

Saaty の AHP 法によるエンドユーザ向き 関係データベースシステムの評価(I)

片 山 敏 之

目 次

1. 序論
2. 問題の設定と AHP 法の概要
 - 2.1. 問題の設定
 - 2.2. AHP 法の概要
 - 2.3. AHP 法における階層図
 - 2.4. ソフトウェア機能の展開
 - 2.5. 一対比較
 - 2.6. 重要度の決定——ソフトウェア機能を例として
3. 開発機能の一対比較から総合評価まで
 - 3.1. 開発機能
 - 3.2. 動作方式
 - 3.3. データ型の種類
 - 3.4. プログラム機能
 - 3.5. SQL 準拠
 - 3.6. 開発機能の総合評価
4. データベース機能の一対比較から総合評価まで
 - 4.1. データベース機能の一対比較（性能評価分析）
 - 4.2. 関係完備性の一対比較と重要度
——以下は (II) で展開する——
 - 4.3. 管理機能の一対比較と重要度
 - 4.4. 検索機能
 - 4.5. 更新機能
 - 4.6. 処理性能

- 4.7. データベース機能の総合評価
5. ソフトウェア機能の総合評価
6. 感度分析
7. 結論

1. 序論

最近では、エンドユーザ・コンピューティング，すなわち，情報処理の専門知識を持たない一般の利用者が直接にパーソナル・コンピュータやワークステーションの端末装置を利用して何かの問題解決をすること，が普通に行われている。更に，これらの端末装置をネットワークで接続してひとつの部門や部門間で協調して問題解決にあたる等，一般の利用者の要求は複雑化し，大規模で実務的なものに発展している。このような要求に応える技術の中心をなすのが，現在では，関係データベース・システム [1, 2, 3] である。関係データベース・システム (RDBMS, Relational DataBase Management System) は，情報を収集・蓄積し，集中化・組織化された信頼性の高い情報資源を，簡易言語や親しみやすいユーザ・インタフェースによって有効活用できる環境を構築するための，一般の利用者向きの汎用ソフトウェアである。

実際，関係(リレーショナル)を標榜する数多くの商用データベース・システム (DBMS) が開発されている。対象を，主として一般の利用者の個人利用でかつ日本語をサポートする製品に限定してみても，1987年以降その数は顕著に増えてきて [4]，1990年末では約40以上になっている。その機能は表計算ソフトウェアより上と考えられているので，それらの製品の価格は1セット当り数万から20万円前後に比較的高く設定されている。しかし，それらの'自称'リレーショナル DBMS 製品の中にはそうでないものがかかなりある，という指摘 [5] がある。リレーショナル DBMS が備えているべき機能は，DBMS の基本機能を含めて，理論的でしかも多項目にわたる。これを一般の利用者が各製品のカタログの表面的な記述の比較や単純な利用経験などから判断するのは困難である。商業雑誌の記事も網羅的ではあっても並列的であることが多く，最適の製品の選択を導くものではない。

そもそも、各製品の諸機能の中には数量化できないものが多く含まれている。それらの数量化できない機能の差を評価することは専門の利用者にも容易ではなく、その評価が分かれることがあれば、その差が製品の総合評価にどの程度反映されているかを知る方法が必要である。対象を絞り込み評価するプロセスから最適の製品の選択に到るには、更に、利用目的や利用環境なども加えて総合的に判断するプロセスがある。各プロセスの評価基準は複数個あるのが普通であり、しかも、それらの重要度が曖昧でそして互いに利害が相反する面を持っていることが一般的である。このような場面での意思決定に役立つ手法が T. L. Saaty [6] の階層化意思決定法 (Analytic Hierarchy Process, AHP) であるといわれている [7 , 8]。本論文ではこの AHP 法を適用して、エンドユーザ向き関係データベース・システムの評価と選択のプロセスの定式化を試みる。

2. 問題の設定と AHP 法の概要

2-1. 問題の設定

まず、解決または意思決定すべき問題を設定する。試みに、今回はかなり限定された問題を考える。すなわち、ある大学の経営情報学科の授業科目‘データベース・システム’の実習で学生が使用する関係データベース・システムの選定問題を考える。学生は1年間のプログラミングを履修済みであるが、このテーマについては初心者であり、実習は基礎理論と設計論の授業と平行して行われるものと想定する。学生はそれぞれパーソナル・コンピュータの端末を専用して、その関係データベース・システムの操作法を習うことからスタートして、主として個人の利用目的のデータベースと応用プログラム、例えば、販売管理、学籍管理、図書管理、文書管理を作成する。

この問題の解決における選定作業の対象 (AHP 法では代替案と呼ぶ) となりうる関係データベース・システムを次の条件で絞り込んでいく。

(1) データベース機能が充実している。

- (2) 開発機能が充実している。
 - 2-1. 自立型言語または親言語インタフェースを持つ。
- (3) 操作機能が充実している。
- (4) 拡張性, 保守性, 信頼性がよい。
 - 4-1. 複数のパーソナル・コンピュータに対応する。
 - 4-2. ハード・ディスク対応である。
 - 4-3. LAN 対応である。
- (5) 日本語 MS-DOS で動作する。

2-2. AHP 法の概要

対象(代替案)のすべての評価基準が明確に計量化できる場合には、意思決定者の主観的な価値判断を数量表現する方法[9]がある。これに対して AHP 法は、意思決定(代替案の選択)に際して、計量化の難しい概算や直観やフィーリングに頼る部分が多いことを充分認識したうえで、それでも最大公約数的な判断を下そうとする試みである。

AHP 法は、評価基準の項目対の比率尺度(ratio scale)による評価(一対比較と呼ぶ)に基づいて、評価基準の項目の重要度の相対比を数学的に決定する方法である。具体的には、(1)階層図の作成、(2)一対比較表の作成、(3)重要度の決定、(4)総合的重要度の決定、という手順を追って展開される。判断の整合性を定量的に判定する方法も備えている。従って、一回の計算手順によって結論を出すのではなく、階層図や一対比較や代替案などを変化させながら上の手順を繰り返し実施することによって、より整合性の高い結論を与えることができる。これは特定の評価基準に対する感度分析を行うことにも対応する。

2-3. AHP 法における階層図

AHP 法は、まず問題の要素を、

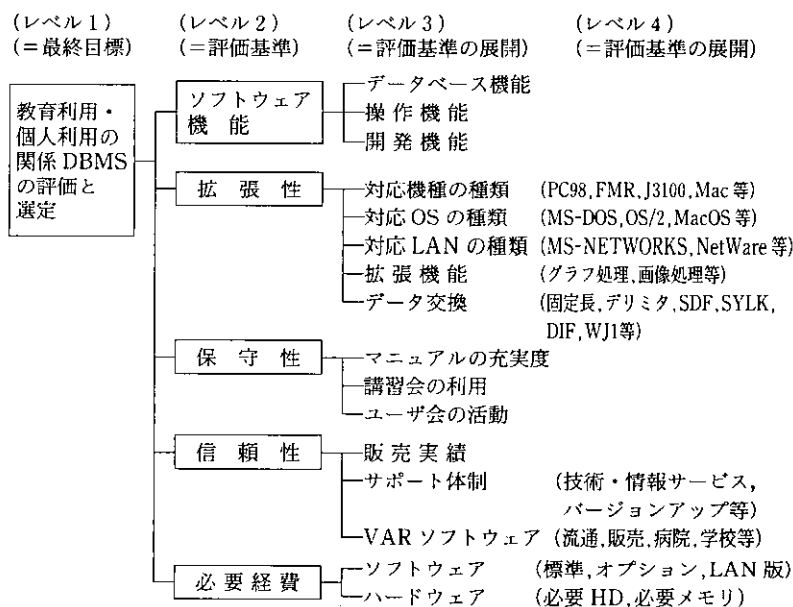
最終目標(レベル 1)→評価基準(レベル 2, 3, …)→代替案(レベル N)

に分解して、問題を階層構造で考えて階層図に表す。評価基準は更に階層化されて全体が4層にも5層にもなり、代替案がレベル4以下に位置することがある。

2-3-1. 上位レベルの展開

我々の問題を階層図 [図2-1] に表す。もちろんこの階層図はひとつの案ではあるが、AHP 法の特徴は、系統的にかつ計量化されて明示された評価のプロセスを客観的に分析できることである。さて、この階層図では各レベルにおける評価基準の項目数が10程度以下に抑えられている。この数が多くなると次のプロセスである一対比較で評価基準の相对比较が難しくなるからである。この階層図ではまだ代替案が明示されておらず、レベル4以下の展開が不揃いになっている。その展開を行うまえに代替案の大まかな絞り込みを行う。

[図2-1] レベル1からの階層図



2-3-2. 代替案の絞り込み

ここで2-1節で提示した方針に基づいて、その中の評価基準が明確な条件を適用して、代替案の大まかな絞り込みを行う。市販のパーソナル・コンピュータ向きデータベース・システムは1990年1月の時点で約40以上あると言われている。以下の議論では対象とする市販の製品を雑誌[4,5,10,11]の資料に限定するものとする(注1)。大部分は条件4-2(ハード・ディスク対応)を満たしている。これらに対して、条件2-1から自立型言語または親言語インタフェースを持つものに限定すると、対象は25製品になる。

ここで大部分のカード形式または表形式の操作方式のみをユーザ・インタフェースとする製品 (DATA BOX, The CARD3, NinjaPro, 隼, ファラオなど) は対象から除外される結果になった。そのインタフェースが一般には公開されていないもの (PCPick, TIMS II TURBO, など), または、プログラム機能がマクロ機能レベルで貧弱なもの (EVE, μ COSMOS MULTI+, Let's アイリス, オンタイム, PC-PAL スーパー, など) はこの段階で対象から落ちた。

更に、複数の対応機種をサポートする条件4-1を課すと、PC-9800 シリーズのみに対応する製品群 (EVE, 桐 Ver 3, オンタイム, 画像アイリス, PCPick, スウィング, 無限大, など) が対象から除外される。4th DIMENSION, データベース・マネジャー, dBASE IV, の3つは一般的に評価の高い製品であるが、それぞれ、Macintosh, PS/55, IBM/PC 専用なので同様に条件4-1と条件(5)から対象外になる。ただし、桐 Ver 3 は国産の自称“関係 DBMS”の代表として、dBASE IV(英語版, 注2)はdBASEグループの最新版として機能強化されているので、あえて代替案この2つをに加えることにする。

以上の条件を満たして残った製品の主なものを、次にシングル・ユーザ版の価格帯に分けて示す。

- [5万円以下] dBXL (Ver. 1.3), 10BASE III,
- [20万円以下] R:BASE LiTE, 桐 Ver. 3,
- [15万円以下] MEGABOX (Ver.3) , Q-PRO 4 (Ver. 4.0)
- [20万円以下] dBASE IV (英語版), QuickSilver (Ver. 1.3),

R: BASE PRO, ビジレス AD (Ver. 2.5HD) ,
MRDB (Ver. 4.01) ,
informix SQL (Ver. 2.10) ,
[25万円以下] GRAND MAD ,
[30万円以下] SQL Base, dBASE III PLUS (Ver. 2.0J) ,
日本語 UNIFY (Ver. 3.22)

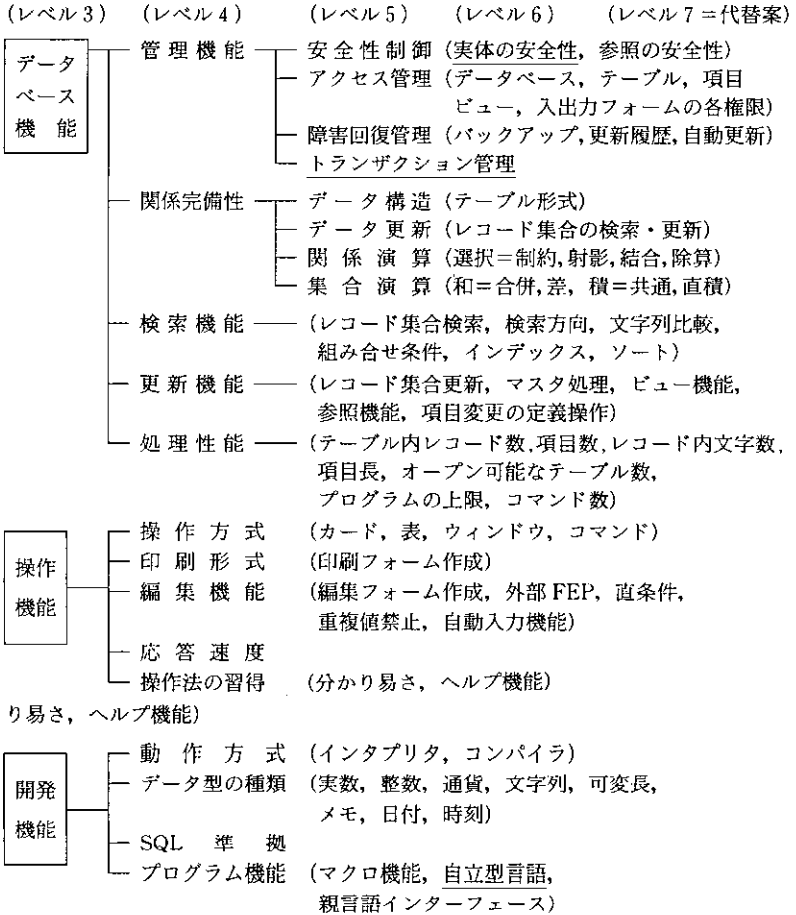
これらの16製品の中、下線を引いた4製品(R: BASE LiTE, Q PRO4, GRAND MAD, Quick Silver)を除いた12製品を代替案とする。除いた理由は、前者の3つについては機能評価の為の十分なカタログ情報が得られなかったこと、そして、Quick Silver は dBXL のコンパイラ版で機能は同じであることに因る。LAN 対応の条件(条件4-3)についてはこの時点では保留しておく。LAN 対応版を標準またはオプションでサポートするものは、最初の選択後の25製品中では12個で、代替案とした12製品中では8個である。

2-4. ソフトウェア機能の展開

前節(2-1.)で提示した方針にあるように、教育利用の目的から見て、データベース機能、操作機能、開発機能、などのソフトウェア機能の充実性は非常に重要である。ソフトウェア機能(レベル2)を展開した階層図を[図2-2]に示す。

ここで、データベース機能の展開については関係データベース・システムの要件[2,5]を考慮し、その他の機能については市販のソフトウェア製品のカatalogの仕様リスト[4, 5, 10, 11]を考慮して作成した。この階層図では、レベル7に12種類の代替案が位置づけられたことになる。また、[図2-2]で下線が付けられている機能は実際には更に詳細な評価項目が設けられることを意味するものとする。

[図2-2] ソフトウェア機能展開の階層図



2-5. 一対比較

階層図の各レベルの評価項目について一対比較を行なって, [表2-1]の数値を参考に一対比較表の作成を各レベル毎に行う。AHP 法は評価項目の重要度の相対比をもつばら問題にしていることに注意したい。ここでは, ソフトウェア機能を具体例にして一対比較の手順を説明する。

[表2-1] 一対比較値の目安

要素 j と比べて要素 i の一対比較値	=	a_{ij}
同じように重要なら	————→	1
やや重要なら	————→	3
かなり重要なら	————→	5
非常に重要なら	————→	7
きわめて重要なら	————→	9
上の中間程度なら	————→	2, 4, 6, 8
要素 i と比べて要素 j の一対比較値	=	$a_{ji} (=1/a_{ij})$

ソフトウェア機能には、データベース機能、操作機能、開発機能、の3つの評価項目があり、我々の問題設定から見て、この3つの評価項目の重要度は相対的にほぼ等しいものと考えられる。しかし、次に述べる条件を考慮して一対比較を行う。

今回は、操作機能については代替案とした12製品の性能の差はないと仮定して分析をする。操作機能には、操作方式、編集機能、応答速度、印刷機能、操作法の習得、などの下位レベルの評価項目（[図2-2]の階層図）が考えられる。この仮定は代替案のすべてに対して性能の優劣を評価することは困難であることによる単純化である。また、開発機能については、そのプログラム機能の基準を満足したものが代替案に選ばれていること、そして、その開発言語機能の性能についてはデータベース機能の方で詳細に検討されることに注意したい。従って、多数の代替案のソフトウェア機能に対してより詳細な評価項目に基づく“評価”を重視する意味で、データベース機能を他の2つの機能よりやや重要と評価する。ソフトウェア機能の一対比較について、上で述べた考察の結果、[表2-2]のような一対比較表が得られた。この表の数値は[表2-1]より、例えば、データベース機能は開発機能より「やや重要(3)」で、操作機能より「かなり重要(5)」であることを意味する。

[表2-2] ソフトウェア機能の一対比較表

	(a)データベース	(b)開 発	(c)操 作
(a) データベース機能	1	3	5
(b) 開発機能	1/3	1	2
(b) 操作機能	1/5	1/2	1

2-6. 重要度の決定

2-6-1. 一対比較の性質と重要度

次に、一対比較表から評価項目の重要度を計算する手順を説明する。いま、 n 個の評価項目(I_1, I_2, \dots, I_n)があつて、その一対比較表に対する“正しい”重要度 w が決定できたと仮定する。要素 j と比べて要素 i の一対比較値を a_{ij} と書くと、一対比較表は $n \times n$ の正方行列 $A = [a_{ij}]$ を与える。 a_{ij} は行列 A の i 行 j 列目の要素である。この正方行列 A を一対比較行列と呼ぶ。ここで、項目 I_1 の重要度を w_1 とすると、重要度 w は列ベクトル

$$w = (w_1, w_2, w_3, \dots, w_n)^T \quad (2-1)$$

の形式に書ける。項目 I_j と I_1 の一対比較値 a_{1j} は重要度の比 w_1/w_j に対する推定値の意味を持つと考えられる。そして、 a_{ij} と w_1/w_j の関係は以下のようにして確認できる。行列 A の各要素 a_{ij} を w_1/w_j で置き換えた行列を $B = [b_{ij}]$, $b_{ij} = w_1/w_j$, と書く。いま、列ベクトル w を行列 B の右から作用させて行列の積を計算すると、

$$B w = \begin{pmatrix} 1 & w_1/w_2 & w_1/w_3 & \dots & w_1/w_n \\ w_2/w_1 & 1 & w_2/w_3 & \dots & w_2/w_n \\ \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ w_n/w_1 & w_n/w_2 & w_n/w_3 & \dots & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} w_1 \\ w_2 \\ \vdots \\ w_n \end{pmatrix} = n \begin{pmatrix} w_1 \\ w_2 \\ \vdots \\ w_n \end{pmatrix} = n w, \quad (2-2)$$

即ち,

$$(B - n I) w = 0, \quad (2-3)$$

となるから、列ベクトル w は行列 B の固有値 n に対する固有ベクトルである。(2-2) 式で行列 B の 2 行目以下は 1 行目の定数倍となっているから、線形代数の定理より [12], 行列 B の階数 (rank) は 1 で、行列 B は非零の固有値を 1 つだけ持ち、他の固有値はすべて零である。従って、列ベクトル w は行列 B の最大固有値 n に対する固有ベクトルである。そして、一対比較行列 A の最大固有値を m , その固有ベクトルを

$$v = (v_1, v_2, \dots, v_n)^T, \quad (2-4)$$

とすると、一般に,

$$m \geq n \quad (2-5)$$

という性質があり、しかも、等号が成立するのは,

$$a_{ij} = v_i/v_j \quad (2-6)$$

の場合のみであることを証明することができる。

以上の議論から、一対比較値 a_{ij} は重要度の比 w_i/w_j に対する推定値であり、重要度 w (またはその推定値 v) を決めるには一対比較行列 A の最大固有値に対する固有ベクトルを計算すればよいことが分かる。

2-6-2. 整合性の判断基準

一対比較の判断の“整合性”を表す指標を持つことが AHP 法の特徴のひとつである。(2-6) 式が成立するとき、すべての i, j, k , について一対比較値の推移率,

$$a_{ik} = a_{ij} \cdot a_{jk}, \quad (2-7)$$

が成立する。このとき一対比較行列 A は整合性があるという。一般に,

一対比較行列Aの固有値はn個あるから、最大固有値m以外の(n-1)個の固有値の平均の大きさを表す次の指標、

$$C. I. = (m - n) / (n - 1), \quad (2-8)$$

で整合性の度合いを検査することができる。この指標を整合度C. I. (consistency index)という。行列Aは整合性があるとき、(2-5)式の等号が成立するので、C. I. = 0である。近似的に整合性があると見做してよい整合度C. I.の値の範囲は経験的に知られている。対角要素はすべて1として、他の行列要素 a_{ij} ($=1/a_{ji}$)の値として、9, 8, …… , 1, 1/2, 1/3, …… , 1/9, をランダムに与えて作った行列に対して計算したC. I.の値がその集団平均値(これをランダム整合度R. I.と呼ぶ)の10%の値よりも小さくなる確率を目安とする方法 [13] がそれである。それによると、評価項目の個数nに対するC. I.の許容上限値は[表2-3]のようになっていけばよい。

[表2-3] 整合度 C. I. の許容上限値

項目数 n	3	4	5	6	7	8	9	10
C. I. 上限値	0.0035	0.048	0.110	0.125	0.134	0.140	0.145	0.149

更に、整合度C. I.とランダム整合度R. I.の比、

$$C. R. = C. I. / R. I., \quad (2-9)$$

を整合比C. R. (consistency ratio)と呼び、これも“整合性”を表す指標に使われる。整合比C. R.の値が0.1以下であれば、通常、一対比較行列Aは整合性があると判断されている。

2-6-3. 重要度の計算法

行列Aは実数非対称の正方行列で、そのサイズは10程度と小さい。このような行列の最大固有値と固有ベクトルのみを計算するには巾乗法

(power method [14]) が最適でかつ単純である。一対比較値を推定する判断にある確率誤差を仮定すると、一対比較行列 A の行要素の幾何平均は固有ベクトル (重要度) の最尤推定値になることが知られている [15]。この幾何平均を巾乘法に於ける初期値に採用すれば、巾乘法の収束が早くなり反復回数が少なくて最大固有値と固有ベクトルが計算できる。以上の方針に沿って、巾乘法による重要度計算と得られた重要度の集計計算等のプログラムを BASIC で作成して、数値計算はパーソナル・コンピュータ (CPU=I80286, クロック数=8-20MHz) を利用して行った。

2-6-4. ソフトウェア機能の重要度の結果

具体的に [表2-2] ソフトウェア機能の一対比較行列に対して、巾乘法で最大固有値と固有ベクトルを計算する。結果は [表2-4] にまとめてあるが、最大固有値が3.0037, 固有ベクトル (重要度) が, $w = (0.64832, 0.22965, 0.12202)$, である。整合度とランダム整合度は、それぞれ, 1.85×10^{-3} と 3.19×10^{-3} , で共に [表2-3] の基準値 3.5×10^{-3} と 0.1 より小さいから, [表2-2, 2-4] の一対比較と重要度は十分に整合性をもっていることが分かる。

[表2-4] ソフトウェア機能の一対比較と重要度

	(a)	(b)	(c)	重要度
(a) データベース機能	1	3	5	0.64832
(b) 開発機能		1	2	0.22965
(c) 操作機能			1	0.12202

$$m=3.0037 \quad C.I.=1.85E-3, \quad C.R.=3.19E-03$$

[表2-4]で非対角要素は互いに逆数の関係にあるので省略されており, m は最大固有値, $C.I.$ は整合度, $C.R.$ はランダム整合度を表す。以下の表においても同じ記法を使うことにする。以上で, ソフトウェア機能(レベル2)に直属する下位レベル(レベル3)のデータベース機能, 開発機能, 操作機能の重み(重要度)が決まったことになる。この例でAHP法のはじめの手順は理解できたことと思う。次にレベル3のそれぞれの評価項目とその詳細な展開項目についていまと同様な手順を繰り返して,

代替案のレベルまで達した評価項目について総合的重要度の決定を行うことになる。

3 . 開発機能の一对比較から総合評価まで

次に、ソフトウェア機能の下位レベルの評価項目(データベース機能、操作機能、開発機能)に対して、階層図(図2-1, 図2-2)に従って、2-5節と2-6節の一对比較と重要度の決定の処理を繰り返し行う。それぞれの評価項目は更に多岐多層にわたるが、操作機能に対する2-5節で述べた簡略化に引き続いて、この章では、開発機能の下位レベルの一对比較と重要度の決定を行ってから、多レベルにわたる評価項目に基づく総合的重要度(総合評価)の決定法について述べる。

3-1. 開発機能

開発機能の下位レベルには、動作方式、データ型の種類、プログラム機能、SQL 準拠、の評価項目がある。このレベルでは SQL 準拠の有無のみに注目して、その内容を問題にするプログラム機能とは独立と見做した。SQL 準拠機能では SQL 準拠を自称する代替案のみを取り扱う予定なので、SQL 準拠との一对比較値は大きくしてある。一对比較と重要度の結果を [表3-1] に示す。

この表の一对比較行列は厳密に整合性があるので、 $C.I. = 0$, $C.R. = 0$ となるはずだが、この表の $C.I.$ と $C.R.$ の値は数値計算の誤差に困るものと考えられる。

[表3-1] 開発機能の一对比較と重要度

	(a)	(b)	(c)	(d)	重要度
(a) 動作方式	1	1	1/5	1	0.125
(b) データ型の種類		1	1/5	1	0.125
(c) プログラム機能			1	5	0.625
(d) SQL 準拠				1	0.125

$$m = 4.0, C.I. = 1.59E-07, C.R. = 1.77E-07$$

3-2. 動作方式

動作方式の評価項目には、インタプリタとコンパイラがある。インタプリタはすべての代替案に備わっているから、コンパイラの有無に注目して代替案を2つのグループに分けた場合の一対比較と重要度の結果を [表3-2] に示す。

- (a) コンパラ有り：dBXL, dBASE III PLUS, 日本語 UNIFY
- (b) コンパラ無し：その他

[表3-2] 動作方式の一対比較と重要度

	(a)	(b)	重要度
(a) コンパイラ有り	1	7	0.875
(b) コンパイラ無し		1	0.125

$$m=2, CI=0.0, CR=0.0$$

3-3. データ型の種類

データ型には、数値型と文字型と論理型がある。数値型には実数型(単精度, 倍精度)と整数型と通貨型などがあり、文字型には文字列型とメモ(ノートとも言う)型の区分と固定長と可変長型の区分がある。その他に、日付型, 時刻型, イメージ型などのデータ型がある。特に, 可変長文字列があればスキーマ定義が容易になる。データ型の種類が多いと型検査によるデータ更新時のデータ管理に有用である。この2点に注目して代替案を分類する。即ち, (a) 可変長文字列が有りデータ型の種類が多い, (b) 可変長文字列が有りデータ型の種類が少ない, (c) 可変長メモ・ノート型が有りデータ型の種類が普通, (d) 固定長文字列のみでデータ型の種類が多い, (e) 文字列が有りデータ型の種類が少ない, の5つのグループに分けた。この5つのグループを評価項目としたときの一対比較と重要度の結果を [表3-3] に示す。

- (a) 可変長+多：MEGABOX, R：BASE PRO
- (b) 可変長+少：桐 Ver. 3
- (c) メモ+普通：dBXL, dBASE IV, dBASE III PLUS
- (d) 固定長+多：informix-SQL, SQL Base, 日本語 UNIFY
- (e) 固定長+少：その他

[表3-3] データ型の種類の対比較と重要度

	(a)	(b)	(c)	(d)	(e)	重 要 度
(a) 可変長+多数	1	2	3	5	7	0.434211
(b) 可変長+少数		1	2	4	5	0.2705
(c) メモ型+普通			1	3	4	0.171489
(d) 固定長+多数				1	2	0.0755483
(e) 固定長+少数					1	0.048251

$$m=5.079, C.I.=1.966E-02, C.R.=1.764E-02$$

ここで、最大固有値は5から少しずれているが、C.I.とC.R.の値はそれぞれの上限值、0.110と0.1 [表2-3] より十分小さいので、上の対比較行列には整合性があるものと判断される。

3-4. プログラム機能

データベースの操作は一般にルーチンワークの中で幾つかの定型操作の繰り返しとして行われる。プログラム機能はこれらの一連の操作手順を登録しておいて一括して実行できるようにする機能で、(a) キーボードマクロやコマンドマクロのマクロ機能、(b) 独自のコマンド系、または、SQL 準拠のデータベース照会言語などの自立型言語機能、(c) COBOL, C, アセンブラなどのコマンド・インタフェイスを持つ親言語機能、の3つの下位レベルが考えられる。

マクロ機能と自立型言語機能はすべての代替案に備わっているのでその内容を見る必要がある。しかし、マクロ機能は開発機能の中のプログラム機能として重要ではないので、この下位レベルの評価項目としない。自立型言語機能の評価項目としては、コマンドや関数の数、プログラム

の大きさの制限，一度にオープンできるファイルの数などの定量的な特性のみを考慮に入れて，一対比較の簡単化のため構造化やオブジェクト指向化などの特性は無視する。ここで無視した特性の一部は SQL 準拠機能によって総合評価に反映されるものと見做す。親言語機能では，その有無と高級言語，C，アセンブラなどのサポートの程度を見る。まず，(b) 自立型言語機能，(c) 親言語機能，の 2 つの評価項目の一対比較と重要度の結果を [表3-4] に示す。

[表3-4] プログラム機能の一対比較と重要度

	(b)	(c)	重要度
(b)自立型言語	1	3	0.75
(c)親言語インタフェース		1	0.25

$m=2.0$, C. I.=0.0, C. R.=0.0

3-4-1. 自立型言語機能

自立型言語機能としては，コマンドや関数の数，プログラムの大きさの制限，一度にオープンできるファイルの数の 3 つの評価項目を下位レベルに設定する。カタログから得られる数値特性に基づいてそれぞれの評価項目について 1 位から 7 位程度の順位を付ける。その順位を適当に数値化して(注 3)，代替案毎に 3 つの評価項目に与えられる数値の合計点を計算する。こうして得られた合計点から代替案を次の 6 つのグループに分ける。この点数の差を判断の基準にして 6 つのグループを評価項目としたときの一対比較と重要度の結果を [表3-5] に示す。

- (a) 21点群：dBXL, R : BASE PRO,
- (b) 19点群：dBASE IV,
- (c) 17点群：informix SQL, SQL Base, 日本語 UNIFY,
dBASE III PLUS,
- (d) 11点群：10BASE III,
- (e) 9点群：MEGABOX, 桐

(f) 3点群：MRDB, ビジレス AD

【表3-5】 自立型言語機能の一対比較と重要度

	(a)	(b)	(c)	(d)	(e)	(f)	重 要 度
(a) 21点群：	1	2	2	5	6	9	0.372098
(b) 19点群：		1	2	4	5	8	0.270910
(c) 17点群：			1	3	4	7	0.190944
(d) 11点群：				1	2	4	0.0827942
(e) 9点群：					1	3	0.0557723
(f) 3点群：						1	0.0274822

m=6.1597, CI=3.193E-2, CR=2.574E-2

3-4-2. 親言語機能

親言語機能としては、(a) 親言語 (C言語が多い) へのリンクをフルにサポートする、(b) 親言語の関数ライブラリが利用できる、(c) アセンブラへのリンクをサポートする、(d) 親言語機能が無い、の4つの評価項目を下位レベルに設定する。これらを実評価項目としたときの親言語機能の一対比較と重要度の結果を [表3-6] に示す。

【表3-6】 親言語機能の一対比較と重要度

	(a)	(b)	(c)	(d)	重 要 度
(a) 親言語あり	1	2	4	9	0.523173
(b) 関数のみ		1	2	5	0.267359
(c) アセンブラ			1	5	0.162542
(d) 親言語なし				1	0.0469263

m=4.072, CI=2.391E-2, CR=2.657E-2

3-4-3. プログラム機能の総合評価

プログラム機能の展開はレベル5の自立型言語機能と親言語機能の2つで終わりなので、[表3-5] と [表3-6] の重要度を代替案に与え、[表3-4]の重要度をそれぞれ重みとして加え合わせれば、レベル4のプログ

ラム機能の総合評価が [表3-7] のように得られる。ここで、総合評価は全体で 1 に規格化してある。また、第 1 位の値を 100 としたときの相対値も示してある。

[表3-7] プログラム機能の総合評価 (レベル 4)

代替案	評価機能 (重み)	自立型言語 (0.75)	親言語 (0.25)	総合評価	順位	相対値
(d)	R: BASE PRO	0.37210	0.52317	0.18047	1	100.0
(i)	dBXL	0.37210	0.16254	0.14077	2	78.0
(c)	informix-SQL	0.19044	0.52317	0.12065	3	68.8
(b)	SQL Base	0.19044	0.52317	0.12065	3	
(l)	dBASE IV	0.27091	0.16254	0.10736	5	59.5
(a)	日本語 UNIFY	0.19044	0.26736	0.092486	6	51.2
(g)	dBASE III PLUS	0.19044	0.16254	0.080948	7	44.8
(h)	10 BASE III	0.082794	0.26736	0.056771	8	31.5
(e)	MRDB	0.027482	0.26736	0.038506	9	21.3
(f)	MEGABOX	0.055772	0.04693	0.023583	10	13.1
(k)	桐 ver. 3	0.055772	0.04693	0.023583	10	
(j)	ビジレス AD	0.027482	0.04693	0.014241	12	7.9

3-5. SQL 準拠機能

このレベル 4 の SQL 準拠機能では、関係データベースのプログラム言語としての機能のみを見る。具体的には、文献 [5] で取り上げられている SQL 準拠を自称する 8 製品について、データ検索機能とレコード集合操作機能とデータ構造定義機能の 3 つの機能に対する調査結果の表(文献[5]の第 4 部の表 2, 表 3, 表 4)を利用する。これらの表の中の評価記号(◎○△※など)を適当に数値化しておく。3-4-1 節の自立型言語機能の場合と同様に、それぞれの評価項目について 1 位から 7 位程度の順位を付け、その順位をまた適当に数値化して、代替案毎に 3 つの評価項目に与えられる数値の合計点を計算する。8 製品の中の 6 製品が我々の代替案に入っている。それ以外の代替案には最下位の順位を付ける。こ

うして得られた合計点から代替案は次の6つのグループに分類される。この点数の差を判断の基準にして6つのグループを評価項目としたときの一対比較と重要度の結果を [表3-8] に示す。

- (a) 27点群：informix-SQL, SQL Base,
- (b) 23点群：dBASE IV,
- (c) 17点群：R: BASE PRO,
- (d) 13点群：10 BASE III,
- (e) 11点群：日本語 UNIFY,
- (f) 3点群：その他

[表3-8] SQL 準拠機能の一対比較と重要度

	(a)	(b)	(c)	(d)	(e)	(f)	重要度
(a) 27点群：	1	2	3	5	6	9	0.402572
(b) 23点群：		1	2	3	4	9	0.251345
(c) 17点群：			1	2	3	7	0.160225
(d) 13点群：				1	1	5	0.0855385
(e) 11点群：					1	5	0.0756649
(f) 3点群：						1	0.0246538

$$m=6.1836, CI=3.672E-2, CR=2.962E-2$$

ここでも、最大固有値は6から少しずれているが、C.I.とC.R.の値はそれぞれの上限值、[表2-3]の0.125と0.1、より十分小さいので、上の一対比較行列の整合性に問題はないものと判断できる。

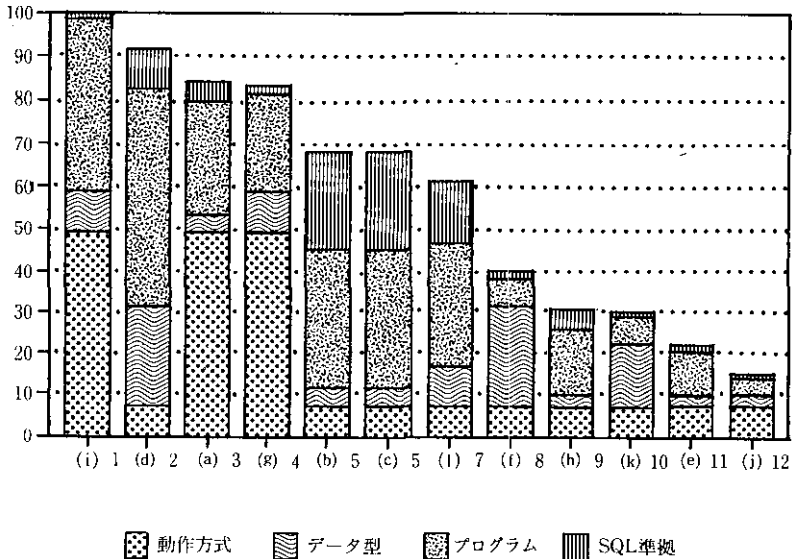
3-6. 開発機能の総合評価

開発機能の下位レベル(レベル4)には、動作方式、データ型の種類、プログラム機能、SQL 準拠、があり、それぞれについての代替案の評価結果は、[表3-2]、[表3-3]、[表3-7]、[表3-8]に与えられている。これらを開発機能から見た重要度 [表3-1] を重みとして加え合わせると開発機能の総合評価が得られる。その結果を [表3-9] と [図3-1] に示す。

[表3-9] 開発機能の総合評価 (レベル3)

評価機能 代替案 (重み)	動作方式 (0.125)	データ型 (0.125)	プログラム (0.625)	SQL 準拠 (0.125)	総合 評価	順位	相対 値
(i) dBLX	0.875	0.17149	0.14077	0.02465	0.14430	1	100.0
(d) R: BASE PRO	0.125	0.43421	0.18047	0.16022	0.13184	2	91.4
(a) 日本語 UNIFY	0.875	0.07555	0.09249	0.07566	0.12102	3	83.9
(g) dBASE III PLUS	0.875	0.17149	0.08095	0.02465	0.11998	4	83.1
(c) informix-SQL	0.125	0.07555	0.12064	0.40257	0.09807	5	68.0
(b) SQL Base	0.125	0.07555	0.12064	0.40257	0.09807	5	
(l) dBASE IV	0.125	0.17149	0.10735	0.25134	0.08818	7	61.1
(f) MEGABOX	0.125	0.43421	0.02358	0.02465	0.05705	8	39.5
(h) 10 BASE III	0.125	0.04825	0.05677	0.08554	0.04412	9	30.6
(k) 桐 ver.3	0.125	0.2705	0.02358	0.02465	0.04374	10	30.3
(e) MRDB	0.125	0.04825	0.03851	0.02465	0.03174	11	22.0
(j) ビジレス AD	0.125	0.04825	0.01424	0.02465	0.02188	12	15.2

[図3-1] 開発機能の総合評価 (レベル3)



この結果からプログラム機能と動作方式またはプログラム機能と SQL 準拠の組み合わせで重要度の大きいものが上位にきており、第4位までが80%以上、第7位まで60%以上のが相対性能であることが分かる。

4. データベース機能の一対比較から総合評価まで

4-1. データベース機能の一対比較 (性能評価分析)

次に、データベース機能(レベル3)の詳細項目についての一対比較に進む。この詳細項目の設定の仕方と詳細項目の間の比較において意思決定者の価値基準が反映される訳である。[図2-2]の階層構造図において、データベース機能の下位レベル(レベル4)の評価項目には、管理機能、関係完備性、検索機能、更新機能、処理性能の5つがある。この5つの評価項目に対するデータベース機能(から見た)の一対比較と重要度計算の結果を[表4-1]に示す。今回の問題は関係データベースシステムの評価なので、これはデータベース管理システムとしての関係完備性と管理機能を重く見た結果になっている。

[表4-1] データベース機能の一対比較と重要度

	(a)	(b)	(c)	(d)	(e)	重 要 度
(a) 管理機能	1	1/2	1	3	5	0.237448
(b) 関係完備性		1	3	4	6	0.428480
(c) 検索機能			1	2	3	0.182187
(d) 更新機能				1	2	0.0958721
(e) 処理機能					1	0.0560122

$m=5.062$, $C.I.=1.553E-03$, $C.R.=1.387E-03$

4-2. 関係完備性

次に、データベース機能を構成する上の5つの評価基準の詳細要素(レベル4)についてのそれぞれについて更に一対比較を進める。まず、[表4-1]で重要度が最も大きい関係完備性機能から始める。

関係モデルが要求するデータの論理構造(表現形式)とすべてのデー

タ操作機能を実現したシステムを関係完備システムという。関係モデルのデータ操作機能には関係演算と集合演算がある。これらの機能にデータベースの安全性制御の機能を加えたものを関係モデルの3要件といい、この3要件を実現したシステムを完全関係システムという。しかし、市販のパソコン用システムにはこれらすべての要件を満たしているものは見当たらないので、要件を緩めることにする。関係演算には、選択(制約)、射影、結合および除算、の4つがあり、そして集合演算には、和(合併)、差、積(共通部分)および、直積、の4つがある。今回は除算と直積の2演算を除いて一対比較を行う。選択、射影、結合の関係3演算だけを実現しているシステムは最小関係システムと呼ばれる。大部分の市販のパソコン用システムは最小関係システムの要件は満たしている。

4-2-1. データ構造とデータ操作機能

まず、関係完備システムとしての2つの評価項目、データ構造とデータ操作機能、について考える。関係モデルではデータベースに格納するすべてのデータの論理構造が2次元の表形式になっている。ところが、データの論理構造が表形式であることとデータの画面表示で“表形式”または“カード型”を実現していることを混同している製品がある。今回の代替案はすべてこの点では合格である。従って、関係完備性については、データ構造を除いて、直接、データ操作機能について一対比較と重要度計算を行えば良いことになる。

データ操作機能の下位レベルの評価項目としては、(a) データ更新、(b) 関係演算、(c) 集合演算、がある。関係データベースにおいて要求されるデータ操作は基本的にいずれもレコード集合を対象としたものである。いずれの操作にしても手続き型言語などを使ってレコードを1件ずつ処理しなければならない場合は該当機能が無いものとする。データ操作機能の一対比較と重要度計算の結果を [表4-2] に示す。

[表4-2] 関係完備性 (のデータ操作性について) の一対比較と重要度

	(a)	(b)	(c)	重 要 度
(a) データ更新	1	1/2	1	0.25
(b) 関係演算	2	1	2	0.5
(c) 集合演算	1	1/2	1	0.25

$$m=3.0, C.I.=0.0, C.R.=0.0$$

4-2-2. データ更新

ここでいうデータ更新とは、レコード集合を対象としたデータ更新のことで、データの追加と変更と削除の機能がある。これらの機能の有無と内容について適当に数値化して代替案を比較すると(注3)、代替案は次の3グループに分けられる。この3グループの一対比較と重要度計算の結果を[表4-3]に示す。

- (G1) 6点群：10BASE III,
- (G2) 7点群：ビジレス AD,
- (G3) 9点群：その他

[表4-3] データ更新の一対比較と重要度

	(G1)	(G2)	(G3)	重 要 度
(G1) 6点群：	1	1/2	1/5	0.12202
(G2) 7点群：	2	1	1/3	0.229651
(G3) 9点群：	5	3	1	0.648329

$$m=3.0037, C.I.=1.847E-3, C.R.=3.185E-3$$

4-2-3. 関係演算

除算を除く関係演算の機能(選択, 射影, 結合)の有無と内容について適当に数値化して代替案を比較すると(注3)、代替案は次の3グループに分けられる。この3グループの一対比較と重要度計算の結果を[表4-4]に示す。

- (G 1) 5点群：ビジレス AD,
- (G 2) 7点群：桐, MRDB,

(G 3) 9 点群：その他

【表4-4】 関係演算の一対比較と重要度

	(G1)	(G2)	(G3)	重要度
(G1) 5 点群：	1	1/3	1/5	0.109452
(G2) 7 点群：	3	1	1/2	0.308996
(G3) 9 点群：	5	2	1	0.581552

$m=3.0037$, C. I.= $1.847E-3$, C. R.= $3.185E-3$

4-2-4. 集合演算

レコード集合を単位とする直接の集合演算が無くとも、上でみたデータ更新と関係演算とそれにビューを操作対象とする機能が備わっていれば少ない手順で集合演算が表現できる。この点を考慮して、直積を除く集合演算の機能（和，差，積）の有無と内容について適当に数値化して代替案を比較すると（注3），代替案は次の3グループに分けられる。この3グループの一対比較と重要度計算の結果を【表4-5】に示す。

(G1) 3 点群：dBXL, 10BASE III, ビジレス AD, dBASE III PLUS,
日本語 UNIFY

(G2) 6 点群：桐,

(G3) 9 点群：その他

【表4-5】 集合演算の一対比較と重要度

	(G1)	(G2)	(G3)	重要度
(G1) 3 点群：	1	1/3	1/7	0.0879462
(G2) 6 点群：	3	1	1/3	0.242637
(G3) 9 点群：	7	3	1	0.669417

$m=3.0070$, C. I.= $3.511E-3$, C. R.= $6.053E-3$

4-2-5. 関係完備性の対比較と重要度のまとめ

レベル4の関係完備性の下位レベルの評価項目（データ更新，関係演算，集合演算）の重要度はそれぞれ，[表4-3]，[表4-4]，[表4-5]，で与えられているから，これらを[表4-2]の重要度を重みとして代替案毎の重要度との積を合計すれば関係完備性の総合評価としての重要度が求まる。その結果を[表4-6]と[図4-1]にまとめて与える。

これらの結果から関係完備性については，1位グループと第2，第3グループとの間には明確な差が見られ，それぞれ，約22-24%と39-45%の差があることが分かる。しかし，代替案に選定されたシステムはいずれも最小関係システムの要件までしか満たしていないこと，および，集合演算の機能については一つのコマンドで実現できるかを問う評価基準にしたことを注意しておく。従って，プログラム機能で実現できる場合はカウントされていない。

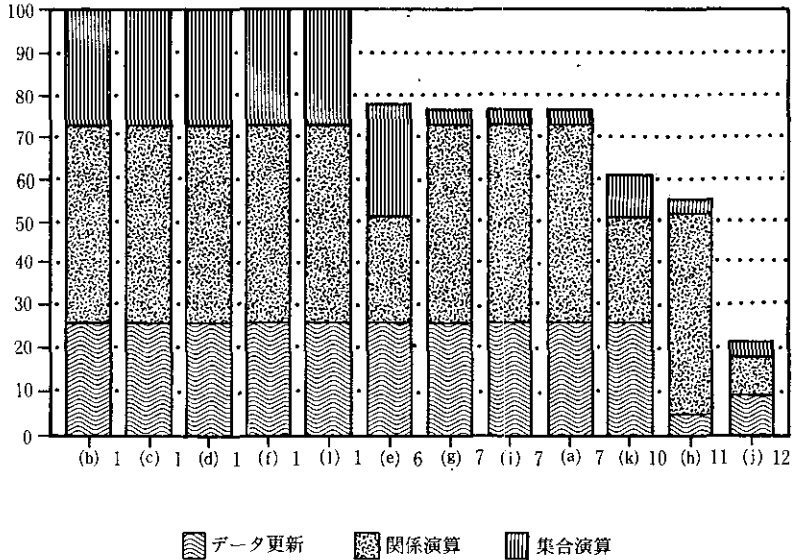
ここまでのまとめ

以上で，今回のテーマにある関係データベース・システムのもつ中心の機能である関係完備性まで述べた。[図2-2]の展開図にあるように，これはデータベース機能に属する下位レベルの一つで，残りの下位レベルの機能（管理機能，検索機能，更新機能，処理性能）の議論と第3章（開発機能）の議論および操作機能に関する仮定（2-5節）を総合すると全体の考察が終了することになる。本論文の紙数が尽きたのでこれらの考察を含む以下の議論と結論については，本論文の続編にまとめることとする。

[表4-6] 関係完備性の総合評価 (レベル4)

代替案	評価機能 (重み)	データ更新 関係演算 集合演算			重要度	順位	相対値
		(0.25)	(0.5)	(0.25)			
(b)SQL Base		.648329	.581552	.669417	.105763	1	100.0
(c)informix-SQL		.648329	.581552	.669417	.104763	1	
(d)R: BASE PRO		.648329	.581552	.669417	.104763	1	
(f)MEGABOX		.648329	.581552	.669417	.104763	1	
(l)dBASE IV		.648329	.581552	.669417	.104763	1	
(e)MRDB		.648329	.308996	.669417	.082524	6	78.03
(g)dBASE III PLUS		.648329	.581552	.0879462	.080974	7	76.56
(i)dBXL		.648329	.581552	.0879462	.080974	7	
(a)日本語 UNIFY		.648329	.581552	.0879462	.080974	7	
(k)桐 ver. 2		.648329	.308996	.242637	.064329	10	60.82
(h)10 BASE III		.12202	.581552	.0879462	.058536	11	55.35
(j)ビジレス AD		.229651	.109452	.0879462	.022872	12	21.63

[図4-1] 関係完備性の総合評価 (レベル4)



【注】

- (注1) 本原稿の投稿締切日は1991年11月30日である。
(注2) dBASE IV の日本語版 (1.1J) が1991年12月に出荷開始された。
これに併って dBASE IV 互換ソフトの機能強化も活発化している。
(注3) この数値化に際しては、市販の製品に関する雑誌資料(文献4, 5, 10, 11) を参考にした。

参考文献

- [1] Codd, E. F., *Communication of ACM*, 13, 6, (1970) , p. 377-387
[2] 平尾隆行, 関係データベースシステム, 近代科学社 (1986)
Date, C. J., *A Guide to the SQL Standard*, 2nd ed., Addison-Wesley (1989)
[3] Smith, P. D., *Files and Databases*, Addison-Wesley (1987)
[4] 林秀幸, 根本勝, 北郷達郎, 日経バイト, No. 42, (1988), p. 93-135
[5] 林秀幸, 北郷達郎, 星野友彦, 日経バイト, No. 70, (1990), p. 266-326
[6] Saaty, T. L., *Analytic Hierarchy Process*, Addison Wesley (1980)
[7] 刀根薫, ゲーム感覚意思決定法-AHP 入門-, 日科技連出版社(1986)
真鍋龍太郎, オペレーション・リサーチ, 1986年8月号, p. 474-478
[8] 刀根薫, 真鍋龍太郎共編, AHP 事例集, 日科技連出版社 (1990)
[9] Keeney, R. L. & Raiffa, H., *Decisions with Multiple Objectives preferences and value tradeoffs*, John Wiley & Sons (1976)
[10] 森山善行, VALUE UP, 第3巻 第1号 (1990), p. 6-25
[11] 林秀幸, 大用昌之, 根本勝, 北郷達郎, 日経バイト, No. 57, (1989), p. 149-187
[12] G. ストラング(山口昌哉監訳), 線形代数とその応用, 産業図書(1988)
[13] Lane, E. F, Verdini, W. A., A consistency test for AHP decision makers, in *Decision Science*, Vol. 20 (1989), p. 575-590
[14] McCalla, T. R. (三浦, 田尾共訳), 数値計算法概説, サイエンス社 (1975)
[15] 竹田英二, サーティの方法によるウェイトの若干の吟味, 文献8, p. 233-246
Crawford, G., Williams, C., A note on the analysis of subjective judgement matrices, *J of Math. Psychology*, Vol. 29, (1985), p. 387-405

北星学園大学経済学部 北星論集第29号開学30周年記念号 正誤表

頁・行目	誤	正
76頁 図2-2下から6行目	親言語インターフェース	<u>親言語インタフェース</u>
79頁 式 (2-7)	a_{ik}	a_{jk}
86頁 3-4-2節	[表3-6] に示す。の次行 欠行 (4行)	(a) SQL Base, informix SQL, R: BASE Pro (b) 日本語UNIFY, MRDB, 10BASE III (c) dBASE III PLUS, dBSL, dBASE IV (d) その他
95頁 【表4-6】 中	(K) 桐ver. <u>2</u>	(K) 桐ver. <u>3</u>
210頁 1行目	必要と <u>す</u>	必要とする
211頁 12行目	して <u>い</u> おり	しており
213頁 13行目	類型は <u>め</u>	類型には <u>め</u>
233頁 11行目	の向か <u>っ</u> て	に向か <u>っ</u> て
235頁 10行目	Die <u>U</u> neendliche	Die <u>u</u> neendliche
236頁 下から6行目	Kler <u>-</u>	Klei <u>-</u>
244頁 Table2&Table3	Stude <u>s</u> ts	Stude <u>n</u> ts
255頁 1行目	Learn <u>i</u> ng	Learn <u>in</u> g
262頁 Table27&Table28	Type 1 <u>**</u> , Type 2 <u>**</u> , Type 3 <u>**</u>	Type 1 <u>*</u> , Type 2, Type 3
263頁 Table29&Table30	Type 1 <u>**</u> , Type 2 <u>**</u> , Type 4	Type 1 <u>*</u> , Type 2, Type 4 <u>*</u>
288頁 16行目	買 <u>え</u> る	か <u>え</u> る
290頁 8行目	小 <u>売</u> 店	小 <u>型</u> 店
356頁 6行目	D	D・ <u>E</u>