

認知モデルを組み込んだ音韻意識形成支援システムの提案 Proposing a Phonological Awareness Formation Support System Using a Cognitive Model

西川 純平[†], 森田 純哉[†]
Jumpei Nishikawa, Morita Junya
[†] 静岡大学
Sizuoka University
nishikawa.jumpei.16@shizuoka.ac.jp

概要

言語発達の過程の一部は音韻意識と呼ばれる能力に支えられる。発達の過程では、音韻意識が未熟なために起こる誤りが報告されている。このような能力の形成をうまく支援するためには、個人の認知特性を考慮することが重要になる。本稿では、人の内部プロセスに対応するモデルを組み込んだ支援システムを提案する。個人に対応するモデルを持つシステムにより音韻意識の形成を支援する仕組みを構築することを目指す。

キーワード：認知モデル, 音韻意識, モーラ, ACT-R

1. はじめに

言語は、人と人の日常的なコミュニケーションに大きな役割を果たしている。その発達には生得的な要因と経験的な要因の両方が関与するとされる [12]。たとえば、舌や喉などの発声器官の構造、耳や聴覚野などの聴覚系の特性は、どのような言語であっても、音韻構造の獲得の速度や成否に影響する。この他に、共同注視などの社会認知機能も、新生児が生得的に有する言語獲得の下地とされる [4]。新生児は、上記のような器質的特性、あるいは生得的な社会認知機能を下地としつつ、母語となる言語に特有の構造を得るための経験を蓄積していく。その過程において、養育者のふるまいの観察に基づく役割反転模倣などが大きな役割を果たすとされる [16]。

この顕著な例は音素の分節化に見られる。子どもは、言語発達の初期において、音声を連続したものとして知覚し [7]、音節やモーラなどさまざまな単位で分割する可能性を持つ。そして発達するにつれ、母語が規定する単位の系列（日本語であればモーラ）を処理するシステムへと収束していく。

発達心理学や言語聴覚療法の分野では、この発達の一部は、音韻意識と呼ばれる能力に支えられるとされる [13]。これは音声言語における音素やリズムなど音

韻的側面へ注意が向けられるようになる能力を指す [8]。言語発達の過程で起こる言葉の誤りの中には、その言語の音韻意識の形成が不十分なために起こると考えられるものも確認されている [15]。また、自閉スペクトラム症などの非定型な発達をたどる子どもにおいては、モーラの習得が全体的に遅れる例や、一部が使用できないという例も存在する [5, 10]。

発達の段階や困難を抱える部分に個人差が大きい音韻意識のような能力の形成をうまく支援するためには、その子ども個人の認知特性に配慮し、これまでの知見に基づいた方法による支援を行うことが重要である [18]。これに対し、本研究では、支援システムに人の内部プロセスに対応するモデルを組み込むことを検討する。個人に対応するモデルを持つシステムにより音韻意識の形成を支援する仕組みを構築することを目指す。

2. 関連研究

本節では、まず言語発達と音韻意識の形成に関する先行研究を紹介する。次に、人間の認知過程を理解し説明する方法としての認知モデルと認知アーキテクチャ、そして認知モデルを用いた支援システムを紹介する。

2.1 音韻意識に関する研究

人が知覚、発声する音について、その心的な表現の分類は、音韻論の領域で議論されている。音韻論では、人が発声する音を記述する方法の一つとして、弁別素性が提案されている。弁別素性は音素を区別する基本単位である。発声に付随する舌や喉の動作を分類することで、一般的には + または - の値をとる二項変数として定義される。弁別素性は、英語の母音発声における誤りの分析 [17] にも活用されている。本稿が扱う

モデルでは、モーラを特徴づけ、モーラ同士の類似を設定するために弁別素性を用いる。

音韻意識に関する研究は多く行われている。音韻意識が形成の途上にあるために発生すると考えられる言葉の誤りは多数報告されており、ラ行の音をダ行の音とする例 [8] や、モーラを基準としない分節化（たとえば、しりとりにおいて「たいよう」→「ようぐると」と「よう」を単位として回答）の例 [9] がある。原 [6] は、年中から小学校3年生の子どもを対象に、音韻操作課題を課し、発達の様相を検討している。この研究では、年齢により操作可能な拍数（単語の長さ）や反応時間に差があることが示されている。また、この研究で用いられた単語逆唱課題などいくつかの課題の成績が平仮名の指導によって向上することも示されている。

高橋 [14] は、定型発達の子どもの対象とした横断的な発達心理学的実験を通して、音韻意識形成の段階を、しりとりができるようになる条件と絡めて検討している。この研究では、しりとりをするためには、音をモーラに分割する能力とモーラによる索引が付与された心的辞書が必要であること、この心的辞書の獲得のためには仮名文字の習得が有効であることが示されている。また、しりとりに必要な音韻意識を持たない子供でも、大人の補助によってしりとりに参加することも示されている。これらの結果は、しりとりを実施するには、モーラに注意を払う音韻意識が必要であり、その能力は、音に対応する視覚的補助（仮名文字の提示など）による強化が必要であることを示唆する。高橋は、さらにしりとりのような文化圏で共通して営まれることば遊びの遂行が、母語における音韻意識の形成に重要な役割を果たすと議論した。

ここまでで紹介した研究を踏まえて、本研究では、しりとりを課題として用いる。単語から語尾音を切り出し、語頭音により単語を検索するといった音韻操作能力に着目して、音韻意識形成の過程を検討する。

2.2 認知モデリング

人の認知に関するメカニズムや認知プロセスを理解し、説明するための方法の一つとして、認知科学の領域では、認知モデリングというアプローチがとられる。認知モデリングでは、計算機上に、人の課題遂行に近似するモデル（認知モデル）を構築し、シミュレーション中の認知モデルのふるまいや内部状態から、人の課題遂行中の認知プロセス、内部状態を推測する。

音韻意識の形成過程における人の内部プロセスに着目し認知モデルを構築する研究も存在する [20]。この研究では、モデリングに認知アーキテクチャACT-R (Adaptive Control of Thought – Rational) [2] を利用している。ACT-R は思考や記憶に関する心理実験を元に構成されており、人間の認知に関わる多様な現象を統一的に捉えることを可能にしている。ACT-R の構造は複数のモジュールを持つプロダクションシステムとして表現される。各モジュールの動作を規定する様々なパラメータが存在し、個人のモデル化を容易にしているほか、外部環境とのインタラクションを受け持つモジュールが存在し、反応時間の予測や実験データとの対応づけが可能になっている。さらに、ACT-R 上のモデルが内部に保持する知識の一部は、モデル構築者の手により、離散的な記号として与えることができる。この研究では、ACT-R に実装されるこのような一般的な記憶のメカニズムを、音韻意識と対応づけてモデル化している。とくにモデルが保持する音韻の知識について類似度を設定することにより、音を取り違える誤りを起こす未熟な音韻意識を再現している。

パラメータ設定によるモデルの個人化や離散的記号としての宣言的知識といった特徴は、音韻意識のモデル化に有利に働くだけでなく、実際の人間を対象とした支援システムにおいても有効であると考えられる。よって、本研究においても ACT-R を利用した認知モデルを扱う。

学習や障害などさまざまな場面において人が抱える困難への対応を支援するシステムが提案されている。その中には支援システムに認知モデルを含むことで、より高い効果を狙う研究も存在する。たとえば、Anderson らによる ITS (Intelligent Tutoring System) [3] は、幾何学の証明や LISP プログラミングに関して、学習者とシステムが保持するモデルを対応づける。モデルの行動ログから失敗や混乱を検出し、学習支援につなげている。

森田らによるモデルベース回想法 [19] では、認知症患者への既存のメンタルヘルスケアの手法の1つである回想法を拡張している。回想法のための写真スライドショーシステムに、利用者個人に対応づけた認知モデルを組み込むことで、適切な回想のガイドを試みている。

3. 提案システム

本節では、音韻意識形成支援のためのシステムを提案する。扱う課題とシステムに含まれる認知モデルの動作を説明する。システムは、以下の2段階で動作

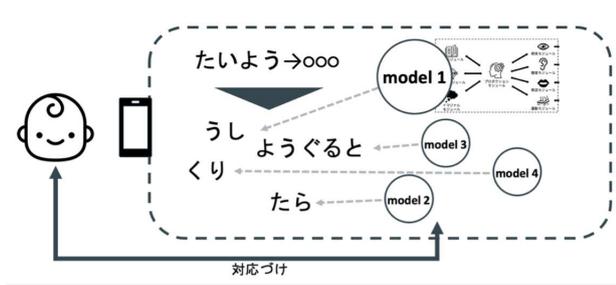


図 1: システム概観

する。

1. システムに含まれるモデルとの対応づけによって、システム利用者の音韻意識の状態を推定する。
2. 推定された音韻意識に基づいて、その利用者に有効だと考えらえる支援を行う。

図 1 に、提案システムの概観を示す。システムには、異なる音韻意識の状態に対応する複数のモデルが含まれる。システムは、課題を通して利用者の反応に応じたモデルを選択・更新することで、利用者の音韻意識を推定する。たとえば図 1 は、利用者が「う」というモーラを識別でき、「うし」という単語を出力したモデル (Model 1) の尤度が高い状態に相当する。

3.1 課題とシステムの動作

このシステムでは、しりとりをタスクとして課す。しりとりは、一般に二人以上の参加者が繰り返し単語を回答することで進行することば遊びである。本システムにおいては、利用者は、システムの提示する複数の回答候補から適切な単語を選択するという方法で回答する。これは、音韻意識に関する調査で課題とされたしりとり (高橋 [14] など) を参考にしている。

図 2 にシステムの動作を示す。(1) まず、システムは開始単語を選択し、実験ウィンドウに表示することで、システム内のモデルおよびシステム利用者に提示する。(2) モデルは単語を確認すると、その語尾を認識し、しりとりのルールに則って単語を回答する。(3) モデルが回答した単語は、実験ウィンドウに表示され、システム利用者が回答するための選択肢となる。(4) システムの利用者は、開始単語及び回答候補単語をもとに、適切だと思う単語を回答 (選択) する。(5) システムは、回答をもとに利用者の音韻意識に対応するモデルを推定し、モデルの更新や選択をする。(6) 一連の処理のあと、開始単語を再度選択し、繰り返ししりとりを行う。ここで、システム内のモデルは未熟な音韻意識に対応づけられる。つまり、モデルの

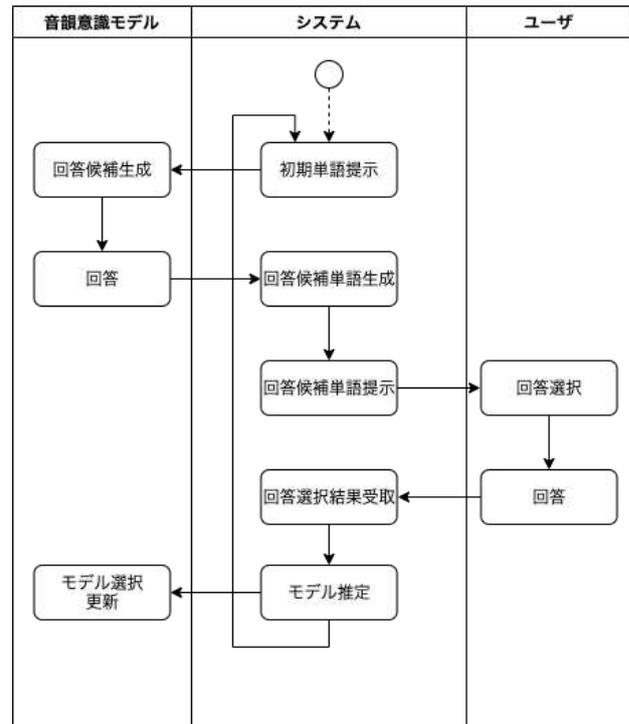


図 2: 提案システムの動作

回答 (システムが利用者に提示する選択肢) には、しりとりが成立していない単語も含まれる。

3.2 モデルの基本的な設定

本システムは、さまざまな誤りに対応する複数のモデルを含む。ここでは、モデルに共通する機能について述べる。モデルは先行研究で構築されたもの (詳細は [20] を参照) を、システムへの組み込みや個人への対応づけが容易となるよう拡張したものである。前節で述べたように、各モデルが回答した単語は、システムから回答候補 (選択肢) としてユーザに提示される。

モデルは、しりとりを遂行するために、モーラの知識、単語の知識、モーラと単語の関連を示す知識の 3 種類を持つ。知識の例を表 1 に示す。単語の知識には『基本語データベース』[1] に含まれる名詞 20,584 単語を利用した。

これらの知識の可用性は、各知識に付与される活性化値と呼ばれる値によって制御される。活性化値は、式 1 のように知識利用の頻度や忘却の効果 (B_i)、知識間の類似度の効果 (P_i) など複数の項の可算で表現される。モデルが保持する知識の形式や、各知識の活性化係数 (たとえば類似度をどれだけ重視するかといった要素) を変化させることで、モデルはしりとり中の検索に失敗するようになる。これにより、モデルを未

表 1: モデルの宣言的知識

| (a) 単語知識 | | (b) 音韻知識 | |
|----------|----------|----------|-------|
| word | sound | mora | sound |
| ringo | “ringo” | /ri/ | “ri” |
| gorira | “gorira” | /go/ | “go” |
| kuri | “kuri” | /ku/ | “ku” |
| ... | ... | ... | ... |

| (c) 単語と音韻の関連 | | |
|--------------|------|----------|
| word | mora | position |
| ringo | /ri/ | head |
| ringo | /go/ | tail |
| gorira | /go/ | head |
| ... | ... | ... |

熟な音韻意識に対応づけることができる。

$$A_i = B_i + S_i + P_i + \varepsilon_i \quad (1)$$

3.3 個別化モデルと音韻意識の推定方法

さまざまな誤りを引き起こす未熟な音韻意識に対応づけるために、前項のモデルを基本として複数の個別化モデルを構築する。本稿では、プロトタイプシステムとして2種類の誤りに対応するモデルを用意した。

まず、モーラを取り違えるような誤りのモデルが考えられる。この誤りには先行研究のモデルが対応している。たとえば「ご」と「お」が似ているために「りんご」に対して「おに」と答えるような誤りである。モーラを取り違える誤りは、モデルが持つモーラの知識間に類似度を設定することで表現することができる。特定のモーラ間の類似度を高く設定することで、特定の置き換え（ラ行とダ行の混同、子音の欠落など）に対応づけることが可能である。

また、単語末尾の長音の扱いにおいても、複数の処理を想定できる。ここでは、語尾の長音を削除し、ひとつ前のモーラを語頭として回答するモデル（「ちーたー」に「た」で始まる単語を答える）と、語尾の長音を母音として捉えて回答するモデル（「ちーたー」に「あ」で始まる単語を答える）を実装した。語尾音に関する扱いの違いは表 1c の種類の知識を複数設定することで表現できる。上記の例は、「ti-ta-, ta, tail」および「ti-ta-, a, tail」をモデルに持たせることに対応する。

システムは、これらのモデルの回答を選択肢として利用者に提示する。繰り返ししりとりを行う中で、シ

ステム利用者が選択した回答の種類や頻度から、利用者の音韻意識がどのような状態であるか（どのモデルと対応するか）を判定する。単語選択の記録や誤りの頻度から、ベイズ推定を用いてどのモデルと対応するかを特定し、活性値のパラメータ (B_i や P_i) の調整により利用者にフィッティングすることを想定している。

その後、判定に基づいて難易度を調整したうえでしりとり課題を繰り返すことで音韻意識形成の支援を図る。具体的な難易度調整には、正解できる問題の割合調整、間違えた問題に類似した問題の提示を想定している。また、先行研究 [6] の報告から、子どもがある単語を処理可能かどうか、その単語の拍数（単語長）が影響することもわかっている。このことから、システムの提示する単語の長さを制限するという補助も検討している。

4. まとめと今後

本稿では、音韻意識の形成を支援するシステムのコンセプトを提案した。システムは、特定の誤りを起こす音韻意識に対応する複数の認知モデルを内部に保持することで、個人の音韻意識の判定・形成支援を可能にする。

今後はまず、より多くの種類の誤りに対応するモデルを構築する必要がある。たとえば、関連研究 [9] で報告されるような分節化の誤り（たいよう → ようぐると）にも対応しなければならない。他の誤りに対応した個別化認知モデルの構築のために、実際の誤りのデータを収集する必要がある。このデータの収集は、すでに構築済みのモデルを組み込んだプロトタイプシステムを用いた実験によって行う予定である。ただし、分節化の単位など、あり得るすべての誤りを網羅したモデルを構築することは不可能である。収集したデータや、発話の誤りを分類した研究 [11] を参考に、他の種類の誤りへ対応したモデルを用意する。

また、子どもを対象とした評価実験の前に、音韻意識の形成された成人を対象とした予備実験を行うことを計画している。この予備実験は、システムの使用する単語の自然さなどを評価することを目的とする。現状のシステムでは、単語の知識の可用性に差はなく「証券取引所」や「パーソナルコンピューター」などといった単語も選択される。予備実験における被験者の評価や単語親密度などの要素を考慮することで、子供を対象としたシステムとして適切な単語の選択されるよう調整を加えることを想定している。

文献

- [1] 天野成昭・小林哲生, (2008) “基本語データベース: 語義別単語親密度”, 学習研究社.
- [2] Anderson, John R, (2007) “How can the human mind occur in the physical universe?”: Oxford University Press.
- [3] Anderson, John R, C Franklin Boyle, and Brian J Reiser, (1985) “Intelligent tutoring systems,” *Science*, Vol. 228, No. 4698, pp. 456–462.
- [4] Baron-Cohen, Simon, (1997) “Mindblindness: An essay on autism and theory of mind”: MIT press.
- [5] Grandin, Temple and Richard Panek, (2013) “The autistic brain: Thinking across the spectrum”: Houghton Mifflin Harcourt.
- [6] 原恵子, (2001) “健常児における音韻意識の発達”, *聴能言語学研究*, Vol. 18, No. 1, pp.10–18.
- [7] 梶川祥世, (2002) “子どもの音声習得”, *言語*, Vol. 31, No. 11, pp.42–49.
- [8] 小林はるよ, (2018) “音韻意識の形成と言葉の発達—『言葉が遅い』を考える—”, こだま出版.
- [9] 窪菌晴夫, (2000) “子供のしりとりとモーラの獲得”, *神戸大学文学部紀要*, Vol. 27, pp.587–602.
- [10] 麦谷綾子・保前文高・廣谷定男・佐藤裕・白勢彩子・田中章浩・山本寿子・梶川祥世・今泉敏・立入哉, (2019) “こどもの音声”, *音響サイエンスシリーズ / 日本音響学会 編*, No. 21, コロナ社.
- [11] 中村哲也・小島千枝子・藤原百合他, (2015) “健常発達における音韻プロセスの変化”, *リハビリテーション科学ジャーナル*, Vol. 10, pp.1–13.
- [12] Pinker, Steven, (1994) “The language instinct.”: William Morrow & Co.
- [13] Stahl, Steven A and Bruce A Murray, (1994) “Defining phonological awareness and its relationship to early reading.,” *Journal of educational Psychology*, Vol. 86, No. 2, pp. 221–234.
- [14] 高橋登, (1997) “幼児のことば遊びの発達: “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.
- [15] 寺尾康, (2006) “言語産出メカニズムの連続性について: 言い間違いからみた言語発達”, *ことばと文化*, No. 9, pp.115–131.
- [16] Tomasello, Michael, (1999) “The Cultural Origins of Human Cognition”: Harvard University Press.
- [17] Wickelgren, Wayne A, (1966) “Distinctive Features and Errors in Short-Term Memory for English Consonants,” *The Journal of the Acoustical Society of America*, Vol. 39, No. 2, pp. 388–398.
- [18] 坂爪一幸, (2011) “特別支援教育に力を発揮する神経心理学入門”, 学研プラス.
- [19] 森田純哉・平山高嗣・間瀬健二・山田和範他, (2015) “メンタルタイムトラベルを誘導するモデルベース回想法”, *研究報告ユビキタスコンピューティングシステム (UBI)*, Vol. 2015, No. 16, pp.1–6.
- [20] 西川純平・森田純哉, (2021) “音韻意識形成過程における誤りの認知モデリング”, *ヒューマンインタフェース学会論文誌*, Vol. 23, No. 2, pp.189–200.