

領域検索のための領域グルー操作とフィルタリング

河 岸 洋 暁[†] 小 磯 健 吾[‡] 田 中 克 己[‡]

本稿では、地理情報の検索やブラウジングを目的とした空間グルー操作について述べる。空間グルー操作とはビデオデータベースの検索手法として提案された区間グルー操作を2次元に拡張した概念で、空間中に点在する空間オブジェクトの領域を、外周最小となる矩形で表わした MBR (Minimum Bounding Rectangle) の集合から、その集合の要素全てを含む MBR をさらに求める演算である。ここで定義されるグルー演算は、属性情報を与えることによって、その問い合わせの答えとして適するオブジェクトを含む領域を、動的また領域可変に決定するものである。このとき、グルー演算の解集合の中には、その問い合わせに対して不適切な空領域が含まれる可能性があるが、そのような不適切な空間を解集合から除去するために、フィルタの概念を満たす関数演算を空間グルー操作に導入する。本稿ではまた、多様なフィルタリング関数について、その満たすべき必要十分条件を証明について述べる。

Spatial Glue Operation and Answer Filtering for Zone Retrieval

HIROAKI KAWAGISHI[†], KENGO KOISO[‡] and KATSUMI TANAKA[‡]

In this paper, we propose the spatial glue operation for browsing and retrieving georeferenced data. Spatial glue operation is a two-dimensional extension of our interval glue operation proposed as a retrieval technique for video databases, and it computes a minimum bounding rectangle (MBR) that covers a given set of MBRs. This spatial glue operation determines an area which contains spatial objects satisfying a given query dynamically and variably by their attribute information. We introduce a filtering function in order to remove unsuitable areas which may be contained in the set of answers of the spatial glue operation. We also show a necessary and sufficient condition for various filtering functions.

1. はじめに

建築CGシミュレーションやインターネット上の仮想電子モール等、情報空間としての仮想空間の活用が盛んになっている。我々はこれら仮想空間の利用法として、地理情報を3次元空間に投影した仮想都市空間を考え、その空間内において、実空間を表現する媒体となるCGオブジェクトなどに付加した情報の視覚化や、それらの空間的集約について研究を進めてきた¹⁾²⁾³⁾。このうち、仮想空間における地理情報検索のための機構としての提案が空間グルー操作であり²⁾、その概要は、ユーザが与えた検索語句に対して、それと合致する情報を属性として持つオブジェクトが高い密度で存在する領域を答えとして返す領域検索であ

る。この空間グルー操作を実現するための演算が空間グルー演算であるが、その演算の結果得られた領域は、ユーザが質問として与えた属性情報を満たすオブジェクトの内部での密度や、領域解の大きさなどの理由で、ユーザの問い合わせの解として、不適切なものが多く含まれ、また演算の計算量も膨大なものになることから、これらの不都合を解消するために演算結果に対するフィルタの定義が必要となった。これについて我々はこれまでに、空間グルー演算で得られる解に対して適用できるフィルタ関数を定義し、またその計算量の低減のための式変換についても証明を行った⁴⁾。

本研究ではこの空間グルー演算について、適用可能なフィルタの満たす必要十分条件を求め、それによってフィルタリングの定義を単純化し、ユーザのニーズに合った様々な形の領域検索を可能にするための基礎を作る。また空間グルー操作について、仮想都市空間内における地理情報に従った領域検索に加え、空間グルー演算によって得られた空間領域を都市空間地図と合成することによって、ユーザに対して自らが注目するテーマに沿った形での評価を可能にさせ、このよう

[†] 神戸大学大学院自然科学研究科情報知能工学専攻
Department of Computer and Systems Engineering,
Graduate School of Science and Technology, Kobe
University

[‡] 神戸大学大学院自然科学研究科情報メディア科学専攻
Division of Information and Media Sciences, Graduate
School of Science and Technology Kobe University

な様々な視点から都市空間のブラウジングを考える。

2. 基本概念

ビデオデータ検索における区間グルー⁵⁾とは、インデックスを付加されたビデオデータに対して、探したい登場人物などを複数指定し、各オブジェクトが個々に登場する区間を連続的に足しあわせたものを答えとするという考え方で、答えとして返される区間にある程度のノイズ(検索語のどれにも該当しない区間のことをノイズと呼んでいる)の存在を許す点で、ANDやORといった演算手法とは一線を画するものである。これはビデオデータのように、ある程度の長さを持った意味的に連続したデータを検索するのに有効な手法である。これは空間データにも同様に考えることができる。インデックスとして属性情報を与えられたオブジェクトは離散的に存在しても、検索の際に答えとして望まれるのは意味的に連続した空間、すなわち領域である。

そこでこの1次元のストリームに対する区間グルー操作を、2次元空間内に存在するオブジェクトに対して応用するために、2次元に拡張したものが空間グルー操作である。例えば「物販店」と「飲食店」が存在する場所を検索すれば、空間グルーの答えは「繁華街」のように、1つのテーマを持つ領域を発見することができることになる。このような都市空間内のオブジェクトに付加する属性情報については、先の例のような市街地案内レベルのものに限らず、都市計画に必要な要素などを付加することも考えられ、多目的にわたる領域検索の手法として扱うことができる。また情報が付加されるオブジェクトについても、単に現実世界における建築物だけにとどまらず、街区など空間そのものをオブジェクトとして扱うことにより、分布図のブラウジングなど、より幅広い用途への利用が考えられる。

3. 空間グルー

ここでは、空間グルー演算の基本について述べる。空間グルーを考える場合、オブジェクトは全て、それを含むMBR(Minimum Bounding Rectangle)を単位として扱う。空間内の任意のオブジェクト α のMBRをx軸とy軸を導入して $\alpha[c_{sx}, c_{sy}, c_{ex}, c_{ey}]$ として表す。 c_{sx}, c_{ex} はx軸方向の終端座標を表し $c_{sx} < c_{ex}$ である。また c_{sy}, c_{ey} はy軸方向の終端座標を表し $c_{sy} < c_{ey}$ である。境界の座標値については、それがオブジェクト α の境界値であることを特に明らかにする場合は、 $c_{sx}(\alpha)$ のように表記することにする。このとき、例えばオブジェクト α とオブジェクト β の空

間グルーは次のように表現できる。

$$\alpha \oplus \beta = r[c_{sx}, c_{sy}, c_{ex}, c_{ey}]$$

但し、

$$c_{sx}(r) = \min(c_{sx}(\alpha), c_{sx}(\beta))$$

$$c_{sy}(r) = \min(c_{sy}(\alpha), c_{sy}(\beta))$$

$$c_{ex}(r) = \max(c_{ex}(\alpha), c_{ex}(\beta))$$

$$c_{ey}(r) = \max(c_{ey}(\alpha), c_{ey}(\beta))$$

このときオブジェクト α と β の空間グルーとは、境界を $r[c_{sx}, c_{sy}, c_{ex}, c_{ey}]$ で決定する矩形の空間である。仮にオブジェクト α が「住宅」 β が「公園」という属性情報を持っていたとすると、 $\alpha \oplus \beta$ で与えられる空間とは、住宅と公園がともに存在する空間という意味を持つ。図1にその例を示す。

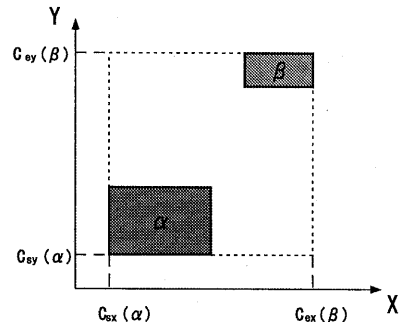


図1 空間グルー

空間グルー操作のための基礎となるグルー演算に、ペアワイズグルーとパワーセットグルーがある。続いてその2つの演算について述べる。

ペアワイズグルー

α の集合 A と β の集合 B からペアワイズに α_j, β_k を選択して生成する。

$$A \oplus B = \{a \mid \alpha \in A, \beta \in B, a = \alpha \oplus \beta\}$$

パワーセット・グルー

A と B から、それぞれ0個でない任意の数個の要素に区間グルー演算を適用して生成する。

$$A \otimes B = \{a \mid A' \subseteq A, B' \subseteq B,$$

$$A' \neq \emptyset, B' \neq \emptyset,$$

$$a = \bigoplus (A' \cup B')\}$$

$$\text{但し、} \bigoplus (\{a_1, \dots, a_n\}) = a \oplus \dots \oplus a_n$$

パワーセット・グルー演算は計算量が $O(2^n)$ と膨大になるが、次式のように7つのペアワイズ・グルー演算に変換することで、計算量を幾分軽減できる。(証

明は参考文献⁴⁾を参照)

$$A \otimes B = (A \oplus A \oplus A \oplus A) \oplus (B \oplus B \oplus B \oplus B)$$

4. 空間グラーのフィルタリング

4.1 空間ノイズフィルタ

空間グラー演算によって得られる答えには、ビデオデータの場合と同様にノイズの存在を許しているが、ノイズを多く含むような不適切な領域データを含んでいる可能性が高い。次にこれらを答えから除去するためのフィルタについて述べる。

1次元のビデオデータの場合ノイズとは、検索語として与えられたどのキーワードについても該当しないような区間として定義している。したがって2次元の空間データを扱うに当たってノイズとは、検索条件に適合した属性情報を持つオブジェクトが占める部分以外の領域とするのが自然と思われる。したがって空間グラー r における領域のノイズ $N(r)$ は、オブジェクト o_i の MBR の面積を $|o_i|$ として、次のように表わせる。

$$N(r) = 1 - \frac{|O_q(r)|}{|r|}$$

$$|O_q(r)| = |o_1 \cup \dots \cup o_n| \quad (o_i \in O_q(r))$$

ただし $|r|$ は空間グラー r の面積、 $O_q(r)$ は r 内に存在する検索で要求した属性情報を持つオブジェクトの集合である。また $|O_q(r)|$ は集合要素の全ての MBR の論理和の面積である。このとき論理和を考えるのは、 $O_q(r)$ の要素の中に、領域を重複するものの存在が考えられるからである。したがって $0 < N(r) < 1$ となるので、ノイズ $N(r)$ は空間グラー r のノイズ率で考えられる。

この定義に従った場合、ノイズフィルタ F_N は $N(r)$ についてある閾値 N を超えるグラーを除去するものであり次のように表わされる。

$$F_N(r) = \begin{cases} r, & \text{if } N(r) \leq N \\ \text{undefined,} & \text{otherwise} \end{cases}$$

同じく領域の集合 R に対する関数として、 $F_N(R)$ を次のように定義する。

$$F_N(R) = \{r \mid r \in R, N(r) \leq N\}$$

空間ノイズフィルタによる計算量低減化

パワーセットグラー演算の結果にノイズフィルタを用いることで、検索結果として望ましい空間グラーの集合が得られる。しかしパワーセットグラー演算は、

その計算量を低減化させてもなおその計算量は $O(n^4)$ となお高い。しかし2段階に演算が分割されたパワーセットグラー演算の初期段階において、予めノイズフィルタで不要な領域データを除去することで、計算量のさらなる軽減化が可能ではと予想がつく。そこで次の式を考える。

$$F_N(F_N(A \oplus A \oplus A \oplus A) \oplus F_N(B \oplus B \oplus B \oplus B)) \quad (1)$$

しかしこの式は $F_N(A \otimes B)$ と等しくはならない。反例として次の図2の場合がある。

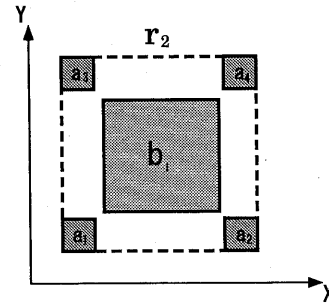
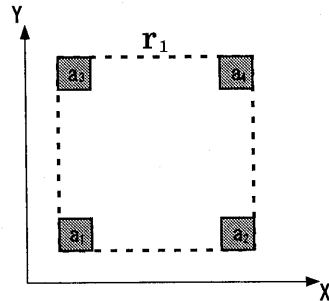


図2 ノイズ消去の問題

今、図2の2つの空間グラー r_1, r_2 について、これらはオブジェクトの集合 A, B が、 $A = \{a_1, a_2, a_3, a_4\}, B = \{b_1\}$ であるとき、この A, B のパワーセット・グラー演算によって生成される空間グラーの1つである。このとき、 r_1, r_2 について $N(r_1) > N, N(r_2) < N$ が成り立っていたとすると、もし $A \otimes B$ を求める際に、先に空間ノイズフィルタを適用して $F_N(A \oplus A \oplus A \oplus A)$ を求めたとすると、 $N(r_1) > N$ より $(a_1 \oplus a_2 \oplus a_3 \oplus a_4) = \text{undefined}$ となり、 r_2 に相当する空間グラーは得ることができない。これは任意の2つの領域は、それぞれが空間ノイズフィルタを適用する時点で条件を満たさなかったとしても、それらの空間グラー演算によって生成された

領域が条件を満たす可能性があるためである。

この図 2 に代表される反例を補完するために、次の演算を考える。

$$F_N(F_N(A \oplus A \oplus B \oplus B) \oplus F_N(A \oplus A \oplus B \oplus B)) \quad (2)$$

このように (2) 式では、(1) 式において空間ノイズフィルタの適用の前に演算されない分の演算をフィルタリングに先んじて行うことで、図 2 に代表されるような場合について空間グラーの誤った除去を回避することができる。この (2) 式と前述の (1) 式によって求められる空間グラーの和集合は、もとのパワーセットグラー演算に空間ノイズフィルタを適用して得られた解 $F_N(A \otimes B)$ に等しい。すなわち次式が成り立つ

$$\begin{aligned} F_N(A \otimes B) = & F_N(F_N(A \oplus A \oplus A \oplus A) \\ & \oplus F_N(B \oplus B \oplus B \oplus B)) \\ \cup & F_N(F_N(A \oplus A \oplus B \oplus B) \\ & \oplus F_N(A \oplus A \oplus B \oplus B)) \quad (3) \end{aligned}$$

2 次元の領域を求める問い合わせにおいて、その領域におけるノイズの大きさを基準にして不適切な解を除去するというのはごく自然な方法である。それを実現する空間ノイズフィルタを適用してパワーセットグラー演算の計算量の低減化を図る場合は、ノイズ消去の問題から計算式は (3) 式のようにやや複雑にならざるを得ない。しかしここで注意すべきは、計算の初期段階で用いられているフィルタで、より多くの不適切な解を除去するほどこの式効率的であるという点である。そのときノイズの閾値 $N(R)$ の設定を高い値にするほど効率度が増す。

4.2 計算量低減化の可能なフィルタ

ここでは、パワーセットグラー演算の計算量の低減化を実現できるフィルタ関数の定義について考える。パワーセットグラー演算によって得られた解集合から、何らかの理由で明らかに不適切な解を除去するためのフィルタ F について、下記の (5) 式が成立つとき、空間グラー導出のための演算は、得られる解を全て求めてからフィルタを適用する (4) 式に比べ、その計算量を効率的に低減化することができる。

$$F(X \otimes Y) = F((X \oplus X \oplus X \oplus X) \oplus (Y \oplus Y \oplus Y \oplus Y)) \quad (4)$$

$$F(X \otimes Y) = F(F(X \oplus X \oplus X \oplus X) \oplus F(Y \oplus Y \oplus Y \oplus Y)) \quad (5)$$

またこの式 (5) を満たすための必要十分条件が求ま

れば、計算量低減化のためのフィルタの定義が一般化できることになる。そこで、空間グラーの演算過程に挿入することのできるフィルタについて、その必要十分条件を考える。

前項で取り上げた空間ノイズフィルタ F_N でこの式 (5) が成立たなかったように、(4) 式の解集合の要素である空間について、その領域を生成するのに必要な部分空間の要素を (5) 式の右辺で除去するフィルタであれば (4) 式と (5) 式の解集合は一致しない。従って (5) 式を満たすための十分条件は、(4) 式の解集合全ての要素を生成するために必要な領域を演算過程で除去しないことである。この十分条件を次のように示す。

条件 1

$F(z) = z$ で $z = i \oplus j$ であるとき、全ての領域 i において $F(i) = i$ である。

この条件 1 は次の (6) 式の必要十分条件となる。

$$F(a \oplus b) = F(F(a) \oplus F(b)) \quad (6)$$

この条件 1 は区間グラー演算に対するフィルタについて述べているので、これをペアワイズグラー演算に対するフィルタに拡張する。

条件 2

$F(I \oplus J) = Z$ である領域集合 Z が存在し、任意の $z \in Z$ が $z = i \oplus j$ (ただし $i \in I, j \in J$) であるとき、全ての領域 i, j において $F(i) = i$ かつ $F(j) = j$ である。

この十分条件 2 は、(6) 式をペアワイズグラー演算に拡張した (7) 式と必要十分の関係にある。

$$F(A \oplus B) = F(F(A) \oplus F(B)) \quad (7)$$

この (7) 式は (5) 式と必要十分の関係にあるから、フィルタが (5) 式を満たすための必要十分条件は条件 2 である。(証明は付録参照)

4.3 フィルタ関数の検討

前述の必要十分条件を満たすフィルタについて検討すると、指定した属性情報が付加されたオブジェクトが存在する空間グラーを求めるのではなく、逆に指定したオブジェクトの存在しない空間グラーを求めるという場合に、該当するオブジェクトが存在する領域を除去するためのフィルタが、これにあてはまる可能性が考えられる。

5. 空間グラー質問と地理情報探索

前項までで、空間グラー演算についての具体的な演算の手法、またその効率化について論じてきたが、ここではグラー演算を地理情報を与えた空間データに対

して適用したときの、検索手法としての応用などについて述べる。

5.1 空間グルー質問の拡張

グルー操作を利用した質問機構は、ビデオデータベースにおけるインデックス検索が基本となっているが、都市空間データにおける領域検索を扱う場合、キーワードによる属性情報以外にも、下記のような応用例が考えられる。

- 連続量であらわされる属性情報

グルー検索の最も基本的な応用は、空間内に存在する建築物に付加する属性情報は文字情報であったが、さらに連続量で表わされる情報についても考える。この概念の拡張によって、属性情報と完全一致する情報を求める検索だけでなく、制約条件に幅を持たせたようなグルー質問による検索を導入できる。

- 仮想的オブジェクト

都市空間データにおいて情報を付加する先のオブジェクトについて、実空間上における建築物に限る必要は無い。例えば、ある一定の範囲に共通する情報がある場合、その情報を付加する先のオブジェクトとして、その範囲を全てカバーするような仮想的なオブジェクトの存在を考えてることで、空間データに対する情報の付加の自由度を増すことができる。都市空間データの場合、街区や地区といった位を仮想的なオブジェクトとして扱う例が考えられる。

- 空間グルーとレイヤ

都市空間に関するデータには、タウンマップレベルのものから行政的な都市計画に関するものまで、様々なテーマに沿ったものがあり、またこれらのデータは普通別々のデータベースに管理されている。これらに対して、グルー検索という領域検索として共通したインタフェースを用意することで、独立にグルー検索を行って得られた答えを視覚的に重ねることができる。

このように空間グルー検索の拡張を考えた場合の利用例として、交通渋滞のブラウジングが考えられる。これに関する情報は、渋滞の状況が何分、あるいは何kmといったように数値でその規模を表現あるいは理解されるものであり、加えてそれは都市空間内において道路という空間に展開される現象である。従って道路という仮想オブジェクトに対して、交通渋滞という属性情報に加えその規模についての情報を数値で付加することによって、都市空間データ中で表現すること

ができる。

5.2 最適なグルーの定義

例えば図3上段の空間グルー r_1 のように、空間グルーの定義より領域に含まれるのはやむを得ないが、座標系の変換によって空間グルーの占める領域を変化させることができ、それと同時に領域のノイズを減少させることが可能である(図3下段 r_2)。座標系の変換を空間グルー決定の際に行うことができれば、求まる空間グルーから領域のノイズを極力減少させることは可能である。

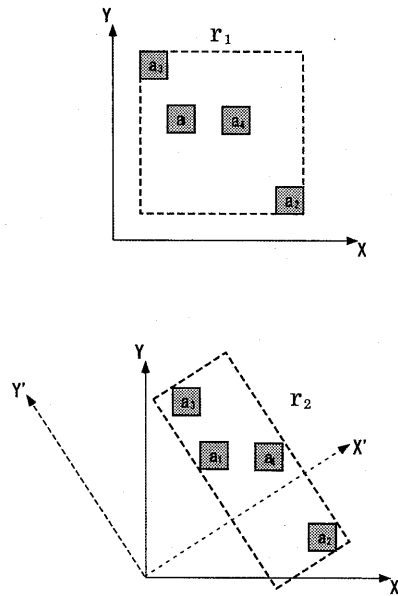


図3 座標系による領域のノイズの変化

6. おわりに

本稿では地理情報の検索を目的とした空間グルー操作について述べ、空間中のノイズに着目したフィルタの定義について述べた。またグルー演算の計算量低減化のための式変換、特に演算の初期段階におけるフィルタリングの利用に可能な場合の必要十分条件を明らかにすることにより、フィルタ定義の一般化を図った。並びにこれらグルー演算の地理情報検索への応用について述べた。今後の課題はノイズ率のより少ない空間グルーの導出についての研究など、アルゴリズムの改善、そして計算量低減化のための必要十分条件を満たす、効果的なフィルタリング関数の研究などである。

謝 辞

本研究の一部は、文部省科学研究費重点領域研究「高度データベース」(領域番号 275 (08244103))の援助を受けています。また、本研究の一部は、日本学術振興会未来開拓学術研究推進事業における研究プロジェクト「マルチメディア・コンテンツの高次処理の研究」(プロジェクト番号 JSPS-RFTF97P00501)によっています。ここに記して謝意を表すものとします。

参 考 文 献

- 1) K.Koiso, T.Matsumoto, K.Tanaka, Spatial Authoring and Orientation-Based Aggregation of Annotated Information, Proceedings of the International Workshop on Urban Multi-Media/3D Mapping, Tokyo, pp.31-38,(1998)
- 2) 松本尚宏, 小磯健吾, 田中克己, 方向依存の3次元空間内容記述と3次元ガイドツアー, 情報処理学会研究報告, Vol.98, No.58 98-DBS-116(2)-54,1998年7月
- 3) K.Koiso, T.Matsumoto, K.Tanaka, Spatial Presentation and Aggregation of Geo-Referential Data, Proceedings of the 6th International Conference of Database Systems for Advanced Application(DASFAA'99), April 1999.
- 4) 河岸洋暁, 森威久, 小磯健吾, 田中克己, 空間グルー操作とランドマーク・オブジェクト抽出による地理情報探索, 電子情報通信学会データ工学ワークショップ(DEWS'99)論文集, 1999年3月
- 5) プラダグ・スジツト, 田島敬史, 田中克己, ビデオデータ検索のための区間グルー操作と解のフィルタリング, 情報処理学会論文誌 Vol.40 No.1

付 録

1. 「条件1 → (6)式」の証明

条件1を満たしているとき、(6)式の左辺は、

$$F(a \oplus b) = a \oplus b$$

となる。また右辺も

$$F(F(a) \oplus F(b)) = F(a \oplus b) = a \oplus b$$

となる。したがって条件1を満たしていれば、(6)式が成り立つ。

2. 「(6)式 → 条件1」の証明

まず条件1の対偶を考える。

条件1の対偶

ある領域*i*において、 $F(i) = \text{undefined}$ であるとき、 $F(z) = \text{undefined}$ である。ただし、 $z = i \oplus j$ である。

(6)式を満たしているとき、領域*a*が $F(a) =$

*undefined*であれば、(6)式は、

$$F(a \oplus b) = F(F(a) \oplus F(b)) = \text{undefined}$$

となる。したがって、(6)式を満たしていれば条件1の対偶についても満たしているということである。これはすなわち、(6)式を満たしていれば条件1を満たしているという命題と同値である。

以上1,2より、条件1もしくは(6)式の一方が成り立てば、他方も成り立つ。

3. 「条件2 → (7)式」の証明

条件2を満たしているとき、(7)式が成立つことを証明するために $F(A \oplus B)$ を U 、 $F(F(A) \oplus F(B))$ を V とし、 $U \supseteq V$ かつ $U \subseteq V$ が成立つことをを証明する。

$F(A)$ の任意の要素である領域 a を考え、 $a \in F(A)$ と表わす。当然、 $a \in A$ であるから、 $A \supseteq F(A)$ となる。同様に、 $B \supseteq F(B)$ となる。よって、 $A \oplus B \supseteq F(A) \oplus F(B)$ となり、 $F(A \oplus B) \supseteq F(F(A) \oplus F(B))$ となる。したがって、 $U \supseteq V$ となる。

次に、 U の任意の要素である領域 z を考え、 $c \in U$ と表わす。ここで、 $F(c) = c$ であり、また $c = a \oplus b$ であるような A の要素 a と B の要素 b が存在する。ここで、条件2を満たしていれば、 $F(a) = a$ 、 $F(b) = b$ であるので、 $a \in F(A)$ 、 $b \in F(B)$ と書ける。また、 $F(a \oplus b) = a \oplus b$ であるので、 $(a \oplus b) \in F(F(A) \oplus F(B))$ である。したがって、 $c \in F(F(A) \oplus F(B))$ となり、 $U \subseteq V$ となる。よって、(7)式は成り立つ。以上より、条件2が成り立てば、(7)式も成り立つ。

4. 「(7)式 → 条件2」の証明

(7)式が成り立つとき、 $F(F(A) \oplus F(B)) = C$ である領域集合 C が存在する。ここで、 C の任意の要素 c は、領域集合 $F(A)$ 、 $F(B)$ の要素 a 、 b を用いて $c = a \oplus b$ と表わすことができる。すなわち、 $F(a) = a$ 、 $F(b) = b$ となる。また、(7)式が成り立つことから、この領域集合 C は $F(A \oplus B) = C$ となる。よって、このことは条件2を満たしていることから、(7)式が成り立てば条件2を満たしている。

以上3,4より、条件2もしくは(7)式の一方が成り立てば、他方も成り立つ。