言語使用の類似性に基づく言語構造の発展

橋本 敬
理化学研究所 脳総合科学研究センター
情報創成システム研究チーム
takashi@brain.riken.go.jp
http://www.bip.riken.go.jp/irl/takashi/

1 序論

本論は、会話の中で使用される文と単語を基礎にして、言語のカテゴリーの発展ついて構成論的アプローチにより研究したまとめである。

まず初めに言語の意味についての我々の立場を簡単に述べておこう。ここでは、従来しばしば取られてきたような、記号とその指示物、意味するものとされるもの、単語と自己同一的意味内容、といった静的な対応で言語の意味を考えるという立場はとらない。我々は言語の意味を、個々の言語使用の状況における意味づけの活動によって、動的につくりだされるものとして捉えようとしている (深谷昌宏・田中茂範, 1996)。

ここで述べた意味についての二つの見方というのは、バフチンが提示した、言語研究の二つの流れと対応している (Vološinov, 1986)。 自己同一的意味内容の存在という静的な立場はバフチンの言う抽象的客観論に対応し、この見方では、言語は「 規範的に同一な言語の形態の、安定し不変なシステムであり、個人の意識はそれを既にできあがったものとして見出し、議論の余地のないもの 」として理解されるべきものとされる。これは、時間的に変化したり、具体的な使用の状況で揺らいだりしない構造こそが言語の本質と考える視点である。 構造とは、 例えば、 統語構造 (Chomsky, 1957)、 辞書、 あるいは、 語用論的なルール (Grice, 1975; Sperber and Wilson, 1986) といった、 個々の使用者を越えた、抽象的、あるいは、制度的なものである。

しかし、そのような静的な構造は、具体的に言語が使われる状況にも、言語使用者の中にも存在しない。それは、言語の研究者が、理想的な状況において発話を抽象化した末に作り出したものである。実際の言語を見るならば、バフチンのいうもう一方の見方、個人主義的主観論から言語を見るべきである。これは、上で提示した、言語活動を動的な意味づけ活動と見るという立場と対応する。バフチンによると、この見方においては、言語とは「 活動そのものであり、個人の発話行為によって実現される絶え間ない創造の過程 」として理解されるべきものである。言語の構造がいかにあるべきかという抽象的な概念よりも、言語の実際の使用に焦点を当て、いわゆる文法にしたがっていなくても発話の意味が理解できるということや、言語の変化そのものを認め、言語とは、それが使用される社会の文脈においてこそ意味をなすとみなすのである。

このような、動的な、あるいは個人の言語使用を基礎に据えた見方の価値は、メタファー (隠喩) について考えてみるとよりわかりやすいのではないだろうか。メタファーを用いた表現は創造的なものとなりえる。なぜなら、その表現によって、ありきたりの言語の構造を壊すことができる。すなわち、メタファー的な表現、特に創造的メタファーというものを発したり理解したりするときには、我々の内的な構造が変化していると考えるべきで、既存のものとして考えられる言語システムに局所的ではあるが穴を穿つものなのである。そのような創造的な表現に対して、我々はそれが正しいか間違っているかということを問うべきではない。なぜなら、そういった表現は新しいものであるがゆえ、既に存在する言語の構造から見たならば正しくないのである。我々はその表現を受け入れるのか否か、それを問わなければならない。もしそれを受け入れるのならば、我々の内部構造は変化し、その個々の変化というのは、言語全体の構造を変えて行くものになるかもしれない。言語をこういった動的な過程とみなすのが、後者の視点である。

進化言語学はこれらの二つの見方を橋渡しするものと言える。前者の見方にのっとって記述されたグローバルな、すなわち個々の言語使用者に共通の構造は、言語を使用する動的な過程の結果として現われるものとみなすべきであろう。グローバルな構造というものは静的ではないということに注意すべきである。言語を使用する事によって起こる個人的な変化によって、グローバルな構造も動的に変化しえるのである。

ここでは、今述べた動的言語観に基づいて、言語使用者の内的なカテゴリー構造の発展を構成論的なアプローチ (Kaneko and Tsuda, 1994; 金子邦彦・津田一郎, 1997) で研究する。 この構成論的アプローチは進化言語学の研究においても有用なツールである (Steels, 1997)。様々な言語現象の記述を目指すいわゆるコンベンショナルな言語学に対して、言語への構成論的アプローチでは、言語的な振舞いとしての全体的秩序が個々の言語使用者の間の相互作用を通して創発するものであるとして言語システムをモデル化する。しかし、上で述べたように、全体的秩序の創発だけでは不十分である。なぜなら、言語とはまさに常に変化して行くシステムであるので、全体的構造の創発のみならず、グローバルな秩序の動的な振舞いが構成論的モデルにおいても見出されるべきである。進化する言語システムをモデル化するときに、恐らく最も重要な点は、要素間の相互関係および外界に対する関係を変えていくことができるように、個々の要素の内部状態ダイナミクスを導入する事であり、そのことにより、グローバルなレベルにおけるダイナミクスも生じ得るであろう。

我々は、会話を通したカテゴリー構造の発展を、単語間の関係の示すダイナミクスとしてモデル化する。我々のモデルでは、この単語間の関係は言語の話者の主要な内部構造をなし、意味づけ過程を通して常に変化していくものである。意味づけ過程は、会話の中で使用された単語を他の単語との関係の中に位置づける活動としてみなされる。この単語間の関係は、単語の会話の中での使用法をもとに作られると考える。ある二つの語の間の関係が、それぞれの語が指し示している対象の間の関係を反映すると考えるのではなく、それぞれの語が言語全体、あるいは一連の

会話においてどのように使われているか、ということから導き出されるべきであると考えている。こういった動的な意味づけ過程と言語の使用法を基にしたした考えから、話者の内部におけるカテゴリー構造や話者間で共有される構造がいかに発展し、どのようなダイナミクスを示すか、ということを中心に見ていこう。

2　使用法を基にした語間関係

語間関係は、文、および、一連の会話における単語の使い方をもとにして計算する。ここでは、語間関係を計算するためのアルゴリズムについて基本的な考え方のみを述べるにとどめる。詳しい定義は (Hashimoto, 1998) を参照していただきたい。

語間関係の定義は二つの部分からなる。ひとつは文中における単語の用法の類似度で、もう一方は、一連の会話の中での単語および文の出現頻度の相関である。

類似度を計算するアルゴリズムは、 基本的には Karov and Edelman (Karov and Edelman, 1997) が提出したアルゴリズムにのとっている。彼らは、語義の曖昧性を取り除くための一つの方法として、単語の使用法を基にしたアルゴリズを提出した。そこでの鍵となる考えは、単語と文の間の相互依存性である。すなわち、類似した単語は類似した文に現われるが、また、類似した文というのは、類似した単語で構成されるものであるという考えである。言い換えるならば、ある語の語間関係はその語が使われている文の間の関係から計算され、文の間の関係はその中で使われている語の間の関係から計算されることになる。

我々は、彼らの提出したアルゴリズムに修正を行なった。一つは、語の類似度の計算に際し、語や文の一連の会話における出現頻度の相関を考慮することである。そのために、文の上位のレベルとして「テキスト」という概念を導入した。テキストとは一般には文の集合のことであるが、ここでは一連の会話のことを指すものとする。単語のテキスト中の出現パターンが似ている場合、例えば、あるテキストにおいていくつかの単語は何度も現われるが、他のテキストにおいてはほとんど現われないといったような時、その単語は関連が深いと考えられる。逆に、異なる出現パターンは、単語間の関連が少ないということを意味するであろう。

もう一つの修正は、語間関係を会話中にアップデートできるようにしたことである。語間関係は、会話において文を発話したり受理したりすることにより、徐々に変化するものと考えているので、文を一つ発話あるいは受理するごとに計算できるようした。Karov and Edelman のアルゴリズムは、文の静的な集合体としてのコーパス中での単語の使用法を考えているが、我々は、会話という動的な文の流れ中での単語の使用法の変遷から、単語間の関係のつくる構造がどのように変化するかということに興味があるために、このような修正を行った。

語間関係は、直前の文の発話 / 受理時の語間関係から計算される類似度と出現頻度の相関という二つの要因を線形結合したものとして定義する。(以後、ある語 w_i と w_j との語間関係を $R(w_i, w_j)$

と書く場合がある。)

3　シミュレーションの結果

語間関係の行列を内部状態として持つエージェントが、適当なルールのもとで文の発話および受理を繰り返すという「会話」を行う。各エージェントの語間関係はそのエージェントが 1 文を発話あるいは受理した時に更新される。 会話のルールの定義については (Hashimoto, 1998) を参照してほしい。

3.1　単語のクラスター

この節と次節では、個々のエージェントの内部ダイナミクスをみるために、二つのエージェント間で会話を行ったシミュレーションから得られた結果を述べる。

単語は語間関係にもとづいたクラスターを形づくる。これを見るために、主座標分析 (Gordon, 1981) を用いて語間関係行列 $R(w_i, w_j)$ を分析して散布図 (図 1) を描いた。 このモデルでは、典型的な構造として、この図で見られるようなクラスター化した単語のグループが見られる。

(a)　　(b)

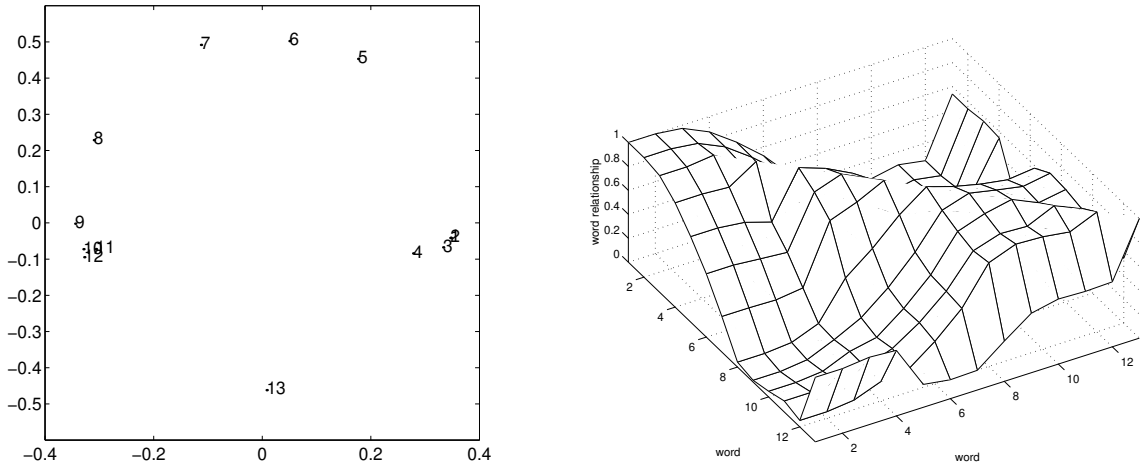


図 1: (a) 主座標分析で処理された語間関係行列 $R(w_i, w_j)$ の散布図の例。X 軸と Y 軸は、それぞれ、主座標分析で得られた第 1 主座標、第 2 主座標である。 図中の数字は単語を表している。(b) 語間関係 $R(w_i, w_j)$ を直接描いたグラフである。語は X 軸と Y 軸に並べられているが、 その番号は (a) のものと対応している。 Z 軸は語間関係 $R(w_i, w_j)$ の値である。

この図では 4 つのクラスターが見られる。クラスターの構造は大きく分けると二つに分類できる。一つは、クラスター内で単語が比較的狭い領域に分布しているもので、単語の番号でいうと、$1 \sim 4$、 $9 \sim 12$ の二つである。ここでは、 これを flat クラスターと呼ぶことにする。なぜなら、語間関係を図 1(b) のように直接描いたとき、この種のクラスターは平らな頂上を持った形になる。

もう一方は、 単語が細長い領域に拡がっているもので、 $5 \sim 8$ がこれにあたる。 このタイプのクラスターでは、図 1(b) に見られるように語間関係がじょじょに変化している。 よって、 この種のクラスターを gradual クラスターと名付ける。これらの 2 種類のクラスターの構造は、我々のシミュレーションで典型的に見られるものである。シミュレーションの初期においては、flat クラスターがばらばらに存在するが、それらが境界を広げたり、gradual クラスターでつながったりすることにより、 2 種類のクラスターが混在した形、すなわち、flat な頂点を持ち、じょじょに語間関係が小さくなり、別のクラスターへつながるという構造へと発展する。

単語のクラスター化はエージェントによる会話を通したカテゴリー形成とみなせるだろう。なぜなら、あるクラスター内の語は互いに強い関係にあり、クラスターの外の語との関係は弱い。flat クラスターは、カテゴリーが必要十分条件で規定されるような、古いタイプのカテゴリー概念に対応する。 これに対して、gradual クラスターは新しいカテゴリー概念である、語がどの程度あるカテゴリーに属しているかは程度問題であるという考えに対応するものとみなされる。 実際のシミュレーションでは、これらの 2 種が混在するが、 これはプロトタイプ・カテゴリー (Lakoff, 1987; Taylor, 1995) と似た構造だと考えられる。すなわち、flat な頂点はカテゴリーの中心メンバーで、そこからじょじょにカテゴリーへ帰属する度合いが小さくなっていき、中心メンバーと弱い関係にある語はカテゴリーの周縁的なメンバーである。

3.2 語間関係とクラスター構造のダイナミクス

この節では、語間関係のダイナミクスとクラスターの構造変化を見る。図 2(a) に語間関係のダイナミクスの例を示している。 これは、上で述べたシミュレーションにおける、 単語 aa と他の単語との関係 $(R(\mathtt{aa}, w))$ のテキスト毎の変化を描いたものである。 それぞれの線がひとつの単語との関係を表しているが、ある一つの値の近くにある程度留まり、ときどき急に大きく変化するということが繰り返されている。テキスト $t = 21$ で、大きな変化が同時に多くの単語との間の関係において起きている。 それ以前に aa と強い関係にある ($R(\mathtt{aa}, w)$ の値が高い) いくつかの単語が低い値になり、 いくつかの語は aa との関係を強めている。 このような語間関係が入れ替わるというダイナミクスは、 多くの単語の語間関係で観察される。

この語間関係の同期した大きな変化をもう少し詳しく見てみよう。このテキスト $t = 21$ において、 $R(\mathtt{aa}, w)$ が文を発話 / 受理する毎にどのように変化しているかが、 図 2(b) に描いかれている。大きな同期的変化が $n = 2070$ と $n = 2080$ の間で見られる。 ここで n は発話あるいは受理した文の数である。

この語間関係が入れ替わるダイナミクスは $n = 2075$ で新しい文 “aa-o-o” を発話することによってひき起こされている。 単語 aa は新しいものではないが、 長い間、 単語 o とともには使われていなかった。あまり出てこない、あるいは、 新しい単語の使い方は、 その単語と他の単語と

(a) (b)

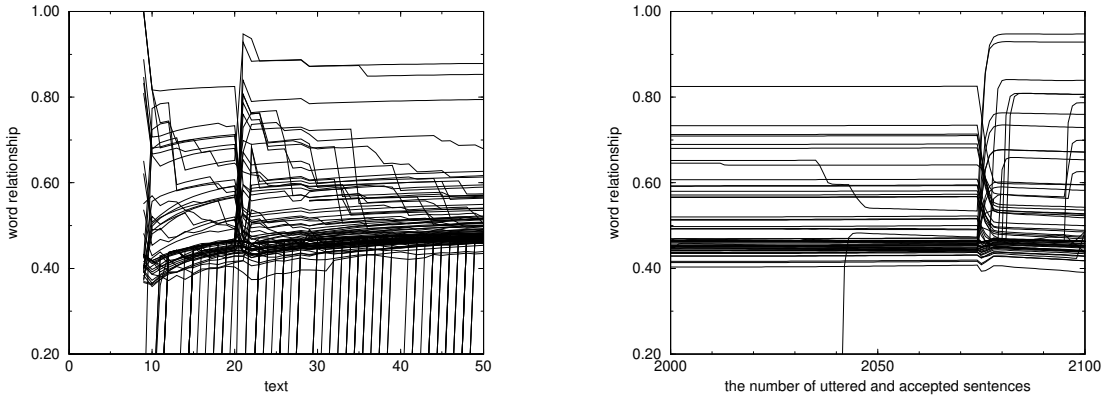


図 2: (a) テキスト毎の語間関係の推移の例。 このグラフは、 図 1 と同じシミュレーションにおいて、 単語 aa と他の単語との関係 (Y 軸:$R(\mathrm{aa}, w)$) の見せるダイナミクスを各テキストの最後 (X 軸) 毎に描いている。 単語 aa はテキスト $t = 9$ で最初に現れたので、 グラフはそのテキストから始まっている。X 軸から上がって来る線は新しい単語の出現を表している。(b) テキスト $t = 21$ における、 単語 aa の他の単語との関係の、文の発話 / 受理毎のダイナミクス。X 軸は発話あるいは受理された文の数 (n)、 Y 軸は語間関係 $R(\mathrm{aa}, w)$ である。 $n = 2070$ と $n = 2080$ の間において、多くの単語と aa との間の関係が急に、そして、同時に変化している。

の間の関係を大きく変える場合があることがわかる。

この語間関係の大きな変化によって、クラスター構造はどのように変わるだろうか。これを調べるために、散布図において単語がどのように動くかを見てみよう。 語間関係が大きく変化する前後における散布図が図 3 に描かれている。これは、語間関係行列そのものではなく、 語間関係を計算する途中で使われる、 文の単語に対する親和度の行列を主成分分析 (PCA) したものである[1]。この図は、PCA の結果の最初の二つの主成分を X 軸と Y 軸に用いて描かれている。この散布図では、一つの単語に対して、変化の前と後における二つの点が打たれているので、対応する点を矢印で結んである。

図 3 より、 ひとつのクラスターに属する単語はこの変化の前後でほとんど同じ方向に動いているので、全体のクラスター構造は大きくは変化していないということが分かる。 しかし、単語 aa は変化前の時点で属していたクラスターの他の単語とは異なる方向へ動いており、語間関係の強弱が大きく入れ替わるというダイナミクスにより属するクラスターが変化していることがわかる。ある一つの単語の語間関係の大きな変化は、クラスター構造の全体を変化させるわけではない。しかし、この変化は語間関係に徐々に影響していき、また、発話される文にも影響がおよぶ。こうして、クラスターの全体の構造がゆっくりと変化する。

これは、ここで作られたクラスター構造が安定性と適応可能性の両方を持つことを示している。

[1] 文の単語に対する親和度は語間関係と全く同じというわけではないが、 語間関係行列の散布図における単語のクラスターのだいたいの構造は PCA で処理された文の単語に対する親和度の散布図においても保たれている。

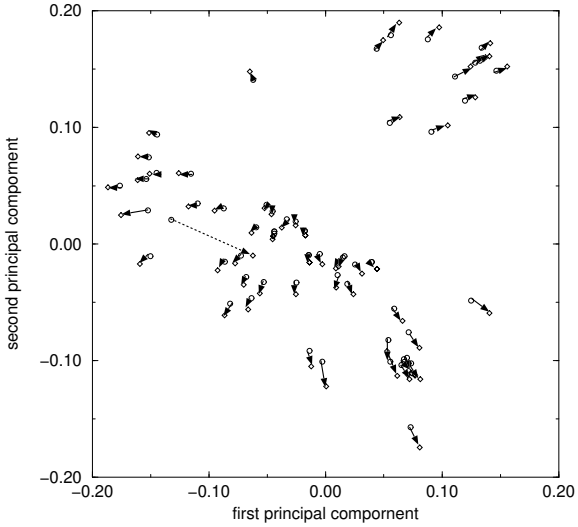


図 3: この散布図は発話 / 受理された文の数 $n = 2074$ と $n = 2077$ の間 (語間関係に大きな変化が見られる時の前後) でのクラスター構造のダイナミクスを示している。 ∘と⋄はそれぞれ $n = 2074$ と $n = 2077$ での単語を表しており、 対応する単語が矢印で結ばれている。単語 aa は破線の矢印で結ばれている。 この単語は他の単語とは異なる方向へと動いていることが分かる。

この性質は言語システムに備わっているべき性質の一つである。言語があまりに厳格であるならば、さまざまな経験を述べるために新しい表現を作ることができない。しかし、言語システムが不安定すぎるならば、個人のレベルでも全体のレベルでも構造ができず、互いのコミュニーションが不可能となるであろう。

3.3 エージェント間に共有される構造

会話を通して発達するエージェント内部の構造が、エージェントの間でどのように共有されるだろうか。ここでは、5 人のエージェントでのシミュレーションの結果を述べる。重要なのは、共有構造と個別の構造がいかに発展するかという点である。

全エージェントが同じ状態、すなわち、単語を一つも知らないという状態から始める。一つのテキストでは 2 エージェントのペアがランダムに選ばれて会話を行うが、この会話に参加しない他のエージェントは、会話を行うエージェントの発する文を聞くことはできない。よって、それぞれのエージェントはそれぞれに独自の会話の経験を積むことになり、それゆえ、初期状態が同じであっても、互いに異なる内部状態が発達するのである。しかし、会話を行うエージェント・ペアは同じ文を聞くことになるので、会話を行った 2 エージェントの間の違いは小さくなる。

各エージェントの内部状態の違いを見るために、語間関係行列の間のユークリッド距離で定義される、 二つのエージェントの間の距離の変化を図 4 にプロットした。これを見ると、初めのうちは違いが大きくなるが、すぐに減少に転じ、最終的には違いが 40%ほどのところへ収束してい

る。エージェントは他のエージェントと共有する部分と共有していない部分の両方を内部構造に持っているということを示している。

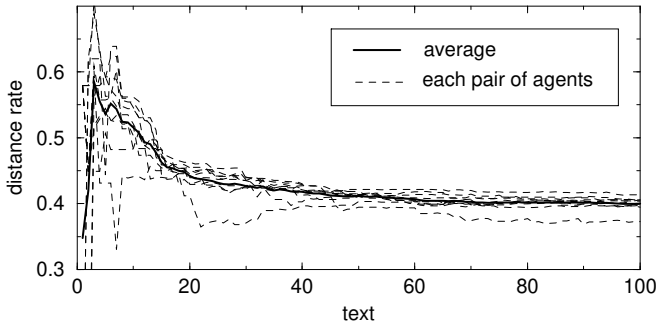


図 4: 語間関係行列の差のテキストごとの変化の例。 破線はそれぞれのペアごとの、実線はその平均である。

エージェントのペアの間で共有される構造がどのように組織化するかをみるために、エージェント・ペア k と k'の間の、テキスト t、文 n における差行列を、語間関係行列の差の絶対値として次のように定義した。

$$E_{t,n}^{k,k'} = |\tilde{R}_{t,n}^{k|k'} - \tilde{R}_{t,n}^{k'|k}| \tag{1}$$

ここで、 $\tilde{R}_{t,n}^{k|k'}$はエージェント k の語間関係行列 $R_{t,n}^{k}$を、 エージェント k'と同じ語を要素とするように拡張したものである。

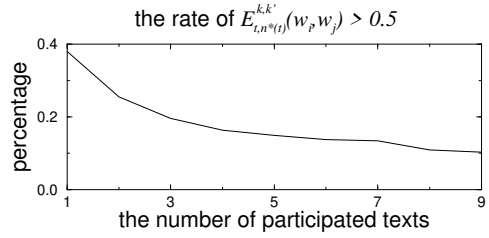
ある二つのエージェントの差行列は、会話の初めのほうでは構造が見られないが、何度か会話をすることにより、共有する部分とそうでない部分がはっきりと分かれて来る。会話により、エージェント間の差がどのように変化するかを見るために、 差行列の要素が 0.5 よりも大きいものの割合のテキストごとの変化を、図 $5(\mathrm{a})$ にプロットした。これは指数的減少を示し、共有の程度が会話とともに大きくなっているのが見て取れる。

あるエージェント・ペアの共通性は会話を通して大きくなる。しかし、このエージェントは他のエージェント達とも会話をするので、それによりこのエージェント間の差というのは再び大きくなりえる。そこであるエージェント・ペア k と k'の間の差行列のテキストごとの変化を変化行列として、

$$C_{t,n,t',n'}^{k,k'} = E_{t',n'}^{k,k'} - E_{t,n}^{k,k'} \tag{2}$$

と定義しよう。これは、エージェント間の差の時間微分のようなものである。つまり、$C_{t,n,t',n'}^{k,k'}(w_i, w_j)$ が正ならばエージェント間の差は大きくなり、 これが負ならば差は縮まる。 図 $5(\mathrm{b})$ は、あるエージェント・ペアについて、この変化行列の要素が正であるものの割合が、会話とともにどう移り変わるかを見たものである。横軸はこのエージェント・ペアが参加したテキストをとっている。各点は、エージェント・ペアが参加したテキストの最後と次の会話のテキストの最終状態の間の変

(a)



(b)

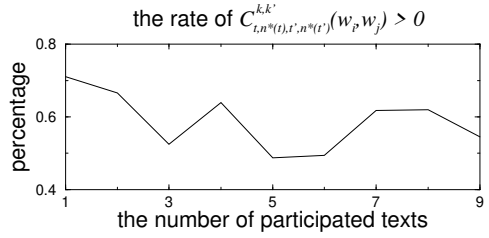


図 5: (a) あるエージェント・ペア間の差行列の要素が 0.5 よりも大きい $(E^{k,k'}(w_i, w_j) > 0.5)$ ものの割合が、会話ともにどう推移するかをプロットした。横軸には、あるエージェント・ペアが参加したテキストを順にとっている。(b) あるエージェント・ペア間の変化行列の要素が、 正である $(C^{k,k'}(w_i, w_j) > 0)$ ものの割合の、 会話による変化。

化であり、最初の点は初期状態と最初の会話の間での変化を示している。この量は、単調に減少するのではなく、振動するような振舞いを見せている。会話を行なうことにより共通部分が増えるにもかかわらず、非共通部分は単純に小さくなっているのではないことがわかる。

4 結語

会話を通したカテゴリー化のダイナミクスを、言語の動的な見方に基づいた構成論的な手法により研究した。コミュニケーションにおいて文の意味を理解するということを、文の中で使われた単語をその使用法にしたがって他の単語の間の関係の中に位置付けることでモデル化した。

単語間関係行列を内部構造として持つエージェントは、会話を通して語のクラスター化を行なう。クラスターは中心的メンバーから周縁的メンバーへ関係が徐々に変化するという、プロトタイプ・カテゴリーのような構造を持つ。単語間の関係は、それまでなかったような用法で単語が使われたときに大きく変化するが、クラスター構造の全体はそれほど変化しない。すなわち、クラスター構造は安定性と適応可能性を持つ。エージェントの間で共有される構造が会話を通じて発達するが、エージェントの個別性もまた保たれる。この共有性と個別性の両立は、コミュニケーションの多様な経験からもたらされるものである。

我々のモデルでは、コミュニケーションにおいて相互理解に至る事は、会話で使われた単語を他の単語との関係の中に、会話の相手と同じように位置付けるということになる。つまり、語間関係行列に等しい構造を形作るということである。実際、会話とともにエージェント間の共通性が発展することを見たが、全体の構造が等しくなってしまうことはない。それぞれのエージェントはある一つのエージェントとのみ相互作用するのではなく、いくつかのエージェントとコミュニケーションする。あるエージェントとの会話により、そのエージェントと共有する構造は大きくなるが、他のエージェントと会話をすることでまた内部構造は変化する。この結果、エージェント間の関係が常に変化し続けることになる。言語によるコミュニケーションにおいて、もちろん相

互理解は大事なのであるが、より重要なことは、発話の解釈が開かれていること、つまり、コミュニケーションにおける解釈の多様性があることである。 解釈が開かれていることにより、言語システムを動的なものとなる。共通性と個別性を個々のエージェントのレベルで保つことは、言語の安定性とダイナミクスに繋がるものであり、カテゴリー構造の安定性と適応可能性が、共通性と個別性が矛盾無く存在することに役立つのであろう。

References

N. Chomsky. 1957. *Syntactic Structure*. Mouton, The Hague.

A. D. Gordon. 1981. *Classification*. Chapman and Hall, London.

H. P. Grice. 1975. Logic and conversation. In P. Cole and J. L. Morgan, editors, *Syntax and Semantics, Vol. 3: Speech Acts*, pages 41–58. Academic Press, New York, NY.

T. Hashimoto. 1998. Dynamics of internal and global structure through linguistic interactions. In *The Proceedings of Multi-agent systems and Agent-Based Simulation (MABS)*, Lacture Notes on Artificial Intelligence, Berlin. Springer-Verlag. in printing.

K. Kaneko and I. Tsuda. 1994. Constructive complexity and artificial reality: an introduction. *Physica*, D75:1–10.

Y. Karov and S. Edelman. 1997. Similarity-based word sense disambiguation. *Journal of Computational Linguistics*. to appear.

G. Lakoff. 1987. *Women, Fire, and Dangerous Things*. The University of Chicago Press, Chicago.

D. Sperber and D. Wilson. 1986. *Relevance: Communication and Cognition*. Blackwell, Oxford.

L. Steels. 1997. The synthetic modeling of language origin. *Evolution of Communication*, 1(1):1–34.

J. R. Taylor. 1995. *Linguistic Categorization – Prototypes in Linguistic Theory*. Oxford University Press, Oxford.

V. N. Vološinov. 1986. *Marxism and Philosophy of Language*. Harvard University Press, Cambridge, MA.

金子邦彦・津田一郎. 1997. 複雑系のカオス的シナリオ. 朝倉書店, 東京.

深谷昌宏・田中茂範. 1996. ことばの〈意味づけ論〉. 紀伊國屋書店, 東京.