

# 知能と言語 一人類はいかにして言語を得たか？



---

大須賀 節雄 Setsuo Ohsuga  
東京大学 名誉教授

---

はじめに言葉あり。言葉は神と共にあり。  
言葉は神なり。 (ヨハネ福音書)

**あらまし**：言語の起源について考察する。言語は概念を表現し、処理し、伝達する手段である。言語を持つようになる前の人類は、他の動物と同じように、生命を保持するための生理学的な構造のみを持っていた。そのような原始人類はいかに概念を作り、言語を作ったのだろうか？本稿では言語発生の可能性を示すモデル化について論じる。

**Keyword**：知能、言語の起源、ニューラルネットワーク、概念形成、言語モデル

## 1. はじめに

本論文の目的は言語の誕生した過程について論じることである。最終目標は人間の知能の進歩過程を分析することにあるが、言語の誕生はその中で最も大きな変化であったので、これを中心課題とする。

知能を正しく定義することは難しい。それは知能という言葉には哲学的な意味合いが含まれているからである。しかしそのような哲学的な側面を離れて、知能の機能的な側面を分析することも知能理解に役立つことが多い。この観点からすれば知能、知識、言語などの諸概念間の密接な関連を見ることができ、それから知能の機能的側面を捉えることができる。

この中で知識は良く定義されている。それは認証され、言語によって形式的に表現された事実や考えである。一般には言語の多層的表現形式によって多層的な概念としての知識が表されている。より高いレベルの知識は低いレベルの知識より深い意味を持ち、応用面でもより有用である。

一方、言語の主たる役割は、ものごとを表現し、それを処理することである。その機能は人との間の円滑なコミュニケーションであり、また知識に基づく問題解決である。ここでは推論の機能が重要な役割を演じている。これは既に存在する知識と同レベルあるいはそれ以下の知識と同じかあるいはそれより低いレベルの知識表現を生成し、結果として知識の適用範囲を拡大する。この機能は言語にもともと備わっているものであり、正しくは演繹推論と呼ばれる。

演繹推論は知能ではない。なぜならそれは言語に備わっていて、言語を使えるものなら誰でも、その深い意味を知らなくてもほぼ機械的に発揮できる機能だからである。一方、既存の知識ベース、あるいはそれから演繹推論によって拡大される範囲に存在しない新しい知識が加えられると、その知識のみでなく、演繹の機能により既存知識との組み合わせによって作られる知識の範囲が大きく拡大する。このような新しい知識を創りだす機能を知能と定義することはそれほど無理なものではないであろう。

このように言語は知識の概念を介して知能(の1面)を定義するが、それと同時にその機能を発揮する上でも大きな役割を持っている。新しい知識を創る典型的な方法は、

- (1) 既存の概念から新しい概念(知識)を作り出す [1]
- (2) データから新しい知識を発見する [2]

である。これらの機能は言語を用いることによって発揮され、創られた新しい知識は既存知識に加えられる。

それではこのような知能の発揮に重要な役割を演じる言語はどのようにしてできたのであろうか？これは難しい問題である。現存する言語は極めて複雑なもので、それゆえに、G.W. Leibniz, W.von Humboldt, E.G.A.Husserl, F.L.G.Frege, F.de Saussure, B.A.W.Russell, L.J.J.Wittgensteinなどの著名な言語学者を含む多数の言語学者によって研究対象とされ、解析されてきた。この研究の対象は現存する言語であるが、これは現代にいたるまでの長い期間にわたって言語自体も大きな発展を遂げてきた結果、非常に複雑なものになっている。ではこのような言語の起源は何であったろうか？誰が言語を創ったのであろうか？人類史の初期において人類は言語を持っていなかったことは明らかである。その人類が言語を創作したのであろうか？

言語の重要な機能の一つは他者とのコミュニケーションを可能にすることである。これは概念の交換を行うことである。言語以前には人は誰でも、経験から自分自身が作った概念が全てであった。しかし言語が出来た後は、多くの人は言語を通して、他者の持っている概念を受け取り、それを理解することによって自らの概念とするようになった。実際には自分で創る概念よりこのようにして他者から得た概念のほうがはるかに多くなるのが普通で、言語は人々が知識を増大させ、知能を進化させるのに大きく関与してきた。逆に、言語以前は人類の知的レベルは非常に低かったに違いない。そのように低い知能レベルの人類がどうして複雑な構造と機能を持つ言語を創れたのであろうか？これはミステリーと言える。

最近、このような言語の起源について興味を持つ人が増えてきた[3]。本稿も言語の起源について論じる。本稿の特徴は原始人類の脳内の生物的機構から言語が生まれてきた可能性について議論することである。この目的は、言語の誕生そして知能の発展に至るまでを含めて人類

の進化過程を一貫して説明できるようにすることである[4]。

## 2. 生物的処理

### 2.1 生物的処理としてのニューラルネットワーク

人の脳では2種類の処理が行われている。一つは生命維持を目的として進化してきた生物的な処理機構によるもの、もう一つは言語処理である。実際には初期に(言語創生時に)物理的に存在したのは生物的な処理機構のみである。

生体内の基本的な生物的処理機構はニューロンから構成されるニューラルネットワーク(以下簡単のためNNと略称する)である。人間の脳はNNから形成され、進化に伴うニューロンの増大によって複雑なものになってきた。現代人はおよそ1,000億個のニューロンと、その接合部分である100ないし1,000兆のシナプスを持つと言われている。個人としての人間の誕生後、脳内で急速にニューロンが増大する。

初期においてNNは生命維持のためのものであった。このために2種の処理系統が作られている。自律神経系と非自律神経系である。例えば前者は体温調節のため、後者では食物を獲得し交配を行うなどである。

またNNでは異なる機能分担が生じる。外部信号を検知するもの(センサー)、生体としての動作を行うもの(アクチュエーターあるいは効果器)、センサーとアクチュエーターを結合し、かつ制御する制御装置である。しかし多くのニューロンの振舞いあるいはその存在すらまだ良く知られておらず、解析も困難である。例えば、我々は人間には体温調節の機能が不可欠と信じている。しかし皮膚内の温度センサーから脳内の体温調節(神経)センターを介して熱発生アクチュエータに至る経路はこれまで見出されておらず、ごく最近漸くそれが見出された[5]。これは神経科学の研究の業績であるが、この分野ではこのようなボトムアップの方法が標準的な研究アプローチとされている。しかし人間の知能解明のような遠い目標に達するための方法としては、これに加えて、仮説に基づいて可能性を検証するトップダウンのアプローチを有効に利用することも必要であろう。

### 2.2 NNシステムの基本構成

NNは複合的に機能達成システムを形成する。この基本構成はセンサーNNとアクチュエータNNが制御NNによって結合されるというもので、機能が複雑になると制御NNは複数のNNの複合体となる。NNの内部(ミクロスコピックな)構成は複雑で個々のケースで異なるが、外部的な(マクロスコピックな)入出力関係は比較的単純である。これは工学的に図2.1のように表されるが、以下ではこの数学的モデルとして図2.2のような表現を用いる。

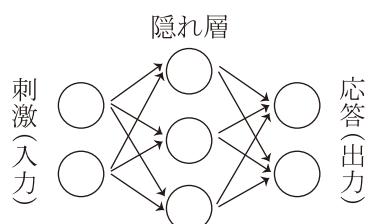


図2.1 人工的NNモデル

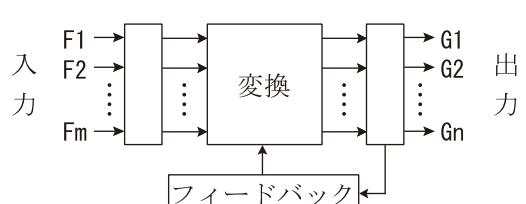


図2.2 NNの定型的表現

## 2.3 NNの成長および学習モデル

ニューロンの2大特徴は成長と学習である。ニューロンは生体の誕生とともに急速に成長する。ついで学習によって各種の機能が実現される。もしこの結果が生活環境に適したものであるならこの生体は生き残るが、そうでなければ淘汰される。

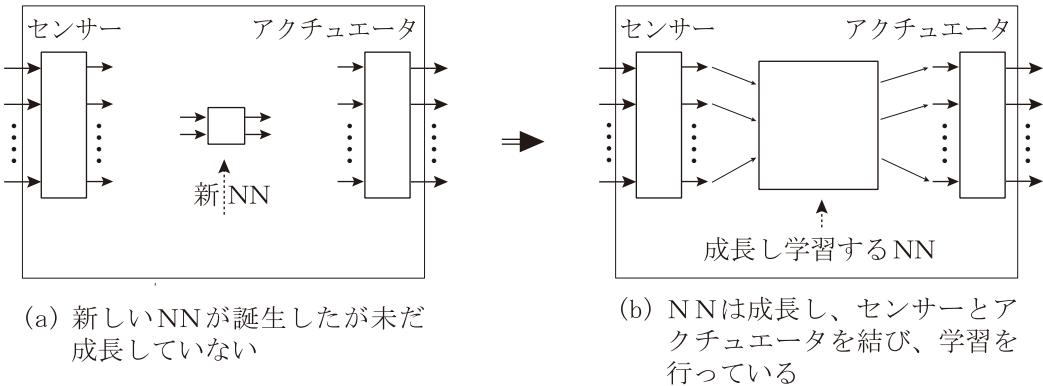


図2.3 NNの成長モデルのシミュレーション(例)

Jari Vaario [6] はこれに関して人工生命の興味深いシミュレーションを行った。このモデルではセンサーとアクチュエータとは既に備わっている原始生物を想定し、目的は新しいNN(制御NN)がこれらセンサーとアクチュエータ間に創られ、その結果生物は全体として食餌を捕らえ、ついで異性体との交配を行うことによって個体の保存と種の保存がなされるモデルが作られることを示すことであった。成長モデルはリンデンマイヤーモデル [7] を用いて創られた。リンデンマイヤーモデルは樹状構造の成長を表す数学的モデルである。このシミュレーションでは多くの試行後生物は食餌の捕獲と交配に成功した。

## 2.4 NNの発火制御

生体というシステムの中には多数のNNが存在し、時にそのいくつかが協調的に働く。同時に他のNNが別の目的の機能を発揮する。このように一つ以上のNNが存在するときにはそれらの間に一定の関係が保たれねばならない。NN自体は静的な構造であり、発火されなければ動作しない。全てのNNは外部からの制御信号によって発火されねばならない。原始的な生物ではNNは要求によって発火されるとするのは自然である。例えば空腹を満たす要求によって食餌獲得の動作NNが発火される。生体内にはこのような要求の発生器があり、NNは通常の作業情報を受け取るポートの外に制御信号を受け取る特別のポートを持っていなければならない。すなわち標準のNNは2種の情報、作業情報と制御情報を別に受け取る、図2.4の構造のものでなければならない。

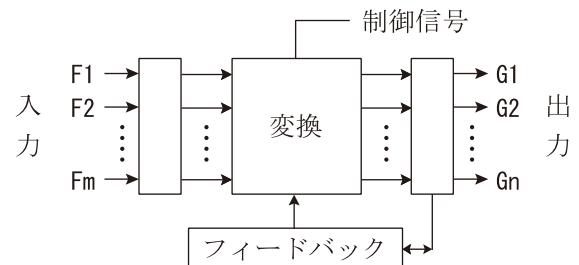


図2.4 標準NN

制御情報に関しては既に抑制ニューロンと呼ばれる特別なニューロンが存在することは知られている。これはニューロンの動作を抑える機能を持つ。その性質は良く判っていないが、これがNNの動作制御を行うことは明らかといえる。以下では図2.4のNNを生物的処理システムの基本とする。

### 3. 生物的処理機構による言語処理に関する予備的な考察

#### 3.1 言語進歩の議論に関する前提

言語は今から30,000ないし50,000年前に作られたとされている。NNの処理アルゴリズムは単純だが言語処理は遙かに抽象的で複雑である。人類史の初期には生命維持のためのNNがあるのみであった。原始言語はそこから発生した。最初の言語はNNによって処理されていたと考える外ない。我々の目的はNNによって言語処理がどのようにして行われたかを見出すことである。すなわちNNが言語処理の特徴をもっていることを示すことである。この方法を示す直接の鍵はない。その代わりとして、以下ではこの過程を表すモデルを作るというアプローチを取る。議論に入る前に以下の過程および前提から出発する。

- 1 現存する全ての自然言語(日本語、英語、その他)は全て同じ意味一構造関係を持っている。  
従って、全ての言語を表す共通形式を標準形式として導入することが出来る。以下では標準言語として論理述語を用いる。特に型付論理述語を用いる。通常の1階述語では“人は死ぬ”を $(\forall x)[\text{man}(x) \rightarrow \text{mortal}(x)]$ のように表すが、型付論理ではここに集合の概念を陽に導入して、これを $(\forall x/\text{MAN}) \text{mortal}(x)$ のように表す。ここでMANは変数xの変域集合である。するとSocrates $\in$ MANという集合関係に基づいて“Socratesは死ぬ”が導かれる。同様にして日本人 $\subset$ MANに基づいて“日本人は死ぬ”が求まる。一般に、 $D; \{D_1, D_2, \dots, D_n\}, D \supseteq D_i$ 、とすると、任意の述語 predicate<sub>1</sub>(x)について、 $(\forall x/D) \text{predicate}_1(x)$ は $D_i \subset D$ なるすべての $D_i$ について $(\forall x/D_i) \text{predicate}_1(x)$ を含意する。すなわち、 $(\forall x/D) \text{predicate}_1(x) \rightarrow (\forall x/D_i) \text{predicate}_1(x), (D_i \subset D)$ である。日本語、英語など多くの言語はこの標準述語に翻訳可能である。
- 2 言語の進化過程において2種類の言語について論争があった[9]。統合的(全体的)言語と構成的言語である[8]。統合的言語は非構造的で表現全体が基本的意味に対応するのにたいし、構成的言語ではいくつかの語から文が構成的に作られ、意味の複合的表現が可能である。現代の言語はほとんど全て構成的言語になっているが、本稿では原始言語は統合的言語であり、それが言語の進化によって構成的言語に移行したとする立場に立つ。その理由は言語の発生・進化の過程において連続する2つの段階間の距離が小さいほど実現の可能性が高いことが明らかであるが、生物的処理によって原始言語が生まれる過程においては統合的言語の方が生物的処理に近いからである。
- 3 原始言語は内部の概念が直接音声の発生機構に結合し、音によって表現される音声言語であった。後にこれが記号言語に発展し、全ての概念が記号で表されるようになった。

### 3.2 目標達成のためのサブゴール

最終目標への道は以下の課題に答えるサブゴールの列に展開される。

- (1) 概念とは何か？
- (2) いかにして概念が創られたか？
- (3) いかにして概念は統合型言語と結びついたか？
- (4) いかにして統合型言語は構成型言語に発展したか？
- (5) いかにして構成型音声言語は記号言語に移行したか？

#### 3.2.1 概念とは何か？

言語の役割の一つはコミュニケーションを可能にすることである。コミュニケーションの目的は概念の伝達・交換にある。言語の観点からは、概念とは人が言語によって表したいと思う事柄である。このことは言語以前に原始的概念が存在し言語はその概念を表現するためのものとして作られたことを意味する。今日では多くの概念は言葉で表されている。

概念は原始概念と複合概念に分けられる。原始概念はそれ以上分割できない基本概念である。言語が広く使われるようになる以前は、全ての概念は物理的な物(例えはNN)の形で表されるほかなかった。一方複合概念は既存の概念から構成的に創られる概念である。言語内では既存概念(言語)を用いて新しい(複合)概念が創られる。概念の複合化は今日でも続いている。第1章の(1)項はこれを示している。

原始言語は原始概念の範囲内で、すなわち原始概念を表現する必要最小限のものとして創られたと考えられる。存在しない概念を表す言語が創られる理由は無いからである。各種の概念がNNによって表された。それらは、(1)特定の個体などの実体、(2)実体の性質、(3)実体間の関係、(4)実体の機能／振舞である。これらは人間の生活の様式あるいは行動に密接に関わるものである。実体はセンサーによって検知され、性質はこの実体を検知するセンサーによって明示され(センサーはこの性質の識別子になる)、実体の関係は関連する実体の同時出現として認識され、これら実体を検知するセンサーの組によって明示される。これらに対し機能や振舞の概念はどのように表されるのであろうか？この問題は第4章で論じられる。

#### 3.2.2 いかにして概念が創られたか？

実体や性質、関係、機能(振舞)などの概念はNNの動作によって自然に生成される。生物的処理とはこれら概念を処理する形式の一つである。言語はこれと別な概念処理の形式であり、現代の言語は概念の複合化が容易な方式である。しかし現代言語の元になっている原始言語は生物的な処理に基づいて作られたことは明らかである。

実体や性質、関係の概念を生物的処理のシステムによって定義することは困難ではなかった。なぜならこれらの概念の定義は単純であり、対応するNNの入出力ポートによって表されるからである。しかし機能(振舞)の概念はこのように容易ではない。なぜならそれはNNの動作によって定義され、動作そのものの概念化が必要とされるからである。生物的処理と言語処理は異なっており、これら2種の異なる方式間で機能(振舞)の概念の同一性は保証されない。この関係を知るには、まず第1に生物的処理と言語処理の違いを知り、ついでこれら両者間に共通性

があるか否かを知ることが必要である。このためにこれら両者を比較するための枠組みを作る。これについては第4章で述べる。

### 3.2.3 いかにして概念は統合型言語と結びついたか?

生体内で創られた概念は音声言語として発話される。概念をつくり発話するために特別な生物的な処理装置が使われる。それはどのようなものか?そして概念が発話されるためにその生物的な機構はどのように相互に連結されるか?これは言語生成の最初に論じるべきことであり、以下では5.1節で述べられる。

### 3.2.4 いかにして統合型言語は構成型言語に発展したか?

統合型言語では相互に区別できる音の種類が制約されるから、表現の種類は制約されている。これは発話機構に依存する。これでは人類が進化するにつれ増大する概念の要求を満たすことが出来ない。このため構成的言語が創られた。これにはまず生体内に多数の概念構造が作られ、それに対応して言語の構造が作られたと考えられる。これについては5.2節で論じる。

### 3.2.5 いかにして構成型音声言語は記号言語に移行したか?

言語構造がさらに複雑になると言語は純粹に記号的な言語に移行する。これには生物的処理機能の更なる発展が必要であるが、記号言語を処理する機構については未だ未解明の部分が多い。これについては5.3節で触れる。

## 4. 生物的処理と言語処理の関係

### 4.1 生物的処理と言語処理の比較

初期の言語はNNで処理されていたとは言え、NNの主たる目的は生体維持であり、言語処理とは全く別物である。そのようなNNからいかにして言語は生じたのだろうか?これを明らかにするにはまずNNの処理と言語処理の違いを詳細に分析する必要があり、それにはこれらを比較する枠組みが必要である[10]。

生物的処理は以下のような形式で表される。

(センサー - ニューラル・システム - アクチュエータ)



処理部は図2.4の構造で入力を処理して出力を生成する。これは入力の直接変換である。入力はいくつかの変数の組からなるベクトルの出現値であるが、このベクトルをPf、結果として得られる出力ベクトルをPgとしよう。すると、NNの処理は  $Pg = Pf \times T$  と表される。ここでTは図2.4の形式を数学的に表す変換行列である。

一方、言語処理を類似の形式で、

(質問 - 言語処理 - 解答)



と表そう。処理部はNNと同様、入力を処理して出力を生成するが、言語処理の原理は推論であり、これは一般に $(\forall x/D)F(x) \& (\forall x/D)[F(x) \rightarrow G(x)] \Rightarrow (\forall x/D)G(x)$ のように表される。推論は言語内でコミュニケーションにも概念形成にも重要な役割を演じる。

$(\forall x/D)$ は全ての出現値に共通の性質であることを示す。 $F(x)$ (および $G(x)$ )は $x$ の性質と解釈される。すなわち、「 $F(x)$  ;  $D$ 内の要素 $x$ は性質 $F$ を持つ」である。すると $(\forall x/D)F(x)$ は $F$ に基づく $D$ の状態、すなわち、 $D$ は「その全ての要素 $x$ が $F(x)$ である」という状態を表している。 $(\forall x/D)[F(x) \rightarrow G(x)]$ はこの系の機能あるいは振舞を表していると解釈できる。しかし、NNによる初期の言語処理では変数の概念表現することは困難であった。変数はあくまで記号的な概念だからである。集合 $D$ を有限集合 $(a, b, c, \dots, z)$ としよう。すると $(\forall x/D)$ は $D = (a, b, c, \dots, z)$ の個々の出現値の並置処理を示す。 $D$ が有限であるということは論理述語の代わりに論理命題の組を処理することを意味する。

生物的処理と言語処理の両方と同じ形式で表現するために演繹推論を $(\forall x/D)F(x)$ と $(\forall x/D)[F(x) \rightarrow G(x)]$ から $(\forall x/D)G(x)$ を求める操作と解釈しよう。ここで入力は $(\forall x/D)F(x)$ 、出力は $(\forall x/D)G(x)$ であり、 $(\forall x/D)[F(x) \rightarrow G(x)]$ が変換を表す。

上記のように $(\forall x/D)F(x)$ は $F$ に関する $D$ の状態を表している。この概念を表現するために $D$ の状態空間を定義する。まず $F$ に関する $D$ の状態を定義する。これは $D$ 内の全ての要素 $x$ について $F(x)$ の組み合わせである。例えば‘ $F(a)$ ；真’、‘ $F(b)$ ；偽’、‘ $F(c)$ ；偽’、‘ $\dots$ ’、‘ $F(z)$ ；真’のような状態SFIが存在する。これは $SFI = (F(a), \neg F(b), \neg F(c), \dots, F(z))$ である。全体で $N = 2n (= 2^{**n})$ 個の異なる状態が存在する。 $(\forall x/D)F(x)$ はそのうちの一つである。

‘ $F(x)$ ；真’を1、‘ $F(x)$ ；偽’を0とし、出現順にこの0と1を並べて出来る2進数をIとしよう。上記のケースでは $I = 100\dots1$ である。すると $SFI$ は $SFI = (1, 0, 0, \dots, 1)$ のように表される。全状態の中で $SF\forall = \{(1, 1, \dots, 1)\} = (\forall x/D)F(x)$ と $SF\exists = \{Sf - (0, 0, \dots, 0)\} = (\exists x/D)F(x)$ は1階述語に標準として現れる特殊な状態である。

次に状態ベクトルSFとその確率ベクトルPFを定義する。SFは要素が上記ID(I)の順序で並べられたベクトル $SF = (SF_0, SF_1, \dots, SF_{N-1})$ である。 $D$ の各要素ごとに $F$ の真／偽は変わるとしよう。学習過程では $F$ の真／偽は変化する。少なくとも一つの要素について真／偽が変化すると $D$ の状態も変化する。PFIで集合 $D$ が状態SFIに有る確率とし、PFで対応する確率ベクトルとする。すなわち $PF = (PF_0, PF_1, \dots, PF_{N-1})$ である。この時前述した推論操作を入出力関係として $PG = PF \times T$ と表すことが出来る。Tは遷移行列である。これは生物的処理のものと同形である。 $PG = PF \times T$ で表されるNNが有ってもおかしくはない。ただしこの関係は現実の変換を表すものではなく、仮想的な関係である。実際の処理はこれを状態空間から実空間のNNに戻す変換によって求められる。

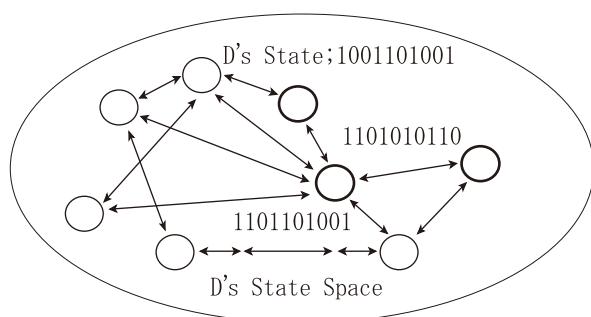


図4.1 論理的推論の状態遷移モデル

## 4.2 生物的処理は一定の条件のもとで言語処理のように振舞う

論理述語から作られた上記関係  $PG = PF \times T$  には関係  $F \wedge [F \rightarrow G] \Rightarrow G$  を満たすための特別の条件がある。これを条件C1と呼ぼう。この条件は行列Tに関する条件で、行列は図4.2のような形のものでなければならない。これをL-行列と呼ぶことにする。これは論理述語の表現に依存する。図4.2はこれが  $(\forall x/D) [F(x) \rightarrow G(x)]$ ,  $D = (a_1, a_2, a_3, a_4)$  であるときの例である。この表現は生物的情報システムとしては図4.3のような単純なものである。この図で(a)は1センサ、1NN、1アクチュエータの単純な実システムであり、(b)はそれに対応する状態空間での行列を表す。NNは変数を表現すことができず、有限個の実現値を扱うのみである。図ではこれを選び出す選択子があるように書かれているが、実際にはこのような特別な選択子が回路的に存在すると言うより、外部の対象物(EO)の特定の特徴量を処理するようにセンサーが作られていると言うのが妥当である。センサー(S)はこの値を受けて性質F(a)等を生成し、NN(N)がこれを受けて変換して出力G(a)等を生成する。この出力はアクチュエータ(A)(あるいは他のNN)に送られる。

条件C1は次のように作られる。言語の特徴は推論にあるが、定義により  $F \rightarrow G = -F \vee G$ 、すなわち、もし  $F(x)$  が真であるなら  $G(x)$  も真でなければならぬ。これは‘ $F(x)$  ; True’を含む状態SFIから‘ $G(x)$  ; False’を含む状態SGJへの遷移は生じないこと、この対に対する行列の要素  $t_{IJ}$  はゼロであることを意味する。図に見られるように、行列内の多くの要素はゼロになる。

$PG = PF \times T$  はNNと同じ形式であり、これに相当するNNは論理述語  $F \wedge [F \rightarrow G] \Rightarrow G$  と同じ様に振舞う。言い換えればC1を満たすNNは言語処理と同じ性質を持つ。

L-行列は多くのゼロを含むが一般の生物的情報システムにはこのような制約は無い。これが言語処理と生物的処理の違いと言える。

	PG0	PG1	PG2	PG3	PG4	PG5	PG6	PG7	PG8	PG9	PGa	PGb	PGc	PGd	PGe	PGf
PF0	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
PF1	0	x	0	x	0	x	0	x	0	x	0	x	0	x	0	x
PF2	0	0	x	x	0	0	x	x	0	0	x	x	0	0	x	x
PF3	0	0	0	x	0	0	x	0	0	x	0	0	0	x	0	x
PF4	0	0	0	0	x	x	x	0	0	0	x	x	x	x	x	x
PF5	0	0	0	0	0	x	0	x	0	0	0	0	x	0	x	x
PF6	0	0	0	0	0	0	x	x	0	0	0	0	0	x	x	x
PF7	0	0	0	0	0	0	x	0	0	0	0	0	0	0	x	x
PF8	0	0	0	0	0	0	0	x	x	x	x	x	x	x	x	x
PF9	0	0	0	0	0	0	0	0	x	0	x	0	x	0	x	x
PFa	0	0	0	0	0	0	0	0	0	x	x	0	0	x	x	x
PFb	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	x	0	0	0	0	x
PFc	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	x	x	x	x	x
PFd	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	x	0	x	x
PFe	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	x	x	x
PFf	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	x

図4.2 論理表現  $(\forall x/D) [F(x) \rightarrow G(x)]$ 、  
 $D = (a_1, a_2, a_3, a_4)$  に対応する L-行列

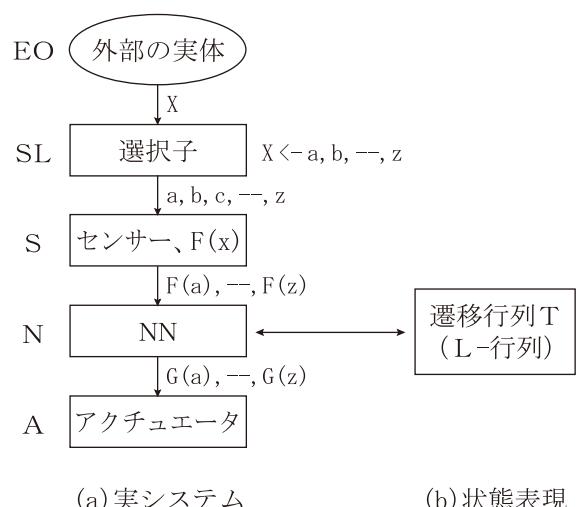


図4.3 最も単純な  
ニューラルネットワークシステム

#### 4.3 一般の述語に対するL-行列

L-行列は論理式の形に依存する。図4.4は最も単純なものであったが、もっと複雑なものではL-行列も複雑になる。前者に対しては複合状態SF = SF1 × SF2が定義される。SF1とSF2はそれぞれF1(x)およびF2(x,y)に対応する状態である。複合状態SFに対応して複合状態確率ベクトルがPFが定義される。SFの状態数は $2^{**}(2^{**n})$ ( $2^{**n}$ は $2^n$ を示す)。この場合3次元の行列(立体行列)が定義される。この次元数は含意関係を表す論理式の前提部の述語の数で、3次元以上のものもある。 $(\forall x/D)(\forall y/E)[F1(x) \wedge F2(x, y) \rightarrow G(y)]$ には2個の変数が含まれるが、変域D × E上に新変数zが定義される。図4.5はこの例に対するNNシステムの構成を表す。常態空間内の第1、第2、第3の軸はそれぞれF1(x)、F2(x, y)およびG(y)に対応する。これに対応する状態空間内の要素は図4.4の場合と同様に決定される。

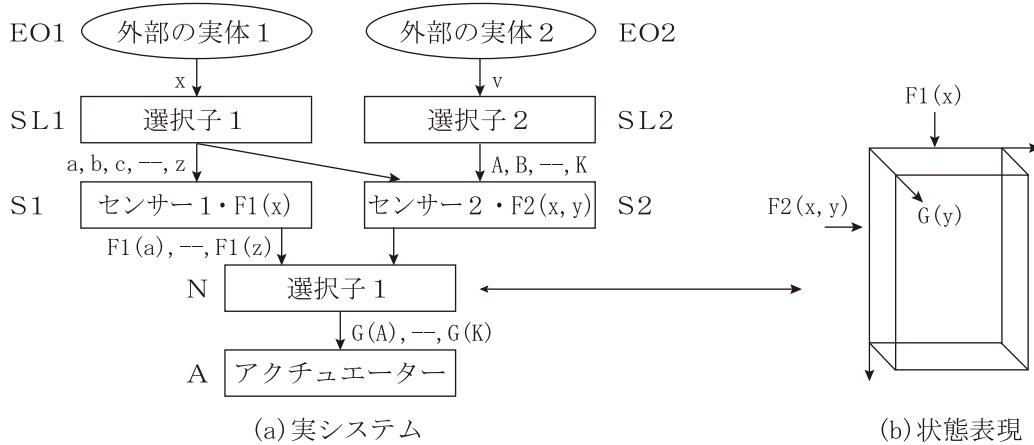


図4.4  $(\forall x/D)[F1(x) \wedge F2(x, y) \rightarrow G(y)]$ に対する遷移行列の多次元表現

#### 4.4 曖昧度を含む表現

L-行列は多数のゼロを含むと述べたが、これは $(\forall x/D)[F(x) \rightarrow G(x)]$ のように断定的な論理表現の場合である。現実の事象の表現に際して常に断定的な表現がなされるわけではない。事象そのものに不確定性を含む場合や、記述者の側に断定的に表現する自信がない場合など、日常的には曖昧度を含む表現のほうが多いとも言える。そのような場合それに応じたL-行列表現がある。

曖昧度を確率的な測度で表すものとする。単純な例は事実の表現 $(\forall x/D)F(x)$ を $(\forall x/D)\{F(x), p(x)\}$ のように拡張することである。これは“‘F(x)；真’の確率は $p(x)$ である”と読む。 $p(x)$ はD上の確率分布である。

D上の確率分布 $p(x)$ とSF上の状態確率分布PFは相互の交換可能である。SF内 $x : i, j, \dots$ について‘F(x)；真’、 $x : k, l, \dots$ について‘F(x)；偽’としよう。すると $PFI = p(i) \times p(j) \times \dots \times (1-p(k)) \times (1-p(l)) \times \dots$ 、また $p(x) = \sum_{i \in I} PF_i$ である。ここで $i \in I$ はPF内でiに関し正の要素のみを加え合わせることを意味する。

一方、論理的な含意の表現について確率的表現を $(\forall x/D) \{ [F(x) \rightarrow G(x)], q(x) \}$ のように表す。これは $F(x) \rightarrow G(x)$ が確率 $q(x)$ で生じることを意味する。この表現は確率値は各要素ごとに独立に与えられる場合(要素相互の生起関係はない場合)についての表現である。

論理推論は2ステップでなされる。通常の推論と確率値評価である。

$$(\forall x/D) \{ F(x), p(x) \} \wedge (\forall x/D) \{ [F(x) \rightarrow G(x)], q(x) \} \Rightarrow (\forall x/D) \{ G(x), r(x) \}$$

$$r(x) = f(p(x), q(x)),$$

$$r(x) \text{ の評価は } r(x_i) = \sum_{i \in I} PGI = \sum_{i \in I} (\sum_I PFI \times t_{IJ}), (x_i \text{ は } D \text{ の } i \text{ 番目の要素})$$

$(\forall x/D) [F(x) \rightarrow G(x)]$  は確率 $q(x)$ でのみ保証されるから、この場合の L-行列は多くの要素はもはや 0 にはならず、それら確率の合計が  $1 - q(x)$  になる一定の正値を持つ。これは L-行列の拡張である。非確率的論理表現の場合の L-行列は一つの論理表現にユニークに対応するが、確率的表現の場合には確率 $p(x)$  と  $q(x)$  に依存して多種の論理表現が対応する。しかしこれらは任意の行列ではなく、上記のようにそれぞれ $p(x)$  と  $q(x)$  から求まる PF および PG の関係を満たすものに限られる。

#### 4.5 L-行列の特徴

L-行列の特徴はどのようなものであろうか?これを知るために L-行列を掛けると言う操作を繰り返すことを想定する。すなわち  $\lim_{n \rightarrow \infty} T^n$  を行ってみる。すると出力ベクトルは  $PGf$  以外の全ての要素は 0 に収斂し、 $PGf$  自体は 1 に近づく。 $PGf$  は状態ベクトル  $SF = (SF0, SF1, \dots, SFN-1)$  の最後の状態すなわち  $(\forall x/D) F(x)$  に対応する確率である。そして行列の中で、 $t f f (=tN-1N-1)$  以外の全要素は何の効果も持たない。これは集合  $D$  内の要素間に相互干渉が無いことそして各要素の生起確率は相互に独立であること、を意味している。もし  $D$  の状態確率がこの状況になった場合、状態遷移の表現はもはや不要になる。そして状態空間のような仮想空間での遷移の替わりに実空間での  $D$  の各要素間の遷移行列が図4.5のように作られる。これは論理表現の基本形である。この図に示されたのは  $(\forall x/D) [F(x) \rightarrow G(x)]$  のような最も単純な論理表現の場合であり、もっと複雑な形の論理表現ではこの行列はもっと複雑になり、さらに確率的な表現の場合には図4.4の行列のゼロの要素が正の値を持つ。NN が生成された時点では行列は値がランダムに分布しているが、これが学習によって変化する過程で確率を持つ論理表現に対応する表現になったとき、この NN は確率を含む論理系と等価になり、さらに N N が厳密な(確率を含まない)論理表現になる性質のものであるなら、更なる学習により確率表現の範囲内で厳密な論理表現に収斂する。確率を持つ論理表現に対応する実プロセスの行列表現は、対応する状態空間内の、確率を持つ論理表現に対応する D 状態プロセスの遷移の L-行列表現から求められる。

	q(a1)	q(a2)	q(a3)	q(a4)
p(a1)	1	0	0	0
p(a2)	0	1	0	0
p(a3)	0	0	1	0
p(a4)	0	0	0	1

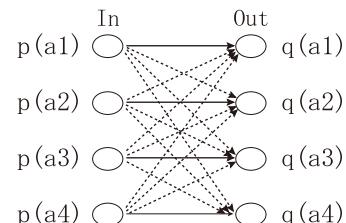


図4.5 L-行列の性質

#### 4.6 自然淘汰による学習

図4.2のL-行列は図4.3のNNシステムに対応するものであるが、以下でもこの簡単な例について議論を進める。生物がこのシステムに基づいて行動するとしよう。このNNに対する遷移行列Tはそれが生成されたときランダムに作られるから、この動作の結果は例えば餌を捕らえるといった目的を必ずしも達成できない。この結果はフィードバックされてこの事実が学習される。すなわちNN内の経路の重みが修整される。実際の遷移に状態空間での遷移が対応する。この状態空間での遷移に対する学習は、入力と出力がそれぞれF(a)とG(a)であり、行動結果が成功であったら‘F(a)；真’、‘G(a)；真’に対応するSFI、SGJ間の確率を増大し、他は減少する。もし行為の結果が失敗であったらこの逆を行う。学習を開始した初期には成功確率は大きなものではないが、もしこの生物が運良ければ成功確率は学習によって増加し、以後生物は行きつづけるであろう。そうでない場合、生物は生き残れず死滅する。

学習として $(\forall x/D)[F(x) \rightarrow G(x)]$ を満たすデータ対 $(F(x), G(x))$ の組が用意されているとしよう。これによる学習によって遷移行列はL-行列に収斂する。状態空間での学習では1データ対によって行列Tの複数要素が変更される。すなわちデータ対 $\{F(a), G(a)\}$ はSFおよびSGの中で‘F(a)；真’および‘G(a)；真’を含む全ての状態に関する項を修整することになる。一例として全体に均一に正値要素が分布している行列から始めたものの学習結果を図4.6に示す。

実際にはこのような学習は起こりえない。 $(F(a), G(a))$ のデータ対の集合を前もって用意しておくことはありえないからである。学習は行為結果のフィードバックによってのみ行われる。もし行為の成功率が生物の存命中に増加したら、学習により遷移行列はより成功率の高いものになる。生物がより確定的な論理表現に近い遷移行列を持つほど、成功率は高く、生存競争によってそうでないものを駆逐するであろう。この自然淘汰の効果により、 $(F(a), G(a))$ データ対の組が前もって与えられた学習と同じ結果が得られると想定することができる。

	PG0	PG1	PG2	PG3	PG4	PG5	PG6	PG7	PG8	PG9	PGa	PGb	PGc	PGd	PGe	PGf
PF0	.078	.031	.004	.105	.021	.088	.073	.061	.048	.035	.084	.031	.043	.091	.122	.086
PF1	.000	.143	.000	.083	.000	.196	.000	.104	.000	.037	.000	.161	.000	.166	.000	.109
PF2	.000	.000	.090	.080	.000	.000	.167	.114	.000	.000	.067	.164	.000	.000	.136	.182
PF3	.000	.000	.000	.312	.000	.000	.000	.138	.000	.000	.000	.376	.000	.000	.000	.174
PF4	.000	.000	.000	.000	.146	.194	.071	.069	.000	.000	.000	.000	.195	.075	.164	.087
PF5	.000	.000	.000	.000	.000	.279	.000	.284	.000	.000	.000	.000	.000	.218	.000	.219
PF6	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.333	.280	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.209	.177
PF7	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.432	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.568
PF8	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.156	.058	.161	.101	.066	.174	.144	.141
PF9	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.297	.000	.188	.000	.299	.000	.216
PFa	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.256	.314	.000	.000	.182	.248
PFb	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.566	.000	.000	.000	.434
PFc	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.363	.184	.255	.198	
PFd	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.523	.000	.477	
PFe	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.526	.474	
PFF	.002	.002	.002	.002	.002	.002	.002	.002	.002	.002	.002	.002	.002	.002	.002	.974

図4.6 データ対が与えられていた場合の学習結果

#### 4.7 言語処理系としてのL-行列NN

状態空間内でL-行列を持つNNは $F(x)$ を受け取って論理表現の場合と同じ $G(x)$ を生成するから言語処理と同じである。確率を含む場合も学習によって確率を含む言語表現に対応するL-行列を作ることに変わりはない。

この結果は、生物としての人間が、機能(振舞)の概念を持つことが出来たことを意味する。これは言語が出来た後は推論の言語表現に対応する概念である。これは学習によってL-行列が得られた結果であり、これは自然の中に隠されている論理的因果関係が発現した結果と言える。もし $(\forall x/D)[F(x) \rightarrow G(x)]$ を満たす $(F(a), G(a))$ のようなデータ対以外のもの、例えば $(F(b), G(a))$ で行為が成功したとすると、L-行列であるならゼロであるべき項に値が入り、学習結果はL-行列にはならない。このような例は一般のNNでは多数見られる場合であるが、これは言語では表現が出来ない機能である。逆に論理表現が出来る入出力関係が存在する場合に、NNは学習によってそれを顕在化する。その結果がL-行列である。

言語の特性である因果関係を満たす情報は最初から自然界にあった。それはそれ以外の情報と混在しているが、学習と自然淘汰を通してNNがそれを選別あるいは発見し、行為(振舞)概念を顕在化させた。すなわち人類は意図的に言語を創ったわけではなく、必要に応じて言語機能を発見したと言うのが正しい見方なのではないだろうか?

行為概念が見出されたことは、論理表現、すなわち知識をNNの形で記憶することでもある。これを参照することは知識を利用するに外ならない。

NNが処理するのはこのような言語化可能な情報のみではない。学習によってもL-行列に到達しない場合も非常に多い。L-行列になる場合を含めて一般のNNの遷移行列の全体をMとし、この中でL-行列になる場合をLとしよう。当然一般NNの表現がカバーする範囲は言語化できる場合より大きい。この差は形式的に $M-L$ である。この中には感性、感覚、官能、技能などと呼ばれる情報処理が含まれる。

### 5. 言語生成モデルの作成

言語は人類の歴史の中のどこかで創られたことは明らかであるが、今日ではそれがいつどのようにして創られたかとを示す事実は見つからない。従って以下では言語が創られた過程のモデルをつくることを考える。モデルは実証できる方法、すなわちシミュレーションが可能な方法によって作られねばならない。具体的には言語生成のモデルを、成長と学習の可能なNNのみによって創ることである。

#### 5.1 原始言語

人間は様々な概念を処理している。これを(1)原始概念と(2)複合概念に分けておこう。

##### [1] 物理的な「物」によって表される原始概念

原始概念はそれ以上単純な概念の組に分割することが出来ず、单一のNNによって扱われる概念である。原始概念にはいくつかの性質のものがある。(1)実体を表す概念、(2)実体の性質を表す概念、(3)実体同の関係を表す概念、(4)実体の機能(振舞)を表す概念、などである。概念は人類が生きてゆく上で必要な判断や行動を行う上で認識しておかねばならない必要最小限

の事柄である。後に言語が創られ、それが高度化とともに、そして知識の蓄積によって人類の生活の困難が軽減されるとともに、より抽象的な概念が創られるようになるが、これは言語の性質に強く依存したもので、言語自体が創られた時代には原始的な概念のみであったと考えるのは妥当である。

原始概念、特に言語が創生される以前の概念は、言語以外の「物」によって表される外ない。上記の原始概念のうち実体はセンサーによって検知され、実体の性質は実体を検知した特定のセンサーによって分別され(センサーがこの性質のアイデンティファイアになる)、実体の関係は実体の共生起によって検知されて、これらの実体を検知したセンサー組によって識別される。機能の概念はL型のNNによって表わされる。いずれの場合もニューロンの存在が概念を表している。概念は参照されることによって現実の行動に結びつくという効果を表すが、参照自体は概念に関するNN間の物理的結合によってなされる。もしこれら概念を表すNNが音声発生機構と結合されれば、この概念に対応する音声が生成される。

## [ 2 ] NNによって作られる複合概念

複合概念は既存の概念から組み立てられる概念である。単純行為を組み合わせることによって複合行為が表される。一般に複合化によってより複雑な行為が表される。例えば単純な食餌の獲得行為では偶然によって餌を獲得するのみであったが、複合的な食餌獲得では、餌の検知、対象への接近、対象の捕獲、のように、より複雑で、効果的な獲得行為が行われる。

複合化はNNの直列接続、並列接続、あるいはこれらの混合で行われる。この際、もし直列結合内のNNがL型のものであれば、この直列の複合行為全体もL型になる。L-行列同志の行列積はL-行列になるからである。

直列結合による複合NNはカスケード型NN [11] と同様であり、工学的な目的達成の為にはカスケード型NNを設計する方が、全体を一つの大きなNNとして設計するより容易であることは良く知られている。これは一つ一つのNNについて必要な学習の範囲が狭くなるからである。

### 5.1.1 音声言語の生成

原始言語は統合的音声言語であったと考えられる。これは内部に作られた概念に対応して(非構造的な)音声を発し、あるいは他者の音声を聞いて行為を行うことである。まず音声発生および調音の機構(NN)は生物としての進化過程によって既に作られているとしよう。この過程は人類も他の生物も類似であり、言語創生はこの後に起こることだからである。調音は舌の動きを調節することによって、すなわち舌骨周辺の筋肉の動きを制御することによってなされる。異なる音を出すとはこの筋肉制御に異なる信号を送ることである。音声言語は概念NNをこの音声発生機構に結合することによって作られる。同様に、音声(あるいはその他の信号の)認識機構も既に作られているとする。行為は飢えに起因する食餌獲得要求のような要求によって発火される。このような要求には多種のものがある。これらは生物の内部概念の状況で表されている。

図5.1は言語以前の生物において、これら認識機構、行為の生成、音声発声機能がばらばらに存在する状況を表している。。実際にはこの段階の人間と生物の違いは大きなものではなく、

人間以外の動物でも以下に述べるような経過でこれらが連結されている生物が存在することは明らかであるが、これについては議論の本筋に関わらないので、図5.1を議論の出発点とする。

ここで、図5.1、図5.2のAで示された新しいニューロンが生まれ、成長し、それが行為と音声発生機構をつないだとしてしまう。すると行為に対応して何らかの音声が発せられる。このときの音声の性質はNNの状態に依存し、それを定める規則は無いから出鱈目な音を出すほかない。

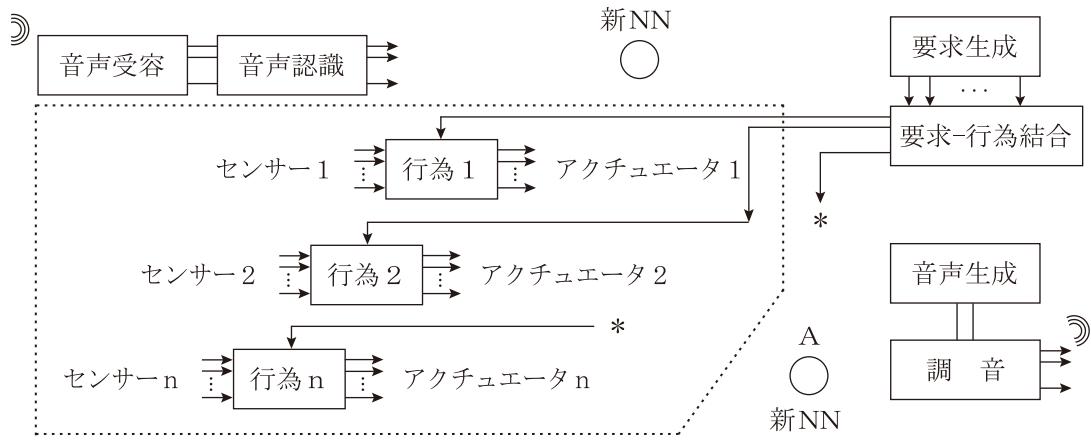


図5.1 言語以前の情報処理機構

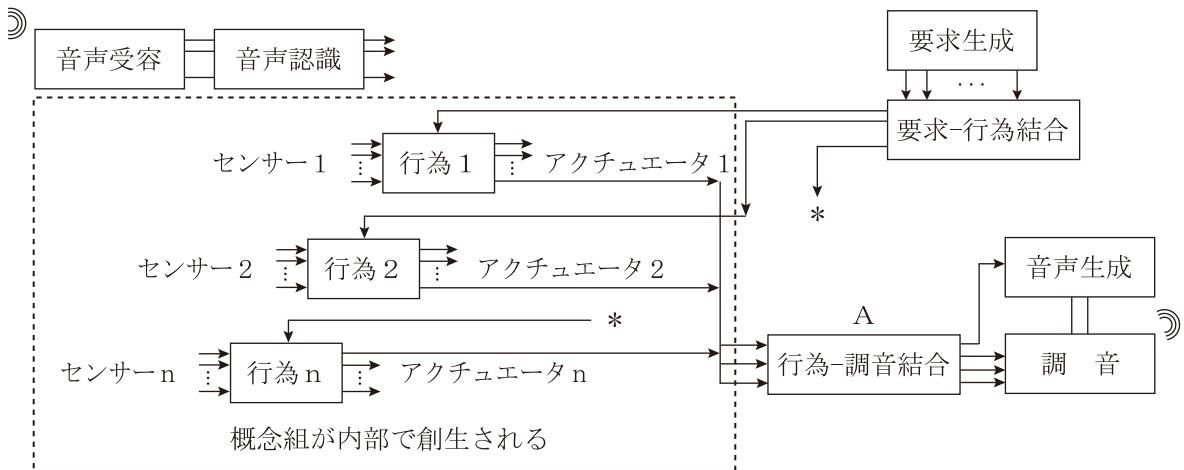


図5.2 行為が調音装置に結合される

### 5.1.2 個別言語から社会的言語へ

上記の原始言語生成のモデルは個別言語、すなわち本人だけの言語である。誰もこれを理解することは出来ない。他者とのコミュニケーションを行うには言語は社会的なものでなければならない。すなわち概念 - 音声関係は同じコミュニティ内で共通のものにされねばならない。ここにS. Kirbyの興味あるシミュレーション結果がある[12]。この実験では全てのメンバーに概念 - 音声関係がランダムに与えられた。最初は相互に何も理解されなかったが、頻繁にコンタクトが行われた後コミュニティ内で安定した音声 - 概念関係が得られた。これは図5.2において、あとから作られたAのNNの学習が行われた結果と言える。

## 5.2 統合的言語から構成的言語へ

上記の原始言語創生モデルにおいては他者の概念が入っていない。行為の主体は常に自分自身である。すなわちこれは主観的モデルである。この場合、行為の主体を明示する必要はなかった。従ってその(音声)表現は主観的表現であり、統合的言語で十分であった。

もし行為の主体が他者であるような表現をとろうとしたら、少なくとも(主体-行為)のような客観的な行為表現が必要になる。もしこの行為が対象をもつなら(主体-行為-対象)の形式が必要になる。

### 5.2.1 他者の識別 - ミラーニューロン

他者の概念(行為の主体として)はどのようにして得られるのだろうか?この問題は1990年代半ばに猿の脳内に、次いでfMRIを用いて人間にも発見されたミラーニューロンの機能にも関連する。このニューロンは主体が他者の真似をするときに活性化される。しかしその詳細については未だ良く判っていない。

ミラーニューロンは通常のニューロンとは構造的に異なっているのだろうか?あるいは機能のみが特別なのだろうか?現在のところこれに答える明らかな分析結果はない。しかしこのように言うことができるだろう。もしミラーニューロンが特別な構造をしているものなら、何故もっと早くに見出されていなかつたのだろう?そして真似は通常のニューロンの組み合わせでもできると。

### 5.2.2 模倣のモデル

行為の模倣は次のように表される。もし{主体(他者)-行為(他者の)-対象(他者の行為の)}が認識されたら、{主体(自己)-行為(自己の)-対象(自己の行為の)}が活性されること。すなわち、真似の特徴は、「認識装置の結果で自己の行為が活性化されること」、である。

真似は次のようなモデルで実現される。認識装置は行為認識と対象認識からなり、行為(自己の)が対象認識によって活性化される。これは認識された対象の行為が真似されることを意味する。ある種の生物について、その母親に従う行為をするものはこのモデルで説明できる。もしこの行為に結合された音声発生が活性化されると、その音声が発せられる。これは図5.3のように表わされる。

このモデルでこれまでに得られているいくつかの知見が説明される。脳内のWernicke野は音声言語を理解し、Broca野は音声言語を生成する。Wernicke野はBroca野に連結されている。これについて以下のことが観察してきた。

- (a) Broca野に欠陥のある患者は音声言語を理解することは出来たが話すことは出来なかつた。この事実は、行為-調音装置結合部はBroca野にあってそこが破壊されたと解釈される。
- (b) Wernicke野に欠陥のある患者は音声言語を話すことは出来たが理解することは出来なかつた。この事実は、音声-行為結合部はWernicke野にあってそこが破壊されたと解釈される。

### 5.2.3 構成的言語と逐次音声発生制御

他者を認識しそれを発話すると言う事実-行為とその主体を別個に表現する-は言語の分節化が行われることを示す。これは構成的言語に向けての出発点と言える。従来、言語はその起源において構成的言語であったとする説もあるが、言語以前に、必要に迫られて概念の構造化がまず作られ、これに対応して言語の構造化が行われたとするほうが自然に思える(図5.4)。

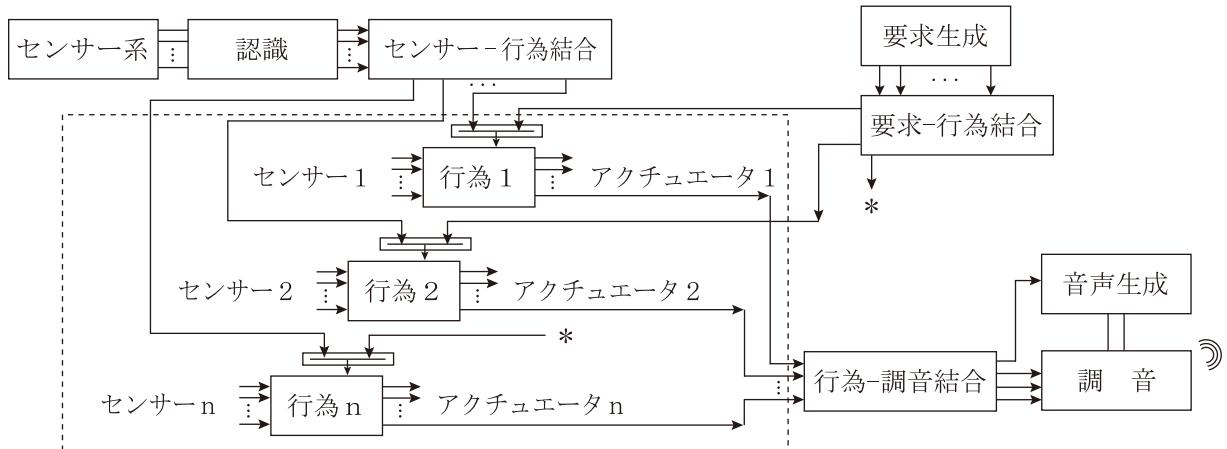


図5.3 行為模倣モデル

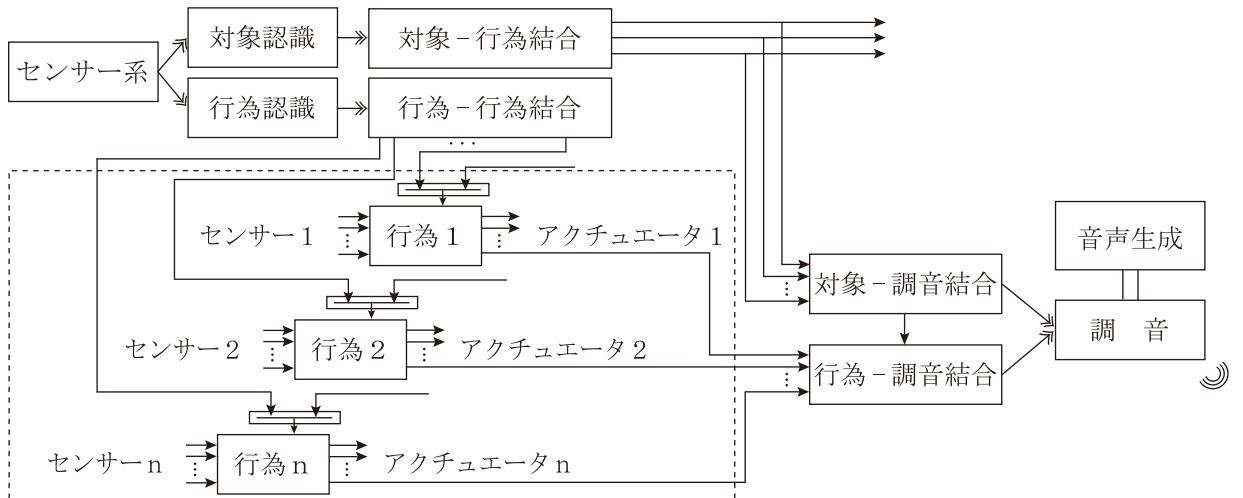


図5.4 認識対象の模倣モデル

音声言語を生成するには音声発生順序の制御が必要である。この制御は主語、行為語(動詞)、対象(目的語)の表現に順序規則を定め、そのとおりに音声を発生することである。これによって言語表現の構造が作られ、文法の基本が定まることになる。制御の方法についてはこの順序規則に応じて特定の順序付けをNNの結合方式で行うことができる。例えば、英語文の場合のように主語 - 動詞 - 目的語に順序が作られているときは、主語 - 調音装置結合 NN の出力で行為 - 調音装置結合 NN を発火するという方法で順序付けができる。しかし生体全体としてはもっと多様な順序制御が必要であり、これらを統一的に行う神経センターがなくてはならないので、発音順序の制御もその一部と考えられる。

### 5.3 記号言語への移行

言語は構成的音声言語が使われるようになった後で記号化が行われたと考えられる。記号化に際しては、まず原始概念が記号化され、記憶され、記号によって参照されねばならない。これは概念の世界とは別に、これとは全く異なるがこれと1対1に対応する記号の世界を作ることに他ならない。しかしそれはどのように行われたのであろうか？最初の記号はどのように定められたのであろうか？記号はどのように記憶されるのであろうか？これら多くのことが未だ不明である。

文字の発明は記号化に拍車を掛けたに相違ない。文字の発明によって、脳の中に文字を直接処理する新しい組織が作られたと考えられる。これは記号を記憶し、参照する機能を持つ部分である。これに関連する事実がある。言語理解領域に欠陥がある患者について、この患者が文字を読むとき、読まれた文字情報が一次視覚野(primary visual cortex)を経て角回(angular gyrus)に伝達された。読まれた文字情報は発話情報とのマッチングがとられ、音声表現の形式がWernicke野で処理された。正常人が文字を読む場合、脳内でWernicke野も角回も活性化されない。この事実は、今日、視覚情報は直接処理され、理解されていることを示す。脳のこの部分は最近出来たに違いない。何故なら文字の発明は高々10,000年前に遡る程度だからである。音声理解は脳の(相対的に)古い部分で行われるのに対し、文字についてこれと別の経路が作られたと考えられる。

記号化は言語ならびに知能活動に大きな進歩をもたらした。多層的な概念表現が可能になり、それが非常に複雑な状況を言語によって表現することが出来るようになった。多層の表現は言語表現そのものを新たな言語記述の対象にすることによって可能になる。これをNNに対応させると、他のNNの処理をNNの処理対象にすることに相当するが、これはNNの構造から困難である。記号の世界ができた後、全ての記述がこの記号世界内で行われるようになった。記号の構造化規則(構文規則)が作られ、言語の多様な表現構造が記号的に作られるようになった。これは新しい(仮想的な)概念を形式的に作ることを可能にし、その正しさが検証されれば真の概念として受け入れるようになり、概念世界の急速な発展をもたらした。これは多様な知識の生成を可能にし、人間の生活圏を大幅に広げる結果になった。

若しL型のNNが識別され、記号によって参照されたなら、それは記号化の前段階になったと考えられる。しかし記号化の機構は未だ不明である。今後の研究に待つ外ないが、記号化に際して最も基本的なことは、記号の記憶がどのように行われているかである。これに関して神経科学その他関連分野の研究の進展が強く望まれる。

## 6. 言語の起源に関する事柄

言語の起源に関わるいくつかの重要な事柄がある。それは“何故人間だけが言語を持つことが出来たのか？”や、“何故人間は(他の哺乳動物と異なり)多様な音声を発することが出来たのか(それによって言語発生のきっかけとなった統合型言語の出現を可能にしたか)？”と言った疑問に答えることである。これについては人類が直立2足歩行を始めたことと関連してかなり煮詰まった議論がなされているが、本稿の主目的とは直接関わらないので省略する。

## 7. むすび

本稿では知能と言語の関係について触れた後、知能発達に最も大きな影響を与えた言語の起源について述べた。この問題には考古学、言語学、生理学、脳科学、情報科学、神経科学など多くの研究分野が関わる。これらの分野でこれまでに得られた断片的な知見を用い、抜けていける部分を推論で補うことによって目標、実際には最終目標(記号言語)前の一つの小目標(音声言語)までの細い道筋を作つてみた、というのが本稿の位置付けである。具体的には人工的ニューラルネットワークに基づいて言語創生のモデルを作つた。

本稿の主たる論点は生物的な処理と言語処理の関係を見出すことであった。これらの処理は明らかに異なるが、ある一定の条件の下でこれらが同じ物になる場合がある。この条件を充たすNNは知識を表現し記憶する。これは実際的な処理機構である生物的要素と抽象的な言語を結び付ける。生物的な処理と言語処理の分析から、論理的演繹推論が言語の意味形成の基本であること、言語は人間が作り出したものというより、本来、自然に存在するこの論理関係を発見したに過ぎないことが結論される。これは物理学や数学の基礎となつている真理が本来自然界にあり、人間はそれを見つけ、それを基礎として物理学や数学という体系を作り上げた状況と良く似ている。

具体的な結果としては人工的NNから言語の創生モデルを作つた。このモデルが受容できるものであるか否かは実際に大規模なシミュレーションを行つて実証してくる必要がある。

本稿で述べたことは記号言語に至るまでの過程、言い換えれば記号言語の入り口までである。記号化については触れていない。それは記号化に関わる基本的な事柄である記憶機構が全くと言って良いほど解明されていないからである。これを含めて知能と言語に関わる領域は広大で、多くの問題が未解明のまま残され、今後の研究成果を待つてゐる、と言うのが実情である。その中で純粋な記号言語が人間の脳の中で生まれた過程を知ることは最大の問題である。これに加え、文字の発明が言語本体に与えた影響を知ることも大きな問題の一つである。

最後に、本稿はいわゆるトップ-ダウンの思考によって議論を進めてきた。通常の科学的方法がボトム-アップに事実を積み上げてゆくアプローチを取ると異なり、トップ-ダウンの方法の目的は可能性を示すことにある。この結果は最終的には実証されねばならない。しかし多くの場合、目標に至るまでの非常に長い道を行くのにボトム-アップのアプローチは、多大の時間と費用を要し、また時には進むべき道を見失う危険がある。これを補うものとして可能性に関するトップ-ダウンの方法は今後もますます重要性を増すと思われる。

## Reference

- [1] Y. Ohsawa ; Data Crystallization : Chance Discovery with Unobservable Events, New Mathematics and Natural Computatioin, Vol. 1, No. 3, World Scientific, 2005, 373–392.
- [2] Handbook of Data Mining and Knowledge Discovery, (eds. W. Klösgen and J. M. Zytkow) Oxford Univ. Press, 2002.
- [3] M. Tallerman (ed.) ; Language Origins : Perspectives on Evolution, Oxford University Press. 2005 [3-1].  
S. Mithen ; The Singing Neanderthals – The Origin of Music, Language, Mind and Body Weidenfeld & Nicolson Ltd, London, 2005.
- [4] S. Ohsuga ; Intelligence for upgrading information, in Web Intelligence Meets Brain Informatics, Springer LNAI 4845, 2006.
- [5] K. Nakamura ; A thermosensory pathway that controls body temperature, Nature Neuroscience 11, Jan. 2008.
- [6] J. Vaario ; An Emergent Modelling Method for Artificial NNs, Doctor Thesis, Univ. of Tokyo, 1993.
- [7] P. Prusinkiewicz and A. Lindenmayer ; The Algorithmic Beauty of Plants, Springer-Verlag, 1990.
- [8] A. Wray ; Protolanguge as a Holistic Systems for Social Interaction, Language and Communication, 18, 47–67, 1998.
- [9] W. H. Calvin and D. Bickerton ; Lingua ex Machine : Reconciling Darwin and Chomsky with the Human Brain, Cambridge, MA : MIT Press, 2000.
- [10] S. Ohsuga ; Symbol Processing by Non-Symbol Processor, Proc. PRICAI' 96.
- [11] S. Fahlman and C. Lebiere ; The Cascade – Correlation Learning Architecture, created for National Science Foundation, Contract Number EET-8716324.
- [12] S. Kirby and M. H. Christansen ; From Language Learning to Languge Evolution, in Languge Evolution, (eds. M. H. Christansen and S. Kirby), 272–294, Oxford University Press, 2003.
- [13] G. Rizzolatti, L. Craighero ; The Mirror Neuron system. Ann. Rev. Neuroscience, 27, 169–192, 2004.