

垂直分散データベースのモデルと基本機能について

鶴岡 邦敏 高野 智

日本電気(株) C & Cシステム研究所

企業内で頻繁に利用されるシステム形態として、垂直分散データベースがある。本資料では、4層データベースモデルを拡張して、重複データを持つ分散データベースのモデルを記述する。その際、あるデータが他のデータベースから導出されるという意味での導出元-導出先の関係に基づいて、データベース間に「導出従属関係」を定義する。次に、この関係に基づいて木構造をなすサイト群を「垂直分散データベースを持つサイト集合」として定義し、その性質について記述する。またグローバル概念データベースの定義機能、問合せ最適化を含む重複データの参照・更新機能等、管理システムが提供すべき基本機能についても述べる。

ON MODELS AND BASIC FUNCTIONS FOR VERTICALLY DISTRIBUTED DATABASES

Kunitoshi Tsuruoka and Satoshi Takano

C&C Systems Research Labs., NEC Corporation

4-1-1 Miyazaki, Miyamae-ku, Kawasaki, 213 Japan

Vertically distributed databases are considered to be most popular among current distributed database systems. Described is a distributed database model with replicated data, which is achieved by extending the four-level database model. The proposed model is based on "derivation-dependency relationship" which holds when data are derived from other databases. Using the relationship, tree structured sites are defined as "site set with vertically distributed databases," and its characteristics are described. Additionally, basic functions which the management system should support are described, such as global conceptual database definition, and replicated data retrieval and update including query optimization.

1. はじめに

近年、企業内の各部門にデータベースとしての情報の蓄積が進み、また基盤となるネットワークの構築が急速に進展している。戦略情報システム（SIS）に見るように、営業、製造、設計、経理、物流等の各部門が持つ個々のデータベース中の情報を連携させ、統合的な情報システムを構築する動きが盛んである。分散データベースを指向するこうした市場の動きに加え、ISOにおけるRDA^[3]（リモートデータベースアクセス）の標準化もあり、分散データベースシステムも実用期を迎えつつある。

分散データベース機能が利用される応用システムの形態は、ファイル転送やリモートログインを主体とする応用と比べると、サイト（コンピュータ）間の結合度が「やや密」と考えられる。現実の企業内情報システムを考えると、こうした結合度がやや高い応用は、データベース間に階層関係が存在する「垂直分散データベース」が中心になると思われる。一方、分散データベースの利用はまだ始まったばかりでもあり、垂直分散データベースの設計、管理、運用に関する諸問題は、まだ十分には検討されていない。筆者らの研究は、垂直分散データベースに関する上記諸問題を解決し、実用的な管理方式を提案するためのものである。

本資料では、まずRDAの4層データベースモデルを拡張して、重複データを持つ分散データベースのモデルを記述する。その際、あるデータが他のデータベースから導出されるという意味で、データベース間に「導出従属関係」を定義する。次にこれをもとに、木構造をなすサイト群を「垂直分散データベースを持つサイト集合」として定義し、その性質について記述する。また垂直分散データベースを提供する立場から、種々の応用プログラムで共通に利用可能なシステム基本機能に関しても記述する。

2. 分散データベースモデル

(1) データベースの階層

以下では、RDAの実装規約^[2]における開放型データベースシステムの4層モデル（下記）を基本とする（用語の意味は一部拡張されている）。

- グローバル外部データベース（GEDB）
- グローバル概念データベース（GCDB）

- ローカル概念データベース（LCDB）
- ローカル内部データベース（LIDB）

ここで、LIDBはローカルなDBMSが管理する一つのDB（表の集合）であり、あるサイト（コンピュータ）に複数存在できる。LCDBは、あるLIDBから他サイトに公開する一つ以上の表（の一部）を抽出したものであり、LIDBと一対一に対応する。GCDBは、一つ以上のLCDBから一つ以上の表（の一部）を抽出して構成した仮想的なDBであり、あるサイトに所属し、サイトに複数存在できる（GCDBは、リモートのDBをローカル側に定義したものである）。またGEDBは、GCDBに含まれる一つ以上の表（の一部）を抽出したものであり、一つのGCDBに対して複数存在できる。

上記で、GCDB中の各表は、LCDB中の（複数の）表から一定の規則で導出されたものである（図1参照）。

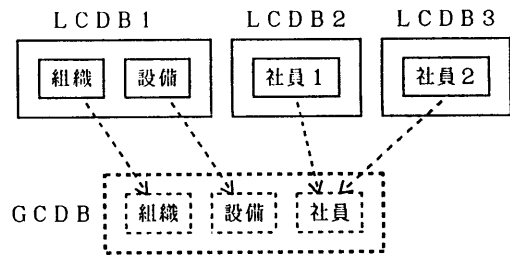


図1. グローバル概念DBの導出

LCDB中の資源に関する情報（表の構造等）を記述した表の集合を、「共通辞書」^[2]と呼ぶ。共通辞書はLCDBごとに存在し、LCDB中のスキーマ（後述）の一つとして定義される。LIDB名とLCDB名との対応、スキーマや表のローカル内部名とローカル概念名との対応（後述）は、共通辞書に記述される。また、共通辞書は、図2のような「導出先管理表」を持つ。これは、他のGCDBが当LCDB中の表を導出元として利用する場合に、その導出規則を記入する。図2で、導出規則IDは、導出先のGCDB中の導出規則IDに対応する。

(2) 名前の指定と有効範囲

分散データベースシステムの資源には、データベー

| 導出規則ID | 導出規則 | G C D B 名 | サイト名 |
|--------|-------------|-----------|------|
| 0001 | select | GCDB1 | St1 |
| 0002 | select | GCDB2 | St2 |

図2. 導出先管理表 (LCDB)

ス、スキーマ (SQLでの用語で、特定の認可識別子に対応する表の集合)、表、利用者、利用者グループ等がある。ある特定の資源は、前記の4層DBに対応して、それぞれローカル内部名 (LIDBでの名前)、ローカル概念名 (LCDBでの名前)、グローバル概念名 (GCDBでの名前)、グローバル外部名 (GEDBでの名前) という4つの名前を持つ。これらは、それぞれのDB階層間で変換される (図3参照)。

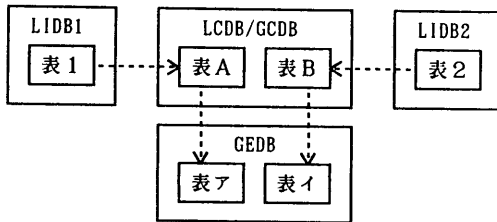


図3. 名前の変換

名前の有効範囲は、以下の通りである。

- 表名は、各々のスキーマ (ローカル内部/ローカル概念/グローバル概念/グローバル外部) 中で一意である。
- スキーマ名は、各々のデータベース中で一意である。
- データベース名は、それが定義されたサイト内の同種のデータベース中で一意である。
- (利用者) グループ名はそれが定義されたサイト中で一意であり、利用者名はグループ中で一意である。

図4に、LCDBとGCDBの資源の間の対応関係の例を示す。なお本資料では、以下LCDBとGCDBに関してのみ考察する。

(3) ディレクトリ

GCDB中の表の所在、属性、導出規則等を記述し

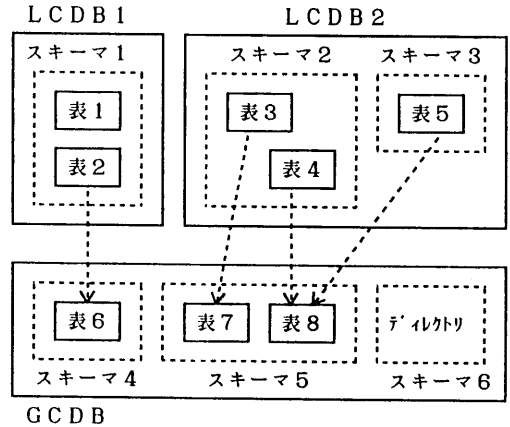


図4. LCDBとGCDBの資源の対応

たものをディレクトリ (DD) と呼ぶ。ディレクトリは、それ自身表の集合であり、一つのGCDBに対して一つ存在する。ディレクトリを構成する表の集合は、GCDB中のスキーマの一つとして定義される。ここでは以下の4つの表を考慮する (自身に関する記述も内容として含む)。図5に、図4の例に対応するディレクトリの内容を示す。

① データベース管理表

GCDBを構成するLCDB名とそのサイト名を記述した表であり、分散DBの所在管理情報を記述した表である。

② 表管理表

GCDBを構成する表のグローバル概念名、それが含まれるスキーマのグローバル概念名、その表の導出規則、更新可否、スナップショット (ローカルコピー) の有無等を記述した表である。「導出規則」とは、(リモートの) 導出元表からGCDB中の表を「導出」(内容を生成) するための、SQL文の列である (表名及び項目名の変更 (rename) が可能)。リモート表をそのまま利用する場合には、導出規則として「SELECT * FROM 導出元表;」とだけ記述する。ここで導出元の表名は、「LCDB名. スキーマLC名. 表LC名」で指定する。導出規則の例を、図6に示す。導出規則の内容により、更新可否欄の値が決定される (通常、唯一つの元表から主キーを含む部分表 (選択、射影) を導出した場合に限り、更新可となる)。

GCDBを構成するある表に対して検索文 (SQL)

データベース管理表

| | |
|-------|------|
| LCDB名 | サイト名 |
| LCDB1 | St1 |
| LCDB2 | St2 |

表管理表

| 表GC名 | スキーマGC名 | 導出規則ID | 導出規則 | 更新可否 | スナップショット表名 |
|------|---------|--------|----------|------|------------|
| 表6 | Sc4 | 0001 | select.. | 可 | 表6S |
| 表7 | Sc5 | 0002 | select.. | 可 | - |
| 表8 | Sc5 | 0003 | select.. | 不可 | 表8S |

スナップショット管理表

| 表名 | 属性 |
|-----|------|
| 表6S | 遅延更新 |
| 表8S | 一時 |

項目管理表

| 項目名 | 表GC名 | スキーマGC名 | 項目属性 |
|-----|------|---------|---------|
| I61 | 表6 | Sc4 | integer |
| I62 | 表6 | Sc4 | char 6 |
| . | . | . | . |
| I81 | 表8 | Sc5 | integer |
| I82 | 表8 | Sc5 | float |

図5. ディレクトリの内容

が発行されると、表管理表の導出規則と検索文の条件とが結合されてリモートに送られる。スナップショットがある場合には、そちらが優先的に利用される。

③スナップショット管理表

GCDB中の(リモート)表に対して、そのローカルコピーとなる表(スナップショット表)を管理する。スナップショット表(重複データ)の内容は、その導出元となる表(プライマリコピー)の内容とある時点で一致がとられる。スナップショット表は、以下のいずれかの属性を持つ。

•一時表

トランザクション実行中のみ、その内容がリモートDBから導出され、ローカルに保持される表である。ローカル側には永続的な実体は持たない。

•即時更新表

ローカル側に永続的な実体をコピーとして持ち、か

つコピー間の更新同期が即時的にとられる表である。

•遅延更新表

ローカル側に永続的な実体をコピーとして持ち、かつコピー間の更新同期が特定の時点まで延期される表である。

なお、スナップショットを持たないGCDB中の通常の表は、リモートアクセスにより実行時に内容が導出され、SQLのビューと同様に働く。

④項目管理表

GCDB中の各表に対して、それに含まれる項目の属性を記述した表である。この内容の大部分は、導出元のLCDB中の共通辞書からコピーされる。

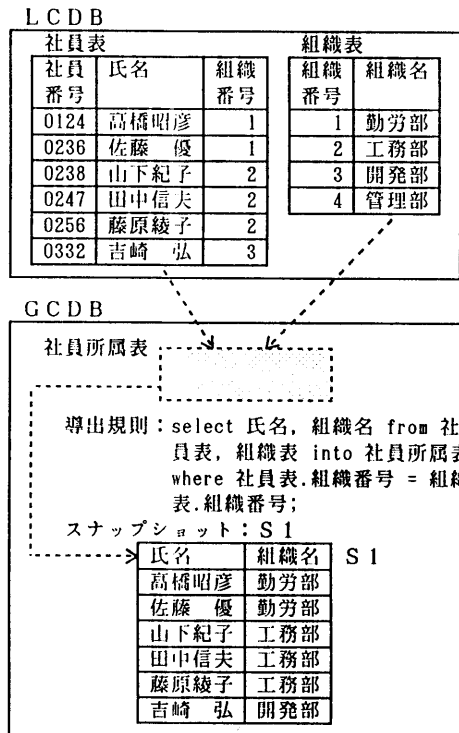


図6. 導出規則の例

(4) データの導出^[4]

GCDB中の表は、元になるLCDB中の(複数の)表から「導出」(内容を生成)される。その「導出規則」は、GCDB中の表管理表に登録される。スナップショット表がある場合には、元の表の一次的または永続的な(部分)コピーが、ローカル表として生成さ

れる。

この時、以下のような「導出従属関係」“←”を定義する。表 x が、ある SQL コマンド列によって、表 1、・・・、表 k から導出される時、

(表 1、表 2、・・・、表 k) ← 表 x

と記述する。ここで、表 1、表 2、・・・、表 k を「親」、表 x を「子」と呼ぶ(この親子関係は以下でデータベース、サイト間に拡張する)。図 7 に例を示す。図において、表 1、・・・、表 k はそれぞれ異なるサイトの異なる LCDB 中の表であってもよい。

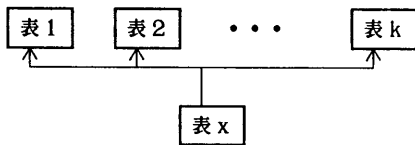


図 7. 表の導出従属関係

次に、ある GCDB 中のすべての表が、LCDB 1、LCDB 2、・・・、LCDB m 中の表のみから導出される時、データベース間の導出従属関係を以下のように定義する(図 8 参照)。

(LCDB 1、LCDB 2、・・・、LCDB m) ← GCDB

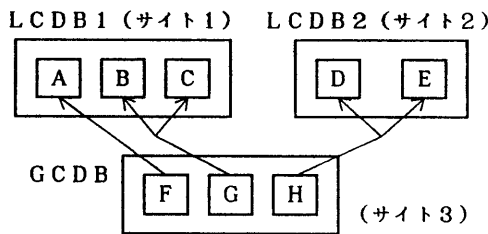


図 8. データベースの導出従属関係

この時、LCDB と GCDB との間で、以下の性質が存在する。

- ① GCDB は、自分の親(導出元)を知っている。これは、GCDB 中のディレクトリ(のデータベース管理表)によってわかる。
- ② 各々の LCDB i は、自分の子(導出先の GCDB 群)を知っている。これは、LCDB 中の共通辞書(の導出先管理表)によってわかる。

なお、導出従属関係は LCDB と GCDB との間に存在し、GCDB は他の GCDB の導出元とならない。従って、データベース間の導出従属関係は階層を構成しない。

次に、あるサイト y 中のすべての GCDB が、サイト 1、サイト 2、・・・、サイト n 中の LCDB のみから導出され、かつサイト y 中のどの LCDB もサイト 1、サイト 2、・・・、サイト n 中の GCDB の導出元とならない時、サイト間の導出従属関係を以下のように定義する。

(サイト 1、サイト 2、・・・、サイト n) ← サイト y
($y \neq 1, 2, \dots, n$)

次の図 9 の例では、サイト間に以下のような導出従属関係が存在する。

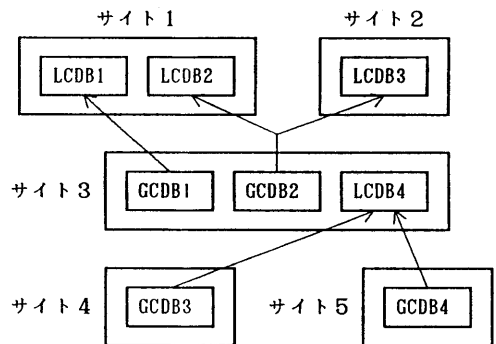
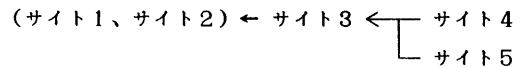


図 9. サイト間の導出従属関係

3. 垂直分散データベースモデル

サイト間の導出従属関係の特別なものとして、以下の(1)、(2)で木構造を持つ 2 つのシステムタイプを定義し、これらを「垂直分散データベース」と呼ぶ。

(1) 階層型垂直分散データベース

以下の①、②の性質を持つサイトの集合 $HSt = \{St_i\} (i=1, 2, \dots, n)$ を、「階層型垂直分散データベースを持つサイト集合」と呼ぶ。

- ① 唯一つの $m (1 \leq m \leq n)$ に対して、 St_m は、 HSt 内のどのサイトに対しても導出従属でない。この時、 St_m を「トップ」と呼ぶ。
- ② m 以外の任意の $j (1 \leq j \leq n)$ に対して、 St_j は H

$S t$ 内の唯一つの $S t i$ ($1 \leq i \leq n$)に導出従属する。
特に、他のサイトの導出元とならないサイトを「ボトム」と呼ぶ。

階層型垂直分散データベースの例を図10に示す。

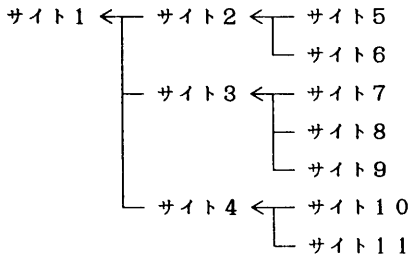


図10. 階層型垂直分散データベース

(2) 逆階層型垂直分散データベース

以下の①、②の性質を持つサイトの集合 $R S t = \{S t i\}$ ($i=1,2,\dots,n$)を、「逆階層型垂直分散データベースを持つサイト集合」と呼ぶ。

①唯一つの m ($1 \leq m \leq n$)に対して、 $S t m$ は、 $R S t$ 内のどのサイトの導出元ともならない。この時、 $S t m$ を「根」と呼ぶ。

② m 以外の任意の j ($1 \leq j \leq n$)に対して、 $S t j$ は $R S t$ 内の唯一つの $S t i$ ($1 \leq i \leq n$)の導出元となる。
特に、他のサイトに導出従属でないサイトを「葉」と呼ぶ。

逆階層型垂直分散データベースの例を図11に示す。

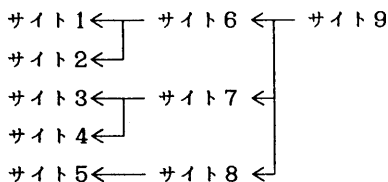


図11. 逆階層型垂直分散データベース

(3) 垂直分散データベースの性質

垂直分散データベースを持つサイト集合は、以下の性質を持つ。

①階層型垂直分散データベースでは、あるサイトの分散DB応用プログラムが影響を受ける可能性があるのは、唯一つのサイトのデータベースが更新された

時のみである。

②逆階層型垂直分散データベースでは、あるサイトの(ローカル)データベースを更新した時に影響を与える可能性があるのは、唯一つのサイトの応用プログラムのみである。

これらは、更新(データ、表構造)の影響範囲が限定されることを意味する。

4. 垂直分散データベースシステムの基本機能

垂直分散データベースを管理する分散型データベース管理システム(DDBMS)及びシステムユーティリティ群には、以下の基本機能が必要とされる。

(1) GCDB定義機能

利用者が指定したリモート資源を元に、GCDBをローカル側に定義する機能である。

①利用者の指定により、データベース管理表にリモートのLCDB名とサイト名を登録し、表管理表に表名、スキーマ名、導出規則を登録する。

②導出規則の内容を解釈して、当該表に対する更新可否を判定する。更に、指定によりスナップショット管理表に属性を登録する。

③リモートLCDB中の共通辞書をアクセスして項目属性を取り出し、項目管理表に登録する。

(2) リモートLCDBアクセス機能

利用者が記述したSQL文に対して、リモート(またはローカル)DBからデータを読み出す機能である。利用者のSQL文と表管理表の導出規則とを組み合わせ、より限定されたSQL文を構成する機能が必要とされる。

(3) 重複データ参照機能

利用者が発行した問合せに対して、スナップショット表を効果的に利用して高速化(最適化)を図る機能である。

①問合せが一つの表に閉じていて、かつスナップショット表があれば、問合せをスナップショット表を検索するローカル問合せに書き換えて実行する。

②問合せが対象とする複数の表のうちスナップショットを持つものがあれば、問合せの該当部分をローカル問合せ(副問合せ)に変換する。これをリモート

問合せと組み合わせ、並列に実行する。

- ③問合せが直接対象とする表にスナップショットがなくとも、その一部を導出している別の表があり、その表がスナップショットを持つ場合がある。この時には導出規則を解釈して、一部はスナップショット表を、一部はリモート表を利用するように問合せを変換し、それらを並列に実行する。

なお遅延更新表の場合には、ローカルのスナップショットが最新の内容でない場合にも、問合せの結果としてその内容を返すことに注意が必要である。利用者は、遅延更新表の性質を意識して利用すべきである。

(4) 重複データ更新機能

データの更新に際して、スナップショット表と導出元表（プライマリコピー）の内容の同期をとる機能である。

- ①即時更新表の場合には、トランザクション終了時にリモートとの間で2相コミットによる更新処理を行う。即ち、導出元とローカルの双方で更新可能と判定された場合に限り、両方のデータを同様に更新する。
- ②遅延更新表でローカル側がスナップショット（プライマリでない）の場合には、更新SQL文をリモートのプライマリコピーに送付する。プライマリ側では、表の更新を実行する。この後、あるトリガ条件により、プライマリ表の内容をスナップショット側に転送（再導出）して内容の一致を図る。
- ③遅延更新表でローカル側がプライマリの場合には、更新をローカルに実行する。この後あるトリガ条件により、データをスナップショット側に転送する。
- ④遅延更新表の場合には、プライマリ側及びスナップショット側のいずれからでも、データの再導出処理を起動することができる。

5. おわりに

重複データを持つ垂直分散データベースのモデルを記述し、その性質と機能について述べた。その際、基本となる関係として、データ間の「導出従属関係」を提案した。本資料で述べた垂直分散データベースモデルは、以下の特長を持つ。

- 階層関係を持つ「垂直分散データベース」を明確か

つ容易に定義できる。

- 垂直分散データベースの持つ種々の性質が明らかとなり、管理の道具として有効である。
- ビューとしてのリモート検索とスナップショットとしての重複データを含む、統合的な分散DBアクセスモデルを与える。
- 問合せの最適化を含む重複データの有効利用に関して、その基礎となる管理構造を与える。

今後は、本資料で提案したモデルを発展させて、重複データを含む垂直分散データベース（特に3階層以上）の管理方式を詳細化するとともに、実験システムを構築し評価を行う予定である。

謝辞

本研究開発は、通産省工業技術院大型プロジェクト「電子計算機相互運用データベースシステムの研究開発」の一環として、日本電気㈱がNEDOから委託を受けて、実施したものである。

なお、本研究内容に関して貴重な御意見を頂いた日本電気㈱基本ソフトウェア開発本部の浜館昌樹氏に感謝致します。

参考文献

- [1] Ceri, S. and Pelagatti, G. "Distributed Data bases, Principles and Systems," McGraw-Hill Book Company, 1985.
- [2] INTAP「分散データベース実装規約 S O O 6 (V 1.0)」、(財)情報処理相互運用技術協会、1989年3月
- [3] ISO "Information Processing Systems - Open Systems Interconnection - Generic Remote Database Access Service and Protocol," ISO/JTC1/SC21/WG3 Database, June 1, 1989.
- [4] 鶴岡、赤津「垂直分散データベースのモデルと基本方式について」、電子計算機相互運用データベースシステム研究開発中間成果発表会講演予稿集、pp.111-117、(財)情報処理相互運用技術協会、1989年12月1日