

ことば遊びを通して言語発達を促すインタラクションモデル -認知アーキテクチャを用いた検討-

Interaction Model Promoting Language Development through Japanese Word Play
-A Study using a Cognitive Architecture-

西川 純平*¹ 森田 純哉*¹
Jumpei Nishikawa Junya Morita

*¹静岡大学情報学部
Faculty of Informatics, Shizuoka University

Children usually acquire language through interactions with others. Some researches have focused on Shiritori game, which is a popular Japanese word play, as a means of fostering language acquisition. In this research, in order to examine how the interactions with others contribute learning of languages, we constructed a model in which two agents interactively execute Shiritori game by using the cognitive architecture ACT-R. From the results of the simulation experiment, it can be seen that as the Shiritori game progresses, the similarity of knowledge structures between the two agents is increasing. In the future, by improving the model, we will closely investigate the change of knowledge through the interactive process of Shiritori game, aiming to develop a supporting method for children who have difficulties of language acquisition.

1. はじめに

人間の認知機能に関わる研究の進展によって、後天的な要因による失語症だけでなく、自閉症などの先天性の障害に由来する言語発達遅滞についても、その原因や対処が理解されるようになった。こういった背景から、近年、言語の習得を支援することに关わる研究が盛んになっている。

典型的な言語の獲得プロセスにおいて、乳幼児は養育者のふるまいを観察し、その模倣を行うことで言語を獲得していく [Tomasello 99]。このプロセスのなかで、乳幼児は、音の分節化のパターン、記号と対象の対応関係など、膨大なパラメータの値を、生得的に埋め込まれた制約に誘導されながら推定している。それに対し、言語発達遅滞者の言語習得においては、共同注視や役割交代を伴う模倣など、本来は生得的に備わる社会認知的機能を有効に活用することが困難である [Baron-Cohen 97]。

言語は本来、社会的な営み、すなわち当人と他者とのインタラクションのなかで習得される。そのため、上述のような社会認知的機能に関わる障害をもつ人を支援するためには、言語の習得を促すインタラクションの条件を網羅的に探索する必要がある。そのためのツールとして、著者らは、計算機上での認知機能のモデル化とシミュレーションが有効と考える。

上記の背景から、本研究では、インタラクションを含むことば遊びをモデル化することを目的とする。ことば遊びのなかで言語習得のつまずきが解決される要因を調査し、より効果的に言語を習得するインタラクションの要素を検討する。

本研究の特徴は、ことば遊びを利用すること、認知アーキテクチャの知識やパラメータの変更によって、多様な個人間のインタラクションを検討することにある。前者のゲームとして、しりとりを扱う。後者の認知アーキテクチャには ACT-R (Adaptive Control of Thought-Rational) [Anderson 07] を用いる。

本稿の構成は次の通りである。まず、2 節にて本研究と関連する研究をレビューする。そののちに、本研究で実装を進めているプロトタイプモデルとモデルを用いたシミュレーションを

示す。最後に現状のまとめと今後の課題を示す。

2. 関連研究

2.1 しりとりの利用

しりとりは実装の容易さから、人と相互作用する様々なエージェントに組み込まれてきた。たとえば、しりとり課題中の言い淀みや間などを調整することで、ユーザがよるエージェントに感じる人間らしさの知覚を増強する研究などが行われている [大藤 17, 阪本 11]。

山本と柏原による研究 [山本 89] では、学習者の語彙モデルを構築する学習支援システムのなかで、タスクのひとつとして英単語によるしりとりを課している。

失語症の治療、あるいは自閉症の療育など、言語聴覚療法においても、しりとりは頻繁に用いられている。いくつかの論文の中で、療育中の自閉症児の検査にしりとりが利用されている [大石 94, 日山 12]。しりとりを可能にする条件は、定型発達の幼児を対象とした高橋の横断的調査によって明らかにされている [高橋 97]。この調査によれば、しりとりを遂行するためには、音を音素に分割する音韻意識や音韻による索引が付与された心的な語彙辞書が必要であること、音韻による語彙への索引付けに、かな文字の獲得が有効であることを示している。さらに、しりとりの遂行に必要な音韻意識を持たない子供であっても、ヒント提示などの大人の援助により、遊びの活動に参加可能であることも示されている。このことから高橋は「子ども達はことば遊びの活動に最初は周辺的に参加して行く中で音韻意識が高まって行き、それを支えとして文字の読みを習得する、といった過程をたどる」と考察している。

2.2 認知アーキテクチャの利用

認知アーキテクチャは、個別の課題において生起する認知プロセスをモデル化する基盤である。認知アーキテクチャを利用したモデルにより、課題の達成に関わる要因を切り分けたモデルを構築できる。様々な認知アーキテクチャが開発されるなかで、本研究では ACT-R [Anderson 07] に注目する。

ACT-R は、複数のモジュールを持つプロダクションシステムである。モジュールの動作を規定する様々なパラメータによって個人差のモデル化を容易にしている。また、外界との

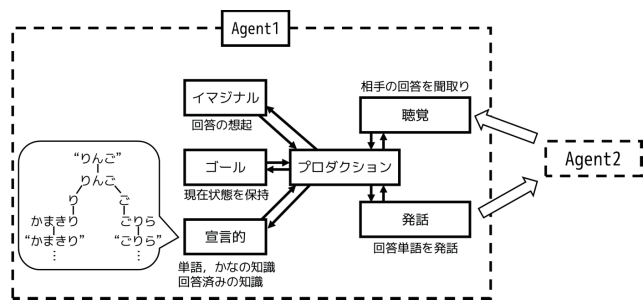


図 1: モデル概観

インタラクションを受け持つモジュールを持ち、反応時間がシミュレート可能である。各モジュールと脳部位との対応づけによって、fMRIなどの生理データとの対応も可能になっている。

ACT-R を用いた言語の獲得に関する研究は多く行われている。英語の学習における不規則動詞の獲得に関わるモデル [Taatgen 02], 幼児による名詞の学習などのモデル [Van Rij 10] が構築されている。脳機能障害に関わる検討もなされており、失語症の文理解において生じるエラーを ACT-R のパラメータによって説明した研究も存在する [Mätzig 18]。

ACT-R によるしりとりモデルとして、著者ら [西川 18] は、知識の活性値と音韻意識を対応づけるシミュレーションを行なった。その結果、音韻意識の高まりによってしり通りの継続数が増加すること、しり通りの遂行に伴って音韻意識が増強されることを示した。この結果は、先述の高橋による調査と整合的なものといえる。

2.3 従来研究の限界と本研究の目的

ここまで示したように、しりとりと言語の習得に関する研究はすでに行われている。しかし、これまでの研究では、言語習得を促すしりとりを介したインタラクションの条件は明らかになっていない。柏原と山本 [山本 89] による学習支援システムの研究では、その効果が評価されておらず、高橋の研究では、ヒントを提示することの効果を実験的に示しているものの、問いに対して1つの単語を回答するといった限定的なしりつりのみを課題とした [高橋 97]。また、著者らによるモデル化 [西川 18] についても、他者とのインタラクションを介さず、一人でしりとりをする課題のみを取り扱った。これらの限界を踏まえ、本研究では、対話的にしりとりを行う一連のプロセスをモデル化し、音韻意識の高まりなどの言語習得の過程を観察することを狙う。

3. モデルとシミュレーション

3.1 モデルの構成

本研究で構築したモデルの概観を図1に示す。このモデルには、個人に対応するエージェント（破線で囲まれた範囲）が含まれ、交互に単語を回答することでしりとりを繋げる。エージェント中のボックスは ACT-R の各モジュールに対応する。

以下に ACT-R のモジュール構造によって、しりつりのプロセスがどのように実現されるかを示す。

3.1.1 宣言的モジュール

ACT-R の宣言的モジュールを用いて、しりつりの遂行に必要な知識をモデル化する。ACT-R の宣言的モジュールにおいて、知識はチャンクと呼ばれる構成要素からなる。本研究のモデルが保持するチャンクには、単語の知識（語彙）に関する

ものと、文字の知識（かな知識）に関するものがある。前者のチャンクとして、単語の文字列情報を表す text-inf, 単語の語頭文字の知識である word-heads, 単語の語尾文字の知識である word-tails というタイプを用意した。以下にそれぞれのタイプに含まれるチャンクの例を示す。

```
(ringo ISA text-inf text "ringo")
```

```
(word-head-ring0 ISA word-heads
 meaning ringo
 head-char "ri")
```

```
(word-tail-ring0 ISA word-tails
 meaning ringo
 tail-char "go")
```

各チャンクは、先頭にチャンク名が示され、その後にスロット名と値の組が続く。ISA スロットの値によってチャンクの種類（チャンクタイプ）が示され、以降にチャンクタイプごとに共通のスロットを持つ。text-inf をタイプとするチャンクは、text という名前のスロットを持ち、文字列の情報（"ringo"）を保持する。word-heads タイプは、meaning スロットに単語の知識、head-char スロットに語頭文字の情報を持つ。word-tail タイプも同様に、単語の知識と語尾文字を組み合わせた情報を保持している。

本研究における ACT-R モデルは、この他に、かなに関わる知識をチャンクとして持つ。以下にその例を示す。

```
(a ISA kana string "a")
(ka ISA kana string "ka")
(sa ISA kana string "sa")
```

```
(n ISA kana string "n")
```

このチャンクは、先に示した単語に関わるチャンクの構成要素となる。つまり、本研究のモデルにおいて、word-heads あるいは word-tails タイプのチャンクに含まれる語頭、語尾文字の知識をもとにして kana タイプのチャンクを検索するということが、しりつりにおける単語から文字を切り出す音韻意識に対応すると言える。

また、本モデルはしりつりのゲーム中で既に回答された単語に関する知識を保持するためのタイプ past を持つ。このタイプは単語の知識 past-word と単語の文字列知識 past-string からなる。past タイプのチャンクは、はじめは宣言的モジュール内には存在せず、しりつりの進行に従って生成され、格納されてゆく。

3.1.2 ゴールモジュール

ゴールモジュールは、課題の状態を保持する。本モデルでは、ゴールモジュールに保持される短期記憶は回答単語を表すスロット (a-word), 回答単語の語頭文字を表すスロット (a-head), 回答単語の語尾文字を表すスロット (a-tail) とモデルの状態を表すスロット (state) によって構成される。これらのスロットの値はプロダクションモジュールによって逐次的に挿入、更新される。

3.1.3 イマジナルモジュール

イマジナルモジュールは、そこに保持された情報をチャンクとして生成する機能を持つ。本モデルの中では、相手の回答を受け取ったとき、または単語を回答するときに、回答済みの単語を表すチャンクを新たに生成し、宣言的モジュールへ格納する役割を果たす。

3.1.4 聴覚モジュール

聴覚モジュールは、耳で聞きとった音について、位置を把握し、内容を理解することに要する時間をシミュレートする。本モデルでは、聴覚的な情報の入力があるまで待機し、入力があった際には、その情報をバッファに保持したのち、宣言的知識として格納する。

3.1.5 発話モジュール

発話モジュールは、口から言葉を発することや、頭の中で言葉を思い浮かべることに要する時間をシミュレートする。本モデルでは、相手の回答した単語を思い浮かべること、自分の回答を発話することに利用される。

3.1.6 プロダクションモジュール

プロダクションモジュールは、他のモジュールが保持する情報や状態を利用しながら、ルールを選択、適用し、モジュールを操作する様々な処理を行う。本研究のモデルは、相手の回答として単語の情報を受け取ると、しりとりルールに即して単語を検索し回答する。

モデルには、相手の回答を聞き取り自分の回答を発話する一連のプロセスの他に、自分の回答をチェックするプロセスが存在する。回答候補の想起プロセスにおいて、まず聞き取った単語の情報が聴覚モジュールから受け渡され、ゴールモジュールの a-word スロットに配置される。その後、a-word に配置された知識をもとに宣言的モジュール内の単語と語尾を結ぶ知識 (word-tails タイプのチャンク) が呼び出される。また、a-word の知識はイマジナルモジュールを利用して既に回答した単語の知識 (past チャンクタイプ) として記憶される。その後、語尾文字に注目して、ゴールモジュールの a-tail スロットに格納し、a-tail の文字を語頭に持つ単語 (word-heads タイプのチャンク) を検索する。単語が検索されると、単語知識を次のゴール (a-word スロット) にセットする。この間の単語、文字が呼び出された時点において、発話および聴覚に関わるルールが随時発火し、単語や文字の発話、聴覚情報の取得を行う。

この後、モデルは想起された回答候補が語尾に「ん」を持たないことをチェックする。想起した回答候補の語尾が「ん」でなければ、その単語を回答とする。回答候補の単語の語尾が「ん」であるとき、回答候補単語の語頭文字との関連記憶を検索し、語頭文字に着目し、語頭文字の知識を利用することで、再度かな知識から回答候補となる単語の検索をおこなう。

「ん」のチェックの後、現在ゴールに保持されている単語が、すでに自分もしくは他者によって発話されていないか判定する。モデルの宣言的モジュールは、過去に想起された単語を経験として保持している (past タイプのチャンク)。回答の前に past タイプのチャンクを検索し失敗した場合 (過去にその単語を想起した経験がない場合)、その単語を回答とする。回答候補を手掛かりとした宣言的モジュールの検索によって、過去に想起した経験が思い出された場合 (回答候補の単語が既回答だった場合)、回答候補となる単語を再検索する。

現在ゴールに保持されている単語が、既に回答された単語ではなく、語尾の文字が「ん」でもない単語が想起されたとき、その単語を回答済みの単語 (past チャンクタイプ) として記憶した上で、発話モジュールを用いて単語を回答する。以上が本モデルにおける回答の流れである。しりとりは、2つのエージェントによってこのプロセスが連鎖することで遂行される。

3.1.7 モデルのパラメータ

ACT-R のモジュールは、数値的なパラメータによって調整される。本研究において重要なパラメータは、宣言的モジュールからチャンクを検索することに関わるパラメータ (活性値)

である。活性値は学習や忘却、文脈などに対応する複数の項の加算として定義される。このうち、本研究において、学習と忘却の効果を表すベースレベルに注目する。

$$B_i = \ln \left(\sum_{j=1}^n t_j^{-d} \right) + \beta_i \quad (1)$$

上記の式 1 において、 B_i はあるチャンク i のベースレベルを表す。ベースレベルは、そのチャンクが参照された回数 n および ACT-R 内部でパラメータ (:bll) によって指定される減衰率 d と j 回目にチャンクが参照されてからの経過時間 t_j 、パラメータ (:blc) によって指定されるオフセット β_i から算出される。

ベースレベルを項として算出される活性値は、そのチャンクの想起に要する時間に影響する (活性値の高いチャンクほど素早く想起される)。さらに、活性値が一定 (パラメータ:rt によって指定される閾値) よりも低いチャンクは、長時間の検索の試行が行われた後に失敗する。つまり、シミュレーションの進行にともなう活性値の変化を観察することで、ACT-R 内部での知識の使われやすさの変化を推測することができる。

3.2 シミュレーション

シミュレーションは、簡易的なプロトタイプモデルによって行なった。このモデルには、天野と近藤による『基本語データベース：単語親密度』[天野 08] に掲載される単語の中から、20,544 語を知識として搭載した。本研究では、処理の容易さとしりとりルールから、名詞以外の品詞、同音異義語などの重複、ろ (炉) や、わ (輪) など一音のみで構成される単語を除外してモデルの知識としている。また、単語末尾の長音記号はすべて削除した。さらに、単語をひらがなで表記した際の先頭および末尾から一文字 (拗音の場合は捨て仮名を含めた二文字) を語頭音、語尾音とし、それぞれのタイプのチャンクを定義している。このような知識を搭載した上で、しりとりのプロセスを 10,000 秒間行うシミュレーションを 1,000 回実行し、そのログデータを分析した。

図 2 と図 3 にプロトタイプモデルを実行した結果を示す。図 2 は 1 回の実行結果を事例として示している。図 2 において、一方のエージェントの回答から他方のエージェントが別の単語を回答することを 1 チェーンと数え、横軸はチェーンの回数、縦軸は 1 回のチェーンにかかる時間を示している。この図から、しりとりの進行に従って、回答にかかる時間が増加していることが読み取れる。これは、しりとりの遂行に従って回答済みの単語知識が増え、回答済みの単語が想起されて再検索を行う機会が多くなったのだと考えられる。

図 3 は、しりとりを行う 2 つのエージェントにおける、しりとり遂行中のかな知識の活性値の類似度の推移を示す。10,000 秒間のしりとりシミュレーションの間に、43 回以上のチェーンを達成した 950 組について、各チェーン後の各かな知識 (kana タイプの各チャンク) の活性値をエージェント間で比較し、コサイン類似度を算出した。図の横軸はチェーン数、縦軸はかな知識活性値の類似度の平均を表す。この図から、しりとりの進行に従って、かな知識の類似度が上昇していることが読み取れる。かな知識は、しりとりの初期には、デフォルトの値にランダムなノイズが付与された状態であるため類似度がやや低い。しりとりの遂行によって 2 エージェントで共通のかな知識が用いられることで活性値が更新され、類似度が高まったと考えることができる。

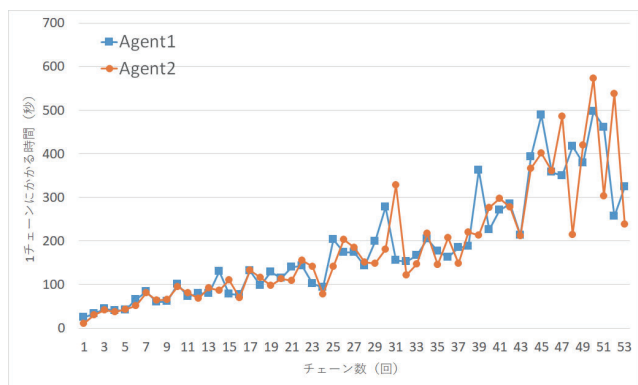


図 2: 回答に要する時間の事例

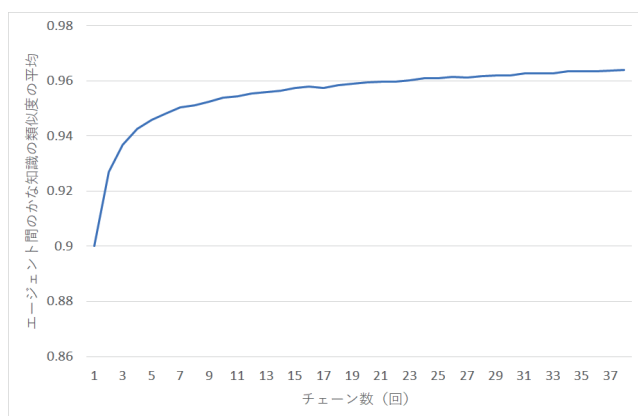


図 3: 2 者間のかな知識の類似度の推移

4. まとめ

本稿では言語発達に関わるインタラクションのモデル化に向けて、しりとりを課題としたプロトタイプモデルを作成した。プロトタイプモデルによるシミュレーションの結果、しりとり課題の遂行と2者間の音韻意識(かなの知識)の類似度の関連などを観察した。

今後、シミュレーション結果の精査と、条件の異なるシミュレーションに対する結果の比較を行っていく予定である。たとえば、word-tails タイプのチャンクにおいて、誤った語尾文字をもつ知識(単語から間違った語尾音を切り出した知識)を組み込むことで、未発達な音韻意識を持つ人のエラーをシミュレートするということが考えられる。また、将来的には、モデルを発展させることで、しりどりの成立を支えるインタラクションの条件を探っていく。

参考文献

- [Anderson 07] Anderson, J. R.: How can the human mind occur in the physical universe? (2007)
- [Baron-Cohen 97] Baron-Cohen, S.: *Mindblindness: An essay on autism and theory of mind*, MIT press (1997)
- [Mätzig 18] Mätzig, P., Vasishth, S., Engelmann, F., Caplan, D., and Burchert, F.: A computational investigation of sources of variability in sentence

comprehension difficulty in aphasia, *Topics in cognitive science*, Vol. 10, No. 1, pp. 161–174 (2018)

- [Taatgen 02] Taatgen, N. A. and Anderson, J. R.: Why do children learn to say “broke”? A model of learning the past tense without feedback, *Cognition*, Vol. 86, No. 2, pp. 123–155 (2002)

- [Tomasello 99] Tomasello, M.: *The Cultural Origins of Human Cognition* (1999)

- [Van Rij 10] Van Rij, J., Van Rijn, H., and Hendriks, P.: Cognitive architectures and language acquisition: A case study in pronoun comprehension, *Journal of Child Language*, Vol. 37, No. 3, pp. 731–766 (2010)

- [高橋 97] 高橋登: 幼児のことは遊びの発達: “しりとり”を可能にする条件の分析, *発達心理学研究*, Vol. 8, No. 1, pp. 42–52 (1997)

- [阪本 11] 阪本綾香, 林勇吾, 小川均: コミュニケーションロボット PaPeRo による人間らしさの表出, *HAI シンポジウム*, Vol. 2011, (2011)

- [山本 89] 山本米雄, 柏原昭博: 知識定着を目的とした開放型 CAI のモデル化, *電子情報通信学会論文誌 D*, Vol. 72, No. 9, pp. 1459–1471 (1989)

- [西川 18] 西川純平, 森田純哉: 認知アーキテクチャを利用したことは遊びにおける音韻意識のモデル化, *日本認知科学会第 35 回大会* (2018)

- [大石 94] 大石敬子: 学習障害における言語の問題, *聴能言語学研究*, Vol. 11, No. 2, pp. 57–63 (1994)

- [大藤 17] 大藤聖菜, 妹尾卓磨, 清丸寛一, 川崎邦将, 大澤正彦, 長田茂美, 今井倫太: 予測的認知と「間」の関係—言葉を話せないロボットによるしりとりを題材とした考察, *HAI シンポジウム*, Vol. 2011, (2017)

- [天野 08] 天野成昭, 小林哲生: 基本語データベース: 語義別単語親密度 (2008)

- [日山 12] 日山美子: 自閉症児の読み書きの発達を促すための指導: 認知特性を踏まえた音節分解の指導, *筑波大学特別支援教育研究*, Vol. 6, pp. 31–36 (2012)