

多属性効用理論による情報検索の再定式化

Reformulation of Information Retrieval in the Framework
of Multi-Attribute Utility Theory

鈴木 志 元
Yukimoto Suzuki

Résumé

The genuine purpose of information retrieval system is to support us to select information, not to select information in lieu of us. In other words, information retrieval systems should be a kind of decision support systems. So, it is reasonable to reconstruct information retrieval systems in the framework of utility theory.

In this paper, we show that some models ever proposed can be reconstructed in the framework of Multi-Attribute Utility Theory. Especially, we adopt Additive Difference Model in order to reformulate Extended Boolean Retrieval Models.

- I. はじめに
 - A. 情報検索と意思決定
 - B. 思考の領域固有性：人間の合理性
 - C. 情報検索理論における効用理論的アプローチ
- II. 情報検索の原理
 - A. 形式意味論としての情報検索
 - B. 意味的操作
- III. 多属性効用理論
 - A. 連言規則
 - B. 選言規則
 - C. 期待効用規則
 - D. コンジョイント規則
 - E. 加法的差分規則
 - F. その他の規則

鈴木志元：東京大学大学院教育学研究科，東京都文京区本郷 7-3-1

Yukimoto Suzuki: Graduate School of Education, University of Tokyo, 7-3-1, Hongo, Bunkyo-ku, Tokyo.

1991年9月6日受付

IV. 効用規則としての検索規則

- A. ブール検索モデル：連言規則，選言規則
 - B. ベクトル空間モデル：期待効用規則
 - C. ファジー検索モデル：連言規則，選言規則
 - D. 拡張ブール検索モデル：加法的差分規則
- V. おわりに

I. はじめに

情報検索のモデルは、ブール論理やファジー論理等の論理を中心にして展開されてきた。本稿では、情報検索という仕組みの基本を見直すことによって、これらがすべて効用理論（あるいは意志決定理論）という枠組みの1つの例として位置づけられることを示す。

これまでにも情報検索論を統計的決定理論によって定式化した例はいくつかあった。統計的意思決定理論の枠組みは代替案、自然の状態、結果（あるいは利得）の3つからなり、自然の状態の生起確率と我々が取りうる行動のパターン（代替案）、それに各々の場合の結果に対する価値判断が明確であるとき、これらのデータから計算される価値の期待値に基づいて意思決定がなされると考えるものであるが、意思決定の情報検索モデルでは、語の出現を自然の状態と考え、RSV (retrieval status value)¹⁾を価値と考えて、RSVの計算に意思決定理論の枠組みを持ち込んだものであった。

統計的決定理論においては自然の状態の生起確率や結果に対する価値判断が明確でなければならないが、人間の通常的意思決定においてこれらが明確であることはむしろ珍しい。このような通常的意思決定を理論化しようとして意思決定理論は大きな広がりを持つようになった。統計的決定理論はその広がりの中の一部にすぎない。従来の統計的意思決定理論に基づく情報検索モデルは種々の情報検索モデルの中の1つの例であったが、より柔軟な効用理論（決定理論）を採用すればすべての情報検索モデルが効用理論に基づくモデルとして説明することができる。

本稿では、情報検索の根本にたち帰り、文献を選ぶという基本的操作を明確にし、従来の情報検索モデルを効用理論的な情報検索の1例として説明しようとする。今回の定式化によって、ブール検索モデル、ファジー検索モデル、ベクトル空間モデル等を、すべて1つの枠組み（効用理論）の中に位置づけて論ずることが可能になる。

すでに述べたように、情報検索理論を統一的に見るということが今回の研究の大きな動機の1つであるけれど、人間が積極的に参加できるシステムとして情報検索システムを位置づけたいということがもう1つの動機である。情報検索とは文献を選択するという行為であるが、利用者の問題は複雑な文脈の中にあるので、その選択には必然的に不確実性が伴ってくる。したがって、この不確実性をシステムの構成要素としてうまく取り入れられないならば、情報検索システムの効能はあやしいものとなる。従来から、この不確実性を統計的にとらえる様々な試みがなされてきたが成功にはほど遠い状況である。これに対して、文脈情報を認識する装置として人間を評価し、人間の判断を積極的にシステムへ取り込むべきだという考えもある。本稿はこの考えに立ち、その基礎づくりを目指すものである。さらに、この主張を支える根拠として、人間の判断の合理性に関する議論の1つを紹介した。人間はそれほど愚かではなく、状況によっては適切な判断を下すことができるという議論である。本章ではこれら2点について述べ、最後に効用理論的な枠組みでこれまでに論じられた情報検索の研究の系譜を振り返る。

第2章では情報検索を形式的意味論として基本的に見直し、情報検索において意味を求める（計算する）操作が多属性効用理論における操作と同じものであることを示す。第3章では多属性効用理論について説明し、主な効用規則について述べる。第4章では主な情報検索規則が第3章で述べた効用規則に則ったものであることを説明する。

A. 情報検索と意思決定

情報検索という場面に直面したとき、利用者はその場面を十分に理解できているのだろうか。一般的に言って、この場面には2つの知識が関わっていると考えられている。データベースに関する知識と利用者自身の問題に関する知識である。シソーラスの構造等、データベー

スに関する知識を利用者に求めることは、かなり現実離れしたもののように思える。たとえそれが可能であると仮定しても、Belkin や Wersig たちが言うように²⁾、利用者による彼自身の問題の把握には常に不確定要素（情報が不足しているので問題が明確にならないというジレンマ）がつきまとう。したがっていずれにせよ、利用者が情報検索という場面を正確に理解しているとは考えられない。

しかし、そのような場面においても利用者は「それなりに」合理的な解答を求めている。「それなりに」とは、利用者自身の問題に対する認識と利用者もっている情報検索への期待に応じて、という意味である。場合によっては、いわゆる「正解」を求めることもあるだろう。また、場合によっては、「不完全な解」で満足することもあるだろう。ここでは不完全ということばを「 \square 」でくって表したが、それは再現率や精度といった基準から見れば不完全であっても利用者の要求に対して不完全であるとは限らないからである。利用者が満足する解答ならそれはそれなりに「正解」なのだ、と考えたいのである。例として出力超過を考えてみよう。いくら「正解」であっても、読み切れないほどの「正解」とはどういう意味を持つのだろうか。出力超過が起こりそうとき、問い合わせに新しいキーワードを加えて出力件数を調整しようとするのは、我々がその場の状況に合わせて「正解」の基準を柔軟に変化させていることの1つの現れである。

同様のことを H. Simon は企業における意思決定の場面において考え、意思決定の基準として満足性基準 (satisficing criteria) と呼ばれるものを提唱した。オペレーションズリサーチや統計的決定理論等で最適解を求める方法はいくつも提案されているけれど、これらの方法を適用するには現実の問題はあまりにも複雑すぎる。『このような複雑さに直面して、現実世界の企業は、最善の解が得られない問題に対して十分に良い解を与える手続きに頼るのである³⁾、経済人とは最適解を求める人ではなく、『満足化を追求する人³⁾』なのだ、と Simon は言うのである。すなわち、人間ができる限りの状況判断をおこなった結果ならそれを受け入れよう、と考えるわけである⁴⁾。

文献検索という行為は、必要な文脈を大量な文献集合の中から選び出すこと、つまりレバントな文献の選択であるといえるだろうが、選択という行為は典型的な意思決定行為なのである。あるいは、意思決定の中心とな

る行為は選択なのだ、といった方がより正確であるかもしれない。長い間、情報検索に論理が用いられてきたのは、論理が本質的に選択に関わるものだからである。間違っていないのは、論理的規則が意思決定規則（効用規則）の1部分なのであって、その逆ではないということである。形式論理が適応できるのは、極めて限られた場面でしかない。意思決定規則は論理的規則をも含むより広い概念である。

B. 思考の領域固有性：人間の合理性

前節とも関連することだが、人間というものとはそれほど愚かではなく状況によっては“合理的に”行動しうるのだ、という考えが本稿の基底にある。だからこそ情報検索における操作を個々の利用者の意思決定に任せようと主張したいのである。この考えの根拠となりうるものを本節で提示する。

人間が合理的に行動しうるか否かという問題は心理学において長らく議論的であった。それらの議論の中で、人間の状況的合理性を主張する側の依り所となっているのが Wason たちによる「4枚カード問題」とそれを理論づける「思考の領域固有性」である。4枚カード問題とは、一方の面には数字、他方の面にはアルファベットの記してある4枚のカードを、数字が表になるように2枚、アルファベットが表になるように2枚並べておき（例えば、EF78）、「偶数のカードの裏には必ず母音を書いてある」という命題の真偽を確かめるためには、最低どのカードを裏返してみなければならないでしょうか。⁵⁾と問う問題である。これは、対偶の概念を「知っているか」どうかを調べる問題であって、大学生なら当然知っているはずのものである。しかし、結果は正答率が20%にも満たない。近ごろの大学生の学力はひどいものだから、論理学の授業がおかしいのではないかと、いった解釈の仕方もあろうけれど、これに続く実験でもっとおもしろいことがわかってきた。これと全く同じ構造をもった問題を現実起こりそうな状況設定のもとで解かせてみると、はるかに高い正答率が得られたのである。このような問題として、「コレラ問題」とか「シアーズ問題」などがある⁶⁾。

例えば「シアーズ問題」は、店長がレシートのチェックをするという状況を設定しており、我々にも容易に想像できるような問題設定になっている。レシートの表側には売上高が記入してある。いま、手元には4枚のレシートがあり、そのうちの2枚は表(20\$, 30\$)が、残り

2枚は裏(サインあり, サインなし)がでているとする。このとき, “売上高が30\$以上ならば, 裏に店長のサインがなければならぬ”という規則が正しいかどうかを見るには, どのレシートを裏返してみればよいか。これが「シアーズ問題」である。問題の構造そのものが「4枚カード問題」と同じであることはお分かりいただけることと思う。

このように現実的な問題設定を行えば高い正答率が得られるという事実は, 人間の理解能力ということについて, 様々な問題を提示するものである。人間は教え込まれたことだけしか理解しない, ということではもちろんない。しかし, 普段の生活状況からかけ離れた状況では, 思考を思考たらしめるために(人間が思考しうる状況は限られているので, そのような状況に捉え直すために)何か別の因子が入り込んでくるものらしい。知識は無限に応用可能なわけではなく, 適応しうる領域が定まっているというこの現象は「思考の領域固有性(Domain Specificity)」といわれている。『人間の思考というものは, どこまでもその人間の文化, 生活空間, あるいは「場」というものへの適応であり, それらへの「かかわりあい」なのであろう⁷⁾。

このことを合理性という言葉を用いて言い替えてみよう。状況というものを重視すれば, 合理性とはその状況における最適性とも考えられるものであり, 「合理的であるかないか」は, 場面を明確に設定してはじめて論じられることである。しかし, この状況で考えよ, と課題を与えられても, 人間は, つい人工的に設定された場面を超えて状況を考えてしまう。いうなれば, よく考えるがゆえに「不合理」とも見える行動をとってしまうのである。数学学習の場面がそのいい例である。物事を単純化し, その人工的に作られた世界の中で厳密に考えようとするのが数学であるが, 人々はつい, この人工的な世界よりも広い世界で考えてしまう。「アメ玉3個とビー玉2個を合わせると何個?」という問いに口ごもる子供の能力が劣っていると, 彼は合理的な行動がとれないのだ, とは思えない。彼の世界では, アメ玉とビー玉は全く別のカテゴリーに属するものであり, それらを加えるなどということは, 彼にとって言語道断な行動だったのだ, と考える方がより自然であろう。このような問題設定下におかれた子供に, いわゆる合理的な解答を押し付けてみたところでどれほどの効果があるものだろう。

現在の文献検索という場面においても, 利用者はこの子供と同じ扱いを受けているのではないだろうか。つま

り, 状況理解のずれをそのままにして, “一方の論理”が押し付けられる, という事態である。これは利用者を愚か者扱いした結果として生じたことである。インターフェースというものは, もともと, 利用者に使やすいシステムをめざして生まれたものであるが, 利用者への情報を制限することがその方法であると考えられてきた。その結果, インターフェースの視野は限られたものになり, 利用者は視野の外側はなにも見えない愚か者になってしまう。そのため, いま現在使用しているシステムがどのようなものであるのかということは, 何等かのトラブルでも発生しないかぎりわからない。つまり, Winogradのいう“break down”⁸⁾が生じない限り, システムの本当の姿が見えてこない, という事態になるのである。これまでのシステムは, 「利用者はシステムの姿など見えなくてよい。ただ言われた通りにボタンを押していればいいのだ。その方が親切だろう」という考えで作られていたものが多い。これではシステムの真の利用は望めない。我々は, 自分の行っていることを自分で納得したいのである。

今のところコンピュータは文脈情報を利用して意味解釈することはできない。これら雑多な情報をうまく統合して判断できるのは, 現在の段階では, 人間しかいないのである。情報検索システムとは人間が文献情報を選択するときに支援するシステムであって, 人間の代わりに選択を行うシステムではない。選択を行うのはあくまでも人間である。

C. 情報検索理論における効用理論的アプローチ

ここで簡単に, これまで提案された情報検索理論における効用理論的アプローチについてふれておこう。

(1) Swets, Bookstein

Swetsは, 信号検出理論を用いて情報検索理論を定式化した⁹⁾。信号検出理論とは, もとを正せば統計的決定理論であり, 彼の情報検索理論は効用理論(ないし意思決定理論)を用いて情報検索理論を構築しようとする試みのはしりであったとみなせる。情報検索の中の不確定性というものを検索結果の中に必然的にノイズが入って来るという現象として捉えるなら, 信号検出理論によってノイズの発生を統計的に表現したSwetsは, 情報検索モデルの中に不確定性を導入した最初の1人であろう。

単語の記憶再認課題を例にとって説明する。信号検出理論によれば, さきに与えられた単語リストの中にある単語が実際にあったかどうかの判断は, 被験者のもつ記

憶痕跡の強さとこの再認課題の成績による満足度(効用)によって定まると見なすのである。つまり、この判断問題は、yes と応えるべきか no と応えるべきかの意思決定問題であって、記憶痕跡の強弱のみによって反応が決まるわけではないと考える。記憶痕跡の強さと効用とから定まる値がある値よりも大きければ yes, その値よりも小さければ no と応えるであろう、というのが信号検出理論による記憶再認のモデルである。つまり、それまでの行動主義の心理学では、刺激がある閾値を越えたときに反応が生じるとされ、人間は単なる反応機械とみなされていたのだが、信号検出理論では、人間を能動的に決定するものへと捉え直したわけである。

情報検索の場面において、信号検出理論による意思決定は次のように行われる。レバントな文献を検索することによる効用(満足度)を a , レバントでない文献を検索しないことによる効用を b , レバントな文献を検索することによる効用を $-c$, レバントでない文献を検索しないことによる効用を $-d$ とする。ある文献 x がレバントである確率を $P(S|x)$, レバントでない確率を $P(N|x)$ とする。 S と N はそれぞれ信号とノイズを表している。期待効用理論に従えば、文献 x を検索することによる効用値(期待値)が、文献 x を検索しないことによる効用値より大きいときに文献 x を検索すべきである。上記のようにそれぞれの事象の効用と確率が与えられているならば、文献 x を検索するという決定の効用値(期待値)と、検索しないことによる効用値はそれぞれ

$$\begin{aligned} & a \cdot P(S|x) + (-c) \cdot P(N|x) \\ & b \cdot P(N|x) + (-d) \cdot P(S|x) \end{aligned}$$

であり、検索することによる効用値の方が大きいとき、すなわち、

$$P(S|x)/P(N|x) > (b+c)/(a+d)$$

であるときに文献 x を検索すべきであるとの結論がえられる。

これは、意思決定理論にもとづく情報検索モデルの原型であり、これに続くモデルは、信号(レバントな文献)の出現確率分布とノイズ(レバントでない文献)の出現確率分布をより現実的なものに変更したにすぎない。つまり、Swets のモデルにおいては信号とノイズの出現確率分布は共に正規分布であると仮定されていたが、Bookstein-Swanson や Harter によるモデルでは、ポアソン分布が用いられた¹⁰⁾。なお、ポアソン分布は、2 項分布において確率が小さい場合の近似形である

ので、基本的には 2 項分布と同じく 2 値判断(表か裏か、レバントかノンレバントか)がもたれている。つまり、この意味においても信号検出理論と同様、yes-no 実験の枠内で議論しているのである。

(2) Cooper, Rorvig

効用理論をもとに情報検索や索引の理論を構築しようとしているのが Cooper である。特に、これらの理論の要となる確率の扱いについては、一貫して、頻度データよりも主観的確率を用いるべきだと主張している。「主観性が必ずしも悪だろうか。もし悪だとしても、それに代わるものがあるだろうか。どの様なサービスシステムも利用者の満足のためにある。そして要求が満たされたかどうかを最もよく知るのは利用者自身なのだ。いわゆる“客観的”方法は、利用者の実際の基準から逸脱するように思われる。」¹¹⁾

主観的確率の強調は、数学的決定理論にかわる心理学的決定理論の採用を暗示している。心理学的決定理論は人間の判断の定式化を多属性効用理論から借用しており、また効用理論も人間の効用判断(経済的判断)を議論の出発点としており、これら 2 つの理論は互いに影響を与えあって発展してきた。多属性効用理論に関する Tversky の一連の研究の中で、選好確率の単純尺度化可能性に関するものがある。1969 年に彼と Russo は¹²⁾、対象 a が対象 b よりも選好される確率 $p(a, b)$ が各対象の尺度値の関数として表されるための条件が、次の 3 つの条件と同等であることを示した。(1) 統計的推移性: $p(x, y) \geq 1/2$ かつ $p(y, z) \geq 1/2$ なら $p(x, z) \geq \max[p(x, y), p(y, z)]$ 。(2) 代替可能性: 任意の対象 x, y, z について、 $p(x, y) \geq 1/2$ の時に限り $p(x, z) \geq p(y, z)$ が成り立つ。(3) 独立性: 任意の w に対して $p(x, w) \geq p(y, w)$ である時に限り $p(x, y) \geq p(y, z)$ が成り立つ。この定理によって、人間の選好判断が単調関数を用いて尺度化可能であるのかどうかを知りたいときには、選好の推移性や独立性を調べればよいことがわかる。

Rorvig¹³⁾ は文献に対する適合性判断が単純尺度可能であることを、適合性判断の推移性や独立性を調べることによって明らかにした。これは人間が文献の適合性を判断する場合、それが一貫している(人間の判断がそれほどたためではない)ということを実験的に証明したものであると考えることができ、人間の判断をシステムの重要な構成要素の 1 つとして組み込もうとする動きに対して 1 つの根拠を与えるものである。この成果が、情報検索理論に多属性効用理論を用いた数少ない 1 つ

であろう。

II. 情報検索の原理

本稿では情報検索理論を一種の形式意味論と考えることから出発する。本稿の目的は検索規則がすべて効用規則（意思決定規則）で言い換えられることを示すことにあるのだが、その前段階として検索規則がある種の数値的操作と見なせることを示したいからである。

A. 形式意味論としての情報検索

形式意味論¹⁴⁾は、1つの基本的原理をもとにして意味論を構築しようとするものである。それは、統語論の構成要素と意味論の構成要素の間には厳密な対応関係が存在しなければならないという原理であり、数学的には、統語論の構造と意味論の構造とが準同型をなしていると表現される。この原理は、構成原理 (compositional principle)、あるいは、最初の提案者の名前をとって、フレーゲ (Frege) の原理と呼ばれている。

この原理に従えば、複合表現の意味は、その部分表現の意味と、それらの部分表現を統合する統語的操作に基づいて定められる。すなわち、部分表現 E_1, E_2, \dots, E_n に対して部分意味 D_1, D_2, \dots, D_n が指定され、これらの表現を統合する統語的操作 F に対応して、部分意味を統合する意味的操作 G が定まる、と考える。例えば、英語という言葉の統語論に、述語論理という意味論を対応させてみよう。いま、“John loves Mary.” という英語の文があるとする。この文では、部分表現 “John” と “Mary” を “loves” という動詞がつなぎ合わせていると考えられる。この時、これらの部分表現に対応して述語論理の記号が、それぞれ $j, m, L(\)$ というように定まり、文全体の意味が $L(j, m)$ という述語論理式として決定される、と考えるのが形式意味論の基本的考え方である。

つまり、部分表現が組み合わされて1つの文が構成されるように、部分意味が組み合わされて文の意味が構成されると考えるわけである。言い換えれば、ボトムアップに意味が構成されると言ってもいいだろう。

情報検索理論もある種の形式意味論として展開することができる。つまり、情報検索においては、検索式の部分表現としての各ディスクリプタに意味論としては文献集合（その語を索引語としてつけられている文献の集合）が対応し、検索式における統語操作としての AND, OR, NOT に対して、意味操作としての集合演算が対応

していると考えられ、1つの検索式に対応する意味として、ある文献集合がボトムアップに構成される。

いま、統語的操作としての AND, OR, NOT に集合演算が対応すると述べたが、これは通常のブールの情報検索モデルではそうであるということであって、必ずしも集合演算でなければならないということではない。形式意味論の基本原則に則れば、統語的操作に意味的操作が対応し、全体の構成として、統語論と意味論とが準同型になればいいのである。ファジー検索では AND に対して乗法、OR に対して加法を対応させるモデルも提案されているが、統語論と意味論との一貫性が保たれていさえすればいいのであって、意味的操作がいわゆる集合演算でなければならない必然性はない。正確にいえば、“AND” という「ことば」に対する心理的妥当性も考えなければならないのだが、それをいうなら、AND ということばを使わなければならないという必然性もない。AND, OR, NOT というブール論理の名称が用いられてきたという事情から、情報検索は論理ないし集合演算で処理するものだ、という考えが定着しているようであるが、これは先入観にすぎない。

B. 意味的操作

上にあげた例では、意味的操作として集合演算を考えたが、集合をその特性関数に置き換えてみれば、意味的操作を数値的操作と考えてよい。索引作業によって文献にはあるキーワードに関連する度合としての属性値が割り当てられており、この属性値と検索式における重みによって、検索式の部分表現としての各キーワードに対する評価値が定まる。この値がいわば部分意味値であり、これらの数値を AND, OR, NOT といった統語的操作に対応して統合する操作が意味的操作である。この操作によって、各文献のある検索式に対する意味値が定まる。この意味値を総合評価値と考えてもいいし、従来の用語で言えば、RSV であると考えてもよい。

従来の情報検索モデルにおいても、意味的操作はいろいろ提案されている。例えばファジー検索モデルにおいて、AND に対応する操作として $\min(e_1, e_2)$ の他に $e_1 e_2$ などが提案されている。

情報検索を文献集合の集合演算と見なすと、ベン図では数値の計算と文献の選択が区別されず1つの操作として表されるので、これまで情報検索が意味値の計算と大きな意味値を持つ文献の選択という2つの操作からなるものとして認識されることはなかった。情報検索シ

システムは通常、意味値 (RSV) の大きい順に出力させたり、検索式によって決定された閾値より大きな意味値 (RSV) をもつ文献を出力させることまで含まれているが、情報検索システムの中心的操作は、各文献の意味値の計算なのである。

III. 多属性効用理論

前章で述べたように、情報検索は各属性に割り当てられた値をもとにして各選択肢の総合評価値を求める操作が基本となっているが、このような操作は多属性効用理論において定式化されている操作の中の 1 つの特殊な例と見なすことができる。多属性効用理論とは、選択肢を複数の属性に分解して表現し、効用加算規則を用いて、選択肢の効用を求めるものである¹⁵⁾。例えば眼鏡を選ぶ場合、眼鏡の属性として、度の強さ、フレームのデザイン、掛け心地、価格等の属性のおのおのを別個に評価し、その後になんらかの計算式に基づいて個々の評価を総計し、その値の大小によって眼鏡の選択が行われると考えられる。おれが多属性効用理論による選択の例である。

なお、個々の属性の評価値を総計する規則を多属性効用規則と呼ぶ。多属性効用規則には様々なものがあり¹⁶⁾、それぞれに対して情報検索規則が対応していると考えられる。ここでは本稿で用いるものを中心に紹介しよう。

A. 連言規則 (Conjunctive Rule)

ある属性に関する評価値が特定の値以上なら、その選択肢は少なくともその属性に関する限りは充分望ましい (合格である) という値を基準値と呼ぶとき、すべての属性について基準値を越えている選択肢のみを選べという規則を連言規則という。属性値が 0 と 1 の 2 つだけであるなら、すべての属性について 1 をとる選択肢を選ぶことになる。

B. 選言規則 (Disjunctive Rule)

ある 1 つの属性についてだけでも基準値を満たすなら、その選択肢を選ぶという規則を選言規則という。属性値が 0 と 1 の 2 つだけであるなら、属性値の和が 1 以上であるような選択肢を選ぶことになる。

C. 期待効用規則 (Expected Utility Rule)

ある事象の生起する確率がわかっており、その事象が

生起したときの効用が定まっているならば、起こりうる事象をすべて考えることで効用の期待値を求めることができる。選択する行動によって事象群は変化する。期待効用値の大きさによって行動を選択しようとする規則が期待効用規則である。信号検出理論による情報検索モデルは検索規則として期待効用規則を用いていた。

D. コンジョイント規則 (Conjoint Rule)

(1) 加法的コンジョイント規則 (Additive Conjoint Rule)

個々の属性に対する効用値を総計する演算が加法であるとき、その決定規則を加法的コンジョイント・ルールという。この規則を用いるには、対象となるものの集合の構造がある条件を満たしていなければならない。基本となるのは次の 2 つの定理である¹⁷⁾。

Cantor の定理: いま X を空集合でない有限集合とし、そこでの 2 項関係 $*$ が弱順序であったとする。このとき、すべての $x, y \in X$ に対し、

$$x * y \Leftrightarrow \phi(x) \geq \phi(y)$$

をみたすような関数 ϕ が存在する。

Holder の定理: アルキメデス順序群は代数系 $(R, >, +)$ と準同型である。つまり、アルキメデス性や弱順序という条件を満たす代数系 (この場合は群) は、通常の実数の世界で表現することができるということである。

これらの定理をもとにすれば、加法的コンジョイント規則が使えるための条件は、(1) 選好構造 $\langle X, \geq \rangle$ が弱順序 (2) X_i がお互いに選好独立 (3) アルキメデス性 (4) 制限なし可解性 (5) 本質的の 5 つであることがわかる¹⁸⁾。この中でも本質的なのは弱順序と選好独立性の 2 つだけであって、見かけほどきつい制約ではない。van Rijsbergen¹⁹⁾ は情報検索システムの評価を多属性効用理論の枠組みで行い、再現率と精度からなる 2 属性評価関数が加法的コンジョイント規則を満たしていることを証明した。

(2) 等間隔加法的コンジョイント規則 (Equally-spaced Additive Conjoint Rule)

加法的コンジョイント系を簡略化したものに等間隔加法的コンジョイント系というものがある。これは加法的コンジョイント系を有限個の点によって近似したものと見なせるもので、近似である分だけ条件は緩く、理解し易いものとなっている。

有限集合 X_i の元を大きさの順に並べることができる

とき、隣合っている2元の関係を*’で表そう。説明のため2次元で考える： $X=X_1 \times X_2$ 。独立性（第一成分と第二成分が互いに影響しあわない。つまり、次元ごとに独立に全体の選好に寄与する。）の条件を満たし、そこで定義された2項関係が弱順序（1）連結的、2）推移的）である様な関係 $\langle X \times X, *' \rangle$ が次の条件を満たすとき、この関係系を等間隔コンジョイント系（equally spaced additive conjoint system）という。

$$x_1 *'_1 y_1, y_2 *'_2 x_2 \Rightarrow (x_1, x_2) \sim (y_1, y_2) \quad (1)$$

条件式（1）は、第1成分の値をいくらか減らしても第2成分で補うことができるということ、言い換えれば、 (x_1, x_2) と (y_1, y_2) はトレードオフできるということを表している。この同値関係 \sim で同値とみなされた点をつないで出来る曲線は、経済学でいうところの無差別曲線（等効用曲線）である。この場合、代替率は変化しないので、無差別曲線が直線という非常に簡単な形で表される。観察対象が等間隔コンジョイント系の条件を満たしていれば、対象間の関係を加法的に表現する実関数の存在が証明されており、効用の順序を数値的な順序で表すことが可能となる。

例えば情報検索の場面において、入力すべきディククリプタがもたらすであろう効用を利用者が数値で表現でき、各ディククリプタが独立であると仮定できるなら、RSV は等間隔コンジョイント系であるといえる。するとその時、各文献のRSVを表す実関数が存在することがわかる。

例えば、ある利用者が図書館の教育的機能についての文献を知りたいとしよう。ある文献が図書館と教育について(0.8, 0.3)と重みづけがなされており、また別の文献が(0.7, 0.4)と重みづけがなされているときに、この2つの文献が同じ効用を持つとみなせば、等間隔コンジョイント系の条件を満たすと考えられる（双方ともRSV=1.1）。このような具合に選好関係を数値的に表現できるという保証を上記の定理は与えてくれるのである。

E. 加法的差分規則 (Additive-Difference Rule)

Tversky²⁰⁾ は、多属性選好を表現する最も一般的な形として加法的差分構造を求めた。これは属性ごとの効用の差を求め次にそれらを総和するという形態をとる。つまり、属性内の操作を最初に行なって次に属性間の操作を行うのである。加法的コンジョイント規則ではこの逆で、属性間の操作を最初に行い次に属性内の操作を行

なった。

加法的差分規則は加法的コンジョイント規則の一般化となっている。加法的コンジョイント規則は、加法的差分規則における各属性ごとの効用関数が線形関数である特別の場合として位置づけられるからである²¹⁾ また、加法的コンジョイント規則では常に推移率が成り立ったけれど、加法的差分規則では必ずしも推移率は成り立たない、という意味においても一般化になっている²²⁾。例えば、多数決という決定規則は推移率を満たさないのだけれど、これは加法的差分規則で定式化できるのである²³⁾。

もともとは、Tversky たちが多次元尺度法を測度論的に基礎付けようとして、多次元尺度法で用いられる距離空間を加法的差分構造として定式化したのが最初である²⁴⁾。つまり、多次元尺度法では幾何学的モデルが用いられるが、幾何学的モデルの根底にある理論的仮定は、(1) 対象が、ある座標空間の点として表現できる（次元性仮定）と(2) 非類似性が計量的関数の様にふるまう（計量性仮定）の2つであり、「距離関数を特定化するために、対象の次元的な構造を計量的距離に関係づける付随的な仮定（次元内の差分可能性と次元間の加法性）を設け、これらの仮定の公理的分析」²⁵⁾をおこなったのである。

つまり、測定理論の観点から多次元尺度法を見たとき、非類似性が距離で表されるための条件が問題になる。距離としてミンコフスキー計量

$$d_{ij} = \left\{ \sum_a |x_{ia} - x_{ja}|^p \right\}^{1/p} \quad (p \text{ は正の整数})$$

をとったとき、このモデルは

(1) 刺激 i, j 間の全体としての距離は i と j の違いを各次元ごとに独立に評価した結果を異なった次元のわたって総合することによって与えられる。

(2) 次元ごとの違いは加算され、さらに単調変換されて全体としての距離を与える。

(3) 刺激の各次元ごとの違いは、刺激のその次元における座標値の絶対差の単調関数として与えられる。

これらは、分解可能性、次元間加法性、次元内減法性と呼ばれ、それぞれに対応したモデルが提出されている。

次元間加法性と次元内減法性を同時に仮定すると、

$$o_{ij} = F \left[\sum_a \phi_a(|x_{ia} - x_{ja}|) \right]$$

が得られる。これが加法的差分モデルである。

$\phi(x)=x^p$, $F(x)=x^{1/p}$ と置けば、これはミンコフスキー計量になるので、加法的差分モデルがミンコフスキー計量を一般化した概念であることがわかる。さらに距離の公理と部分加法性をみたら加法的差分構造はミンコフスキー計量だけであることが示されている²⁰⁾ つまり、加法的差分はそのままでは距離とならない。三角不等式を必ずしも満たさないからである（よって非推移となる）。これに部分加法性条件を加えると、これは推移性条件であるから距離となる。そして、それはミンコフスキー距離であり、それだけであるということが証明されているのである。後でこの結果を用いる。

F. その他の規則

本稿では使用しない規則をいくつか紹介しておこう。これらを基にした検索規則も考えられる。

(1) 優越性規則 (Dominance Rule)

2つの対象を比較する場合、考えている属性の集合のすべてに対して、一方が他方より優れている（いくつかの属性については同等であってもかまわない）とき、優れている方を選ぶという規則である。選択の基礎というべき規則であるが、この条件を満たす場面はめったにない。経済学ではパレート選好と呼ばれている。

(2) 辞書的規則 (Lexicographic Rule)

属性のあいだに重要性の順序がつくとき、まずはじめに、いちばん重要な属性について選択肢を比較し、最も望ましいものを選ぶ。もしその属性で優劣が決まらないときは次に重要な属性で比較する、という選択プロセスによる選好規則を辞書的規則という。

(3) 属性値による排除規則 (Elimination By Aspect: EBA)

ある1つの属性に注目する。その属性の基準値を満たさない選択肢をすべて排除し選択の幅を縮小する。それでもまた選択肢が多ければ、もう1つ属性を選んでこの手続きを行えばよい。

(4) 勝率最大化規則 (Maximizing number of attributes with a greater attractiveness rule)

2つの対象を比較するとき、優れている属性の数の多い方を選択する規則である。

IV. 効用規則としての検索規則

本節では、これまで提案されている検索規則が、前節で紹介した決定規則のうちのどの規則にもとづく規則と

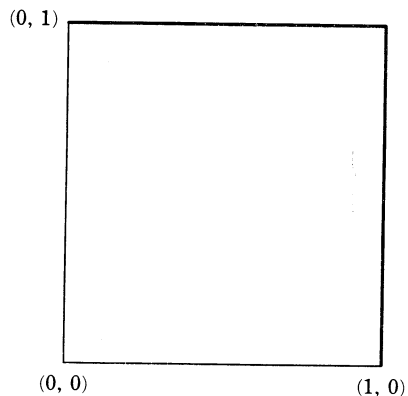
みなすことができるかを述べる。また、規則の差異を視覚的に捉えるため、各規則を無差別曲線で表した。これは各情報検索モデルが仮定している効用規則の差異であるので、これらの無差別曲線は情報検索モデルの間の差異を表していると解釈することができる。

A. ブール検索モデル: 連言規則, 選言規則

キーワードを属性と見なしたとき、検索式ないし索引に採用されたキーワードの属性値は1で採用されなかったキーワードの属性値は0であると考えられる。ANDを用いた検索式は、検索式に用いられた語に関する属性値がすべて1以上であることを求めており、数値的に考えれば関連する属性値の最小値を総合評価値とする意味操作である。これは連言規則を用いた選択である。

また、ORを用いた検索式は、検索式に用いられた語に関する属性値のうち少なくとも1つが1であることを求めており、数値的に考えれば関連する属性値の最大値を総合評価値とする意味操作である。これは選言規則を用いた選択であると考えられる。

選言規則による無差別曲線（等効用曲線）を図1に示した。すなわち、この無差別曲線（この場合は直線だが）上の点として表されている文献はすべて、ブール検索モデルにおいては同じ価値（効用）を持つものとみなされている。逆にいえば、そのような価値判断に基づく検索モデルがブール検索モデルだということである。例えば、 x 軸は「図書館」、 y 軸は「教育」を表しているとしよう。ある文献がこれら2つのディクスリプタに関して(1, 0.3)と表され、もう1つの文献が(0.5, 1)と表されているとき、検索式「図書館 OR 教育」に対するRSV



第1図 ブール検索の無差別曲線

はともに 1 となり同じ効用をもつものと見なされる。

B. ベクトル空間モデル：期待効用規則

文献や問い合わせをキーワードのベクトルで表す検索モデルである。文献ベクトルのなかの数値が [0, 1] の値をとるとき、それはそのキーワードが表す概念がその文献の内容とどのくらい関わっているかを示す値であり、その文献が適合する確率を表していると考えることができる。また、問い合わせベクトルのなかの数値は利用者が予測する効用値（そのキーワードで表されている文献が利用者にとってどのくらい有用であるか）を示す値であると見なせる。

ベクトル空間モデルでは、コサイン測度を用いて文献ベクトルと問い合わせベクトルとの類似度を計算し、それを総合評価と考える。

$$\cos \theta = (\mathbf{d}, \mathbf{q}) / |\mathbf{d}| \cdot |\mathbf{q}|$$

\mathbf{d} は文献ベクトル、 \mathbf{q} は問い合わせベクトル
コサイン測度を表す式の分母、すなわち文献ベクトルと問い合わせベクトルの大きさは共に一定であると見なせる。というのは、いま考えている問い合わせは 1 つだけなので $|\mathbf{q}|$ は一定であるし、また、1 つのシステムにおいて各文献を記述する索引語の数はある一定の範囲に標準化されていると見なせるので、 $|\mathbf{d}|$ は定数であると仮定してもよいと考えられるからである。したがって、コサイン測度は分子、すなわち \mathbf{d} と \mathbf{q} の内積によって決定される。ところが内積を求める操作は、ベクトルの構

成要素ごとの積の総和であり、文献ベクトルを適合の確率、問い合わせベクトルを効用値とみなしたことを想起すれば、これは期待効用を求める操作に他ならない。すなわち、ベクトル空間モデルは期待効用規則を用いているのである。

$\mathbf{q} = (a, b)$, $\mathbf{d} = (x, y)$ とすると、ベクトル空間モデルによる検索規則による無差別曲線は内積 $ax + by$ が一定 (k) であることによって決定される軌跡、すなわち直線 (図 2) となる。

C. ファジー検索モデル：連言規則、選言規則

ファジー論理における演算を min と max によって行う方式と乗法であらわす方式とがある。乗法方式によれば、ファジー演算に対応するメンバーシップ関数の演算は次のようになる。

$$m(X \text{ AND } Y) = m(X)m(Y)$$

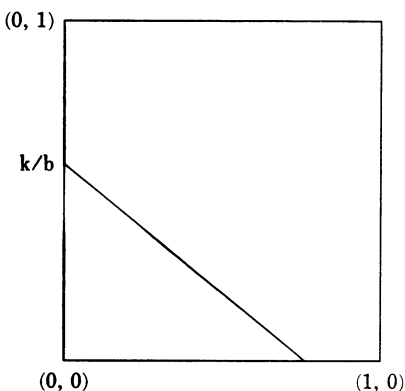
ド・モルガンの定理によって、OR に対するメンバーシップ関数は、

$$\begin{aligned} m(X \text{ OR } Y) &= 1 - [1 - m(X)][1 - m(Y)] \\ &= m(X) + m(Y) - m(X)m(Y) \end{aligned}$$

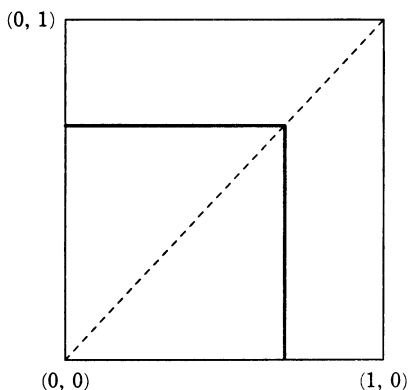
という式で表される。

Oden²⁷⁾ は乗法であらわす方が、概念の合成の表現として、より適切であると主張する。その利点は、ある概念の典型的ではない事例の逸脱度が、いくつかの属性におけるプロトタイプからの小さな逸脱の累積として説明することができることである。例えば²⁸⁾、「ペリカンが鳥である」があまりもってもらしくないのは、魚を食べたり（鳥のプロトタイプは虫を食べる）くちばしに袋をつけていたり、といった小さなずれが累積されたためであると説明することができる（例えば、 $0.8 \times 0.8 \times 0.8 = 0.512$ と小さくなる）。

一方、2 つのキーワード ($x, 0.*$) と ($y, 0.*$) とを合成する規則としての min と max を考えよう。min においては、基準値を 2 つの数値のうちの小さい方に設定しなければならない。そしてこの 2 つの属性（キーワード）の双方について文献のレバンス値が基準値を満たしているならばその文献を選択せよという規則が min である。つまり、これは連言規則である。max は、基準値を大きい方に設定しなければならない。そして 2 つの属性（キーワード）に関する文献の適合値のうち 1 つでもこの基準値を満たすならばその文献を選択するのであ



第 2 図 ベクトル空間モデルの無差別曲線
 $\mathbf{q} = (a, b)$ と $\mathbf{d} = (x, y)$ との内積 $ax + by$ が一定 (k) であるような軌跡
 $y = -(a/b)x + (k/b)$



第3図 ファジー検索モデル (max) の無差別曲線

る。これは選言規則である。

max 規則による無差別曲線を図3に示した。ブール検索モデルの無差別曲線はその極端な場合であり、ブール検索モデルがファジー検索モデルの特殊な例となっていることが図1と図3を見ればわかる。

D. 拡張ブール検索モデル：加法的差分規則

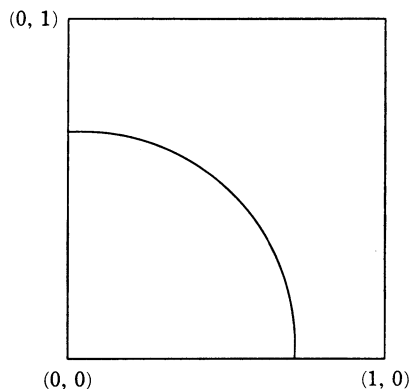
ブールの検索モデルの欠点としてよくあげられるものとして次の2つがある。問い合わせが $(A \text{ OR } B \text{ OR} \dots)$ であるとき、これらのキーワードのうちの1つでも含む文献はこれらのキーワードすべてを含む文献と同等に扱われる。また、問い合わせが $(A \text{ AND } B \text{ AND} \dots)$ であるとき、これらのキーワードのうちの1つでも含まない文献はまったく無関係な文献と同等に扱われる。このような欠点を回避するものとしてベクトル空間モデルがあるけれど、これには、問い合わせに AND, OR による文法構造が入らない、という欠点がある。

拡張ブール検索モデル²⁹⁾は、ブールの検索モデルとベクトル空間モデル双方の一般化となっているモデルであり、ブールの検索モデルのような二者択一ではなく、キーワードを含む度合を表現できるし、ベクトル空間モデルと異なり、問い合わせに AND, OR が使える。

説明を容易にするため、キーワードが2つ (A と B) の場合を考える。このとき文献はこれら2つの語 A と B で張られる2次元空間の中の点として表現される(一般の場合にはこれが n 次元空間になるだけであって、本質的な変更はない)。すなわち、これら2つのキーワードをどちらも索引語として含む文献は点 $(1, 1)$ と表せ、1つしか持たない文献は点 $(1, 0)$ ないし点 $(0, 1)$ で表される。従来のブール検索では、問い合わせ $(A$

OR $B)$ に対するこれら3点の RSV は1であり、点 $(0, 0)$ においてのみ RSV が0であった。つまり原点 $(0, 0)$ では0、これ以外ではすべて1であった。これは原点からの距離を最大値計量 (supremum metric)³⁰⁾ で測った距離に一致している。そこでこれを一般化し、OR 問い合わせの解釈をこの平面における原点からの距離であると考えよう。距離としてユークリッド計量を用いれば、原点から点 $(1, 0)$ ないし点 $(0, 1)$ までの距離は共に1であるが、点 $(1, 1)$ までの距離は $2^{1/2}$ となっており、文献に含まれている索引語の数による差を表すことができる。距離の最大値を1に正規化すれば、この問い合わせに対する文献の RSV は、 $RSV(D, Q_{(A \text{ OR } B)}) = [(d_A^2 + d_B^2)/2]^{1/2}$ と表される。ここで、 d_A と d_B は文献 D の A 座標値と B 座標値である。ここでは1と0しか使われていないけれど、これは本来はキーワードという属性に対する属性値(効用値、出現確率、重み)であり、一般の重み付けシステムでも同じ式が使える。

また、問い合わせ $(A \text{ AND } B)$ に対して、従来のブール検索では、点 $(0, 0)$ 、点 $(1, 0)$ 、点 $(0, 1)$ における RSV はともに0であり、点 $(1, 1)$ における RSV のみが1であった。この問い合わせを同じ平面上におけば点 $(1, 1)$ である。この点に近い文献ほど関連度が大きいとみなせるが、距離の値は小さくなる。そこで $(1, 1)$ から文献を表す点までの距離を1からひいた値でその文献の RSV を表すことにしよう。距離としてユークリッド計量を用いれば、 $RSV(D, Q_{(A \text{ AND } B)}) = 1 - [(1 - d_A)^2 + (1 - d_B)^2]^{1/2}$ と表される。すると、文献 $(1, 0)$ と問い合わせ $(A \text{ AND } B)$ との RSV は $1 - 2^{1/2} \approx 0.3$ となり、従

第4図 拡張ブール検索モデル ($n=2$) の無差別曲線 “A OR B” に対応するのは原点を中心とする円周

来のブール検索における評価値よりも納得のいく解釈が得られる。この検索規則による無差別曲線は、点 (0, 0) ないし点 (1, 1) を中心とする円周である (図 4)。

いま、距離としてユークリッド計量を用いたが、これをさらに一般化 (2 乗と平方根を p 乗と p 乗根に一般化する。ここで p は正の整数。) し、ミンコフスキー計量で RSV を定式化することも可能である。それは次の形になる。

$$RSV (OR) = [(d_A^p + d_B^p)/2]^{1/p}$$

$$RSV (AND) = 1 - [(1 - d_A)^p + (1 - d_B)^p]^{1/p}$$

このモデルでは、各文献が問い合わせに対して持っている効用値をミンコフスキー計量で測った距離で表している。前節で見たように、ミンコフスキー計量は加法差分構造の条件を満たしているので、拡張ブール検索モデルは加法差分規則を用いていると見なすことができる。距離を求める操作は次元ごとの数値の差をとり、それらを総計するものであって、それが加法的差分構造というものであった。

p を 1 から無限大までの適当な値に定めれば、その値によって様々な計量を用いた RSV が得られる。次の例を見れば加法的差分規則の一般性がわかるだろう。

$p=1$ のとき、 $RSV(OR) = (d_A + d_B)/2 = RSV(AND)$ であって、AND と OR の文法的区別がなくなる。さらに、これは問い合わせに用いた 2 つのキーワードの効用がともに 1、文献に対するそれぞれのキーワードのレバンス確率が d_A, d_B であるときの期待効用 $(1 \cdot d_A + 1 \cdot d_B)$ の $1/2$ の値であると考えられる。係数は一定であって効用値の順序づけに影響を与えないから無視してもよい。すなわち、期待効用規則は加法的差分規則の 1 つの例になっているのであるが、それに対応して、ベクトル空間モデルが拡張ブール検索モデルの特殊な場合になっていることもわかる。

$p=2$ のときはユークリッド計量としての解釈が得られる。

p が無限大のときには、0 以上 1 未満の p 乗は 0 に収束し、1 の p 乗は 1 なので、0 と 1 の 2 値となり、古典ブール論理による解釈が得られる。更に詳しくいえば、ミンコフスキー計量において p に値を無限大にもっていったときの計量が、先に述べた最大値計量である。最大値の部分のみが 0 に収束することなく残るからである。そしてこれはブール検索規則に対応していた。 p を無限大にすると値をいずれかに収束させ値を両極

化させることである。max と min も値を両極化させる操作であることを思い起こせば、これが選言規則と連言規則をさしていることは理解されよう。

このように p の値が 1 と無限大の場合を考えれば、拡張ブール検索モデルは、従来のブール検索モデルとベクトル空間モデルとをその特殊な場合として含むより一般的な情報検索のモデルとなっているのであり、この包含関係と 1 対 1 に対応する形で、加法的差分規則は期待効用規則や選言規則、連言規則の一般化となっているのである。

V. おわりに

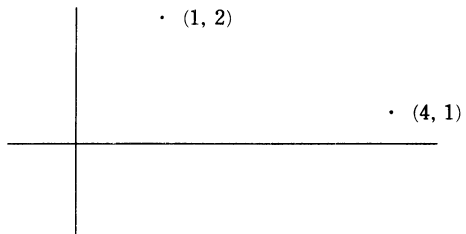
情報検索とは、利用者が必要な図書ないし文献 (あるいは一般的に情報) を選択することであり、情報検索システムとはその選択を支援することがその本来の役割であると考えられる。効用理論ないし意思決定という視点から情報検索を論ずることは、情報検索システムを意思決定支援システムとして構築するときの基礎づけと見なすことができる。

本稿では、従来の情報検索モデルを効用理論の視点から再解釈するという作業のみを行なった。従来の情報検索モデル相互の関係と多属性効用規則相互の関係との対応を明らかにすることによって、情報検索理論を多属性効用理論的に論じることの妥当性を示した。これだけでも、従来バラバラに論じられてきた情報検索モデルを多属性効用理論という視点から統一的に論じたということにはなるだろう。しかし、今回用いた以外の多属性効用規則を用いて情報検索における新しい意味操作を定式化したときに初めて、多属性効用規則を導入することの本当の有用性を示したことになる。本稿では、残念ながら、そこまでできなかった。今後の課題である。

本稿では検索規則を効用規則として定式化した。それらの効用規則の中で、何が「良い」規則なのかはまだわからない。より一般的に支援ということを考えてとき、なにが「良い」支援になるのかということも難しい問題である。ただ、そのような「良い」支援なり効用規則を探ることが図書館情報学の本質的な役割の 1 つであるとはいえるだろう。本稿がそのような役割を考える一助になれば幸いである。

- 1) Bookstein, A. and Cooper, W. "A General Mathematical Model for Information Retrieval Systems," *Library Quarterly*, vol. 46, no. 2, 1976. p. 153-167.

- 2) Belkin, N. J. and Robertson, S. E. "Information Science and the Phenomenon of Information," *Journal of the American Society for Information Science*, vol. 27, 1976, p. 127-140.
- Wersig, G. "The Problematic Situation as a Basic Concepts of Information Science in the Framework of the Social Sciences: A Reply to Belkin," *New Trends in Informatics and its Terminology (FID 568)*, Moscow, VINITI, 1979, p. 48-57.
- 3) Simon, H. システムの科学. 稲葉元吉等訳. パーソナルメディア社. 1987, p. 48.
- 4) 佐伯 胖. 意思決定と社会システム. 計測と制御 vol. 26, no. 1, 1987, p. 39-44.
- 5) 佐伯 胖. 認知科学の方法. 東京大学出版会. 1986, p. 124.
- 6) 齊木 潤. 推論に於ける状況解釈. In: 認知過程研究; 1988年度大学院佐伯ゼミ報告集. 東京大学教育学部教育方法学研究室. 1989.
- 7) 佐伯. op. cit., p. 123.
- 8) Winograd, T. & Flores, F. コンピュータと認知を理解する. 平賀謙訳. 産業図書. 1989.
- 9) Swets, J. "Information Retrieval Systems," *Science*, vol. 141, 1963, p. 245-250.
- 10) Bookstein, A. & Swanson, D. "A Decision Theoretic Foundation for Indexing," *Journal of the American Society for Information Science*, vol. 21, no. 1, 1975, p. 45-50.
- Harter, S. "A Probabilistic Approach to Automatic Keyword Indexing, Part 1," *Journal of the American Society for Information Science*, vol. 26, no. 4, 1975, p. 197-206.
- 11) Cooper, W. "On Selecting A Measure of Retrieval Effectiveness: Part 1," *Journal of the American Society for Information Science*, vol. 24, 1973, p. 87-100.
- 12) Tversky, A. and Russo, J. E. "Substitutability and Similarity in Binary Choices," *Journal of Mathematical Psychology*, vol. 6, 1969, p. 1-12.
- 13) Rorvig, M. E. "Simple Scalability of Documents," *Journal of the American Society for Information Science*, vol. 41, no. 8, 1990, p. 590-598.
- 14) 形式意味論については次の文献を参考にした.
白井賢一郎. 形式意味論入門. 産業図書. 1985.
なお, 形式意味論を特徴づけるものは構成性原理の他にもいくつかある.
- 15) 小橋康章. 決定を支援する. 東京大学出版会. 1988.
- 16) 小橋. op. cit., によるものが大部分であるが, 期後効用と加法的コンジョイントルール, それに加法的差分規則については次の文献を参考にした.
市川惇信. 意思決定論. 共立出版. 1983.
- Roberts, F. *Measurement Theory*. Addison-Wesley, 1979.
- Krantz, D. and Tversky, A. "Conjoint-Measurement Analysis of Composition Rules in Psychology," *Psychological Review*, vol. 78, no. 2, 1971, p. 151-169.
- 17) Roberts, F. op. cit., p. 109, 124.
- 18) 市川惇信. 意思決定論. 共立出版. 1983.
- Roberts, F. *Measurement Theory*. Addison-Wesley, 1979.
- 19) van Rijsbergen, C. J. "Foundation of Evaluation," *Journal of Documentation*, vol. 30, no. 4, 1974, p. 365-373.
- 20) Tversky, A. "Intransitivity of Preferences," *Psychological Review*, vol. 76, no. 1, 1969, p. 31-48.
- 21) Tversky, A. *ibid.*, p. 42.
- 22) Tversky, A. *ibid.*, p. 43.
- 23) 市川 op. cit., p. 37.
- 24) Beals, R., Krantz, D. and Tversky, A. "Foundations of Multi-dimensional Scaling," *Psychological Review*, vol. 75, no. 2, 1968, p. 127-142.
- 25) Tversky, A. "Features of Similarity," *Psychological Review*, vol. 84, no. 4, 1977, p. 327-352. 引用したのは, p. 329.
- 26) Krantz, D. et al. *Foundations of Measurement Theory*, vol. 2, p. 187-199.
- 27) Oden, G. C. "Integration of Fuzzy Logical Information," *Journal of Experimental Psychology: Human Perception & Performance*, vol. 3, 1977, p. 565-575.
- 28) 山下利之, 山下清美. 概念および論理判断に対するファジィ理論によるアプローチ. *心理学評論*. vol. 31, no. 2, 1988, p. 208-228. にある例である.
- 29) Salton, G., Fox, E. A. and Wu, H. "Extended Boolean Information Retrieval," *Communication of the ACM*, vol. 26, no. 11, 1983, p. 1022-1036.
- 30) 座標値の差の絶対値が最大のものを距離とする計量である.



たとえば, 2つの点 (1, 2) と (4, 1) があつたとき, これらの x 座標の差は 3, y 座標の差は 1 であるから, この 2 点間の最大値距離は 3 となる.

最大値距離はミンコフスキ計量で p の値を無限大にしたとき得られるものである. 上図の 2 点間の最大値距離は,

$$\lim_{p \rightarrow \infty} \{ |4-1|^p + |1-2|^p \}^{1/p} = \lim_{p \rightarrow \infty} \{ 3^p + 2^p \}^{1/p} = \lim_{p \rightarrow \infty} [3^p \{ 1 + (2/3)^p \}]^{1/p} = 3$$