

令和元年6月25日現在

機関番号：14401

研究種目：挑戦的萌芽研究

研究期間：2015～2018

課題番号：15K14008

研究課題名(和文)因果誘引仮説に基づく言語獲得メカニズムの解明

研究課題名(英文)A study on a language emergence model based on causality-oriented reasoning

研究代表者

石川 将人(Ishikawa, Masato)

大阪大学・工学研究科・教授

研究者番号：20323826

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,700,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、人間(群)がもつ因果誘引性(得られた情報から原因と結果を論理的に理解し、また推論しようとする思考傾向)が言語形成のためのキーファクターであるという仮説を提示した。このシンプルな推論規則と、限られた記憶・演算・コミュニケーション能力および移動能力をもつという制約のもとで、話者を模したエージェント群の思考と行動を数理モデルとして構築した。この結果、時間(計算ステップの経過)とともにエージェントの文法群分布が定常状態に収束する過程、とくに行動のゆらぎやコミュニケーションの対称性などの条件の影響について統計的解析を行った。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究は言語の成立と変容の過程すなわち「言語がいかにして生まれ、時間とともに変容し、また地理的な差異を生じてゆくのか」、そしてその過程で時空間的・情動的制約がどのような役割を演ずるのか、という素朴な問いに端を発したものである。言語は人間の知的活動の産物ではあるが、限られた情報処理能力しか持たない人間集団による時間的・地理的な制約下でのコミュニケーションを介して形成されたものであるという、物理現象に近い普遍性も強く持っている。本研究は「移動」というファクターに焦点を当てることによってこの問題を適切に限定し、数理モデルによって具体的な検証を行ったものである。

研究成果の概要(英文)：In this paper, we discussed spatio-temporal pattern formation through continuous communication among multi-agents, with particular focus on effect of locomotion. Starting from a hypothesis that the driving force for language formation is 'innate motivation of humans to establish consistent communication', we propose a simple model composed of speaker agents and a field in which the agents are allowed to move around. Each agent is capable of memorizing its itinerary of locomotion, and tells it to other agents according its own grammar, while it also tries to infer the others' internal grammar by logically comparing the actual and the spoken itineraries. The proposed model is examined by numerical simulation, with observation of emergence of a common grammar, geographical variation and influence of agent-behavior parameters.

研究分野：制御工学, ロボティクス

キーワード：言語獲得 自律分散システム 移動ロボット

## 様式 C-19、F-19-1、Z-19、CK-19（共通）

### 1. 研究開始当初の背景

言語はなぜ、いかにして生まれ変容してきたのか。人類は自らが操る言語というものに古くから関心を寄せてきたが、19世紀の西欧比較言語学の成功を嚆矢として、言語理論は客観的な事実と論証に基づく近代科学の対象となった。20世紀後半のChomskyによる生成文法理論の提唱以来、言語には個別言語によらず共通する原理と構造があること、人間の知能はそれを受け入れる生得的な仕組みが備わっているという仮説が共有され、言語の「普遍性」の理解への端緒が開かれた。一方で、言語は人間の知的活動の産物ではあるが、限られた情報処理能力しか持たない人間集団による時間的・地理的な制約下でのコミュニケーションを介して形成されたものであるという、物理現象に近い普遍性も強く持っている。本研究は言語の成立と変容の過程すなわち「言語がいかにして生まれ、時間とともに変容し、また地理的な差異を生じてゆくのか」、そしてその過程で時空間的・情報的制約がどのような役割を演ずるのか、という素朴な問いに端を発したものである。

### 2. 研究の目的

本研究では、人間（群）がもつ因果誘引性（得られた情報から原因と結果を論理的に理解し、また推論しようとする思考傾向）が言語形成のためのキーファクターであるという仮説を立てる。この「因果誘引性」というシンプルな推論規則と、限られた記憶・演算・コミュニケーション能力および移動能力をもつという制約のもとで、話者を模したエージェント群の思考と行動を数理モデルとして構築する。これによって言語様のコミュニケーションが自律的に発生しうるか、また異なるグループとの遭遇時にどのように変化するかを検証し、言語の成立と変容の過程の知見を得ることを目的とする。

### 3. 研究の方法

本研究の最大の特徴は、「移動（ロコモーション）」という要素に重きを置く点である。本研究では、人間（群）が経験とコミュニケーションの中から言語を生み出す過程の数理モデル化に挑戦するが、これは非常に難しい問題である。人間の思考活動はあまりに高度で複雑にすぎ、これをそのままモデル化しようとするならば脳の高次機能そのものを、さらに入出力データとして人間が経験する情報そのものを扱わねばならず、言語理解のモデルとしては全く現実的でない。

そこで本研究では、情報交換を行う舞台として、多数のエージェント（話者）が動き回る「フィールド」を想定する（図1）。そして、遭遇した（近傍で検知された）他者に対して「自分は少し前にA点にいた、その少し前にはB点にいた…」といった情報を発信するものと考え、情報交換のトピックを移動に関する事柄に絞ることで議論の記号化を

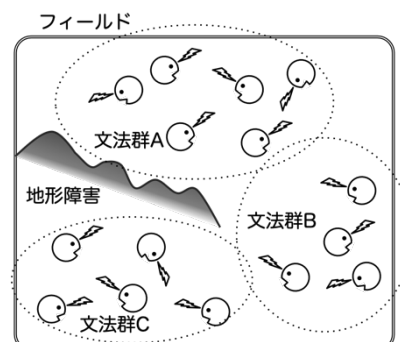


図1 「移動」に着目した情報交換フィールド

容易にする。合わせて、エージェントの行動選択も前後進、旋回といった移動に関する記号に限定される。これは代表者が所属する研究グループで近年進めてきたマルチエージェントシステムに関する研究（関連：業績[4～6]），特に杉本らを中心とするそれぞれ低精度な自己位置センサしかもたない多数のロボット群が，他者との間で（正確とは限らない）自己位置の履歴（自分がどこをどう通ってきたか）を交換し，互いにその辻褃を合わせることによって推定自己位置を更新するという研究[\*]が深く関係している。

[\*]杉本，清水，大須賀，板東：「みなし履歴」による位置同定を利用した超群ロボットの環境探索について，第25回自律分散システム・シンポジウム，75/180，2013.

以上のように限定された状況のもとで，話者エージェントは図2のような図式で認識・推論・行動を行う。エージェントはそれぞれ固有の文法コードとデコード・エンコード規則を持つものとし，他者の発話（言語情報）と他者の行動履歴（非言語情報）を認識する。両者を比較して自らの文法コードに必要ながあれば修正を加え，行動決定と発話決定を行うという枠組みを基本的なものとして策定する。

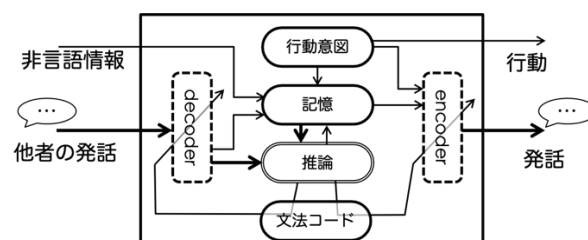


図2 話者エージェントの行動モデル

#### 4. 研究成果

・前項で述べた基本方針のもとに，さまざまな条件下での計算モデルを構築してその振る舞いの検証を行った。図3に示す計算モデルでは，正方セルによって構成された平面フィールド上に多

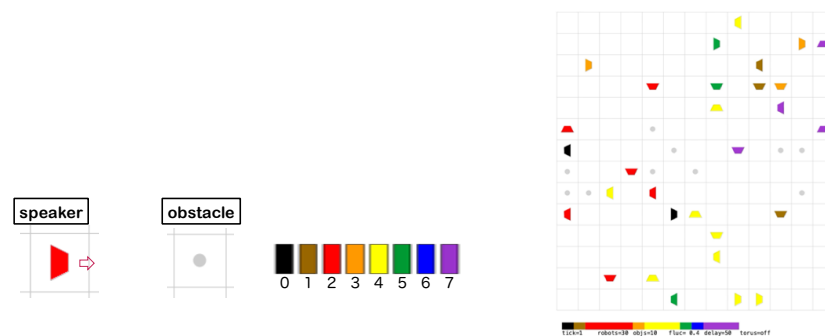


図4 計算モデルの例.

左から話者エージェントと障害物，文法群のカラーコード，フィールドモデル（15×15セル）数の話者エージェントと地形障害（灰色のドット）が配置されている。話者エージェントを表す色付きの台形は，現在の進行方向と文法群のカラーコードを示している。図2で示した行動原理をもつ話者エージェントが一定の近傍（Neumann近傍，Moore近傍など複数の設定があり得る）

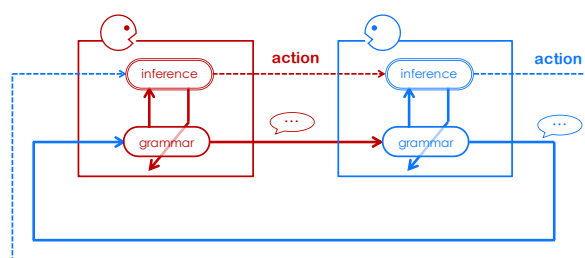


図3 近隣エージェントとのコミュニケーションモデル

内で遭遇すると、図4に示すようなコミュニケーションが生じ、相互の行動履歴と発話が矛盾なく理解できる方向へ文法コードが更新される。なお、一回のコミュニケーションで交換される情報は、コードを完全に一致させるには不十分なものでしかないことを注記しておく。

このような行動とコミュニケーションを繰り返すと、時間とともにエージェントの文法群分布に時空間的な変化が生じる。図5は時間（計算ステップ）に対して、30体のエージェントの文法群シェアの変化をプロットしたものであり、70ステップほどで茶色のコードがドミナントとなる状態に収束していることを示している。収束の時空間パターンは計算条件によって大きく変化する。図6はそのような統計的傾向を解析した例の一つであり、左図は完全に対称なコミュニケーション（二者が遭遇して文法を更新する際に、対等な確率で「歩み寄る」）の場合、右図は非対称なコミュニケーション（文法を更新しにくい「頑固な」エージェントと、更新しやすい「妥協的な」エージェントが混在している）場合を比較して、500試行のもとでの収束速度の頻度図として表したものである。非対称性の存在は、収束速度を有意に速める効果があることを示している。このほかに、移動のしやすさに影響を与える地形障害による空間パターンの形成、エージェント群の攪拌性に影響を与える行動ゆらぎの効果などを、おもに統計的な手法によって検証した。

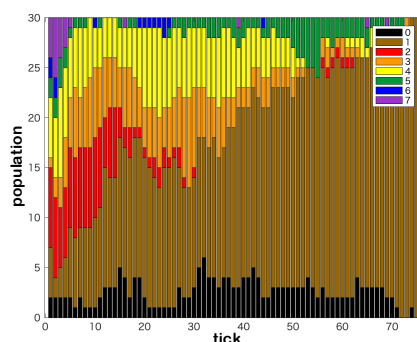


図6 文法群シェアの時間変化の例

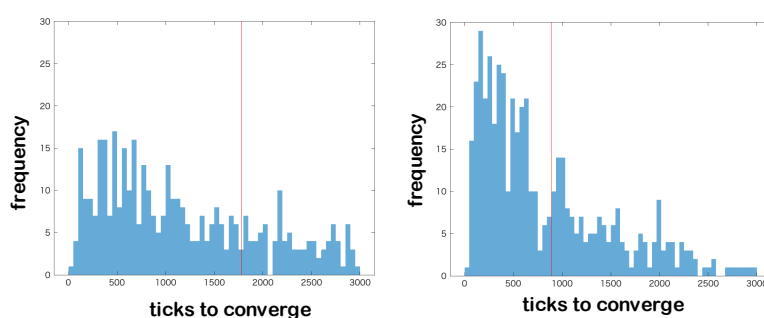


図5 収束速度の頻度図（試行数500，階級幅30）。

左：対称なコミュニケーション，右：非対称なコミュニケーションの場合

・以上の解析と並行して、因果関係の推論に深く関わる機械学習アルゴリズムとデータを用いた現象の理解に関する方法論、特にモデルベース強化学習やベイズ推論などについての基礎検討を行った。

## 5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕（計 1 件）

- ① 石川将人, 砂に埋もれたモデルを探して：データ駆動による因果関係の理解, 計測と制御, Vol. 58, No. 3, pp. 161-165, 2019. (査読無)

〔学会発表〕（計 6 件）

- [1] M. Ishikawa, On spatial pattern formation by autonomous mobile agents through language-like gossip communication, to appear in The 2019 Conference on Artificial Life (ALIFE2019), to appear, 2019 (発表予定)
- [2] M. Ishikawa, A study on a language emergence model based on causality-oriented reasoning, 24th International Symposium on Artificial Life and Robotics, pp. 468-471, 2019.
- [3] 平野貴浩, 南裕樹, 石川将人, モデルベース強化学習のための敵対的生成ネットワークによる環境ダイナミクス予測, 計測自動制御学会関西支部/システム制御情報学会若手研究発表会, 2019.
- [4] Y. Sueoka, K. Kubota, M. Ishikawa, K. Osuka, Effect of heterogeneity in distributed building formation by autonomous climbing agents, Human-Centric Robotics; Proceedings of the 20th International Conference on CLAWAR 2017, 143-149, 2017.
- [5] Y. Sueoka, K. Nakayama, M. Ishikawa, Y. Sugimoto, K. Osuka, On heterogeneity in foraging by ant-like colony: how local affects global and vice versa, , In Proc. of Tenth International Conference on Swarm Intelligence, 2016.
- [6] 末岡, 久保田, 石川, 杉本, 大須賀, シロアリに着想を得た自律分散移動体による構造物形成の解析, 第28回自律分散システムシンポジウム, 2016.

〔図書〕（計 0 件）

〔産業財産権〕

○出願状況（計 0 件）

名称：

発明者：

権利者：

種類：

番号：

出願年：

国内外の別：

○取得状況（計 0 件）

名称：

発明者：

権利者：  
種類：  
番号：  
取得年：  
国内外の別：

[その他]

ホームページ等

## 6. 研究組織

(1) 研究分担者 該当なし

研究分担者氏名：

ローマ字氏名：

所属研究機関名：

部局名：

職名：

研究者番号（8桁）：

(2) 研究協力者 該当なし

研究協力者氏名：

ローマ字氏名：

※科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属されます。