汎関係データベース・モデル ―――
データ・モデル，関係演算系，スキーマの汎化について

国藤 進，小林 要
（富士通・国際情報社会科学研究所）

〔概要〕 関係データベースの新しい概念モデルとして汎関係というデータベース・モデルを提案し，データ抽象化という見地からの汎関係の定式化を行い，汎関係上での関係演算系の性質を論じ，条件付従属という新概念を用いスキーマの汎化について考察した。

１． はじめに

1970年にCodd が関係モデル（ＲＭ）を提唱[1),6)]して以来，Codd モデルに対して種々の議論が投げかけられてきたが，それらは主として，次の二側面からなされた．すなわち，

（１） relational level ――→ data specification
（２） access-path level ――→ data realization

である． 前者に関してはデータ抽象化の問題が，後者に関しては正規化の問題が，特に活発に論議されている． Liskov ら[2)]が，高水準言語におけるデータ抽象化の必要性を喚起してから，関係データベース（ＲＤＢ）の世界にもデータのもつ意味論的世界を反映しやすいデータ構造を導入すべきだという意見が強まり，最近Smithら[3)]は，aggregation抽象化とgeneralization抽象化という注目すべきデータ抽象化の存在を指摘した． 前者はHoare[4)]の直積型データ構造，後者は直和型データ構造に対応するが，それらを用いて直接に対象を表現しようとしたため，階層的構成の仕方がかなり複雑となった． これら抽象化の要請の本質を洞察するに，対象から特定の視点で切り取られた実在たる与ＲＤＢのもつあらゆる条件を，明白に自然な形態で表現するにはいかにすべきかが問われているのに着目した． 他方，いわゆる正規化問題についてはSchmid ら[5)]の批判以来，多くの研究者によって議論されている． 関数従属（ＦＤ）に関するDelobel ら[7)]，Bernstein[8)]，Armstrong[9)]，上林[10)]，Rissanen[11)]，増永[12)]，竹島[33)]らの研究，多値従属（ＭＶＤ）に関するFagin[13)]，上林[16)]，牧之内[17)]らの研究が注目される． なかでも従属関係の理論の中に，場（context）の問題を持ち込んだFagin，上林のＭＶＤ研究は，一考に値する． これら従属関係の理論の立場からも，やはり条件付 られたＦＤ・ＭＶＤという概念を明らかにする必要性を喚起された。

上述の諸議論を踏まえて，われわれは複数のCodd の関係を，単一の関係に埋込む汎関係という 新しいＤＢモデルを構築した。 汎関係とはnull値を導入することによって複数の関係表を一枚の関係表のごとく見せるものであり，汎関係化することによって，大規模ＤＢの応用ユーザおよびＤＢ設計者の双方にとって，平坦かつ柔軟な見方を提供できる。 そのような種々の見地からのアクセスを可能にするため，われわれはタグ関係と条件付関係というデータ概念を導入した． タグ関係というのがSmithらのいうgeneralizeする時のカテゴリーの軸に相当し，特定のカテゴリーで切り取られた関係が条件付関係である． 更にわれわ

れは，スキーマの汎化に際して条件付ＦＤ，条件付ＭＶＤという概念を定式化した。 すなわち汎関係モデルの中心概念は，汎化および条件化である。

さて1962年にＣＯＤＡＳＹＬ[18]によって提起され，小林[19]によって拡張された情報代数モデルも，単一化された情報空間をもつという点では汎関係モデルと同じである。 いわば汎関係モデルは情報代数モデルの"関係"版であるが，より自然な条件化演算によりＡＮＳＩ／ＳＰＡＲＣでいう概念スキーマ・外部スキーマ・内部スキーマ間の橋渡しを円滑に行いうるし，また実際に実働化された椿のＤＰＬＳ[20]，弘原海のＧＥＯＤＡＳ[22]両システムの理論的ひな型としての機能をも果しうると考えられる。

2. データベース・モデル

2.1 null値の導入と汎化の概説

現実界を特定の人間（達）が特定の視座に従って切断し，われわれにとって理解可能なデータ構造上へ不完全ながら写像した時，われわれは多くの対象の反映としてのデータの塊り，すなわちデータ単体をもつ。 このようなデータ単体を計算機にとって表現可能なデータ構造上へ写像しデータ表現していく訳であるが，関係モデルでは正規化された表形式（，すなわち第一正規形）の関係に，データ単体を写像していく。 汎関係モデルでは複数の第一正規形の関係を，単一のフラットな第一正規形の関係へと汎化していく。 この汎化過程を手続き的に示すのはやさしいが，ここでは直観的に例示する。

H ::=

H#	HName	Manu.	Price	HQual.
H_1	A180	A	2000	25
H_2	B160	B	1500	20
H_3	B190	B	3000	30

SY ::=

H#	S#	SYQual
H_1	S_1	200
H_2	S_1	180
H_2	S_2	210
H_3	S_1	250
H_3	S_2	280

S ::=

S#	SName	SQual.
S_1	ŌSA	10
S_2	ŌSB	20

H : Hardware
S : Software
SY : SYstem

図1. 関係H－S－SY

G ::=

RelName	H#	HName	Manu.	Price	HQual.	S#	SName	SQual.	SYQual
H	H_1	A180	A	2000	25	Λ	Λ	Λ	Λ
H	H_2	B160	B	1500	20	Λ	Λ	Λ	Λ
H	H_3	B190	B	3000	30	Λ	Λ	Λ	Λ
S	Λ	Λ	Λ	Λ	Λ	S_1	ŌSA	10	Λ
S	Λ	Λ	Λ	Λ	Λ	S_2	ŌSB	20	Λ
SY	H_1	Λ	Λ	Λ	Λ	S_1	Λ	Λ	200
SY	H_2	Λ	Λ	Λ	Λ	S_1	Λ	Λ	180
SY	H_2	Λ	Λ	Λ	Λ	S_2	Λ	Λ	210
SY	H_3	Λ	Λ	Λ	Λ	S_1	Λ	Λ	250
SY	H_3	Λ	Λ	Λ	Λ	S_2	Λ	Λ	280

G : Generalized relation

Λ ="null value"

図2. 汎関係G

例題用RDBとして，図1のような三つの関係H，S，SYの実体が存在すると考える． この時，これらを同一の汎関係Gの中に埋込むと，図2のようになる． すなわち新しくRel. Nameという属性を仮定し，そこに対応する関係の（実体でなく）名前H，S，SYを放り込み，元の表形式データもあるがままに放り込み，それ以外の所には今迄に使用されていない特殊記号Λ（<u>null値</u>）を割当てるのが自然である．

- データ
  - 既獲得
  - 未獲得
    - 獲得可能•
    - 獲得不可能
      - 概念的定義不可能•
      - 概念的存在可能•
      - 概念的存在不可能•

図3． null値の多義性（•印：null値の候補）

汎関係におけるnull値Λは，図3の•印のごとく種々の解釈が可能である．情報代数においてもⒽ（Missing, relevant but not known）とΩ（Undefined, not relevant）の区別が重要である． 多義なΛを解釈する問題は，汎関係DBの利用法に依存するので，その利用時においてΛの多義性を識別し取扱うデータ操作言語（dml）を提供すればよい． 本小論では，Λの単一の解釈のみを許容するデータ定義言語（ddl），dmlを構成することにする．

2．2 汎関係の定式化

前節のモデルを正当化し，実存するデータを順序対〈属性，値〉（この「値」は，正確にいうと現実の世界の「量」[23]である．）の集まりとみなす立場に徹し，汎関係の定式化を行う．

〈定義1〉 唯一の共通元がnull値Λのみであるような，互いに異なる空でない集合 Δ_i （$i=1..p$）の族を<u>基本型集合</u>（base type set） $\Delta \triangleq \{\Delta_1, \cdots, \Delta_p\}$ と呼ぶ． すなわち，

$\forall i\, \forall j\, ((i, j \in \{1, \cdots, p\}) \wedge (i \neq j) \Rightarrow \Delta_i \cap \Delta_j = \{\Lambda\})$． ■

ここに「量」の変換を行わない通常のAlgol系言語においては，Δ_iの候補としてinteger，real，Boolean，string等が考えられる．

〈定義2〉 一意識別可能な属性 a_i （$i=1..N$）をもち，Δのある元を値とするような集合 $\mathfrak{D}_i$ を定義域と呼ぶ． ■

ここにNはありとあらゆる可能な属性を含むよう十分大きな値をとることが要請される． すなわち理論上は非可算無限個の属性を内包しえることが要請されるが，実用上は応用ユーザ特有の視座で切断した属性を内包しえるだけの濃度があればよい．

〈定義3〉 全属性集合 $\mathfrak{A} \triangleq \{a_1, \cdots, a_N\}$ 上の属性識別子 $\mathfrak{a}$ は，次のように定義される：

$$\mathfrak{a} \triangleq \begin{cases} (a_{i_1}, a_{i_2}, \cdots, a_{i_n}) & \text{ただし } 1 \leq n \leq N,\ a_{i_j} \in \mathfrak{A}\ (j \in \{1, \cdots, n\}, \\ & i_j \in \{1, \cdots, N\},\ (j \neq j' \Rightarrow a_{i_j} \neq a_{i_{j'}})), \\ () & \text{さもなくば．（空属性識別子）} \end{cases}$$ ■

〈定義4〉 定義域 $\mathfrak{D}_{i_1}, \cdots, \mathfrak{D}_{i_n}$ 上のn項直積，n項関係，n項組はそれぞれ順序対（$\mathfrak{a}^n, \mathfrak{C}^n$），（$\mathfrak{a}^n$, R），（$\mathfrak{a}^n, \mathbf{r}$）（ただし $\mathfrak{a}^n = (a_{i_1}, \cdots, a_{i_n})$，$\mathfrak{C}^n \triangleq \mathfrak{D}_{i_1} \times \cdots \times \mathfrak{D}_{i_n}$，$R \subset \mathfrak{C}^n$，$\mathbf{r} \in \mathfrak{C}^n$）で定義される． ■

ここに（Λ，…，Λ）および（$\mathfrak{a}^r$, {（Λ，…，Λ）}）はそれぞれnull組，

null関係と呼ばれる．

〈定義5〉　順序対（$\mathcal{A}^N$, $\mathcal{C}^N$），（$\mathcal{A}^N$, G），（$\mathcal{A}^N$, $\mathfrak{g}$）（ただし　$\mathcal{A}^N$ =（a_{i_1}, …, a_{i_N}），$\mathcal{C}^N \triangleq \mathcal{D}_{i_1} \times \cdots \times \mathcal{D}_{i_N}$, $G \subset \mathcal{C}^N$, $\mathfrak{g} \in \mathcal{C}^N$）のそれぞれを特に汎直積，汎関係，汎組と呼び，しばしば$\mathcal{C}^N$, G，$\mathfrak{g}$と略記する．■

以上の諸定義により汎関係G（generalized relation）におけるDB汎化の視野（scope）として，単一の$\mathcal{A}$の中で考察していることになる．

3．関係演算系

3．1　タグ関係と条件付関係

G上の関係代数系として，まず次のような関係演算を導入する．

〈定義6〉　n項組（$\mathcal{A}^n$, $\mathbb{r}$），n項関係（$\mathcal{A}^n$, R）の属性識別子$\mathcal{A}^m$による射影はそれぞれ次のように定義される：

$$(\mathcal{A}^m, \mathbb{r}.\mathcal{A}^m) \triangleq \begin{cases} (\mathcal{A}^m, (r_{i'_1}, \cdots, r_{i'_m})) & \text{ただし}\quad 1 \leq m \leq n,\ \forall j (a_{i'_j} \in \{a_{i_1}, \cdots, a_{i_n}\}), \\ (\mathcal{A}^m, (\ )) & \text{さもなくば.} \end{cases}$$

（$\mathcal{A}^m$, R[$\mathcal{A}^m$]）≜（$\mathcal{A}^m$, {$\mathbb{r}.\mathcal{A}^m$ | $\mathbb{r} \in R$}）．■

〈定義7〉　n項関係（$\mathcal{A}^n$, R）の条件値（conditioning value）$\mathbb{d}^m \triangleq (d_{i'_1}, \cdots, d_{i'_m})$（$\forall j$（$j \in \{1, \cdots, m\} \Rightarrow d_{i'_j} \in \mathcal{D}_{i'_j}$）によって条件付られた部分関係（sub-relation），条件付関係（conditioned relation），タグ関係（tag relation）はそれぞれ次のように定義される：

（$\mathcal{A}^n$, R[$\mathcal{A}^n$ | $\mathcal{A}^m = \mathbb{d}^m$]）≜（$\mathcal{A}^n$, {$\mathbb{r}$ |（$\mathbb{r} \in R$）∧（$\mathbb{r}.\mathcal{A}^m = \mathbb{d}^m$）}），

（$\mathcal{A}^n - \mathcal{A}^m$, R[$\mathcal{A}^n - \mathcal{A}^m$ | $\mathcal{A}^m = \mathbb{d}^m$]）≜（$\mathcal{A}^n - \mathcal{A}^m$,（R[$\mathcal{A}^n$ | $\mathcal{A}^m = \mathbb{d}^m$]）[$\mathcal{A}^n - \mathcal{A}^m$]），

（$\mathcal{A}^m$, R[$\mathcal{A}^m = \mathbb{d}^m$]）≜（$\mathcal{A}^m$,（R[$\mathcal{A}^n$ | $\mathcal{A}^m = \mathbb{d}^m$]）[$\mathcal{A}^m$]）．■

しからば，条件付関係とタグ関係の直積の直和が部分関係の直和となり，それらが元の関係Rを構成するという性質が成立する．

〈　性質1　〉　　　　　　　　（$\Sigma\oplus$：Hoareの意味の直和）

$$R[\mathcal{A}^n] = \sum_{\mathbb{d}^m \in \mathcal{C}^m}^{\oplus} R[\mathcal{A}^n \mid \mathcal{A}^m = \mathbb{d}^m] = \sum_{\mathbb{d}^m \in \mathcal{C}^m}^{\oplus} R[\mathcal{A}^n - \mathcal{A}^m \mid \mathcal{A}^m = \mathbb{d}^m] \times R[\mathcal{A}^m = \mathbb{d}^m].$$ ■

3．2　θ－比較可能性による条件付演算

定義域間の演算の妥当性を検査するためθ－比較可能性という概念を導入し，それを用いた条件付関係演算を定義する．

〈定義8〉　必ずしも異ならない定義域$\mathcal{D}_{i_1}$, $\mathcal{D}_{i_2}$（∈{$\mathcal{D}_1$, …, $\mathcal{D}_N$}）に対して，それらの基本型$\Delta_{j_{i_1}}$, $\Delta_{j_{i_2}}$（∈Δ）が同一である場合のみ1次元θ－比較演算が，次のように定義される．それ以外の場合，演算は"未定義"である．

（ｉ）　$\Delta_{j_{i_1}}$（$= \Delta_{j_{i_2}}$）上において，θとして同値関係を許容する場合，任意のd_{i_1}（$\in \mathcal{D}_{i_1}$），d_{i_2}（$\in \mathcal{D}_{i_2}$）に対して，"$d_{i_1}\,\theta\,d_{i_2}$"はtrueあるいはfalseである．

（ii）　$\Delta_{j_{i_1}}$（$= \Delta_{j_{i_2}}$）上において，θとして順序関係も許容する場合，次のどちらかが成立する．

（ii－1）　任意のd_{i_1}（$\in \mathcal{D}_{i_1} - \{\Lambda\}$），$d_{i_2}$（$\in \mathcal{D}_{i_2} - \{\Lambda\}$）に対して，"$d_{i_1}\,\theta\,d_{i_2}$"はtrueあるいはfalseである．

（ⅱ－ⅱ）　それ以外の場合，"$d_{i_1}\theta d_{i_2}$"は"未定義"である．

全く同様に$\Theta \triangleq (\theta_1, \cdots, \theta_m)$に対する$m$次元$\Theta$－比較演算"$\mathbf{d}_i^m \Theta \mathbf{d}_{i'}^m$"を，次のように定義する：

$\mathbf{d}_i^m \Theta \mathbf{d}_{i'}^m \ \triangleq\ (d_{i_1}\theta_1 d_{i'_1}) \wedge \cdots \wedge (d_{i_m}\theta_m d_{i'_m})$． ■

ここでの"未定義"は演算結果の未定義なのでΛと区別すべきであり，それに対するブール演算は別途，目的に応じ定義されるべきである．

〈定義９〉　n項関係$(\mathbf{a}^n, R)$，属性識別子$\mathbf{a}_i^m, \mathbf{a}_{i'}^m\ (\subset \mathbf{a}^n)$，比較演算子$\Theta$が与えられ，$\mathbf{a}_i^m, \mathbf{a}_{i'}^m$が$\Delta$に関し$\Theta$－比較可能ならば，$\Theta$部分関係・$\Theta$条件付関係・$\Theta$タグ関係はそれぞれ次のように定義される：

$(\mathbf{a}^n, R[\mathbf{a}^n \mid \mathbf{a}_i^m \Theta \mathbf{a}_{i'}^m]) \triangleq (\mathbf{a}^n, \{\mathbb{r} \mid (\mathbb{r} \in R) \wedge (\mathbb{r}.\mathbf{a}_i^m \Theta \mathbb{r}.\mathbf{a}_{i'}^m)\})$,

$(\mathbf{a}^n - \mathbf{a}_i^m, R[\mathbf{a}^n - \mathbf{a}_i^m \mid \mathbf{a}_i^m \Theta \mathbf{a}_{i'}^m]) \triangleq (\mathbf{a}^n - \mathbf{a}_i^m, (R[\mathbf{a}^n \mid \mathbf{a}_i^m \Theta \mathbf{a}_{i'}^m])[\mathbf{a}^n - \mathbf{a}_i^m])$,

$(\mathbf{a}_i^m, R[\mathbf{a}_i^m \Theta \mathbf{a}_{i'}^m]) \triangleq (\mathbf{a}_i^m, (R[\mathbf{a}^n \mid \mathbf{a}_i^m \Theta \mathbf{a}_{i'}^m])[\mathbf{a}_i^m])$． ■

３．３　汎関係上の集合演算

〈定義10〉　G上の任意の関係$(\mathbf{a}_i^m, R)$，$(\mathbf{a}_{i'}^m, R')$に対して，和集合・共通集合・差集合という集合演算はそれぞれ次のように定義される：

$(\mathbf{a}^N, R \cup R') \triangleq (\mathbf{a}^N, \{\mathbb{g} \mid (\mathbb{g} \in G) \wedge ((\mathbb{g}.\mathbf{a}_i^m \in R) \vee (\mathbb{g}.\mathbf{a}_{i'}^m \in R'))\})$,

$(\mathbf{a}^N, R \cap R') \triangleq (\mathbf{a}^N, \{\mathbb{g} \mid (\mathbb{g} \in G) \wedge (\mathbb{g}.\mathbf{a}_i^m \in R) \wedge (\mathbb{g}.\mathbf{a}_{i'}^m \in R')\})$,

$(\mathbf{a}^N, R - R') \triangleq (\mathbf{a}^N, \{\mathbb{g} \mid (\mathbb{g} \in G) \wedge (\mathbb{g}.\mathbf{a}_i^m \in R) \wedge (\mathbb{g}.\mathbf{a}_{i'}^m \notin R')\})$． ■

３．４　汎関係上の導出関係

汎関係G上の関係代数の性質を明示するため〈定義11〉～〈定義14〉を準備する．

〈定義11〉　$\mathcal{D}_{i_j}\ (\in \{\mathcal{D}_1, \cdots, \mathcal{D}_N\},\ j = 1..n)$を$n$個の異なる定義域とする．それらの部分集合$\mathbb{D}_{i_j}\ (\subset \mathcal{D}_{i_j})$から成る集合$\{\mathbb{D}_{i_1}, \cdots, \mathbb{D}_{i_n}\}$より，必ずしも異ならない$m$個の集合$\mathbb{D}_{i_{j_k}}\ (k = 1..m)$を取出す．　この時，<u>関係直積</u>$\prod_{k=1}^{m}{}^{\otimes}(a_{i_{j_k}}, \mathbb{D}_{i_{j_k}})$は次のように定義される：

（ｉ）　$\exists k\ (k \in \{1, \cdots, m\}) \wedge (\mathbb{D}_{i_{j_k}} = \{\Lambda\})$なら，対応する定義域は全て縮約される．

（ⅱ）　$\exists k_1 \exists k_2\ (k_1, k_2 \in \{1, \cdots, m\}) \wedge (k_1 \neq k_2) \wedge (j_{k_1} = j_{k_2})$なら，一意識別可能な属性を手がかりに対応する定義域は互いに単一化される．

（ⅲ）　それ以外の場合，演算子"$\otimes$"は演算子"$\times$"に置換される． ■

〈定義12〉　関係直積$\prod_{k=1}^{m}{}^{\otimes}(a_{i_{j_k}}, \mathbb{D}_{i_{j_k}})$を$\prod_{j=1}^{n}{}^{\otimes}(a_{i_j}, \mathbb{D}_{i_j})$内に埋込まれた部分空間と呼び，$\prod_{k=1}^{m}{}^{\otimes}(a_{i_{j_k}}, \mathbb{D}_{i_{j_k}}) \mathrel{\widehat{\subseteq}} \prod_{j=1}^{n}{}^{\otimes}(a_{i_j}, \mathbb{D}_{i_j})$と表記する． ■

〈定義13〉　埋込み部分空間$\prod_{k=1}^{m}{}^{\otimes}(a_{i_{j_k}}, \mathbb{D}_{i_{j_k}})$が$l$項直積$(\mathbb{b}^l, \mathbb{D}^l)$（ただし$l \leq m$，$\mathbb{b}^l = (b_1, \cdots, b_l)$，$\mathbb{D}^l = \mathbb{D}_1 \times \cdots \times \mathbb{D}_l\ (\forall i,\ \mathbb{D}_i \in \{\mathbb{D}_{i_1}, \cdots, \mathbb{D}_{i_n}\})$）に還元され，しかも$R \subset \mathbb{D}^l$とする．　この時$(\mathbb{b}^l, R)$を$\prod_{j=1}^{n}{}^{\otimes}(a_{i_j}, \mathbb{D}_{i_j})$内に<u>埋込まれた部分関係</u>と呼び，$(\mathbb{b}^l, R) \mathrel{\widehat{\subseteq}} \prod_{j=1}^{n}{}^{\otimes}(a_{i_j}, \mathbb{D}_{i_j})$と表記する． ■

〈定義14〉　汎関係G上の<u>導出関係</u>は，次のように帰納的に定義される：

（ｉ）　汎関係$(\mathbf{a}^N, G)$は導出関係である．

（ⅱ）　n項関係$(\mathbf{a}_i^n, R)$が導出関係なら，その射影・部分関係・条件付関係・タグ関係・Θ部分関係・Θ条件付関係・Θタグ関係も導出関係である．

（iii） n項関係（a_i^n，R），m項関係（a_i^m，R'）が導出関係なら，それらの和集合・共通部分・差集合も導出関係である． ■

以上の諸準備の下，Gに対する検索処理系・更新処理系に対して，次の二命題が成立することが証明された．

＜ 命題1 ＞　　汎関係G上の任意の導出関係は，関係直積（a^N, $\prod_{i=1}^{N}\otimes G[(a_i)]$）内に埋込まれた部分関係となる． ■

＜ 命題2 ＞　　汎関係Gが時間t（$\in T$）と共に変動したとしても，その上の任意の導出関係は，関係直積（a^N, $\prod_{i=1}^{N}\otimes \bigcup_{t\in T} G_t[(a_i)]$）内に埋込まれた部分関係である． ■

3．5　Coddの関係代数系との比較

$R_1,\cdots,R_L$をCoddの意味の関係とし，それらの関係名を$N_1,\cdots,N_L$とする．

これらの関係を汎関係Gに埋込むため，次の要請をする．

＜要請1＞　　$\exists r\,((r\in\{1,\cdots,N\})\wedge(\forall i\,(i\in\{1,\cdots,L\}\Rightarrow N_i\in\mathcal{D}_r))\wedge(\exists s\,((s\in\{1,\cdots,N\})\wedge(s\neq r)\wedge\neg(\forall j\,(j\in\{1,\cdots,L\}\Rightarrow N_j\in\mathcal{D}_s)))))$. ■

この要請は，ユニークな関係名定義域の存在の仮定である．　しからば，次の性質が存在する．

＜ 性質2 ＞　　任意のℓ（$\in\{1,\cdots,L\}$）に対して，

$(a_{N_\ell}, R_{N_\ell}) = (a_{N_\ell}, \{g.a_{N_\ell} \mid (g\in G)\wedge(g.(a_r)=N_\ell)\})$. ■

Coddの関係代数系の基本演算である射影・商・θ制約・θ結合と汎関係上の基本演算との対応関係を表示すると表1・表2のようになる．

	Our relational operation	Codd's relational operation
projection	R[a]	R[a]
conditioning	R[a|b=d]	(R[a])[b÷b]{d}x{d}
	R[a-b|b=d]	(R[a])[b÷b]{d}
	R[b=d]	{d}
θ-conditioning	R[a|bθc]	(R[bθc])[a]
	R[a-b|bθc]	(R[bθc])[a-b]
	R[bθc]	(R[bθc])[b]

表1．汎関係上の関係演算のCoddの関係代数系による表現

	Codd's operation	Its representation by our notation
projection	$R_1[a_1]$	$\{r.a_1 \mid (r\in G)\wedge(r.(a_r)=N_1)\}$
division	$R_1[a_1\div a_2]R_2$	$\{r.(a_{N_1}-a_1) \mid (r\in G)\wedge(r.(a_r)=N_1)\wedge(G[a_2 \mid a_r=N_2]\subset g_{R_1}(r.(a_{N_1}-a_1)))\}$ where $g_{R_1}(r.(a_{N_1}-a_1))=\{r.a_1 \mid r.a_{N_1}\in G[a_{N_1} \mid a_r=N_1]\}$
θ-restriction	$R_1[a_1\theta a_1']$	$\{r.a_{N_1} \mid (r\in G)\wedge(r.(a_r)=N_1)\wedge(r.a_1\theta r.a_1')\}$
θ-join	$R_1[a_1\theta a_2]R_2$	$\{(r.a_{N_1}\frown r'.a_{N_2}) \mid (r\in G)\wedge(r.(a_r)=N_1)\wedge(r'\in G)\wedge(r'.(a_r)=N_2)\wedge(r.a_1\,\theta\, r'.a_2)\}$

表2．Coddの関係代数系の汎関係論理系表現

また次のような性質が存在する．

＜ 性質3 ＞　　G上の関係代数系は，θ結合演算欠如のため関係完備でないが，自然な結合演算に関しては関係完備である． ■

3．6　応用ユーザに対する見え方

Vehicle ::=

ID#	Manu.	Price	Weight	Medium category	Propulsion category
ID_1	Mazda	65.4	10.5	land	motorized
ID_2	Schwin	3.5	0.1	land	man powered
ID_3	Boeing	7900.	840.	air	motorized
ID_4	Aqua Co.	12.2	1.9	water	wind propelled
ID_5	Gyro Inc.	650.	150.	air	motorized

図4．　乗物ＤＢ

Smithらのデータ抽象化と比較するため図5に示されるような乗物のカテゴリー樹を考える。このVehicleＤＢの実現値が図4で示されているとする。この時，彼らのgeneralization抽象化の見方でカテゴリーmotorizedを見ると，図6のような表が与えられる。すなわちカテゴリー化されたＤＢは，もとのＤＢのrefinementとなっている

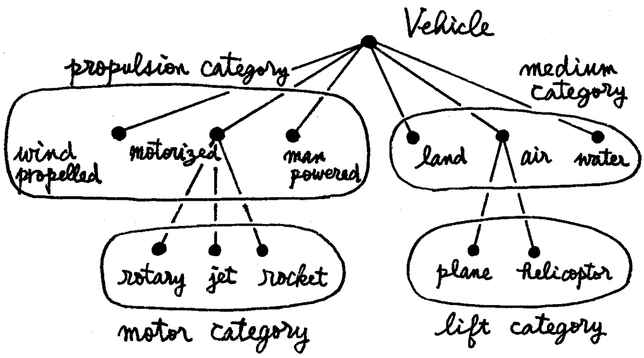


図5．　乗物カテゴリー

Motorized vehicle ::=

ID#	Manu.	Price	Weight	Horse power	Fuel capacity	Motor category
ID_1	Mazda	65.4	10.5	150	300	rotary
ID_3	Boeing	7900.	840.	9600	2600	jet
ID_5	GyroInc.	650.	150.	1500	2000	rotary

図6．　原動機付乗物

ID#: iden. num.	M: manu-facturer	P: price 10000¥	W: weight kg	HP: horse power HP	FC: fuel capac-ity l	MA: max. alti-tude m	TD: take-off dist. m	LC: lift cate-gory	MTC: motor cate-gory	MC: medium cate-gory	PC: propul-sion cat-egory
V1	Bell	11000	617	317	290	5200	0	heli-copter	turbine	air	motorized
V2	Tokyu Car	6000	28000	190	Λ	Λ	Λ	Λ	elec. motor	land	motorized
V3	Bridge-stone	4.6	20	Λ	Λ	Λ	Λ	Λ	Λ	land	man powered
V4	Toyota	95.5	1205	90	50	Λ	Λ	Λ	piston	land	motorized
V5	Yamaha	61	175	Λ	Λ	Λ	Λ	Λ	Λ	water	wind propelled
V6	Cessna	1500	580	150	160	4000	465	plane	piston	air	motorized
V7	Nippon Univ.	195	37	Λ	Λ	3	20	plane	Λ	air	man powered

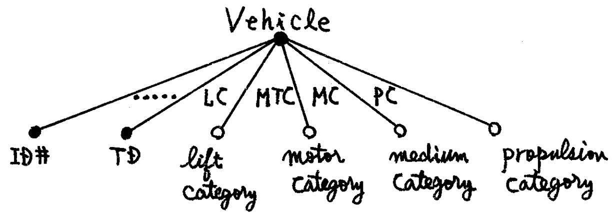
図7．　汎関係VehicleＤＢ

```
define relation as power set of
  record ID#: identification number;
            M: manufacturer;
            P: price;
            W: weight;
      tag MC: medium category;
      tag PC: propulsion category;
    case MC of air:
         record MA: maximum altitude;
                    TD: take-off distance;
              tag LC: lift category
         end record
    end case;
    case PC of motorized:
         record HP: horse power;
                    FC: fuel capacity;
             tag MTC: motor category
         end record
    end case
  end record
```

図8．　VehicleＤＢに対するデータベース宣言例

他方，同様のVehicleＤＢを汎関係表現すると図7のようになる。この汎関係ＤＢを，Pascal-like ddlでデータ定義すると図8のようになる。ここにタグ関係・条件付関係はtag宣言とcase構文で示してあるが，

Medium category，Propulsion categoryはそれぞれMC＝air，PC＝motorizedの場合しか例示していない。　また図7の模式表現が図9であり，図5と比較すれば分るように，汎関係表現は最も洗練（refinment）されたDBであり，かつ属性間のつながりが，階層的でなく平坦である。



$\mathcal{D}_{LC} = \{\Lambda, \text{plane}, \text{helicopter}\}$,
$\mathcal{D}_{MTC} = \{\Lambda, \text{turbin}, \text{elec.motor}, \text{piston}\}$,
$\mathcal{D}_{MC} = \{\Lambda, \text{air}, \text{land}, \text{water}\}$,
$\mathcal{D}_{PC} = \{\Lambda, \text{motorized}, \text{man powered}, \text{wind propelled}\}$.

図9．　汎関係における属性の構造と各属性に対応する定義域

汎関係VehicleDBに対するデータ定義（図8）において，タグの張られている属性MC（medium category）に注目する。　属性MCの条件値land，waterによる条件付関係が，図10の（a），（b）である。　更にそれらから，図8のデータ宣言に従って，属性のフィルタリングを行った結果が，図11である。

ID#: iden. num.	M: manu-facturer	P: price 10000¥	W: weight kg	HP: horse power HP	FC: fuel capac-ity l	MA: max. alti-tude m	TD: take-off dist. m	LC: lift cate-gory	MTC: motor cate-gory	PC: propul-sion cat-egory	
V2	Tokyu Car	6000	28000	190	Λ	Λ	Λ	Λ	elec. motor	motorized	
V3	Bridge-stone	4.6	20	Λ	Λ	Λ	Λ	Λ	Λ	man powered	(a) Conditioned by MC=land
V4	Toyota	95.5	1205	90	50	Λ	Λ	Λ	piston	motorized	
V6	Yamaha	61	175	Λ	Λ	Λ	Λ	Λ	Λ	wind propelled	(b) Conditioned by MC=water

図10．　medium categoryによる条件付関係

ID#: iden. num.	M: manu-facturer	P: price 10000¥	W: weight kg	HP: horse power HP	FC: fuel capac-ity l	MTC: motor cate-gory	PC: propul-sion cat-egory	
V2	Tokyu Car	6000	28000	190	Λ	elec. motor	motorized	
V3	Bridge-stone	4.6	20	Λ	Λ	Λ	man powered	(a) for MC=land
V4	Toyota	95.5	1205	90	50	piston	motorized	
V6	Yamaha	61	175	Λ	Λ	Λ	wind propelled	(b) for MC=water

図11．　条件付関係のddlによるフィルタリング

4．　スキーマの汎化

4．1　関係スキーマにおける従属関係の理論

ＲＤＢの関係スキーマに関する中心的課題は，完全性規約（integrity constraint）の一種であるＦＤ・ＭＶＤ等をア・プリオリに与え，これらと妥当な推論規則を用い，種々の正規化条件を満足するようにＲＤＢを分解し設計する指針を与えることである。　これにより正規化に伴う冗長性を防ぎ更新不整合が起らないような分解法を与えると言われている。　しかしながら現在までに議論された従属関係の理論5)～17)においては，ＦＤ・ＭＶＤの推論規則を別個のものとして扱っているので，上林16)らの指摘した場の問題が明示されておらず，種々の議論を惹起している。　本節では，汎関係上でスキーマをどのように保存するかに

ついて考察した結果，RDBの合成に伴うFD・MVDの保存という立場から，属性の値の存在する場を明示する必要性を指摘し，新しく条件付関数従属（CFD）・条件付多値従属（CMVD）という概念を形式化し，従属関係の理論における"場の発生と消滅"の問題の部分的解決を試みるものである．

4．2　条件付従属関係の定式化

〈定義15〉　関係の族$\mathcal{R}$が次のような条件を満足する時，与えられた場の条件（定義域）$\mathscr{D}_{\mathbb{X}}$, $\mathscr{D}_{\mathbb{Y}}$において属性識別子$\mathbb{X}$が属性識別子$\mathbb{Y}$に条件付関数従属するといい，$(\mathbb{X}\xrightarrow{\mathcal{R}}\mathbb{Y}/\mathscr{D}_{\mathbb{X}},\mathscr{D}_{\mathbb{Y}})$と表記する：

$\forall R(R\in\mathcal{R}\Rightarrow\forall\rho,\rho'(\rho,\rho'\in R\Rightarrow\forall\alpha((\alpha\in\mathscr{D}_{\mathbb{X}})\wedge(\rho.\mathbb{X}=\alpha)\wedge(\rho'.\mathbb{X}=\alpha)$
$\Rightarrow\exists\beta((\beta\in\mathscr{D}_{\mathbb{Y}})\wedge(\rho.\mathbb{Y}=\beta)\wedge(\rho'.\mathbb{Y}=\beta))))).$ ■

〈定義16〉　関係の族$\mathcal{R}$が次のような条件を満足する時，与えられた場の条件（定義域）$\mathscr{D}_{\mathbb{X}}$, $\mathscr{D}_{\mathbb{Y}}$, $\mathscr{D}_{\mathbb{Z}}$において属性識別子$\mathbb{X}$が属性識別子$\mathbb{Y}$と$\mathbb{Z}$に条件付多値従属するといい，$(\mathbb{X}\overset{\mathcal{R}}{\twoheadrightarrow}\mathbb{Y}\mid\mathbb{Z}/\mathscr{D}_{\mathbb{X}},\mathscr{D}_{\mathbb{Y}},\mathscr{D}_{\mathbb{Z}})$と表記する：

$\forall R(R\in\mathcal{R}\Rightarrow\forall\rho,\rho'(\rho,\rho'\in R\Rightarrow\forall\alpha((\alpha\in\mathscr{D}_{\mathbb{X}})\wedge(\rho.\mathbb{X}=\alpha)\wedge(\rho'.\mathbb{X}=\alpha)$
$\Rightarrow\exists\rho'',\rho''',\beta,\beta',\gamma,\gamma'((\rho'',\rho'''\in R)\wedge(\beta,\beta'\in\mathscr{D}_{\mathbb{Y}})\wedge(\gamma,\gamma'\in\mathscr{D}_{\mathbb{Z}})$
$\wedge(\rho''.\mathbb{X}=\rho'''.\mathbb{X}=\alpha)\wedge(\rho''.\mathbb{Y}=\rho.\mathbb{Y}=\beta)\wedge(\rho'''.\mathbb{Y}=\rho'.\mathbb{Y}=\beta')\wedge(\rho''.\mathbb{Z}=\rho'.\mathbb{Z}=\gamma'$
$)\wedge(\rho'''.\mathbb{Z}=\rho.\mathbb{Z}=\gamma))))).$ ■

さて二変数述語$m(r,s)$（$\triangleq r\in s$）と三変数述語$e(r,\mathbb{V},v)$（$\triangleq r.\mathbb{V}=v$）を導入し，上記CFD・CMVDの定義を置換すれば，次のようになる．

〈定義15′〉　$\forall R,\rho,\rho',\alpha\exists\beta(m(R,\mathcal{R})\wedge m(\rho,R)\wedge m(\rho',R)$
$\wedge m(\alpha,\mathscr{D}_{\mathbb{X}})\wedge e(\rho,\mathbb{X},\alpha)\wedge e(\rho',\mathbb{X},\alpha)\Rightarrow m(\beta,\mathscr{D}_{\mathbb{Y}})\wedge e(\rho,\mathbb{Y},\beta)\wedge e(\rho',\mathbb{Y},\beta)).$ ■

〈定義16′〉　$\forall R,\rho,\rho',\alpha\exists\rho'',\rho''',\beta,\beta',\gamma,\gamma'(m(R,\mathcal{R})$
$\wedge m(\rho,R)\wedge m(\rho',R)\wedge m(\alpha,\mathscr{D}_{\mathbb{X}})\wedge e(\rho,\mathbb{X},\alpha)\wedge e(\rho',\mathbb{X},\alpha)\Rightarrow m(\rho'',R)\wedge m(\rho''',R)$
$\wedge m(\beta,\mathscr{D}_{\mathbb{Y}})\wedge m(\beta',\mathscr{D}_{\mathbb{Y}})\wedge m(\gamma,\mathscr{D}_{\mathbb{Z}})\wedge m(\gamma',\mathscr{D}_{\mathbb{Z}})\wedge e(\rho,\mathbb{Y},\beta)\wedge e(\rho,\mathbb{Z},\gamma)\wedge e(\rho',\mathbb{Y},$
$\beta')\wedge e(\rho',\mathbb{Z},\gamma')\wedge e(\rho'',\mathbb{X},\alpha)\wedge e(\rho'',\mathbb{Y},\beta)\wedge e(\rho'',\mathbb{Z},\gamma')\wedge e(\rho''',\mathbb{X},\alpha)\wedge e(\rho''',\mathbb{Y},\beta')$
$\wedge e(\rho''',\mathbb{Z},\gamma)).$ ■

4．3　条件付従属関係の性質とその汎関係上での保存

場の条件$\mathscr{D}_{\mathbb{X}}$，$\mathscr{D}_{\mathbb{Y}}$，$\mathscr{D}_{\mathbb{Z}}$は関係の族$\mathcal{R}$と独立に与えうる．そこで$\mathcal{R}$を先験的に与え，$\mathcal{R}$に依存する固定された場をそれぞれ次のようにして構成する：

$$\mathscr{D}^*_{\mathbb{X}}\triangleq\bigcup_{R\in\mathcal{R}}R[\mathbb{X}],\quad\mathscr{D}^*_{\mathbb{Y}}\triangleq\bigcup_{R\in\mathcal{R}}R[\mathbb{Y}],\quad\mathscr{D}^*_{\mathbb{Z}}\triangleq\bigcup_{R\in\mathcal{R}}R[\mathbb{Z}].$$

また族$\mathcal{R}$の族$\mathfrak{R}$に対する固定された場も考えうる．

$$\mathscr{D}^{**}_{\mathbb{X}}\triangleq\bigcup_{\mathcal{R}\in\mathfrak{R}}\mathscr{D}^*_{\mathbb{X}},\quad\mathscr{D}^{**}_{\mathbb{Y}}\triangleq\bigcup_{\mathcal{R}\in\mathfrak{R}}\mathscr{D}^*_{\mathbb{Y}},\quad\mathscr{D}^{**}_{\mathbb{Z}}\triangleq\bigcup_{\mathcal{R}\in\mathfrak{R}}\mathscr{D}^*_{\mathbb{Z}}.$$

前者を固定された局所場（local context），後者を固定された大域場（global context）と呼ぶ．しからば固定された局所場$\mathscr{D}^*_{\mathbb{X}}$，$\mathscr{D}^*_{\mathbb{Y}}$，$\mathscr{D}^*_{\mathbb{Z}}$で成立するCFD・CMVDが，従来のFD・MVDの定義と一致する．そこで前節の冠頭標準形によるCFD・CMVDの定義を用い，述語論理の諸定理および竹島のresultant定理[33),34)]等を用いれば，以下の諸定理・諸命題が証明できる[35)]．

〈 定理1 〉　　CFDは，固定された局所場においてArmstrongの6公理[9]を満足する．■

〈 定理2 〉　　CMVDは，固定された局所場においてFaginの3公理[13]を満足する．■

〈 定理3 〉　　与えられた（$\mathbb{X} \xrightarrow{R} \mathbb{Y} / \mathcal{D}_X, \mathcal{D}_Y$），（$\mathbb{X} \xrightarrow{R'} \mathbb{Y} / \mathcal{D}'_X, \mathcal{D}'_Y$）に対して（$\mathbb{X} \xrightarrow{R \cup R'} \mathbb{Y} / \mathcal{D}_X \cup \mathcal{D}'_X, \mathcal{D}_Y \cup \mathcal{D}'_Y$）となる必要十分条件は，（$\mathbb{X} \xrightarrow{R \cup R'} \mathbb{Y} / \mathcal{D}_X \cap \mathcal{D}'_X, \mathcal{D}_Y \cap \mathcal{D}'_Y$）が成立することである．■

汎関係G上では，〈要請1〉で仮定されたユニークな関係名定義域$\mathcal{D}_r$に関する次の二命題が成立する．

〈 命題3 〉　　（$\mathbb{X} \xrightarrow{R} \mathbb{Y} / \mathcal{D}_X, \mathcal{D}_Y$）が成立すれば，汎関係Gの族$\mathfrak{G}$上では，（$\{a_r\} \cup \mathbb{X} \xrightarrow{\mathfrak{G}} \mathbb{Y} / \mathcal{D}_r \times \mathcal{D}_X, \mathcal{D}_Y$）が成立する．■

〈 命題4 〉　　（$\mathbb{X} \overset{R}{\twoheadrightarrow} \mathbb{Y} \mid \mathbb{Z} / \mathcal{D}_X, \mathcal{D}_Y, \mathcal{D}_Z$）が成立すれば，汎関係Gの族$\mathfrak{G}$上では，（$\{a_r\} \cup \mathbb{X} \overset{\mathfrak{G}}{\twoheadrightarrow} \mathbb{Y} \mid \mathbb{Z} / \mathcal{D}_r \times \mathcal{D}_X, \mathcal{D}_Y, \mathcal{D}_Z$）が成立する．■

上記命題より，汎関係G上で成立するCFD・CMVDの構成法が与えられる．　固定された大域場で成立するCFD・CMVDの理論，および固定されなり場の理論を構築していくことが，今後の研究課題といえる．

5．　おわりに

汎関係DBの長短を，data syntax・data semantics・data pragmatics という見地から論じてみる．

データ統語論的には汎関係DBは，情報代数と同じく唯一の情報空間を考えており，単一の直積型データ構造の内部に，tag(s)という条件の場合分けにより創成される条件付関係を，直和型データ構造として埋込んだものであり，Smithらの考え方[3]と直積と直和の考え方が逆転している．　しかも汎関係においては，ddlでのタグ宣言により特定の視点でのクラスタリングが，自然な形で記述できる．　何故ならタグによって条件付られた部分関係・条件付関係が，特定の分類基準でみた時のクラスタを表わしているからである．　またCoddの関係（達）のもっている潜在的情報（たとえば関係名，属性集合，5W1H等の条件に関する情報）を顕在化し，一枚の表形式データとして見せるので，概念スキーマ・外部スキーマ・内部スキーマのどのレベルのユーザにとっても，情報の表現形式としての自己記述性[21]がある．

データ意味論的には「組rが関係Rに属しますか？」という質問だけでなく，「組rはどんな関係にありますか？」という"関係の意味"を問う質問が，汎関係では可能である．　これは関係の実体でなく"名前"を値とする定義域が存在するからである．　また「システム性能が250以上のハードウェアを提供している計算機会社はどこですか？」（図2を参照）といった質問にも答え得る．　これは，ある属性方向への射影値が等しいものは同一のentityとみなす「entity同一視の原理」を用いるか，あるいはFD（またはKey）による値出し演算を用いればよい．　いずれにせよ汎関係はQuestion-Answering志向があり，QAに対する推論（意味論的制約）にスキーマ情報が利用できる．

最後にデータ・プラグマティックス的には，汎関係の実働化イメージを堅固に出さんとするなら，〈属性，量〉[23]表現の立場を更に徹底し，〈定義11〉に見られるような情報（データ）圧縮の問題をもっと考察しなければならない．　その

際，一様なアクセスを保障するようなkeyの取扱いが困難であろう。 またデータの動的取扱い時，すなわち更新処理時においては，属性の追加・削除モードにおけるdmlの負担が，かなり大きくなりそうなので，何らかの対策が必要である。

以上の諸議論を要約するに，汎関係DBは人間の知識の集大成であるDBに対して一様かつ平坦な見え方を与え，しかも方法の集大成である，ある分野固有の視座にそって切断する条件付演算という切断法を提供する。 今後の研究課題としては，条件付従属を用いる汎関係の分解法を与え，より実働化できる形に接近すること，およびア・プリオリなスキーマ利用法ばかりでなく，ア・ポステリオリなスキーマ利用法（例えば，FDによる推論とかFDの発見）等についての研究が重要である。

［謝辞］ 本研究を推進するに当って熱心に討論していただき，多くの貴重な助言をしてくださった竹島卓（富士通国際研），高橋浩（富士通DIPS部）両氏に感謝の意を表します。 また懇切丁寧にご指導していただきました北川敏男所長（富士通国際研）に謝意を表します。 更に本研究に対して適切なコメントをいただいた林達也室長（富士通研），杉山公造博士（富士通国際研），上林弥彦先生（京大），穂鷹良介博士（SSL），増永良文先生（東北大），田中譲先生（北大），有沢博先生（横浜国大）および同僚の国際研諸氏に感謝致します。

［文献］

1） Codd, E.F.: Relational completeness of data base sublanguages, Data Base Systems, 1971.
2） Liskov, B. & Zilles, S: Programming with abstract data types, Proc. of Symp. on VHLL, 1974.
3） Smith, J.M. & Smith, D.C.P.: Database Abstractions: Aggregation and Generalization, TODS, Vol.2, 1977, 105-133.
4） Hoare, C.A.R.: Notes on data structuring, in Structured Programming, Academic Press, 1972.
5） Schmid, H.A. & Swenson, J.R.: On the Semantics of the Relational Data Model, ACM-SIGMOD, 1975, 211-223.
6） Codd, E.F.: Further normalization of the data base relational model, Data Base Systems, 1971.
7） Delobel, C. & Casey, R.G.: Decomposition of a data base and the theory of Boolean switching functions, IBM J. Res. Develop., 17-5, 1972, 374-386.
8） Bernstein, P.A.: Synthesizing Third Normal Form Relations from Functional Dependencies, TODS, 1-4, 1976, 277-298.
9） Armstrong, W.W.: Dependency structures of data base relationships, Inf. Processing 74, 1974, 580-583.
10） Kambayashi, Y.: Synthetic Approach to Relational Data Base Design Using Boolean Functions, 3VLDB, 1977.
11） Rissanen, J.: Independent Components of Relations, TODS, Vol.2, 1977, 317-325.
12） 増永良文，野口正一：関係間関数依存性を考慮した関係データベースの一構成法，信学技報 AL 77-36, 1977, 93 - 99.
13） Fagin, R.: Multivalued Dependencies and a New Normal Form for Relational Databases, TODS, Vol.2, 1977, 262-278.
14） Beeri, C., Fagin, R. & Howard, J.H.: A complete axiomatization for functional and multivalued dependencies, IBM Res. Rep. RJ 1977.

15) Fagin, R.: Dependency in a Relational Database and Propositional Logic, IBM Res. Rep. RJ 1776, 1976.
16) 上林弥彦他: リレーショナル・データベースにおけるいくつかの問題, DBMSクラスタ研究会, 東大, 1977.
17) Makinouchi, A.: A Consideration on Normal Form of Not-necessarily normalized Relation in the Relational Data Model, 3 VLDB, 1977.
18) CODASYL: An Information Algebra, CACM 5, 1962.
19) Kobayashi, I.: Information and Information Processing Structure, Information System 1, 1975.
20) 椿正明: プログラム管理およびユーザ言語管理機能を補強したDBMS-DPLS, 情報処理, 17-10, 1976.
21) Hotaka, R. & Tsubaki, M.: Self-Descriptive Relational Data Base, 3 VLDB, 1977.
22) 弘原海清: 単板・関係・網・階層型を含む複合論理データベースについて ―学際研究用DBMS: GEODASを例として―, 情報処理学会, データベース管理システム 5-1, 1978.
23) 小島順: 線型代数, 日本放送出版協会, 1976.
24) 島内剛一: プログラム言語論, 共立出版, 1972.
25) 植村俊亮: データベースの関係モデル第3正規形批判, 情報処理, 18-1, 1977.
26) 穂鷹良介: リレーショナル・データベースにおける第3正規形について, 情報処理, 18-11, 1977.
27) 穂鷹良介, 渋谷政昭: データベースの関係図式, 情報処理, 17-10, 1976.
28) 有澤博: リレーショナル・データベース上の領域間の決定関係についての考察, 情報処理, 17-11, 1976.
29) 小林要: 汎関係データベース・モデル(1), 情報処理学会第18回全国大会, 1977.
30) 国藤進: 汎関係データベース・モデル(2), 情報処理学会第18回全国大会, 1977.
31) 杉山公造: 汎関係データベース・モデル(3), 情報処理学会第18回全国大会, 1977.
32) 北川敏男: 汎関係圏の構造, 日本数学会, Oct. 10, 1977.
33) 竹島卓: リレーショナル・データベースにおける関数従属関係と第3正規形化問題, 情報処理学会第18回全国大会, 1977.
34) 竹島卓: 関係データベース・スキーマにおける関数従属関係のブール方程式を用いる取り扱いについて, 情報処理学会, データベース管理システム研究会, 6-2, 1978.
35) 国藤進: 条件付き従属を用いる関係DBにおける従属関係の理論の一般化の試み, 昭和53年度電子通信学会総合全国大会, 1978.