

視点に依存した属性付け機構を持つ 木簡研究支援システム

— 構造進化型データベースの概念 —

Incremental Database System Handling Multiple Viewpoints for Historical Materials

森下 淳也[†], 上島 紳一^{††}, 大月 一弘^{†††}

Jun-ya MORISHITA, Shinichi UESHIMA, Kazuhiro OHTSUKI

[†] 姫路獨協大学, Himeji Dokkyo University. E-mail: morisita@himeji-du.ac.jp.

^{††} 関西大学, Kansai University. E-mail: ueshima@res.kutc.kansai-u.ac.jp.

^{†††} 神戸大学, Kobe University. E-mail: ohtsuki@cs.cla.kobe-u.ac.jp.

キーワード: 木簡研究支援システム、科学データベース、半構造化データ、段階的構造化、視点

keywords: wooden slips, scientific database, semi-structured data, incremental data organization, viewpoint

あらまし: 本稿では、研究者の活動を支援する過程をデータベースの構造化の過程とみることにより構造進化型データベースの概念を形成する。そのために必要な拡張概念として、段階的構造化、カテゴリ、視点について議論し、これらを包含するデータモデルを考案する。これらを、我々が構築している木簡研究支援システムにおける木簡データの段階的構造化に沿って述べる。

本システムは、木簡オブジェクトに対して、研究者の任意の視点から属性/属性値付けの可能な構造進化型データベースシステムとして実現されており、未整理な状態にある木簡データを、自由な視点から段階的に分類・集約することができる。本手法は、半構造化状態にあるデータに対してそのまま適用することができ、膨大な量のマルチメディアデータの取り扱いや、未整理なデータの整理、分類作業を格段に効率化することができる。

Summary: In this paper, we build a new concept of incremental database system by regarding researcher's working process as the process of database generation. We discuss the notions of incremental data organization, categories, and viewpoints, and propose a new data model which built-in these notions. Then, we introduce a mechanism for incremental data organization of semi-structured data in handling ancient Chinese wooden slips data. The objective of the mechanism is to support scientists' incremental and hypothetical work processes (object/type identification, classification and verification/ abstraction from users' multiple viewpoints). We

have developed a prototype incremental database system based on an Object-Oriented DBMS.

Our system can be used to organize all kinds of semi-structured data incrementally. Users can treat a large volume of multimedia data, and unclassified data efficiently with this system.

1 はじめに

最近、文献情報データ、地球環境データ、ヒトゲノムデータ、静止・ビデオ画像などを対象とした科学データベース (*Scientific database*) が注目されている [1]。科学データベースが問題としている点は、

- テラバイトに届こうとしている膨大な情報を如何にデータベースとして扱うか。
- ネットワーク上に分散したデータをどう扱うか。
- マルチメディアデータなどの複雑なデータ構造をデータベースの中に如何に収容し、管理するか。
- 物理的に格納されたデータ形式の異なるデータをどう扱うか。

などである。これらの問題は、例えば、CAD の分野などで活発な議論がなされておりオブジェ

クト指向データベース (OODBMS) などによる解決への糸口を見出している [2]。いずれもデータベースシステム (DBMS) の限界を越える多くの試みがなされている。

我々は科学データベースを、このような議論とは異なる観点で捉える。実際の研究活動の中でのデータベースの果たすべき役割を考えると、研究者の持つデータは、研究者が考える対象を表わすには不完全な状態から始まる。研究者の知的活動の結果、適切な枠組が研究者の目前に開かれ、完全なものになると考えられる。このような活動に対して、従来、DBMS はその活動の外側にあり、新しい概念の導入や発見が起こる毎に、新しいデータベースを再構築するという、手間のかかる道具に過ぎなかった。

DBMS の大きな特徴である、完全性や完備性は、間違いがないという大きな安定を我々にもたらしてくれるが、言い換えれば、これはどのような瞬間にもデータベースが正しくなければならぬという自由度のなさを示している。データベースができる事は、常に完全であるともみなされる固定された枠組に対して、情報を流し込むことだけである。

研究者が研究に用いる科学データベースでは、このような堅牢さが重要な分野とは異なり、常時の完全性よりも仮説や思い付きを自由に記述できる柔軟さや新しい枠組を随時試すことのできる軽快さが重要である。このような観点から、我々は科学データベースを

- 研究者の発見による新しい情報を、枠組を越えて同じデータベースの中に、随時、取り込むことができる。
- 研究者の新奇な思い付きをそのままデータベースに反映できる。
- 研究者の知的活動自体が、データベースをより完成度の高い状態へと導く、データベースの形成過程となる。

などが実現された構造進化型 DBMS と考える。

我々は、中国において出土された木簡の研究を行う研究者の協力を得て、従来の DBMS を用いて、木簡研究用データベースの試作を行なった。研究者は、データベースの外側で、自分の

目的に応じた意味付け作業を行い、意味付けの結果は、もとのデータベースに反映されるのではなく、別に新たなデータベースを構築してそこに格納する。この経験を通して、データベースの枠組が利用者のデータベースの利用目的や利用方法に大きく依存する、かつ、それをデータベース設計時に確定することが困難であることを確認した。

このような研究者の作業に関して、出発点となるデータベースの状態を半構造化状態 (*semi-structured*) と呼ぼう。これはデータベースの立場から言えば一つの完成されたものであるが、研究者の利用目的や方法が反映されていない状態のデータベースを意味することになる。

構造進化型 DBMS とは、これらの研究作業を支援するシステム、つまり、半構造化状態のデータベースに対して、利用者が様々な視点から行う分類作業やデータの付与などの意味付けを支援する機能を備え、作業の過程や結果を格納するため、データベースの構造が柔軟に進化する DBMS のことである。

言い換えれば、構造進化型 DBMS で最も特徴的な点は、利用者は、単に問い合わせ操作などを行なうのではなく、問い合わせ操作などに必要なデータの付与、ならびにデータ構造やスキーマ自体の生成を利用者の手で行い、その個々の過程でデータベースの持つ特質を失わないものである。

半構造化状態のデータを扱った研究として、ファイル内のデータに対してデータベースビュー機構を実現する試み [6]、また、ファイル内の文書データからデータベースを自動生成する Rufus システム [7] などがある。また、Zdonik は、ファイルに格納されたマルチメディアデータの部分情報の扱いの重要性を指摘している [8]。但し、本研究は、研究者の作業過程をデータベースの形成過程としてモデル化する点、予めスキーマ構造を定義しないという点でこれらとは異なる。また、木簡研究支援の観点からは、奈良国立文化財研究所、台湾中央研究院のデータベースがよく知られている。

本稿では、2 節で研究支援データベースへの我々のアプローチの仕方を説明する。3 節で、木簡研究の作業過程をモデル化し、データベース

形成との対応を述べる。また、木簡データの段階的構造化についての具体的な例を示す。この作業モデルに基づいて、DBMSのためのデータモデルを4節で述べる。ここで我々のデータモデルの実現のための基盤を、OODBMSにおく。3節でも触れるように、OODBMSでは、オブジェクトがデータベースの単位として扱われ、我々のデータモデルを表現するのに適切な形式を持っている。このOODBMSにおいて、段階的構造化、カテゴリ、視点の拡張概念の表現法を論ずる。

2 研究支援データベース

2.1 枠組の固定されたデータベースの限界

通常、データベースを構築する一般的な方法は、既に確立されたデータの分類体系に基づいて、データベースの枠組を決定する。つまり、データベース設計者が、既存の分類体系に基づく項目(フィールド)を定義し、レコード単位にデータを分類して格納する。代表的なDBMSである関係データベース(RDBMS)では関係テーブルが、OODBMSではクラス及びクラス階層が、枠組を与える。いずれの場合も、格納するデータや利用方法に応じて、データベース設計者が枠組を定義する。

データベースを利用して研究を進める際、格納されている分類形式とは異なる分類法でデータを利用したい場合が起こる。この場合、上記のDBMSでは、利用者が、データベース設計者が定義した枠組とは別に枠組を定義して、データを分類することができない。

また、新たに必要になった項目や新しく発見した項目を残し、そこに利用者がデータを書き込んで、後に再利用したい場合がよく起こる。このような場合、従来のデータベースでは、適当なフィールドを定義しておき、そこに随時、コメントとしてデータを書き込むしか方法がない。書き込むデータを構造化したり、また、データ相互を関係付けて保存しておくことは不可能である。

つまり、従来のDBMSでは、トップダウンに

枠組の定義が行われており、利用者にとっては、データベースの枠組は固定されており、変更することはできない。利用者は、固定された分類により格納されたデータを必要に応じて取り出して、データベースの外側で、解析したり、新しい発見を行う。

2.2 半構造化状態のデータ

研究作業では、最初に格納されているデータが、研究の出発点となる基本データである。研究者は、これらの基本データを基に様々な角度から作業を進め、必要なデータをデータベースに付与していく。つまり、最初にデータベースに格納されているデータは、研究の進展に応じて次第に構造化されるデータであり、その意味で半構造化状態にあると言える。

また、半構造化状態のデータを扱う場合、研究者は、様々な利用目的で、着目するデータやその部分データを試行錯誤的に抽出して再利用したり、様々な角度から分類したい場合が多い。部分データを抽出する場合、データは値として存在するため、再利用する為には独立なレコードとして、属性/属性値を付与して再度データベースに格納する必要がある。この場合、属性/属性値は、利用目的や視点に依存して定義できる必要がある。

従来のDBMSでは、枠組が固定されている為、既に格納されたデータの部分を自由に取り出して再利用することはできない。また、抽出した部分やデータを様々な視点から分類する為に、実行時に利用者がデータベースの枠組を生成することも容易でない。

2.3 構造進化型データベース

我々のデータベースシステムは、研究過程に生成される様々なデータの保管庫を持つ研究支援ワークベンチとして位置付けている。即ち、本データベースシステムは、従来のデータベースとは作成目的や利用目的が異なる。

ワークベンチとしては、研究作業を支援する機能を持ち、研究者の作業に応じて作業の経過や結果を格納するため、データベースの枠組自

体が柔軟に進化するデータベースであることが必要である。また、利用者のデータの利用目的は、個々に異なるものであり、また、個々の利用者がデータベースを使用する場合においても様々な視点をもとに、様々な角度から資料に対して意味付けを行う。この利用者の様々な意図(即ち、視点)自体をデータベースに収容し、効果的に利用できる必要がある。

また、このようなDBMSでは、従来のDBMSに比較して、利用者が自由にオブジェクトやスキーマを生成・更新する為、利用者の行う操作の整合性やデータベース内のデータの一貫性を保証する機構が必要である。スキーマは段階的に生成される為、従来のDBMSのようにデータベースの設計時に予めルールを枠組に定義しておくことができない。つまり、利用時にルールを順次、定義する機構が要求される。

以上のような要求を満たし、研究の進行とともにデータベースの枠組自体が動的に進化するデータベースシステムを**構造進化型DBMS**と呼ぶ。つまり、構造進化型DBMSとは、利用者による段階的な部分データの定義機構、データ構造更新機構、スキーマ生成・更新機構、スキーマ更新の監視機能などを備えたDBMSである。

また、利用者がデータベースに対して行うこれらの操作を総称して、半構造化データの**段階的な構造化操作 (Incremental Data Organization)**と呼ぶ。

3 木簡研究者の作業過程

本節では、研究者の作業過程をモデル化し、木簡データの段階的構造化の流れについて考察する。

3.1 木簡オブジェクト

木簡は、古代に文書として用いられた歴史資料である。通常、木簡は断片化して出土するため、文書の部分であることが多く、各断片をデータ操作の基本単位としてデータベースに格納する。木簡情報データベースとしては、この段階で、複数種類の識別番号、出土地、木簡画像、釈読

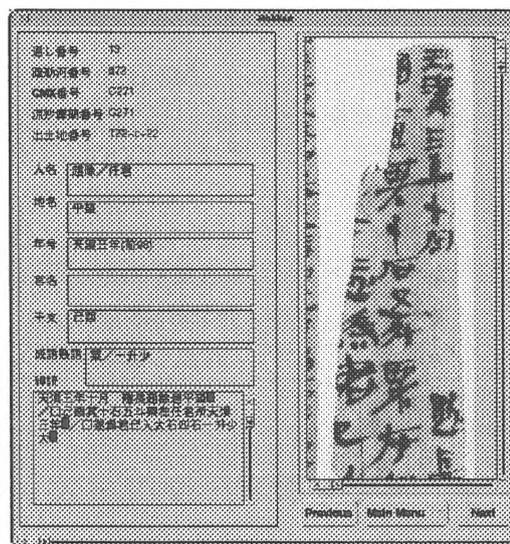


図1: 木簡画像と属性群

(木簡画像の釈読文)、釈読に含まれる地名、人名などのキーワードなどの属性群が定義されている(図1)。研究者は、様々な観点からこれらの属性群をもとに作業を進める。作業の基本となるこれらの属性群の付与された木簡を半構造化状態にある木簡オブジェクトと呼ぶ。

文書データとしての木簡の持つ大きな特徴は次の2点である。

- (1) 通常の文書と異なり、木簡文書の型(タイプ)を予め想定できない。つまり、木簡データ間の上位/下位関係や属性構造などを決定できず、木簡データ群に対するクラス構造を予め定義できない。
- (2) 木簡の取り扱いが研究者の視点によって異なる。つまり、木簡に与えるべき属性構造が研究者の視点に大きく依存する。

3.2 研究者の作業過程

図2の左円に示すように、研究者の作業過程は、同定、分類、検証の3つの過程から構成される。研究者は、これらの過程を試行錯誤的に繰り返し、木簡文書の型を推定する。

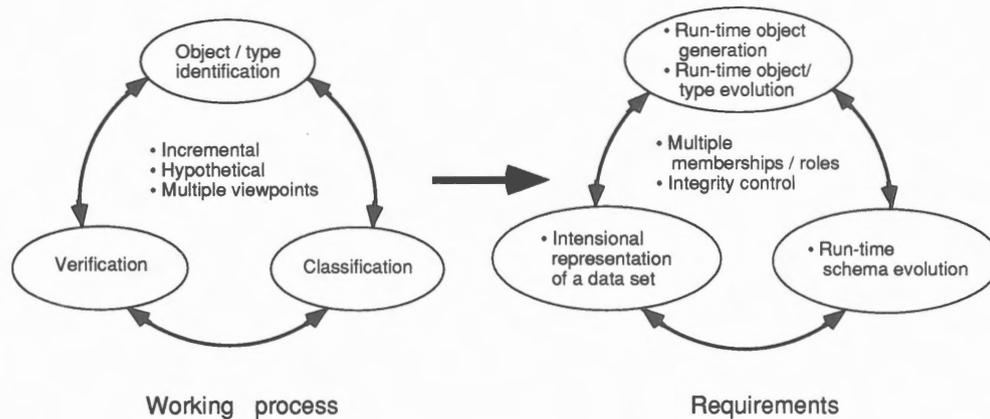


図 2: 研究者の作業過程

3.2.1 オブジェクト / 型の同定

データベースに格納されたデータの意味のある単位や着目する部分列を発見的に認識し、新しく属性/属性値を追加・変更したり、解釈やコメントを書き加えた後、独立なオブジェクトとしてデータベースに格納して再利用する。これをオブジェクトの同定という。

一方、型の同定は、オブジェクトのデータ型を推定する。例えば、ある研究者がある木簡を“手紙”の一部と推定し、また別の研究者は“領収書”の一部と推定したとする。研究者は、それぞれの推定に基づいて独自の属性/属性値を付与する。(図3) 研究者は、値“XXX”を“人名”と認識し、新しいオブジェクト O_2 を生成して属性/属性値“人名:XXX”をプロパティとして与える。同時に、もとの木簡オブジェクトの型を“領収書”と推定し、木簡オブジェクトに“種類:領収書”と付与する。つまり、利用者の視点が多ければ、オブジェクトの属性名が異なり(属性名の多様化)、属性、属性値も異なる(属性/属性値の多様化)。つまり、利用者は多重に定義された視点から属性/属性値を定義する。別の研究者は、異なる視点からこの木簡オブジェクトを扱う為、木簡オブジェクトが異なるビューを持つ必要がある。即ち、異なる属性/属性値構造を持つことが許される機構が必要である。図4は、同じ木簡オブジェクトに対して、“手紙”、“領収書”の2つのビューを与えている状況

を示す。

3.2.2 分類

研究者は、格納したオブジェクト群や未構造化情報を段階的に関連付け、集約・分類して新たに発見した事実を書き加えながらデータベーススキーマを構成的に生成する。その際、新しく生成したオブジェクトや新しく付与した属性/属性値に対して、仮定や推測に基づいて問い合わせを行いながら分類する。この分類過程においても、分類結果は利用者の視点によって異なる。

オブジェクトを分類するものをカテゴリと呼ぶ。通常、オブジェクトは複数のカテゴリにも分類される為、オブジェクトの多重分類を許す必要がある。カテゴリは更に詳細な分類であるサブカテゴリに分類される。こうようにして生成されるカテゴリ階層は、*a-kind-of*階層を意味し、半順序関係を与える。この階層は、研究者によって試行錯誤的に生成される。

3.2.3 検証

研究過程で、研究者は、直感や推定に基づいて発見的にオブジェクトを分類していく為、科学データベースは、分類結果を解析する機能を備えることが必要である。この機能により、集約・分類したオブジェクト群の正当性を評価し、オブジェクト群の持つ属性の抽象化し、また、そこから新しい概念を獲得することを試みるこ

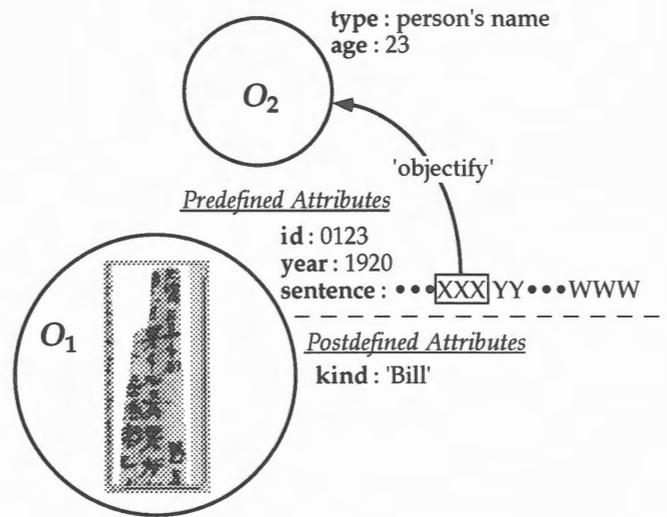


図 3: オブジェクト/型の同定

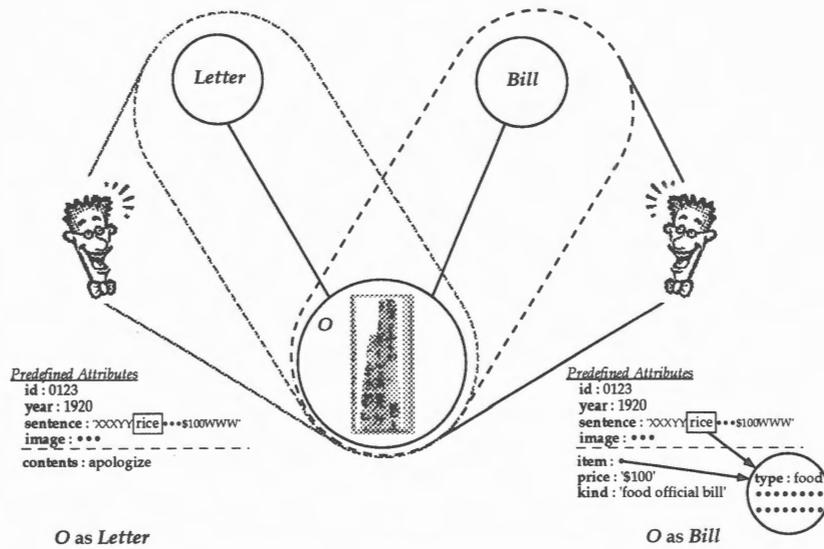


図 4: 木簡オブジェクトの多重ビュー

とができる。

4 データモデル

3.2節で述べた研究者の各作業過程を支援する為、構造進化型データベースが備えるべき機能は、データを格納・検索する機能に加えて、半構造化状態のデータに対して段階的構造化を支援する機能であった。本節では、段階的構造化を行うための基本機能を具体的に述べる。その際、前節でも述べたように、OODBMSを基盤として考える。オブジェクトとしてデータを扱うことで、RDBMSよりも柔軟な対応ができる。また、プロトタイプシステムとして試作した構造進化型DBMSには市販のOODBMS, GemStone¹に基づくTextLink/Gemを用いた。

4.1 段階的構造化

研究者の作業過程(図2の左円)に対応してデータベースシステムが備える機能は図2の右円に示される。各機能は以下の通りである。

- 値の逐次オブジェクト化
木簡オブジェクトの持つ属性値の部分を利用者の作業時に(即ち、動的に)独立なオブジェクトとしてデータベースに定義する機能である。
- オブジェクトの枠組進化
利用者の作業時にオブジェクト自身に、自由に属性/属性値を追加・削除したり、オブジェクトを別の分類へ移動する機能である。オブジェクトの集合を表わす外延が互いに異なる属性構造を持つオブジェクトから構成できることも必要である。
- オブジェクトの重複分類と多目的利用
オブジェクトを複数のカテゴリに分類したり、複数の視点からオブジェクトに異なる役割(role)を与えることができる。
- スキーマ生成/進化機能
分類を積み重ねることで実現するスキーマ

¹GemStoneはServio Corp.の商標である。

も逐次、段階的に生成され、改良できなければならない。

- オブジェクト/スキーマ進化の監視機構
データベースの本来の機能を失わないため、段階的構造化における利用者の操作を監視し、操作結果の一貫性や無矛盾性を保つ機構。
- データ集合の内包的表現の生成
利用者の推定や検証を支援するため、与えられたデータ集合から、逆に質問文の生成する機能。

以下で、これらの具体的な実現法について述べる。

4.2 基本オブジェクトモデル

段階的構造化を実現するための基本となるのは、カテゴリやオブジェクトの表現方法である。ここでは、その全てがインスタンスオブジェクトであるようなオブジェクトの統一モデルを考える[2, 4, 5]。即ち、レコードをオブジェクトとして扱うのみならず、オブジェクトの集合を持つカテゴリもまた、オブジェクトとして実現する(カテゴリオブジェクト)。

これらのオブジェクト間にスーパー/サブオブジェクトの関係(*relationship*)を導入し、*a-kind-of*、*an-instance-of*、*set-membership*といった、様々な相互関係を表現できるようにする。相互関係の間に、属性/属性値を付与できるようなからうことで、オブジェクト間の関係を用いた、値による継承を実現する。

4.3 視点の表現

視点はカテゴリオブジェクトにより表現されるものとする。まず、着目するオブジェクトに対してスーパーオブジェクトを生成し、視点とする。次に、視点自身の持つ属性/属性値はスーパーオブジェクトに、また、視点とオブジェクトの関係の持つ属性/属性値はその関係に付与する。これらの属性/属性値をスーパーオブジェクトから着目するオブジェクトに対して動的に継承させることで、その視点から見たオブジェク

トの構造を生成することができる。複数のスーパーオブジェクトを生成し、これを切り替えることによって、オブジェクトに異なる属性構造を持たせることができる。図4では多重の視点を表現している。

4.4 分類機構

我々のシステムでは、木簡オブジェクト群や、木簡オブジェクトの部分領域オブジェクト群を柔軟に分類するために、カテゴリと呼ばれるオブジェクトを定義し、分類の階層構造を段階的に定義できるようにしているが、ここでは、上記の視点オブジェクトとしてカテゴリオブジェクトを用いている。図5の右下ウインドウにカテゴリオブジェクト間の関係を表わす階層構造を示す。利用者はこれをデータベーススキーマとして動的に生成し、改良していくことができる。

4.5 オブジェクトの同定とアンカーオブジェクト

木簡画像中の任意の部分領域やテキスト情報の部分文字列をオブジェクトとするためには、単に、その情報を引き写す以上の機構が必要である。そのため、アンカーオブジェクトを新しく導入する。アンカーオブジェクトは利用者が動的に木簡オブジェクトの属性値を随時、オブジェクト化するための機構であり、これにより段階的・動的なオブジェクトの同定と生成が可能となる。図5の左ウインドウで、木簡画像の部分領域画像に対応するアンカーオブジェクトが、付箋のような形で視覚化されている様子が見られる。また色情報などの属性構造を右ウインドウに示す(図5参照)。

アンカーオブジェクトとそれが指す部分領域との対応関係の設定を多対多の対応関係とすることができる。対応できる部分領域は、直接的にも、間接的にも指定することができる。前者は、アンカーが指す領域を利用者が明示的に指定する方法で、後者は、アンカーに書かれる問い合わせ文により実行時に指定する方法である。木簡画像の部分領域に対しては、前者の形でアンカーオブジェクトを生成している。

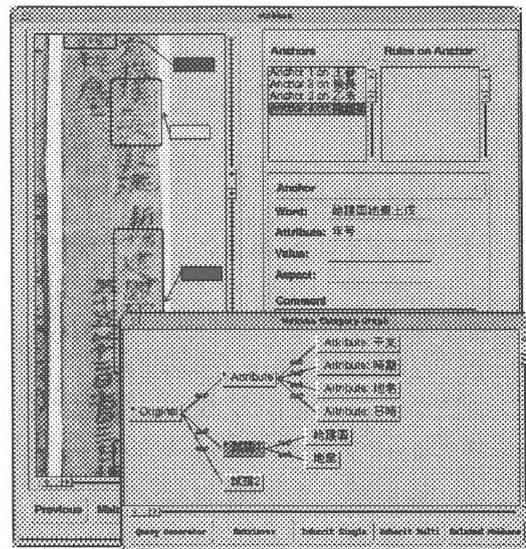


図5: 木簡研究支援システム

4.6 段階的構造化におけるECA機構

ECAルールは、イベントE、コンディションC、アクションAの三つ組みからなり、ある出来事が起こったときに、データベース中である状況が整えば行動を起こす機構である[9]。ECAルールは、従来アクティブデータベースの分野で用いられてきたが、本システムでは、段階的構造化における利用者の各種の操作を監視し、システムの一貫性を保つ役割を果たす。ここでは、ECAルールおよびイベントをオブジェクトとして表現し、ECAルールを次のようなオブジェクトに対して付加(束縛)する機能を実現している。

- 木簡オブジェクトへのECAルールの束縛
このECAルールは、
 - 束縛された木簡オブジェクトへのアンカー生成、
 - 一部の領域に対するECAルールの束縛、
 - 木簡オブジェクト自身の削除や移動や属性の付与・削除、

といったイベントを監視し、イベントが検出されると必要なアクションを起動する。

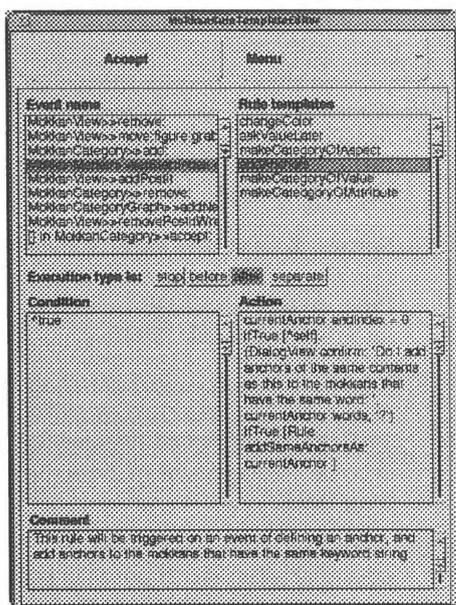


図 6: ECA ルールのアンカーオブジェクトへの束縛

- 木簡画像の部分領域に対応するアンカーへの束縛
アンカーに束縛された ECA ルールは、アンカーオブジェクトの持つ属性 (対象木簡、領域、釈読文の対応位置、属性名、色など) に対する操作が起こるとイベントが発生し、必要なアクションが起動される。(図 6 参照)
- カテゴリオブジェクトへの束縛
カテゴリオブジェクトに対して束縛された ECA ルールは、カテゴリの削除やカテゴリの階層構造の変更操作、カテゴリへの木簡オブジェクトの追加・削除操作などを監視し、必要なアクションを起こす。例えば、あるカテゴリ下に入れることのできる木簡オブジェクトの個数が規定個数以上になった場合、その旨を利用者に通知する ECA ルールが生成され束縛することができる。

イベントオブジェクトの生成は各メソッド中で陽に記述される。また、ECA ルールの評価のタイミングとして、メソッド実行前 (before モード、stop モード)、メソッド実行直後 (after モード)

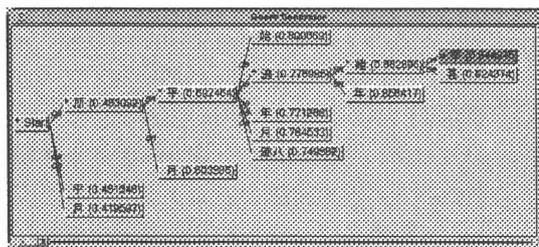


図 7: 代表的な単語によるデータ集合の特徴付け

ド) などの区別が可能で、これもメソッド記述中で陽に記述される形で実現している。

4.7 データ集合の内包的表現の生成

研究者の検証過程において、データ集合の解析ツールを用いて、カテゴリオブジェクトへの分類の正当性を評価したり、集約したオブジェクトから抽象化された概念を抽出できる機能が有用である。我々のシステムでは、そのような解析ツールとして、データ集合の内包的表現 (質問文表現) を得る発見的なアルゴリズムを作成している。このアルゴリズムは、与えられたテキスト集合をそこに含まれる頻出単語の論理和により特徴付ける。特徴付けの評価基準は、情報検索の分野でよく知られる再現率と適合率に重みを与えたものを用いている。

以下、実行例を示す。木簡情報データベースに格納されている約 400 の木簡の釈文やキーワード (単語) のテキスト情報を用いた結果を図 7 に示す。適当な木簡集合を入力としてアルゴリズムに与えると、図のような頻出単語の木構造が出力される。与えられた集合は、5 つの単語 { 所, 平, 迹, 始, 幸 } で約 0.944915 の評価で特徴付けていると解釈できる。このアルゴリズムは、実行可能な時間で動作する。

5 おわりに

本稿では、我々が構築している木簡研究支援システムにおける木簡データの段階的構造化手法について述べた。本システムは、木簡オブジェクトに対して属性/属性値付けの可能な構造進

化型データベースシステムとして実現されており、未整理な状態にある木簡データを、自由な視点から利用者が段階的に分類・集約することができる。本システムで用いられている中心的概念として、オブジェクト統一モデル、木簡データの部分データを抽出するアンカーオブジェクト、木簡オブジェクトやその部分を集約・分類するカテゴリオブジェクト、視点オブジェクト、スキーマ生成・更新の監視機能、データ集合の解析機能などについて述べた。

本手法は、半構造化状態にあるデータに対してそのまま適用することができ、膨大な量のマルチメディアデータの取り扱いや、未整理なデータの整理、分類作業を格段に効率化することができるものと考えられる。

本システムでは、視点オブジェクトはカテゴリオブジェクトにより表現されており、また、視点間には、*a-part-of* の関係のみが導入されている。視点自体や視点集合の表現能力を高める為新しい構造の導入や別の表現方法を検討する必要がある。これらは今後の検討課題としたい。

本研究の一部は、文部省科学研究費補助金による。

参考文献

- [1] IEEE Computer Society, *Special Issue on Scientific Databases*, Bulletin of the Technical Committee on Data Engineering, Vol.16, No.1, March 1993.
- [2] Tanaka, K., Nishio, S., Yoshikawa, M., Shimojo, S., Morishita, J., and Jozen, T., *Obase Object Database model: Towards a More Flexible Object-Oriented Database System*, Proc. of the International Symposium on Next Generation Database Systems and Their Applications (NDA'93), pp.159-166, September 1993.
- [3] J.D.Ullman, *Principles of Database and Knowledge-base Systems*, computer science press, 1988.
- [4] Ueshima, S., K. Ohtsuki, J. Morishita, Q. Qian, H. Oiso, and K. Tanaka, *Incremental Data Organization for Ancient Document Databases*, in Proceedings of the DAS-FAA95, pp.457-466, Singapore, April 1995.
- [5] 上島紳一, 大月一弘, 森下淳也, 田中克己, 歴史的資料を対象としたサイエンティフィック

クデータベースのシステム設計, 電子情報通信学会研究会技術 研究報告 DE93-47 9-16, 1993.

- [6] Abiteboul, S., Cluet, S., and Milo, T., *Querying and Updating the File*, Proc. of the 19th Intl. Conf. on Very Large Data Bases, pp.73-84, August 1993.
- [7] Shoens, K. et al., *The Rufus System: Information Organization for Semi-structured Data*, Proc. of the 19th VLDB Conference, Dublin, pp.97-107, Ireland, 1993.
- [8] Zdonik, S., *Incremental Database Systems: Databases from the Ground Up*, Proc. of the 1993 ACM SIGMOD International Conference on Management of Data, pp.408-412, May 1993.
- [9] McCarthy, D. R. and Dayal, U., *The Architecture of an Active Data Base Management System*, Proc. of ACM SIGMOD Symposium on the Management of Data, pp.215-224, Oregon, 1989.