

# 情報メディアを構成する型概念に関する考察

大野邦夫, 吉田正人

ドコモ・システムズ株式会社

XMLスキーマの正式勧告化を通じて、XMLを用いるアプリケーションにデータ型を適用する動きが顕在化している。特に最近、ビジネスにおけるウェブ・サービス、技術におけるセマンティック・ウェブが話題になるが、ともに型概念が重要である。今後ウェブは、静的なドキュメントだけでなく、映像、音声を含む、動的なコンテンツをも扱うインテリジェントなマルチメディア・ウェブになると思われる。そのような場合に、ヒューマンインタフェースを含むシステム設計において、各種情報メディアと型の関係について大まかな理解を獲得しておくことが必要と思われる。本報告では情報メディアの観点から型について検討し、人間側と計算機側双方についての考察を試みる。まず、人間と情報メディアの関係を歴史的に検討し、そこで使われてきた個々の情報伝達手段を型の観点から考察する。次に計算機が扱ってきた情報を分析し、人間と情報メディアの関係との比較において検討する。さらにバートランドラッセルが論理分析哲学の観点から "The Principles of Mathematics"において世界を把握するために提唱した2つのアプローチを取り上げ、それを基に今後のウェブを中心とする情報システム構築の動向を予測する。

## A Study on the Concept of Types Which Organize Information Media

Kunio Ohno, Masato Yoshida

DoCoMo Systems, Inc.

Through the W3C's XML Schema recommendation, data type introduction to XML application becomes important. Especially data types are very important for both terms of "Web Service" in the business field and "Semantic Web" in the technological field which are very popular these days. In the near future, internet web will be changed to Intelligent Multimedia-Web which supports not only the static media as ordinary web document but also dynamic contents as audio and video information. Then recognition to the relationship between the information media and data types will be necessary for the system design with human interface. From the view to information media, this paper describes the types and both their relationship to human beings and computers. At first, historical relationship between information media and human beings are surveyed and the communication methods are evaluated compared with information types. Second, the information media which computers has processed is reviewed. Then in the third, comparison of information media evolution between human communication history and computer processing history is made, and its relationship is clarified. The relationship can be explained by Bertland Russel's "The Principles of Mathematics", and two approaches based on it are discussed. Finally, architecture of next generation internet web is studied through the discussion.

### 1. はじめに

XMLスキーマ [1][2][3]の正式勧告化を通じて、XMLを用いるアプリケーションにデータ型を適用する動きが顕在化している。特に最近、ビジネスにおけるウェブ・サービス [4]、技術におけるセマンティック・ウェブ [5]が話題になるが、ともに型概念が重要である。今後ウェブは、静的なドキュメントだけでなく、映像、音声を含む、動的なコンテンツをも扱うインテリジェントなマルチメディア・ウェブに向かって進化すると思われる。そのような状況におけるヒューマンインタフェースを含むシステム設計において、各種情報メ

ディアと型の関係について大まかな理解を獲得しておくことが必要と思われる。

先の報告では文書を構成する型について論じたのであるが [6]、今回は情報メディアの観点から型について検討し、人間側とコンピュータ側双方についての考察を試みる。まず、人間と情報メディアの関係を歴史的に検討し、そこで使われてきた個々の情報伝達手段を型の観点から整理する。次にコンピュータが扱ってきた情報をアーキテクチャやプログラム言語を適じて分析し、人間と情報メディアの関係との比較において検討する。さらに。論理分析哲学の観点からバートランドラッセルが "The Principles of Mathematics" [7]に

において世界を把握するために提唱した2つのアプローチを取り上げ、それを基に今後のウェブ展開を予測する。

## 2. 人類史における情報メディアの進展

表1は人類発洋から今日に至るまでの人類が用いてきた情報メディアを総括的にまとめたものであるが、個々の内容について概観してみよう。

表1. 人類が用いてきたコミュニケーション手段

適用時期	コミュニケーション手段
BC.1,000,000~	叫び声, ジェスチャ
BC.30	洞窟壁画
BC.5,000~	象形文字
BC.3,000~	表意文字
BC.1,500~	表音文字
AD.800~	数式 <sup>代</sup> 数学
AD.1,800~	近代 <sup>論</sup> 論学

### 2.1 叫び声, ジェスチャによる通信

霊長類は7000万年前に出現し、その後3000万年前に類人猿の先祖が出現したと言われる。2000万年前のアフリカにドリオピテクスという原始的類人猿が出現し、その後1400万年から800万年前にラマピテクスという類人猿が繁栄した。その後700万年くらい前に人類の祖先と類人猿の祖先は枝分かれし、人類は独自の進化をとげてきたと言われている。類人猿とは異なる進化を始めたとは言っても、当初の原始人類は類人猿と比べそれほど異なることのない生活を営んでいたと思われる。その遺跡が具体的に発掘されているのは、200万年前のオーストラロピテクスであるが、基本的には狩猟生活を行っていたと考えられている。その基本的なコミュニケーション手段は、叫び声とかジェスチャーによるものであったと考えられる[8]。

その後、人類はハイデルベルグ人などを經由して、さらに知的なコミュニケーションを営むようになる。例えば道具の作成と使用などである。この時代の道具は、現在知られているものは石器が主であるが、石器以外にも、木や動物の骨や皮などを素材に使った道具も作られていた。道具を作ると言うことは、それを使う目的があり、その目的を達成するプロセスが認識されていたことを物語る。おそらくは、仲間、動物、場所などを特定し、その対象へのアクションを指示するような簡単な言語が使われていたはずである。

このような原始的な言語については言語学の観点からの研究が行われている。ピジンやクレオールといった言語モデルで、言語の誕生モデルと言

っても良いであろう。ピジンというレベルの言語は、指示のみで文法不在の言語である。赤ん坊が初めて言葉を覚えたときに使う会話のレベルと考えれば良い。クレオールは、ピジンを母語とした言語で、簡単な動詞や形容詞を伴ったものであるが、体系化された文法を持つには至っていないレベルである [9][10]。

人類が言語を持つに至るのは、これらのピジン、クレオールのレベルからさらに豊富な語彙と高度な文法を展開したからにほかならない。ホモサピエンスの誕生はクロマニヨン人に源を発するが、ネアンデルタール人などを押さえてクロマニヨン人が生き残った最大の原因は、言語の高度化により環境に適応できたためだと言われている。

### 2.2 洞窟壁画

BC.30,000年ころから、人類の芸術的な遺産として洞窟壁画が残されている。南アフリカの動物の洞窟壁画(29000年前)や、スペインのアルタミラ、フランス(0)ラスコー洞窟の壁画(25000-13000年前)などが有名であるが、その目的は何らかの宗教的なセレモニーに使われたと考えられている。描かれている動物は、狩猟の対象であるものが殆どであるが、中には人間が混じっていたり、人間と動物が組み合わせられたような架空の動物も描かれたりしていた [11][12]。

いずれにしても、そのような絵画を通じて、集団を統括するための何らかのコミュニケーションを行っていたことは確実である。

### 2.3 象形文字

#### 2.3.1 シュメールの裸形文字

BC.10000年ころから、人類は象形文字を使いはじめたらしい。シュメールの裸形文字は、BC6000年頃が起源であると言われているが、これは帳簿をつけるための絵文字から発展したと言われている[13]。粘土板に穀物や家畜の数を記すために、簡単な絵を書いたのが発端の様だが [14]、粘土板に絵を書くためには棒の先を尖らせるか裸形に加工する必要があった。

その後、絵を描くよりは裸形の棒の先端を粘土板に押し付ける方が記録方法としては能率的なので、楔形文字が生まれたと思われる。楔形文字は、粘土板という記録媒体に依存した文字(符号)と言える。媒体に依存して最適な通信方式、符号化方式が決まることは情報理論における基本定理であるが、粘土板の世界でもこの考え方が定性的にはあるが適用されていたことに注目したい。

#### 2.3.2 エジプトのヒエログリフ

エジプトのヒエログリフ（聖刻文字）は、象形文字としては最もポピュラーな存在であろう。最近でもエジプトのヒエログリフに関連する書物が出版されている。絵文字の種類は、当初（BC4000）は700種程度であったが、クレオパトラが在位した最後の頃（AD27）は5000種にも上っていたと言われる。ヒエログリフは、農業、医学、教育、法律分野など幅広い分野を記述している。そのために、必要な拡張が行われ、最後には5000種類以上の文字に発展した。

### 2.3.3 黄河文明の漢字

南河文明の漢字も元は絵文字であったが、漢字の場合は体系的なルールを用いて字種を拡大し、わが国を含め現在まで用いられている。

### 2.4 表意文字

象形文字において、楔形文字とヒエログリフは消滅したが、漢字の世界だけが生き残り、その後表意文字へと発展する。象形文字が具体的な事物から出発したのに対し、表意文字は、より一般的、抽象的な表現を可能とせねばならなかった。そのために、新しい概念を表すためには新たな文字の追加か、既存文字の組み合わせを要し、結果的に新たな字種が追加され文字セットは膨大になった。また合成語としての熟語も定義されたのであるが、これらの字種や熟語を覚えるのは容易なことではない。

漢字を用いると言葉は通じなくても文字で理解可能というメリットがあることを指摘されるが、そのトレードオフとしての大量の問題点を抱えている。最大の問題は文字セットの記憶に時間を要することで、その結果識字率の向上は困難を極めるのである。日本に限っても、江戸時代末期から幾度となく漢字廃止の提案がなされてきたが、常に議論を呼びながら今日に至っている。

### 2.5 表音文字

アルファベットは、フェニキア文字がギリシャに普及したものである。表音文字は、アルファベットに端を発すると思われがちであるが、必ずしもそうとは言えない。アルファベット以前に、象形文字を用いた表音文字が用いられていたことが知られている。日本語の仮名も典型的な表音文字として知られている。日本語の仮名の場合は、当初は漢字の音を借りて万葉仮名のように漢字表記の仮名が使われはじめ、その音に対応していた漢字の簡略表現（ひらがな）や漢字の部分を用いて（カタカナ）表音文字である仮名が形成されたがアルファベットの場合もかなに近いプロセスを経

て形成された模様である。

アルファベットの場合は、基本的には26文字を覚えれば読み書きが可能となる。楔形文字は600種、ヒエログリフが700-5000種、漢字が数万種もあることを考えると、これは革命的である。結果的に、アルファベットを採用した民族や国家における文字の普及、識字の向上に貢献した。世界史をマクロに捉えると、西欧文明が他の文明を押さえて世界史の主流になったのは、文字体系としてアルファベットを採用したことに深く関係すると思われる。同様に、日本の仮名は日本人の識字率向上に貢献しており、非西欧で日本が先進諸国に比肩し得る地位を獲得できたのは仮名を発明したことが貢献していると言えるであろう。

### 2.6 代数学

数の概念、すなわち、和、差、積、（商）などは、世界史的に見ると、当初はエジプトで発達したらしい。特にナイル川の氾濫を通じて1年が365日（4年に一度は366日）であることを明らかにし、農業における収穫の見積もりなどの必要性から測量技術が発達し、加減乗除の数概念が形成された [15]。具体的な数による計算は人類の幅広い文明で知られていたが、数を抽象的に扱う変数の体系的な概念（代数学）が誕生したのはAD 9世紀のことであった。代数学の創始者は、アラビア人のモハンマド・ベン・ムサ・アル・フワーリズミと言われている。彼は830年頃に「アル・ジャンプルの書（Hisab al-jabr w'al-muqabalah）」を著し、これから algebra という語が生まれた模様である [16]。

### 2.7 近代論理学

論理学は、ギリシャのアリストテレスが体系付けたことが知られている。これは古典論理学と呼ばれ、三段論法として知られているものであるが、自然言語における意味的な概念をベースとしているため厳密な体系とは言えない。近代論理学は、古典論理学とは異なり、集合概念と記号論理による代数学的な手法により構築され体系化された。

近代論理学により数学も再体系化された。フレーゲは集合論に基づく代数学の再構築を試みたが、バートランド・ラッセルのパラドックス（集合そのものを対象とする命題の本質的矛盾）により、暗礁に乗り上げてしまった。その救済のための理論が、「型の理論」であり、計算機科学におけるデータ型の離型とされている [17]。

その後、ラッセルは、ホワイトヘッドとともに代数学を体系化し、プリンキピア・マセマティカ

("Principia Mathematica") [18] を完成させた。

### 3. コンピュータが扱うメディアの歴史

人類が扱う情報メディアは、産業革命後は電信、電話といった通信技術、さらに20世紀に入るとラジオやテレビといった放送技術、写真や蓄音機、映画といった記録・再生技術の進展で飛躍的な発展を遂げることになる。このような技術をベースにコンピュータが扱うメディアも徐々に拡大されてきた。その状況を表2に示す。以下はその解説である。

表2. コンピュータが扱うメディア

普及した年代	コンピュータが扱うメディア
1940年代	2進数 (ENIAC, 機械語)
1950年代	数字, 数式計算 (Fortran)
1960年代	漢字, 事務処理 (COBOL)
1970年代	漢字処理 (日本語ワープロ)
1980年代	GUI (アイコン, マウス)
1990年代	図形, 画像 2000年代 映像, 音声

#### 3.1 2進論理による機械語システム

最初のコンピュータは、1946年に完成したENIAC (Electronic Numerical Integration & Calculation) であると言われるがこれに関しては異論がある[19]。とは言っても、ENIACがコンピュータとして実働した最初のマシンの一つであることに変わりはない。ENIACのプログラムはパッチボード結線によるものであり、チューリングが提唱した演算とデータを同一の言語体系で実現するコンピュータではない。真の意味のチューリングマシンは、1949年のEDSAC (Electronic Delay Storage Automatic Calculator) が最初の実用機である。これは蓄積プログラム方式による最初のコンピュータで、基本命令セット、サブルーチンなどと言った今日のコンピュータの基本的な機能を実現していた。

#### 3.2 数字, 数式計算 (Fortran)

1950年代に入ると、コンピュータの素子の半導体化が実現し、センターの大型計算機の時代を迎える。最初に適用された分野は、科学技術計算分野であった。微分方程式の数値解法、有限要素法など、従来の手計算では不可能であった分野が開拓され、科学技術の進展に貢献した。具体的な適用分野としては、DoD (国防総省) の各種システム、製造業における設計分野、アカデミックな世界での応用などが主であった。

#### 3.3 英数字 (事務処理)

1960年代は、TSS (時分割処理) による事務処理分野へのコンピュータの適用が始まる。これに

先立ち、英数字コード (ASCII など) が制定され、従来からコンピュータを導入してきた分野で使われ始め、それが事務処理分野に普及したと言える。ツールとしては、プログラム開発用のテキストエディタが普及し、それが一般の文書作成やオフィスのデータ作成に適用されたと考えることができる。その後、COBOL言語が登場し、官庁や企業における標準的な事務処理用のプログラム言語として定着した。

この時代の注目すべきエピソードとして、Unixの誕生が挙げられる。MITを中心に進められた先進的なプロジェクトとしてProject MACというものがあった。MACはMulti Access Computingの略である。その応用としてコンピュータ・ユーティリティ構想が持ち上がり、そのためのシステムとして、巨大なTSSシステム用の計算機オペレーティングシステムであるMulticsが開発された[20]。コンピュータユーティリティ構想とは、コンピュータを、電気や水道のように日常の用途に使えるようにすることを狙ったシステムで、現在のインターネットによるEコマースや電子政府を当時の最新技術であったTSSにより実現しようとしたようなものであった。Multicsは、挑戦的な技術であったが、当時の市場ニーズや経済状況的に見て実現可能なレベルにはなく、技術的にも不完全であった。Multicsの技術を簡易化して、当時使われ始めたDECの小型のミニコンピュータ上で実現したOSが、Unixである。このOSはMulticsを単純化したことから、Multi-の代わりにUni-としたことである。

Unixにはedという行エディタが付属しており、これを活用するnroffやtroffといった文書作成用のマークアップ言語が開発された。これらのツールは、当初はプログラム開発に伴うドキュメント作成用であったが、後には汎用の文書作成ツールとして使われるようになる。一方、ミニコンレベルのコンピュータを用い、高印字品質のゴルフボールプリンタやデイジーホイールプリンタを印刷端末とするワードプロセッサが出現する。安価な蓄積媒体としてフレキシブルディスクが出現したのも丁度この頃であった。

#### 3.4 漢字処理 (日本語処理)

1970年代に入ると、日本語処理システムが登場する。先ず漢字コードが制定され (JIS-6225, 6226) 大手計算機メーカー (IBM、富士通、日立、日本電気、電電公社など) における漢字システムが開発された。さらに漢字を出力するためのワイヤドットプリンタやレーザビームプリンタ

が開発される。さらに1970年代で特筆されねばならない出来事があった。それはマイクロプロセッサの登場である。その結果、パーソナルコンピュータやワードプロセッサの価格性能比が継続的に向上する今日の時代を迎えることになった。この技術革新の波に乗り、1970年代の後半には日本語ワープロが登場した。東芝のJW-10と富士通のOASYSである。その後、日本の計算機メーカーや家電メーカーは雪崩を打って日本語ワープロを出荷するようになり、日本のオフィス文書を手書き文書からワープロ文書へと変えていった。

### 3.5 GUI

1980年代になると、Xerox PARC (パルアルト研究センタ)の成果であるGUI (アイコン, マウス)が、ワークステーションやパーソナルコンピュータに導入されるようになる。この技術の発端は、Xerox PARCで開発されたAltoマシンであった。このマシンを用い、Smalltalk, Interlisp-Dといったプログラム言語を用いてマルチウインドウシステムが開発され、アイコンとマウスを用いるGUIが導入された[21]。計算機間を高速でつなぐEthernetもこのプロジェクトの成果である。Smalltalkをベースとするオブジェクト指向技術と高速のLANは、今日のネットワーク文化を支える分散オブジェクト技術の発端となった[22][23]

GUIを用いる実用システムは、Starワークステーションとして製品化された。この日本語版もJStarとして日本で販売されたがこのシステムの隆盛は長くは続かなかった。最大の理由は、価格対性能比にある。汎用のマイクロプロセッサを用いるSunやAppolloのようなワークステーションが出現し、そのOSとして用いられたUnix上のオフィス文書システムとしてのInterleafやXyvision、FrameMakerといったライバル製品に市場を奪われていった。さらに、PARCの成果はパソコンの世界ではアップルのマッキントシュに引き継がれ、DTP (Desk Top Publishing) などによりオフィス文書の高品質化が推進された。このGUI技術の流れは、さらにアップルのライバルであるマイクロソフトのWindowsへ波及して今日に至っている。

### 3.6 図形, 画像の時代

1990年代に入ると、メモリ価格の低価格化とオブジェクト技術の普及に伴い、図形 (2D, 3D) や画像 (CG) システムが、従来の文書システムと連携して扱えるようになった。Adobe社からは、図形データを処理するためのIllustratorや画像データを処理するためのPhotoshopが販売され、Kodak

社から従来の銀塩フィルム写真をCDに格納するPhotoCDのような技術が提供され、コンピュータアーティストと言った新たな職種が生まれ出された。

さらにパソコンの低価格高性能化、インターネットの普及、カーナビやウェブにおける地図利用、デジタルカメラの普及などを通じて、図形、画像によるデジタルコンテンツは我々の生活の隅々にまで波及しつつある。

### 3.7 映像, 音声, アニメの時代

2000年を迎え、ブロードバンドの掛け声とともに情報メディア的には映像、音声、アニメを活用する本格的なマルチメディアの時代へと突入した。ビジネス的には、放送、通信、情報処理がタイトに結びつき、単一の市場を形成しつつある。言い方を変えると、デジタルテレビとウェブが融合するということである。そのキーとなる技術はXMLである。

SMILにより、静的なコンテンツと映像がウェブ上で融合するようになり、放送業界の表示規格であるBMLは、今後のウェブの規格であるXHTMLに近いものである。両者の融合は容易であり、両者を視野に置いたアプリケーションが今後ミドルウェアやビジネスロジックとして続々と誕生するであろう。

今後の必然的な流れであるウェブの高速化により、放送はインターネットに融合すると思われる。その段階になると、放送は有線に移行し、無線は個人や移動体を対象にしたモバイル応用に移行する可能性が強い。帯域拡大により、モバイルの世界でも映像やアニメが活用されるようになるであろう。

## 4. メディアと型

### 4.1 コミュニケーションvsコンピュータ

表3は、表1と表2を対応づけたものである。表2については、順序を上下逆にして示している。興味深いことに、人間社会のコミュニケーションの歴史とコンピュータ処理の歴史は、逆向きに対応している [24]。これは偶然であろうか、それとも必然的な理由があるのだろうか。これには以下に述べるように必然的な理由があると考えらる。

表3. コミュニケーションとコンピュータにおけるメディアの対比

コミュニケーション	コンピュータ
叫び声、ジェスチャ	映像、音声
洞窟壁画	図形、画像
象形文字	GUI
表意文字	漢字処理
表音文字	英数字、事務処理
数式、代数学	数字、数式計算
近代論理学	2進経

#### 4.2 コミュニケーションにおける抽象化の歴史

人間のコミュニケーションメディアの進展は、モデル化、記号化、抽象化の歴史であったと言える。人類は、叫び声やゼスチャーに端を発して言語を獲得し、さらに少ない符号で多くの意味内容を伝達するため文字を発明した。さらに普遍性、客観的真理の探究のために、数学や論理学といった考えるための考え方を体系化するに至った。この一連のプロセスは、人類の知的発展の経緯そのものと言えるであろう。

#### 4.3 コンピュータにおける具体化の歴史

それに対し、コンピュータの歴史は、具体化、可視化、オブジェクト化の歴史であったと言える。これらは、メモリ・通信コストの低減により具体化された。人間にとって、論理的な思考に頼らないで、直接的に意味内容を把握する方が精神的には容易であり好まれる。論理学や数学を好む人は稀であり、長文の物語を長時間かけて読むよりは、同一内容の映画を短時間で鑑賞することを好むものであろう。コンピュータの世界にこの考え方を最初に持ち込んだのは、PARCのアランケイを中心とするLRG (Learning Research Group)の人々であり、この思想はマルチメディアを推奨する多くのビジネスを生み出している。また、ヒューマン・コンピュータ・インタフェース分野においては、メリーランド大学においてシュナイダーマン教授のダイレクトマニピュレーションの考え方を生み出している。

#### 4.4 対応の必然性

従って、表3の対応は偶然ではなく必然性が存在すると言えるであろう。要するに、抽象化を指向する人間の論理的な思考と、コンピュータにおける演繹的なデータ導出のメカニズムが対応すると思われる。後者についてさらに具体的に述べると、型・クラスの定義と継承、これらの型やクラスに属するインスタンスの生成やそれに対するオペレーションなどが対応すると言えるであろう [25]。

## 5 . 論理分析哲学によるアプローチ

### 5.1 帰納と演繹

上記の仮説においては、人類におけるコミュニケーションメディアの進展は抽象化というプロセスであり、一方コンピュータにおいては、具体化というプロセスであった。この両者は、論理的な観点からは、いわゆる「帰納」と「演繹」ということになる。

ところで、帰納、演繹という用語に関しては必ずしも明確な定義がなされているわけではない。演繹に関しては、「正当な前提の下に正当な論理を適用し正当な結論を導く過程」とでも言えるのであろうが、特に帰納に関しては考え方に幅があり種々の議論が存在する。ここでは「帰納的推論」について検討したホランド [26]らの定義に立脚し、「不確実な状況において知識を拡張する推論過程の全てを含む」という立場をとることとしたい。この考え方だと、動物の条件反射やバクテリアの環境適応までも帰納の範疇に含まれることになる。

種々の事象において、帰納的な手法により同一の性質、類似の性質を抽出する。これらは概念形成のプロセスと言えるであろう。それら概念に対して名前を付け、分類の基準にしてゆく。これこそ表意文字や新しい単語の誕生モデルであった。

このような帰納の考え方を体系化し、人間から見た世界と言うものを定義する試みが宗教や哲学であろう。プラトンのイデア論、アリストテレスの形而上学などは、その古典的な体系であるが、そのような思想・哲学を、より厳密な数学的な視点で体系化しようとしたのが、2.7節で述べた論理数学を包含する近代の分析哲学であったと語る [27]。

### 5.2 構成的アプローチと分析的アプローチ

バートランド・ラッセルが、パラドックスの克服のために型の理論を提示したのは1906年のことであるが [28]、その問題の背景としての型の基本的な考え方は、1903年に出版された "The Principles of Mathematics" [7]の付録Bですでに記述されている。それによると、ラッセルは数に対して明確に型 (集合) とそのメンバ (インスタンス) という考えを提示しており、現在のデータ型に近い考え方を説明している。 "The Principles of Mathematics" は、ホワイトヘッドとの共著で有名なプリンキピア・マセマティカの陰に隠れてあまり知られてはいないが、この書を通じて彼が世界を論理で構築することに挑戦した

ことを窺い知ることができる。

それによると、ラッセルは人間の知性を数の理解から説明している。人間が世界を把握してゆく方法には「構成的アプローチ」と「分析的アプローチ」があり、前者においては、数  $\Rightarrow$  無限  $\Rightarrow$  空間  $\Rightarrow$  物質  $\Rightarrow$  運動、といった展開があり、後者では、記号論理  $\Rightarrow$  記述の理論  $\Rightarrow$  型の理論といった展開が提案されている。

### 5.3 2つの方向性

"The Principles of Mathematics"は、以上のように世界の事象について記号論理(集論)による体系化を試みたものであるが、検討の途上で有名なパラドックスに遭遇し、それ以上の論理的展開には失敗している。プリンキピア・マセマティカは、パラドックス克服後に試みられた世界記述の再挑戦と言えるが、世界を論理的に定義することに挑戦するラッセルの基本的なアイデアは、むしろ"The Principles of Mathematics"に記述されている。彼が提示した数を基本として展開してゆく型の考え方を構成的な方向と、分析的な方向に大別して展開させる考え方は、データをマルチメディアやシミュレーションに展開してゆく考え方や、メタデータ、メタモデル的なシステム構築を通じて意味的な世界を構築する考え方に対応するように思われる。型は両者に対し意味を持つが、その関わり方は本質的に異なる。前者が、クラスの多重継承のような考え方で型を複合的に構成して行くアプローチであるのに対し、後者は現状の型を潜在的に機成しているメタな実体の模索として位置付けることができるであろう。

### 5.4 ヴィトゲンシュタインの論考

世界を論理的に定義することを試みた点に関し、ラッセル以上に有名なのはヴィトゲンシュタインであろう。彼の論考 [29]は、極めて簡潔に世界を論理的に定義することを試みた。ラッセルは論考を賞賛し、その前書きまで書いている。ところがヴィトゲンシュタインはその後論理分析哲学的な考え方を放棄し、彼自身の著作である論考をも否定するようになる [30]。さらにプリンキピア・マセマティカをも批判するようになりラッセルとも対立するようになった [32]。さらにその後、ゲーテルが証明した不完全性定理 [31]を通じて、論理分析哲学的なアプローチの限界が指摘され、そのような考え方は世の中から省みられなくなってしまった。

### 5.5 チューリングのアイデア

コンピュータの理論的な基盤としては、演算とデータを同一の言語体系で実現可能とすることを

証明したチューリングの論文に遡るが、この論文は論理哲学と関係していた可能性がある [32]。この論文は、現在のノイマン型計算機の基礎を与えるもので、その後、その実現モデルとしてのチューリングマシンが提案される [33]。このようにチューリングは現在のコンピュータの理論的なモデルを構築した、チューリングが、彼のアイデアを実現する上で、重要な経験を積んでいる。彼はヴィトゲンシュタインの講義における学生であり、ヴィトゲンシュタインとの講義中の質疑が後の彼のアイデアを創る上で重要な役割を演じたと言われている [32]。要するにチューリングマシンのアイデアは、ヴィトゲンシュタインとの議論が土台となっている模様なのである。さらに、ゲーデルは彼の不完全性理論を展開する上でチューリングの計算理論を参考にしたとのことである。近代論理学とコンピュータの誕生とはこのように深い関係があった。

## 6 . 2つの方向性とシステム展開

### 6.1 型・クラスとメディアとの対応

表3の関係と、従来から使われてきた型やクラスとの対応関係を表4に示す。近代論理学、代数学、表音文字、表意文字などがコンピュータの進展に伴い確立してきたプログラム言語におけるboolean、int、float、char、wcharなどの型と対応している様子がわかるであろう。象形文字がオブジェクト指向によるGUIシステムの icon-class に対応させているのは若干のこじつけであり、洞窟壁画や叫び声、ジェスチャの図形画像、マルチメディアに関しては、アプリケーション依存、実装依存の型でオブジェクトのクラスとして定義されているが、今後は幅広い分野で共通に認識される型として標準化されてゆく可能性はある。

このように型は、人間がコミュニケーションの過程で帰納的なプロセスを通じて共通に使える類型的な事物を抽象化して形成されてきた人類の遺産なのである。この経緯から、今後も各種領域の再利用可能な枠組みが着実に構築されてゆくと思われる。

とは言っても、その道は平坦ではない。例えば、基本型、拡張型については、各種プログラム言語で定義されてきたが、必ずしも統一されておらず、プログラム相互間におけるデータの相互運用性を損なっていた。CORBAのIDLは、それを克服するためにC、C++、Java、Ada、COBOL、Smalltalk、Comonlispなどの言語の型について、IDL型とのマッピングを定義したが、言語を超越

したオブジェクトの相互運用という観点からは画期的な成果であったと言えるであろう [34]。XMLスキーマが制定されたことにより、XMLコンテンツの世界でも上記プログラミング言語の世界と同様に本格的に型を導入する機会が訪れた [1][2][3]。しかしながら、型の構成はプログラミング言語に較べると非常に複雑であり（例えば整数型だけで11種類もある）、初歩的な利用者から見て使いやすいとは言いがたいであろう。

最近議論になるウェブ・サービスやセマンティック・ウェブは、この領域へのサービス面、技術面における挑戦と考えることが可能であろう。このような試行錯誤を通じて新たな型が形成されて行くと思われる。

表4. 各欄メディアと型・クラスとの関係

コミュニケーション	コンピュータ	型・クラス
叫声, ジェスチャ	映像, 音声	class
洞窟壁画	図形, 画像	class
象形文字	GUI	icon-class
表意文字	漢字処理	wchar
表音文字	英数字, 事務処理	char
代数	数字, 数式計算	int, float
近代論理学	2進経	boolean

## 6.2 マルチメディア的展開

システム構築における構成的アプローチは、オブジェクト指向におけるクラス概念に対応する。前項で述べたとおり表4の映像、音声、図形、画像、GUIなどにおける各種の拡張データ型は、個別システムのレベルで1990年代から着実に進展してきた。例えば、マルチメディアデータベースと言われたILLUSTRAは、上記の各種メディアに対するデータブレードを保有していた [35]。

以前、我々が開発したSGMLデータブレードは、これらの拡張型をドキュメントの要素として管理するために、設計されたマルチメディア・ドキュメント・データベース用のモデルウェアであった [36]。この設計思想は、マルチメディア・コンテンツのオーサリングと配布に関しては極めて妥当なものであったと思われるが、ILLUSTRAの開発の挫折により、中断せざるを得なかった。しかし、後に紹介するとおり、XMLの進展により、この設計思想に基づく開発を再開する機運が高まりつつあると考えている。

## 6.3 メタデータ・メタモデルの展開

人間の知的活動における帰納的なプロセスをコンピュータに実装する試みは、1960年代から所謂「人工知能」分野で行われてきたと言えるが、一部の興味ある分野 [26][37]を除くとほとんど進展

していないのが実情であろう。1980年代の知識工学やエキスパートシステムも、華々しい掛け声と宣伝が行われた割には、その成果たるや微々たるものであった。私自身、その関係者であったのだが、当時を反省すると、今後この種のアプローチは応用指向ではなく、論理学、分析哲学、言語学 [38][39]、認知心理学 [40]といった基礎的な研究とタイアップした企画が必要ではないかと思われる。

他方、オブジェクト分析設計的なアプローチにおいては、以前から上記のメタデータやメタモデルと類似のプロセスを行っていた [41]。JavaやC++のようなオブジェクト指向プログラミング言語におけるクラス定義は、上記のプロセスをコンピュータ上で実現していると言えるであろう。

UML (Unified Modeling Language) [42]をはじめとするオブジェクト分析設計手法は、以上の帰納に基づく抽象化プロセスを中核に、上流工程を含むシステム構築を誘導支援する方法論である [43]。この場合は、メタな世界の構築を人間が行い、コンピュータはそれを支援する役割に徹すると言えるであろう。

最近、UMLを用い、この手法をXMLの世界に導入する試みがOMGを中心に展開されている。XMI (XML Metadata Interchange) [44][45]やMDA (Model Driven Architecture) [46][47][48]が目指している世界である。この世界では、モデルとして記述された内容を、XMLのDTDやインスタンスに自動的に変換するパラダイムの提供を試みるものであるが、具体的なビジネスに適用されるまでには若干の時間を必要としそうである。

## 7. 今後の展開と課題

### 7.1 セマンティック・ウェブ

UMLのアプローチとは別に、メタデータやメタモデル的なアプローチをウェブの世界に全面的に展開しようとする意欲的な挑戦が行われている。W3Cのセマンティック・ウェブ [5]である。このアプローチでは、XMLをベースとし、その上にメタデータ層としてのRDFとRDFスキーマ、その上にオントロジー層があり、意味的な用語の一元的な管理を行う。さらにその上に、ロジック層、プルーフ層が積み重ねられ、最上位にトラスト層が位置している。挑戦的な試みであることは間違いないがその真価は未知数である。現状でも注目と同時に大いなる批判が渦巻いている。

批判の主たる立場は、セマンティック・ウェブが、一昔前のAIに較べ進展が無いことを指摘す

る。それに対し Tim Barners-Leelは、かつてのAIではないことを主張する。しかし私から見て腑に落ちないのは、かつての AIの中身が十分具体的に触れられていない点である。

### 7.2 AIは本当に失敗だったのか

かつての AIはビジネス的には確かに失敗であった。しかし技術的にも失敗であったと結論するのは尚早であろう。失敗を通じた教訓もあつたはずである。私もフレームとルールに基づいたシステムを検討したことはあつたが [49]、実用的なシステムとしては、ルールを駆動させるよりはルールに基づいた決定木を生成し、その探索を行わせる方がはるかに容易であり、そのようなシステムを提案し [50] 構築したこともある [51][52]。その基本的な考え方は、当時のAIの基礎となった「プロダクション・ルール・システム」において、ルール競合を避ける場合の探索は、決定木で記述可能であり [53]、そのパラダイムでシステム構築を行う方が、システム構築、運用、維持管理が楽であるということであつた。この考えは、構築しても維持管理ができないと言われた当時のエキスパートシステムに対する一つの考え方であつた。

一方、ルール競合におけるルール選択に帰納的なアプローチを取り入れ、帰納的な推論に挑戦した研究も行われていた [26]。人間の帰納的な推論を状態空間の遷移における多数の競合ルールの選択メカニズムに求め、ルール実行前後の状態と目標状態の距離を計算しつつ失敗をパラメタにフィードバックさせるというアプローチにはそれなりの説得力がある。当時の計算機環境が、計算量に対して貧弱であつたことを考慮すると、このアプローチは現状のウェブ環境では可能性があると思う。状態空間やパラメタの記述に RDF やオントロジ層を活用することも可能であろう。

W3Cのセマンティック・ウェブが、帰納的な推論を包含することにより、興味あるルールシステムを構築できる可能性はあると思う。その観点に立つとセマンティック・ウェブが受けている現状の批判は必ずしも的を得ていないと思う。真の困難な課題はそれ以上の階層にあると思われるのである。

### 7.3 マルチメディア・ウェブ

セマンティック・ウェブに関しては、今後の議論の展開次第ではブレークスルーがあり得るかもしれないが、それに大きな期待をするのは無理がある。上記のような帰納的推論の試みは存在するが、帰納に関する人類の理論は、プラトン、アリストテレスのギリシャ哲学以来、それほど大き

な進歩を遂げているとは思えない。それに対し、2つの方向性のもう一つの方向性であるマルチメディア化を指向する構成的なアプローチの方は、メモリ価格の低下、CPUの性能向上、ネットワークの広帯域化と相俟って着実に実現の方向にある。特に最近「ブロードバンド」のキーワードに押されて、この方向へのシステム展開が期待されている。従って、今後のウェブの利用に関しては、分析的なアプローチのセマンティック・ウェブよりは構成的アプローチのマルチメディア・ウェブの方に分があると思われる。

なお、セマンティック・ウェブもマルチメディア・ウェブもウェブの側面を語っているに過ぎず、実際のウェブは当然両者を含むものである。従って、構成的なアプローチと分析的なアプローチの両者が今後並行して進展することになると思われる。要するに拡張される型とそれに付随する系統的なメタデータ、それらの管理統合メカニズムの一体化である。従ってセマンティック・ウェブは、マルチメディア・ウェブのメタデータに対してルールを適用して能動的な処理を行うことを意味することになると思われる。

## 8 . あとがき

以上、情報メディアと型について、コミュニケーションに関する歴史的な視点と論理分析哲学的な視点を踏まえ、その関係を考察した。型は帰納的プロセスによる情報抽象化の過程において生み出された汎用的な概念の至り達点であり、プログラム言語、インタフェース定義言語、XMLスキーマなどにおける型は、そのコンピュータシステム、分散ネットワークシステム、広義のドキュメントシステムへの適用に過ぎないとも言える。以前、構造化文書は型を要素とする容器であるという考え方を提示したが [6]、XMLスキーマの登場でウェブ自体が型の容器になりつつあり、セマンティック・ウェブもマルチメディア・ウェブも型構造への処理操作とその標準化が今後の課題になると思われる。諸兄のご意見とご批判を頂けると幸いです。

文 献

- [1] <http://www.w3.org/TR/xmlschema-0/>
- [2] <http://www.w3.org/TR/xmlschema-1/>
- [3] <http://www.w3.org/TR/xmlschema-2/>
- [4] 丸山、小池、浦本; "Web Severによる動的な電子商取引の現", 情報処理, Vol.42, No.7(2001)
- [5] <http://www.w3c.org/2000/Talks/1206-xml2k-tbl/>
- [6] 大野 吉田; "文書を構成する型についての一考察", 情報処理学会デジタルドキュメント研究会研究報告, DD22-1, (2000.3)
- [7] B. Russel; "The Principles of Mathematics(2nd Ed.)", Rpotlegde,(1937)
- [8] リチャード・リーキ, (岩本雄蔵 今西錦司監修); "人類の起源", 講社, (1985)
- [9] スティーブン・ピンカー, (棕田直子訳); "言語を生ま出す能 (上)", NHKフックス#40,(1995)
- [10] スティーブン・ピンカー, (棕田直子訳); "言語を生ま出す能 (下)", NHKフックス#741,(1995)
- [11] ジョルジュ・シャン, (矢島文夫監修); "文字の歴史", 創社, (1990)
- [12] ジョルジュ・シャン, (矢島文夫監修); "記号の歴史", 創社, (1994)
- [13] ドゥニ・ゲージ, (藤原正彦監修); "数の歴史", 創社, (1998)
- [14] 室井; "バビロニアの数学", 東大出版会 (2000)
- [15] 高崎; "古代エジプトの数学", 総合科学出版(1977)
- [16] W.S. アンドラン, (ランベグ(三訳)); "タレスの遺産-数学史と数学の基礎から", シュプリング・フェア ラーク東京, (1997)
- [17] J.C.Cleavland, (小沢); "データ型序説", 共立出版(1990)
- [18] A・N・ホワイトヘッド, B・ラッセル (岡本等訳); "プリンキピアマテマティカ序論", 哲学書房(1988)
- [19] C.R. モンホフ (最相等訳); (ENIAC神話の崩れた日", 工業調査会 (1994)
- [20] ハワード・ラインゴールド(栗田・青木訳); "思考のための道具", パソナルメディア(1987)
- [21] L.Tesler; "The Smalltalk Enviroment", Byte, Vol.6, No.8, (1981)
- [22] D.Robson; "Objct-Oriented Software Systems", Byte, Vol.6, No.8, (1981)
- [23] A.Goldberg, D.Robson; Smalltk-80: The Language and Its Implementation", Addison Wesley, (1983)
- [24] 大野; "テクニカルコミュニケーションと情報メディア", 情報処理学会第一回テクニカルコミュニケーションシンポジウム講演資料, (1993)
- [25] P.Wegner; "The Object-Oriented Classification Paradigm", Research Directions in Object-Oriented Programming edited by Bruce Shriver & Peter Wegner, MIT Press, (1987)
- [26] J.H.ホランドほか(市川功訳); "INDUCTION - 推論学習・発見の総合理論へ向けて", 新書社 (1991)
- [27] B.ラッセル(市訳); "西洋哲学史 1", みすず書房(1955)
- [28] B.ラッセル(日訳); "ラッセル自叙伝 \_1", 理社, P192, (1969)
- [29] ヴィトゲンシュタイン; "論理哲学論", 中央公論世界の著 58- ラッセル・ヴィトゲンシュタイン・ホワイトヘッド編, 中央公論(1971)
- [30] 橋爪; "言語ゲームと社会理論\_ヴィトゲンシュタイン・ハート・ルーマン", 勤草書房
- [31] 廣瀬 横田; "ゲーデルの世界", 海社 (1854)
- [32] J.ライバー(今訳); "認知科学への招待: チューリングとヴィトゲンシュタインを道しるべに", 新書社 (1994)
- [33] H.H.ゴールドスタイン(末包等訳); "計算機の歴史: パスカルからノイマンまで", 共立出版(1979)
- [34] 河辺, 中村, 大野, 飯島; "分散オブジェクトコンピュティング", 共立出版(1999)
- [35] 伊藤, 太田, 木下, 仲山; "Datablade構築技法", BNN, (1996)
- [36] 大野, 佐脇; "ORDBによるマルチメディア・ドキュメントの管理", 情報処理学会デジタルドキュメント研究会研究報告 .DD7-5(1997.5)
- [37] R.C.シャンク(淵 石崎訳); "考えるコンピュータ", ダイヤモンド社, (1985)
- [38] 吉田正幸; "分類学からの出発: プラトンからコンピュータへ", 中公新書#1148, 中央公論社 (1993)
- [39] 中尾佐助; "分類の発想: 思考のルールをつくる", 朝日叢書 #409, 朝日新聞社 (1990)
- [40] D.A. ノーマン(富訳 9; "認知心理学入門 - 学習と記憶", 誠信書房(1984)
- [41] マーチン等 (三菱CC研究会訳); "オブジェクト指向方法論", プレンティスホール・トッパン(1995)
- [42] <http://www.omg.org/technology/uml/index.htm>
- [43] オブジェクト指向研究会 (今野監修); "オブジェクトモデリング表言法ガイド-UML1.3", ピアソン, (2000)
- [44] OMG Doc format/00-11-02:XML Metadata Interchange(XMI)version 1.1
- [45] 大野; "XMLによるメタデータの相互運用", 電子情報通信学会「XMLとメタデータ記述」チュートリアル資料集, pp.18-58, (2001.4)
- [46] <http://www.omg/mda/index.htm>
- [47] 和岡; "モデル駆動型アーキテクチャ(MDA)に向けて", オブジェクト・レポ 'トVol.6.No6, 創研プランニング(2001.3)
- [48] Richard Soley; "Model Driven Architecture", <ftp://ftp.omg.org/pub/docs/omg/00-11-05.pdf>
- [49] K.Ohno; "An Expert System for Predicting the Relay Contact Arc Erosion", Proc. International Conference on Electrical Contacts and Their Applications, Nagova, Japan, (1986)
- [50] 大野; "決定木によるアプリケーションプログラム構築支援システム", 信学技報.COMP90-84/SS90-30, (1990)
- [51] K.Ohno; "Modeling Contact Erosion Using Object-Oriented Technology", Trans IECE Japan Electron, Vol.E77-C, No.10, (1994)
- [52] 大野; "公衆電謡機保守支援システムの改良", NTT技術ジャーナル, Vol.7, No.12, (1995)

この論文のコンテンツは、著者及び(社)情報処理学会殿のご好意により、同会研究報告 DD-30-2から引用させて頂いております。  
 なお、版面、行長(字詰め数)、行送り等は、情報処理学会研究報告誌とは異なる設定にしております。又、このコンテンツデータは原著論文をOCRで再入力してます。校正には念を入れてありますが、あくまでも組版サンプルとしてご利用ください。  
 更に、このコンテンツデータの文献としての流用はご遠慮ください。  
 - - ネクストソリューション株式会社 - -