データ従属の新表現方法の提案とその性質の考察

中村史朗（日立製作所システム開発研究所）

1. はじめに

Coddにより提案されたリレーショナル・データベース理論[4]は、データベース理論に関する活発な研究活動を促した。データ従属はその中心テーマの1つである。Codd自身、関数従属の概念を導入しリレーションの正規化を行った[5]。その後種々のデータ従属の提案がなされているが、その中で最も重要なものは、多値従属[7,14]である。関数従属と多値従属によって、属性間の関係の相当部分は表現可能であるが、まだ次のような問題が残っている。

X、Y：属性（の集合）、XとYとの間にある意味的な関連があるとする。この時、XとYとの関係は以下の4種類のいずれかに分類できる。

(a) 1対1対応（One-to-one）
(b) 多対1対応（Many-to-one）
(c) 1対多対応（One-to-many）
(d) 多対多対応（Many-to-many）

例えば多対1対応というのは、Xの1つの値に対しては唯一のYの値が対応し、Yの1つの値に対しては複数のXの値が対応し得ることを示す。(a),(b)の関係においては、常に関数従属X→Yが成立する。多値従属X→→Yは、(c)および(d)の型の一部を表現するが、すべてをカバーすることはできない。したがって関数従属と多値従属だけではデータ間の基本的関係を表現するには不足である。

また、2章で述べるように、関数従属の定義は明確であるのに対して多値従属X→→YはXとYとの関係だけでは定めることができない。R(X,Y,Z)においてX→→Yは、XとYの実現値の間の関係として定義されず、その意味との関連性はそれほど明確でない。直観的にはXとYとが直接の関連を持たないことを意味するように見えるが、多値従属の定義ではそれ以外の場合にもX→→Yの存在を許す（4章の定理3の証明を参照）。これは多値従属の望ましくない性質である。（多値従属における推移律を中心とする問題については既に文献[12]にて議論されている。）よって意味的により強化された概念が必要である。

本論文では上記問題を解決するため、新しいデータ従属表現を提案し、その基本的性質を考察する。まず3章で基本関係（Association relation）と呼ぶ概念を導入する。基本関係は上記(1)で述べた4種類の属性間の関係を意味情報を付加した形で表現する。（Coddも最近の論文[6]で主張しているように、意味情報をより多く取込んだデータモデルの構築が今後の重要課題の1つである。）3章では更に基本関係を拡張したより一般的な概念を定義し、4章でその性質を関数従属、多値従属についてのこれまでの成果との比較の形で考察する。

2. リレーショナル・データベースの基本概念

属性（Attribute）[注]とは単位情報につけられた名前である（例えばEMPLOYEE#、NAME）。各属性Aにはその属性が取り得る値の集合である領域（Domain）が対応する。属性Aに対応する領域をDOM(A)と記す。1つの領域は複数の属性と関係

づけられて良い。

属性の集合 $U=\{A_1, A_2, \cdots, A_n\}$ 上のリレーション(Relation)とは、直積 $DOM(A_1) \times DOM(A_2) \times \cdots \times DOM(A_n)$ の部分集合のことである。リレーションの要素(行)をタプル(Tuple)と呼ぶ。属性の集合 $\{A_1, A_2, \cdots, A_n\}$ 上のリレーション R を、$R(A_1, A_2, \cdots, A_n)$ と記す。リレーションの定義情報をリレーション・スキーム(Relation Scheme)という。データ従属(Data Dependency)は、リレーション・スキーム上で定義される。あるデータ従属があるリレーション・スキーム上で成立するということは、そのスキームの具現であるリレーションにおいて常に当該データ従属が成立することを意味する。したがって今後誤解の生じる恐れのない場合、リレーション・スキームの代りにリレーションと用いる。(すなわち、あるリレーションにおいてあるデータ従属が成立すると言った場合、そのデータ従属は偶然そのリレーションにおいて成立したものではなく、ベースとなるリレーション・スキームにおいて成立することと意味する。)

リレーション R(U) における1つのタプルを u とする。Y が U の部分集合の時、Y の要素に対応する u の値のみから成るタプルを $u[Y]$ と記す。R の Y 上での射影(Projection) $R[Y]$ は次のように定義される。

$$R[Y] = \{u[Y] \mid u \in R\}.$$

属性の集合 X のある値を x とする。上と同様，Y 上の x による条件付射影は以下のように定義される。

$$R[x, Y] = \{u[Y] \mid u \in R \text{ かつ } u[X] = x\}.$$

2.2 データ従属

(1) 関数従属(Functional Dependency, 以後 FD と略す)ーX ならびに Y をそれぞれ属性の集合とすると、FD は $f: X \to Y$ と表現される。リレーション $R(X, Y, \cdots)$ において f が成立する時，同一の X の値を持つ2つのタプルは常に同一の Y の値を持つ。通常簡単化のため f と省いて $X \to Y$ と書く。

(2) 多値従属(Multivalued Dependency, 以後 MVD と略す)ーリレーション R(U) において X および Y を U の部分集合とする。また、$Z=U-XY$ とする(XY は X と Y の和集合を意味する)。X から Y への $MVD: X \twoheadrightarrow Y$ が成立する必要十分条件は、任意の XZ の値 xz に対し下記が成立することである。

$$R[xz, Y] = R[x, Y]$$

$X \cap Y \neq \phi$ の時，$X \twoheadrightarrow Y$ が成立することは $X \twoheadrightarrow Y-X$ が成立することと同値である。これは定義から明らかである。また $X \twoheadrightarrow Y|Z$ は、$X \twoheadrightarrow Y$ かつ $X \twoheadrightarrow Z$ を示す。

FD の定義から明らかなように、$X \to Y$ は X および Y のみで定義され他の属性とは独立である。一方、$R(X, Y, Z)$ における $MVD: X \twoheadrightarrow Y$ の妥当性は、Z の存在に依存し X と Y のみからは決定できない。すなわち、$X \twoheadrightarrow Y$ が $R(X, Y, Z)$ においては成立せず、$R(X, Y, Z')$ においては成立することがあり得る(ここに $Z' \subset Z$)。また MVD は1対多および多対多の関係のすべてを表現することはできない。このことが、正しく MVD を指定することを困難にしている。これは、多くの属性が1つのリレーションに存在する時顕著となる。

$X \supseteq Y$ の時，$FD: X \to Y$ は自明(trivial)であるという。$R(X, Y, Z)$ における自明な $MVD: X \twoheadrightarrow Y$ は、$X \supseteq Y$ ないし $Z = \phi$ の時定義される。自明でない $MVD: X \twoheadrightarrow Y$

注1) 単一属性に対してはアルファベットの最初の方の文字(A, B, …)を、属性の集合に対しては最後の方の文字(Z, Y, …)と用いる。

がFDでない時，それを強(strong)MVDと呼ぶ。

FDならびにMVDについての完全な推論規則(Inference Rules)については，既に検討が完了している。[1,3] 以下にその結果を列挙する(これらは4章で参照する)。

FD推論規則

FD1 (Reflexivity)：$X \supseteq Y$ ならば $X \to Y$。

FD2 (Augmentation)：$W \supseteq Z$ かつ $X \to Y$ ならば $XW \to YZ$。

FD3 (Transitivity)：$X \to Y$ かつ $Y \to Z$ ならば $X \to Z$。

(以下は冗長な規則)

FD4 (Pseudo-transitivity)：$X \to Y$ かつ $YW \to Z$ ならば $XW \to Z$。

FD5 (Union)：$X \to Y$ かつ $X \to Z$ ならば $X \to YZ$。

FD6 (Decomposition)：$X \to YZ$ ならば $X \to Y$ かつ $X \to Z$。

MVD推論規則

MVD0 (Complementation)：$R(U)$ において $XYZ = U$ かつ $Y \cap Z \subseteq X$ の時，$X \twoheadrightarrow Y$ の必要十分条件は $X \twoheadrightarrow Z$ である。

MVD1 (Reflexivity)：$X \supseteq Y$ ならば $X \twoheadrightarrow Y$。

MVD2 (Augmentation)：$W \supseteq Z$ かつ $X \twoheadrightarrow Y$ ならば $XW \twoheadrightarrow YZ$。

MVD3 (Transitivity)：$X \twoheadrightarrow Y$ かつ $Y \twoheadrightarrow Z$ ならば $X \twoheadrightarrow Z - Y$。

(以下は冗長な規則)

MVD4 (Pseudo-transitivity)：$X \twoheadrightarrow Y$ かつ $YW \twoheadrightarrow Z$ ならば，$XW \twoheadrightarrow Z - YW$。

MVD5 (Union)：$X \twoheadrightarrow Y$ かつ $X \twoheadrightarrow Z$ ならば $X \twoheadrightarrow YZ$。

MVD6 (Decomposition)：$X \twoheadrightarrow Y$ かつ $X \twoheadrightarrow Z$ ならば $X \twoheadrightarrow Y \cap Z$，$X \twoheadrightarrow Y - Z$ および $X \twoheadrightarrow Z - Y$。

FD-MVD推論規則

FD-MVD1：$X \to Y$ ならば $X \twoheadrightarrow Y$。

FD-MVD2：$Y \cap Z = \phi$ かつ $Z \supseteq Z'$ とした時，$X \twoheadrightarrow Z$ かつ $Y \to Z'$ ならば $X \to Z'$。

(以上の推論規則の略号は、4章で頻繁に用いる。)

3．基本関係(Association Unit)

1章で述べたように、関数従属(FD)ならびに多値従属(MVD)だけでは、属性間の基本的関係のすべてを表現することはできない。特に多値従属はその定義が実現値重視となっており、定義の意味的裏付けが十分でない。

上記問題を解決するため、本章ではまず属性間の基本的な関係を表現する手段を与える。それを出発点としていくつかの定義を行ない、最後に多値従属を新たな形で定義する。(この定義と従来の多値従属との関係については4章で考察する。)

【定義1】 基本関係(Association Unit，以後AUと略す)は、属性(の集合)間の関係を表現するものであり、その一般形は，$f : r_1(X) \sim r_2(Y)$ である。ここに、

(1) X，Y は属性(の集合)あるいは別のAU名である。ノードとも呼ぶ。

(2) r_1，r_2 はそれぞれ X，Y の役割(role)を示す。

(3) $\sim$ は関係(Association)を示す。エッジとも呼ぶ。

(4) f はできたAUを表現する名前である。

f，r_1 ならびに r_2 は省略可能である。

【定義2】 AUには次の4種類のタイプがある。

(1) タイプ0 （X, Yは異なった意味を持つ。）

(2) タイプ1：X→Y（XとYが1対1対応である。）

(3) タイプ2： X→Y （XとYが多対1対応である。）

(4) タイプ3： X～Y （XとYが多対多対応である。）

（1対多対応は、タイプ2においてXとYとを入れ替えたものである。）すなわちタイプ2で表現される。）

例1：

・タイプ0 — EMP# ↔ CHILD-NAME（↔ CHILD-AGE）

・タイプ1 — EMP# ↔ SOC-SEC-NO

・タイプ2 — EMP# ↔ SALARY

・タイプ3 — EMP# ～PROJ#

f 即ち AUの意味を明確にするためには必要であるが、特に次の様な場合には必須である。

・部品間の親子関係の表現 —親(PART#) ～子(PART#)

・プロジェクトにおける部品の使用関係とその個々の関係における使用量の表現 — f_1 : PART# ～ PROJ# ↔ QNTY

・属性間に2種類の関連がある時 — f_2(プロジェクト従事者)：従事(EMP#) ～ PROJ#

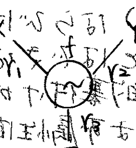
f_3(プロジェクト管理者)：管理(EMP#) ～ PROJ#

注）AUはデータベース化の対象とする世界（実世界）における、属性間の最も基本的な関係を表現することを目的に導入されたものである。すなわち、役割 r_1, r_2 の下で、属性XとYの間にfという意味を持った関係（ $\langle r_1 \rangle$ の場合を含めて）が存在することを表わすものであり、AUの持つ意味的情報を豊かにする。これがAUの最大の特徴である。これにより、例1におけるような関係を表現できる。

【定義3】 3種類以上の属性集合間の関係に対しては下記の表現を用いる。

$f : \sim (r_1(X_1), r_2(X_2), \cdots, r_n(X_n))$

定義3の表現方法は視覚的でないので、図形的表現方法として下記を導入する。下記は、$f : \sim (r_1(X), r_2(Y), r_3(Z))$ と等価である。



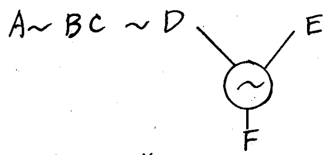
以上のAUを用いて、データ間の関連を表現する準備として次のような定義を行なう。

【定義4】 下記条件が成り立つ時、またその時に限りX, Yの間には道(Path)が存在するという。

(1) X, Yはそれぞれ与えられたAU群のいずれかの少なくとも1つの部分集合である。

(2) Xから出発してAU(もしくはその合成)を経由してYに到達できる。（経由とは、AUの1つの端点からその辺を通って他方の端点へ移ることを指す。）

例2： 次のようなAU群を考える（AUグラフとも呼ぶ）。



上図において以下の属性間には道が存在する。

　　AとBC，AとB，BとC，BとF etc.

一方、AD，CEなどと他の属性間には道がない。

【定義5】次の条件が成り立つ時、またその時に限りX,Y間には結合(Connection)が存在するという(X,Yは結合されているともいう)。X--Yと表わす。

- 適当なX，Yの部分集合$X' \subseteq X$，$Y' \subseteq Y$を選んだ時、X'，Y'間に少なくとも1つの道が存在する。

例3：　例2において、任意の属性の集合間に結合が存在する。

【定義6】X,Yの間に結合が存在しない時、またその時に限りX,Yは互いに独立(Independent)であるという。

次にMVDとの関連をつけるため新たな定義を行ない、それをRevised MVDあるいはRestricted MVD(RMVDと略す)と呼ぶ。(Restrictedと呼んだ理由は4章で明らかにする。)

【定義7】次の条件が成り立つ時、またその時に限りRMVD：$X \twoheadrightarrow Y$がリレーションR(X,Y,Z)に存在するという(ただし，$Y \cap Z \subseteq X$)。

- YとZとの間にはXを経由しないような結合は存在しない。(X経由のY，Z間の結合とは、Y--X--Zを意味する。)

例4：　SKILL～EMP#～PROJ#

上例においてRMVD：EMP#↠SKILL|PROJ#が成立する。

【定義8】RMVDに関し、従来のMVDとの対応で以下の用語を定義する。リレーションとしてR(X,Y,Z)を仮定する。

(1)　$X \supseteq Y$あるいは$Z = \phi$の時、$X \twoheadrightarrow Y$を自明な(trivial)RMVDという。

(2)　自明でないRMVD：$X \twoheadrightarrow Y$において、$X \rightsquigarrow Y$でも$X \leftrightsquigarrow Y$でもない時、$X \twoheadrightarrow Y$を強(strong)RMVDという。

(3)　RMVD：$X \twoheadrightarrow Y \mid Z$が成立する時，YとZとはXの下で条件付独立(Conditionally Independent)であるという。

(4)　$X = \phi$ならばYとZとは互いに独立であり、$\phi \twoheadrightarrow Y \mid Z$を得る。

全属性とAUとが与えられた時、仮に互いに独立なグループがあれば、それらの属性グループの間には意味的な関連がない。したがって、それらは最初から分けて検討すれば良い。そのため、4章の考察においては、特に言及しない限り独立な属性集合が存在しない場合について考える。

4．従来のデータ従属との比較考察

本章では、3章で定義した基本関係(AU)ならびに新たな多値従属(RMVD)が有する性質を、関数従属(FD)ならびに多値従属(MVD)との比較の形で考察する。

【定理1】タイプ1およびタイプ2のAUとFDとの間には、次の関係がある。

(1)　$X \leftrightsquigarrow Y$は$X \rightarrow Y$かつ$Y \rightarrow X$と同値である。

(2)　$X \rightsquigarrow Y$は$X \rightarrow Y$かつ$Y \not\rightarrow X$と同値である。

(証明)AUならびにFDの定義から明らか。

注)　3章で述べたように、AUはfとrの導入による意味を重視した概念である

点に注意する必要がある。すなわち3章の例1のf_2, f_3で示したように、同じX, Y間に2種類のAU, $f: r_1(X) \to r_2(Y)$ と $f': r_3(X) \sim r_4(Y)$ が存在する場合があり得る。この時、AU: X→YとFDとの同値性の議論は、fの環境において意味がある。

タイプ1およびタイプ2AUとFDとの同値性より、2章で述べたFDに関する規則はすべてタイプ1およびタイプ2AUに対しても当てはまる。

次にMVDとRMVDとの関係を明らかにする。

【定理2】リレーションR(X, Y, Z)においてRMVD: X↠Yが成立すれば、同じくMVD: X↠Yも成立する。

（証明）RMVD: X↠Yが成立すれば、YとZとはXを介してのみ結合（Y--X--Z）されている。したがってXの任意の値xをとった時、R[x, Y]とR[x, Z]との組合せには制約がない。したがってRのタプルとしては、{x}×R[x, Y]×R[x, Z]のすべてが存在する。これはすなわち、MVD: X↠Yが成立することを示している。

【定理3】 定理2の逆は成立しない。

（証明）反例を示せば十分である。X→Y～Zを考える（X, Y, Zは互いに素とする）。（具体例としては、AC#→EMP#～SKILL，AC#は預金口座番号）この時，定理1よりFD: X→Yが成立する。したがって2章のFD-MVD1の規則よりX↠Yを得る。MVD0を用いてX↠Zを得る。すなわち(強)MVD: X↠Zが成立する。しかるに、YとZとはXを介することなく結合されているので、RMVD: X↠Zは成立しない。

注) RMVDが属性間の関係の意味を重視した定義であるのに対し、MVDが単に実現値の関係を重視した定義であることによる差が、上の例に如実に示されている。上例において、MVDとしてはY↠X|ZおよびX↠Y|Zの両者が成立するのに対し、RMVDとしてはY↠X|Zのみが成立する。しかしながら、X↠Y|Zは無用のものであり、場合によっては(例えばリレーションの分解に用いる場合など）有害ですらある。すなわちAUグラフから明らかなように、この場合のRの正しい分解はS(X, Y)とT(Y, Z)である(具体的にはS(AC#, EMP#), T(EMP#, SKILL))。しかしながら、単にMVD: Y↠X|ZとX↠Y|Z（あるいはX→Y）が与えられた場合，どちらをベースに分解したら良いか明確でない。（これは、AUのデータベース設計における有用性を示唆している。）

定理2と3によって、RMVDはMVDに制限をつけた概念であることを明らかにした（これがRestrictedと呼んだ理由である)。したがって、MVDに関する性質はRMVDにおいても成り立つ場合とそうでない場合とがある。以下この点を明らかにする。

【定理4】リレーションR(X, Y, Z)においてRMVD: X↠Yが成立すれば、R'(X, Y', Z')において常にX↠Y'が成立する。ただし、Y'⊆Y, Z'⊆Z。

（証明）X↠Yより、YとZの間にはXを経由しない結合は存在しない。故に、Y'とZ'との間にもX経由以外の結合が存在しないのは明らか。したがってX↠Y'。

【定理5】MVDに関する次の規則は、RMVDにおいても成立する。

(1) MVD0, (2) MVD1, (3) MVD2,
(4) MVD5, (5) MVD6

（証明）上記番号対応に証明する。（各規則の内容は2章を参照のこと。）

(1) RMVDの定義より明らか（YをZで置換えても結果は同じ）。

(2) $Y \subseteq X$ならば、YはXを介した結合しか持ち得ないのは明らか。

(3) $X \twoheadrightarrow Y$より、YはXを介する以外の結合は持たない。また$Z \subseteq W$であるので、YZはXWを介する以外の結合は持たない。故に、$XW \twoheadrightarrow YZ$。

(4) リレーション$R(X, Y, Z, W)$を考える。ここにWとXYZは互いに素とする。Rにおいて、RMVD：$X \twoheadrightarrow Y$, $X \twoheadrightarrow Z$が成立するとする。まずRにおいてRMVD: $X \twoheadrightarrow W$が成立することを示す。仮に$X \twoheadrightarrow W$が成立しないとする。この場合、WはXを介さずにYあるいはZと結合されていなければならない。しかしながら、いずれの場合も以下のように矛盾が生じる。

(a) $X \twoheadrightarrow Y$より、YはXを介さずにWとの結合は持ち得ない。

(b) $X \twoheadrightarrow Z$より、ZはXを介さずにWとの結合は持ち得ない。

したがって、$X \twoheadrightarrow W$が成立する。故に(1)より$X \twoheadrightarrow YZ$。

(5) MVD6は、MVD0とMVD5により導くことができる[3]。両者共RMVDにおいて成立するので、MVD6もRMVDにおいて成立する。

MVDの推移律（MVD3）の問題点については、既に別報[2]にて論じた。そこでは、一部の例外を除いて推移条件を満たすようなリレーションは存在しないことを明らかにした。この例外（例えば定理3の証明中の例）は、MVDの意味的根拠の希薄さによる。これに対し、RMVDは明確な意味付けがなされている。すなわち、$R(X,Y,Z)$におけるRMVD: $X \twoheadrightarrow Y|Z$は、YとZとの間の関連の（条件付）独立性を意味している。したがってMVDと異なり、RMVDにおいては（真の）推移条件を満たすようなリレーションは存在しない。以下でこれを明らかにする。（仮にリレーション$T(X,Y,Z,W)$において、RMVDの推移条件$X \twoheadrightarrow Y$, $Y \twoheadrightarrow Z$が成立するとする。定理4により、この2つのRMVDは$R(X,Y,Z)$においても成立する。したがって、Rにおいて推移条件が成立しないことが言えれば、Tにおいても成立しない。故に以下では$R(X,Y,Z)$について考察する。）

$R(X,Y,Z)$において、RMVD：$X \twoheadrightarrow Y$, $Y \twoheadrightarrow Z$が成立するとする。これらのRMVDは、下記と同値である（3章の最後に述べたように、XYZの中に独立な属性はないとする）。

(1) YとZとはXを介してのみ結合されている。（Y--X--Z）

(2) ZとXとはYを介してのみ結合されている。（Z--Y--X）

(1)と(2)の間の矛盾は明白なようであるが、X, Y, Zが互いに素でない場合には、必ずしも矛盾しない。例えば、リレーション$S(A,B,C,D)$において、$A \twoheadrightarrow B$および$A \twoheadrightarrow C$が成立するとする。この時それぞれをA, Bで増加させることにより、$A \twoheadrightarrow AB$, $AB \twoheadrightarrow BC$を得る。この場合、増加後のRMVD間には当然矛盾はない。しかしながらこの例においては、もともと推移条件は存在せず人為的に作り出されたにすぎない。このようなものと真の推移条件、例えば$A \twoheadrightarrow B$, $B \twoheadrightarrow C$（この場合には矛盾が発生）、とを区別する必要がある。そのため、まず<u>最小</u>（Elementary）RMVDの概念を導入する。

【定義9】 RMVD：$X \twoheadrightarrow Y$が下記条件を満たす時、それを最小RMVDという。

(1) $X \twoheadrightarrow Y$は強RMVDである。

(2) X, Yのいかなる真部分集合X', Y'に対しても$X' \not\twoheadrightarrow Y$, $X \not\twoheadrightarrow Y'$, かつ$X' \not\twoheadrightarrow X''Y$（ここに$X'X''=X$）。（したがって$X \cap Y = \emptyset$。）

条件$X \not\twoheadrightarrow Y'$をなくし、代りに$X \cap Y = \emptyset$を入れたものを<u>左最小</u>（Left Elementary）

という。(例えば、最小RMVD: $X \twoheadrightarrow Y$, $X \twoheadrightarrow Z$ のユニオン $X \twoheadrightarrow YZ$ は左最小である。)

【定理6】 いかなるリレーションにおいても、推移条件を満たすような左最小RMVDは存在しない。

(証明) 上述の議論に基づき、リレーション $R(X, Y, Z)$ において左最小RMVD: $X \twoheadrightarrow Y$, $Y \twoheadrightarrow Z$ が成立すると仮定する。左最小ということより、$X \cap Y = \phi$, $Y \cap Z = \phi$ を得る。すなわち、Y は他の属性とは素である。X と Z との関係を調べるため、仮に X と Z との間に共通な属性集合 V があるとする。すなわち、$X = X'V$, $Z = Z'V$, かつ X', Z', V は互いに素とする。この時、仮定したRMVDより下記を得る。

(1) Y -- $X'V$ -- Z'

(2) X' -- Y -- $Z'V$

(1)より、Z' は X' ないし V を介してのみ Y と結合される。しかるに(2)より、Z' は Y を介することなく X' と結合することはできない。故に、Z' は V を介してのみ他の属性と結合されている。これはRMVD: $V \twoheadrightarrow Z' | X'Y$ が成立することを意味する。したがって、仮定したRMVD; $X'V \twoheadrightarrow Y$ は左最小ではなくなる。故に $V = \phi$ でなければならない(すなわち $X' = X$, $Z' = Z$)。これより、X, Y, Z は互いに素である。しかるに、(1)では Z は X を介してのみ Y と結合されるといっているのに対し、(2)では Z は Y を介してのみ X と結合されることを主張している。これは矛盾である。この矛盾は、推移条件 $X \twoheadrightarrow Y$, $Y \twoheadrightarrow Z$ を仮定したことによる。故に推移条件を満たすような左最小RMVDは存在しない。

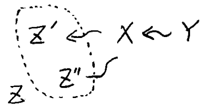
【定理7】 いかなるリレーションにおいても、擬似推移条件(MVD4の条件)を満たすような左最小RMVDは存在しない。

(証明) 略(定理6の証明に準じる)。

【定理8】 FD-MVD1ルールは、RMVDにおいては成立しない。

(証明) 再び定理3の証明で用いた例、$X \rightarrow Y \rightarrow Z$ について考える。この時、FD: $X \rightarrow Y$ が成立する。しかしながらRMVDの定義より、Y は Z と直接結合しているためRMVD: $X \twoheadrightarrow Y$ は成立しない。

最後にFD-MVD2ルールについて簡単に考察する。この規則が成り立つ例としては、次のような場合がある



(具体例としては、BUDGET ← DEPT# ← EMP#
PHONE)

この場合、確かにFD: $Y \rightarrow Z'$ とRMVD: $X \twoheadrightarrow Z$ とが成立する。しかしながら、$Y \rightarrow Z'$ は $X \rightarrow Z'$ (したがって $X \rightarrow Z'$) があって始めて指定できるものである。したがって、$X \rightarrow Z'$ をわざわざFD-MVD2ルールを用いて導き出すのは主客転倒である(これに関する議論の詳細は別のところで行なった[12]のでここで再述はしない)。

5. おわりに

本論文では、基本関係(Association Unit, AU)と呼ぶ概念を導入し、従来の関数従属ならびに多値従属との比較考察を行なった。基本関係は、(1) 1章で述べた属性間の基本的関係をすべて表現できる,(2)関係を記述する意味情報が豊富である,点に特徴がある。基本関係を導入した最大の動機は、実世界の情報構造の最

小単位の記述である。(この点で、分解不可能なリレーション(Irreducible Relation)[8,9]の概念と無縁ではない。)

基本関係をベースとして多値従属の改善版(これをRMVDと呼ぶ)を定義した。従来の多値従属が実現値をベースとしておりその意味付けが不明確なのに対し、RMVDは属性間の意味的な関連をベースとしている。両者の定義の形は全く異なるが、RMVDが従来の多値従属に制限を加えた概念であることを4章で明らかにした。またRMVDにおいては、従来の多値従属で問題になっていた[12]推移律が推論規則から除かれることも明らかにした。

本論文は、基本関係と従来のデータ従属との関係に限り考察したものであり、基本関係について残された研究課題は多い。本稿を終るに当たり、それらのいくつかを下記する。

(1) 基本関係ならびにそれをベースとした概念の理論的体系化。
(2) 基本関係の実世界の表現ないしデータベース設計への適用手法。
(3) 他のデータ・モデル(リレーショナル,階層,ネットワーク,エンティティリレーションシップ etc.)のメタモデルとしての応用。

最後に、研究指導をいただいている日立システム開発研究所吉田都三氏に感謝いたします。

参考文献

1. Armstrong, W.W.:Dependency Structures of Database Relationships, Proc. IFIP '74, North Holland (1974).

2. Beeri, C., Bernstein, P.A. and Goodman, N.:A Sophisticate's Introduction to Database Normalization Theory, Proc. 4th VLDB Conf. (Oct. 1978).

3. Beeri, C., Fagin, R. and Howard, J.H.:A Complete Axiomatization for Functional and Multivalued Dependencies in Database Relations, Proc. SIGMOD Conf. (Aug. 1977).

4. Codd, E.F.:A Relational Model of Data for Large Shared Data Banks, Comm. ACM, Vol. 13, No. 6 (June 1970).

5. Codd, E.F.:Further Normalization of the Data Base Relational Model, in Data Base Systems (Courant Computer Science Symposium 6), Prentice-Hall (1972).

6. Codd, E.F.:Extending the Database Relational Model to Capture More Meaning, ACM Trans. on Database Systems, Vol. 4, No. 4 (Dec. 1979).

7. Fagin, R.:Multivalued Dependencies and a New Normal Form for Relational Databases, ACM Trans. on Database Systems, Vol.2, No.3 (Sept. 1977).

8. Falkenberg; E.:Concepts for Modelling Information, Modelling in DBMS, North Holland (1976).

9. Hall, P., Owlett, J. and Todd, S.:Relations and Entities, Modelling in DBMS, North Holland (1976).

10. 勝野裕文:多値従属性の意味について,電子通信学会研究会(March 1980).

11. Kent, W.:Data and Reality, North Holland (1978).

12. Nakamura, F. and Chen, P.P.:Semantic Considerations on Multivalued Dependencies in Relational Databases, JIP, Vol.4, No.3 (Sept. 1981).

13. Schmid, H.A. and Swenson, J.R.:On the Semantics of the Relational Model, Proc. SIGMODConf. (May 1975).

14. Zaniolo, C.:Analysis and Design of Relational Schemata for Database Systems, Ph.D. Dissertation, Computer Science Department, UCLA, Tech. Rep. UCLA-ENG-7669 (July 1976).