

RF-001

親から子への語りかけによる言語の学習モデル A Model of Acquiring Language through the Conversation with Parent

古川 直彦[†]
Naohiko Furukawa

鈴木 輝彦[‡]
Teruhiko Suzuki

太原 育夫[‡]
Ikuo Tahara

1. はじめに

人間の知的活動のひとつに言語の使用が挙げられる。認知心理学の分野では、幼児を使った実験から様々な仮説が立てられ、その検証が行われている。しかし、言語の獲得にどのような仕組みが働いているのかを解明するには至っていない。もし計算機上でこれらの仕組みを再現できれば、幼児を対象とした実験では観察することが難しかった点を明らかにすることができると考えられる。本論文では親からの語りかけによる幼児の言語獲得を計算機上で実現する。

ところで、言語獲得シミュレーターでは言語獲得のプロセスそのものに重要性があるため、現実の幼児と同じく言語の意味も合わせての学習が必要となってくる。ここに言語獲得シミュレーターの研究の難しさがある。

例えば「赤い」という単語を学習するのであれば、その意味を同時に学習しなくてはならない。そしてこれらの情報は会話文中には存在せず、話者や聴者の外界に存在しているのである。よって言語獲得シミュレーターでは言語獲得者にこれら外界の情報をどのように与えるかもまた重要になってくる。

本論文ではこの外界の情報の取り扱いについて、Kirby の繰り返し学習モデル (以降は Kirby モデルと呼ぶ) で用いられている会話の手法を参考にする [1]。Kirby モデルでは、話者が発話するに際してその内容として頭の中に思い描いているであろう情報が発話内容とは別に定義されており、エージェントはこの情報を相手と共有することで外界の情報を得ることなしに会話を成立させている。このモデルを利用することで、外界の情報の取得に必要なプロセスを簡略化し、より小規模なシミュレーターを構築できると考えられる。

そして、構築したシミュレータを用いてモデルの学習の過程と、現実の幼児の言語獲得の様子に関連について考察する。

2. Kirby の繰り返し学習モデル

Kirby モデルとは、エージェントからエージェントへの語り聞かせによる文法の学習モデルである。親エージェントによる子エージェントへの有限な語彙を用いた語り聞かせを何世代も繰り返すことで、文法の種類やその文法を使って表現できる意味空間の広さがどのような変化を遂げるかを観察することができる。モデル内で親エージェントは言語と話者が内部に持つその言語の意味する内容そのものの二つを子エージェントへと伝え、子エージェントはこれをもとに学習を行い、文法を獲得していく。

Kirby モデルでは、計算機上での会話を表現するための対話のモデルが定義されている。以下このモデルを的場ら [2] に基づき説明する。

2.1 I-言語と E-言語

人間は言語を内外に二つ持つと言われており、Kirby モデルではこの二つをやり取りすることで対話を行っている。その二つの言語はそれぞれ次のように定義されている。

- I-言語 人間の知能に内在して意味表現となる内的言語

I-言語は、伝統的な言語学の手法に基づいて意味表現であるとし一階述語論理による述語-引数 (predicate argument structure; PAS) による構造で表現される (例えば、「ジョンがボールを打った」という内容は *hit(john, ball)* のように表される)。

- E-言語 音列あるいは文字列として外在化した外的言語

E-言語は、話者が持っている文法表現にのっとった記号表現であるとし、文字列で表現される (以降ではこれを *letter* と表す)。ここでいう文法表現とは I-言語を E-言語に変換する規則である (例えば、「ジョンがボールを打った」という PAS *hit(john, ball)* に対して、「hjsbs」のように文字列が表現として与えられる。ただし、この表現は話者の持っている文法表現に依存する)。

すなわち、前者は話者が伝えたいこと、後者は話者が伝えたいことを伝えるためのツール (この場合は言語) ということになる。

2.2 対話のモデル

Kirby モデルでは対話に以下のような形態を用いている。

1. 親エージェントは自身に内在する意図を他者に伝えるために I-言語を持つ。I-言語は述語-引数構造 (PAS) で表現されるものとする。
2. 親エージェントは自身の内部において I-言語を E-言語に変換する手法を持つ。これは PAS を *letter* に変換する規則であり、*letter* を生成するという点で文法である。
3. 親エージェントは E-言語、すなわち *letter* を子エージェントに渡す。そしてこの意味を伝え、かつ子エージェントが親エージェントの意図を正しく理解できたことを検証するために、同時に I-言語すなわち PAS も渡す。
4. 子エージェントは親エージェントから受け取った数多くの (PAS, *letter*) のペア (以降はこれを語と表す) か

[†] 東京理科大学 理工学研究科 情報科学専攻

[‡] 東京理科大学 理工学部 情報科学科

ら、各 PAS がどのような規則で letter に変換されたかを推論し、文法化する能力を持つ。その文法はもともと話者が持っていた文法と異なるものとなる可能性がある。

Kirby モデルの対話で親エージェントは、上記のように letter と一緒に PAS もやり取りする。こうすることで子エージェントは話者が外界の何について話しているかを特定する必要がなくなるため、この作業に必要な外界情報を用意しなくても済む。

子エージェントが学習するのは I-言語から E-言語への変換規則である。子エージェントは PAS と letter の双方を受け取ることができるが、親エージェントがどのような規則で letter を生成したかを知ることはできない。この変換規則を文法とみなした場合、その文法の学習過程は言語の学習過程とみなすことができるのではないかというのが Kirby モデルの立場である。

2.3 文法

Kirby モデルで扱う文法は、PAS と letter との対応付けを表す規則からなる。子エージェントは複数の規則を比較、統合し階層化するためのオペレーションを用いて親からの発話から文法を学習していく。以下、これについて詳しく説明する。

2.3.1 規則の種類

Kirby モデルでは言語を表す規則を 2 種類定義している。規則において左辺にある記号 N や S はそれぞれ非終端記号を表し、これに条件を付加することで右辺の記号列を導出できる。以下に 2 種類の規則とその例を示す。

1. 単語型規則

単語型規則は PAS 部に単一の要素を持つ規則を指す。単語型規則の例

- $N/jhon \rightarrow re$

2. 非単語型規則

単語型規則以外の規則である。非単語型規則は PAS 部に複数の要素を持つ。親から与えられる規則は基本的に PAS 部が完全な非単語型規則である。

非単語型規則の例

- $S/read(jhon, book) \rightarrow ivnre$
- $S/read(x, book) \rightarrow ivn N/x$ (左辺 x の内容により、右辺 N/x が決定する)

2.3.2 オペレーション 1: chunk

chunk は二つの語から相違点を見つけこれを切り出すオペレーションである。

二つの非単語型規則において、意味と形式の異なる部分の一部だけであるなら、これら二つの規則を削除し、表現力が等しい階層的な規則に統合する。

$$\begin{aligned} r_1 &: S/read(jhon, book) \rightarrow ivnre \\ r_2 &: S/read(mary, book) \rightarrow ivnho \end{aligned}$$

この二つの規則 r_1, r_2 は、PAS を表す左辺は $john$ と $mary$ のみが異なり、letter を表す右辺は "ivn" が共通でそれ以降が異なる。このような場合、次の r_3, r_4, r_5 に置き換える。

$$\begin{aligned} r_3 &: S/read(x, book) \rightarrow ivn N/x \\ r_4 &: N/jhon \rightarrow re \\ r_5 &: N/mary \rightarrow ho \end{aligned}$$

2.3.3 オペレーション 2: merge

merge は非単語型規則とそこに代入される単語型規則からなる階層化された規則群を統合するオペレーションである。

ある二つの規則群において単語「jhon」がどちらにも含まれている場合、これらの規則群に属している「jhon」以外の単語型規則をそれぞれ交換しても文章が成り立つのではないかという推測が成り立つ。この推測の下、二つの規則群をまとめてより大きな規則群とする。

$$\begin{aligned} r_{11} &: S/read(x, book) \rightarrow ivn A/x \\ r_{12} &: A/jhon \rightarrow re \\ r_{13} &: A/mary \rightarrow ho \\ r_{21} &: S/eat(x, apple) \rightarrow apr B/x \\ r_{22} &: B/jhon \rightarrow re \\ r_{23} &: B/pete \rightarrow wqi \end{aligned}$$

上記の規則 r_{12}, r_{22} は同じ規則とみなすことができる。この場合、以下のように統合される。

$$\begin{aligned} r_{11} &: S/read(x, book) \rightarrow ivn A/x \\ r_{12} &: A/jhon \rightarrow re \\ r_{13} &: A/mary \rightarrow ho \\ r'_{21} &: S/eat(x, apple) \rightarrow apr A/x \\ r'_{23} &: A/pete \rightarrow wqi \end{aligned}$$

2.3.4 オペレーション 3: replace

replace[‡]はある非単語型規則の一部に既に切り分けられた単語型規則が含まれている場合これを置き換えるというオペレーションである。

ある単語型規則の意味と形式全てが別の非単語型規則に含まれているならば、後者の規則を削除し、より汎化能力の高い規則を加える。

$$\begin{aligned} r_1 &: S/read(pete, book) \rightarrow ivn wqi \\ r_2 &: B/pete \rightarrow wqi \end{aligned}$$

この二つの規則において、 r_2 の意味も形式もともに r_1 の一部にある。よってこの場合、 r_1 が r'_1 のように置き変わる。

$$\begin{aligned} r'_1 &: S/read(x, book) \rightarrow ivn B/x \\ r_2 &: B/pete \rightarrow wqi \end{aligned}$$

[‡] chunk および merge は Kirby (2002)[1] によって名付けられている。しかし、replace は実装はされているが名前が付いていない。このオペレーション名は、橋本・中塚 (2007)[3] に基づく。

3. 語りかけによる言語の学習モデル

本論文で提案する学習モデルについて説明する。本モデル内で動作するエージェントは基本的には Kirby モデル内で定義されているエージェントと同様のものである。しかし、Kirby モデルが観察対象とする世代を超えた文法知識の伝達の様子と、本論文が観察対象とする幼児の言語獲得には違いがある。このため、Kirby モデルの一部を定義しなおすことで Kirby モデルに幼児の言語獲得モデル内での会話モデルとしての側面を与えている。

以下、提案モデルと Kirby モデルとの相違点、共通点について説明する。

3.1 Kirby モデルとの比較

3.1.1 共通部分

本論文の目的の一つは Kirby モデルを言語の学習モデルとして扱えるかどうかの妥当性を調べることである。ここでエージェントの振る舞いについては Kirby モデルと同じとなるようにしている。以下にその共通箇所を示す。

1. 会話の定義

Kirby モデルを使用する最も大きな理由である。ただし I-言語については定義が実世界の対話を模しているとは言い難いと感じたためその意味的取り扱いを改める。これについては次節で述べる。

2. 学習規則

Kirby モデルで定義されている学習規則はシンプルであり、実世界での幼児の言語獲得の説明付けを行うに足るものであると考えられる。よってこの学習規則もそのまま使用する。

3.1.2 I-言語の解釈

Kirby モデルでは I-言語は各人に内在する言語として取り扱われているため、モデル内での対話は話者の話したい内容がダイレクトに伝わるテレパシーのような側面を持っている。しかしテレパシーを用いたコミュニケーションは実世界の対話に即しているとは言い難い。そこで本論文ではこの I-言語に代わるものとして共同注意という概念を用いる。

共同注意とは他者が見ているところもしくは指示しているところを見る、という行動を指す [4]。この共同注意が成立するためには他者の視線の理解が必要不可欠になるが、一般的に幼児が母親の視線に追従できるようになるのが生後 6 か月、視野内の「特定の」刺激に注目できるようになるのは生後 12 カ月頃からといわれており、これは幼児が初めて単語を発する時期(生後 10 ~ 12 カ月)とも一致する。これらのことから、幼児期の言語コミュニケーションにおいて、共同注意は話者の話している内容が何について語っているのかを理解する重要な手掛かりになると考えられる。そこでこのエージェントでは Kirby の用いた I-言語の伝達という仮定ではなく、親子間での共同注意の完全な成立、すなわち子は親の発話に対してその発話内容が何を表しているかを正確に把握することができることを仮定する。またこれ以降は PAS も I-言語そのものではなく共同注視によって得られた情報とみなす。

ただしこれらはあくまでも I-言語の解釈の仕方の問題であって、Kirby の定義した PAS と本論文の中で使

用する PAS の対話モデル内での扱いに関しては違いはない。

3.1.3 相違部分

幼児の言語獲得シミュレーターとして見たとき、Kirby モデルでは不自然と思われる部分は新たに定義しなおしている。以下に相違部分を示す。

1. 文法の定義： Kirby モデルには完成された文法の定義はなく、未知の文法は話者が新規に定義して会話を行う。しかし、実世界での会話では話者である親は完全な文法知識を持っている。本論文では親側の発話にはあらかじめ完全な文法を定義する。
2. 世代の概念の廃止： Kirby モデルでは数百という世代のエージェントを用いて言語の変遷を検証するが、本論文の目的は親と子一世代間での文法知識の伝達の表現である。そこで世代の概念は廃止し、エージェントは一人の親と一人の子のみを定義し、世代の移り変わりは起こらない。
3. 子が学習する辞書： エージェントが文法を学習するのに必要となる辞書を追加した。この辞書については後に詳しく述べる。

3.2 学習における前提条件

エージェントとその学習過程では以下の条件を設定する。

1. 完全な文法： 使用される文法は曖昧性のないものである。すなわち、PAS の組一つに対して letter が一意に決まる。これは言語の曖昧性による学習の複雑化を避けるためである。
2. 卓越者としての親： 親側すなわち話者は文法に精通した存在であり、その発話において文法的な誤りは存在しない。
3. 情報の完全な伝達： 親側から子側への情報は完全な形で伝わる。すなわち子が受け取る PAS と letter に誤りや欠損はない。
4. 子の記憶力： 子は親から与えられた内容とそこから得られる知識の全てを忘れずに持ち続けることができる。

3.3 子供エージェント

言語を学習する子供エージェントについて説明する。

3.3.1 内部構造

子エージェントは内部に辞書を 3 つ持つ。それぞれは以下の機能を持つ。

1. experience： 親から受け取った語を記録する辞書である。与えられた語は全てこの辞書に記録され、文法の学習の際の手がかりとする。
2. lexicon： 学習によって構造化した文法を記録する辞書である。与えられた語に対してオペレーションを適用し、その結果得られた規則を記録する。
3. mistake： 切り出しの間違いを記録する辞書である。構造化の際に単語の切り出し間違いが見つかった時これを記録し、これ以降同様の切り出しを防ぐ。

3.3.2 動作

子エージェントは語を一つ受け取り、これを内部の辞書 experience に記憶する。子エージェントは自身の記憶内の語と新たに入ってきた語とを、2.3 節で説明したオペレーションに基づき構造化していく。この際生成された規則は、親から与えられた語とは別に内部の辞書 lexicon に記憶していく。

以下に子供エージェントの具体的な動作の流れを示す。

```
[ like( Isobe, Ogasawara ), VUghimno ]
[ like( Ishikawa, Hoshino ), VUdefabc ]
[ like( Ishikawa, Odan ), VUdefjkl ]
[ trust( Hoshino, Ogasawara ), TSabcmmo ]
[ love( Ogasawara, Isobe ), ZYmnoghi ]
[ hate( Isobe, Odan ), XWghijkl ]
```

～中略～

```
[ hate( Odan, Ogasawara ), XWjklmno ]
[ doubt( Odan, Isobe ), RQjklghi ]
[ love( Isobe, Ogasawara ), ZYghimno ]
[ like( Hoshino, Odan ), VUabcjkl ]
[ hate( Isobe, Odan ), XWghijkl ]
[ like( Odan, Ishikawa ), VUjkldef ]
```

図 1: 親からの発話内容 (一部)

1. 親から受け取った語を「experience」に登録する。
2. 与えられた語をもとに、「experience」に登録されている語全てに対して可能であるならば chunk を行う。この際生成された規則は「lexicon」に登録される。またこれ以降、新たな規則が生成された場合も、同様に「lexicon」に登録される。
3. 一つの PAS に対して異なる letter が切り出された場合、ここで letter が短いものを削除し、辞書「lexicon」を修正する。この時見つけた letter は「mistake」に登録し、以後 chunk で同様の切り出しが行われた場合これを辞書に登録しない。
4. 「lexicon」内で可能な限り merge を行う。
5. 「lexicon」内の単語型規則を用いて、「experience」内の語に対して可能な限り replace を行う。
6. 「lexicon」内で可能な限り replace を行う。
7. もう一度「lexicon」内で可能な限り merge を行う。
8. merge, replace により「lexicon」内に全く同じ規則が生まれた場合、これらを削除する。
9. 新しい語に対して 1～8 を繰り返す。

4. 実験

エージェントの振る舞いを確認するために実験を行った。また実際の幼児との比較についても考察する。

4.1 学習に使用した語と学習後の各辞書の様子について

実際にエージェントが学習をした結果、辞書がどのようになっているか、また得られた文法知識がどのようなものであるかを示す。実験は動詞、名詞共に5種類を使用し、動詞については他動詞のみとした。このため第三文型のみ学習となっている。親側からの発話は30回とした、ただし発話の生成はランダムであるため、内容が重複する可能性がある。

4.1.1 親から与えられた語

学習に必要な語は、用意した名詞、動詞からランダムに選択したものを組み合わせて使用する。図1は今回の実験で発話された語の一部である。一部で重複が発生したため、異なった内容の語は25種類確認された。

```
XX( YY, ZZ ) -> [ 5, XX ] [ 4, YY ] [ 4, ZZ ]
[ 5, trust ] -> TS
[ 5, doubt ] -> RQ
[ 5, hate ] -> XW
[ 4, Ishikawa ] -> def
[ 4, Hoshino ] -> abc
[ 4, Ogasawara ] -> mno
[ 4, Odan ] -> jkl
[ 4, Isobe ] -> ghi
[ 5, like ] -> VU
[ 5, love ] -> ZY
```

図 2: 得られた文法

```
[ trust( Ishikawa, Hoshino ), TSdefabc ]
[ trust( Ishikawa, Ogasawara ), TSdefmno ]
[ trust( Ishikawa, Odan ), TSdefjkl ]
[ trust( Ishikawa, Isobe ), TSdefghi ]
[ trust( Hoshino, Ishikawa ), TSabcdef ]
[ trust( Hoshino, Ogasawara ), TSabcmmo ]
[ trust( Hoshino, Odan ), TSabcjkl ]
[ trust( Hoshino, Isobe ), TSabcghi ]
```

～中略～

```
[ love( Odan, Ishikawa ), ZYjkldef ]
[ love( Odan, Hoshino ), ZYjklabc ]
[ love( Odan, Ogasawara ), ZYjklmno ]
[ love( Odan, Isobe ), ZYjklghi ]
[ love( Isobe, Ishikawa ), ZYghiabc ]
[ love( Isobe, Hoshino ), ZYghiabc ]
[ love( Isobe, Ogasawara ), ZYghimno ]
[ love( Isobe, Odan ), ZYghijkl ]
```

図 3: 発話可能となった語 (一部)

4.1.2 辞書

1. experience

学習後の辞書 experience は親の発話を記憶している。今回の実験では辞書の要素数は25となっていたが、これは親の発話30のうち5個が他の発話と内容が同じだったことを表している。

2. mistake

学習後の辞書 mistake は学習中に誤った学習が行われた際のミスの内容を記憶している。今回の実験では辞書内に要素が存在しないため、学習の過程でミスは起こっていない。

3. lexicon

学習後の辞書 lexicon は実験の結果構造化された文法を記憶している。この辞書の示す文法については次節で詳しく述べる。今回の実験では要素数は11だった。これはこの実験で考えられる限り最小の要素数であり、学習は十分に行われたことを示している。

4.2 得られた文法と発話可能な語について

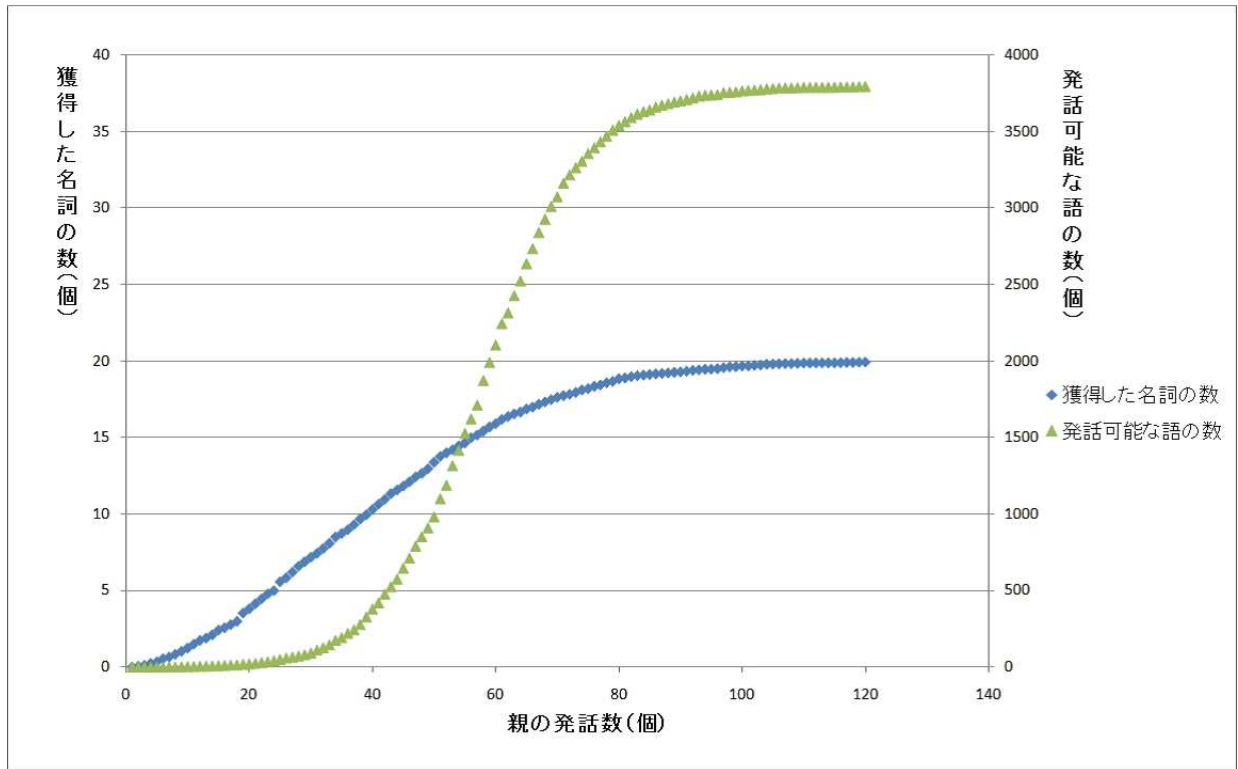


図 4: 獲得した名詞数と発話数の関係

4.2.1 得られた文法

得られた文法を図2に示す。各規則の左辺がPASを、右辺がletterをそれぞれ表している。一つ目のルールが最も単純な形の文法規則で、残りはそれぞれ単語一つを表す単語型規則である。各ルールに存在する数字はインデックスになっていて、文法規則内の数字に一致したインデックスを持つ単語型規則を両辺に挿入することで一つの完成した語を得ることができる。このため同じインデックスを持つ規則同士は互いに入れ替え可能である。

4.2.2 エージェントが学習した語

図3に実験後エージェントが発話可能となった語のうちの一部を示す。実験の結果、発話可能な語の数は100となった。

この実験での全発話パターンを表す表現空間の広さは

表現空間の広さ = (動詞の数5) × (主語となる名詞の数5) × (目的語となる名詞の数[主語とは異なる]4) = 100

である。

よって発話可能な語の種類は実験環境の表現空間の広さと一致する。このことからこの実験で学習が十分に行われていることが分かる。

4.3 獲得した名詞数と発話数の相関

4.3.1 実験環境と結果

名詞の数を20種類、他動詞を10種類とした環境下で、単語型規則に切り分けられた名詞の数とその時の発話可能な語の数との関係について調べた結果を図4に示す。

グラフは上記の実験を100回行った際の獲得した名詞の数と発話可能な語の数の平均値の推移である。横軸は親の発話数(個)を表している。縦軸右は獲得した名詞の数(個)を、左は発話可能な語の数(個)をそれぞれ表している。

この実験での全発話のパターン数は(動詞数10) × (主語となる名詞20) × (目的語となる名詞19) = 3800である。

名詞の獲得数が一定を超える時点(グラフでは獲得した名詞数が10前後)から発話可能な語の数が急激に増加している。これは名詞数が増えたことでchunkだけでなくmergeを適用できる機会が増えるからであると考えられる。発話可能な語の数のグラフの後半の失速は、これまでで行われた切り出しでおおよその語彙や文法構造をカバーしてしまったため、新たな切り出しやそれにともなった統合が行われにくくなるためである。実験の途中経過を解析しても、この段階になると親側から新規の発話が行われても、子側は過去の学習からそれと等価な情報を内部辞書に持っていることが多く、発話可能な語の増加には繋がらなくなる。

また同様の実験をより小さな表現空間で行った場合、発話可能な語の数の急激な増加はより早い段階で現れ、形状は獲得した名詞と同様な軌跡を描く。これは語の総数が少なすぎるため、ある一回の時点の名詞の切り出しがカバーする情報が表現空間全体から見た場合か

なりの割合を占めてしまい、これ以後の発話の価値が低くなるためと考えられる。

4.3.2 考察

前節でも述べたように、総発話数が伸び始めるのは名詞数が一定以上になり merge が適用され始めてからである。オペレーション merge は文法の一般化を行う規則である。merge が適用される以前の辞書は、各文法が表す内容は特定の事象に限られてしまっている。例えばボールを投げるのは“太郎”か“次郎”のみであったり、椅子に座るのは“花子”か“幸子”だけであるといったような認識のしかたになっており、このため発話可能な語の数も内部で切り出された名詞数と比べると少ない。その後文法知識がある程度蓄えられると merge が有効に機能し始め、エージェントは自身の出会ったことのない(辞書 experience に記憶されていない)事象に対しても適切な表現を獲得し、これを発話することができるようになる。

このような単語の限定的な使用とその後の適用範囲の拡大は実際の幼児の観察でも報告されており、その現象はそれぞれ単語の適用制限、過剰適用と呼ばれている [5]。

単語の適用制限とは、幼児が本来は一般化されて使用されるべき単語を特定の文脈や状況下でのみ使用する現象である。幼児が覚えたての単語を使用する際にみられる現象であり、その期間は非常に短いと言われている。適用制限期を過ぎた幼児は、次に覚えた単語をより広い範囲に適用し始める。この際幼児は間違っただけ対象や状況にまで単語を適用することがあり、この現象は単語の過剰適用と呼ばれている。

このような言語の適用期間は幼児が単語の用法の見極めを行っているから発生すると考えられる。本論文では実験で使用する語彙はどのような組み合わせでも意味が通るため、実際の幼児のように過剰適用時にみられる意味的な誤りは観察されない。しかし、エージェントの学習は文全体の意味的整合性を考えない機械的なものなので、語彙を増やしてより日常の会話に近づけた場合は幼児と同様の過剰適用が観察されることが予想される。

5. おわりに

本論文では Kirby モデルをもとにした親から子への語りかけによる言語獲得モデルを提案し、その妥当性を実験により検証した。

具体的には Kirby モデル内で設定されている状況を、幼児期における親子間のコミュニケーションに置き換えることで言語獲得モデルとして再定義した。

実験では与えられた語のみからの文法知識の獲得に成功した。また、この際のエージェントの内部知識の様子は実際の幼児における言語獲得で観察される適用制限を表している。これらの結果より、言語獲得モデルに Kirby モデル利用する今回の試みは成功したといえる。

今回の実験では、Kirby モデルの言語獲得モデルへの利用の可能性を探るためモデルをそのまま利用したので、使用する単語に偏りが確認できた。これは使用する単語をより現実の言語獲得環境に近づけることで解決できると考えられる。

参考文献

- [1] Kirby, S. (2002). “Learning, bottlenecks and the evolution of recursive syntax,” in *Linguistic Evolution through Language Acquisition*, Cambridge University Press.
- [2] 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.1-13.
- [3] 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-, ” *日本認知言語学会論文集*, vol.7, pp.33-43.
- [4] 乾敏郎・安西雄一郎 編 (2002). *認知科学の新展開 1 認知発達と進化*, 岩波書店.
- [5] 今井むつみ (1998). *認知科学モノグラフ 5 ことばの学習のパラドックス*, 共立出版.