

第一言語獲得における認知バイアスに基づいた言語知識修正 Knowledge Revision based on Efficacy of Cognitive Biases in First Language Acquisition

須藤 洸基¹, 的場 隆一¹, 萩原 信吾¹, 中村 誠², 東条 敏³
Hiroki Sudo, Ryuichi Matoba, Shingo Hagiwara, Satoshi Tojo

¹ 富山高等専門学校, ² 名古屋大学 ³ 北陸先端科学技術大学院大学
Toyama National College of Technology, Nagoya University, Japan Advanced Institute of Science and
Technology
sstudyhiroki@gmail.com

Abstract

Cognitive biases much accelerate the process of vocabulary learning, especially in first language acquisition, and they work for infants to limit the possible word meanings, so infants achieve to connect objects with their names. The limitation of the possible word meanings sometimes invokes contradiction in infant's knowledge. Avoiding such contradiction by knowledge revision is one of the efficacies of cognitive biases. In this study, we employ Kirby's model (Iterated Learning Model; ILM) in which the parental speakers utter sentences with their semantic representations. Children guess how those utterances are generated from their meanings and organize grammar rules in their minds, and in turn, generate sentences in the following generation. We alter this model to include cognitive biases, and mechanism of knowledge revision, and run a simulation of language acquisition.

Keywords — Cognitive bias, Language acquisition, Iterated learning model

1. はじめに

第一言語獲得期における語彙獲得では、認知バイアスが効果的に作用すると言われている[2][7]. 認知バイアスとは、人間の認知に存在する非論理的な偏りのことである。この認知バイアスが無数に認識できる概念を制限することで、発話とその意味のマッピングを容易にしている。図1は子供が机を見ている状況を示している。この机に対し親が何か発話した場合に、発話が意味するところは机全体や、引き出しや脚等の部分的なもの、色や材質、もしくは全く無関係のものなど無数の可能性が存在する。認知バイアスは、子供の語彙獲得に対しこれらの可能性を制限するように働くといわれている[6]. 報告されているバイアスの例として、対称性バイアスは、オブジェクトとラベルのマッピングに対称性を持たせることで関連を強めるように作用し、相互排他性バイアスは、ひと

つのオブジェクトにひとつのラベルしかつかないという制限をすることで、対象となるオブジェクトの認識を強めるといった働きがある。図??は対称性バイアスという認知バイアスが働く場面を示している。対称性バイアスにより、「リンゴ」という物体に対して「リンゴ」と書かれている札を選ばせる訓練をすると、「リンゴ」と書かれた札を出されたときに「リンゴ」という物体を選ぶことができる。一方で、物体リンゴからリンゴという札を選ぶならば、人間はリンゴと書かれた札から物体バナナと物体リンゴが置かれていても物体リンゴを教示なしに選択できるといわれている。これは人間が対称性バイアスを有しているからである。これはなんら特別な事のように思われなくてもいいかもしれないが、人間に近い存在であるチンパンジーやオランウータンでさえなしえないことである。しかし、このバイアスによる推論は正しいものではない。例えば、“外が雨”ならば“傘を差している人がいる”からバイアスにより得られる推論は、“傘を差している人がいる”ならば“外は雨”である、となる。これは明らかに誤った推論である。すなわち、傘を差したからといって外が雨になる訳はないからである。これより、対称性バイアスは言語を獲得するにあたって有効なものである一方で、誤った推論により誤認するかもしれないという欠点を内在している。この認知バイアスによる認知は非論理的なため、まったく違う意味で言葉を理解してしまうこともあることから、認知バイアスが効果的であることを示す実験が広く行われている[3][4][7][8][9][10].

我々は、これらの認知バイアスが構文に関する文法獲得にまで影響を及ぼすのではないかと考え、モデル化を行ってきた。これにより、語彙獲得と同様に、文法獲得が効率的に行われると考えられる。これまでに我々は、認知バイアスを導入したモデルを提案し、構文獲得の実験においてモデルの有効性を示している[11]. また、認知バイアスの影響を測定するため、言語間類似度を提案

し、これをモデルに組み込むことで世代間の言語のずれを調査した[12]. その結果、認知バイアスを組み込んだ学習モデルは、文法獲得は効率的に行われるものの、世代間の言語のずれが大きいことが判明した. その原因は、認知バイアスを安易に適用することによって、言語知識が偏るためであると考えられる. ここで我々は、現実の言語獲得において、学習者が機会あるごとに言語知識、すなわち文法を修正しているという仮説を立てる. したがって、本研究の目的は、言語獲得において、認知バイアスを持った学習者が間違った文法を獲得した場合において、その知識を修正する過程をモデル化し、その有効性を示すことである.

本研究では、Simon Kirby[5]の考え方で子が言語を獲得しているという立場をとり、子が親から認知バイアスを利用して言語を獲得する様子をコンピュータシミュレーションで観察する. 認知バイアスによる子の言語獲得とは、読み取れる意味の制限を行うこと、さらに、その意味の制限で発生した矛盾を言語知識修正により回避することである. そして、認知バイアスの効果を構文獲得と語彙獲得で総合的に検証するために親と子の言語間類似度で評価する.

本章に続いて、第2節では本研究の実験モデルのベースとして Kirby による繰り返し学習モデルについて詳述する. 第3節では認知バイアスの影響を測定するために導入した言語感距離について述べる. 第4節では認知バイアスの効果を調査するために提案した意味選択型繰り返し学習モデルの定義を行う. 第5節では意味選択型繰り返し学習モデルにおける認知バイアスの組み込みについて詳述する. 第6節では提案モデルにおいて子供が言語を学習する際に行う言語知識修正について述べ、第7節では実験と結果を示し、第8節に結論を置く.



図 1 机から認識できる概念

図 2 対称性バイアスの効果

2. 言語知識獲得モデルと認知バイアスの有効性

本章では実験モデルのベースとして Kirby による繰り返し学習モデル (Kirby's Iterated Learning Model; Kirby's ILM) と、これに認知バイアスを組み込んだ既存研究について詳述する.

Kirby's ILM は子の言語獲得と世代交代の繰り返しを単純化したモデル (図3) である. 親は子に一定回数発話を行う. 子は親から発話とその意味のペアを学習する. さらに、学習した内容から汎化学習を行う (図4-6). 子は chunk, merge, replace という3つの汎化学習機構を持つ[1]. 親から子に発話を行い、子は汎化学習により言語を獲得する. 子は親となり次世代の子に発話を行う. Kirby's ILM はこれを繰り返すモデルである.

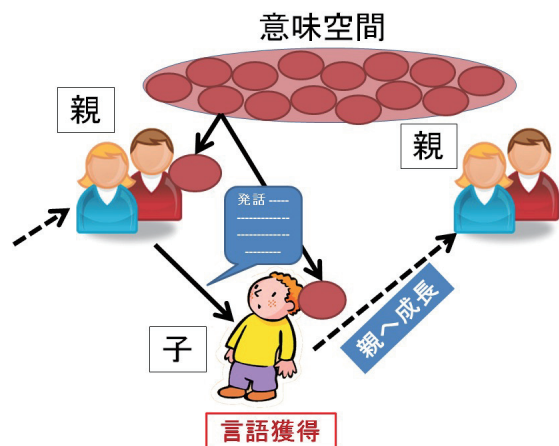


図 3 Kirby's ILM の図示

$$\begin{cases} S/detest(mary, john) \rightarrow marydetestsjohn \\ S/love(mary, john) \rightarrow marylovesjohn \\ \downarrow chunk \\ S/p(mary, john) \rightarrow mary N_0/p sjohn \\ N_0/detest \rightarrow detest \\ N_0/love \rightarrow love \end{cases}$$

図 4 汎化学習 : chunk

的場らによって、Kirby's ILM に認知バイアスを組み込むことで構文獲得が促進されることが確認されている[11]. 的場らは、Kirby's ILM で子が親の発話の意味をしばしば特定できないことを仮定して、特定できない意味は認知バイアスによって

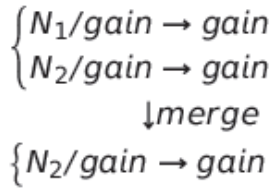


図 5 汎化学習 : merge

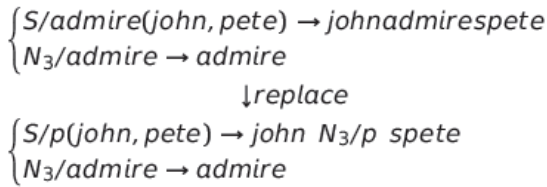


図 6 汎化学習 : replace

補う実験を行った。この実験では、子は特定できない意味を親からの発話を基に補完する場合とすべての意味からランダムで補完する場合を比較した。比較する基準は、子が持つ文法規則の数と子が表現できる意味の数である。すべての意味からランダムで保管する場合より、制限された意味の中から補完する方が表現度の増加が大きくなると報告されている。

本研究では、認知バイアスの組み込み方を的場らの方法を踏襲する。しかしながら、バイアスの有効性を発揮させる状況を新たに提案する。モデルの詳細は第4章で述べる。

3. 言語間距離

的場ら[11]は、子が親からの発話に対し特定できない意味を補う方法として認知バイアスを組み込んでいる。言語獲得における認知バイアスの有効性は、親の意図した意味を子が獲得できるか否かである。表現可能な意味の数と言語知識を構成するルール数という評価法では、親と子の間にどれだけの認識の差があるのか評価できない。われわれは認知バイアスの影響を確認するために親と子の言語間類似度を知る必要がある。

本研究では親と子の言語間類似度を定量的に評価する方法を導入している[12]。以下に距離の測定手法を述べる。

1. 親子それぞれの文法で生成可能な発話と意味のセットをすべて生成する。
2. 子から生成したセットを1つ選ぶ。
3. 子が選択したセットの意味と最も近い意味を持つセットを親の文法で生成したセットから選ぶ。意味の近さはハミング距離で測る。
4. 同セット間の発話の距離をレーベンシュタイン

距離で測る。レーベンシュタイン距離は発話の長さで最大値が変わるので、0から1に正規化する。

5. 2から4を子から生成したセットすべてで行い、4の距離の平均を求める。
6. 言語知識間の距離は5で求めた距離の平均となる。

言語間距離は子の知識が親の知識をどの程度反映しているかを数値化している(図7)。

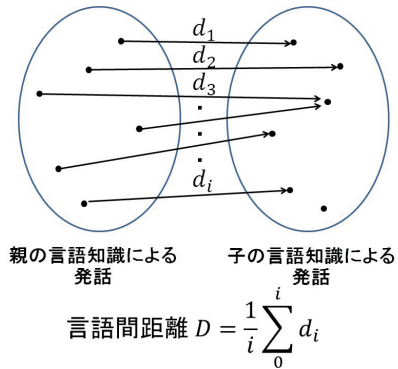


図 7 言語間距離のイメージ

4. MSILM

既存研究[11]では、Kirby's ILMにおいて意味が特定できない場合を設けることで認知バイアスが働く環境を用意した。このモデルを現実に置き換えて考えてみる。親と子は共通の状況を認識して、親はその状況から意味を読み取り発話を行う。子は多くの場合、状況から親と同じ意味を認識するが、一定の確率で親と同じ意味を獲得できないこともある。子が親と同じ意味を獲得できない場合は、すべての意味の中から発話という刺激をもとに認知バイアスで意味を特定する。現実世界では、ある状況から読み取れる意味はすべての世界に存在する意味であることはない。つまり、認知バイアスが働かなくともある程度意味を絞ることができる。これは、認知バイアスの言語獲得における効果を調べるには重要な要素であると考えられる。

われわれは1つの状況から任意の数の意味が読み取れる環境をKirby's ILMをベースに意味選択型繰り返し学習モデル(Meaning Selection ILM; MSILM)として提案した[13]。Kirby's ILMでは、親に意味を渡して、子は親から発話と意味のペアを学習する。一方、MSILMでは親に複数の意味を読み取れる状況(図8)を渡す。親は状況から意味を一つ読み取り、発話を生成する。子は親の発話と状況を受け取る。子は状況から意味を一つ読み取り、受け取った発話と読み取った意味のペアで学習する。こ

れにより、親と子が同じ状況を共有しながら親が発話している、いわゆる共同注視の環境を組み込んだ。

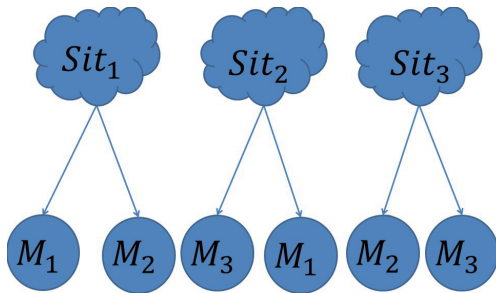


図 8 状況と意味の関係 (Sit:状況, M:意味)

5. 認知バイアスとMSILMでの認知バイアスの動作

認知バイアスは非論理的な認知の偏りであり、さまざまな認知バイアスが多種提案されている。本研究では、認知バイアスの中でも対称性バイアスと相互排他性バイアスに注目する。

対称性バイアスとは、 $A \rightarrow B$ ならば $B \rightarrow A$ と認識することを差す。つまり、命題の逆を真であると認知する。発話とその意味の対応付けを学習する際には、発話 U という刺激に対してある意味 M を対応付けしているなら、同じ発話 U という刺激を受け取ったときに意味 M を想起する認知バイアスである。本研究では、発話意図があり発話を行うというプロセスに対し、発話から発話意図を推論するプロセスを対称性バイアスの効果と位置付ける。

相互排他性バイアスとは、 $A \rightarrow B$ ならば $\bar{A} \rightarrow \bar{B}$ と認識することを差す。対称性バイアスが命題の逆を真と誤謬するのに対して、相互排他性バイアスは命題の裏を真であると誤謬する。発話とその意味の対応付けを学習する際には、発話 U_1 に意味 M を対応付けしているなら、発話 U_2 に対して意味 M を対応付けしない認知バイアスである。本研究では、子が親の発話意図が読めない場合に意味を推論する。子のもつ既存の文法には入力発話に対応する意味がない場合、子のもつ文法規則以外の文法規則を相互排他性により生成する。

また、これらのバイアスは1つの発話に対して1つの意味のみ(対称性バイアス)、1つの意味に対して1つの発話のみ(相互排他性バイアス)と認知するように作用するため、意味と発話を一対一で結びつける効果がある。

MSILMでは、これらの認知バイアスは子が状況と親の発話を受け取った際に、状況から認識でき

る意味の候補からどの意味を選択するかに影響を及ぼす。認知バイアスが働かない場合、子は、親が状況のどの意味を意図して発話したのかについて何も情報がないため、状況を与える意味の候補からランダムで選択する。一方、認知バイアスが働く場合、子は親の発話から親が意図したであろう意味を推測し、それに基づいて意味を選択する(図9,10)。

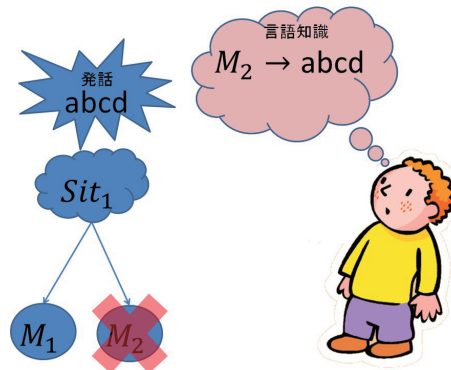


図 9 対称性バイアスによる意味の制限

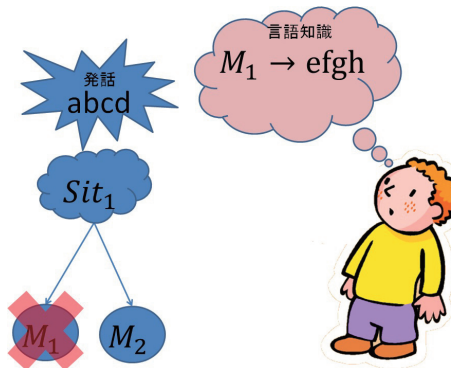


図 10 相互排他性バイアスによる意味の制限

6. 言語知識の修正

子が認知バイアスに基づいて状況の意味を選択する場合、認知バイアスによって得られた推測が状況から読み取れる意味のどれにも当てはまらないことがある。この状況は、対称性バイアスで状況から読み取れる意味ではない意味が発話から推測できた場合や相互排他性バイアスで状況から読み取れる意味がすべて他の発話と対応付けられていた場合に起こる。このとき、親は間違いなく状況から読み取れる意味のどれかを意図して発話したため、子の学習した言語知識が間違っていると考える。本研究では、以下の場合に矛盾が生じたと定義する。

- 対称性バイアスで選ばれた意味が状況の候補にない
- 相互排他性バイアスにより選択する意味がなくなる

間違った知識をそれぞれの認知バイアスを踏まえた訂正を行う。本研究では状況から読み取る意味をランダムに決定して、対称性バイアスや相互排他性バイアスによってその意味を選択させないようにしていたルールを削除する。子の言語知識の修正は、矛盾が生じた場合に学習する発話の意味をランダムに決定して、発話と意味のセットが認知バイアスの捉え方において矛盾しないように修正している。

7. 実験と結果

認知バイアスの有効性を検証するシミュレーションを行った。親の発話の意味が完全な状態で伝わる Kirby's ILM, 意味に選択性がある MSILM, 子の意味選択時に認知バイアスによる制限をする MSILM with bias for selection, 認知バイアスによる意味の制限と知識修正をする MSILM with bias for selection and knowledge revision で比較を行った。

実験設定は, Kirby's ILM の実験と同様に, 発話回数は1世代50発話とした。そして, 実験結果を考察する基準として最大100世代まで実験を行った。これは100世代で本研究で評価する値である子の言語知識の規則数, 子が表現できる意味の割合(表現度), 親と子の類似度(言語間距離)が収束していたためである。親子のエージェントが共有する意味空間の大きさは100であり, そこから作られる状況は4950種類である。1つの状況が与える意味数は2個とした。状況の数は意味数100個の中から2つ意味を選ぶ全通りの組み合わせの数である。表現度, ルール数, 言語間距離の3つの評価でエージェントの知識を評価した。実験は100試行を行い, それぞれの平均で比較を行った。

7.1 実験1 -表現度-

図11は実験結果を表現度で比較したグラフである。縦軸は表現度(%), 横軸は世代数である。表現度はKirby's ILMが一番大きく100世代目では99%まで上昇した。これは, 子に親の発話とその意味が完全に伝わっているモデルである。学習によりエージェントのもつ文法の合成度が増すため表現度が高くなったと考えられる。100世代目の値をみると, MSILMは83%, MSILM with bias for selectionは70%, MSILM with bias for selection and knowledge revisionは35%であった。これは学習に用いるデータ量に依存したためと考えられる。

親の意図が完全な状態で伝わる Kirby's ILM と意味に選択性があるその他のシミュレーションは言語獲得の成果に差がでることは明白である。しかし, MSILM において認知バイアスを入れた各シミュレーションは期待通りに言語を獲得しなかった。これは認知バイアスが組み込まれていないモデルよりも認知バイアスを組み込んだモデルの方が学習に使われる情報量が減ったためと考える。認知バイアスにより1つの発話には1つの意味のみ割り振られるようになる。従って, 子が最終的に学習に用いるデータがバイアスを組み込まないモデルと比較すると少なくなっている。ゆえに, 学習に十分な情報量が得られないためうまく言語獲得できなかったと考える。この傾向は, 矛盾する知識を削除するモデルである知識修正ありのシミュレーションに強く表れており, 表現度が低くなるという形で顕著に表れていることから推察できる。

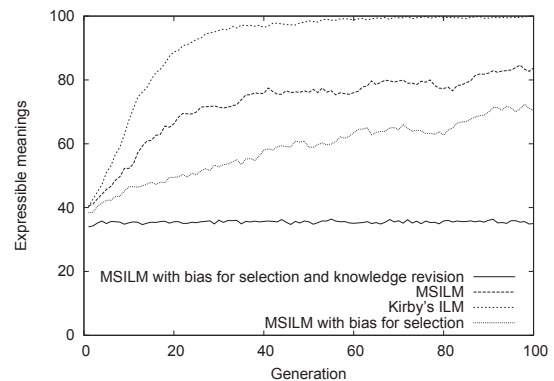


図 11 各シミュレーションの表現度の比較

7.2 実験2 -ルール数-

図12はルール数で比較した図である。縦軸はルール数, 横軸は世代数である。少ないルール数で高い表現度を得ることができればより合成的な文法であるといえる。合成的なルールとは, 単語ルールを組み合わせることで複数の文ルールを構成できる汎用性の高いルールのことである。例えば, 「Xな花がY」という合成的な文ルールがあり, 単語規則として「X:赤い, 黄色い, 美味しい」, 「Y:好き, 嫌い」があった場合, 1つの文ルールで6種類の意味を構成することが可能である。

結果より, Kirby's ILM 一番ルール数が少ないことがわかる。Kirby's ILMは図11と比較してみると, 表現度が高くなる一方でルール数は減少し, 収束期では表現度は高い値を保ちつつもルール数

は20以下を保っている。これは、文法が合成的になり汎用性の高い文法になったことを示している。

一方で、MSILM, MSILM with bias for selection, MSILM with bias for selection and knowledge revision はいずれも100世代目でのルール数は40程度である。これは、図11と比較してみると、MSILMおよびMSILM with bias for selectionについてはルール数は初期世代よりもわずかに減少している一方で表現度が増加していることより、文法が合成的になっているといえる。知識修正を加えたモデルでは、表現度、ルール数がともに初期状態から大きな変化はない。即ち、学習がほとんど行われていないことを意味している。これは7.1節と同様に、知識修正のため学習に使用するデータを過度に削除したため、学習に十分な情報量が得られなかったためと推察できる。

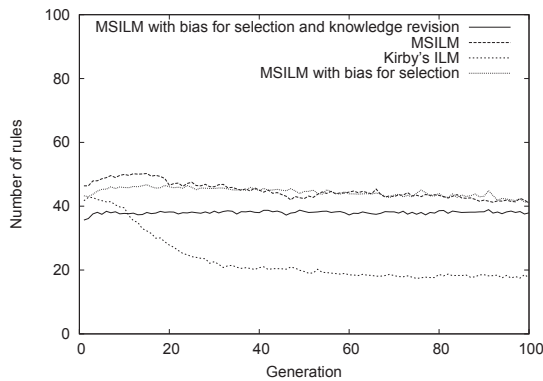


図12 各シミュレーションのルール数の比較

7.3 実験3 -言語間距離-

図13は言語間距離で比較した図である。縦軸は言語間距離、横軸は世代数である。言語間距離とは、親子間の言語の類似度で、子の言語が親の言語をどの程度反映しているかを測る基準である。つまり、言語間距離が小さいほど子の言語は親の言語を反映している。

意味が完全な状態で伝わるKirby's ILMは言語間距離が一番小さい値となった。収束期では0.05程度まで小さくなり、他のシミュレーション結果より明らかに小さな値となった。

一方で、MSILM, MSILM with bias for selection, MSILM for selection and knowledge revisionは意味に選択性のある環境でシミュレーションしているため、Kirby's ILMより大きな値になっている。収束期においてMSILMは0.25程度、MSILM with bias for selectionは0.35程度、MSILM with bias for selection

and knowledge revisionは0.65程度となった。認知バイアスを組み込んだ知識修正ありのモデルの距離が特に大きな値であった。これは、表現度が低い理由と同じである。つまり、認知バイアスにより学習のための情報量が減るため、他のシミュレーションよりも親の言語の影響量が少ないことが理由である。

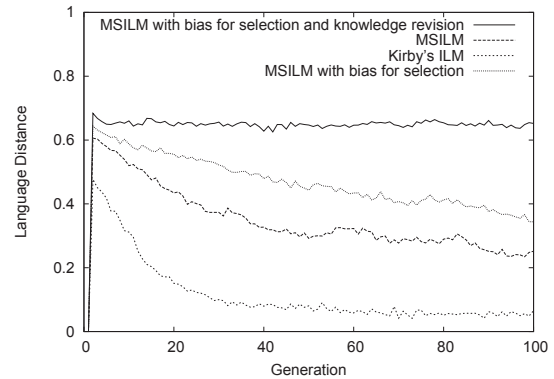


図13 各シミュレーションの言語間距離の比較

8. まとめ

本研究では、これまでに主に語彙獲得に関して有効性が検討されてきた認知バイアスがさらに構文獲得においても有効であることを検証しようと試みた。本研究で組み込んだ認知バイアス是对称性バイアスおよび相互排他性バイアスである。また、バイアスにより得た知識をもとに子は自らの文法知識を修正する機構を導入した。このため、Kirbyのモデル[5]を改良しMSILMを構築した。MSILMでは複数の意味を読み取れる状況をつくり、親と子が同じ状況を共有しながら親の発話から子が学習するという、いわゆる共同注視の環境を組み込んだモデルである。このMSILMに認知バイアスおよび知識修正の枠組みを導入し言語獲得実験を行った。

結果として、親の意図する意味を選択するように制限を強くかけたバイアスモデル、および知識修正モデルではバイアスを組み込んだモデルよりも表現が低く、言語間距離も大きな値となった。これは、バイアスや知識修正により子が最終的に学習に用いるデータが少なくなり、学習に十分な情報量がえられないためと推察できる。

今後の課題として、i)各モデルにおける学習データの数の比較、ii)バイアスや知識修正のプロセスにより得た子への入力在学习に際しノイズとなっていないかの検証、および、iii)バイアスの組み込み方法の推敲が挙げられる。

参考文献

- [1] 橋本敬, 中塚雅也, (2007) “文法化の構成的モデル化 - 進化言語学からの考察-”, 認知言語学会論文集, 7, 33-43.
- [2] 今井むつみ・針生悦子, (2003) “レキシコンの獲得における制約の役割とその性質”, 人工知能学会誌, 18(1), 45-75.
- [3] Imai, M. & Gentner, D. (1994) “Children’s theory of word meanings: The role of shape similarity in early acquisition”, *Cognitive Development*, 9(1), 45-75.
- [4] Imai, M. & Gentner, D. (1997). A crosslinguistic study of early word meaning: Universal ontology and linguistic influence”, *Cognition*, 62(2), 169-200.
- [5] Kirby, S. (2002) “Learning, bottlenecks and the evolution of recursive syntax”, *Linguistic Evolution through Language Aquisition*, Cambridge University Press.
- [6] 小林春美, 佐々木正人 (1998) “子どもたちの言語獲得” (3版), 大修館書店
- [7] Landau, B., Smith, L., & Jones, S.S. (1988) “The importance of shape in early lexical learning”, *Cognitive Development*, 3(3), 299-321.
- [8] Landau, B., Smith, L. B., & Jones, S. S. (1992) “Syntactic context and the shape bias in children’s and adult’s lexical learning” *Journal of Memory and Language*, 31(6), 807-825.
- [9] Markman, E. M. (1990) “Constraints children place on word meanings”, *Cognitive Science*, 14(1), 57-77.
- [10] Markman, E. M., Wasow, J. L., & Hansen, M. B. (2003) “Use of the mutual exclusivity assumption by young word learners”, *Cognitive Psychology*, 47(3), 241-275.
- [11] 的場隆一, 中村誠, 東条敏, (2008) “構文獲得における対称性バイアスの有効性”, 認知科学, Vol 15, No. 3, pp. 457-469.
- [12] Matoba, R., Sudo, H., Tojo, S., Hagiwara, S. (2013) “Evaluation of the Symmetry Bias in Grammar Acquisition”, *AROB*, 18th.
- [13] 須藤洗基, 的場隆一, (2013) “意味の多重性を考慮した文法獲得モデルの構築”, 人工知能学会, 2013
- [14] 東条敏, (2013) “進化言語学における認知バイアスの有効性”, 人工知能学会, 2013.