

大規模土木構造物建設に伴う市街地変遷形態分析へのフラクタル理論の適用

Application of fractal theory to city growth and form analysis with construction of large-scale infrastructure

合田一洋*, 白木 渡**, 大林成行***

Kazuhiro Goda, Wataru Shiraki, Shigeyuki Obayashi

* 工修, 香川大学大学院博士後期課程, 工学研究科信頼性情報システム工学専攻 (〒761-0396 香川県高松市林町 2217-20)

** 工博, 香川大学教授, 工学部信頼性情報システム工学科

(同 上)

*** 工博, 香川大学客員教授

(同 上)

The objectives of this study are to expand the analysis function of the multi-Temporal Analysis model with the Fractal theory, and to systematize the chain of the analysis procedure on the city form and growth. Two kinds of fractal dimensions are introduced with respect to the reduced area of the vegetation observed from the satellite data and to the elevation distinction area based on the Digital Terrain Model (DTM), respectively. Through the correlation analysis with those fractal dimensions, it is indicated that the four typical types of the city form and growth, as the mono-focal, the ring/radial, the multi-focal and the twin type, could be easily classified and estimated.

Key Words: city form and growth, satellite remote sensing data, fractal dimension, CAF-model

キーワード: 市街地変遷形態, 衛星リモートセンシングデータ, フラクタル次元, CAF モデル

1. はじめに

近年, 我が国は, 少子・高齢化問題や地球温暖化をはじめとした環境問題等の多くの問題を抱えており, 社会経済情勢が大きく変化している. 建設分野においても, 少子・高齢化問題による社会資本整備への財政投与の制約や交通渋滞に起因する排出ガスによる地球温暖化への影響等, これらの諸問題に対する対応が求められている. その反面, 高速道路や鉄道, 橋梁等の大規模土木構造物の建設は, 生活環境および利便性の向上や地域産業の活性化等の経済的波及効果が大きいことも事実である. そこで, これまでのような需要追従型の社会資本整備から周辺環境との調和を重要視した自然共生型の持続可能な社会資本整備が必要不可欠となる. また, 住民参加の観点からも, 構造物の建設に伴う影響を明らかにし, 合意形成を図ることがこれからの社会資本整備計画を策定していく上で重要である.

このような観点から, 高速道路や鉄道, 橋梁等のような大規模土木構造物の建設に際しては, その計画策定段階において, 地域・地区レベルから開発による周辺環境の変化を事前に分析・把握することが対応策として必要である. 近年では広域性, 同時性, 周期性といった特徴を併せ持つ衛星リモートセンシングデータ (以下, 衛星データ) を用いた環境モニタリング技術の適用に多くの期待が寄せられている. これまでに, 衛星データの持つ特徴を活かし, 土地被覆の時系列分析支援を目的とした分析手法が開発されてきた^{1)~3)}. これまでの研究では,

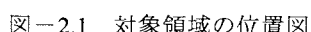
土地被覆時系列分析にフラクタル理論を導入した分析方法の提案と, その適用性を示すことに研究の主眼が置かれてきた. このため, 道路網の分布形状に対するフラクタル次元 (以下, 道路網 FR 次元) と市街地が変化した領域に対するフラクタル次元 (以下, 市街地 FR 次元) の少ないパラメータで「道路網整備状況と市街地の形成・成長過程」を分析するところに特徴があった^{4), 5)}. しかし, 市街地の発展は「地形等の立地条件」に影響を受け, 市街地が成長する過程では「植生の環境」も変化する. また, 人口分布や交通量の変化, 地域特有の歴史, 文化等のような社会・経済現象とも深く関わっている. したがって, 市街地変遷形態を分析する上で植生域の変化や地形的な条件, 社会・経済現象との因果関係を無視することができないのは言うまでもない. これらの複数の要因を同時に取り扱うことのできる分析手法の開発が急を要する課題となっている.

そこで本研究では, 衛星データから得られる市街地領域および植生領域の変化, 断面交通量の経年変化量等の複数の要因を融合利用した分析手法について検討する. さらに, フラクタル理論に基づいて市街地周辺領域の環境監視・計画支援を行うための市街地変遷形態分析モデル (CAF モデル; Fractal theory-based City growth and form Analysis model applying satellite remote sensing data) を構築し, その有用性について検討する. 具体的には, 従来の衛星データや地形図等から得られる地理・環境情報と対象領域における交通量特性を表す社会・経済情報を併用することにより市街地変遷形態を分析・推定する. 次

衛星リモートセンシングデータと従来から使用されてきた各種の地理データを併用した国土空間データの分析モデリング機能に関する研究開発は、世界的にも多くの研究者が注目しており、本研究で提案するフラクタル理論を導入したアプローチは、これまで別々に進められてきた研究を統合利用する萌芽的研究として意義あるものと考えている。

2.1 対象領域および使用データ

使用した衛星データは、過去 20 年間に対象にランドサット (Landsat) の MSS (Multispectral Scanner) データおよび MESSR (Multispectral Electric Self Scanning Radiometer) データの中から雲やノイズ等の影響のない良質なものを検索した。



本研究で対象とする小都市と中都市の成長は、鉄道網や道路網といった大規模土木構造物の建設とともに、物理的な近接関係によって一体的に進むものと考えられる。例えば、インターチェンジや鉄道駅を中心としてクラスター（房）状に市街地が進展していく事例などである。このような市街地形成過程をモデル化すると、代表的なものとして4パターンに分けることができる。

①单焦点状型

②放射環狀型

③多心型

④複眼型

本研究の対象領域と市街地形成パターンの対応を表-2.1に示す。本研究では、4種類のフラクタル次元（市街地、道路網、植生、標高区分）と断面交通量の経年変化量を用いて分析した市街地変遷形態と市街地化形成パターンの関係を分析する。衛星データから得られる時系列情報や道路網、標高区分、断面交通量の経年変化量が都市の成長過程を評価する新たな指標となることを検証した上で、将来にわたる市街地の変遷を推測できる可能性を見出す点が大きな特徴となる。

市街地が成長・発展する過程では、土地利用状況の変化や植生分布の変化、人口変動等の様々な側面で変化が現れてくる。本研究では、これらの市街地の変遷と関わりのある要因に対してフラクタル理論等を適用することにより定量化し、大規模土木構造物建設に伴う市街地変遷形態分析における基本情報として取り扱う。市街地変

市街化形成パターン	対象領域
単焦点状型	白石地区，白川地区
放射環状型	福島地区，郡山地区
複眼型	黒磯地区，鹿沼地区
多心型	古河地区，久喜地区

遷形態分析に関する基本情報を次の2つに大別する。

- ①地理・環境情報
- ②社会・経済情報

市街地変遷形態分析において対象となる地理・環境情報および社会・経済情報には、多種多様なものが考えられる。市街地変遷形態を分析する上での地理・環境情報および社会・経済情報を表-2.2に区分・整理する。

(1) 地理・環境情報の定義

地理・環境情報は、地理情報と環境情報の2つの情報から構成される。以下、各情報の具体的な内容を述べる。

a) 地理情報

地理情報は、市街地が変遷する過程での地理的な要因に関する情報である。衛星データを処理して得られる市街地領域の変化等の土地被覆情報、地形図等から得られる道路網情報、数値地形モデルから得られる地形情報等が該当する。

b) 環境情報

環境情報は、大規模土木構造物の建設に伴い市街地が変遷する過程における周辺環境および自然環境の変化に関する情報である。具体的には、衛星データを基にした土地被覆時系列分析から得られる植生領域の変化状況や植生指標等が該当する。

従来までの研究においては、市街地領域の変化を抽出した土地被覆情報および道路網情報を市街地の変遷に関連する情報として取り扱っている。本研究では、新たに植生領域の変化に関する土地被覆情報と地形情報を追加する。これらの情報を地理・環境情報としてとりまとめ、CAFモデルの基本情報の一つとして取り扱う。

本研究における地理・環境情報は、市街地領域および植生領域、道路網、標高区分域に対して計算したフラクタル次元（市街地FR次元、植生FR次元、道路網FR次元、標高区分FR次元）を介して市街地変遷形態を分析するといった範囲に限られる。本研究では、以上に述べた分析範囲と適用範囲をもとに、地理・環境情報として定義する。

(2) 社会・経済情報の定義

社会・経済情報は、社会情報と経済情報の2つの情報から成り立つ。

a) 社会情報

社会情報は、市街地の変遷と関わりのある社会現象に

関する情報である。例えば、人口密度および人口集中地区（DID:Densely Inhabited District）面積等の人口統計から得られる情報や交通センサスから得られる交通情報等が該当する。本研究では、交通情報の一つである高速道路における断面交通量の経年変化量を社会情報として導入する。

b) 経済情報

経済情報は、大規模構造物の建設に伴い市街地が変遷する過程での経済的な観点から分析することにより得られる情報である。例えば、道路維持管理費や人間活動による産業への経済的効果等が該当する。本研究では、このようなこれまでに具体的な取り扱いの困難であった社会・経済情報を市街地変遷形態分析に導入するところの特徴がある。本研究では、市街地変遷形態分析における社会・経済情報の導入による初期検証段階として、社会・経済情報として断面交通量の経年変化量に限定し導入を試みる。したがって、本研究では経済情報については取り扱わないこととし、今後の課題とする。

本研究では、社会・経済情報として交通量データ（年平均1日当たりのIC間断面交通量）から得られる断面交通量の経年変化量を用いる。市街地の変遷形態を分析することに研究の主眼を置いていることから、社会・経済情報を単独で用いることは研究の範囲には含めないものとする。以上が本研究で取り扱う社会・経済情報の位置づけと分析範囲および適用範囲であり、CAFモデルの基本情報の一つとして定義する。

以上のように市街地の変遷に関する情報を区分し、適用範囲と分析範囲を明確に定義することは、市街地の変遷に関わる要因が及ぼす影響を個別に把握する上で有効である。今後、新たに情報を追加・整備していく上での作業性・拡充性の面から見ても意義のあることである。

2.4 CAFモデルの基本構成

本研究で構築したCAFモデルの基本構成を図-2.2に示す。CAFモデルは、地理・環境情報を用いた市街地変遷形態分析機能および地理・環境情報と社会・経済情報を併用した市街地変遷形態分析機能の2つの機能から構成される。

以下、各機能の内容を詳しく述べる。

(1) 地理・環境情報を用いた市街地変遷形態分析機能

地理・環境情報を用いた市街地変遷形態分析機能は、CAFモデルの主な分析機能の一つである。分析機能は、以下に示す3つの分析手法から構成される。以下、順を追って内容を詳しく説明する。

- ①フラクタル性の検証（フラクタル次元の計算）
- ②フラクタル次元相関分析
- ③地理・環境情報を用いたクラスター分析

a) フラクタル性の検証（フラクタル次元の計算）

i) フラクタル理論の概要

本研究では、衛星データを処理・解析することにより得られる「市街地」および「植生」が変化した領域を表す画素の面的分布形状や道路網、標高区分域の広がり

表-2.2 市街地変遷形態分析に関する情報区分

基本情報		属性情報	本研究における情報の内容
地理・環境情報	地理情報	・土地被覆情報 ・道路網情報 ・地形情報等	・市街地領域の変化 ・道路網の整備状況 ・地形的な条件
	環境情報	・土地被覆情報等	・植生領域の変化
社会・経済情報	社会情報	・交通情報 ・人口統計情報等	・高速道路における交通量特性
	経済情報	・道路維持管理費等	今後の課題とする

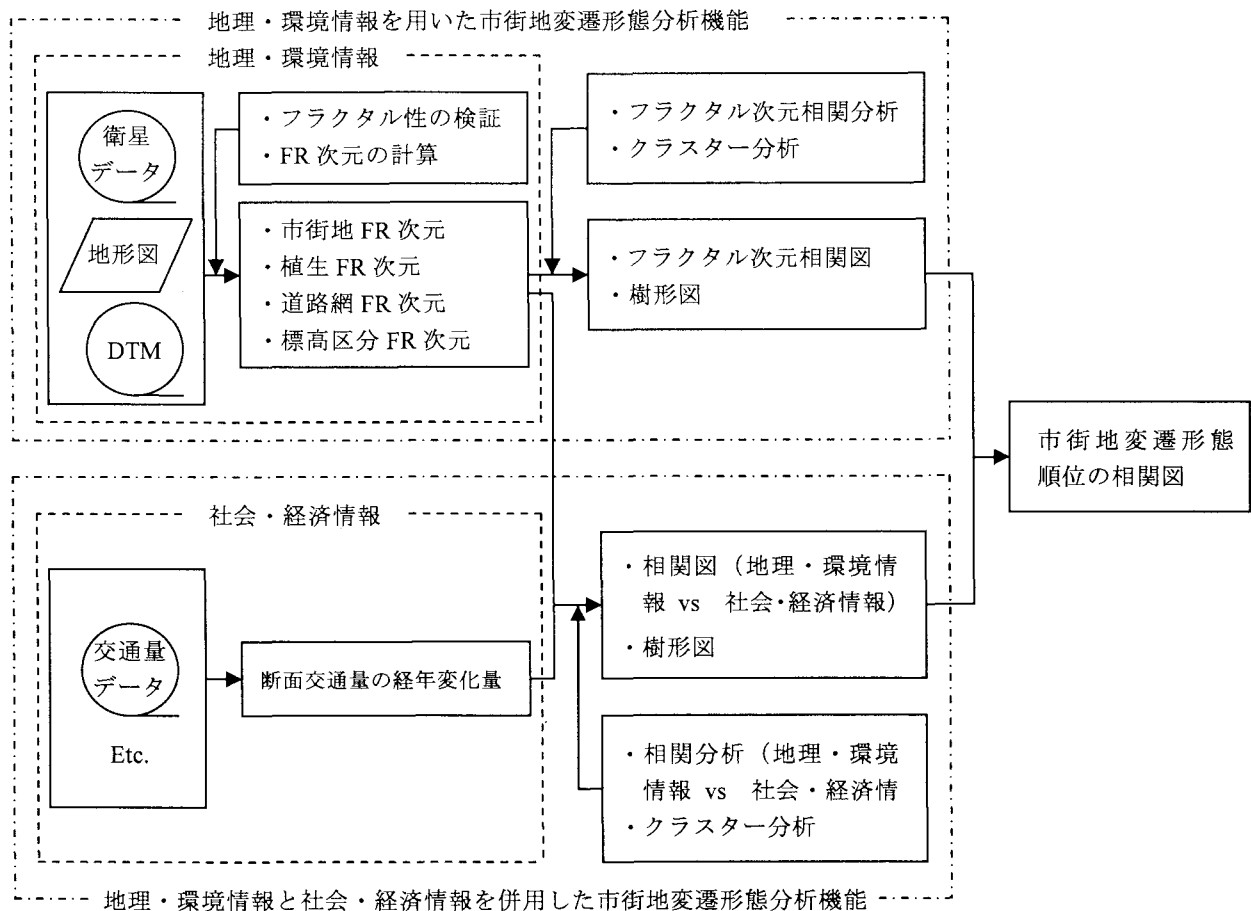


図-2.2 CAFモデルの基本構成

状況・複雑さに対してフラクタル次元を介して定量評価する。したがって、画像上の面的な広がり形態に対するフラクタル次元の計算には最も一般的に利用されている方法である粗視化の度合いを変える方法のボックスカウンティング法を採用した⁷⁾。

また、実存する物質を対象とする場合、フラクタルの基本的な性質である自己相似性が成り立つ範囲には上限と下限が存在する。したがって、本研究では、大津が提案した直線度 I を用いてフラクタルプロット図上の点列の直線性を評価し、フラクタル性の成り立つ空間スケール範囲を決定した上でフラクタル次元を計算する⁸⁾。

本研究では、従来までのフラクタル理論による定量化が図られてきた市街地や道路網に加えて、「植生領域の面的な分布形状」や地形的な要素としての「標高区分域の形状」に対してフラクタル性の有無を検証する。これら植生領域や標高区分域に対するフラクタル次元を地理・環境情報として市街地変遷形態分析に導入するところがこれまでの研究にない大きな特徴である。

b) フラクタル次元相関分析

市街地領域や植生領域、道路網、標高区分域それぞれに対して計算したフラクタル次元をもとに対象領域を平面上または空間上にプロットした相関図を用いて市街地変遷形態を分析する。本研究では、2つ以上のフラクタル次元を軸として設定した相関図を「フラクタル次元相

関図」と定義する。平面上にプロットしたものを2次元フラクタル次元相関図、空間上にプロットしたものを3次元フラクタル次元相関図と定義する。

このフラクタル次元相関図を用いて市街地変遷形態の類型化の可能性を検討する。具体的には、フラクタル次元相関図上で対象領域と市街地形成パターンとの関係について分析する。本研究では、4つのフラクタル次元（市街地FR次元、植生FR次元、道路網FR次元、標高区分FR次元）を用いることから組み合わせにより6種類の2次元フラクタル次元相関図を作成することができる。作成したフラクタル次元相関図を互いに比較することにより、各フラクタル次元の及ぼす類型化への影響を分析する。この一連の分析手順を「フラクタル次元相関分析」と定義する。

これまでの土地被覆時系列分析手法は、市街地FR次元と道路網FR次元の2つのパラメータを用いて対象領域を類型化するところに特徴があった。新たに植生FR次元と標高区分FR次元を導入することにより、多角的な視点から市街地変遷形態を分析できると考えられる。

c) 地理・環境情報を用いたクラスタ分析

フラクタル次元相関分析は、フラクタル次元相関図上で対象領域を様々な側面から視覚的に類型化できる点が特徴である。しかし、フラクタル次元相関分析は2次元もしくは3次元といったように同時に扱うことので

きる変量は最大3つまでに制限される。そこで本研究では、複数の変量を同時に扱うための分析手法としてクラスター分析（cluster analysis）を採用する。

クラスター分析は、大別すると階層的な方法と非階層的な方法に分けられる⁹⁾。本研究では、市街地の変遷に関わる種々の情報を用いて人間の意志を介さずに分類結果を得るため階層的な方法を適用する。

クラスター分析には、個体間の類似度の表現方法によって様々な方法が存在するが、本研究では広く一般的に用いられているウォード法によるクラスター分析を適用する。クラスター分析による分析結果から樹形図（デンドログラム；dendrogram）を作成し、樹形図上で市街地変遷形態による類型化および将来予測が可能か否かについて検討する。

(2) 地理・環境情報と社会・経済情報を併用した市街地変遷形態分析機能

CAFモデルの分析機能の一つである地理・環境情報と社会・経済情報を併用した市街地変遷形態分析機能の分析方法を述べる。地理・環境情報と社会・経済情報を併用した市街地変遷形態分析機能は以下に示す2つの分析方法から構成される。

①相関分析（地理・環境情報 vs. 社会・経済情報）

②地理・環境情報と社会・経済情報を用いたクラスター分析

a) 相関分析（地理・環境情報 vs. 社会・経済情報）

本研究では、社会・経済情報として断面交通量の経年変化量を用いる。地理・環境情報と社会・経済情報との因果関係について相関図を用いて分析する。相関図（地理・環境情報 vs. 社会・経済情報）は、地理・環境情報である4つのフラクタル次元（市街地、植生、道路網、標高区分）を縦軸、社会・経済情報を横軸としてそれぞれ組み合わせた相関図である。相関図上で都市を類型化できるか否かについて検討する。

b) 地理・環境情報と社会・経済情報を併用したクラスター分析

地理・環境情報（市街地 FR 次元、植生 FR 次元、道路網 FR 次元、標高区分 FR 次元）と社会・経済情報（断面交通量の経年変化量）を変量としたクラスター分析を行い、分析結果を基に樹形図を作成する。樹形図上で個体（対象領域）の統合パターンから、都市の類型化を検討するとともに、将来にわたる市街地変遷形態を分析・推定する。

(3) 市街地形態統合順位の相関図を用いた市街地変遷形態分析

前述した地理・環境情報を用いた市街地変遷形態分析機能および地理・環境情報と社会・経済情報を併用した市街地変遷形態分析機能からそれぞれ得られる分析結果を融合利用し、市街地変遷の可能性について検討する。融合利用する方法として、本研究では、社会・経済情報と地理・環境情報を併用する場合と併用しない場合の各樹形図における個体（対象領域）が統合される順位を軸とした「市街地形態統合順位の相関図」を用いて市街地

の変遷形態を分析する。市街地形態統合順位の相関図から得られる基本的な解釈を解釈表にとりまとめる。

3. CAFモデルを用いた市街地変遷形態分析

3.1 地理・環境情報を用いた市街地変遷形態分析

(1) フラクタル次元相関分析による類型化

フラクタル次元を軸として平面上にプロットした2次元フラクタル次元相関図および空間座標を用いた3次元フラクタル次元相関図を用いることにより、都市を市街地形成パターンに類型化できるか否かについて検討する。

a) 2次元フラクタル次元相関図を用いた分析

フラクタル次元の計算結果を表-3.1に整理した。計算結果をもとにフラクタル次元を平面座標の軸とした2次元フラクタル次元相関図を作成した。作成した2次元フラクタル相関図の一例として市街地 FR 次元と植生 FR 次元の相関図を図-3.1に示す。

以下、2次元フラクタル次元相関図を用いた分析結果を述べる。

i) フラクタル次元の相関性の評価

いずれの2次元フラクタル次元相関図においても相関係数は0.77~0.97の範囲にあり、高い相関性を有していた。フラクタル次元が高い相関性を有するということは、

表-3.1 フラクタル次元の計算結果

市街地形成パターン	対象領域	フラクタル次元			
		市街地	植生	道路網	標高区分
単焦点状型	白石地区	1.42	1.84	1.22	1.42
	白河地区	1.45	1.85	1.23	1.54
放射環状型	福島地区	1.59	1.81	1.26	1.45
	郡山地区	1.65	1.85	1.28	1.52
複眼型	黒磯地区	1.82	1.95	1.54	1.57
	鹿沼地区	1.85	1.96	1.52	1.59
多心型	古河地区	1.77	1.94	1.50	1.54
	久喜地区	1.78	1.95	1.49	1.60

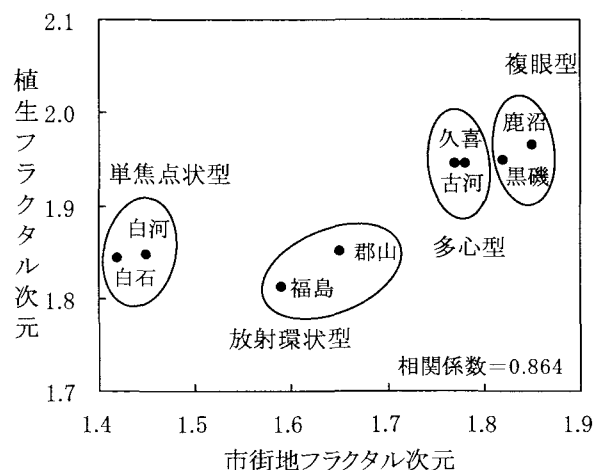


図-3.1 2次元 FR 次元相関図（市街地 vs. 植生）

フラクタル次元を介して市街地の変遷形態を説明づけることが可能であると判断できる。したがって、相関係数の値は、フラクタル次元相関図上で市街地の変遷過程を推定する場合の推定結果の信頼性を表す指標として位置づけることができる。本研究で作成した2次元フラクタル次元相関図においてもおおそ1に近い値を示していることから、フラクタル次元は市街地の変遷形態を分析する上で有用であると言える。

ii) 市街化形成パターンへの類型化および市街地変遷形態の推定

フラクタル次元相関図上にプロットした都市と市街化形成パターンの関係を分析した。その結果、市街化形成パターンを「単焦点状型と放射環状型」および「複眼型と多心型」の2つのグループに大別することができることがわかった。このことは、市街化形成パターンの変化に一定の傾向があり、市街地変遷形態を市街化形成パターンの推移により説明づけることができることを示唆している。したがって、フラクタル次元の変化に伴い、「単焦点状型と放射環状型」の都市形態から「複眼型と多心型」の都市形態へ変遷するといった推定が可能である。

4つのフラクタル次元（市街地FR次元、道路網FR次元、植生FR次元、標高区分FR次元）が将来的に市街地の変遷形態を推定する上で有用なパラメータであると解釈できる。

b) 3次元フラクタル次元相関図を用いた分析

フラクタル次元（市街地FR次元、植生FR次元、道路網FR次元、標高区分FR次元）を軸とした3次元フラクタル次元相関図を作成する。3次元フラクタル次元相関図の一例を図-3.2に示す。相関図から3つのフラクタル次元を同時に取り扱った場合においても都市を市街化形成パターンに類型化できることがわかる。また、2次元フラクタル次元相関図に比べて「単焦点状型と放射環状型」のグループと「多心型と複眼型」のグループの分離性が高いことが読み取れる。

以上より、3つのフラクタル次元を同時に取り扱うこと

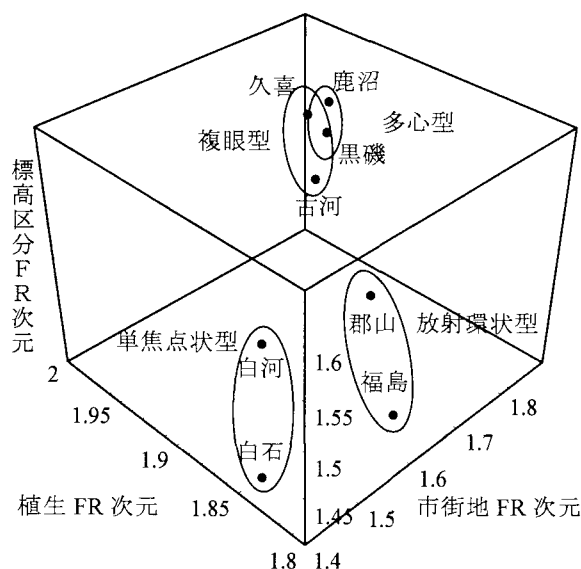


図-3.2 3次元FR次元相関図(市街地 vs.植生 vs.標高)

により、多角的な視点から都市を市街化形成パターンへ類型化できることがわかる。2次元FR次元相関図と同様に、複数のフラクタル次元を融合利用した市街地変遷形態を分析する上での有用性を見出すことができる。

(2) クラスター分析による市街地の変遷分析

a) 地理・環境情報を用いたクラスター分析

フラクタル次元の計算結果を基に、対象領域（8つの都市）を個体、4つのフラクタル次元を変数として設定し、クラスター分析（ウォード法）を実施した。クラスター分析の結果から作成した樹形図（デンドログラム）を図-3.3に示す。本研究では、クラスターの統合パターンを分析するため図-3.3に示すA～Eの5つのケースを設定し、各ケースにおける類型化の結果から市街地の変遷形態を分析した。

① ケースA～ケースCにおける類型化

複眼型である黒磯地区および鹿沼地区、多心型である古河地区および久喜地区がそれぞれ同一のクラスターとして類型化された。また、ケースCの段階では、複眼型および多心型の都市である「黒磯地区、鹿沼地区、古河地区、久喜地区」が同一のクラスターとして類型化されている。このことから、市街化形成パターンの中でも複眼型と多心型の都市は特に類似した都市形態を成していると解釈できる。

④ ケースD～ケースEにおける類型化

「単焦点状型」、「放射環状型」、「複眼型と多心型」といった3つのクラスターに類型化できることが読み取れる。このことから、4つのフラクタル次元を統合利用した結果と市街化形成パターンによる類型化が一致することが示された。このことは、市街地変遷形態分析におけるフラクタル次元の有用性を示すものである。

b) 市街地の変遷分析

図-3.3に示すケースAからケースEへ視点を推移させることにより、徐々にクラスターが統合されていく様子が読み取れる。以下、ユークリッド距離の増分値が近いケースを互いに比較することにより、将来にわたる市

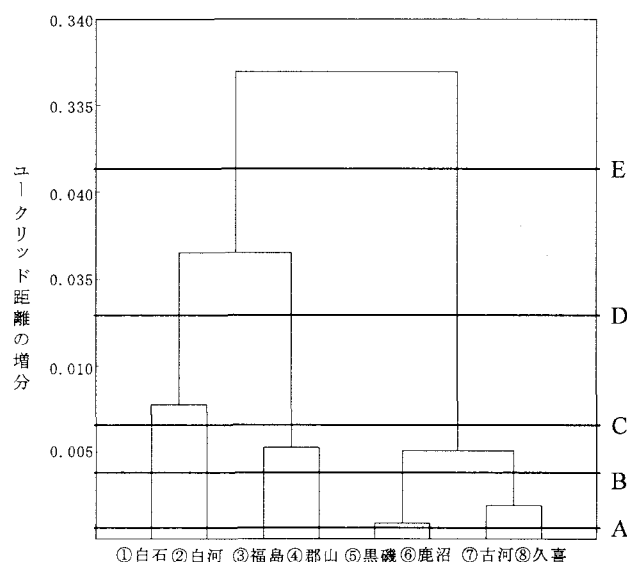


図-3.3 地理・環境情報を変数とした樹形図

街地の変遷形態を推定する。

①ケース A～ケース C による市街地変遷形態の推定

ケース A からケース C における類型化の結果を比較すると、複眼型である「黒磯地区と鹿沼地区」と多心型である「古河地区と久喜地区」がそれぞれ同一の都市形態として統合されていることがわかる。複眼型と多心型の都市が他の市街化形成パターンに比べて市街地領域の分布形状や植生領域の変化状況、道路網の整備状況が似通った都市形態へ変遷する可能性があることを示している。

②ケース D～ケース E による市街地変遷形態の推定

ケース D からケース E については、単焦点状型の都市と放射環状型の都市が同一の都市形態として統合されていることが読み取れる。単焦点状型の都市において放射方向もしくは環状に道路網が敷設されることによって放射環状型の都市と類似した都市形態へ変遷していくことが予想される。

ケース E からさらに市街地が変遷していく場合、言い換えれば、都市が無限に成長・発展し続けた場合にどのような市街地形態へ変遷していくかについては未知の問題である。本研究で作成したデンドログラム上では、「単焦点状型と放射環状型」のグループと「複眼型と多心型」のグループを統合した場合の都市形態がこの場合に相当する。複眼型もしくは多心型の都市における複数の核都市が融合した都市形態へ変遷する場合や単焦点状型もしくは放射環状型の都市が大規模に発展した都市形態へ変遷する場合が推定できる。

以上のように、フラクタル次元相関図およびクラスター分析による樹形図の分析結果から、複数のフラクタル次元を融合利用した市街地変遷形態分析により将来にわたる市街地変遷形態を推定することが可能であると言える。地理・環境情報を用いた市街地変遷形態分析は、今までに例を見ないものであり、本研究で構築する CAF モデルの有用性を示すものと言える。

3.2 地理・環境情報と社会・経済情報による市街地変遷形態分析

(1) 相関分析（地理・環境情報 vs. 社会・経済情報）による類型化

過去 20 年間における東北自動車道のインターチェンジ間の断面交通量経年変化量を地区ごとに計算した。計算結果を表-3.2 に整理する。計算結果をもとに作成し

表-3.2 断面交通量の経年変化量の計算結果

市街化形成パターン	対象領域	断面交通量の経年変化量 [台/日]
単焦点状型	白石地区	11335
	白河地区	9125
放射環状型	福島地区	11288
	郡山地区	12103
複眼型	黒磯地区	11773
	鹿沼地区	43782
多心型	古河地区	53914
	久喜地区	58361

た相関図（地理・環境情報 vs. 社会・経済情報）の一例（3 次元 FR 次元相関図）を図-3.4 に示す。

a) 地理・環境情報と社会・経済情報の相関性評価

植生 FR 次元および道路網 FR 次元の相関図は、相関係数は 0.7 以上の高い値となった。これは、植生領域の変化状況や道路網の整備状況と断面交通量の経年変化量との相互関係を定量的に分析できる可能性を示唆するものである。他の 2 つの相関図においても相関係数が 0.599 と 0.647 であり、若干低い値ではあるが、フラクタル次元と断面交通量の経年変化量の間に相関性があることが読み取れる。地理・環境情報と社会・経済情報の関係から市街地の成長形態を定量的に分析できると解釈できる。

ii) 都市の類型化についての検討

相関図より、「白石と白河」、「福島と郡山」、「古河と久喜」がそれぞれ近い位置関係にあることから、市街地の分布形状と断面交通量の経年変化の因果関係から、都市を単焦点状型、放射環状型、多心型といった市街化形成パターンへ類型化できることがわかる。また、地理・環境情報を用いたフラクタル次元相関図と異なる点は、黒磯地区が他の都市とは異なった都市形態として類型化されるところである。社会・経済情報を市街地変遷形態分析における基本情報として追加したことにより複眼型をより細かく類型化できたことを示しており、非常に興味深い結果である。

iii) 市街地変遷形態の推定

前述したように、相関図から地理・環境情報と社会・経済情報が互いに高い相関性を有し、相関図上で都市を類型化できることがわかる。また、黒磯地区は他の地区とは異なった過程を経て、鹿沼地区や古河地区、久喜地区と類似した都市形態へ変遷していく可能性が想定される。単焦点状型と放射環状型については、「鹿沼、古河、久喜」と似通った都市形態へ変遷していくと予想される。また、黒磯地区については、他の地区とは異なった過程を経て変遷していく可能性がある。

以上より、相関図（地理・環境情報 vs. 社会・経済情報）

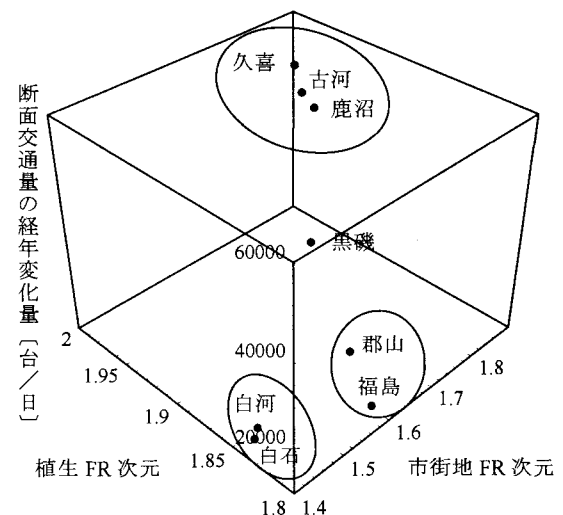


図-3.4 3次元フラクタル次元相関図
(市街地 vs. 植生 vs. 断面交通量の経年変化量)

報)を用いることにより、様々な分析を展開できることがわかる。市街地変遷形態分析における社会・経済情報の有用性が見出される。地理・環境情報と社会・経済情報を併用した市街地変遷形態分析は、今までにない手段として有効であると言える。

(2) クラスター分析による市街地の変遷分析

a) 地理・環境情報と社会・経済情報を併用したクラスター分析

対象領域(8つの都市)を個体、4つのフラクタル次元(市街地FR次元、植生FR次元、道路網FR次元、標高区分FR次元)と断面交通量の経年変化量を変量としたクラスター分析(ウォード法)を実施した。クラスター分析の結果をもとに作成した樹形図(デンドログラム)と地理・環境情報を変量とした場合の樹形図を図-3.5に示す。

以下、2つの樹形図を次のように定義する。

①樹形図(追加要因なし)：地理・環境情報を変量とした場合の樹形図

②樹形図(追加要因あり)：地理・環境情報と社会・経済情報(追加要因)を変量とした場合の樹形図

社会・経済情報を併用した場合と併用しない場合、言い換えれば、要因を追加する場合と追加しない場合の分析結果の違いを把握するため、追加要因なしの樹形図と追加要因ありの樹形図を比較した。比較の結果、断面交通量の経年変化量を併用することによって、樹形図上での統合パターンに変化が生じるといった非常に興味深い知見が得られる。例えば、図-3.5(1)および(2)の①に示すように、複眼型の都市である黒磯地区と鹿沼地区は、(1)では同じ都市形態として統合されているのに対して、(2)では鹿沼地区が多心型の古河地区と久喜地区に統合されるといったように統合パターンが異なっている。これは、黒磯の交通量が11773台/日であるのに対して鹿沼が43782台/

日と約4倍近く差があることが大きく影響していると考えられる。交通量特性や都心からの距離による影響を反映した結果であり、高速道路等の大規模土木構造物が都市形態へ与える影響が大きいことを示している。したがって、追加要因を使用する場合と使用しない場合の各樹形図を比較することによって得られる統合パターンの変化は、市街地変遷形態を分析していく上で有用な支援情報となる。

b) 市街地形態統合順位の相関図を用いた市街地変遷形態に関する検討

樹形図の縦軸は、個体(対象領域)が統合する際に要するユークリッド距離の増分である。図-3.5の(2)に示すように、古河地区と久喜地区は統合に要するユークリッド距離の増分が小さいことから、他の対象領域に比べて統合し易いことがわかる。したがって、クラスター分析の初期段階で統合される対象領域は、市街地が変遷する可能性の大きい都市であると解釈できる。

そこで、本研究では、樹形図上での個体(対象領域)が統合される順位(以下、統合順位)に着目した。追加要因なしの樹形図と追加要因ありの樹形図における個体の統合順位を表-3.3に整理した。整理した結果をもとに、追加要因なしの樹形図における統合順位および追加要因ありの樹形図における統合順位を軸とした相関図を作成した。本研究では、追加要因を使用する場合と使用しない場合の各樹形図における統合順位を軸とした相関図を「市街地形態統合順位の相関図」として提案する。作成した市街地形態統合順位の相関図とその凡例を図-3.6に整理した。

市街地形態統合順位の相関図上にプロットした点の相関係数が1になる場合、すなわちプロットした点が傾き45°の直線上に位置する場合は、社会・経済情報の併用によって統合順位が変化しないことを表している。また、45°の直線より下側の領域は、追加要因なしの樹形図に

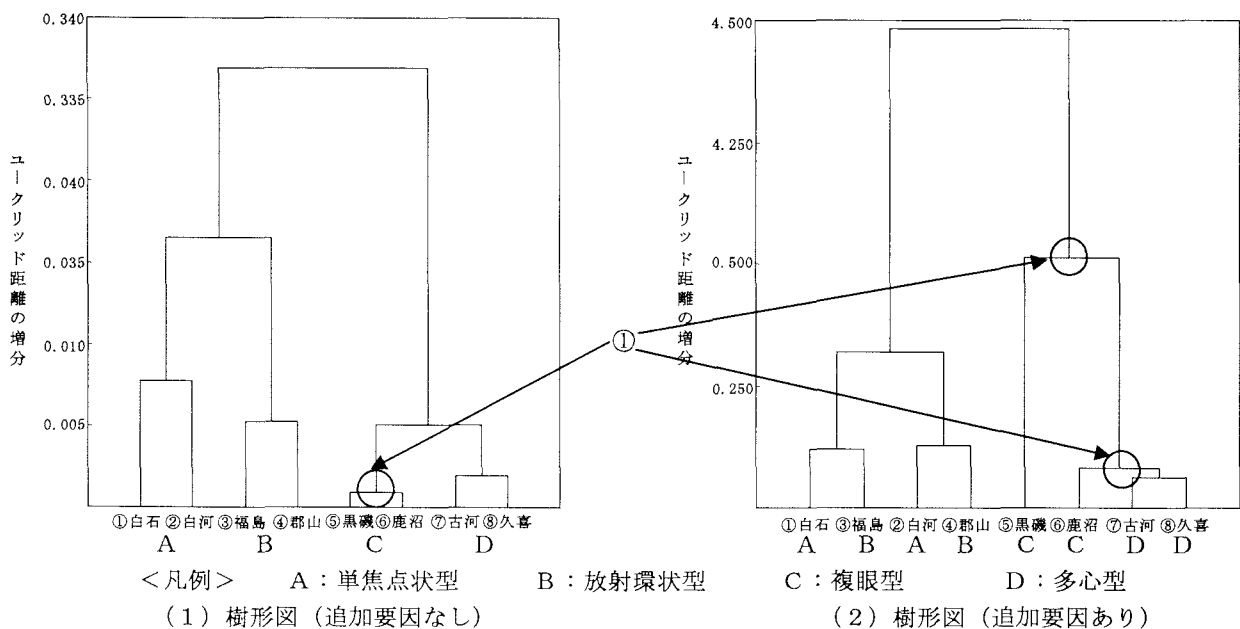
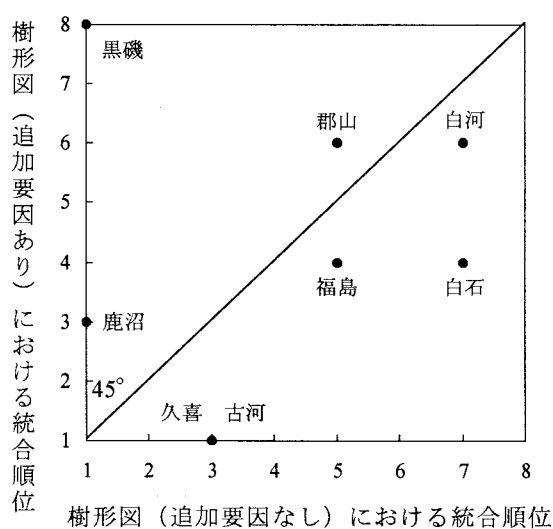


図-3.5 樹形図(デンドログラム)

表－3.3 樹形図における統合順位

市街化形成パターン	対象領域	樹形図(追加要因なし)における統合順位(位)	樹形図(追加要因あり)における統合順位(位)
単焦点状型	白石地区	7	4
	白河地区	7	6
放射環状型	福島地区	5	4
	郡山地区	5	6
複眼型	黒磯地区	1	8
	鹿沼地区	1	3
多心型	古河地区	3	1
	久喜地区	3	1



図－3.6 市街地形態統合順位の相関図

おける統合順位より追加要因ありの樹形図における統合順位の方が小さい場合であり、社会・経済情報を併用することによって統合順位が上がるケースである。樹形図上で統合順位が上がることは、早期に統合する可能性が大きいことを意味している。したがって、45°の直線より下側の領域にプロットされる都市は、市街地が変遷する可能性が大きいと解釈できる。逆に、45°の直線より上側に位置する場合は、市街地が変遷する可能性が小さい都市であると解釈できる。これらのことから、市街地形態統合順位の相関図上では、傾き45°の直線を境界条件として市街地変遷の可能性を分析することができる。同様に、傾き45°の直線と直交する直線を境界条件として、追加要因の寄与する度合いを評価することができる。樹形図上で個体が統合される順位に着目することは、既往の研究には見られない新しい考え方であり、CAFモデルの特徴の一つである。

以上の分析結果をもとに、市街地形態統合順位の相関図から読み取れる基本的な解釈を表－3.4に整理した。

本研究では、追加要因として断面交通量を用いているが、他にも人口分布やDID等の様々な要因が考えられる。市街地の変遷に関する情報として、人口分布等の新たな要因を追加した場合に、樹形図の統合パターンがどのよ

表－3.4 市街地形態統合順位の相関図の解釈表

45°ライン	市街地変遷の可能性	地区	市街化形成パターン	一般解釈
下側	大	白石	単焦点状型	追加要因の影響を余り受けず、市街地が変遷する可能性が大きい。
		白河	単焦点状型	追加要因の影響を大きく受けて、市街地が変遷する可能性が大きい。
		古河	多心型	追加要因の影響を大きく受けて、市街地が変遷する可能性が比較的大きい。
		久喜	多心型	追加要因の影響を大きく受けて、市街地が変遷する可能性が比較的大きい。
		福島	放射環状型	追加要因には関係なく、市街地が変遷する可能性が比較的大きい。
上側	小	郡山	放射環状型	追加要因の影響を余り受けず、市街地が変遷する可能性も比較的小さい。
		鹿沼	複眼型	追加要因の影響を大きく受けるが、市街地が変遷する可能性は比較的小さい。
		黒磯	複眼型	追加要因の影響を受けず、市街地が変遷する可能性が非常に小さい。

うな変化をするかといった感度分析を行うことも可能である。同様に、市街地形態統合順位の相関図において追加要因を変えることによって、様々な視点から分析を展開することができる。したがって、CAFモデルは拡張性・汎用性を備えた分析モデルであると言える。

4. まとめ

本研究は、大規模土木構造物建設に伴いその周辺環境変化を予測するための市街地の周辺領域における環境監視・計画支援を目的とし、衛星データを用いた土地被覆の時系列分析にフラクタル理論を導入した市街地変遷形態分析モデル(CAFモデル)を構築し、その有用性について検討したものである。本研究の成果は以下の3点にまとめられる。

(1) 植生FR次元および標高区分FR次元の導入

観測・収集年の異なる衛星データから土地被覆分類図を作成し、土地被覆分類図上で植生(樹林)が減少したと判定される領域の面的分布形状に対してフラクタル性を検証した。また、数値地形モデル(DTM)から標高区分図を作成し、標高区分図上の標高区分域の面的分布形状に対してフラクタル性を検証した。フラクタル性の検証を通して、植生領域および標高区分域の分布形状がそれぞれある一定の空間スケール範囲においてフラクタル性を有することが確認された。植生領域に対するフラクタル次元(植生FR次元)および標高区分域に対するフラクタル次元(標高区分FR次元)それぞれを介して古くから都市計画の分野で用いられている「単焦点状型、放射環状型、複眼型、多心型」といった4つの市街化形成パターンへ類型化できることがわかった。

(2) 社会・経済情報の導入

社会・経済情報としての断面交通量の位置づけを明確

にするとともに、市街地変遷形態分析における断面交通量の具体的な取り扱い方法を提案した。対象領域毎に計算した断面交通量の経年変化量と市街化形成パターンの因果関係により、断面交通量の経年変化量を介して市街化の進展状況を定量的に分析できるか否かについて検討した。さらに、社会・経済情報を地理・環境情報と併用した市街地変遷形態分析へ議論を展開した。これらの検討を通して、市街地変遷形態を分析する上での社会・経済情報の有用性を示した。市街地変遷形態分析への社会・経済情報の導入は、従来の研究には見られない本研究の成果の一つである。

(3) 市街地変遷形態分析モデル（CAFモデル）の構築

本研究では、市街地変遷形態を分析する上で導入・使用する情報を地理・環境情報と社会・経済情報の2つに区分し、各情報の位置づけと適用範囲および分析範囲を明確に定義した。これらの情報区分をもとに、地理・環境情報および社会・経済情報を用いた市街地変遷形態分析モデル（CAFモデル）を構築した。相関図や樹形図（デンドログラム）等を用いて、4つのフラクタル次元（市街地FR次元、道路網FR次元、植生FR次元、標高区分FR次元）と断面交通量の経年変化量を統合利用することにより、市街地の類型化および変遷推定の可能性について検討した。さらに、社会・経済情報を地理・環境情報と併用する場合と併用しない場合の樹形図上での統合パターンの変化を表した「市街地形態統合順位の相関図」を提示し、この相関図を用いて市街地変遷の可能性について分析を展開できることを示した。市街地形態統合順位の相関図とその解釈表は地域計画・土地利用計画の策定段階での支援情報として有用であることを示した。

このように、複数のフラクタル次元を統合利用するマルチフラクタル分析や社会・経済情報の併用といった種々の情報を融合利用することにより、市街地変遷形態を分析・推定するところが従来の研究には見られない点である。本研究で構築したCAFモデルを適用することによって、今までにない視点から分析が展開できる。その他にも、衛星データのようなデジタルデータを元に分析することから、従来の方法と比較して分析に要する時間を短縮できることも大きな利点の一つである。さらに、デジタル情報をデータセットとして蓄積・管理することで幅広く活用することができる。多時期衛星データや各種の地理・社会情報を取り扱う分析モデリング技術の一つとしてCAFモデルは実用性、発展性のある分析モデルとして提唱できる。

本研究では、地理・環境情報と社会・経済情報を用い

た市街地変遷形態分析モデル（CAFモデル）を構築し、その有用性を示した。今後、さらにCAFモデルの適用範囲を拡張していく上で、以下の3点を課題として挙げることができる。

- ①他地域を対象にしたCAFモデルの適用と効果検証
- ②CAFモデルで取り扱う要因の追加・整備
- ③高空間分解能および高スペクトル分解能を有する異種衛星データの導入（地球観測衛星TERRA/ASTERデータ、IKONOSデータ等）

参考文献

- 1) 大林成行, 高橋康夫, 徳田庸: ランドサットMSSデータを用いた土地被覆分類の経年的変化の抽出に関する研究, 第4回日本リモートセンシング学会学術講演会論文集, pp.161~164, 1984年.
- 2) 大林成行, 小島尚人, 武藤恵美子, 熊谷樹一郎: 衛星マルチスペクトルデータを用いた土地被覆状況の時系列分析に関する研究, 土木学会第48回学術講演会概要集, 第4部門, pp.176~177, 1993年9月.
- 3) 小島尚人, 大林成行, 武藤恵美子: 土地被覆時系列分析における衛星マルチスペクトルデータを用いた場合の分析方法, 土木学会論文集, No.516/VI-27, pp.217~226, 1995年6月.
- 4) 大林成行, 小島尚人, 櫻井純子, 武藤恵美子: 土地被覆時系列分析に道路網のフラクタル次元を用いた場合の適用効果について, 日本リモートセンシング学会第18回学術講演会論文集, pp.149~150, 1995年5月.
- 5) 大林成行, 小島尚人, 櫻井純子, 武藤恵美子: 衛星マルチスペクトルデータを用いた土地被覆時系列分析の精度について, 土木学会第50回年次学術講演会, pp.890~891, 1995年9月.
- 6) 小島尚人, 大林成行, 櫻井純子: 衛星リモートセンシングデータを用いた土地被覆時系列分析の精度向上, 土木学会論文集, No.567/VI-35, pp.199~211, 1997年6月.
- 7) 高安秀樹: フラクタル, A5判 186頁, (株)朝倉書店, 1986年.
- 8) 大津展之: 平面上のデータ点列の直線度, 電子通信学会総合全国大会講演集, No.1571, pp.124, 1984.
- 9) 田中豊, 脇本和昌: 多変量統計解析法, A5判 296頁, 現代数学社, 1998年.

(2004年9月17日受付)