

# 言語を獲得するコンピュータ

文書の内容を分析したりロボットに会話をさせたりと、さまざまな形で自然言語処理の活用が進んできたことは、すでに見てきた通りである。しかし同時に、それらのシステムが人間に及ばないこともまた明らかである。人間は言語を使う能力を簡単に身に付ける。システムは人間よりはるかに大きい量の計算を実行しているにもかかわらず、不十分な言語処理しか実現できていない。

人間が言語を獲得する仕組みを解明しそれをモデル化できれば、自然言語処理システムの性能が質的に向上することは間違いない。そもそも人間は幼児期に、特に難しい訓練を受けることなく言語を使えるようになる。およそ何の知識もない状態から始めても言語を獲得する。どうしてだろうか。

人間が言語を獲得できる根拠を大ざっぱにまとめると次のようになる。まず、人間は文法能力を生まれながらに持っており、ある年齢までに過ごす言語環境に

応じて、文法能力がその言語に特化されるという考え方である。もう一つは、文法に限った能力ではなく汎用的な学習能力によって文法などの言語能力を獲得する、というものだ。この二つの中間にはいくつも説が存在し得る。

## 脳の働きを測定する

とはいえ言語が脳の働きによって作られること自体は間違いない。脳に損傷を負った患者が言語機能に支障を来すことは古くから知られていたし、それが脳のどの部分に関係するかも研究されてきた。脳を調べることは、言語を解明する重要な手がかりになるのである。こう言うと、我々には脳波の測定がすぐに思い浮かぶが、測定の分解能が粗く、脳のどの部分が働いているかを限定することが難しい。しかし電極を脳に差し込むような手段は、治療に必要な場合でなければ採るわけにはいかない。実際にも、開頭手術などによる治療の際に得られた知

見やデータを使って研究が行われてきたのである。

1990年代に入ってこの状況が変わった。機能的磁気共鳴映像法 (fMRI) が登場したからである。これは血液中のヘモグロビンが持つ磁気的な性質を利用し、脳が活性化する様子を測定するもの\*1。しかも分解能が1mm程度と細かく、脳の部位を局限するには十分である。また、同じ人に対して繰り返し測定しても安全なことから、現象の再現性を確かめる上でも有利だ\*2。

東京大学の酒井邦嘉助教授は早期からfMRIを用いて言語活動と脳の部位の関係を探ってきた。被験者に何らかの言語上の問題を与え、それに対して考えたり答えたりするときの脳の状態を見るのである。

ごく最近の研究成果に、英語の不規則動詞の過去形に対する正答率と、脳の活動の変化を対応付けたものがある。これは例えば①動詞「catch」を見せた後、同じ単語を「catch」と「cotch」から選ばせる、②「catch」を見せた後、過去形として「caught」と「caught」から選ばせる、というテストを実施したときの被験者の脳をfMRIで調べる。

その結果、被験者の正答率によらず、脳の同じ部分 (ブローカ野) が活性化することがわかった。また、規則動詞に比べると、不規則動詞の場合に強く活性化する部分があることも観測された。この調査は19歳 (大学生) を対象に行われたが、酒井助教授は以前に13歳 (中学

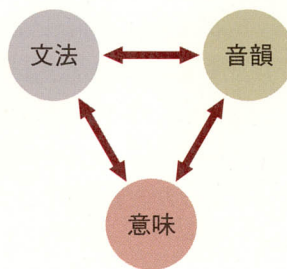
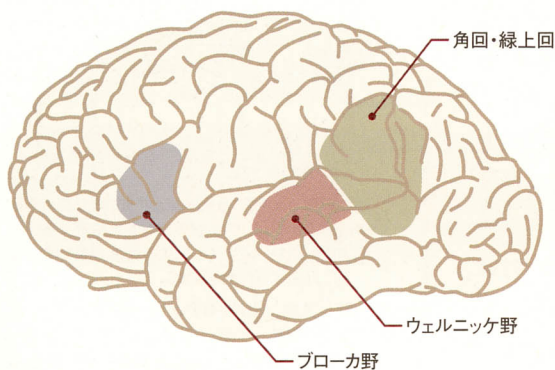


図1 脳と言語機能の対応

文法はブローカ野、意味はウェルニッケ野、音韻関係は角回・縁上回が処理するという仮説である。



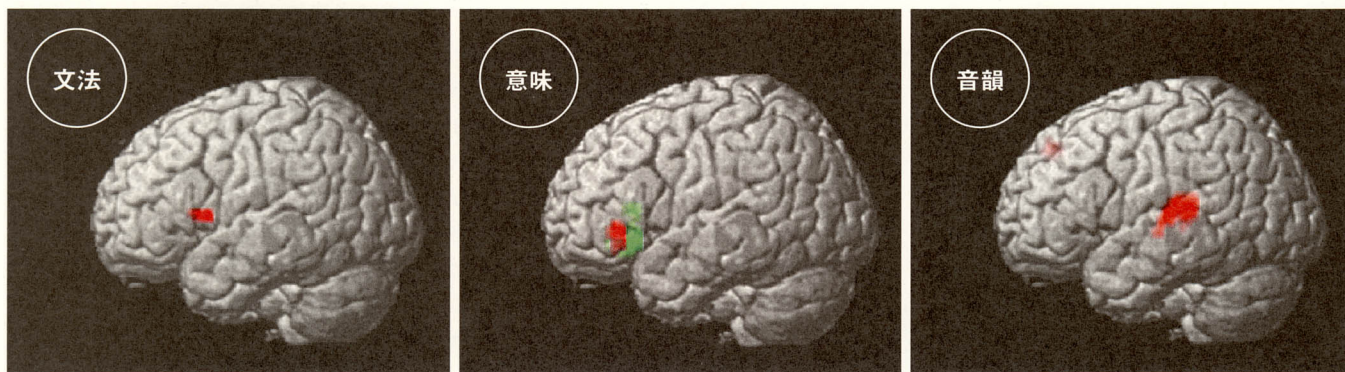


図2 言語機能を担う部位のfMRIによる画像

左から文法、意味、音韻に対応するが、意味については、被験者に文字を提示した場合を緑、音声で提示した場合を赤で、それぞれ活動する部位を示している。

生)を対象とした測定でも同様の結果を得ている。

さらに、同じ被験者に対して日本語について同様の調査を行い、言語によらず同じ部位が活性化することも観測した。つまり、言語によらず文法を司る脳の部位が共通することを確認したわけだ。

言語処理をいくつかの要素に分解すると、音韻、文法(構文)、意味の三つに分けられると考えられる。これは、本特集で見てきた自然言語処理技術で分けている処理の段階と同じである。脳でも各々の機能を受け持つ部位が分かれているとすれば、その場所をfMRIなどの手法で確かめられるはずである(図1)\*3。

酒井助教授らは長期間にわたって、さまざまなケースについて測定を積み重ねてきた。その結果、現時点で図2のような部位に言語処理の各要素が対応するのではないかとしている。

### 言語獲得のモデルを作る

ただし、脳の部位と言語機能の対応が付くことが、言語を獲得したり理解したりするシステムの開発に直接結びつくわけではない。コンピュータを使って試せる具体的なモデルを作る必要がある。ここではその例として、慶應義塾大学の

櫻井彰人教授が取り組んでいるモデルを見てみよう。櫻井教授は、酒井助教授を研究代表者とする「脳の機能発達と学習メカニズムの解明」のチームにも加わっている。

例えばブローカ野が文法に関係しているのであれば、そのモデルは文章をいくつも入力しているうちに品詞を区別できるようになり、やがて品詞の間の構文的な規則を見つけることができなければならないだろう。実際、人間はそうしているのであろうから。

櫻井教授らのモデルはニューラル・ネットワークを用いる図2。何か文法を仮定し、そこから約2万のテスト文を生成して、ニューラル・ネットワークに与える(生成した文の半分を学習用、あと半分を評価用に用いる)。するとニューラル・ネットワークは、具体的な規則、例えば「sees」は「a dog」や「a cat」の後に来るが、「dogs」や「cats」の後には来ないといった、具体的な単語に即した規則を学習する。

また単語と単語の間に、どのような関係ができるかを分析すると、次ページの図3のような結果が得られた。主語、目的語、動詞という三つのカテゴリが形成されていることが分かる。次に、このよ

うなカテゴリがあるという情報をモデルに持たせると、より正確に単語間の規則を獲得することができるようになった。

すると次は、具体的な単語間の規則から、より一般的な文法規則を抽出できるかどうか問題になる。例えば、「a dog chases a cat」のような具体的な文が持つ規則ではなく、「名詞+動詞+名詞」という一般化された形の規則である。これについても、ある程度は獲得できることが示されている。

### 構成論的アプローチによる接近

脳の言語機能をモデル化するのは別の観点から接近する研究もある。人間は

\*1 ヘモグロビンには酸素と結合した状態とそうでない状態があり、どちらの状態であるかによって磁気的性質が変わる。脳が活動すると、その部分を流れる動脈血液の量が増える。これは酸素と結合したヘモグロビンの増加を意味する。これがMRIの測定にかかってくるのである。なお、ここで紹介する研究は図1に詳しい。

\*2 このほか1990年代半ばに、光トモグラフィという方法が実用化された。頭皮にあてたレーザー光の反射と吸収の様子からヘモグロビンによる光の吸収率を求めると、血流の増加に伴うヘモグロビンの濃度変化を調べる。MRIに比べて装置が小さくて済むため比較的簡便に測定できるという利点がある。ただし分解能は2~3cmとfMRIよりやや粗い。

\*3 このように言語を独立した働きに分けることを「言語のモジュール仮説」という。言語機能にモジュール性があることを最初に言い出したのもChomskyであった。



集団の中で一定の規則に基づいて言語を使い、その中で新しい使い方を作出して規則を変えていく。このプロセスに注目し、言語を使う人々のグループを人為的に設定して、その中で言語がどのように変化していくかをシミュレーションによって調べることで、モデルの姿を固めていこうとするアプローチである。

北陸先端科学技術大学院大学の橋本敬助教授は、このような方式を構成論的アプローチと呼んでいる。これは次のよ

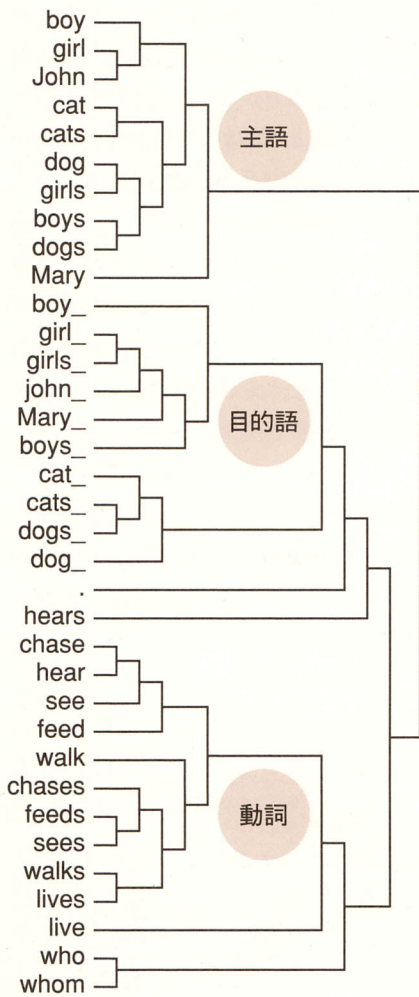


図3 単語を認識して分類

ニューラル・ネットワークに文章を与えて単語を学習させると、主語、目的語、動詞のそれぞれにカテゴリ化する傾向が見いだされた。

うな考え方に基づく。

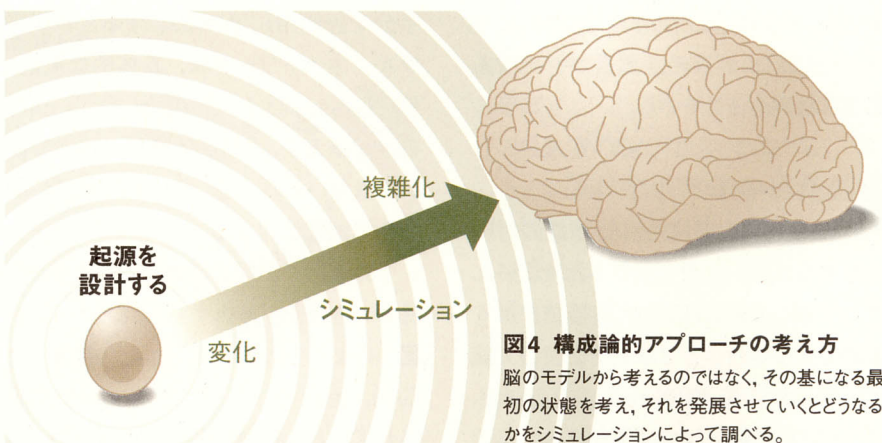
人間が生まれながらに言語の能力ないし言語を学習する能力を持っていることは確かである。それは人間が遺伝的に有する能力であり、動物には人間のような言語能力はない。だとすると、人間の言語には起源があり、そこから進化してきたものに違いない。

しかし言語は、進化を跡付ける化石などを残さないため、直接的に実証することはできない。また、すでに説明したように脳の言語機能をモデル化することも簡単ではない。

そこで発想を逆にして、言語の起源となるようなモデルを仮定し、そこから脳が持つ言語機能まで進化させられるかをコンピュータ上のシミュレーションによって調べる(図4)。初期条件やパラメータを変えることでモデルがどう変わっていくか。その結果を見ながらモデルを修正していく。対象を明確に定義できないときには、こういう手段が有効という考え方である。

その具体的な例として橋本敬助教授は、個人内部に持つ単語間の関係が、人の会話によってどのように発展していくかを調べた。

複数のソフトウェア・エージェントが



会話する状態を想定する。エージェントが互いに文をやり取り(つまり会話)する。この過程で各エージェントの“頭”の中には、会話に出てきた単語について相互の関係を表す構造が作られていくだろう(図5)。新しく聞いた文に出てきた単語を、エージェントが持っている構造の中に位置付け、構造を更新していくのである。

シミュレーションの結果は、エージェントの内部状態として単語がある程度のグループに分かれる傾向が出た。つまりカテゴリが形成されたのである。また、会話が進むにつれて、エージェントが共有する単語群の構造は保存される傾向があり、そうでない場合は構造が変化しやすいことが示された(図3)。

橋本敬助教授は言語の進化を、次の二つのサイクルが同時に進行する状態と考えている。

一つは上記のシミュレーションが示すいわば“文化的な進化”と学習機能の間の相互作用。もう一つは生物学的な進化を加えることにより生じる「文化進化→生物進化→学習機能進化」というサイクルである。この二つのサイクルが重なることによって、人間の言語が進化すると見ている。

図4 構成論的アプローチの考え方

脳のモデルから考えるのではなく、その基になる最初の状態を考え、それを発展させていくとどうなるかをシミュレーションによって調べる。



子どもが  
 言葉を覚える  
 仕組み

2歳ごろから6歳あたりまでの間に、子どもは非常に速いペースで言葉を覚えていく。しかも何も知らない状態から始めるのである。大人が新しい言葉を知るときには、その言葉が指す対象についてなにがしかの概念を知っており、それに対して名前が付くというふうに理解する。しかし子どもは、最初に対象の概念すら知らない。また、わずかな例を示されるだけで的確に学習していく。これは論理的な推論で説明することができない。語意を推論する方法に何らかの制約(あるいはメタ知識)が存在するというのが一般的な理解である。

それでは、子どもはどのように言葉を学習していくのか。慶応義塾大学の今井むつみ助教授は、子どもが名詞や動詞などの語意を学習する仕組みについて研究している。その内容を紹介しよう\* A。

例えば日本人の幼児(2歳と4歳)に、その年齢の子どもが見ていないはずの動物や人工物を見せ、それに例え「ネケ」という名前を付けてみる。すると子どもた

ちは、その「ネケ」という言葉を、見せたものにとどまらず、それに似たものには同じ「ネケ」を適用しようとした。つまり、まったく新しい事物に対して付いた名前は、固有名詞などではなく普通名詞として扱うらしい。一方、すでに知っているものについて新しい名前を知らされたときには、その状況によって、それが知っている

事物の下位のカテゴリに属すると理解したり、あるいは固有名詞であると理解したりした。

これに対し動詞の場合は、子どもは名詞ほど簡単に学習するわけではないことが今井助教授らの研究により分かった。子どもが言葉に関して持つメタ知識は、名詞に比べて動詞は作られる時期が遅いようである。



\* A ここではかなり割り切った形にまとめて説明するが、実際にはさまざまな条件を考慮する必要がある。正確には、今井むつみ, 「語意学習のメカニズム」(『神経心理学』, 第20巻第2号, 2004年)を参照されたい。

c o l u m n

クレオール創発のシミュレーションも

構成論的アプローチは、新しい言語が生まれるケースにも適用できる。実際、人間の社会では新たに言語が生まれることが少なくない。共通の言語を話さない複数の民族が何らかの理由によって共存することになったときなどである。その

ような言語を「クレオール」という\* 4。

橋本助教授は、クレオールが発生する条件を構成論的な方法によって分析した研究にも加わっている(図4)。クレオールの候補が他の既存言語との関係の中で、どのような場合に言語として自立していくのか(話者人口を獲得していくの

か)をシミュレートするのである。例えば三つの言語(うち既存言語は二つ)の場合、クレオールが発生するには二つの既存言語が似すぎてはいけなく、などの結果が報告されている。

以上見てきた研究は、いずれも実用を目指す工学としての自然言語処理に役立つにはまだ相当の距離がある。しかし今後、少しずつでも人間の言語に近づいていくためには必要な分野である。

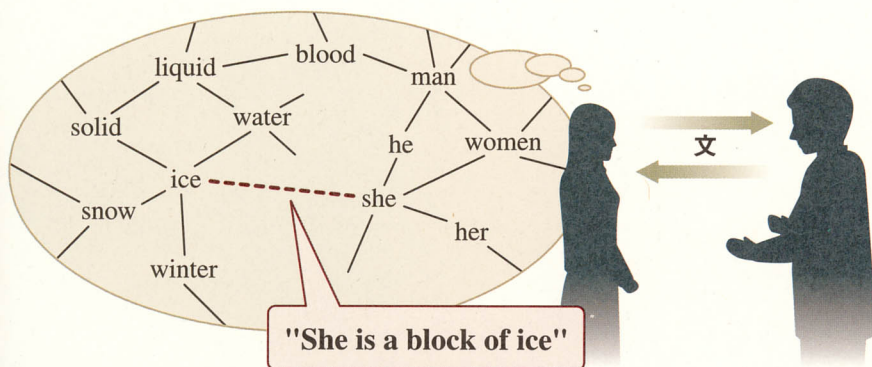


図5 会話するエージェントが頭の中で作り上げる単語の構造

新しい文が話されると、その単語が構造のどこに位置付けられるかを調べて関係構造を変更していく。

\* 4 移民として異国で農作業などをするようになった人々(例えば日本からのハワイ移民。そのほか歴史的には奴隷制度による移住も多い)は、互いに通じない言葉話すことから、文法などが整わない単純なピジンという言語によって意思を伝え合うようになった。ところがピジンを聞いて育つその子供たちは、文法体系の整った言語を使うようになる。それがクレオールである。そして世界中で発生するクレオールには文法上の共通点があるという。参考文献に例えばD・ピッカートン, 「クレオール諸語」(『サイエンス』, 1983年9月号, 日経サイエンス社)がある。