グループウェアと
ネットワークサービス 47－3
（2003．3．19）

# CW複体によるモジュラーな地図情報の設計法

蓮尾健二郎†
Kenjiro Hasuo
法政大学大学院工学研究科電気工学専攻 IT プロフェショナルコース
it023319@itpc.i.hosei.ac.jp

國井利泰††
法政大学大学院情報科学研究科
tosi@kunii.com
http://www.kunii.com

## 要旨

1980年代に広く使用されるようになった地図情報システム(GIS,Geographic Information Systems)は、1990年代になると、GIS を取り巻く環境はさらに多様化し、活発化している。本プロジェクトでは、これらの地図情報要素をCW 複体を用いて、利用目的別に自由に再構成可能なモジュラーな地図情報システムとして構成する。これにより、神社仏閣大学等の教育施設を、地図の丁目・番地とモジュラーを階層群として柔軟にオーバーレイし、カーナビなどの多様な応用に対応可能な情報システムを実現することができる。

*Key Words : GIS, CW-Complex, cellular spaces*

# Designing Modular Geographic Information Systems based on CW-Complexes

Kenjiro Hasuo†
it023319@itpc.i.hosei.ac.jp

Tosiyasu L, Kunii††
tosi@kunii.com
http://www.kunii.com

## Abstract

Geographic information systems have to be widely used from the 1980s. In the 1990s, they have been diversified further and the environments which surrounds GIS have been activated. In our projects, we compose map information elements into modular geographic information systems which is reorganized freely using CW-complexes. By modeling maps as CW-Complexes, it becomes possible to flexibly overlay institutions like Shrines, temples, churches and unversities hierarchically, and to build effective map information systems which can correspond to various applications like car navigation.

*Key Words : GIS, CW-Complex, cellular space*

† 法政大学大学院工学研究科電気工学専攻ITプロフェッショナルコース Hosei Univ. graduate school Department of Electrical Engineering IT Professional Course

†† 法政大学大学院情報科学研究科 Hosei Univ graduate school Department of computer science

## 1. はじめに

これまでの地図情報システム(GIS)は、地図データは独自のシステムで構築されたデータベースで、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型の種類が限られるなどの様々な制約があったため、さらにそれぞれ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がかかり、検索機能の性能が悪いなどの問題があった。

またシステムが異なると各システムで蓄積したデータの相互流通が困難となり、蓄積されてきた情報資産を相互に活用できない問題が増加している。これを放置しておくと、民間分野においてはモバイル環境での GIS コンテンツ流通の発展を阻害、公共分野においては電子政府実現の障害などといった問題も出てくる。

本来の地図情報システムは、各種情報を統合し、必要な情報を効率的に把握することによって、各種戦略、計画立案等の分析を地図をベースにした情報によってビジュアルに表現することを目的としている。

このように、データの相互流通を実現する標準仕様の確立が現在の GIS の課題となっている。

本論文では、セル構造空間のモデリング、特に CW 複体に基づく手法を提案する。2 次元の CW 複体で地図をモデル化することにより、利用目的別に自由に再構成可能な地図情報システムとして構築することができる。

## 2. セル構造空間(cellular spaces)

この章では、セル構造空間と CW 複体の定義を説明する。

セル(cell)とは、任意の次元(自然数 n の n 次元)の開球 Int$\mathcal{B}^n$ (または $\mathring{B}^n$)に対してトポロジーとして同値であるトポロジー空間 X である。また n-cell $e^n$ とも呼ばれている。$\mathcal{B}^n$ は

$$\mathcal{B}^n = \{x \in \mathbb{R}^n, \|x\| \leq 1\},$$

となり、近接した n 次元の球を表している。ただし$\mathbb{R}^n$は n 次元の実数である。

Int $\mathcal{B}^n = \mathring{B}^n = \{x \in \mathbb{R}^n, \|x\| < 1\}$ は n 次元の開球であり、$\mathcal{B}^n$ の内点である。$\partial\mathcal{B}^n = \mathcal{B}^n - \mathring{B}^n = S^{n-1}$ は$\mathcal{B}^n$ の境界を表していて、$S^{n-1}$は(n-1)次元の球体を表している。トポロジー空間 X に対して、characteristic map $\mathcal{F}$ は連続関数である。すなわち、

$$\mathcal{F}: \mathcal{B}^n \to X,$$

となり、同相写像(homeomorphism)は以下のように表す事ができる。

$$\mathcal{F}: \mathring{B}^n \to \mathcal{F}(\mathring{B}^n)$$

$$\mathcal{F}(\partial\mathcal{B}^n) = \mathcal{F}(\mathcal{B}^n) - \mathcal{F}(\mathring{B}^n).$$

$e^n = \mathcal{F}(\mathring{B}^n)$ は 開 n セル(open n-cell)とよばれ、 $\bar{e}^n = \mathcal{F}(\mathcal{B}^n)$ は閉 n セル(closed n-cell)と呼ばれる。

トポロジー空間 X から、有限もしくは無限のセル列 $X^p$ を構成する事ができる。$X^p$ は、X の部分空間になるように構成され、また整数セル$\mathbb{Z}$により索引付けられる。

すなわち、$X^p$ が X を包括し、

$$X = \cup_{p \in \mathbb{Z}} X^p$$

と表され、$X^{p-1}$ が $X^p$ の部分集合となる。これは、

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

と表すことができる。このようにして表される$\{X^p \mid X^p \subseteq X, p \in \mathbb{Z}\}$をスケルトンと呼ぶ。最大の次元数が p であるスケルトンを p スケルトンと呼ぶ。

また、$\{X^p \mid X^p \subseteq X, p \in \mathbb{Z}\}$はトポロジー空間 X のセル分解 (cell decomposition)、もしくはトポロジー空間 X の開セルである部分空間 $X^p$ へ分割すると言う。セル分解を行うとき、セルのアタッチメントマップ(cell attachment maps)を保持する事で、セル空間を再利用可能なリソースに変換する事ができる。そのような保持、共有した情報をセルデータベース(cellular database)と呼ぶ。またそれを管理するシステムをセルデータベースマネージメントシステム(cellular database management system : cellular DBMS)と呼ぶ。

セルデータベースは、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(attaching map)を用いて、同値関係により、商空間(closed subspace)における対応をとり、attaching することができる。よって、セル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。

## 3. 文京区本郷地区におけるスケルトン構成

前節で説明したセル構造空間を用いて、東京都文京区の本郷地区を例にとり、スケルトン構成の実例を示す。

主に地図情報システムで扱う空間データは、点データ(Point)、線データ(Line)、ポリゴンデータ(Polygon)である。地図上において、各点データを結ぶと線データになり、線データを結ぶとポリゴンデータになる。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に接する部分を CW 複体で対応をとることにより、号→番地→丁目→町→市→県→日本のように地図情報を表現できる（図 1）。

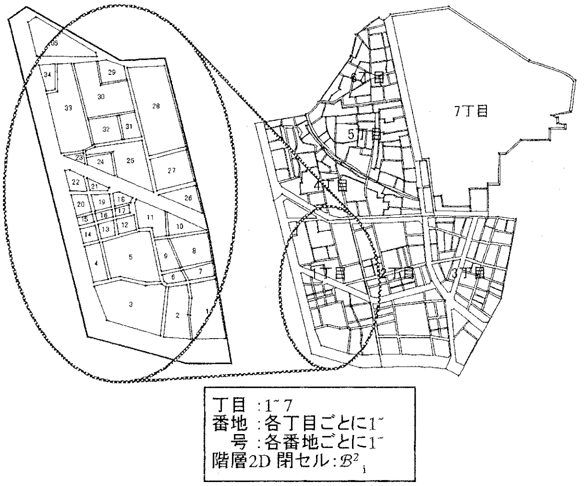


図１：地図におけるセル構造

このように最小ユニットである面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。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 $X_p$ として構築している。

### 3.1 丁目界でのスケルトン構成

#### 3.1.1 １次元のスケルトン構成（文京区本郷１丁目）

文京区本郷１丁目を例にとり、丁目界でのスケルトン構成の例を示す。

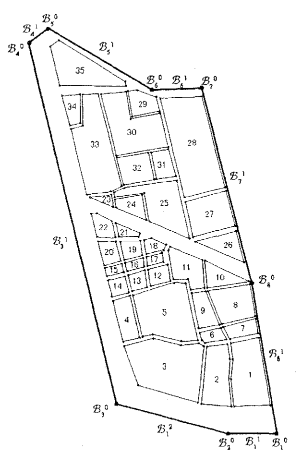

図２：本郷１丁目

図2のように、1丁目の点データを

$$X^0_{1choume} = \{\mathcal{B}_1^0, \mathcal{B}_2^0, \mathcal{B}_3^0, \mathcal{B}_4^0, \mathcal{B}_5^0, \mathcal{B}_6^0, \mathcal{B}_7^0, \mathcal{B}_8^0\}$$

線データを

$$\mathcal{B}^1_{1choume} = \sqcup_i \mathcal{B}_i^1 \qquad ただし\ i = \{1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8\}$$

とする。1次元の attaching map F を適用すると、

$$X^1_{1choume} = X^0_{1choume} \sqcup_F (\sqcup_i \mathcal{B}_i^1) \qquad ただし\ i = \{1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8\}$$

3

となる。ただし attaching map F は、

$$F : \sqcup_i \partial\mathcal{B}_i^1 \rightarrow X^0_{1choume}$$

である。以上の結果をセルデータベースとして表すと表1のようになる。

| | | |
|---|---|---|
| $\mathcal{B}_1^1$ | $\partial\mathcal{B}_{11}^1$ | $\mathcal{B}_1^0$ |
| | $\partial\mathcal{B}_{12}^1$ | $\mathcal{B}_2^0$ |
| $\mathcal{B}_2^1$ | $\partial\mathcal{B}_{21}^1$ | $\mathcal{B}_2^0$ |
| | $\partial\mathcal{B}_{22}^1$ | $\mathcal{B}_3^0$ |
| $\mathcal{B}_3^1$ | $\partial\mathcal{B}_{31}^1$ | $\mathcal{B}_3^0$ |
| | $\partial\mathcal{B}_{32}^1$ | $\mathcal{B}_4^0$ |
| $\mathcal{B}_4^1$ | $\partial\mathcal{B}_{41}^1$ | $\mathcal{B}_4^0$ |
| | $\partial\mathcal{B}_{42}^1$ | $\mathcal{B}_5^0$ |
| $\mathcal{B}_5^1$ | $\partial\mathcal{B}_{51}^1$ | $\mathcal{B}_5^0$ |
| | $\partial\mathcal{B}_{52}^1$ | $\mathcal{B}_6^0$ |
| $\mathcal{B}_6^1$ | $\partial\mathcal{B}_{61}^1$ | $\mathcal{B}_6^0$ |
| | $\partial\mathcal{B}_{62}^1$ | $\mathcal{B}_7^0$ |
| $\mathcal{B}_7^1$ | $\partial\mathcal{B}_{71}^1$ | $\mathcal{B}_7^0$ |
| | $\partial\mathcal{B}_{72}^1$ | $\mathcal{B}_8^0$ |
| $\mathcal{B}_8^1$ | $\partial\mathcal{B}_{81}^1$ | $\mathcal{B}_8^0$ |
| | $\partial\mathcal{B}_{82}^1$ | $\mathcal{B}_1^0$ |

表1：本郷1丁目におけるセルデータベース

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2）。

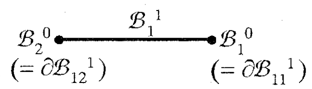


図2：1次元と0次元の対応関係

### 3.1.2 2次元のスケルトン構成

3.1.1 に示したように、文京区本郷の各丁目に関して、1次元の attaching map をとり、丁目界の線データを

$$X^1_{choume} = \{X^1_{1choume}, X^1_{2choume}, X^1_{3choume}, X^1_{4choume}, X^1_{5choume}, X^1_{6choume}, X^1_{7choume}\}$$

面データを

$$X^2_{choume} = \sqcup_i \mathcal{B}_i^2$$

とする。2次元の attaching map G を適用すると、

$$X^2_{choume} = X^1_{choume} \sqcup_G (\sqcup_i \mathcal{B}_i^2) \quad i = \{1, 2, 3, 4, 5, 6, 7\}$$

となる。ただし、attaching map G は、

$$G : \sqcup_i \partial\mathcal{B}_i^2 \rightarrow X^1_{choume}$$

となる。

## 3.2 番地でのスケルトン構成（文京区本郷1丁目1番地）

文京区本郷1丁目1番地を例にとり、番地でのスケルトン構成の例を示す。

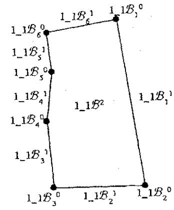


図3：本郷1丁目1番地

1番地の点データを

$$Y^0_{1\_1banchi} = \{1\_1\mathcal{B}_1^{\ 0},\ 1\_1\mathcal{B}_2^{\ 0},\ 1\_1\mathcal{B}_3^{\ 0},\ 1\_1\mathcal{B}_4^{\ 0},\ 1\_1\mathcal{B}_5^{\ 0},\ 1\_1\mathcal{B}_6^{\ 0}\}$$

線データを

$$Y^1_{1\_1banchi} = \sqcup_i 1\_1\mathcal{B}_i^{\ 1} \qquad \text{ただし}\quad i = \{1, 2, 3, 4, 5, 6\}$$

とする。attaching map F を適用すると、

$$Y^1_{1\_1banchi} = Y^0_{1\_1banchi} \sqcup_F (\sqcup_i 1\_1\mathcal{B}_i^{\ 1}) \qquad \text{ただし}\quad i = \{1, 2, 3, 4, 5, 6\}$$

となる。ただし attaching map F は、

$$F : \sqcup_i \partial 1\_1\mathcal{B}_i^{\ 1} \to Y^0_{1\_1banchi}$$

である。以上の結果をセルデータベースとして表すと表1のようになる。

| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| $1\_1\mathcal{B}_1^{\ 1}$ | $\partial 1\_1\mathcal{B}_{11}^{\ 1}$ | $1\_1\mathcal{B}_1^{\ 0}$ | $1\_1\mathcal{B}_4^{\ 1}$ | $\partial 1\_1\mathcal{B}_{41}^{\ 1}$ | $1\_1\mathcal{B}_4^{\ 0}$ |
| | $\partial 1\_1\mathcal{B}_{12}^{\ 1}$ | $1\_1\mathcal{B}_2^{\ 0}$ | | $\partial 1\_1\mathcal{B}_{42}^{\ 1}$ | $1\_1\mathcal{B}_5^{\ 0}$ |
| $1\_1\mathcal{B}_2^{\ 1}$ | $\partial 1\_1\mathcal{B}_{21}^{\ 1}$ | $1\_1\mathcal{B}_2^{\ 0}$ | $1\_1\mathcal{B}_5^{\ 1}$ | $\partial 1\_1\mathcal{B}_{51}^{\ 1}$ | $1\_1\mathcal{B}_5^{\ 0}$ |
| | $\partial 1\_1\mathcal{B}_{22}^{\ 1}$ | $1\_1\mathcal{B}_3^{\ 0}$ | | $\partial 1\_1\mathcal{B}_{52}^{\ 1}$ | $1\_1\mathcal{B}_6^{\ 0}$ |
| $1\_1\mathcal{B}_3^{\ 1}$ | $\partial 1\_1\mathcal{B}_{31}^{\ 1}$ | $1\_1\mathcal{B}_3^{\ 0}$ | $1\_1\mathcal{B}_6^{\ 1}$ | $\partial 1\_1\mathcal{B}_{61}^{\ 1}$ | $1\_1\mathcal{B}_6^{\ 0}$ |
| | $\partial 1\_1\mathcal{B}_{32}^{\ 1}$ | $1\_1\mathcal{B}_4^{\ 0}$ | | $\partial 1\_1\mathcal{B}_{62}^{\ 1}$ | $1\_1\mathcal{B}_1^{\ 0}$ |

表8：本郷1丁目1番地におけるセルデータベース

### 3.3 番地と丁目の対応関係

番地同士、番地と丁目界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、

$$f_k : \mathcal{B}k_{丁目}^{\ 2} \to \sqcup_i \partial\mathcal{B}i_{番地}^{\ 2} \qquad \text{ただし}\quad i, k = \{1, 2, 3, \cdots\}$$

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

## 4. レイヤ構造

情報の統合化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。オルソ画像を重ねてみてわかるように地図には多くの属性があり、地図上には様々なオブジェクトが配置されている。

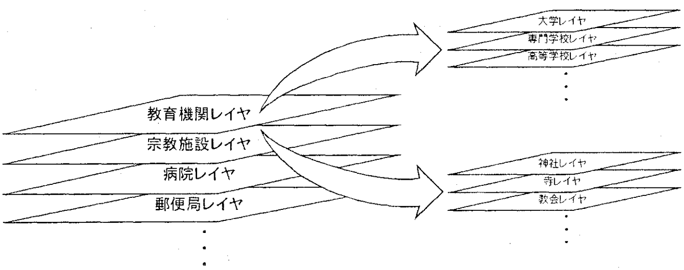


図4：さまざまな施設のレイヤ構造

これらの要素は必要に応じて、地図情報と attaching される。ここでいう情報空間は属性のことで地図情報空間との商空間(closed subspace)に attaching map を用いて attaching 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4のように 施設→教育機関→大学･短大 とたどっていけば容易に探し出すことができる。

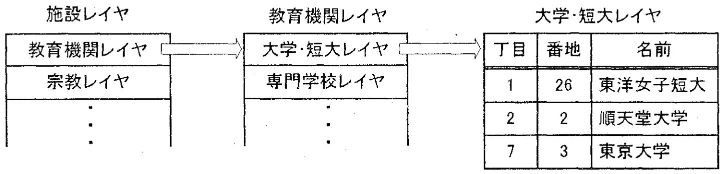


図５：レイヤ構造からの情報の探索

## 5. まとめ

本稿ではCW複体を用いての地図情報のモデル化について述べた。また３章では、東京都文京区本郷の地図を使用してのセルデータベースの実例を示した。4章では、属性をレイヤ構造に分類し、どのように情報を取り出すかを示した。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容易である。セル空間同士の関係は、数学的な裏づけにより保証されている。サイバー世界においては、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。

## 6. 今後の展望

今回は時間の都合上、号は扱わずに番地と丁目だけでスケルトンを構成した。今後の展望としては、号を含めたスケルトン構成を行い、号と番地と丁目の対応付け、座標の設定などを行っていきたい。そして提案手法を元にして地図情報のシステムの実装をする予定である。また扱う地図を３次元へと拡張させていくことも考えている。

また本研究を始めてから日が浅いのため GIS に関しての理解が不十分であるので、書籍、文献などを読んでいき、GISに関する理解を深めていきたいと思っている。

## 参考文献

[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] Tosiyasu L. Kunii A Celluar Web Model-For information Management on the web- September 14,2001. Corrected and Revised: Sptember 18-20,2001

[3] Tosiyasu L. Kunii ,Web Information Modeling: Adjunction Space Modell, Proceedings of the 2nd International Workshop on Databases in Networked Information System (DNIS 2002),pp.58-63, The Universiy of Aizu, Japan, December 16-18, 2002, Lecture Note in Computer Science, Subhash Bhalla, Ed., Springer Verlag, December, 2002.

[4] Tomomi Abe and Tosiyasu L. Kunii, Modular Geographic Information System Architecture by a Concept Abstraction Hierarchy