データベース・システム 60－7
（１９８７．７．２０）

オブジェクト集合を用いたネットワークデータベースの設計

古川哲也　上林弥彦
（九州大学工学部）

ネットワークモデルではデータの対応をリンク構造で表しており、対応を直接表せる属性集合は構造により定まる。オブジェクトは意味的なつながりのある属性集合であり、与えられたオブジェクト集合を表せるネットワークデータベースを設計する。
ネットワーク構造で表せるオブジェクトは、その構造が表す結合従属性の要素を基礎にする。結合従属性の要素及び結合可能な要素の和集合が表現可能であり、それは部分構造に含まれる属性集合となる。また、レコード型ではキー属性による関数従属性を表すので、結合従属性との干渉によりキー以外の属性を除いたものも表現可能となる。
利用者のビューとしてのオブジェクトは、冗長な構造を加えて表現できるようになる。非正規関係のように構造性をもつビューに対するオブジェクト集合は、結合従属性に矛盾しなければ表現可能となる。

Network Database Design Using a Set of Objects

Tetsuya FURUKAWA and Yahiko KAMBAYASHI

Department of Computer Science and Communication Engineering, Kyushu University
6-10-1 Hakozaki, Higashi, Fukuoka 812, Japan

In the network model, it is determined by the schema whether the relationship of attributes can be obtained directly, because data correspondence is expressed by links. In this paper, design of network databases expressing a set of objects is discussed.
Objects are sets of semantically related attributes. Elements of the join dependency expressed by a network structure are basic objects expressed by the network schema. The attribute set of a network subschema is an object expressed by the schema. Interaction of the join dependency and the functional dependencies caused by the keys of record types are also shown. Objects as user views, such as query attributes or unnormalized relations for user interface, should be expressed. Addition of redundant record types enable the schema to express each object. Structured objects for an unnormalized relation can be expressed if the objects does not conflict with the join dependency.

1. まえがき

データベースにおける重要な問題として、意味制約の保持と質問処理の効率化がある。ネットワークモデルに基づくデータベースではデータの対応をリンクで表しているため、構造に制約があり、処理効率も構造によって異なる。意味制約としての従属性制約を構造に反映させると、冗長性が削減される。質問処理は一般に冗長性の付加により効率化される。従って、データベースの構造であるスキーマの設計では両方を考慮した最適なものを求める必要がある。

これまでのスキーマ設計は、実体関連モデルのような属性の対応関係を表すものを用いて設計者の経験に基づいて行われていた。また、関係データベース理論を用いた設計法も研究されているが[1,2]、これらは意味制約のみに注目しており、質問処理まで考慮したものは知られていない。オブジェクトは属性集合であり、空値の可能性を表すためにScioreによって導入された。Maier,Ullmanは、オブジェクトを結合従属性の要素として用いている[3]。本稿では意味的なつながりを持つ属性集合とする。質問に関係する属性集合、例えばAの値がaであるBの値を求めよという質問ではABをオブジェクトと見ることができる。利用者のビューとして非正規関係を用いる研究もなされている[4]が、非正規構造もオブジェクトの集合で表すことができる。オブジェクトの概念を用いれば、意味制約と質問処理（利用者ビュー）の両方を扱うことができる。

本稿では、オブジェクトの集合を用いたネットワークスキーマの設計法を提案する。議論には関係モデルとの対応を用い、普遍関係の存在を仮定する。この方法を用いて設計したネットワークスキーマではその部分構造でオブジェクトとなる属性集合の対応を表す。基本的には結合従属性の要素となるが、レコード型で表される関数従属性との干渉も議論する。関係モデルではビュー設計はデータベース設計とは独立に考えられる。しかし、ネットワークモデルではそのような構造をスキーマに埋め込まなければならない。オブジェクトを用いることにより、ビューの最適な埋め込みが可能となり、意味制約に反する部分、即ち管理を必要とする部分も明確になる。しかし、非正規構造を表すオブジェクトは集合であり、結合従属性と矛盾するものは個々のオブジェクトを表現可能にしてもその非正規構造を表現できない。2節でネットワークモデルと関係モデルに関する基本的事項を示し、3節で与えられたネットワーク構造で表現可能なオブジェクト集合を明確にする。4節では、オブジェクトと質問処理や非正規関係などの利用者ビューについて議論する。5節でオブジェクト集合を用いた設計法を示す。

2. 基本的事項

ネットワークモデルの構造は、同じデータ項目（本稿では属性と呼ぶ）からなるレコードの集合であるレコード型と、2つのレコード型間のレコードの1対多の対応を表す親子集合型の集合によって表現される。属性集合Xからなるレコード型RをR(X)で、親レコード型がR_O,子レコード型がR_Mである親子集合S型を$S<R_O,R_M>$で表す。Sは省略することもある。この構造はバックマン線図と呼ばれる有向グラフB(V,E)で表される。ここで、Vは各レコード型に対応する節点集合、Eは親レコード型から子レコード型へ向かう有向枝の集合である。値が定まればレコード型R(X)のレコードがただ1つ定まるような最小の属性集合KをRのキーといい、K(R)で

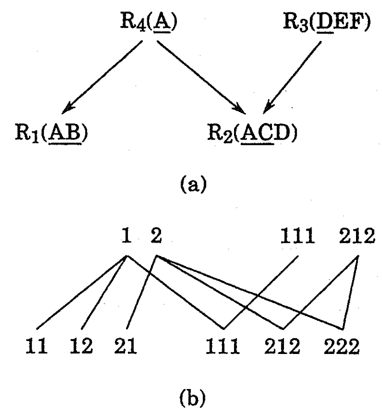


図1 バックマン線図とその実現値

表す。バックマン線図では、キーを下線をつけた属性集合とする。レコードrの属性集合Xの値をr[X]で表すと、Rのレコードr_1,r_2で$r_1\neq r_2$ならば$r_1[K(R)]\neq r_2[K(R)]$である。 図1(a)はバックマン線図の例、 図1(b)はその実現値の例である。

関係モデルは次のように定義される。属性集合$X=\{A_1,A_2,\cdots,A_k\}$をある与えられた全属性集合Uの部分集合とし、各属性A_iにはその定義域D_iが対応づけられているものとする。このときX上の関係Rは、$t:\{A_1,A_2,\cdots,A_k\}\rightarrow D_1\times D_2\times\cdots\times D_k$で示される写像tの有限集合とし、かつtは各$A_i$を$D_i$の要素に写像するものとする。 Xを関係Rの関係スキーム, tをRの組と呼ぶ。Rは、属性を適当に順序づけることで各属性A_iを列に, 各組tを行に持つ表の形で表現できる。

関係に対して行われる操作に関係代数があり次にその主要な操作を示す。組tの属性集合Yの値をt[Y]で表す。

[射影] 関係R(X)の属性集合$X_P(X_P\subseteq X)$についての射影を$R[X_P]=\{t[X_P]|t\in R\}$とする.

[選択] θを比較演算子=,>,≧,≦,<,≠のいずれかとするとき、 関係R(X)の属性集合$X_S(X_S\subseteq X)$についての選択を定数'c'に対し、$R[X_S\theta\text{'c'}]=\{t|t\in R,t[X_S]\theta\text{'c'}\}$とする.

[(自然)結合] 関係$R_1(X_1)$と$R_2(X_2)$の自然結合を$R(X_1X_2)=R_1*R_2$とし、$R(X_1X_2)=\{t|t[X_1]\in R_1,t[X_2]\in R_2\}$とする. 関係集合$\{R_1,R_2,\cdots,R_n\}$の結合を$*R_i$で表す.

関係R(X)は、 Rの組t_1,t_2について$t_1[X_1]=t_2[X_1]$ならば $t_1[X_2]=t_2[X_2](X_1,X_2\subseteq X)$ のとき、関数従属性 $X_1\rightarrow X_2$を、$R=R[X_1]*R[X_2]*\cdots*R[X_n]$のとき、結合従属性$*[X_1,X_2,\cdots,X_n]$を満足するという。結合従属性は超グラフD(V,H)で表される。Vは各属性に対応する節点の集合, HはX_i対応するVの部分集合である超枝の集合である。各枝は節点集合と考えられるので、枝の包含関係が定義できる。任意の超枝$h\in H$に対し$h\subsetneq h'$となる$h'(\in H)$が存在しないとき、そのデータベーススキームは既約であるという。

議論を簡単にするため、全属性の集合U上での関係である普遍関係uの存在を仮定する。 ネットワークモデルでの普遍関係仮定は、次の定義により明確にされる。

[定義1] バックマン線図Bの連結な部分グラフB'で表されるネットワーク構造を Bの部分ネットワーク構造という。 また、B'に含まれる属性の集合を$U_{B'}$で表す。□

[定義2] バックマン線図Bで表されるネットワーク構造に含まれるレコード型を$R_1,R_2,\cdots,R_n$とする。 レコード集合 $t=\{r_1,r_2,\cdots,r_n\}$ (r_iはR_iのレコード($1\leqq i\leqq n$)) でBに親子集合型$<R_i,R_j>$ があれば、 r_iはr_jの親レコードのとき、tをBにおけるレコードの組と呼ぶ。また、Bに含まれるレコード型を構成する属性集合の和集合をUとする。Bの関係はU上の関係であり、Rel(B)で表す。Rel(B)の各組はBにおけるレコードのすべての組と1対1に対応し、対応する組とレコードの属性の値は等しい。□

図2は図1のネットワークスキーマとその実現値に対する関係である。u=Rel(B)であり、各レコード型R(X)のレコードは、u[X]の組と1対1に対応する。各親子集合集合型$S<R_o,R_m>$では、任意のR_oのレコードr_oとR_mのレコードr_mについて、 $r_o[X_o\cap X_m]=r_m[X_o\cap X_m]$であれば、$r_o$は$r_m$の親レコードであるとする。

A	B	C	D	E	F
1	1	1	1	1	1
1	2	1	1	1	1
2	1	1	2	1	2
2	1	2	2	1	2

図2　図1の関係

3. オブジェクトの表現可能性

オブジェクトは、意味的なつながりのある属性集合である。Scioreは組の空値ではない属性の集合としてオブジェクトの概念を導入した。Maier,Ullmanは、オブジェクトを普遍関係の意味付けとして次のように定義した[3)]。 uを属性集合$A_1,A_2,\cdots,A_n$ 上の普遍関係とする。 u={

$\langle a_1,a_2,\cdots,a_n\rangle | P_1,P_2,\cdots,P_k\}$（$a_i$は$A_i$の値($1\leqq i\leqq n$)，$P_i$は$A_{j1},A_{j2},\cdots,A_{ji}$で定義される述語）で表されるとき、$Z_i=\{A_{j1},A_{j2},\cdots,A_{ji}\}$をオブジェクトという。この定義から、uは結合従属性$*[Z_1,Z_2,\cdots,Z_k]$を満たすと考えてよい。以下では、結合従属性の各要素もオブジェクトと呼ぶ。

まず、ネットワーク構造で表現される結合従属性としてのオブジェクト集合を明確にする。

［定義３］ レコード型 R(X)，親子集合型$S\langle R_O,R_M\rangle$の関係を、それぞれ$Rel(R)=Rel(B_R)$，$Rel(S)=Rel(B_S)[K(R_O)K(R_M)]$とする。ここで$B_R$,$B_S$は、それぞれバックマン線図$B_R(\{R\},\phi)$,$B_S(\{R_O,R_M\},\{S\})$で表される部分ネットワーク構造である。□

［補題１］ バックマン線図B(V,E)で表されるネットワーク構造で、$V=\{R_1,R_2,\cdots,R_m\}$，$E=\{S_1,S_2,\cdots,S_n\}$とする。このとき、$Rel(B)=Rel(R_1)*\cdots*Rel(R_m)*Rel(S_1)*\cdots*Rel(S_n)$である。□

（証明） $Rel(R_1)*\cdots*Rel(R_m)*Rel(S_1)*\cdots*Rel(S_n)=Rel$とする。Bの各レコードの組$t_r$について、$t_r$中の$r_i$が$R_i(X_i)$のレコードであれば、レコード型の関係の定義より対応するRel(R_i)の組t_{R_i}が存在する。また、親子集合型$S_j\langle R_O,R_M\rangle$で、$t_r$中の$R_O$,$R_M$のレコード$r_O$,$r_M$について、$r_O$は$r_M$の親レコード型なので親子集合型の関係の定義よりRel(S_j)中に$t_{S_j}[K(R_O)]=r_O[K(R_O)]$，$t_{S_j}[K(R_M)]=r_M[K(R_M)]$となる組$t_{S_j}$が存在する。従って、$t_r$に対応するRelの組$t_{Rel}$($t_{Rel}[X_i]=t_{R_i}$,$t_{Rel}[K(R_O)K(R_M)]=t_{S_j}$)が存在する。また、各Relの組$t_{Rel}$について、レコード型$R_i(X_i)$には$t_{Rel}[X_i]$に一致するレコードがある。そのようなレコードの集合をtとする。親子集合型$S_j\langle R_O,R_M\rangle$で、t中の$R_O$のレコード$r_O$，$R_M$のレコード$r_M$は、Rel($S_j$)に$t_{S_j}[K(R_O)]=r_O[K(R_O)]$，$t_{S_j}[K(R_M)]=r_M[K(R_M)]$となる組$t_{S_j}$が存在するので、$r_O$は$r_M$の親レコードである。即ち、tは$t_{Rel}$に対応するレコードの組である。以上よりRelの組とBのレコードの組は１対１に対応し、属性の値は等しい。定義よりRel(B)はBのレコードの組と１対１に対応しているので、Rel(B)とRelの組は１対１に対応し、対応する組では各属性の値は等しい。（証明終り）

補題１より、Rel(B)は結合従属性*[X｜レコード型R(X)または$X=K(R_O)K(R_M)$となる親子集合型$S\langle R_O,R_M\rangle$が存在する]を満足している、即ちBはその結合集合従属性を表現している。この結合従属性は既約であるとは限らないが、以下の議論では問題とはならない。Bが表現する結合従属性の要素をBの主オブジェクトとして定義する。

［定義４］ バックマン線図Bで表されるネットワーク構造で、Z＝Xとなるレコード型R(X)，または$Z=K(R_O)K(R_M)$となる親子集合型$S\langle R_O,R_M\rangle$が存在するような属性集合ZをBの主オブジェクトという。Bの主オブジェクトの集合をOBJ(B)とする。□

Bで表現されるオブジェクトは主オブジェクトのみではない。Bは結合従属性*[OBJ(B)]を表すが、Rel(B)は*[OBJ(B)]から導かれる結合従属性JDも満足する。しかし、*[OBJ(B)]から導けるすべての結合従属性のオブジェクトがBで表現可能であるわけではない。

［例１］ 図１のネットワーク構造Bの主オブジェクト、即ち表現される結合従属性を既約化すると*[AB,BCD,DEF]となる。図２で表されるBの関係Rel(B)は*[ABCD,DEF],*[ABDEF,BCD]も満足する。これらの結合従属性のオブジェクトのうち、ABCDは表現できるオブジェクトであるが、ABDEFは表現できない。□

主オブジェクトやBの部分ネットワーク構造B'に含まれる属性の集合 $U_{B'}$は表現可能なオブジェクトである。B'中のレコード型R(X)で、Rel(R)は関数従属性$K(R)\rightarrow A(A\in X)$を満足しているので、Rel(R)＝Rel(R)[X-A]*Rel(R)[K(R)A]である。従って$U_{B'}$-AもBが表現するオブジェクトと考えてよい。一般に、Bで表現できる

オブジェクトは次のようになる。

［定義５］ ネットワーク構造Ｂで表現可能なオブジェクトは、Ｂの部分ネットワーク構造Ｂ’で、$\cup K(R_i) \subseteq Z \subseteq U_{B'}$（$R_i$はＢ’に含まれるレコード型）となるＢ’が存在する属性集合Zである。□

Ｂで表現可能なオブジェクトは、次のように考えられる。親子集合型$\langle R_O, R_M \rangle$は、関数従属性$K(R_O) \rightarrow K(R_M)$を表すので、レコード型R(X)で$K(R) \rightarrow A$（$A \in X-K(R)$）を、レコード型R’(K(R)A)（キーはK(R)）を作り親子集合型$\langle R', R \rangle$で表す。Rの属性集合をX-Aとする。この操作をすべてのレコード型がキー以外の属性を含まなくなるまで繰り返したものをB^*とする。

［定理１］ ネットワーク構造Ｂで表現可能なオブジェクトは、B^*の部分ネットワーク構造$B^{*\prime\prime}$で、$Z = U_{B^{*\prime\prime}}$となる$B^{*\prime\prime}$が存在する属性集合Zである。□

（証明） Z がＢで表現可能なオブジェクトであれば、Ｂの部分ネットワーク構造Ｂ’で、$\cup K(R_i) \subseteq Z \subseteq U_{B'}$となるものが存在する。$B^*$で、Ｂ’のレコード型に対応するレコード型、および$Z - \cup K(R_i)$の属性のレコード型（$B^*$の定義より必ず存在する）からなる$B^*$の部分ネットワーク構造を$B^{*\prime\prime}$とすると、$Z = U_{B^{*\prime\prime}}$である。また、$B^*$の部分ネットワーク構造$B^{*\prime\prime}$で、$Z = U_{B^{*\prime\prime}}$となる$B^{*\prime\prime}$が存在すれば、Ｂのレコード型で$B^{*\prime\prime}$中のレコード型に対応するものからなるＢの部分ネットワーク構造Ｂ’では$\cup K(R_i) \subseteq Z \subseteq U_{B'}$（$R_i$はＢ’に含まれるレコード型）となるので、ZはＢで表現可能なオブジェクトである。（証明終り）

［例２］ 図１のネットワーク構造Ｂで、B^*は図３となる。これより、BC,BCDEなどが表現可能なオブジェクトであることが簡単に分かる。□

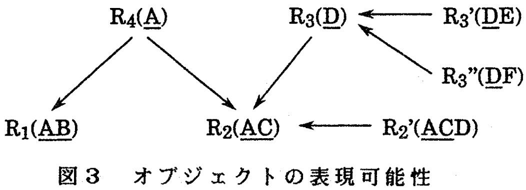


図３　オブジェクトの表現可能性

ZがＢで表現可能なオブジェクトであれば、Rel(Ｂ’)の$U_{B'}$-Zの属性を無視したものがRel(Ｂ)[Z]に等しくなるものが存在する。

４．利用者ビューとしてのオブジェクト

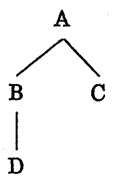
３節では、普遍関係が満たす結合従属性の要素としてのオブジェクトについて議論した。利用者からみれば、質問に関係する属性は意味的につながりのある属性集合、即ちオブジェクトである。また、関係を非正規化するとき、関係に構造を持たせるので、属性はなんらかの意味でまとまる、即ち非正規構造はオブジェクト集合を表現する。本節では、そのようなオブジェクトの性質について議論する。

バックマン線図Ｂで表されるネットワークスキーマの普遍関係$u(U_B) = Rel(B)$に対する質問$(u[X_S\,\theta\,'c'])[X_P]$を考える。この質問は、“$X_S$の値が'c'と比較演算子$\theta$の関係がある$X_P$の値を求めよ”というものである。これはRel(Ｂ)上、即ちＢの全てにわたって処理する必要はない。$Rel(B)[X_P X_S]$のみを考えればよく、$X_S X_P$がＢで表現可能なオブジェクトであればよい。また、ネットワークモデルでは、質問処理は組単位に行われるので、選択条件を満たすかどうかの検査が早い方がよい。X_Sの属性はかたまっていた方がよく、X_Sも表現可能なオブジェクトであることが望ましい。

非正規関係は、利用者に分かりやすいインタフェースとして注目を集めている。次に、Row-nest操作（等価的にGroup-by操作）を適用した非正規関係の生成可能性について議論する。非正規関係は従属性集合と対応している[5]が、ここではネットワーク構造の表すオブジェクト集合との対応を考察する。

関係R(X)に属性集合YによるRow-nest操作を適用したものは、X-Yが同じ値になる組集合をYの値を集合値にして１つの組としたものである。YによるGroup-by操作は、X-YによるRownest操作として定義される。非正規構造は次のような有向木T(V,E)で表すことができる。Vは属性集合に対応する節点の集合である。 節点v_1, v_2 ($\in V$) で$v_1 \neq v_2$であれば$v_1 \cap v_2 = \phi$である。 節点v を根とするTの部分木をT(v)で、T(v) に含まれる属性の集合を$U_{T(v)}$とする。枝<v_1, v_2>は、 $U_{T(v_1)}$上の部分関係に$U_{T(v_2)}$でのRow-nest操作を適用したことを表す。

[例3] 図4(a) は属性集合ABCD上の関係にBD,CでのRow-nest操作を適用し、さらにBDの部分関係にDでのRow-nest 操作を適用することを示している。 図4(b)はこの構造の非正規関係の例である。□



(a)

A	B	D	C
1	1 2	1 1	1
2	1	1 2	1 2

(b)

図4　非正規関係

次に、非正規関係構造のオブジェクトを定義し、ネットワーク構造での非正規構造の表現可能性を示す。

[定義6] 非正規関係の構造を表す有向木T(V,E)のオブジェクト集合を、OBJ(T)={Z | Tの根から節点v($\in$E)までの経路の属性集合} とする。□

有向木Tで表される非正規構造がネットワーク構造Bで表現可能であるためには、OBJ(T)の各要素がBで表現可能なオブジェクトでなければならない。これは関係R(X)で、$X_1, X_2, \cdots, X_n$でRow-nest操作を行った関係は、$\cup X_i$を無視すると、$R[X-\cup X_i]$に一致しなければならないためである。 図4(a)の非正規構造では、オブジェクト集合は {AB,ABD,AC} であるが、 図1 (a) のネットワーク構造では、 オブジェクトABDが表現可能でないので、図4(a)の非正規構造を表現できない。

5. ネットワークスキーマの設計

オブジェクト集合を表現可能なネットワークスキーマを設計する。まず、結合従属性のオブジェクトを表すスキーマを作る。

[定義] オブジェクト集合OBJの共通集合演算に関する閉包をOBJ^{i+}とする。OBJ^{i+}は、Z_1, Z_2($\in OBJ^{i+}$)に対し、$Z_1 \cap Z_2 = X(\neq \phi) \in OBJ^{i+}$, $OBJ \subseteq OBJ^{i+}$を満たす最小の集合である。□

Algorithm 1:オブジェクト集合OBJによるバックマン線図の作成

(1) OBJ^{i+}を求める。
(2) OBJ^{i+}の各要素Zに対し、節点X(X=Z)を作る。
(3) 節点X_1, X_2($X_1 \subseteq X_2$) で、$X_1 \subseteq X_3 \subseteq X_2$となる節点$X_3$が存在しなければ有向枝<$X_1, X_2$> を作る。
(4) 各節点XをレコードR(X)、各有向枝<X_1, X_2>を親子集合型<$R_1(X_1), R_2(X_2)$>とする。
(5) 一般にレコード型$R_i(X_i)$のキーはX_iであるが、関数従属性が与えられていればそれを用いてレコード型のキーを決定できる。キーが同じになるレコード型は併合する。□

オブジェクト集合が共通集合演算で閉じていれば、バックマン線図で同じ属性を含むレコード型をそれのみで連結となり、一貫性が保たれる。これによりレコード型の結合が実現される。

[例4] 結合従属性として*[AB,ACD,DEF] が与えられていたとき、 Algorithm 1の結果は図5となる。 さらに関数従属性集合{AC→D,D→EF} が与えられていれば、 ステップ(5)によりR2,R3のキーはそれぞれAC,Dとなり、 R3とR5の

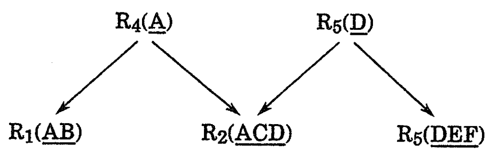


図5　結合従属性によるスキーマ設計

キーは同じになるので併合すると、 図1(a)となる。□

ネットワーク構造Bで表現できないオブジェクトZを表現可能にするために、 Bにレコード型，親子集合型を加える。一般に、X＝Zとなるレコード型R(X)を加え、 Zを含むBの表現可能なオブジェクトを与える部分ネットワーク構造B'で、Rel(B')[X]＝Rel(R) となるようにRを管理すればよい。しかし、B'が大きくなるとRの管理のためのコストが大きくなる。Algorithm 2は、Zを表現するためにBの部分構造を用い、部分構造が利用できないときのみにレコード型の付加を適用する。

Algorithm 2：オブジェクトZを表現可能にするためのバックマン線図Bの変換

(1) Zを含む属性集合で、Bで表現可能な極小のオブジェクトとなるものZ_mを求める。

(2) Zに含まれる属性集合で、 Bで表現可能な極大のオブジェクトとなるものの集合Max(Z)を求める。

(3) $Z' = Z_m - \cup \mathrm{Max}(Z)$とする。

(4) Z_mに含まれる属性集合で、Z'を被覆するBで表現可能な少なくとも1つの$\cup \mathrm{Max}(Z)$の属性を含む極小のオブジェクトとなるものの集合$\{Z_{mi}\}$を求める。

(5) $Z_{mi} \cap Z = Z_i$からなるレコード型$R_i(Z_i)$をBに加え、属性の包含関係などから親子集合型を加える。□

Z_{mi}をオブジェクトとする部分ネットワーク構造をB_{mi}とする。$\mathrm{Rel}(R_i)$は$\mathrm{Rel}(B_{mi})[Z_i]$に一致しなければならない。Max(Z)の要素をオブジェクトとする部分ネットワーク構造にR_iを加えたものは、Zをオブジェクトとする。

［例5］ 図1(a)のネットワーク構造で、ABDを表せるようにする。ABDを含む極小オブジェクトはABCDであり、 それは図6(a)の構造で表される。 ABDはネットワーク構造で表現されるオブジェクトABを含むので、ADからなるレコード型R_5(AD)を加えればよい。結果は図6(b)となり、 ABDからなる関係を加えた場合は図6(a)の部分ネットワーク構造の関係から得られるABD の値に一致させなければならないのに比べ、R_2のADに一致させるだけでよく、管理が簡単になる。□

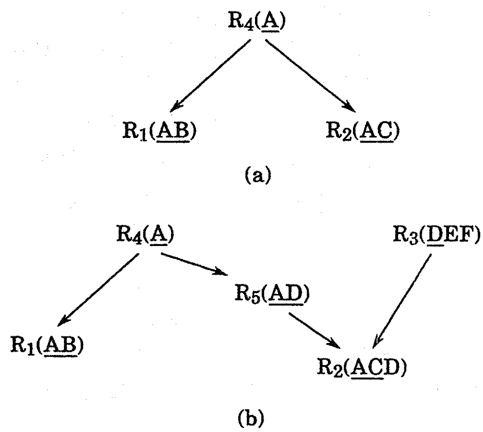


図6 オブジェクトの表現

［定理2］ Algorithm 2の結果で、$\mathrm{Rel}(R_i)=\mathrm{Rel}(B_{mi})[Z_i]$であれば、Zをオブジェクトとする構造B'で、 Rel(B')で$U_{B'}-Z$を無視したものは$\mathrm{Rel}(B_{Zm})[Z]$（B_{Zm}は、Z_mをオブジェクトとする部分ネットワーク構造）に等しい。□

（証明） Max(Z) に含まれるオブジェクトをZ_{Mj}、Z_{Mj}をオブジェクトとする部分ネットワーク構造をB_{Mj}とすると、 $\mathrm{Rel}(B_{Zm})=(*\mathrm{Rel}(B_{Mj}))*(*\mathrm{Rel}(B_{mi}))$である。 また、$\mathrm{Rel}(B')=(*\mathrm{Rel}(B_{Mj}))*(*\mathrm{Rel}(R_i))$であり、 $\mathrm{Rel}(R_i)=\mathrm{Rel}(B_{mi})[Z_i]$より、$\mathrm{Rel}(B')=(*\mathrm{Rel}(B_{Mj}))*(*(\mathrm{Rel}(B_{mi})[Z_i]))=(*\mathrm{Rel}(B_{Mj}))*((*\mathrm{Rel}(B_{mi}))[Z])$である。 B_{Mj}中にZ以外の属性が存在しえるが、 Z_{Mj}はB_{Mj}でオブジェクトとなるのでそれは無視したものは$\mathrm{Rel}(B_{Mj})[Z_{Mj}]$に一致する。 従って、 Rel(B')で$U_{B'}-Z$を無視したものは$(*(\mathrm{Rel}(B_{Mj})[Z_{Mj}]))*((*\mathrm{Rel}(B_{mi}))[Z])=(*\mathrm{Rel}(B_{Mj}))*(*\mathrm{Rel}(B_{mi}))[Z]=\mathrm{Rel}(B_{Zm})[Z]$である。（証明終り）

質問のオブジェクトはAlgorithm 2 で表現可能になる。しかし、非正規構造のオブジェクトに対しては、Algorithm 2 を用いることはできない場合がある。

[例6]　図6(b) のネットワーク構造では、図4(a)の非正規構造は表現可能でない。非正規構造に関係する部分は図7(a)であり、その実現値は図7(b)となる。ABDの値はR_1, R_4, R_5で求めなければならず、その非正規関係は図4(b)となり、もともと存在しなかった組2111, 2121 ができる。これは元の構造が結合従属性*[ABD,AC] を満足していないためである。図4(a)からCを除いた非正規構造を表現可能にするためにも同様に図6(b)となるが、この非正規構造については正しいデータを表す。□

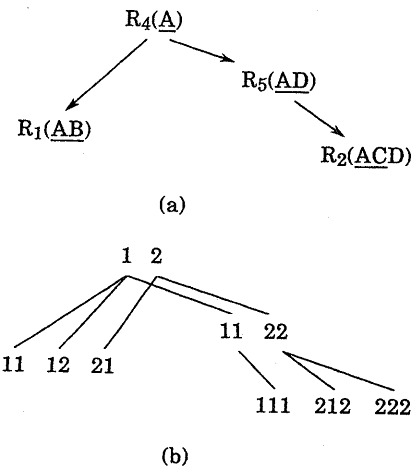


図7　非正規構造の表現可能性

非正規構造Tで、節点vの子を$v_1, v_2, \cdots, v_n$ ($n \geqq 2$) とする。オブジェクトX($X \cap U_{T(v_i)} \neq \phi, X \cap U_{T(v_j)} \neq \phi (i \neq j), X \cap v = \phi$)がBで表現可能でなければ、Algorithm 2によりその非正規構造を表すことができる。これは、Tでの枝分かれは、本質的に結合従属性でなければならないためである。

6. むすび

ネットワークスキーマとオブジェクト集合の対応について議論し、オブジェクト集合を用いたスキーマ設計法を示した。結合従属性により基本構造を設計し、質問のオブジェクトを表現できるように構造を加える。非正規構造は、結合従属性と矛盾しなければネットワーク構造で表現できる。

本稿では、関数従属性の影響については触れなかったが、それを考慮すると非正規構造が等価的に表現できるようになる場合もある。関係R(X)では、K(R)→Xの関数従属性があるので、RにXによるGroup-by操作を適用しても変化はない。図4(a)の非正規構造で、B→Dの関数従属性があれば、オブジェクトABが表現できなくてもABD,ACが表現可能であれば等価的にこの非正規構造は表現できる。

ネットワークモデルの特徴の1つとして、構造に冗長性を加え質問処理の効率化をはかっていることがあげられる。オブジェクトを表現可能にする変換もそのためのものである。冗長性をもつ一般的な構造について議論したのが、非冗長な構造で、結合従属性も非巡回のものに限ると定理やアルゴリズムも簡潔なものになる。

参考文献

1) Kuck,S.M. and Sagiv,Y., “Designing Globally Consistent Network Schemas”, Proc. ACM SIGMOD, pp.185-195, May 1983.
2) Lien,Y.E., “On the Equivalence of Database Models”, JACM, Vol.29, No.2, pp.333-362, April 1982.
3) Maier,D. and Ullman,J.D., “Maximal Objects and the Semantics of Universal Relation Databases”, ACM TODS, Vol.8, No.1, March 1983.
4) Sholl,M.H. and Scheck,H.-J. (ed.), Theory and Applications of Nested Relations and Complex Objects, Workshop Material, INRIA, April 1987.
5) 上林，田中，武田，矢島，“関係データベースにおける意味制約を反映した非正規関係の設計問題”，情報処理学会論文誌，第24巻，第6号，pp.877-885，1983年11月．
6) Ullman,J.D., Principles of Database Systems, 2nd Edition, Computer Science Press, 1983.