

立石賞功績賞の受賞記念講演概要

データベース技術およびアンビエント情報環境の構築

大阪大学 大学院 情報科学研究科 教授 西 尾 章治郎

立石科学技術振興財団から1995年度に「移動体計算環境におけるデータベースシステム構築に関する研究」に対して助成をいただき、自身の研究が飛躍的に進展しました。そして本日、図らずも第2回立石賞功績賞授受の栄誉に浴することができました。ここに、立石信雄理事長をはじめ、立石科学技術振興財団の皆様、ご来賓、ご来場の方々に深甚なる謝意を表します。

プロフィール

私は、1970年代初頭から18年間余りを、大学生および大学教員として京都で過ごしました。その間、京都大学工学部の長谷川利治先生に、言葉に尽くせない程のご指導、ご薫陶を受けて参りました。長谷川先生は立石科学技術振興財団の評議員も務めておられ、オムロン株式会社の素晴らしさをしばしばお話し下さいました。誠に残念ながら、昨年11月28日に逝去されましたが、長谷川先生はヒューマニティに大層富んでおられた方でした。特に専門分野におけるコンピュータの高度化によって進展する情報化社会における「人間と機械の調和」の大切さを、自らの日々のお言葉、行動で示されました。そのご厚情にお応えする大切な機会を、思い出の京都の地で頂戴しましたことは身に余る光栄であり、感謝の念に堪えません。

私の研究と本日の話題

データベースは、人間の諸活動の所産である電子データをコンピュータに格納する「器」の役割を果たすものであり、人間社会の「写し絵」とも言えます。近年のコンピュータ・ハードウェアの目覚しい高速化および著しい低価格

化は、大規模なデータベースの構築を容易にし、またインターネットおよびウェブ技術の発展に伴い、人間の生活向上に資する新たな形態でのデータベースサービスも実現されて



おります。このような状況のもと、高度情報化社会の基盤として、有用な情報源の役割を果たすデータベースシステム構築技術の重要性が増しています。

私は、1980年代初頭から今日に至るまで、データベースシステムの重要諸技術に関して、現実システムに立脚した創造性豊かな研究を目指してきました。その内容を要約しますと図1のようになり、600編に及ぶ論文を、学術論文誌、国際会議録に査読を経て公表してきました。

本日は最初に、自らの研究のなかで、特にパラダイムシフトを先導する重要な内容と考える三つの内容に焦点を絞り紹介します。

次に、私がオピニオンリーダーとして推進し

並行処理制御における直列化可能性の概念定義
マルチバージョンによる並行処理制御
分散データベースシステムの構築技法
完全冗長性に関する考察
LAN上の分散DBの結合演算における新たな性能評価指標
相互排除 (Mutual Exclusion) アルゴリズムの提案
演繹、オブジェクト指向、演繹オブジェクト指向データベース
データマイニング(データベースからの知識獲得・知識発掘)
知識ベース独立
データベース移動
データ放送型環境、モバイル計算環境、P2Pネットワーク
マルチメディアコンテンツとデータベース

図1 これまでのデータベース研究の歩み

てきました「アンビエント情報環境」の構築について述べます。これは、ポスト「ユビキタス情報環境」と言えるものであり、情報技術がより深く生活空間に溶け込み、人間が安全で豊かな生活を享受できることを目指したもので、自身が関わってきた研究の集大成でもあります。

最後に、「人間と機械の調和」がより強く要請されている今後の情報分野の研究開発および人材育成の方向性について論じます。

究極の器の設計

先に、データベースが「器」としての役割を有することを述べました。その「器」の設計として、1970年代は、帳簿のような表形式でデータ間の関係を表す「関係データベース」がビジネス分野を中心に広く採用されました。

1970年代後半には、関係データベースの設計は維持したまま、データベース内にルール記述も格納し、これらをもとに知識処理（演繹）を行うことで、より複雑な問合せに対応可能な「演繹データベース」の研究が推進されました。例えば、「親子」の関係を表すデータが格納されている場合、そのデータに対して「親は先祖である」、「先祖の親は先祖である」という二つのルールを追加することで、データベース内のすべての人の先祖を演繹的に導くことができます。

一方、1980年代半ば以降、関係データベースのような二次元の表構造では直接的に格納できない複雑な対象（オブジェクト）を、より直接的かつ柔軟に表現可能な「オブジェクト指向データベース」が開発されました。これは、器の設計を厳格に行ってからデータを入れ込むという発想を180度転回して、個々のデータを中心に据えて、その他のデータとの関連などを柔軟に表現しようというものです。

私は、演繹データベースおよびオブジェクト指向データベースの双方の長所を有する器の設計として、「演繹オブジェクト指向データベース」を提唱しました（1989年）。このデータ

ベースは、対象を直接的かつ柔軟に表現可能としつつ、さらに、オブジェクトに対する知識処理を可能とする数学的基盤を有しています。つまり、表現の柔軟性および問合せ対応能力の観点から、最も強力に設計されたデータベースの「器」とも言えます。

私達のグループをはじめ、世界の該当分野の研究者達がオブジェクトの構造と演繹ルールを統一的に表現できる数学的基盤の確立に邁進し、この新たなデータベースを実現するための研究が大きく進展しました。

1989年に第1回演繹オブジェクト指向データベース国際会議（DOOD）を京都で、しかも京都高度技術研究所（ASTEM）開所のお披露目行事の一環として開催するという幸運に恵まれました。テーマへの注目度の高さから、世界中から著名な研究者達が会議場に収容できない程参集し、その会議録の引用回数は1200を越えております。実際、このデータベースの設計指針に基づくシステム実装が、日本の国家プロジェクトや欧州のプロジェクトにおいて推進されました。

定説を覆す成果

広域ネットワーク環境下でのデータベース利用が本格的に検討されていた1980年頃、遠隔サーバがもつデータベースへのアクセス時間を節約するために、全てのサーバシステムにデータのコピーを配置する「完全冗長性」が定説的に仮定されていました。しかし、私達のグループは、その仮定に大きな疑問をいただきました。コピーを作成することで、本体のデータベースが書込み（更新）された際に、更新情報を全てのコピーに反映するの必要があり、実行時間の観点からは性能が大きく低下すると考えたからです。

そこで、この問題の特性が明確になる定式化を行い、計算実験により、「書込みアクセスが全体のアクセスのうち1割を超えるような状況ではデータのコピーを置かない方がよい」と

いう、定説を覆す結果を導きました（1983年）。つまり、データベースへの「書込み」および「読込み」アクセスのうち「書込み」が1割を超えると、更新情報をコピーに反映するための通信負荷によって、データベース処理の平均実行時間がむしろ長くなる結果が得られました。

この結果は、ネットワーク環境におけるデータベースシステム構築技術に大きな影響を与えました。特に、当時、金融業界や旅行関連企業などが「書込み」アクセスを頻繁に行う大規模データベースの構築を開始した時期であり、その設計に対して貴重な指針を与えることができました。爾来、このような業界では完全冗長性に基づくシステム構築はなされておられません。

先を読む概念の提唱

1990年代に入ると、ネットワークの高速化が急速に進展しました。私は、このように超大量のデータが瞬時に転送可能になった状況を活用し、データベースそのものを移動するという斬新なアイデアを基盤とした「データベース移動」の概念を提唱しました（1995年）。実際、1万人規模の会社で1人当たりの人事データが10KB程度である場合、その人事データ全体を実効速度100Mbpsのネットワークで転送すれば10秒もかかりません。この「データベース移動」の概念は、ネットワーク上に分散するデータベースは特定のサーバシステム上に固定されているという従来の概念を覆す画期的なものと言えます。

私達のグループでは、データベースを移動することで新たに生じる「移動の適切なタイミングの決定」および「移動中のデータベースに対するアクセスを停止しない並行処理制御」など、困難な課題を解決するためのさまざまな技法を考案しました。また、これらを机上の理論で終わらせることなく、5年余りの年月を要して実環境上に実装し、実測評価を行って実現性を確認しました。

最近、経済効果的な観点から新聞誌上等で注

目を集めている「クラウドコンピューティング環境（インターネット上にさまざまなサービスが存在し、それらを連携して利用できる環境）」では、広域に配備された高速ネットワーク上でさまざまなサービスがデータベースにアクセスするため、「データベース移動」が効果を発揮するものと考えられます。そのため、私達の研究成果は、クラウドコンピューティング環境を予見する先見性のある成果として、その有効性が見直されつつあります。

集大成の情報環境

私は、これまでの自身の研究・開発を含む情報技術全体を駆使して実現される環境とはどういふものかを考え続けてきました。その結果として、「ユビキタス情報環境」よりもさらに進展した「アンビエント情報環境」を提唱しています（2005年から）。

情報技術の発展が、人間に対して安全・安心・快適な環境を提供することを主要な目的の一つとするならば、それによって実現される究極の姿とはどのようなものなのでしょう。例えば、自らアクセスしなくても、必要な時に瞬時にその場で自らの安全を促すような情報を察知して、肩をトントンとたたくように知らせてくれる。また、歩いていて、ある電子ボードの前を通ると、その場において自分にとって安心感が得られる情報が「さりげなく」表示されている。このような環境が実現すれば快適感は増すでしょう。このように、人間を中心にしてその「周囲の（ambient）」環境が、その人間を「取り巻く」ようにして、「いまだから、ここだから、あなただから」有益な情報を提供する高度に情報化された社会を「アンビエント情報社会」といいます。いまでは、「アンビエントエアコン」、「アンビエント照明」、「アンビエント音楽」というように、「アンビエント」という用語が快適な生活環境を実現する多様なものに冠せられています。

ユビキタス情報社会では、情報システムが日

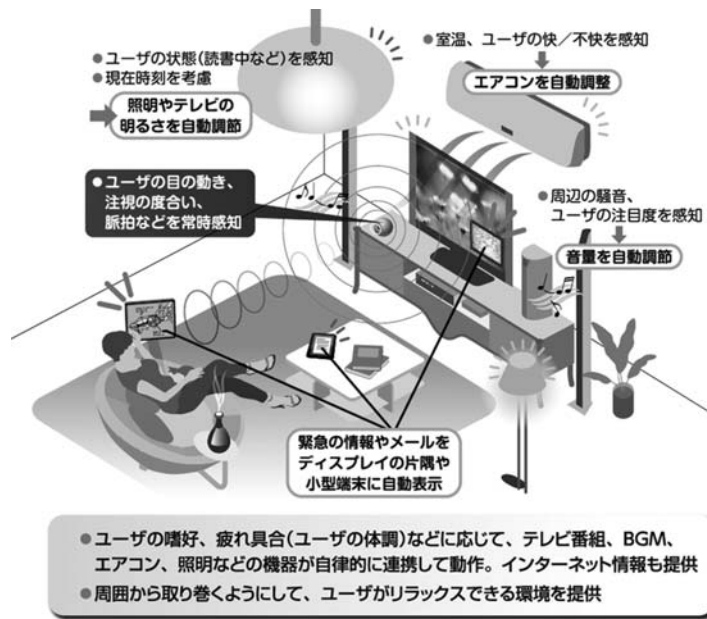


図2 アンビエント情報社会（リビングルームの例）

常生活の隅々まで普及し、簡単に利用できる社会が構築されますが、情報機器はサービスを提供可能な状態で待機しています。つまり、ユーザからの操作を待つという点では受け身（PULL型）です。一方、アンビエント情報社会では、PULL型サービスは当然のことながら、周囲の情報機器がユーザの状態を感知し、ユーザに自律的に働きかけるPUSH型サービスが可能になることが大きな特徴です。このような社会におけるリビングルームの例を図2に示します。

情報・生体・認知のクロスにより未来を拓く

従来の理工系における博士人材は、高効率性を目指した社会システムにおけるイノベーション創出に大きく貢献してきました。しかし、そのための新技術の開発により、環境や人のメンタルな面における重い負荷が促進されてしまうというジレンマから逃れることは困難でした。また、先般の東日本大震災の事例一つをとっても、単に高効率性を重視した技術ではなく、事前予測が困難な多様な事象に、柔軟かつ頑強に対応し、新しい価値を生み出す技術の重要性が明らかになりました。

そこで、生命システムなどがもつ仕組み（柔軟性、頑強性、持続発展性）を有し、人間・環境に調和した情報社会を構築するための「情報ダイナミクス」を扱う技術の重要性が増しています。この技術を習得するには、情報を受け取り、理解し、生み出す人間の高次脳機能のダイナミクスである「認知ダイナミクス」を理解するとともに、人や環境に柔軟に適応する機能を与える「生体ダイナミクス」を扱う必要があります。これら三つのダイナミクスを包括的に理解し、生活・文化・社会の発展や、新産業・サービスの創造に資する新しい情報システムをデザインする研究の重要性が増しています。

また、これら三つのダイナミクスを包括的に理解する高度人材を育成することにより、複雑化し続ける社会において人間や環境へ強い制御を加えて負荷を上げるのではなく、人間中心の情報技術によって、世代や立場を超えた人間同士のコミュニケーションやコミュニティ形成、人間とロボットが共生する高度な福祉、災害時にも自律復旧が可能な社会ネットワークの実現など、イノベーションの方向性を大きく転換することが可能になると確信します。