

# エージェントと類推ゲームによる会話モデルの作成とその解析

(副テーマ)

おおた さとし

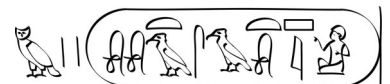
北陸先端科学技術大学院大学 知識科学研究科

櫻井研究室所属

E-mail [ootasato@jaist.ac.jp](mailto:ootasato@jaist.ac.jp)

## あらまし

言葉のニュアンスは人により異なる。そしてそれらの言葉のニュアンスは会話を通じて刻一刻と変化する。にもかかわらず多くの場合で会話は成立する。今回はこうした言葉のニュアンスの変化を考慮した会話モデルを、単純な規則にしたがってゲームするエージェントモデルを用いて表現する。そしてそのモデルの妥当性について述べる。



言葉を学ぶ。そのための唯一絶対というコンテキストはない。そして、言葉を初めて受け取る時期も状況も人によってまちまちである。だからそういった独特な背景とリンクして憶えられる言葉のニュアンスが、人によって異なっているにもかかわらず別におかしくはない。でも、そうかといって全然違うと考えるのもまた、おかしい。なぜなら外界の「共通事物」を介して言葉を割り付けるものが大半だから、同様な情景、場面、形、色などに対して利用される言葉は、「共通事物」を知る人の間で大いにそのニュアンスが合致し得るからだ。よって言葉のニュアンスを考えると、それは完全に他人と一致しているわけでもないが全く違うというわけでもない。そう考えるのが自然であろう。

ところでこの言葉のニュアンス。こいつは、さらに不安定で当たり前なのだ気づく。例えばAさんにとって青という言葉は色のうちのひとつを指すとか、信号の進めを表すためのものだけと考えていたとする。そしてそのAさんが、あるときBさんと出会い、Bさんの言葉によって青が未熟さを象徴する色だと知ったとしよう。このときAさんが、なるほどこれは使えるなと思い、これまでなかった未熟さの象徴というニュアンスを従来の青のニュアンスに加えて再構築したなら、そこでもうAさんが従来もっていた青のニュアンスとは違うものとなってしまったと言える。こうした例からわかるように、言葉のニュアンスは会話を通じて容易に変わってしまうと考えられる。

単語間関係ダイナミクスに注目した研究は(橋本,1999 ; 中野,1995;金子・池上,1997;有田,1999)既にいくつか見られているが、本研究もこうした単語間に見つけられる関係の挙動に注目し、会話という複雑な現象をモデル化する。

すなわち単語に付加されているニュアンスは個人個人異なっていてあたりまえ。しかも会話を経るごとに単語のニュアンスは変化しても構わない。そういった条件を満たした会話モデルを作成する。

□■□

## 2 基本的な考え方

### 2.1 類推度と閾値

ある言葉から別の言葉を思いつくと、類推できる、もしくは想起できるとする。

人がある言葉から別の言葉を想起するとき、そこには言葉の間に何かしら関係があり、その関係の存在によって想起できるか否かが判定されている。ここで言う判定とは、ある言葉に対し「全く関係ない言葉」は、仮に知っている言葉であろうと思いつかないものだし、逆に「少しでも関係がある言葉」は思いつき得る。そういった想起可否の区別を指している。

今回、この関係と判定を表現するにあたり、**類推度**と**閾値**というものを定義した。例えばある言葉 $x$ と別の言葉 $y$ の関係を記述するためのスカラー量として、 $x$ と $y$ の間に類推度( $a_{xy}$ )を設ける。そして $x$ から $y$ が想起できるか否かを判定するために、基準となる閾値 $T$ を定め、この類推度が $T$ を上回っているとき、 $x$ から $y$ が想起可能であると判定する。ただ注意していただきたいのは類推度 $a_{xy}$ が閾値 $T$ を上回っていれば、直ちに $x$ から $y$ しか思いつけないわけではない。

### 2.2 実際とモデルの関係

それぞれの言葉の間に割り当てられた類推度は変化する。今回の場合、この変化が言葉のニュアンスの変化に対応しているものとして捕らえている。つまり単語 $x$ と単語 $y$ の間の類推度を $a$ としたとき、 $x$ のニュアンスが $a$ の割合で $y$ から形作られていると考えるわけではない。ただ $x$ のニュアンスと、 $y$ のニュアンスとの間に何らかの関係があり、それがどの程度かを示したものが類推度 $a$ で表されている。そうしておいて、 $x$ のニュアンスと $y$ のニュアンスとの間の関係が変わる事が、すなわち、 $x$ のニュアンスも $y$ のニュアンスも変わる事だと考えるのである。

先の青色の例をとって考えればこういうことである。Aさんははじめ、青といえば色のことであり、信号の進めであった。だが、青が未熟を意味する時もあると知ったとき、青という言葉のニュアンスが変更されると同時に、未熟という言葉に対するニュアンスも同じ割合で変更されたと考えているのである。あくまで直接ニュアンスを操作するわけではない。ある語と別の語のニュアンスとの関係の強化、減退を以ってニュアンスの変化を表現するのみである。

ただあえて、この場合の青のニュアンスが何であるかと問われれば、青という言葉とそれ以外の言葉との関係の総体から表現され得るかもしれないと答える。だが、ニュアンスと言うものは言葉で表現できないからこそ、ニュアンスであるということもあろう。実際、想起することが視覚的情報などを介する事実

を認めなくてはいけない場合が多々ある。だからその言葉の関係の総体だけでニュアンスを語るのは不十分であることを認めなければならない。

### 2.3 類推マトリックスとエージェント

**類推マトリックス**というものを定義する。これはあらゆる単語の総当り表(正方行列)で、すべての語間関係の類推度を定義している。つまり行列の要素にはそれぞれの行列に示された言葉の関係、類推度が格納されている。

本研究で使用するエージェントはこのマトリックスを持っている。会話する際は、同マトリックスを参照し、どの言葉が想起できてどの言葉は想起できないかを判定しつつ、ゲームする。

### 2.4 類推ゲームと会話のモデル

人が会話すると言葉のニュアンスが変化すると述べたが、エージェントに本物さながらの会話をさせるというのはとても無理な話である。だから会話のなかで出現するであろう一部の状況を切りだし、それをゲームと言う形で表現した。

ゲームは**類推ゲーム**といい、複数の**ターン**のくり返しで成り立っている。同ゲームは複数のエージェントを用意して、それぞれのエージェントがゲームを繰り返す事で行われる。

ゲームの構成要素であるターンは、複数あるエージェントのうち2体が選ばれ、それぞれ質問者と回答者に代わる代わる割り振られ、お互いが数語提示し合うようになっている。もしn体エージェントがいるなら、1ターンでn-1回質問者をつとめ、n-1回、回答者をつとめるようになっている。

ターンでは以下のような単語のやり取りが行われ、その交わされた言葉をもとにして、類推可能マトリックスが書き替えられる。まず質問者が伝えたい1語を選択し、それから想起できる3語もしくは2語の言葉を回答者に提示する。これに対し回答者は、提示された数語から想起できる1語を質問者に返す。そして質問者は、回答者から渡されたそれが想起可能であれば「想起できる」と回答者に返し、想起可能でない語の場合は「想起できない」と回答者に提示する。最後に、この言葉のやり取りの結果に基づいて、ターンで使用された言葉の関係、すなわち類推度を調整する。

書き替え規則など、より詳しい類推ゲームとターンの説明は後方の**付録A**につづったのでそれを参考にしてもうことにして、このゲームが会話のどの部分を模倣したのかをここで説明し

ておく。

会話というのは自分のニュアンスで相手に通用するという仮説をたてて行われている。もちろん、いちいち総ての単語に対し仮説を立てなきゃという意識があって会話しているわけではないが、単語のニュアンスが個人個人異なっていると認めるなら、言葉が相手に通用するというのは仮説の域を出ていないことになる。つまり人が言葉を交わすとき、別に初めから使用する言葉のすべてが相手に通じるか否か明らかでなくとも、自分の思うニュアンスでのみ発話している状態が常、ということになる。

だが一方で、人は時として明示的に言葉の意味を確認しようと試みる。あるひとつの言葉を換言し、説明してみれば、相手の反応をうかがうのである。

というわけで、本来なら相手に自分の伝えたい言葉をいちいち確認しながら話しているわけでもないが、これを明確にしながらか会話するパターンに注目したのが今回のゲーム、そして今回の会話モデルの特徴である。

これは言葉のニュアンスが有効か無効かを直接明らかにしようとしているので、急激に言葉のニュアンスが変化しそうなケースでもある。言葉のニュアンスが変化する現象を垣間見る点では、本質的なケースだと考えた。もともと、ただかこうした現象をもちいて会話を集約するのは実にアバウトと感ぜられる点は否めないが。

ここで、具体的に会話の様子を述べる。ある人Aが確認したために何かをBに述べ、それに対してBが換言し、Aの腹積もりを満足させられるか否かをみる。

Aはある言葉1語を思いついて、それを換言して説明的に、数語で述べる。

**1-A:**「これこれこういうことなんだけど……(一体なんだろう?)」

Bは、それが何を表しているのか1語で言い返す。

**2-B:**「つまりこういうことですよ」

AはBの言葉を聞き、思いどおりだったかどうかを確認する。もしBの言葉が先にAの述べた言葉から想起可能であるなら、

**3-A—yes:**「そう、つまりそういうこと」

とAは述べる。逆にどうしてもBの言葉を想起できそうにない場合は……

### 3-A-no:「いや、違う」

と伝える。

まず、伝えたい言葉をひとつ思い浮かべ、その1語から想起可能な言葉で意思疎通可能だと仮定し、想起できた複数語を用いて相手に語りかける(上記1-A)。そしてそれが相手に通じたかどうかを確かめるため、何を示していたかを確認する。もしこの確認を通じて(上記2-B)、相手が正しく言葉を想起した(換言された)とあれば、「そうだね」と頷いてその話題を続ける(上記3-A-yes)。逆にそうでなかったら「ちがうな」という話題を切り替える(上記3-A-no)。

今ここで述べた「話題を続ける」というのは、現在のターンで思いつきた想起可能単語を手がかりに、次ターンの発話者が別の連想可能単語を初期の1語に選択する場合を表している。これに対し「話題を切り替える」というのは、次ターンの発話者がランダム関数を通してある1語を選択し、ターンを始める場合を指してそう言っている。

ところで、この節の初めのほうで述べたモデルは、こうして考えたことによって作り出したものである。より詳しい解説は付録Aを参照していただきたい。

□■□

## 3 ゲームと分析手法

### 3.1 ゲームのながれ

本研究では、100ワード記憶済みのエージェントを複数用意した。つまりそれぞれのエージェントは類推度を記述した100×100の類推マトリックスを持っていて、これに書き込まれた情報を参照しつつ、ゲームを行う。ゲームのながれに関しては後ほど詳しく行う事にして、まずはその配列の特徴について述べる。

ひとつのエージェントにもたせてある類推マトリックスのそれぞれの要素 $\{a_{xy} \mid 0 \leq x \leq 100, 0 \leq y \leq 100\}$ は、ある言葉xに対する言葉yの類推しやすさ(今回は、言葉yから言葉xの類推しやすさと同じ)をあらわしている。そして、ある閾値Tを $a_{xy} (=a_{yx})$ が上回っている場合は、xからyが(yからxが)類推可能であるとしている。これは先ほど述べたとおりである。

ゲームは複数体のエージェントが言葉を交わし、その交わされた言葉に基づいて類推マトリックスを書き替えつつ、更に言葉を交わすという具合に進む。

具体的に書き替え作業がどのように行われるか説明する為、以降2体のエージェントの一方を質問者、もう一方を回答者として話を進めるが、直感的に解り易く図化した物が付録Aの図A-3であるので、そちらも参照していただきたい。

まず、質問者はある1語(w)を想定する。そしてwから類推可能な単語を類推マトリックスからすべてピックアップし(その集合を $W_{all}$ )、更にその中から3語もしくは2語( $\{q_1, q_2, q_3 \in W_{all}\}$ )を取り出して回答者に提示する。これに対し回答者はそれら質問者から渡された3語もしくは2語から想定可能な単語をすべてピックアップ(その集合を $A_{all}$ )して、その中の1語( $r \in A_{all}$ )を選択し、質問者へ回答する。こうして回答されると、質問者はそれが類推可能であるか否かを判定し、類推可能であったとするなら( $r \in W_{all}$ )、「そういうこと」とのシグナルを回答者に渡し、もし類推不可能だった場合( $r \notin W_{all}$ )は「ちがう」というシグナルを回答者に送る。仮に、回答者が該当する言葉を持ち合わせなかった場合( $A_{all} = \phi$ )、この場合に限り、質問者は与えた3語もしくは2語から類推可能な言葉wそのものが回答者に渡される。それは「つまりwなんだよ」と言う感じに。

さて、肝心のマトリックスの書き替え方についても、詳細は後方の付録につけたが、ここでも大まかに説明する。

質問者が回答者から言葉Aを受け取ったとき、質問者は以下のような根拠で単語間の類推度を調節する。もしその言葉rが集合 $W_{all}$ に含まれていた(特に $r=w$ のときは完全類推といい、 $r \neq w$ のときは準完全類推という)ならば、その言葉の関係は以降のコミュニケーションで有効に働くとして、 $r$ と $\{q_1, q_2, q_3\}$ 間の類推度を上昇させておく。逆に $W_{all}$ に含まれていなかった場合、その言葉の関係はコミュニケーションにおいてこれから使用される可能性があると言うわけで、やはり $r$ と $\{q_1, q_2, q_3\}$ 間の類推度上げ、その他のもの $W_{all}$ と $\{q_1, q_2, q_3\}$ の間の類推度をやや抑えておく。

また回答者の更新としては、もし質問者から「そういうこと」という同意シグナルを受け取ったのであれば、 $r$ と $\{q_1, q_2, q_3\}$ 間の類推度を上げ、「ちがうな」という否定シグナルを受け取ったのであれば $r$ と $\{q_1, q_2, q_3\}$ 間の類推度を抑えるというかたちで行われる。それから、もし $A_{all}$ が空であったなら、質問者からwが直接渡されるようになるが、このときに限り、wと $\{q_1, q_2, q_3\}$ 間の類推度強化が行われる。

また、エージェントは永久に言葉を覚えていないようになっていくこともここで付け加えておく。人間が物事を忘れるように、

エージェントも忘却規則に従って物事を忘れていくのである。

さて、こうした類推度の増減を司る規則は以下の形をとる。

#### 類推度強化関数

$$a_{next}(x, y) = a_{now}(x, y) + \exp\{-|a_{now}(x, y) + \alpha|\} \quad (3. 1)$$

#### 類推度減退関数

$$a_{next}(x, y) = a_{now}(x, y) - \exp\{-|a_{now}(x, y) - \beta|\} \quad (3. 2)$$

例えば先に述べた完全類推のときの単語間類推強化を図るのであれば、(3. 1)式の形をとる。忘却規則の場合は(3. 2)式を起用する。

(3. 1)式の $\alpha$ は強化の度合いを決めるパラメータであり、(3. 2)式の $\beta$ は減退の度合いを決めるパラメータである。これらのパラメータの詳しい設定方法に関しては、付録Aに記したのでそちらの方を参考にしていただきたい。

なお、上記のふたつの式は更新の際に指数関数を通して、これは同じ作業を繰り返しても過剰に類推度が大きくなったり小さくなったりするのを避ける為の工夫として使用している。ただ極端な値を避けるだけなら、例えばシグモイド曲線の上を行ったり来たりするようにしてもよいのかもしれない。今になってそう考える次第であるが、それはおいおい時間があるときに、この改変がどれほどの違いを生むかを調べたい。

### 3. 2 エージェントの同種と異種

これからいくつかの実験を述べるが、同種と異種という概念を使うので、ここではそれについて説明する。これはあるエージェントから見たほかのエージェントに対する指標であり、類推マトリックスが初期化されたときに決まる。

類推マトリックスの要素はプログラミング言語のランダム関数を通して与えた。また、ランダム関数のシードは時間を指定した。よって用意される度、常に違うマトリックスになる。つまり、もしエージェントAとエージェントBの類推マトリックスを用意する際、このランダム関数を通じて初期化したなら、必ず異なった類推マトリックスが用意される。だからAとBを異種関係にしたのであれば、ただ初期化するだけでいい。

同種のエージェントを作成するには、一旦異種として初期化された2体の類推マトリックスを一方から他方へコピーする事で実現できる。ただコピーする際、そのままの値を転記しない。「人は異なったニュアンスを持つものだ」という根拠に基づいて微妙に増減して代入する。ちなみにこの増減も、ランダム関数

を通じて行う。

### 3. 3 クラスタ分析

今回、100語の固定単語をエージェントに与えてある。これらがゲームを通じてどの様にクラスタリングされていくか、これを調べることは、ここで用いたアルゴリズムが適切かどうかを判定する上でよい手がかりとなる。そこでクラスタ分析を諸処で行うわけだが、研究者個人の見解から、クラスタ分析の諸方式のなかでも最短距離法や群平均法を使ったほうが直感的にいい結果をもたらしてくれると感じた為、このいずれかの方式によって分析し、デンドログラムを表示していくことにした。

最短距離法はカレントクラスタ(要素)で最も類推度が高いものを基準として、上位クラスタを作ろうという方式である。これは頻繁に参照されたり、最近使用された言葉を明確にしたい場合、有効な分析結果をもたらす。なぜなら使用されない言葉の関係は忘却規則にしたがって低下していくのに対して、頻繁に使用されたりする言葉の関係(すなわち類推度)は高く保たれているし、最近使用された関係の類推度は高い可能性があるからである。

一方、群平均法はカレントクラスタ(要素)全体の情報を平均して、アッパークラスのクラスタを形成するよう工夫されている。そういった意味で、より全体的な様子をクラスタから窺い知ろうとする際、有効に機能する。

今、デンドログラムは類推マトリックスの値を参照して書かれるわけなので、結果、どの言葉がどの言葉のニュアンスと関係あるかを示すことになる。そして、デンドログラムの結果が2つのエージェントの間で似ているなら、その2体でそれぞれの言葉のニュアンスが似ているかもしれないと言う手がかりを与えてくれる。

ただ、ここで問題となるのは、クラスタ分析した時の結果が、果たして何を意味し、どうしてそうなのか、そして何の根拠に基づいてそれを説明するか、これが大いに研究者の主観に依存して決められる。この点を再解釈する方には留意していただきたい。

### 3. 4 想起可能単語数

類推マトリックスの特徴を間接的に調べる指標として、想起可能単語数なるものを定義した。これは類推マトリックスの上(もしくは下)三角行列に注目し、その要素の中で閾値を上回っている要素がいくつあるかを数えたものである。

## 4 実験

いくつか実験を行ったが、それらはモデルの有効性について示すものである。今回は時間の折り合いがつかなかったのもこのモデルがどれほど会話モデルとしての妥当か、その程度のことしか調べることができなかった。

### 4.1 同種2体でゲーム

同種間の会話は、会話が成り立つ展開が多いと想像できるが、回答者の答えに対して質問者から渡される判定結果を窺ってみたところ、ターンはほとんど成功していることが判明した(表4. 1:3 ページ後方)。

図4. 1は0ターンから400ターンの間におこった想起可能単語数の変化である。どうも開始からの暫らくは微妙に低下している様だが、恐らくこれはランダムに与えた類推度の影響が、この間に消化されたために起きた現象と考える。表4. 1からわかるように、ゲーム初期の段階でターン不成立の状態があったことからそう言える。

さて、初期値の影響もおさまり、ターン不完全類推や、類推不可がほぼ起きなくなった(表4. 1)5000ターン終了後のクラスタ分析を行って、同種エージェント同士の言葉のニュアンス

の違いを調べてみた。2体それぞれの類推マトリックスをクラスタ分析にかけた結果は図4. 2から図4. 4に与えてある。

これを見ると、必ずしも同じデンドログラムの形をしていないので、2つのエージェントで内部事情、すなわち類推マトリックスが異なっていると察せられる。ゲームが多くの場合で成り立っているのに、類推マトリックスが異なっているという事は、各々の言葉のニュアンスが異なっているという事は、ゲーム(ターン)が成り立つことを物語ってくれている。

10000ターン後のクラスタ分析を図4. 5と図4. 6で与える。群平均法で分析した結果で、同じ様な単語が似たようにクラスに分けられている場合が多い事から、お互い非常に近い言葉のニュアンスを持ち合わせていると考えられる。これは同種関係にある2体でゲームしていることから当然だろうと考えられるが、あとで示すように、もっぱら単語ひとつあたりの類推可能単語数が低い(表4. 2)為に起きた現象と考えている。

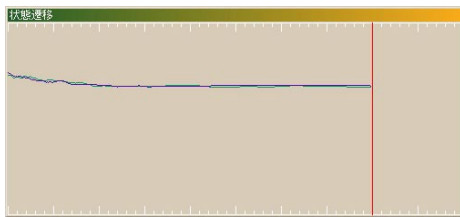


図4. 1 ゲーム0ターンから400ターンまでの類推可能単語数の変遷

同種関係にある2体のエージェントが、400ターンまで会話したときの類推可能単語数の変遷である(重なっていて見にくい但实际上は2本ある)。縦軸は類推可能単語数、横は時間軸に相当している。

語数がゲーム初期で微妙に低下していることがここから読み取れる。この現象は類推度の初期値が、ランダム値で初期化されたことに起因している。つまり、類推できるか否かという微妙な初期値を割り当てられたものもいくつかあり、忘却手続きによってすぐさまエージェント両者の間で類推不可能にされたためと考えられる。

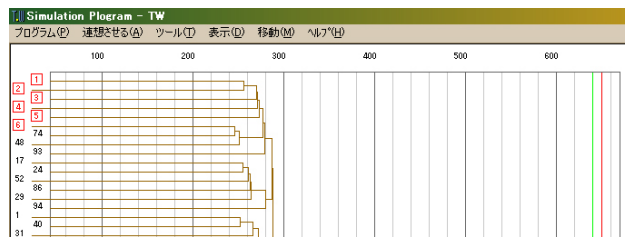


図4. 2 400ターン後のデンドログラム(最短距離法)

左図がエージェント一方に対する類推マトリックスのクラスタ分析。右がもう一方のエージェントに対するもの。デンドログラム配置は図4. 3、図4. 4でも同じで、左がA、右がBである。また表の上に記された100から600までの値は距離である。例えばある距離xでこのグラフを見ると、xにおいてどの要素と組になってクラスタを形成しているかわかる仕組みである。

□番号は見やすいように便宜上付加したものの。図の左右の間では□番号は同じ単語番号を指している。ただ、以降の図で使用され

る□番号が、必ずしもこの図で使用された単語番号を指しているわけではないので、注意していただきたい。

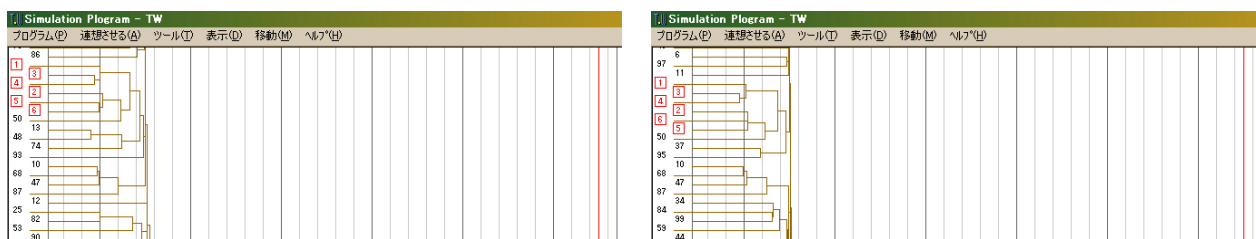
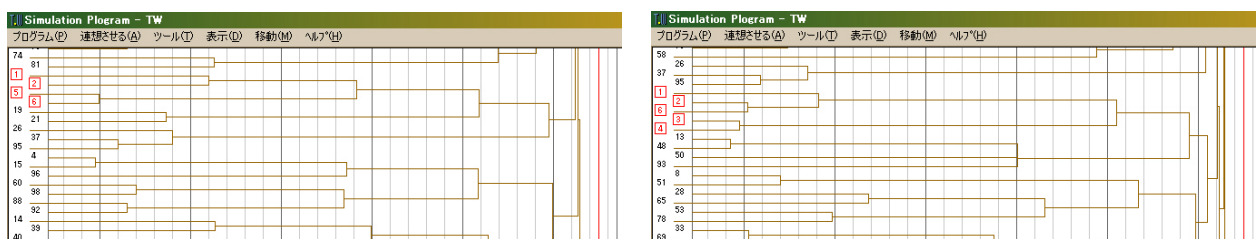


図4.3 5000ターン後のデンドログラム(最短距離法)

四角で囲まれた番号は図4.2で用いたものとは異なる。□1から□6は、それぞれ、7、35、16、18、67、77である。この単語の関係は両者の間で比較的に行っている。つまりそれぞれの単語のニュアンスがにているとも考えられる。

1)



2)

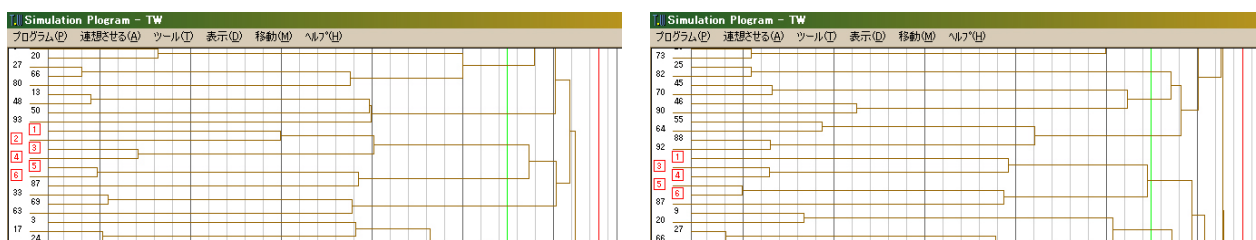


図4.4 5000ターン後のデンドログラム(群平均法)

1) 四角で囲まれた番号は図4.3で用いたものと同じ。□1、□2、□6は、各々のエージェントでよく似たニュアンスを持つと考えられる。左のエージェントは□5と□6の関係が強いのにに対して、右のエージェントでは□5の姿がないようだ。つまり□5と□6に関するニュアンスは、それぞれのエージェントで異なっていると考えられる。

2) 四角で囲まれた番号は図4.3で用いたものとは異なる。  
ちなみに、□3をのぞく□1から□6は、距離580あたりでスライスすると同じクラスタにふくまれる。この単語関係は互いの間でよく似た類推関係を持っていると考えられる。

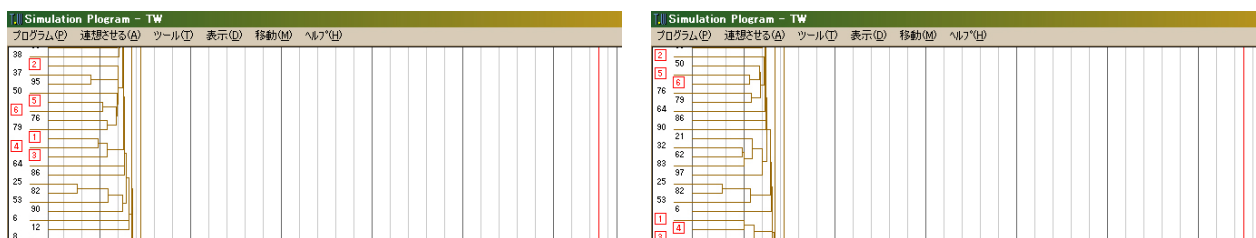
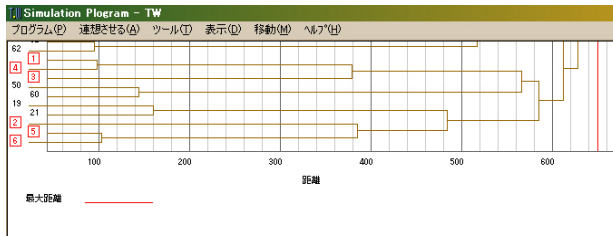


図4.5 10000ターン後のデンドログラム(最短距離法)

四角で囲まれた番号は図4.3で用いたものと同じである。  
5000ターンから更に5000ターン経過した後では、□1、□4、□3のニュアンスが各々のエージェント間で似ているようだ。それは□2、□5、□6の間の関係でも、同じことが言える。

1)



2)

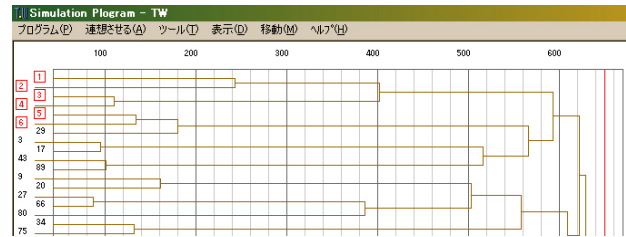
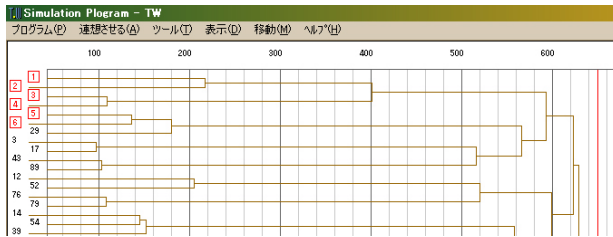


図4.6 10000回ゲーム後のデンドログラム(群平均法)

- 1) 四角で囲まれた番号は図4.3で用いたものと同じ。□1、□3、□4、19、21、□2、□5、□6の組み合わせは、各々のエージェントでよく似たニュアンス構造を持つと考えられる。
- 2) 四角い枠で囲まれた番号は、以前の図で使用されたものとは異なる。これは見分けが付きやすいように便宜上使用しただけである。さて、距離600でスライスしたとき、□1 から□6、29、3、17、43、89 が同じクラスタを形成する。これらの組み合わせも、各々のエージェントでよく似たニュアンス構造を持つと考えられる。

□

## 4.2 異種2体でゲーム

ついで異種同士が会話した例に付いて述べる。

ゲームが400ターンに至る間、類推可能単語数がどのように変遷したかを、まず図4.7に示す。これをみると、初期状態と比べて1.5倍ほど想起可能単語数が増えたようである。要するにこれは、お互い知らなかった言葉のニュアンスがゲームを通じて次々と叩き込まれていったため、生じた現象と捉えられる。

図4.8と図4.9はターン5000回目でクラスタ分析した結果である。分析対象は例によってエージェントの類推マトリックスである。まず図4.8で示されているものは最短距離法を利用してデンドログラムを書いた。これをみると、比較的最近、もしくは頻繁に参照されたとおもわれる言葉同士は、エージェントをまたいで似たようなクラスタに分類されているようにみえる。

この現象が現実の何を模しているか例えるなら、最近話した事や、頻繁に使用する言葉が他人と共通したニュアンスを持っているなどを取り上げる事ができる。

図4.9は、同じく5000ターン目の類推マトリックスを群平均法によって分析したものだが、これによると、全体的にクラスタを把握しようとした場合、異種間で同じようなクラスタが形成されているわけではないと判定できそうである。それは、図4.10

や図4.11の関係からも言える。実際、部分的に要素の一致したクラスタがあっても、全体的に見るとやはり異なっている傾向が同種の場合より強いようである(特に10000ターンこなしただけでは)。

こうした現象が起きる理由として、1単語あたりの類推可能単語数の多少が影響していると考えられる(表4.2)。

先の同種同士のゲームでは、ほとんどのターンで完全類推が起きている(表4.1 図4.12)。つまり類推できる言葉が限られていて、質問者によって与えられた言葉から類推できる言葉が、多くの場合、ひとつに決まっていた。だが、異種同士の場合は相当な割合で準完全類推でターンが成り立っている(表4.1)ことからわかるように、同じ条件でも複数の言葉が想起された場合が多かったといえる。つまり同種同士のゲームよりも異種同士のほうが多様性に富むゲーム展開がなされていたと推察する(図4.12)。



	同種同士2体のゲーム			異種同士2のゲーム		
	5000回平均 (回)	50000回平均 (回)	生起割合(/5000)	5000回平均 (回)	50000回平均 (回)	生起割合(/5000)
完全類推	9784.1	98853.8	9896.6	8827.9	94388.3	9506.7
準完全類推	148.5	1076.2	103.1	591.9	5003.8	490.2
不完全類推	0	0	0	18.1	19.5	0.15
類推不可能	67.4	73.6	0.689	562.1	588.2	2.9

表4. 1同種と異種の関係にある2体の会話の様子

同種と異種の関係にある2体のゲームに関し、それぞれ5000ターン(双方1ターンずつでカウントしたので正確には2倍の10000ターン)した場合と、50000(100000)ターンした場合で、どのような類推が行われたかを調べたもの。ここでの回数は10回シミュレーションして平均したものを提示してある。

「生起割合」の列は、5001ターンから50000ターンしたとき、5000回あたりに換算して、どの類推が何回成されたかを示めている。ここから言える事は、5000ターンを終えていれば、不完全類推や類推不可能なものは大概なくなっていることがわかる。そして準完全類推の発生する頻度は、同種と比べて異種の方が5倍弱高いこともわかる。

	同種同士 (個)	異種同士 (個)
平均類推可能単語数	5.54	11.82

表4. 2 類推可能単語数の比較

同種関係と異種関係にある2体が5000ターンを繰り返した後、1単語あたりの類推可能単語数がいくつあるか調べたもの。

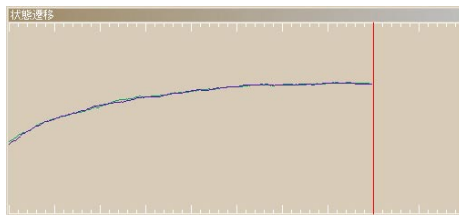


図4. 7 0ターンから400ターンに至るまでの類推可能単語数遷移

縦軸が類推可能単語数、横は時間軸。異種同士の場合だと、ランダム値で初期化された影響は見られない。仮にそのような現象が裏で起こっていたとしても、それは互いが新しい類推関係を獲得する度合いより、はるかに少ないということである。

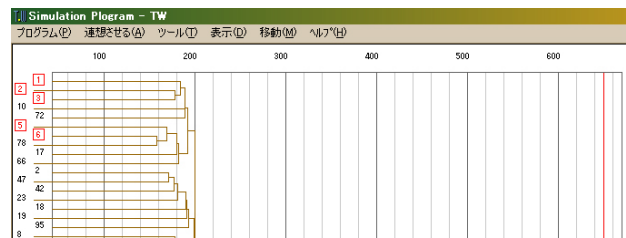


図4. 8 5000ターン後のデンドログラム(最短距離法)

異種の関係にある2体のゲームで5000ターンした後、それぞれの類推マトリックスを最短距離法をつかってクラスタ分析したもの。左図に対して右図は他方のエージェントに対する物。これを見るとこの2体が比較的似たようなクラスタを形成しているが、全く同じわけでもないようである。

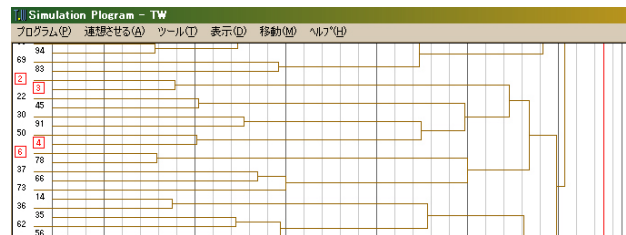
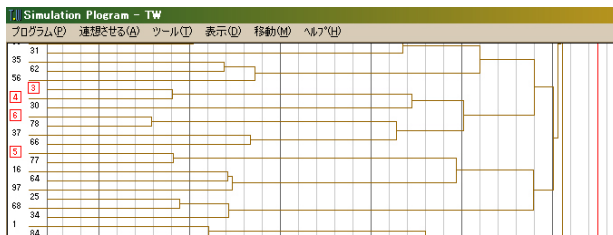


図4. 9 5000ターン後のデンドログラム(群平均法)

異種の関係にある2体のゲームで5000ターンした後、それぞれの類推マトリックスを群平均法でクラスタ分析したもの。先ほどと同様、左図に対して右図は他方のエージェントに対する物。ただ、ここで注意してもらいたいのは、□番号が図4. 6で使用した□番号と同じことである。これを見ると、小さい距離でこそ同じクラスタに入ることはなさそうだが、□3、□4、□6は距離580あたりで切る

と同じクラスタに入る。

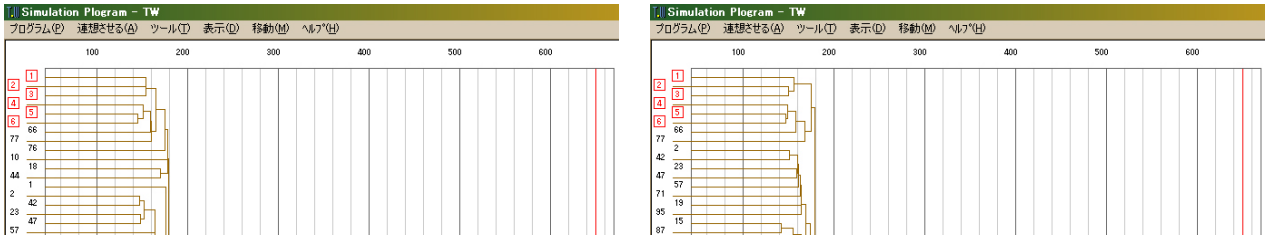


図4.10 10000ターン後のデンドログラム(最短距離法)

異種の関係にあるエージェント2体のゲームで10000ターンした後、それぞれの類推マトリックスを最短距離法でクラスタ分析したもの。対象となるエージェントは左右で異なっている。

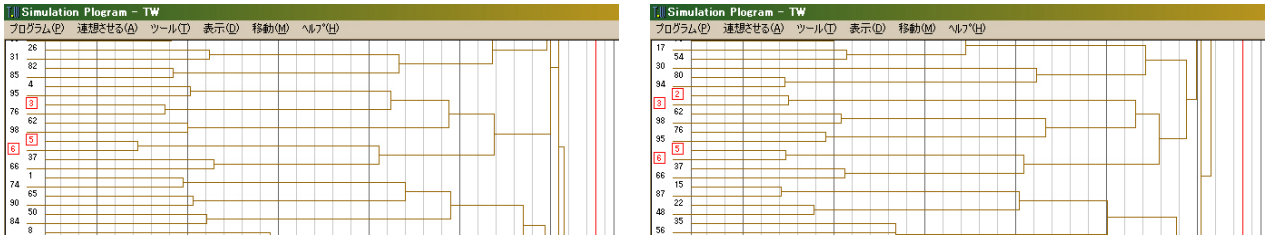


図4.11 10000ターン後のデンドログラム(群平均法)

異種の関係にある2体のゲームで5000ターンした後、それぞれの類推マトリックスを群平均法でクラスタ分析したもの。先ほどと同様、左右で対象となるエージェントは異なっている。

ただ、ここで注意してもらいたいのは、□番号が図4.6で使用した□番号と同じことである。これを見ると、小さい距離でこそ同じクラスタに入ることはなさそうだが、□3、□4、□6は距離580でスライスすると同じクラスタに入る。

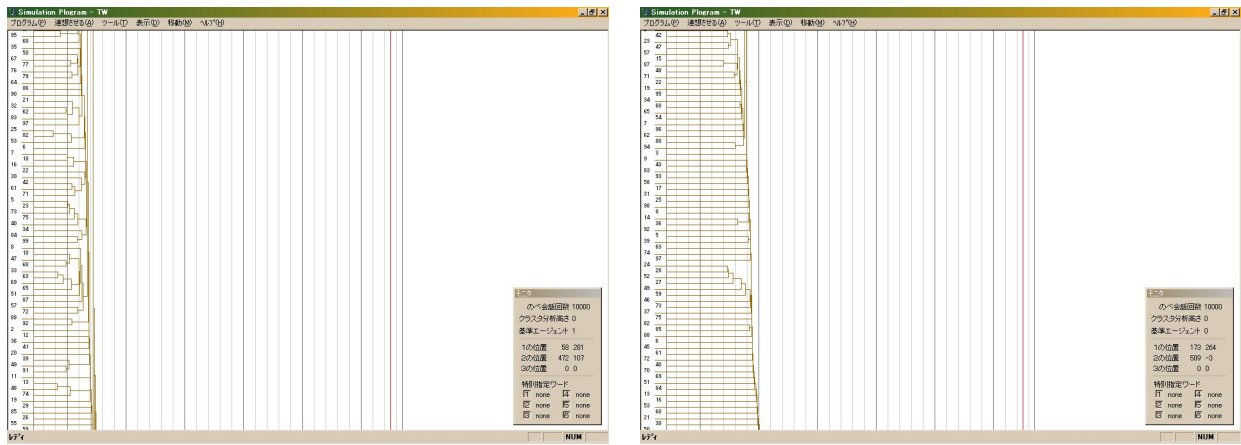


図4.12 同種と異種の10000ターン後のデンドログラム(最短距離法)

左が同種同士のゲーム10000ターン後のデンドログラム。同じく右が異種同士。  
1単語あたりの類推単語数が低いよりよい証拠として最短距離法の形状をあげることができるのでここに示す。  
最短距離法による分析は、頻度の高い類推の組合せに敏感である。それは、類推される組合せが決まりきっているなど、はっきりしているときは、短い距離で多数クラスタリングされることによる。  
いま、1単語あたりの類推可能単語数が、異種同士よりも少ない同種同士の試行では、段階のはっきりしたクラスタ構造を見る事ができる(左図)。これに対し、異種同士の場合は、類推される単語がまちまちになって特異的に類推度が高くなる事がなくなる。つまりデンドログラムにおいてははっきりした段階が現れにくくなる(右図)。この平坦化現象は、ランダム関数によって(付録A参照)平均的に単語の組合せが選択される仕組みをとっていることに起因していると考えられる。

□

### 4.3 同異混在3体でゲーム

今度は同種2体に対して異種1体の計3体でゲームした場合

を調べる。以下では同種2体をそれぞれA、Bであらわし、それにたいする異種を $\alpha$ と表す。

図4. 13はターン0回から990回までのグラフを示したものである。ひとつだけ素早く立ち上がる線は、 $\alpha$ の類推可能単語数の変遷をあらわしている。A、Bに対して $\alpha$ の立ち上がり早いのは、A、Bが異種と接する回数に比べ、 $\alpha$ が異種と接する回数が多いためと考えられる。

4. 1節と4. 2節の事例から、同種同士がゲームしても類推可能単語数は増加しないことが示され、異種同士のゲームでは明確に増加することが示された。このことから、もっぱら異種同士の会話が類推可能単語数の増加をもたらしたといえる。

仮に10体同種同士のゲームでは、意外な事に本当に少しだけ全体の類推可能単語数が増加した節がある(図4. 14左)。しかし、10体同種に対して1体異種を混ぜたほうがよほど類推可能単語数は増加しているこのことから(図4. 14右)、やはり異種同士のゲームが、類推可能単語数の増加をもたらしていると結論付けて差し支えない。

さて、この同種異種混同の場合で、単語関係のクラスタがどのように変化したかを分析する。例によってある程度ゲームさせたあとの類推可能行列をクラスタ分析し、どのような言葉が盛んに使用され、それらの言葉がどのようなクラスタを形成しているかを見てみた。

図4. 15は5000ターン時の最短距離法によるクラスタ分析である。この結果を見ると、□1から□6に該当する単語は3つのエージェントの間で、比較的安定して想起されているといえる。ただ群平均法でクラスタ分析した図4. 16からわかるように、最短距離法で比較的近い距離で同じクラスタに分類されているからといって、それが群平均した場合で同じクラスタに入っているわけではなさそうである。これは先ほどの異種の会話でも見られた現象だが、ようするに、1単語あたりの想起可能単語数が多いときは、時と場合によって組み合わせられる単語が

違ったりするため、決まったクラスタに落ち着きにくいと考えられる。

図4. 17は10000ターンゲームした時の最短距離法によるクラスタ分析である。5000ターンのときと同じ単語番号へ□1から□6をわりあてた。これらの単語のうち□1から□4が10000ターン後も5000ターンのときとおなじようなパタンでクラスティングされていることから、この3つのエージェントの間で安定したニュアンスとして確立されているように感じ取れる。

こうしたニュアンスの安定化現象が起きる直接的原因はどうか、□2の単語が僅か5つの単語としか類推可能関係を持っていないことによると考えられる。10000回ターンさせたときの1単語あたりの平均類推可能単語数が12.32個であることを考えると、5個とは少ない部類に入る。しかもそれは、同類同士のシミュレーションの平均類推可能単語数とも似た値である(表4. 2)。このように、比較的限られた単語が頻繁に参照されるようになっていたため、□2から類推すべき言葉との間の類推度が高く保たれつづけ、結果、3つのエージェント間の共通した言葉のニュアンスとして安定していたと説明できる。

現実でもこういった現象がある。例えば、専門や特殊な状況で使う独特な言葉、仮に選ぶとすれば量子力学用語の「ハミルトニアン」のような言葉は、多くの人でそのニュアンスが一致しているという事実がある。それはごく限られたシーンで利用され、そのうえ、シーンのヴァリエーションが少ないため、人それぞれのニュアンスが異なりにくいのが特徴である。これに対し、一般的に使われる言葉、例えば「青い」のような言葉のニュアンスは、人によってそのときそのとき想起できる言葉で異なっていておかしくない。つまり、多くの言葉を類推でき、それゆえ多くの人がある時々のニュアンスを異にして使用していると考えられるのである。

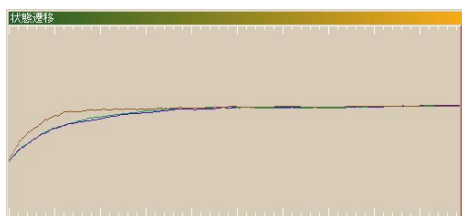


図4. 13 同種・異種関係混合3体のゲームにおける类推可能単語数の変化

同種関係にある2体と、その2体に対し異種関係にある1体の計3体をゲームさせた場合の类推可能単語数の変化。0回から990ターンを繰り返したあとまでをしるしたもの。

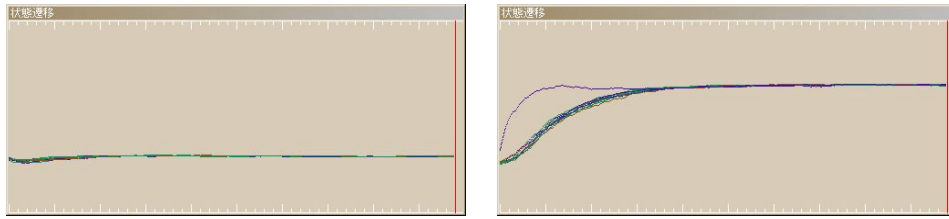


図4. 14 同種異種混合10体、及び11体のゲームにおける類推可能単語数の変化

左図は、同種関係にある10体のエージェントがゲームした場合の類推可能単語数の変化を表している。ターンは0から990回まで。1本のように見えるが、実は10本が重なっている。はじめ方で同種関係2体の場合と同様、類推可能単語数の現象減少があったが、今回の場合、その後少し上昇しているように見える。

右図は、同種関係にある10体のエージェントに加え、それらと異種関係にある1体のエージェントを加えた場合で、それぞれのエージェントの類推可能単語数が0回から990回のターン間どのように変化してきたかを示したものの。一本だけ抜き出して早くたちあがるものがあるが、これは異種関係にある1体に関するものである。今試行の場合、急激に上昇した後、多少減少したことから、記憶限界に達したのではないかと考えられる。

ところで、2倍以上類推可能単語数が上昇しているが、これはランダム初期化による値の揺れによって生じた固有の類推単語が10体にわたって表現されていた事によると考える。

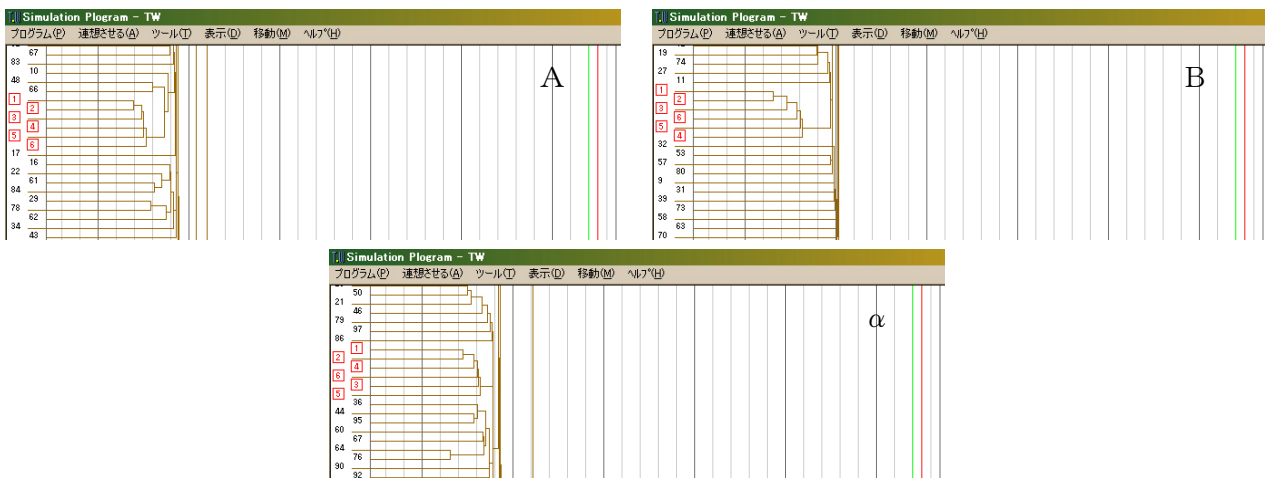


図4. 15 同種・異種混合3体における5000ターン後のクラスタ分析結果(最短距離法)

同種関係にあるエージェント2体と、それらに対し異種関係にある1体にゲームをさせる。その5000ターン後、それぞれのエージェントの類推マトリックスがどうなっているかを、最短距離法を通じてクラスタ分析を通じて調べた。

この図からわかるように、3体の間で同じ単語の組み合わせが同じ様なクラスタを形成する場合があると示されている。しかも、こうして3体の間で共通的に類推され得る単語の組み合わせは、長時間使用されていた。今回の場合、□1から□6は図4. 15から図4. 17まで一貫して同じ単語をモニターしてあるが、10000回するとき(図4. 17)でも□1から□4に関しては使用されつづけていることが示されている。

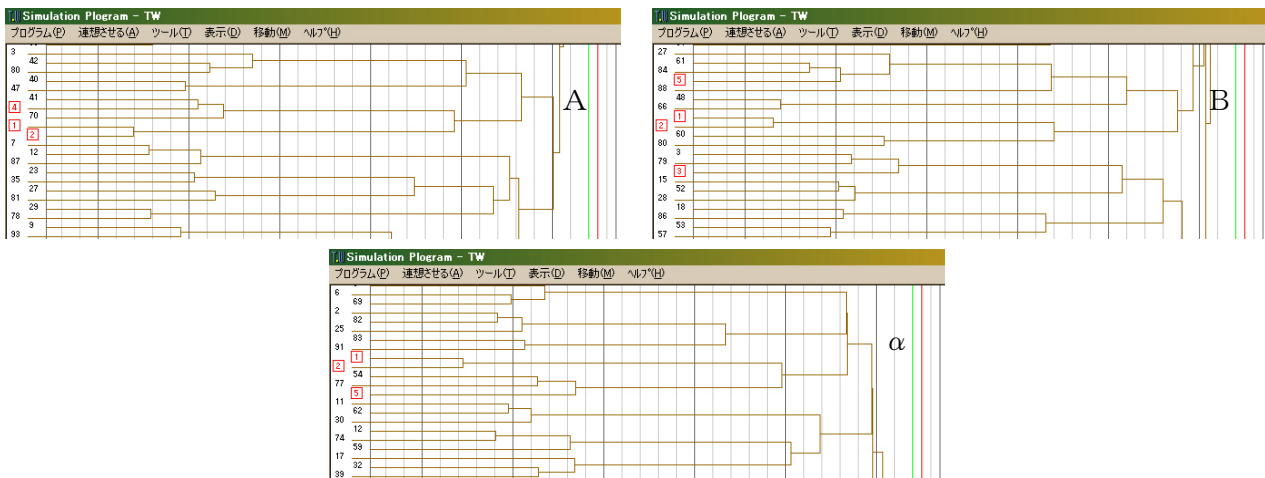


図4. 16 同種・異種混合3体における5000ターン後のクラスタ分析結果(群平均法)

図4. 15のときと同じく、同種関係にあるエージェント2体と、それらに対し異種関係にある1体にゲームをさせる。その5000ターン後で、それぞれのエージェントの類推マトリックスがどうなっているかを、群平均によるクラスタ分析を通じて調べたものである。ここでの□番号は図4. 15のものと同じである。

4. 2節の試行(図4. 9)でも見られたように、最短距離法でクラスタを形成しているからと言って、それが群平均

でも同じクラスタを形成しているわけではなさそうである。

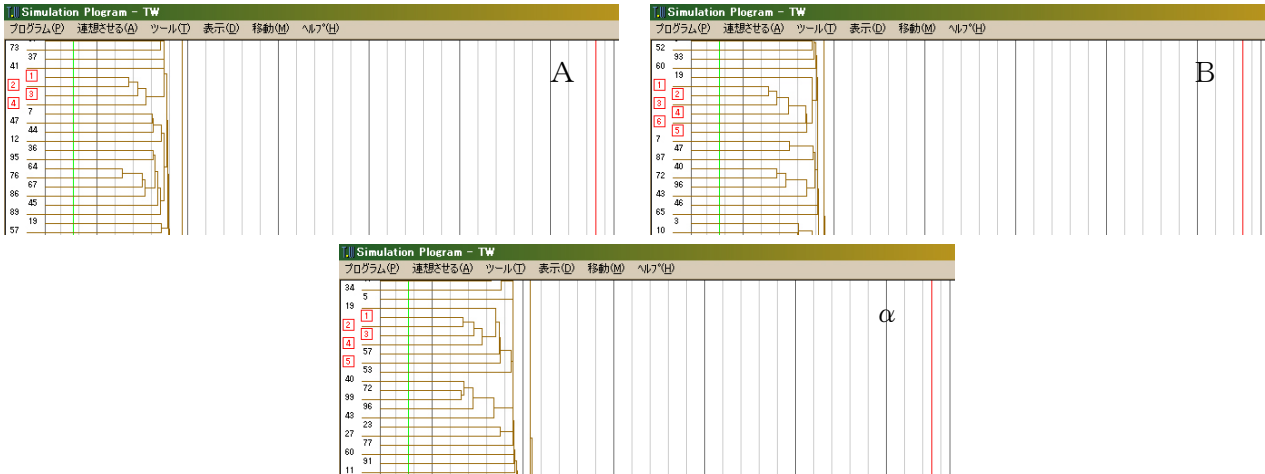


図4. 17 同種・異種混合 3 体における5000ターン後のクラスタ分析結果(最短距離法)

さて同じく、同種関係にあるエージェント2体と、それらに対し異種関係にある 1 体にゲームをさせる。その10000ターン後で、それぞれのエージェントの類推マトリックスがどうなっているかを、群平均によるクラスタ分析を通じて調べたものである。ここでの□番号は図4. 15、図4. 16のものと同じである。

図4. 15のときよりも増して5000ターン多いわけだが、□1から□4にかんしては図4. 15と同じクラスタ構造が見られる。

□

#### 4. 4 試行のまとめ

以上に示した3つ程の試行をもとに、今回用意したモデルの特徴についてまとめる。

まず、エージェント同種2体のゲームを試みた結果、おもしろい変化は生じないことがしめされた。これに対し、異種関係にある2体のゲームでは、お互い持ち合わせていた類推可能単語を吸収しあう現象が観測された。そしてそれは、同種関係にある複数の個体に、その複数の個体と異種関係にある1体を加えた最後の試行で示されたように、仮に1体でも異種を含むのであれば、類推可能単語数が増えるという結果をもたらしてくれた。つまり異なる知識を持つもの同士が、会話を通じ、各々知識を吸収しあうような現象がここでは生じていた。

また、エージェントの類推可能単語数は、最終的にどのエージェントでも同じになっていることが明らかになっている。ついぞと言ってしまつと、最終的に、閾値を通した類推マトリックスは同じパターンを呈していた。つまり、ある言葉を指定したときに類推できる言葉の集合が、どのエージェントでも全く同じになっていたのである。だがそうだからと言って、閾値を通す前の類推マトリックスは決して同じではなかった。この間接的証拠として、デンドログラムはそれぞれのエージェントで全く同じ形状をしていない。しかも類推可能単語数が多ければその傾向はますます。つまりここに、エージェントは個々の言葉から同じ言葉を類推できるかもしれないが、そのニュアンスはその人その人同

じわけでもない雰囲気を感じる事ができていると考えられる。

言葉関係が表面上一致しているからといって、実際に中身がどうなっているかはわからない。コンテキストが言葉のニュアンスに影響を及ぼすのならなおのこと、その言葉に同じニュアンスが割り当てられているとは考えにくい。これははじめに述べたとおりであるが、今回作成したモデルは、先に示した結果を踏まえ、そうしたニュアンス不確定の一面を孕み、それでいてゲームがなされる(ターンで類推が成功する)といった様式をそれとなく表現できたと言える。

□■□

## 5 モデルの再考

改良した方がよい点はいくらかもある。ここではそれらの点を取り上げ、そこから期待する結果について考えてみたい。ただあくまでもこれから示す事柄は例であつて、ここに示す限りではない。

### 5. 1 ランダム関数の使用制限

今回のモデルでは、ある言葉を類推するとき、一旦ある集合に類推できる単語を収めて、それからその集合の中から必要となる数だけあらためて選択していた(付録A 及び同付録図A-3 参照)。ところでこの選択にはランダム関数を用いたの

であるが、ランダム関数を用いる根拠は以下に示すことによる。

つまりその根拠とは、「複数想起できるけども、相手に渡す数が制限されていて、さらに必要なものを選び分けなくてはいけなくなった。だが、ここでいずれの言葉を選ぶか、それ自体に根拠はいらないだろう」というものである。

確かにこう考えると一見よさそうなものだが、例えば、想起に優先順位が存在し、そしてそれが今までのゲームの脈絡と大きく関係しているとあれば、今回採用した根拠はおかしいかもしれない。人は無意識のうちにその想起優先順位なるものに縛られて想起しているかもしれないだろうし、その順番がそのまま相手に答える順番ともなり得るから。

もしここで示した想起優先順位を認めるのであれば、確率的選択方法を考慮したほうがより現実的かもしれない。例えば、以下のように選択確率を定め、類推度が高いものほど高い確率で選択されるようにするのである。

$$P_{ij} = \frac{a_{ij}^k}{\sum_{j \in \text{AssosiableWords}} a_{ij}^k}$$

ここで類推度 $a_{ij}$ は単語 $i$ から単語 $j$ の類推しやすさを表し、この $j$ は $i$ から類推できる単語の索引番号のすべてをあらわしている。 $k$ は影響力を調節するパラメータ。 $P_{ij}$ は $i$ から連想可能なすべての単語 $j$ の何れが選択されやすいかを示した確率である。

ただ、類推度が高いからといって最近選択されたという保証はないので、この考えをそのまま使うというわけにはいかない。その点注意が必要である。

## 5.2 類推可能行列を非対称にするか三角行列に限定する

今回用いた行列は正方かつ対称の行列である。よって、ある言葉 $x$ から言葉 $y$ の類推しやすさを表した類推度は、 $y$ から $x$ の類推しやすさを規定する類推度と同じ値を採用していることになる。だがふつう、 $x$ から $y$ を類推する事と、 $y$ から $x$ が類推される事は必ずしも同じ類推しやすさを持っているように思えない。むしろ一致している方が実に特異的である様に感じられる。

ではなぜ今回、非対称行列を使わなかったのか。

それは「相手に伝えたいものがあって連想を働かせる場合と、相手の言葉を素直に受けとめて連想する場合では類推のやり方が異なっていると考えられ、それゆえ、同じ類推度を使用し

ていいかもしれない」と考えたことによる。一見わけがわからないかもしれないが、つまりこういう事である。相手に物事を伝えたいときは、自分で考えているものを相手が類推しやすいような言葉を選び、語っているかもしれない。だから、相手の立場になって類推を働かせている可能性が十分ある。それに対し、ある言葉から単に類推する場合はそうした配慮はしていない。

ここに、類推する為の原因は異なっても類推の仕方に大差はないとした理由がある。ポイントは相手の立場に立ったとき、どう類推するかというのを踏まえると、参照しかたが同じで良いとかがえられることである。

よって今回用いた行列は、上(もしくは下)三角行列だけで類推可能単語を把握できたわけなので、行列は半分ほど要素を減らせたことになる。

ただ、一般的な会話パタンのときはこうした配列を用いていられない。そのため、ある単語 $x$ から別の単語 $y$ を想起する際と、その逆では異なった類推度を参照できるようにしておくべきだろう。

仮に類推マトリックスが非対称とすると、想起する単語の順番といった概念が誘発されるかもしれないと考えられる。例えば $a_{xy}$ と $a_{yx}$ がはじめは同じ様な類推度で規定されていたとしよう。それがゲームを経るごとに書きかえられ、遂に $a_{xy} > T$  (閾値)  $> a_{yx}$ とするなら、 $x$ から $y$ を想起できても、 $y$ から $x$ を想起できないと言った、単語の想起順序の仕組みがあたえられたことになる。

順序を組み込むことは、時間のながれ、文法の組立て、といった順番に意味のある現象に沿うものである。よって非対称の類推マトリックスを導入することは、このモデルをより発展させるうえで重要なポイントであろうと推測する。

## 5.3 記憶できる単語数を非固定にする

今回使用したモデルの単語数は100語に固定されていた。そのため、新しい単語が付加されることもなく、使われなくなった単語が切り捨てられる事もなかった。そこで思い当たる工夫として、流動的な単語の取捨を認めてはと思いつく。ただよくよくかんがえると、人の場合、一度覚えた単語を忘却し切めることは少なそうなので、切り捨てる現象を実装する必要性はあまりないかもしれない。が、とにかく、新しい単語ぐらい加えられるように工夫しておく方がいいようには思う。そうした方が、実際の会話で行われている状況により近づくと考えられるわけで

あるし、言葉を明示的に覚えるよう仕向けなくても、エージェント自身が勝手に覚えてくれるという点が有効に使えようから。

ひょっとしたら、赤ん坊から成人に至るまでの単語獲得のメカニズムを解明する。これを実践できるかもしれないという計画も抱けるというものである。

#### 5.4 単語を文字列化する

今回のモデルの場合、単語は番号で代表されていたが、実際は記号の列で表される。しかも、ある単語とそれとは別の単語の組み合わせが、時として、それぞれとは異なるニュアンスの単語を作ったりする。こうした状況に対処できるよう、番号ではなく文字の列として単語を与えた方がより現実的であろう。

では一体どのような状況で単語の結合、分割などの操作が、どういったメカニズムに基づいて行われるか。確かにそれは明確でないが、たとえば頻繁に連続使用するふたつの単語を、あるときひとつのように使い始めるとかが一例として挙げられるのではないだろうか。

#### 5.5 仲間意識の実装

人というものは様々な側面を持つ。例えば馬の合う人とは積極的に接していこうとするし、合わない人とは避けようとする。避ける際、時には相手の言葉が通じないふりをするし、相手に通じなさそうなものを積極的に使ったり、はたまた悪いイメージの言葉を頻発して貶めたりする。

仲間内と仲間はずれ。そうした集団の分化現象は、人間の持つ嗜好の偏り、そしてそれによって生じる対人関係の偏りから生じると考えられる。今回用いたモデルはこうした好みを持っていないが、仮にもこうした嗜好を加えるのなら、集団化のシミュレーションなどを行えるかもしれない。

そしてまた、先の単語を文字列化することを踏まえると、仲間内で使用される言葉のなかに、仲間はずれに通じない言葉が発生させられるかもしれない。

ところで、集団が分化してくる現象をシミュレートする際、数十体、数百体のエージェントが必要となるので、メモリ節約の為の工夫などが必要かもしれない。

□■□

## 6 アプリケーションについて

そもそもこうした試みの背景にはある目標が横たわっている。

そしてそれは機械にも癖があって良いんじゃないかと言うコンセプトにもとづいている。

初めの方でも述べたが、言葉に割り当てられているニュアンスが人によってまちまちであり得るわけだから、当然、人が使っている言葉の集合とそれらの関係の様子は人によって異なっている。つまりしぐさに癖がある様に、言葉のニュアンスにも癖があるのだ。またそればかりでなく、時間を経ればニュアンスは絶えず変化していくものですらありうるから、その癖は変化するものでもある。

そんな安定性に欠ける言葉の集合を利用して、頻繁に接する機械と会話させたい場合、当然機械にはそれなりの柔軟さが求められる。勿論、人間が機械の把握している言葉と意味との関係をすべて憶え、その固定された仕様に適応すれば、それで万事解決するかも知れない。だが人がわざわざ機械の為に言葉のニュアンスを変更させなくても済むのであれば、それに越した事もないし、第一自ら使っている言葉が、ひょっとしたら機械に規定されてしまうのかもしれないというのは、なんとも淋しい話だと思う。そんなわけで、機械にはこちらの言葉のニュアンスをなるべく素早く正確に身につけてもらい、それらの言葉の集合を使って、あたかも仲間内で会話するようにできたら、互いに素晴らしい事のように思える。少なくとも私はそう考えた。

本研究で用いたエージェントは、あらかじめあるひとつの言葉の集合を持ち、それぞれの関係もひとつに定めていた。だがゲームを進めるうちに、エージェントは相手のもつ言葉のニュアンスに合わせるようになっていき、やがて相手と通じ合うようになっていく。それは相手に言葉のニュアンスを変えてもらうと言うよりは、むしろエージェント自身が積極的に相手に合わせていこうという姿勢で行われていく。

今、エージェントに与えたこの会話のメカニズムを、機械に実装したらどうだろうか。機械は主人である人間と接する度に言葉のニュアンスを叩きなおしていき、遂には主人の持つ言葉のニュアンスに近づいてはいかないだろうか。仮にこのニュアンスを身につけるまでの時間が、主人の持つ言葉のニュアンス変化よりも短いと保証されているのなら、このアルゴリズムは有用と考えられる。

さて、これを実レベルの段階に押し上げて実装する際、単語間総当りの類推度マトリックスを利用するなんてばかげている。例えばある程度クラスタリングされているところでだけで類推度

マトリックスをつくって、そのマトリックス自体を参照する上位のマトリックスがあるといった、多重構造のマトリックスを起用するなどの工夫が必要になってくるだろう。

□■□

## 7 結び

我々の使用する言葉のいいところは、すべての現象を事細かに説明する為に厳密に定義されたものではなく、人間本来が持ちうる想像力を利用して、ある程度その力で再生可能なような個人独特のニュアンスによって定義されている点にある。こうしておけば、すべての事物に対してすべての言葉を割り当てるというハイコストな道を歩まずとも、想像力によって人は言葉の不確実性を補い、十分解釈できるのだから。

今回はこうした不確実性に目を向けて会話のモデル化に務めた。会話は特徴的な性質をふまえたゲームへと集約させ、言葉の持つ意味合いはエージェントに実装したひとつのマトリックスに集約させた。そしてこのモデルでゲームさせてみたところ、確かにゲーム(ターン)は成立しているが、内部状態が必ずしも同じでなくても良い結果を導くに至った。ここに内部不確実性を認めた、会話モデルのひとつを紹介できたと考える。

□■□

## 謝辞

今回、モデル作成を行うにあたり、副テーマ指導教官である橋本敬助教授から数々ご指導頂いた。複雑系の幅広い視野からの助言も賜り、本研究の大半は助教授の存在なくしてあり得なかったと語って大袈裟でない。ここに深く感謝致したい。

また下嶋研究室の古山慎治氏は、哲学的視点からモデルのことに関し、いくつか助言してくださった。この事にも深く感謝する。

□■□

## 参考文献

橋本 敬(1999).『動的言語観に基づいた単語間関係のダイナミクス』 *Cognitive Studies*,6(1),55-65.

中野 馨(1995).『脳をつくる ロボット作りから生命を考える』 共立出版.

金子邦彦・池上高志(1997).『複雑系のカオス的シナリオ』 東京:朝倉書店.

有田隆也(1999).『人工生命』 科学技術出版.