

## メディア・応用・環境統合のための高機能データベース

上林弥彦

京都大学 工学部 高度情報開発実験施設

最近のネットワーク技術、マルチメディア処理技術、およびデータベース技術の進展により、いよいよ高度情報化社会の技術的基盤が整いつつある。これらの技術的背景とともに、科学技術の高度化や社会構造の複雑化に伴って要求される情報の量ならびに複雑さが飛躍的に増大しており、それに伴って、データベースの使われ方も質的な変化をとげつつある。データベースは単に大量データの安全な倉庫であるだけでなく、多様なハードウェア、ソフトウェアを統合し、多様なデータをも統合できる機能を有するべきである。さらに、計算機の置かれている環境の中に入り込んで協調しながら処理を行うことも重要となってきている。本論文では、このようなデータベースの新しい方向に対処した次の4点の研究開発について検討する。

- (1) 下記(1)(2)(3)の目的に即した高機能・高性能なデータベース開発
- (2) 各種のメディアを統合するためのデータベース
- (3) 各種の応用システムを統合しつつ、応用の変化や利用できる技術(ハードウェア・ソフトウェア)の変化に柔軟に対応できるシステム
- (4) 利用者とデータベースシステムの協調により、利用者のシステム利用環境に統合され一体化されるようなシステム

## High-Level Databases for Integration of Media, Applications and User Environment

Yahiko Kambayashi

IMEL, Faculty of Engineering, Kyoto University, Sakyo, Kyoto, 606-01, Japan

Due to the recent development of computer technology, it becomes possible to build complicated systems to support so-called information society. Amount of data handled by computers and complexity of data are increasing rapidly, and thus the functional requirements for database systems are also changing. They should be used to integrate various software/hardware/data and to support user cooperation. In this paper we will discuss four important research topics motivated by the above.

- (1) Development of high-level and high-performance database systems in order to realize efficient systems for (2), (3) and (4).
- (2) Database systems to integrate various media.
- (3) Realization of systems which consists of various application software and systems integrated by database systems.
- (4) Integration of user environment with systems by realizing coordination among them through database functions.

## 1 背景

マルチメディアを扱えるデータベースを持つ計算機がネットワーク状につながれていて、多種多様なソフトウェアを利用できるようなシステムを電気やガスのように自由に使えるような形になったものが、高度情報化社会の基盤となるといわれている。この場合ネットワークが情報の伝達、計算機が情報の処理、データベースが情報の蓄積および保護を受け持つことになる。しかしながら、科学技術の高度化や社会構造の複雑化に伴って要求される情報処理の量ならびに複雑さが飛躍的に大きなものになってきており、それに伴って、データベースの使われ方も質的な変化をとげつつある。最近までデータベースは大量データの安全な倉庫であると考えられてきた。すなわちデータを安全に保管し共有利用すると共に、必要なデータを非常に短時間で見つけ出したり、あるデータ集合の要素に共通する性質を短時間に計算できるなどの機能が利用されてきた。

しかしながら、最近の計算機のダウンサイジング化の急速な進展にともなって、予想以上に多様なハードウェア、ソフトウェアが混存するようなネットワークが実現されるようになってきた。このために多様なハードウェア、ソフトウェアを統合し、多様なデータをも統合できる機能を有するデータベースが非常に注目されるようになってきている。さらに、計算機の置かれている環境の中に入り込んで協調しながら処理を行うことも重要となってきている。

## 2 主要研究課題

このようなデータベースの新しい方向に対処した研究開発の内主要なものは次の4点に要約できる。

(1) 下記(1)(2)(3)の目的に即したデータベースの高機能化および高性能化

(2) 各種のメディアを統合するためのデータベース

(3) 各種の応用システムを統合しつつ、応用の変化や利用できる技術(ハードウェア・ソフトウェア)の変化に柔軟に対応できるシステム

(4) 利用者とデータベースシステムの協調により、利用者のシステム利用環境に統合され一体化されるようなシステム

項目(1)の方向に基づき研究開発が求められているのは、データベースが社会において果たす役割が、今後、単なる「倉庫」から「多様なソフトウェア・ハードウェアを統合する基盤」あるいは「人間の知的活動に適した環境を提供する存在」へと変化すべきであることに起因している。このような変化の実現に対して、データベースシステムに課せられる要求は非常に高度化し、これを果たすために必要となる計算量は急激に増大する。一方、90年代に入ってから急速に進行しつつある計算機の

ダウンサイジング、すなわち、単一の大型計算機を核とした集中システムから高性能ワークステーション群とそれを結合する高速ネットワークによる分散システムへの移行によって、従来のシステム構築技術が前提としていた高機能化・高速化のための手段を大きく変更する必要が生じている。

項目(2)の方向性が求められるのも、項目(1)の場合と同様にデータベースの果たすべき役割の多様化のためである。データベースの役割が多様化するにつれ、データベースの中に蓄えられるべき情報も多様化してきた。次世代データベースシステムは、数値あるいは固定長文字列といった単純で小さなデータだけでなく、線図形・2次元画像・音声といった不定長・大容量のデータを統合して扱わなければならない。さらに、これらのデータの中には事物の時間的な変化を連続的にとらえているものもあり、時間の概念や同期を扱うことも要求される。マルチメディアデータベースと呼ばれているものは、現在ほとんどがマルチメディアファイルシステムであり本当の意味での情報の共有やメディア統合が行われているとは言えない。このような情報メディアの多様化に 대응、かつ、情報の多様な共有を実現する次世代マルチメディアデータベース技術を探っていくのが項目(2)の方向に沿った研究である。

項目(3)は、個々の応用システムをデータベースを介して統合することにより巨大なシステムを作るための方法の研究を主目的とする。巨大システムの主な問題点は、複雑で作るのが困難なことと、複雑さ・巨大さのために種々の変化に対処するのが困難になることである。データベースを介して応用ソフトウェアを統合すると共に、ハードウェア的にも分散システムを基盤として実現したシステムは、巨大システム構成の現実的方法と言えるだけでなく、応用の変化や利用可能な技術の変化に柔軟に対応できるシステムとなりうる。このような方式は今後の巨大システム構成の1つの標準的方法となることが期待される。

項目(4)は、多様な情報メディアを統合した次世代データベースの新しい利用形態を探るものである。計算機の提供する環境は論理的な環境であり、実世界の物理的な環境とは異なっている。例えば、計算機では「著者が夏目漱石である本」という検索が可能であるのに対し、実世界では「2番目の引出しの中にある赤い表紙の本」という検索がなされる。実世界でわれわれが行っている各種の活動を計算機との協調で実現するのがネットワーク社会の理想であるとするれば、このような2つの環境が両立できるようなシステムを構成する必要がある。計算機の中の環境を実世界に近付けるための新しい手法を研究し、使いやすい利用者インタフェースと合わせて、仮想図書館、仮想教室などを実現するのが項目(4)の主目的である。

### 3 研究の意義

このようなデータベースの新しい応用側面を中心とした研究開発を行うこと、とくに、最近のハードウェア技術および計算機応用システムの進歩には目ざましいものがあり、これらの新技術を統合利用するという立場でのデータベース研究は重要である。しかし、すでにある技術の延長上のものも多いという意味では(1)の課題の新規性が非常に高いとは言えないが、例えば新しいハードウェア技術を応用した論文はあまり発表されておらず、データベース研究をさらに進めていく原動力になると考えられる。また、世界的にみても現在のデータベース研究の主流であり、この方面の研究は重要である。

(2)のマルチメディア統合はマルチメディア処理としての歴史が長い、最近のマルチメディア処理技術の進歩と新しい応用面からのフィードバックにより新しい研究課題となっている。特に、現在のマルチメディアデータベースではメディアごとのデータ重複や同一メディアでも異なる目的に利用されるもの間でのデータ重複が多く、真の意味でのマルチメディアデータベースの完成を目指すことは非常に重要である。ハイパーメディアの本格的な普及のためにも、データベース機能との統合が不可欠といえる。

(3)この課題は巨大システムを作るための新しい方式の提案ともなっている。データベースシステムのオープン化が進んでおり、データベースを介したシステム統合は実際的な方法である。各種のOSや応用プログラムを統合するミドルウェアの実現法としても重要といえる。効率の面からデータベースを用いない統合法がなくなるということはないが、システムの性能が向上するにつれ、この方式の実用性は高くなる。特に、ソフトウェアの保守コストの問題に対処できるようなシステムの柔軟性は重要である。また、この技術開発に際して次世代データベース技術である能動データベース、発展型データベース、分散マルチデータベースの研究を行う。

(4)の課題は基本的にダウンサイジングによって生じた新しい計算機応用分野である。現状の計算機援用協調作業に対してデータベースによる機能強化を図るとともに、地理的に離れた研究者が互いに計算機内の仮想的な実験室で協同作業を行うことができるという点で、これはネットワーク応用の重要な課題と言える。また、データベースを用いることにより、過去の実験室に戻ったり時間的に異なるときに実験室に入った人々が協調することも可能となり、実用化された場合の意義は非常に大きいと言える。

これらの必要性は以下の4点に集約される。

(1)データベースシステムの性能に対する要求の著しい向上への対処

データベースに対する要求の高度化によってもたらさ

れる計算量の増大には、計算機ハードウェアの性能向上だけでは対処していくことができない。また、計算機ハードウェア技術の進歩(新しいメモリ素子、大容量主記憶、新しい二次記憶装置など)が高速度技法のあり方を根本から変えつつあるため、それに適した新しいデータ構造とアルゴリズムを再構築しなければならない。また、多様化する要求を満たすデータベースシステムの理論的基盤を提供する新しいデータベースモデルも重要である。

(2)情報メディアの著しい多様化への対処

データベースに格納されるデータの種類の拡大する一方である。ところが、これまでのデータベース技術では、例えば、音声と画像を同時に収録し同期して再生できるといったテーブル的機能に象徴されるように、多様なデータを単にまとめて記録・再生することしかできず、これをさらに分析したり、分解・合成して新たな出力を生成する、といった機能が不足していた。また、データの重複は非常に大きな問題を引き起こしていた。したがって、多様化する情報メディアそれぞれの独自性を保ったまま統合的な運用を可能にするような新しいメディア統合モデルが不可欠である。

(3)ハードウェア技術の進歩およびソフトウェアシステムの複雑化への対処

多様化する要求を満たすため、データベースシステムはますます巨大化・複雑化していく傾向にある。要求の変化によって導入される新たな応用プログラムのために、データベースシステムの機能拡張が必要となるような局面も予想される。さらに、計算機ハードウェア技術の進歩により、高機能化・高性能化に役立つ新たな技術が利用可能になる可能性もある。ところが、従来のデータベースシステム技術では応用システム統合のモデルや柔構造発展型システムの構造について十分な指針を与えないといえる。したがって、新しいデータベースシステム構築の方法論を明らかにすることは極めて重要である。

(4)複雑なデータを簡単かつ有効に利用する基盤の提供

従来のデータベースで扱われていたデータは、固定長文字列や数値など単純に表形式で印字したり平均値などの集約値を計算するだけで理解や操作の容易な形にすることができた。ところが、多様な情報メディアを含んでいたたり、異種分散データベースを統合利用するような応用プログラムを通してしか利用できないような場合では、データベースの内容をそのまま表示することは不可能であり、これを直接操作・変更することも極めて困難である。したがって、次世代のデータベースシステムでは、人間が通常計算機の外部で行っている種々の業務を計算機上で仮想的に表現し、利用者が仕事を行うための仮想的な環境を提供するような環境統合型データベースシステムの枠組みが重要になると考えられる。

このような研究が特に緊急を要する理由は、以下の3点に集約される

(1) 大量データを用いる計算機応用分野の統合利用

計算機の応用分野で大量のデータを利用する応用が増加するにつれ、データベース技術の利用が不可欠となる。また、巨大なソフトウェアシステム開発のためにもこのような立場からの研究が重要である。

(2) 学術研究のための補助システムの高度化へ寄与

現在、学術研究に関して発生するさまざまなデータの機械可読化と集積が各方面で活発に進められている。これは、二次記憶装置の容量の増大と価格の低下により大量データを計算機内部に蓄積する際のコストが低減したために可能となったことである。現在、特定の研究分野では電子メールと現状のデータベース技術との統合のみで、研究成果の高速伝達や国際協同研究を行っており、この研究のシステムによりさらに研究の高度化、協同化が可能となる。すなわち、膨大な学術研究データを統合的に管理するためのメディア統合の枠組みとそれを支える高機能化・高性能化技術の開発は急務である。

(3) 「情報ハイウェイ構想」の具体的利用への寄与

計算機ネットワーク設備を整備するために重点的に資金を投入し、これを21世紀の産業の基盤に育てていこうという「情報ハイウェイ構想」が内外で注目されている。今後計算機利用者のほとんどはいわゆる専門家以外になると考えられ、この種の利用者にとってデータベース利用は重要な用途といえ、使いやすい、高機能システムの開発が特に重要である。このため、「情報ハイウェイ」の完成までにネットワーク設備の整備と並行して、それを含むような新しい計算機環境での応用統合・発展型システムならびに環境統合型データベースシステムの研究を早急に開始しておく必要がある。特に、地域的に分散した利用者があたかも同じ所にいるかのように協同研究や実験ができるシステムは、ネットワークの応用として極めて重要である。

また、波及効果には、以下のものが挙げられる。

- (1) 新しい計算機環境の下での新しいデータベース利用のあり方を創造することにより、従来は計算機を利用していなかった人々のための新たな計算機利用形態を提案できる。
- (2) 学術研究分野などで集積されている大量データの有効利用を促進することにより知的活動に対する支援を行い、それらの研究の推進への貢献が期待できる。

#### 4 高機能・高性能データベースシステム技術の研究

これは、メディア・応用・環境統合のための次世代データベースシステムに必要な高度の機能の実現および処理速度に対する要請に応える技術基盤を構築するための課題である。従来中心であった定型利用が主な商用システムとはかなり異なる目的に用いるため、データモデ

ルにも新しい機能、柔軟性と高度表現能力が要求される。このため、次のような研究が必要である。

- ・オブジェクト指向モデルの特色を残した柔軟性の高い新しいデータモデル
- ・従来のデータベースアルゴリズムやデータ構造では不十分であるため、より高度なアルゴリズム開発
- ・機能の向上に伴って、効率は下る傾向にあるため、高速処理方式についても新たに検討

これらの研究はデータベース研究の主流でもあるため、世界的に競争の高いこれらの分野で特色のある成果を得ることも可能である。この成果は、他の課題で実際に利用されると共に、そこからのフィードバックによりさらに研究の進展をはかることができる。

##### 4-1 高機能データモデルの研究

データベースに対する要求の高度化が明らかになり始めた1980年代半ばに、これに応えるためのデータベースとしてオブジェクト指向データベースシステムが登場した。これは、オブジェクト指向プログラミング言語と相性が良く、マルチメディア処理や高度応用にも適していると思われる。その後現在に至るまで、オブジェクト指向データベースは盛んに研究が進められ、商用のデータベース管理システムもいくつか発表されている。

しかしながら、従来のオブジェクト指向データベースモデルには、以下のような問題が未解決のまま残されている。

- (1) 理論的基盤が関係データベースほど強固でない。
- (2) モデル化のために採用する構造が固定的で、変更が困難である。
- (3) 質問言語の持つ検索記述能力が貧弱である。

このため、オブジェクト指向データベースモデルを基礎としながら、応用プログラムの高度化に対処できるような新しいデータベースモデルの構築が必要となる。

上記(1)の問題点の克服には、プログラミング論の分野で研究されている型理論の考え方が有用であると考えられ、オブジェクト指向パラダイムやオブジェクトの永続性を考慮に入れた型理論の拡張が必要である。(2)の問題点は、オブジェクト指向データベースの長期間にわたる利用や複数の応用プログラム間での共有を妨げる要因となるものであり、次世代データベースシステムでは必ず解決しておかなければならないものである。ここでは、オブジェクトの性質・振舞いの定義であるクラスの継承構造を変更の容易なものへ拡張すること、および、個々のオブジェクトに複数の役割が存在しこれが動的に付加・削除できる機能を取り入れることを考えている。(3)の問題点も、利用者の立場からは非常に重要な研究課題である。そこで、非手続き性による記述の容易さを重視する水準とそれよりも高度な処理を記述するための手続き性の両立による新しい質問言語の設計が必要である。

##### 4-2 高効率データ構造および高機能処理アルゴリズム

## ムの研究

データベースシステムに対する要求の複雑化・高度化・多様化は、使用されるデータの長大化・複雑化およびその処理に必要な計算量の急激な増大をもたらしつつある。

このような計算量の増大に対処するためには、ハードウェアの性能向上だけでは不十分で、高効率のデータ構造と高速のアルゴリズムの開発が必要である。また、応用システムの統合が図られるようになると、さらに複雑な問題も発生してくる。例えば、各種のシステムが統合されると、システム全体で使用されるデータ構造は多岐に渡ると予想され、これらを統合運用するためのアルゴリズムを新たに開発しなければならない。また、複数の応用システムの性質の違いから、それぞれの高速処理に適したデータ構造・アルゴリズムが食い違ってくることも予想される。また、ハードウェア技術の進歩により変更容易なハードウェアが利用できるようになり、ハードウェアとソフトウェアの境界が不明確になってきている。ソフトウェア的に実装する際の最適なアルゴリズムと、ハードウェアによって実現するのに適したアルゴリズムには大きな差異があるため、この技術変化に対応したアルゴリズム開発が必要になる。

### 4-3 高度データベース機能の高速処理方式の研究

近年の計算機ハードウェア技術や通信技術の進歩により、データベースシステムを取り巻く物理的な計算機環境に大きな変化が起こりつつある。超大容量・高スループットを実現するディスクアレイ装置、高速メモリーやフラッシュメモリを用いた半導体二次記憶装置などが広く利用されるようになると、従来の環境で前提とされていた高速・小容量・乱アクセスの主記憶と低速・大容量・順アクセスの二次記憶といった記憶階層が変化するため、従来のバッファ管理技術が適用できなくなる恐れもある。そこで、データベースシステムにおける処理の高速化を前述のような新しい計算機環境のもとで再構築すること、また、保持されるデータの信頼性が重視されるデータベースシステムではディスクの耐故障性は不可欠であり、故障箇所のデータを復旧するための冗長性の付加や更新ログの利用などを検討しなければならない。

### 5 メディア統合データベースシステム技術の研究

3次元画像や動画を含む各種メディアを統合するためのデータベースシステムの基本技術として従来のデータモデルに替わる新たな統合型メディアモデルに関する研究を行い、さらにデータベースシステムを核としたメディア変換操作技術、メディア管理アーキテクチャに関する研究を行うべきである。また、メディア統合データベースを広域分散ネットワーク環境に適用したハイパーメディアシステムを実現するための基盤技術を確立する必要がある。以上によりメディア統合機能を持つ高水準

データベースの実現を目的とする。さらに、応用からの共通機能の抽出、抽象化、共有化という過程を経ることによりメディアや応用特有の機能とデータベースシステムとして共通に具備すべき機能を分離し、その結果を基本技術研究へフィードバックする。

### 5-1 メディア統合基盤としてのマルチメディアデータベースの研究

半導体技術の進展により信号処理回路を実装した計算機が多く出現しており、従来のように文字や数値のみを対象としてきたデータベースではなく、音声、図形、画像など多様な表示メディアによって表現される情報をも対象とするようなマルチメディアデータベース実現の環境が整いつつある。マルチメディアデータの特色としては、異なるメディアで表現された情報の協調処理が本質的な重要性を持つこと、音声や動画など時間軸を持つデータの取り扱いを必要とすること、またたとえば地図上の活火山の危険領域のように、多くのメディアデータが連続的な領域を持ち、しかもその領域が動的に変化し得ることなどがある。マルチメディアデータベースを実現するためのデータモデルに関する基礎的研究、ビデオデータベースに代表される連続領域と時間軸を有するデータベースの実現のための基礎技術に関する研究が重要である。

・ 上述のような特色を持つデータを表現するために十分な能力を持つデータモデルとして、抽象データ型やオブジェクト指向の概念を取り入れ、さらに情報の内部表現メディアや記憶メディア、通信メディアを統合したメディアモデルの構築

・ 多種多様のしかも大量のメディアを効率良く取り扱うための統合基盤としてのデータベースの構成法

・ 情報の表示、表現形式としてのメディアおよび情報の格納、流通形態としての記憶、通信メディアの間の柔軟な適合、調整機能を持つデータベースアーキテクチャ

・ 異種メディアデータ間の同期の問題や利用者インタフェースの問題はメディア統合データベースシステムを実現する上で本質的であり、データベースが標準的に備えるべき機能についての研究

### 5-2 メディア蓄積のための高性能物理構造に関する研究

マルチメディアデータは、時間的な連続データの取り扱いが必要である。一般にデータ量が膨大なものとなる、メディア間の連係の保持が重要である、などの点により、その効率的な操作を実現するためには従来の記号系データを対象とした物理構造とは異なる新たな記憶構造を開発する必要がある。このため統合化メディアの特性を考慮した高性能な物理構造の開発が必要となる。

膨大なデータ量に対処するためには一般にデータ圧縮が行われ圧縮符号化の国際標準も整備されつつある。たとえば、動画データの圧縮にはMPEGなどの符号化が

存在する。しかしこれらの符号化は基本的に伝送用のものであり、メディア統合型データベースで必要となるようなデータの意味に基づく高水準のデータ操作との対応は考慮されていない。たとえばMPEGはその符号化方式の特性上、圧縮されたデータをそのままデータベースの操作対象とすることは困難である。

そこで、動画像の表示を目的とした圧縮データと、その操作を目的とし原データから意味を抽出した抽象化データとともに格納し、抽象化データをもとに対応する圧縮データを高速に検索するハイブリッド型格納システムなどが必要となる。

また、膨大な量が蓄積されている動画像、音声、文字データなどの素材データを一次データと見なすならば、それらから編集作業を経て得られたプレゼンテーション用ビデオデータなどの二次データは、素材データに対し抽出および相互関連の付与により付加価値を与えている。これは一般化されたデータ操作機構といえる。さらに、上述のようなデータの表示メディアの多様性を考慮した物理構造と記憶メディア自身との適合性について検討する必要がある。

### 5-3 情報ネットワーク環境におけるハイパーメディアシステムの研究

広域ネットワークの発達に伴い、メール、ニュース、文書、プログラムなどが地球規模かつ実時間で生成、蓄積、消去される広域分散情報資源環境が実現されつつある。しかし、現在のところこれらに3次元画像や動画などの多様な表示メディアを持つ情報を含めしかもそれを通常の記号列との連係を取ることににより情報の付加価値を高める機構は実現されていない。またハイパーメディアシステムとデータベースシステムの統合に関する研究はようやくいくつかの試みが始まったが、統合を広域分散環境のもとで実現するシステムの基礎技術は確立していない。現在実用化している Gopher、WAIS、WWW(World-Wide-Web)などはまだファイルベースの統合といえる。

そこで、3次元画像や動画を含む統合メディア型の広域分散情報資源をもとにしたハイパーメディアデータベースの研究が必要となる。そのためには、地球規模の広大な「マルチメディア情報の海」から、必要な情報資源を効率良く検索、収集する技術を確立する必要がある。利用者にとって最適な情報資源を有する局は時々刻々動的に変化し得るため、従来の分散データベースのようなデータの静的配置を前提とすることはできず、データの位置を示すデータ自体がデータベースで分散的に管理される必要がある。このような問題の元で、データの量、要求する品質、データの動的配置戦略に基づく新たな検索手法を構築する。

また、利用者の目的に応じた情報の加工、表示を行うための基盤技術を確認する。たとえば、異なる二つの局

から動画像情報を転送しかつそれらの同期を取りながら表示する場合、一方の通信回線の特성에依りて他方の送信を抑制したり送信情報をバッファリングする機構が必要となる。

これらは、将来の高度通信型情報化社会を実現する上での基盤技術であり、メディア統合データベースを具現化した典型的なシステムとなる。このように広域分散情報資源を対象としデータベース技術とネットワーク技術の融合によって新たな情報サービス形態を構築するための技法の研究を行うべきである。

### 6 応用統合・発展型データベースシステム技術の研究

単なる共有型の情報の格納庫ではなく、種々の応用システムの協調概念や人間の共同作業を伴いながら新たな情報の生成を効果的に支援するための道具と位置づけた新しい応用のためのデータベースモデル非常に重要である。このために、従来の技術・環境のもとで研究されてきたデータベースシステムは、大きな見直しをしなければならない。

・各種の応用システムをデータベースを介して統合する方式 この方式は一般性があるが、応用によって異なるデータベース構造が適しているため、効率面で問題がある。しかし、システム利用環境が変化しても容易に追従できるため、システムの寿命が長くなるという特色がある。この自由度の実現のためには、発展型データベース技術と分散データベース技術が利用される。さらに各応用システム間の通信には能動データベース機構が利用できる。このような応用統合技術が有効に利用できるシステムや、効率向上についても研究するべきである。

・発展型データベースは重要な研究課題であるにもかかわらず、現在まで大きな成果はみられていない

・異種のデータベースを統合した分散型のデータベースシステムは、最近のダウンサイジングの一般化で特に重要となってきた。各ワークステーションにある程度に自立性を許すような新しいシステムの実現について検討する。これらは、データベース技術を基盤として巨大な分散情報システムを構成する実際的な方法であり、ネットワーク社会システム構成のための基盤技術となりうるものと考えられる。

#### 6-1 応用統合型データベースシステムの研究

データベースの利用形態や内容が段階的・試行錯誤的に発展していくような状況や計算機ネットワーク上で多種多様な利用者がデータベースを利用するような状況では、データベースの利用方式が、個々の利用者の視点などによって柔軟に変更できることが極めて望ましい。このため、データベースを介して各種応用システムを動的に統合する方式について研究するべきといえる。具体的には、状況や環境に動的に適応することのできる応用統合型のデータベースシステムの実現方式に関し

て、理論的な立場からの基礎研究、および、いくつかの試作システムの研究開発を行うべきである。応用分野としては、対話型地図作成や各種CADシステムを想定している。

このために、まず、従来のオブジェクト型データベースを基盤として、応用統合が可能な高度のオープン性の実現方式を考える。また、システム間の通信はデータベースを介すると時間的に間に合わないことも多いため、能動機能（高水準のトリガー機構で条件が満足されると自動的にある応用システムを起動する）の実現の研究も行う。次に、利用者の位置・状況や環境の変化を監視し、より能動的にデータベースやシステム自身を制御できるような機能について研究する。

#### 6-2 構造発展型データベースシステムの研究

データベースの構造やデータ処理の基本単位を段階的に変更することは、従来のデータベースシステムでも「スキーマ変更」とか「スキーマ進化」と呼ばれ、データベースの研究分野としては存在したが、関係型のデータベースシステムやオブジェクト型データベースシステムでも、研究の中心的課題と位置づけられることは少なかった。事前にデータベースの構造やデータの基本単位を確定することが困難であるような場合にはこのような機能は重要である。例えば、科学技術情報やマルチメディア文書や設計製造情報などは、利用者間の協調をもとにデータベースそのものを生成していく作業をいかに支援するかが重要であり、このために必要となる機能をデータベースシステム側から提供する必要が生じる。

そこで、上記の新しい応用に対処できる「構造発展型データベースシステム」のためのデータベースモデルやシステムの実現方式についての研究が必要である。

まず、利用者が分散環境で順次段階的に構造や情報を動的に構築していける機能や、構造変更や情報の追加更新に際してシステム自身が自律的に構造変更を伝播させていけるような機能を実現するための各要素技術について研究し、次にこれらの要素技術を統合するという方法を採用すべきであろう。具体的には、

(1) 能動型データベースで使用されるアクティブルール機構の適用

(2) 事例ベース推論技術や概念クラスタリング技術の適用

(3) エージェント指向技術における交渉・協調などの技術の適用

などを出発点として研究を推進する。

#### 6-3 相互協調型分散データベースシステムの研究

計算機ネットワーク上に分散した複数の利用者や複数のデータベースを結合して情報検索や情報生成などを協調して行う際には、「どこにどの情報があり、どのようにアクセスすればよいか」といった知識や、「どの

部分に対して現在の利用者が何をしようとしているか」といった知識をもとに、複数のデータベースシステムが互いに調整しあう機能が必要となる。利用者が、データの所在、データの内容、データのアクセス状況などをすべて意識しながらシステムを利用することは困難であり、データベースシステム自身がより能動的にこの種の調整作業を自律的にこなすことが望ましい。また、複数の利用者が協調しながら同時並行的に共通のデータベース上で作業を行うための制御機能や、データ内容に関する規約の変更などを利用者間の交渉などによって制御する機能もシステム自身が具備しなければならない。すなわち、従来のデータベースシステムとは異なった、分散データのアクセス法、利用者の作業範囲、利用者のコミュニケーションなどを考慮に入れた、「より柔軟な制御」の機能の実現が重要である。そこで、より柔軟な制御機能を有するデータベースシステムが互いに協調することで、多種多様な分散データベース上での検索や情報生成が用意に行えるようなシステムの実現方式について研究する必要が生じる。

・従来のデータベースシステムや分散データベースシステムが有していた種々の制御機構（並行処理制御やアクセス権制御や一貫性制御など）を、人間の協調作業を考慮して見直し、より柔軟なものにする方式

・分散データベースシステムが、検索処理やデータ生成処理の際に行っていた各データベースシステム間の通信方式をより抽象化し、さらに交渉などの高度な協調処理が行えるような方式に変更する方法

・高度なシステム間の協調処理を行うための、メディアエータ（ある種のエージェント）などのあらたな技術の導入

#### 7 環境統合型データベースシステム技術の研究

利用者の環境と計算機の環境の統合をめざし、使いやすい分散協調システムの研究開発を行う。計算機内の環境はデータの論理的な検索を可能にするが、実世界ではデータは物理的な位置で検索される。このように、われわれが行っている仕事をスムーズに計算機内の処理と統合するには、二つの処理の特性を分析しその間の変換を行う必要がある。このようなシステムは特に専門家でない人々が利用する場合に重要である。各利用者が自分のワークステーションを介して共通の環境に入り込み共同作業を行うためには、データの共有が不可欠であるため、データベースを基本とした計算機援用協調処理を研究する。特に、利用者が容易に計算機内部の環境を利用したり、共同で作業を行うためには利用者インタフェースが非常に重要となる。応用面としてオフィスの仕事や教育を分散環境で実現することを考えた利用者インタフェースを開発する。さらに、化学や医学といったより高

度な研究を計算機の中に作られた仮想環境の中で行えるような実験も行う。

#### 7-1 環境統合型データベースシステムの基礎研究

現在の計算機援用協調作業 (CSCW) は、テレビ会議、ワークステーション、電子メールを組み合わせで実用化したものである。すなわち、テレビ会議の資料をワークステーションで表示したり、ワークステーション上に表示された文書を共同で編集しながら意見を集約する等の機能を持ち、計画の打合せや議事録の送付に電子メールを利用している。例えば、ボーイング777の設計は、欧米と日本に分かれて、このようなシステムを利用して連絡をとりあうことによって進められることになっている。

このようなCSCWの次のステップでは、大量データを共有するために、CSCW技術とデータベース技術との統合が必要となると考えられる。文書の自動分類や過去の打合せ記録の管理、分散ハイパーカードの研究などが行われているが、現実世界での仕事と違和感のない環境をシステム内につくるためには、個別に行われているこれらの技術を有機的に組み合わせ、仮想的な環境を作り出すことが必要である。利用者がどこにいても、自分のオフィスと同じ環境で他の共同作業者と協調して仕事ができ、仕事内容によってシステム内の環境を切替える機能も必要である。この機能は、仮想的に構築した複数の環境を選択する機能であり、データベースのビュー機能の一般化であると考えられる。

#### 7-2 環境統合型データベースのための利用者インタフェースの研究

我々が住む現実世界では、データは物理的な位置を持っているが、計算機内部では、データは論理的に並んでいる。現実世界と計算機のこのような側面を統合し、2つの立場を両立させる利用者インタフェースを提供することが必要である。

データベース内には論理的な制約がある。利用者にとっては現実の世の中の物理的制約の方が分かりやすく、利用者にとって使いやすい環境を提供するためには、論理的制約を物理的制約に変換して表示するインタフェースが必要となる。

人間が協調作業を行う場合には、協調と個人の独立という2つの要素を考慮する必要がある。このためには、個人の仕事と共同の仕事を分けて取り扱い、協調作業における個人の独立性を支援する必要がある。1人の人間が同時にできる仕事の数に限られているため、他の共同作業者と同期をとらずに協調作業を行うことができれば、協調と個人の独立を両立することができる。仕事の内容を録音し、論理的に利用される特定プロジェクトに関する仕事のみを再生するような機構は、計算機の論理的な特性を生かして実現することができる。また、これまで研究している能動機構を利用して、データベースと

動的な結合を実現する高度な利用者インタフェースを構築する。

応用としてオフィスでの仕事を支援するシステムや分散教育システムを構築する。

#### 7-3 仮想実験室環境実現のためのデータベースシステムの研究

実際には研究者が全国に分散して別々に実験を行っていても、あたかも1つの部屋にいるようにして実験、討論、解析を行うことのできる環境を作ることが理想である。このために、性質の異なる医学と化学を例にとり、計算機の中に仮想実験室を作り、研究開発を行う。仮想実験室とは、実世界の実験室環境を忠実にデータベースシステムの上に実現する場合と、実世界では実現不可能な実験室環境をその上に構築してみせる場合とに大別できる。前者の典型例には流体力学における風洞実験や電子回路をシミュレーションする場合などがある。一方、後者の場合には、医学分野の画像診断に基づく手術計画立案を挙げることができる。手術計画は(前者の場合と異なり)数学モデルによる定式化は不可能であり、様々な医学的制約(解剖学的・生理学的制約)の下での経験的モデルとなる。またモデルによるシミュレーション結果の正当性・妥当性も過去の治療経験から専門家によって判断される。従って過去の事例のデータベースを積極的に活用できる可能性がある。このような仮想環境では、実世界で実現・実行不可能な手術計画や失敗例も体験できるので、特に臨床の場において有効であろう。

しかし、このような仮想実験室環境を実現するには、

(1) 履歴データ管理やマルチメディアデータ管理を効率よく行うための時空間データモデルの研究、(2) 複雑な画像処理を利用者にはその詳細を隠蔽しつつそれを行えるデータベースの構築法、(3) 計算機援用設計技術とデータベース技術との融合など、他の研究成果を統合利用しなければならない。たとえば、医学での事例と化学における物質の合成を事例などの実際的な事例から、分散仮想実験室環境を実現することも必要である。

## 8 謝辞

本稿は、平成5年度科学研究費総合研究(B)「メディア統合および応用統合に適した次世代データベースシステムの研究」における検討をまとめたものであり、本稿をまとめるにあたり研究分担者である多数の方々から御協力やコメントを頂いた。一部の方を列挙して謝辞に代えさせていただきます。

増永良文 牧之内顯文 植村俊亮 田中克己  
西尾章治郎 喜連川優 吉川正俊 天野浩文  
有川正俊 古川哲也