

進化と学習に基づく文法の創発モデル

各務 毅志[†]名古屋大学情報文化学部[†]有田 隆也[‡]名古屋大学大学院情報科学研究科[‡]

1 はじめに

言語には、発する音や単語の順序の中に規則性、すなわち文法があり、これにより限られた音数で無数の意味の表現を可能とする。このような言語をもつ動物は人間だけであり、言語の起源や進化の議論が近年盛り上がっている。

文法構造の獲得は学習によってなされる。たとえば、ニューラルネットによって構成されるエージェント間の会話・学習のモデルによって、文法に特化した脳構造がなくとも、原初的文法構造を獲得できる可能性が示されている[1][2]。一方、Chomsky の普遍文法のように、文法に関わる能力の少なくとも一部は生得的に獲得していることも事実であろう。進化と学習の両者を前提とした研究はあったが、両者の関係自体が進化的に調整される研究は存在しなかった。

本研究は、文法が創発する際の進化と学習の相互作用を検討することを目的とする。その手段として、学習によって文法構造が創発するモデル[1]に対して、学習の前提となる可塑性の程度が進化的に調整されるメカニズム[3]を導入し、可塑性の変化の推移を観察した。

2 モデル

2.1 会話

エージェント数は 10 とし、それぞれ 3 層のエルマン型ニューラルネット（入力層 4、中間層 30、出力層 10、関連層に中間層と同数の 30）を持つ。会話で使用される文字は a~d の 4 種で、入力層の各ユニットに対応する。伝達内容は 10bit の列（主語：4bit、述語：6bit）で表現され、この各 bit が出力層の各ユニットに対応する。使用される主語、述語の数はそれぞれ 5 通りであり、伝達内容は合計 25 通りとなる。

会話とは、話し手エージェントが伝達内容を表現する言葉を作って聞き手エージェントに送信し、聞き手エージェントが受信した言葉を解釈することである。話し手は、自分のニューラ

ルネットで伝達内容を最もよく表現できる文字を発言する。1 文字では伝達内容を完全に表現できない場合、文字を続けて発言し、言葉を作る。伝達内容を完全に表現できる言葉を発言できたとき発言成功とする。ただし言葉の長さが 10 文字より長くなった場合、発言失敗とし発言を中止する。聞き手は、話し手から送信された文字を 1 文字ずつ自分のニューラルネットに入力し、同時に、伝達内容を教師信号として誤差逆伝播法で学習する。送信された全文字を入力し終えた時点で、ニューラルネットの出力が伝達内容に一致していれば、聞き取り成功とする。話し手が発言に成功し、かつ聞き手が聞き取りに成功したとき会話成功とする。

会話の 1 ラウンドの流れを以下に示す。

- (1) 聞き手エージェントを集団から選ぶ
- (2) 話し手エージェントを集団から選ぶ
- (3) 話し手は伝達内容を最もよく表現できる言葉を作り、聞き手に送る
- (4) 聞き手は送られてきた言葉を聞き取り、同時に学習を行う
- (5) (3)(4)を全伝達内容について行う
- (6) (2)~(5)を、聞き手以外の全エージェントで行う
- (7) (1)~(6)を、全エージェントで行う

2.2 遺伝的操作

各エージェントは遺伝子 GP (0: 結合重みは非更新, 1: 学習により更新可能, 初期世代では 1 の割合が 5% の個体から 95% の個体まで 10% 刻み, 突然変異は 0 と 1 を反転) を持つ。結合重みの初期値は、遺伝子 GW (-1.0 ~ 1.0 の実数, 突然変異は -1.0 ~ 1.0 の一様乱数を加算) により決定する場合と、毎世代 -1.0 ~ 1.0 の実数値乱数を設定する場合とで実験を行う。会話を 10 ラウンド行い、これを 1 世代とする。各個体の適応度の初期値は 0 で、話し手として発言に成功した場合と、聞き手として聞き取りに成功した場合に適応度を 1 増加させる。1 世代が終了したときの適応度に応じてルーレット選択を行う。突然変異率を 0.01 とする。

An emergence model of grammar based on evolution and learning

[†]Takeshi Kakamu

School of Informatics and Sciences, Nagoya University

[‡]Takaya Arita

Graduate School of Information Science, Nagoya University

3 実験

3.1 初期値を進化させる実験

図 1 に、結合重みの可塑性の有無 GP と結合重みの初期値 GW を進化させた場合の結果を示す。発言成功率と会話成功率は、各世代の最終ラウンドでの値である。学習の可塑性とは GP 中の 1 の割合である。同図より、学習の可塑性は最初の数世代で急速に増加するが、その後、徐々に減少していくことが確認できる。このような結果は 10 試行中 7 試行で見られた。進化の初期段階では、可塑性が高い個体が適応的になると考えられる。しかし、本研究で行った 1 世代のラウンド数 10 という設定では、学習機会が少ないため、学習のみでは完全に文法構造を獲得することはできない。そのため学習のコストが大きくなり、初期値の進化によって文法構造を獲得しやすい形質を獲得した個体が適応的となるため、可塑性が減少していくと考えられる。

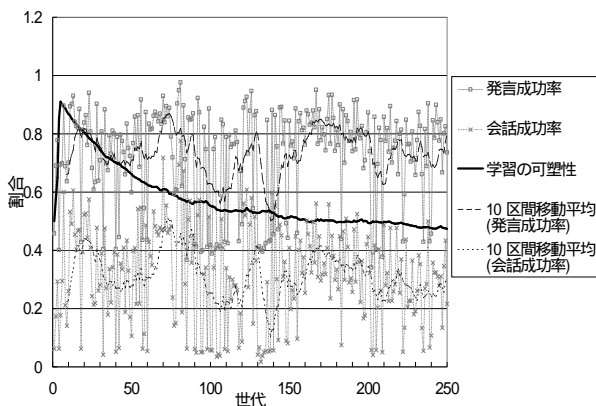


図 1 初期値を進化させた場合

3.2 初期値を毎世代ランダムとする実験

図 2 に、結合重みの初期値 GW は進化させず、毎世代ランダムに設定した場合の結果を示す。同図より、学習の可塑性の推移は図 1 と同様の傾向が確認できる。このような結果は 10 試行中 8 試行で見られた。初期値を毎世代ランダムとする場合は、初期値を進化させた場合に生じる可塑性の有無の間の学習コストに基づく適応度差は生じない。それにもかかわらず可塑性が減少していく理由は、更新可能な重みの数が冗長であることで生じる、計算量の増加、学習速度の低下などのコストが働いているためであろう。可塑性が高くなると、このコストが大きくなるため、更新可能な重みの数を減少させようとする作用により、可塑性の低い個体が適応的になると考えられる。

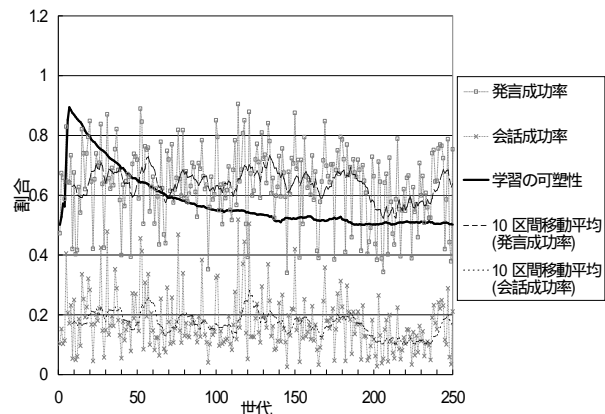


図 2 初期値を毎世代ランダムとする場合

言語の成立という問題の特殊性として、基本的に各個体の出力が一致すれば会話が成立するということが挙げられる。解が限定されておらず、言葉としてどのようなものを用いるかという面に関しての自由度が大きい（言葉の恣意性）ので、重み固定による制約は大きくない。このため、重みの数が冗長であることによるコストの影響が顕著に表れたと考えられる。

4 まとめ

本研究では、エージェント間の会話・学習によって文法が創発するモデルに対して学習の可塑性を進化的に調整するメカニズムを導入し、可塑性の推移を調べた。その結果、進化の初期段階では学習能力の高い個体が適応的となり可塑性が増加するが、その後、学習によるコストのため、学習能力が低い個体が適応的となり可塑性が減少に転じることが確認された。この現象は、進化と学習の相互作用におけるボールドウィン効果であるとみなすことができる。

今後の課題として、現在固定している伝達内容を動的に変化させた場合における可塑性の推移の観察などが挙げられる。

参考文献

- [1] J. Batali: Computational Simulations of the Emergence of Grammar, *Approaches to the Evolution of Language*, pp. 405-426, Cambridge University Press, 1998.
- [2] 木村, 有田: リカレントネットワークによる言語の発生モデル, 情報処理学会第 62 回全国大会公演論文集, No. 2, pp. 299-300, 2001.
- [3] R. Suzuki and T. Arita: The Baldwin Effect Revisited: Three Steps Characterized by the Quantitative Evolution of Phenotypic Plasticity, *Seventh European Conference on Artificial Life*, pp. 395-404, 2003.