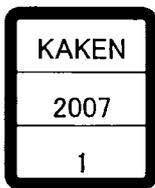


## 環境共生のための土地利用計画支援システムの開発 と適用に関する研究

|     |   |
|-----|---|
| 著者  | 川上 光彦   |
| 雑誌名 | 平成18(2006)年度 科学研究費補助金 基盤研究(B)<br>研究成果報告書  |
| 巻   | 2004-2006   |
| ページ | 149p.   |
| 発行年 | 2007-04-01  |
| URL | <a href="http://hdl.handle.net/2297/48735">http://hdl.handle.net/2297/48735</a> |



---

# 環境共生のための土地利用計画支援システム の開発と適用に関する研究

---

(課題番号：16360300)

平成16年度～平成18年度科学研究補助金  
基盤研究B 研究成果報告書

平成19年4月

研究代表者 川上光彦

金沢大学大学院自然科学研究科教授

金沢大学附属図書館



8311-52433-5

環境共生のための土地利用計画支援システム  
の開発と適用に関する研究

(課題番号:16360300)

平成16年度～平成18年度科学研究補助金  
基盤研究B 研究成果報告書

平成19年4月

研究代表者 川上光彦  
金沢大学大学院自然科学研究科教授

発行者 寄贈

## まえがき

平成 16 年度～平成 18 年度において、独立行政法人日本学術振興会 科学研究補助金(基盤研究 B(2))を受け「環境共生のための土地利用計画支援システムの開発と適用に関する研究」を遂行し、ここにその成果をとりまとめている。本研究は、研究代表者ならびに研究分担者がこれまでに行ってきた基礎的な研究、たとえば、「ランドサットTMデータを用いた地表面温度と土地利用の関連性分析－GISを用いた都市・地域計画支援システムの構築と適用に関する研究－(平成 12 年度金沢大学重点研究プロジェクト)」、「WEBGIS を用いた住民参加型の環境学習システムの構築(平成 14年度金沢市地域研究助成、課題番号 1178)」、「WEBGIS と JAVA を用いた建築利用可能空間シミュレーションシステムの開発(平成 15 年度金沢市委託研究)」などの研究をさらに発展させたものである。

本研究の目的は、環境保全を考慮した総合的土地利用計画支援システムの開発の試みである。具体的には事例研究により、国や民間において整備されている多様な土地利用のデータと環境関連データとの統合により、環境水準の制約を取り入れた土地利用計画支援システムの開発を行うことである。本研究では、持続可能な土地利用計画を提案するために、マクロとミクロのレベルから検討を行い、土地利用のシミュレーションについて研究を進めてきている。マクロレベルでは、メッシュ単位のシミュレーションシステムを構築し、中心市街地における商業環境の衰退と周辺地域の土地利用の変化を中心に、マルチエージェントシステムによって大規模商業施設の立地とその影響のシミュレーションを行い、代替案シナリオを評価することによって、中心市街地活性化策などを検証するようなシステム開発を進めた。現段階では、商業環境の変容を評価してきているが、環境計画の視点からの評価も取り入れられるように研究を進めている。ミクロレベルでは、地区を対象とする画地単位の土地利用シミュレーションシステムを開発し、エコロジーネットワークの構築、建築規制を考慮した宅地における建築可能空間シミュレーション、計画設計条件を考慮した市街地形成のシミュレーションシステムの開発を行ってきた。上記の二つのレベルを組合せて土地利用のパターンについてシミュレーションし、エネルギーの消費量、車の所有数による大気汚染の環境評価などに対応した土地利用の評価を行えるようにシステムを改良する予定である。

なお、本研究の実施には、以下の研究室生の協力を得ている。本研究報告書は、基本的には発表した研究論文と報告に基づいて作成されたものであり、国際会議 6 編、論文 7 編などを中心としてとりまとめたものである。

### 研究協力者の氏名

|           |                                |
|-----------|--------------------------------|
| Chen Ping | 金沢大学大学院自然科学研究科博士後期課程環境工学専攻 2 年 |
| 山下 智      | 同 上 1 年                        |
| 加藤一幸      | 金沢大学大学院自然科学研究科社会基盤専攻博士前期課程修了   |
| 北野清晃      | 同 上                            |
| 加藤千智      | 同 上                            |
| Cui Bin   | 同 上                            |
| 川村一平      | 同 上                            |
| 串田隆昭      | 金沢大学工学部土木建設工学科 4 年             |

平成 19 年度 3 月  
研究代表者 金沢大学大学院自然科学研究科教授  
川上光彦

科学研究費補助金(基盤研究(B)(2)) 研究成果報告書

研究課題 「環境共生のための土地利用計画支援システムの開発と適用に関する研究」  
課題番号 16360300

研究組織

|       |      |                    |
|-------|------|--------------------|
| 研究代表者 | 川上光彦 | 金沢大学大学院自然科学研究科・教授  |
| 研究分担者 | 古内正美 | 金沢大学大学院自然科学研究科・准教授 |
|       | 沈 振江 | 金沢大学大学院自然科学研究科・准教授 |
|       | 天野智順 | 富山県立大学・短期大学部・講師    |
|       | 小林史彦 | 金沢大学大学院自然科学研究科・講師  |

交付決定額(配分額)

(金額単位:千円)

|          | 直接経費  | 間接経費 | 合計    |
|----------|-------|------|-------|
| 平成 16 年度 | 5,100 | 0    | 5,100 |
| 平成 17 年度 | 2,400 | 0    | 2,400 |
| 平成 18 年度 | 2,300 | 0    | 2,300 |
| 総 計      | 9,800 | 0    | 9,800 |

研究成果

[1]論文集・学会誌(論文発表)

- (1) Shen ZJ, Kawakami M. Visualization of Usable Building Space According to Planning Permission Ordinances for Public Participation in District Plan in Japan, Recent Advances in Design & Decision Support Systems in Architecture and Urban Planning, Dordrecht:Kluwer Academic Publishers ISBN: 1-4020-2408-8, p.85-98, 2004.7
- (2) 山下 智、沈振江、川上光彦、広瀬志帆、WEBGISとJAVA3Dを用いた建築可能空間作成システムの構築、日本建築学会情報システム利用技術論文集, Vol.27, pp.133-138、2004.12
- (3) ZJ. Shen, M.Kawakami. STUDY ON SPATIAL MICRO SIMULATION OF LAND USE FORMULATION IN BUILT-UP AREA AFTER LAND READJUSTMENT PROJECT USING CA (CUPUM, London), Proc. of the 9th Conference on Computers in Urban Planning and Urban Management Conference, (in CD-ROM), 2005.7
- (4) ZJ. Shen, M.Kawakami, P. Chen. Study on a Decision Support System for Large-Scale Shopping Centre Location Planning Using a Multi-Agent System, Progress in Design & Decision Support Systems in Architecture and Urban Planning, Eindhoven: Eindhoven University of Technology. ISBN-1090-386-1756-9, p.169-184, 2006.7
- (5) M.Kawakami, ZJ. Shen. Study on Decision Support System for District Planning in Public Participation -A case study in Kanazawa City, Japan, Progress in Design & Decision Support Systems in Architecture and Urban Planning, Eindhoven: Eindhoven University of Technology. ISBN-1090-386-1756-9, p.203-218, 2006.7
- (6) Chen P., Shen ZJ, Kawakami M. Study on Development and Application of MAS for Impact Analysis of Large-scale Shopping Center Development, 都市計画論文集, No.41-3, pp. 271-276, 2006.11

- (7) 沈 振江、川上 光彦、加藤 千智、川村 一平. CA を用いたミクロな市街地成長シミュレーションの可能性について、日本建築学会情報システム利用技術シンポジウム論文集, Vol. 28, pp. 211-214、2005. 12
- (8) 沈 振江、川上 光彦、陳 萍. Decision Making for Large-scale shopping Centers Location Based on Multi-agent System 日本建築学会情報システム利用技術シンポジウム論文集, Vol. 29, pp. 219-222、2006. 12
- (9) 沈 振江、川上 光彦. GIS を用いた土地利用計画支援システムの開発と適用—中心市街地の人口移動—、日本建築学会大会講演集(情報)、2006 年度

[2]本研究に行うにあたって、その基礎となる既発表関連論文

- (10) 沈 振江、川上光彦、山下 智、WEBGIS を用いた参加型計画支援システムの開発と観察情報の信頼性～PC 端末・GPS 対応携帯電話を用いた観察情報の収集について～、日本建築学会情報システム利用技術シンポジウム論文集, Vol. 26 , pp. 31-36、2003. 12
- (11) 沈 振江、川上光彦、山下 智. GIS を用いた地区エコロジカル・ネットワークのベースマップの自動作成に関する研究、日本建築学会情報システム利用技術シンポジウム論文集, Vol. 25 , pp. 217-222、2002. 12
- (12) M. Kawakami, ZJ. Shen. Formulation of Urban and Regional Planning System Based on Geographical Information System and Its Application -A Case Study in Ishikawa Prefecture Area of Japan- , Proc. of the 6th Conference on Design and Decision Support Systems in Architecture and Urban Planning, pp. 101-113, 2002. 7 (DDSS, Ellecom)
- (13) ZJ. Shen, M. Kawakami. Study on Planning Information Publication for Green Design in Public Participation Process of District Ecological Network Plan in Japan -PART1 Auto Generation Process of Ecological Network Base Map in District Level, Proc. of the 5th International Eco-city Conference, pp. S1A\_10/1-10/17, (in CD-ROM) (ECC, Shenzhen), 2002. 8
- (14) ZJ. Shen, M. Kawakami. Study on Planning Information Publication for Green Design in Public Participation Process of District Ecological Network Plan in Japan-PART2 WEBGIS and Public Participation, Proc. of the 1st Internet Conference on Eco-city Development, pp. S1A\_11/1-11/12, (in CD-ROM) (ICED, the Internet), 2003. 2-6
- (15) M. Kawakami, ZJ. Shen, S. Yamashida. Formulation of Support System for Ecological Network Planning by Public Participation Using WEBGIS (CUPUM, Sendai), Proc. of the 8th Conference on Computers in Urban Planning and Urban Management, pp. 8059/1-8059/11, (in CD-ROM), 2003. 5
- (16) ZJ. Shen, M. Kawakami. A Study on GPS and Mobile Devices for Their Applications in Urban Planning Support System (GEOINFOMATICS, the Internet), Proc. of the 11th International Conference on GeoInformatics, pp. 110/1-110/4(in Geoinfo2003.pdf distributed by email) 2003. 6

# 目 次

## 第1章 序論

1. 研究の背景と目的 ..... 1
2. 研究の方法 ..... 1
3. 本研究の構成 ..... 3

## 第1部 GISの利用と環境保全

### 第2章 空間データの共有と都市・地域計画支援システム

1. Purpose of This Paper and Research Methodology ..... 7
2. Formulation of Database for Urban and Regional Planning ..... 7
3. An Application of The System for Urban and Regional Planning 12
4. Conclusion ..... 18

### 第3章 ランドサットTMデータを用いた地表面温度と土地利用の関連性分析

1. はじめに ..... 20
2. GIS データベースの構築 ..... 21
3. 事例地区における地表面温度の分布と土地利用状況 ..... 22
4. 地表面温度ランク別の土地利用指標の比較 ..... 26
5. 地表面温度と土地利用との因果関係 ..... 27
6. 結語 ..... 30

### 第4章 GISを用いた地区エコロジカル・ネットワークのベースマップの自動作成

1. 研究の目的と方法 ..... 33
2. 地区 EN のベースマップ作成システムの概要 ..... 34
3. GISを用いた地区 EN のベースマップの作成 ..... 36
4. 結論 ..... 42

### 第5章 人口移動と GIS

1. 研究の背景と目的 ..... 44
2. 研究の方法 ..... 44
3. 研究のフレームワーク ..... 45
4. システム概要 ..... 46
5. 遺伝的アルゴリズムの適用方法 ..... 49
6. 支援システムのデータベースの構築 ..... 51
7. 土地利用計画支援システムの適用 ..... 52
8. まとめ ..... 56

## 第2部 WEBGISの利用について

### 第6章 WEBGISを用いた参加型計画支援システムの開発と観察情報の信頼性

1. 研究の背景と目的 ..... 58
2. 研究の方法 ..... 58
3. システムの概要 ..... 59
4. 観察情報の信頼性の検証について ..... 66
5. 結語 ..... 68

### 第7章 WEBGISとJAVA3Dを用いた建築可能空間作成システムの構築

1. 研究の背景と目的 ..... 70
2. 研究の方法 ..... 71
3. システムの概要 ..... 73
4. システムを用いた建築可能空間の作成方法 ..... 74
5. まとめ ..... 80

## 第3部 土地利用シミュレーション

### 第8章 MASを用いた大規模商業施設の影響評価に関する研究

1. Introduction ..... 83
2. Method ..... 83
3. Development regulations for B-shops ..... 84
4. Framework of Shopsim-MAS ..... 85
5. Policy scenarios evaluation ..... 87
6. Discussion and further research ..... 94

### 第9章 MASを用いた世帯立地のシミュレーション

1. Introduction ..... 98
2. Method ..... 98
3. Factors affecting spatial distribution ..... 98
4. Allocation model of household agents ..... 99
5. Simulation results relating to households allocation ..... 100
6. Conclusion ..... 101

### 第10章 MASを用いた大型店立地シミュレーション

1. Introduction ..... 104
2. B-shops' development problem faced by Planner agent ..... 105
3. The GA for finding feasible B-shop development plans ..... 108
4. Conclusion ..... 110

|        |   |     |
|--------|---|-----|
| 第 11 章 | CA を用いたミクロな市街地形成シミュレーション                                |     |
| 1.     | Introduction .....                                      | 113 |
| 2.     | Research approach .....                                 | 115 |
| 3.     | Establishing a concept model .....                      | 117 |
| 4.     | Model validation with percolation phenomenon .....      | 120 |
| 5.     | Model calibration in study area .....                   | 130 |
| 6.     | Alternatives - possibilities of scenario analysis ..... | 133 |
| 7.     | Conclusions .....                                       | 136 |
| 第 12 章 | おわりに  |     |
| 1.     | 研究の成果 .....   | 139 |
| 2.     | 今後の課題 .....   | 140 |

## 第1章 序論

この章では既存研究の整理を通して、研究の背景と目的を整理し、本研究の位置付けや研究方法の概要について述べる。

### 1. 研究の背景と目的

地球環境問題や地方分権に対応して、地域特性に対応した市町村などを中心とする都市環境基本計画の主要な課題の一つとして、土地利用における環境の実態の把握、環境保全を考慮した計画支援システムの開発などがあげられる。一方、地理情報システムの発展が著しく、リモートセンシングデータや土地利用等に関するGISデータが蓄積され、それらを用いた解析手法の開発などが進展してきており、都市計画的分野におけるそれらの応用も、計画管理、土地利用の解析・予測とその可視化、景観シミュレーションなどの多くの成果が挙げられている。また、環境分野においても、熱環境の調査と解析、エコロジー環境の調査と解析、大気・河川などの公害による汚染実態の調査と解析が行われてきている。しかし、環境分野と都市計画の連携による、環境保全の視点を踏まえた都市計画のありかたについては、緊急かつ新しい課題であるが、十分に検討されたわけではない。これまで、国内外の関連研究として、日本建築学会の情報技術委員会や国際会議のCUPUM(International Computer in Urban planning and Urban Management Conference)、DDSS(International Conference of Design Decision Support System)などにおいて、当該分野における新しい研究成果が公表されている。しかし、これらの研究においては、GISを用いて社会経済的状況や土地利用についてシミュレーションや予測するようなシステムを開発しているものが多く、環境保全を取り入れた土地利用計画支援システムとして開発したり確立したりしているものはまだない状況である。また、環境資源や情報管理システム開発の分野については、環境情報データベースの体系化と環境の評価を中心に、自然植生の分布、森林の活性度など多くの環境実態の把握や住民意識にもとづく環境評価モデルの研究などが行われてきている。しかし、環境保全の視点から、土地利用計画への適用にまで進展しているものはみられない。

本研究の目的は、都市計画分野と環境分野との連携により、環境保全を考慮した総合的土地利用計画支援システムの開発の試みである。科学研究費の活用により、金沢における事例研究などにより、国や民間において整備されているGISのデータベースとクリアリングハウス、環境観測データ、地方自治体が整備してきている「都市計画基礎調査」などの多様な既存データに基づいてデータベースを構築し、環境保全の計画方針を取り入れた土地利用計画支援システムの開発を行う。また、本研究は、環境保全を考慮した土地利用計画の方法を確立するための基礎的研究として位置づけられ、環境保全のための新しい都市計画の形成には大きな意義があると考えられる。

### 2. 研究の方法

本研究は、以下に示す、いくつかのアプローチから研究を進めてきた。

## (1) GIS を用いた都市・地域計画の計画支援システムという視点からの検証

GISは、Geography Information System の略で、地理情報システムである。地理情報システムは基本的にはデータベースであり、様々な分野の実務と研究に利用できるシステムである。都市・地域の関連からみれば、地図関連の地理的座標に合わせて、都市・地域関連の統計データ、土地、建物、道路及び河川の関連情報を一括管理でき、関連データベースの利用により、必要に応じて情報検索や社会経済的変化の予測、土地利用解析、交通分析、公共施設配置問題、地形や景観の分析など、様々な利用ができる。

日本においても、国・地方自治体の機関や第3セクターの組織や財団法人、社団法人、学会などの組織が多くみられる。これらの機関や組織は、測量と地図の作成、地図の管理と販売、リモートセンシングデータの解析、道路交通情報の提供、インターネット上の地図情報サービスなどの様々な業務を行っており、国土情報化のための基盤整備について積極的に努力してきている。GIS関連の民間企業も非常に多い。例えば、豊田、三井、三菱、日立などの民間グループは地図作成などの事業に参加し、主要な役割を果たしている。さらに土木系のコンサルタントなどもGISを導入し関連業務に応用している。

都市・地域計画の策定には、大量かつ多様な都市関連情報の効率的な管理と処理が求められる。このため、日本においては、国勢調査、地価公示などのデータをGISに導入し、メッシュ単位で管理されている。本研究では、ARCGISなどのシステムを中心に、金沢市を対象に、都市計画基礎調査、国勢調査、国土数値情報、数値地図などの地形、行政界、交通、各種施設位置などをベクターデータで整備し、関連メッシュ単位の統計データも導入している。これらを用いて現況把握だけではなく、SPSSなどの分析ツールをGISに組み込み、都市計画策定過程において、環境保全の視点から環境評価の指標なども考慮して計画支援システムの開発を試みている。

## (2) WEBGIS を用いた関連計画情報の公開という視点からの検証

近年、情報通信技術の発展により高速通信ネットワーク化が進み、それに伴い一般家庭にインターネットが普及してきている。このことは2002年2月時点での日本のインターネット利用者数が4,619万6千人(「インターネット白書」調べ)となっており、1年前の2001年2月の3,629万6千人から約1千万人もの増加がみられることから明らかである。

これまでは情報を提供するためには調査、集計、分析、公開といういくつかの段階を経しており、即時性に難点がみられた。そのため、社会の現状を的確に把握した情報を提供することは困難であった。しかし、情報伝達速度とパソコンの性能の飛躍的な向上により、高度なシステムであってもWeb上で稼動することができるようになった。それにより、文字情報から画像データへ、そして静止画から動画へとWeb上で提供できるデータが拡大していった。

このように高度化した情報技術を用いることで、情報提供の方法にも変化が現れた。自治体の中には地理情報システムを用いて、都市計画情報を公開し、広く一般の人達にも視覚的な情報を閲覧できるような試みを行っているところもある。GISを用いることで、ラスターデータ(画像データなど)のみではなく、ベクターデータも提供できることから、提供で

きる情報の幅が広がってきている。GISは位置や空間に関する情報をもったデータ（空間データ）を総合的に管理・加工し、視覚的に表示でき、高度な分析や迅速な判断を可能にするものである。これは、1995年の阪神淡路大震災以後における復旧・復興過程において、大きな役割を果たしたことから注目され始めた。また、都道府県や市町村レベルにおいても各自治体が独自にGISデータの整備を行っており、大縮尺の広域的なデータだけではなく、都市計画基礎調査など地区レベルの詳細なデータも整備されてきている。

徐々に整備されてきたGISデータを用いて、都市情報を提供する自治体も増えつつあり、行政から住民への一方的な情報提供ではなく、住民からの意見も取り入れることが可能な双方向的な情報公開の仕組みが提案されている。このような背景から、住民参加型で関連の都市情報を収集でき、リアルタイムでその情報を提供できるシステムが必要であると思われる。本研究では、エコロジカルシティを追求するため、地区レベルのエコロジカルネットワークの計画や地区レベルのまちづくりに関して、住民から観察情報と意見を収集できるようなWEBGISのシステム開発を試みた。

### (3) GISをベースにした都市・地域の土地利用シミュレーションからの検証

本研究における学術的な特色としては、人工生命の手法の一つであるマルチエージェントシステムにより、従来の研究で解明された土地利用の現象を再現し、計画代替案や異なる施策による市街地の変化をシミュレーションすることにより、都市・地域の環境を評価するところにある。既存研究として、購買行動、交通パターン、空家・空地の発生(安藤陽介, 2005)などがみられる。このような試みにより、数理的理論と実態調査に基づくシミュレーションモデルの開発と適用を行い、代替案毎の施策に関連する計画的パラメータを導入し、シミュレーションの結果から施策とその影響を検討したり、シナリオ分析によって最適の政策を選別したりすることができる。本研究では、人工知能的手法の計画分野での新しい応用として、従来のCAのシミュレーション(Wu, 1996)(IVAN, 2003)(Ogai, 2004)だけではなく、ミクロな経済学の効用関数も取り入れ、仮想の都市空間における世帯エージェントの行動から関連する施策とその影響をシミュレーションしており、現実の都市空間における計画代替案の評価などに適用している。これらに関連研究は、ミクロな経済学の理論とCAなどを用いたフラクタル理論を統合することで、ミクロな経済学の消費行動の影響を空間パターンで表すことなどで追究されてきており、国際的にも関心が高いテーマである。本研究の成果を適用することにより、地元住民や関連分野の専門家や行政には、エージェントの行動シミュレーションを通して、異なる計画代替案によって異なる市街地の将来像を提示することができ、その将来市街地の状態に基づいて、エネルギー消費や車の排気ガスなどのシミュレーションを行うことで、環境保全を考慮した都市地域における土地利用計画支援には有用なツールとなる可能性がある。

## 3. 本研究の構成

第1章では、研究の背景や目的、その方法を整理する。第2章では、国や県、市町村などがそれぞれの業務規模に応じたデータ整備を進めていることから、これらのデータの共

有を目的とし、GIS を用いて都市・地域計画の関連データベースを構築し、利用者に利用しやすくするためのシステムを構築した。このように、まだ整備途中にある GIS の現状を把握し、都市計画における GIS の役割と計画支援のために GIS に求められる機能や、その課題を明らかにし、計画支援システムとして必要な要素を明確化する。

第 3 章では、2 章で構築した計画支援システムを用いて、環境保全という視点から、市街地における地表面の被覆状況と地表面温度との因果関係を探るため、金沢市の中心市街地を事例として分析を行い、大規模緑地が地表面温度へもたらしている影響および周辺への影響について解明した。

第 4 章では、リモートセンシングデータを用いて、画像分類を利用して、都市における大規模緑地のネットワークを抽出することを試みた。そして、地表面温度への影響だけではなく、地区レベルのエコロジカル・ネットワークという観点から、動物・植物の生活環境保全という視点から、緑地の抽出基準や必要なシステムの構成を検討した。

第 5 章では、2 章で構築した都市計画の支援システムをさらに拡張した。地方都市において、モータリゼーションの進展、郊外への人口移動などに伴う都心部の定住人口減少、商業機能衰退、土地利用活動の停滞などの都市問題が存在している。そこで、遺伝アルゴリズム GA と従来の土地利用モデルを組み合わせ、開発シナリオに基づいて開発量の立地パターンの評価を行うことにより、コンパクトな地方都市のあり方を検証するため、都市開発がもたらした中心市街地の人口変容の視覚化を目指して、計画支援システムの開発を行った。

第 1～5 章までは、ローカルな GIS 環境において、計画支援システムの開発とその適用を検証してきた。

第 6～8 章では、ローカル環境での GIS のみならず、近年の情報通信技術の発展により大容量データ通信が可能となり、住民参加型の計画立案を支援するため、WEBGIS を用いた支援システムも提案され始めている。

第 6 章では、そのような現状をもとに、4 章の内容と連携して、住民による動物の観察情報を収集できるような WEBGIS システムの開発を検討した。計画支援システムとして用いられる WEBGIS の課題点も明らかにし、携帯電話の利用可能性を検討した。2 章で作成された地図データベースを WEBGIS ソフトに組み込み、動物の生息情報だけではなく、居住環境整備のため、住民から地区レベルの現地観察の情報、意見や計画提案を収集するため、インターフェースの作成、地図表示機能、地区選択機能そして、情報登録・保存・管理機能というシステムの構成を検証した。システムの操作を単純化するために、できる限りキーボードでの操作を減らし、マウス操作のみでシステムを利用できるように配慮した。インターフェースの作成は HTML を用いて行い、地図表示には Jshape を、地区選択には HTML と Jshape を、そして入力情報の管理には CGI を用いた。

第 7 章では、WEBGIS の利用により、計画情報の公開だけではなく、地区レベルの居住環境を理解するため、計画規制に基づく建築可能な空間をシミュレーションすることが可能な WEBGIS と JAVA のシステムを構築した。

第 8～11 章では、2～5 章のような都市の現状解析、6～7 章のような WEBGIS による計画

情報の公開と収集ではなく、これからの計画政策に基づく都市・地域の将来像を予測するため、マクロとミクロなレベルにおいて、土地利用の将来像をシミュレーションできるようなシステムの開発とその適用を検証した。

マクロな視点から、メッシュ単位のデータベースを構築し、中心市街地における商業環境の衰退と周辺地域の土地利用の変化を中心に、マルチエージェントシステムによって大型商店のシミュレーションを行い、代替案シナリオを評価することによって、中心市街地商業環境の変容を検証するようなシステム開発を進めた。第 8 章では、世帯エージェントの消費行動によって大型店の立地シナリオを評価できるようなシステムを構築してきたが、第 9 と 10 章では、世帯エージェントの立地と大型店の立地シミュレーションを行った。

第 11 章では、ミクロな視点から、街区や宅地レベルの土地利用シミュレーションシステムを開発し、統計データにもとづいて土地利用用途別に建物階数、エネルギーの消費量、車の所有数などを推測できるようにした。特に、土地区画整理事業後において、市街地形成のシミュレーションシステムを開発し、その有効性を検証した。

研究の全体としては、都市・地域における土地利用計画支援のため、GIS を用いたデータベースシステムの構築、都市解析の開発、WEBGIS を用いた参加型計画支援システムの構築、および人工生命の理論を用いた市街地シミュレーションの検証などから構成している。

今後、市街地のシミュレーションによって、都市・地域の将来像が予測でき、さらに環境保全の視点から、エネルギーの消費量、車の所有数による大気汚染の状況の評価できるようなシステムを改良する予定である。現段階では、環境計画の視点からの評価も取り入れ、研究を進めている。

## 参考文献

- 1) 安藤陽介他 2 名、都市衰退過程での空き家の発生と集積および空地の商業への影響に着目したマルチエージェントシステムによる都市シミュレーション、都市計画論文集、Vol. 40-1, 2005, pp51.
- 2) A. Ohgai & et al. Cellular Automata Modeling for Fire Spreading as a Tool to Aid Community-Based Planning for Disaster Mitigation Recent Advances in Design & Decision Support Systems in Architecture and Urban Planning, Dordrecht: Kluwer, Academic Publishers, ISBN: 1-4020-2408-8, p. 193-209. 2005
- 3) Michael Batty&etal. Stochastic cellular automata modeling of urban land use dynamics: empirical development and estimation, Computers, Environment and Urban Systems, Volume 27, Issue 5, September 2003, Pages 481-509
- 4) Ivan Blečić & etl. Playing with Automata. An Innovative Perspective for Gaming Simulation (With CAGE - Cellular Automata General Environment) CUPUM, Sendai, 2003
- 5) Fulong Wu. A linguistic cellular automata simulation approach for sustainable land development in a fast growing region, Computers, Environment and Urban Systems, Volume 20, Issue 6, November 1996, Pages 367-387

## 第2章 空間データの共有と都市・地域計画支援システム

### 日本語概要

GISは、Geography Information System の略で、地理情報システムである。地理情報システムは基本的にはデータベースであり、様々な分野の実務と研究に利用できるシステムである。都市・地域の関連からみれば、地図関連の地理的座標に合わせて、都市・地域関連の統計データ、土地、建物、道路及び河川の関連情報を一括管理でき、関連データベースの利用により、必要に応じて情報検索や社会経済的変化の予測、土地利用解析、交通分析、公共施設配置問題、地形や景観の分析など、様々な利用ができる。

都市・地域計画の策定には、大量かつ多様な都市関連情報の効率的な管理と処理が求められる。このため、日本においては、国勢調査、地価公示などのデータをGISに導入し、メッシュ単位で管理されている。現在、国と多くの自治体では、都市計画基礎調査や、国勢調査などの統計データやDM地形図などが整備され、長年にわたるデータの蓄積がある。しかし、これらの空間データの整備には時間や労力を要することから、調査後のデータが十分に活用されていない。本研究では、ARCVIEW3.2のAVENUEを用いて、金沢市の都市計画基礎調査、国土数値情報、航空写真、リモートセンシングデータなどの空間データを共有できるように、GISを用いた都市・地域の空間データベースシステムを構築した。さらに、データの解析を行うため、SPSSやAMOSとの連携を行い、データ解析ツールを用意した。具体的には、地表面温度と土地利用の分析、統計データの解析などの機能を構築した。

## 第 2 章

# **Formulation of Urban and Regional Planning System Based on Geographical Information System and Its Application**

## **- A Case Study in Ishikawa Prefecture Area of Japan -**

### **1. Purpose of This Paper and Research Methodology**

In Japan the central government, local governments and private companies have formulated many kinds of spatial data for computer system. Besides these kinds of spatial data, statistical data such as population, regional area, land use, industry and employee, which are relating to the spatial location, are also formulated relatively abundantly. If these kinds of statistical data could be integrated to the spatial data as a geographical information system, spatial analysis and presentations would be easily done using this system.

In order to formulate this kind of system for urban and regional planning, it is a great theme to induce these spatial data to geographical information system. In this paper we formulate a data base system for urban and regional planning, which utilizes existing spatial data provided by the central and local governments, and examines the methodology for integration and management of data. In future we will further proceed to formulate an effective planning system, which could be used for information presentation, regional analysis, future forecasting and evaluating of alternatives.

This paper presents formulation methodology of data base system for urban and regional planning and study a method for information presentation as a case study of system utilization. Although this study is not necessarily original or final stage, it verifies its effectiveness for urban and regional planning. Actually the study was done as follows. Concerning preservation natural environment, structure of land use distribution such as forest, building area and others is analyzed as macro level, and a spatial relationship between land use distribution and temperatures on ground level as micro level. In order to do this analysis data from remote sensing data is induced as well as data prepared by the central and local government.

### **2. Formulation of Database for Urban and Regional Planning**

In this paper Ishikawa Prefecture area is used for a region and Kanazawa City area is used for an urban area. Table-1 shows conditions of software and hardware of the computer system, which is used for this study. Figure-1 shows the component structure of database formulated by using ARCVIEW 3.2 of ESRI Corporation, which utilized spatial data prepared by the central and regional government. Actually those kinds of data is utilized as follows, the digital map of vector type prepared by the each local government(1997.7), aerial photographs which are used to draw the

digital map(1997.6), data of the basic study for urban planning(2002.2), the digital national land information prepared by the central government, LANDSAT TM data as remote sensing data(1997.4.), which is described TM data in this paper.

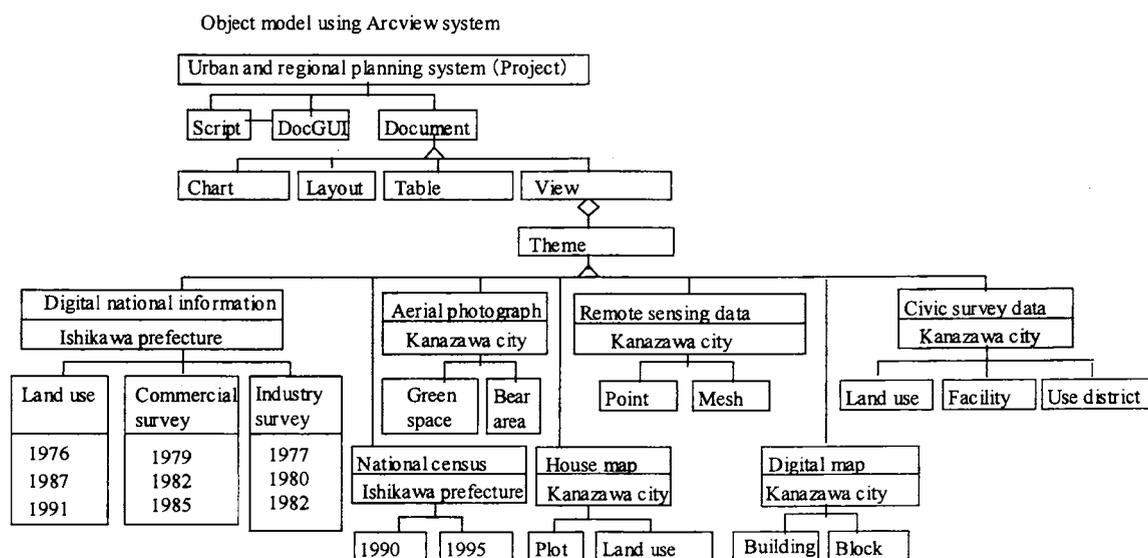
Figure-2 shows an interface image on CRT of this system.

## 2.1 Integration of Regional Space Data Prepared by The Central Government

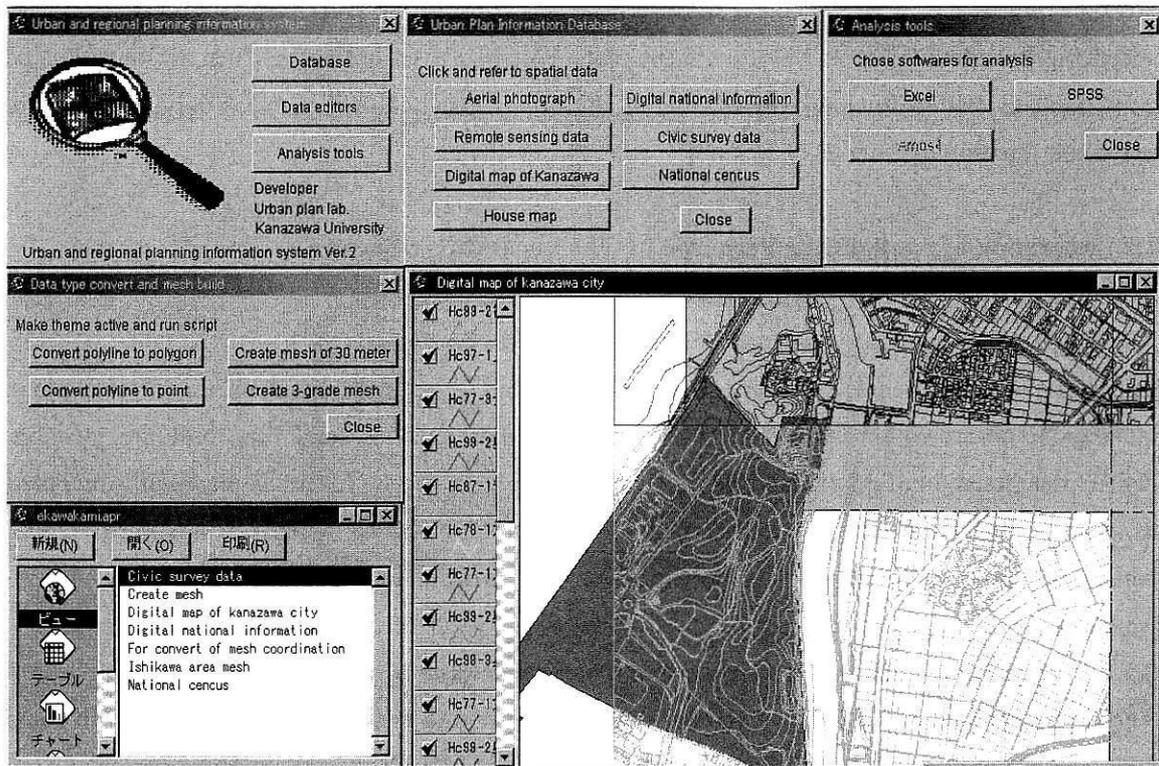
The National Information Provision Project of the central government has provided the digital national land information. This data have been originally prepared for national level regional planning such as the Comprehensive National Development Plan, the National Land Use Plan and others, and distributed to the government organizations, local governments and other public institutions like as university by free on request. Recently the government decided to distribute through Internet by free. The URL of home page of the Ministry of Land, Infrastructure and Transport of Japan is <http://www.nla.go.jp/ksj/index.html>.

**Table 1:Conditions of Computer System**

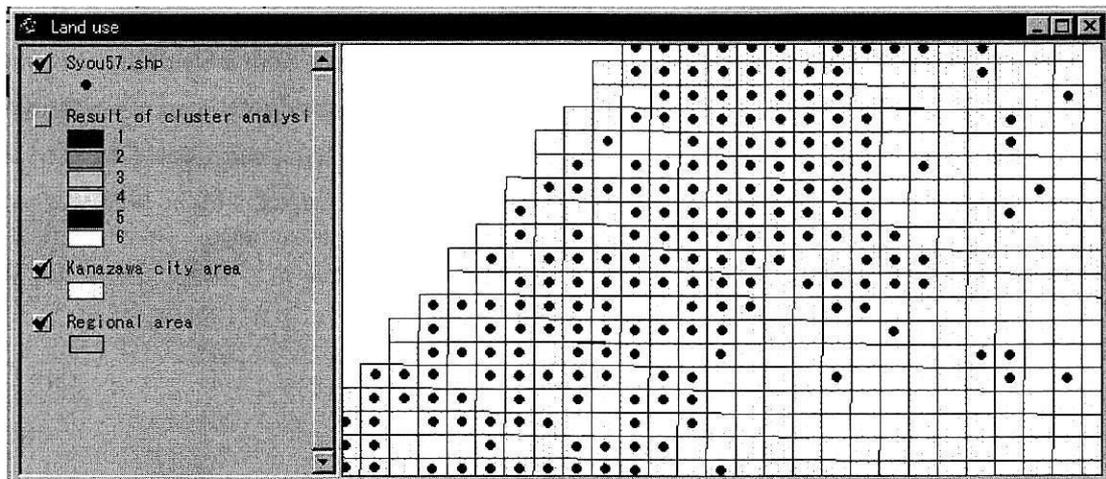
|          |   |
|----------|---|
| Hardware | Endeavor Pro-600L (CPU Pentium III) 1 GHz |
| OS       | Microsoft Windows Me                      |
| Software | ARCVIEW Ver.3.2 ESRI production           |



**Figure 1:Component Structure of Database for Urban and Regional Planning**



**Figure 2:An Example of Interface Image on CRT of This System,  
Which is Customized Using ARCVIEW**



**Figure 3:Inducement of The Digital National Land Information on Mesh System**

The digital national land information is described as text data with code number using the

Standardized Mesh Code System of Japan. These text data can be converted to spatial point data according to code number and plotted in the plane rectangular co-ordinates. Then attribute data of point data are written down as attribute data of third mesh polygon or fourth mesh polygon using the extension function of ArcView3.2.

## **2.2 Integration of Spatial Data Prepared by The Local Government**

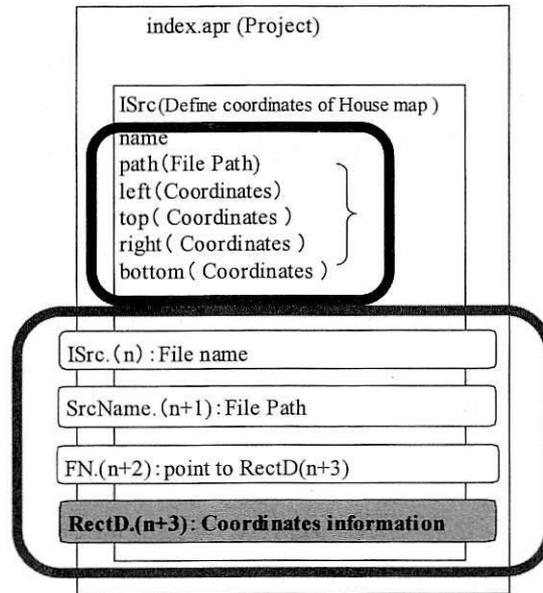
### ***2.2.1 Digital map of vector type and Basic Survey for Urban Planning***

The digital map of vector type prepared by Kanazawa City is formulated on the seventh plane rectangular co-ordinates using ARCVIEW, and has data such as road line, building location, district line, location of public facilities and others. The basic survey for urban planning is recorded as attribute data on this map. The base map used for urban planning in Japan is a map of 1/2500, which has a printout scale of 800mm×600mm (2km×1.5km and three km<sup>2</sup> in real scale) .

### ***2.2.2 Integration of Aerial Photographs as Background Scene***

Aerial photographs of Kanazawa City were taken according to each mesh area based on the plane rectangular co-ordinates. In other words, photographs were taken by focused on the center of each mesh area and covered some adjacent area. Referring aerial photographs, we could get actual images on the ground such as every building, road, river, forest and others clearly without any omission and with amplified information. In order to integrate aerial photographs, names of each aerial photographs and four corner point data of each corresponding mesh are recorded on a management file of the system as shown in figure-4, because an image registration function had not been set as standard equipment in ARCVIEW 3.2.

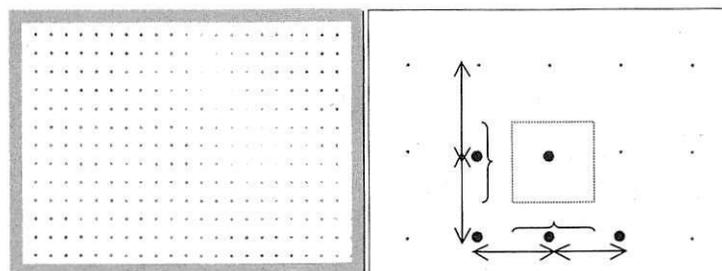
The House Map shows designated lines of land use zoning, upper limit of building coverage ratio and building floor ratio and lot line, which are not recorded on the digital map of vector type, and we could get information about land use of each building and lot, which could be used for detailed district planning. The image data of the House Map issued Kankoh Ltd. in 1998 was used for the system.



**Figure 4: Integration of Aerial Photographs by Coordinate**

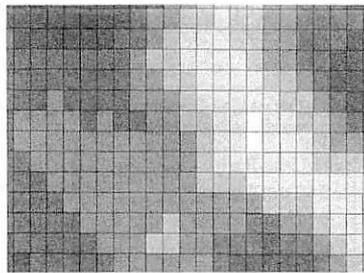
### 2.3 Integration of Remote Sensing Data by Conversion to Vector Data

LANDSAT TM data, which is a kind of remote sensing data, is converted to vector type data as shown in figure-5. First, using ERDAS as GIS software, coordinate value of longitude and latitude of each pixel and its Band values transformed in text type form. Then, utilizing one of functions of ARCVIEW, point data are created from these longitude and latitude data and polygon data, which is corresponding each pixel, are formulated by using script programming of Avenue. In order to unification of coordination, longitude and latitude coordinate of TM data is transformed to the seventh plane rectangular coordinates. Through this transformation a pixel of TM data is converted to a polygon, which has a scale of  $27.8\text{m} \times 34.4\text{m}$ .



**(1) Point Data Having Coordinates Value**

**(2) Creating Mesh from Point Data**



(3)Mesh Data Having Band Value

Figure 5: Integration of Remote Sensing data

### 3. An Application of The System for Urban and Regional Planning

As described before, several data prepared by the central and local government are integrated to the database for urban and regional planning using ARCVIEW. In order to support planning, it is important subject to present every planning information theme by manipulating relating data. As shown in figure 6, EXCEL of MICROSOFT Corporation and AMOS of SMALL WATERS are unified to this system as analytical tools by script programming. Figure-7 shows an interface image on CRT. In this paper an analysis on spatial information is done as a utilization example of this system.

First, using the digital national land information distribution of land use such as buildup area and forest in a part of Ishikawa Prefecture is analyzed. Second, relationship between ground temperature and land use distribution in the central area of Kanazawa City using the basic survey for urban planning and remote sensing data from a viewpoint of environmental preservation. This analysis is done for study effectiveness of the system because relating theories have not fully reviewed.

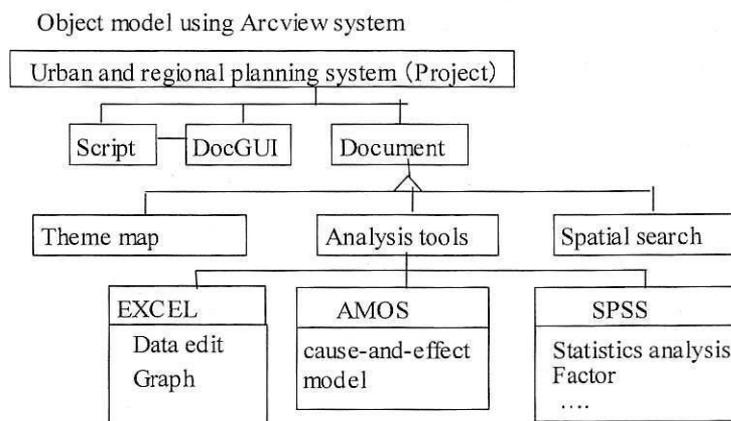
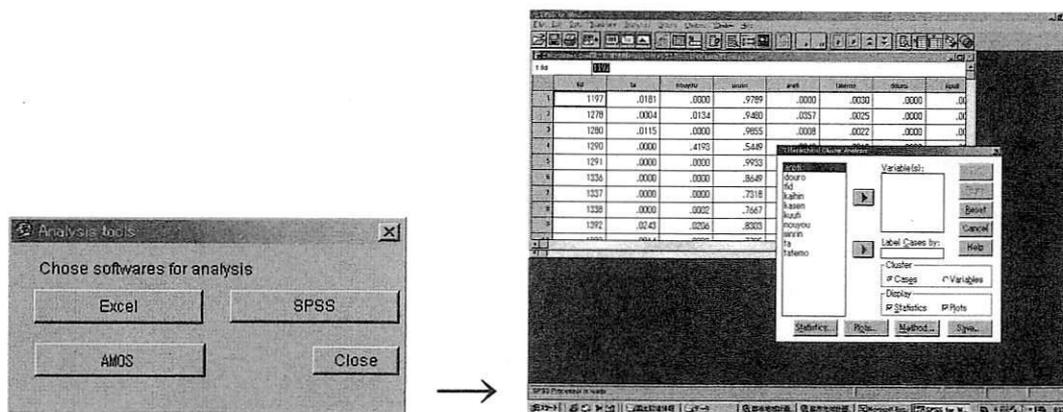


Figure 6: Unification of Statistical Analysis Software to The System



**Figure 7: An Example of Interface Image on CRT Using SPSS**

### 3.1 An Application Example One; Spatial Distribution of Land Use

An example of analysis this paper studied a part of Ishikawa Prefecture, which consists of 1,014 meshes. In order to analyze spatial land use distribution, data of the third mesh relating three time points are analyzed using statistical methods such as the Cluster Analysis and the Principal Component Analysis, in which seven factors shown in table 2 are used as variables. In this study a number for clustering was conditioned as six and analysis was preceded. Through interpretation of each principal component, analysis reveals some characteristics of land use distribution using the Principal Component Analysis. SPSS Ver.6.1.3 is used for this analysis as statistical analysis method.

**Table 2: Land Use Categories on The Third Mesh  
from The Digital National Land Information**

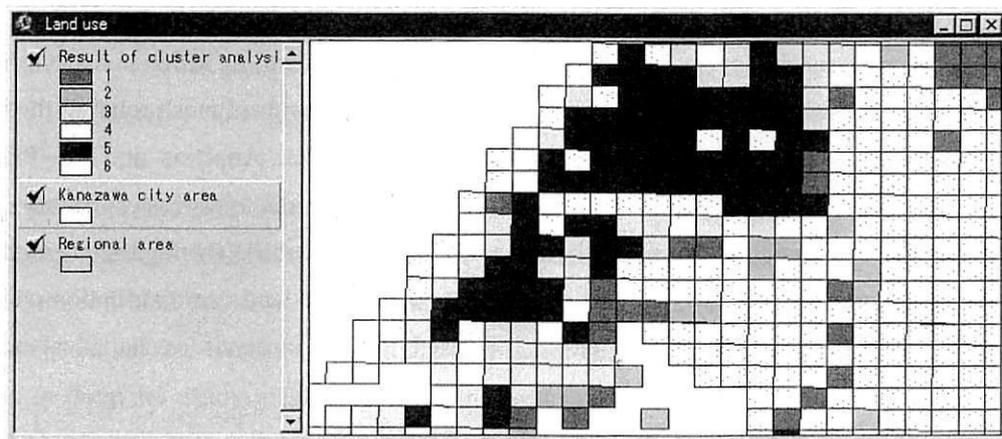
| Source data (ASC II data)    | Contents   | Data type                    | Data range          |
|------------------------------|--|------------------------------|---------------------|
| Administration district data | Administration district  | Vector data                  | Ishikawa prefecture |
| Land use survey              | Attribute data of Road, building, farm land, forest, river and lake, seaside | Standard mesh data (Polygon) |                     |
| Commercial survey            | Attribute data of commercial statistics                                      |                              |                     |
| Industry survey              | Attribute data of industry statistics  |                              |                     |

An analysis is done referring results of the Principal Component Analysis and the Cluster Analysis. Figure 8 shows an example of land use distribution grouped as six clusters. Figure 9 also shows mesh score distribution categorized into six groups on orthogonal axes of the first principal

component and the second principal component.

Analysis reveals that the first principle component is interpreted as showing “distribution tendency of forest area” and “land use tendency of buildup area”, and the second principle component is interpreted as showing “distribution tendency of paddy field” and “land use distribution of buildup area”. Referring plot distribution in Figure 8, it is recognized that meshes of class one distributed relatively evenly, meshes of class two and three is distributed mainly in the area of plain and meshes of class four distributed mainly in the coastal area. Distribution of the meshes of class six concentrated in the central area of Kanazawa City.

As shown in figure 9, buildup tendency is recognized right-hand side of the first principle component and upper-side of the second principle component. Meshes of class six have the strongest tendency of buildup area, which are mainly located in the buildup area of Kanazawa City as shown in figure 8.



**Figure 8: Mesh Distribution Grouped by Cluster Analysis**

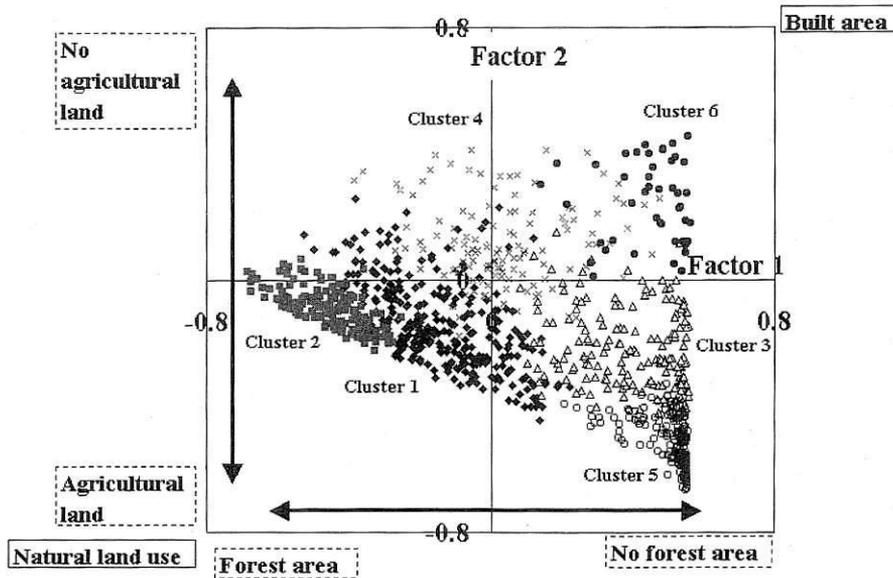
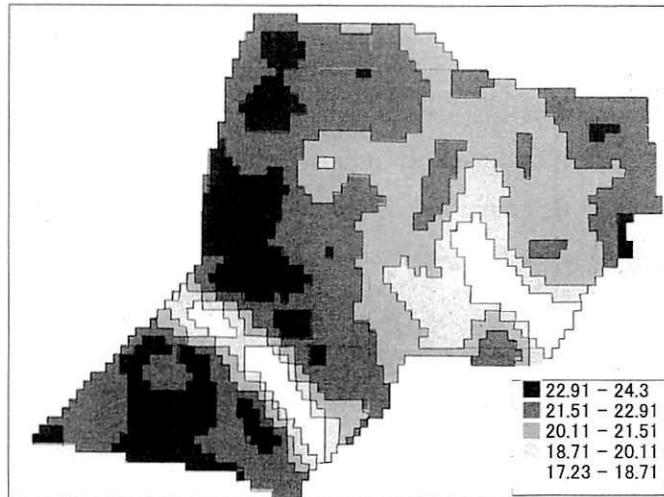


Figure 9: Score Distribution of Meshes Using Results of SPSS

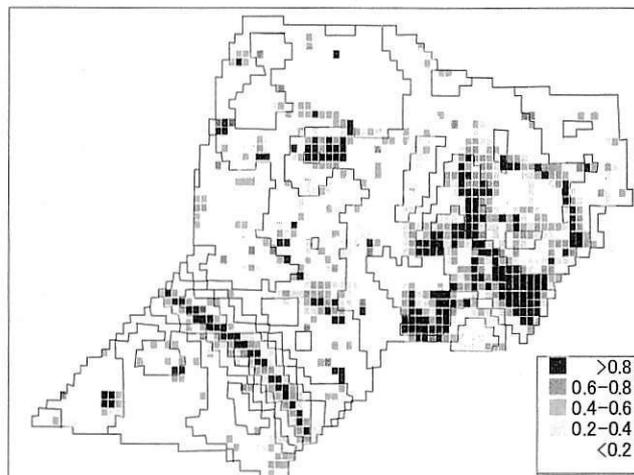
### 3.2 An Application Example Two; Relationship between Ground Temperature and Land Use Distribution in The City Central Area

Relationship between ground temperature and land use is analyzed using data from the basic survey for urban planning and TM data in the central area of Kanazawa City, where meshes of class six are located. Ground temperature can be estimated using Band value<sup>(1)</sup>. Distribution of five rank of ground temperature is shown in figure 10. This study uses TM data at 12:38 on 25<sup>th</sup> April in 1997. Range between the highest temperature and the lowest temperature is about seven degree in centigrade.

Each value corresponding land use categories in a mesh, which has the same shape and location with a cell of remote sensing data, are estimated by using a spatial analysis function of ARCVIEW and registered to the data base system as one of attributes of the mesh. Land use categories are block, building area, forest and water area, bare land and greenery area. Figure 11 shows an example of maps, which presents distribution of forest and water area.



**Figure 10: Distribution of Ground Temperature**



**Figure 11: Distribution of Forest and Water Area**

Area ratios of each cell, which correspond to a pixel of TM data, such as buildup area, street, parking site, forest and water area and bare land, are used as analysis indices. Water area is counted in a same category as it has effect to decreasing ground temperature, although there is not so much water area in the study area. Designated land use zoning is also registered as an attribute of each cell, which categorized as residential, non-residential and scenic. Figure 12 shows distribution of land use as five levels of temperature rank. These tendencies are recognized as follows. Forest and water area is higher in the rank one and two, which have lower temperature and is becoming lower according from rank one to five. On the contrary, buildup area is becoming higher from rank one to rank five. It is especially higher at rank three, four and five. Although bare land is higher at rank

three, it is distributed at other ranks in a certain level. Greenery area is higher at rank one and it distributed at other ranks. Parking area is lower at rank one and two. Street area is distributed relatively evenly between ranks.

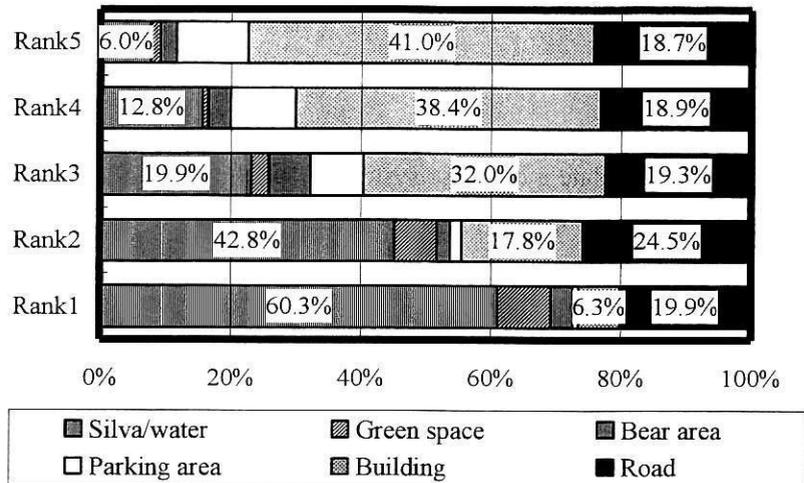


Figure 12: Land Use Distribution of Five Ranks Using EXCEL

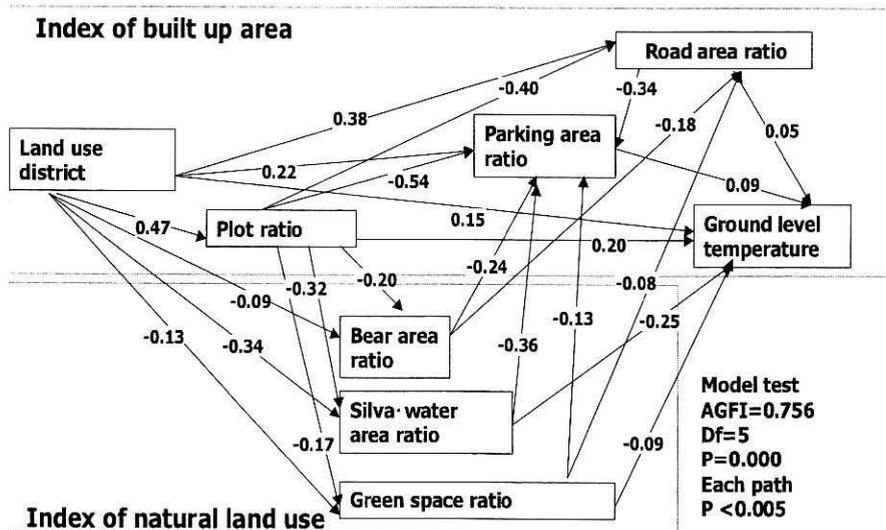


Figure 13: Relation Structure between Ground Temperature and Land Use Using AMOS

Relationship between ground temperature and land uses is analyzed by using the Covariance Structure Analysis of AMOS as analytical method. Using this method, relationship structure between ground temperatures is formulated and analysis is done. Figure 13 shows the result of analysis of covariance structure. In a case of non-residential zoning, indices relating buildup area become higher and indices relating natural environment become lower. These relationships increase ground temperature.

#### 4. Conclusion

In this study we tried to formulate a database system for urban and regional planning by utilizing existing information, such as the digital national land information and the basic survey for urban planning, which are prepared by the central and local government, and to analyze spatial structure. Actually the study was done as follows. First, process and methodology for inducement of data to the GIS system and treatment of attribute data were explained. Second, a supporting system for urban and regional planning was formulated by unifying existing statistical analysis tools. Third, an interface system was designed in order to manipulate the system easily for users.

#### Notes

Temperature of surface land (T) can be calculated by using LANDSAT TM data as follows.

$$T = \frac{1.7651 \times 10^{-2} \pm \sqrt{0.017651 \times 10^{-4} \times 5.1292 \times 10^{-5} (1.6023 - R)}}{2 \times 5.1292 \times 10^{-5}} - 273.15$$

R is a CCT value of band six of LANDSAT TM data, which shows an absolute radiation luminance.

#### References

- 1) Angelini, G., Mazzacane, D., Selicato F. and et al. (2000), Construction of GIS Application for Methods of Spatial Evaluation in Environmental Planning, Proceedings of the 5th International Conference on Design and Decision Support Systems in Architecture and Urban Planning, Nijkerk, the Netherlands, August 22-24, pp. 1-18.
- 2) Brail, R. K., Klosterman, R. E. (ed., 2001), Planning Support Systems, Integrating Geographic Information Systems, Models and Visualization Tools, ESRI Press, USA.
- 3) Kawakami, M., Amano N., Kobayashi F. (2000), Study on Application of Remote Sensing Data for Urban Planning, Proceedings of the 5th International Conference on Design and Decision Support Systems in Architecture and Urban Planning, Nijkerk, the Netherlands, August 22-24, pp.144-155.
- 4) Korte, G. B., (1997), The GIS Book; Understanding the Value and Implementation of Geographic Information Systems, 4th ed., Onward Press, USA.

5) Research Group of Urban Information (1987), Urban Information Database, Development of Urban Information Systems Version 2, Keibun Press, Japan

### 第3章 ランドサットTMデータを用いた地表面温度と土地利用の関連性分析

#### 1. はじめに

都市地域におけるヒートアイランド現象などの環境問題に対して、都市・地域計画からの対応が求められている。例えば、一定規模以上の樹林地や河川は地表面温度を低下させる効果を有するが、市街地における樹木や緑地は小規模かつ分散している場合が多く、その効果には限界がある。そのため、その他の土地利用種別を含め、環境指標と土地利用との関連性を明らかにし、土地利用計画などに反映していくことが必要である。本研究では、GISを用いた都市・地域計画支援システムの構築と適用に関する研究の一環として、地表面温度と土地利用との関連性を明らかにし、都市・地域計画のための示唆を得ることを目的としている。具体的には、金沢地域を事例にして、都市・地域計画支援のためのGISデータベースを構築し、それから得られる土地利用データと地表面温度との関連性について統計的な分析を行う。地表面温度は、リモートセンシング・データであるランドサットTMデータより求めている。

リモートセンシングデータを用いた既存研究として、土地被覆状況の推計に関するもの<sup>(1)</sup>は、都市・地域計画に援用するための土地利用種別としては粗く、かつ、ラスターデータだけに留まっているため、土地利用状況の解明には限界がある。また、梅干野ら(1981)は、航空機MSSデータによる地表面温度分布の推計と地上実測がほぼ一致することを実証している。一方、市街地の熱環境と、緑地、樹林、建物、水面などの影響を分析した研究がみられる。例えば、村川ら(1981, 1990)によると、地表面温度の実測から、夏期において河川が存在する地域で地表面温度は低くなることが明らかにされている。また、吉田ら(2000)は樹木の屋外温熱環境緩和効果について、香川ら(1998)は芝生による都市熱環境への影響について、そして、西村ら(2000)は密集市街地における住宅のエネルギー消費と路地空間における熱環境の関連性について、それぞれ解析を行っている。さらに、李ら(1999)は、市街地における水面、緑、宅地などの土地利用データを500mメッシュ単位で整備し、気象データを用いて、広域的な土地利用と地表面温度の関連を分析している。

本研究では、上記の研究における地表面温度に及ぼす土地利用の影響要因を取り上げ、リモートセンシングデータとベクターデータを用いて、土地利用と地表面温度との因果関係を分析する。分析に際して、地表面温度と土地利用の因果関係は土地利用タイプより異なると思われるため、地表面温度の大きさをランク分類し、それぞれについて分析することにより、土地利用計画との関連性を考察するようにしている。なお、ランドサットTMデータはラスターデータであり、構成単位である1ピクセルは約30mメッシュの地表面に相当する。そのため、既存の数値地図などのベクターデータを用いてGISデータベースを構築し、既存解析ソフトのカスタマイズにより、30mメッシュの単位で土地利用と地表面温度との関連性を分析している。

## 2. GIS データベースの構築

本研究では、金沢市都心部を事例として、図-1 に示すように、ERIS 社の ARCVIEW3.2 により、GIS データベースと解析ツールを構築した。具体的には、国土基本図のベクターデータ(以下DMデータと称す、1997.7時点)、国土基本図の基礎資料である航空写真(1997.6撮影)、同じ年度のランドサットTM(1997.4)データ(以下TMデータ)を利用した。

### (1) TM データからベクターデータへの変換

DMデータと統合するため、ラスタデータであるTMデータをベクターデータに変換した。まず、GISソフトであるERDASにより、各ピクセルの経緯度座標値とBAND値をテキスト形式へ出力した。そして、ARCVIEWの機能を用いて、経緯度座標値を利用してベクターデータポイントを作成し、AVENUEのスク립ト・プログラミング(SCRIP1)により、ピクセルと同サイズのポリゴンのメッシュ(以下セル)を作成した。さらに、座標系の統一には、TMデータの経緯度座標系からDMデータの平面直角座標系XVIIに変換した。座標系の変換により、TMデータのピクセルの大きさは27.8m×34.4mのポリゴンデータに相当するものとなった。

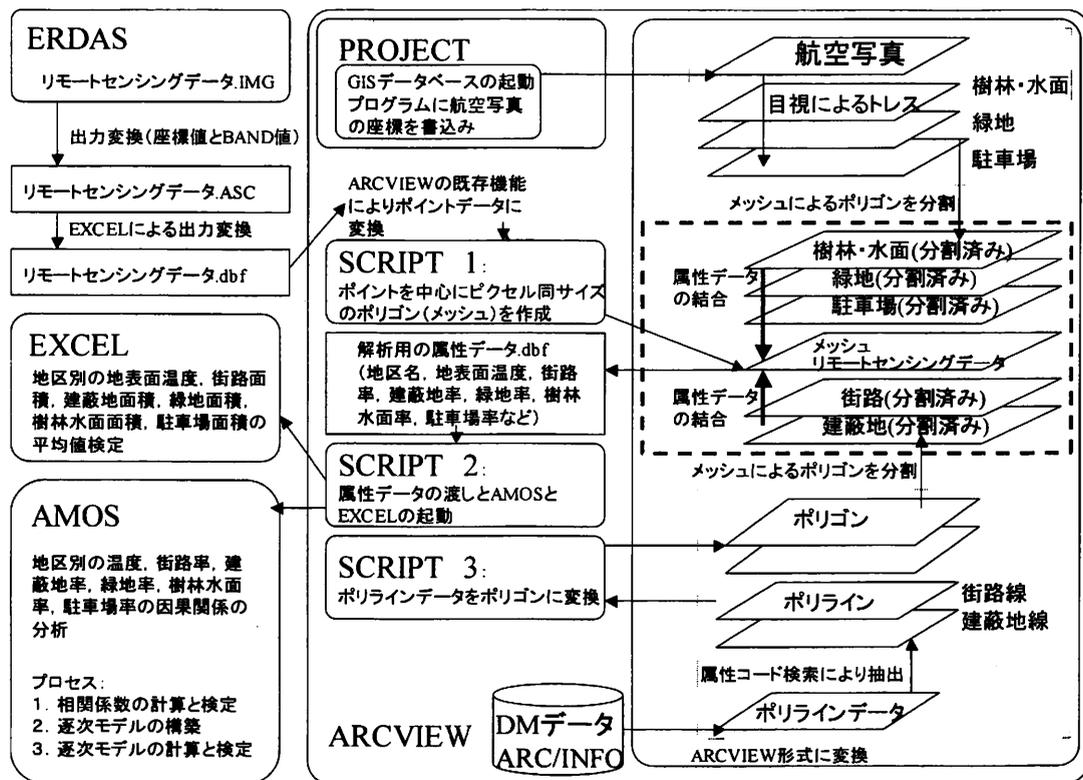


図-1 GIS データベースシステム構築の方法

### (2) TM データと DM データの統合

DMデータは、ポリラインのデータである。DMデータから建蔽地線と街路線のポリライン

データを属性コードにより別々に抽出し、AVENUE のスクリプト・プログラミング (SCRIPT 3) によりポリゴンに変換した。また、ARCVIEW のデータベースの管理ファイルであるプロジェクトファイル (PROJECT) に、航空写真ファイルとその座標を記録し、航空写真を DM データに重ね合わせた。なお、目視で航空写真から緑地、裸地をトレースした。

### (3) 解析ソフトとの連携

AVENUE スクリプト・プログラミング (SCRIPT2) により、MICROSOFT 社の EXCEL、SMALL WATERS 社の AMOS を統計解析ツールとして統合した。地表面温度が BAND 値によって求められ<sup>(2)</sup>、建蔽率や街路率などの土地利用の関連指標が DM データから求められた。地表面温度と土地利用状況との因果関係を分析するための統計的解析法としては、AMOS の共分散構造分析の逐次モデルを利用した。

図-2 にデータベースの画面表示の例を示している。

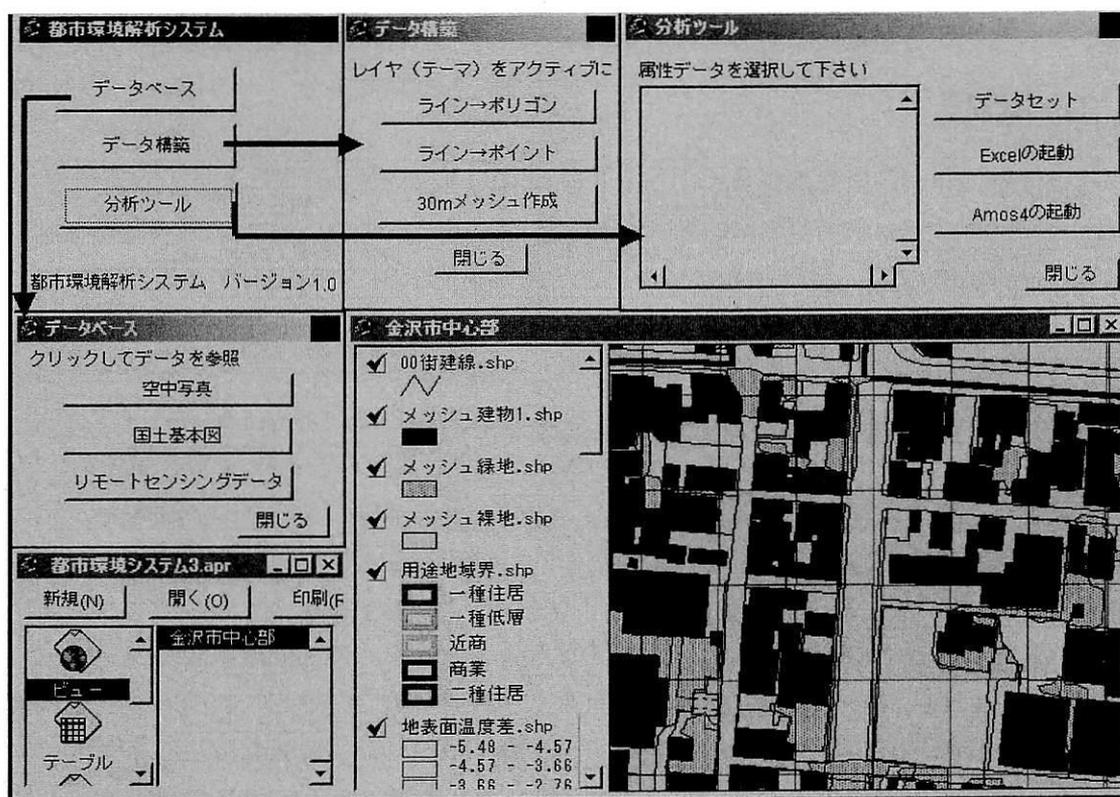


図-2 ARCVIEW をカスタマイズしたシステムの表示例

### 3. 事例地区における地表面温度の分布と土地利用状況

図-3 に示すように、金沢市の都心部は、自然的土地利用として、風致地区に指定されている河川の水面と河岸段丘斜面の樹林地があり、また、都市的土地利用としては、中心部の密集市街地が存在する。この地区は、樹林と河川、および、一般的な市街地が存在しており、事例地区としてふさわしいと思われる。

### (1) 土地利用の関連指標

市街地における土地利用を分類する。TMデータのピクセルに相当するセルの属性データとして、各セルの建蔽地、街路、駐車場、樹林・水面、緑地及び裸地の面積、および、それらのセルに占める比率を指標として用いる。図-3に示すように、河川の面積は事例地区において少ないが、樹林地と同じように地表面温度を下げる効果があるため、樹林地と一緒に樹林・水面としてカテゴリー区分した。また、敷地区画ごとの土地利用を把握していないこともあり、各セルの土地利用の傾向を表わすものとして、用途地域を含む地域地区をセルの属性データとした。

### (2) 地表面温度ランクの区分

本研究では、1997年4月25日12:38のTMデータを利用する。事例地区において、最低温度と最高温度の差は約7度である<sup>(3)</sup>。最低温度の所在地は、大規模な樹林地や河川である。本研究では、既存研究を参考し、大規模な樹林・水面などの自然的土地利用が周辺市街地の地表面温度を低下させている影響範囲を、市街地の平均温度に至る範囲として規定する<sup>(4)</sup>。また、樹冠の放射温度は樹冠部に平均的に分布するといわれている<sup>(5)</sup>ので、ある一定範囲内における他の条件が変わらないならば、樹林面積の均等的増加は地表面温度を下げる効果をもたらすと考えられる。事例地区における樹林・水面の構成率の増減、および、樹林や緑地の小規模化や分散は、地表面温度の変化に直接的に影響をもたらすと考えられる。ここでは、地表面温度を均等にランク分け、樹林・水面などの構成率の変化と地表面温度の変化との因果関係を分析する。

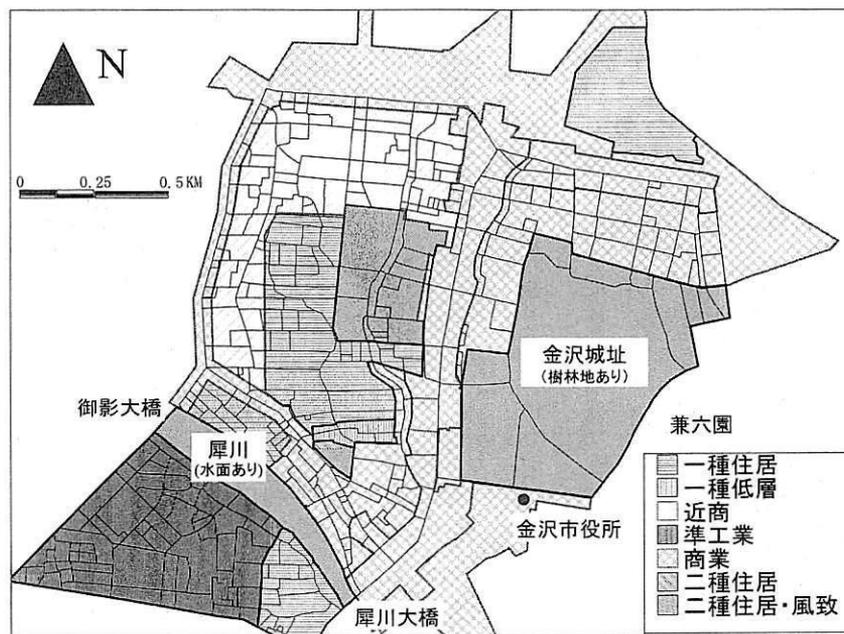


図-3 事例とした金沢市の中心部

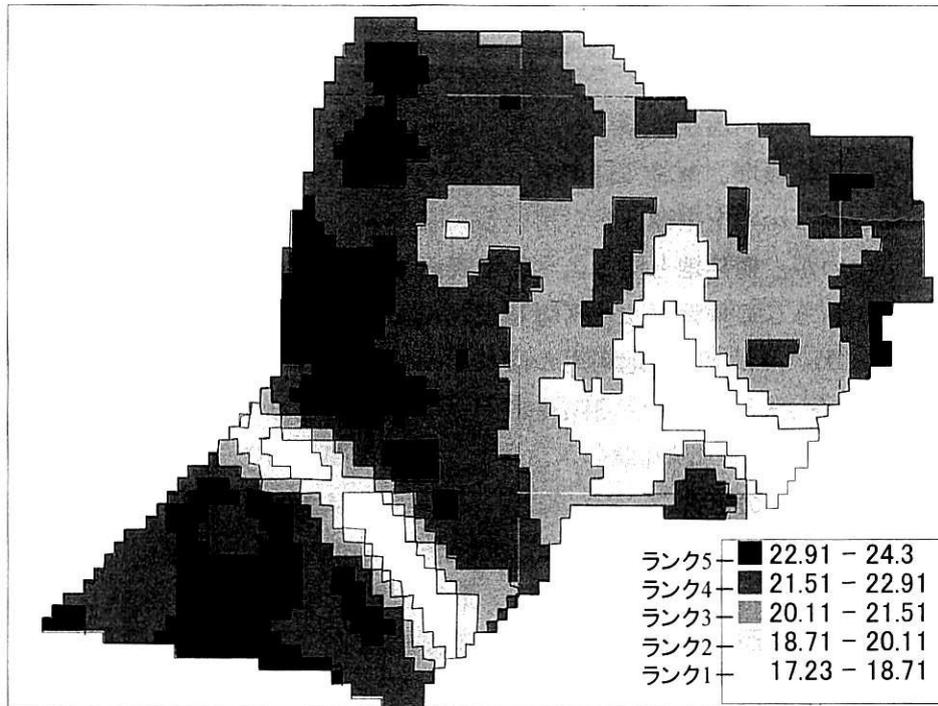


図-4 地表面温度の分布

前述のように、地表面温度の平均値 21.51 度を中心に、地区を、大規模な樹林・水面に影響されている範囲と影響されていない範囲に分ける。また、図-4のように、大規模な樹林・水面に影響されている地区において、さらに地表面温度 1.4 度ずつの差により、3 地区に分ける。影響されていない地区も、地表面温度 1.4 度の差ごとにさらに 2 地区に分ける。なお、1.4 度は 7 度の温度差を単純に 5 で割った数値である。

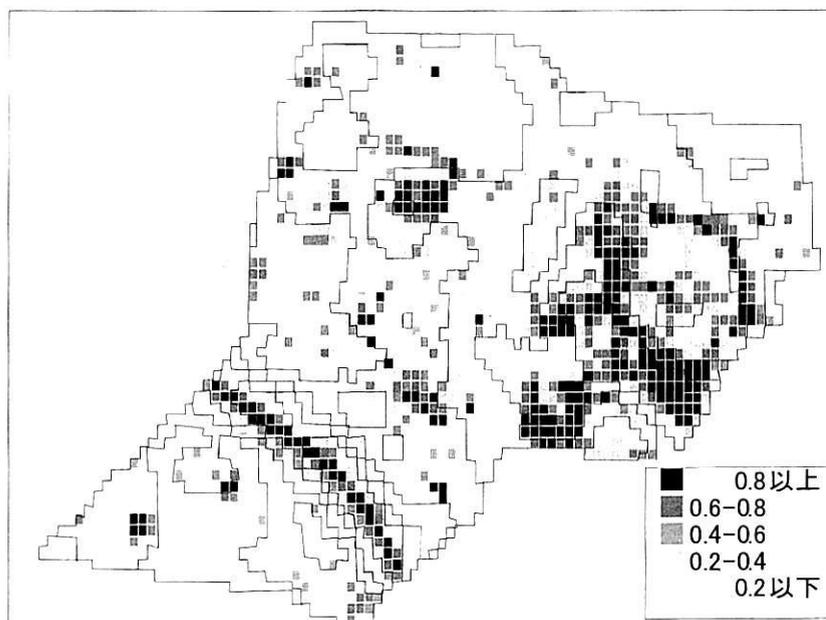


図-5 樹林・水面率の分布

### (3) 地表面温度ランク別の土地利用状況

図-5に樹林・水面の分布、図-6に建蔽地の分布を示す。図-4の温度分布と密接な関わりが読み取れる。とくに、図-4の低温度分布域には、図-5に示すように、樹林・水面が分布している。とくに、帯状の河川と金沢城と兼六園の大規模な樹林・水面で顕著である。一方、図-4の高温度分布域は、図-6に示すように、高い建蔽地率の地域となっている。

図-7は、対象地域におけるランク別にみる土地利用の分布状況を示している。地表面温度が最も低いランク1においては樹林・水面率が60%と非常に高く、ランクの変化に従ってランク5の6%まで急激に減少する。逆に、建蔽地率は、最も高い温度のランク5で41%と高く、ランクの変化に従って6%まで急激に減少する。なお、これらの変化は、ランク2とランク3の間でとくに大きい。裸地率は、ランク3に6%と多いが、他のランクにも2、3%分布している。緑地率は、ランク1に8%、ランク2に6%と多いが、他のランクにも1、2%みられる。駐車場率は、ランク3、4、5に7、8%と多く、ランク1、2に1、2%と少ない。街路率は、ランク別にあまり差異はなく、19%から24%までになっている。

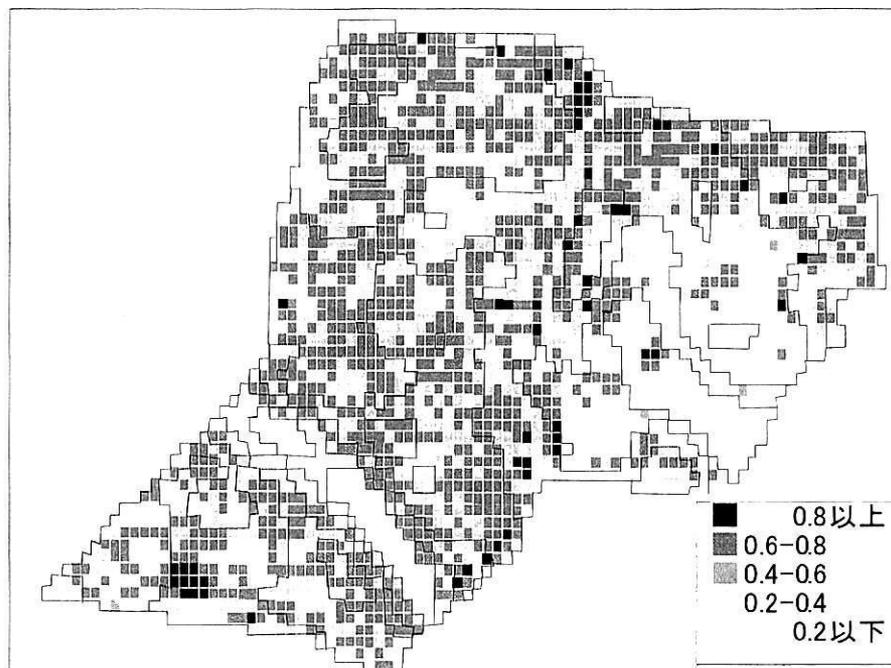


図-6 建蔽地率の分布

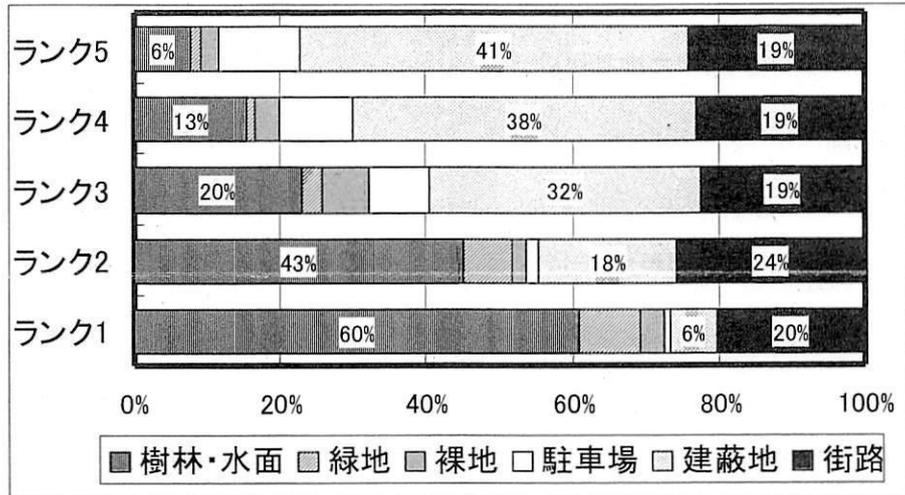


図-7 各ランクにおける土地利用の構成率

表-1 地表面温度ランク別の土地利用の平均値検定

| 項目                     |                     | ランク1    | ランク2    | ランク3     | ランク4     | ランク5     |
|------------------------|---------------------|---------|---------|----------|----------|----------|
| 地区総面積 m <sup>2</sup>   |                     | 151680  | 233280  | 649920   | 983040   | 395520   |
| サンプル数(セル数)             |                     | 158     | 243     | 677      | 1024     | 412      |
| 緑地セル面積                 | 平均***               | 77.6    | 59.5    | 22.3     | 6.8      | 11.1     |
|                        | m <sup>2</sup> 標準偏差 | 167.7   | 153.3   | 103.1    | 55.0     | 74.7     |
| 緑地セル総面積                |                     | 12257.2 | 14468.2 | 15093.5  | 6927.1   | 4555.3   |
| 樹林・水面セル面積              | 平均***               | 578.8   | 410.7   | 190.7    | 122.8    | 57.2     |
|                        | m <sup>2</sup> 標準偏差 | 335.5   | 402.2   | 297.6    | 225.8    | 135.5    |
| 樹林・水面セル総面積             |                     | 91442.8 | 99788.5 | 129091.5 | 125791.7 | 23551.3  |
| 裸地セル面積                 | 平均***               | 31.2    | 17.6    | 52.7     | 26.6     | 18.0     |
|                        | m <sup>2</sup> 標準偏差 | 135.5   | 93.7    | 172.1    | 117.2    | 85.4     |
| 裸地セル総面積                |                     | 4936.0  | 4271.6  | 35645.7  | 27196.6  | 7416.9   |
| 駐車場セル面積                | 平均***               | 9.8     | 16.5    | 67.7     | 78.7     | 81.4     |
|                        | m <sup>2</sup> 標準偏差 | 78.8    | 82.2    | 211.2    | 184.4    | 181.0    |
| 駐車場セル総面積               |                     | 1550.0  | 4018.0  | 45810.0  | 80578.0  | 33554.0  |
| 建蔽地セル面積                | 平均***               | 60.5    | 170.6   | 307.3    | 368.8    | 393.2    |
|                        | m <sup>2</sup> 標準偏差 | 152.4   | 223.1   | 250.5    | 183.3    | 190.9    |
| 建蔽地セル総面積               |                     | 9556.6  | 41455.2 | 208056.3 | 377697.4 | 162009.3 |
| 街路セル面積                 | 平均***               | 212.3   | 234.8   | 185.0    | 181.3    | 179.3    |
|                        | m <sup>2</sup> 標準偏差 | 227.9   | 312.5   | 213.9    | 175.1    | 164.1    |
| 街路セル総面積                |                     | 30148.9 | 57053.8 | 125229.6 | 185614.4 | 73881.6  |
| 地表面温度 (度数)             | 平均***               | 18.1    | 19.6    | 20.9     | 22.2     | 23.2     |
|                        | 標準偏差                | 0.4     | 0.4     | 0.3      | 0.4      | 0.3      |
| 有意水準***:0.001, **:0.05 |                     |         |         |          |          |          |

#### 4. 地表面温度ランク別の土地利用指標の比較

表-1に示すように、各ランクのセル単位の土地利用状況、すなわち、緑地、裸地、樹林・水面、建蔽地、街路の平均面積などについては、有意な差異が認められた。具体的には、樹林・水面の平均面積が低くなり、建蔽地、駐車場の平均面積が高くなるにつれて、

地表面温度が高くなる。また、緑地は樹林・水面と同じ傾向があるといえる。裸地、街路は、地区別の差が比較的小さいが、前述のように、若干の差異も認められる。ただし、ここでは、地表面温度のランク分けを均等に行ったが、樹林・水面、建蔽地の変化は均等的ではなく、ランク2からランク3への変化が特に大きい。これは、樹林・水面の存在による温度分布の影響が影響域において相対的に大きいと考えられるためである。

また、事例地区における用途地域や風致地区の指定内容にもとづいて、表-2により、ランク別の地域地区の比較を行っている。都市計画上の用途地域や風致地区（以下、用途地域と総称）との関連により、敷地利用の傾向について、ランク1、ランク2は風致系傾向、ランク3は風致・住居外系傾向、ランク4は住居・住居外系混在傾向、ランク5は住居外系傾向があるといえる。

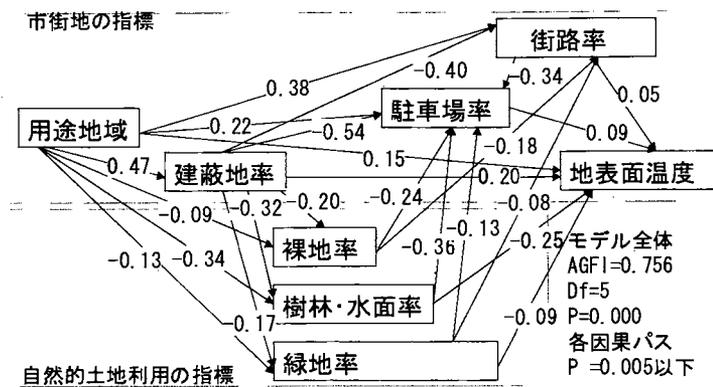
表-2 用途地域によるランク別の敷地利用傾向

| 項目             | 風致系           | 住居系                 |               |              | 住居外系          |               |               | 合計            |
|----------------|---------------|---------------------|---------------|--------------|---------------|---------------|---------------|---------------|
|                | 風致地区          | 一種<br>低層            | 一種<br>住居      | 二種<br>住居     | 準工<br>業       | 近商            | 商業            |               |
| ランク1のセル<br>(%) | 147<br>(93.0) | 2<br>(1.3)          |               |              | 9<br>(5.7)    |               |               | 158<br>(100)  |
| ランク2のセル<br>(%) | 156<br>(64.2) | 19 2<br>(7.8) (0.8) |               |              | 1<br>(0.4)    | 65<br>(26.7)  |               | 243<br>(100)  |
| ランク3のセル<br>(%) | 193<br>(28.5) | 4<br>(0.6)          | 51<br>(7.5)   | 80<br>(11.8) | 13<br>(1.9)   | 14<br>(2.1)   | 322<br>(47.6) | 677<br>(100)  |
| ランク4のセル<br>(%) | 77<br>(7.5)   | 13<br>(1.3)         | 196<br>(19.1) | 59<br>(5.8)  | 166<br>(16.2) | 213<br>(20.8) | 300<br>(29.3) | 1024<br>(100) |
| ランク5のセル<br>(%) | 8<br>(1.9)    | 2<br>(0.5)          | 82<br>(19.9)  | 3<br>(0.7)   | 150<br>(36.4) | 119<br>(28.9) | 48<br>(11.7)  | 412<br>(100)  |
| 合計<br>(%)      | 581<br>(23.1) | 19<br>(0.8)         | 350<br>(13.9) | 144<br>(5.7) | 330<br>(13.1) | 346<br>(13.8) | 744<br>(29.6) | 2514<br>(100) |

## 5. 地表面温度と土地利用との因果関係

前節では、各セルに地表面温度、土地利用などのデータを属性データとして与え、データの分布状況について統計的分析を行い、その特徴を検討したが、ここでは、各ランクにおいて土地利用と地表面温度との関連性を解明するため、ランク別に地表面温度と土地利用との因果関係を検討する。具体的な方法として、共分散構造分析を用いて、地表面温度と土地利用との因果モデルを構築し、相互の因果関係を分析する<sup>(6)</sup>。

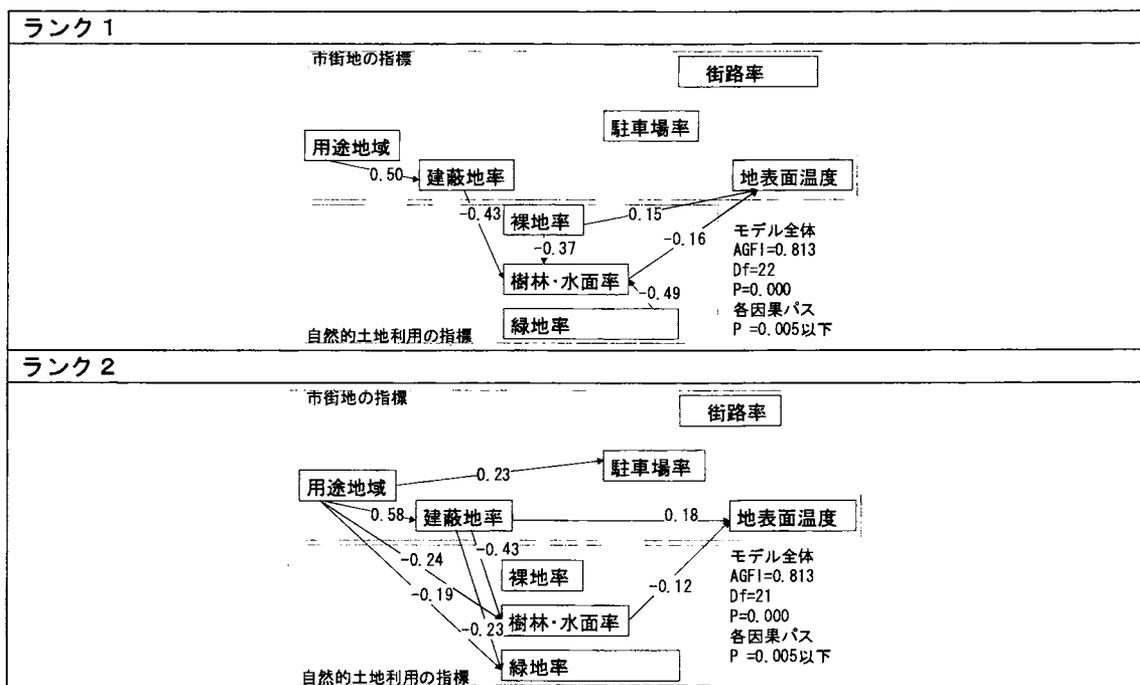
図-8には、地区全体を対象とした共分散構造分析の結果を示している。用途地域が住居外系であれば、市街地関連指標は高く、自然的土地利用の指標が低くなり、そして地表面温度が高くなるような明確な因果関係が存在することが明らかである。しかし、各ランクごとに、地区全体と異なる因果構造を示している。図-9に各ランク別の共分散構造分析の結果を示している。

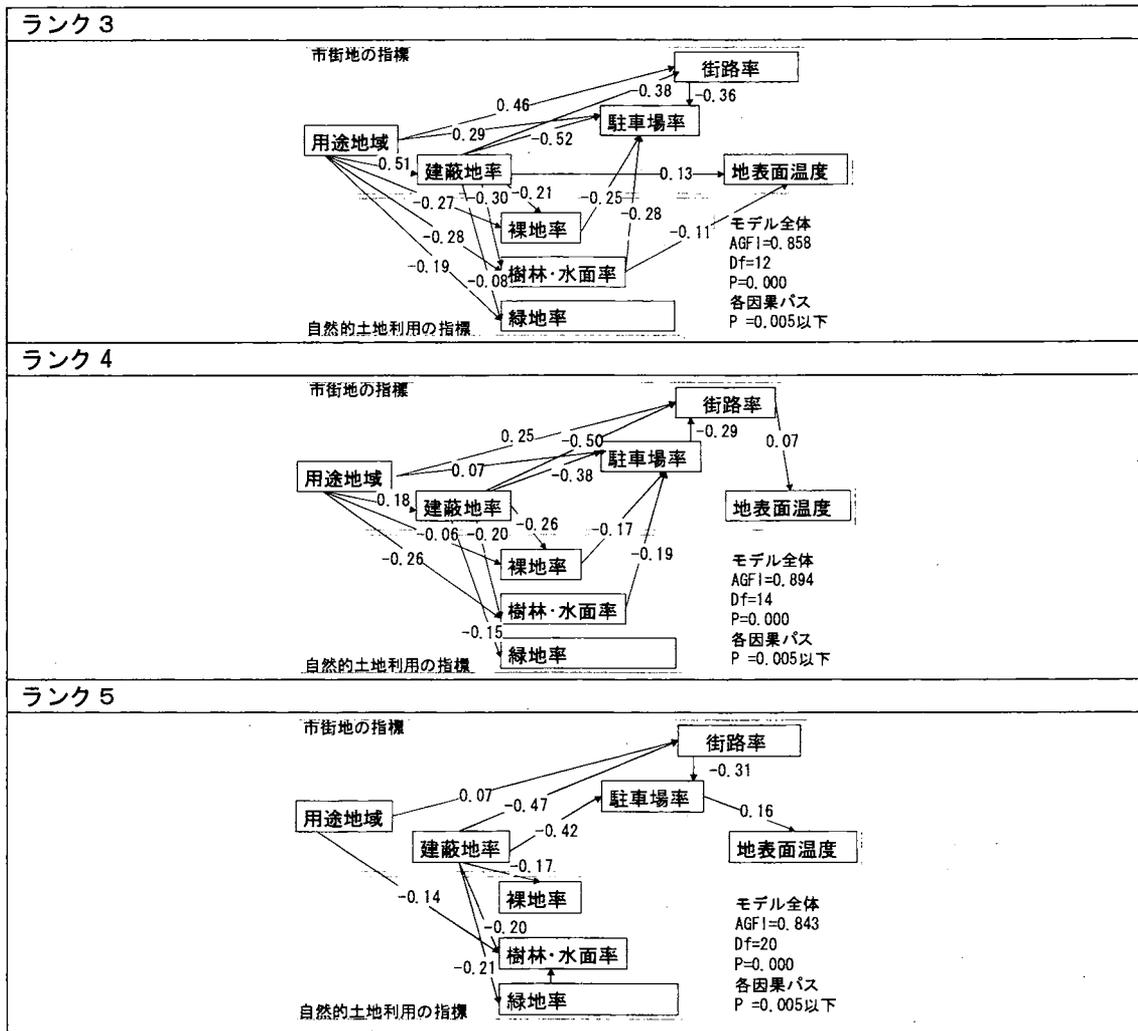


図－8 全地区の地表面温度と土地利用との因果関連

(1) 大規模な樹林地の影響範囲のランク1～3

ランク1については、表－2の用途地域は風致系であり、図－9が示す因果構造では、建蔽地率が小さくなり、樹林・水面率が高くなることを示している。また、地表面温度は、樹林・水面率、裸地率の影響を受けて変動することが読み取れる。ランク2について、図－9の因果構造に示すように、用途地域が主に風致系であり、建蔽地率が小さくなり、樹林・水面率が高くなり、地表面温度は低くなるというような因果関係が読み取れる。ランク3については、図－9に示すように、用途地域が住居外系であれば、自然的土地利用の指標が低くなり、市街地関連の指標が高くなる。具体的には、建蔽地率が高く、樹林・水面率が低くなる場合は、地表面温度が高くなるような因果関係が存在している。





図一〇 ランク別における共分散構造分析の結果

これらのランク 1-3 の地区とも、大規模な樹林地の影響範囲内と考えられ、ランク 1 から 3 の変化に対応して、表一に示すように、セル別の樹林・水面の平均面積はかなり大幅に減少し、建蔽地の平均面積が大幅に増加する。このような土地利用の変化が、地表面温度の上昇と因果関係があると言える。

## (2) 大規模な樹林地の影響範囲外のランク 4・5

図一〇に示すように、ランク 4 では、用途地域が住居外系であれば、自然的土地利用の指標も小さくなり、市街地の指標も高くなるが、地表面温度への直接的な影響があまりない。ランク 5 では、用途地域が住居外系であれば、樹林・水面率が低くなるが、建蔽地率への影響がない。建蔽地率が高くなるならば、駐車場率が低くなり、地表面温度も高くなるような因果関係が存在する。

これらの 2 地区とも大規模樹林地の影響範囲外として考えられる。表一に示すように、ランク 4 から 5 の変化において、建蔽地の平均面積は増加幅が比較的小さく、樹林・水面の平均面積も減少幅が比較的小さい。ランク 1~3 に比較して、地表面温度の差異は同程

度であるが、土地利用の差は比較的小さいといえる。

### (3) 全体的考察

表-3には、分析結果をとりまとめている。地区全体からみれば、風致系から住居外系へ、大規模な樹林・水面から小規模な樹林・水面へ、低い建蔽地から高い建蔽地への変動は地表面温度の上昇に関連している。しかし、大規模な樹林地の影響範囲内の地区は、樹林・水面、建蔽地率から地表面温度への影響があるが、影響範囲外の地区はその影響がみられない。また、各ランク地区の温度差の設定は同一であるが、影響範囲外の各ランクにおいては、樹林・水面や建蔽地などの土地利用状況の差は、影響範囲内の各ランクの状況に比較して小さい。これは、影響範囲外の市街地が密集し、自然的土地利用が量的に少なく、小規模かつ分散しているため、地表面温度の抑制に及ぼす影響が小さいことによる。

表-3 全体考察のまとめ

| 項目  | 用途地域<br>(敷地利用の傾向)                         |                  | 土地利用                               |                        |                       | 地表面温度への<br>直接的影響       |                      |  |              |
|---|---|------------------|------------------------------------|------------------------|-----------------------|------------------------|----------------------|--|--------------|
|   | ランク1                                      | 主に風致地区<br>(風致傾向) | 風致<br>傾向                           | 主に大規模<br>な樹林・水<br>面と街路 | 大規<br>模な樹<br>林・水<br>面 | 少な<br>い建<br>蔽地         | 自然的土<br>地利用の<br>影響あり | 大規<br>模な<br>樹<br>林・<br>水<br>面<br>の<br>影<br>響<br>範<br>圍 |              |
| ランク2  | 主に風致地<br>区, 商業地<br>域<br>(風致傾向)            | ↓                | 主に大規模<br>や分散な樹<br>林・水面, 街<br>路と建蔽地 | ↓                      | ↓                     | 建蔽地と樹<br>林・水面の<br>影響あり |                      |  |              |
| ランク3  | 主に商業地<br>域, 風致地<br>区<br>(風致傾向・業<br>務傾向の面) |                  | 主に建蔽<br>地, 分散な<br>樹林・水面<br>と街路     |                        |                       | 建蔽地と樹<br>林・水面の<br>影響あり |                      |  |              |
| ランク4  | 用途混在地域<br>(住居・業務の<br>混在傾向)                |                  | 主に建蔽<br>地, 街路と<br>分散な樹             |                        |                       | あまりみら<br>れない           |                      |  |              |
| ランク5  | 主に準工業,<br>近隣商業地<br>域<br>(業務傾向)            |                  | 主に建蔽<br>地, 街路                      |                        |                       | 分散<br>小規<br>模な樹<br>林・水 | 高密な<br>建蔽地           |  | 駐車場の影<br>響あり |
| 注: 各ランクにおいて, 用途地域と土地利用の構成率との因果関連が強い。地区全体において, 自然的土地利用と市街地的土地利用の両方とも地表面温度への影響が大きい。 |   |                  |                                    |                        |                       |                        |                      |  |              |

## 6. 結語

本研究では、地表面温度の規定要因などに関する既存研究の成果を参考にして、市街地における土地利用と地表面温度との因果関係について、GISシステムを構築して、リモートセンシングデータを用いて分析した。具体的には、GISデータベースと解析ツールを含むシステムの構築を行い、分析資料として、ランドサット TM データと国土基本図のDMデータを統合して行った。

分析の結果、地区全体としては、土地利用の状況が地表面温度に大きな影響を及ぼしているといえるが、土地利用状況の差異により、土地利用と地表面温度との因果関係の構造

が異なると思われる。

地区別の特徴からみると、大規模樹林や水面がある地区において、その影響を受けて地表面温度が大きく下がる。そして、大規模な樹林地や水面の影響範囲において、樹林地や河川がある場所では地表面温度も下がり、市街地では地表面温度が上がるというような現象がある。しかし、大規模な樹林地・水面の影響範囲以外において、小規模かつ分散的な樹林や緑地の地表面温度への影響がほとんどみられなかった。

このような結果から、密集既成市街地において、地表面温度の抑制のために、一定規模以上の樹林、緑地や水面が必要となることが推計できる。そのためには、既成市街地において存在している散在している樹林や緑地を保全し、一定規模以上になるような土地利用計画を検討する必要がある。

それらの実現には、長期的には、一定規模以上の面的または帯状的な樹林や水面の整備を進める必要があり、短期的には、屋上緑化による代替的な整備やネットワーク化が考えられる。

## 注

(1) 多くの研究が見られる。例えば、張子他 4 名：土地被覆分類における LANDSAT TM および SPOT HRV データの特性評価、写真測量とリモートセンシング、vol.27、1988

(2) ランドサット TM データを利用して地表面温度 T を計算する方法について、下記に示す。

$$T = \frac{1.7651 \times 10^{-2} \pm \sqrt{0.017651 \times 10^{-4} \times 5.1292 \times 10^{-5} (1.6023 - R)}}{2 \times 5.1292 \times 10^{-5}} - 273.15$$

R は、ランドサットの Band 6 の CCT 値から求められる絶対放射輝度である。

(3) 文献 4) によれば、6 月中の晴天 12 時において、樹林の放射温度は気温より約 2 度前後高くなり、市街地の建物や街路の放射温度は夏に気温より 10~20 度高くなる。4 月は春季であり、樹冠部の放射温度と市街地の放射温度にはこれらより小さい差異があると考えられる。

(4) 文献 2) の p.29 と p.32 では、水面の影響範囲が市街地の平均温度に至る範囲として規定されている。本研究もこの考え方に従って、樹林地や河川の影響範囲を規定した。

(5) 文献 4) の研究論文の結論 p.85 によるものである。

(6) 用途地域については、風致系に 1、住居系に 2、住居外系に 3 を与え、計算を行っている。

## 参考文献

1) 梅干野晃(1981)：リモートセンシングデータによる住宅地の熱環境の解析(I)―地上実測結果による考察とリモートセンシングデータの検討、日本建築学会計画系論文集、No.303、pp.69-79

2) 村川三郎他 3 名(1981)：都市内河川が周辺の温熱環境に及ぼす効果に関する研究、日本建築学会計画系論文集、No.393、pp.25-34

3) 村川三郎他 4 名(1990)：都市内河川が周辺の温熱環境に及ぼす効果に関する研究(続報)、

日本建築学会計画系論文集、No. 415、pp. 9-19

- 4) 吉田伸治他 4 名 (2000) : 樹木モデルを組み込んだ対流・放射・湿気輸送連成解析による樹木の屋外温熱環境緩和効果の検討、日本建築学会計画系論文集、No. 536、pp. 87-94
- 5) 香川治美他 4 名 (1998) : 芝生植栽が都市熱環境に及ぼす影響に関する研究 (第 1 報)、日本建築学会計画系論文集、No. 507、pp. 7-12
- 6) 西村秀彦他 3 名 (2000) : 密集市街地におけるエネルギー消費及び温熱環境の実態調査と外部温熱環境の解析、日本建築学会計画系論文集、No. 536、pp. 79-86
- 7) 李海峰他 4 名 (1999) : 地理情報を用いた地域の熱環境評価システムに関する研究、日本建築学会計画系論文集、No. 518、pp. 67-73

## 第4章 GISを用いた地区エコロジカル・ネットワークのベースマップの自動作成

### 1. 研究の目的と方法

1992年にリオデジャネイロで開かれた「環境と開発に関する国際会議」では、「Sustainable Development (持続可能な開発)」の理念がこれからの時代の共通認識として必要であるとし、将来の環境や次世代の利益を損なわない範囲内で社会発展を進めることを確認した。そして近年、都市内のみならず、周囲の緑環境も減少の一途をたどっている現状を踏まえ、環境の改善や生物多様性の保全、自然とのふれあいを目指した計画手法の形成が重要な課題と言える。

このような流れの中で、今日、エコロジカル・ネットワーク研究会(2000)によるエコロジカル・ネットワーク (以下 EN) 計画が提案されている。これは広域、都市、地区の三つのレベルについて取り組むものであるが、このような EN の形成には、緑環境保全に向けた計画策定と住民参加が不可欠である。その中でも特に住民参加が重要となる地区レベルの EN(以下地区 EN)計画の策定には、前提条件の整理、調査、解析、評価、課題整理、計画という6つのプロセスが必要である。調査段階では、緑環境保全の緊急性が高い地域の判定、また逆に公園等が整備され、地区 EN 計画にとって資源となる地域の特定などを行うために、GISを用いた画像自動分類等により、緑環境を容易に把握・評価する手法の開発が求められている。

こうした観点から、近年では緑地の保全に関する研究や、緑地分布傾向の把握手法に関する研究がなされてきている。入江ら(2001)は、ランドサット TM データを用いて、NVI 値を算出し、それを用いて緑地の分布形態と気温低減効果との相関を分析している。また、小林ら(2001)は、ランドサット TM データから算出した NVI 値を用いて、緑地の集塊性、緑地分布傾向の把握について、新たな解析手法を提案している。本研究は、これらの研究で用いられた緑環境の把握手法を生かして、計画支援の観点から、GISにより今後住民参加型の地区 EN 計画支援システムに用いる基礎データを作成することを試みたい。

リモートセンシングデータの1画素は地表面約30m×30mに相当するので、都市レベルの EN 計画には適用できるが、地区 EN 計画では地上分解能が低い。また、現在作成されている植生図としては(財)自然環境研究センター発行の1/50000の地図や各都道府県、市町村等が独自で整備したものしかない。そのため地区 EN の調査資料として既存の植生図を用いることは困難である。

地表面において、土地利用は主に人工構造物により形成される人工的土地利用と、それ以外の自然的土地利用に区分される。地区 EN において、自然的土地利用を中心とする EN とは、良好な樹林が存在する中核地区、都市公園の自然を活かした拠点地区、農耕地の自然を活かした拠点地区、樹林による連続型の回廊地区、河川による連続型の回廊地区、樹林と湖沼による飛び石型の回廊地区から構成される<sup>①</sup>。本研究では、航空写真の色情報によって教師データを作成し、緑被地等の土地被覆を画像分類により求め、地区 EN の中核地区、拠点地区及び回廊地区を示すマップの簡便な作成手法を検討したい。

本研究では、図1と表1に示す地区レベルのENにおける中核地区、拠点地区と回廊地区を示す地図をベースマップと呼ぶことにする。ベースマップは地区ENの調査において、生物生息状況に関する住民の観察情報を入力できるシステムの基礎データとして利用可能である。例えば、WEBGISにより住民が身の回りの植生情報や動物生息状況に対する観察情報をベースマップ上に入力できれば、比較的容易に地域環境情報を住民参加の方法で把握することができる。

本研究では、地表面の建物や土地被覆状況が確認できる正射写真<sup>④</sup>を用いて画像自動分類等のGIS機能を利用し、地区ENのためのベースマップの簡便な作成手法を検討する。正射写真は、金沢市によって1997年6月に撮影された縮尺1/2500のもので、オルソ化された航空写真である。その正射写真と同じ正射写真に基づいて作成された都市計画基礎調査データを用いて、地区ENのベースマップの作成を試みる。なお、解析にあたってはGISソフトであるTNTシステム（MicroImages社 [www.microimages.com](http://www.microimages.com)）を利用した。

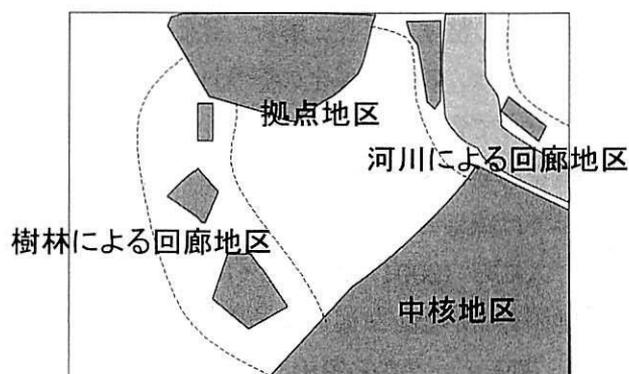


図1 地区ENのベースマップの概念図

## 2. 地区ENのベースマップ作成システムの概要

本研究は、地区ENの調査における住民参加のためのベースマップを作成するためのものである。図2にベースマップ作成の流れを示す。

このシステムは特別な装置を必要とせず、一般のPC上で稼動するGISシステムである。システムに導入するデータは、都市計画基礎調査データ（ベクタデータ）と正射写真である。都市計画基礎調査データのベクタデータと正射写真の組み合わせによって、画像分類による土地利用の分類、ベクタ化による自然的土地利用の抽出、地区ENのベースマップの作成の3段階に分けられる。

なお、地区ENの形成には、生物多様性の維持・拡大にむけて重要な地区、都市内緑地の中核となる地区などを対象とすることが考えられる。そこで本研究では図3に示す金沢市鈴見地区を対象とした。

表1 地区 EN と自然的土地利用の種類

| 地区類型 | 地区 EN の空間拠点       | 地区像                                   |
|------|-------------------|---------------------------------------|
| 中核地区 | 中核地区              | 生物の生息・生育空間となる緑の空間を確保するための良好な樹林の保全地区   |
| 拠点地区 | 都市公園の自然を活かした拠点地区  | 生物の生息・生育を支える緑の空間を新たに確保するための良好な樹林の再生地区 |
| 回廊地区 | 樹林による連続型の回廊地区     | 陸上・空中の生物の移動を支えるための屋敷林の保全や緑道の創出地区      |
|      | 河川による連続型の回廊地区     | 水域・陸上・空中の生物の移動を支えるための水辺植生の保全や河畔林の創出地区 |
|      | 樹林と湖沼による飛び石型の回廊地区 | 空中を移動する生物のための学校や企業の私有地の活用地区           |

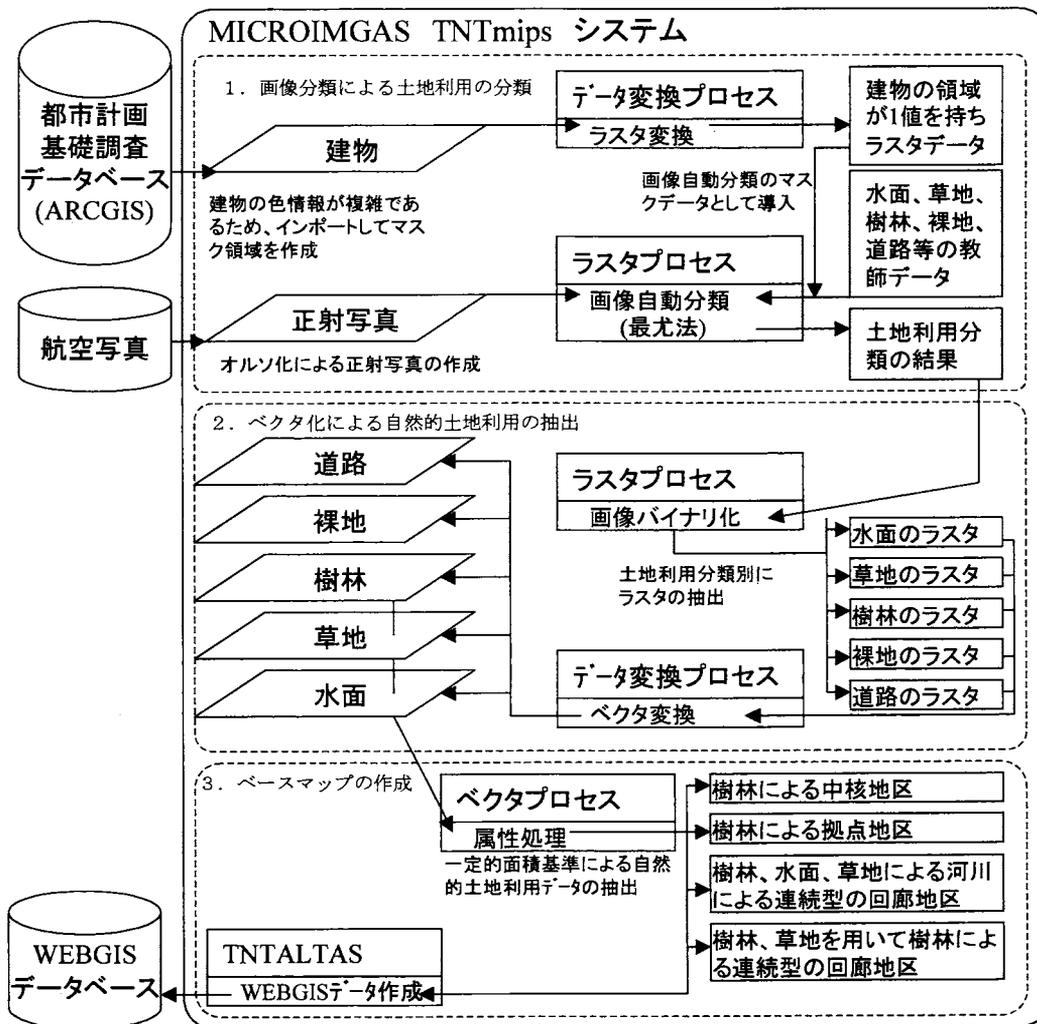


図2 地区 EN 計画のベースマップ作成の流れ



図3 対象地区（金沢市鈴見地区）

この地区は、近年、土地区画整理事業により整備され、住宅、商店、田畑、林、河川といった多様な土地利用がなされているとともに、金沢大学の門前町として「金沢杜の里」を目指した街づくりを行っている。この地区においては、良好な樹林の存在による EN の中核地区となる領域、河川や樹林による連続型の回廊地区となる領域が存在しており、分析対象地区として適切と考えられる。

### 3. GIS を用いた地区 EN のベースマップの作成

対象地区には川の水面が含まれており、図3で視覚的に見ると、水面の色は河床の色の影響により、市街地にある一部の地表面被覆の色に近い。また、建物の屋根の色にはばらつきが多い。このような水面と建物をどの程度まで分類できるのかを十分検討する必要がある。

画像分類は正射写真が保有する RGB データの輝度差を利用して行うものである。建物部分は特定の色をもたず、輝度にばらつきが多い要素を分類対象に含むことから、人工的土地利用を自然的土地利用に誤って分類する可能性がある。そこで、分類作業において、既知の建物部分にマスクをかけることにより、精度の低下を引き起こす因子となる建物を分類対象からはずすこととする。道路(アスファルトも含む)については、人工的土地利用でもあるが、色が比較的単純であるので、マスクをかける必要性が低いと考えられる。

画像分類には、精度を高めるために教師データを作成する必要がある。リモートセンシングデータと異なり、正射写真では現地に行かなくても、土地被覆は目視で判断できるので、それをもとに教師データを作成することができると考えられる。しかし、正射写真は季節によって、また撮影時間や日照条件の違いによってもデータが有する RGB が変化するので、異なる写真の場合、正射写真の RGB の数値に差異が生じ、異なる教師データが必要となる可能性が高い。そこで本研究では、一枚の正射写真内の範囲を分析対象とする。

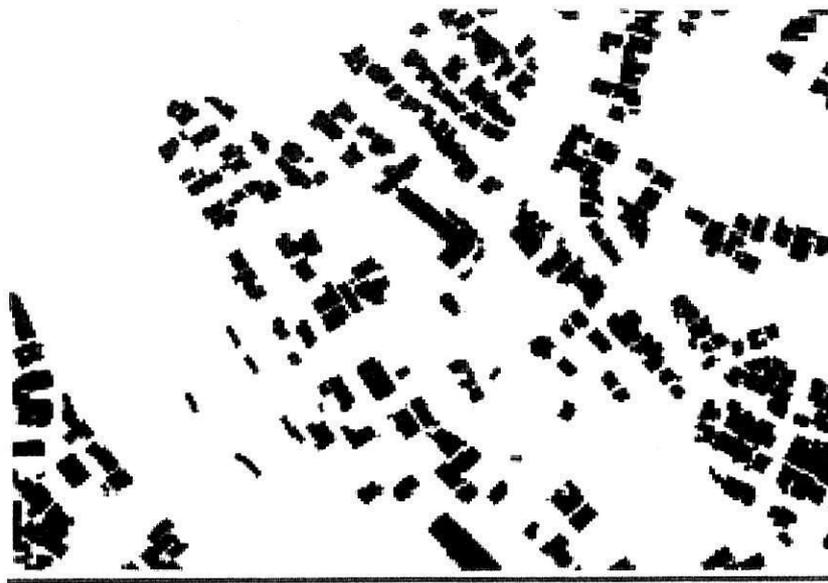


図4 建物ポリゴンのマスク

### 3.1 画像分類による土地利用の分類

#### 1) マスク領域

都市計画基礎調査の建物ポリゴンデータを元にマスク領域を作成した。具体的には、GISのベクタからラスタへの変換機能により、建物ポリゴン境界線を利用して、その内側をマスク領域とする<sup>(iii)</sup>。作成した建物のマスク領域を図4に示す。

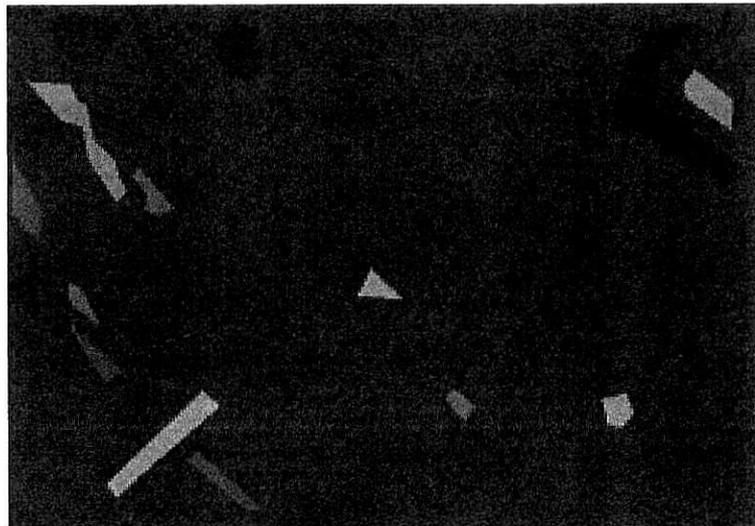


図5 作成した教師データ

都市計画基礎調査の建物ポリゴンデータは正射写真に基づいて作成されたものであり、ジオリファレンス処理<sup>(iv)</sup>を行うことで、マスクデータと正射写真の建物がきれいに重なることが確認できる。図6に示すように、建物を画像分類から外すことで、建物部分の画像データが0と

いう数値によって書き換えられて黒くなり、本来ばらつきがある建物画像の影響が無くなると考えられる。

## 2) 教師データの作成

地区 EN のベースマップ作成には、自然的土地利用を正射写真から抽出することが必要である。表 1 に示すように、中核地区と拠点地区が樹林の地区であるので、樹林の分類が必要である。そして回廊地区には、樹林による地区と河川による地区の違いがあり、水面と樹林との分類も必要である。他に、建物を除く道路等の人工的土地利用の分類が必要である。



図 6 正射写真、マスクデータ、教師データ



図 7 画像分類の結果

図 3 の正射写真の場合、 $350 \times 500$ pixel のサイズであり、実際  $398 \times 569$ m の地域である。

解像度は約 0.88pixel/m である。地上にみえるものとしては、約 1m であるので、目視で土地利用の状況を判断できる。正射写真の中には、森林や草地のみでなく、屋敷林などの建物周囲の植え込みといった微小な緑までを区別することができる。また樹林と草地についての分光特性が異なるので、自動分類によって樹林と草地を区別できると考えられる<sup>4)</sup>。道路のよう色が比較的単純な人工的土地利用では、裸地との区別ができると考えられる。しかし、水面の色は道路や裸地に近い色であることから、分類が比較的困難かもしれない。分類の必要性からみれば、土地被覆カテゴリーとしては水面、樹林、草地、裸地、道路程度であるので、教師データは 5 分類とした。

### 3) 画像の分類

教師データ、マスタデータを用いて、最尤法により、GIS において画像分類を行った。その結果を図 7 に示す。

図 7 に関して、図 3 の正射写真と比較してみると、目視できる範囲では、ほぼ正確に分類されていると考えられる。表 2 のエラーマトリックスは、精度検定を行った結果を示している。ここでは 92% という比較的高い精度を得た。誤分類されたピクセル数が 100 を超える場合、樹林の 5209 pixel について、329pixel が草地に誤分類され、道路の 1610 pixel について、119 pixel が空地に誤分類された。いずれにしても、自然的土地利用の間、人工的土地利用の間の誤分類である。全体的にみれば、分類の精度が高く、ベースマップの作成のための樹林、草地、水面、道路、裸地の判別ができたといえる。

表 2 分類に対するエラーマトリックス

| 分類の結果       | 水面    | 草地    | 樹林                    | 道路    | 空地    | 合計   |
|-------------|-------|-------|-----------------------|-------|-------|------|
| 水面の教師データ    | 1400  | 23    | 8                     | 1     | 70    | 1502 |
| 草地の教師データ    | 9     | 1754  | 329                   | 6     | 37    | 2135 |
| 樹林の教師データ    | 1     | 89    | 4841                  | 0     | 0     | 4931 |
| 道路の教師データ    | 2     | 2     | 0                     | 1484  | 54    | 1542 |
| 空地の教師データ    | 41    | 85    | 31                    | 119   | 638   | 914  |
| 合計          | 1453  | 1953  | 5209                  | 1610  | 799   | 1102 |
| 精度率         | 96.3% | 89.8% | 92.9%                 | 92.1% | 79.8% |      |
| 分類精度=91.77% |       |       | Khat Statistic=88.41% |       |       |      |

補足として、精度の比較のために画像の自動分類による結果と、正射写真から目視で判断し、トレースした分類結果について比較した。表 3 のように、水面や樹林のように比較的まとまりをもって分布している自然的土地利用に関しては、ある程度近い値となったが、草地のように、対象地域全体に分布しているものに関しては手作業での分類には限界があり、結果として大きな差が生じた。また、道路は狭い街路が多く、手作業の精度には限界がある。他に、手作業に

よる各土地利用の抽出には画像分類の機能によるものに比べはるかに時間がかかる。

表3 自動分類と手動分類による面積比較

| 自然的土地利用 | 自動分類 (m <sup>2</sup> ) | 手動分類 (m <sup>2</sup> ) |
|---------|------------------------|------------------------|
| 水面      | 6892                   | 7082                   |
| 草地      | 36216                  | 24770                  |
| 樹林      | 33391                  | 37049                  |
| 道路      | 40574                  | 36549                  |
| 空地      | 9667                   | 9084                   |

表4 地区ENのベースマップのための面積基準

| 自然的土地利用 | 面積基準とその理由  |
|---------|--|
| 樹林      | <p>中核地区や拠点地区となる樹林が5000m<sup>2</sup>以上とする。この地区において住宅として使われる街区の平均の大きさ2500m<sup>2</sup>の約2倍である。中核地区、拠点地区は街区より大きい場所である。</p> <p>回廊地区となる樹林の面積を300-5000m<sup>2</sup>とする。生物とのふれあい場とする必要性から考え、樹林の大きさを300m<sup>2</sup>以上とした。</p> |
| 水面      | 市街地において、回廊地区となる水面は河川であるので、特に面積を設ける必要がない。しかし、陸地上において、水面として誤分類された場所を取り除くためには、1000m <sup>2</sup> 以上の水面を抽出することにした。   |
| 草地      | 回廊地区となる草地の面積を500m <sup>2</sup> 以上とする。生物とのふれあい場とする必要性から考え、草地の大きさを500m <sup>2</sup> とした。なお、市街地や公園に拠点や中核となるような大きな草地がないため、上限を設けていない。   |

表5 各地区の抽出基準

| 地区                | 地区の抽出基準  |
|-------------------|--|
| 中核地区              | 良好な樹林であり、地区内5000m <sup>2</sup> 以上、かつ一番大きい面積を有する樹林地とする。   |
| 拠点地区              | 都市公園の緑を再生する地区であり、市街地内において、5000m <sup>2</sup> 以上の樹林や草地の集合とする。   |
| 樹林による連続型の回廊地区     | 樹林を中心とする地区であり、市街地において、300-5000m <sup>2</sup> の塊がある樹林、隣地に500m <sup>2</sup> 以上の草地の集合とする。   |
| 河川による連続型の回廊地区     | 水面を中心として、周辺の植生を合わせた地区であり、1000m <sup>2</sup> 以上の水面、水辺にある300-5000m <sup>2</sup> の樹林、500m <sup>2</sup> 以上の草地の集合とする。               |
| 樹林と湖沼による飛び石型の回廊地区 | 樹林や水面を中心とし、連続ではない自然的土地利用の地区である。分散している300-5000m <sup>2</sup> の樹林、500m <sup>2</sup> 以上の草地、1000m <sup>2</sup> 以下の水面を飛び石型の回廊地区とする。 |

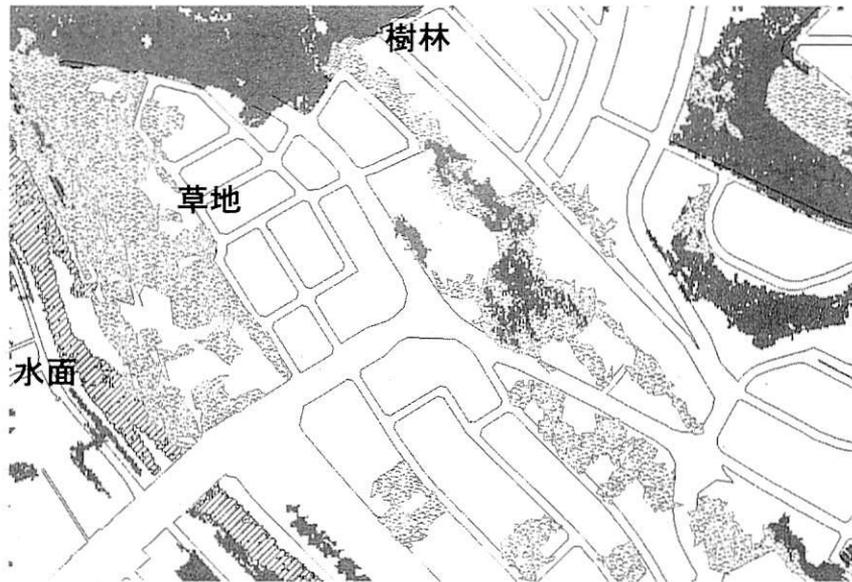


図8 一定面積以上の自然的土地利用の抽出

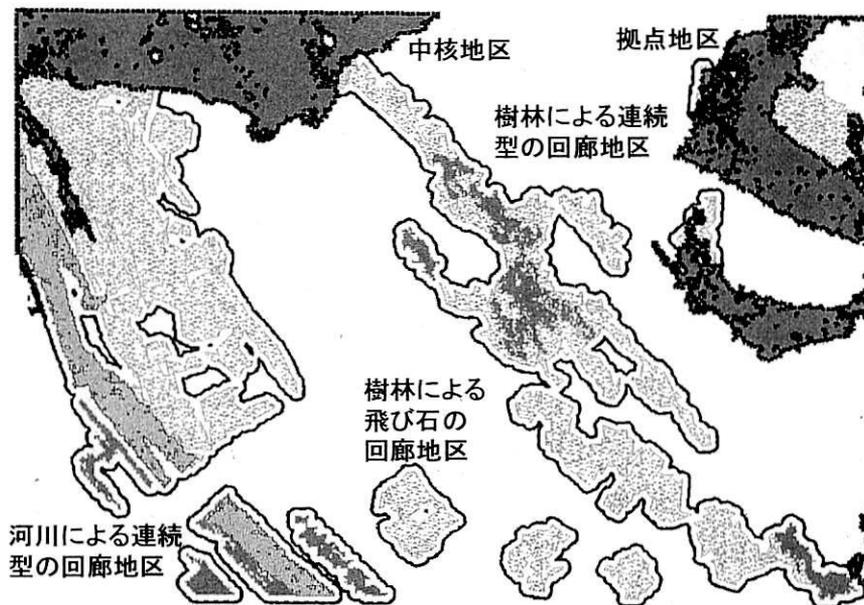


図9 地区ENのベースマップ

### 3.2 ベクタ化による自然土地利用の抽出

地区 EN の簡便なベースマップ作成には、分類結果であるラスタデータを画像バイナリ機能 (w) によって自然的土地利用の各類別に抽出して、ベクタデータに変換する必要がある。例えば、中核地区と拠点地区とは、良好な樹林地である。その地区の確定には、樹林だけの土地利用データを利用するので、それを抽出する必要がある。そして、樹林による連続型の回廊地区では、樹林、草地も含まれるので、市街地の樹林や草地を抽出する必要がある。河川による連続型の回廊地区は、河川とその水辺の植生が含まれるので、水面、樹林、草地などの土地利用を抽出

する必要がある。このため、地区 EN のベースマップの作成には、自然的土地利用を類別に抽出してベクタのポリゴンデータに変換した。

### 3.3 地区 EN のベースマップの作成

地区 EN のベースマップ作成のルールについて、地区 EN の中核地区は市街地ではなく、拠点地区も市街地の住宅用途の街区ではないので、両方とも街区規模以上の大規模な樹林地である。このことから地区の抽出基準は対象とした範囲内の街区の平均面積の 2 倍以上とした。また回廊地区として生物の生息・生育空間、人間とのふれあいの空間の確保には、一定な規模の樹林、草地、水面が必要となることから、この地区での回廊地区の形態を形成するには、抽出基準について樹林を 300 m<sup>2</sup> 以上、草地を 500 m<sup>2</sup> 以上とした。またこの地区では、水面は河川だけであるので、誤分類された場所を取り除くため、1000 m<sup>2</sup> 以上とした。ここから表 4 に示す抽出の面積基準を定め、表 5 に示すルールによって地区 EN となる自然的土地利用の抽出を GIS の属性処理によって行った。図 8 は、自然的土地利用を類別に抽出した地図である。回廊地区は抽出された草地、樹林、水面のポリゴンに対して境界線を共有するポリゴンを合併して作成した。その結果である地区 EN のベースマップを図 9 に示す。

## 4. 結論

本研究では、地区 EN 計画の支援として、生物の生息・生育空間や、生き物とのふれあい空間の形成を進めるために、地区 EN に関係する人々の意見収集を行い、それを取りまとめる地区 EN のベースマップの簡便な作成手法を試みた。

本研究では、地区 EN のベースマップの作成には、樹林、草地、水面などの自然的土地利用の状況を解明することが重要であり、そのために正射写真を用いることが有効であることを実証した。そして、地区 EN の中核地区、拠点地区、回廊地区の判定には、各地区の地区像に基づいて、自然的土地利用の類別の面積基準を用いることが有効であることを確認した。さらに、画像分類を行う際、都市計画基礎調査データとの併用により建物をマスク領域とすることが、正射写真の分類精度を高める効果があることがわかった。

しかし、正射写真を用いる場合、気候や日照の影響により、色情報を利用する統一的な教師データの利用が困難である。また、地区 EN のベースマップの作成は、一つの地区で GIS を用いて検討したが、他の地区との比較によって自然的土地利用の抽出の面積基準を検討する必要がある。

今後は、住民の観察情報の収集、ベースマップから地区 EN 計画へと展開していくシステムのあり方とその構築、システム有効性の評価、といった課題が残されている。例えば、Web 上で地区 EN のベースマップを提供することで、住民が日常に植物生育、動物生息の観察結果をシステムに入力することができる。住民の意見をもとに、ベースマップに様々な情報を付加し、地区 EN 計画支援システムの構築を今後の検討課題としたい。

---

## 注

(<sup>i</sup>)文献 4) pp. 82-86

(<sup>ii</sup>)GIS の機能により異なる角度で撮影した同じ場所の航空写真 2 枚から DEM (デジタル標高モデル) 抽出し、さらに DEM により航空写真を正射化したものである。

(<sup>iii</sup>)TNT システムを用いてベクタデータをマスクデータに変換するためには、ラスタデータに変換する必要がある。その処理の中で、ラインとポリゴンの要素を 0、初期値を 1、変換作業を実行する。これにより、建物部分のマスクデータが作成される。

(<sup>iv</sup>) TNT においてラスタデータとベクタデータとの重ね合わせを行う作業・処理のことである。

(<sup>v</sup>)文献 6)と 7)を参考した。文献 7)の p. 283 において、樹木、草の分光特性が異なると指摘されている。

(<sup>vi</sup>)画像バイナリ機能は、画像分類後の特定の類型を選択して画像の数値を 1 とし、他の画像部分を 0 とする機能である。

## 参考文献

- 1) 入江彰昭、平野侃三(2001)、「緑地周辺に対する気温低減効果と効果的な緑地の分布形態に関する研究」 都市計画論文集、vol. 36 pp. 277~282
- 2) 小林祐司、佐藤誠治、姫野由香(2001)、「都市における緑地分布変化の要因分析—北九州市における緑地環境指標による変化要因について」、都市計画論文集、pp. 823~828
- 3) 大浦匡博、有馬隆文、萩島哲、坂井猛(2001)、「WWW を利用したマルチメディア型まちづくり支援システムの開発 (その 2) —まちづくり支援システムにおけるカード式ワークショップ手法の応用—、日本建築学会情報システム利用技術シンポジウム、Vol. 24、pp. 55-60.
- 4) エコロジカル・ネットワーク研究会(2000)、「都市のエコロジカルネットワーク—人と自然が共生する次世代都市づくりガイド」
- 5) 小島利治、宝馨(1996)、「リモートセンシング画像の空間分解能と土地被覆分類精度の関係—4 種類の画像と低分解能化アルゴリズムを用いて—、日本リモートセンシング学会誌、Vol. 16, No. 5、pp. 23-37.
- 6) 堀和裕登、梅干野晃(1993)、「マルチスペクトルデータを用いた画素内緑被率の推定、日本建築学会情報システム利用技術シンポジウム、Vol. 16、pp. 283-288
- 7) 梅干野晃(1981)、「リモートセンシングデータによる住宅地の熱環境の解析 (I) —地上実測結果による考察とリモートセンシングデータの検討、日本建築学会計画系論文集、No. 303、pp. 69-79

## 第5章 GISを用いた中心市街地の人口移動の推測

### 1. 研究の背景と目的

中心市街地には都市の長い歴史が刻まれており、都市の個性が映し出される空間でもある。全国ではモータリゼーションの進展、郊外への人口移動、空店舗の増加、低未利用地の増加などに伴う都心部定住人口の減少、商業機能劣化、土地利用の鈍化など様々な課題が表れており、中心市街地の空洞化が大きな都市問題として扱われるようになった。中心市街地の問題に対して、都市のコンパクト性が求められ、コンパクトシティという概念が提唱された。都市形態のコンパクト性とは密度が高く、様々な都市の機能が生活圏の中で重層的複合的にまとまっているという意味で用いられている。平成10年から「中心市街地整備改善活性化法」の法案が成立し、中心市街地基本計画が策定されるようになった。それによって、適切な都市経営や適切な計画立案と開発コントロールができること期待されている。本研究では、土地利用、人口密度、開発コントロールの面から土地利用計画支援システムの構築を行いたい。既存研究では、植竹ら（2005）<sup>1)</sup>は中心市街地空洞化を背景に金沢市を事例としてまちなか定住促進事業と評価に関する調査研究を行っている。海道ら（2001）<sup>2)</sup>は人口密度の高さを主要指標としているコンパクトシティを背景に人口密度指標を用いた都市の生活環境評価に関する研究を行っている。解析手法を中心としたものについて、既存研究では、青木ら（1996）<sup>3)</sup>は遺伝的アルゴリズムを用いた地域施設配置手法を研究している。また、大貝ら（1997）<sup>4)</sup>は環境管理を考慮した工業地開発計画立案支援システムの途上国への適用を行っている。小林ら（1997）<sup>5)</sup>はGISを用いて商業施設の立地モデルを構築している。既存研究では、統計分析、アンケート調査の手法を用いて中心市街地の実態を分析することも多く、計画支援システムの開発を行う分野では、中心市街地衰退化、空洞化という重要な都市計画問題はあまり取り上げられていない。

そこで、本研究では、開発シナリオに基づいてGA及び他の計量モデルを用いて都市開発の立地パターンの選別を行う。それで、都市開発の立地が中心市街地の人口変容へもたらした影響を目的として、土地利用計画支援システムのありかたを検討する。しかし、現実的な都市問題を解決できる段階ではなく、システムのフレームワークを検討する目的とする。

### 2. 研究の方法

#### 2.1 関連概念の定義

##### a) 開発シナリオ

本稿では、土地開発コントロールのシナリオは「開発シナリオ」と呼ぶ。都市開発の立地によって「中心市街地集積開発型シナリオ」、「中心市街地分散開発型シナリオ」、「中心市街地現状維持開発型シナリオ」に定義する。

##### b) 開発立地パターン

本研究では、住宅・商業・工業の開発立地パターンは「立地パターン」と呼ぶ。金沢市を事例として研究を進めたいので、金沢市の地区について、図-1 のように大分類を行う。各地区の住宅、商業、工業の新規立地開発率によって土地開発のコントロールを行う。ここで H は高開発率、M は中開発率、L は低開発率を表し、各地区の住宅・商業・工業の立地開発率の組み合わせが立地パターンとなる。

|                          |                        |                        |                          |
|--------------------------|------------------------|------------------------|--------------------------|
| 港周辺地区<br>住(M)、商(M)、工(L)  |                        |                        |                          |
| 西部地区<br>住(H)、商(M)、工(L)   | 駅西地区<br>住(H)、商(M)、工(L) | 北部地区<br>住(M)、商(L)、工(L) | 北部近郊地区<br>住(M)、商(L)、工(L) |
|                          | 中央地区<br>住(L)、商(M)、工(L) |                        | 東部地区<br>住(M)、商(M)、工(L)   |
| 南部近郊地区<br>住(H)、商(L)、工(L) | 南部地区<br>住(L)、商(M)、工(M) |                        |                          |
| 山間地区<br>住(M)、商(M)、工(H)   |                        |                        |                          |

図-1 立地パターンのイメージ

## 2.2 土地利用計画支援システムのデータベースの構築

GIS を用いてデータベースの構築を行うが、データ構造が UAZ(標準分析単位)のデータ構造を利用する。UAZ は what if <sup>注(1)</sup> モデルで提示したものである。国勢調査、国土数値情報、都市計画基礎調査をデータベースに導入し、金沢市の関連統計データを GIS 属性テーブルに追加する。そして、GIS の「GeoProcessing Wizards」によりレイヤーを重ね合わせて UAZ「標準分析単位」データを作成する。

## 2.3 遺伝的アルゴリズムを用いてシナリオに基づいて立地パターンの選別

1 つのシナリオに対してそのシナリオの条件を満たす立地パターンが多数存在する。その中から最適な開発立地パターンを選ぶために、遺伝的アルゴリズムによって最適解を探索する。具体的には、染色体のコードが住・商・工の立地開発率を表し、コードを選ぶことで、開発率が定められる。そして、評価関数による中心市街地の人口回復、土地利用混在度、特化度を算出し、立地パターンの最適解を選別する。すなわち、シナリオに基づくシナリオの条件を満たす最適な新規立地パターンを探す。

## 2.4 システムの開発

以上の内容に基づく GIS と Excel 上で VBA プログラミングを用いてシステムの開発を行った。

## 3. 研究のフレームワーク

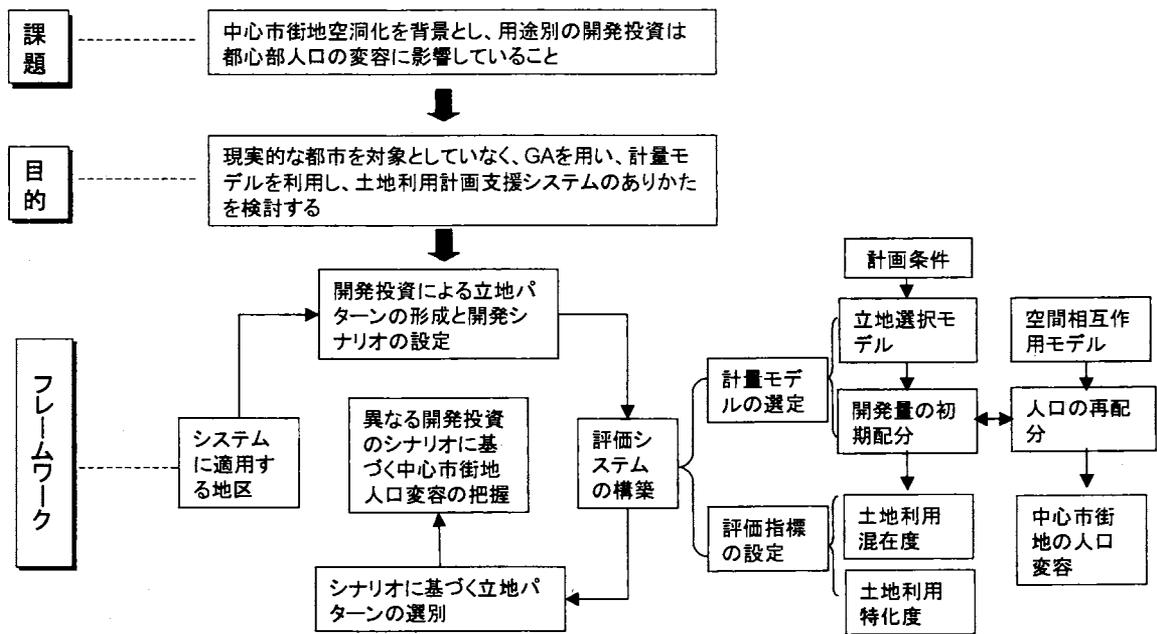


図-2 研究のフレームワーク

本研究では、中心市街地の空洞化を背景とし、用途別の都市開発の立地は都心部人口の変容に影響があると考えます。具体的には、第一に、GAを用い、計量モデルを利用し、土地利用計画支援システムのありかた、すなわちシステムのフレームワークについて検証しようと考えています。今回は金沢市を事例にして、システムに導入するデータの構造も検討しました。第二に、都市開発の立地パターンと開発シナリオの設定を行う。最後に、評価関数を用いてシステムの構築を行う。人口変容の試算には、空間相互作用モデルも用いられています。評価関数では、土地利用混在度、特化度、中心市街地の人口変容で行う。

## 4. システム概要

### 4.1 開発シナリオについて

シナリオ1. 中心市街地における集積開発型

シナリオ2. 中心市街地における分散開発型

シナリオ3. 中心市街地における現状維持開発型

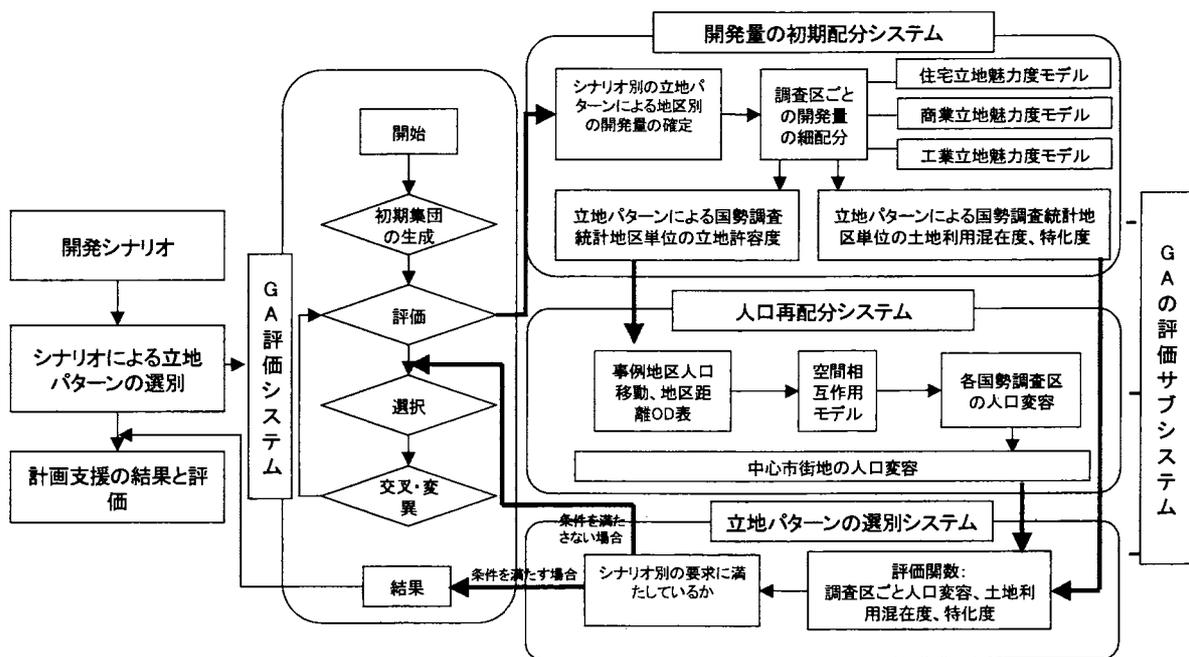


図-3 システム概要図

#### 4.2 シナリオに基づく立地パターンの評価と選別

シナリオに基づいて、中心市街地の人口変容へよい影響を与えている立地パターンを選別するが、このような立地パターンの組み合わせ数は非常に多い。このため、遺伝的アルゴリズム (GA) の手法を用いて最適な立地パターンを求める。評価するには、都市開発によって、人口の需要を配分するため、供給側の「人口許容度予測サブシステム」と需要配分の「人口再配分サブシステム」を構築する必要があり、評価関数に用いる指標として、「中心市街地人口回復量」、「中心市街地における住宅の土地利用混在度」、「中心市街地における土地利用特化度」があり、「立地パターンの選別システム」により評価指標を評価し、最適な立地パターンを決める。

#### 4.3 各サブシステムについて

##### a) 開発量の初期配分サブシステム

「開発量の初期配分システム」は、開発量をシナリオで設定し、住宅・商業・工業の立地モデルから求められた各空間単位のポテンシャルの評価値を比例に立地可能な面積を確定する。さらに、立地可能な面積に基づいて許容可能な居住人口と雇用人口を推算し、定住人口、雇用人口の可能な増加量を人口許容度として計算する。人口許容度を人口再配分サブシステムに導入し、新しい需要配分の制約条件として用いる。金沢市の事例研究では、国勢調査区を空間単位にし、各空間単位の供給可能な居住人口、商業、工業の雇用人口の許容度を提示することができるサブシステムとして開発を行った。

##### b) 人口再配分サブシステム

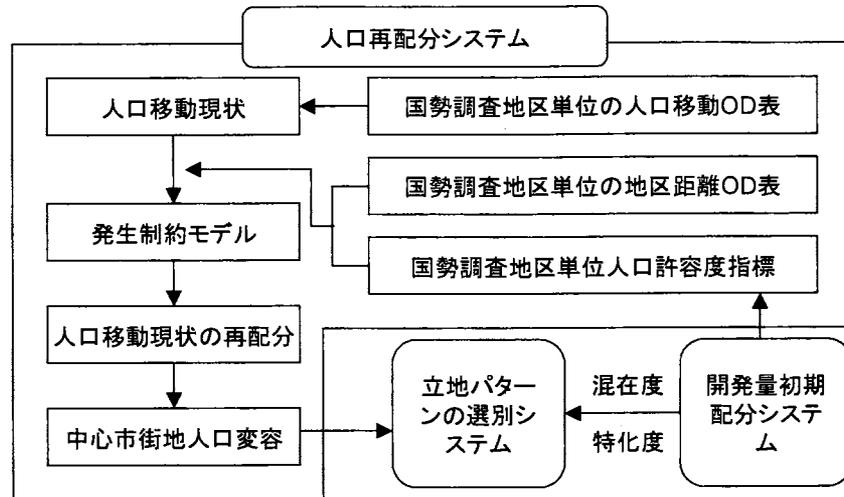


図-4 人口再配分サブシステム

本研究の人口再配分サブシステムのコアは、空間相互作用モデルである。空間相互作用モデルを用いて雇用人口の分布を推測でき、中心市街地への人口変容を提示することができる。開発量の初期配分システムから求めた国勢調査区の人口許容度を発生制約モデルの制約条件として用い、エントロピー最大化理論によって国勢統計区間に人口移動の流入、流出を推測できる。事例地区での検証では、金沢市統計に提示した各調査区の人口移動 OD 表、GIS で求めた各地区の距離を加えて空間相互作用モデルに導入し、パラメータを求めた。そして、求めたパラメータを用いて、新しい雇用人口の居住地を提示することが可能となり、人口の変容を予測できる。

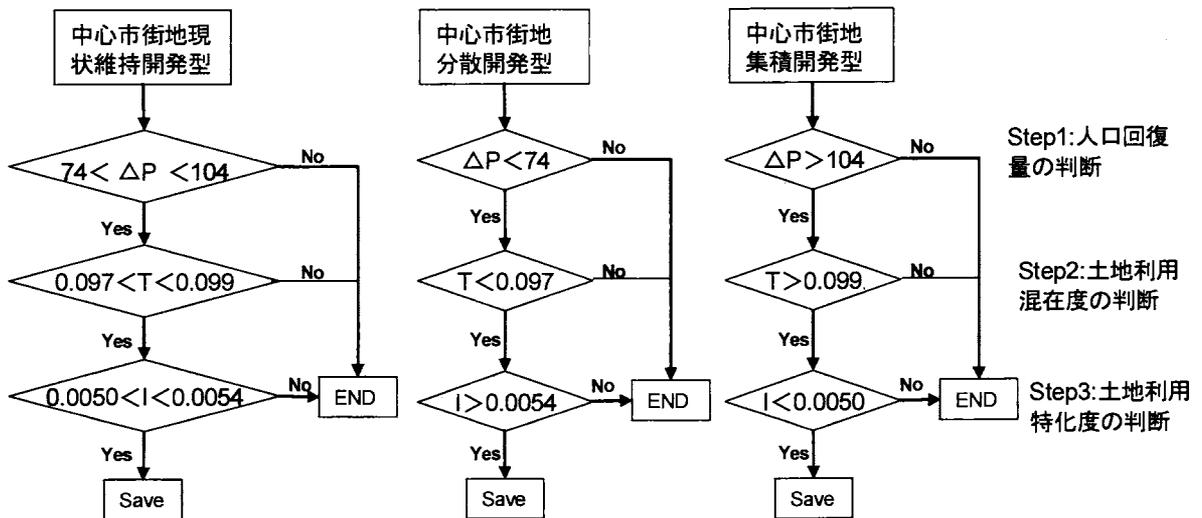


図-6 立地パターンの選別システム

c) 立地パターンの選別システム

図-6 のようにシナリオに基づき、それぞれの可能な立地パターンを、配分した人口か

ら評価するには、中心市街地人口密度と土地利用混在度、土地利用特化度を評価指標として用いた。なお、GA を用いたシナリオに相応しい最適な立地パターンを探すことが可能である。

## 5. 遺伝的アルゴリズムの適用方法

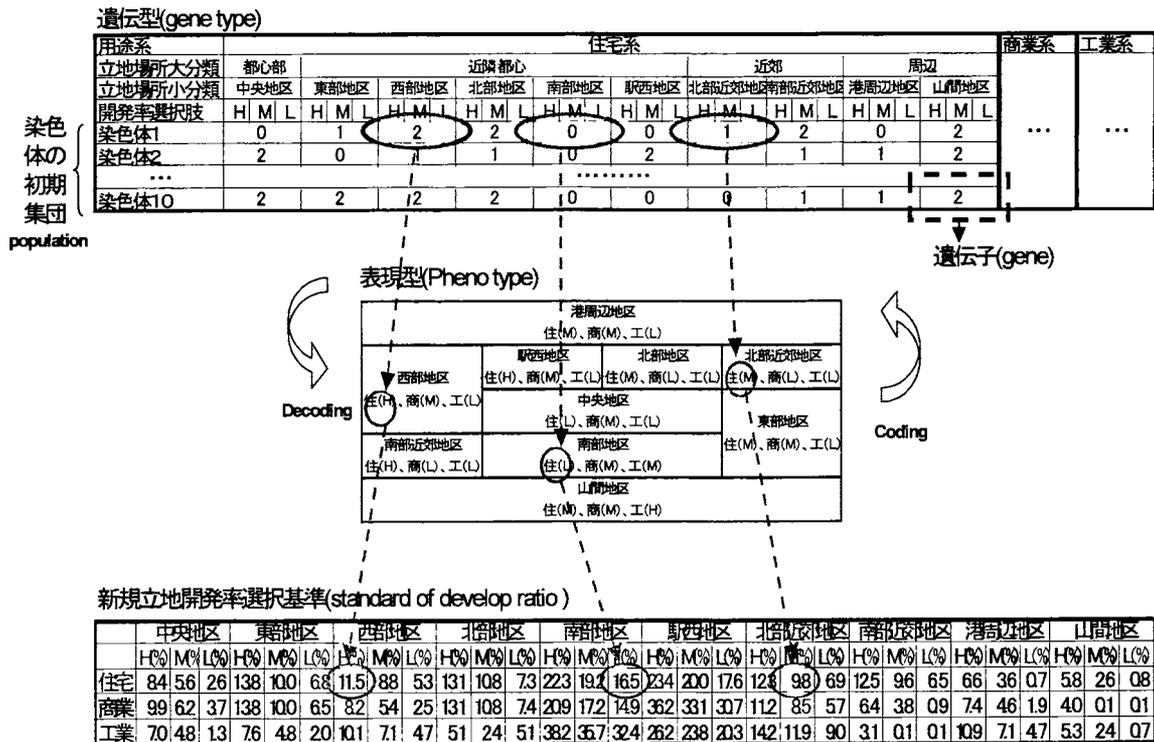


図-7 表現型から遺伝型へのコーディング

### 5.1 遺伝子へのコーディング

GAでは、表現型と遺伝型という専門用語がある。本研究では、各地区における住宅、商業、工業の新規立地開発率の組み合わせを立地パターンとし、その立地パターンが表現型という。遺伝子(0, 1, 2)で、新規立地開発率を代表するものは遺伝型という。本研究の表現型から遺伝型へのコーディングは図-7のように示している。

本研究では、海道ら(2001)が提案した中心市街地活性化関連の開発コントロールの条件を参考に、新規立地開発率を基準に開発率の組み合わせを遺伝子とする。図-7のように地区別、用途別に開発率を三段階に分け、高開発率をH(High development)、中開発率をM(Mediate development)、低開発率をL(Low development)とする。

### 5.2 評価関数と開発シナリオ

本研究の評価関数は、一つの数式だけでなく、シナリオに基づき、何種類の評価指標を用いて作成した評価ルールである。

$$\begin{aligned}
 \text{Senario1} &= \{x \mid \Delta P_n(x) > 104 \text{ and } T_n^m(x) > 0.09974 \text{ and } I_n^m(x) < 0.005098\} \\
 \text{Senario2} &= \{x \mid \Delta P_n(x) < 74 \text{ and } T_n^m(x) < 0.09762 \text{ and } I_n^m(x) > 0.00546\} \\
 \text{Senario3} &= \{x \mid 104 < \Delta P_n(x) < 74 \text{ and } 0.09762 < T_n^m(x) < 0.09974 \text{ and } 0.005097 < I_n^m(x) < 0.005465\}
 \end{aligned}$$

シナリオに基づく立地パターンの選別については、中心市街地のコンパクト性の評価を行う方法を取っているため、中心市街地人口変化量、住宅の土地利用混在度、工業の土地利用特化度を評価指標として用いて立地パターン評価を行い、最適なパターンを選別する。

a) 評価指標 1 : 中心市街地人口変化量

$$\Delta P_n = F(M_{OD}, D_{OD}, AL_n)$$

$\Delta P_n$ : n 地区における人口変動量

$F(x, y, z)$ : 空間相互作用モデルの発生制約関数

$M_{OD}$ : 人口移動 OD 表

$D_{OD}$ : 地区距離 OD 表

$AL_n$ : n 地区における人口許容度

$N$ : 国勢調査統計地区 1 ~ 30

b) 評価指標 2 : 住宅の土地利用混在度

$$I_i^3(AN, \overline{AN}) = \left| \frac{AN_i^3}{AN_i^3} - \frac{AN_i^3}{AN_i^3} \right|$$

$T_n^m$ : n 地区における用途 m の土地利用混在度

$AN_n^m$ : n 地区における用途 m の面積

土地利用混在度とは、ある用途が占有する全床面積の割合で評価する。

c) 評価指標 3 : 土地利用特化度

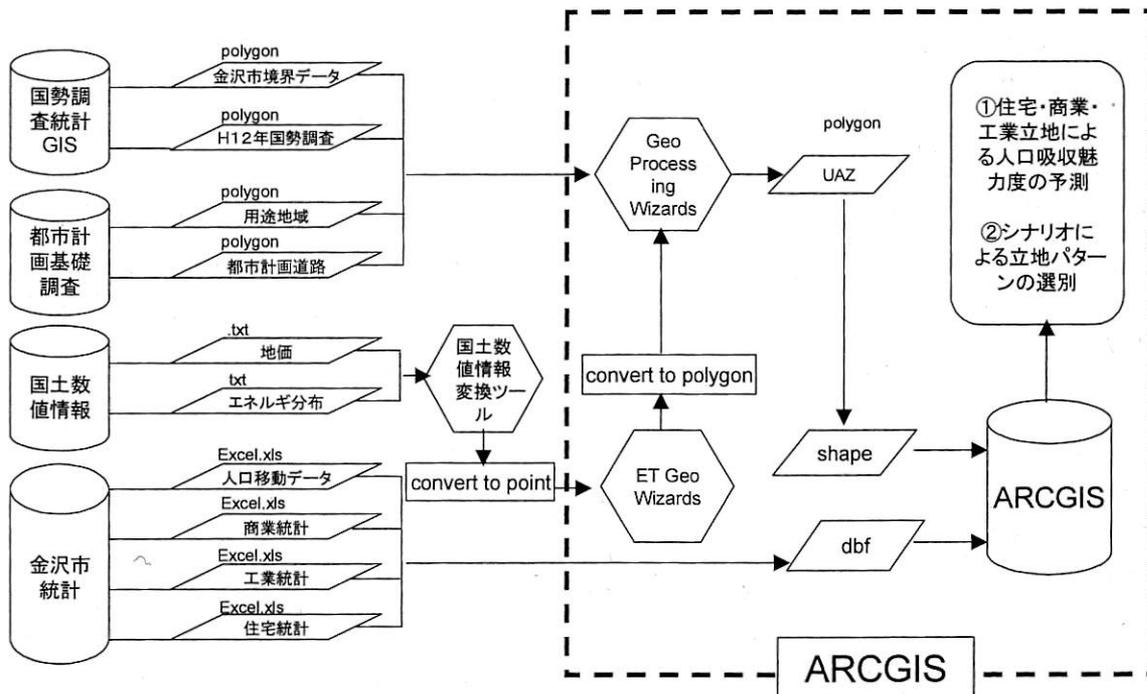
$$\text{居住と商業の混在度 } x = \begin{cases} \frac{AN_n^1}{AN_n^2} & \left( \text{if } \frac{AN_n^1}{AN_n^2} \leq 1 \right) \\ \frac{AN_n^2}{AN_n^1} & \left( \text{if } \frac{AN_n^1}{AN_n^2} \geq 1 \right) \end{cases}$$

$$\text{居住と工業の混在度 } y = \begin{cases} \frac{AN_n^1}{AN_n^3} & \left( \text{if } \frac{AN_n^1}{AN_n^3} \leq 1 \right) \\ \frac{AN_n^3}{AN_n^1} & \left( \text{if } \frac{AN_n^1}{AN_n^3} \geq 1 \right) \end{cases}$$

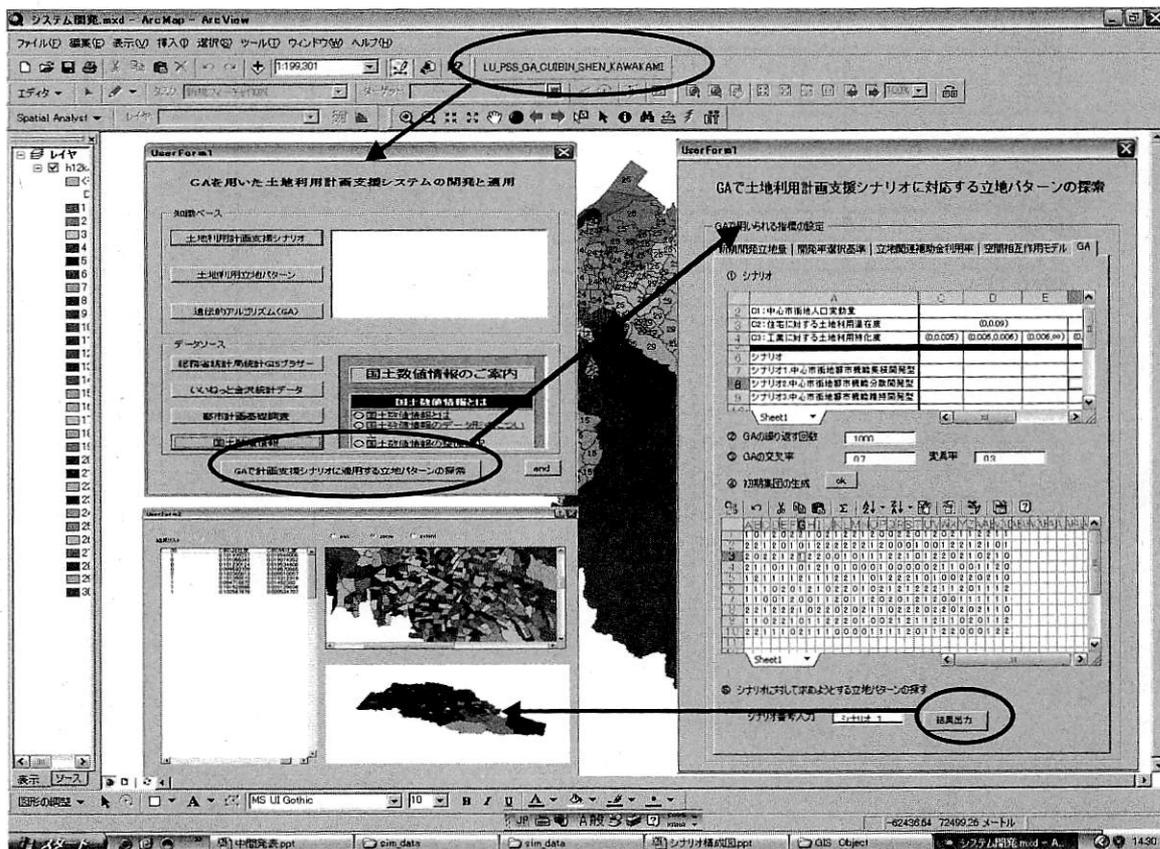
$$\text{居住と商業・工業の混在度 } T = X + Y$$

土地利用特化度は、土地利用混在度から求められる。

## 6. 支援システムのデータベースの構築



図—8 システムのデータ構造



図—9 システムのインターフェース

土地利用計画支援システムの構築に用いる地図・属性データについては、①国勢調査、②国土数値情報、③都市計画基礎調査、④市内の住宅統計、商業統計、工業統計などがあり、システムに導入するためには、GIS上でUAZ（標準分析単位）のデータベースを構築した。システム開発には、ArcGIS VBAとExcel VBAを用いて、利用者に理解しやすく操作しやすいものを目指して、図-9のようなインターフェースを構築した。本研究の開発シナリオ、立地パターン、関連情報をGIS\_VBAユーザフォームで提示し、GAパラメータの設定、立地パターンの選別および出力をExcel\_VBAユーザフォームで表示することを採用した。ExcelとGISの連携を行った。

## 7. 土地利用計画支援システムの適用

本研究は、完結したものではないが、金沢市を事例として、システムを適用した結果を下記のように、出力したものを紹介する。

### (1) 中心市街地集積開発型シナリオ1に適用する立地パターン

表-1 シナリオ1の最適な染色体

| 住宅系 |   |   |   |   |   |   |   |   |    | 商業系 |   |   |   |   |   |   |   |   |    | 工業系 |   |   |   |   |   |   |   |   |    | 混在度   | 特化度    | 人口回復量 | 誤差  |
|-----|---|---|---|---|---|---|---|---|----|-----|---|---|---|---|---|---|---|---|----|-----|---|---|---|---|---|---|---|---|----|-------|--------|-------|-----|
| 1   | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 1   | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 1   | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |       |        |       |     |
| 0   | 0 | 1 | 2 | 0 | 1 | 2 | 2 | 2 | 2  | 0   | 0 | 2 | 1 | 1 | 2 | 1 | 2 | 0 | 2  | 2   | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0  | 0.102 | 0.0043 | 174   | 100 |

表-2 シナリオ1の最適な立地パターン

| 用途系 | 住宅系        |           |           |             |             |             |             |             |           |           |
|-----|------------|-----------|-----------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-----------|-----------|
| 地区  | 1          | 2         | 3         | 4           | 5           | 6           | 7           | 8           | 9         | 10        |
| 染色体 | 0          | 0         | 1         | 2           | 0           | 1           | 2           | 2           | 2         | 2         |
| 開発率 | 2%~<br>3%  | 6%~<br>7% | 8%~<br>9% | 13%~<br>14% | 16%~<br>17% | 20%~<br>21% | 12%~<br>13% | 12%~<br>13% | 6%~<br>7% | 5%~<br>6% |
| 用途系 | 商業系        |           |           |             |             |             |             |             |           |           |
| 地区  | 1          | 2         | 3         | 4           | 5           | 6           | 7           | 8           | 9         | 10        |
| 染色体 | 2          | 0         | 0         | 2           | 1           | 1           | 2           | 1           | 2         | 0         |
| 開発率 | 9%~<br>10% | 6%~<br>7% | 2%~<br>3% | 13%~<br>14% | 17%~<br>18% | 33%~<br>34% | 11%~<br>12% | 3%~<br>4%   | 7%~<br>8% | 3%~<br>4% |
| 用途系 | 工業系        |           |           |             |             |             |             |             |           |           |
| 地区  | 1          | 2         | 3         | 4           | 5           | 6           | 7           | 8           | 9         | 10        |
| 染色体 | 2          | 2         | 0         | 0           | 0           | 0           | 0           | 0           | 0         | 0         |
| 開発率 | 7%~<br>8%  | 7%~<br>8% | 4%~<br>5% | 5%~<br>6%   | 33%~<br>34% | 20%~<br>21% | 8%~<br>9%   | 0%~<br>1%   | 4%~<br>5% | 0%~<br>1% |

| ID        | 流出       | 流入       | 差        |
|-----------|----------|----------|----------|
| 1         | 8.972362 | 489.66   | 480.6876 |
| 2         | 321      | 114.6452 | -206.355 |
| 3         | 234      | 223.0404 | -10.9596 |
| 4         | 146      | 123.1269 | -22.8731 |
| 5         | 412      | 476.5547 | 64.55474 |
| 6         | 380      | 170.8399 | -209.16  |
| 7         | 176      | 179.655  | 3.655008 |
| 8         | 562      | 444.7975 | -117.202 |
| 9         | 638      | 240.613  | -397.387 |
| 10        | 389      | 277.2516 | -111.748 |
| 11        | 170      | 201.1491 | 31.14911 |
| 12        | 525      | 590.1907 | 65.19074 |
| 13        | 399      | 336.0902 | -62.9098 |
| 14        | 683      | 1587.874 | 904.8744 |
| 15        | 660      | 965.1172 | 305.1172 |
| 16        | 425      | 602.2749 | 177.2749 |
| 17        | 1088     | 1294.483 | 206.483  |
| 18        | 609      | 459.839  | -149.161 |
| 19        | 412      | 489.6931 | 77.69308 |
| 20        | 572      | 605.9106 | 33.91056 |
| 21        | 725      | 864.7434 | 139.7434 |
| 22        | 761      | 550.3699 | -210.63  |
| 23        | 1186     | 425.9902 | -760.01  |
| 24        | 465.5376 | 502.3231 | 36.78556 |
| 25        | 195      | 189.5008 | -5.49916 |
| 26        | 467      | 167.9357 | -299.064 |
| 27        | 387      | 532.7226 | 145.7226 |
| 28        | 289      | 274.2073 | -14.7927 |
| 29        | 196      | 263.5249 | 67.52492 |
| 30        | 283      | 115.8479 | -167.152 |
| 中心市街地人口変容 |          |          | 174.6068 |

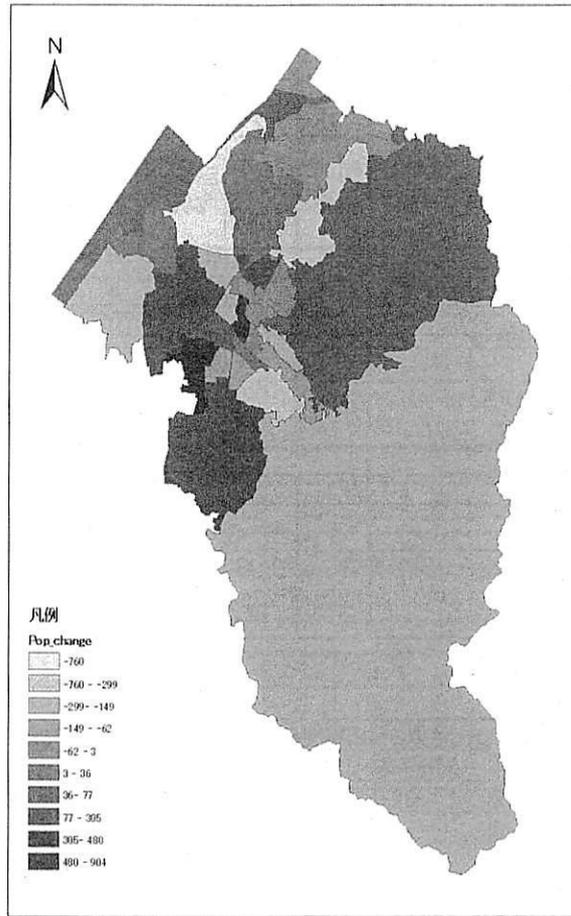


図-10 シナリオ1による人口流動傾向

(2) 中心市街地分散開発型シナリオ2に適用する立地パターン。

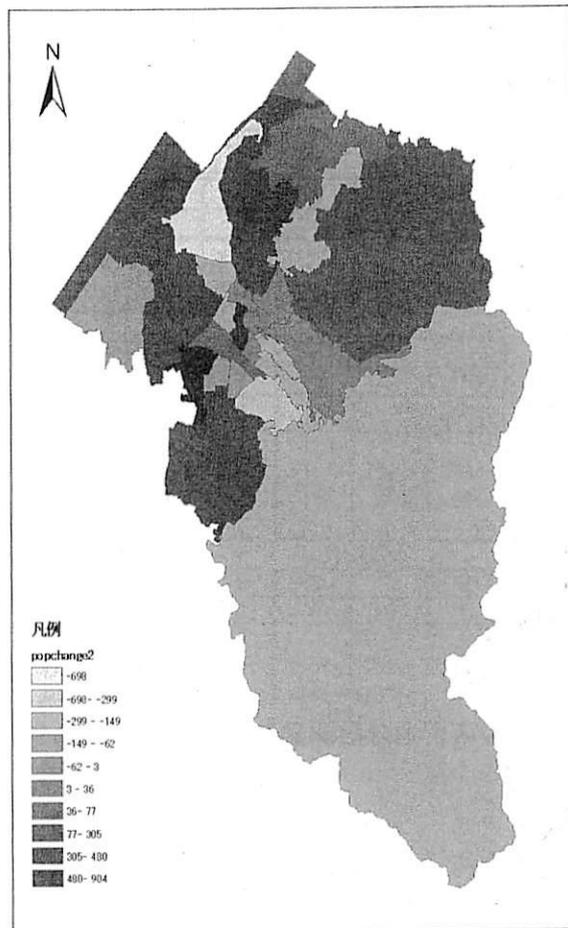
表-3 シナリオ2の最適な染色体

| 住宅系 |   |   |   |   |   |   |   |   |    | 商業系 |   |   |   |   |   |   |   |   |    | 工業系 |   |   |   |   |   |   |   |   |    | 混在度   | 特化度   | 人口回復量 | 誤差  |
|-----|---|---|---|---|---|---|---|---|----|-----|---|---|---|---|---|---|---|---|----|-----|---|---|---|---|---|---|---|---|----|-------|-------|-------|-----|
| 1   | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 1   | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 1   | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 0.096 | 0.059 | 23    | 200 |
| 2   | 2 | 0 | 2 | 2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0  | 0   | 2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0  | 0   | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0  |       |       |       |     |

表—4 シナリオ2の最適な立地パターン

| 用途系 | 住宅系       |                 |           |                 |                 |                 |                 |           |           |           |
|-----|-----------|-----------------|-----------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------|-----------|-----------|
| 地区  | 1         | 2               | 3         | 4               | 5               | 6               | 7               | 8         | 9         | 10        |
| 染色体 | 2         | 2               | 0         | 2               | 2               | 0               | 0               | 0         | 0         | 0         |
| 開発率 | 8%~<br>9% | 13%<br>~<br>14% | 5%~<br>6% | 13%<br>~<br>14% | 22%<br>~<br>23% | 17%<br>~<br>18% | 6%~<br>7%       | 6%~<br>7% | 0%~<br>1% | 0%~<br>1% |
| 用途系 | 商業系       |                 |           |                 |                 |                 |                 |           |           |           |
| 地区  | 1         | 2               | 3         | 4               | 5               | 6               | 7               | 8         | 9         | 10        |
| 染色体 | 0         | 2               | 0         | 0               | 0               | 0               | 0               | 0         | 0         | 0         |
| 開発率 | 4%~<br>5% | 13%<br>~<br>14% | 2%~<br>3% | 7%~<br>8%       | 17%<br>~<br>18% | 30%<br>~<br>31% | 5%~<br>6%       | 0%~<br>1% | 1%~<br>2% | 0%~<br>1% |
| 用途系 | 工業系       |                 |           |                 |                 |                 |                 |           |           |           |
| 地区  | 1         | 2               | 3         | 4               | 5               | 6               | 7               | 8         | 9         | 10        |
| 染色体 | 0         | 0               | 0         | 0               | 0               | 0               | 0               | 0         | 0         | 0         |
| 開発率 | 1%~<br>2% | 1%~<br>2%       | 4%~<br>5% | 5%~<br>6%       | 32%<br>~<br>33% | 20%<br>~<br>21% | 11%<br>~<br>12% | 0%~<br>1% | 4%~<br>5% | 0%~<br>1% |

| ID         | 流入      | 流出       | 差        |
|------------|---------|----------|----------|
| 1          | 6.03866 | 438.6979 | 432.6592 |
| 2          | 321     | 112.8785 | -208.121 |
| 3          | 234     | 181.9209 | -52.0791 |
| 4          | 146     | 105.7692 | -40.2308 |
| 5          | 412     | 415.3168 | 3.316783 |
| 6          | 380     | 152.5922 | -227.408 |
| 7          | 176     | 154.5768 | -21.4232 |
| 8          | 562     | 393.0554 | -168.945 |
| 9          | 638     | 230.6921 | -407.308 |
| 10         | 389     | 268.6693 | -120.331 |
| 11         | 170     | 200.8905 | 30.89051 |
| 12         | 525     | 556.6061 | 31.60614 |
| 13         | 399     | 305.1036 | -93.8964 |
| 14         | 683     | 1445.807 | 762.8068 |
| 15         | 660     | 924.9316 | 264.9316 |
| 16         | 425     | 587.6436 | 162.6436 |
| 17         | 1088    | 1280.738 | 192.7381 |
| 18         | 609     | 512.4547 | -96.5453 |
| 19         | 412     | 547.121  | 135.121  |
| 20         | 572     | 661.477  | 89.47704 |
| 21         | 725     | 954.467  | 229.467  |
| 22         | 761     | 604.1025 | -156.897 |
| 23         | 1186    | 487.6835 | -698.316 |
| 24         | 465.382 | 561.1106 | 95.72859 |
| 25         | 195     | 212.2983 | 17.29832 |
| 26         | 467     | 190.6859 | -276.314 |
| 27         | 387     | 602.7481 | 215.7481 |
| 28         | 289     | 289.6497 | 0.649729 |
| 29         | 196     | 261.0545 | 65.05446 |
| 30         | 283     | 116.2964 | -166.704 |
| 中心市街地の人口変容 |         |          | 22.64372 |



図—11 シナリオ2の人口流動傾向

(3) 中心市街地現状維持開発型シナリオ3に適用する立地パターン。

表-5 シナリオ3の最適な染色体

| 住宅系 |   |   |   |   |   |   |   |   |    | 商業系 |   |   |   |   |   |   |   |   |    | 工業系 |   |   |   |   |   |   |   |   |    | 混在度   | 特化度   | 人口回復量 | 誤差  |
|-----|---|---|---|---|---|---|---|---|----|-----|---|---|---|---|---|---|---|---|----|-----|---|---|---|---|---|---|---|---|----|-------|-------|-------|-----|
| 1   | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 1   | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 1   | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 0.099 | 0.005 | 44    | 130 |
| 0   | 0 | 0 | 0 | 2 | 0 | 1 | 2 | 0 | 1  | 1   | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0  | 0   | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0  |       |       |       |     |

表-6 シナリオ3の最適な立地パターン

| 用途系 | 住宅系    |       |       |       |      |      |        |       |       |       |
|-----|--------|-------|-------|-------|------|------|--------|-------|-------|-------|
| 地区  | 1      | 2     | 3     | 4     | 5    | 6    | 7      | 8     | 9     | 10    |
| 染色体 | 0      | 0     | 0     | 0     | 2    | 0    | 1      | 2     | 0     | 1     |
| 開発率 | 2%~3%  | 7%~8% | 5%~6% | 7%~8% | 22%~ | 17%~ | 9%~10% | 12%~  | 0%~1% | 2%~3% |
| 用途系 | 商業系    |       |       |       |      |      |        |       |       |       |
| 地区  | 1      | 2     | 3     | 4     | 5    | 6    | 7      | 8     | 9     | 10    |
| 染色体 | 1      | 0     | 0     | 0     | 0    | 0    | 0      | 0     | 0     | 0     |
| 開発率 | 9%~10% | 6%~7% | 2%~3% | 7%~8% | 14%~ | 30%~ | 6%~7%  | 0%~1% | 1%~2% | 0%~1% |
| 用途系 | 工業系    |       |       |       |      |      |        |       |       |       |
| 地区  | 1      | 2     | 3     | 4     | 5    | 6    | 7      | 8     | 9     | 10    |
| 染色体 | 0      | 0     | 0     | 0     | 0    | 0    | 0      | 0     | 0     | 0     |
| 開発率 | 1%~2%  | 2%~3% | 4%~5% | 5%~6% | 33%~ | 20%~ | 8%~9%  | 0%~1% | 4%~5% | 0%~1% |

| ID         | 流出        | 流入       | 差        |
|------------|-----------|----------|----------|
| 1          | 7,046,363 | 447,563  | 440,516  |
| 2          | 321       | 115,186  | -205,814 |
| 3          | 234       | 193,582  | -40,417  |
| 4          | 146       | 112,199  | -33,805  |
| 5          | 412       | 439,276  | 27,276   |
| 6          | 380       | 153,492  | -226,508 |
| 7          | 176       | 150,070  | -25,929  |
| 8          | 562       | 404,543  | -157,457 |
| 9          | 638       | 236,930  | -401,07  |
| 10         | 389       | 267,872  | -121,128 |
| 11         | 170       | 195,726  | 25,726   |
| 12         | 525       | 557,004  | 32,004   |
| 13         | 399       | 293,918  | -105,082 |
| 14         | 683       | 1475,059 | 792,058  |
| 15         | 660       | 940,471  | 280,471  |
| 16         | 425       | 602,959  | 177,959  |
| 17         | 1088      | 1298,788 | 210,788  |
| 18         | 609       | 493,592  | -115,407 |
| 19         | 412       | 521,444  | 109,444  |
| 20         | 572       | 645,072  | 73,072   |
| 21         | 725       | 915,141  | 190,141  |
| 22         | 761       | 574,758  | -186,242 |
| 23         | 1186      | 465,639  | -720,361 |
| 24         | 465,855   | 557,783  | 91,928   |
| 25         | 195       | 214,961  | 19,961   |
| 26         | 467       | 186,917  | -280,082 |
| 27         | 387       | 588,344  | 201,344  |
| 28         | 289       | 299,739  | 10,739   |
| 29         | 196       | 282,653  | 86,653   |
| 30         | 283       | 127,354  | -155,646 |
| 中心市街地の人口変容 |           |          | 43,296   |

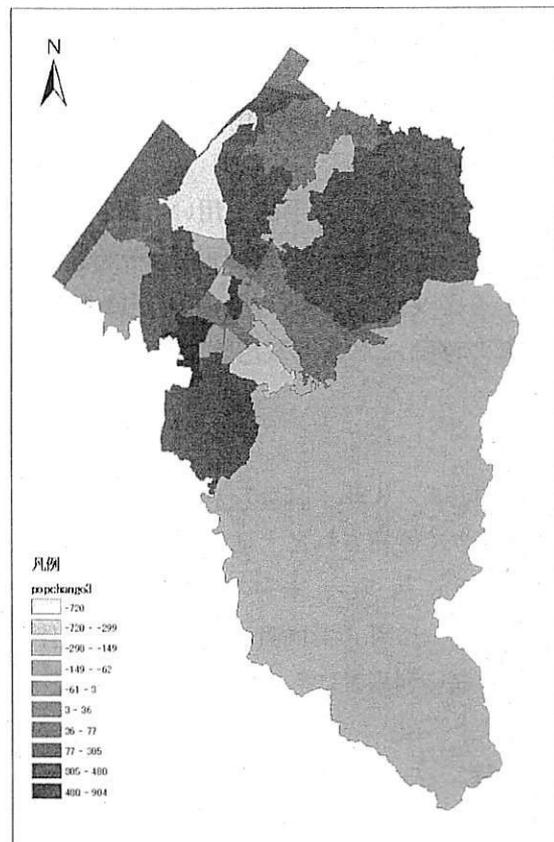


図-12 シナリオ3による人口流動傾向

## 8. まとめ

本研究ではマクロの視点から、都市開発の立地とその開発量は中心市街地の人口変容にどれほど影響を与えるかについて検証しようとしている。都市開発の立地には様々なパターンがある。そのため、都心地区への立地や郊外地区への立地をどのように行うか、また、各地区にどれほど立地させるべきかなどについて、計画段階において検討する必要がある。本研究で立地パターンに注目し、金沢市を事例地区として立地パターンのシナリオを作成し、具体的には、中心市街地における集積開発型、中心市街地における分散開発型、中心市街地における現状維持開発型などのシナリオを設定した。それぞれのシナリオに基づいて、構築したシステムを用いて、立地パターンの最適化を行う。

本研究では、立地パターンの最適化が重要である。最適化の方法について、遺伝的アルゴリズム (GA) を用いて、評価指標として中心市街地の人口回復量、住宅の土地利用混在度、工業の土地利用特化度を用いた。シナリオに相応しい立地パターンを探ることで、最適な都市開発の立地を検証しようとした。

また、事例研究のため、GIS を用いて、金沢市のデータベースを構築した。データについて、金沢市の住宅統計、商業統計、工業統計データ、国土数値情報データ、都市計画基礎調査データ、国勢調査データなどを用いている。様々な形式を持つデータを統合し、Excel、GIS などのソフトを用いて解析機能を拡張した。システム開発のプログラミング言語は ArcGIS VBA と Excel VBA である。

計画担当者は、このシステムを、中心市街地人口回復の予測や土地利用構成の変化などを明確にすることで、都市開発の政策意思決定に用いられるツールとして利用できると考えている。

本研究では GA の手法を用い、計画支援システムの開発を行い、全体の構成を検討したといえるが、数理モデルの合理性とその相互関連については検討していない。今後の課題として検討する必要がある。なお、中心市街地人口移動について検証したが、人口移動に関連する自動車の移動による大気汚染、エネルギー消費の面からも研究内容を充実させる必要がある。

## 注釈

(1) What if (URL: <http://www.what-if-pss.com>)

アメリカで開発された土地利用計画支援システムである。特徴については a) GIS を用い、開発シナリオに基づき、未来の土地利用パターン及び人口、雇用の予測に関する土地利用計画支援システム。b) 都市計画者には都市成長に伴う土地利用の変化を把握しやすい。c) 専門知識を持っていない利用者にも政策提案、計画などが可能となる。

## 参考文献

1) 植竹俊光・川上光彦・宇津徳浩・亀山博司(2005), 「金沢市のまちなか定住促進事業の実態と評価に関する調査研究」都市計画論文集, No. 40-3, pp. 589-594

- 2) 海道清信 (2001), 「人口密度指標を用いた都市の生活環境評価に関する研究」日本都市計画学会学術研究論文集, No. 36, pp. 421-426
- 3) 青木義次・村岡直人 (1996), 「遺伝的アルゴリズムを用いた地域施設配置手法」日本建築学会計画系論文集, No. 484, pp. 129-135
- 4) 大貝彰・五十嵐 (2003), 「セル・オートマトンを用いた土地利用政策の影響を考慮した人口・従業者分布予測モデル」建築学会計画系論文集, No. 567, pp. 67
- 5) 堀田文雄・小林祐司 (1999), 「GIS を用いた商業施設の立地分析」建築学会大会学術講演梗概集, F-1 分冊, pp. 705-706

## 第 6 章 WEBGIS を用いた参加型計画支援システムの開発と観察情報の信頼性～PC 端末・GPS 対応携帯電話を用いた観察情報の収集について～

### 1. 研究の背景と目的

近年、自治体が計画策定にあたり、住民参加を推進し、住民参加型のまちづくりが様々な形で行われるようになった。また、ブロードバンドの登場により大容量データ通信が可能になり、住民によく利用されている PC や携帯端末からの参加もできるようになれば、住民参加の可能性と成果が大きく期待できる。

現在、国や多くの自治体では、都市計画基礎調査や、国勢調査などの統計データや DM 地形図が整備され、長年にわたるデータの蓄積がある。しかし、これらの空間データの整備には時間や労力を要することから、調査後のデータ公開までに時間がかかるため、住民参加型の都市計画にとっては、リアルタイムの情報ではないという問題がある。そこで、WEBGIS を利用し、計画参加者自らがリアルタイムで情報提供を行い、ワークショップにおいて参加型での計画策定を行った事例がみられる。

多くの既存の関連研究では、住民参加の意見収集を中心にシステムの構築が検討されてきたと思われる。しかし、収集した情報の正確さと精度の確認を専門家により行う必要性があり、既存研究では、収集した情報の信頼性が十分に検討されたといえない。例えば、本間ら (2002) <sup>(1)</sup> は、インターネットを利用して、まちづくりにおける意見の収集、情報の公開・共有を支援するシステムを提案している。また、山下ら(2001) <sup>(2)</sup> も総合計画の策定、ワークショップ支援のために、システムの構築を行っている。しかし、これらの研究では WEBGIS を用いずに、非専門家に使いやすいことを目的とし、GIS 以外のソフトを用いて WEBGIS のようなシステム構築 (例えば、Flash の利用・Micromedia 社 <sup>1)</sup>) を行っている。これは参加者に馴染みやすいインターフェースを構築できるが、住民から収集した情報に、正確な地理的位置情報がなく、行政が構築した各分野の GIS データベース(以下、行政 GIS)との照合ができず、収集した情報の計画的適用には限界がある。本研究では、観察情報を、住民が参加型の計画支援システムを用いてインターネットの各種端末から地理的位置情報に合わせて入力した現地観察の文字説明、写真などのデータとして定義している。観察情報の信頼性とは、観察情報の場所のずれ、真偽及びその計画適用の範囲を指している。本稿の目的は、参加型の計画支援システムを構築し、WEBGIS、GPS などの方法により、地理的位置情報に合わせた入力機能を提供し、観察情報の信頼性を考察する。

### 2. 研究の方法

まず、システムに必要な機能を整理する必要がある。観察情報と行政 GIS を相互参照するために、WEBGIS の位置情報が行政 GIS と一致する必要がある。そのためには、利用するデータが同じ座標系を有することや、共通のデータ形式をサポートしていることが必要となる。

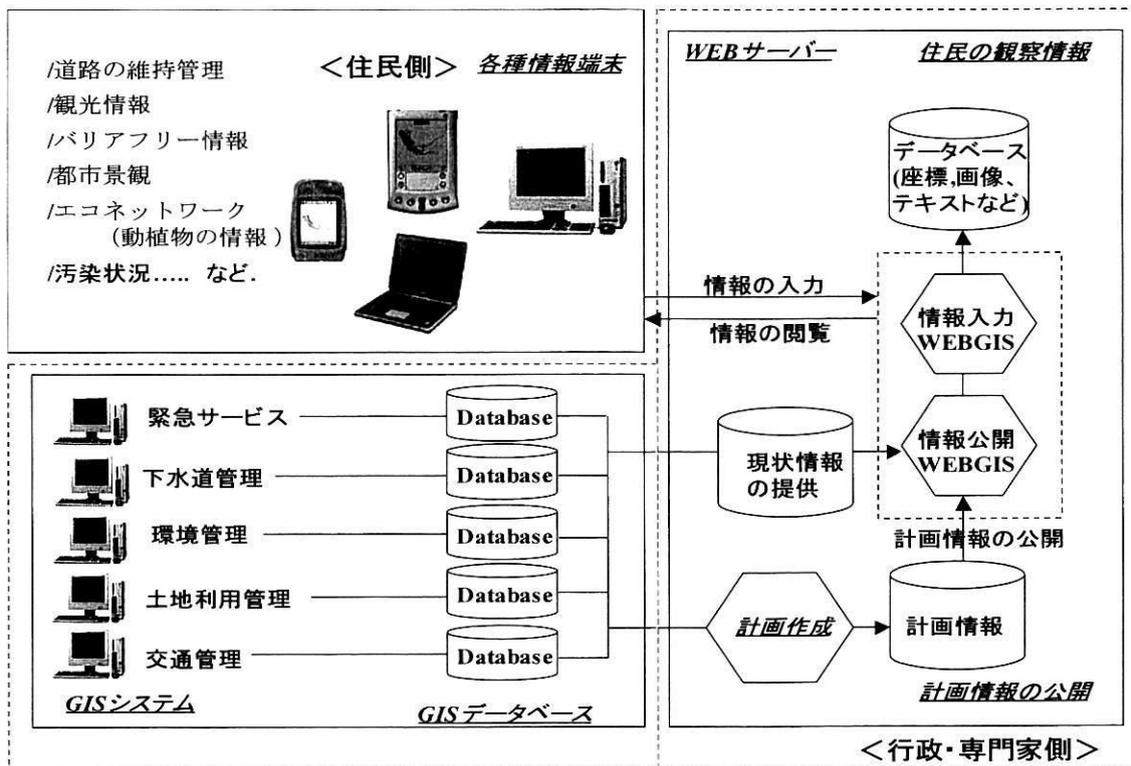
そこで、本研究では、地理的位置情報を管理できる WEBGIS のフリーソフトである

Jshape<sup>2)</sup> を利用する。Jshape は、本研究で使われる ArcGIS のシェープファイルに対応しており、行政 GIS と位置情報の参照が容易にできるという利点がある。Jshape により、シェープファイルを Web 上で提供し、これを観察情報の入力ための地図データとして利用する。なお、Jshape API により、Java を用いたカスタマイズにより、必要な機能を追加することができ、各種端末から入力したデータを共有することができる。

そして、PC 端末・GPS 対応携帯電話に対応してシステムを構築した。観察情報の信頼性を把握するために、Web 上においてシステムを公開し、学生実験により、システムが提供した入力機能と端末の種類によって観察情報を分析する。観察情報の信頼性は下記の側面から考察した。第一には、入力内容の検証であり、計画的価値があるかないか、矛盾点があるかないか。第二には、入力した場所のずれがあるかないか。第三には、どのようなスケールの計画で正確に扱えるか。すなわち、観察情報の信頼性を入力の内容(計画の意味合い、矛盾点)と場所のずれ、参考できる空間データの精度と計画的レベルという 3 つの側面から考察した。

### 3. システムの概要

本研究では、既存の行政 GIS と連携する参加型の計画支援システムを図 1 のように構築した。



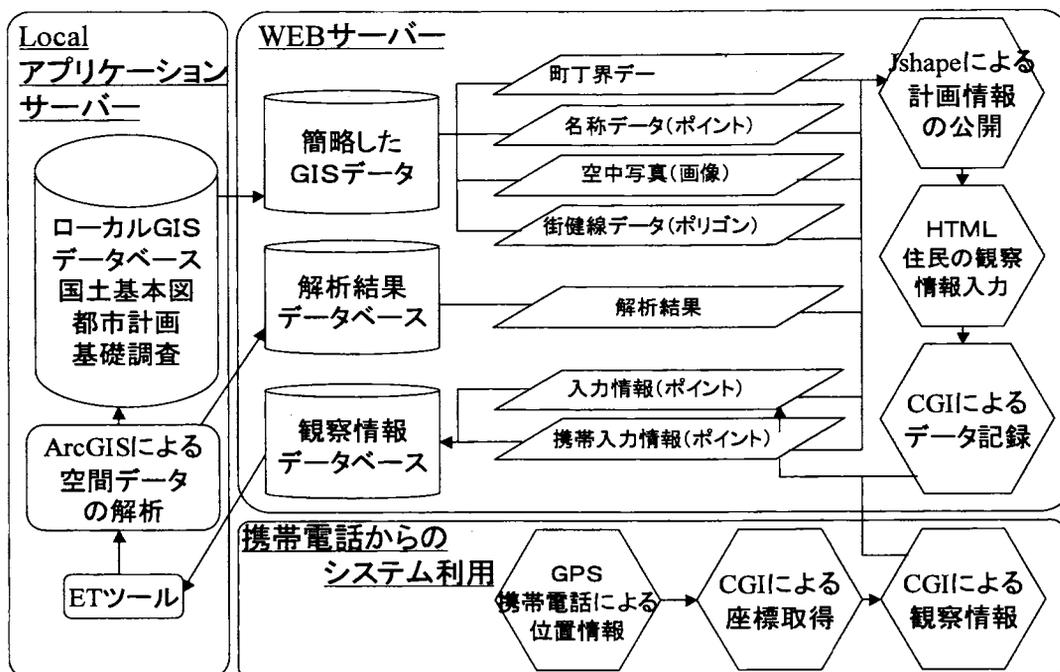


図2 都市計画支援を中心とするシステムの概要

### 3.1 システムにおけるデータの提供について

図1のモデルに基づいて、金沢市における都市計画管理システムの行政GISを利用して、図2に示すシステムを構築した。このシステムで用いた行政GISは、金沢市DM地形図である国土基本図と、これをベースとした都市計画基礎調査のデータである。WEBGISはWindows2000サーバーでJshapeにより構築され、行政GISのシェープファイルを公開することができる。また、ローカルのArcGISは行政GISと観察情報を取り込み、共有することができる。

表1 使用した行政GISデータ

| データ   | 名称  | 属性            | 備考                                  | 簡略化前<br>(shp/dbf) | 表示<br>時間 | 簡略化後<br>(shp/dbf) | 表示<br>時間 |
|-------|-----|---------------|-------------------------------------|-------------------|----------|-------------------|----------|
| 国土基本図 | 街健線 | ポリゴン<br>(ベクタ) | 金沢市より提供<br>(1997年<br>作成)            | 3.5M/1.7M         | 約30<br>秒 | 160KB/70KB        | 約10<br>秒 |
|       | 町丁界 | ライン<br>(ベクタ)  |                                     | 40KB/7KB          |          | 10KB/2.5KB        |          |
|       | 名称  | ポイント<br>(ベクタ) |                                     | 4KB/20KB          |          | 1.5KB/6KB         |          |
| 空中写真  | -   | ラスタ画像         | 金沢市より提供<br>(1997年、<br>縮尺<br>1/2500) | JPG形式:<br>4M      | 約7<br>秒  | JPG形式:<br>100KB   | 約3<br>秒  |

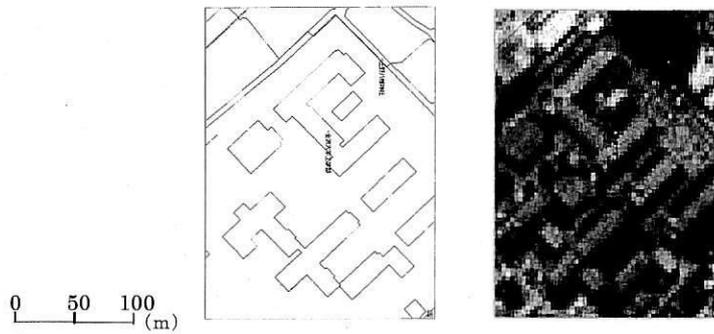


図3 地図の比較（国土基本図と空中写真）

表1にWEBGISで公開したデータの内容を示す。本研究で扱った国土基本図は、平面直角座標系、メートル単位で管理されている。WEBGISにおいても、メートル単位で平面直角座標を利用する。しかし、AU携帯電話のGPS対応携帯電話により取得できる位置情報は、経緯度座標であるが、CGIを通して座標を変換し、観察情報と合わせて保存することで、携帯端末からの観察情報も共有できる。さらに、ラスタデータである空中写真でも、座標を与えることによりベクタデータと重ねることができる。

しかし、図3のようにラスタデータの場合、拡大を行うと、一定の範囲までは精度を保つが、それ以上拡大すると、データの提供意味が無くなる。そこで、ベクタデータを用いることで、拡大・縮小を行っても、鮮明な画像を得ることができるため、本研究では航空写真の検証を対象とせず、主にベクタデータによる検討を行った。

Web上でGISベクタデータを取り扱うにはデータサイズに注意する必要があるため、本研究では、ArcGISを用いてベクタデータを編集し、Web用に一部の項目を削除し、データ量を小さくした。WEBGISに提供するデータである国土基本図には、地形や構造物、地名などの様々なデータが含まれている。そのため、データは街路と建物（ポリゴン）、町丁界（ライン）、名称（ポイント）というレイヤに分けられて管理されている。この際、図2のように、行政GISの簡略化するには、主要建物や、道路等を残し、基礎マップとしての機能を失わないよう配慮した。

このように、利用者が観察情報を入力する際の位置情報の参照には、WEBGISにおいて行政GISを用いて、街路、建物と名称などのデータを簡略化して提供した。PC、携帯端末から収集した住民の観察情報も同じ座標系を利用することにより、WEBGIS又はArcGIS上で観察情報と行政GISデータの共有ができ、位置情報の照合ができる。

### 3.2 PC端末を用いた住民観察情報の入力

住民による観察情報の入力機能を以下のように提案した。図2に示すシステムにおいて、利用者がPC端末を用いてWEBGISの地図の上に情報を記入したい場所を選択し、CGIもしくはASP/ODBC、JSP/JDBCを通してサーバーに情報を記入できる。WEBGISの地図上で観察情報が記入された場所に、アイコンが表示されるようになり、ほかの利用者がその情報を参照するには、アイコンをクリックすることで閲覧できる。なお、ArcGISを用いて、観察情報をそのまま読み出すことができ、行政GISと観察情報との相互参照が可能になる。

図4の右側に示された部分がCMDに記述されたForm部分である。ここでは座標値も表示できるが、利用者にとっては座標値を確認する必要がないため、TextFormの属性をhiddenとしている。Jshapeでは、CMDという独自のScript言語を用いることで、マウスのクリック操作により、Jshapeで提供する国土基本図から平面直角座標系の座標値を取得し、CGIを通してサーバーに保存することができる。なお、Jshapeから取得した座標値は、INPファイルとよばれるJshapeのテキストファイル<sup>3)</sup>に保存される。また、図5では、利用者が地図上をクリックすることで、平面直角座標系の座標情報を取得し、座標値と一緒に住民の計画意見や観察情報をサーバーに送る一連の作業を示している。このように、Jshapeでは座標値と属性情報が別々のファイルで管理されている。観察情報は正確な座標値を持ち、WEBGISのデータと行政GISのデータとの位置情報と照合できる。また、文字情報以外に、画像もサーバーに属性データとして保存される。図6は観察情報の入力画面であり、図4に示す画面において、情報の入力場所を確定後、図6の画面で観察情報の入力を行う。図7は、図6で入力、保存された観察情報がアイコンとして地図上に表示され、その情報内容を閲覧する例である。



図4 システムのインターフェース

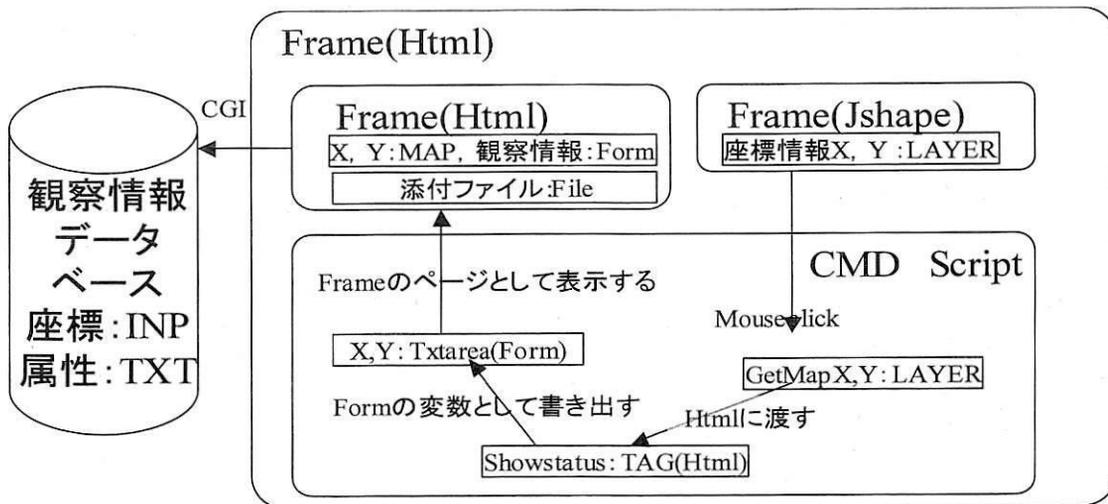


図5 データ入力の流れ

### まちづくり情報記入欄

**投稿者の名前**  
 左にあなたの名前を記入して下さい。(ニックネームでも可)

**発見時刻**  
 2003年02月01日00時00分頃 情報を発見時間を入力して下さい。

**まちづくりアイコン**  
 ↓下のアイコンの中から入力テーマ似た色の描を選択して下さい。  
 -一致するものがない時は他を選択して下さい。

|      |      |     |      |      |        |      |     |
|------|------|-----|------|------|--------|------|-----|
|      |      |     |      |      |        |      |     |
| 歩行環境 | 交通関係 | 住環境 | 治安など | 危険箇所 | バリアフリー | 景観など | その他 |

**画像添付**  
 ファイル名(jpg, gif形式のみ)   発見した入力情報関連の画像があれば、添付して下さい。  
 「参照」ボタンを押すと、添付ファイル選択画面が表示されます。

**まちづくりについて**  
 発見した情報に関するコメントを記入して下さい。

図6 観察情報の入力画面

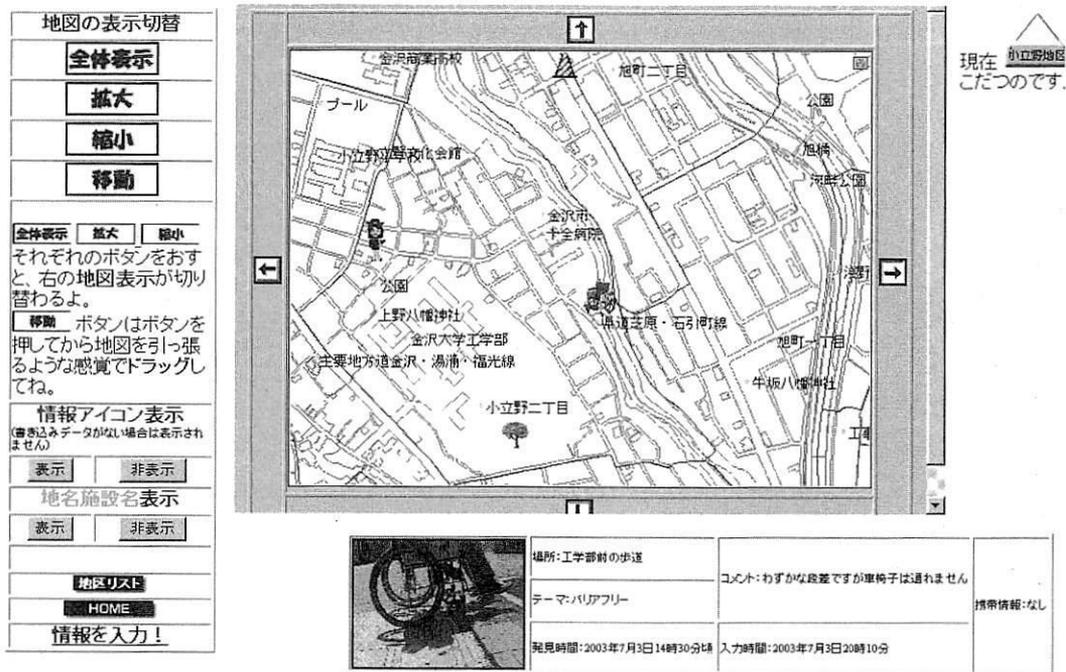


図7 アイコンの表示例

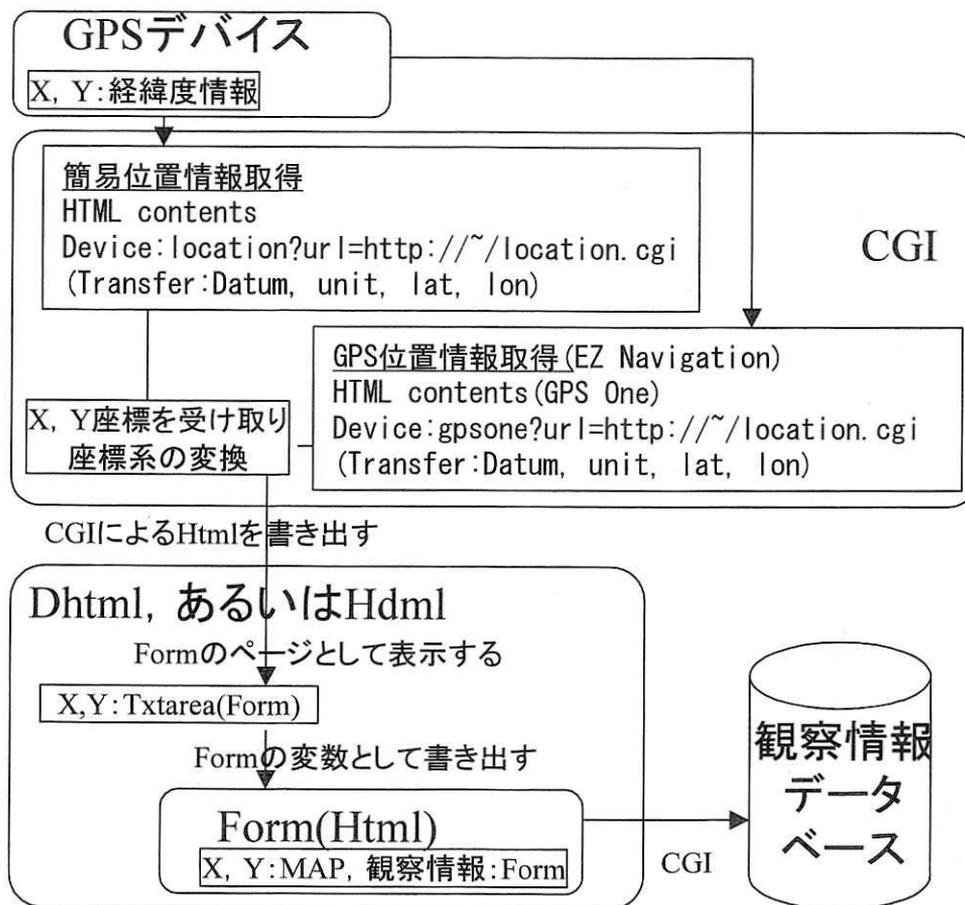


図8 携帯電話による情報入力

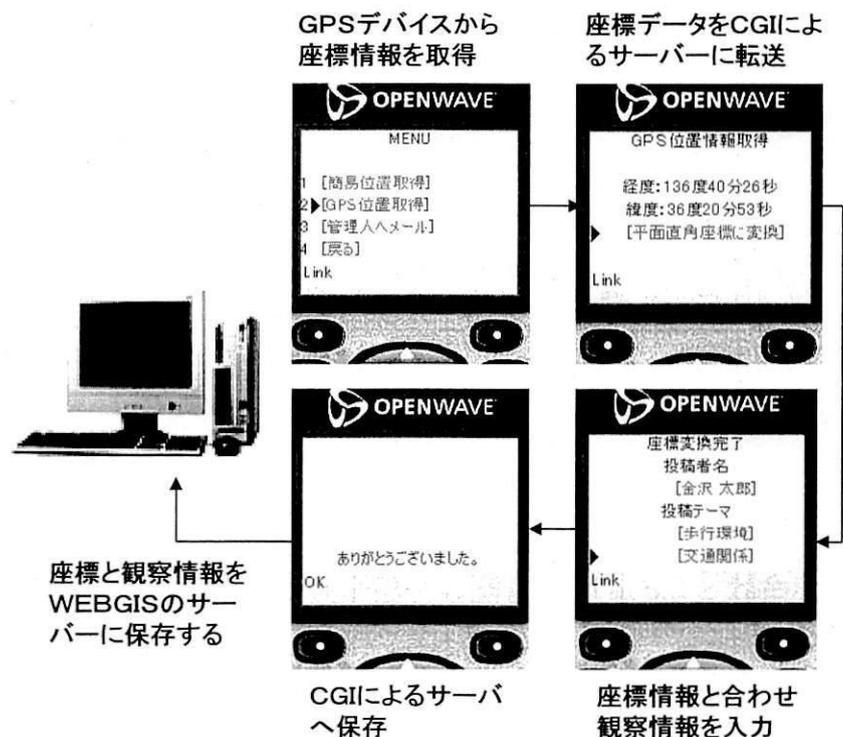


図9 携帯電話インターフェースの例

### 3.3 携帯端末を用いた住民観察情報の入力

KDDI が提供する AU 携帯電話のサービスである簡易位置情報や GPS 位置情報を利用することで、携帯電話からの観察情報入力のシステムを構築した。本システムでは、携帯端末の位置情報は、Device:gpsone?url=http://^WEB\_SERVER/location.cgi 等の特定の<sup>4)</sup>方法により、衛星から取得したデータや基地局から受信した位置情報を、サーバーが携帯電話に内蔵の GPS デバイスから読み取り、CGI を通して取得することができる。これにより、送信されたデータがリアルタイムで Jshape 上の地図に表示される。この流れを図8に示す。なお、データ入力には、携帯電話の場合も PC 利用者と同様に CGI を用いることで、書き込み場所の記録、記入情報の蓄積などができ、座標値は INP ファイルに、属性データは TXT ファイルに保存している。

携帯電話からの利用者は GPS 等による位置情報取得後、図9に示す情報入力画面へ進み、情報入力を行うことができる。しかしながら、携帯電話の場合は 1 ページに読み込める文字数に限界があることや、扱えるデータサイズが小さくなることから、PC 端末による収集情報よりも簡便な内容にする必要がある。なお、携帯端末データの場所の精度に関しては、サービスを提供する業者の GPS 精度に影響される。

### 3.4 システムの入力の操作性について

システムの入力機能を上記のように検討した。その機能の評価について、学生を対象に、簡単な操作実験を行った。表2はインターネットへの接続形態により Jshape を含むページの表示にかかる時間に対する評価である。表2では、データ表示には多少時間がかかるこ

とが分かる。研究室内の LAN 回線を利用しても、時間がかかるため、一般の回線ではより時間がかかるという評価傾向にある。また、同じページにある他の HTML データの表示に比べ、WEBGIS のデータの表示が遅く、これが評価に影響を与えたと考えられる。

表 3 は WEBGIS の操作性に関する意見である。これを見ると、地図上で情報を入力したい点を探し出すことができたという人が多いことから、比較的操作は簡単であると言える。

表 2 インターネットの接続形態

| WEBGISの表示 | 接続形態      |         |         |         | 合計         |
|-----------|-----------|---------|---------|---------|------------|
|           | LAN       | ADSL    | 電話回線    | 無回答     |            |
| すぐに表示された  | 0         | 0       | 0       | 0       | 0 (0.0)    |
| 表示された     | 5         | 0       | 0       | 0       | 5 (38.5)   |
| なんとか表示された | 4         | 1       | 1       | 0       | 6 (46.2)   |
| 表示されなかった  | 0         | 0       | 0       | 0       | 0 (0.0)    |
| 無回答       | 1         | 0       | 0       | 1       | 2 (15.4)   |
| 合計        | 10 (76.9) | 1 (7.7) | 1 (7.7) | 1 (7.7) | 13 (100.0) |

表 3 WEBGIS の機能評価

| 拡大・縮小機能   | 場所の選択    |         |               |          | 合計         |
|-----------|----------|---------|---------------|----------|------------|
|           | できた      | できなかった  | どちらとも<br>いえない | 無回答      |            |
| 使いやすい     | 2        | 0       | 1             | 0        | 3 (23.1)   |
| 使いにくい     | 0        | 0       | 0             | 0        | 0 (0.0)    |
| どちらともいえない | 3        | 1       | 1             | 0        | 5 (38.5)   |
| 使わなかった    | 3        | 0       | 0             | 1        | 4 (30.8)   |
| 無回答       | 0        | 0       | 0             | 1        | 1 (7.7)    |
| 合計        | 8 (61.5) | 1 (7.7) | 2 (15.4)      | 2 (15.4) | 13 (100.0) |

#### 4. 観察情報の信頼性の検証について

上記では、入力用端末の種類によって、システムの入力機能を整理した。このシステムを Web 上において公開し、2003 年 2-3 月中に自由に情報入力をしてもらった。参加者が不特定であり、入力内容も限定していない。本研究では、観察情報をどのように扱えるかを検討することを目的にしているため、計画関連の内容を特に明示しなかった。さまざまな内容が入力されるのを予想していた。しかし、公開後において、PC 端末を利用して寄せられた情報の件数は 17 件であった。そして、関係者より携帯電話からのアクセスが 3 件であった。表 4 に、観察情報の確認ため、入力の内容、場所などを整理した。

##### 4.1 観察情報の内容

入力の目的について、当時公開するとき、動物の観察情報を事例にしていたので、観察情報がほとんど動物の観察情報であった。表 4 のように、記入場所を説明していない観察情報は 3 件があった。この 3 件では、内容のいたずら、観察時間が記入時間の後となるような矛盾点がみられる。これらのデータが、計画的価値がなく、矛盾点もあり、観察情報から削除する必要がある。しかし、矛盾点がないように捏造されたデータに対する対応方

法を検討する必要がある、専門家による観察情報の分析、個人情報の提供によって入力者に責任を持たせる方法が考えられるが、今後の検討課題とする。

## 4.2 場所の偏差

PCによる観察情報の入力、WEBGIS上に提供した地図データを目視により位置を決めて座標値とともに記入することができる。ただし、入力の際に、地図データの精度により、場所の正確さは異なる。このため、表4に示すように、利用者に記入したい場所の説明も記入してもらった。利用者がWEBGIS上において、街区建物データを利用して情報を記入した場合、観察情報が正確な場所にあることを確認できたのは全部で8件である。しかし、街区だけを表示させた場合、記入したい場所を確定できず、適当な場所に記入することが考えられる。例えば、表4のように、建物データを表示させた場合、工学部土木建設棟の入口で記入したデータ、ラプロ店の前などで記入したデータについて、行政GISの詳細な地図データを参照すると、記入したデータが正確な場所にあることを確認できた。このため、場所の正確さはWeb上にて提供したベクタ形式の地図データの精度が大きく影響すると考えられる。

しかし、携帯電話からの入力に際しては、位置座標のみでの記入となり、場所の確認ができず、入力ポイントはPCで確認する方法しかない。GPS携帯電話による位置座標はGPS精度により記入場所の位置とずれる場合がある。これは、情報入力の際に、場所の名称等情報を文字でも記入することで、事後確認することができる。事後確認によると、携帯による情報提供者は屋内から情報を入力しており、簡易位置情報の場合は、場所の誤差が500m程度ある。しかし、KDDIのEZ@NAVIサービス（GPS位置情報）の場合では、誤差は数メートル～十数メートルとなる。

このため、PCの場合では、地区レベルの詳細な観察情報もみられるが、AU携帯電話の場合は、大きなスケールの計画でなければ、情報精度が有効とは言えない。

## 4.3 観察情報と適用計画について

本研究では、WEBGISにより提供した地図データは、アクセス時間を考慮して、行政GISから必要なデータを抽出して作成した街路データ、建物データ、名称データである。

名称データについては、文字が重ならない限り、利用者にとっては参考されやすいものであるが、街区データを利用した場合と建物のデータとを合わせて表示する場合に、利用者の観察情報がかなり異なってくる。

上記にも述べたが、表4のように、街区のデータだけを表示させる場合、どこに観察情報を記入するかを確定しにくいいため、適当に場所を選んで入力していた。たとえば、利用者が工学部で猫をみたが、工学部のキャンパスについて街区のポリゴンデータしか参照できないため、工学部キャンパスの真ん中でポイントを入力した。記述の内容についても具体的に場所に関して記入しにくくなる傾向があり、「工学部のなかに猫がたくさん見られる」というような記述になる。

表 4 観察情報の確認

| 利用者性別 | PC利用者の記入場所  | 時間の矛盾 | いた<br>ずら | 利用<br>データ | 具体的<br>場所 | 明確な<br>観察情報 | 意見     |
|-------|-------------|-------|----------|-----------|-----------|-------------|--------|
| 男性    | 県立野球場マウンド近く |       |          | 街区        |           | ○           | 場所選択大変 |
| 未記入   | 未記入         | ○     | ○        | 不明        |           |             |        |
| 男性    | 片町ラプロ前      |       |          | 街区建物      | ○         | ○           |        |
| 男性    | アパート        |       |          | 街区        |           | ○           | 文字が重なる |
| 男性    | 金沢大学北溟寮     |       |          | 街区建物      | ○         | ○           |        |
| 男性    | ここです        |       | ○        | 街区建物      |           |             |        |
| 女性    | 工学部土建B棟の入口  |       |          | 街区建物      | ○         | ○           | 場所探し大変 |
| 女性    | 壁際の地面の上     |       |          | 街区建物      | ○         | ○           | 表示時間長い |
| 男性    | レジデンス旭の正面右側 |       |          | 街区建物      | ○         | ○           |        |
| 男性    | テスト         |       |          | 不明        |           | ○           |        |
| 男性    | 住宅のブロック塀の上  |       |          | 街区建物      | ○         | ○           |        |
| 女性    | 駐車場の地面の上    |       |          | 街区建物      | ○         | ○           |        |
| 未記入   | 建物の脇の地面の上   |       |          | 街区建物      | ○         | ○           |        |
| 男性    | 駐車場の裏       |       |          | 街区        |           | ○           |        |
| 未記入   | 工学部         |       |          | 街区        |           | ○           |        |
| 未記入   | 未記入         | ○     | ○        | 不明        |           |             |        |

表 4 に示す「PC 利用者の記入場所」と「利用データ」の項目をみると、利用者が街区と建物を重ねて表示させて入力した観察情報が 9 件である。また、街区だけで入力した観察情報が 4 件であり、建物のデータをあわせて表示させた場合、観察情報と建物とその周辺関係を明記できるようになり、記入する場所が入口、建物の前面道路など、非常に詳しくなる。

街区を表示させた場合、街区レベルの観察情報の集計ができ、道路との関係もある程度整理でき、比較的大きなスケールの計画情報として参考できる。これに対して、建物のデータを提供した場合、場所をもっと正確に記入でき、詳細な計画レベル、たとえば、公共空間の整備や地区レベルの計画情報として参考できる。

## 5. 結語

本研究で開発したシステムでは、WEBGIS (Jshape) により、携帯端末と PC 端末から住民の観察情報を同じ座標系により、Windows2000 サーバーの環境で、行政 GIS (ArcGIS) との共有を可能にした。これにより行政・住民が互いに計画情報を共有できるシステムを構築した。そしてシステムを用いて収集した観察情報の信頼性を考察した。

観察情報の信頼性について、第一には、正確な座標系を用いることで、観察情報の場所の正確さを事後確認できる。しかし、住民が情報を入力する際の利用端末により、位置情報のデータ精度に影響がある。PC 端末では、WEBGIS において提供されている街区、建物と名称のデータを参照して、マウスで入力場所を確定するので、利用者が明記した記入場所と行政 GIS の地図データとの照合により場所のずれが少ないことが分かった。GPS 携帯電話からアクセスの場合、端末の性能とサービスの質により記入した座標値と実際の記入場

所とにかなりの誤差がみられた。第二には、WEBGIS で提供した地図データが観察情報の計画適用には、大きな影響があることが分かった。街区データを参照して入力された情報については、町丁目や街区を特定できても、具体的な問題指摘の場所が分かりにくく、地区レベルの計画においては利用しにくい。都市全体レベルもしくは比較的計画スケールが大きい計画情報として提供できると考えられる。また、街区と建物データを合わせて提供することにより、かなり場所の精度が良い観察情報が得られるので、公共空間整備や地区レベルの計画検討には有効と考えられる。第三には、観察情報の中には、矛盾点があるもの、いたずらのものを削除しなければならないが、矛盾点がないように捏造された情報の対応が今後検討すべき課題である。

今後、開発システムを実際の参加型の計画支援に応用して、観察情報の信頼性の観点からシステムの提供データとその適用計画との関係について検討が必要である。

## 注釈

- 1) Flash について：<http://www.macromedia.com/>
- 2) Jshape について：<http://www.jshape.com>
- 3) Jshape の INP ファイルでは、座標情報が“,”で区切られ、TXT ファイルは、属性情報が“@”で区切られている。また、これとは別に観察情報を ET ツール (ETGEOWIZARD、<http://www.ian-ko.com/>からダウンロード) を使用して、行政 GIS と共有するために、「ID、X、Y 座標、属性・・・」というデータも同時に保存した。このツールは特定のフォーマットで保存されたテキストデータを直接 ArcGIS に導入できる。
- 4) <http://www.au.kddi.com/ezfactory/tec/spec/eznavi.html>  
<http://orienteeing.hp.infoseek.co.jp/gps/gpsone.html>  
を参照した。

## 参考文献

- (1) 本間里見、位寄和久、神代梓：まちづくりワークショップのための空間情報共有システムの開発」第 25 回情報システム利用技術シンポジウム、2000、pp235-240
- (2) 山下秋朝、有馬隆文、坂井猛、萩島哲：知的基盤社会の構築に向けたまちづくり情報基盤システムの開発 (その 1) —WEBGIS を用いたまちづくり支援システムの開発—、第 24 回情報システム利用技術シンポジウム、2001、pp55-60

## 第7章 WEBGISとJAVA 3Dを用いた建築可能空間作成システムの構築

### 1. 研究の背景と目的

近年、行政の仕組みは、住民や地域の視点に立った地方分権のシステムに変化してきた。それにともない、地方自治体では、都市計画関連の計画策定が、住民参加を推進し、住民意見を反映して行われるようになった。しかし、専門的な知識が少ない一般住民が計画の策定に関わるためには、様々な情報提供や支援が必要である。近年のIT社会の中でインターネットの普及と、ブロードバンド網の整備により、多くの情報がWeb上で提供・共有化されるようになり、計画に参加する住民は、身近なまちづくりに対する情報を様々な形で入手できるようになった。

一方で、2次元を中心として開発されてきた地理情報システム(GIS)は、空間情報の管理において、優れた機能を備えており、まちづくりにおいて有効なツールであるといえる。さらに近年では、インターネット上においてGISを用いた計画情報の公開が注目されている。

また、現実の空間に近い3次元の情報は、非専門家である一般住民にとっては文章や図等の2次元で表現された情報よりも理解しやすく、住民参加型の計画デザインでは有効な手段と考えられる。このような既存研究として、GISや3次元データの取り扱いについて、杉原ら(1999、2000)<sup>1)、2)、3)</sup>は、GISとCG等の統合により、地理情報データを利用した3次元都市モデルの作成を行っている。また、鄭ら(1998、1999)<sup>4)、5)</sup>は、CGを用いたシミュレーションによって建築物高層階をコントロールした場合の街路景観の連続性やD/H(各建物前面のセットバックを含む道路幅/各建物高さ)による開放性について視覚的評価に基づいた分析を行っている。さらに、総務省においては、3次元GIS技術の構築に向けて、基盤技術の研究開発と普及に取り組んでいる。これは「3次元GISショーケース」<sup>6)</sup>のホームページの中で紹介され、民間企業による3次元GISの事例紹介などがなされており、新たな領域が開発されてきている。

このように、インターネットにおける3次元GISを用いたシステムでは、様々な可能性があり、GISデータを活用した空間情報の提供、土地利用シミュレーションの結果に基づいた都市デザインの検討など、新たな領域が開発されてきている。

本研究では、2次元のWEBGISを利用し、その空間情報を用いてインターネット上で3次元空間を自動作成することができる簡易的な3次元GISシステムを構築し、そのシステムの計画支援への適用のあり方を検討する。

これを踏まえ、筆者は地区計画などを住民参加型の方法で進めるにあたり、用途地域や地区計画の提案内容に基づく市街地像を住民に分かりやすく示すには、3次元での表現が有効であると考えた。そこで本研究の目的をWEBGISによって提供した空間情報により建築が可能な空間を3次元で表現できる簡易的な3次元GISのありかたについて検討することとする。ここで、建築可能な空間に注目したのは、形態規制との関連性を明確にすることで、住民に形態規制を適用した市街地像のイメージを視覚的に示すことが可能となるた

めである。

## 2. 研究の方法

本研究では、GIS データを WEBGIS に導入し、インターネット上で空間情報を公開し、その空間情報を利用した 3 次元空間の作成を試みる。

形態規制の適用による建築可能な空間を住民に示すシステムとして、図 1 に示す流れが必要となる。本研究で作成するシステムは、地区計画を参加型で作成する場合、住民に市街地の全体像を示すシステムの最初の段階となるものである。

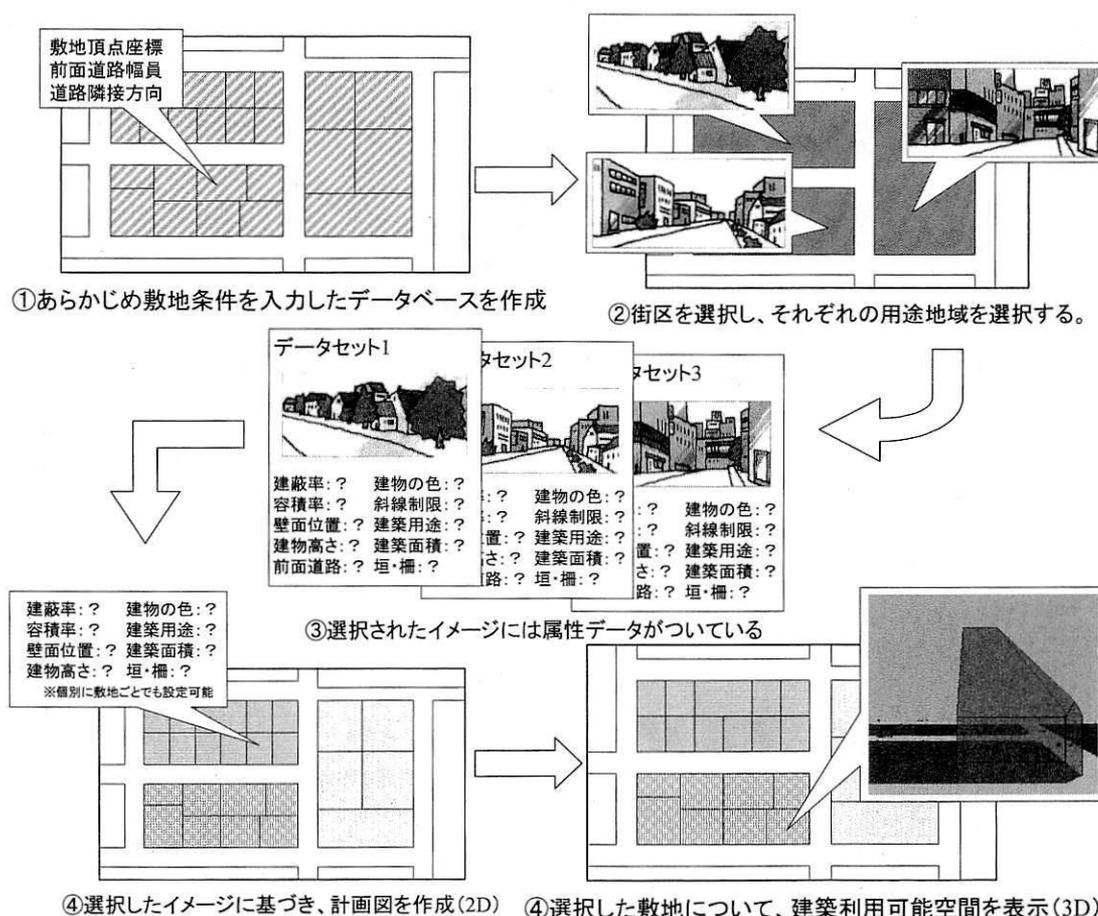


図 1 地域地区制度による街区像の作成支援

システム開発に際し、建築が可能な空間について、敷地、建物、良好な住環境形成のための形態規制のパラメータを整理する。本研究では、建築可能空間(図 2)を、形態規制により建築物を建築可能な空間と定義する。当該空間は、形態規制の内容を詳細に反映したモデルとして建築自由度を表し、市街地の将来像を分析するには有効な指標と考えられる。建築可能空間の構築システムについては、図 3 のように簡易的な 3 次元 GIS システムを提案した。具体的には、Jshape<sup>(1)</sup> を用いて金沢市の都市計画基礎調査データを扱い、その GIS データが持つ属性情報を Web 上で計画情報として提供する。Jshape において GIS の幾

何的信息を読み出し、CGI を通して JAVA3D<sup>(2)</sup> へ渡すことによって、WEBGIS と JAVA3D との連携によるシステムを提案する。このような提案により、図 1 に示す形態規制により変化する建築可能空間の作成を行う。JAVA3D は、Web 上で 3 次元グラフィックスを取り扱うための JAVA のパッケージである。

このように、市街地像のイメージを作成する支援システムの最初のステップとして、本稿では、簡易的な 3 次元 GIS システムを提案し、地域地区制度の形態規制により変化する建築可能空間を提示することで、システムの計画支援への適用可能性を検討する。

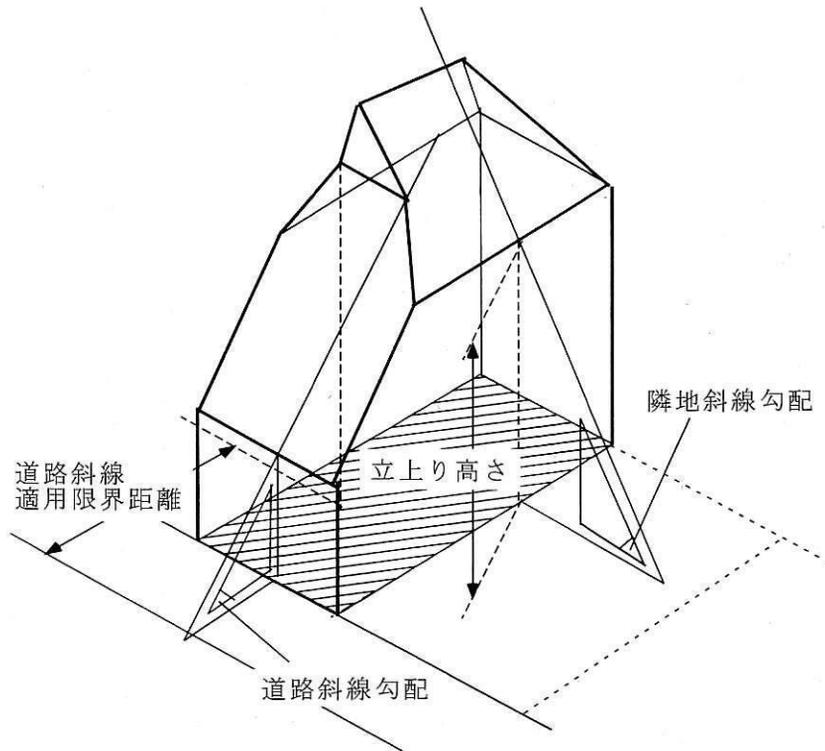


図 2 建築可能空間モデルの定義

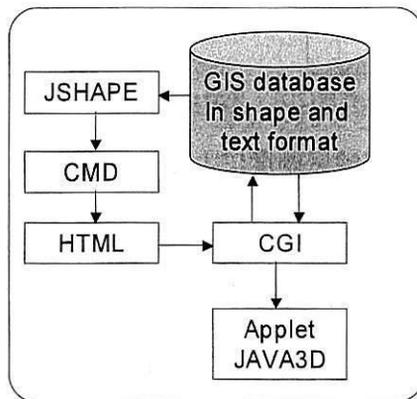


図 3 簡易的な 3 次元 GIS システムのありかた

### 3. システムの概要

図4は、建築可能空間の作成システムの概要を示したものである。このシステムでは、住民に分かりやすい形で、形態規制の役割を提示するために、GISデータを用いて、JAVA3Dで建築可能空間の形状と建築物モデルを作成し、3次元で確認することができる機能を取り込んでいる。

システムでは、第一に、GISにおいて、各敷地の属性データとして、建物の形態規制と建築物のパラメータを用意する。第二に、WEBGISソフトであるJshapeを利用し、GISデータベースから座標値を取得する。Jshapeを利用することで、サーバに格納されたベクタデータをベクトル形式のまま配信することができ、CMDと呼ばれる独自のスクリプトにより、座標情報や属性情報を取得、利用することができる。第三に、建築可能空間の作成には、属性から建物の形態規制をHtmlのFormで書き出し、敷地の座標情報と合わせて、当該敷地に対応した建築可能空間の各頂点の座標を計算する必要がある。そして、第四に、建築物モデルの作成では、Jshapeを通して敷地座標と建物の階数などのパラメータをHtmlのForm Objectに書き出し、JAVA3Dに導入することで、建築物モデルを作成できる。なお、Jshapeが読み出した規制や座標の属性データをHtmlのFormで修正でき、作成した建築可能空間はGISデータベースに保存することができる。

このように、建築可能空間の作成支援システムでは、GISデータベースをもとに3次元空間を作成し、図4に示すように、CGIにより入力された規制と建物のパラメータに従いシミュレーションを行うことができる。

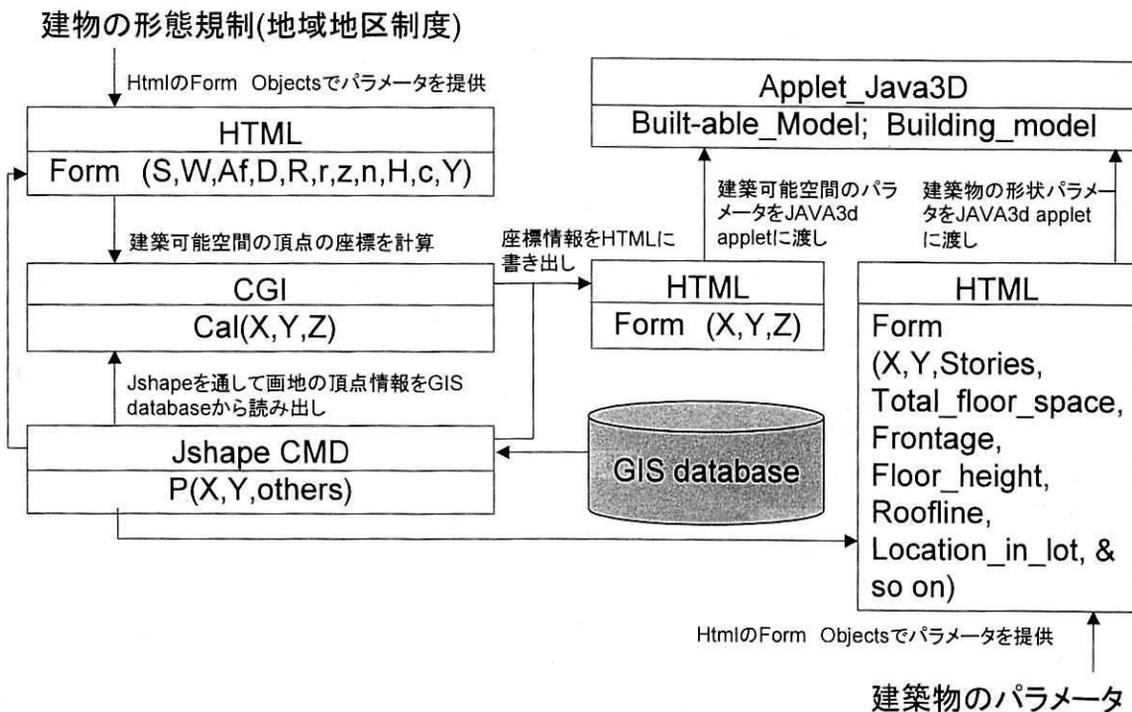


図4 建築可能空間の作成システムの概要

## 4. システムを用いた建築可能空間の作成方法

すでに述べたように、建築可能空間の作成には、簡易的な3次元GISシステムを構築する必要がある。

### 4.1 WEBGIS と JAVA3D とのデータ交換

本システムでは、敷地条件に関するデータはGISにおいて属性データとして整備される。しかし、GISの座標情報はJAVA3Dではそのまま扱えないため、図5に示すようにJshapeを通してHtmlのForm Objectに書き出す作業を行った。規制パラメータも図5-1、及び図5-2の下段のように、HtmlのFormにセットすることができる。これらの規制パラメータは、図5-1に示すインタフェースで、ユーザーのニーズに合わせて調整することも可能である。Formに書き出した座標情報などは、JavaのAppletのパラメータとしてJAVA3Dに導入することができる。なお、これらの座標情報は、JAVA3Dに導入する際には、図5のようにFormにより入力された規制値とともに、CGIを用いて統合してJava Appletのパラメータとして、JavaのAppletに受け渡す。

このように、WEBGISから座標情報と敷地条件のパラメータをJAVA3Dへ渡すことができ、簡易的な3次元GISシステムを構築することができた。

|   |  |  |                              |
|---|--|--|------------------------------|
| あなたは<br>街区1について 第二種低層住居専用地域<br>街区2について 第一種低層住居専用地域<br>街区3について 第二種中高層住居専用地域<br>を選択しました。                              |  |  | <input type="checkbox"/><br> |
| 下で各街区の条件を入力し、 <input type="button" value="入力"/> を押して下さい。<br>用途を選択し直す場合は <input type="button" value="こちら"/> を押して下さい。 |  |  |                              |
| この部分は選択可能⇒ <input type="button" value="選択できます。"/><br>この部分は選択できません⇒ <input type="button" value="規定されています。"/>         |  |  |                              |
| 街区1について   | 街区2について  | 街区3について                                      |                              |
| 外壁の後退距離(m) <input type="text" value="0"/>   | 外壁の後退距離(m) <input type="text" value="0"/>      | 外壁の後退距離(m) <input type="text" value="規制なし"/> |                              |
| 絶対高さ制限(m) <input type="text" value="10"/>   | 絶対高さ制限(m) <input type="text" value="10"/>      | 絶対高さ制限(m) <input type="text" value="規制なし"/>  |                              |
| 道路斜線適用距離(m) <input type="text" value="20"/>   | 道路斜線適用距離(m) <input type="text" value="20"/>    | 道路斜線適用距離(m) <input type="text" value="20"/>  |                              |
| 道路斜線勾配 <input type="text" value="1.25"/>  | 道路斜線勾配 <input type="text" value="1.25"/>       | 道路斜線勾配 <input type="text" value="1.25"/>     |                              |
| 隣地斜線立ち上がり(m) <input type="text" value="規制なし"/>  | 隣地斜線立ち上がり(m) <input type="text" value="規制なし"/> | 隣地斜線立ち上がり(m) <input type="text" value="20"/> |                              |
| 隣地斜線勾配 <input type="text" value="規制なし"/>  | 隣地斜線勾配 <input type="text" value="規制なし"/>       | 隣地斜線勾配 <input type="text" value="1.25"/>     |                              |

図 5-1 WEBGIS を用いた敷地の形態規制の入力

地図の縮尺変更

地図の表示切替  その他切り替え

街区ポリゴン  「街区番号 番号=」

敷地ポリゴン  「敷地番号 番号=」

道路ライン

街区ポイント

「用途地域の表示」

- 第一種低層住居専用地域
- 第二種低層住居専用地域
- 第一種中高層住居専用地域
- 第二種中高層住居専用地域
- 第一種住居地域
- 第二種住居地域
- 準住居地域
- 近隣商業地域
- 商業地域
- 準工業地域
- 工業地域

クリックした敷地の属性情報を表示します↓↓↓  
(※ただし、敷地ポリゴンの表示時のみ！)

|                 |                 |               |                      |                 |       |                 |                                   |
|-----------------|-----------------|---------------|----------------------|-----------------|-------|-----------------|-----------------------------------|
| <b>敷地番号</b>     | 15              | <b>敷地面積</b>   | 150(m <sup>2</sup> ) | <b>北側道路?</b>    | 4m道路  | <b>隣地立上り高さ</b>  | 規制なし(m)                           |
|                 | (X0,Y0) (54,31) | <b>絶対高さ</b>   | 10(m)                | <b>東側道路?</b>    | 6m道路  | <b>隣地斜線勾配</b>   | 規制なし(m)                           |
| (X0,Y1) (X1,Y1) | (X1,Y0) (69,31) | <b>容積率</b>    | (%)                  | <b>南側道路?</b>    | 道路なし  | <b>北側立上り高さ</b>  | (m)                               |
|                 | (X1,Y1) (69,41) | <b>建蔽率</b>    | (%)                  | <b>西側道路?</b>    | 道路なし  | <b>北側斜線勾配</b>   |                                   |
| (X0,Y0) (X1,Y0) | (X0,Y1) (54,41) | <b>角地?</b>    | 角地                   | <b>道路斜線適用距離</b> | 20(m) |                 |                                   |
| <b>用途地域</b>     | 第二種低層住居専用地域     | <b>壁面後退距離</b> | 0(m)                 | <b>道路斜線勾配</b>   | 1.25  | <b>建築利用可能空間</b> | <input type="button" value="表示"/> |

図 5-2 WEBGIS における各敷地の属性データ

#### 4.2 JAVA3D を用いた建築可能空間の表現

JAVA3D では、建築可能空間の作成には、全ての頂点を繋いで立体的な形を作成することが可能である。また、ブール演算を用いた幾何的形状の面と体の論理演算（加減乗除算）などの処理を行うことも可能である。なお、すべての頂点を一度に用いての建築可能空間の作成では、敷地の形状が複雑な場合、プログラミングは大変な作業となる。ブール演算を用いることで、立体形状の形成は、幾何的形状の計算に譲るので、プログラミング上では都合がよい。しかし、本研究では、JAVA3D を用いた建築可能空間の作成が可能かどうかを確認する段階であり、ブール演算に頼らず、全ての頂点を用いる方法を採用した。なお、現段階では全ての規制内容を考慮したわけではなく、下記の制約条件の下で建築可能空間を作成している。

具体的には、隣地斜線制限、道路斜線適用限界距離や壁面後退を考慮しているが、北側斜線は取り入れていない。敷地については以下に示す制約条件がある。敷地は単一前面道路、又は二面道路（角地）とする。角地は、隅切りを行い、隅切り距離は 4 m、45 度に固定する。敷地形状は正方形または長方形敷地とする。敷地は水平面上にあり、高低差はないものとする。道路は、勾配なし、前面道路の幅員は全て同じとする。建築物の壁面は敷地境界線と平行とすることなどである。そのために必要となるパラメータを表 1 に整理した。

表 1 建築可能空間のパラメータ

| 規制パラメータ                | 表記 |
|------------------------|----|
| 敷地面積 (m <sup>2</sup> ) | S  |
| 敷地間口 (m)               | W  |
| 隣接道路本数 (本)             | Nr |
| 隣接道路方向                 | D  |
| 前面道路幅員 (m)             | R  |
| 道路斜線勾配                 | r  |
| 絶対高さ (m)               | Z  |
| 隣地斜線勾配                 | n  |
| 立ち上がり高さ (m)            | H  |
| 隅切り距離 (m)              | c  |
| 用途地域                   | Y  |

ブール演算を用いない現段階の方法では、形態規制値と敷地の座標情報を用いて、建築可能空間の各頂点座標を算出し、あらかじめ用意している 3D オブジェクトのライブラリから、形状が適合するものを選び、座標情報を代入して建築可能空間の視覚化を行う。図 6 では、このシステムの流れを示している。具体的には、JAVA3D のアプレットに、建築可能空間を作成するメソッド `Buildable_model_method` がある。このメソッドでは、`Jshape` を通して座標や規制データを読み出した後、形態規制の内容に従い、形態による分類を行う。例えば、前面道路が 1 本の場合、前面道路斜線制限の立ち上がり高さ勾配、隣地斜線制限の立ち上がり高さ勾配を導入して、建築可能空間を斜面がある部分とない部分に分け、それぞれの頂点座標を求める。そして、用意した 3D ライブラリから適合する 3D オブジェクトを取り出し、求めた座標をセットすることにより、建築可能空間を視覚化する。なお、図 6 にも示すように、前面道路が 2 本ある場合、幅の広い道路からの斜線制限が先かけられるため、道路斜線規制の順番で立ち上がり高さ勾配を適用する必要がある。

なお、建築可能空間の各頂点については、図 7 のように各頂点に番号をふり、それぞれの頂点座標を求める方法を利用している。建築可能空間は単一前面道路の場合は頂点番号 0~7 で構成される直方体部分と、その上層部分に分けて考えることができる。頂点番号 0~3 の座標値は敷地条件により決定する。それらと計算より得た頂点番号 4~14 の座標について、図 8 のように JAVA3D を用いて建築可能空間を作成した。

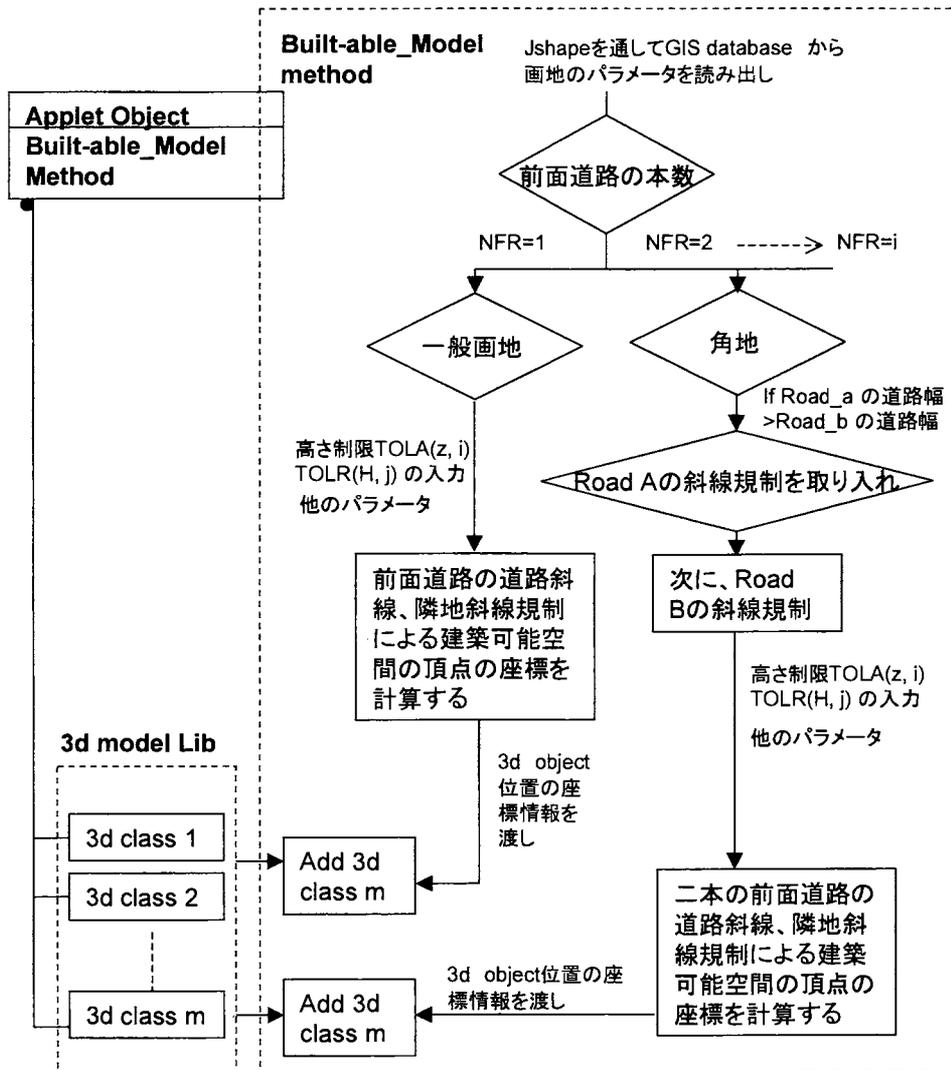


図 6 建築可能空間の作成

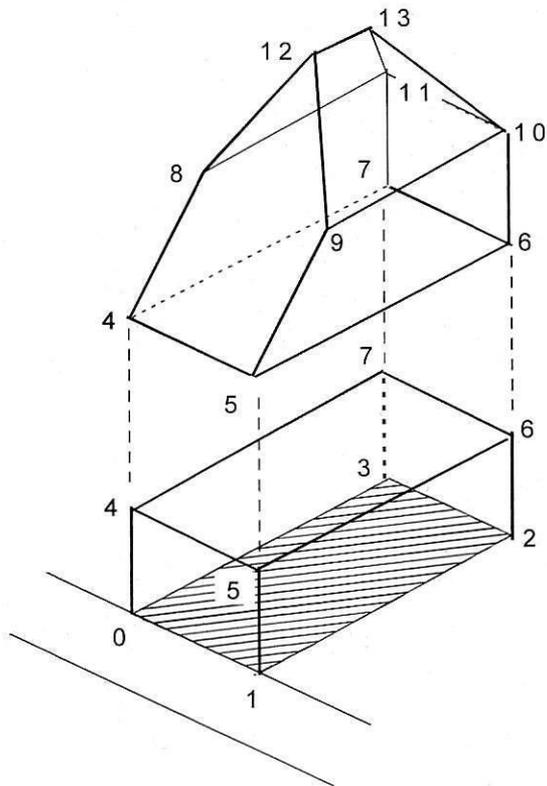


図 7 頂点の順番と 3D オブジェクトの組み合わせ

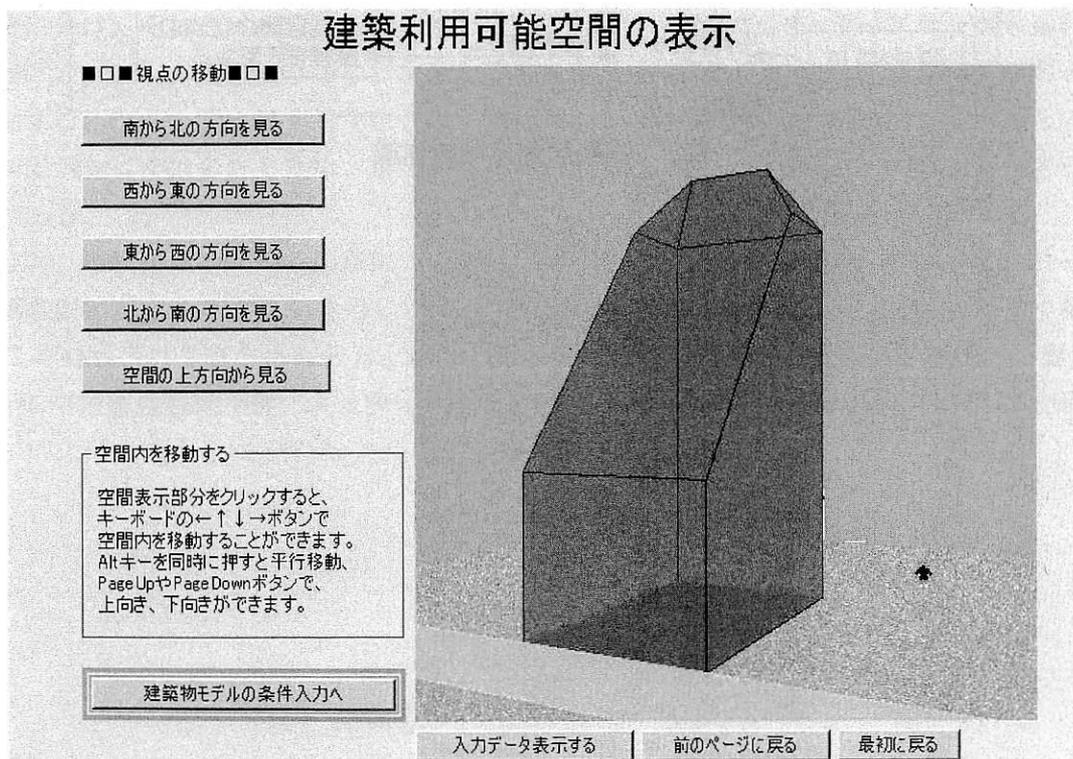


図 8 建築可能空間の作成のインターフェース

### 4.3 建築物の表現

図8に示すような建築可能空間の中にどのような建築物が建築可能であるかをシミュレーションするために、建築物モデルの導入を検討する。建築物は、一般的に、法規制上（容積率、建蔽率規制の充足が困難）、建築可能空間いっぱいには建築することはできない。表2には、建築物モデルを作成するためのパラメータを示している。作成した建築物モデルと建築可能空間を図9に示す。建築物モデルも JAVA3D を用いて作成した。建築可能空間の作成と同じように、基本的な 3D オブジェクトのクラスを用意している。例えば、長方形の場合、建築間口、延面積、階数と階高などのパラメータにより、建築物モデルの形状を決定し、3D オブジェクトのパラメータに導入させる。さらにユーザーが建物の配置場所を決定し、Java Applet の 3次元空間のなかに建築物モデルを再現する。

構築したシミュレーションシステムは、簡単な操作で建築可能空間と建築物モデルの3次元表示が可能であり、非専門家でも容易に利用できるものである。容積率や建蔽率、最高高さや空間の容積など、2次元では把握することの難しい指標も視覚的に示すことができ、都市計画分野における Web 上での3次元情報の提供が可能であることを示せた。しかし、実際の計画へ適用するためには、現段階では未対応である道路斜線適用限界距離や壁面後退、北側斜線規制等の導入やよりリアルな建築物モデルの表現を行う必要があると考えられる。

表2 建築物モデルの作成パラメータ

| パラメータ                   | 表記 |
|-------------------------|----|
| 容積率 (%)                 | F  |
| 延べ床面積 (m <sup>2</sup> ) | A  |
| 1階と2階の面積比               | Ar |
| 建築階数 (階)                | Nc |
| 階高 (m)                  | ht |
| 2階部分の位置                 | P2 |
| 屋根形状                    | Rf |
| 建築物の配置                  | Ab |
| 建物間口 (m)                | W  |

## 建築利用可能空間と建築物モデル

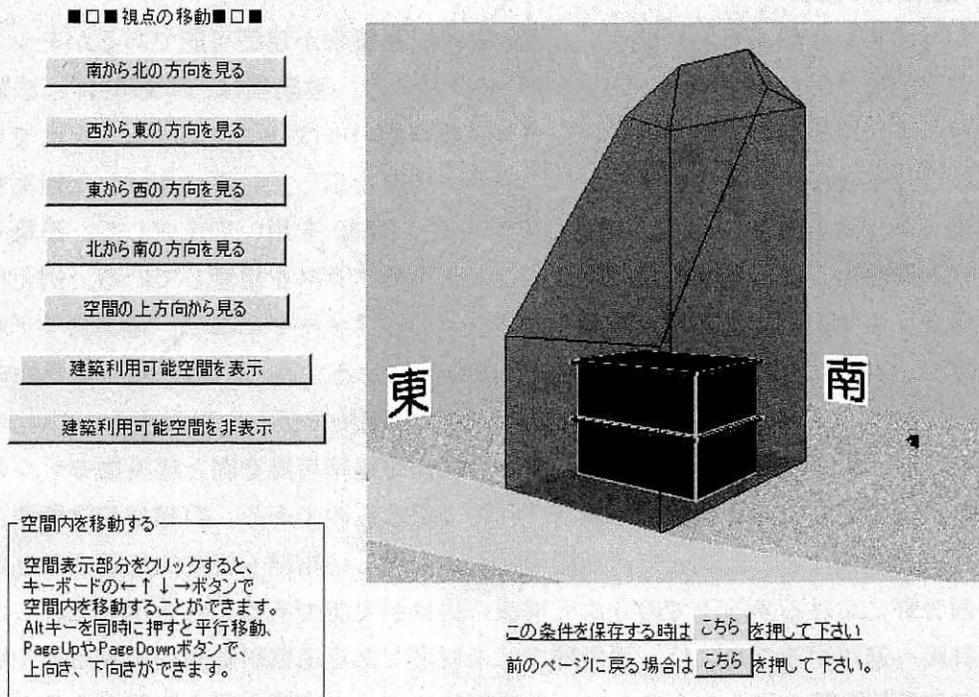


図9 条件を考慮した建築可能空間と建築物モデル

### 5. まとめ

本研究では、用途地域や地区計画などの地域地区制度の適用に基づく市街地像を住民に示すために、WEBGIS と JAVA3D との連携により、3次元での建築可能空間を作成する簡易的な3次元GISシステムのありかたについて検討した。

本研究の成果としては、Web上で既存のGISデータを利用した3次元の建築可能空間を作成することができ、対話型でのシミュレーションも可能となった。これにより、専門家と非専門家の間で計画案のイメージを共有することができ、住民参加や情報共有に新しい手法の提案ができたと言える。

しかし、インターネットにおける地区計画の作成支援においては、住民自らが規制による地区全体の市街地像を把握し、その計画の内容を検討するためには、よりリアルな市街地像を示す必要があり、今後多くの課題が残っている。また、構築したシミュレーションシステムでは、表現できる規制に制限があることや、複雑な敷地

形状に適用していないという問題もある。そのため、今後は空間演算処理（ブル演算）を利用したシステム改良が必要である。また、簡易的な3次元GISの構築について、WEBGIS と JAVA3D とのデータ交換には、CGI、htmlを通して行ったが、JSP と APPLET の内部で必要なパラメータの受け渡しができるれば、システムの性能がより高くなると期待できる。システム改良や実際の計画への適用は今後の課題とする。

## 注

- 1) Jshape は、<http://www.jshape.com> よりダウンロードすることができる。
- 2) JAVA3D は Sun 社 が提供する Java のパッケージであり、<http://java.sun.com/products/java-media/>よりダウンロードすることができる。

## 参考文献

- 1) ハンマード アミン・杉原健一・松本直司・若山滋・林良嗣、都市景観評価における合意形成のための GIS、CG 及び WWW の統合、土木情報システム論文集、No.8、1999、pp.215-222
- 2) 杉原健一・ハンマード アミン・林良嗣：GIS ベースの 3 次元都市モデルの自動生成システムとその活用、都市計画論文集、No.35、2000、pp.1117-1122
- 3) 杉原健一・ハンマード アミン・林良嗣：GIS と CG の統合化システムによる都市の 3 次元モデルの自動生成とその活用、土木情報システム論文集、No.9、2000、pp.41-48
- 4) 鄭在熙・奥俊信・舟橋国男・小浦久子・本多道宏：バーチャルリアリティを用いた街路景観の移行変化と評価に関する研究—建物の高さ及びセットバックの変化と連続性等の評価の関係—、日本建築学会計画系論文集、No.503、1998、pp163-169
- 5) 鄭在熙・中村佳之・奥俊信・舟橋国男・鈴木毅・小浦久子・本多道宏：高層階を形態コントロールした場合の景観の移行変化と評価に関する研究—バーチャルリアリティを用いた街路景観の移行変化と評価に関する研究 その 2—、日本建築学会計画系論文集、No.522、1999、pp231-237
- 6) 3 次元 GIS ショーケース：<http://www.3dgis.jp/>、2004.6

## 第 8 章 マルチエージェントシステム (MAS) を用いた大規模商業施設の影響評価に関する研究

### 日本語概要

日本においては、大規模商業施設の郊外立地などにより中心市街地の商業機能などが衰退しているため、多くの都市において様々な都心再生政策が実施されてきている。しかし、都市システムに内在する不確実性と複雑性のため、大規模商業開発や都心再生政策の影響を評価することが難しい。

本研究は、マルチエージェントシステム (MAS) を用いて、商業施設の立地に対する規制誘導政策を評価することを試みた。具体的には、商業施設の立地と世帯の購買行動を反映することができるシミュレーション・モデルとして、Shopsim-MAS モデルを開発した。

このモデルを用いて、商業施設の立地に対する規制誘導施策に対応して、都市圏における世帯の買い物行動をシミュレーションすることにより、商店と世帯の相互作用から発生した買い物行動について予測することができ、政策の影響を示し、評価することができる。

## 第 8 章

# Study on Development and Application of MAS for Impact Analysis of Large-scale Shopping Center Development

### 1. Introduction

The commercial environment of many local cities in Japan is experiencing decline so local governments have developed all kinds of city center generation policies to constrain this trend and revitalize the central city commercial environment. However, it is difficult to evaluate the potential impact of current policies on the future of a city due to the uncertainty and complexity inherent in an urban system, which arose from complex components of the urban system and complicated interactions between the different elements. Therefore, tools, which can provide insight into future impact of planning policies while embrace the complexity and uncertainty of the urban systems, are in an imperative need. It has been demonstrated that Multi-agent System (MAS) is powerful in exploring the uncertainty and complexity inherent in an urban system<sup>1),2)</sup>. Recently in Japan, Some researches began using MAS to analyze the phenomena of local city center decline in Japan. For example, Yosuke Ando et al.<sup>3)</sup> carried out a research on city center vacancy in which they simulated the emergence of vacant buildings and the effect of empty space on commercial space using agent based model.

The purpose of this study is to explore MAS to simulate the potential impact of city center generation policies. Different from most 'game-playing' MAS models which are based on pure agents' behavior disregarding urban planning institution, this study introduces the real land use zoning and planning regulations as constraints for agent's behavior, this is a big step forward for using the MAS simulation for planning practice. In this paper, the policies specially refer to the development regulations concerning the location sites and upper limitation of large scale shopping centers, which attract much attention of local governments since their closing in city centers and shifting to out-of-center location are commonly recognised as one of the major reasons for the decline of city Centers. The MAS model in this study is called Shopsim-MAS which is designed to simulate interactions between individuals that affected by the development regulations and to investigate their global effects on city centers' commercial environment. Within this model, a planner, a developer, households and shops are regarded as agents. The shopping-market spatial patterns emerging from interactions between shops and households are used for examination and exhibiting the impact of different development regulations.

### 2. Method

Given our purpose outlined in the previous section, it is our first step to extract development regulations used for regulating the location sites and floor space of large-scale shop centers (hereafter called B-shops) from the Urban Planning Law of Japan and a local city's center

revitalization bylaw. Based on these regulations, different policy scenarios can be easily defined by users using Shopsim-MAS. Three possible policy scenarios are used to illustrate the application of Shopsim-MAS for impact analysis of development regulations. In these scenarios different B-shops' location sites and floor space upper limitations are prescribed.

These policy scenarios are carried out in a virtual city which are represented by a digital urban space. This space is constituted by cells which are heterogenous in terms of land use zoning status that are represented by a set of codes in the model and associated with variables indicating whether there is an existing large-scale shop or not. The 'citizens' of this virtual city are agents that are thought related to the policy scenarios, comprising of a planner agent, a developer agent and shop agents and household agents. The planner represents the local government who provides planning information and initiates policy scenarios; the developer constructs large-scale shops under policy constraints; new buildings of large-scale shops intensify the market competence and households make decisions regarding where to go shopping according to their own preference measured by maximum expected utilities. The shopping-market spatial patterns generated from local interaction between shops and households in each policy scenario are compared and analysed, thus the impact analysis of the development regulations are realized.

### 3. Development regulations for B-shops

Development regulations for B-shops are different between municipalities in terms of possible location sites and floor space upper limitation and are written in various formats. In this study regulations about B-shops's location sites described in Urban Planning Law are applied, and local regulations about B-shop development in Kanazawa City are also applied from 2002(see Table-1 and 2). In the urban planning area of this city, restrictions on B-shops's location and floor space upper limitation are different according to the planned zoning types defined in Commercial Environment Planning. Table-1 shows rules of location candidate sites, floor space upper limitation of B-shops that are stipulated in this city's bylaw. In this paper, these regulations are interperated into possible policy scenarios that will be launched in the virtual city.

**Table-1 Bylaw for planning B-shop's location in Kanazawa City**

| Location candidate sites   | Requirements on candidate sites  | Floor space upper limitation (m <sup>2</sup> ) |
|----------------------------|--|--|
| Central area               | CBD  | No limit                                       |
|                            | Improvement areas along main road  | 20000  |
|                            | Other improvement areas  | 3000   |
| Railway Station area       | Areas along the main road connecting to station and other major transport facilities | 10000  |
| Cultural preservation zone | Areas along main road  | 3000   |
|                            | Other areas  | 1000   |
| Sub central area           | Areas along main road  | 5000   |

|                               |                       |      |
|-------------------------------|-----------------------|------|
|                               | Other areas           | 1000 |
| Neighborhood commercial areas | Areas along main road | 3000 |
|                               | Other areas           | 1000 |
| Residential areas             | Areas along main road | 3000 |
|                               | Other areas           | 1000 |
| Industrial areas              | Areas along main road | 3000 |
|                               | Other areas           | 1000 |

**Table-2 Planning regulations on location of the B-shop**

| Urban planning area         | Land use zone   | Permitting State |
|-----------------------------|---|------------------|
| Urbanization Promoting Area | 1 <sup>st</sup> low-rise exclusive residential district                 | X                |
|                             | 2 <sup>nd</sup> low-rise exclusive residential district                 |                  |
|                             | 1 <sup>st</sup> mid-high exclusive residential district                 |                  |
|                             | 2 <sup>nd</sup> mid-high exclusive residential district                 |                  |
|                             | 1 <sup>st</sup> residential district                                    |                  |
|                             | Exclusive industrial district   |                  |
|                             | Commercial district   | O                |
|                             | Quasi-industrial district   |                  |
|                             | Industrial district   |                  |
|                             | 2 <sup>nd</sup> residential district                                    |                  |
|                             | Quasi-residential district  |                  |
|                             | Neighborhood commercial district  |                  |
| Urbanization Control Area   | —   | ▲                |
| White Land                  | ---   | O                |
| X                           | B-shops are not permitted to locate in these land zoning district       |                  |
| O                           | B-shops can be permitted to located in these land zoning district       |                  |
| ▲                           | In principle any development are prohibit in Urbanization Control Area. |                  |

#### 4. Framwork of Shopsim-MAS

For examining the impact of B-shop development regulations, four types of agents are designed in this model. Two types of agents directly affect physical infrastructure of the virtual city, including a planner agent who makes planning decisions such as land zoning, development strategies, and a developer agent who builds the new B-shop whose scale and location must be consistent with planning policies. Our model employed the Decision Table<sup>4)</sup> to describe the decision-making process of the planner agent and developer agent. Besides the planner agent and the developer agent, there are two kinds of agents living in this virtual urban space, which are shop agents and household agents. New B-shops development will affect the supply of goods, market competition and household shop choice. Household agents decide autonomously where to go shopping according to their individual preference. Brief descriptions of the shop agent and the household agent are done as follows because the impact of different development regulations on the city commercial environment can emerge from the local interaction between shop agents and household agents as different spatial patterns.

##### 4.1 Shop agent

Shop agents are further classified into two types according to their floor spaces: B-shop agent and

S-shop agent. S-shop here means the small and medium-size shop. The developer locates a new B-shop when he gets the development permission from the planner agent; S-shops concentrate in the commercial area and no new S-shop is created in this simulation.

S-shops are assumed to have homogeneous attributes, i.e. they have same goods prices and floor spaces. Households and B-shops however are heterogeneous. Existing B-shops' floor spaces and prices are given exogenously. The new B-shop's floor space are set according to local planning regulations when it is opened by the developer agent. Actually, the competition strategies of a new S-shop in a real society will not open to public, thus we assume that the new B-shop will launch a price strategy to compete with the existing shops in simulation as equation (1), in which competitive impacts of the S-shops in terms of price and location and attractiveness of other existing B-shops in terms of floor space are considered.

$$P_n = K * \text{EXP}(-b * d_{on}) + \text{Rnd} * (S_n - S_e) / a \quad (1)$$

Where:

The price of the new B-shop is  $P_n$ ; parameter  $K$  is a constant, equal to the price of small shops in city center; parameter  $b$  is the price decline index, which is given exogenously; variable  $d_{on}$  is the distance of the new B-shop from the city Center  $O$ ;  $\text{Rnd}$  is a number between 0 and 1 generated by computer following the uniform distribution, representing uncertain part of price derived from the influence of difference between new B-shop's floor space  $S_n$  and all existing B-shops' average floor space  $S_e$ ;  $a$  is an exogenous constant and here its value is set equal to 500.

#### 4.2 Household agent

The households have different estimates about distance, price, and shop's floor space when they decide where to go shopping. Through simulation, the market shares between B-shop and S-shop will emerge as spatial pattern in the simulation world. The change of spatial ratio of S-shops' market share to B-shops' could be used to assess scenarios initiated by the planner agent.

We adopt a standard random utility framework<sup>5)</sup> for household shop choice. In every step, households compare the expected shopping utility of optional shops, and choose where to go shopping unless their demands have been satisfied. This model is used to estimate the market shares of S-shops, B-shops and the new B-shop in simulation.

We assumed that:

- (1) The goods sold in all shops are homogeneous, i.e. the household goes to buy the same goods at all the shops.
- (2) Each household has a constant demand for goods. When the total demands of all agents are satisfied, the simulation process will be ended.
- (3) Each step, a household wants to buy a unit of demand.
- (4) A household only considers shops within a certain distance, his reachable distance  $\gamma$ .
- (5) The shop with the highest utility is supposed to be chosen. When available shops are under equal

conditions in terms of utility, the household chooses one from them randomly.

The expected utility of household  $i$  associating with the alternative shop  $j$  is given by

$$U_{ij} = V_{ij} + \varepsilon_{ij}, \quad (2)$$

$$V_{ij} = \sum_k f_j(X_{kij}) - TC_{ij}, \quad (3)$$

$$f_j(X_{kij}) = \beta_{ik} \cdot X_{kij}, \quad (4)$$

$$TC_{ij} = \lambda_i \cdot \alpha \cdot \sqrt{(x_i - x_j)^2 + (y_i - y_j)^2}. \quad (5)$$

Where:

Variable  $V_{ij}$  is the deterministic part of the utility;  $X_{kij}$  is the  $k$ -th attribute including price and floor space describing store  $j$  presented to household  $i$ ;  $f_j$  is a function to evaluate the attractiveness of the  $k$ -th attribute of shop  $j$  to household  $i$ ;  $TC_{ij}$  is a measure of the disutility of travel between site of household  $i$  and site of shop  $j$ ;  $\beta_{ij}$  is a specific taste weight of the household  $i$  with respect to the attribute  $k$  of a shop;  $\lambda_j$  is a parameter reflecting the attitude of the household  $i$  toward the cost of travel, here it is set equal to  $-1$ ;  $\alpha$  is an exogenous constant that represents the unit travel cost. Variable  $\varepsilon_{ij}$  is the unobserved random component of utility that is used to capture uncertainty of shopping behavior.

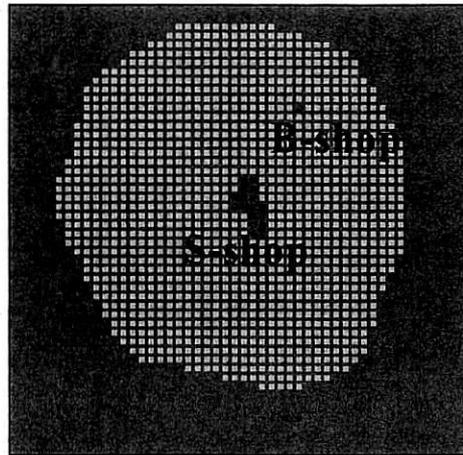
### 4.3 Spatial patterns and market shares

Based on the random utility model, spatial patterns, generated from household agents' shopping behaviors, are represented by different combinations of shop's market shares. A shop's market share is measured by a fraction of cells where shopping rate of a household agent in the shop is more than 80%. If without the random component in the utility, even though household agents have different estimates of  $X_{kij}$ , the spatial pattern can be figured out in the first step of the simulation with a clear boundary between S-shop and B-shop's market shares. The random component can destroy the clear boundary and create different spatial patterns as shown in the Figure-1. However, when S-shops and B-shops are located at the same place, the boundary will not exist and a random spatial pattern will emerge. According to the simulation results of the case that B-shop and S-shop have different location, the smaller random component is, the clearer the boundary line appears. Thus, differences between household agents expressed by the random component will cause different spatial patterns. For checking the boundary between S-shop and B-shop's market shares, the smaller random component can deliver expected results because the impact from the differences of household agents in this paper is not important. Hence, the random value 500 for the utility model of both S-shop and B-shop are employed for further simulation.

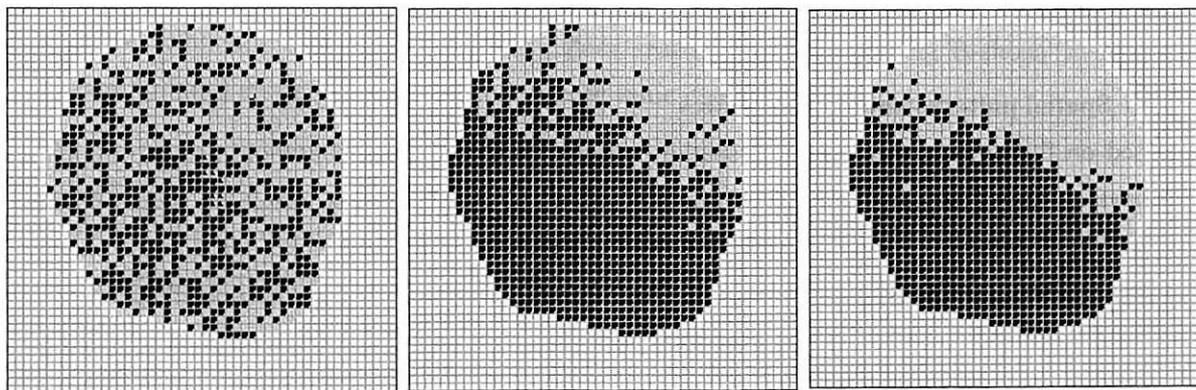
## 5. Policy scenarios evaluation

In order to illustrate how MAS might be used to analyze impact of B-shop develop regulations on

inner city regeneration, three policy scenarios are formulated, which different in terms of location sites and floor space upper limitation of B-shops. These scenarios are supposed to be performed in a virtual city, which are the main components of the urban space of Shopsim-MAS

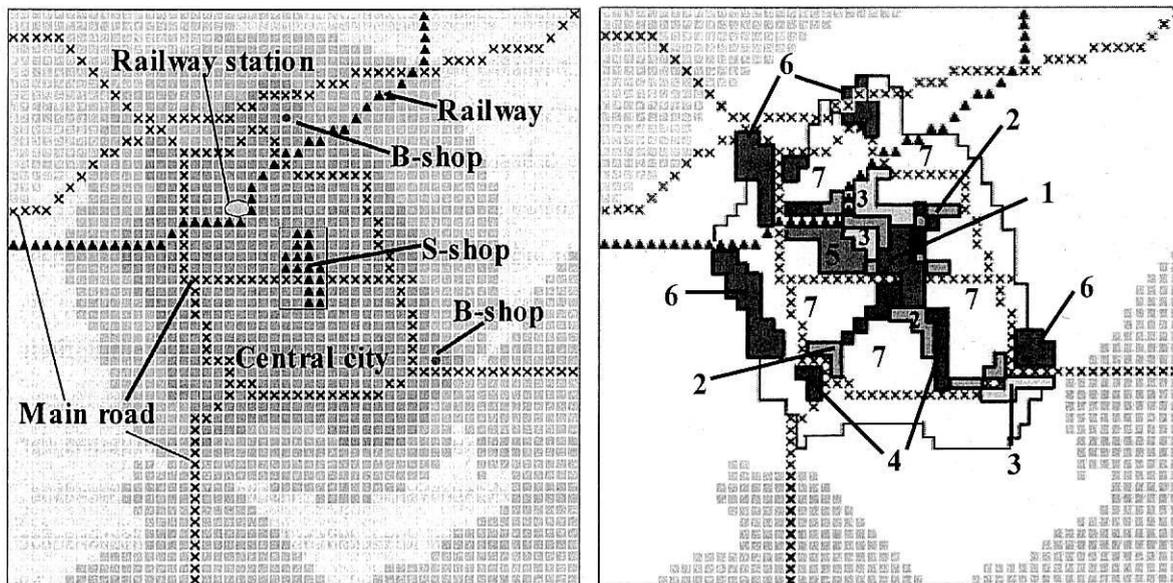


B-shop and S-shop in different positions



■ Shopping rate in S-shops > 80%    □ Shopping rate in the B-shop > 80%  
 $R_s=5000, R_b=10000$                        $R_s=2000, R_b=2000$                        $R_s=500, R_b=500$

Figure-1 The spatial patterns of shopping behaviours



- |   |       |   |
|---|-------|---|
| □ UCA                                   | ■ UPA | ■ 1. Commercial district                  |
| ▲ Railway                               |       | ■ 2. Neighboring commercial district      |
| × Main Road                             |       | ■ 3. 2 <sup>nd</sup> residential district |
| ● B-shop                                |       | ■ 4. Quasi-industrial district            |
| ▲ S-shop                                |       | ■ 5. Industrial district                  |
| ○ Railway station                       |       | ■ 6. Quasi-residential district           |
| ▲ Commercial center of the central city |       | □ 7. Other land use districts             |

(a) Urban space

(b) Land use zoning in UPA

**Figure-2 The hypothetical urban space spatial structure**

### 5.1 The hypothetical urban space

This study concerns a hypothetical urban space of 2500 cells (50 X 50 ) where each cell measures 500 m X 500 m. The urban space comprises a central city and two neighboring cities. The model assumes that the central virtual city has the typical characteristics of Kanazawa city in Japan, namely with a traditional commercial center located in the heart of the city; with urban planning area (1230 cells) divided into Urbanization Promoting Area (UPA) and Urbanization Control Area (UCA) and with defined land use zones within UPA. All these planning information is assigned to each cell of central virtual city by the planner agent. The urban space spatial structure is shown in Figure-2 (a) and (b). The 1<sup>st</sup>-6<sup>th</sup> types of land use districts in Figure-2(b) are zones where B-shops can be permitted to locate.

### 5.2 Process of simulation and policy scenarios

The shopping behaviors of household agents as described in subsection 4.2 are simulated for producing market shares of shop agents in urban space in order to visualize the impact of the new B-shop. The simulation process can be implemented as follows:

- The user of Shopsim-MAS defines a policy scenario to be implemented.
- The planner agent sets the spatial structure and initiates this scenario.
- S-shop agents and existing B-shop agents are created in the urban space. Household agents are created and distributed to the whole central city urban planning area.
- The developer agent places the new B-shop in urban space according to defined scenarios.
- The user sets the initial values of parameter including unit travel cost, reachable distance of the new B-shop.
- Households then decide where to go shopping as described in subsection 4.2 until their demands are fulfilled.

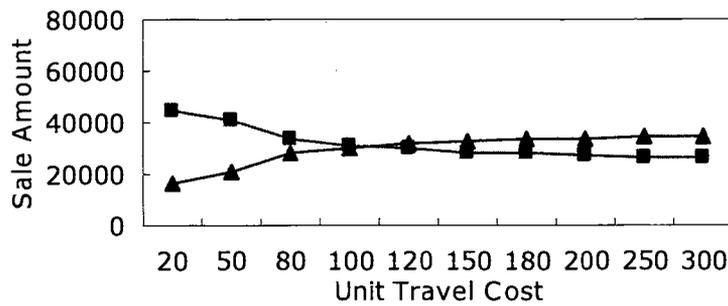
Based on the development regulations described in section 3, three scenarios are formulated for locating a new B-shop in the virtual city. 1) Center Activation(CA): To reverse the decline, encourage large-scale shop to locate in the center commercial area without upper limitation for floor space, but strictly restrict out-center location. 2) Railway Station Development (RSD): In order to develop the railway station area into a comprehensive business area, B-shop can be opened near the station, with an upper limitation of 10000 m<sup>2</sup>. 3) Neighbouring Commerce Promotion (NCP): To improve community convenience, encourage B-shop to locate in neighbouring commercial area, with an upper limitation of 3000 m<sup>2</sup>.

### 5.3 Model test

As described in the household shop-choice model, the main exogenous parameters affecting deterministic utilities of household agents are unit travel cost ( $c$ ), reachable distance( $\gamma$ ) and floor space ( $S$ ). In order to examine the operational characteristic of the Shopsim-MAS, a sensitivity analysis for parameter validation is conducted. Here each parameter is examined respectively and it is argued that if one parameter is proved valid in affecting shopping behavior, it is self-evident that all parameters can work together to impose such affection. The simulation is carried out under the setting as follows. Households in one cell are supposed to be homogeneous and are regarded as one agent; hence there are 1230 household agents in the simulation. Each household agent has 50 demands that indicates the number of shopping times in one month. There are two existing B-shops and seventeen existing S-shop in the city center. The floor space of the first B-Shop is set as 10000 m<sup>2</sup> and the second B-shop's is set as 20000 m<sup>2</sup> referring to the floorspace stipulated in planning regulations. In National Survey of Price ([www.stat.go.jp](http://www.stat.go.jp)), the floor space of a small scale shop is under 450 m<sup>2</sup>. Here, the small shops in the center of Kanazawa city are considered to be smaller and set as under 300 m<sup>2</sup>. The parameters have good expression in the simulation as shown in Figure-3(a-c). Consequently, sale amounts of shops are significantly affected by travel cost, reachable distance and floor space that influences shopping utilities of households.

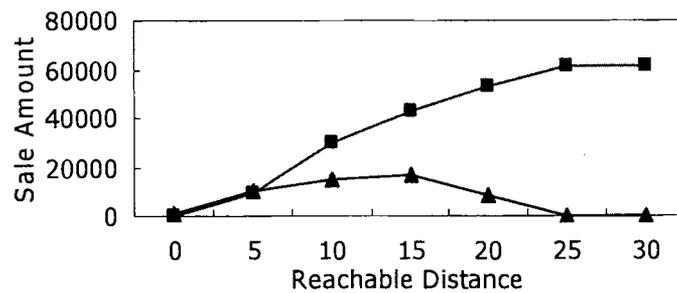
For calibration of Shopsim-MAS, the unit travel cost is set as 20yen, average bus fare for one cell space 500m; correspondently the reachable distance is set as 30 for 15000m. Commercial Statistics Survey in 1985, Digital National Information (<http://nlftp.mlit.go.jp>) is employed for this testing.

Figure-4 (a) shows the shops' spatial distribution of Kanazawa city in 1985. The meshes with more than 150 shops are identified as the city center, which accommodates 2006 S-shops and 4 B-shops. The total floorspace of S-shops is 192445 m<sup>2</sup> and that of B-shops is 26483 m<sup>2</sup>. For model test, the center area is mapped into 36 cells with 36 S-shops (the floor space of each S-shop is 300 m<sup>2</sup>) and 1 B-shop (1500m<sup>2</sup>), where the ratio of total S-shops' floor space(10800 m<sup>2</sup>) to B-shops' is 7.2, almost same with the real floor space ratio of S-shops to B-shops. The setting of Household agents is same with that in parameter examination. Figure-4 (b) shows the virtual shops' positions based on the real city and the simulation result. It can be seen that the performance of S-shops surpassed much that of B-shops because of their obvious advantages in number and floor space. Table-3 shows the comparison between the real data and the simulation result, which are in consistent with each other. Consequently, we can conclude that Shopsim-MAS can be employed as a promising tool to simulate spatial patterns of market shares.



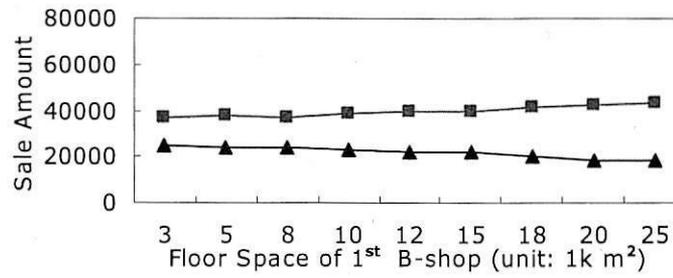
$$\gamma=30, S_1=10000, S_2=20000$$

(a) Unit travel cost and shop-sale amount



$$c=20, S_1=10000 \text{ m}^2, S_2=20000 \text{ m}^2$$

(b) Reachable distance and shop-sale amount

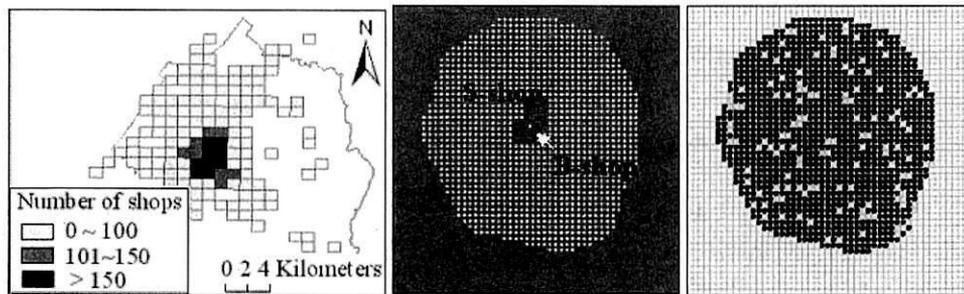


$$c=20, \gamma=30, S_2=20000 \text{ m}^2$$

(c) Floor space and shop-sale amount

—▲— S-shop      —■— B-Shop

**Figure-3 Parameters sensitivity examination**



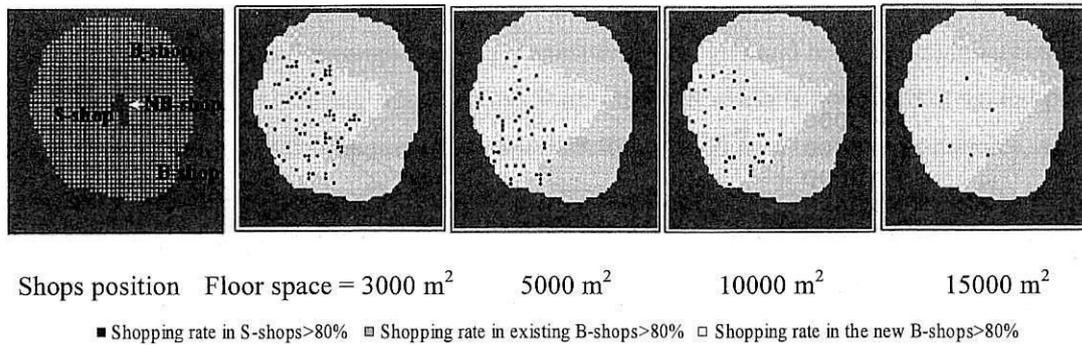
(a) The distribution of real shops (1985)   
 ■ Shopping rate in S-shops > 80%   
 □ Shopping rate in B-shops > 80%

(b) Simulation results in the virtual city

**Figure-4 Real shops' distribution and virtual simulation**

*Table-3 Comparison of sale amount in real and virtual center*

| Mesh size                         | Shop(number) | Floor space (m <sup>2</sup> ) | Sale amount      | Market share |
|-----------------------------------|--------------|-------------------------------|------------------|--------------|
| Reality<br>(1km <sup>2</sup> )    | S-shop(2006) | 192445                        | 186(billion en)  | 89%          |
|                                   | B-shop (4)   | 26483                         | 22.4(billion en) | 11%          |
| Virtual<br>(0.25km <sup>2</sup> ) | S-shop (36)  | 10800                         | 55475(demand)    | 90%          |
|                                   | B-shop (1)   | 1500                          | 6025(demand)     | 10%          |



**Figure-5 The spatial pattern of shopping rate of CA scenario**

#### 5.4 Comparison of different scenarios

Actually, there are some B-shops and S-shops in the center closed because of operating deficit and many B-shops locating outside the city center of Kanazawa after 1985. However, it is difficult to take into account all real shops in the simulation because of limited system capacity. Hence scenarios analysis is conducted under simplified hypothetical conditions.

Three scenarios are simulated with the same parameter settings as in the parameter sensitivity examination. The existing shops' positions are only set as Figure-2 similar to the location of B-shops in the eastern and southern Kanazawa City. The spatial effects of CA scenario is shown in Figure-5 and 6. Spatial patterns in Figure-5 are represented by market shares in terms of shopping rate. It can be seen that market shares of center shops (including S-shops and the new B-shop) and existing B-shops are separated by a boundary, but market shares concerning S-shops and the new B-shop appear a random pattern since both of them have the same location. S-shops are faced with fierce competition after establishment of a new B-shop in the city center and they lost most of their market share. From Figure-6, it can be learned that the larger the new B-shop is the more market share of the center shops, but S-shops' market share decreases. This indicates that CA scenario do have effect in improving the market performance of center shops as a whole, but may cause severe harm to the center S-shops at the same time if there is no limitation on B-shop's scale.

To compare three scenarios, the developer agent is made to develop a new B-shop of same floor space, 3000m<sup>2</sup>, in all these scenarios. The competition faced by S-shops in the scenario RSD and NCP is not as strong as those in scenario CA, but market statistics reflect that both of RSD and NCP provide no any help in promoting the center commerce development(Figure-7). In later two scenarios the loss of market share of S-shops caused by the new B-shop is more than in CA scenario, as show in Figure-8. This further indicates that the CA scenario might be an effective measure to improve the activity of center commerce if there is a reasonable limitation on B-shop's floor space. Comparing with commercial zones in master plan of Kanazawa city, CA and NCP scenario are accepted at the same time in the planning concepts, which might find a solution to the conflict between the affluence of the commerical center and the expansion of the city. If the model capacity can be extended to fit for the complex of reality, Shopsim-MAS can be employed as a

promising tool to analyze the dynamic process regarding B-shop planning .

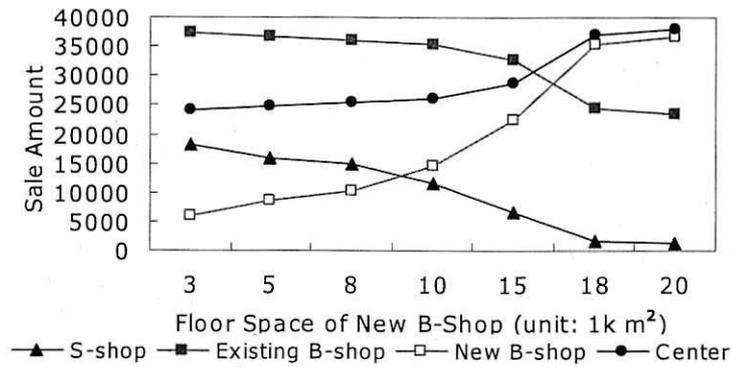
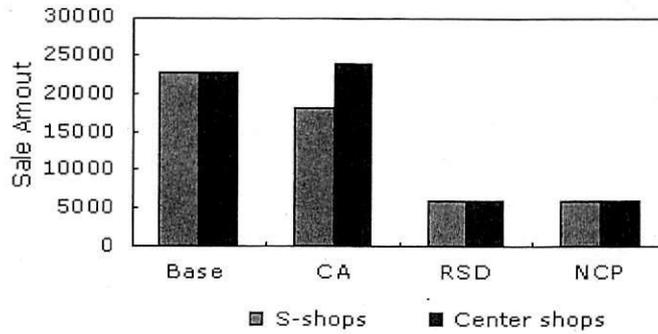
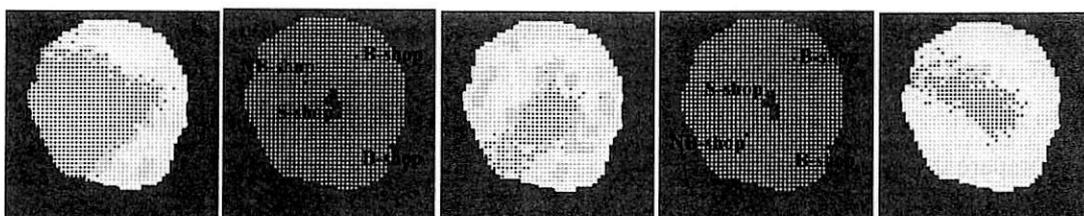


Figure-6 The sale statistics in CA scenario



When new B-shop's floor space =3000 m<sup>2</sup>

Figure-7 The sale statistics of shops in the city center



CA scenario

RSD scenario

NCP scenario

■ Shopping rate in S-shops>80%    □ Shopping rate in B-shops>80%

Figure-8 Spatial patterns of shopping rate in different scenarios

(new B-shop floor space=3000m<sup>2</sup>)

## 6. Discussion and further research

In this paper, the use of MAS for impact analysis of large scale shopping center development regulations is proposed and illustrated. First, by introducing real urban land use zoning to form agent's behaviour constraints, the Shoppsim-MAS simulate the virtual urban space in a more

practical way in the context of urban planning. Second, the operational characteristic of the Shopsim-MAS is examined through parameter sensitivity analysis and test with commercial survey data(1985) of Kanazawa. During this process, Shopsim-MAS exhibits how market spatial patterns emerge from the saling and shopping process indirectly affected by development policies, and how these spatial patterns can be used to analyse the impact of development regulations. The impact of the new B-shop on the commercial environment of the city center are visualized according to the three scenarios, which indicate that to develop new B-shop in the city center might be an effective measure to improve commercial activity of city Center as long as there is a reasonable limitation on B-shop's floor space.

As show in this paper, Shopsim-MAS proved to have a good performance in analyzing the impact of large scale development regulations from aspects of location sites and floor space. However, it does not necessarily mean Shopsim-MAS can be readily used in practice though we believe it would be the case. There are still many challenges remaining for further research. For example, the impacts of the dynamic competition between S-shops and B-shops on spatial market patterns are left as an unsolved problem. The most important challenge is how to deal with large amount data that required by micro-simulation and calibration in MAS. It is clear that a reasonably complete urban simulation model will need enormous amounts of detailed data, not only including land use, households and their characteristics, but also environmental and social-economic features. Data for planning are generally available in GIS form, and may be readily integrated into the database for model development. In future we will integrate the MAS model with GIS, and then more satisfying outcomes can be expected.

## References

- 1) Masanobu Kii, Kenji Doi (2005), 「Multi-agent land-use and transport model for the policy evaluation of a compact city」, *Environment and Planning B: Planning and Design*, Vol.32, 485-504.
- 2) Michelle Chabrol, David Sarramia, Nikolay Tchernev (2006), 「Urban traffic systems modelling methodology, *International Journal of Production Economics*」, Volume 99, Issues 1-2, 156-176.
- 3) Yosuke Ando, Keiji Yokota and Tohru Yoshikawa (2005), 「Urban simulation by a multi agent system considering emergence and agglomeration of vacant buildings in urban decline process and effect of empty space on commerce」. *Journal of the City Planning Institute of Japan*, No. 40-1, 52-59 (in Japanese).
- 4) T. Arentze, A. Borgers, H. Timmermans (2000), 「A knowledge-based system for developing

retail location strategies」, Computers, Environment and Urban Systems 24, 489-508.

- 5) Baltas, George and Peter Doyle (2001), 「Random Utility Models in Marketing. Research: A Survey,」 Journal of Business Research, Vol. 51, 115-125.

## 第9章 MASを用いた世帯立地のシミュレーション

### 日本語概要

マルチエージェントを用いた中心市街地の関連施策の評価を行うには、消費者による購買行動が重要であるが、消費者としての世帯エージェントの分布は、関連施策が商圈へ及ぼした影響をシミュレーションするには、不可欠な前提条件となる。なお、世帯エージェントの分布は、計画規制や都市開発などの地域特性を反映しているため、従来の同心円都市を仮定してシミュレーションを行う方法論には、計画規制を取り入れることで、世帯立地の結果は比較的良好に現実の都市に近づくことになる。

本研究では、世帯立地をシミュレーションするため、各種の現行の地域制、すなわち市街地区域、市街地調整区域、都市計画区域と用途地域を空間的条件として導入している。これによって、地域制の内容を変えることで、世帯エージェントの空間分布も代わり、地域制の計画代替案の評価などへ適用することが可能になると考えられる。なお、用途地域に合わせて指定されている容積率規制もシミュレーションによる世帯エージェントの分布制限に関連させることができる。シミュレーションによって提示した世帯立地に基づいて、消費者の購買行動をシミュレーションし、大型店の立地関連施策のシナリオを評価できるようにした。

これまでの関連研究における世帯立地には、もっぱら世帯の収入などの経済指標を用いられてきているが、本研究では、今後、交通政策やコンパクトシティの評価に適用できるようにするため、購買行動のために用いられる交通手段や世帯分布の密度指標などもシミュレーションに導入する予定である。

## 第 9 章

# An approach to allocate households agents in a MAS model for the urban simulation

### 1. Introduction

A number of published studies <sup>[1][2]</sup> have demonstrated that multi-agent system (MAS) models can provide a detailed, decentralized and dynamic view of urban system, and can serve as a virtual laboratory for urban planning policies. These studies share the common view of that heterogeneity of agents result in different individual preferences and thus have a significant effect on model outcomes, usually measured by aggregate patterns of clustering.

However, most of these studies are based on assumptions that the household agents are distributed uniformly or randomly and the heterogeneity of agents are resulting from the difference of social-economic attributes such as education, income, etc. This kind of assumptions neglect that the spatial distribution of households are affected by urban planning regulations such as zoning constraints and pay no attention to the interdependence of households' spatial distribution and their social-economic attributes. The assumptions limit the usefulness of these models for investigating the concerned urban phenomena through individual-level interaction. This paper is attempting to allocate household agents in simulation space while considering the land use zoning constrains.

### 2. Method

The Shopsim <sup>[3]</sup>, which we developed to explore the use of MAS for analyzing the potential impact of the downtown regeneration policies, specially the planning regulations concerning the development of large-scale shopping centers (B-shop) through simulating shopping spatial market share of the downtown and B-shops. This system consists of various autonomous agents (planner, developer, shop, household) who interact with each other acting in a virtual urban space represented by cells. In order to enable the household agent's shop-choice decision-making process more reasonable for analyzing shop spatial market share we modified the household agents' attributes and the way to allocate household. Household agents are grouped in to three income types. The income attributes of household not only will affect their shop-choice preference, but also their spatial location. And what is more, the distribution of household agents in the virtual urban space display the general population density character of the city, in other words, the density is higher in the center than in the outer area of the city.

### 3. Factors affecting spatial distribution

#### 3.1 Income types of household agents

The number of household agent is assumed has been known and is set by users in the Shopsim. Household agents are group into three income levels in the Shopsim, denoted respectively by the Rich, the Middle and the Poor. The sum of ratios equals to 1. It is assumed that there are three kinds of spatial pattern by income types: Well-Mixed, Inner-Higher and Outer-Higher. Well-Mixed pattern represents an ideal distribution pattern that households of different income mix with each other. Inner-Higher and Outer-Higher pattern is defined according to the Rich distribution. The former means that the Rich household agents intend to live in the downtown area, and the later vice versa. Users of the Shopsim can adjust the ratios of different income-types, select the location pattern by household income types for the simulation.

#### 3.2 Land use zoning constraints

The zoning constraints on household spatial distribution are put into effect through two critical variables: HSP, HFAR.

The variable HSP means the probability of a cell to be selected to hold households. The HSP is a representation of housing-use ratio in each kind of zoning types in real world and its value is designed based on existing study <sup>[4]</sup>.

The variable of HFAR means the maximum number of household agents on a cell, or the household-capacity of a cell. The value of HFAR for each cell in Urban Planning Area (UPA) is designed from the maximum floor area ratio (Max. FAR) of the zoning type that cell belongs to.

In order to let household agents' distribution obey the general population density pattern of the cities, it is assumed the value of HSR and HFAR of cells in the downtown is higher than other cells belonging to UPA (Table-1). The HSR of cells in Urbanization Control Area (UCA) is set as 50% and the HFAR is either 1 or 0 with equal probability randomly.

**Table-1. The zoning constrains related variables for the UPA**

| No | Land use zoning  | Downtown |          | Out-Downtown |          |
|----|--|----------|----------|--------------|----------|
|    |  | HSR (%)  | HFAR (%) | HSR (%)      | HFAR (%) |
| 1  | 1 <sup>st</sup> low-rise exclusive residential district      | 100      | 2        | 100          | 2        |
| 2  | 2 <sup>nd</sup> low-rise exclusive residential district      | 100      | 2        | 100          | 2        |
| 3  | 1 <sup>st</sup> mid-high-rise exclusive residential district | 100      | 3        | 100          | 3        |
| 4  | 2 <sup>nd</sup> mid-high-rise exclusive residential district | 100      | 3        | 100          | 3        |
| 5  | 1 <sup>st</sup> residential district                         | 90       | 4        | 90           | 4        |
| 6  | 2 <sup>nd</sup> residential district                         | 90       | 4        | 90           | 4        |
| 7  | Quasi-residential district                                   | 80       | 4        | 80           | 4        |
| 8  | Neighborhood commercial district                             | 70       | 4        | 70           | 4        |
| 9  | Commercial district  | 50       | 10       | 50           | 10       |
| 10 | Quasi-industrial district                                    | 70       | 4        | 70           | 4        |
| 11 | Industrial district  | 30       | 4        | 30           | 4        |
| 12 | Exclusive industrial district                                | 0        | 0        | 0            | 0        |

#### 4. Allocation model of household agents

The process to allocate household agents is one of important components of the initialization of the Shoptsim. It is performed after setting up urban space (urban planning area and land use zoning) using a cellular automata model, which set up the physical acting space for the households. To set about initializing the Shoptsim, users should decide the external variables' values, including the number, the income ratios and income-location pattern of households. The Figure-1 demonstrates the relationship between objects in the process.

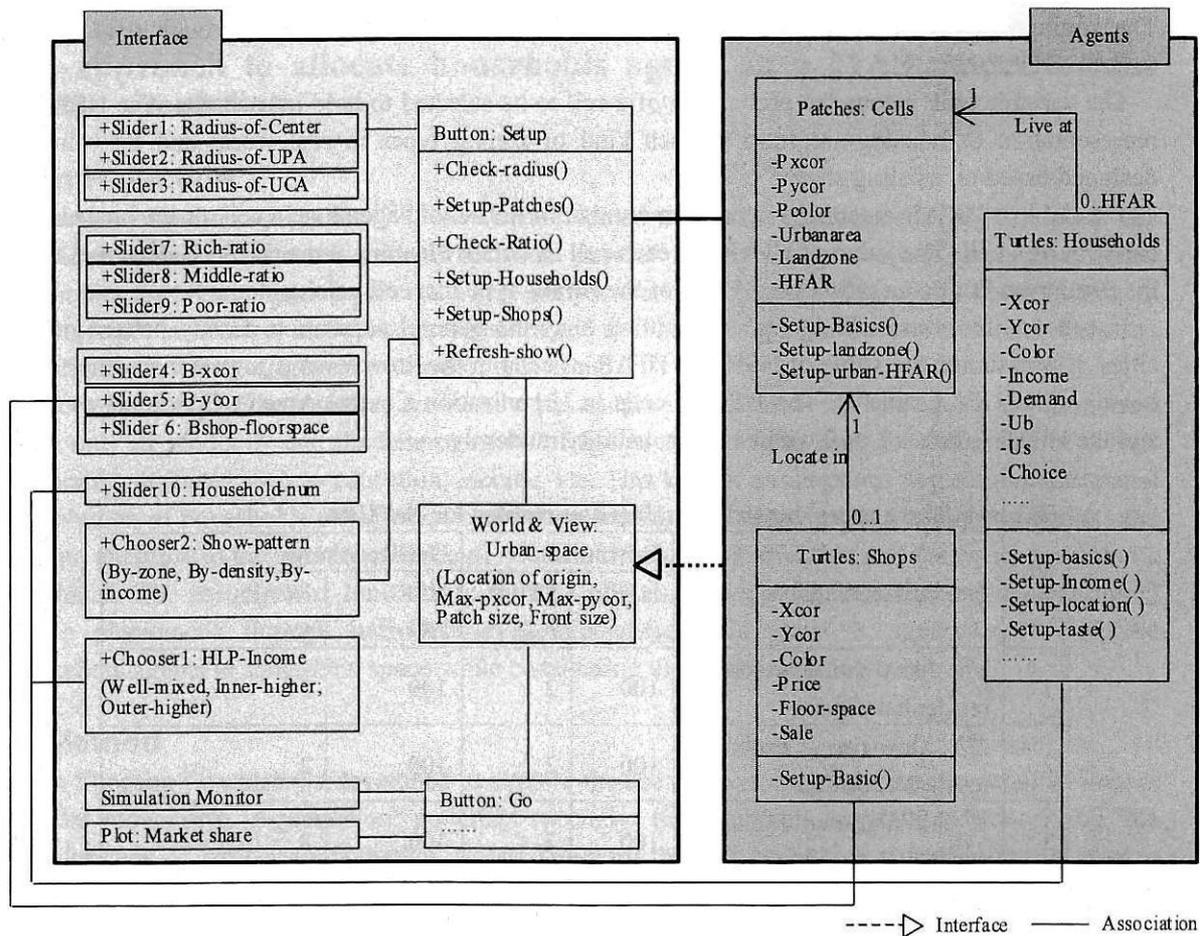


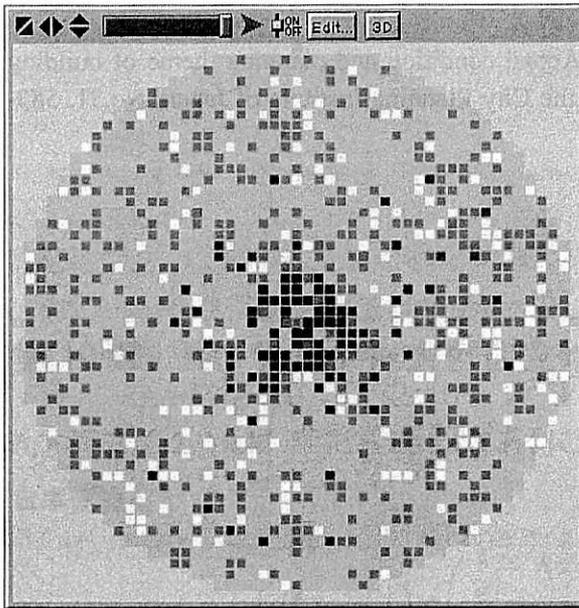
Figure-1. The class diagram for allocation model in Shoppsim

### 5. Simulation results relating to households allocation

Our model has been implemented in Net Logo (<http://ccl.northwestern.edu/>). Simulation results are produced based on following basic inputs (Table-2). The Figure-2 shows the household agent spatial distribution. The Figure-3 exhibits the spatial market shares of the downtown shops and B-shop.

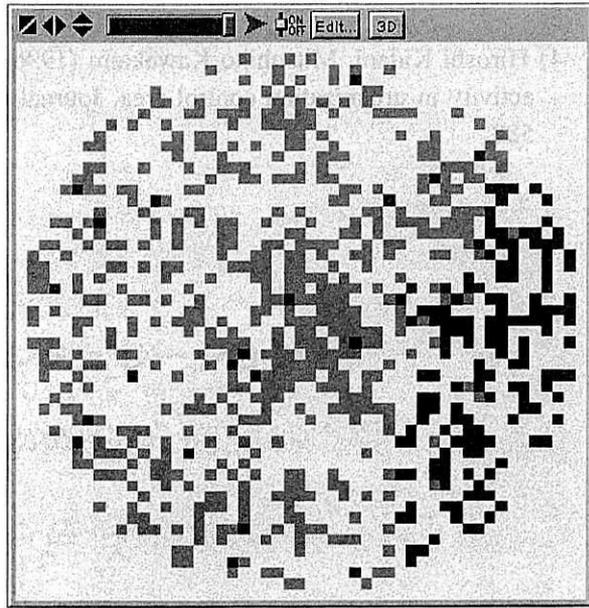
Table-2. Basic parameters for the initialization

|   |                                    |
|---|------------------------------------|
| Radius-of -Center = 5                         | The B-shop position = (13, -4)     |
| Radius-of-UPA = 20                            | Households-Num = 2000              |
| Radius-of -UCA = 25                           | Rich: Middle: Poor = 0.2: 0.6: 0.2 |
| The location pattern by income = Inner-Higher |                                    |



■ The Rich    ■ The Middle  
 □ The Poor    □ The urban space

**Figure-2. The spatial distribution of household agents**



■ The share of the B-shop  
 ■ The share of the Downtown

**Figure-3. The spatial pattern of shopping spatial market shares**

## 6. Conclusion

In order to enable the simulation results of the Shopsim come closer to reality, which is developed for exploring the impacts of large-scale shopping on the local city center under certain planning regulations, we modified the household agents' attributes and their allocation by considering zoning constraints and location pattern by income.

We believe the work report here is a step forward towards generating a more realistic simulation environment for the Shopsim, and maybe looked as a good reference for urban simulation models. But we realize that more effort needs to be made to improve the quality and accuracy of the Shopsim. In our future research, we plan to add dynamic location process of household in respond to urban planning conditions change and the building of a large-scale shopping center.

## References

- 1) W.Loibl, T.Toetzer, 2003. Modeling growth and densification process in suburb regions-simulations of landscape transition with spatial agents. *Environmental Modeling & Software* 18(2003), 553-563.
- 2) Itzhak Benenson, 1998. Multi-agent simulations of residential dynamics in the city. *Computer, Environment and Urban Systems*, Vol.22, No.1, 25-42.
- 3) Chen Ping, Shen Zhenjiang, Mitsuhiro Kawakami, 2006, Study on Development and Application of MAS for Impact Analysis of Large-scale Shopping Center Development, *Journal of the City Planning Institute of Japan*, 271~276.

- 4) Hiroshi Kidani, Mitsuhiko Kawakami (1996), Actual condition and planning theme of building activity in urbanization control area, Journal of the City Planning Institute of Japan, No.31, 583-588.

## 第 10 章 MAS を用いた大型店立地シミュレーション

### 日本語概要

中心市街地の関連施策について、大型店の立地規制や地方自治体の商業施設配置計画などは、主な計画施策として評価されるべきである。これらの計画施策の評価には、消費者の購買行動によって、関連施策が商圈へ及ぼした影響などを解明することになる。マルチエージェントを用いて、大型店の立地シナリオを設定するなど、異なる施策によってシミュレーションすることが可能である。このため、大型店の立地シナリオが不可欠な前提条件となる。なお、大型店の立地シナリオは、関連する商業施設配置計画や立地規制によって設定されるが、立地シナリオが都市空間において、どのような場所になるのかを提示するには、マルチエージェントを用いるシミュレーションのプロセスにおいて、シナリオの再現手法が必要である。

本研究では、大型店の立地シナリオをシミュレーションで提示するため、わが国における各種の地域制制度、すなわち市街地区域、市街地調整区域、都市計画区域と用途地域を空間的条件として導入し、金沢市の商業環境形成指針において定められた床面積の規制や場所の制限も設けている。しかし、同じようなシナリオでも、大型店の立地可能な組み合わせが多数にあるため、シナリオに相応しい立地パターンを選別する必要があり、本研究では GA の方法を用いた。シミュレーションによって提示した大型店の立地に基づいて、消費者の購買行動をシミュレーションし、大型店の立地関連施策のシナリオを評価できるようにしている。

## 第 10 章

# Decision Making for Large-scale shopping Centers Location Based on Multi-agent System

### 1. Introduction

Last decade has seen downtown decline in many local cities in Japan. Large-scale shopping centers (hereafter called B-shops) keep opening at out of center location is thought as one of major reasons. In dealing with this problem, planning authorities have drawn out a series development regulations for regulating B-shops location, scale and form of B-shops' development, in order to prevent the adverse impacts on downtown. Generally, B-shops are only permitted locating in commercial zones and their floor space cannot exceed upper-limitation that is usually different between commercial zones. But it is difficult to ensure the B-shops' development under constrains stipulated by these regulations plans can really meet the objectives of downtown regeneration policies. It is obvious that a preliminary insight into feasible B-shop development patterns will be helpful for urban planners make better policies to guide B-shop development.

Multi-agent system (MAS) has been proved powerful in exploring the uncertainty and complexity inhabited in urban system. Recently, multi agent simulation was applied for decision making in the field of urban policy. Planner agent<sup>1)</sup> are designed as a artificial agent in multi agent simulation to draw a land use plan for future through interaction with the artificial stakeholders, and MALUT<sup>2)</sup> can be employed to evaluate compact city policy in which spatial equilibrium condition in land use market can be reached through bid-rent theory, utility model for each type agent in simulation. We suggested that MAS can be explored to analysis the effect of downtown regeneration policies especially regulations concerning B-shops development through simulating what happened if these regulations were carried out.

In our research project, a multi-agent system called Shopsim<sup>3)</sup> is developed to provide a virtual laboratory for testing B-shop development plans and appraise possible impacts of the new B-shop on the downtown of a hypothetical city. We assumed that Urban Planning Law is carried in this city and the commercial zones and upper-limitation in each zone have been given. This system consists of various autonomous agents (planner, developer, shop, household) who interact with each other concerning the development of B-shops and the city center. In this paper, we focused on introducing the genetic algorithm method used by the city planner agent in the Shopsim, to foresee suitable locations and floor space of new B-shops hoping that the future B-shops' development can not only cover broader city area to meet increasing shopping demand of citizens but to promote the commercial well-being of the downtown.

Genetic algorithms (GA) are a kind of search and optimization algorithms inspired by theories of the mechanics of natural selection and are implemented as a computer simulation in which a population of abstract representations (called chromosomes) of candidate solutions (called individuals) to an optimization problem evolves toward better solutions. Genetic algorithms find

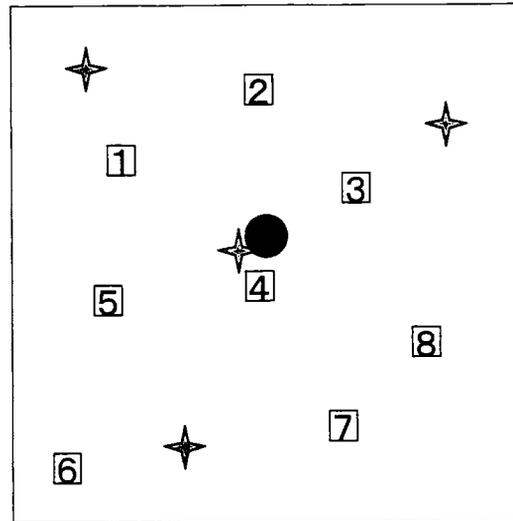
application in many fields like computer science, engineering, economics, etc. Genetic algorithms are also proved efficient at finding solutions close to the optimum for complex spatial problems concerning land use, for example, to generate alternative sketch maps for urban planning<sup>4)</sup>, to optimize highway alignment<sup>5)</sup> and to plan multi-objective agricultural land-use<sup>6)</sup>. In this paper, a genetic algorithm is suggested to find suitable solution from large amount of alternative B-shop development plans constrained by development objectives and regulations and designed as a decision-making tool for the planner agent.

## **2. B-shops' development problem faced by Planner agent**

In the Shoipsim, the planner agent represents planning authorities of a local city facing downtown decline and is responsible for drawing up the regulations of B-shop developments and initiating the process to examine the efficiency of the regulations. In this paper, it is supposed that there have been a certain number of B-shops in the city and some of them had bad influence on the downtown commercial center. the planner agent has formulated the regulations for B-shops (commercial zones and floor space upper-limitation of the B-shop in each zone are already set) and estimated the total B-shop development Quantity (in terms of floor space) for the coming year from historical statistic data. Now the planner agent want to know beforehand under the constraints of B-shop development regulations which kind of B-shop development plans is best feasible. Here, a B-shop plan that will not cause adverse impacts on the downtown commerce is thought feasible. The planner agent in the Shopsim solve this problem in two step:

Firstly, to formulate a number of coarse plans, and then select several plans with high feasible probability. The criteria to select plans are based on planning regulations about location-sites and upper-limitation for developing B-shops. Given the total B-shop development quantity (total floor space), the objective of the planner in this step is to make the coming new B-shops accessible to as many as possible household agents (in this study the households are supposed distributed uniformly in the urban space), in other words, accessible to as much urban area as possible. This step is realized using a GA approach and this paper is mainly devoted to discuss this step.

Secondly, the planner agents examined the possible impacts of these selected B-shop plans one by one in Shopsim on commercial development of downtown. Based on simulation result, the planner agent can decide which B-shop plans are best meet planning objectives. This step work is report reported in another paper<sup>3)</sup> and is not main concerning of this paper.



- ✦ Locations of existing B-shops
- $j$  Potential Locations for new B-shops
- Downtown area

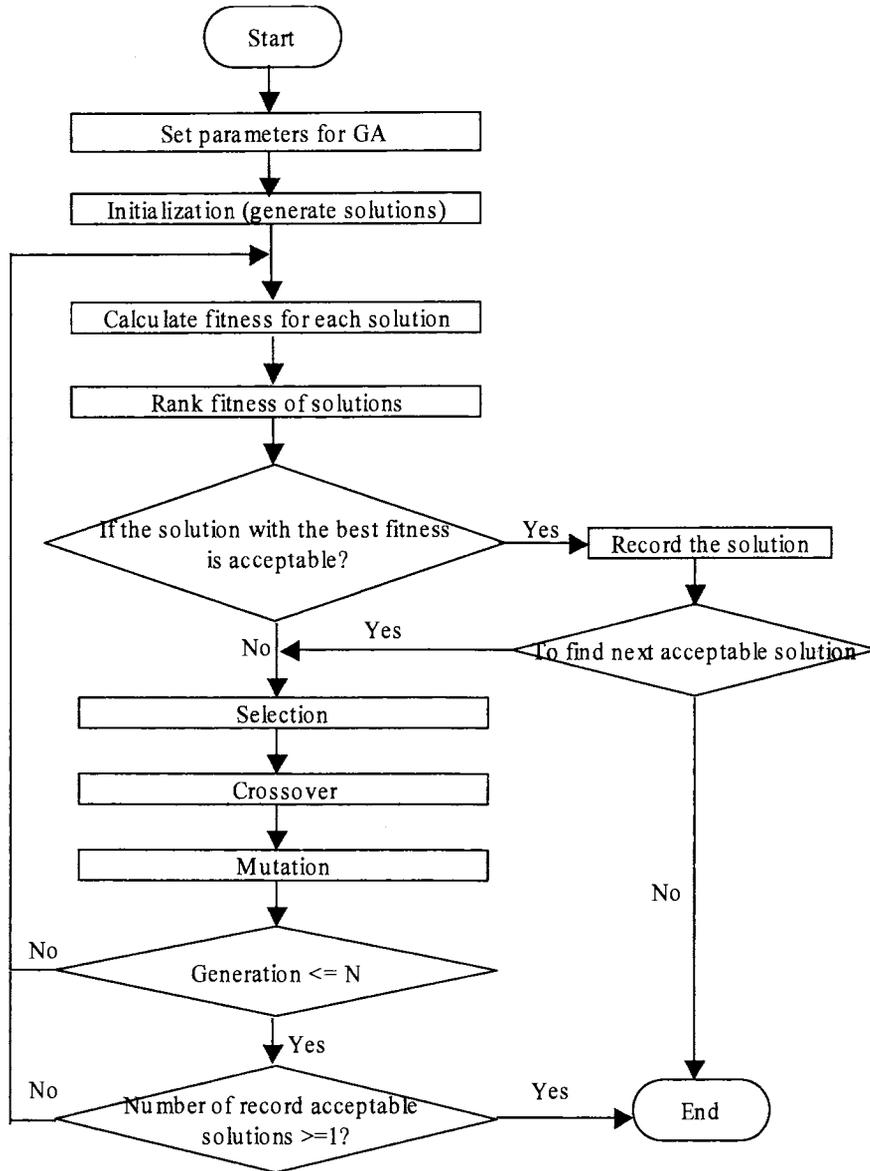
**Figure-1. Location of B-shops.**

The hypothetical city is represented by a rectangular space and the downtown area is represented by a circle space in Shopsim (Figure-1), and for illustration the number of existing B-shops and the number of potential sites for the new B-shops are reduced to four and eight respectively. The definition for the variables used in this paper is list in the Table-1.

**Table-1. The definitions of variables.**

| Variable | Definition  |
|----------|---|
| TS       | The total floor space waiting for allocation.   |
| $m$      | The number of existing B-shops (EB-shops)   |
| $n$      | The number of potential locations (sites) for B-shops   |
| $k$      | The number of planned new B-shops (NB-shops)  |
| $j$      | The $j$ -th existing B-shop   |
| $i, h$   | The $i$ -th or $h$ -th new B-shop   |
| $d_{ij}$ | The Euclidean distance between the NB-shop $i$ and existing B-shop $j$ .  |
| $d_{ih}$ | The Euclidean distance between the NB-shop $i$ and the NB-shop $h$ .  |
| $R_i$    | The estimated trade area radius of the NB-shop $i$  |
| $S_i$    | The floor space allocated to the NB-shop $i$  |
| $P_i$    | The area covered by the trade circle of NB-shop $i$   |
| $Z$      | The threshold of minimum area used in GA function, denoting the trade circle of total new floor space should cover        |
| $Z_{ih}$ | The area overlaid by the trade circle of NB-shop $i$ and trade circle of NB-shop $h$                                      |
| $B$      | The constant representing the threshold above which a shop will be called a B-shop (set according to urban planning law.) |
| $L_i$    | The upper-limitation for NB-shop floor space in the potential location $j$  |
| $W_i$    | The weight of NB-shop $i$ to get allocation of floor space (the percent of NB-shop's floor space in Total floor space).   |

|                |  |
|----------------|--|
| G              | The total number of initial B-shop plans ( the number of chromosome)   |
| f <sub>g</sub> | The fitness value of g-th B-shop plan (the fitness of g-th chromosome) |



**Figure-2. The flow chart for planner agent to find feasible development solutions using GA.**

The objective of B-shop plans:

$$\max\left(\sum_{i=1}^K P_i - \sum_{i=1}^k \sum_{h=1}^k Z_{ih}\right) \quad i \neq h. \quad (1)$$

Given the objective of B-shop plans and the total development quantity (TS), try to find a set of feasible solutions to allocate TS among potential location sites, which must satisfied following planning constraints:

$$\sum_{i=1}^K S_i = TS \quad , \quad (2)$$

$$B \leq S_i \leq L_i \quad . \quad (3)$$

### 3. The GA for finding feasible B-shop development plans

#### 3-1. Algorithm

The goal of the genetic algorithm in this study is to search feasible B-shop develop plans that satisfied the planning objectives from a group of random generated alternative plans. The general steps of the proposed algorithm are showed in Figure-2. Detail critical steps are given in the following sections.

#### 3-2. Coding new B-shop location solutions and initialization

To select k sites from n potential sites for new B-shops, the number of possible plan solutions will be:

$$C_n^k = \frac{n!}{k!(n-k)!} \quad , \quad (4)$$

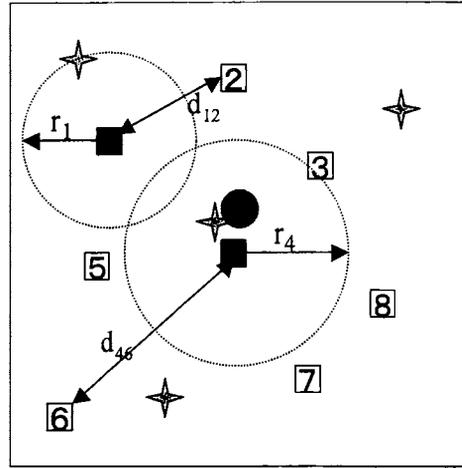
So the total number of plan solutions will be:

$$\sum_{k=1}^n \frac{n!}{k!(n-k)!} \quad . \quad (5)$$

Before the search process, B-shop location solutions have to be coded into chromosomes (denoted as Chrom.), a form of binary strings. If a B-shop is located at site j then the respondent gene is unity, otherwise zero. Considering eight possible potential B-shop sites supposed in this paper, there would be 255 possible B-shop development plan solutions.

**Table-2. Generate initial solutions (Encoding).**

| Potential site | 1   | 2   | 3   | 4   | 6   | 7   | 8   |
|----------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| Chrom.1        | 1   | 0   | 0   | 1   | 0   | 0   | 0   |
| Chrom.2        | 1   | 0   | 1   | 0   | 0   | 1   | 1   |
| Chrom.3        | 1   | 1   | 1   | 0   | 1   | 0   | 1   |
| Chrom.4        | 0   | 1   | 0   | 1   | 0   | 1   | 0   |
| ...            | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... |
| Chrom.10       | 1   | 1   | 0   | 0   | 1   | 0   | 0   |



- ✦ Locations of existing B-shops
- i* Potential Locations for new B-shops
- Downtown area
- Locations with new B-shops

**Figure-3 The illustration of an B-shop location solution.**

Table-2 presents an example of the structure of chromosomes. Figure-3 illustrated the location-site allocation solution represented by Chrom.1 The search process start with a certain number (e.g. 10) of randomly chosen chromosomes that constitute the first generation.

The floor space allocated to a new B-shop is done according to their location-sites concerning their spatial distance to each other and to all existing B-shops. The radius of a new B-shop's trade circle is first estimated using an analogous method that suppose the radius is the half of average distance to other B-shops (Figure-3.). And then the percent the new B-shop's floor space occupied the total development floor space, called the weight to get floor space for the B-shop, is calculated based on its trade circle radius. Thus, the planner agent can figure out how much floor space should be allocated to the new B-shop. The formulas used in floor space allocation are showed as following:

$$r_i = \frac{\sum_{h=1}^{k-1} d_{ih} + \sum_{j=1}^m d_{ij}}{2(k-1+m)}, \quad (6)$$

$$W_i = \frac{r_i}{\sum_{i=1}^k r_i}, \quad (7)$$

$$S_i = TS * W_i. \quad (8)$$

### 3-3. Calculating fitness value

This step is used to evaluate feasibility of each B-shop plan. According to B-shop planning objective, the more area new B-shop trade circles cover, and the fitter one plan is. Otherwise, we have a threshold of minimum area  $Z$  used in GA function, denoting the trade circle of total new floor space should cover. The fitness value of B-shop plan  $g$  is calculated out using following formula:

$$f_g = \sum_{i=1}^k r_i^2 . \quad (9)$$

### 3-4. Evolution operators

The roulette wheel approach is adopted for selecting parents. The probability of a chromosome being selected is measured by following equation:

$$p_g = f_g / \sum_{g=1}^G f_g . \quad (10)$$

The better the chromosomes are, the more chances to be selected. Crossover is performed by picking up one gene randomly from each parent and exchange a random point in the parent's sequences and switching every number in the sequence after that point. For each gene that has been modified by crossover, a random number ranging between 0 and 0.1 is generated. For the random number that is smaller than the given mutation rate, this gene will be changed to either of other two different numbers different from itself with equal chance.

## 4. Conclusion

This paper proposed an genetic algorithm to find feasible B-shop development plans that is consistent with planning objectives and development regulations about location used as the planner agent's decision making tool based on an multi-agent system called Shopsim. This only the first step work of the planner agent to examine the possible impacts of planning B-shops on downtown. In this approach, the planner agent codes B-shop location plans into chromosomes, and calculating their fitness values making use of environment provided by MAS. By experimenting with different planning objectives, different development constraints and variations to the relative priorities placed on each of the objectives, a set of development plans can be generated that provides a set of feasible plans for the study area. Plans generated in this way then will be implemented and evaluated in Shopsim through simulation to visualize the possible impacts on the downtown commercial development if these plans were carried out in the city.

The present paper has focused on the development of the genetic algorithm for complex B-shop development planning. The striking characteristic of this research is to arm the planner agent with GA to make decision and to visualize the feasible plans and their possible impacts. The GA

approach based on MAS is supposed as a promising useful tool for supporting B-shop planning decision.

However, this study has some limitations. First of all, the proposed GA is only applied to an artificial environment, so efforts need to validate applicability of the proposed method with the real-world data set. Moreover, the method to allocate floor space for new B-shops is also just need to further improvement, which is done according to the area covered estimated trade circles of new B-shops. As further research, how to integrate this decision making process of large-scale shopping centers location with multi agent system in Shopsim will be taken into account.

## Reference

- 1) Saarloos, D., Th. Arentze, A. Borgers, and H. Timmermans, 2004, Multi-Agents Generating Alternative Plans in Local Land-Use Planning, *Developments in Design & Decision Support Systems in Architecture and Urban Planning*, Eindhoven: Eindhoven University of Technology, ISBN 90-6814-155-4, pp. 95-110.
- 2) Kii M, Doi K, 2005, Multiagent land-use and transport model for the policy evaluation of a compact city, *Environment and Planning B: Planning and Design* 32 (4), pp. 485- 504.
- 3) Chen Ping, Shen Zhenjiang, Mitsuhiro Kawakami, 2006, Study on Development and Application of MAS for Impact Analysis of Large-scale Shopping Center Development, *Journal of the City Planning Institute of Japan*, the article in press.
- 4) Cheng-Min Feng, Jen-Jia Lin (1999). Using a genetic algorithm to generate alternative sketch maps for urban planning, *Computers Environment and Urban Systems*, Vol. (23), PP 91-108.
- 5) Manoj K. Jha and Paul Schonfeld (2004), A highway alignment optimization model using geographic information systems, *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, Vol. (38), PP 455-481.
- 6) K.B. Matthews, K. Buchan, A.R. Sibbald and S. Craw (2006). Combining deliberative and computer-based methods for multi-objective land-use planning, *Agricultural Systems*, Vol. (87) PP 18-37.

## 第11章 CAを用いたミクロな市街地形成シミュレーション

### 日本語概要

近年、都市計画事業の遂行などにおいてより一層の住民参加が求められてきている。そのため、本研究では、計画設計段階で将来市街地像を提示できる計画支援ツールの開発することを目的としている。地区レベルの市街地において、計画設計条件などによる宅地単位のミクロな市街地形成をシミュレーションし、視覚化することができれば、計画設計段階で都市の将来像をよりイメージしやすく理解することができる。土地地区画整理事業の場合、減歩や換地により宅地区画が整備されるが、施行後における市街地像が計画設計段階で想定しにくく、事業後における共通な市街地像イメージの提示が重要な課題である。将来市街地像には、宅地用途、建物形態、街並み景観などの提示が必要であり、持続可能な地域社会構築という観点から、環境影響の状況を提示することも重要である。一般的には、利用者が宅地用途や建物形態の基本方針を決めれば、用途地域などの規制にもとづいて建築可能な空間形態がほぼ確定でき、それにもとづいて居住人口や車の所有数の推測も可能で、街並み景観のイメージもある程度提示できる。このうち、宅地用途の決定は、市街地像を提示するための重要な前提と考えられる。

本研究では、将来市街地像を提示するため、用途地域や前面道路などの計画設計条件の影響によって事業後の宅地用途の変遷をシミュレーションすることが可能であれば、敷地関連規制、宅地の形状や面積によって建築可能な空間の推測が可能になり、街並み景観をシミュレーションすることも可能と考えている。本章では、計画設計条件の影響を中心に、宅地用途シミュレーションのモデル構築を試みたい。

また、ミクロな土地利用の都市活動を再現するため、隣接宅地間の相互作用を、既存研究のCAの方法論を参考にして取り込み、計画設計段階で設定した用途地域、前面道路などの計画設計条件の影響、宅地の幾何的特性の影響などを取り入れ、宅地単位での宅地用途シミュレーションシステムを開発することを目的とする。なお、シミュレーションでは、利用者の意思も重要であるが、研究の初期段階であるので、利用者の意思などはまだ考慮するようなシステムとはしていない。

## 第 11 章

### Geo-simulation model using CA for visualization of formative years of land use in urban partitions

#### 1. Introduction

Recently many simulation models using CA (cellular automata) and MAS (Multi-agent System) are constructed in the scope of simulating formative years of urban growth and urban pattern (Michael Batty, 2004) at the level of regional or city areas, which are improved significantly in the theory of urban modelling because of their effective model frameworks for simulating complex spatial system. It has been demonstrated that CA and MAS are powerful in exploring the uncertainty and complexity inherent in urban land-use and transport system (for example, Masanobu Kii and Kenji Doi, 2005; Michelle Chabrol, et al, 2006). However, most of existing research reports in the context of urban land use focus on urban sprawl, in which research approaches are restricted within two-dimensional regular lattice for large-scale urban space. Few are approached from small-scale urban space which is a district within a city area and some research reports (Erickson, B. and T. Lloyd-Jones, 1997) show examples of emerging urban pattern in an object-based model accounting for buildings and road segments presented in 2D and 3D, which hint that CA is also likely to be employed for the small-scale urban space. There are very few studies carried the geo-simulation on the level of urban partitions forward, which should be put forward by employing irregular lots and intermittent blocks in urban space. For expansion of the possibility of urban modelling using CA, we propose a new approach using CA and discuss about its possibility in spatial micro simulation at the level of blocks and lots. What we are concerned is regarding how to use CA to simulate urban partitions such as blocks and lots in urban space after some designated urban redevelopment projects in which lots and street networks are readjusted and buildings should be reconstructed by households and office owners.

With respect to the availability of CA simulation at the level of blocks and lots in planning practice, for example, land readjustment projects is implemented in most of cities in Japan, where new street networks are constructed and position and size of lots are readjusted. (With respect to land readjustment projects which is implemented in most cities of Japan, the formative years of land use after redevelopment always take dozens of years, when the former owners of the lots deal compensation affairs with developers and new owners are late in building their houses because of dealings in real estate. It is difficult to for planners and developers to image how project areas would be after redevelopment. Planners note there is a significant difference between planning concepts and the reality after construction. Therefore, tools, which can provide insight into future while embrace the complexity and uncertainty of the urban partitions, are in imperative need.

Regarding **urban space** as simulation targets, there are several levels such as a whole city, aggregated urban partitions such as census tracts and urban partitions such as lots and blocks. Most

of research projects are endeavouring to simulate the formative years of urban growth or urban sprawl phenomenon at the level of the whole city using automata-based modelling, based on two-dimensional regular lattice and two-dimensional network or Voronoi partition of two-dimensional urban space.

Basically, lots located in blocks that are severed by street network can be recognized as irregular adjacent polygons and mutually influence each other between neighbours. Even though lots are divided into two groups on different sides of a street, lots on both sides are also neighbours whereby they influence each other. Accordingly, we assume that the concept of CA can be introduced into simulation in urban partitions. Recently in Japan, Some research projects utilize CA and MAS to analyse the phenomena of local city centre decline (Chen, P., Shen, ZJ. and Kawamami, M., 2006, (Yosuke Ando et al, 2005) in Japan. For example, Yosuke Ando carried out a research on city centre vacancy in which the emergence and agglomeration of vacant buildings and the effect of empty space on commercial space are simulated in computer experiment. However, a usual grid system is employed as the proxy of urban partitions in city centre in order that the simulation model can be operated as the same way as those at the level of entity city.

Reviewing the CA research projects, there are actually many kinds of simulation **models** in the field of Geo-simulation already. Paul (Paul 2000) described the basic conceptions of cellular models for urban modelling, which are about cell state, lattice, neighbourhoods and transition rules. Before Paul, White and Engelen (1997) discussed about integrating of cellular automata model, GIS and decision support tools for urban planning and policy making. For the earlier practical studies of CA model, Batty (Batty, M. and Y. Xie 1994) discussed about a practical CA model for dynamic urban sprawl, in which the effects of the spread parameter, the vacancy parameter and the redevelopment process parameter are estimated respectively as threshold values in transition rules. Another study (Fulong Wu 1996) integrates CA with heuristically-defined transition rules to simulate land use conversions in the rural-urban fringe of a fast growing metropolis which expanded the CA research not only about the urban sprawl phenomenon but also the urban pattern based on different types of land use in simulation. Fuzzy set theory has been applied to capture uncoordinated land development process. In another CA model development, fuzzy-logic-controlled (Yan Liu, Stuart R. Phinn 2003) transition rules are introduced into cellular automata model to simulate the process of urban development. Calibrating CA models to real situations (Cláudia M. de A., M. Batty & others 2003) is highly problematic and to date, structure for simulating urban change based on estimating land use change using elementary probabilistic is discussed. Otherwise, CA model can simulate urban space respectively based on different **scenarios** defined by different **parameter sets**. By providing a series of scenarios, it reveals many possibilities of the inherent in certain development strategies that may be the future of the city.

Though few is making endeavours on simulation of urban partitions employing irregular polygons, Erickson (1997), who remove some more of the inconveniences of the standard CA framework, simulated the spatial pattern of an English village in the form of buildings and road

segments that are shown as irregular polygons. Benenson (2004) provided a GAS framework in which direct and indirect geo-referencing of fixed and non-fixed GA is presented in two-dimensions space, and indirect geo-referencing can be referenced by pointing in urban space. Layers in CA model (Ivan Blečić, Arnaldo Cecchini and others 2003) was introduced as an important innovative idea in urban simulation using CAGE (<http://lamp.sigis.net/>), in which various relevant phenomena are simulated according to assigned rules designed in different layers. Neighbourhoods in CAGE is defined as adjacent cells in one layer that can be based on regular grids or irregular Voronoi partitions, and the criteria of Euclidean distance between cells and predefined patterns (Von Neumann, Moore, Margolus, etc.) are comprised as special cases of generic queries.

The **plan regime** is different between different nations and there are diversified planning regulations on their urban system. Planning regulations regarding urban developments have control power in the process of urban sprawl, thus they are taken into account as control conditions in urban simulation. So far, research teams of WhatIF and UrbanSim argued about the structures of urban simulation model that include planning regulations as control conditions in their simulation process. Furthermore, Wu (Wu and Webster, 1998) explored the hypotheses that natural zoning under free-market, government-regulated market and self-regulated market conditions is more likely to lead to a socially efficient city than a planned city with prescriptive land use zonings.

The purpose of this study is to explore the effectiveness of CA for simulating the potential impacts of urban planning at the level of urban district. Different from most of CA models simulating urban growth based on the two-dimension grid space, this study tries to introduce land use zoning and street network as planning conditions into parameters of CA simulation model. In this project, computer experiment is conducted in an example project area where the land adjustment redevelopment project is implemented. Here, for the future image of urban districts where urban redevelopment projects are carried out, we suggest a tool using CA in this project. Consequently, the impact of land use zoning and street network as planning control what planners draw in the project area can be foreseen if employing the simulation. Thus, planners can inquire into the impacts from urban planning through the simulation if CA is verified available on the level of urban district.

## **2. Research approach**

### **2.1 Establishing data structure of urban partitions for CA simulation**

As the purpose mentioned in the introduction section, the urban space of our simulation target is urban partitions at the level of urban district composed of blocks and lots which are adjacent with each other and influence with each other. As argued above, the spatial pattern of irregular blocks and lots can be adopted in CA simulation because it has the basic characteristics of CA simulation employing grid data, even though it may not have a regular grid net. However, there are differences between them also. Many CA researches regarding urban growth are simulating the growth spatial

pattern from a seed to the whole city, which do not need a boundary for urban growth in the simulated space. On the contrary, blocks and lots are drawn in planning drawings and there is a boundary for them naturally. Accordingly, the simulation cannot go over the boundary of an urban district. Moreover, the formative years of land use is simulated but no urban sprawl phenomenon, no birth and death of blocks and lots are necessary to be simulated.

Thus the simulated urban space can be edited using GIS as irregular polygons which are representations of blocks and lots. As supplementary explanation, a street network whereby the polygons severed by the lines of street network can be utilized as substitutions of adjacent blocks on the urban space for keeping the information of CA neighbourhood regarding blocks.

## **2.2 Construction of simulation model with urban planning parameters**

Because planning conditions have significant impacts on land use of each lot (M. Rachi, M. Kawakami, 2000) including land use zoning, Front Street and lot position, and are different with development control conditions in macro geo-simulation, these planning conditions should be taken into account in the simulation model. Regarding geo-simulation at the level of macro, the urban pattern of built-up area is the objective of simulation. However, the simulation model employed in micro geo-simulation should output different types of land use as the simulation results. Whether the lots occupied by buildings or not are not enough because lots are already in a built-up area. We divide land use into four types that are residential, commercial, industrial and unoccupied lots. We assume that each lot has probabilities of becoming any type of these land uses, which are defined as quantity variables indicating different states of a lot which is consistent with different types of land use. One among four types of land use in each lot comes out as the simulation result and the type of land use occupies the lot, which the simulator chooses from max one of the four state values on behalf of the types of land use employing a fuzzy model with if-then rules.

In the initial step of simulation, all lots are unoccupied but input with initial state value of each type of land use that will grow up under the influence of neighbours, planning conditions and new land use demand in the urban district. The simulation should represent the process of growing land use in lots, and the land use change phenomenon between different types of land use.

## **2.3 Validation of simulation model in virtual space**

Because the urban space is composed of irregular polygons, even if we erase the space between streets, the urban district will not become a space with orderly matrix of cells. However, it is likely to be seen as orderly matrix of CA grid data if we utilize a virtual space for simulation, where lots are edited on a map as regulated polygons in the form of square with the same size. Thus, if simulating in the virtual space, we can examine behaviours of the simulation model through the spatial pattern in the regulated polygon grids with the methodology of CA.

Percolation model can be utilized to check if the simulation model satisfies CA theoretically. The percolation probability has a causal relationship with the size and number of clusters whereby

validation of the simulation model can be carried out through the spatial pattern outputted from the simulation. On the other hand, parameters in simulation model are certainly important to control the output of simulation. Thus, the parameter settings and their outputs can be tested for validation.

## 2.4 Calibration of simulation model in study area

Even though the simulation model has a good fitness with the theory of CA, it does not mean that it will work in reality space. A calibration process is necessary to examine the effectiveness in planning practice.

A study area is chosen as a measurement standard for calibration of the model, where a land readjustment project was carried out in 1969. We investigate the land use change of each lot in 1969, 1974, 1980, 1986, 1992 respectively, and define one step in simulation as about two months in reality. After simulation, the ratio of each type of land use and the spatial pattern using cluster based on percolation model in the study area are compared with those of simulation result.

## 3. Establishing a concept model

We establish the concept model for land use state of each lot as equation (1), in which  $i$  lot and its neighbour  $n$  are considered as cellular automata. For simulating land use change in urban partitions, we add  $Tr(t)$  as the influence from the internal economic for simulating the land use conversion phenomenon between different types of land use in each lot and  $De(t)$  as the influence from the external economic for simulating the increasing and decreasing demand of each type of land use. In the simulation, the lot state value in each step  $t$  decides the state value in next step  $t+1$  according to the concept model as shown in equation (1). However, the state  $X(t)$  is a continuous quantity that is calculated by equation (1) but the type of land use  $L(t)$  is a discrete quantity that is decided by transition rules.

$$X(t+1) = f(X(t), NX(t), De(t), Tr(t), p(t)) \quad (1)$$

### 3.1 Neighbour

With respect to the neighbours of a lot in a block, the adjacent lots are the neighbours according to Moore neighbourhood as constrained CA. Moreover, even though the surrounding blocks are served by streets, they always influence each other in land use. As described in equation (2),  $NX(t)$  is the state value of neighbour what is calculated for different type  $m$  of land uses respectively. The state value of the neighbours is the sum of neighbour lots' quantity and neighbour blocks' quantity that are differences between the average of the state values of the neighbour lots  $k$  or blocks  $b$  and the state value of the lot or block itself, which are shown as equation (3) and (4). In addition,  $B$  is the block that the lot  $i$  is located.  $X_B(t)$  is average of the state values of all lots in the block  $B$ .

$$NX(t) = \begin{cases} \Delta X_i^{(1)}(t) + \Delta X_B^{(1)}(t) \\ \Delta X_i^{(2)}(t) + \Delta X_B^{(2)}(t) \\ \Delta X_i^{(3)}(t) + \Delta X_B^{(3)}(t) \end{cases} \quad (2)$$

For control the degree of neighbours' potential in simulation, a parameter  $G^{(m)}(t)$  is employed respectively according to different type  $m$  of land uses in equation (3) and (4).

$$\Delta X_i^{(m)}(t) = G^{(m)}(t) \cdot \left\{ \frac{1}{N_k(t)} \sum_{k \in \Omega_i; k \neq i} X_k^{(m)}(t) - X_i^{(m)}(t) \right\} \quad (3)$$

$$\Delta X_B^{(m)}(t) = G^{(m)}(t) \cdot \left\{ \frac{1}{N_b(t)} \sum_{b \in \Omega_B; b \neq B} X_b^{(m)}(t) - X_B^{(m)}(t) \right\} \quad (4)$$

### 3.2 External Land use demand

A city and its urban districts are economic entities. If the increase and decrease of land use demand in an urban district can be reflected in the state value of lots, amount of external land use demand that can be allocated in the district will be simulated while considering the limitation of supply-side based on lots' numbers and sizes. We use  $GT$  to control the state value of demand-side.  $De(t)$  reflects the state of external land use demand, which takes a role on changing the demand-side's quantity in the state value of each lot and if  $GT$  were minus value, thus the demand is decreasing.

The capacity of supply-side is controlled by the average state value of all lots in the district, which refers to the model of Takizawa A. and et al (2000) as shown in equation (5). Otherwise,  $H$  is employed in order to control the supply-side's quantity of each lot to the demand-side.

$$De_i^{(m)}(t) = \frac{GT^{(m)} \cdot X_i^{(m)}(t) \cdot \frac{X^{(m)}(t)}{N_{all}}}{1 + H \cdot \frac{X^{(m)}(t)}{N_{all}}} \quad (5)$$

### 3.3 Internal Land use demand

Even though the land use conversion from one type to another type happens, which is considered as a quite stable phenomenon in real urban district. The type of land use with the max state value in one lot will decide which type of land use will occupy the lot, thus the adjustment of state values between different types of land use will work as a role of improving the land use conversion. For controlling the land use conversion phenomenon, the inflow or outflow of the state values between different types will work. As shown equation (6),  $Tr(t)$  as a part of the state values are flowing in from  $m+$  type of land use and flow out to  $m-$  type of land use, however it does not flow between neighbours. The parameter  $H$  in equation (6) is employed to control the state value of land use

conversion. In addition, the equation (6) also refers to the model of Takizawa. and et al (2000).

$$Tr_i^{(m)}(t) = \frac{D^{(m)} \cdot x_i^{(m)}(t) \cdot x_i^{(m+)}(t)}{1 + H \cdot x_i^{(m+)}(t)} - \frac{S^{(m)} \cdot x_i^{(m)}(t) \cdot x_i^{(m-)}(t)}{1 + H \cdot x_i^{(m)}(t)} \quad (6)$$

### 3.4 Planning parameters

The spatial distribution of land use types in district is affected significantly by planning conditions (M. Rachi and M.Kawakami, 2000), such as land use zoning, front road, lot position and so on. Thus we use parameters of planning conditions for controlling the state value wholly. The parameter note *mu* is regarding land use zoning, *mr* is regarding front road and *mc* is regarding lot position that is about whether the position of a lot is in the corner of a block or not. Furthermore, we think that the impact from planning conditions is different with the shape of lots; the parameter *q* is employed for controlling the impact from planning conditions, which is proposed in the research report of Maniruzzaman K.M., Y. Asami and A. Okabe (1994). Parameter *a* is area of the lot and parameter *p* is peripheral length of the lot.

$$P^{(m)} = \left( \frac{1}{3} \sum_{j=1}^3 P_j^{(m)} \right)^q = \left( \frac{P_1^{(mu)} + P_2^{(mr)} + P_3^{(mc)}}{3} \right)^q \quad (7)$$

$$q = 2 \frac{\sqrt{\pi a}}{p} \quad (8)$$

### 3.5 Transition rule

As a whole, the transition rule employed in our project is shown as equation (9) and (10), which includes the impact from neighbour lots and blocks, external and internal land use demand and planning conditions of the lot.

When simulation starts, the initial land use type is set as 0 that means unoccupied, however, the initial state value is set by random value between 0-1 that can be seen as the households' trends if we change CA process to Multi-agent system in the future.

Variable  $\zeta$  is defined as a threshold for making decision if a lot will be occupied or not. Firstly, when the sum of state value of a lot is larger than  $\zeta_{\min}$ , the lot is occupied by the type of land use with the max state value. Secondly, if the sum of state value of a lot is between  $\zeta_{\min}$  and  $\zeta_{\max}$ , the lot will keep its current type. Finally, when the sum of state value of a lot is larger than  $\zeta_{\max}$ , thus the lot is changed to the type of land use with the max state value. All of these rules are described in equation (10).

$$x_i^{(m)}(t+1) = (x_i^{(m)}(t) + \Delta x_i^{(m)}(t) + \Delta x_i^{(m)}(t) + De_i^{(m)}(t) + Tr_i^{(m)}(t)) \cdot \left( \frac{1}{3} \sum_{j=1}^3 P_j^{(m)} \right)^q \quad (9)$$

$$\begin{aligned}
& \text{If } x_i(t) = 0 \\
& \text{if } \sum_{m=1}^m x_i^{(m)}(t) \leq \zeta_{\min} \text{ then } L_i(t) = 0 \\
& \text{if } \sum_{m=1}^m x_i^{(m)}(t) \geq \zeta_{\min} \text{ and } x_i^{(l)}(t) = \max(x_i^{(m)}(t)) \text{ then } L_i(t) = l \\
& \text{elseif } x_i(t) = l \\
& \text{if } \zeta_{\min} \leq \sum_{m=1}^m x_i^{(m)}(t) \leq \zeta_{\max} \text{ then } L_i(t) \text{ keep\_its\_land\_use} \\
& \text{if } \sum_{m=1}^m x_i^{(m)}(t) \geq \zeta_{\max} \text{ and } x_i^{(l)}(t) = \max(x_i^{(m)}(t)) \text{ then } L_i(t) = l
\end{aligned} \quad (10)$$

How the state value of a lot will grow up in the process of simulation? The state values of lots usually increase in a curve form with varied growth rates that will be shown in next section.

#### 4. Model validation with percolation phenomenon

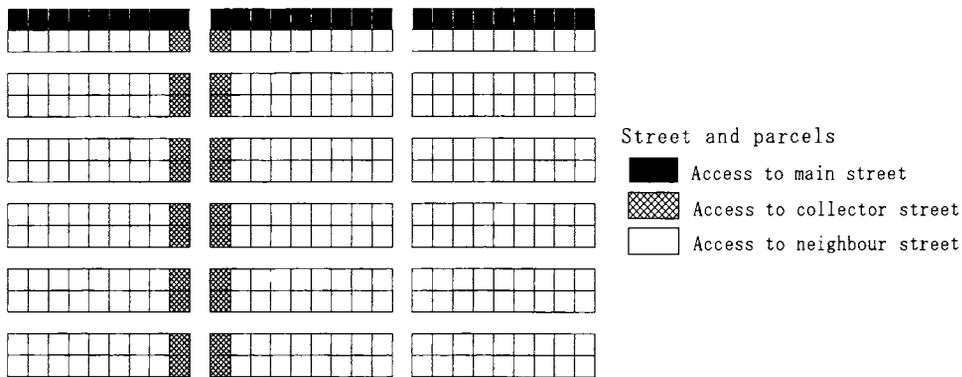
For model validation, A virtual urban district (Fig.1) is created for computer experiment. Firstly, we check the trend of state value and each component in the simulation model. However, the state value is not the simulation output, and thus the transition rule is utilized to find out which type of land use is the simulation output of each lot. Secondly, we examine the parameters' behaviours (Table 1) in simulation through the simulation output which is the ratio of each type of land use. In the virtual district, there are only one type of land use zoning, one street network including one main street, one collector street and many neighbourhood streets. The lots are homogenous and allocated regularly in the equable blocks.

**Table1. The basic parameter setting**

|                     | Parameters                                      | R      | C      | I      |
|---------------------|---|--------|--------|--------|
| Land use zoning     | p1: land use zoning (quasi-industrial district) | 1.0000 | 1.0000 | 1.0000 |
| Front road          | p21: main street                                | 0.9000 | 1.1000 | 1.0000 |
|                     | p22: collector street                           | 0.9000 | 1.0000 | 1.1000 |
|                     | p23: neighbourhood street                       | 1.0400 | 0.9100 | 0.9500 |
| Position            | p31: corner                                     | 0.9000 | 1.1010 | 0.9990 |
|                     | p32: nocorner                                   | 1.0210 | 1.0000 | 0.9950 |
| Land transition use | D: parameter of transition from other use       | 0.0010 | 0.0010 | 0.0010 |

|             |   |        |        |        |
|-------------|---|--------|--------|--------|
|             | S:parameter of transition to other use                | 0.0010 | 0.0010 | 0.0010 |
| Land demand | GT:parameter of land demand                           | 0.0500 | 0.0500 | 0.0500 |
|             | H:parameter of controlling land demand and transition | 1.0000 | 1.0000 | 1.0000 |
|             | G:neighbour impact                                    | 0.0100 | 0.0100 | 0.0100 |

Note: R=residential use, C=commercial use, I=industrial use. Land use zoning is defined as quasi-industrial district here where all kinds of land use can be permitted equitably, thus the parameters are set as 1.



**Fig.1. The virtual district for simulation**

#### 4.1 State value in simulation

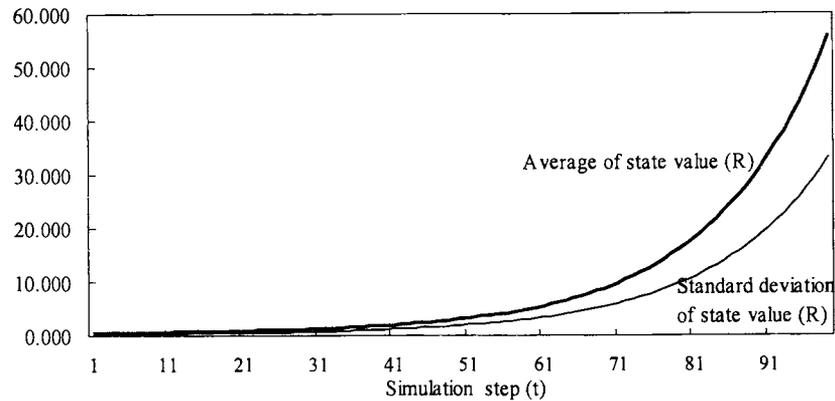
How the equations listed up in the last section will act in simulation? Even though the components are designed respectively and we understand the behaviour of each component, however, we do not know how it will work together. For this, we examine how the state values of each component will change theoretically through a computer experiment.

This simulation starts in each lot respectively with a random initial state value. In our computer experiment conducted with the base parameters shown in Table 1, one step is two months and 100 steps are about sixteen years that is the average formative years of land use in land adjustment projects in Japan.

##### 4.1.1 State value

As shown in Fig.2, the average of residential state value  $x^{(R)}(t)$  of all lots is growing up from the step 1 to 100. Coincidentally, the standard deviation  $x^{(R)}(t)$  is also growing up and the state values of all lots in the virtual district are becoming more and more variant. The state value is composed of the impacts from neighbour blocks and lots, land use demand; we examine them respectively in the remainder. In addition, the average of state values regarding commercial and industrial use has the same trend as those of the residential state; however, one of the types of land use state value is also possible to go down if we change the base parameter set to improve only one type of land use

parameters significantly.

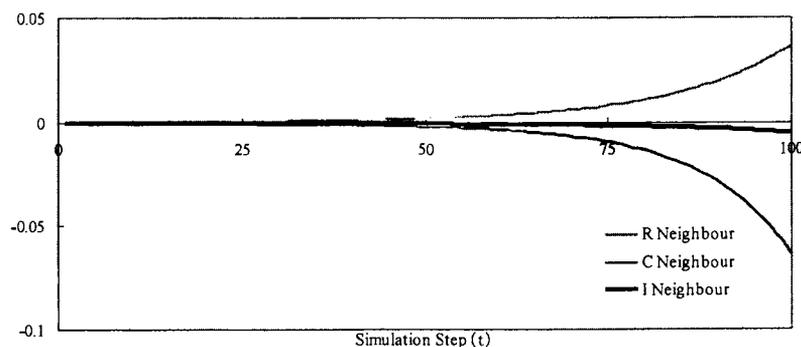


**Fig.2. The average of residential state value in simulation**

#### 4.1.2 Neighbourhood

As shown in Fig.3, the neighbour component  $NX(t)$  of residential, commercial and industrial states are plotted together. The figure shows that  $nx^{(C)}(t)$  is going down gradually while  $nx^{(R)}(t)$  is growing up, because the numbers of neighbour streets are more than that of the main street and accordingly the commercial state is not advantageous to the residential state. Coincidentally, the collector streets are advantageous to the industrial state, however, there are also a few in the district and the  $nx^{(I)}(t)$  is also going down.

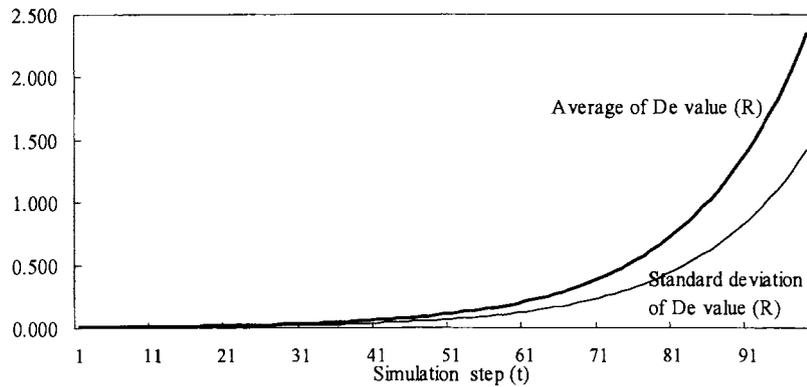
As far as the base parameter set is used in this simulation, the positive impact of residential state is the highest and the commercial state is the lowest among the three types of land use. However, the impact from neighbourhood is measured according to subtraction of a lot' state value and the average of its neighbour state value, the graph can also behaviour like complicated periodic wave if we change the parameters of different types of land use respectively to adjust the impact from neighbourhood.



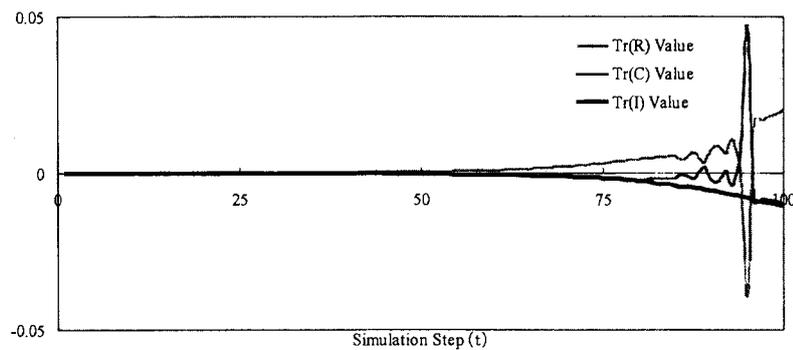
**Fig.3. The average of neighbour state value including blocks and lots**

#### 4.1.3 Land use demand

With the growth of the state value  $x^{(R)}(t)$ , the external demand  $De^{(R)}(t)$  also grows up as Fig.4. We can control the demand through adjusting the parameter  $GT^{(R)}$ , and it will grow up if we define the  $GT^{(R)}$  parameters with a positive quantity. On the contrary, if the parameter is defined as minus quantity, then it will go down. In this simulation, the  $GT^{(R)}$  of base parameter set is given a small quantity and accordingly the impact of external demand is limited in a small extend, thus it has no enough influence comparing with the state value.



**Fig.4. The average of state value of external land use demand**



**Fig.5. The average of state value of internal land use demand**

For presenting the internal demand of land use conversion, the transition of state values between three types of land use is taken into account in the simulation, in which the conversion patterns are *C-R-I*, *I-C-R*, *R-I-C*, which mean that the state value of residential use is infused from the commercial use and flows out to the industrial use, the state value of commercial use is infused from the industrial use and flows out to the residential use, the state of industrial use is infused from the residential use and flows out to the commercial use. According to simulation based on the base parameters set, the change of  $Tr^{(m)}(t)$  is plotted in Fig.5. Actually, even though there are many patterns of land use conversion, only the pattern *C-R-I-C* is employed in this simulation. From Fig.5, as opposed to the  $Tr^{(I)}(t)$  which is going down stably,  $Tr^{(R)}(t)$  and  $Tr^{(C)}(t)$  are changing in complicated periodic waves and the residential state and commercial state are changing state

quantities with each other within the lot.

Based on the base parameter set, the internal demand of land use conversion is limited to a small extend which have no special impact on the total state, therefore there is no significant land use conversion phenomenon in the simulation.

Actually, the state value is not the final output of simulation. Therefore, only the behaviour of each component is not enough and we should watch how the components work together.

#### 4.2 Ratios of different types of land use as aggregated simulation output

The simulation is outputted through the transition rule employing an if-then process, thus the state value will not decide the output directly. Even though we check the state values and describe their behaviors in the last section, we still don't know how they will act on the output. Basically, the parameters will change the state value and the if-then process makes the output.

The simulation output is aggregated as ratios of each type of land use through an if-then process according to the transition rule, which are shown as Fig.6. In addition, it is difficult to study the relation between the simulation output and state value; however, given we try to output the types of land use, the state value has its limitation.

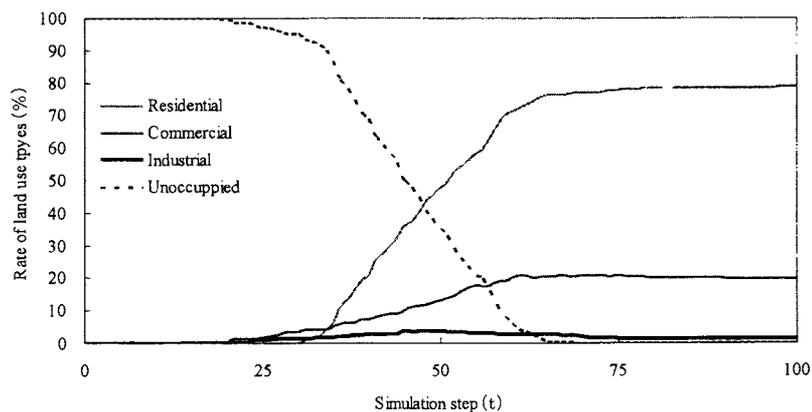
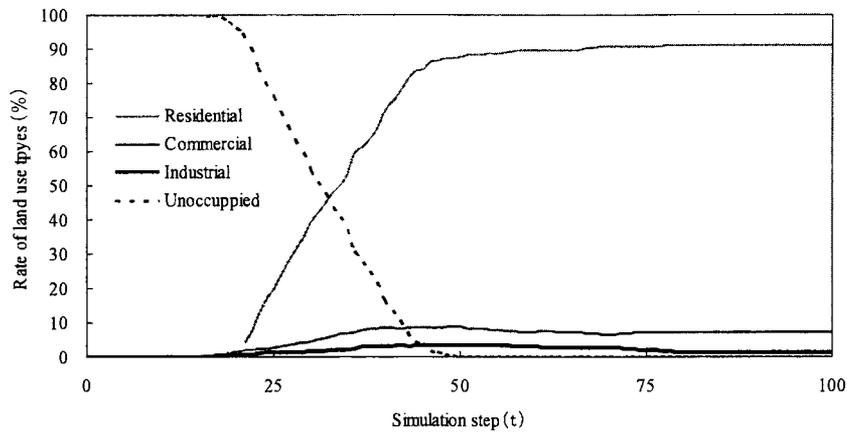


Fig.6. The simulation output based the base parameters set

##### 4.2.1 Planning conditions

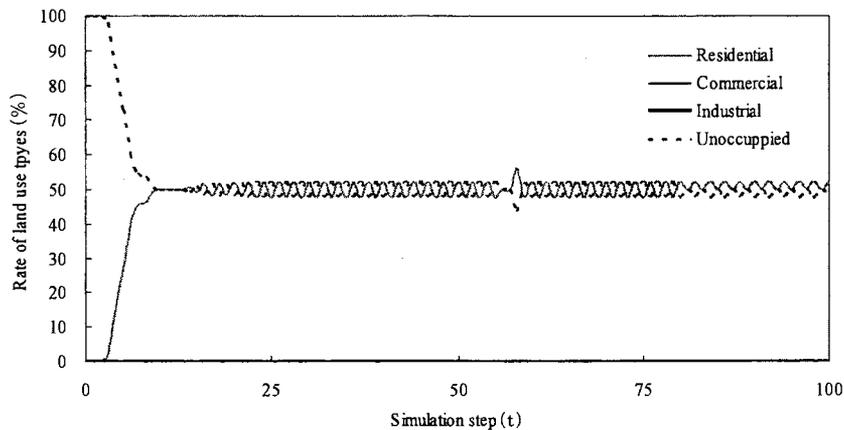
Firstly, the role of parameters of planning conditions can be made explicit while changing their value. These parameters include land use zonings, front road, lot position and so on, which are divided into three types of parameters according to the types of the land use. As shown as Fig.7, the parameter of residential use defined for land use zoning is adjusted to 1.08 that is larger than 1 in the base parameter set, correspondently the ratio of residential use plotted in Fig.7 become larger than that plotted in Fig.6. Enlarging the residential parameter produces more residential lots of which the residential state value become the max state among the three types of land use state.



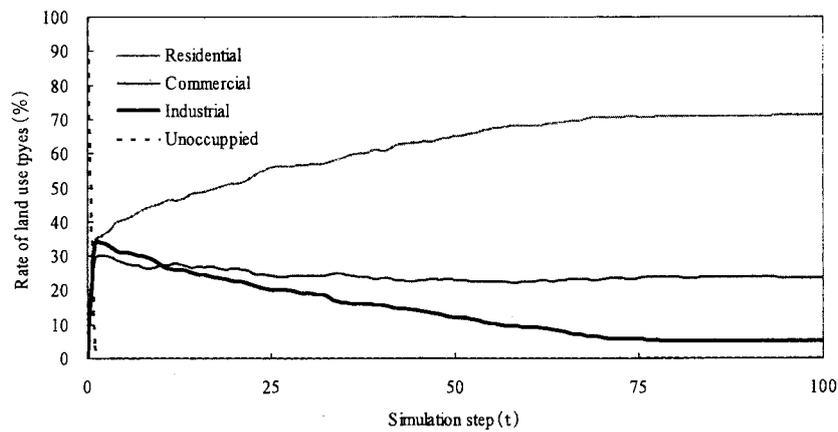
**Fig.7.  $P(R)=1.08$  (comparing with the base parameter set,  $P(R)=1$ )**

#### 4.2.2 Neighbourhood

Regarding the impact of neighbourhood, there are also three types of parameters utilized for residential, commercial and industrial use. Certainly, if the residential parameter is enlarged, thus the ratio of residential use in simulation become more. In the case of residential use, the differences between the role of planning condition parameters as shown as Fig.9. Concretely, if we set the parameter for residential use as 2 larger than the number of the base parameter, the simulation produced out two periodic waves of residential and unoccupied use. The waves emerge because the neighbour residential states are subtracted quantities from the average of residential state values of neighbourhood, which will decrease if the residential state value of the center lot itself becomes larger than the average of residential state values in the neighbourhood. Therefore, the neighbour residential state enlarges or diminishes the residential state value of the centre lot, thus there is a balance between the centre lot and neighbours and finally they reach a stable periodic change of ratio of residential use in this simulation.



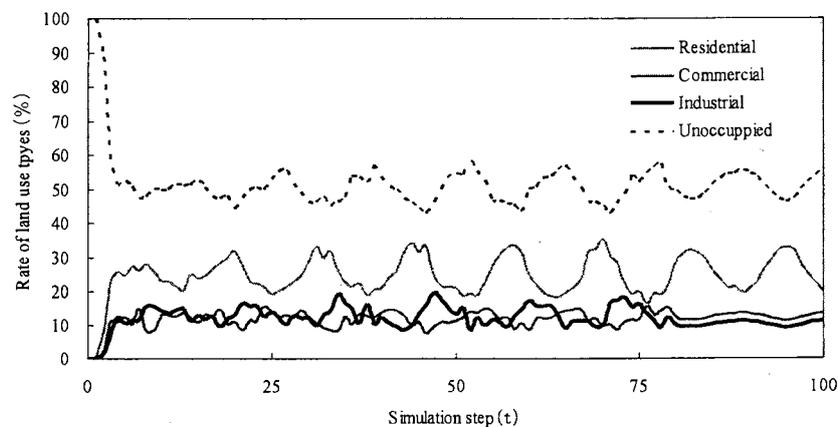
**Fig.9.  $G(R)=2$  (Comparing with the base parameters set  $G(R)=0.01$ )**



**Fig. 10.  $GT=20$  (Comparing with the base parameters set  $GT=0.05$ )**

#### 4.2.3 External land use demand

As shown in Fig.10, the external demand parameter  $GT$  is enlarged as 20 than 0.05 in the base parameter set, thus the three state values of land use are larger than thresholds in the earlier stage and land use types are outputted earlier in the simulation. However, while simulation processing, the state values grow up and become larger than the external demand state values. Therefore, the parameters of planning conditions and neighbourhood begin to work and the ratios of different types of land use go different ways as plotted in Fig.10. In addition, if the new external land use demand increases or decreases, we can adjust the parameter as positive or minus quantity in the simulation and the output of this simulation will be in different forms.



**Fig.11.  $D=S=10$   $H=1$  (comparing with based the base parameters set  $DS=0.01$ ,  $H=1$ )**

#### 4.2.4 Internal land use demand

The internal demand parameter controls transition of a lot's internal states in the simulation,

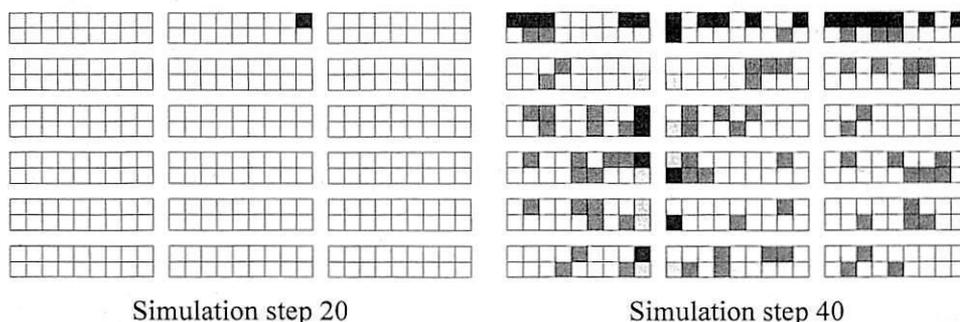
which can be recognized as a response to external economic growth in land supply-side. In the case of the parameter is set as 10 in the simulation, the land use conversion is reproduced very well as shown Fig.11,. If the parameter is defined as a small quantity of 0.01 in the base parameter set, there will be no land use conversion phenomenon in the simulation that is similiar to the reality.

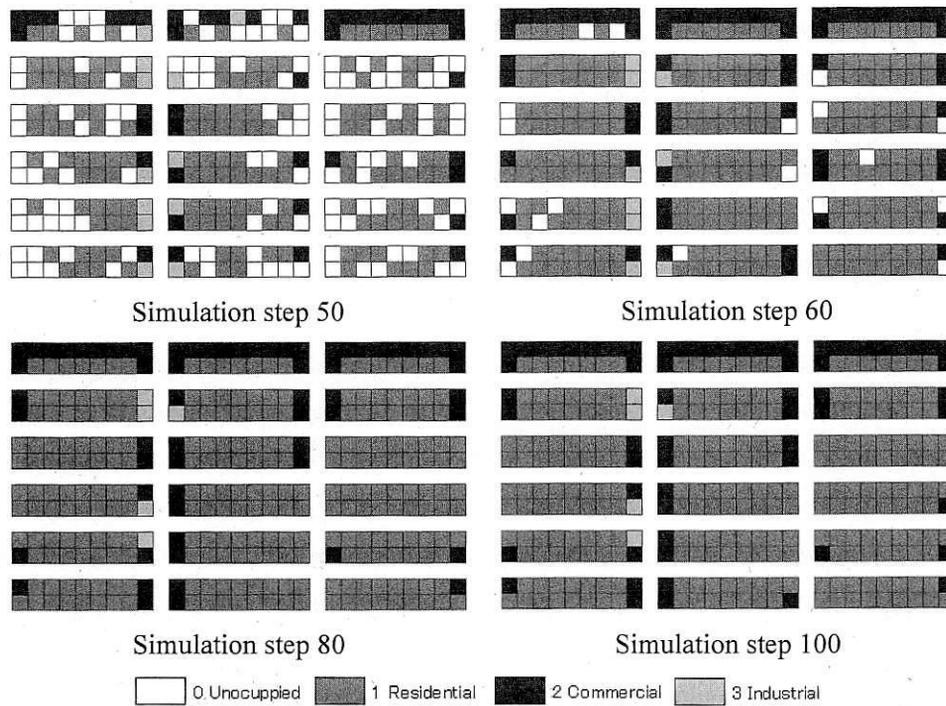
### 4.3 Spatial pattern and percolation model

As argued in the last two sections, the simulation model can be employed to control the impacts from planning conditions, land use demand, neighbourhood which are recognized as important factors of land use formulation in urban district. Furthermore, we check the behaviours of state values and each component of the simulation model, and examine the simulation output in which the land use of each lot will be confirmed according to the maximum state value among three types of the land use. On the other hand, spatial patterns of the simulation results can be employed to check whether the simulation model works well or not. Therefore, the simulation model is an approach to visualise the spatial pattern of land use and how to valid it is the next task. Here, we try to use percolation model which is one kind of CA models to understand which kind of spatial patterns are generated from the simulation and valid the simulation model through the percolation probability and clusters.

#### 4.3.1 Land use patterns and twe-dimension bond percolation

In the simulation, the lots in the virtual district are occupied gradually from 20-60 steps as shown in Fig.6. The spatial patterns of land use in serveral steps are visualised in GIS and shown in Fig.12. For employing percolation model for the model validation, we divided the lots into occupied lots and unoccupied lots and check the spatial patterns in different steps of simulation respectively through clusters and percolation probability. Concretely, two-dimension bond percolation model can be applied for validation of the model through the spatial pattern of the occupied lots. The ratio of occupied lots can be used as percolation probability and the occupied lots that connected with each other can be agregated as clusters and the number of lots in one cluster can be seen as cluster size.





**Fig.12. Spatial patterns of simulation**

**Table 2. Clusters and percolation phenomenon**

| Cluster size                               | Occupied |       |       |       |       |        |
|--|----------|-------|-------|-------|-------|--------|
|  | Sim20    | Sim40 | Sim50 | Sim60 | Sim80 | Sim100 |
| 1  | 1        | 17    | 7     |       |       |        |
| 2  |          | 5     |       |       |       |        |
| 3  |          | 1     |       |       |       |        |
| 4  |          | 2     |       |       |       |        |
| 5  |          | 1     |       |       |       |        |
| 6  |          | 2     |       |       |       |        |
| 7  |          | 1     |       |       |       |        |
| 8  |          |       |       |       |       |        |
| 9  |          |       |       |       |       |        |
| 10   |          |       |       |       |       |        |
| 11   |          | 1     |       |       |       |        |
| 12   |          |       |       |       |       |        |
| 22-  |          | 1     | 2     | 1     | 1     | 1      |
| Cluster number without road                | 1        | 31    | 9     | 1     | 1     | 1      |
| Percolation probability<br>(occupied rate) | 0.3      | 31.2  | 64.8  | 94.1  | 100.0 | 100.0  |

However, there are two methods to calculate the clusters according to methods to deal with the street network, in other words, to calculate with the street network or without the street network in spatial pattern. In the two-dimensions space, all the lots are simulated based on the neighbourhood in which blocks are included too. Moreover, the street network is also relative to the front road parameter of each lot. Therefore, we chose the way without street network to calculate the clusters. The two-dimension bond percolation is similar but not same to the spatial pattern in our simulation because the percolation probabilities of the two models are different things. A new modified percolation model is need to be developed if we try to validate our simulation using bond

percolation model in this stage.

#### 4.3.2 Model validation through probability, clusters of spatial patterns

As usual, the bond percolation model has a general characteristic with percolation probabilities of 0, 0.25, 0.5, 0.75 and 1 which are always accompanied with the number of clusters of 0, 25, 8, 2 and 1. In this simulation, the probability is decided by a transition rule which is a if-then process defined in equation (10), thus it is not homogenous in the simulation space while being calculated as the ratio of occupied lots. As shown in Table 2, we present the cluster number, cluster size and probability. If we check the cluster numbers and probabilities in Table 2, it can be seen the simulation result is very similar to the bond percolation model.

**Table 3. Spatial land use pattern of different land use**

| Number of adjacent lots  | R     |       |       |        | C     |       |       |        | I     |       |       |        |
|--------------------------|-------|-------|-------|--------|-------|-------|-------|--------|-------|-------|-------|--------|
|                          | Sim40 | Sim50 | Sim60 | Sim100 | Sim40 | Sim50 | Sim60 | Sim100 | Sim40 | Sim50 | Sim60 | Sim100 |
| 0                        | 28    | 19    | 1     |        | 8     | 15    | 14    | 8      | 7     | 8     | 5     | 3      |
| 1                        | 7     | 4     |       |        | 4     | 5     | 9     | 11     | 1     | 2     | 2     | 1      |
| 2                        | 6     | 4     | 1     |        | 1     | 1     |       | 1      |       |       |       |        |
| 3                        | 2     | 2     | 1     |        |       | 1     |       |        |       |       |       |        |
| 4                        |       | 3     |       |        | 1     |       |       | 1      |       |       |       |        |
| 5                        |       | 1     |       |        |       |       |       |        |       |       |       |        |
| 6                        |       | 3     | 2     | 2      |       |       |       |        |       |       |       |        |
| 7                        |       | 3     |       |        |       |       |       |        |       |       |       |        |
| 8                        |       | 1     | 1     | 1      |       |       |       |        |       |       |       |        |
| 9                        |       | 1     |       |        |       |       |       |        |       |       |       |        |
| 10                       |       | 1     |       |        |       | 1     | 3     | 2      |       |       |       |        |
| 11                       |       | 1     |       |        |       |       |       |        |       |       |       |        |
| 12                       |       |       | 3     |        |       |       |       |        |       |       |       |        |
| 13                       |       |       | 6     | 4      |       |       |       |        |       |       |       |        |
| 14                       |       |       | 3     | 1      |       |       |       |        |       |       |       |        |
| 15                       |       |       | 2     | 7      |       |       |       |        |       |       |       |        |
| 16                       |       |       |       | 1      |       |       |       |        |       |       |       |        |
| 17                       |       |       |       | 2      |       |       |       |        |       |       |       |        |
| Total number             | 43    | 43    | 20    | 18     | 14    | 23    | 26    | 23     | 8     | 10    | 7     | 4      |
| Ratios of land use types | 21.0  | 47.8  | 71.3  | 78.7   | 7.4   | 13.3  | 20.1  | 19.8   | 2.8   | 3.7   | 2.8   | 1.5    |

It is reasonable to check the cluster numbers in the way without street network while validating the simulation employing percolation model. But it is not enough to validate the spatial pattern only from the aspect of the spatial pattern of occupied. If we check the different types of land use, the parameter set utilized in simulation improves the residential use within the neighbourhood street, and improves the commercial use along the Main Street and collector Street. As a result, more residential lots are generated than commercial lots in the simulation space. As shown in Fig.12 and Table 3, the probabilities of residential use are certainly higher than those of commercial use. The emergence of industrial use and commercial use are constrained in the simulation space occupied by residential use. Consequently, the probabilities of industrial use are limited within the 1.5-3.7%, and those of commercial use are within 7.4-20.1%, they are separated by the residential use and certainly generated more clusters in simulation while comparing with the characteristic of bond percolation model. On the other hand, when the probability of residential use is at a low level, there

are also more clusters comparing with the bond percolation model. For validation of the simulation model, more sophisticated percolation model that can be applied for different types of land uses is remained as a further research in the future.

## 5. Model calibration in study area

As described in the above, the simulation model is validated through clusters and the probability of percolation model, in which the ratios of different types of land uses employed as percolation probabilities have significant impact on the spatial pattern or percolation phenomenon measured by the cluster size and number. Therefore, it can be said that the simulation works well with the percolation model of CA theory. In this section, we want to calibrate the model with a real urban district. Firstly, we have a study area chosen from the Kanazawa city of Japan, the area painted with blue color is employed to the simulation which is planned as a quasi-industrial zone. Secondly, we check whether the simulation output has a similar result with the real district or not by the percolation model.

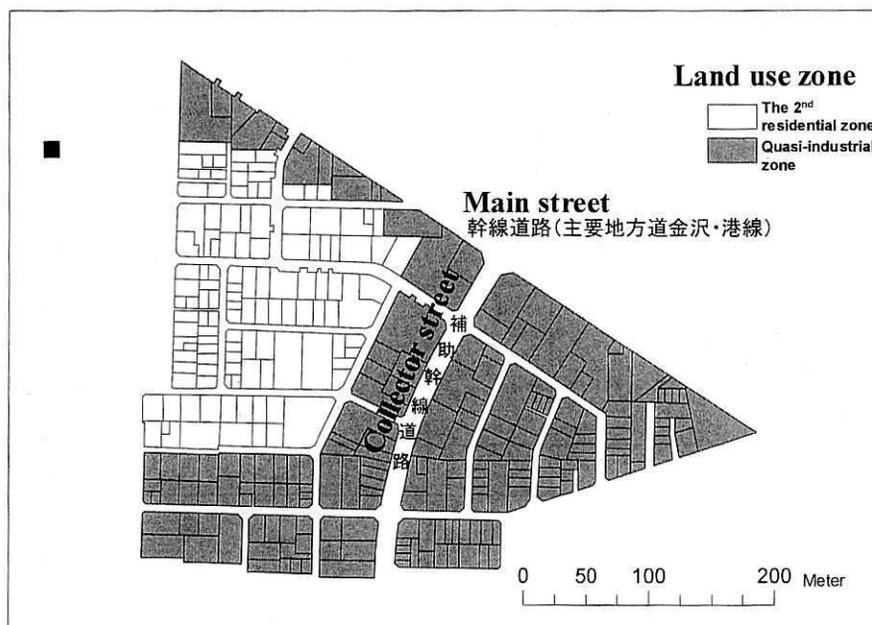


Fig.13. Study area (blue area is simulation area)

### 5.1 Study area in Kanazawa city

As shown in Fig.13, there are a main street and a collector street in the study area where a land readjustment project was carried out in 1969 and the formative year of land use from 1969 to 1992 is shown in Fig.14.

In the simulation, one step is calculated as two months and 100 steps are close to the period of 1969-1992. Even though the simulation process is not exactly the same with the real process but they are similar with each other. In the simulation, the parameters employed are shown as Table 4. The parameters of land use zoning are all set as 1.0000 because the quasi-industrial district in Japan

allows most of land use types to be built. With respect to the parameters of the front road and lots position, we use the same parameters with that in the base parameter set. Regarding the parameters of land use demand, we adjust them in order that the curves of land use change can be reproduced as a stable line like the situations of the real society. However, the problem here is the parameters of land use demand are set as the same in all of the simulation steps and not set to be consistent with the real situation which we do not know well. If we change the demand parameters carefully in different periods, we might get a perfect simulation result, and it is remained as a further research topic in the future.

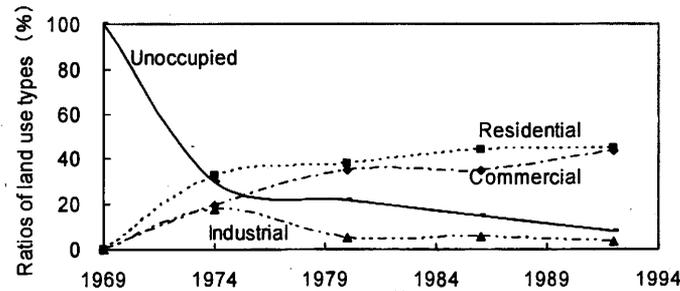


Fig.14. The formative years of Land use in the real district

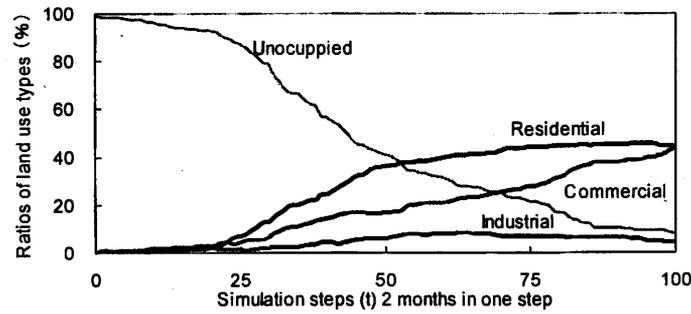


Fig.15. Simulated land use formulation process

Table 4. Parameter set for simulation.

|                 | Parameters                      | R      | C      | I      |
|-----------------|---------------------------------|--------|--------|--------|
| Land use zoning | p1: Quasi-industrial district   | 1.0000 | 1.0000 | 1.0000 |
| Front road      | p21: Main street                | 0.9000 | 1.1000 | 1.0000 |
|                 | p22: Collector street           | 0.9000 | 1.0000 | 1.1000 |
|                 | p23: neighbourhood street       | 1.0400 | 0.9100 | 0.9500 |
| Position        | p31: corner                     | 0.9000 | 1.1010 | 0.9990 |
|                 | p32: nocorner                   | 1.0210 | 1.0000 | 0.9950 |
| Land transition | D: parameter of transition from |        |        | 0.0501 |
|                 | other use                       | 0.0500 | 0.0500 | 0      |

|             |   |                      |
|-------------|---|----------------------|
|             | S:parameter of transition to other use                | 0.0500 0.0500 0.0500 |
| Land demand | GT:parameter of land demand                           | 0.1000 0.1000 0.1000 |
|             | H:parameter of controlling land demand and transition | 10.000 10.000 10.000 |
|             | G:Neighbour impact                                    | 0.0500 4.0000 3.0000 |

Note: R=residential use, C=commercial use, I=industrial use.

## 5.2 Percolation phenomenon and real city

As shown in Table 5, the simulated ratios of different types of land use based on the parameter set are reproduced well and almost consistent with the real district. We compare the spatial pattern employing percolation phenomenon between the simulation result and the real district. The size and the number of adjacent lots measured as cluster size and number are almost the same with the real city, it can be said that the simulation output and the real spatial pattern are very similar with each other.

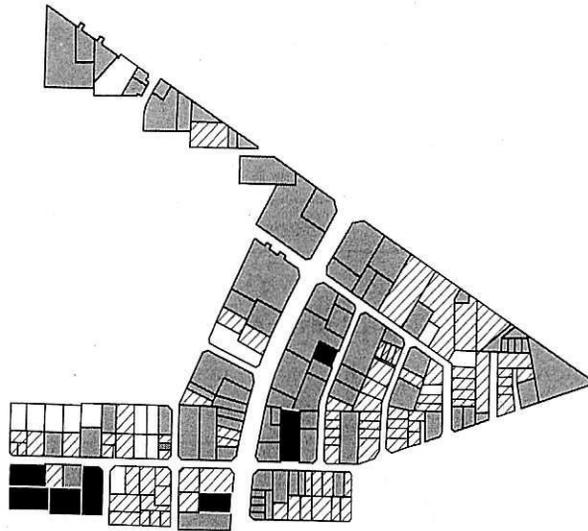
From a perspective of percolation model, if different types of land use are examined respectively, we understand that the R, C, I and the unoccupied have their own percolation probabilities respectively. All of them are under critical probability and no fractal phenomenon occurs in the urban space. Larger the probability is, and bigger the cluster size is. However, the clusters' number of different type land use have not stable relation with the percolation probabilities as shown in Table 5.

**Table 5. Comparison of spatial land use pattern.**

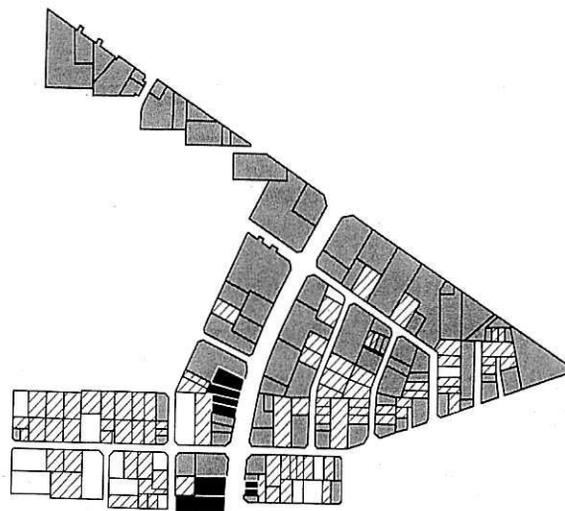
| Size of adjacent lots    | R    |           | C    |           | I    |           | Unoccupied |           |
|--------------------------|------|-----------|------|-----------|------|-----------|------------|-----------|
|                          | Real | Simulated | Real | Simulated | Real | Simulated | Real       | Simulated |
| 0                        | 6    | 5         | 11   | 9         | 3    | 0         | 6          | 8         |
| 1                        | 3    | 5         | 3    | 6         | 0    | 2         | 0          | 2         |
| 2                        | 1    | 3         | 4    | 2         | 0    | 0         | 0          | 1         |
| 3~5                      | 4    | 2         | 3    | 4         | 1    | 1         | 2          | 0         |
| 6~8                      | 2    | 2         | 2    | 2         | 0    | 0         | 0          | 0         |
| 9~11                     | 2    | 1         | 1    | 0         | 0    | 0         | 0          | 0         |
| 12-                      | 1    | 1         | 1    | 1         | 0    | 0         | 0          | 0         |
| Total number             | 19   | 19        | 25   | 24        | 4    | 3         | 8          | 11        |
| Lot number               | 84   | 83        | 82   | 82        | 7    | 8         | 15         | 15        |
| Ratios of land use types | 44.7 | 44.1      | 43.6 | 43.6      | 3.7  | 4.3       | 8          | 8         |

We can make a conclusion that the real city and the simulated result have the same

characteristics, and both of them can be explained by percolation model of CA theory. Furthermore, we can compare the spatial patterns with each other as Fig. 16, which show a land use pattern in the real district and a visualized map of the simulation result. It can be said that they are consistent with each other very well, even though there are some differences between them.



(a) Real spatial pattern (quasi-industrial district)



(b) Simulated spatial pattern (quasi-industrial district)



**Fig.16. The comparison of spatial pattern between real society and simulation**

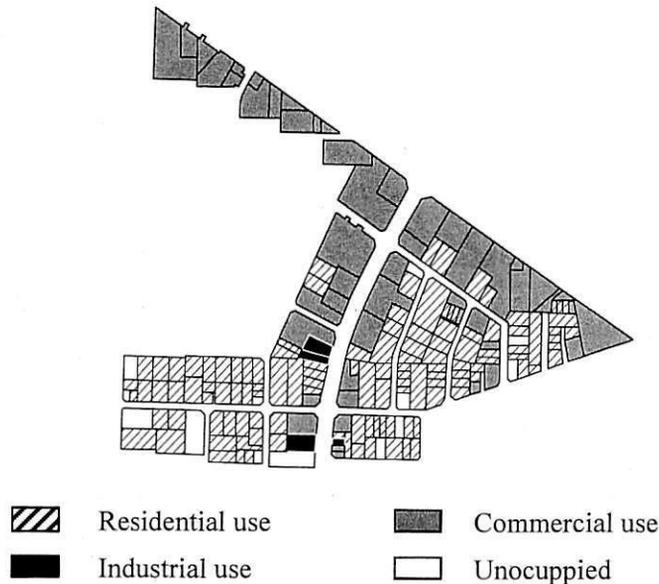
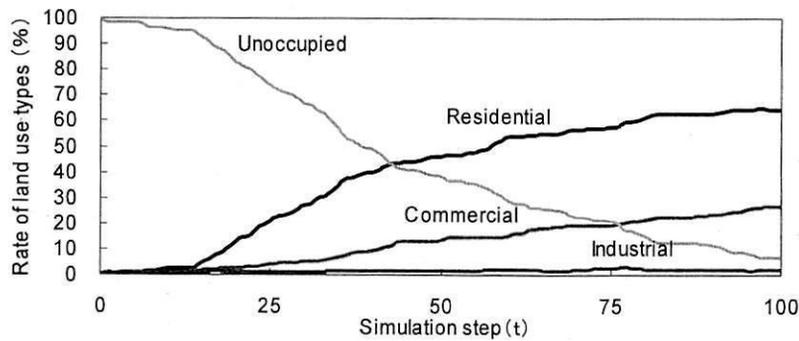
## 6. Alternatives - possibilities of scenario analysis

Regarding the land readjustment redevelopment project, what we can propose are alternatives about the land use zoning, district plan and its street network. For the application possibilities of this

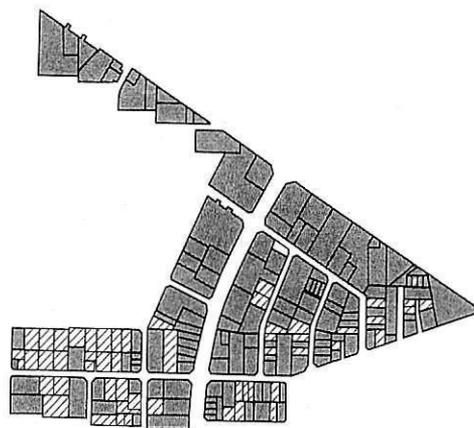
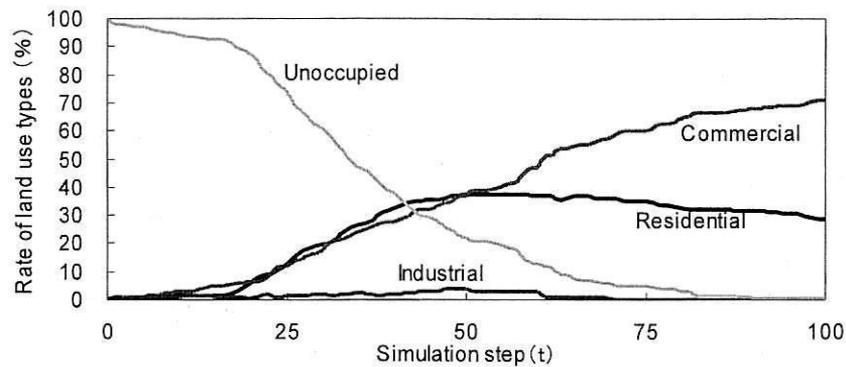
simulation model in the planning practice, the possibilities of scenarios analysis is showed here regarding the land use zoning alternatives. Certainly, if we replan the street network, the simulation will reproduce different results based on different infrastructures and different land plots in the study area. Moreover, if we reset the parameters regarding the front road and position of land lots, the simulation will reproduce different result. Here, only for presenting the possibilities of scenario analysis, we conducted a computer experiment in the case of alternatives regarding land use zoning. The scenario analysis can be carried out through changing the parameters only as Table 6.

**Table 6. Parameters for alternatives**

|                 |               | Parameters                           | R      | C      | I      |
|-----------------|---------------|--------------------------------------|--------|--------|--------|
| Land use zoning | Alternative 1 | P1: The 1st residential district     | 1.0600 | 0.9800 | 0.9600 |
|                 | Alternative 2 | P1: Neighborhood commercial district | 1.0000 | 1.0500 | 1.0000 |



**Fig.17. The simulation result of as alternative 1**



**Fig.18. The simulation result of as alternative 2**

As shown in Table 5, the alternatives are planned as different types of land use zonings with the real plan in the study area, in which the alternative 1 is the 1st excluded residential district with parameters, 1.0600 for residential use, 0.9800 for commercial use and 0.9600 for industrial use, and the alternative 2 is the neighbour commercial district with parameters, 1.0000 for residential use, 1.0500 for commercial use and 1.000 for industrial use. The parameters of alternatives are set as different values with the quasi-industrial district where all types of land use can be built freely in the Japanese planning system.

As shown in Fig. 17-18, we can watch the significant differences between them in the formative years of land use and their spatial patterns. Comparing with the quasi-industrial district, the alternative 1 has more residential use in the area and the alternative 2 has more commercial use in the area reflecting the impacts from the changing of the parameters for different types of land use zoning. Consequently, scenario analysis can be conducted by changing parameter sets for different planning conditions according to planners' proposals.

## 7. Conclusions

In this paper, we explore how to apply CA theory to simulate the land use patterns while considering the potential impacts from planning conditions, neighbourhood and land use demand in an urban district. Different from most of urban growth models using CA, the data employed in this project is irregular polygons which are blocks and lots in urban space. Accordingly, the simulation area is an urban district with a street network, urban partitions including blocks and lots, which is limited within a urban development area and certainly there are no sprawl phenomenon.

A simulation model considering the impact from planning conditions, land use demand and neighbourhood is constructed and the behaviours of the parameters are examined. Furthermore, the model is validated with spatial patterns of each type of land use through percolation model. Model validation is conducted as a computer experiment in a virtual district with 324 lots and 18 blocks, which is assumed to be redeveloped by a land adjustment redevelopment project.

Model calibration is conducted in a real urban district where a land readjustment project is implemented during 1969-1992, with 188 lots and blocks. According to the real conditions, we set parameters for a quasi-industrial zone which is experiencing a stable growth process without obvious land use conversion between different types of land use. The simulation result match the spatial pattern of the real urban district very well.

As described in the above, we simulate the formative years of land use using CA and inquire into the impacts from planning conditions, neighbourhood and land use demand. As a result, CA is verified available in this kind of micro geo-simulation. However, even though the percolation model for model validation is available at the level of occupied or unoccupied lots through clusters and the percolation probability, a more sophisticated percolation model is necessary for checking the spatial patterns carefully at the level of different types of land use in simulation space.

For further research in the future, multi-agent system should be introduced to this simulation for taking into account the households' behaviors and their decision in the land use, and the building use and their volumes.

## References

### a) Books and Books chapters

- [1] Benenson, P.M. Torrens (2004). *Geosimulation Automata-based modelling of urban phenomena*. Wiley, England.
- [2] J.P. van Leeuwen, J.P. Timmermans (2004). *Recent Advances in Design & Decision Support Systems in Architecture and Urban Planning*. Kluwer Academic Publishers, The Netherlands.

- [3] Richard K. Brail and Richard E. Klosterman (2001). Planning support systems, integrating geographic information system, models, and visualization tools. ESRI Press, Redlands, California.
- [4] Michael Batty (2004) Cities and complexity understanding cities with cellular automata, agent-based models, and fractals. The MIT Press, Cambridge, Massachusetts, London, England.

**b) Journal papers**

- [1] Fulong Wu (1996). A linguistic cellular automata simulation approach for sustainable land development in a fast growing region. Computers, Environment and Urban Systems, Volume 20, Issue 6, 367-387.
- [2] M. Batty, H. Couclelis and M. Eichen (1997). Special issue: urban systems as cellular automata, Environment and Planning, B 24(2).
- [3] M. Rachi, M. Kawakami (2000). Study on changes of design for land readjustment project and urbanization – Case study in Kanazawa city-. City planning review special issue, No.35, 913-918 in Japanese.
- [4] Yan Liu and Stuart R. Phinn (2003). Modelling urban development with cellular automata incorporating fuzzy-set approaches. Computers, Environment and Urban Systems, Volume 27, Issue 6, 637-658.
- [5] Cláudia Maria de Almeida, M. Batty & others (2003). Stochastic cellular automata modeling of urban land use dynamics: empirical development and estimation, Computers, Environment and Urban Systems, Volume 27, Issue 5, 481-509.
- [6] Auerbach, A.J., Gokhale, J. and Kotlikoff L.J. (1994). Generational accounting: A meaningful way to evaluate fiscal policy. Journal of Economic Perspectives, Vol. 8, No. 1, 73-94.
- [7] Martin Herold, Helen Couclelis, Keith C. Clarke(2005). The role of spatial metrics in the analysis and modelling of urban land use change. Computers, Environment and Urban Systems, Volume 29, 369-399.
- [8] Golledge, R. G. (1995). Primitives of spatial knowledge. In Nyerges et al. (Eds.), Cognitive aspects of human-computer interaction for Geographic Information Systems, 29–44.
- [9] Fulong Wu and Christopher J Webster(1998). SIMULATION OF NATURAL LAND USE ZONING UNDERFREE-MARKET AND INCREMENTAL DEVELOPMENT CONTROL REGIMES. Computers, Environment and Urban Systems, Volume 22, Issue 3, 241-256.
- [10] Erickson, B. and T. Lloyd-Jones(1997). Experiments with settlement aggregation models. Environment and planning B, 24(6), 903-928.

- [11] Engelen, G., R. White, and I. Uljee (1997) Integrating constrained cellular automata models, GIS and decision support tools for urban planning and policy making. Decision support systems in Urban Planning. H.P. Timmermans. London, E&FN Spon: 125-155.
- [12] Batty M. and Xie Y. (1994). From cell to cities, Environment and Planning B, 21, 31-48.
- [13] Maniruzzaman K.M., Y. Asami and A. Okabe (1994). Land use and the geometry of lots in Setagaya Ward, Tokyo. Theory and Application of GIS, 1994, Vol.2, No.1, pp.83-90
- [14] Chen, P., Shen, ZJ., and Kawakami, M. (2006). Study on Development and Application of MAS for Impact Analysis of Large-scale Shopping Center Development. Journal of the City Planning Institute of Japan, No. 41-3, 271-276.
- [15] Yosuke ANDO, Keiji YOKOTA and Tohru YOSHIKAWA (2005). Urban simulation by a multi agent system considering emergence and agglomeration of vacant buildings in urban decline process and effect of empty space on commerce. Journal of the City Planning Institute of Japan, No. 40-1, 51-59.
- [16] Masanobu Kii, Kenji Doi (2005). Multiagent land-use and transport model for the policy evaluation of a compact city. Environment and Planning B: Planning and Design 2005, V32, 485-504.
- [17] Michelle Chabrola, David Sarramiab, Nikolay Tchernev (2006). Urban traffic systems modelling methodology. Int. J. Production Economics, v99,156–176.
- [18] Takizawa A., Kawamura H., Tani A. (2000). Multi-agent evolutionary computation adaptation urban land-use pattern formation. Journal of architecture planning and environmental engineering, No.528, 267-275.

**c) Papers presented to conferences**

- [1] Atsuyuki OKABE (2003). A new approach to spatial analysis:Spatial analysis on network with SANET. Invited paper, CUPUM'03, Sendai, Japan, May 2003.
- [2] Ivan Blecic, Arnaldo Cecchini, Paola Rizzi, Giuseppe A. Tronfio (2003). Playing with Automata. An Innovative Perspective for Gaming Simulation (With CAGE – Cellular Automata General Environment). 5C-3, CUPUM'03, Sendai, Japan, May 2003.

**d) Other documents**

- [1] Paul M. Torrens (2000). How cellular models of urban systems work (1. Theory). Center for advanced spatial analysis working paper series, No.28.

## 第12章 研究の成果と今後の課題

ここでは、これまで述べてきた内容を総括し、全体のまとめと今後の課題を述べる。

### 1. 研究の成果

本研究の目的は、環境保全を考慮した総合的な土地利用計画支援システムの開発の試みである。具体的には事例研究により、国や民間において整備されている多様な土地利用のデータと環境関連のデータを統合することにより、環境水準の制約を取り入れた土地利用計画支援システムの開発を行っている。研究の成果として、下記のようにまとめられる。

第一には、各種データを統合できる地理情報システムを用いたデータベースシステムの構築があげられる。国や地方自治体により整備したGISデータをデータベースシステムに導入でき、さらにSPSSなどの都市解析ツールとの組み合わせで、都市・地域を対象として必要な統計的解析を行える。事例研究として、地表面温度と市街地の土地利用構成との因果関係などを解明する研究と考察を行った。

第二には、環境基本計画と都市計画との関連性について、都市計画における地域地区制度などに基づいた土地利用のパターン、環境基本計画からみた土地利用のパターンには共通性があるが、相異点もある。地域地区制度に土地利用に関する環境影響の評価システムを取り入れることで、環境基本計画との整合性を図るようにすることが重要である。本研究では、エコロジカル・ネットワークという新しい概念に注目し、公園緑地、樹林地などの都市内におけるみどり空間について、リモートセンシングデータを用いて画像分類を行うことで、地区レベルのエコロジカル・ネットワークを自動作成できるようなシステムを開発した。そして、環境保全という視点から、都市計画の地区レベルの参加型計画には、動物の生息空間を含むエコロジカル・ネットワークという概念を取り入れようとした。

特に、本研究では、WEBGISを用いて、地区レベルでの都市情報を収集しようとしたことに意義がある。インターネット上に収集した情報を公開することにより住民がお互いの情報を共有できる場を持つことができる。近年は一般家庭にもパソコンが普及してきており、またそれに伴いインターネットの普及率も年々高まりつつある。こういった状況から今後インターネットを用いた情報収集ツールの開発は進行していくものと考えられる。

第三には、地区レベルにおける都市計画の試みとして、WEBGISを用いた動物の生息情報の収集やまちづくりに関する住民の意見収集のシステムを開発した。このように、都市計画としてのまちづくりの計画情報と環境保全のためのエコロジカル・ネットワークの形成を図るために、インターネットを用いた環境保全を考慮した都市計画の方法論を探ったといえる。

第四には、一般的には、土地利用の状況がわかれば、都市・地域の環境問題を工業生産とエネルギー消費・交通量の発生量によって推測できる。このように、環境保全を考慮した都市計画の方法論を確立させるとするならば、市街地の将来像を提示する土地利用のシミュレーションが不可欠である。本研究では、環境水準を制約条件とした土地利用計画の方法を提案するために、マクロとミクロのレベルから土地利用のシミュレーションを行う必要があると考えた。

具体的には、マクロな視点からは、メッシュ単位のデータベースを構築し、環境基本計画の政策と地域・都市計画の代替的な計画シナリオを作成し、MAS や GA を用いて地域全体の都市開発による土地利用の変容を提示できるシステム開発を進めた。ミクロな視点からは、CA を用いて街区や宅地レベルの土地利用シミュレーションシステムを開発してきた。土地区画整理事業後において、市街地形成のシミュレーションシステムを開発し、その有効性を検証した。今後、土地利用パターンに基づいて、地域地区制度に基づく建築可能空間を推測し、統計データにもとづいて土地利用用途別に建物階数、エネルギーの消費量、車の所有数などを推測できるようにし、環境保全の観点から地域地区制度の検討が行えるようにしている。

上記の二つのレベルを組合せて土地利用のパターンについてシミュレーションし、市街地の将来像に対応した都市・地域の環境問題を工業生産とエネルギー消費・交通量の発生量によって推測できるので、環境保全を考慮した都市計画の方法論を提示できるといえる。

## 2. 今後の課題

本研究では、都市・地域における土地利用計画支援システムの開発を目的としているが、環境保全ということ自体の範囲が大きい。そのため、これまで、地区レベルのエコロジカル・ネットワークと参加型地区レベルのまちづくりとの関連、将来の市街地像をシミュレーションすることで、将来の環境問題を提示できるという点では、一定の成果をあげられたが、まだ以下に例示するように多くの課題が残されているといえる。

### 1) 環境保全を考慮した都市・地域データベースの共有

国や民間によって整備した各部門の空間データが多くあり、それらのデータを共有させるため、地理的場所、調査の時間などの整合性が重要である。これまでのデータは、各部門によって整備されてきているが、これからはデータについての時空的整合性を整うため、計画の目的から、調査データ整備の問題点と将来のあり方が見直す必要がある。

### 2) WEBGIS を用いた計画情報の公開と収集

現時点では、WEBGIS を利用した自治体の活用事例は多くみられる。情報をリアルタイムで収集、及び公開することができ、移動端末にも適用できる。このように、GIS を実際に WEB 上で表示できるようにし、それにより住民に実際に触れてもらうことにより、都市計画をより身近に感じてもらえるようなインターネットサイトを実験的に公開しているといえる。しかし、依然として GIS 自体の普及、及び活用が十分でないこと、空間データ整備の不十分さ、収集できた情報の活用方法などの課題が残されている。

### 3) 市街地形成のシミュレーションと環境保全のシナリオ

本研究では、マクロとミクロレベルで、MAS や CA などの方法を用いて、市街地形成のシミュレーションの方法論を検証してきたが、環境計画に提示されてきた計画政策や都市計画に提示された計画政策との関連について、まだ十分に触れておらず、今後、両方からの計画政策をシミュレーションのシナリオとして整理したうえ、シミュレーションによって将来市街地像を提示することで、将来の市街地におけるエネルギー消費や車の大気汚染などの環境問題を提示できるように進めたい。

最後に、従来の都市・地域計画分野での計画策定では、定量的な分析に基づく空間的把握が十分にされないまま、計画者の経験や直感的判断によってきた面があるように思われる。経験や直感による意志決定を否定するのではないが、それらを補助するためにはそれ相応の情報が必要となってくる。そういった意味で、計画策定をより客観的、合理的に行い、また、地域と連携した計画案を立てることができる本研究で示したような支援ツールが必要となると考えている。今後、都市・地域の計画支援ツールの開発とその有効性の検証が重要な課題であるというまでもない。