

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 28 年 6 月 22 日現在

機関番号：12401

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2013～2015

課題番号：25370543

研究課題名(和文) 動作立案能力から見る言語能力

研究課題名(英文) Language Faculty Viewed from Motion Planning Ability

研究代表者

仁科 弘之(NISHINA, Hiroyuki)

埼玉大学・人文社会科学部研究科(系)・教授

研究者番号：20125777

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,400,000円

研究成果の概要(和文)：言語起源をヒトの動作に求める説を支持するため、動作文法の可能性を探究してきた。ヒトの概略の動作を模型ロボットに模擬させ、関節からの他の関節、端点に対する運動使役をもとに、その動作立案を分析木の時系列に変換した。この木は書き換え規則体系によって生成されるが、それらの規則は正則型であることが判明した。正則文法はその複雑度が句構造文法より一レベル低いことが知られている。この動作文法によって生成される個々の終端連鎖は、文よりむしろ語と理解した方が良さそうである。今後は、これらの語が、実用目的を持つ動作全体の中で、どのように構成され文相当の語連鎖を形成するのか、意味論をも含めて、その機構の解明を行う。

研究成果の概要(英文)：To add some evidence to the proposed language origin in human actions, we have been exploring the possibility of a kinematic grammar of humans, and its comparison of human language grammar. We let a model robot simulate an approximate action of a human, and based on the relation of a joint's causing another or an endpoint to move, we converted its motion program to a sequence of trees, each of which is generated by a rewriting rule system. These rules proved to be of regular type, whose complexity is known to be one step lower than that of phrase structure rules. We also found that each sequence of terminal strings generated by our kinematic grammar might well be taken as a word rather than a sentence. It has now become crucial that we must turn to the research into the mechanism in which these "words" are to be constructed, semantically as well, into a phrase structure and fit into an integrated clause compatible to a human sentence, in the whole action with a practical purpose.

研究分野：英語学

キーワード：動作 使役関係 関節 書き換え規則 ロボット 言語起源

1. 研究開始当初の背景

(1) グリムの法則[1822]が発見されて200年弱たった今日、fMRIが可能にした非侵襲的脳言語科学が新発見を生み出している。生物言語学において、言語起源を身体運動機能に求める主張は以前より有力な主張の一つであった[Corballis: From Hand to Mouth, 2002]。

(2) 新しい発見としては、自らは静止しているにもかかわらず、その観察者の運動前野においては、口、手、足等を司る神経部位(ミラーニューロン系: MN)が観察対象の運動部分に応じて賦活していることが発見された[Rizolatti et al.: "Premotor Cortex and the Recognition of Motor Actions", 1996]。この部位は言語野の下側に密接しており、言語起源の身体運動性の強い可能性が指摘されている[Rizzolatti & Arbib: "Language within Our Grasp", 1998]。

(3) また、脳内の意味表示に疑似DRTをもちいた意味の起源論も提出されている[Hurford: The Origin of Meaning, 2008]。

2. 研究の目的

(1) 本研究では、模型のヒト型ロボットに動作を模擬させることでその動作立案(motion planning)データを取り出し、これを表示することのできる最も単純な分析木を生成することの可能な規則群(文法)を考察した。分析木にまだ未決定な要素が含まれているが、その木を生成する書き換え規則の複雑度を、チョムスキー階層を用いて、ヒトの言語の文法の複雑度と暫定的に比較した。

(2) この動作立案の分析木の連鎖による表示において、個々の木を語構造に相当すると見なすことが、現時点では妥当であるように思われる。今後、身体の運動制御システムが、言語生成システムの中で、統語論(文法)を生み出すに必要な複雑性を手に入れる過程を明らかにしてゆく。

3. 研究の方法

(1) ヒトの言語の記述には文脈依存規則を用いずとも、素性付きの文脈自由文法で十分であるとの見解[文脈依存文法(変形規則)の解消形である一般化句構造文法モデルがその例の一つ]が広まろうとしていた矢先に、スイスドイツ語〔ドイツ語の一方言だがかなり特異な言語〕には、やはり文脈依存規則が不可避免的に必要であることが示された[Shieber: "Evidence against Context-freeness of Natural Language", 1985]。

(2) オートマトン理論は前述のようにチョムスキーの言語階層になかにヒトの言語を位置づけることで、文法の複雑度をランク付けすることができる。これを用いて、Okanoyaは鳥(ジュウシマツ)の求愛歌の文法複雑度が正規文法であることを指摘した[Okanoya: "Song Syntax in Bengalese Finches: Proximate and Ultimate Analyses", 2004]。また、猿の一種であるワタボウシタマリンは、その餌付けのための音声条件付け実験において、正規文法で記述された音連続は理解できるが、句構造文法(文脈自由文法)で記述された音連続は理解できないことが報告されている[Fitch & Hauser: Computational Constraints on Syntactic processing in a Nonhuman Primate, 2002]。

(3) これらは純粋に統語論的観点から研究された顕著な例である。これらの研究は、ある種の鳥の歌の文法も、ある種の猿の音連続理解力も、人間の文法の必要最小限であると想定されている文脈自由文法に達していないことを示している。しかし、純粋に統語論的な複雑度研究ばかりでなく、近年、構成的な意味理解を前提した上での動物信号の統語論のオートマトンの研究をなすべきだという批判が現れてきた[Berwick, Okanoya, Beckers & Bolhuis: "Songs to Syntax: the Linguistics of Birdsong", 2011]。

(4) このような研究動向を文脈として、当研究では身体運動の複雑度が文法の複雑度に匹敵する証左をさぐった。人型ロボット模型をヒトの運動システムの単純モデルと見なし、そのロボットの動作立案から書き換え文法を抽出しようとした。本研究では、以下の二点、

人の言語は文脈自由文法、更には少なくとも幾つかの言語においては変形文法)で記述する必要がある事が知られている。

少なくとも動作動詞の意味解釈には、(言語野の下側に密接する)ミラーニューロン系が関与する。

を前提にして、以下の三項目を研究の目標とした。

A 二足歩行ロボットを用いて各種の身体運動の動作立案(motion planning)を書き換え規則に変換するアルゴリズムを見いだす。

B このようにして、身体運動の「文法」を作り、その複雑度を言語の文法と比較する。身体運動は句構造のみならず変形文法(文脈依存文法)をも必要とすることを例証する。

C さらに記述対象の身体運動の種類を増やして、同様に句構造文法に加えて変形文法が必要であることを示す。

(5) 本研究では、ミラーニューロンの言語理解への貢献が指摘される中で、「運動制御を記号論的に解釈することによって、埋め込み文に特徴的な回帰性 [Calvin & Bickerton: *Lingua ex Machina*, 2000; Corballis: *The Recursive Mind*, 2011]は関節運動の継承性に関係しており、それが言語に反映した結果、埋め込み文を引き起こす原因になった。」との主張を行いたい。チョムスキーは人間の(真の)言語能力は(意味解釈の引き金となる形式も含めた)統語論に限定されると主張する。これが、もし

正しければ、本研究が提案するような、(二本足直立である)ヒトの運動を制御する(マクロな意味での)記号論に基づいて木構造を生成する書き換え文法は、ヒトの言語の統語論発生の根拠を示すことになる。

(6) 本研究の独創点は以下のようである。

言語理解、特に意味論的観点から大きな説得力を持つ MN 仮説に、運動の記号論的側面から妥当性を与えようとする。

ロボットの運動制御法である動作立案に着目し、(関節の動作継承を示す)分析木を生成する身体運動のための「文法」を構築した。

二本足直立歩行を可能とする関節構造を運動起源とみなし、運動伝播の使役関係によってその継承関係を表す書き換え規則体系(これを運動のマクロな記号論と呼ぶ)を構築した。

動作を表現する書き換え規則群に、ヒトの言語の重要な一特徴であるといわれている埋め込み構造を生成する規則を含めた。

関節間の動作の継承関係は、模型ロボットの動作立案データを元にして安定的に収集でき、その種類の拡張も容易である。

4. 研究成果

(1) 人型ロボットは人手で教示するか、運動立案をプログラム入力することで各種の動作を実行することができる。動作の実行は、運動立案という一種の行列表の形でロボットに入力され、それにより関節を模擬するサーボモータの(部分的)連鎖が時系列的に作動し、動作に必要な各部分の動作を起こすことで要求されている全体動作を構築する。本研究では「腕立て伏せ」を表す関節への回転命令の時系列を、根付きの木表示の連鎖をとって表現することができた。これが上記 3. 研究の方法中の(4)文の目標 A である。この木は関節を節点とするグラフ構造を持つ。木

の始点(根)は胴体の中心部に仮定され、この節点を起点とした「使役関係」が、木の上の支配関係によって各接点(関節のことで、端点も含む)を結んだ構造を成す。使役関係とは、関節(サーボモータ)間に認められる「ある関節が別の関節或いは端点を動かす」という、運動使役関係のことである。さらに、運動の埋め込み構造に着目し、それを生成できる回帰的規則を含む書き換え規則群を構築した。

(2) 得られた書き換え規則群は具体的には以下ようになった。

$M \rightarrow m J M/S; M \rightarrow m E N; S \rightarrow s J M/S;$
 $S \rightarrow s J E N; M \rightarrow m Q/P; S \rightarrow s P/Q; Q \rightarrow J M;$
 $P \rightarrow J S; M \rightarrow q Q/P; S \rightarrow q P/Q; Q \rightarrow j/ep M; P$
 $\rightarrow j/ep S$

運動の時系列の各区間毎にこれらの規則が分析木を導出する。分析木は骨格をベースとして構成され、運動伝播が木の頂点(根)から終端に向かうように、四肢と首を支える仮想的な中心を頂点とする。頂点が四肢、首を支持する構造を、木の上の支配関係で表現し、支配関係で結ばれる各関節に相当する節点が運動使役を表す。各サーボモータの回転にその区間において回転(角度変化)があれば、それを運動を使役する動き(m)とみなし、なければ留まり(s)とする。ある関節が回転によって、支持構造上で、次の動きのある関節を運動使役する場合を $M \rightarrow m J M$ 、運動使役しない場合を $M \rightarrow m J S$ と書き、それらを合併して $M \rightarrow m J M/S$ のように表す。このようにして運動使役を表す述語Mと、使役せずに保持するSという一種の事象(event)を単位として運動の伝播を木の上に表現した。

(3) この木の終端連鎖全体は一種の「文」構造を表し、これらの「文」の時系列的な連鎖

が運動全体の立案を表示する。この個々の木を生成する書き換え規則体系(文法)は正規文法(regular grammar)であることがわかった。この結果が上記3.研究の方法中の目標Bに相当するが、しかし、このような正規文法で生成される終端連鎖は、その複雑度の低さから、「文」ではなくむしろ「語」であるように見える。もしもこの表現法が正しいものであれば、このような語からなる時系列的な連鎖が全体動作を表現していることになる。この全体動作を表す語の時系列連鎖において、語が動作毎の特徴的なパターンでその構成アルファベットを切り替えている。

(4) この連鎖全体が果たして「文」を構成しているのか、語の継時的な切り替えでしかないのかを今後検討する必要がある。よって上記3.研究の方法中の目標B,Cに照らしてみると、今後の研究テーマは、変形規則の必要性の証明ではなく、変形規則よりも複雑性が一段低い句構造規則或いはその相当物の存在の探求である。今後、身体の運動制御システムが、言語生成システムの中の統語論を生み出すのに必要な装置であることを証明するためには、以上のような「動作文法」が文脈自由文法のもつ複雑性に達するための必然的な理由を発見しなければならない。そのためには、特に、上記3.研究の方法中の目標Cの意味論的観点からの考究、これは既に開始しているが、当然とはいえ最も難関なレベルに属する研究対象に分け入ってゆくことになる。これらが今後の課題である。

文献

1. Berwick, R. C, Okanoya K., Beckers G. J. L., Bolhuis J. J. (2011): "Songs to Syntax: the Linguistics of Birdsong", *Trends in Cognitive Sciences* 15(3): pp. 113-121.
2. Corbalis, M. C. (2003): "Gestural Origins of Language", In: Christiansen, M. H. and Kirby, S. eds. *Language Evolution*. Oxford University

Press: pp. 201-218.

3. Shieber, M. S. (1985): "Evidence against Context-freeness of Natural Language", *Linguistics and Philosophy* 8 (3) pp. 333-343.

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4件)

1. Hiroyuki Nishina: "Rotation Formula Set as the Semantic Model for the Interpretation of Action Sentence", 河・金井・仁科編『ことばの普遍性を求めて---小出慶一教授退職記念論文集』埼玉大学教養学部リベラルアーツ叢書別冊1, pp. 94-109, 2016年3月(査読付き)

2. Hiroyuki Nishina: "Comparing Causative Recursion in Kinematic Grammar with Sentence Embedding in Human Grammar", Abstracts for Bilingualistic Investigations on the Language Faculty, The International Bilingualistic Network and the Center for Neurocognition and Theoretical Syntax of the Institute for Advanced Study, University of Pavia, Pavia, Italy, pp.55-57. January, 2015(査読付き、発表1と同タイトルだが内容は改編してある)

3. Hiroyuki Nishina: "Representing the Denotations of Bodily Action Verbs Based on the Propagation of Movements", *Abstract for CTF 2014, Concept Types and Frames in Language, Cognition, and Science (CTF'14) International Interdisciplinary Conference*, Heinrich Heine University, Düsseldorf (GER), August 25-27, 2014(HP: <http://www.sfb991.uni-duesseldorf.de/ctf-2014/programhandouts/>) (査読付き)

4. Hiroyuki Nishina: "The Complexity of the Motion Planning for Actions as Possibly Equivalent to that of Phrase Structure Grammar", *Abstract Booklet, Session 2: Origin of Language and human cognition, The 19th*

International Congress of Linguists, University of Geneva, p.481, July, 2013 (査読付き)
〔学会発表〕(計1件)

1. Hiroyuki Nishina: "Comparing Causative Recursion in Kinematic Grammar with Sentence Embedding in Human Grammar", In Invited Lectures, "Embodied meaning goes public – gestures, signs, and other visible linguistic effects of simulation processes", Sponsored by Research Network of Language and Cognition, Departments of Linguistics, Stuttgart University, Germany, December 5, 6, 2014
(査読付き、講演次点者)

〔図書〕(計0件)

〔その他〕
ホームページ等

6. 研究組織

(1) 研究代表者

仁科 弘之 (NISHINA, Hiroyuki)
埼玉大学・人文社会科学研究科(学際系)
教授
研究者番号: 20125777