

幼児エージェントにおけるバイアスの形成と言語の構造化

篠原修二, 田口亮, 橋本敬*, 桂田浩一, 新田恒雄

豊橋技術科学大学知識情報工学系, *北陸先端科学技術大学院大学知識科学研究科

概要

近年, 人間の幼児は, 形状類似バイアス, 相互排他性バイアスなど, 学習バイアスと呼ばれる様々な制約を利用して, 効率よく言葉の学習を行っていると考えられるようになってきた. バイアスが言語学習に有効に作用するためには, 幼児が学習すべき教示言語と幼児の持つバイアスが整合的でなければならない. 本研究では, 経験を通して言葉を学習する幼児エージェント (Infant Agent:IA) の単純なモデルを構築し, (1) IA が何らかのバイアスを持つ場合, 世代交代を繰り返すことによって彼らの話す言語がどのように変化するのか, (2) 教示言語に応じて, IA はどのようなバイアスを形成するのか, という二つの問題について分析した. 数値実験の結果, コミュニケーションの観点から導かれるある一つの原理を IA に導入すれば, 第一に, 世代交代が繰り返されるにつれて, 言語は IA が持つ能力に適した形に構造化されていくこと, 第二に, IA は構造化された言語を学んでいく過程の中で, 様々なバイアスを自律的に形成し効率的な学習を達成することが示された.

Emergence of learning biases and structuring of language caused by infant agent with symmetry assumption

Shuji SHINOHARA, Ryo Taguchi, Takashi Hashimoto*, Koichi Katsurada, Tsuneo Nitta

Department of Knowledge-based Information, Toyohashi University of Technology

*School of Knowledge Science, Japan Advanced Institute of Science and Technology

Abstract

Recently, it has been found that human infants acquire language effectively by utilizing learning biases such as shape bias and mutual exclusivity principle, etc.. In order that these biases benefit word learning, they need to be consistent with the language which the infants should learn. In this study, we have constructed a simple model of infant agent(IA) by implementing a vocabulary acquisition mechanism, which is derived from the assumption that an agent has consistent beliefs in communication, and have explored the following two problems: (1) How does language spoken by IA change with generation transitions? (2) Which biases does child-IA produce, depending on the language taught by parent-IA? Our simulation results show that the language evolves into the structure fitting for learning ability of IA, and IA develops various biases through learning the structured language and comes to acquire language more efficiently.

1 はじめに

近年の発達心理学の目覚ましい発展により, 人間の幼児は, 学習バイアスと呼ばれる様々な制約を利用して, 効率よく言葉の学習を行っていると考えられるように

なってきた [1, 2].

例えば, ある対象を目の前にして新奇なラベルを聞く際, 幼児は, そのラベルが指し示すのは, 対象全体なのか, 部分なのか, それとも対象が持つ何らかの属

性なのか決定しなければならない [3]. このような状況において、幼児は新奇なラベルは事物全体を指し示すと考える傾向がある (事物全体バイアス) [1].

あるラベルが事物全体を指示するとしても、さらにそのラベルは他の対象にも適用可能なのか否か、つまり普通名詞なのか固有名詞なのかという問題が残る [4, 5]. この場合、幼児は初めて聞くラベルを普通名詞と見なす傾向がある (事物カテゴリーバイアス) [1]. そしてその際、形状の類似した対象にラベルの適用範囲を拡張する (形状類似バイアス) [6, 2, 7].

他にも、幼児は各対象は一つのラベルのみを持つと考える傾向がある [8]. 例えば既知の事物と新奇な事物を目の前にして新奇なラベルを聞いた時、幼児はそのラベルを新奇な事物の名前であると見なす (相互排他性バイアス). このバイアスは、指差しなどが無い場合に指示対象の同定に役立つと考えられている [9].

幼児は、このようなバイアスを持つことで可能な仮説を限定し、効率よく言語を学習していくと考えられる¹. これらのバイアスは工学の分野からも注目されており、田口ら [11] は、対話システムへの応用という観点から、学習の効率化を図るためにバイアスを組み込んだエージェントモデルを提案している.

本稿では、このようなバイアスは言語学習によって形成されるという立場に立ち、その形成過程について議論を行う. 学習バイアスは、言語を効率よく獲得するための規則、つまり一種のメタルールであると考えられるが、もしバイアスが学習によって形成されるとするならば、幼児は言語を学習するだけでなく、言語を学習するための規則も同時に学習しなければならない.

ここで着目したいのは、幼児に見られる各種のバイアスと彼らが学習すべき教示言語との整合性である. 事物カテゴリーバイアスが言語学習に有効に作用するためには、教示言語に固有名詞よりも普通名詞が多く含まれていなければならないだろう. また形状類似バイアスは、教示言語が形状に関して構造化されていれば学習に有効であるが、他の属性、例えば色に関して構造化された言語であれば、むしろ学習を阻害するこ

¹バイアスの適用が必ずしも言語学習に有効に作用するわけではない. また、複数のバイアスを同時に適用しようとしてもできない状況も存在する. 実際幼児は、これらのバイアスをむやみに適用するわけではない [8, 7]. 幼児が効率よく学習を達成するためには、状況や教示言語、発達段階等に応じて適切なバイアスを形成し、またその適用を調整していく必要がある. バイアスの適用調整に関する議論に関しては、文献 [10] を参照されたい.

とになるだろう². つまり、バイアスが言語学習に有効に作用するためには、形成されるバイアスと教示言語が整合的でなければならない.

Smith [12] は、同義語と同音異義語を回避するようなバイアス、つまりラベルと意味を 1 対 1 に対応付けようとするバイアスを持つエージェントをモデル化し、言語はエージェントが持つバイアスに適した形に進化すると述べている. 上述のバイアスで言えば、同義語を回避するというバイアスは、相互排他性バイアスに相当する. 彼はエージェントにこのバイアスをア priori に組み込んだ上で、同音異義語を回避するバイアスを持つ、同音異義語を好むバイアスを持つ、どちらでもない、という 3 種類のエージェントをモデル化し、同音異義語を回避するバイアスを持つエージェントが、進化的に安定であることも示した.

さて、バイアスの形成という問題に対して、バイアスを生得的なものとして捉えるか否かという立場に応じて、以下の三つの側面からのアプローチが可能であると思われる.

1. なぜ／どのようにしてバイアスを持つエージェントが進化してきたのか
2. エージェントが何らかのバイアスを持つ場合、そのバイアスと整合的な言語がどのように進化してきたのか
3. 教示言語に応じてバイアスがどのように形成されるのか

1 は生物学的な進化の問題であり、2 は言語進化の問題である. また 3 は個体の発達過程に関する問題である. Smith はバイアスを生得的なものを見なし、バイアスの形成を進化の問題として捉えた上で、問題 1 と 2 を扱っている. 一方 Samuelson [13] や日高ら [14] は、バイアスは学習によっても形成可能であるとの立場から、形状類似バイアスに関して 3 の問題を扱っている.

本研究では、幼児エージェント (Infant Agent: IA) の単純な数理モデルを構築し、問題 2 と 3 について論じる. 両者の問題を同時に扱う場合、どのようなバイアスが生物学的進化によって生じた生得的なものであ

²ここで、形状 (色) に関して構造化された言語とは、同じ形 (色) の対象は他の属性が違っても同じラベルを持つが、他の属性が同じでも形 (色) が異なれば異なるラベルを持つような言語である.

り、どのようなバイアスが発達過程における学習によって形成されるのか、という問題が生じる。本研究では、コミュニケーションの観点から導かれるある一つのバイアスを生得的と見なし、エージェントに組み込む。その上で、第一にこのエージェントにおいてどのような言語進化が見られるのか、第二にこのエージェントの学習過程においてどのようなバイアスが形成されるのか、という二つの問題について分析する。

2 モデル概要

本研究では、IA0, IA1, IA2 という三種類の幼児エージェントのモデルを構築し、数値実験によって、言語を構造化する能力やバイアスの形成能力の比較を試みた。各IAは、経験を通してラベルと対象の対応関係を学習していく。そして、学習によって形成された信念に基づいて、質問形式で与えられる様々な課題に対して判断を行う。IA0は、経験を通して対象とラベルの関係を記憶していき、その記憶（信念）に基づいて種々の判断を行うエージェントである。IA1は、メモリ空間節約のため対象とラベルの関係を属性毎に分解して記憶し、判断の際にはそれらを統合して使用する。IA2はそれに加えて、対称性バイアス、つまりラベル l と対象 o について「 l は o である（ o は l である）」と信じるならば「 o は l である（ l は o である）」と信じる傾向性を持つ。

3 結果とまとめ

記憶能力という観点から言えば、IA0が最も優れている。IA0は、その優れた記憶能力のために、対象とラベルの対応関係を対象毎に個別に記憶することができる。このため、どのように無秩序な言語であっても構造化された言語と同様に学習可能である。ただし学習には、非常に長期間を要する。これは言語の進化という観点から言えば、世代を経ても言語は変わらないということの意味する。

一方IA2は、分解と統合という操作によって情報を失うため、無秩序な言語に関しては、それを忠実に再現することができない。逆に言えば、言語は世代を経るごとに変化せざるを得ない。この変化が結果として言語の構造化をもたらす。IA1においても世代を経る

ごとに言語は変化するが、数世代で全ての対象に同一のラベルを付与するという無意味な言語に収束する。すなわち、一つのラベルが全ての対象を指示する同音異義語になる。

言語をコミュニケーションの道具であるとするならば、IA間で情報伝達を行うことができ、また親世代から子世代へ速やかに言語を教授できる言語がよい言語である。この観点からすれば、IA2にとって無秩序な言語はよい言語ではない。IA2は言語の情報量を保持したまま、自らの認知能力に適した形に言語を改変する。その結果、構造化された言語を獲得したIA2は、親から子へ少ない事例で速やかにかつ正確に言語を伝えることを可能とする。

言語の学習という観点から言えば、このような言語の構造化は、IA2が持つ記憶能力不足という制約を、汎化能力に転化させる。IA0はその優れた記憶力のため、教示された対象については確実に学習できるが、教示されない未知の対象については全く対処できない。つまりIA0は、ラベルを固有名と見なしして学習を行うエージェントであると言える。一方IA1においては、分解と統合という操作によって情報が失われるため、教示された対象さえ学習することを困難にする。IA2においても無秩序な言語を学習する際には、情報損失は、学習の失敗という否定的結果しか導かない。しかしそれは、構造化された言語を学習する際には、汎化能力という肯定的結果をもたらす、学習を加速する要因となる。

IA2は、ラベルを普通名詞と判断するが、その際ラベルの適用範囲を形状が同じ対象に拡張する。すなわち、IA2は形状類似バイアスを持つ。ただし、形状類似バイアスを持つか否かは教示言語の構造に依存する。教示言語が例えば色に関して構造化されていれば、色類似バイアスを形成する。つまり、IA2は言語を学習していく過程の中で、言語の構造に応じたバイアスを形成する。IA2には、さらに相互排他性バイアス（同義語回避バイアス）や同音異義語回避バイアスの形成も見られる。このようにIA2は、構造化された言語を学んでいく中で、各種のバイアスを自律的に形成し、効率よく学習を行うようになる。

本研究の結果は、幼児の言語学習過程において観察される様々な傾向性が、対称性バイアスという一つの原理から導出できることを示唆する。

言語の構造化とバイアスの形成に関する以上の考察

から、次のようなことが言えるだろう。言語が構造化されていくにつれて、IAはその言語を学習することによってより強いバイアスを形成する。そしてそのバイアスによって、言語の構造化がより促進される。つまり言語の構造化とバイアスの形成は、正のフィードバックループを成していると考えられる。

4 今後の課題

IA2は、対称性バイアスと言語情報を属性毎に分解して記憶するという機構を持つが、モデルにおいてこれらの特性は所与である。これらが生物進化の過程の中でどのように出現したのかという問題については、モデルを進化シミュレーションに拡張して分析する必要がある。

本稿のモデルでは、各対象に対して一つのラベルを付与するという条件を設定した。このため、「りんご」と「果物」のように包含関係にある語を明示的に扱うことができない。このような語を扱うには、一つの対象に複数のラベルが付与されることを認める必要がある。またモデルでは、対象は色と形の二つの属性のみを持つと仮定した。今後は材質など他の属性も導入し、物体と物質の違いなども扱えるようにモデルを拡張したい。

参考文献

- [1] Markman, E. M.: *Categorization and naming in children: Problems of induction*, MIT Press, Cambridge (1989).
- [2] Imai, M., Gentner, D., Uchida, N. : Children's theory of word meanings: The role of shape similarity in early acquisition, *Cognitive Development*, Vol. 9, pp. 45–75 (1994).
- [3] Quine, W. V. O.: *Word and Object*, MIT Press, Cambridge, MA (1960).
- [4] 針生悦子, 今井むつみ : 語意学習メカニズムにおける制約の役割とその生得性, 今井むつみ (編) , 心の生得性—言語・概念獲得に生得的制約は必要か—, pp. 131–171, 共立出版, 東京 (2000).
- [5] 今井むつみ : 概念発達と言語発達における類似性の役割, 鈴木 宏昭大西 仁 (編) , 類似から見た心, pp. 148–178, 共立出版, 東京 (2001).
- [6] Landau, B., Smith, L. B., Jones, S. S. : The importance of shape in early lexical learning, *Cognitive Development*, Vol. 3, pp. 299–321 (1988).
- [7] Imai, M., Haryu, E. : Learning proper nouns and common nouns without clues from syntax, *Child Development*, Vol. 72, pp. 787–802 (2001).
- [8] Markman, E. M., Wachtel, G. F. : Children's use of mutual exclusivity to constrain the meaning of words, *Cognitive Psychology*, Vol. 20, pp. 121–157 (1988).
- [9] Markman, E. M., Wasow, J. L., Hansen, M. B. : Use of the mutual exclusivity assumption by young word learners, *Cognitive Psychology*, Vol. 47, pp. 241–275 (2003).
- [10] 篠原修二, 田口亮, 橋本敬, 桂田浩一, 新田恒雄 : 語彙学習エージェントにおけるバイアスの自律的適用調整について, 準備中 (2006).
- [11] 田口亮, 木村優志, 篠原修二, 桂田浩一, 新田恒雄 : Online-EMによる語意学習機構と学習バイアスの適用, 信学技報, Vol. NLC2005-60(/SP2005-93), pp. 19–24 (2005).
- [12] Smith, K.: The evolution of vocabulary, *Journal of Theoretical Biology*, Vol. 228, pp. 127–142 (2004).
- [13] Samuelson, L. K.: Statistical Regularities in Vocabulary Guide Language Acquisition in Connectionist Models and 15-20-Month-Olds, *Developmental Psychology*, Vol. 38, pp. 1016–1037 (2002).
- [14] 日高昇平, 斎木潤 : 幼児の新奇語カテゴリ化のモデル研究, 認知科学, pp. 1–16 (2005).