

# 概念抽象階層によるモジュール地図情報システム・アーキテクチャー

阿部 知己<sup>†</sup> 國井利泰<sup>†</sup>

## Modular Geographic Information System Architecture by a Concept Abstraction Hierarchy

Tomomi Abe<sup>†</sup> Tosiyasu L. Kunii<sup>†</sup>

1980年代に欧米で発展した地図情報システム(GIS, Geographic Information Systems)は、1990年代になると日本でも急速に普及し、日常業務に広く活用されるようになった。地図を利用するあらゆる領域を概念抽象階層モデルとして接着空間理論と胞体理論により理論化し、効果的に Web 上で利用できるアーキテクチャーの研究を行い、有益な効果が得られた。

地図情報には基本的には名前も属性もなく、扱いにくいものである。これまで地図を定義するにはトポロジ的な点、線、面と付随した座標があるだけであった。まず、これらの地図情報要素を CW 複体で対応をとる。次に利用上の情報空間と地図情報空間を接着空間理論(adjunction space)の接着関数を用いた同値関係により商空間における対応をとり、接着することによって、従来よりも効果的でモジュールな情報蓄積結果と再利用可能な検索が可能となる。さらにこの方法を用いることで Web 上の広範囲な利用が行えることを検証する。

### 1. はじめに

これまでの地図情報システムは、地図データは独自仕様のデータベースで、顧客名称などの属性情報は汎用のデータベースで別々に管理する手法が取られてきた。しかしデータベースに格納できるデータの種類に限られるなどの様々な制約があり、各々のデータベース情報をマッチングさせる必要があるため、アプリケーションの開発に時間費やしたり、検索機能の性能が悪いなどの問題があった。

一般的な地図情報システムは、集中サーバ型で構成されている。異なるサーバと連結して地図を重ねる試みもされたが、地図は統一された座標系で作られているため、これらのデータを統合するには、座標変換が必要とされた。本来の地図情報システムの利用は、地図をベースにした情報に各種情報を統合し、戦略、計画、立案等をビジュアル的に把握することにある。

### 2. 従来の地図情報空間

電子地図は、様々な要素を必要に応じてレイヤ構造を用いて、地図に重ねて見る事ができる。一方、属性情報は目的別に様々な用途で運用されており、

台帳と呼ばれるデータベースに格納され管理している。

従来の GIS は、電子地図と汎用データベースを関連づけて利用することによって、地図情報と属性情報を一元管理している。

レイヤ構造をもった電子地図は、目的に応じてレイヤを組み合わせる事が可能なため、地図の重ね合わせによる総合的な情報の把握が可能になる。さらに各種情報の統合化をするためには空間データと属性情報を一元管理する必要がある。(図1)



図1. 情報の統合化

現在、多くの地図情報システムはリレーショナルデータベース (RDB) を用いて空間データ (X 座標、Y 座標で構成される 2 次元データ) を扱っている。地図情報システムで扱う空間データには、目

<sup>†</sup>法政大学大学院情報科学研究科

Graduate School of Computer and Information Sciences, Hosei University

標物・顧客情報などの点データ (Point)、道路・線路などの折線データ (Line)、市区町村・湖などのポリゴンデータ (Polygon)がある。

一般的な地形図の作成プロセスは、地域(ヨーロッパ、アジア等)の様々なポイントの距離や高度を測定して地域地図を作成する。これらの地域地図を統合して世界地図を作る。しかし、これらの地図、国境での地図の地形の高さに数百メートルの誤差が生じることがある。

日本では、明治時代に5万分の1地形図を作るために決定したベッセル楕円体を位置の基準(日本測地系)としていた。しかし、近年 VLBI、人工衛星観測による科学的知識に基づいて設定された世界共通の測地基準系(世界測地系)が主流になってきた。世界測地系の楕円体の中心は、地球の重心と一致するように設定されているので、日本測地系の楕円体の中心とは一致しておらず、ずれが生じている。しかし、一度決めてしまった座標を変えることは困難である。

そこで、座標空間を基準としないサイバー空間で、大規模かつ複雑な空間設計をするには、セル構造が適している。

### 3. セル空間理論

セル空間理論とは、抽象階層の概念を取り入れている事から、階層において継承される不変量を定義する事により、様々な状況をモデル化できる。セルは、トポロジー的に  $n$  次元の開(OPEN)ボール  $IntB^n$  と同等なトポロジー空間にあり、 $n$ -cell  $e^n$  と表記する。 $X$  から、セル接合により、有限あるいは、無限のセル列  $X^p$  を **inductive** に構成することができる。 $X^p$  は、 $X$  の部分空間であるように構成し、整数  $Z$  で索引付ける。この様にして得られる、 $\{X^p \mid p \in Z\}$  を **filtration** と呼ぶ。

$X^p$  covers  $X$  (or  $X^p$  is a covering of  $X$ )

すなわち

$$X = \bigcup_{p \in Z} X^p$$

$X^{p-1}$  は、 $X^p$  の部分集合

すなわち、

$$X^0 \subseteq X^1 \subseteq X^2 \subseteq \dots \subseteq X^{p-1} \subseteq X^p \subseteq \dots \subseteq X$$

この様にして  $X$  から得られるセル構造空間  $\{X; X^p \mid p \in Z\}$  を filtration space と呼ぶ。

### 4. セル結合(Cell Attachment)によるセル空間の構築

Open  $n$ -cell  $e^n$  を、既に構築されたトポロジー空間  $X$  に、surjective かつ continuous な写像  $f$  により結合することにより、セル構造空間  $Y$  を構築できる。

写像  $f: X \rightarrow Y$  が surjective であるということは、

$$(\forall y \in Y) (\exists x \in X) [f(x) = y]$$

を意味する。

写像  $f$  が continuous であるということは、

“a subset  $A \subset Y$  is open in  $Y$  if and only if  $\{f^{-1}(y) \mid y \in A\}$  is open in  $X$ ”

を意味する。

$$X \sqcup_f Y = X \sqcup Y / \sim$$

は、attaching space と呼ばれる transitivity から、同値関係により、空間を equivalence classes の排他的和に分割できる。一つの equivalence class を  $x / \sim$  と表記する。すると

$$x / \sim = \{y \in X \mid x \sim y\}$$

である。

すべての equivalence class の集合を  $X / \sim$  と表記するとそれは、 $X$  の quotient space (商空間) あるいは、identification space (認識空間) と呼ばれ

$$X / \sim = \{x / \sim \in 2^X \mid x \in X\} \subset 2^X$$

である。

### 5. セルラーデータベース

セルラーデータモデルとは、セル空間理論を適用したデータモデルである。セルラーモデルは、抽象概念の階層に基づいているため、既存の様々なデータモデルの性質を包含している。これらの情報空間と地図情報空間の adjunction space に接着関数を用い、同値関係により、商空間における対応をとって接着することができる。よって、セルラーデータベースでは抽象階層を取り入れることにより、不変量に基づく同値関係により動的にセル結合を行うことができる。

### 6. 地図情報要素とCW複体

地図情報システムで扱う空間データは、主に点データ(Point)、線データ(Line)、ポリゴンデータ(Polygon)である。言い換えると地図上の各点を結ぶと線になり、線を結ぶと面になる。この閉じた面を一つの番地とすると、番地と番地の集合体が丁目であり、丁目の集合体が区および市になる。最小ユニットである面(ポリゴン)に接する部分をCW複体で対応をとることにより地図情報を表現することができる。

たとえば、市街地図に着目してクローズアップして見ると、号 番地 丁目のように表現できる。

(図2)



図2. 地図におけるセル構造

図2の番地には、10個の建物と敷地の境界線で囲まれており、これらが接して集まるとそれが番地になる。(図3)

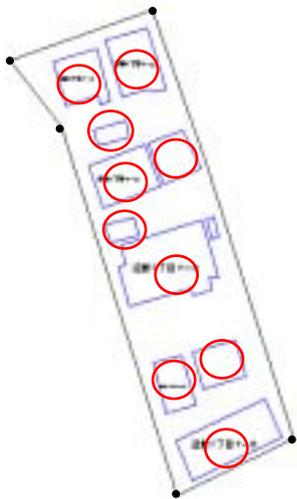


図3. 番地と丁目の関係

このように最小ユニットであるポリゴンに接する辺に別の辺を接着していくことにより、無限大のエリアを表すことができる。さらに個々の点は線に包含され、線は面に包含される。このように連続した面が大きな面を表すことになる。実際にはさらに構造化されたセル空間をつくる。CW空間はXの閉じた部分空間 $X_p$ として構築される。

### 7. 丁目の1次元構成

図3より、丁目の点データを

$$X^0_{1丁目} = \{B_1^0, B_2^0, B_3^0, B_4^0, B_5^0\}$$

線データを

$$B^1_{1丁目} = \sqcup_i B_i^1 \quad \text{ただし } i = \{1, 2, 3, 4, 5\}$$

とする。1次元の接着関数(attach map) F を適用すると、

$$X^1_{1丁目} = X^0_{1丁目} \sqcup_F (\sqcup_i B_i^1)$$

ただし  $i = \{1, 2, 3, 4, 5\}$

となる。ただし attaching map Fは、

$$F: \sqcup_i \partial B_i^1 \rightarrow X^0_{1丁目}$$

である。以上の結果をセルデータベースとしてと表1のようになる。

表1. 1丁目におけるセルデータベース

$B_1^1$	$\partial B_{11}^1$	$B_1^0$	$B_4^1$	$\partial B_{41}^1$	$B_4^0$
	$\partial B_{12}^1$	$B_2^0$		$\partial B_{42}^1$	$B_5^0$
$B_2^1$	$\partial B_{21}^1$	$B_2^0$	$B_5^1$	$\partial B_{51}^1$	$B_5^0$
	$\partial B_{22}^1$	$B_3^0$		$\partial B_{52}^1$	$B_1^0$
$B_3^1$	$\partial B_{31}^1$	$B_3^0$			
	$\partial B_{32}^1$	$B_4^0$			

表1は、左側が各1次元の線データを表している。中央が線データの次元を一つ下げたもの、右側がその次元を下げた線データに対応する0次元の点データを表している(図4)。

$$B_2^0 \xrightarrow{B_1^1} B_1^0$$

$(= \partial B_{12}^1)$                        $(= \partial B_{11}^1)$

図4. 1次元と0次元の対応関係

### 8. 丁目の2次元構成

図3に示したように、各丁目に関して、1次元の接着関数(attach map)をとり、丁目境界の線データを

$$X^1_{1丁目} = \{X^1_{1丁目}, X^1_{2丁目}, X^1_{3丁目}, X^1_{4丁目}, X^1_{5丁目}\}$$

面データを  $X^2_{1丁目} = \sqcup_i B_i^2$  とする。2次元の

$$X^2_{1丁目} = X^1_{1丁目} \sqcup_G (\sqcup_i B_i^2) \quad i = \{1, 2, 3, 4, 5\}$$

となる。ただし、attach map Gは、

$$G: \sqcup_i \partial B_i^2 \rightarrow X^1_{1丁目}$$

となる。

### 9. 番地の構成 (1丁目1番地)

例えば1丁目1番地での点と線の構成例を示す。

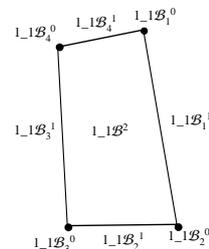


図5. 1丁目1番地

1丁目1番地の点データを

$$Y^0_{1丁目} = \{1\_1B_1^0, 1\_1B_2^0, 1\_1B_3^0, 1\_1B_4^0\}$$

線データを

$$Y^1_{1丁目} = \sqcup_i 1\_1B_i^1 \quad \text{ただし } i = \{1, 2, 3, 4\}$$

とする。attaching map  $F$  を適用すると、 $Y_{1,1 \text{ 番地}}^1 = Y_{1,1 \text{ 番地}}^0 \sqcup_F (\sqcup_i 1\_1\mathcal{B}_i^1)$  ただし  $i = \{1, 2, 3, 4\}$

となる。ただし attaching map  $F$  は、

$$F: \sqcup_i \partial 1\_1\mathcal{B}_i^1 \rightarrow Y_{1,1 \text{ 番地}}^0$$

である。以上の結果をセルデータベースとして表すと表 2 のようになる。

表 2. 1 丁目 1 番地におけるセルデータベース

$1\_1\mathcal{B}_1^1$	$\partial 1\_1\mathcal{B}_{11}^1$	$1\_1\mathcal{B}_1^0$
	$\partial 1\_1\mathcal{B}_{12}^1$	$1\_1\mathcal{B}_2^0$
$1\_1\mathcal{B}_2^1$	$\partial 1\_1\mathcal{B}_{21}^1$	$1\_1\mathcal{B}_2^0$
	$\partial 1\_1\mathcal{B}_{22}^1$	$1\_1\mathcal{B}_3^0$
$1\_1\mathcal{B}_3^1$	$\partial 1\_1\mathcal{B}_{31}^1$	$1\_1\mathcal{B}_3^0$
	$\partial 1\_1\mathcal{B}_{32}^1$	$1\_1\mathcal{B}_4^0$
$1\_1\mathcal{B}_4^1$	$\partial 1\_1\mathcal{B}_{41}^1$	$1\_1\mathcal{B}_4^0$
	$\partial 1\_1\mathcal{B}_{42}^1$	$1\_1\mathcal{B}_1^0$

## 10. 番地と丁目の対応関係

番地ど番地、番地と丁目の境めは一般的に境界が接していないため CW 複体で対応をとるのは難しい。しかし、ある丁目の番地は、必ずその丁目の内部に存在するため、番地は丁目に対して surjective であると言える。すなわち、

$$f_k: \mathcal{B}_{k \text{ 丁目}}^2 \rightarrow \sqcup_i \partial \mathcal{B}_{i \text{ 番地}}^2$$

ただし  $i, k = \{1, 2, 3, \dots\}$

と表すことができる。ただし  $f_k$  は surjective で連続である。

## 11. 検索の効果

各種情報の統合をするためには、空間データに一般の属性情報を関係づける必要がある。実際に航空写真であるオルソ(正射影)画像を地形図と重ね合わせてみてわかるように、地図上には様々なオブジェクトが配置されている。(図 6) これらの情報を目的別にレイヤごとに分類し、属性を定義することができる。



図 6. 地図上に存在する属性

図 6 の各レイヤーの要素として以下の属性が考えられる。

レイヤー1: 機関属性情報: {教育、医療、..}

レイヤー2: 地形図属性情報: {道路、建物、施設..}

レイヤー3: 文字属性情報: {地名、建物名、..}

ここでいう属性は情報空間のことで、地図情報空間との商空間に接着関数(attaching map)を用いて接着することができる。

このようにレイヤ構造にすることで、必要な情報を容易に取り出すことができる。例えば、地図から東京大学を探したい場合、図 7 のように 教育機関→大学・短大→東大 という経路にて容易に探し出すことができる。

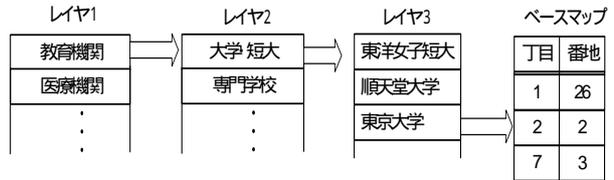


図 7. レイヤ構造からの情報の探索

## 12. 結論

ウェブ・ベースのグラフィックスについては、極端に複雑なために、今のところセル空間構造を広く使用することによって、一般的なモデル化をする必要がある。

セルモデリングはグローバルな統合のために設計された方法で、セルを合せさせることができる空間構造提供に基づいている。Cellular Model は、homotopy 理論の上に構築されているため、セル空間の変形に対しての写像を保存しておく事により、要求に対して動的にセル空間同士の関係を形成する事ができる。セル空間同士の関係は、数学的な裏づけにより保証される。

サイバー世界において様々な変形後の情報を equivalence とみなすことができるので、データモデルに柔軟性、効率性を持たせる事ができる。また情報の有効利用という意味でも、様々なセル空間の変形に対してセル空間の関連性の保証など、効率性を与えてくれることが言える。

## 13. 引用文献

- [1] T.L.Kunii and H. S. Kunii, "A Cellular Model for Information Systems on the Web - Integrating Local and Global Information", Proceedings of 1999, International Symposium on Database Applications in Non-Traditional Environments (DANTE'99), November 28-30, 1999, Heian Shrine, Kyoto, Japan, Organized by Research Project
- [2] Toshiyasu L. Kunii "Topological Graphics"
- [3] Toshiyasu L. Kunii "Computational Shape Modeling :Valid vs.Invalid"
- [4] Toshiyasu L. Kunii "A Cellular Web Model-For Information Management on the web-" September 14,2001. Corrected and Revised: Sptember 18-20,2001
- [5] Toshiyasu L. Kunii ,Web Information Modeling: Adunction Space Modell, Proceedings of the 2<sup>nd</sup> International Workshop on Databases in Networked Iformation System (DNIS 2002),pp.58-63, The University of Aizu, Japan, December 16-18, 2002, Lecture Note in Computer Science, Subhash Bhalla, Ed., Springer -Verlag, December, 2002.