

## 言語学におけるカテゴリー構造の複雑系多値論理解析

鍋島 彰崇 荒井 秀一 石川 知雄

武蔵工業大学 大学院 工学研究科

〒 158-8557 世田谷区玉堤 1-28-1

一般的に日本人の思考方法(考えること)において、丸暗記と呼ばれる問題があるといえる。この問題の一因として、日本と欧米の文字と論理の相違点が挙げられる。それは、日本語は、表意文字で表される多値論理であり、欧米は、表音文字で表される排中律と言われる2値論理であるといえる。そして、日本人の思考論理がどのような多値論理か把握されていないといえる。また、人間の思考過程において、様々な分野に共通して存在する構造と認識論「分節」の間には理論的に関係があるといえる。そこで本研究は、日本人の思考方法(多値論理)を言語学における構造と認識論「分節」の関係をもとに複雑系の手法(圏論、セルオートマトン、カオスニューラルネットワーク)を用いて解析する。

キーワード: 言語学, 分節, 圏論, カオス, 論理解析

## Complexity Multiple-Valued Logic Analysis of Category Structure in Linguistics

Terutaka Nabeshima Shuichi Arai Tomoo Ishikawa

Research Division in Engineering, Musashi Institute of Technology

1-28-1 Tamazuzumi Setagayaku, Tokyo 158-8557, Japan

Generally speaking, there is a problem which is called rote memorization in Japanese thinking. This paper notices a point of difference of a writing and logic between in Japan and in the west, and analyses logic of Japanese thinking under a relationship of structure in linguistics and articulation of epistemology by the method of complexity (Category Theory, Cellular Automata, Chaos Neural Networks).

Key Word: Linguistics, Articulation, Category theory, Chaos, Logic analysis

# 1 はじめに

一般的に日本人の思考方法(考えること)において、丸暗記と呼ばれる問題がある。

例えば、文献[1]のGHQによる戦前の教育制度(思想統制や丸暗記主義)の分析により、現在の問題点として以下の点が考えることができる。

- 学生のレベル…受験, 知識の詰め込み 等
- 社会(会社)のレベル…日本の多くの技術は、欧米から導入されたものであり、日本独自で開発する技術が少ない。等

これらの問題点には、文献[2]より、話し言葉として日本語を全部[ひらがな, カタカナ]で表した場合、同音意義語が多数あるために曖昧さを生じる。また、これを中村 雄二郎[3]は、矛盾律や排中律に因われないことばの状態としている。これらより、以下の日本と欧米の相違点が挙げられる。

表 1:日本と欧米の相違点

	日本	欧米
文字	表意文字	表音文字
論理	多値	2値

この表1より考えると、丸暗記の問題の一因として、「日本人の思考論理がどのような多値論理か把握されていない。」という点にあるといえる。

そこで、本研究ではいろいろな分野に共通して存在する構造(クラインの4元群といわれる群構造[1.1にて説明])=本研究では、「カテゴリー構造」として使用する。)を利用して、日本人の思考論理[多値論理]を日本の言語学的カテゴリー構造をもとに解析することを目的とする。

## 2 人間の思考過程の考察

この章では、日本人の思考論理を根本的に考えるために、人間の思考過程を考察する。

### 2.1 カテゴリー構造と認識論「分節」の関係

人間は、日常生活において人との対話や仕事(問題解決)として、図1のような問答法を行っているといえる。この問答法とは、相手と問答する中で相手に無知を自覚させ、それを出発点として真の知に到達しようとする方法である。

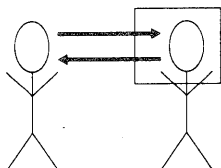


図1 問答法

さらに、1個人の行為(思考)に注目すると、人間の思考過程は図2のように示すことができる。この図2は、図1の相手からの問題を答えることに注目したものである。よって、認識論の「分節」は、「もの」と「もの」、抽象的なこと(数, 概念, 問題)等を区別して認識するものであり、カテゴリー構造は、「分節」で認識されたものを判断するものであると考えることができる。

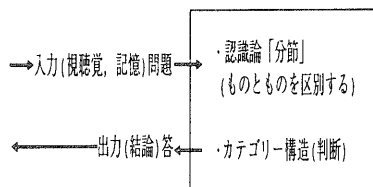


図2 人間の思考過程

図2においてのカテゴリー構造を具体的に説明するために、いろいろな分野に共通して存在する構造の中で、シンプルに数学的論理で定義されているクラインの4元群を以下で示す。

### 2.2 クラインの4元群

クラインの4元群とは、点Oのまわりのある4個の回転のあつまりが積の演算に関して、群の4つの属性をみたしているというものである。すなわち、つぎのような4つの回転、

- 回転1: 静止  $e$
- 回転2: OX を軸とする 180 度の回転  $p$
- 回転3: OY を軸とする 180 度の回転  $q$
- 回転4: OZ を軸とする 180 度の回転  $r$

を考えると、これは、積の演算について群の条件をみたしている。4つの回転の乗法の表、すなわち群表を表すと、表2になる。

表 2:クラインの4元群

	$e$	$p$	$q$	$r$
$e$	$e$	$p$	$q$	$r$
$p$	$p$	$e$	$r$	$q$
$q$	$q$	$r$	$e$	$p$
$r$	$r$	$q$	$p$	$e$

### 2.3 認識論「分節」と各理論の関係

「もの」と「もの」を区別して認識することは、各分野の概念が生み出された第一の行為であり、これより、各分野に結びつく理論があるといえる。そこでまず、本研究において用いる各理論(原理, 手法)を簡単に説明する。

- 言語学…言語範疇と構造言語学の範例 [4] の2つのカテゴリ構造が存在する (3にて説明).
- 数学…圏論 (category theory)[5,6]: 1945年に位相幾何学に導入された理論.
- カオスニューラルネットワーク [7,8,9]…カオスの生成, 制御, 学習を行うニューラルネットワーク.
- セルオートマトン法 [10,11]…生き物の複雑なパターンやふるまいを発生させる方法.

これらの各理論は, 以下の図のように認識論の「分節」にそれぞれ結びついている.

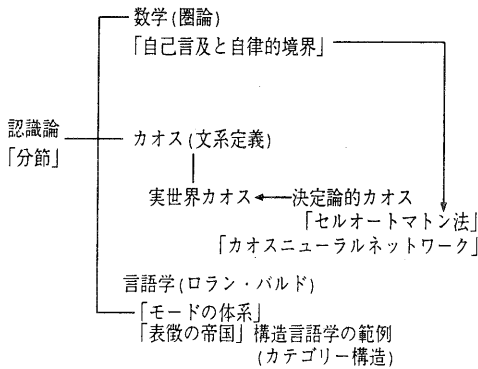


図3 理論関係図

また, 各理論と認識論「分節」のそれぞれの関係については, 3, 4, 5で説明をする. 本研究では, この理論関係を利用して日本人の思考論理 [多値論理] を解析する.

### 3 思考過程における言語学的考察

#### 3.1 言語学におけるカテゴリ構造

言語学において, 日本と欧米の2つのカテゴリ構造が存在する.

表3 日本と欧米の言語学的相違点

	日本	欧米
言語学	構造言語学の範例	言語範疇

- 構造言語学の完全な範例: A — 非 A — A ではなく非 A でもない (零度) — A にして非 A (複合度).
- 理論言語学の品詞の「範疇的」解釈: 1度は名詞, 2度は動詞, 3度は副詞.

#### 3.1.1 2つのカテゴリ構造の背景と言語学的「分節」

2つのカテゴリ構造が存在することを文字体系から言語学を考察する.

##### 1. 表音文字圏 (欧米: 文法中心)

- ヨーロッパ: 関係重視型言語学 (ソシュールの構造言語学など)
- アメリカ: 要素主義言語学 (チョムスキーの生成文法など)

##### 2. 表意文字圏 (日本)

ロラン・バルド…ソシュールの一番弟子

ソシュールの言語学を日本語に適用するが失敗

↓  
「零度」という新しい概念で構造言語学の範例を定義しただけ日本語型の言語学はできなかった.

↓  
現在, 欧米型の言語学 (文法中心) を日本語に適用.

この原因を認識論「分節」より言語学的に考えると次のような欧米と日本 (モードの体系 [12]) の違いがある.

- 欧米…二重の分節 (記号素および音素という二重のレベルで分節構成を示していること.)
- 日本…日本語に注目したバルドの「モードの体系」から分節を考えると, 以下の点が挙げられる.  
(モードの体系では母型のレベル [言語でいえば記号素のレベル] には確かに分節があるが, 母型の構成要素というレベル [言語でいうと音素のレベル] には分節がみとめられない.)

これより, 本研究ではモードの体系における「分節」と構造言語学の範例を組み合わせることで, 日本の多値論理を解析する.

### 4 思考過程の数学 (圏論) 的役割

#### 4.1 数学的「分節」

文献 [13] において「原初的な分節は混沌の分節である. 圏では射を与えると両端の対象が一意に定まるから, 混沌は世界の推移を表す射の集合であるとするのがよいであろう。」とあり, 本研究ではこれを圏論における分節とし, さらに「認知者が世界を認知すると

き、すなわち、認識し、反応するとき、混沌を分節する。混沌に含まれる射を選択し(考察対象として分節し)、分解する(複数の射の合成であると見なす)のである。これを、「環境 E と認知者 R の相互作用の合成であると見なす。」とあり、図 4 の認知現象の分節を定義している。

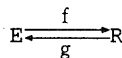


図 4 認知現象の分節

この図 4 は、環境 E を言語、認知者 R をイメージと置き換えると、以下で説明するワイトゲンシュタインの「言語ゲーム」と考えることができる。

#### 4.2 認識としての言語ゲーム

人は、言語と心象(イメージ)[心の中に抱いているもの]を持っていると定義できる。言語レベルでは、言葉として等しいので各々の人の言語レベルで一致はするが、抱いているイメージは異なるのでイメージのレベルでは異なる。

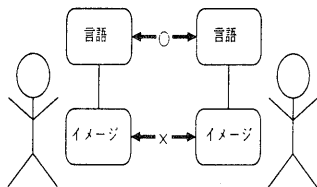


図 5 言語ゲーム

さらに、言語とは、1つ1つの言葉の全体であると考え、逆に1つの言葉は部分になる。よって、言語と言葉の関係は、全体と部分の关系到置き換えられる。また、2つ以上の言葉を使用するとすると、言葉は同時に使用できないことから時間のずれを生じ、これを全体と部分の关系到置き換えると、部分を数えることも時間のずれを生じるといえる。これは自律的境界モデル [5] の以下の定義 (1), (2) で置き換えることができる。

#### 4.3 自己言及と自律的境界 (自律的境界モデル)

時間の単位：空間的局所を用い、  
過去から未来に数える。 (1)

空間の単位：時間的局所を用い、  
未来から過去に数える。 (2)

この両者の関係によって初めて、矢としての、いわゆる時間が定義される。定義 (1) を、時 (t) 空 (i) 離散、 $a_i^t \in \Omega, \Omega = \{1, 0\}$  で (3) 式のように表す場合を考えると、 $\Omega^{N+2} \rightarrow \Omega$  で全射の規則 F は、t+1 時の境界条件  $\delta\Omega = \{1, 0\}^2$  を適当に選ぶ時、 $\Omega^{N+2} \rightarrow \Omega^{N+2}$  で全単射が存在する。ここで定義 (2) を (4) 式で定義する。

$$a_i^{t+1} = f(a_{i-1}^t, a_i^t, a_{i+1}^t) \quad (3)$$

$$a_i^{t+1} = g(a_{i-1}^t, a_i^{t+1}, a_i^t) \quad (4)$$

F を、f を t 時の空間全体に同時に適用する規則、G を、g を t+1 時の空間に逐次的に適用すると、 $\eta \in \Omega^N, \xi, \xi' \in \delta\Omega$  に対し、

$$\eta \cup \xi = G(F(\eta \cup \xi) \cup \xi') \quad (5)$$

が成立する。この時に限り、空間の於ける全ての局所は、時間発展規則 (3) に従う。

この定義 (3), (4) に対して与えられる F, G の関係を本研究では以下の図 6 として考え、これを(論理解析モデル)に組み込む。

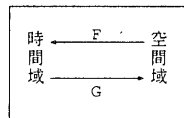


図 6 自律的境界モデル

### 5 思考過程でのカオスの可能性

“カオス”という用語は、様々な分野で使われているが、文献 [13] においてカオスは、“分節と意味付けによる認識を経ないあるがままの世界”として定義されている。これは、言葉としての“カオス”の定義であるといえる。また、文献 [14] において、実世界カオスと決定論的カオスの関係(実世界におけるシステムをリアプノフ指数によって判定する実世界カオスの時系列データ解析)が指摘されている。この様々な“カオス”の定義の関係を図 7 に示す。

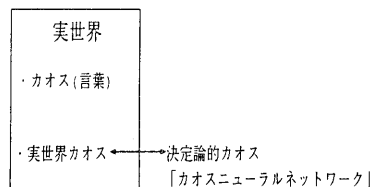


図 7 定義としての“カオス”の関係

この図7において、4.2, 4.3 で述べた言語ゲームと自律的境界モデルの観点から考えると、カオス(言葉)は、言語(言葉全体)の部分として空間域に、実世界カオス(決定論的カオス)は時系列という観点から時間域に置き換えることができる。

そこで、本研究においては、実世界カオスのモデルとして決定論的カオスの手法であるカオスニューラルネットワーク [7,8] を採用し、カオスの生成、制御を行った。以下に簡単な手法の説明 [5.1,5.2] と実験結果 [5.3] を示す。また、時間域で値を保持する目的(論理解析)で文献 [9] におけるカオティックサーチを行う予定である。

### 5.1 カオスニューラルネットワーク [7] によるカオスの生成

カオスニューラルネットワークの式を単純化し表すと以下の(6,7,8)式になる。

$$y_i(t+1) = ky_i(t) + \sum_{j=1}^n w_{ij}x_j(t) - x_i(t) + a_i \quad (6)$$

$$x_i(t+1) = f\{y_i(t+1)\} \quad (7)$$

$$a_i(t) = \sum_{j=1}^m v_{ij}A_j(t) + \theta_i(k-1) \quad (8)$$

$x_i(t)$ :時刻  $t$  における  $i$  番目のニューロンの出力(活動電位のピーク値に対応,  $0 \leq x_i(t) \leq 1$ )

$y_i(t)$ :時刻  $t$  における  $i$  番目のニューロンの内部状態

$A_j(t)$ :時刻  $t$  における  $j$  番目の外部入力刺激の強さ

$\alpha$ :定数パラメータ ( $\alpha > 0$ )

$m$ :外部入力の数,  $n$ :ニューロン数

$k$ :膜の記憶の時間的減衰定数 ( $0 \leq k < 1$ )

$\theta_i$ :しきい値

$v_{ij}$ : $j$ 番目の外部入力から  $i$ 番目のニューロンへの結合の強さ

$w_{ij}$ : $j$ 番目のニューロンから  $i$ 番目のニューロンへの結合の強さ

$f$ :神経細胞の内部状態  $y_i(t)$  と出力  $x_i(t)$  との関係を与える出力関数

$g$ :出力と次の刺激に対する不応性との関係を与える関数

$h$ :軸索伝搬による波形整形作用を表す関数

### 5.2 リアプノフ指数 [7]

ネットワークとしてのカオスの振舞いを特徴づける指標として、リアプノフスペクトル  $\lambda(i=1,2,\dots,n)$  を用いる。(6)式から得られるリアプノフスペクトラム  $\lambda_i$  について、少なくとも最大リアプノフ指数が正で

あれば、カオスの特徴である軌道不安定性を有することになる。

次に、実世界カオスのモデルとして5.1のカオスの生成、5.2のカオスの振舞いを特徴づける指標としてリアプノフ指数  $\lambda_i > 0$  の個数を用いて、予備実験としてカオスの生成を行う。

### 5.3 実世界カオスのモデル化(カオスニューラルネットワークによるカオス生成)

カオスニューラルネットワークによるカオス生成として、初期値として乱数を代入し10回平均をした結果を示す。(N:ニューロン数, 縦軸: $\lambda_i > 0$ の個数, 横軸:時間 [sec])

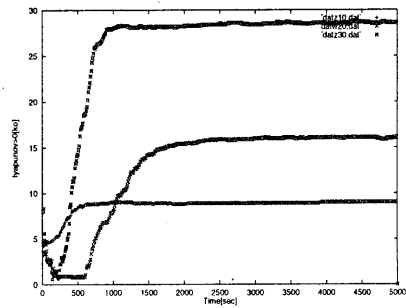


図8 カオスニューラルネットワークによるカオス生成 (N=10,20,30)

図8から、カオスの生成に関してN(ニューロン数)=20の場合、生成する精度が落ちるといえる。この点を改善するために以下のカオス制御 [5.4] の実験 [5.4.1] を行った。

### 5.4 カオスニューラルネットワークにおけるカオス制御 [8]

制御下のカオスニューラルネットワークの方程式は、以下ようになる。

$$y_i(t+1) = ky_i(t) - (\alpha + (N_c - 1)w)f(y_i(t)) + \sum_{j=1, j \neq i}^{N_c} wf(y_j(t)) + a_i F_i(t) \quad (9)$$

$$F_i(t) = \begin{cases} F_L & (F_i(t) < F_L) \\ \exp[K_i(t)(y_i(t) - \bar{y}_i(t))] & (F_L \leq F_i(t) < F_H) \\ F_H & (F_H \leq F_i(t)) \end{cases} \quad (10)$$

$$x_i(t+1) = f(y_i(t+1)) \quad (11)$$

ここで、 $\sum$  は大域的結合の場合は自分自身を除く全てのニューロンによる和、最近接結合の場合は最近傍のニューロンによる和である。

#### 5.4.1 カオス制御の適用

カオスニューラルネットワークにおけるカオス制御として、初期値として乱数を代入し 10 回平均をした結果を示す。(ニューロン数 20 個、縦軸： $\lambda_i > 0$  の個数、横軸：時間 [sec]、カオス制御の参照点： $\bar{y}_i(t) = y_i(t-5)$ )

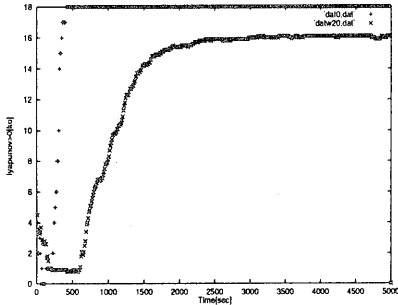


図9 カオス生成とカオス制御の比較

この図9から、カオス制御により図8より  $N=20$  のカオスの生成の精度が改善したといえる。この結果をもとに実世界のカオスのモデルとして、6. 論理解析のモデル化に組み込んで実験を行う予定である。

## 6 論理解析のモデル化

各理論の関係より、日本の多値論理を解析するためのモデルを以下(図10)に示す。

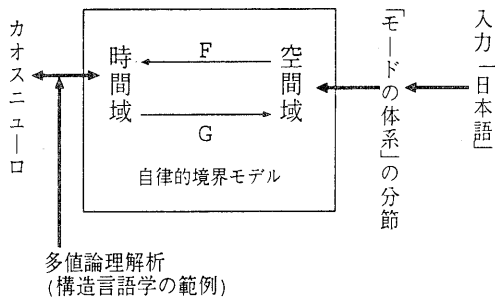


図10 論理解析のモデル化

本研究では、この論理解析のモデルに入力として日本語(単語)を「モードの体系」の分節に与える。そして自律的境界モデルの関数  $F$  に値として渡し、関数  $F$  により時間域に変換しカオスニューロに値を保持させ

る。これを複数の単語間で行い、それぞれの値を構造言語学の範例に適用することで論理解析をする予定である。

## 7 おわりに

現在のところ、各部分としての実験段階であり、この各部分の実験結果をもとにバルドのモードの体系とカオスニューラルネットワークの数のバランス(最適化)をとり、図10の論理解析モデルとして実験を行う予定である。

## 参考文献

- [1] 武前 栄治, "GHQ", 岩波書店, 1983
- [2] 竹林 滋, 横山 一郎, "記述言語学", 大修館書店, 1970
- [3] 中村 雄二郎, "西田 幾多郎", 岩波書店, 1983
- [4] ロラン・バルド, "表徴の帝国", ちくま学芸文庫, 1996
- [5] 郡司 幸夫, 今野 紀男, "自己言及と自律的境界", 数理科学, No.336 JUNE 1991
- [6] 郡司 ベギオー幸夫, "時計としての時間, または過去・現在・未来の起源", 現代思想, 1999.4
- [7] 池口 徹, 合原 一幸, 伊東 晋, 宇都宮 敏雄, "カオスニューラルネットワークの次元解析", 信学論, Vol.73-A No.3 pp.486-494 1990
- [8] 水谷 伸, 佐野 琢哉, 内山 匡, 曾根原 登, "カオスニューラルネットワークにおけるカオス制御", 信学技報, NLP95-6(1995-05)
- [9] 出口 利憲, 石井 直宏, "カオスニューラルネットワークにおける特徴による連想ダイナミクスの制御", 信学論, vol.78-D-II, No.8 pp.1223-1230 1995
- [10] 加藤 恭義, 光成 友孝, 筑山 洋, "セルオートマトン", 森北出版, 1998
- [11] Wolfram.S. Rev. Modern Phys. 55(3), July, 1983
- [12] ロラン・バルド, "モードの体系", みすず書房, 1972
- [13] 田村 浩一郎, "トポソイドモデルの提案", 情報処理, vol.36, No.9, sep, 1995
- [14] 池口 徹, 合原 一幸, "実世界カオスとモデリング", 数理科学, No.423, SEPTEMBER, 1998