

(2) 大西は70歳の白髪の太った教授で、文学部で学生を教えている。

大西 isa 教授

大西 teaches 学生 at 文学部

大西 is 70 歳

大西 is 太っている

大西 has 白髪

(3) 述語論理の表現

ISA (大西, 教授)

TEACH (大西, 学生, 文学部)

IS (大西, 70 歳)

IS (大西, 太っている)

HAS (大西, 白髪)

3.4 フレームモデルのスキーマ

記号論的なスキーマだけでは限界がある。言語という1つの表現道具だけで表されるスキーマは貧弱になり、背景に潜む意味の解釈が必要になる。それには自然言語処理において研究されたスキーマを考慮する。例えば解釈学に基づくもので、文章を外にある対象として、読者の精神や著者の意図から全くはなれたものとして分析する。すなわち、解釈の対象となるものは個人的経験から生まれるものとする考え方である。解釈学の方法は、記号論のように記号が1つの、1つだけの指定された意味を持つという単純なものではない。意味はコンテキストの問題だけではなく、また外的な環境に左右されるものでもない。むしろ人間の精神に存在する信念、意見、知識の持つ内的なコンテキストもある。これは、暗黙知のコンテキストといえるものである。人間が言語を読んだり聞いたりするとき、人間はあるいくつかの方法で組織化したあるいくつかの種類知識を動員する。そして、これらの知識構造自体は人間の世界についてのそれまでの経験から生ずる。理解が解釈にとって必要であり、この解釈がそれに代って理解を生むという環境的過程を「解釈学的循環」と呼ぶ。解釈学に基づくスキーマ論は哲学、言語学、心理学、そして学際的科学である人工知能において注目された。

スタンフォード大学の T. Winograd [Winograd 1983] は、1970年に解釈学モデルに基づく SHRDLU を開発した。積み木の小さな世界をロボットが質問に答えながら解釈するものである。その実験の結果、行動の引き金として言語を重要視するが、言語が世界に関する知識(事実)として表現されたものではないことが明らかになった。その場合の言語は、ロボットに積み木のブロックを積みという指令として表現されたものにすぎない。文が世界にある何かにつ

いて言及していることではなく、精神の活動にどのような変化を引き起こすかということに注目した。しかしながら解釈学モデルは精神の問題を扱うことであり、そのスキーマ化は容易ではない。解釈学モデルに影響を受けて研究されたものがフレームモデルである。人工知能の開拓者である Minsky [Minsky 1975] は、フレームとは映画の 1 コマのように、情報を構造化し、知識として頭脳の中に記憶されるものであると考えた。フレームは、記憶の 1 つの枠組みといえる。情報の単位をあまり小さくして構造化すると、少し複雑な問題を解決するときに時間がかかりすぎる。だからといって、大きな単位で構造化すれば、詳細な記述ができない。フレームは、それより単位の小さなスロットを持っていて、意味ネットワークを構成する。スロットには個々の部分知識が記述されている。その典型的な記述のことを「デフォルト値」と呼ぶ。スロット機構では知識検索を行い、既存の知識に基づき対応するスロットを求める。フレームは、個人の知識の見方と考えることもできる。これは映像を捉えることと似た感性的なものであるから、感性変数の組によって与えられる。例えば、“飛行機”を考えてみる。それは、「物体 (a), 飛ぶ (b), 翼 (c), 空 (d)」という感性変数によって「Frame (a, b, c, d)」という概念が構成されるならば、それを実現できる関数「Frame (x, y, z, w)」という関数が知識ベースに格納される。この関数は、感性変数がフレームを形成することになるので、例えば、「Frame (x, Frame (x', y'), z, w)」のように再帰的に組み込まれて複雑な関数を階層的に組み立てることになる。このようなサブフレームのことがスロットである。例えば、「湘南風景」という映像を処理してみると list 12 のようなフレーム (スキーマ) で表すことができる。[斉藤 2007a]

[list 12] フレームによる記述例

青空の入道雲の下、海原には 7 隻のヨット、海岸の道路には車が行き交い、砂浜で人が海水浴を楽しんでいる。

```
(湘南風景 : frame-name
  (空 : sub-frame-name
    (色 : slot 1 (default : facet (青)))
    (対象 : slot 2 (value : facet (入道雲))))
  (舟 : sub-frame-name
    (種類 : slot 1 (default : facet (ヨット)))
    (数 : slot 2 (value : facet (7))))
  (海岸 : sub-frame-name
    (道路 : sub-frame-name
      (対象 : slot (value : facet (車))))))
```

(砂浜 : sub-frame-name
 (対象 : slot 1 (value : facet (人)))
 (対象 : slot 2 (IF-swimming : facet (手続き X))))))

なお, value : facet は, スロットのインスタンスを示す. default : facet は, 情報システムが仮に設定した値である. 砂浜の描写で, 「海水浴を楽しむ」は IF-swimming : facet としているが, それは手続き X (プログラム・ルーチン) を呼び出すことを指示する.

フレームモデルでは, 知識は主題単位に図式化され, 意味ネットワークとして知識ベースに格納される. フレームというスキーマは Minsky の研究成果を集約したものといえる.

3.5 オブジェクト指向スキーマ

IT 世界でスキーマ論を本格的に取り上げたのはデータベースシステム [齊藤 1999] である. データベースに蓄積しようとする情報の捉え方を「データモデル」という. データモデルは, 実世界の情報をできるだけ自然の型で抽象化しておき, データベースの世界へ写像させるための概念の雛型のことである. いわば, 情報構造を抽象化した記号模型といえる. データベースは物理的には, 記憶されたデータの集まりにすぎないから, 利用者は直接この物理的なファイルにアクセスするわけではなく, 実世界の情報構造に似た「データ構造」として見る. したがって, そこにアクセスできるように, 利用者とデータベースの間には, 「データモデル」を介在させる必要がある. このモデルの記号模型の表現法にはいろいろあるが, 木構造 (階層型), 関係構造 (表型), 網構造 (網型) の 3 種類のモデル (型) が一般的で, それぞれをデータベース構造に対応させて理論化した. 実世界の情報構造を「データモデル」であり, データベースの世界に抽象化することをデータベースの論理設計という. 例えば, 図書館の情報構造は, 関係 (表) 型のデータモデルを使用することによって, 著者名, 標題, 出版社をデータ項目とした「表 (テーブル)」として表現することができる. データモデルが実世界の情報構造を抽象化する概念モデルであるのに対して, このデータモデルによって抽象化した結果をデータベースに定義したものをスキーマと呼ぶ.

ユビキタス・クラウド時代の IT 世界では新しいスキーマが必要になる. これまでのスキーマは, マルチメディアなどのデジタルオブジェクトに対応したものではない. デジタルメディアはビットの集合体にすぎないものであり, 情報システムの支えがなければ己の正体を明らかにできないという共通した特色がある. このような得体の知れないオブジェクトに対するスキーマとはいかなるものが対応できるのか. その候補としてオブジェクト指向スキーマが提案された. これは, もともとオブジェクト指向モデルと呼ばれているものである. この考え方は, これまでの分類一辺倒に基づくスキーマ論とは一線を引くことである. この場合のオブジェクト

とは、ある視点から見た「対象」のことである。デジタルオブジェクトならばビットによる電子集合体であり、Webのようなネットに点在する電子集合体であってもオブジェクトである。オブジェクト指向スキーマには、「インヘリタンス」が導入されている。これは意味ネットワークで「継承」と呼んでいたものと同じ考え方に基づくものである。継承 (inheritance) は、もとは遺伝学の用語であり、親の体質や性格が子に伝わることであるが、オブジェクト指向モデルで用いられることになった。人間が作り出すものの(知識・情報も含めて)多くは、過去に存在したものを改造し、組み合わせたものである。前者は、改造のベースとなったものの性質を継承している。後者は、組み合わせを構成する複数の要素の性質を多重継承している。継承と多重継承は、人間の認識する対象が作られてきた過程・歴史、そしてその構成を考えると、常に意識化されてきたことがらにほかならない。そして、概念という形でまとめられた「知識」の再利用を意味している。継承の機能とは、知識の再利用の機構といえる。オブジェクト指向スキーマの基になったオブジェクト指向モデルは、今ではソフトウェア工学ではデファクト(業界標準)となった。その国際的な概念言語として提案されたものがUML(Unified Modeling Language)[Rumbaugh 1999]である。オブジェクト指向スキーマの考え方は、このUMLを採用したものである。UMLの影響は情報学の研究における様々な分野に及ぶ。ここではUMLを概念言語としてみなして、その概念文法(スキーマ)を考察する。情報システムの構造化設計では、設計文書を図解技法により視覚的に記述する。設計という作業では、必ず図面や模型(概念モデル)を描き、作るべき対象像を鮮明にする。そのためには、情報システムを多くの要素からなる階層構造として捉え、各要素の機能、要素間の関係および各階層水準の設定を明確にしていく。UMLは、情報システムの意味をスキーマによって伝える。

3.6 OWL

Semantic Webで使われるOWL(Ontology Web Language)では、クラスをクラス公理(class axiom)として定義する。それは、クラスメンバーとクラスとの論理的組み合わせである。クラスの属性は、クラスが持つプロパティ(hasMember)として、そのクラスに属するインスタンスには制限領域(restriction)があり、1つの制約条件(someValuesFrom)があることを定義する。もし、全てのインスタンスを対象にするのであれば、全称条件(allValuesFrom)を定義する。すなわち、スキーマの定義では述語論理に基づく考え方を導入する。list 13(1)は、文献のタクソノミーにおいて、社会科学は社会学と社会情報学という2つの多重(cardinality)のクラスメンバーから構成するプロパティとして定義されることをlist 13(2)のOWLで記述している。OWLの「rdf」はRDF(Resource Description Framework)の略であるが、そのFrameworkが示すようにスキーマを記述する概念文法である。これはWebの情報インデックスを述語論理の3つ組形式(主語、述語、目的語)によって表現できるのが特徴である。それぞれを資源

(resource), 属性 (property) および属性値 (property value) に対応付けている. RDF のプロパティ名, プロパティ値などプロパティを定義したスキーマは, 名前空間 (Name Space) の機能によって対象の Web の URI (アドレス) を指定する.

[list 13] OWL によるスキーマ

(1) クラス公理の記述

Ontology (

```

Class (文献:社会科学 partial
  restriction (文献:hasMember someValuesFrom (文献:社会科学))
  restriction (文献:hasMember cardinality (2))
  . . . . .
  subclassOf (文献:社会科学 partial
    restriction (文献:hasMember allValuesFrom (社会学))
  subclassOf (文献:社会科学 partial
    restriction (文献:hasMember allValuesFrom (社会情報学))))))

```

(2) OWL による記述

```

<owl:Class rdf:ID = "社会科学">
  <rdfs:subClassOf>
    <owl:Restriction>
      <owl:onProperty rdf:resource = "#hasMember"/>
      <owl:someValuesFrom rdf:resource = "# 社会科学"/>
    </owl:Restriction>
  </rdfs:subClassOf>
  <rdfs:subClassOf>
    <owl:Restriction>
      <owl:onProperty rdf:resource = "#hasMember"/>
      <owl:cardinality
        rdf:datatype = "&xsd;nonNegativeInteger">2</owl:cardinality>
      </owl:Restriction>
    </rdfs:subClassOf>
  </owl:Class>

```

3.7 ER モデル

スキーマに必要な分類・タクソノミーは誰でもが簡単に設計できることではない。概念化とその関係を階層化する分類は極めて知的な仕事なのである。それに比べると集合論を持ち出したオブジェクト指向スキーマにおけるクラスは、階層化を考えないで、ある実体や事例というインスタンス群を自分の好みの視点から分けてみるだけであるから容易である。考えることは、クラスという集合だけである。集合論に基づくスキーマとして ER (Entity Relation) モデル [佐藤 2000] というものが提案された。このスキーマは集合論の記号で全てを表す。その基本理念は、実世界のオブジェクトを実体 (entity) と実体間の関連 (relation) によって構成されるものという単純なスキーマである。ER モデルの考え方は、概念の世界を 3 つのレベルに分けて構造化する。第 1 レベルでは、実体と関連を抽出し、第 2 レベルでは、実体と関連に対して図式表現を行う。そして第 3 レベルでは、意味のリレーションとして関係表 (リレーショナル・モデル) としてまとめる。

[list 14] ER モデル

(1) ER モデルの例文

「ドライバーが車を運転する。」

「作曲家が音楽を作曲する。」

entity ドライバー, 作曲家

entity 車, 音楽

relation 運転する, 作曲する

(2) 実体と実体集合の例

車 = { $d \mid d$ は藤沢タクシー会社に所属している}

音楽 = { $m \mid m$ はモーツァルトの作曲したものである}

好き = { $(d, m) \mid d \in$ ドライバー, $m \in$ 音楽, d は m が好きである}

list 14 (1) のそれぞれの実体は、「運転する」と「作曲する」という関連によって結合されている。このような実体と関連を概念化するには、実体集合と関連集合という概念 (クラス) に集めたものにする。list 14 (2) は「 d は藤沢タクシー会社に所属している。」と「 m はモーツァルトの作曲したものである。」の 2 つの実体を結びつけて、「 d は m が好きである。」とした場合、新たに 1 つの関連が生まれる。関連は d と m の組「 (d, m) 」で表す。すなわち関連集合を定義する。

3.8 K-Space

これは筆者が2001年に発表 [齊藤 2001] したもので, K-Space と呼ぶスキーマである. これは知識ベースを構築するために設計された. K-Space は K-Agent を基にして K-Object とその属性 (Attribute) および他の K-Object との関係 (Relation) を表す. 主題 (K-Subject) はいくつかの K-Object を結びつけて表現され, K-Agent は, 知識をいくつかの K-Subject によって表現される. K-Agent は, いくつもの知識主題を持っていて, それぞれが K-Subject というスキーマによって表現される. K-Subject は, スロットに相当するオブジェクト (K-Object) によって表現される. K-Subject と K-Object はともに主題を可視化 (感性変数) に変換し上位から階層的に図式化される. その階層関係は, 全体と部分 (Whole-Part) という単純な関係で分解していく. K-Space の一般形式は, list 15 (1) のとおりである.

[list 15] K-Space

(1) K-Space の一般形式

```
{K-Subject : <subject-name>;
  K-Object <metadata>1 : object-value1;
  .
  K-Object <metadata>n : object-value n;
}
```

(2) 情報インデックスの事例

```
{K-Subject ナレッジライブラリ;
  IsaObject (VideoObject (中央大学動画) ImageObject (文学部建物静止画));
  IsaObject (ImageObject (齊藤研究室静止画) ImageObject (サーバ装置静止画));
  IsaObject (VoiceObject (ナレッジライブラリ計画解説)
  GraphObject (ナレッジライブラリ構成図));
  IsaObject (GraphObject (システム機能図)
  TextObject (システム処理仕様書));
  IsaObject (TextObject (主ルーチン) TextObject (検索サブルーチン));
  IsaObject (TextObject (プログラムリスト)
  BinaryObject (実行プログラム));
}
```

(3) K-Object のメタデータ

IsaObject	オブジェクト間の階層関係
VoiceObject	音声属性
TextObject	文書属性
ImageObject	静止画属性
GraphObject	図形属性
BinaryObject	プログラム実行属性
VideoObject	動画属性

例えば, list 15 (1) のような情報インデックスを考えてみる. K-Agent に対して「中央大学の文学部の齊藤研究室におけるナレッジライブラリ」という主題を表現する. この例題は, 約 20 分のビデオであり, MPEG2 によってデジタル化されたコンテンツである. その簡単なスクリプトは, 冒頭シーンにおいて中央大学の全景が映し出され, 多摩キャンパスの自然環境の中に点在する各学部校舎にシーンは移り, 文学部校舎内を歩き齊藤研究室にたどり着く. 次のシーンでは, 齊藤研究室の内部を眺め, 様々な IT 機器を映し, 目的のナレッジライブラリが実装されているサーバ機器に眼が移るようになっている. その間, ナレーションによってナレッジライブラリについての概要も解説される. 主題の焦点は, ナレッジライブラリがどこで, 誰によって, どのような環境のもとで開発されたかを伝えようとするところであるが, ナレッジライブラリのシステム構成とそのプログラムまで紹介し, それらに一部のプログラムを実行させる. すなわち, この事例からわかることは, list14 (3) のメタデータで記述されたオブジェクトとその属性は, 映像, 文章, 写真, 図面, 実行プログラムなどを含むデジタルメディアである.

3.9 デジタル・スキーマ

結局, スキーマは概念文法とはいえ, その概念の意味が及ぼす範囲は実務に根ざす情報学の世界までであり, 純粋な哲学の世界でも社会科学の世界でもない. 概念理論という名前には威厳があるが, 軽薄にも名前を便宜的に借りた概念の技術論にすぎない. そう考えると概念理論とはいわずにオントロジと名付けたことは巧みな命名といえる. さて, 本稿では情報学のスキーマはいかにあるべきか. その中で, デジタルメディアのスキーマ論を考察することによって ICT に特化した極めて実務的なスキーマ論の妥当性を導く結果となった. 従来の情報学のスキーマは哲学的, 言語学的, 認知論的な文脈で論じられたものであり, 適用範囲が可視化されたテキストなどの記録を対象にし, 分類言語やシソーラス語彙を設計するためのものである. したがって, ハイパーテキストなどで電子化された記録にそのまま応用することには無理がある. Web 世界にデジタルオブジェクトとして捉える諸々の概念とその構造は革新的な視点から提案されたものが要求される. 意外なことに K-Space のスキーマはその要求に適合できるので