

言語進化とはどのような問題か? ~ 構成論的な立場から

What Is Problem of Language Evolution? – From Constructive Perspective

橋本敬

Takashi Hashimoto

北陸先端科学技術大学院大学・知識科学研究科

School of Knowledge Science, Japan Advanced Institute of Science and Technology (JAIST)

Researches on the evolution of language are reviewed. At first, we address the research questions of the origin and the evolution of language. The development of the researches is summarized by focusing on the deference between human and non human communication systems. After mentioning a constructive approach, we exemplify some constructive studies on the evolution of language. Finally, we discuss the characteristics of evolutionary linguistics.

1. はじめに

人間の言語について理解を深める新しいアプローチとして、進化言語学 (Evolutionary Linguistics) という研究分野が近年盛り上がりを見せている。進化言語学は、言語の起源と進化にさまざまなかたちで関わる非常に多くの学問の接点にある分野横断的な研究領域である。その関連領域は、言語学や認知科学にとどまらず、進化生物学、動物行動学、考古学、人類学、心理学、脳神経科学、哲学、人工知能、計算機科学など、人間の理解に関わる多岐の分野にわたる。進化言語学では、コンピュータシミュレーションや数学的なモデリングをもちいた研究が注目を集めている。実証的証拠を得にくい言語の起源と進化という問いに対し、モデリングは様々な知見を与える有用なツールとして認識されているのである。

そこで、本論では、分かりたい対象となるシステムを「作って動かす」ことにより理解しようと試みる構成論的手法の立場から、言語の進化とはどのような問いであるのか、いかにして研究が可能なのかを解説しよう。まずはその前に、進化言語学は何を問っているのかについて触れておく。そして、言語進化研究の発展を概観したあと、言語進化の問題を構成論的観点から位置づけ、いくつかの研究を紹介する。最後に、改めて言語の起源と進化という問題の特徴を議論する。特に、ここでは言語進化とは複雑系の問題であることを言及する。

2. 言語は進化するのか?

言語はスタティックなものではなく、時とともに変化するダイナミックなシステムである。そのダイナミクスは様々なレベルに見られ (表 1)、その時間スケールは、数秒から数十万年という 10^{13} のオーダーにもわたる。この中で進化言語学が対象とするダイナミクスは、もっとも長い時間スケールのふたつ、すなわち、言語の起源と進化である。

では、どのような意味で「言語が進化する」と言えるだろうか。生物学的な進化は「遺伝する (性質の累積的) 変化」と定義される。ここでは遺伝を考えるために世代という概念が必要である。言語そのものを進化するシステムと見るならば、この世代という概念を生物のようにはうまく定義できないので、生物学的進化概念を言語に適用することは一見おかしいように

表 1: 様々なレベルに見られる言語のダイナミクス

変化の種類	時間スケール
起源 言語がない状態からある状態への変化	数十万年
進化 言語構造・複雑さの時間的变化	数万年
歴史的変化 文法の体系的変化、語族の分化	数百年 ~ 数千年
社会における変化 言葉の使い方、方言、流行語	数ヶ月 ~ 数百年
言語発達 子供が大人の言語を習得する過程	数年
意味づけ、概念化 意味創造、概念形成、話者の内的変化	数秒 ~ 数年

思うかも知れない。しかし、言語はそれを話す人間、つまり言語能力を持った人間がいてはじめて成り立つシステムである。よって、言語、あるいは、言語能力は、ヒトという種が持つ一種の形質だと考えることができる。こう考えるならば、言語能力という形質、および、それに必要な認知的・身体的能力がどのようにして進化してきたのかと問うことは、純粋に生物学的進化概念と同じ枠内で捉えることができる^{*1}。

一方、対象としているのは言語なので、必ずしも生物学的進化概念の厳密な適用にこだわる必要はないと考えることもできる。もう少しゆるやかに進化という概念をあてはめてみよう。たとえば、「経路依存性や不可逆性を伴った累積的变化」を進化と言ってみてはどうだろうか。通常、初期の言語、あるいは、前言語 (proto-language) は現在の言語よりも簡単なものであると想定される。現在の言語は、非常に豊かな文法的構造、数知れない語彙、多彩な語用論的用法を持つ。第二言語を習得しようと試みる多くの者は、その複雑さの前に立ちつくし、第二言語を身につけることの困難さに直面し、千辛万苦することとなる^{*2}。しかし、人類 (あるいはその近縁の祖先) が話し始めた最初から、言語がそのような複雑な構造を持っていたとは考えにくい。よって、言語の進化という問いは、いかにして言語システムは複雑化・構造化してきたのかを問うことになる。

以上の考察から、ここで言語の起源と進化という問いを次

連絡先: 橋本敬, 北陸先端科学技術大学院大学, 知識科学研究科, 〒923-1292 石川県能美郡辰口町旭台 1-1, Tel:0761-51-1756, Fax:0761-51-1149, hash@jaist.ac.jp, <http://www.jaist.ac.jp/~hash/>

*1 ただし、最後に議論するように、言語の起源特有の問題がある。

*2 少なくとも筆者はそうであった。そしていまだにそうである。

のようにまとめておこう。

言語起源 言語を持たない状態から言語を持つ状態へのトランジションは、なぜ、どのようにして起きたのか。言語という人間に特有の形質、それを可能にする様々な身体的・認知的能力はいかに進化したのか。

言語進化 最初にできた言語から、なぜ、どのようにして変化を遂げ、複雑化し、現在のような構造を持つ言語になったのか。

3. 言語進化研究の発展

言語の起源と進化は昔から興味が持たれ、さまざまな説が提唱されてきたが、ほとんどのものは思弁的な説であった [坂本 91]。すなわち、「科学的」な理論になりうるような議論はなかった。このような状況を憂慮したパリ言語学会は、1866年、言語の起源と進化に関する論文を受け付けないことを決めた。これ以降、この問題を問うことは、科学的営みとしては見られない風潮が広がり、一種のタブーと化していた感がある。

そのような状況にあった言語起源・進化研究が現在のように復活を遂げるには、§1. であげたような、言語に関連する様々な分野の発展がみられたからだと考えられる。本論ではそのすべてを検討するスペースはないので、人間言語の特徴はどのようなものか、および、それは動物のコミュニケーションシステムとどう違っているのか^{*3}、という観点から動物行動学と人類学の研究に触れる。

人間のもちいる言葉は何かを表すという象徴性を持つ。また、ほとんどの言葉はそれが表す対象と関係のない形態をとる恣意性がある。ベルベットモンキーは異なる捕食者を表す3種のアラームコールを発する。これは、象徴性と恣意性を持った記号であるが、通常は「今、ここ」の状況に強く結びつけられたものである。しかし、人間言語は「今、ここ」からは解放され、抽象的考えや想像上の事物を象徴することができる。

人間言語の特徴として統語性、すなわち、単語をある規則に従って配置することにより、ある特定の意味を表すという特徴がある。また、有限個の音素や文字から単語を、単語から文を構成するという二重分節性を持つ。ごく簡単な統語性を持つコミュニケーションシステムとして、ハチのダンスがある。ハチは蜜源の距離を円形や8の字というダンスのやりかた、および、方向を8の字の傾きで表し、他個体に蜜のありかを伝える。しかしこの行動は生得的である。人間言語は、なんらかの生得性を持つが、どのような記号をどのように組み合わせるかという規則は学習によって獲得する。そしてその規則は文化的に伝達される。

人間言語の統語には、節を原理的には何重にも埋め込むことができる再帰性があり、そのことにより、無限個の文を生成できる離散無限性を持つ。再帰性のもっとも基本的なものとして、数を数えるという能力がある。チンパンジーに一桁の数を教えることは可能であったが、覚えさせたものより大きな数を数えることはできなかった [Hauser *et al.* 02]。一方人間は数個の数を覚えると、数の数え方というシステムを把握し、無限に数えられるようになっていわれている。すなわち、人間は再帰的計算を獲得できる能力を持っていると考えられる。ジュウシマツの歌は統語性と再帰性を持つ [Okanoya 04]。しかし、どの歌も全体として求愛を意味し、歌い方に応じた意味を持たない。

*3 これは、比較認知科学的な視点である。比較認知科学は、言語起源に密接に関する経験的データを得られる数少ない分野のひとつとして、その推進が主張されている [藤田 98, Hauser *et al.* 02]。

言語をもちいたコミュニケーションは、社会的な相互作用である。他者と円滑にコミュニケーションを行うには、共同注意、ターンテイク、「心の理論」といった社会的認知能力が必要である。「心の理論」とは、他者が自分と同じように、しかし自分とは異なる心を持っており、それがどのようなものであるかを推測できる能力である。言語的コミュニケーションには、他者との文脈の共有と他者の意図の理解が必要であり、「心の理論」が不可欠であるといわれている。この能力は、人間では4~5歳で完成するという。チンパンジーは「心の理論」を持つと見なされているが、その水準がどの程度のものなのかについてはまだ決着には至っていない [Dunbar 97]。

言語の進化に関して直接言及する研究が増えるきっかけとなったのはPinkerとBloomの論文 [Pinker & Bloom 90]であろう。彼らは、言語能力、および、言語の基本構造は自然選択により進化したという主張を展開した。Pinkerは言語学者であったが、それ以降、数多くの言語学者がこの問題に取り組むようになったかという、そういうわけでもないようである。その一因は、生成文法学派理論言語学の指導的存在であるChomskyが言語の起源・進化について、どちらかという消極的態度をとり続けてきたためであろう。

そのChomskyは最近、動物行動学者と共同で、言語進化に関する仮説を呈した [Hauser *et al.* 02]。言語能力を、再帰的計算のためのシステム(狭義言語能力)と知覚・運動系および概念・思考系を統合した広義言語能力に分け、後者は類人猿等の他の動物と共通で、前者のみがヒト固有の能力だとしている。

4. 言語進化への構成論的アプローチ

言語進化研究が興隆するもうひとつのきっかけは、計算機の発達である。大規模・高速な計算が実現できるようになり、言語の進化をシミュレーションできる可能性が出てきた。「ことばの化石は残らない」と言われるように、実験や観察が困難であり、実証的な証拠を得にくい言語の起源と初期進化について、構成論的研究による仮説検証や仮説生成、進化プロセスの検討が可能になったのである。

4.1 構成論的アプローチとは

構成論的アプローチとは、理解しようとする対象を、コンピュータシミュレーションやロボットなどをもちいて作り、そして、それを動かすことによって理解するという方法論である [金子・津田 96, 橋本 02c]。この方法は、実証的観察が困難な現象や、進化のように歴史性・一回性をもつ現象の理解に特に意味を持つ。言語進化の研究でも、さまざまモデル化の方法でさまざまな言語の性質に対してアプローチされている [Cangelosi & Parisi 02]。

構成論的手法では、理解したい対象をそのまま作るのではなく、その元となるシステムを用意し、そのシステムが自ら変化するプロセスを組み込むという方法が採られることが多い。この方法では、複雑すぎてわからないものを作ることはできないというパラドックスから解放される。パラメータや初期状態、あるいは、変化のアルゴリズムを変えることで、どのような条件により得たい状態を実現できるのかについて知ることができる。さらに、対象となるシステムが複雑化する過程を観察することが可能であり、実際には見られないあり得る状態についての知見ももたらす。このように、構成論的手法は、起源と進化の理解には非常に有効なアプローチだと言える。

この手法は仮説の検証にもちいられることがある。目的とする対象を作るためにはある仮説に基づくこのような過程が起きるはずである、という考えに基づきシステムを構成する。

そのシミュレーションの結果、実際にそうならば、仮説が（一部であれ）検証されることになる。

一方、複雑系の研究では、シミュレーションは仮説の検証や単なる数値計算にとどまらず、思考の道具である*4。そのためには、はじめに想定した結果が出て仮説が検証されるだけでなく、初期には想定していないノトリビアルな結果を得ることが重視される。なぜそのような結果が出たのか、それは対象とする現象においてどういう意味を持つのかを議論することは、対象に新たな光をあて、さらなる理解を促進させる。

4.2 問題の設定とモデルの設計

言語進化を構成論的に研究するには、言語システムが持つある種の普遍的特徴に着目し、その特徴を示さないセッティングから始めて、その特徴が現れる状態を実現させる*5。この時、計算機シミュレーションやロボットでの実装が可能なように、問題を切り出し縮小して抽象化する必要がある。モデルによるどのような研究でも同じであるが、構成論的アプローチでも問題を適切に抽象化することは非常に重要である。

言語進化のモデルでは、個人のレベルと集団のレベルの両面を考慮する必要がある。よって、個人のレベルを一体のエージェントとして構成し、複数のエージェントを相互作用させるというマルチエージェント・システムでモデル化する場合が多い。エージェントの設計では、扱う対象に対応する言語知識の表現と実装を決定する。このとき、決まった記号、記号と事物の対応、意味や統語などの構造化された言語知識を最初から持たせるべきではない。次に、言語知識の実装に応じた学習や進化のアルゴリズムを決定する。そして、コミュニケーションをどのように行うのか、遺伝を導入するのかなど、エージェント間の相互作用を設定する。言語がボトムアップに生じるプロセスを見るためには、教育やマスコミといった中央集権的システムを導入してはならない。

このようにして作ったシステムを動かし、構造化され、共有された記号や意味、統語的規則などが生じるプロセスを観察する。そして、どのような仮説・セッティングがそれを可能にするのか、どのようなパスを経るのか、ということを調べる。ここで得た結果は抽象化された問題の上でのものである。もともと想定している言語的特徴の進化に関して、その結果がどのような意味を持つのかという点に戻って考察する必要がある。

できあがったシステムは厳格すぎず、多様性・柔軟性を許すものであるべきである。実際の言語を見ればわかるように、たとえば語彙の共有は、必ずしも完全なものではない。言語主体に個別の言語的特徴もある。また、厳格すぎるシステムは変化可能性に乏しくなりがちである。§2. の冒頭で述べたように、言語はダイナミックなシステムである。できあがった言語システムは、常に変化を続ける進化可能性を持った、open-endedなシステムであることが望ましい。

グローバルで集権的なものが無い状態で、集団で共有される言語的特徴を持った open-ended な言語システムが、相互作用と進化や学習を経てどのようにして現れるか、また、それをいかにして構成するかが、構成論的な言語進化研究の問題設定である。

5. 構成論的研究の例

本節では、言語進化に関する構成論的研究をいくつか紹介する。言語学は音韻論、意味論、統語論などの分野に分かれており、構成論的研究もそのような分類に対応している場合が多い。ここでは、前節で述べた、扱う問題の抽象化、言語知識の表現、学習アルゴリズムの選択、相互作用の設計といったモデル化に関すること、および、各研究が示している結果について簡単に書いているが、詳しくは個々の論文を参照してほしい。

5.1 語彙

Steels は、言語ゲーム (Language Game) という枠組みを提唱し、共有語彙の発達に関する研究をしている [Steels 96]。エージェントは、言語知識として、いくつかの単語と各語が指し示す対象の対のリストを持つ。そして、各対には、コミュニケーションにおいて使われた頻度と、コミュニケーションの成功回数を表すスコアが付く。コミュニケーションの際、エージェントには initiator と receiver という異なる役割が割り当てられる。initiator は、ある対象について単語列をもちいた表現を発話し、receiver はその表現から対象をデコードしようとする。両者の想定する対象が一致すればコミュニケーションは成功であり、その時に使われた単語・対象の対のスコアが上昇する。失敗した場合は、その理由に応じて、initiator が新しい語をつくったり、receiver が新しい組み合わせを採用したりする*6。このようにして複数のエージェントがコミュニケーションと学習を重ねた結果、エージェント達が共有の語彙、すなわち、単語と対象の組み合わせの集合を獲得するようになる [Steels 96]。

言語ゲームの枠組みは、適切な変更を施され、共有語彙だけではなく、さまざまな言語サブシステムの発展のシミュレーションに適用されている。また、ロボットをもちいた実験も行われている。図 1 は Talking Heads*7 という実験の様子を表している。視覚と発声・音声認識機能を持った複数の機体の間で実世界を舞台にした言語ゲームを行い、グラウンディングした共有語彙が発達する過程が調べられている [Steels et al. 02]。このような発展を含んだ Steels らの言語ゲームの枠組みによる研究は [Steels 97, Steels 02] にまとめられている。



図 1: Talking Heads の実験セットアップ

5.2 カテゴリー

言語の語彙は、単に対象を指し示す単語の集まりではなく、単語の間に関係を持ったあるまとまりを構成している。その

*6 ここで述べた共有語彙生成の言語ゲームは特に名付けゲーム (Naming Game) と呼ばれる。

*7 詳しくは The Talking Heads のホームページ (<http://talking-heads.csl.sony.fr/>) を参照。

*4 そのような研究の例は、たとえば [金子・池上 98] 参照

*5 第 5 回言語進化国際会議のサテライトワークショップとして、“Modelling the evolution of language for modellers and non-modellers” が開催され、モデル化の指針などが紹介されている。ハンドアウトは <http://www.ling.ed.ac.uk/~paulv/tutorial-evolang5.html> で入手可能。

ようなカテゴリー構造の発展を [Hashimoto 98, 橋本 99] では扱っている。このモデルでは、エージェントの持つ言語知識は単語間関係の網目として表現され、発話・受理した文(単語列)の中で使われる単語間の関係を計算するという一種の推論アルゴリズムが仮定されている。エージェントは文をやりとりし、単語間関係を発展させていく。このモデルのシミュレーションの結果、エージェント達が共有する語彙の構造としてプロトタイプカテゴリー的な構造 ([Taylor 95]) が生じる。図2は、あるエージェントが文を受け取ったときの単語間関係の変化を表している。単語はある程度のまとまり(クラス)を構成している。ひとつのクラス内のほとんどの単語は同じ方向に移動しているが、新しい使われ方をした単語は属するクラスが変わっている。このように、ここで発展してくるカテゴリー構造は、全体的に安定な構造と、局所的に新しいものに対応できる適応可能性を持つ。また、各エージェントは、コミュニケーションを通じてカテゴリー構造を発展させるが、同時に各エージェントに個別の構造も発展してくる。

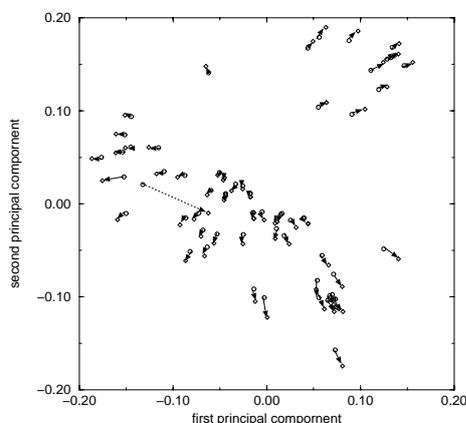


図2: カテゴリー構造の変化。単語間関係を主座標分析したものの。横軸・縦軸はそれぞれは第1・第2主座標。矢印で結ばれた点が文を受け取る前後の単語を表す。([Hashimoto 98] より)

このモデルの特徴は、言語の意味はコミュニケーションの場において言語使用者が主体的に創造するという「動的言語観」に基づいているという点である。このような動的な言語のモデル化により、共有性と個別性の共存、および、安定性と適応可能性の共存という、言語システムが持つべき性質を実現している。

5.3 文法

§5.1で紹介した言語ゲームは、世代間の相互作用はなく、水平伝達のみをモデル化した枠組みである。一方、子供は親の世代から言語入力を受けて言語を獲得する。この垂直伝達という相互作用をモデル化したものとして、KirbyとHurfordが提唱した繰り返し学習モデル(Iterated Learning Model: ILM)がある[Kirby & Hurford 02]。ILMでは、ある学習機構を持ったエージェントが言語を獲得し、獲得した言語に基づいた発話を次世代が学習し、その世代がさらに次の世代の言語入力を提供するという時間発展が続く。

Kirbyら[Kirby 02, Kirby & Hurford 02]は、この枠組みをもちいて文法的な言語の発展過程を研究している。彼らが扱っているのは、統語という人間言語の特徴の基礎となる合成性(compositionality)である。合成性とは、文の意味が、その構成要素である単語と(その並び方)にシステムティックに

依存しているという性質である。[Kirby 02]では、簡単な述語論理的な表現で「意味」を表示し、文字列で発話を表す。そして、エージェントは拡張文脈自由文法(一種である Definite Clause Grammar)により、これらの二つを結びつける。話し手(親の世代)は、埋め込みの程度が異なるいくつかの意味に対する文字列を発話する。意味に対応する発話ができないときは新たな文字列をつくる。聞き手(子の世代)はその発話を聞いて文法を推論する。文法の獲得には、聞いた発話に対応する文法規則を自分の言語知識に追加し、獲得した規則の一般化を試みて規則の数を減らす発見法的な推論メカニズムを採用している。このような設定の上で、意味と文字列がほぼ一対一に対応する全体論的(holistic、すなわち文全体でひとつの意味対象を表示する)な言語から、合成性や再帰性という構造を持った言語がいかんして生じるかを調べた。図3がシミュレーション結果を表したものである。表現可能性(図の横軸)と内部の言語知識が(縦軸)が非常に低い初期の状態から、両者がともに増大し、あるピークを迎えた後、表現可能性はさらに増大するが、言語知識は減少するというダイナミクスが観察される。すなわち、最小の言語の状態から全体論的な言語を経て、合成性という構造を持った言語が出現している。

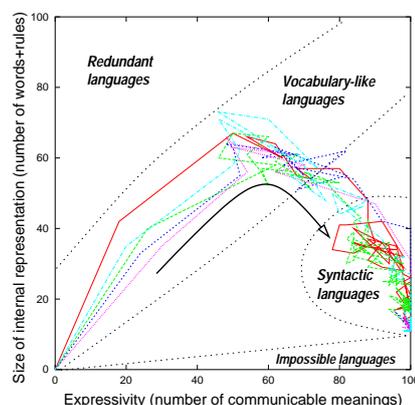


図3: 合成性の進化。横軸は言語が表現できる意味の数、縦軸は単語数と文法の規則の数。([Kirby & Hurford 02] より)

Kirbyらは、上記のモデル以外にもニューラルネットワーク[Smith 02]、語彙と意味を結びつける連想ネットワーク[Smith et al. 03]、最小記述長を満たすオートマトン[Brighton 02]など、さまざまな言語知識の表現および学習アルゴリズムを採用し、合成性を持った言語が進化する条件などについてILMにより詳しく調べている。

文法の進化については、全く異なるモデルをもちいて橋本と池上により研究された[Hashimoto & Ikegami 96]。彼らは、正規文法から埋め込み構造を持った文脈自由文法へというチョムスキー階層を上昇するような進化が、コミュニケーションを行うエージェント社会でどのように起き得るかを調べた。ここでは、言語知識として形式文法(書き換え規則の集合)が採用されている。エージェントはそれぞれ独自の文法を持ち、その書き換え規則を使って文の発話と受理を行う。各エージェントには発話と受理に応じた得点が与えられ、得点の高いものが、書き換え規則の追加、変更、削除等を施した変種を残せるという遺伝的アルゴリズムのような方法で文法を発展させる^{*8}。結果として文脈自由文法への進化は生じるのであるが、集団での

*8 ここでは遺伝的アルゴリズムのような適応メカニズムが採用されているが、言語知識が遺伝子のように次世代に遺伝すると考えられ

コミュニケーションのため、エージェントは他者に理解されることも必要であり、単調な記述能力の増大は抑制されることがわかった。その結果として、文法の記述能力の増加が間欠的に起きる断続平衡的ダイナミクスが観察される。これは、言語進化は、通常の生物進化と異なり、他個体が環境を構成する状況における進化であるという特徴を反映している*9。

5.4 音声

言語ゲームの枠組みは、音声システムの発達にも適用されている。[de Boer 00]では、エージェント達が互いの音声を観測し模倣することにより、母音システムができる様子をシミュレートしている。エージェントは、発声機構、音素の認識機構、母音リストを持っている。発声機構はできるだけ人間の機構に似せている。具体的には、各母音は舌の位置・高さ、口唇の形状という3つの変数で表され、これが第1~4フォルマントに変換されて、他エージェントに伝えられる。一方、音素を聞いたエージェントは、自分が持つ各母音に割り当てられているプロトタイプと最も近い音素として認識する。エージェント間の相互作用は言語ゲームと同じように、まず initiator がある音素を発声する。他方のエージェントはここでは imitator と呼ばれ、聞いた音素を自分の持つ母音リストによって解析し、認識した母音のプロトタイプを発声する。initiator も聞いた音素に対して同様に発声する。この二つの発声が同じであれば、模倣成功、違う場合は模倣失敗である*10。この模倣の成功・失敗に応じて、エージェントは、母音の位置を移動させたり、母音の削除、追加、二つを合わせるなどの変更を行い、他エージェントの模倣がうまくいくように音声システムを改変する。何人かのエージェントが母音をまったく持たない状態からシミュレーションを始めると、初期の不完全なシステム(図4左)から、最終的には集団で共有された構造化した母音システム(図4右)ができる。最終状態は自然言語(この例ではロシア語)によく似ていることが多い。

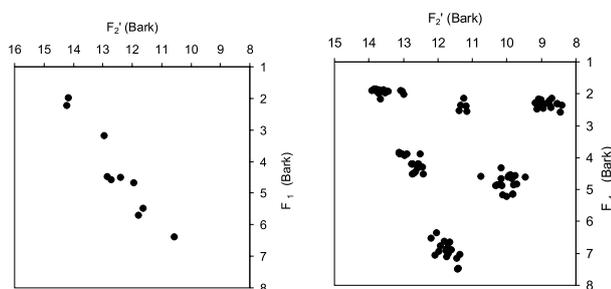


図4: 模倣ゲームによる母音システムの発達。縦軸・横軸はそれぞれ第1・第2フォルマントの周波数。左図: ゲームを20回行った状態、右図: ゲームを2000回の行った状態。([de Boer 00]より)

5.5 ターンテイキング

コミュニケーションの場で言語をどのようにもちいるかという語用論的な能力は、言語を話す以前の社会的相互作用の能力

ているわけではないことに注意。このモデルのエージェントは個体というより、ある言語を共有する集団と考えられる。

*9 [Hashimoto 02a]では、§5.2での単語関係網のモデルと、本節の形式文法を統合し、そこで現れるカテゴリー構造の発展と多様性について議論されている。

*10 ここで述べた母音システム発達の言語ゲームは特に模倣ゲーム(Imitation Game)と呼ばれる。

に根ざす。その能力のひとつであるターンテイクという行動、すなわち、会話の中で話者の役割を適当に交代するという行動を、[Iizuka & Ikegami 03]では追いかけ合いにおける役割交代というかたちでモデル化し、その進化を扱っている。2次元空間上を動き回る2体のエージェントは、相手の現在位置を入力とし、相手の位置の予測と自身のモーターコマンドを出力とするリカレント・ニューラルネットワークを持つ。彼らが追いかけてこようとするのであるが、追いかける、逃げるという役割は固定されておらず、相互作用と内部ダイナミクスにより、自発的に決まる。このモデルでは個体の学習はなく、ニューラルネットの重みを遺伝的アルゴリズムを使って進化させている。適応度は、役割交代をした頻度と予測の成功度合いから決まる。進化の結果、規則正しく役割交代を行う個体(図5左)や、カオティックなターンテイク(図5右)など、様々な行動が観察される。

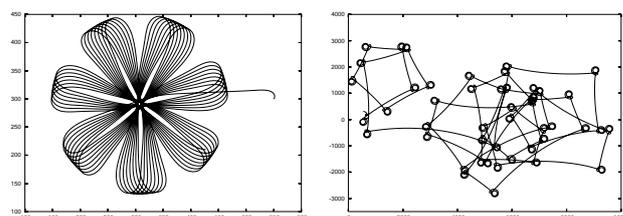


図5: ターンテイク行動の例。左図は規則的な、右図ではカオス的なターンテイクの振る舞いを表す。([Iizuka & Ikegami 03]より)

5.6 ポピュレーションダイナミクスによるモデル化

これまでマルチエージェント・モデルによる研究を紹介してきたが、言語進化を微分方程式でモデル化し数理生物学の手法で解析している研究を Nowak らが推進している。例えば [Komarova & Nowak 02]では、言語が通じることを適応度と考え、互いに類似性を持つ有限個の言語間で話者数が移り変わる様子を表す微分方程式(言語進化方程式)を定義している。そして、学習のアルゴリズムや精度が、言語の広まり方にどう影響するかなどを調べている。

中村らは言語進化方程式を改良し、子供が集団内の親以外にも言語入力を受けるようにした方程式を定義し、クレオールの発生をポピュレーションダイナミクスの観点から考察している [Nakamura et al. 03a]。彼らはクレオールという新しい言語が発生するための言語間の類似性の条件などを調べている [Nakamura et al. 03b]。また、話者数の変化という生物進化よりも格段に短い時間スケールでは、適応度を言語のダイナミクスに考慮することは不自然なので、言語進化方程式から適応度の項をなくしたものを解析し、適応度がクレオール発生に及ぼす影響を調べている [Nakamura et al. 04]。

6. 議論 – 言語の起源と進化という問題の特徴

6.1 ダイナミクスの相関

§2.では、言語のダイナミクスを時間スケールで分類し、起源と進化を分けて定義したが、実際にはこの区別は便宜上のものである。ヒトは、現在のように完全に言語を操る能力を発達させる以前から、音声やジェスチャーによる言語的コミュニケーションを行っていたはずである。これは、類人猿についての観察から直接推測できる。そのコミュニケーションシステムは、現在の言語とある程度は性質を共有したであろうし、認

知的な能力の多くがヒトとチンパンジーやボノボなどの類人猿と共通するといわれる [藤田 98, Hauser *et al.* 02]。すなわち、言語システムの発展と、言語に必要な認知的・身体的能力の発展は、同時に進行した部分がある。また、なにもをもって、あるいはどの時点において「言語ができた」と言えるかは困難な問題であり、簡単に線をひけるものではない。よって、起源と進化は連続的なものとして取り扱うべきである。

§3. や §5. で見てきたことからわかるように、表 1 に挙げた様々なレベルの変化は互いに相関している。たとえば、言語獲得における学習能力の制約により統語などの言語の構造が形作られると考えられ [Kirby 00]、言語のある性質は社会における文化的な相互作用により定着し [Hurford 00]、学習能力の生物的進化の基盤を形成する [Yamauchi 04]。あるいは、記号的なコミュニケーションが、認知と音声システムへの選択圧をもたらす [Deacon 97]。ピジン・クレオール生成は社会言語学的な時間スケールと視点で研究されて来たが、新しい言語の生成が観察可能な事例として、進化言語学でも大きな興味が寄せられている [Bickerton 81, Nakamura *et al.* 03a]。また、不完全な言語入力から一世代でクレオールが生じるという観察からは、言語を獲得するメカニズムの中に言語を生成する機構がある程度入っている (すなわち生得的である) という考察がなされている [Pinker 94]。

すなわち、言語の起源と進化というダイナミクスには、学習や意味づけ、社会における言語変化といったより短い時間スケールのダイナミクスが密接に関わっている。よって、言語進化を理解するためには、そのような速いダイナミクスによる基礎付けが不可欠である。

6.2 生物進化と文化進化

言語に必要なさまざまな認知的・身体的能力が、生物進化によりかたちづくられたのは事実であろう。では、言語に関連する能力の中で何が適応的だったのか。

Pinker と Bloom [Pinker & Bloom 90] は、言語によるコミュニケーション能力自体が適応的だと主張している^{*11}。さらに、言語の非常に多くの部分が生得的であり、文法の基礎はダーウィン進化のプロセスにより形成されると考えている [Pinker 94]。

一方、Chomsky ら [Hauser *et al.* 02] は、言語能力の核である再帰的計算の能力は、コミュニケーション能力として適応的なのではなく、再帰的計算により複雑な思考が可能になるといった他の機能が適応的であったがゆえに進化したと主張している。そして、再帰的計算能力は、後にコミュニケーションにも使われるようになったという。すなわち、言語は思考の進化の副産物であるという考えである。

Tomasello は、様々な人間が文化を作れるようになった社会的認知能力こそが適応的であったことを示唆している [Tomasello 03]。§3. でも述べたように、他者を、心・意志・志向性を持つ存在として認識することは、言語によるコミュニケーションを可能にするために重要である。そのような他者と協調したり、あるいは、他者を操作することによって、社会を作り、個人では不可能なタスクを社会として可能にすることこそ、他の種に対する適応的優位性であるとする立場である。

*11 これを、言語に必要な能力はコミュニケーションの「ために」進化した、という言い方をしてもいいが、目的的な進化という誤解を生みやすい。生物進化は、何か特定の能力や形質を発展「させよう」として生じる目的的なプロセスではない。ある形質が遺伝するものであり、ある個体がその形質を持つことが、その個体の適応度 (= 生殖可能な子供の数) を他個体に比べて高くするならば、子孫はその有利な形質を持って生まれやすいので、その形質は集団中に広まる。これが自然選択のプロセスである。そして、そのような有利な形質は、通常、遺伝子のランダムな突然変異により生じると考える。

また、他種に対する優位性ではなく、性淘汰によって言語が進化したという主張もある。たとえば、岡ノ谷は、メスが複雑な歌を歌うオスを交尾相手として選ぶことにより、鳥の複雑な歌が進化してきたことを明らかにし、このプロセスは人間言語の複雑化にも働いたとしている [Okanoya 02]。

言語に必要な認知能力がいかに進化したかという問題を扱った構成論的な研究はまだ少ない。§5. で紹介した言語ゲームと繰り返し学習は、文化進化をモデル化したものである。文化進化とは、習慣や概念の社会における水平伝達、および、学習による世代間の垂直伝達により、文化や制度が作られ体系的に伝承され変化していくことを指す^{*12}。

繰り返し学習モデルによる研究結果に基づいて、生物進化よりもむしろ文化進化により言語の構造がかたちづくられるとする立場もある [Kirby 00]。しかし、それはすでに言語を学習し使用する能力から出発している。言語進化のプロセスは、言語を可能とするように認知システムが進化し、ヒトに獲得され使用されるように言語システムが進化するという共進化ダイナミクスである。そのようなヒトの能力がどのように進化し、現在のようになったのかという問題に対しても構成論的にアプローチし、生物進化と文化進化の両方の時間スケールをモデルに組み込む必要がある。

6.3 言語の生得性と普遍文法

言語に必要な認知能力の進化を考えるためには、そのような能力とはどのようなものかを同定する必要がある。これは Chomsky のいうプラトン問題とも関係する。子供がほんの数分で獲得するには、言語は複雑すぎる。また、統語構造を正しく推定するためには、入力文の数は少なすぎる (刺激の欠乏)。このような言語獲得の困難性を回避するひとつの方法が、言語能力には生得的な部分が多分にあると考えることである。生得的特徴は学習ではなく進化によって形成されるので、その特徴がどのようなもので、いかに進化したかは、言語に必要な認知能力の進化と関連している。

もちろん、言語の特徴すべてを生得性に帰すことはできない。では、言語のどのような特徴が生得的で、どのような特徴が学習によって決まるのだろうか。あらゆる言語が持っている特徴は、生得的である可能性が高い^{*13}。人間言語の普遍的特徴は普遍文法 (Universal Grammar: UG) と呼ばれる。UG がどのようなものであるかは言語学の主要な問題の一つである。

UG の問題に進化という側面から光をあてることは実りが多いだろう。どのような特徴が普遍的・生得的でありえるのか、あるいは、そうでなければならないのか、じっさいにそうだったのか、また、どの部分が生物進化により、あるいは、文化進化により形作られるかを知ることは、進化言語学の課題である。構成論的アプローチは、ある生得性を仮定することの論理的帰結を知ること役立つ。進化言語学は言語の起源と進化を解明することを通して、言語について、また、人間についての理解を進めようとしている。

6.4 ダブルループ・ダイナミクスと複雑系

最後にもう一度まとめよう。言語の起源と進化においては、生物進化 (phylogenesis)、個人の学習 (ontogenesis)、文化進

*12 Hurford は、文化的伝達における言語構造の進化を glossogenesis と名付けた [Hurford 90]。'glosso-' とは、「言語」を意味する接頭辞であり、「genesis」は「起源」「生成」を意味する。glossogenesis は、生物進化を表す系統発生 (phylogenesis)、学習を表す個体発生 (ontogenesis) と三つ組みをなし、言語の起源と進化を特徴づけるものである。§6.4 を参照。

*13 ヒトという種に生得的であれば必ず普遍的となるが、逆は論理的には成り立たない。学習・発生・環境の制約により、ある構造・形態を取るに至るといった場合も考えられる。

化 (glossogenesis) という三つの時間スケールが相互作用し、認知システムと言語システムは共進化する。また、集団で使用されている言語ルールを獲得し、そのルールに制約されて言語を使用するが、その獲得や使用自体が社会での言語的ルールを改変するというルールダイナミクスがある。これは、図6のようなダブルループ・ダイナミクスとして概念化することができる。

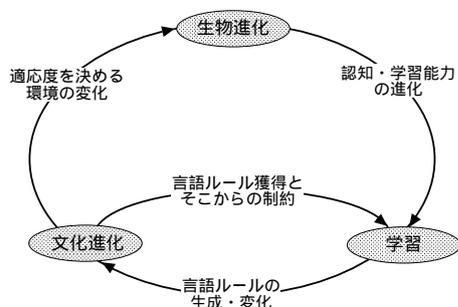


図6: 言語進化を特徴づけるダブルループ・ダイナミクス

このダブルループ・ダイナミクスで概念化される言語の起源と進化は、複雑系の問題と捉えるのが適切である。複雑系は「部分やレベル」、「オペレータとオペランド」、「観測と観測対象」の三つの分離不可能性により特徴づけられる [橋本 02b]。広い時間スケールがさまざまな方法で相関しているという点は、部分・レベルの分離不可能性を示し、あるルールに基づく言語使用を通じて、そのルール自身が変化するというルールダイナミクスは、オペレータとオペランドの分離不可能性という特徴を示す。このように、複数の要因が相互作用しながら時間発展する複雑なダイナミクスを理解するためには、構成論的手法は非常に有効なツールである。

7. おわりに

本論では、言語の起源と進化の問題を、特に構成論的な立場から概観し、言語進化が複雑系の問題であることを述べた。ここで見てきたように、また、進化言語学における最近の発展をまとめた [Christiansen & Kirby 03a] に見られるように、言語の起源と進化に関して多くの仮説やモデルが提唱されている。まさに百家争鳴、百花斉放といった様子である^{*14}。言語進化に興味を持つ研究者の数はますます増える傾向にある。よって、今後新たな知見が得られ、そのような知見に基づいて現在提唱されている仮説の検証も進むだろう。

構成論的研究は、今後、言語の基礎となる能力の進化についてモデル化を進めていくことになるだろう。しかし、本論ではスペースの関係上きちんと述べることができなかったが、既存のモデルもさまざまな問題点を残している。それらを解決し、ダブルループ・ダイナミクス全体を考慮したモデルを作り、言語の起源と進化に関して仮説・理論の精緻化を進めて行かなくてはならない。

謝辞

本論の一部は、Canon Foundation in Europe のフェローとしてエディンバラ大学に滞在していた期間に行った調査お

*14 *Science* 誌に載った [Christiansen & Kirby 03a] の書評のタイトルは “Many perspectives, no consensus” である [Carstairs-McCarthy 04]。

よび研究に基づいている。快く図を提供していただいた、Luc Steels, Frédéric Kaplan, Simon Kirby, Bart de Boer, 飯塚博幸各氏に感謝する。

参考文献

- [Bickerton 81] Bickerton, D: *Roots of Language*, Karoma Publishers (1981) (邦訳: 言語のルーツ, 筑 壽雄 他訳, 大修館書店 (1985)).
- [Brighton 02] Brighton, H: Compositional Syntax from Cultural Transmission, *Artificial Life*, **8** (2002) 25–54.
- [Cangelosi & Parisi 02] Cangelosi, A, Parisi, D: (Eds.) *Simulating the Evolution of Language*, Springer (2002).
- [Christiansen & Kirby 03a] Christiansen, MH, Kirby, S: (Eds.) *Language Evolution: The States of the Art*, Oxford University Press (2003).
- [Deacon 97] Deacon, D: *The Symbolic Species: : The Co-evolution of Language and the Brain*, Norton (1997) (邦訳: ヒトはいかにして人になったか – 言語と脳の共進化, 金子隆芳 訳, 新曜社 (1999)).
- [de Boer 00] de Boer, B: Emergence of Sound Systems through Self-Organisation, In: Knight, C, et al. (Eds.), *The Evolutionary Emergence of Language: Social Function and the Origins of Linguistic Form*, Cambridge University Press (2000).
- [Carstairs-McCarthy 04] Carstairs-McCarthy, A: Many Perspectives, No Consensus, *Science*, **303** (2004) 1299–1300.
- [Dunbar 97] Dunbar, R: *Grooming, Gossip, and the Evolution of Language*, Harvard University Press (1997) (邦訳: ことばの起源 – 猿の毛づくろい、人のゴシップ, 松浦俊輔・服部清美 訳, 青土社 (1998)).
- [藤田 98] 藤田和生: 比較認知科学への招待 – 「こころ」の進化学, ナカニシヤ出版 (1998)
- [Hauser et al. 02] Hauser, MD, Chomsky, N, Fitch, WT: The Faculty of Language: What Is It, Who Has It, and How Did It Evolve?, *Science*, **298** (2002) 1569–1579.
- [Hashimoto 98] Hashimoto, T: Dynamics of Internal and Global Structure through Linguistic Interactions, In: Sichman, J. et al. (Eds.) *Multi-agent systems and Agent-Based Simulation*, Springer (1998), pp.124–139.
- [橋本 99] 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) (1999) 55–65
- [Hashimoto 02a] Hashimoto, T: The Constructive Approach to the Dynamical View of Language, In: [Cangelosi & Parisi 02].
- [橋本 02b] 橋本敬: 複雑系, In: 杉山公造, 他 (編), *ナレッジサイエンス – 知を再編する 64 のキーワード*, 紀伊国屋書店 (2002) pp.126–131.

- [橋本 02c] 橋本敬: 構成論的手法, In: 杉山公造, 他 (編), ナレッジサイエンス – 知を再編する 64 のキーワード, 紀伊国屋書店 (2002) pp.132–135.
- [Hashimoto & Ikegami 96] Hashimoto, T, Ikegami, T: Emergence of Net-Grammar in Communicating Agents, *Biosystems*, **38** (1996) 1–14.
- [Hurford 90] Hurford, JR: Nativist and Functional Explanations in Language Acquisition, In: Roca, IM (Ed.), *Logical Issues in Language Acquisition*, Foris Publications (1990) pp.85–136.
- [Hurford 00] Hurford, JR: Social Transmission Favours Linguistic Generalization, In Knight, C, et al. (Eds.), *The Evolutionary Emergence of Language: Social Function and the Origins of Linguistic Form*, Cambridge University Press (2000) pp.324–352.
- [Iizuka & Ikegami 03] Iizuka, H, Ikegami, T: Adaptive Coupling and Intersubjectivity in Simulated Turn-Taking Behaviour, In: Banzhaf, W et al. (Eds.), *Advances in Artificial Life*, Springer (2003).
- [金子・池上 98] 金子邦彦・池上高志: 複雑系の進化的シナリオ, 朝倉書店 (1998).
- [金子・津田 96] 金子邦彦・津田一朗: 複雑系のカオスのシナリオ, 朝倉書店 (1996).
- [Kirby 00] Simon, K: Syntax without Natural Selection: How Compositionality Emerges from Vocabulary in a Population of Learners, In Knight, C (Ed.), *The Evolutionary Emergence of Language: Social Function and the Origins of Linguistic Form*, Cambridge University Press (2000) pp.303–323.
- [Kirby 02] Simon, K: Learning, Bottlenecks and the Evolution of Recursive Syntax, In Briscoe, E, (Ed.) *Linguistic Evolution through Language Acquisition: Formal and Computational Models*, Cambridge University Press (2002) pp.173–203.
- [Kirby & Hurford 02] Kirby, S, Hurford, JR: The emergence of linguistic structure: an overview of the iterated learning model, In: [Cangelosi & Parisi 02].
- [Komarova & Nowak 02] Komarova, NL, Nowak, MA: Population Dynamics of Grammar Acquisition, In: [Cangelosi & Parisi 02].
- [Nakamura et al. 03a] Nakamura, M, Hashimoto, T, Tojo, S: The Language Dynamics Equations of Population-Based Transition – a Scenario for Creolization, In: *Proceedings of the International Conference on Artificial Intelligence (IC-AI'03)* (2003).
- [Nakamura et al. 03b] Nakamura, M, Hashimoto, T, Tojo, S: Creole Viewed from Population Dynamics, In: *Proceedings of Language Evolution and Computation Workshop/Course at ESSLLI* (2003).
- [Nakamura et al. 04] Nakamura, M, Hashimoto, T, Tojo, S, Smith, K: The Effect of Fitness in the Emergence of Creole, In: *Proceedings of 5th Conference on Evolution of Language* (2004).
- [Okanoya 02] Okanoya, K: Sexual Display as a Syntactic Vehicle: The Evolution of Syntax in Birdsong and Human Language through Sexual Selection, In: Wray, A (Ed.), *The Transition to Language*, Oxford University Press (2002)
- [Okanoya 04] Okanoya, K: The Bengalese Finch – A Window on the Behavioral Neurobiology of Birdsong Syntax, *Ann. N.Y. Acad. Sci.*, **1016** (2004) 1–12.
- [Pinker & Bloom 90] Pinker, S, Bloom, P: Natural Language and Natural Selection, *Behavioral and Brain Sciences*, **13**(4) (1990) 707–784.
- [Pinker 94] Pinker, S: *The Language Instinct: How the Mind Creates Language*, Harpercollins, (1994) (邦訳: 言語を生みだす本能, 椋田直子 訳, 日本放送出版協会 (1995)).
- [坂本 91] 坂本百大: 言語起源論の新展開, 大修館書店 (1991).
- [Smith 02] Smith, K: The Cultural Evolution of Communication in a Population of Neural Networks, *Connection Science*, **14**(1) (2002) 65–84.
- [Smith et al. 03] Smith, K, Brighton, H, Kirby S: Complex Systems in Language Evolution: the Cultural Emergence of Compositional Structure, *Advances in Complex Systems*, **6**(4) (2003) 537–558.
- [Steels 96] Steels, L: Self-Organizing Vocabularies, In: Langton, C and Shimohara, T (Eds.), *Artificial Life V*, MIT Press (1996).
- [Steels 97] Steels, L: The Synthetic Modeling of Language Origins, *Evolution of Communication*, **1**(1) (1997) 1–34.
- [Steels 02] Steels, L: Grounding Symbols through Evolutionary Language Games, In: [Cangelosi & Parisi 02].
- [Steels et al. 02] Steels, L, Kaplan, F, McIntyre, A, Van Looveren, J: Crucial Factors in the Origins of Word-Meaning, In: Alison, W (Ed.), *The Transition to Language*, Oxford University Press (2002).
- [Taylor 95] Taylor, JR: *Linguistic Categorization – Prototypes in Linguistic Theory*, Oxford University Press (1995) (邦訳: 認知言語学のための 14 章, 辻幸夫 訳, 紀伊国屋書店, (1996)).
- [Tomasello 03] Tomasello, M: On the Different Origins of Symbols and Grammar, In: [Christiansen & Kirby 03a].
- [Yamauchi 04] Yamauchi, H: No Mutation, No Correlation – Language Evolution and Baldwinian Niche Construction, In: *Proceedings of 5th Conference on Evolution of Language* (2004).