

Title	マルチエージェントを用いた外来語獲得モデルに関する研究
Author(s)	小川, 絵摩
Citation	
Issue Date	2002-03
Type	Thesis or Dissertation
Text version	author
URL	<a href="http://hdl.handle.net/10119/1526">http://hdl.handle.net/10119/1526</a>
Rights	
Description	Supervisor:東条 敏, 情報科学研究科, 修士

修 士 論 文

マルチエージェントを用いた  
外来語獲得モデルに関する研究

北陸先端科学技術大学院大学  
情報科学研究科情報処理学専攻

小川 絵摩

2002年3月

# 修士論文

## マルチエージェントを用いた 外来語獲得モデルに関する研究

指導教官 東条敏 教授

審査委員主査 東条敏 教授

審査委員 鳥澤健太郎 助教授

審査委員 白井清昭 助教授

北陸先端科学技術大学院大学  
情報科学研究科情報処理学専攻

010024 小川 絵摩

提出年月: 2002 年 2 月

## 概要

本論文では、マルチエージェントを用いた外国語獲得モデルについて述べる。本研究の目的は、語彙と文法の同じエージェントが、会話をとおして外来語のアクセント規則を変化させていくという環境を設定し、マルチエージェントを用いて言語の柔軟性に対応できるような言語獲得モデルを構築することである。

従来の言語研究の方法論としては、言語の普遍的側面に焦点をあてた研究が一般的である。

さまざまな研究分野において、その研究成果があげられたことは確かであるが、動的な言語の特性に焦点をあてた研究はまだ始まったばかりであると言ってよいだろう。言語の本質である柔軟性とは、さまざまな環境に対応できる言語の特質のことである。例えば、同じ国のことばを話すものであれば、それが文法的にあいまいな子供のことばであれ、方言であれ、使用に多少の違いがあっても、支障なくコミュニケーションがとれる。これは、言語使用者がまわりの環境に適応して、推論や訂正を行っているからである。本研究では、このような動的な言語の変化に対応するようなモデルを提案する。

マルチエージェントを用いた言語学習モデルとして、文法規則の異なるエージェント同士が会話をすることで、新しい文法を学習するというモデルが提唱されている [1]。ここでは、エージェントが推論機能を用いて会話を行うことで、ピジン化にみられるような共通言語の形成過程を説明することができた。しかし、異なる文法を持つエージェント間の会話を設定しているため、文法と語彙を共有するコミュニティ内の、動的な言語変化に対応するようなモデルは扱うことができない。

そこで本研究では、共通の自然言語の文法と語彙を共有するエージェント群を設定し、言語の分化モデルとして、言語の通時的変化の一つである外来語アクセントの学習と平板化のモデルを提案する。エージェント同士がコミュニケーションを通して、アクセント規則を学習・変化させていく過程をシミュレートする。このような動的言語観のモデル化を行うことにより言語の持つ柔軟性と頑健性を実験的に検証する。

本モデルでは、単語の学習仮定には二つのフェーズが存在する。まず、エージェントが外国語を聞き、母語の音韻構造の制約を受けて外来語を生成し、アクセントを付与するフェーズ、次に、言語の分化モデルとして、一度獲得した外来語を平板化させ

るというフェーズである。後者のフェーズにおいては、エージェントの影響度や単語の使用頻度などの環境変数を設定し、他のエージェントと会話を行うことでまわりの環境を学習する。その結果、一度身につけた自己のアクセント規則を改変させていく。アクセントは一見何の規則性も見られないように思うが、外来語に関してはある程度の音韻構造の規則性が発見されている。本研究では、以下の外来語アクセント規則を用いた。

外来語アクセント規則：

「語末から数えて3つ目のモーラを含む音節にアクセント核をおく」

外来語アクセントの平板化は、音韻構造の特徴として「4モーラ語で、語末の2音節がともに一つのモーラである」などの、音韻構造の特徴を反映した平板化規則を適用する。

この他になじみのある語<sup>2</sup>に平板型アクセントを適用するということが言われてきた。このような外来語のアクセントの平板化現象を実現するため、音楽好きと計算機好きのエージェントを設定した。また外来語の学習過程は大きく以下の3つに分かれる。

1. 外国語を聞いて、英語の音韻構造から日本語のモーラ構造へと変換する。
2. ランダムにエージェントを選択肢学習した単語を発話する。
3. 会話による単語学習とアクセント規則を評価し、ルールを保持・変更する。

実験では、会話により相手エージェントから環境変数を受け取り、お互いのアクセント規則を評価し、自己の規則を変更していく過程が観察できた。

今後の課題としては、音韻構造の制約を加えることで、より多くの外国語をカバーすることができる。外国語の音韻構造解析の精度の向上が見込まれる。また、アクセントの平板化現象については、平板化に関する規則の追加と精緻な環境変数を設定することで、より現実の自然言語の現象に近いモデルとなることが期待される。

---

<sup>2</sup>俗にグループ語とも呼び、そのアクセントのことを「専門家アクセント」や「0型アクセント」とも言う。

# 目次

第1章	はじめに	1
1.1	研究の目的	1
1.2	先行研究	2
1.2.1	動的言語観と静的言語観	2
1.2.2	マルチエージェントを用いた言語進化に関する研究	3
1.2.3	本研究の立場	3
1.3	本論文の構成	4
第2章	マルチエージェントとは	5
2.1	エージェントとは	5
2.2	マルチエージェントシステムとは	7
第3章	外来語アクセントの平板化現象	8
3.1	はじめに	8
3.2	音節とモーラ	9
3.2.1	音節とは何か	9
3.2.2	モーラとは何か	11
3.3	カタカナ言葉生成時における日本語の音韻構造の制約	14
3.4	日本語のアクセント	14
3.5	外来語のアクセント規則	17
3.5.1	外来語の平板化	17
3.5.2	本研究への応用	18
第4章	外来語獲得モデル	21
4.1	マルチエージェント環境と外来語アクセント学習過程	21
4.2	エージェントの学習について	22

4.3	単語学習とアクセント規則の適用 . . . . .	23
4.3.1	単語学習 1 . . . . .	24
4.3.2	単語学習 2 . . . . .	28
<b>第 5 章</b>	<b>実験</b>	<b>30</b>
5.1	音韻構造解析 . . . . .	30
5.2	グループ語の形成 . . . . .	32
5.2.1	実験環境 . . . . .	32
5.2.2	予備実験 . . . . .	34
5.2.3	実験 1 . . . . .	37
5.2.4	実験 2 . . . . .	42
5.2.5	実験 3 . . . . .	44
5.3	考察 . . . . .	49
<b>第 6 章</b>	<b>結語</b>	<b>51</b>
6.1	まとめ . . . . .	51
6.2	今後の課題 . . . . .	52

# 第1章 はじめに

## 1.1 研究の目的

自然言語に関する研究は、言語学だけでなく、人工知能や人工生命などさまざまな分野において重要な部分を占めてきた。Chomsky の言語理論の提唱以来、言語研究は、個人のもつ文法を等しいものとし、言語の等質性と共時態を重視した研究がさかんにおこなわれてきた。また自然言語処理の研究分野においては、計算機の発達とともに機械翻訳システムの開発や、音声認識・音声合成技術など、さまざまな研究成果があげられている。しかし、言語の意味的側面や非等質的、通時的側面に焦点をあてた研究は難しいとされている。自然言語処理における重要な課題は自然言語の特徴である環境に対する柔軟性と頑健性を実現することであるといっても過言ではない。

本稿では、自然言語の非等質性や通時的側面に焦点をあて、マルチエージェント環境における言語獲得と分化のモデルをシミュレートする。具体的には通時的言語変化として、日本人の外来語アクセント獲得過程のモデル化を行う。

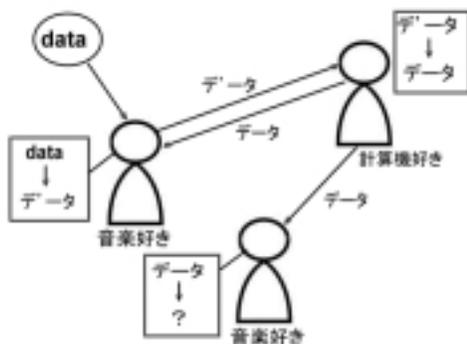


図 1.1: モデルのイメージ

本研究の目的は、共通の文法と語彙をもつエージェント群を仮定し、外来語アクセントの学習や流行語の発生といった、環境の変化に対応するような学習モデルを構築することである。外来語の習得においては、外国語をテレビなどから聞いて学習する段階と他のエージェントとの会話を行い、自己の規則に従い外来語を学習するという段階を設けた。また、ある特定の世代や地域集団ごとに、使うアクセントが異なってくることを想定し、エージェントの語彙の認知能力に差異を設けることとする。エージェントごとの影響度や、単語の使用頻度といった環境変数を設定することにより、コミュニティ内における言語分化のモデルを構築する。

より自然な言語獲得のためのモデルを構築するためには、社会言語学的な言語変化過程を考慮し適切な環境変数の設定を設定することが重要である。本研究では制限された自然言語データを用いて、実際の言語使用環境を想定し、言語変化の過程をシミュレートする。

## 1.2 先行研究

### 1.2.1 動的言語観と静的言語観

言語とはどのようなものであるかという問いに対して、動的言語観と静的言語観という二つの見方がある。

動的言語観とは、言語使用者が話したり、聞いたり、見たり読んだりという創造的な活動の過程として現れるという見方である。この見方において、言語はその構造がどうあるべきかという概念を基礎に置くのではなく、実際に言語が用いられる時には、正しい文法でなくてもその意味は解釈されるということを考え、言語変化そのものを認めるというものである [21]。環境に柔軟に対応できる言語の多様さを重視した見方である。

これに対して、静的言語観とは、言語の体系を完全なものとして捉えるという見方で、Chomsky の生成文法 [3] に代表されるような、言語の普遍性を重視する見方である。この見方において、言語の構造、例えば統語構造や語用論的ルールなどは、言語使用者の主体から離れて存在する。

本論文においては、前者の動的言語観に基づき、言語の通時的変化の一つである、外来語アクセントの変化過程をモデル化する。

## 1.2.2 マルチエージェントを用いた言語進化に関する研究

言語変化あるいは言語進化に関する研究は、社会言語学の分野だけでなく、「人工生命」と呼ばれる研究分野においても研究されている。Werner と Dyer[6] は、共通の通信規約（言語）をエージェント間に構築しようという自律的なエージェントの協調行動の研究として、人工生物の集団内でつがい相手を効率よく獲得するための共通の通信規約を遺伝アルゴリズムとニューラルネットワークを組み合わせた学習機構を用い自己組織化させることを試みた。

しかし、Werner らの研究にみられるようなシグナルの交換程度の低水準の言語を自然言語のような高水準の言語へ遺伝的に進化させることは困難である。このような研究に対し、より自然言語に近いレベルの言語を対象とした研究が行われている。

小野 [8] は、マルチエージェント・モデルを用いて言語獲得レベルの異なる（子供、大人）、能動的・自律的エージェントが相互作用することで、コミュニティ内に共通の言語を形成するという過程を示し、自然言語の特徴である融合性を計算機上を実現した。共通の語彙と文法を共有しないエージェント同士がコミュニケーションを行うことで文法を精緻化した。また、中村 [16] はピジンやクレオールの発生過程を、計算機上を実現させた。彼は TAG という文法表現を採用し日本人エージェントと外国人エージェント間の通信の中で、新たな文法を生成させた。

## 1.2.3 本研究の立場

小野や中村らの研究では、語彙と文のことなるエージェント同士が会話を行うため、ある程度制限された文法や語彙の識別設定を行っている。そこで本研究においては、文法と語彙を共有するコミュニティ内の言語変化に対応するようなモデルを扱う。実際の言語現象に基づくより頑健な言語学習モデルの実装を行う。

### 1.3 本論文の構成

本論文では、2章でマルチエージェントシステムの一般的概念について説明し、3章では、外来語アクセントの平板化に関する言語学的背景について説明する。4章で、3章で述べた知識を基に、本研究で提案するマルチエージェントを用いた外来語獲得モデルの概要を述べる。5章で、モデルの実装と検証、考察を行い、最後に6章で本論文のまとめをおこなう。

## 第2章 マルチエージェントとは

本章では、まず 2.1 節で一般的なエージェントの概念に関して説明する。次に 2.2 節でマルチエージェントシステムについて述べる。

### 2.1 エージェントとは

エージェントという用語はかなり広範な分野で用いられているにも関わらず、その定義は明確ではなく、専門の研究者の間でも見解が分かれるところである。本論文においては、エージェントを以下のように定義する。

エージェントの定義：

エージェントとは単独で自律的な動作を計算上のプロセスや自己充足的な動作をする計算プログラム

エージェントとは、状況に応じてそれ自体で局所的に判断や計算や通信や制御を実行する自律的ソフトウェア、自律的機器、自律的インタフェース等、あるいはそれらを構成する自律的部品のことを指す。また、エージェント指向コンピューティングの研究開発によって、分散処理システムやモバイルシステムのためのソフトウェアエージェント、知的制御システムやロボットのような知能機械システムのためのフィジカルエージェント、ヒューマンインタフェースのような人間=機械システムのためのインタフェースエージェントなどのエージェント技術とそれらの応用について、大きな発展が見込まれている。エージェント求められる基本的な性質としては、次のようなものがあげられる。

- エージェントの基本的性質

- \* 自律性：

- 「与えられた目標に対して，自分で自分の行為を規正し情報を獲得すること」

- あるいは

- 「自分で考え自分の規範に従って動的に行動すること」

- \* 協調性：

- 他のエージェントと，時には共同で目標を達成し，時には交渉を通じて競合を解消し，各自の目標を達成する．

- \* 学習・適応性：

- 「自分の振る舞いとその結果から，次第に処理能力を高めていくこと」

- \* 移動性：

- 「ネットワークエージェントなど，ネットワーク上を移動することで，新しい環境内での処理を行うこと」

- \* 擬人性：

- 「音声や身振りなどを通じて，ユーザに対して親しみやすさや，信頼感を与えること」

エージェントモデルはこれらの基本特性の中から，状況に応じて必要なものを選択して設計される．また，エージェントとは外部の環境から，センサによって何らかの情報を受け取り，得た情報を吟味し，自分のもつエフェクターによって環境に対して何らかの影響を与える存在である．エージェントを設計する際には，センサとエフェクターの他に外部に働きかけるためのルールと，エージェント自身のルールが必要になってくる．

本研究においては，エージェント同士が会話を行うことにより，自然言語の語彙と文法を学習し，更に環境に応じた規則の変化・保持を行うという自律性と協調性，そして学習・適応性を備えたシステムを提案する．

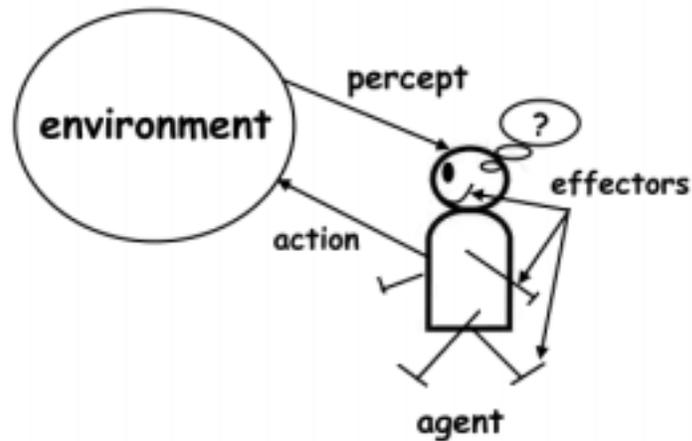


図 2.1: エージェントの性質

## 2.2 マルチエージェントシステムとは

マルチエージェントモデルとは、前節で述べたようなエージェントが同じ環境内に複数存在するモデルのことで、これらエージェント全体で何かをさせようとする。エージェントのもつルール自体は単純な機能しか持たないが、複数のエージェントが協調することによって、個々の能力以上に複雑な問題を解決することを目標としたモデルである。個別エージェントの行動を積み上げた全体では予測できない複雑な動きをすることになる。

自然言語処理を行うには、さまざまな知識を統合的に利用することが必要となってくる。本研究では、エージェントを人に見立て、個々の知識を持ったエージェント同士が協調・会話を行うことで、柔軟な自然言語処理を可能にすることを目的としている。

## 第3章 外来語アクセントの平板化現象

本章では、日本語の外来語アクセントの特徴と平板化現象について述べる。

3.2 節で音節とモーラの定義について説明し、3.3 節で日本語のアクセント規則の概要について説明する。3.4 節と 3.5 節で、外来語のアクセント規則とその平板化現象について述べる。

### 3.1 はじめに

言語の変化の要因はさまざまな説が考えられているが、通時的言語変化のなかでも、異なる言語同士の接触<sup>1</sup>により引き起こされる言語変化がある。言語接触の要因は、政治的・軍事的あるいは社会的要因などでさまざまである。「異なる」とは、例えば英語と日本語といった国ごとの言語の相違から、大阪弁と東京弁といった地域レベルの差や、男女差、さらには個人レベルで用いる言語の差のことを言う。人間の用いる言語は、まわりの環境に柔軟に対応して変化していくという性質がある。そのため、接触言語であるピジンやクレオール<sup>2</sup>、地方方言の共通語化、やアクセントや発音体系の変化等さまざまな言語変化が起こるわけである。

本研究でとりあげる、外来語アクセントの平板化現象は、英語との接触による外来語の発生という国レベルの言語変化という側面と、地域や特定の集団内におけるアクセントの変化という両方の側面を持っている。

音に関する研究は、言語学の分野において古くから行われており、一見恣意的に思われる様々な言語アクセントの位置や型は、一定の規則や原則により、知らない単語であっても予測できるということが知られている [13]。

本研究では、外来語アクセントの平板化現象を扱う。日本語の語アクセントの規則

---

<sup>1</sup>異なる言語同士の接触により誕生した言語のことを接触言語という。

<sup>2</sup>異なる言語を話す2つ以上の集団が接触するとき、それまで存在しなかった新しい言語が話しはじめられることがあるが、それを「ピジン (pidgin)」と呼び、母語化したピジンのことを「クレオール (creole)」という。

を求めるなら，和語のアクセントを調べるべきではないかという見方もあるが，窪園は[13]ある言語の語アクセントの規則を求めるには外来語が適切であると述べている．なぜなら，アクセントに関しては，和語に比べて歴史が浅い分不規則な変化を起こしている可能性が少ないからである．次節では，アクセントと深い関わりのある音節とモーラという概念について説明する．

## 3.2 音節とモーラ

日本語話者は，モーラを単位として文や語を分節し，英語話者は音節を単位としているといわれている．近年の音韻論研究では，アクセントは音節やモーラと密接な関係にあることが知られている．本節では，まず音節とモーラという概念について，説明する．

### 3.2.1 音節とは何か

人間の音声は1つ1つの音がただ連続したものではなく，いくつかの音がまとまり構造をなす．音節 (syllable) とは「一つ一つの音を束ねる」もの，その最小の単位を意味する．英語をはじめとするヨーロッパ言語では，語を区切る単位として音節は不可欠なものであり，その言語の母語話者であれば，この単位を用いて語を分節し，心理的な語の長さを数えることができる．英語の歌を見てみると，普通音節を単位として音符が付与される．この他にもアクセントや短縮語形成などさまざまな音韻現象の記述・説明に音節は必要不可欠な役割を果たす．

図3.1に示すように，普通，音節は核 (nucleus) である母音を中心とし，その前の頭子音 (onset) と，後の尾子音 (coda) で構成される．英語では，*peo-ple*, *Ja-pan*, *Chi-na*, *thir-teen* などは2音節，*com-pu-ter-hos-pi-tal* などは3音節の長さを持っている．

また，音節は「聞こえ度 (sonority)」という尺度でも規定できる [14]．聞こえ度とはそれぞれの音の聴覚的大きさで，空気の流れが阻害される度合いに反比例して，音の聞こえ度が高くなるという性質を持ったものでその音の抽象的な大きさである．子音・母音を連続体として捉えると図3.2のような数直線ができる [13]．

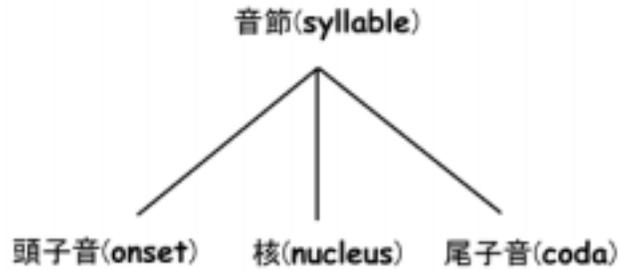


図 3.1: 音節



図 3.2: 聞こえ度

閉鎖音から摩擦音，鼻音，流音，半母音，低母音，高母音の順に聞こえ度が高くなっている。

この「聞こえ度」という尺度で音節の構造を分析してみると，音節は，聞こえ度の高い母音を中心にその前後に聞こえ度の低い子音が山のような構造を作っている．これを'Sonority Sequencing Principle'（聞こえ度連続の原理）と言う [1]．street という短音節語を聞こえ度の尺度で表すと図 3.2 のようになる。

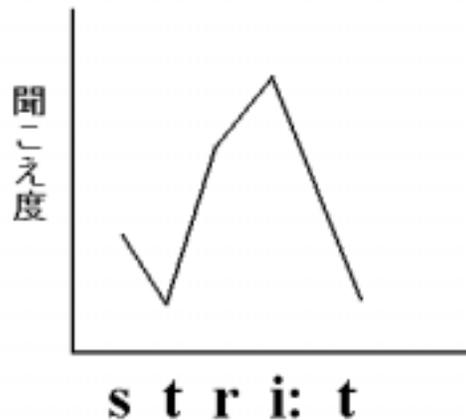


図 3.3: 聞こえ度

### 3.2.2 モーラとは何か

本節ではモーラという概念について説明する。

モーラ<sup>3</sup>とは、音節をさらに区分してできる単位のこと、日本語などの言語（話しことば）において、基本的な語の長さの単位として働く。日本語では、「拍」と訳される。発話の長さはその中に含まれるモーラ数に比例しているといわれている [13]。自立モーラと呼ばれる子音 + 母音の連続を 1 モーラと数えるのが一般的である。

音節は語の心理的長さを測る単位で、音声学的には「聞こえ度」という尺度で規定できる単位である。しかし、日本語などの言語の場合、この定義が必ずしも一致するとは限らない。「名古屋」「長崎」などの特殊モーラを含まない言語を見てみると、音節数とモーラ数が一致するため、語全体の長さが音節によって決まるのかモーラによって決まるのかが明らかではない。しかし、東京 (/too.kjoo/) といった特殊モーラを含む語を見てみると、語は聞こえ度という尺度で測ると村 (/mura/) と同じ音韻的長さを持っているが、心理的・物理的には紫 (/murasaki/) と同じ 4 つの単位に分解される。このような二種類の長さの単位を区別するために、「音節」とは別の単位として「モーラ」という単位が用いられている。つまり日本語話者は「音節」よりもう少し小さい単位である「モーラ」という単位で語の長さを測っていると言える。以下の例からもわかる

<sup>3</sup>この語は、西洋古典詩で音節の長さを測る単位である *mora* という用語に由来する。

ように、音節境界 (/./) は全てモーラ境界 (/-/) であるが、この逆は成り立たない [12] .

	モーラ	音節
京都	/kjo-o-to/	/kjo.o.to/
トヨタ	/to-yo-ta/	/to.yo.ta/
ニッサン	/ni-s-sa-n/	/nis.san/
ホンダ	/ho-n-da/	/hon.da/

また、日本語の促音(っ)・撥音(ん)・長音( - )などは特殊モーラと呼ばれ、単独で長さの単位(モーラ)を形成する。しかし、音節のレベルでは、特殊モーラは先行する自立モーラに寄生する形でのみ現れることができる。

日本語の話し言葉が、モーラを文節単位として用いている証拠としては、川柳や外来語アクセント、複合語、混成語形成などが知られている。以下の例を見ると、日本語の俳句や短歌などのリズムも、モーラを単位として 575, 57577 と数えていることがわかる。

1.

(a) ひさかたの ばかりのどけき 春の日に しづ心なく 花の散るらむ (57577/57577)

(b) やせがえる まけるないっさ これにあり (575/565)

(c) こうしえん まいとしつちが へっていく (575/464)

(モーラ数/音節数)

(a) のような古い時代の日本語は「子音 + 母音」という音節構造で、撥音や促音などは存在しなかったので、短歌にみられる 57577 という音数律が音節・モーラのいずれを単位としているかははっきりしないが、比較的新しい短歌には特殊モーラが現れそれが音節を単位とするのか、モーラを単位とするのかがはっきりする。(b), (c) は音節数で語の長さを測るとそれぞれ (5 6 5), (4 6 4) となる。

また、混成語の形成過程においては、日本語も英語も新しい語は右側要素と同じ音韻的長さを持つという規則性が見られるが、この長さに関する制約が日本語においては、モーラで定義され、英語の場合音節により語の長さを測っていることがわかる [14]

● 日本語の混成語形成過程

左側要素	/右側要素	混成語	[モーラ]	[音節]
ゴ(リラ)	/(ク)ジラ	ゴジラ	3/3	3 3/3 3
キャベ(ツ)	/(ニン)ジン	キャベジン	3/4	4 3/2 3
ダス(ト)	/(ゾウ)キン	ダスキン	3/4	4 3/2 3
バイ(バイ)	/(サヨ)ナラ	バイナラ	4/4	4 2/4 3

● 英語の混成語形成過程

左側要素	右側要素	混成語	[音節]
sm(oke)	/(f)og	smog	1/1 1
br(eak.fast)	/(l)unch	brunch	2/1 1
sp(oon)	/(f)ork	spork	1/1 1
Ox.(ford)	/(Cam).bridge	Ox.bridge	2/2 2
Ba.ker(Street)	/(wa.ter).loo	Ba.ker.loo	3/3 3
cin.e.(ma)	/(pan.o).ram.a	cin.e.ram.a	3/4 4

混成語の形成過程を見てみると、日本語も英語も新しい語は右側要素と同じ音韻的長さを持つという規則性が見られるが、この長さに関する制約が日本語においては、モーラで定義され、英語の場合音節により語の長さを測っていることがわかる。

英語の単音節語から混成語が作られるときは、sm(oke)/(f)og smog のように母音の前で音節を分割することが一般的であるが、多音節同士が混成される場合には、Ox.(ford)/(Cam).bridge Ox.bridge, cin.e.(ma)/(pan.o).ram.a cin.e.ram.a などのように音節境界における統合が一般的である。英語話者は発話の分節を音節という単位を用いて行っているのがわかる。

日本語の場合を見てみると、キャベジン、ダスキン、バイナラの後部要素であるニンジン、ゾウキン、サヨナラはそれぞれ2音節、2音節、4音節であるが混成語は全て、後部要素のモーラ数と同じ、4モーラを適用している。

### 3.3 カタカナ言葉生成時における日本語の音韻構造の制約

日本人が一般に外国語をカタカナに置き換える時には、さまざまな音韻構造の制約がかかる。例えば以下のようなものがあげられる。

- 制約 1：  
1 音節内で子音の連続を許容しない。
- 制約 2：  
音節は撥音（3 ん）や促音（っ）以外の子音で終わらない。
- 制約 3：  
頭子音において、きゃ (kya)、きゅ (kyu)、きょ (kyo) のような拗音に見られるような子音連続は許容する。
- 制約 4：  
音節が「短母音 + 阻害音」で終わるときは促音が挿入される。ただし、原語の母音が長母音、共鳴音でないときのみ。

本研究では、この音韻の制約を用いて英語の音韻構造から日本語の音韻構造を生成する。例えば、子音 (Consonant) を”C”，母音 (Vowel) を’V’ で表すと、strike/straik/ という音節構造 (CCCVVC) から su-to-ra-i-ku という 5 音節 5 モーラという音節構造 (CVCVCVVCV) が導かれる。

### 3.4 日本語のアクセント

一般に日本語はピッチアクセント言語、英語はストレスアクセント言語に属すとされている。ピッチアクセントとは、主として音の高さの変化によって作り出される卓立のことを言い、ストレスアクセントのストレスとは、強さをもとに作り出される卓立のことをさす。例えば、日本語の「ハシ」という 2 文字の言葉には、「箸」「橋」「端」の三つがあり、「箸」は高低（ハシ）、「橋」と「端」は両方とも低高（ハシ）という型で

発音される。しかし「橋」と「端」もそれぞれの言葉のあとに助詞を付けてみるとその強さに差が出る。「橋が」は「ガ」を低く発音して、「端が」は「ガ」を高く発音する。

表 3.1:

「箸が」	「ハシガ」
「橋が」	「ハシガ」
「端が」	「ハシガ」

高い音のモーラから低い音のモーラに移る場所をアクセント核と言う。共通語ではこのアクセント核の位置が何モーラ目を指定すればアクセントが指定できる。以下本論文ではこのアクセント核を「 ' 」で示すことにする。例えば箸は「は'し」と表記する。図 3.4 に「飴（無アクセント）」、図 3.5 に「雨（あ'め）」の音声波形とピッチ曲線を示す。「飴（あめ）」はピッチの高低のない無アクセント語で、「雨（あ'め）」はアクセント核の置かれる「あ」から「め」にかけてピッチの高低が見られることがよくわかる。

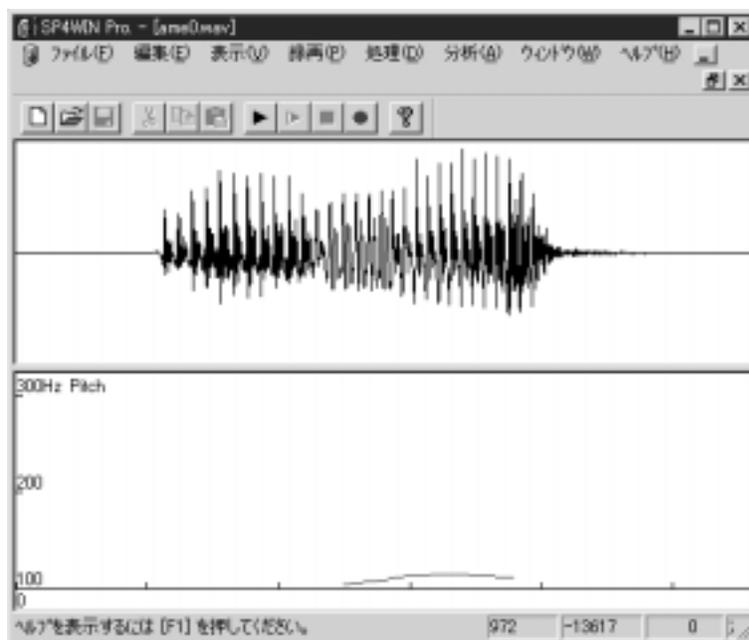


図 3.4: 「飴」

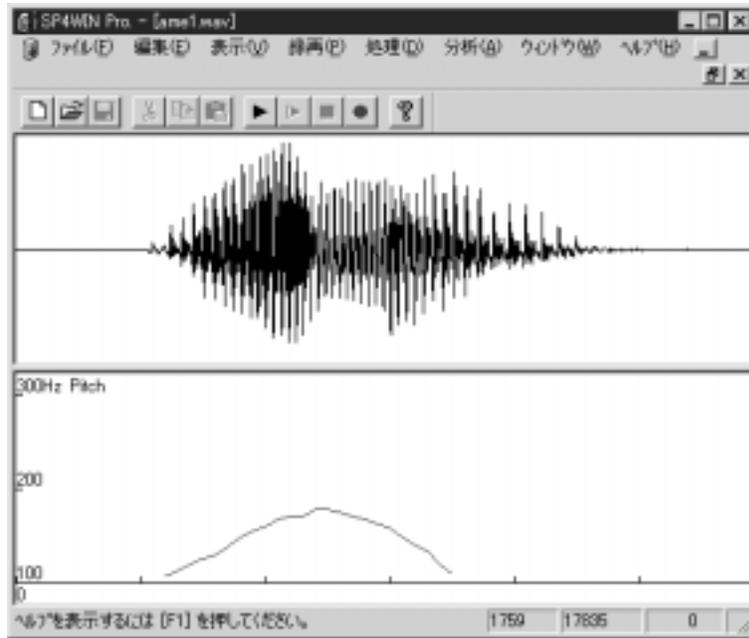


図 3.5: 「雨」

[cf. <http://sp.cis.iwate-u.ac.jp/sp/lesson/j/doc/accentj.html>]

## 3.5 外来語のアクセント規則

日本語の語アクセントは、ピッチの急激な下降（アクセント核）によって作られることを述べた。東京方言においては、 $n$  音節に対し  $(n+1)$  個のアクセント型が許容されるが、アクセントの位置はどのようにして決められているのだろうか。

日本語の語アクセントの研究の歴史は浅く、まだ手つかずの領域が多く残されている。日本語の約 5 割の語彙が無アクセント語であるが、特に和語と漢語に多く見られる無アクセント語に関しては、どのような時に無アクセントが適用されるかが明らかにされていない。しかし、外来語のアクセントに関しては、そのアクセントパターンには高い規則性が発見されている。

日本語の外来語においては、基本的には「語末から数えて 3 つ目のモーラを含む音節」にアクセント核が与えられることが知られている [13]。以下に例を示す。

- ビルマ, オーストリア, ロサンゼルス, アジア  
デンマーク, アイルランド, レバノン, インド  
ブリュッセル, ワシントン, コペンハーゲン

アクセント核の位置はモーラを単位としてその数を数えることにより決できる。

本稿では、エージェントの外来語学習に対して、以下の外来語アクセント規則を用いると仮定する。

### 3.5.1 外来語の平板化

音韻論の研究より

近年、外来語だけでなく、本来アクセントのつく和語や漢語（の複合語）までもが、若者言葉では無アクセントになっている。

無アクセント語、いわゆる平板化する語は外来語では比較的少ない。外来語の場合には、なじみ深い語は無アクセントになりやすいということがよく指摘される。無アクセント発音をする人たちは、このような語は、わざわざ外来語として特別扱いするまでもなく、自分たちには和語や漢語と同じようになじみ深いものという意識が働いているのであろうものと思われる。しかし、アメリカ、エジプト、アフリカなどは、先

の日本語の外来語のアクセント規則にあてはまらない。つまりアクセント核がなく平板に発音される。このような外来語が1割程度ではあるが存在する。「アメリカ」がなじみがあって、アクセント核のある「アジア」にはなじみがないとはいい難い。窪園の平板式アクセントの分析では、以下のような二つの条件が満たされるときに、外来語アクセントの平板化が起こると説明されている [13]。

- a. 4モーラの長さを有する
- b. 最後の2音節がともに1モーラである。

無アクセント化には、語の長さや音節の構造も関係する。

### 音声合成技術の研究より

日本電信電話(株)の合成音声技術の研究[19]では、モーラ数とアクセント型との関係をもとに自動的にアクセントを付与するシステムの開発を行っている。実験では、「カタカナ語・欧文略語辞典」より6304件の単語を評価用データベースとして用いている。

モーラ数別のアクセントの種類と生起頻度(図3.6)を見てみると6%の単語が、無アクセント語である0型アクセントを適用している。

平板化を適用する外来語のうち、4モーラ語の場合、特殊モーラがない場合か語末から3モーラ目のみ特殊モーラがある場合に平板化が適用されるといったように、ほとんどのアクセントパターンは特殊モーラの位置との関係、つまりその音韻構造で説明できる。しかし、音韻構造では説明のできない無アクセント語の外来語も存在する。まとめると、外来語アクセントの平板化の理由としては、少なくとも音韻構造による平板化となじみ度による平板化現象の二つが観察される。

### 3.5.2 本研究への応用

本研究では、基本的な外来語アクセントルールは先に述べた「語末から数えて3つ目のモーラを含む音節にアクセント核をおく」というルールを用いるが、外来語の平板化現象のルールとしては、前節で述べた、特殊モーラの位置関係による平板化などの音韻構造によるものを用いる。また、平板化の要因として、単語のなじみ度など環

境に左右されるような平板化のモデルを提案する．特定の（なじみのある）単語に対して平板化を適用するエージェントのを設定し，外来語アクセント規則以外の環境に適応できるようなモデルを構築する．共通のアクセント規則を持つ日本人エージェントが会話の中で様々な制約（環境変数）により外来語のアクセント規則を変化させていく過程をシミュレートすることを目的とする．

アクセント モーラ数	0型	後1型	後2型	後3型	後4型	後5型	後6型	後7型	後8型	計
2	3	0	101	0	0	0	0	0	0	104
3	29	0	43	499	0	0	0	0	0	571
4	151	0	44	353	587	0	0	0	0	1135
5	165	0	100	538	312	335	0	0	0	1450
6	68	0	76	768	352	73	42	0	0	1379
7	4	0	62	608	419	94	15	0	0	1202
8	3	0	26	349	302	113	10	0	0	803
計	423	0	452	3115	1972	615	67	0	0	6644

アクセント モーラ数	0型	後1型	後2型	後3型	後4型	後5型	後6型	後7型	後8型	計
2	3%	0%	97%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	100%
3	5%	0%	8%	87%	0%	0%	0%	0%	0%	100%
4	13%	0%	4%	31%	52%	0%	0%	0%	0%	100%
5	11%	0%	7%	37%	22%	23%	0%	0%	0%	100%
6	5%	0%	6%	56%	26%	5%	3%	0%	0%	100%
7	0%	0%	5%	51%	35%	8%	1%	0%	0%	100%
8	0%	0%	3%	43%	38%	14%	1%	0%	0%	100%
計	6%	0%	7%	47%	30%	9%	1%	0%	0%	100%

図 3.6: モーラ数別アクセント型の分布

# 第4章 外来語獲得モデル

## 4.1 マルチエージェント環境と外来語アクセント学習過程

本研究で提案するマルチエージェント環境は、以下の構成要素からなる。

- 音楽好きエージェント：  
通常は外来語アクセント規則と音韻構造によるアクセント規則を適用するが、音楽用語に対しては平板化規則を適用する。
- 計算機好きエージェント：  
通常は外来語アクセント規則と音韻構造によるアクセント規則を適用するが、計算機用語に対しては平板化規則を適用する。

これらの構成要素が相互作用することにより、エージェントのアクセントの変化が観察され则认为する。

エージェントは、グループ語<sup>1</sup>である、音楽用語と計算機用語とその他の用語合わせて20単語を学習する。

本研究の目的は、音楽好きエージェントと計算機好きエージェントという二つのコミュニティを仮定し、それぞれのエージェントが会話をとおしてエージェント群内で共通のアクセント規則を学習し、個々のエージェントごとに設定された影響度や単語使用回数などの環境変数により、アクセントの保持、又は変化の過程をシミュレートすることである。

---

<sup>1</sup>特定の集団の内で話される語

## 4.2 エージェントの学習について

本モデルにおけるエージェントは、音楽好きエージェントと計算機好きエージェントがランダムに会話を行う。

すべてのエージェントからランダムに会話を行うエージェントを選択するため同じ趣味をもつ、つまり音楽好きエージェント同士や計算機好きエージェント同士、あるいは計算機好きと音楽好きエージェントが会話を行う。同じコミュニティ内部でのアクセント学習と、他のコミュニティとの交流による外来語の獲得過程をシミュレートする。エージェントの会話における大まかな仕様は、以下の手順で実現される。

- あるエージェントが外国語を聞いて学習し、外来語を生成する。
  - 1 外国語を聞く（単語データをエージェントに与える）
  - 2 単語の構造、単語の種類とエージェントの持つ外来語アクセント規則に従い外来語を生成する。
  - 3 学習した外来語をランダムに選択されたエージェントに向かって発話する。
- ランダムに選択されたエージェントは、相手エージェントの発した単語をすでに学習しているエージェントである場合もあれば、全く未知の単語として新たに学習する場合がある。
  - 1（未知の単語であれば）相手エージェントから英語の音韻構造を受取り、モーラ構造への変換とアクセントの付与を行い[1]へ。
  - 1'（既知の単語であれば）単語を受け取ったエージェントは、相手エージェントの影響度、単語の使用頻度と適用した単語のルール（平板化か外来語アクセント規則か）、単語種、相手エージェントの属性（計算好きか音楽好きか）をもとに、アクセントの評価を行う。
  - 2 自分の適用したアクセントを相手エージェントに返す。
  - 3 双方のエージェントに対して影響度の増減を行う。

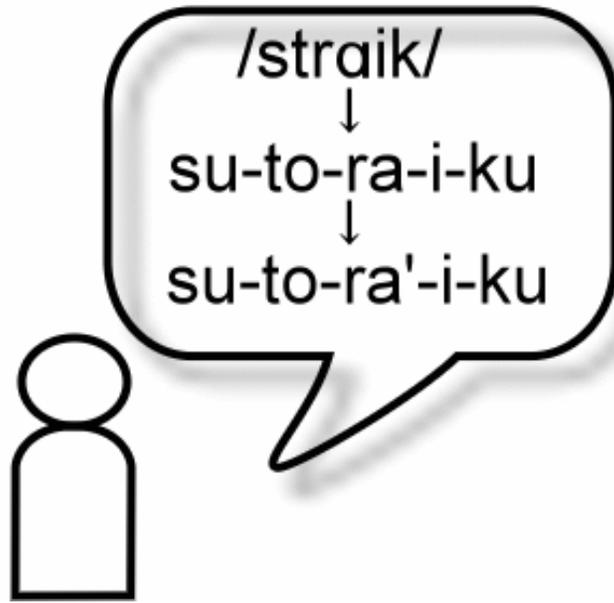


図 4.1: エージェントの会話モデル

### 4.3 単語学習とアクセント規則の適用

次に本校で提案するモデルの詳細な仕様を述べる。本モデルにおいては、エージェントの単語学習ステップを二つのフェーズに分けた。まず一つ目は、単純に外国語を聞いて学習するフェーズ（例えば、外国語をテレビや Native Speaker などから聞いている場面を想定している）である。そして二つ目は、外来語を他のエージェントから学習するフェーズである。以下前者を単語学習ステップ 1、後者を単語学習ステップ 2 とし、それぞれの学習ステップの詳細について述べる。

### 4.3.1 単語学習 1

エージェントの学習事項は以下のとおりである。

- 学習する単語データ：

- \* 単語種：

(音楽用語, 計算機用語, その他の用語)

- \* 単語番号：

(単語数 20)

- \* 英語の音韻構造：

発音記号のローマ字対応表に基づき, 英語の発音記号をローマ字に置き換えたものを英語の音韻構造のデータとして扱う (例: -(s-t-r-aik)-)

以上の単語データをもとに, 英語の音韻構造を解析し, 日本語のモーラ構造を生成した後, アクセント規則を適用する。アクセント規則に関しては, 3章で述べた「外来語アクセント規則」と「音韻構造に基づくアクセント規則」を適用する。以下に英単語の解析からアクセント付与までの概要を示す。

- 1 英語の音韻構造の解析：

例えば strike/straik/の場合 “-(s-t-r-aik)-” という英語の音韻構造から 3章で述べた, 音韻構造の制約を受けて “s-\*<sub>v</sub>, t-\*<sub>v</sub>, ra, i, k-\*<sub>v</sub>” という日本語の音韻構造 (カタカナ) が生成される。なお, “\*<sub>v</sub>” は各子音の後に母音が挿入されたことを示す。

- 2 アクセントの付与：

ここで適用されるアクセント規則は, 外来語アクセント規則, 音韻構造に基づくアクセント規則, グループ語に対するアクセント規則の3つである。その他の用語であるので外来語アクセント規則が適用され, “s-\*<sub>v</sub>, t-\*<sub>v</sub>, ra, ’, i, k-\*<sub>v</sub>” という音韻構造 (外来語) が生成される (図 4.1)。

3 単語辞書への追加：

単語の使用回数，単語種，単語番号，と外来語がエージェントの辞書に保持される．

本実験では発音記号を図 4.2 のような 2 文字のアルファベットに置き換えたものを実験データとして使用した．実際に用いたデータを表 1 に示す．“-” は音節の始まりを，“)-” は音節の終わりを，“\*” は単語の最後を表す．

エージェントは英語の単語を，子音 (Consonant) と母音 (Vowel) の列として，解釈し，その単語列から，3.3.1 節で述べた日本語の音韻構造の制約に基づき，日本語のモーラ構造へと変換する．外国語の解析アルゴリズムを図 4.3 に示す．

短母音		[ih]	i:	子音		[m-]	m
[a-]	ə	[oh]	ɔ:	[b-]	b	[n-]	n
[aa]	ɑ, ɔ	[uh]	u:	[ch]	tʃ	[ng]	ŋ
[ae]	æ	[aw]	au	[d-]	d	[p-]	p
[ah]	ʌ	[ay]	ai	[dh]	ð	[r-]	r
[e-]	e	[ea]	ɛər	[f-]	f	[s-]	s
[i-]	i	[ey]	ei	[g-]	g	[sh]	ʃ
[u-]	u	[ia]	iər	[h-]	h	[t-]	t
長母音・二重母		[ow]	ou	[jh]	dʒ	[th]	θ
[ar]	ɑ:r	[oy]	ɔi	[k-]	k	[v-]	v
[ah]	e:r	[ua]	uər	[l-]	l	[w-]	w

図 4.2: 発音記号のローマ字対応表

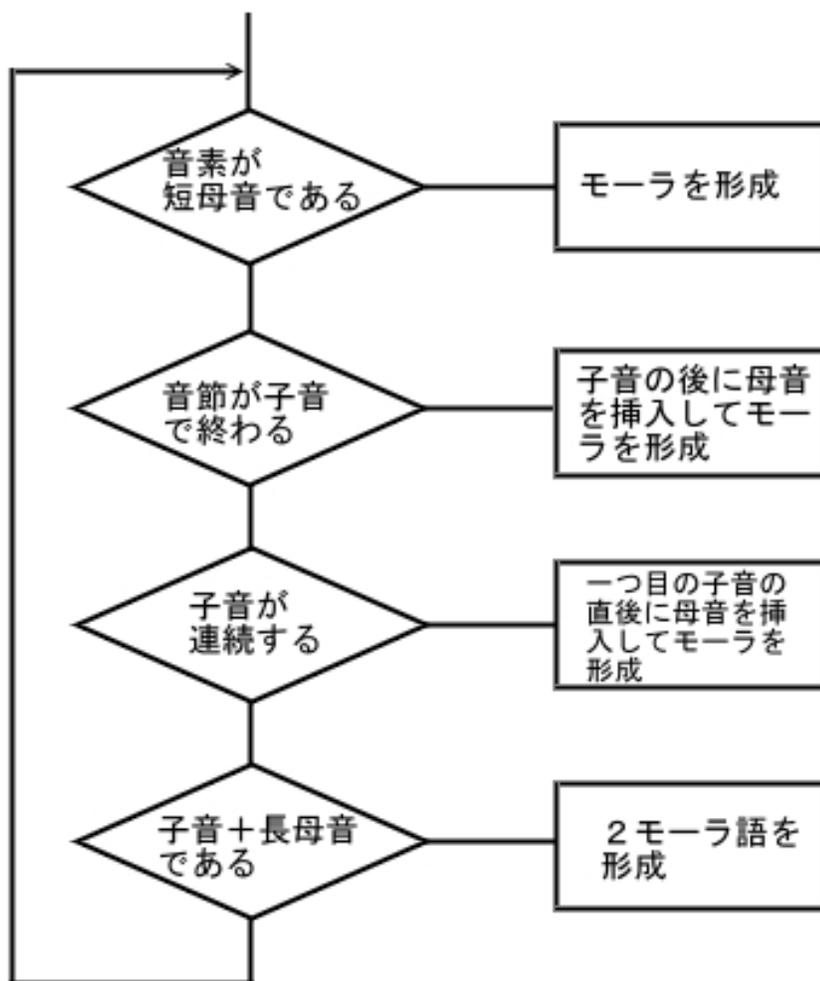


図 4.3: 外国語解析アルゴリズムのフローチャート

表 4.1: エージェントが学習する英単語

1 guitar	ギター	-(g-i)-(t-ar)*
2 studio	スタジオ	-(s-t-yh)-(d-i)-(ow)*
3 drum	ドラム	-(d-r-ah m-)*
4 break	ブレイク	-(b-r-eyk-)*
5 pops	ポップス	-(p-aap-s-)*
6 data	データ	-(d-ey)-(t-a-)*
7 cursor	カーソル	-(k-ah)-(s-a-)*
8 mail	メール	-(m-eyl-)*
9 file	ファイル	-(f-ayl-)*
10 kerne	カーネル	-(k-ah)-(n-l-)*
11 desk	デスク	-(d-e-s-k-)*
12 dry	ドライ	-(d-r-ay)*
13 play	プレー	-(p-r-ey)*
14 dress	ドレス	-(d-r-e-s-)*
15 Lebanon	レバノン	-(l-e)-(b-a)-(n-a-n-)*
16 game	ゲーム	-(g-eym-)*
17 bridge	ブリッジ	-(b-r-i-jh)*
18 glass	グラス	-(g-r-aes-)*
19 Austria	オーストリア	-(ohs-)-(t-r-i)-(a-)*
20 dress	ドレス	-(d-r-e-s-)*

1 から 5 は計算機用語，6 から 10 ままでが音楽用語，11 から 20 ままでがその他の用語である．なお音韻構造に基づく平板化を行う単語は，2，7 である．

### 4.3.2 単語学習 2

エージェントは会話により相手エージェントから以下の事項を学習する．

- 会話による学習事項：
  - \* エージェントの影響度：  
エージェントごとに設定
  - \* 使用頻度：  
単語学習 1 での使用回数と単語学習 2 での単語使用回数をあわせたもの
  - \* エージェントの属性：  
計算機好きか音楽好きか
  - \* 相手エージェントが適用した単語のアクセント規則：  
外来語アクセント規則，平板化
  - \* 単語の種類：  
音楽用語か計算機用語か

会話を行うエージェントを選択する前に単語学習 1 により何人かのエージェントはすでに単語を学習した状態にあり，会話を行うエージェントの内，どちらかは，すでに単語を学習済みである．双方が単語を学習済みの場合には，エージェントは，お互いの適用したアクセントルールや，影響度，単語使用頻度などをもとにそれぞれのアクセント規則を評価し，ルールの変更・保持を行う．またどちらかのエージェントが単語を学習していない場合は，相手エージェントから英語の音韻構造を受取り，自分の持つ外来語アクセント規則に従い，モーラ構造の生成とアクセントの付与を行う．更に単語学習済エージェント同士の会話と同様の手続きを踏む．

- アクセント平板化の要因：エージェントは、会話をとおして、相手エージェントの環境変数を参照して、アクセント規則の評価を行うわけであるが、外来語アクセントを平板化させる要因としては、次の変化要因を設定した。
  1. 単語の音韻構造が、3.5節述べた平板化する音韻構造であった場合、相手エージェントから単語を学習する場合と単順に単語を学習する場合がある。
  2. 環境変数として設定した相手エージェントの影響度と単語使用頻度、エージェントの属性と学習する単語の種類。基本的にエージェントは自分よりも影響度や使用頻度が閾値をこえた場合にアクセント規則の変更を行う。

## 第5章 実験

前章で述べたマルチエージェント環境における外来語獲得モデルの実装を行った。実験1では、音楽好きと計算機好きエージェントとを会話させることにより、どのようにアクセントが変化していくかの実験を行った。次に、実験2において、仮の流行語の発生過程についての実験を行い、最後に、エージェントの影響度や人数などのパラメータを変えての実験を行った。

### 5.1 音韻構造解析

本節では、英語の音韻構造から日本語のモーラの解析結果を以下に示す。

英語の音韻構造から日本語のモーラの構造への変換（つまり英単語からカタカナことばへの変換）は、3.3節で述べた日本語の音韻構造を制約に基づいて実現される。外国語の解析アルゴリズムは前章で述べたとおりである。その実行結果の一部を以下に示す。

解析語の文字列の内、カンマで区切られた文字列がモーラに対応する。guitar(-(g-i)-(t-ar)\*)は第1音節目が(子音+短母音)、第2音節目が(子音+長母音)という音韻構造をしている。元の英単語から、はじめの子音と短母音を1つのモーラとカウントし「ギ(g-i)」を生成し、次に子音+長母音の場合長母音の間に区切りを入れてカタカナの「タ」に相当する部分(t-a)と「拗音(ー)」にあたる部分(a)の合計3モーラの音韻構造が生成される

また、本実験は、英単語全ての音韻構造をカバーするアルゴリズムではないが、音韻構造に関する制約は先に述べた制約以外にもさまざまな制約があることが知られている[13]。それらの制約事項をアルゴリズムに付け加えていくことで、かなりの精度で外来語からカタカナへの解析ができるものと思われる。例えば本実験での例外単語には、ネットワーク(-(n-e-t)-(w-ark-)\* [n-e-, t-\*v, w-a, a, k-\*v]) や ツイン(-(t-w-i-n-)\*,

表 5.1: エージェントが学習する英単語の解析結果

英単語	外来語	解析文字列	解析後の単語
guitar	ギター	-(g-i)-(t-ar)*	[g-i-, t-a, a]
mail	メール	-(m-eyl-)*	[m-e, e, l-*v]
desk	デスク	-(d-e-s-k-)*	[d-e-, s-*v, k-*v]
dress	ドレス	-(d-r-e-s-)*	[d-*v, r-e-, s-*v]
glass	グラス	-(g-r-aes-)*	[g-*v, r-ae, s-*v]
plus	プラス	-(p-l-ahs-)*	[p-*v, l-ah, s-*v]
game	ゲーム	-(g-eym-)*	[g-e, e, m-*v]
club	クラブ	-(k-l-ahb-)*	[k-*v, l-ah, b-*v]
break	ブレイク	-(b-r-eyk-)*	[b-*v, r-e, e, k-*v]

[t-\*v, w-i-, n-\*v] ) 等があるが、これは促音の処理と音節の最後にくる撥音の処理を付け加えれば実現することが可能である。

外来語のアクセント規則は、解析結果の単語のモーラ数をカウントして、表 5.2 に示したように後ろから 3 つめのモーラに付与される。

表 5.2: エージェントが学習する英単語の解析結果

モーラ構造	アクセント付与後の単語
[g-i-, t-a, a]	[g-i-, ', t-a, a]
[m-e, e, l-*v]	[m-e, ', e, l-*v]
[d-e-, s-*v, k-*v]	[d-e-, ', s-*v, k-*v]
[d-*v, r-e-, s-*v]	[d-*v, ', r-e-, s-*v]
[g-*v, r-ae, s-*v]	[g-*v, ', r-ae, s-*v]
[p-*v, l-ah, s-*v]	[p-*v, ', l-ah, s-*v]
[g-e, e, m-*v]	[g-e, ', e, m-*v]

## 5.2 グループ語の形成

本実験の目的は、集団属性の異なるエージェントなる同士が接触した時の、グループ語の形成過程をシミュレートすることである。

### 5.2.1 実験環境

外来アクセント学習モデルのパラメータの詳細は、以下に示す通りである。

- 総エージェント数
- 学習単語エージェントの人数：  
1 単語ごとに外国語を学習するエージェントをランダムに数人選択（内、一人のエージェントは、グループ語に対してのみ学習を行うエージェントである）。
- 会話エージェントの人数：  
1 単語ごとに外来語を他のエージェントから会話により学習するエージェントをランダムに数人選択
- 1 単語ごとの学習回数：  
数人のエージェントが単語をテレビや会話から学習していることを想定。
- 全単語の学習回数：  
エージェントは、全単語の学習 × n 回の学習を行う。本実験で用いる 20 単語を複数回学習する。

また、単語学習時の平板化率とエージェントが会話を行った後の平板化率をそれぞれの用語ごとに以下のように求めた、

外来語アクセントの平板化率（単語学習時）＝

$$\frac{\text{単語学習時に平板化規則を適用した単語の数}}{\text{総単語学習回数}}$$

外来語アクセントの平板化率（会話時）＝

$$\frac{\text{平板化規則を適用した単語の発話回数}}{\text{総発話単語数}}$$

エージェントの単語学習プロセスを以下に示す．

- エージェントの単語学習プロセス

1. ある入力語に対して，単語を学習するエージェントをランダムに  $n$  人選択
2. 単語の学習 1：  
エージェントは英語の音韻構造を解析し，日本語の音韻構造（カタカナ）に置き換える．
3. アクセントを付与：  
エージェントのもつアクセント規則に基づき，解析後の外来語に対してアクセントを付与．この時点で，エージェントは通常の外来語アクセント規則を適用するか，もしくは平板化の音韻構造にあてはまる語であれば，平板化を適用する．
4. 1において，選択されたエージェントとその会話相手のするエージェントをランダムに  $n$  組選択
  - 4.1 1で選択したエージェントの中から一人を選択．
  - 4.2 会話するエージェントを一人ランダムに選択．
  - 4.3 4.1のエージェントと4.2のエージェントで会話を行う．
5. 単語の学習 2：  
他のエージェントとの会話による単語学習では，相手エージェントの持つ単語とそのアクセント規則の他に，エージェントの影響度などを反映させた学習を行う．

6. アクセント規則の評価：
  - 5の単語学習で得た情報を基に，会話を行った各エージェントの適用したアクセントルールの変更・保持を行う．1～6までを  $n$  回繰り返した後7へ
7. (1～6までを  $n$  回繰り返した後)1へ戻る

## 5.2.2 予備実験

エージェントが外来語アクセント規則をどのように獲得していくかを考察する予備実験として，以下にエージェントが会話を行う前の，単語学習過程における，アクセントの平板化率を示す．つまり，他のエージェントの(環境の)影響を受けない閉じた世界を仮定している．そこに存在する規則は，音韻構造に基づいたアクセント付与規則のみである．図5.1は音楽用語，図5.2は計算機用語の平板化率を求めたものである．

### 実験結果

実験では，前節で述べた学習プロセスの内，1から7が終わるごとに，用語とエージェント群ごとの平板化率を求めた． $x$ 軸は，先に述べた学習プロセスの1から7までを1ステップとしたもの， $y$ 軸は，平板化率を表す．パラメータは表5.3のとおりである．

表 5.3: パラメータの設定

総エージェント数：	6人
単語学習エージェント数：	3人
会話エージェント数：	6人
1単語ごとの学習回数	5回
全単語の学習回数:	3回

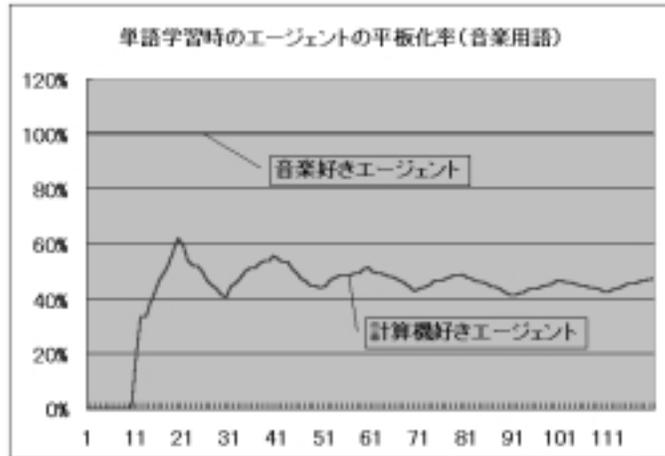


図 5.1:

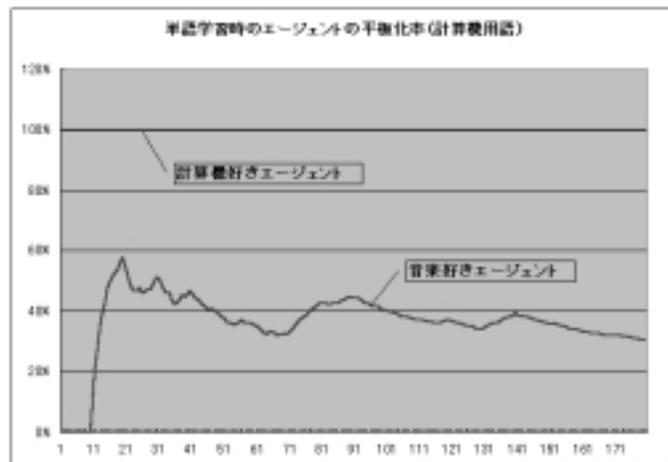


図 5.2:

全てのエージェントは、単語学習の際に、3.5 節で述べた平板化する音韻にあてはまるものであるで、計算機用語の場合は「カーソル」という外来語にたいして平板化規則を適用し、音楽用語に対しては「スタジオ」、という単語を学習する時のみ平板化規則を適用している。

5.1 と 5.2 の図において、平板化率の上昇しているタイムステップが、エージェントがグループ語以外の単語に対して平板化を適用している個所である。音楽好きが音楽用語を、計算機好

きが計算機用語を学習する際には、いわゆるグループ語以外の用語も平板化しているため、平板化率は 100 % になっている。

次に実験 1 で、エージェントが単語を学習した後に、会話を行った場合の外来語アクセント獲得過程を考察する。つまり、周囲の環境からうける影響を考慮した時には、どのようなアクセントの変化が見られるかを実験・検証する。

### 5.2.3 実験1

本研究における「周囲の環境を学習すること」とは、エージェント同士がコミュニケーションをとおして、他のエージェントの状態を認識することである。環境の認識し、今自分のおかれている環境にたいして、行動をおこす。「行動をおこす」とは、本モデルにおいて、他のエージェント状態を学習し、アクセント規則を評価した結果を会話相手のエージェントに返すことをさす。

本実験においては、学習した単語を、他のエージェントと会話を行うことで、各エージェントの保持するアクセント規則の評価を行い、規則を保持変更していく過程をシミュレートする。

予備実験と同じパラメータでエージェント同士が会話を行ったときの外来語アクセントの平板化率を観察する。

表 5.4: パラメータの設定

総エージェント数:	6人
単語学習エージェント数:	3人
会話エージェント数:	6人
1単語ごとの学習回数	5回
全単語の学習回数:	3回

まず初めに、音楽好きエージェント群の方が影響度が高い場合の実験を行った。その結果を図 5.3 に示す。次に、計算機好きエージェント群の影響度を大きく設定した時のエージェントのアクセントの平板化率をみた。結果を図 5.4 に示す。

#### 考察

エージェントは会話を行うことにより、他のエージェントの影響を受けた結果、平板化率に変化が観察された。エージェントの人数が少ないため、約 20 単語について、会話を行った時点で、音楽好きエージェントの平板化率が、計算機エージェントとの会話で下降気味になってきているのがわかる。また、計算機好きエージェントについても同様のことが言える。

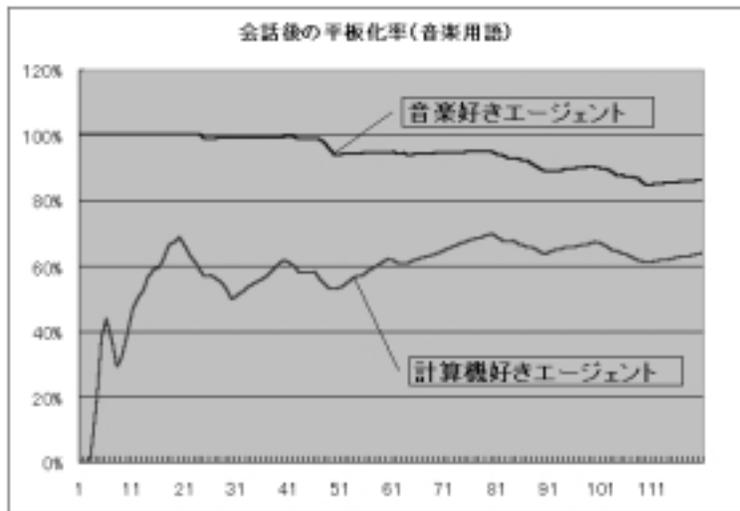


図 5.3:

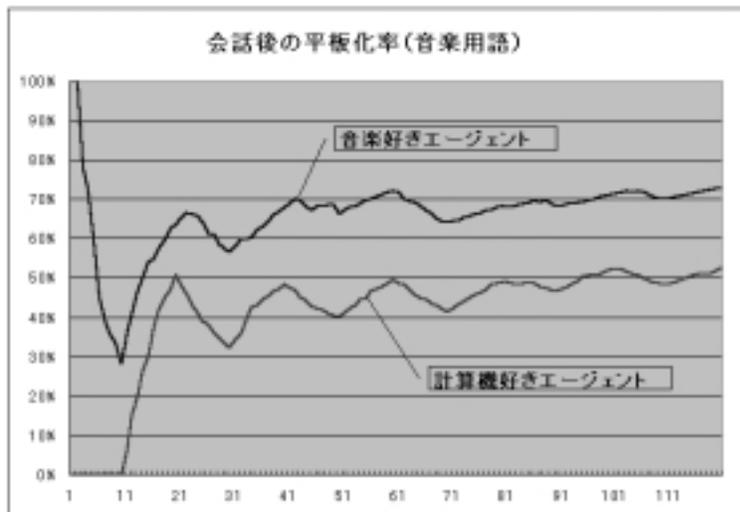


図 5.4:

次にエージェントの数を 40 人にして実験を行った。以下の実験では、音楽好きエージェントの影響度を大きくして実験を行った。結果を図 5.5 に示す。

表 5.5: パラメータの設定

総エージェント数:	40 人
単語学習エージェント数:	3 人
会話エージェント数:	6 人
1 単語ごとの学習回数	5 回
全単語の学習回数:	3 回

## 実験結果

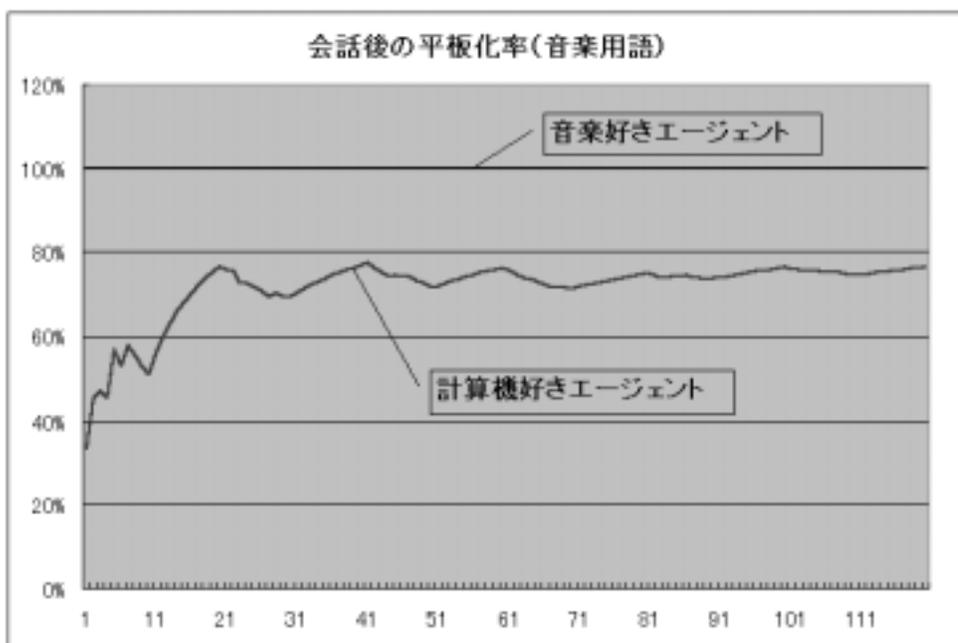


図 5.5:

単純にエージェント数を増やすと、会話するエージェントの人数が少なくなるため、

音楽好きエージェントの平板化のアクセント規則には，変化が現れない．そこで，まず初めに，学習期間を長くして会話相手を増やすという目的で全単語の学習回数のパラメータを表 5.6 のように変更し，実験を行った．

表 5.6: パラメータの設定

総エージェント数：	40 人
単語学習エージェント数：	3 人
会話エージェント数：	6 人
1 単語ごとの学習回数	5 回
全単語の学習回数：	6 回

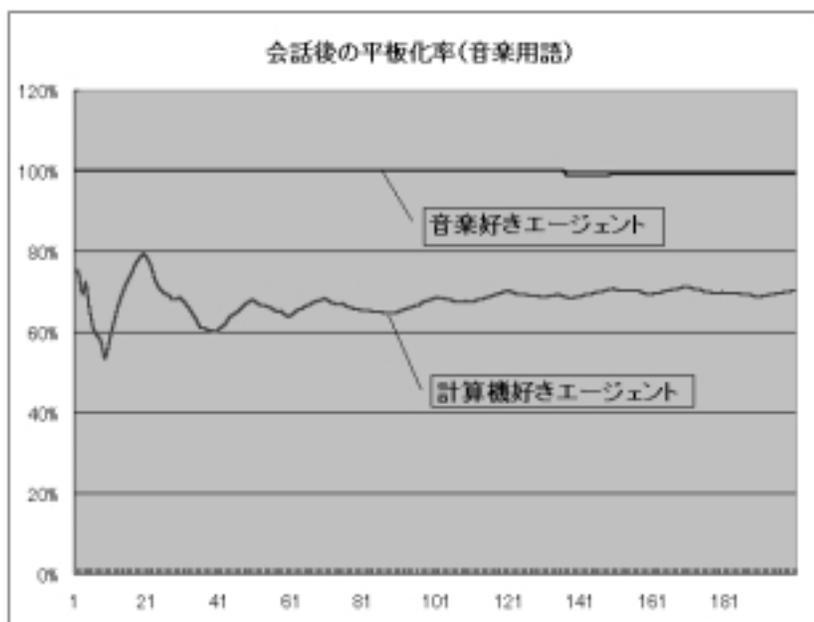


図 5.6:

次に，学習期間はそのまま，あるタイムステップにおいて，単語を学習するエージェントの数を増やしての実験を行った．

表 5.7: パラメータの設定

総エージェント数 :	40 人
単語学習エージェント数 :	3 人
会話エージェント数 :	20 人
1 単語ごとの学習回数	5 回
全単語の学習回数:	3 回

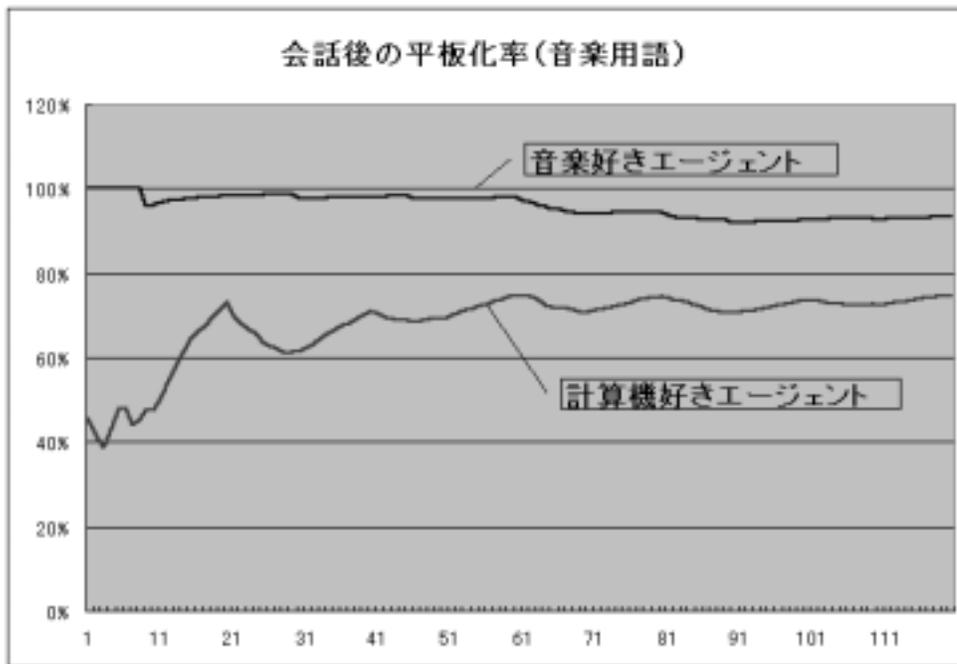


図 5.7:

会話による学習期間を長くした場合、約 13 ~ 14 個目の単語を学習した時点で、音楽好きエージェントの平板化率に変化が現れた。また、学習単語数は同じで、会話するエージェントの数を増やした場合においても同様に、他のエージェントとの会話により平板化を適用しない音楽好きエージェントが出現したことがわかる。以上の実験は音楽好きエージェントの影響度を大きく設定した結果であるが、次節では、計算機好きエージェントの影響度を大きく設定して実験を行う。

この実験において、同じ趣味を持つエージェント同士の会話の内、相手エージェン

トから異なるアクセントを学習することは少なかった。従って、他のコミュニティが一方のコミュニティに与える影響が少ないため、音楽用語の平板化率は、それほど下がっていない。そこで、次に会話するエージェントの数と単語を学習するエージェントの数をふやして、実験を行った。他のコミュニティからの影響を受けたエージェントが多ければ多いほど、平板化率の減少傾向は大きくなるはずである。エージェントの数と影響度を変更することで、周囲の環境とアクセント平板化の減少傾向にどのような相関関係があるのかを実験・検証する。

#### 5.2.4 実験2

実験1においては、あるコミュニティに属するエージェント群の中で、特定の時期に著しくアクセント規則が変化することはなかった。例えば、流行語の発生のように他のエージェントの影響をうけて、多くのエージェントが普段は用いていないアクセント規則を適用するといったような現象観察されなかった。これは、会話を行う回数にも起因するが、その他にもエージェントの影響度が、あるエージェント群の影響度を大きく上回るような状況を設定してあげなければならない。そこで、本実験では、単語学習エージェントの数と学習期間を長くすることで、エージェントの単語回数を増やし、計算機エージェントの影響度を高くしての実験を行った。なお単語学習エージェントの数を増やした理由は、あるグループ語を学習する際は、そのグループに属さないエージェントはその用語を学習しないという設定を行っているためである。つまり、専門用語の学習をある集団だけに複数回学習させることで、エージェントに個体差を設けている。図 5.8 に実験結果を示す。

表 5.8: パラメータの設定

総エージェント数：	40 人
単語学習エージェント数：	10 人
会話エージェント数：	10 人
1 単語ごとの学習回数	10 回
全単語の学習回数：	6 回

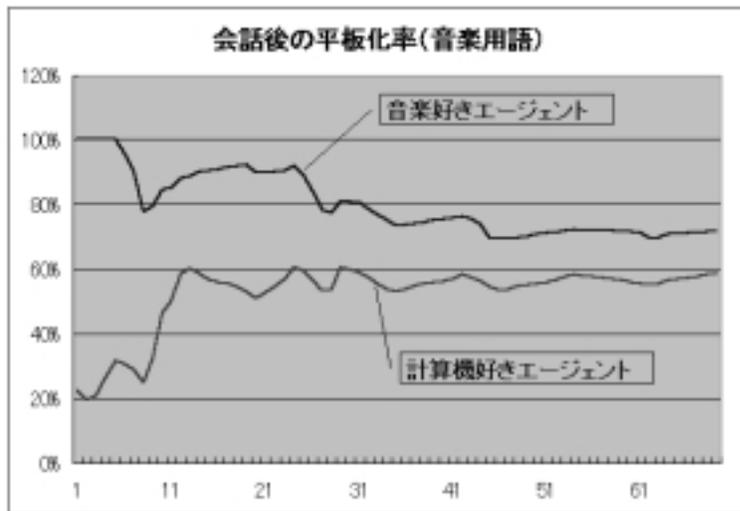


図 5.8: 実験 2

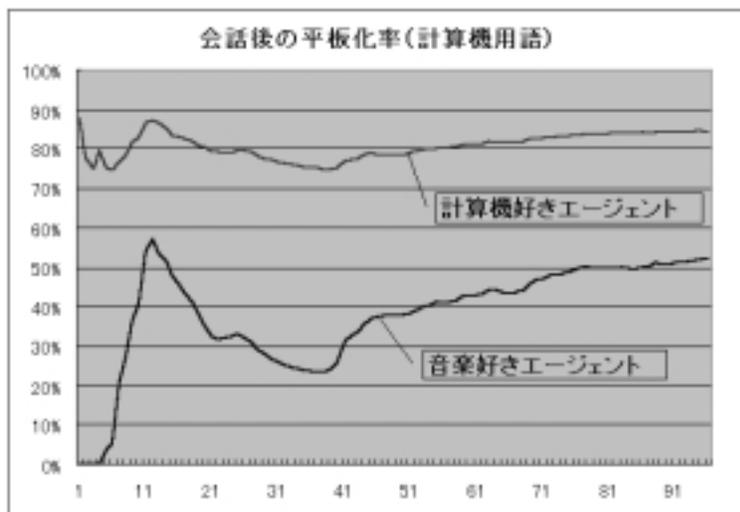


図 5.9: 実験 2

先ほどの音楽好きエージェントの影響度を高くした時に比べると、明らかに音楽好きエージェントの平板化率が下がっているのが分かる。また計算機エージェントの方も、音楽好きエージェントの影響を受けにくくなっている。図 5.9 は計算機用語の会話学習時におけるエージェントの平板化率であるが、計算機好きに影響を受けて、音楽好きエージェントの平板化率が上昇傾向を見せている。

### 5.2.5 実験 3

実験 1, 2 においては、エージェントは、外来語を学習する時、特定の(なじみのある)単語に対しては、すべて平板化規則を適用し、他のエージェントとの相互通信によって、その平板化率が変化していく過程を観察した。本実験では、なじみのある単語の使用頻度により平板化を適用したエージェントが他のエージェントとの会話を通して、アクセント変化させていく過程をシミュレートする。

本研究の特徴は、エージェントが音韻構造に基づいて単語を平板化させたり、あるいは他のエージェントとの相互通信により単語を平板化させたりさせなかったりするという二つの側面を持っているが、比較のため、次のような実験を行った。

本実験で用いる単語の内、3.5 節で述べたような音韻構造を要因として平板化される単語は、「カーソル」、「スタジオ」であるが、ある特定の時期にこれらの単語を連続的に学習させると図 5.10 のようになる。また、エージェントの学習単語としてこれらの単語を含ませなければ図 5.11 のようになる。

なお、図 5.10 の実験では、20 単語の内から、計算機用語のカーソルという単語を連続して学習させる時期と、「カーソル」以外の複数の計算機用語を学習する時期を設定した。全期間において学習する単語数を先の実験のパラメータである「全単語の学習回数」と置き換えて「学習単語数」とした。

図 5.10 において、単語の平板化率が上昇しているステップは、「カーソル」という単語を学習する時に、エージェントが音韻構造を解析し単語に平板化のアクセントを付与している。また平板化率が下降しているステップは、逆にカーソル以外の単語を学習している。200 ステップあたりから 600 ステップあたりまで、計算機好きエージェントも音楽好きエージェントも単語学習の際に、音楽用語に対して平板化を適用している。「カーソル」という単語を学習する際には、単語の使用頻度やなじみ度に関係なく音韻構造に依存した形でアクセント規則を適用する。つまり、その単語に対して、なじみのあるなしに関わらず平板化規則を適用しているため、計算機好きエージェント

の平板化率は、音楽好きエージェントの平板化率とほぼ同じである。

また、図 5.11 は複数の音楽用語の平板化率を示したものである。音楽好きエージェントがグループ語の学習の際、その単語の使用頻度により平板化を適用しだした 200 ステップあたりから、計算機好きエージェントも音楽好きエージェントとの会話を通して、本来なじみのない音楽用語に対して平板化を適用している。しかし、この実験では、計算機好きエージェントの方が影響度が高いので、後半のステップになるにつれ、平板化率が下降気味になってくる。

表 5.9: パラメータの設定

総エージェント数:	40 人
単語学習エージェント数:	10 人
会話エージェント数:	20 人
1 単語ごとの学習回数	10 回
学習単語数:	240 単語

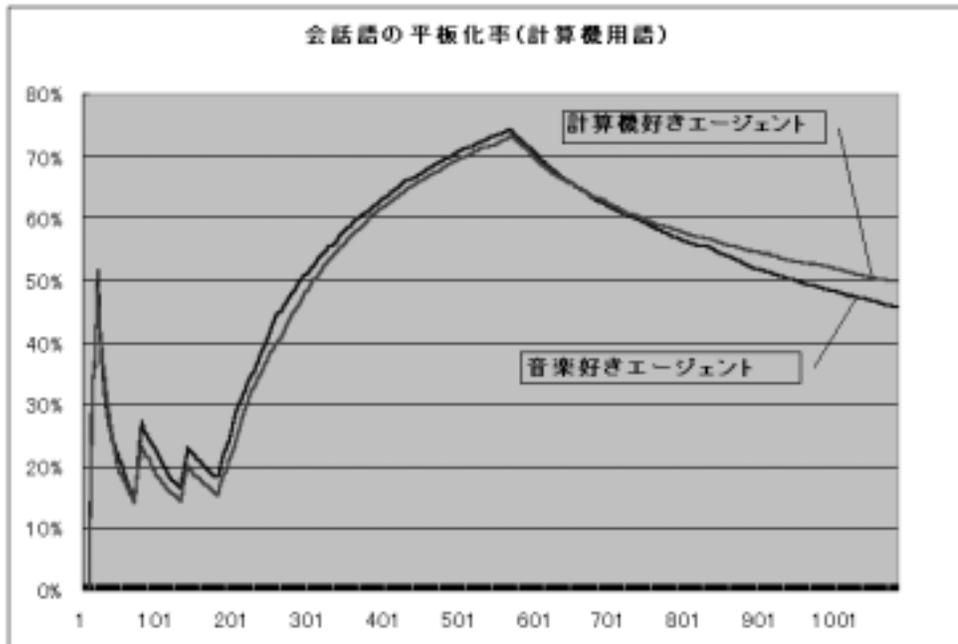


図 5.10: 「カーソル」の学習

表 5.10: パラメータの設定

総エージェント数:	40 人
単語学習エージェント数:	10 人
会話エージェント数:	20 人
1 単語ごとの学習回数	10 回
学習単語数:	960 単語

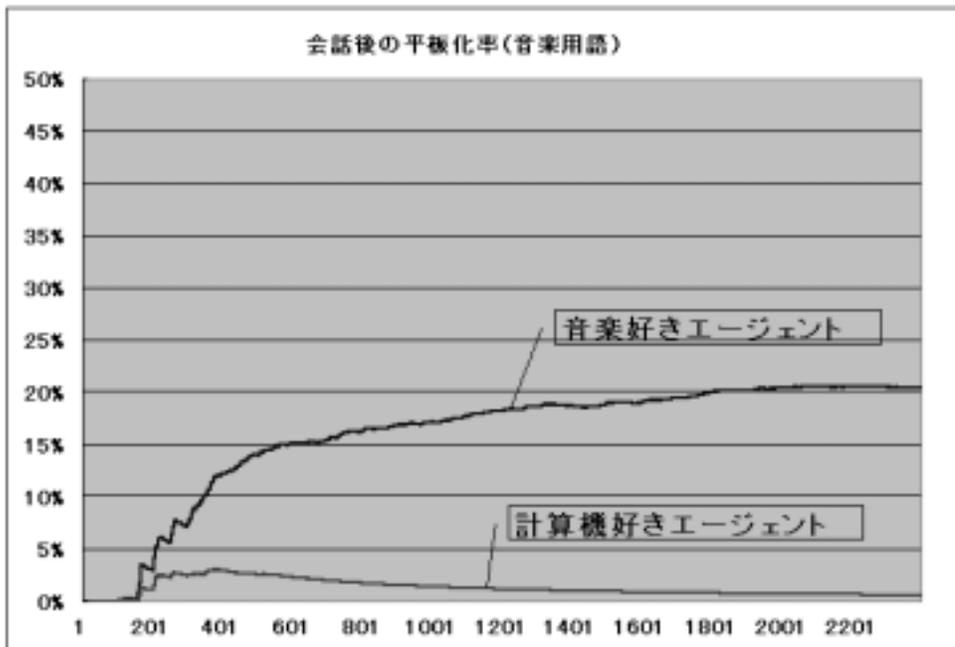


図 5.11: なじみ度による学習

図 5.11 で用いた単語に「カーソル」や「スタジオ」という単語を均等に加えて学習させると、図 5.12、図 5.13 ようになる。本実験においては、音韻構造に依存して平板化を適用する単語（「カーソル」と「スタジオ」）も、他の用語と同様に複数回学習されないと平板化を適用しない設定になっている。通常エージェントは、なじみのある単語であるグループ語を多く学習するので、図 5.12 に見られるように、音楽用語を学習する際には、音楽好きエージェントの平板化率が計算機好きエージェントの平板化率を上回ることが多い。しかし、まれに、図 5.13 の最初の方の 7 ステップから 100 ステップあたりまでにみられるように、計算機好きエージェントの平板化率が、音楽好きエージェントの平板化率を上回っている。これは、音楽好きエージェントから影響を受けて音楽用語を平板化させた計算機好きエージェントが、他の計算機好きエージェントとかいわをすることで、計算機好きエージェントの平板化率が上がったということが要因である。また、同じように、の場合、7~80 ステップあたりまで、音楽好きエージェントの平板化率が少ないのは、音楽好きエージェントが音楽用語に平板化を適用しない計算機好きエージェントの影響を受けて、音楽用語にアクセントを付与させたことに原因がある。また 100 ステップ目以降は、音楽好きエージェント群の音楽用語の単語使用頻度が増すため、他のエージェントの影響を受けにくいという結果が観察された。

表 5.11: パラメータの設定

総エージェント数:	40 人
単語学習エージェント数:	10 人
会話エージェント数:	20 人
1 単語ごとの学習回数	10 回
学習単語数:	240 単語

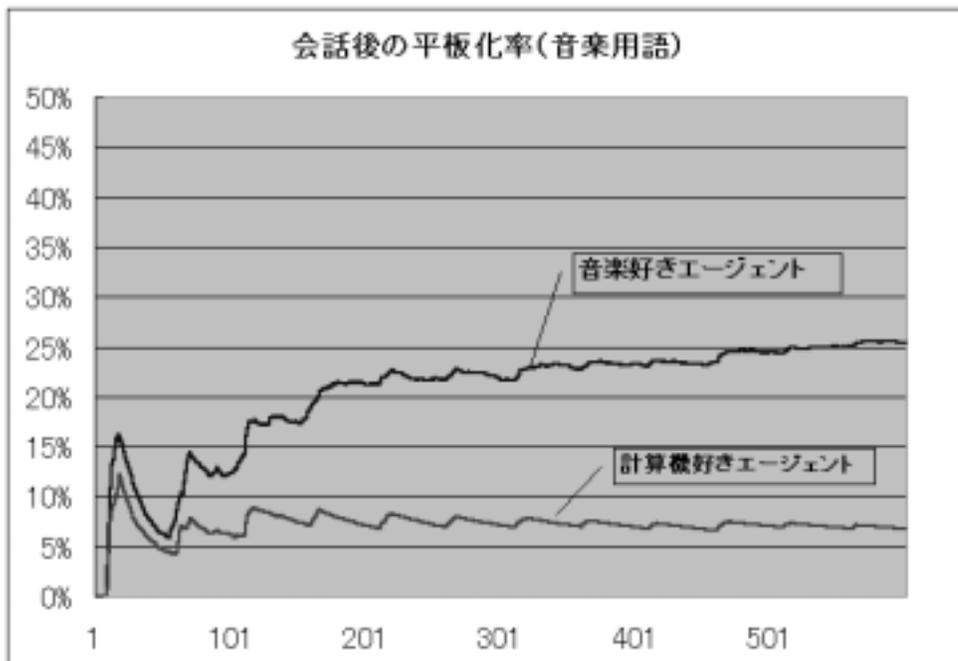


図 5.12: エージェント間相互通信による影響 1

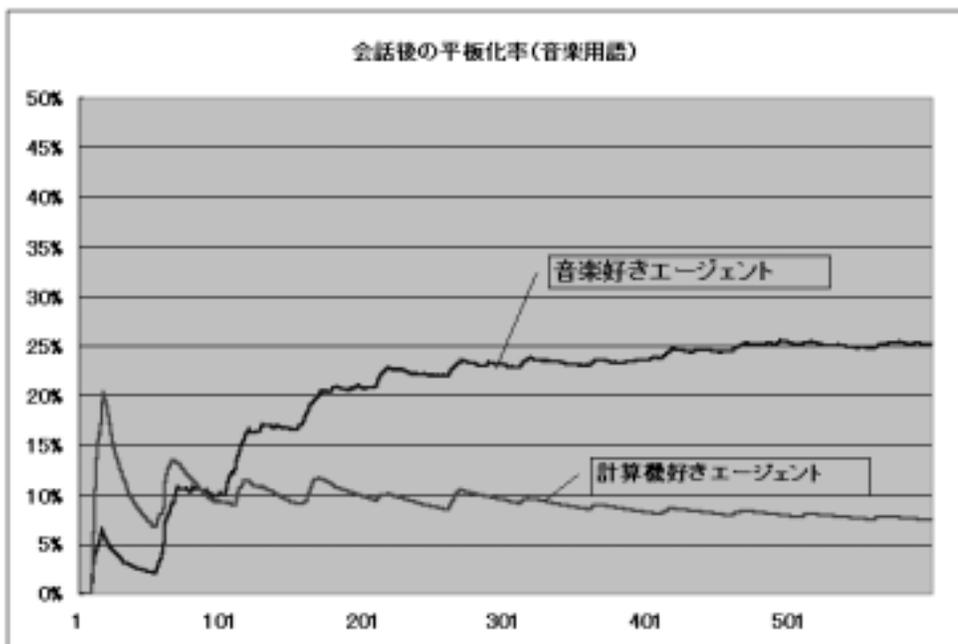


図 5.13: エージェント間相互通信による影響 2

## 5.3 考察

本研究の目的は、異なる言語の接触による単語の学習過程をシミュレートすることである。

予備実験では、音韻構造の制約を用いて外国語の音韻構造を学習する。エージェントは単純に日本語の音韻構造の制約に基づいたアクセント規則を適用しているため、平板化に該当する単語が出現した時のみ、その単語に対して平板化規則を適用している。しかし、実験1において、学習した単語を他のエージェントとの会話をとおして、学習したアクセント規則を変更・保持させるという現象が観察された。

エージェントは、アクセント変化の社会的環境要因として、音韻構造の学習の他に、会話相手のエージェントが学習したアクセント規則や影響度、単語の使用頻度をアクセント変化の社会的環境要因として学習した。周囲の環境と自分の保持するアクセント規則や単語に対するなじみ度と照らし合わせることにより、アクセントの保持・変更を行った。

実験1においては、エージェントの数を少なく設定したため、会話学習によるアクセントの変化が比較的早く現れたため、単純にエージェントの数を増やして実験を行った。この実験では、他のコミュニティに属するエージェントの影響を受けにくくなり、音楽好きエージェントの平板化率は100%となった。これは、コミュニティ内のエージェントの人数に対して、単語を学習するエージェントや会話を行うエージェントの数が少なくなったためである。つまり、周囲の環境と接し、単語を学習する機会が減ったためである。そこで、会話するエージェントの数を固定して、単語の学習機会を増やした図5.6と図5.7の実験においては音楽好きエージェントの平板化率が減少するという状況が観察された。

この実験においては、同じ趣味を持ったエージェント同士が会話によりグループ語のアクセントを変更させる機会は少なかったが、エージェントの数を増やした実験2においては、エージェントの中に、計算機好きエージェントの影響を受け、グループ語に対して、平板化アクセントを適用しないエージェントが多く出現するため平板化率の減少傾向は明らかに大きくなった。つまり、音楽好きエージェント間の通信において、外来語規則を適用するエージェントとそうでないエージェントが出現する割合が大きくなったことを示す。このような傾向は会話するエージェントの数と単語を学習するエージェントの数が多ければ多いほど顕著にあらわれる。

実験3では、エージェントが単語学習時の使用頻度による平板化の適用後、相互通信

を行うことによりどのようにアクセント規則を適用していくかを観察した。また、音韻構造に基づく外来語アクセントの平板化との相互作用を明らかにした。

エージェント間の会話をとおして、言語使用に関する多様性が生まれたことにより言語の変化過程に差異がみられた。

本実験では、母語以外の言語をどのように解釈し、また認識した単語が他のエージェントとの交流をとおして、あるコミュニティ内に広まっていく様子をシミュレートした。

## 第6章 結語

### 6.1 まとめ

本研究では，マルチエージェントを用いて，異なる集団属性をもったエージェント同士が会話を行うことで，各人のアクセント規則を変更又は保持していくという外来語アクセントの獲得過程のモデル化を行った．ある程度制限された自然言語を用いて，音韻構造に基づくアクセント規則と，環境を要因としたアクセント規則の適用により，より自然なアクセント獲得過程をシミュレートすることができた．本モデルは，あるエージェントから，内的要因として，外来語の音韻構造を受け取り，環境変数として，相手エージェントの適用したアクセント規則と影響度，単語の使用回数を受け取り，個人のルールと照らし合わせて，アクセント規則をの評価をし，外来語アクセント規則の変更・保持を行った．その結果，エージェントの適用する平板化の割合が周囲の環境に応じて柔軟に変化するというモデルを構築することができた．

2章において，エージェントはある環境の認識と解析をし，再び環境へ働きかけるという性質をもつと述べた．本研究で提案したエージェントモデルは大きく分けて3つのステージで構成されるものとする．

1. 環境を認識するステージ
2. (認識した)環境を分析するステージ
3. 環境に働きかけるステージ

まず，一つ目のステージは，外国語を学習するステージである．本研究においては，モーラや音節という概念を用いて，その音韻構造に焦点をあて，アクセント付与の際の音韻的特長を明らかにし，他の言語を認識する上での制約を加えることで，外国語から日本語のモーラ構造へと変換するシステムの構築を行った．

二つ目のステージでは，第一番目のステージにおいて，受け取った音韻の構造をエージェントのアクセント規則を用いて解析するステップである．本モデル中のエージェ

ントは、外来語のアクセント規則として、音韻構造を反映した規則と、まわりの環境を反映したアクセント規則を持つ。エージェントは、周囲の状況に応じて、それぞれのアクセントを適用する。

そして、三つ目のステージにおいては、会話をとおして、環境に働きかけるというモデルを構築した。エージェントは他のエージェントとの相互通信により、お互いの情報を交換し、第1ステージで学習した規則を評価する。ある特定のコミュニティ内におけるインターアクションが結果としてエージェントの規則に多様性をもたせる結果となった。

本研究で構築した言語獲得モデルにおいては、どのステージが欠けても自然言語の現象に近い言語獲得モデルを構築することができないと考える。

第1のステージが抜けてしまえば、例えば、音韻的構造を学習しない、環境だけに左右されるような言語体系が出来上がってしまい、また二つ目のステージが欠けるとエージェントは、規則も規範もない、極端に言えば、雑音を発するコミュニティが構築されることになる。そして、最後のステージが欠けたならば、この世に言語というものが生まれていたのであろうかと想像するほど奇妙な現象である。規則と環境が相互作用することで、言語が生まれ進化すると確信する。

## 6.2 今後の課題

本研究では、制限された自然言語を用いてその言語の進化の過程をシミュレートすることができた。実験では、主にアクセントの平板化現象に焦点をあて、実験環境として、エージェントがある特定の期間において、ある特定の単語を学習するという環境設定であったため、学習する単語を絞って実験を行った。しかし、外来語の音韻構造を解析する際の、日本語の音韻構造の制約に関する処理を追加することでより多くの英単語の学習が可能になる。

エージェントの学習する単語数の追加と、外来語アクセント学習時の音韻構造に関わるアクセント付与規則（単語のモーラ数と特殊モーラとの関係を考慮したアクセント付与規則）の追加と、エージェントの会話時の平板化規則の追加で、より自然の言語現象に近い形でのシミュレーションが可能になるものと思われる。平板化の規則に関しては、以前言語学研究においても平板化する単語データが少ないということもあって、未だ謎に包まれた部分が多くある。

アクセントの平板化現象に見られるような社会的環境要因による言語の進化に関する

る研究はまだまだ発展途上段階にあるが、今後大胆な発想と、精緻な分析によって、言語の環境に柔軟に対応する言語の謎が解明されることが望まれる。

## 関連図書

- [1] Blevins, J.: Syllable in Phonological Theory. In J. Goldsmith (ed.) *The Handbook of Phonological Theory*. Cambridge, Mass.: Blackwell, 1996.
- [2] Chomsky, N.: *Aspects of the Theory of Syntax*, MIT Press, 1965.
- [3] Chomsky, N., and Morris H: *The Sound Pattern of English*, Cambridge, MA: MIT Press, 1968.
- [4] Hashimoto, T. and Ikegami, T.: *Evolution of Symbolic Grammar Systems*, *Advances in Artificial Life*, 1995.
- [5] : Tsujimura, N: *An Introduction to Japanese Linguistics*, Cambridge, Mass.; Oxford: Blackwell Publishers, 1996.
- [6] Werner, G. M. and M.G. Dyer: *Evolution of Communication in Artificial Organisms*, *Artificial Life II*, pp659-687, 1991.
- [7] 今井邦彦ほか：『音声と形態』國廣哲彌編，東京：大修館書店，1980.
- [8] 小野哲雄, 東条敏：推論機能を有するエージェント群による共通文法の組織化, *人工知能学会誌*, Vol.13, No.4, pp.546-559, 1998.
- [9] 小野典彦, Torkaman Rahmani Adel: 人工生物群による通信の自己組織化, *マルチエージェントと協調計算研究会（日本ソフトウェア科学会）発表資料*, 1992.
- [10] : Joshua M. Epstein, Robert Axtell [著]; 服部正太, 木村香代子訳, *人工社会：複雑系とマルチエージェント・シミュレーション*, 東京：共立出版，1999.
- [11] 窪園晴夫：語形成と音韻構造，東京：くろしお出版，1995.

- [12] 窪園晴夫, 景山太郎ほか: 『日英語対照による英語学演習シリーズ 英語学概論』西光義弘編, 東京: くろしお出版, 1997.
- [13] 窪園晴夫, 太田聡: 『音韻構造とアクセント』中右実編, 東京: 研究社出版, 1998.
- [14] 窪園春夫: 『音声学・音韻論』, 東京: くろしお出版, 1998.
- [15] 真田信治, 渋谷勝己他: 社会言語学, 東京: 桜楓社, 1992.
- [16] 中村誠: マルチエージェントモデルにおける共通文法の獲得, 北陸先端科学技術大学院大学, 修士論文, 1997.
- [17] 生天目章: マルチエージェントと複雑系, 東京: 森北出版, 1998.
- [18] : 錦見美貴子: 言語を獲得するコンピュータ, 共立出版, 1998.
- [19] 日本電信電話株式会社: 合成音声技術の研究報告書,  
cf. [http://www.ucn21.com/h12/h12\\_list.html](http://www.ucn21.com/h12/h12_list.html)
- [20] 日本放送協会: 日本語発音アクセント辞典/NHK 編, 東京: 日本放送出版協会, 1985.
- [21] 橋本敬: 動的言語観に基づいた単語間関係のダイナミクス, 認知科学, 6(1):55-65, 1999.
- [22] Bickerton, Derek, 岸本秀樹, 西村秀夫, 吉村公宏訳; 西光義弘解説: ことばの進化論, 東京: 勁草書房, 1998.