping. Melbourne, Australia. 2008年6月18日.
- (7) Kei Takahashi, Yokoyama Satoru, Toshimune Kambara, Kei Yoshimoto and Ryuta Kawashima. Neural Mechanism of Information Retrieval Unique to Sentence Processing. 14th Annual Meeting of the Organization for Human Brain Mapping. Melbourne, Australia. 2008年6月18日.
- (8) 森芳樹「統語・意味インターフェースにおけるムードと談話接続」日本独文学会春季大会シンポジウム「SatzstrukturとSatzmodus—構造と意味のインターフェースをめぐって」立教大学. 2008年6月14日.
- (9) Yoshiki Mori. Actuality, Factuality, Perfect. The Fifth International Workshop on Logic and Engineering of Natural Language Semantics. 22nd Annual Conference of the JSAL. Asahikawa. 2008年6月10日.
- (10) Yoshiki Mori. Impact of Causal Implicature on the Subordinate Clause Tense. DGfS Annual Meeting, AG5 Tense across Languages. Bamberg, Germany. 2008年2月29日.
- (11) 横山悟・金情浩・内田信也・バイチェン・遊佐典昭・宮本正夫・吉本啓・堀江薫・佐藤滋・川島隆太 Neural Plasticity for Second Language Learning in the Brain: A Longitudinal fMRI Study. The Ninth Annual International Conference of the Japanese Society of Language Sciences. Miyagi Gakuin University. 2007年7月7日.
- (12) Satoru Yokoyama, Kei Takahashi, Toshimune Kambara, Tadao Miyamoto, Kei Yoshimoto and Ryuta Kawashima. Working Memory System as a Sentence Processor in the Human Brain. An International Workshop on Mental Architecture for Processing and Learning of Language. Hiroshima, Japan. 2007年7月14日.
- (13) Toshimune Kambara, Satoru Yokoyama, Naho Ikuta, Hyeonjeong Jeong, Kei Takahashi, Atsushi Sekiguchi, Tadao Miyamoto, Daiko Takahashi, Kei Yoshimoto, Kaoru Horie, Shigeru Sato and Ryuta Kawashima. Syntactic and Lexical-semantic Processing during Sentence Comprehension in Head-final Language. 13th Annual Meeting of the Organization for Human Brain Mapping. Chicago, USA. 2007年6月10日.
- (14) Naho Ikuta, Satoru Yokoyama,

Hyeonjeon Jeong, Motoaki Sugiura, Kaoru Horie, Shigeru Sato and Ryuta Kawashima. Brain Activation Associated with Reanalysis in Sentence Comprehension: An fMRI Study. 13th Annual Meeting of the Organization for Human Brain Mapping. Chicago, USA. 2007年6月10日.

- (15) Kei Yoshimoto. Dynamic Syntax as a Neuro-Cognitive Model of Human Parsing. Workshop on Dynamic Syntax: What can the study of head-final languages contribute to the theory? Tokyo University. 2006年10月6日.
- (16) Kei Takahashi and Kei Yoshimoto. A Memory-based Sentence Processing Model. The Fifth International Workshop on Evolutionary Cognitive Sciences "Human Sentence Processing and Production." University of Tokyo. 2006年7月15日
- (17) Satoru Yokoyama, Jungho Kim, Shin-ya Uchida, Hideyuki Okamoto, Chen Bai, Tadao Miyamoto, Kei Yoshimoto, Kaoru Horie, Shigeru Sato and Ryuta Kawashima. fMRI Evidence for Distinct Neural Substrates for Word Recognition in L1 and L2. 12th Annual Meeting of the Organization for Human Brain Mapping. Florence, Italy, 2006年6月11日.
- (18) Satoru Yokoyama, Jungho Kim, Shin-ya Uchida, Hideyuki Okamoto, Chen Bai, Noriaki Yusa, Tadao Miyamoto, Kei Yoshimoto, Kaoru Horie, Shigeru Sato, Ryuta Kawashima. The Second Language Is Processed Independently of the First Language. 12th Annual Meeting of the Organization for Human Brain Mapping. Florence, Italy. 2006年6月11日.

[図書] (計 2 件)

- (1) Kei Yoshimoto (Chapter Editor) Logic and Engineering of Natural Language Semantics. In: Ken Satoh, et al. (Volume Editors) *New Frontiers in Artificial Intelligence: JSAI 2007 Conference and Workshops*, pp. 77-241. Berlin and Heidelberg: Springer. 2008年.
- (2) Ya-Ling Su, Kei Yoshimoto and Shigeru Sato. The Acquisition Process of Japanese Case Particles by JSL Learners. In: Masahiko Minami (ed.) *Applying Theory and Research to*

*Learning Japanese as a Foreign Language*, pp. 130-149, Newcastle: Cambridge Scholars Press. 2007年.

[産業財産権]

○出願状況 (計 0 件)

○取得状況 ( 0 件)

[その他]

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

吉本 啓 (YOSHIMOTO KEI)

東北大学・高等教育開発推進センター・教授

研究者番号: 50282017

### (2) 研究分担者

森 芳樹 (MORI YOSHIKI)

筑波大学・人文社会科学研究科・准教授

研究者番号: 30306831

生田 奈穂 (IKUTA NAHO) (平成 18~19 年)

東北大学・加齢医学研究所・博士研究員

研究者番号: 20374986

### (3) 連携研究者

なし