

景観指数を用いた都市および近郊地域の緑被地景観
の定量的評価に関する研究

Study on the Quantitative Evaluation of Green Spaces
in the Urban and Suburban Areas using Landscape Metrics

鳥取大学連合農学研究科
生物生産科学専攻

都 日 娜

2015

景観指数を用いた都市および近郊地域の
緑被地景観の定量的評価に関する研究

目次

1.本研究の目的と意義.....	1
参考・引用文献.....	4
2.ランドスケープエコロジーの概念と定量化研究の動向.....	5
2-1 ランドスケープ.....	7
2-2 ランドスケープエコロジーの基礎的概念.....	9
2-2-1 ランドスケープエコロジーの語源.....	9
2-2-2 ランドスケープエコロジーの定義.....	10
2-2-3 ランドスケープエコロジーの研究方向.....	13
2-3 ランドスケープ空間パターンとその定量化評価.....	14
2-3-1 ランドスケープパターンとそれが生じる原因.....	14
2-3-2 何故パターンの定量化が必要か.....	15
2-3-3 ランドスケープパターンの定量化方法.....	16
2-4 景観指数.....	18
2-4-1 景観指数の概念.....	18
2-4-2 景観指数に関する既往研究.....	19
2-4-3 景観指数の分類.....	20
2-4-4 景観指数 - 解析ツール「FRAGSTATS」.....	22
2-5 代表的な景観指数の特徴.....	26
2-5-1 面積・エッジの景観指数 (Area-edge metrics).....	26
2-5-2 形状の複雑さの景観指数 (Shape metrics).....	34
2-5-3 凝集性 (分断度) の景観指数 (Aggregation metrics).....	37

参考・引用文献.....	40
3. 空間パターンの定量化とリモートセンシング・GIS の役割.....	48
3-1 空間パターンの定量化とリモートセンシングツール.....	48
3-1-1 リモートセンシングの概要.....	48
3-1-2 景観パターンの定量化とリモートセンシングの役割.....	50
3-2 空間パターンの定量化と GIS ツール.....	53
3-2-1 GIS の概要.....	53
3-2-2 空間パターンの定量化と GIS の役割.....	55
参考・引用文献.....	56
4. 都市緑被地解析(上海市)の事例.....	57
4-1 研究の背景.....	57
4-1-1 緑地の定義.....	57
4-1-2 本研究の背景と目的.....	58
4-2 研究対象地域と調査方法.....	62
4-2-1 対象地域の概要.....	62
4-2-2 使用したデータと調査方法.....	64
4-3 結果と考察.....	66
4-3-1 緑被地の抽出精度と時系列変動.....	66
4-3-2 空間分解能と景観指数の決定.....	70
4-3-3 緑被地の時系列変動 - ランドスケープレベルの解析.....	71
4-3-4 現況の緑被地タイプの空間的配置 - クラスレベルの解析.....	73
4-4 都市緑被地解析の結論.....	76
参考・引用文献.....	78

5. 都市近郊緑被地解析(バンコク首都圏) の事例.....	81
5-1 研究の背景.....	81
5-2 研究対象地域と調査方法.....	83
5-2-1 対象地域の概要.....	83
5-2-2 使用したデータと調査方法.....	84
5-2-3 解析の方法.....	85
5-3 結果と考察.....	90
5-3-1 1994－2009 年間の土地被覆変化.....	90
5-3-2 近郊地域における農業・緑被ランドスケープのパッチ形状分析..	95
5-3-3 都市化と土地利用計画の不整合性.....	99
5-4 都市近郊緑被地解析の結論.....	102
参考・引用文献.....	103
謝辞.....	106
要旨.....	107
Summary.....	110

1. 本研究の目的と意義

20 世紀後半以降、世界の都市地域は拡大を続け、世界のさまざまな国と地域で巨大都市が形成された。特に、アジアの新興諸国における都市化の進展はこれまでの先進諸国が経験した都市化のプロセスとは全く異なったものであった。すなわち、都市化は極めて急速な経済発展のもとで急激な人口増加を伴っており、大都市における産業や人口の一極集中は極めて著しいという特徴である。北京、上海、広州、バンコク、ジャカルタ、ボンベイなどは、世界的に見ても例を見ないほどの巨大大都市圏が形成されている。しかしながら、このような急速な都市の巨大化は都市生活においてさまざまな環境の劣化を招き、都市住民はさまざまな問題に悩まされることになった。例えば、都市化の進展に都市のインフラ整備が追いつかず、人口過密やスラム、大気汚染、水質汚濁、ヒートアイランド現象、騒音、交通渋滞などの多くの環境・社会問題を引き起こした。こうしたなかで、本研究では都市的土地利用の拡大に伴う都市内部および近郊地域の緑被地の変化に注目した。緑地が果たす都市環境・生態系への影響は、単に緑の持つ快適性という側面にとどまらず、都市特有の微気候や火災延焼、防災対策、さらには生物多様性など多くの生態系サービスに関与している。

都市および近郊地域における緑地の維持、管理の課題は、今後の都市計画、都市環境管理計画において重要な関心事である。国や地方自治体の緑地計画においても単に緑地面積の拡張だけでなく、地域的な文化や歴史を含めて成り立つ生態環境を考慮した緑のネットワークの創造や保全、緑地間のネットワーク強化が計画、推進されている（胡 2005）。ここにおいて、都市緑地の現況と変化のプロセスを把握し、空間的配置パターンを定量的に分析することは重要な課題であると考えられる。緑被地の定量的評価手法は、ランドスケープ研究の重要な研究課題としてこれまでも国内外で多くの研究が行われており、景観の形状や空間的配置パターンを解析する景観指数（LandscapeMetrics）が提案されている（Turner 1988, Frohn 1995, MaGarigaletal *et al* 2012）。

本研究では、近年のアジア地域において最も急速にして且つ巨大な都市へと成長し

た中華人民共和国(中国)の上海市とタイ王国のバンコク市を事例研究対象地域として、景観指数を用いた緑被地景観の定量的解析を行った。この2つの都市は、都市の成長プロセス(歴史)や都市計画・政策の内容、そして実際の都市景観、構造などさまざまな点において異なった特徴を有している。

租界の形成から都市としての発展が始まった上海市は、1950年代から1960年代にかけては工業都市として発展した。その後、中国の改革開放政策によって「経済特区」として開放され、1992年以降は新興の開発特区である浦東新区が牽引役となって東アジアの金融・貿易センターとして急速な発展を続けている。このように上海市は、改革開放を象徴する国際都市を目指して再開発が急速に進み、極めて計画に配置されたインフラ、交通網、緑地帯などが特徴的である。一方のバンコク市は、かつてはチャオプラヤ河デルタの農産物集積地として開けた中心都市であるが、1980年頃からタイ国の急速な経済成長によって首都圏の都市化、工業化は地方農村からの人口流入と外国企業の進出が著しく進んだ。1990年代後半のタイ経済の低迷期においても、バンコク首都圏の都市化、工業化は高度経済成長期に比べてその程度は弱くなっているが、大都市への人口や資本の集中は継続している。その結果、バンコク首都圏における都市的土地利用は周辺地域に無計画、無秩序に拡大し、農業的土地利用の競争が留まることなく進行した。特に、アーバンフリンジでは無秩序に開発が進む工業団地や住宅地が伝統的な農村ランドスケープを破壊して侵入し、農業環境を悪化させるばかりでなく農民の生産意欲を低下させ農業的土地利用の持続性を阻害する要因の一つにもなっている。こうした都市拡大のなかで、都市および近郊地域の緑地の空間的分布は、量的、質的の両側面で大きな変化を遂げており、その景観構造・パターンの特徴を定量的に明らかにすることは重要な課題であると考えた。

景観構造を定量化するための指標は、1990年代にアメリカ合衆国の研究者を中心に景観パターンおよびその変化を分析する景観指数(Landscape Metrics)が提案されており、今日では地理情報システム(GIS)が景観分析のツールとして利用することができるようになった。本研究では、アジア地域の巨大都市とその近郊地域におけ

る緑被地を定量的に解析するために景観指数の手法を適用し、緑被地景観の時空間的なパターンや変化の特徴を解明することを目的としている。このためには、最新かつ高精度の土地被覆データが必要であり、都市の拡大過程を正確に図化するために時系列的な高分解能衛星画像の解析を行った。高分解能衛星によって得られる詳細な緑地データは、その後の景観指数を用いた緑地景観の形状分析に極めて有用な情報を提供することができる。本研究では、このような緑地解析の手法的側面についても言及し、その精度評価や新たな手法の提言についても論じている。

1 章の参考・引用文献

Forman, R.T. T. 1995 : Land Mosaics. Washington, Cambridge Press 656pp.

胡運華 2005 : 上海市中心城区生態綠化的研究. 城市管理世紀論文會議文集,
38-40p.

McGarigal,K.,Cushman,S.A.and Ene,E. 2012 : FRAGSTATS , Spatial Pattern
Analysis Program for Categorical Maps. University of Massachusetts,
Amherst, USA.

<http://www.umass.edu/landeco/pubs/mcgarigal.marks.1995.pdf>

Turner, M.G., Ruscher. C. L 1988 : Changes in landscape patterns in Georgia,
USA. Landscape Ecology, 1, 241-251p.

2. ランドスケープエコロジーの概念と定量化研究の動向

景観生態学 (Landscape Ecology : ランドスケープエコロジー) とはその名前の通り、景観 (Landscape : ランドスケープ) を研究対象とする空間科学である。かつて、C.Trollはその著書のなかで「ランドスケープエコロジーは、1960年代以降植物地理学、植物社会学、水分学、土壌学の研究者、とりわけ地域計画と自然保護に関する報告の中で熱心に議論されるようになり、隣接科学の地理学、生態学、造園学、林学などととともに主に計画に関わる応用的分野で浸透していったと述べた (横山 1995, 横山2002)。

Lesarは、1966年にはじめての教科書的な書物として「景観生態学」を著し、「地理教育者育成のために、大学の講義においては地生態学を必修すべきである」と述べた (Lesar 1976)。1981年には、欧米を中心とした地理学者や生態学者によって国際景観生態学会 (IALE : International Association for Landscape Ecology) が設立され、国際会議も開催されるようになった。これにより、学際的なランドスケープエコロジー研究は国際的に広く認められるようになった。1999年には、「応用景観生態学」がLesar生誕60年の記念誌として出版され、「国連環境計画」委員であるTopferの特別寄稿には「景観生態学が自然と人間との空間における環境研究の中心となりうることを期待する」という趣旨の一文を寄せている (横山 2002)。これ以降、ランドスケープエコロジーの応用的な研究意義が高まり (中越 2004)、社会への実践的な貢献を果たす重要性についての認識が深まっていった。

本章では、ランドスケープとランドスケープエコロジーの理論的な側面について、まず言及したい。ランドスケープエコロジーで頻繁に使われる用語については、表2-1に整理した。その後、ランドスケープの空間パターンとその定量化評価の考え方について、これまでの研究動向を総括しその方法論を明確にしていきたい。

表 2-1 ランドスケープエコロジーでよく使われる用語の定義（中越 2004 を改変）

単語	定義
配置 (Configuration)	空間要素が分布する様子。しばしば空間構造(spatial structure)やパッチ構造(patch structure)と同義に使われる。
連結性 (connectivity)	景観に範囲内における生息域または土地被覆型(cover type)の空間的連続性。生物が実際に移動できる状態であることを示す。
回廊 (corridor)	隣接する両側とは異なる特定のタイプの、比較的狭く長細い土地。
土地被覆型 (cover type)	景観において、異なった生息域、生態系、または植生を区別するための、使用者が定義する分類体系のカテゴリ。
周縁 (edge)	周辺部にある生態系、または土地被覆型の一部で、生態系の内部の環境と異なるところ。また、景観上異なる土地被覆型の隣接する長さの基準
分断化 (fragmentation)	生息域または土地被覆型がより小さな、非連続的な塊に分断されること。
不均質性 (heterogeneity)	異なる要素の集まりの質または状態。「要素が同じ」という意味の「均質性 (homogeneity)」反対語。
景観 (landscape)	少なくとも一つの要素において空間的な不均質な区域。
マトリックス (matrix)	広面積と高い連続性で特徴付けられる、景観の背景にある土地被覆型。すべての景観においてマトリックスが定義できるとは限らない。
パッチ (patch)	その性質または見かけにおいて周辺と違う表面。
スケール (scale)	最小単位 (grain) と範囲 (extent) で特徴付けられる物体またはプロセスの空間的なまたは時間的な次元。
エコトープ (ecotop)	地形、土壌・地質、水環境、これらの上に成立する植生、さらに植生や水環境に依存して生活する動物群集などを要素として構成される、周囲とは明瞭に異なる生態系(類型化された単位空間としての生態系)のことである。
多様性 (diversitat)	土地複合体の物質・機能の多様性を表現する特徴。
モザイク (mosaic)	景観生態学の重要な手法ですが、景観生態学の特徴を表すための、象徴的な言葉である。

2-1 ランドスケープ

本研究に言う「ランドスケープ (Landscape)」という言葉は英語の landscape やドイツ語の Landschaft に通じる概念である。一般には「景観」と訳され、日常生活において文字通り自然風景、景色の意味で用いられており (中村ほか 1991)、地表面の視覚的形態を表し人間からの自然風景を説明する言葉の一つである。例えば、人間の視点から見ると、私たちが日ごろから目に入ってくる山や河川などの自然的な景色、建物、道路、並木道の緑などの半自然及び人工的な景色などがある。私たちがこれらの「景色」、「風景」を眺めて、その存在する地域の景観特徴やイメージと結びつくことにより、農村景観、都市景観、自然景観、河川流域景観、山岳景観、森林景観、開発景観などに分けることができる (中越 2004)。

英語の landscape やドイツ語 Landschaft の概念についてはこれまで数多く紹介されあり (井手 1971, 杉浦 1974, 横張, 武内 1990, 岡橋 1993, Naveh and Lieberman 1994, 沼田 1996), また, 各時代において文化圏の違いによって相異がみられる (亀山 1985)。学術上は, 地理学や, 政策科学, 民俗学, 造園学, 建築学・都市計画, ランドスケープデザイン学, 都市工学, 土木工学, 社会工学等で扱われることが多い。

ランドスケープの概念について, 最も長い研究の歴史を経ているのはドイツであり (伊達 1992), ドイツ語の「ランドシャフト (Landchaft)」とは単に地表面の相観だけでなく, それを支える様々な事物の構造や組成, 動態といったもののすべてから成る体系全体を指している (Schmithusen 1968)。大辞林では「ドイツ Landschaft は人間の視覚によってとらえられる地表面の認識像。山川・植物などの自然景観と、耕地・交通路・市街地などの文化景観に分けられる」と説明されている。

Forman は, ランドスケープとは「相互に影響を及ぼしあっている生態系の集合により構成される, 不均一な土地の広がりであり, 同じ種類の生態系が同様の様相を持って繰り返し何度も現れ得るもの」と定義している (Forman 1986)。

日本語の「景観」という用語は, 19 世紀末にドイツで学んだ植物学者の三好学が

ドイツ語の「ランドシャフト (Landchaft)」の学術用語として訳出されたものであり、後に地理学において使用されるようになった (千田 1998)。

日本語の景観に対応する外国語は Landscape (英), Landschaft (独), Paysage (仏) であるが、それぞれに意味するところには若干の差異が見られる (伊達 1992)。野間, 岡田 (1981) によれば, 「景観生態学における景観の概念は単なる地球表面の形状ではもはやなく, 地球における諸現象と諸作用の因果関係で結びつけられた複合体である」と述べられている。また, 武内 (1991) は, 「ランドスケープは人間による環境認識の総合的な表現であり, 外観はその一部に過ぎない」とし, 「地域を全体的地域としてとらえられれば, ランドスケープエコロジーは地域生態学と同義語とみなせる」として, ランドスケープを「地域」と定義している。さらに, ランドスケープは「不均一であっても何らかのパターンをもち, その結果としてひとつの認識可能なまとまりを示す」としている。Landschaft の日本での定義例として, 岡田は「敗戦前の日本における「景観」概念と「景観」学論」のなかで, ①地域 (単位) の総合的内容 ②類型としての地域 ③地域の「可視的・形状側面」の 3 つに分類している。沼田 (1996) は, Landscape を単に視覚だけでなく, 聴覚, 味覚, 触覚, 嗅覚の五感に関わることから「景相 (omniscap)」という言葉で定義している。渡部ほか (2009) は, ランドスケープ概念を二つに大別した。一つは, ドイツのランドシャフト概念に基づくものであるが, Landschaft には ①地域 (同質の像を見せる地域) ②風景 (人間に見える地域の像) の意味がある。地理景観は①となる。地理学, 景観生態学の分野は①である。もう一つは, 地理学以外の分野の景観関連の語として, ②の概念が中心である。これは英語 Landscape の scape, 景観の観, 風景のように人の視線, 見えることに重点がおかれている概念であるとしている。

表 2-2 専門分野別の「ランドスケープ」の解釈

	一般（文学系）	地理学系	造園学	工 学	
辞書	広辞苑 ³⁾ (1955、2008)	地理学辞典 ⁴⁾ (1973、1981)	造園用語辞典 ⁵⁾ (1985、2002)	建築大辞典 ⁶⁾ (1974、1993)	土木用語大辞典 ⁷⁾ (1999)
景観	①風景外観。けしき。ながめ・また、その美しさ ②自然と人間界の事が入り交じっている現実の様	(E) Landscape (F) Paysage、 (G) Landschaft 地理学で用いる景観 (= 地理景観) とは、[任意の広さの地表面断片であり、その地表面断片は、外貌と内在する諸現象により、また内外の位置関係によって一定の性質を持つ区画単元で、別の性格を持つ周囲の地表面とは区別してとりだせる。	Landscape、 Landschaft (独) 人間をとりまく総合的な眺め。[景]には「ひかり」、「ありさま・ようす」、[観]には「見方・とらえ方」という意味が含まれている。すなわち景観 (風景) という現象は、単に視覚的対象の眺めのみでなく、それをなどの眺める主体 (人間) に形成されるイメージや印象などの心的効果との関係によって成立する。「景域」には地域的な広がりや生態秩序概念が含まれる。	Landscape、 townscape ①風景、景色。②ある土地において自然と人間の交渉によって形成される可視的環境のことをいう。これは自然的条件や人間生活の歴史的試練を受けつつ互いに影響しあいながら変容する。 景域： (独) Landschaft 同質の景観を呈する一定の範囲の地域を意味する用語。景観、風景概念が環境の視覚的、意味的側面を強調するのに対し、この概念は景観の地域的広がり、環境の生態的秩序性、と土地利用上の合理性を強く意識している点に差異がある。	Landscape 地上の眺め。環境の眺め。景色は眺めと同じく目に映る客観的な姿形。地理学や生態学の分野では地域概念 = 景域、眺めの概念 = 景観と訳語を分けて、「景域」という言葉が使われるようになった。景観は人間と環境の関係を視覚的にとらえた人間 - 環境系の一側面 (視環境) であり、主体としての人間が環境の客観的な眺めに対して主観的に反応する心理現象として (知覚、認知、記憶) に分けられる。
	植物学系				
辞書	生物学辞典 ⁸⁾ (1996)				
景観生態学	景観生態学 (英 Landscape ecology) 自然生態系に大きな影響を及ぼしている人間の存在をも系に取り込んだより高次の系を景観としてとらえ、その構造・機能・動態を研究しようとする生態学の一分野 (「景観」のみの語彙は記載されていない)				

ランドスケープ概念については上述のように多くの議論があり、渡辺 (2009) は異なる研究分野における「ランドスケープ」の概念を辞書により、その解釈を表 2-2 のように整理している。

2-2 ランドスケープエコロジーの基礎的概念

2-2-1 ランドスケープエコロジーの語源

Landscape Ecology (ランドスケープエコロジー) という用語は、ヨーロッパの伝統的な地域地理学と植生学、さらに空中写真という上空からの観測技術に影響され、1938年ドイツの生物学と地理学者 Troll により創出された (横山 1995, 横山 2002,

中越 2004)。1939 年、Troll は「Air Photos and Ecological Soil Since」においてはじめて景観生態学という言葉が空中写真判読の問題と関連して使用した（中越 2004）。「空中写真研究は非常に精度の高い景観生態学 *land-schaftsokologie* である」（Troll 1939）と結論づけ、ここにはじめて景観生態学を科学的用語として使用した（横山 1995, 横山 2002, 中越 2004）。その用語は、ドイツ地理学の伝統的な研究対象である“景観 *Landchaft*”と、Haeckel によって 1866 年にはじめて使用された“生態学 *Okologie*”という語を Troll が合成したものである（横山 1995, 横山 2002）。

日本では、ランドスケープエコロジーを造園学の分野では「景域生態学」、あるいは「地域生態学」とも訳されている（横山 1995, 横山 2002）。さらに、景相生態学という視覚的なものでなく、聴覚、味覚、触覚、嗅覚の五感を基礎にした生態学にまで発展させるべきとの主張もみられる（沼田 1992）。

2-2-2 ランドスケープエコロジーの定義

ランドスケープエコロジーは創出されてからの半世紀の間、自然地理学の一つの分野として、自然地理学と人文地理学の両者にわたる複合領域分野として、あるいは応用地理として位置づけられるようになった（横山 1995）。その後、ランドスケープエコロジーの概念や解析・考察方法が植物生態学、造園学、緑地生態学などの隣接研究分野にも取り入れられ、また土地利用計画、街づくり、自然再生、自然保護・保全などの実践の分野にも応用されるようになった。現在では、生物生態学の概念と方法を導入して、景観を分類し、その作用と機構を解明し、分布特性や動的变化を明らかにしようとする学問分野である。

過去数十年間にわたり、ランドスケープエコロジーは研究対象と研究領域により次のように定義されてきた。Risser *et al* (1984) によれば、ランドスケープエコロジーは空間的な不均質性の発達と動態、不均質な景観の時空間的な相互作用、空間的な不均質性が生物的、非生物的プロセスに与える影響、空間的な不均質性の管理などを

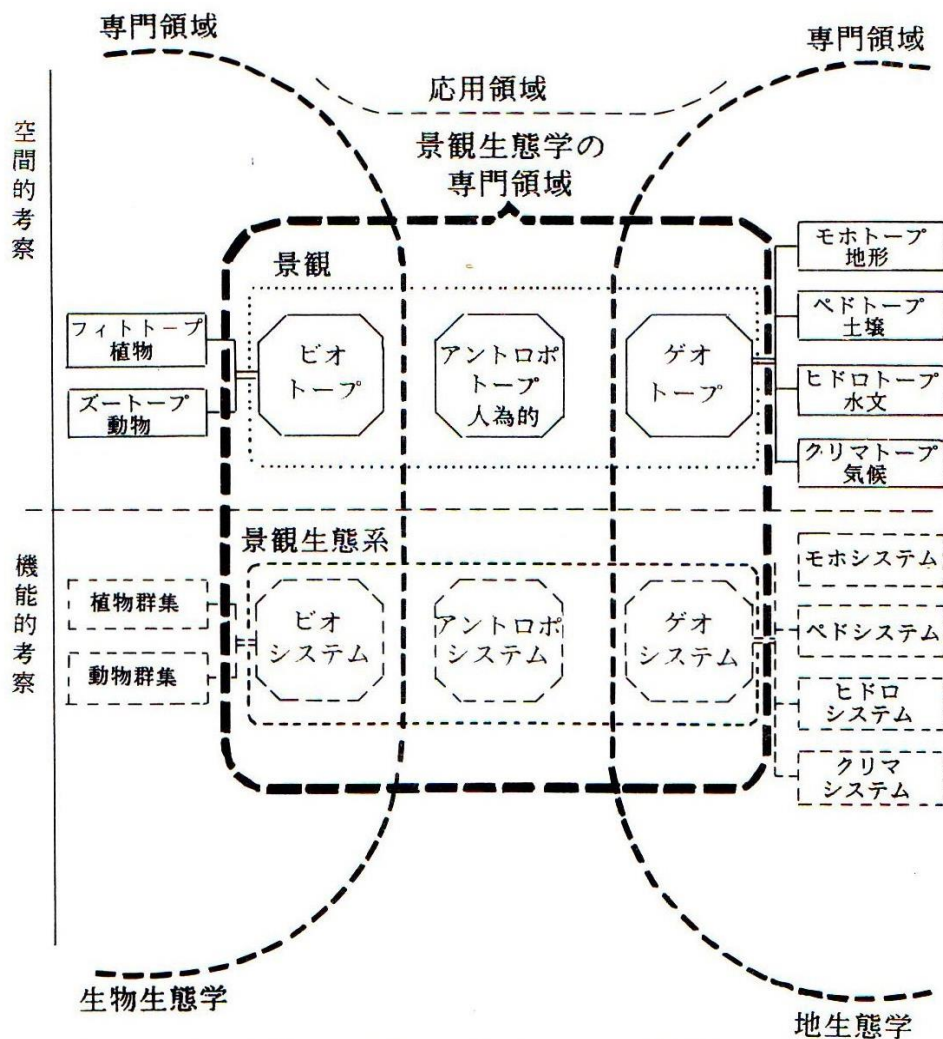


図 2-1 生物生態学，地生態学，景観生態学の研究領域

(Leser 1984, 横山 1995, 横山 2002)

対象とする研究分野である。さらに，Leser（1984）は地生態学と生物生態学の専門領域とそれに介入する人為的な領域を含めた景観と景観生態系を図 2-1 のように研究対象を定義した。

亀山（1985）によれば，ランドスケープエコロジーは：

- 1) 地域をとらえる総合科学；
- 2) 生物生態学の発展方向に位置づけられる；
- 3) 景観保全や地域計画などの応用分野の基礎学としての意義を持つて。

Forman and Godron 1986 は、ランドスケープエコロジーは様々な生態系の不均質な組み合わせである景観の「構造 (Structure)」、「機能 (Function)」、「変化 (Change)」といった景観の 3 つの特徴に注目している研究分野としている。ここでいう「構造 (Structure)」とは、区分された生態系あるいはそこに存在する要素 (エネルギー, 物質, 種の大きさ, 種の形態, 種数) の空間関係 (分布のパターン) やその背後にある構造的な要因を指している。「機能 (Function)」とは、場所の間での空間要素の相互関係 (構成している生態系内のエネルギー, 物質, 種の移動やそれらを介した地点間の結びつき) を指している。「変化 (Change)」とは、生態的モザイクの構造・機能の時間的な変化を意味する (McGarigal and Marks 1995)。「構造」は、ランドスケープの状態 (量)、「機能」は構造の変化に関わる関数関係、変化は機能の結果生じるランドスケープの状態の変化 (+機能自体の時間的な変化)、と考えることができる (加藤 2008)。

Turner (1989) によれば、ランドスケープエコロジーは、広域な空間スケールと生態系の空間パターン形成の生態学的な影響を重視する学問とされる。空間における不均一性や空間のパターン, あるいはそれらと生物現象の関係が, 研究の主要な対象となる (Turner 1991)。

Pickett and Cadenasso (1995) によれば、ランドスケープエコロジーは空間パターンが生態的プロセスに及ぼす影響の相互関係を研究する学問であるとしている。1998 年の国際景観生態学会 (IALE : International Association for Landscape Ecology) では、景観生態学とは異なるスケールにおける景観の空間的变化を研究するものであり、自然学科と人文学科を結びつけた学科であるとした。この定義によれば、景観生態学の主要課題は景観空間パターン, 景観パターンと生態プロセスの関係, 人間活動のパターン, プロセスと変化の及ぼす影響, スケールと攪乱の景観への作用である。

ランドスケープエコロジーの基本的な考え方は、自然環境の解析のみならず、人口環境のあるべき姿を、または、具体的な空間において大地・水・緑 (生きもの・生態

系) と人間との関わりを生態学の立場から論じ、科学的に読み解きにも有効である。

2-2-3 ランドスケープ生態学の研究方向

ランドスケープには、図 2-2 に示すように独立したユニットとしてのエコトープ (Ecotope) の中に構成要素間の相互作用としての「垂直的關係」があり、複数のユニットから構成される圏域内には、ユニット相互間の不均質な「水平的關係」としてのシステムがあると解釈されている (Troll 1968)。Troll は、ランドスケープ生態学の研究方向として二つに分けている (Troll 1970a, 横山 1995, 横山 2002)。一つは、地表面に現れた景観象の地域的相違を明らかにする水平的な観察法である。これは、地域的に特徴づけられた景観の内部構造および地因子の相互作用の分析から、形態的、機能的に同質な景観単位に区分し、それに基づいた地理的な階層を明らかにすることである。もう一つは、景観の垂直構造の機能的關係を明らかにする垂直的観察法である。これは、ある一つのエコトープにおける現象の共同作用を生態学的システムとして調査し、景観の形状・機能を地因子の分析、景観生態システムの分析によ

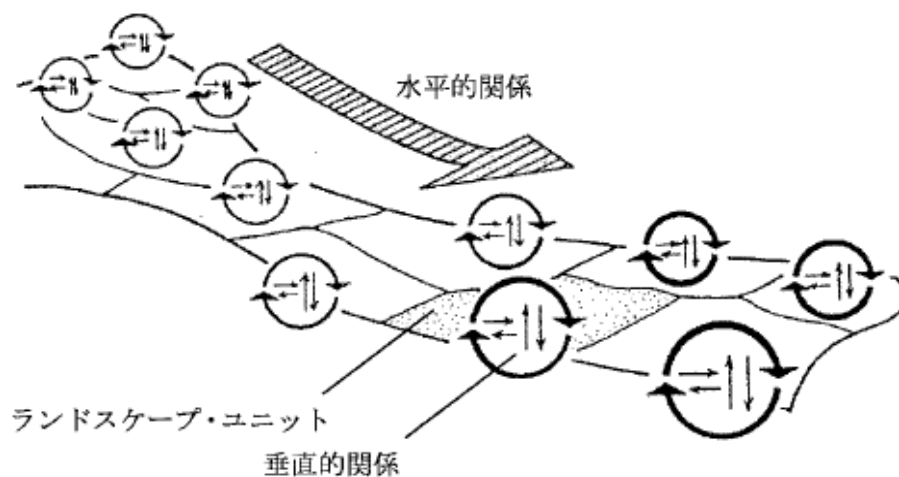


図 2-2 ランドスケープ・ユニットにおける垂直的な關係と水平的な關係

(Harber 1980 に武内ら 1990 が加筆)

り明らかにすることである。対象とする景観がどのような地因子の相互作用によって特徴づけられているのか、それを決定している支配的な因子は何かを機能的に解明することである。

2-3 ランドスケープ空間パターンとその定量化評価

2-3-1 ランドスケープ空間パターンとそれが生じる原因

パターンには時間、空間、構成の3つの側面がある (Levin S.A 1992)。ランドスケープは、パッチ (patch)、コリドー (corridor)、マトリックス (matrix) の3つの要素から構成されており、パッチ - コリドー - マトリックスモデル (patch - corridor - matrix Model) と呼称される (Forman 1981, 李 2009)。ランドスケープエコロジーにおけるパターンとは、一般的に空間パターンのことを意味し、異なる大きさや形状を持つランドスケープ要素の空間的配置と構成の形式を意味する。つまり、ランドスケープの不均質性の表現であり、あるランドスケープに存在する景観要素の構成内容やそれらがどのような空間的位置をしているかである。ランドスケープの中に見られる空間的なパターンは、物理的、生物的、社会的な力の中の複雑な相互作用によるものであり、多くのランドスケープは人間の土地利用の影響を受けており、結果としてランドスケープのモザイク性は大きさ、形状、配置が様々である自然的なパッチと人為的に維持・管理されたパッチの複合であると解される (Turner 1989)。

Levin (1976a) は、空間パターンの成因として以下のような一般的な3つのカテゴリーを示した。

- 1) 「局所的特異性」・・・例えば、非生物の変量や社会が取り入れた独特な土地利用のような、ある地点に特有の性質である。
- 2) 「段階の相違」・・・攪乱の結果生じる空間パターンである。
- 3) 「分散」・・・ランドスケープを単一の優占個体群が均質に覆わないようにする作用である。

景観パターンは重要な生態学的事象であり、非生物の制限要因、生物的相互作用および攪乱の複雑な関係によって形成されている（中越 2004）。景観パターンは景観不均質性の具体的な表現であり、または異なるスケールにおける様々な自然、生物および社会的要素の間の相互作用の結果である（肖 1997）。あるランドスケープで見られる空間パターンを生み出す原因は、気候、土壌、地形、温度、湿度、エネルギーなどの空間的、時間的に多様な非生物的要因、競争や捕食などの生物間の相互作用、今までの人間の土地利用とその経年変化、自然攪乱やそこからの回復、遷移など様々である。

2-3-2 何故パターンの定量化が必要か

景観パターンに関する研究は、ランドスケープエコロジー領域の重要な研究課題のひとつである（肖 2003b）。生態学的なプロセスと空間パターンには密接な関係があり、広域スケールの空間パターンから予測できると判定されているため、景観パターン測定への関心が高まっている（Baskent and Jordan 1995, Gustafson 1998）。パターンとは、目で見てもわかるような簡単な景観要素が相加構成されたものから、一見してもわからない空間的異質性、相互作用する景観要素の複雑な構造を持つ景観総合体まで様々である。景観パターンの解析は、一般的に前者よりも後者を重視し、景観の空間構造と空間配置の二つの方向に集中する。

景観パターンの知識がいろんな場合において重要である（中越 2004）。例えば、

1) 時間とともに変化するランドスケープの過去と現在においてどんな違いがあるかを知りたい場合；

2) 複数のランドスケープや地域の立地条件を比較し、その違い（またはどのくらい似ているかを）を把握する場合；

3) 今後の土地管理や開発を行う際に、その実施した方法によって生じる将来のランドスケープパターンを予測する場合；

4) 生物の移動パターン、自然攪乱の伝播などのプロセスにとっては、様々な景観

パターンが重要になる場合、ランドスケープパターンを測定する方法が必要になるのである（中越 2004）。

景観パターンは、景観動態変化のプロセスを即時的かつ明確に反映できる。生態学的プロセスに対するパターンの影響を理解し、ランドスケープの時空間的な動態変化及びその変化因子を明らかにし、さらに、複数の景観を比較するには、景観パターンの定量化は不可欠である。主に、ランドスケープ要素の形状や配置、モザイク性を定量化することである。ランドスケープ構造を定量的に評価することは、生態学的な機能ごとに異なるランドスケープを比較するため、また重要な変化を識別するため、そして、ランドスケープパターンを解釈するために必要とされる（Turner 1989）。空間パターンの定量化は景観パターンの最適化、景観の管理・合理的利用と保護などに有用な情報を提供するものである。

2-3-3 ランドスケープパターンの定量化の方法

ランドスケープの空間パターンの分析によく使われる定量分析手法としてランドスケープパターン分析モデル法とランドスケープパターン指数法の2つがある。景観パターンの測定と評価については、景観生態学の研究領域の核心内容と基本的な研究課題の一つとして多くの研究がなされてきた。例えば、数理モデルを用いてランドスケープパターンを把握するモデル法としては、メッシュを用いた Join 分析（JOIN-COUNT Statistic）（Krishnalyer 1950）や連担メッシュ数（恒川ら 1991）などの土地利用の混在状況を解析する手法がある。小出 1977、玉川 1982、萩島ほか 1988 吉川 1997・1999、唐崎と安中 2001 は隣接指標 join の概念を用いて市街地や近郊地域における土地利用混在度の分析を行った。Join 数とは図 2-3（上）に示すように、対象領域のメッシュの辺のうち、土地利用カテゴリーの組合せごとに接する辺の数を測定した値のことである。

このほかにも土地利用のパターン分析の既往の手法には clump 分析などがある（玉川 1982）。Clump 数は同種用途の集塊性を示す（玉川 1982）。図 2-3（下）に示

すように、同種用途のセルが辺を共有する場合それらをまとめて1つの塊をつくり、これを Clump 数とする（原山ほか 2002）。

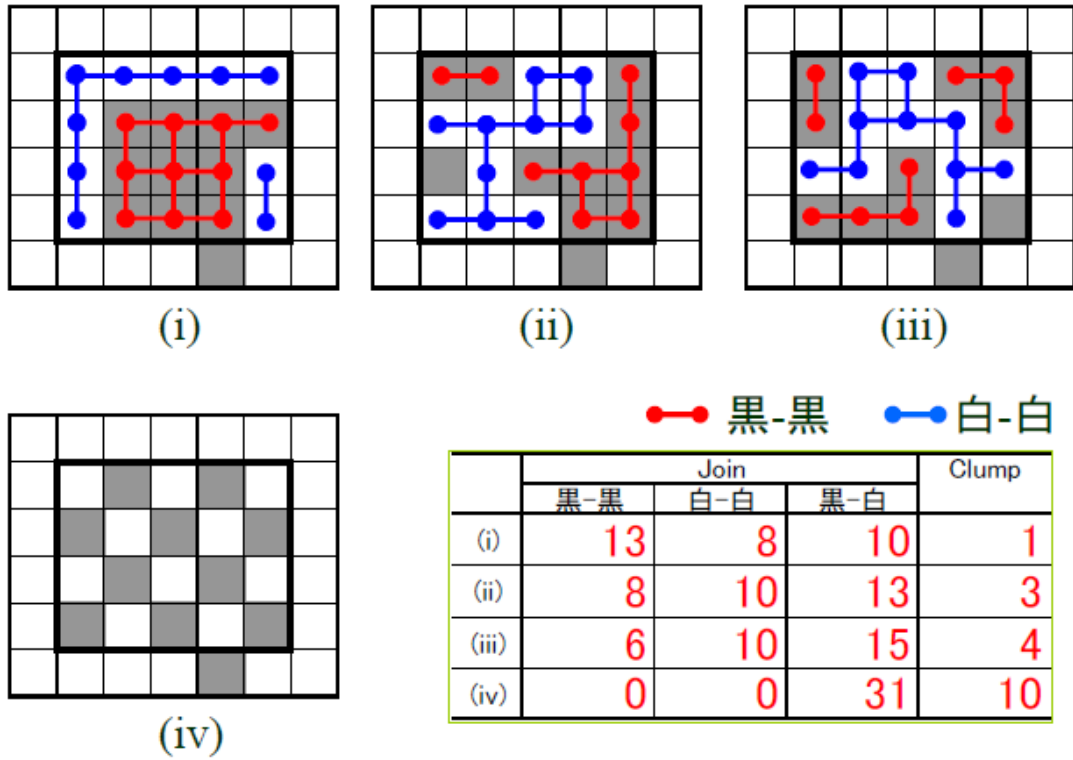
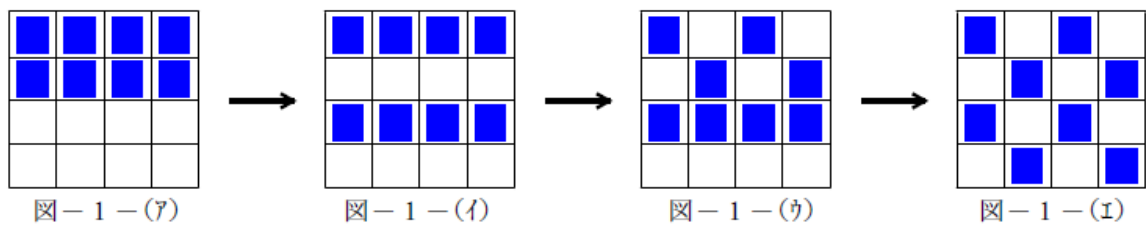


図 2-3 (上) join 数の概念



	(ア)	(イ)	(ウ)	(エ)
都市化率	0.5	0.5	0.5	0.5
CLUMP 数	1	2	3	8

図 2-3 (下) clump 数の概念

ランドスケープパターン指標法としては、パッチの形状や配置を評価する方法があり、形状指数 (Bosch 1978, Game 1980, Forman and Godron 1986)、孤立化の程度 (Bowen and Burgess 1981)、近接性 (Bowen and Burgess 1981)、パッチ間の相互作用 (Bowen and Burgess 1981)、分散性 (Clark and Evans 1954) などの定量的な指標が提案されている。このように、景観生態学における定量的な研究は、空間パターンの定量化、ランドスケープ間の比較、有意な差の明確化、ランドスケープパターンと機能的プロセスとの関連性の規定を目的として新しい手法を追求している (Turner and Gardner 1991)。

2-4. 景観指数

2-4.1 景観指数の概念

景観パターンは自然あるいは人為的に形成したものであり、大きさ、形状と空間配置が異なる様々な景観要素の相互作用、または複雑な物理、生物と社会因子の相互作用の結果である (Turner 1990, Kienast 1993, Huslshoff 1995, 鳥 2000)。生態的プロセスは空間パターンと重要な相互関係があり、広域スケールの空間パターンから予測できると仮定されているため、景観パターン測定への関心はますます高まってきた。景観指数とは、景観パターンの情報を濃縮した数値指標であるため、景観パターンの分布、変化などの様々な特徴を定量的に把握し、景観内部の構造を適切に表示できる (鳥 2000)。つまり、景観の構成要素と空間配置などを定量的に反映する数値ある。

ランドスケープエコロジーにおける空間分析の方法は多種あるが、大きくはパターン指数法と空間統計法 (鳥 2007) に分けられる。前者は 1980 年代以降、景観パターンが生態プロセスに及ぼす影響を測定するために、簡単な数値でこの複雑な景観パターンを測定することが必要となり (Milne 1991, Tischendorf 2001)、景観指数 (Landscape indices or metrics) が提案されるようになった。数値化されたこれらの評価指標は、景観を定量的に比較することができる。

景観パターンに関する研究は、ランドスケープエコロジーにおける基礎的な課題である。景観パターンを定量的に評価することにより、そのパターンが持つ生態的な重要性を理解することができる。景観指数を用いて景観パターンおよびその変動を説明し景観パターンと景観プロセスを結びつけることは、ランドスケープエコロジーの中でよく使われる定量化研究方法である。景観パターンを定量化することは、景観分析の第一段階であると言える。現在、景観指数の景観の空間パターン分析への応用は広く普及している。特に、時系列的な土地被覆/利用の変動、生物多様性を考慮した都市緑地と森林の整備・管理と緑地の創出、経済発展及び人口増加による都市化の進展、都市化に伴う近郊地域における景観の変動などの様々な目的で研究が行われており、地域の生態系・生物多様性の保全などの様々な環境問題のために重要な情報源となっている。

2-4-2 景観指数に関する既往研究

景観パターンを定量化するための指標は、これまでにアメリカ合衆国の研究者を中心に景観パターンおよびその変化を分析する数値が提案されている。Turner (1987) は、ジョージア州における景観変化の空間的シミュレーションを行うにあたり、パッチの数とサイズ、パッチのフラクタル次元、エッジ長合計が計測し、景観構造を分析した。Turner and Ruscher (1988) は、ジョージア州における異なる地形分類型に属するいくつかの郡を対象とし、1930年代、50年代、80年代の空中写真からAnderson et al. (1976) の分類手法にしたがって土地被覆図を作成した。ここにおいて、多様度、優占度、蔓延度などの指標値が計算され、景観パターンの変化と地形の対応を明らかにし、人間活動の地表景観に対する影響の度合いが議論された。景観の定量化手法および景観構造に関する研究は、Turner and Gardner (1990) によって、「Quantitative Methods in Landscape Ecology」に教科書的に体系化されている。一方、O'Neill et al. 1996によって地域を対象とする場合の景観構造の定量化を総括する報告がなされ、そこで景観パターンを解析する際のスケール、グレインサ

イズ（解像度）の問題が指摘された。これらの研究をはじめとして、多くの景観パターンの指数が提案されてきた。いままでは地理情報システム（GIS）が景観分析のツールとして広く使われ始め、景観指数の計算のための総合パッケージプログラムである FRAGSTATS が開発された。FRAGSTATS については、2-4-4 において詳細に論述する。

2-4-3 景観指数の分類

景観パターンの分析では、パターンとプロセスの相互関係を明確する際過程において景観構成とその変化を描写する景観指数が数多く提案されてきた（陳ほか 2002）。O'Neill et al. 1999 は、景観指数の理論基礎を島嶼生物地理学（Island biogeography）、浸透理論（Percolation Theory）、等級理論（Hierarchy Theory）の3つとし、これらの理論が景観生態学へ浸透する過程に多数の景観指数が提案されてきた（陳ほか 2002）。景観指数の分類は、景観指数の応用の基礎と景観パターン分析の前提ともなる。実際に景観指数の種類は極めて多く、その適用にあたって景観指数の分類基準がまだ統一されていない。

Forman 1995 はパッチを説明する景観指数を大きく2つに分類した。すなわち、パッチの「形状」を示す景観指数（例えば形状指数：Shape index）と、パッチのモザイク性に関わる景観指数（例えば相対的豊富度：Relative richness や優占度：Dominance index、フラクタル次元：Fractal dimension）である。

Hulshoff 1995 は、景観指数をパターン指数（Pattern index）と変化指数（Changing index）に大別した。前者はパッチの種類、数、形状などに関わる指数などであり、後者はパッチ数の変化率を指標するものである。

Turner 1988 は、景観指数をパッチ数、大きさ、パッチフラクタル次元（Fractal dimension）、景観要素間の周縁部の数、多様性（Diversity）、優占度（Dominance）と伝播性（Contagion）に分類した。以上の分類方法は、まず人為的に景観空間パターンとダイナミクスの方角を確認したうえで、既存の景観指数に対し機能解析し

分類を決定したより主観的分類方法である。

一方、もう一つ分類方法は既存の景観指数全体に対して、統計学の相関分析、因子分析などを用いて分類を行うものである。

Riitters et al 1995 は、85 枚の土地利用図を用いて 55 種類の景観指数の計算を行い、因子分析法によって異なる景観指数間の相関関係を分析した結果、景観指数を 5 つのグループに体系化した。すなわち、1) 凡例（土地被覆型など）の数、2) 景観パターンのテクスチャー、3) パッチの分散度、4) パッチが形状特性、5) パッチが複雑か単純かを示す指標、である。

陳ほか 2002 は景観生態学の基本理論と“パッチ（点または斑状のランスケープ・エレメント）、コリドー（線または帯状のもの）、マトリクス（パッチやコリドーを取り巻く空間）”の基本単位に従って、景観指数は景観要素を示す指数（パッチベースの指数）と景観全体の特徴を示す指数を図 2-4 に示すように整理し、景観指数の分類は整体からみると階層的であるとした。

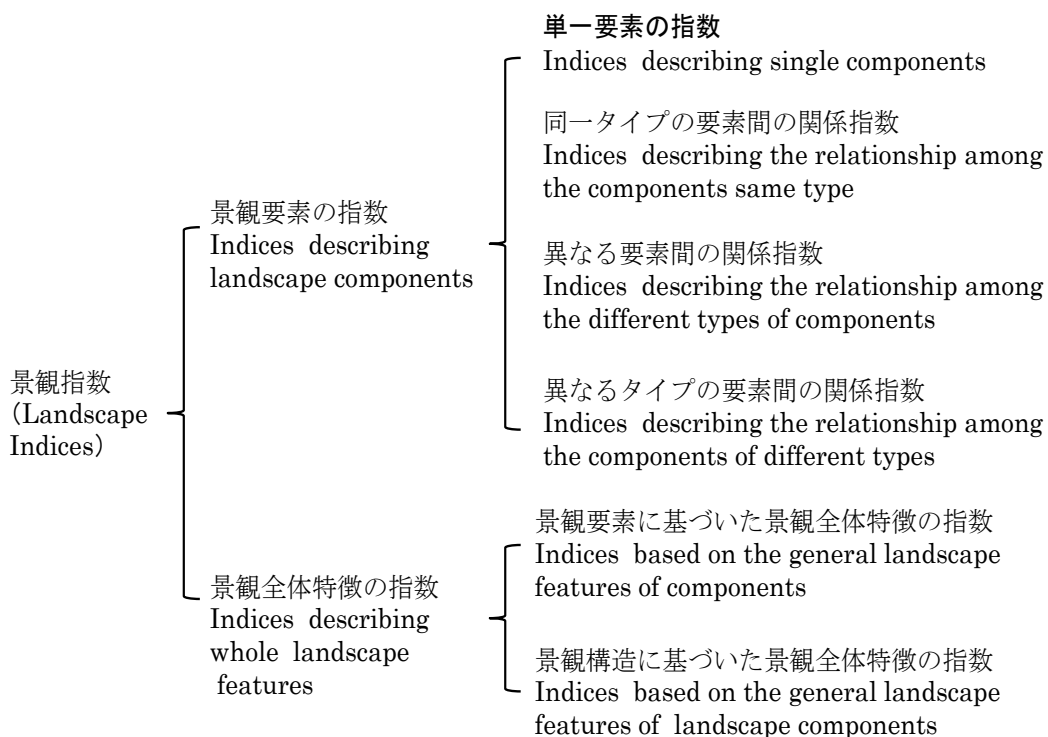


図 2-4 景観指数の分類

単一要素の指数は、パッチ面積、周長、形状指数とコリドーの長さなどを測定する；要素同士の関係を示す指数は単一要素指数の統計値（例えば平均値、最大値、標準偏差および空間関係を表すパッチ密度、平均パッチサイズなど）であり、異なる要素の関係を示す指数は同じ生態的意義を持つ異なる要素の統計値と空間関係指数である；異なる要素の関係を示す指数はパッチとコリドー間の関係（空間距離）を示す指数（近接指数と平均近接距離など）である。景観指数の値が景観要素の大きさ、個数の影響を受けることにより、景観要素に基づいた景観全体特徴指数に分けられる（例えば、優占度：Dominance と伝播性：Contagion など）。

2-4-4 景観指数解析ツール - 「FRAGSTATS」

地理情報システム（GIS）は、空間データを管理し分析する有効な汎用的ツールであるが、景観パターンの解析を行うには限界がある。そこで、景観指数を計算することに特化された空間解析用ツールが開発されるようになった。現在、コンピュータ演算能力の向上により、景観分析パターンを分析するソフトウェアは増えている。例えば、オレゴン州立大学で開発された「FRAGSTATS」（McGarigal and Marks 1995）、Baker and Cai 1992 が開発した GRASS システムを使った r.le プログラム、ウィスコンシン大学 Mladenoff 等が開発した APACK（<http://flel.forest.wisc.edu/projects/apack>）（中越 2004）、RULE（Gardner 1999）と呼ばれるプログラム、SPAN（Turner and Ruscher 1988）ソフトなどがある。

このなかで、最も広く使用されているのが米国オレゴン州立大学で開発された「FRAGSTATS」（McGarigal and Marks 1995）（McGarigal et al 2002）ソフトである。このパッケージプログラムは、マサチューセッツ大学アムハースト校の景観生態研究室（Landscape Ecology Lab, University of Massachusetts）の Web サイト FRAGSTATS : Spatial Pattern Analysis Program for Categorical Maps（http://www.umass.edu/landeco/research/fragstats/downloads/fragstats_downloa

[ds.html](#)) から自由にダウンロードすることができる。インストールするには、その設定方法について、ホームページ内に詳しく紹介しているため、はじめての方も簡単にしようできる。ホームページ内に詳細な操作マニュアルも用意されている。

FRAGSTATS は、土地被覆図や植生図の主題ポリゴンを対象とした景観パターン分析するプログラムである (McGarigal and Marks 1995)。分析対象の景観はユーザにより定義され、任意のランドスケープ内における多様な空間的な現象を表述することが可能である (望月, 村上 2011)。FRAGSTATS は、ラスタータイプとベクタータイプのどちらの GIS データにも対応しており、これまでに頻繁にバージョンの改良が行われてきた。最初のソフトウェアであるバージョン 2 は 1995 年に公開された。その後、2002 年バージョン 3.3 が、近年では ArcGIS10 に対応するようにバージョン 3.4, 4.0, 4.2 にアップグレードされた。さらに、セルレベルのメトリクスおよび表面のパターン・メトリクスの追加をサポートすることを目的とし、完全にインターフェースデザインが変更された (McGarigal and Marks 1995)。本研究では、FRAGSTATS バージョン 3.3 およびバージョン 4.0 を使用して解析を行った。

FRAGSTATS プログラムを使用することにより、景観を定量的に把握することが可能となり、景観パターンと関連する生態的プロセスとの関係を定量的に評価することが期待される (望月, 村上 2011)。景観パターンの特徴は、次の 3 つの対象レベルで分析することができる。一つは景観モザイク内の個々パッチ (individual patch)、二つめは景観モザイク内におけるパッチ・タイプ (patch type もしくは patch class)、三つめはランドスケープモザイク全体 (landscape mosaic) に対して景観指数を計算する。さらに、景観パターンの 3 つの特徴に応じて、FRAGSTATS では、3 つのスケールレベルで景観指数を計測できる。すなわち、パッチレベルの指数 (patch-level index)、クラス (パッチ・タイプ) レベルの指数 (class-level index) とランドスケープレベルの指数 (landscape-level index) である。パッチレベルの指数では、個別パッチの面積、形状、境界 (周長など) 特徴およびパッチ同士と他のパッチ間の距離に関する一連のより簡単な指数とパッチ形状指数や平均パッチサイズなどの統計学

的指標を扱う。パッチレベルの指数は他の景観指数を計算する基礎になるが、ランドスケープ全体の空間パターンの解析には適していない。クラスレベルおよびランドスケープレベルでは、メトリクスの中のいくつかは景観構成の数値を計る一方で、景観配置の量を計ることができる。

FRAGSTATS バージョン 3.3 の計算できる景観指数は 8 種類があり、パッチレベルでは 96 個の指数、クラスレベルでは 111 個指数、ランドスケープレベルでは、97 個指数を扱う (表 2-3)。一方、**FRAGSTATS** バージョン 4.0 の計算できる景観指数は 6 種類あり、パッチレベルでは 70 個の景観指数、クラスレベルでは 109 個の景観指数、ランドスケープレベルでは 115 個の景観指数を扱うことができる (表 2-4)。

Forman and Godron 1986 は、パッチを「見た目が周囲とはことなる、線状ではない地表面と」定義した。いわゆる、「同じ地図凡例の、隣り合うセルのグループ」ということになる (中越 2004)。パッチの定義は衛星データの解像度とデータの分類手法の影響を受ける。パッチを用いた空間定量解析 (平均パッチサイズ、パッチのサイズ別分布、面積一周長関係など) はすべてパッチをどう定義するかに影響されるため (中越 2004)、研究に適用したしパッチ定義を選べることは非常に重要である。

FRAGSTATS を使って景観指数を計算する時、パッチの識別には、2 つの規則 (patch neighbor rule) がある。1 つは 4 方向の隣接セルでパッチを作る 4 隣接法 (4-cell rule) であり、他の 1 つは 8 方向の隣接セルでパッチを作る 8 隣接法 (8-cell rule) である。**FRAGSTATS** を用いて景観指数を計算する前にこの 2 つのいずれかを選択する必要がある。4 隣接法が選択される場合、斜めに接触している同じ土地利用・被覆タイプの 2 つのセルは、別々のパッチとしてみなされる。8 隣接法が選択される場合、斜め方向の隣接しているセルも、同じパッチのメンバーとみなされる。

異なるパッチ識別方法によって、図化パターンが異なる。本研究では、**FRAGSTATS** を使う際に、8 隣接法 (8-cell rule) を適用した。

表 2-3 FRAGSTATS バージョン 3.3 の景観指数の基本分類

Landscape metrics	Patch level	Class level	Landscape level
Area/density/edge metrics	●	●	●
Shape metrics	●	●	●
Core area metrics	●	●	●
Isolation/proximity metrics	●	●	●
Contrast metrics	●	●	●
Contagion/interspersion metrics		●	●
Connectivity metrics		●	●
Diversity metrics			●

表 2-4 FRAGSTATS バージョン 4.0 の景観指数の基本分類

Landscape metrics	Patch level	Class level	Landscape level
Area-edge metrics	●	●	●
Shape metrics	●	●	●
Core area metrics	●	●	●
Contrast metrics	●	●	●
Aggregation metrics	●	●	●
Diversity metrics			●

2-5. 代表的な景観指数の特徴

景観指数はこれまで多数考案され、その中には指数相互で高い相関の見られるものも存在すが、O'Neill et al. 1996 は、米国東部の景観が3つの尺度（優先度、伝播性、フラクタル次元）で区分できることを示した。Riitters et al 1995 もこの3つの指数が比較的独立性が高いことを示した（守村 2008）。

ここで、本節では、緑被地景観の定量的評価に有用な面積とエッジ（周長）の指数（Area-edge metrics）；形状の複雑さの指数（Shape metrics）；凝集性（分断度）の指数（Aggregation metrics）の3つの異なるグループの景観指数について、その特徴を「FRAGSTATS」（McGarigal and Marks 1995）（McGarigal et al 2002）により解説する。

2-5-1 面積とエッジ（周長）の景観指数（Area-edge metrics）

このグループの景観指数は、パッチの面積およびパッチによって作られたエッジの量（長さ）に対応する指数の集合である。例えば、土地利用・被覆図からパッチが確定すれば、一つ一つのパッチの面積と周長、土地利用・被覆タイプの面積と周長を測定できる。

景観モザイクを構成する各パッチの面積は、ランドスケープの空間的解析のなかで最も重要かつ有用な要素である。生態学の分野で、面積は種の豊かさを図るシンプルな尺度である。Arrhenius (1921) の提出した種数面積関係（species-area relation）によると、面積と生物種の数に密接な関係があり、一般的には、面積が広いほど多くの種数が生息可能であり、より大きくより不均質性のパッチはより多くの生物種を支えている（中越 2004）。つまり、より大きなサイズの生息地パッチの中で多様な生活環境が含んでいる。生息している生物はパッチ内で自分に適合した生息環境を簡単に見つけることができる。生息環境が多様であれば、それだけ生息できる種が多いというのである。（Connor and McCoy 1979, Hortal et al 2009）。生息地の大きさと種

数との関係を明らかにすることは生物群集の保全、自然保護区の設定にもますます重要になってくる（杉浦 真治 2012）。

異なるタイプのパッチ境界はエッジと呼ばれ、2つまたは複数の異なるパッチが隣接する境界部では多くの環境要素が混在し、環境条件が複雑である。それがより多くの生物にとって生息・繁殖場所、食物などを提供することができる。一つの生息パッチのパッチ内と境界の環境条件が異なり、エッジ（境界）の長さは生物多様性、生息環境にも影響している。この現象はエッジ効果（Edge effect）と呼ばれ、最初、エコトーンと隣接する生態系間の生物種の種数の差異を指し、1933年、野生動物学者 Leopold により提出された。

Murcia (1995) は、エッジ効果を次の3つに分類した：

- ② 生物効果：異なる構造のマトリクスの自然環境条件の変化；
- ②直接生物効果：周縁部の自然環境変化により直接引き起こされた生物種の種数と分布などの変化；
- ③ 接生物効果：周縁部における生物種間の相互作用の変化、捕食、競争、受粉、種子の拡散などである。

近年、世界的人口の増加や都市化の拡大に伴う道路などのインフラ整備や住宅地などの建物が多く建築されている（図 2-4）。これにより、植物・動物の生育場所は破壊や減少され、または、小さく分断化され続けている。生物の生息地が分断化されると、生息環境のエッジは長くなる。エッジが長くなるほど外部からの影響を受ける部分がおおきくなる。生育場所の破壊や分断は、生物多様性に対する最も大きな脅威の一つであり、分断化の影響を明らかにすることは保全生物学の重要な課題である（Young and Clarke 2000）。

生物生息地の境界付近は、外部の環境条件の影響をより強く受ける区域であるため、内部環境とは異なる現象が見られ、エッジ効果が発生する（富松 2005）。図 2-5 に示すように、都市内の緑地に道路が開設されると、林内と林縁部との距離が縮まれ林内環境だった場所が林縁環境へと変わる。林道周辺では、光や空気の林内への侵入が

増加し林縁部での温度や湿度などの物理環境の変化があり、林縁部と林内での生物相も変化する。さらに、景観地域、パッチの形状・大きさ（図 2-6）、生物群種、研究対象の違いによって、エッジ効果の及ぼす範囲は異なってくる（陳 2004）。同一面積であるときその接合部の周長が長いほど、形状の複雑さが大きいほど影響が大きくなる。円形であれば最も周縁生息地が少なく、非常に細長い形状であれば、その幅によって周縁生息地が大きくなり（中越 2004）、円形であるほうが影響は少ない。

パッチのエッジは、上記のような生態学的影響を有し、その総長さは、直接その景観における空間的不均質性の度合いに関係している。景観生態学的研究においては、

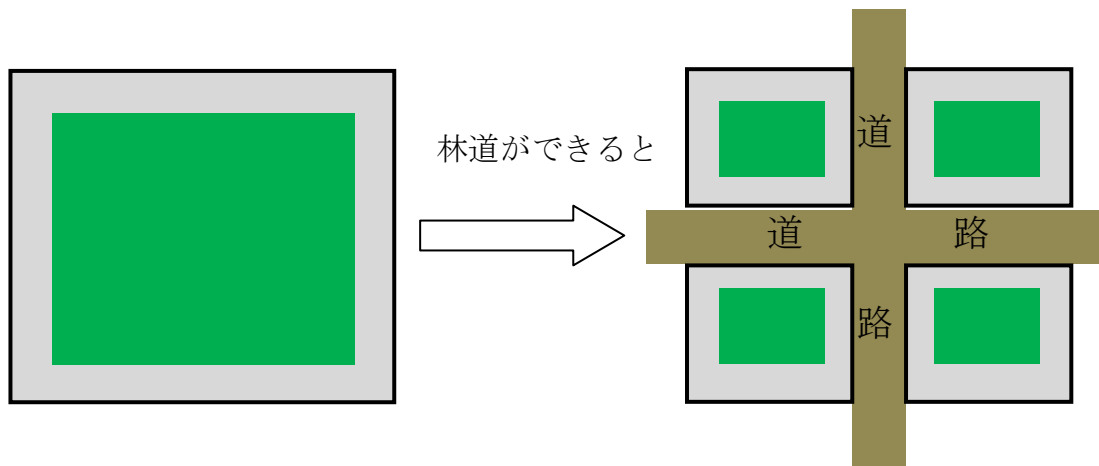


図 2-5 道路整備により発生するエッジ効果

緑は外部に影響-されない林内環境；灰色は外部に影響される林縁環境

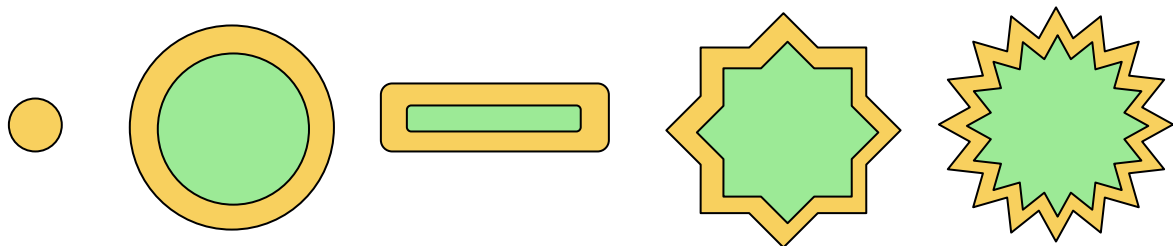


図 2-6 大きさやエッジ効果に関する原則の例

(Dramstad et al 1996, 陳 2004 より変更)

多くの空間的パターンの推定の重要性とエッジ効果が直接または間接的に関連している。景観の中にエッジの量が多く生態学的現象に重要であるため、エッジ効果の定量化が必要である。

以下に、面積とエッジを定量化する代表的な景観指数について紹介する。

Total (Class) Are (TA/CA)

景観パッチの面積は最も基本となる景観指数であり、それが景観の周縁部の長さ、パッチ数などの他の指数を計算する基礎となる。また、一つ一つのパッチ面積をもとに、サイズ別のパッチ数の頻度分布や累積頻度分布、パッチサイズの平均値、標準偏差、面積で重み付けした（面積加重）平均パッチサイズなどが求められる。

Class Are (CA) ;

CA はあるクラスレベルで計算される、あるクラス（土地被覆型）の全パッチの総面積を示す。クラス（土地被覆型） i の総面積（ m^2 ） \times （ $1/10,000$ ）、単位を ha に変換する。

$$\text{計算式： } CA = \sum_{j=1}^n a_{ij} \left(\frac{1}{10,000} \right) \quad \text{【クラスレベル】 C 5-1}$$

単位：ha ; 範囲：AREA > 0 ; $j=1, \dots, n$: パッチ数 ; i = クラス i ; a_{ij} = クラス i のパッチ j の面積（ m^2 ），以下パッチ ij とする。

生態意義：CA はランドスケープの構成要素の指標である。CA の値の大きさは、このタイプのパッチを生息地（Habitation）としている生物種の動態、分布、多様性、数、食物連鎖および繁殖などを制限する。異なるタイプのパッチ面積の差異がそれらの間の物种、エネルギーなどの情報の差異を反映できる。ランドスケープをよりよい管理するため、必要とする最少パッチ面積（きめ）と最適面積（optimum area）などの面積情報の把握が必要である。

Total Are (TA) ;

TA はランドスケープレベルで計算されるランドスケープの総面積を示す。総面積 A (m^2) \times (1/10,000), 単位を ha に変換した値である。

$$\text{計算式 : } TA = A \left(\frac{1}{10,000} \right) \quad \text{【ランドスケープレベル】 L 5-2}$$

単位 : ha ; 範囲 : AREA > 0 ; A = ランドスケープ全体の大きさ (総面積) (m^2) 。

生態意義 : TA はランドスケープの範囲あるいは、研究する最大のスケールを決定できる。自然保護地区と保全地域を設定するデザイン, 種数の多い生物種への保護, 絶滅危惧種, 希少種及び生態系の安定性などの維持に対し, 保護区域やランドスケープの面積が重要な要素となる。

Percentage of Landscape (PLAND) ;

PLAND は同じタイプのパッチの総面積と全景観の面積の割合である。土地被覆型 i の面積を景観全体の面積 (A) で割った値である。いわゆる, 土地利用タイプごとの面積率である。

$$\text{計算式 : } PLAND = P_i = \frac{\sum_{j=1}^n a_{ij}}{A} (100) \quad \text{C 5-3}$$

単位 : % ; 範囲 : $0 < PLAND \leq 100$; P_i = クラス i のパッチ面積の景観全体での割合 ; a_{ij} , A , j 同上。

生態意義 : PLAND も CA と同じ, ランドスケープの構成要素の指標である。その値が 0 に近づくほどこのタイプのパッチは希少種であり, 100 になると景観全体がこのタイプのパッチから構成している。PLAND はパッチサイズや周長などの値に強く影響し, 生物多様性, 優占種と数などの生態システム指標の重要な要素である。

Largest Patch Index (LPI) ;

LPI は最大パッチ面積の景観全体に占める割合の%である。

$$\text{計算式 : LPI} = \frac{\max_{j=1}^n(a_{ij})}{A}(100) \quad \text{C 5-4}$$

$$\text{LPI} = \frac{\max(a_{ij})}{A}(100) \quad \text{L 5-5}$$

単位 : % ; 範囲 : $0 < \text{LPI} \leq 100$; $\max_{j=1}^n$ = クラス i の中の最大のパッチ ; $\max(a_{ij}) =$

景観の中の最大のパッチ ; A と a_{ij} , j は同上。

生態意義 : LPI は単純に優占度を示すことができる。その値が 0 に近づくと最大パッチがますます小さくなり, 100 になると景観全体が一つタイプのパッチから構成していることを示す。その値の大きさは景観の中の優占種, 内部種の豊かさを決定し, 値 (経年的な) の変化は攪乱の強さと頻度を変化する。または, 人為的な活動の方向と強さを反映する。

Mean Patch Size (AREA_MN) ;

AREA_MN は平均パッチサイズであり, クラスレベルでは, クラス i のパッチの総面積 (単位を m^2 から ha に変換) をクラス i のパッチ数で割った値 ; ランドスケープレベルで, 総面積 (単位を m^2 から ha に変換) と各クラスのすべてのパッチ数の割合である。

$$\text{計算式 : AREA_MN} = \frac{\sum_{j=1}^n a_{ij}}{n_i} \left(\frac{1}{10,000} \right) \quad \text{C 5-6}$$

$$\text{AREA_MN} = \frac{A}{N} \left(\frac{1}{10,000} \right) \quad \text{L 5-7}$$

単位：ha；範囲：AREA_MN > 0； n_i = クラス i の全パッチ数。N = 景観の中の全パッチ数；A と a_{ij} ， j は同上。

生態意義：AREA_MN はパッチの大きさの平均された値である。AREA_MN の値とその変化は景観の破碎度を反映できる。AREA_MN の値が小さくなるほど、そのクラスや景観はより破碎されていることを示す。また、AREA_MN の値は画像および地図の範囲とパッチの最小単位の大きさの決定を制限する。

Area-Weighted Mean Patch Size (AREA_AW)；

AREA_AW はパッチの平均パッチサイズを面積よって重み付けした値である。

$$\text{計算式： AREA_AM} = \frac{\sum_{j=1}^n a_{ij}}{n_i} \left(\frac{1}{10,000} \right) \quad \text{C 5-8}$$

$$\text{AREA_AM} = \frac{\sum_{j=1}^n a_{ij}}{n_i} \left(\frac{1}{10,000} \right) \quad \text{L 5-9}$$

単位：ha；範囲：AREA_MN > 0；

生態意義：少数の大きなパッチの周りに小さなパッチが存在するときは、パッチサイズの単純平均は非常に小さいパッチの数に影響を受けやすいである。このとき、AREA_AW は AREA_MN より有効であり、この問題を回避できる。

Total Edge (TE)；

TE はパッチ・タイプの周縁部（エッジ）の総長さである。

$$\text{計算式： TE} = \sum_{k=1}^m e_{ik} \quad \text{C 5-10}$$

$$\text{TE} = E \quad \text{L 5-11}$$

単位：m；範囲：TE ≥ 0；k=1,...,m：パッチ数；e_{ik} = クラスiのパッチkに隣接のエッジの長さ (m)；E=土地被覆型iを含んでいるランドスケープの境界線と背景部分を含む。

生態意義：ラスタ型（あるいは、グリッド）データの地図で、エッジの総長 TE は周縁部における格子の数から計算される。それは、パッチの周長と少し違いがある。クラスレベルの TE は特定のパッチ・タイプのエッジの総長さの絶対的な尺度であり、同じサイズの景観を比較するとき使える。

Edge Density (ED)；

ED は特定のパッチ・タイプ（エッジ）の周縁部の密度である。エッジの長さとの面積（単位を m² から ha に変換する）の割合である。

$$\text{計算式： ED} = \frac{\sum_{k=1}^m e_{ik}}{A} (10,000) \quad \text{C 5-12}$$

$$\text{ED} = \left(\frac{E}{A} \right) (10,000) \quad \text{L 5-13}$$

単位：m/ha；範囲：ED ≥ 0；k, e_{ik}, A, E は同上。

生態意義：EDは景観全体やある一つのクラスの破碎化の程度を示すことができる。EDもTEと同様に同じサイズの景観を比較することができる。様々なサイズの景観を比較するとき、この指数はTEより有効である。

2-5-2 形状の複雑さの指数 (Shape Metrics)

形状の複雑さの指数の通常は、周囲の長さ（エッジ、周縁または境界）と面積の割合から算出される数値になる。パッチの形状の複雑さがパッチのサイズとエッジの長さとの密接に関係している。生物に対するパッチ形状の効果は、形状から導かれる内部生息地と周縁生息地の相対量に起因するものもある（中越 2004）。生息地パッチ、緑地パッチなどの形状は人間活動の影響を受け、純化もしくは、複雑化になる。例えば、都市内における人工的に創出された緑地パッチの形状はより単純であり、人為攪乱や採鉱などによる大規模な森林や草地の周縁部が凸凹型になり、形状が複雑化する。これらの不規則的なパッチ、円型のパッチ、正方形のパッチ形状の複雑化に伴い、パッチの面積と周縁部の長さが変化されて、自然環境、生物種数などが影響を受ける。

パッチ形状の複雑さを図る景観指数は多数ある。パッチの面積と周長の割合は、パッチの形状を捉える最も単純な指数の 1 つである。そのパッチが正円ならば 1 の値を示す、より複雑な形状をしていれば周長は長くなり、無限に大きな値を取る。ただし、データの解像度に依存しており、パッチの面積が小さいとき、形状指数の取りうる値の上限は小さくなる。形状の複雑さの指数のなかで一つの重要な指標は、**Fractal Dimension Index** で、パッチサイズの影響を受けない。景観生態学における **Fractal Dimension** 景観計数は、景観におけるパッチ形状の複雑さを示す指標として用いられてきた(Krummel et al 1987, O'Neill et al. 1988)。

以下に、形状の複雑さを定量化する代表的な景観指数について紹介する。

Mean Shape Index (SHAPE_MN) ;

SHAPE_MN は形状の複雑さの平均値である。

$$\text{計算式 : SHAPE-MN} = \frac{\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n \left[\left(\frac{0.25P_{ij}}{\sqrt{a_{ij}}} \right) \left(\frac{a_{ij}}{A} \right) \right]}{N}$$

C 5-14

$$\text{SHAPE-MN} = \frac{\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n \left[\left(\frac{0.25P_{ij}}{\sqrt{a_{ij}}} \right) \left(\frac{a_{ij}}{A} \right) \right]}{N}$$

L 5-15

範囲：SHAPE_MN ≥ 1；j=1,...,n パッチ数；i=1,...,m クラスタイプ；a_{ij} = パッチ ij の面積 (m²)，p_{ij} = パッチ ij の周長 (m)，A = ランドスケープ全体の大きさ (総面積) (m²)，N = 景観の中の全パッチ数

生態意義：SHAPE_MN = 1 とその形状は正方形であり，SHAPE_MN の値が 1 より大きくなるほど，その形状が複雑になる。

Area-Weighted Mean Shape Index (SHAPE-AM)；

SHAPE-AM は面積で加重したパッチの形状指数の平均値であり，パッチの面積が大きくなるほど大きく加重される。

$$\text{計算式： SHAPE-AM} = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n \left(\frac{0.25P_{ij}}{\sqrt{a_{ij}}} \cdot \frac{a_{ij}}{A} \right) \quad \text{C 5-16}$$

$$\text{SHAPE-AM} = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n \left(\frac{0.25P_{ij}}{\sqrt{a_{ij}}} \cdot \frac{a_{ij}}{A} \right) \quad \text{L 5-17}$$

単位：SHAPE-AM > 0；i，j，a_{ij}，p_{ij}，A，N は同上

生態意義：SHAPE-AM は空間パターンの複雑さを図る重要な指標の一つである。

SHAPE-AM は様々なタイプのパッチの自然特徴を表現でき，その値の大きさは多くの生態プロセスへ影響を与える。例えば，動物の遷移と捕食；植物の生産力など。SHAPE_AM = 1 とその形状は正方形であり，SHAPE_MN の値などが 1 より大きくなるほど，その形状が複雑になる。

Perimeter Area Fractal Dimension (PAFRAC)；

PAFRAC は周長（パラメータ）－面積のフラクタル次元である。

$$\text{計算式：PAFRAC} = \frac{2}{\frac{\left[n_i \sum_{j=1}^n (\text{Inp}_{ij} \bullet \text{Ina}_{ij}) \right] - \left[\left(\sum_{j=1}^n \text{Inp}_{ij} \right) \left(\sum_{j=1}^n \text{Ina}_{ij} \right) \right]}{\left(n_i \sum_{j=1}^n \text{Inp}_{ij}^2 \right) - \left(\sum_{j=1}^n \text{Inp}_{ij} \right)^2}} \quad \text{C 5-18}$$

$$\text{PAERAC} = \frac{2}{\frac{\left[N \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n (\text{Inp}_{ij} \bullet \text{Ina}_{ij}) \right] - \left[\left(\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n \text{Inp}_{ij} \right) \left(\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n \text{Ina}_{ij} \right) \right]}{\left(N \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n \text{Inp}_{ij}^2 \right) - \left(\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n \text{Inp}_{ij} \right)^2}} \quad \text{L 5-19}$$

範囲： $1 \leq \text{PAFRAC} \leq 2$ ； n_i = クラス i のパッチ数； i, j, a_{ij}, p_{ij}, N は同上。

生態意義：形状の Fractal Dimension は、パッチの周辺長・面積比率からの回帰法による推定である。このフラクタルによって、より複雑な形状を定量化することが可能となる。対象とされたパッチが、正円や正方形など単純な形状の場合は 1、複雑な形状であれば 2 に近づく。ただし対象とされるパッチの数が少ない場合、計算された値が理論値から外れる(1 以下の値をとる)ことがある。最も一般的な手法は、

Landscape Shape Index (LSI) ;

LSI は景観の形状に関わる指数である。

$$\text{計算式：LSI} = \frac{0.25 \sum_{k=1}^m e_{ik}^*}{2} \quad \text{C 5-20}$$

$$\text{LSI} = \frac{0.25E}{\sqrt{A}} \quad \text{L5-21}$$

範囲：LSI >1；

生態意義：LSI の値が 1 に近づくほど、景観におけるパッチの形状は正方形に近づく。LSI の値が大きくなるほど、パッチの形がより複雑になる。

2-5-3 凝集性（分断度）の指数

Aggregation（集合）とは、ある土地被覆タイプ（クラス）の一定量のパッチの空間的分布状態が凝集する傾向にあることを指す。この特性は、景観のキメ（landscape texture）とも呼ばれる。ランドスケープ用語ではそれを一般的に集塊性と言い、指標化したものを集塊度と言う。集塊性と逆の空間分布の状態は分断性である。多くの研究では、あるパッチの空間分布を分析するとき、「集塊度 Aggregation」と密接に関連して用いられている言葉は、分散、散在、細分化、孤立されるなどがある（McGarigal and Marks 1995）。「集塊度 Aggregation」は、これらの用語の概念を記述する包括的な用語として使用されている。これらの用語は「集塊度 Aggregation」のより広い概念に関するものであり、それぞれの間には重要な方向で微妙な違いがある（McGarigal and Marks 1995）。

集塊性を示す景観指標の多くは、パッチ・タイプ（クラス）の分散（Dispersion）と散在（Interspersion）する空間分布の特徴を明晰的に対処し、そして、この 2 つの構成要素を識別するのが重要である（McGarigal and Marks 1995）。分散は、他のパッチ・タイプ（クラス）とは関係してないあるパッチ・タイプ（クラス）の空間分布を指す；細分（Subdivision）は、パッチ・タイプが異なるパッチによってどれだけ（破碎される）分断化されているかの程度を明瞭的に示す。孤立される（Isolation）は細分化（Subdivision）に類似した概念であるが、どの程度距離を持って分断化されているか孤立の度合いに言及する。

生息地の分断化とは、道路や線路、農地、住宅、工場などが作られることにより、かつては広がった生息地が、複数の小さなエリアに分断され孤立されることを意味する。生息地が分断化されると、動物の生殖や繁殖なども影響を受けて、最終的には消

滅の方向へと導くこともある。

以下、分断度を定量化する代表的な景観指数について紹介する：

Number of Patches (NP) ;

NP はパッチの数である。

$$\text{計算式： } NP = n_i$$

C 5-22

$$NP = N$$

L5-23

単位：個；範囲： $NP > 0$ ； n_i = 土地被覆タイプ i のパッチ数； N = 景観全体におけるパッチ数。

生態意義：NP はパッチの分断度を示すことができる。パッチ数が多いほど分断度が高いことを示す。面積が広がるほど、そのパッチ数も多くなる可能性があるため、同じ範囲における、パッチ数を比べることはより有効である。

Patch Density (PD) ;

PD は 1 ヘクタールあたりのパッチ数の割合である。

$$\text{計算式： } PD = \frac{n_i}{A}(10,000)(100)$$

C 5-24

$$PD = \frac{N}{A}(10,000)(100)$$

L 5-25

単位：個/ha；範囲： $PD > 0$ ； n_i ， N は同上。A = 面積 (m^2)

生態意義：PD は NP と同様に分断度を示す指数である。PD の値が高いほど、より分断化を進んでいることを示し、値が小さいほどパッチがより連続されていること

を示す。NP より有効である。

Contagion Index (CONTAG) ;

CONTAG は伝播性を示す指数である。被覆型 (タイプ) i のセルと隣の被覆型 (タイプ) j のセルに隣接している確率に基づいた伝播性(CONTAG)が「分散」と「散在」の両者を包括する景観指標として使用されている。

$$\text{計算式 : CONTAG} = \left[1 + \frac{\sum_{i=1}^m \sum_{k=1}^m \left[\left(p_i \frac{g_{ik}}{\sum_{k=1}^m g_{ik}} \right) \cdot \ln \left(p_i \frac{g_{ik}}{\sum_{k=1}^m g_{ik}} \right) \right]}{2 \ln(m)} \right] \quad (100) \quad \text{L 5-28}$$

単位 : %, 範囲 : $0 < \text{CONTAG} \leq 100$

生態意義 : CONTAG 指数は, O'Neill ら (O'Neill et al 1988) によって提案され, その後, パッチの伝播や凝集の指標として広く使われるようになった (Turner and Ruscher 1988, Turner 1989, Turner 1990, Graham et al. 1991, Gustafson and Parker 1992)。伝播性 (CONTAG) は, 景観パターンが全体として集中しているのか分散しているのかを区別するものである (O'Neill et al.,1988, Li and Reynolds 1993)。CONTAG 指数は, 詳細な空間スケールで土地被覆タイプの空間分布の特性を明確に示すことができ, 空間パターンを定量化する最も重要な指数の一つである。CONTAG の値は, 1 に近づくほど, 小さなパッチが密集しており, その破碎度が高い, 値が 100 に近づくほど連続されたパッチが存在し, 伝播度が高い。また, その確率から景観パターンの方向性 (異方性) を特定できる。

2章の参考・引用文献

- Anderson, J.R., E. E. Hardy, J. T. Roach, and R. E. Witmer 1976 : A Land Use and Land Cover Classification System for Use with Remote Sensor Data : U.S.Geological Survey Professional Paper, 964, 28pp.
- Arrhenius o 1921 : Species and area. *Journal of Ecology*, 9, 95-99p.
- Connor, E.F. and E. D. McCoy 1979 : The statistics and biology of the species–area relationship. *American Naturalist*, 113, 791-833p.
- Baker W L, Cai Y M. 1992 : The programs for multiscale analysis of landscape structure using the GRASS geographical information system. *Landscape Ecology* , 7 (4) , 291-302p.
- Baskent, E. Z. and G. A .Jordan. 1995 : Characterizing spatial structure of forest landscape. *Canadian Journal of Forest Research* , 25, 1830-1849p.
- Bosch, W. 1978 : A procedure for quantifying certain geomorphological features. *Geographical analysis*, 10, 241-247p.
- Bowen ,G.W .and R.L. Burgess 1981 : A quantitative analysis of forest island pattern in selected Ohio Landscapes. Oak Ridge, Tennessee, 111pp.
- Clark, P. J. and F. C. Evans 1954 : Distance to nearest neighbor as a measure of spatial relationships in population.. *Ecology*, 35, 445–453p.
- 陳 利頂, 徐 建英, 傅 伯杰 2004 : パッチエッジの定量的評価およびその生態意義. *生態学報*, 24 (9), 1827-1832p.
- 陳 文波, 肖 篤宁, 李 秀珍 2002 : 景観指数分類, 応用及び構建研究. *応用生態学報*, 13 (1), 121-125p.
- 伊達 美德 1992 : 景観の概念. 日刊建設通信新聞掲載.
<http://homepage2.nifty.com/datey/h3-gainen.htm>

- Forman, R. T. T. and M. Godron 1981 : Patches and structural components for a landscape ecology . Bioscience 31, 733-740p.
- Forman,R.T.T. and ,M.Godron 1986 : Landscape Ecology : John Wiley & Sons New York, 619pp.
- Forman, R.T. T. 1995 : Land Mosaics. Washington: Cambridge, Press. 656pp.
- 富松 裕 2005 : 生息場所の分断化は植物個体群にどのような影響を与えるか? . 保全生態学研究, 10, 163-171p.
- Gardner, H. 1999 : The Disciplined Mind: : Beyond Facts And Standardized Tests, The K-12 Education That Every Child Deserves, New York: Simon and Schuster (and New York: Penguin Putnam
- Graham, R. L., C. T. Hunsaker, R.V. O'Neill and B. L. Jakson 1991 : Ecological risk assessment at the regional scale. Ecological Application , 1, 196-206p.
- Gustafson, E.J. 1998 : Quantifying landscape spatial pattern: what is the state of the art ?, Ecosystems, 1, 143-156p.
- Gustafson, H.I., and G. R. Parker 1992 : Relationships between landcover proportion and indices of landscape spatial pattern. Landscape Ecology,, 7, ,101-110p.
- 萩島 哲, 大 貝彰, 今里 雅裕, 小牟 田保, 横屋 克昌 1988 : 混合土地利用の評価指標の設定に関する研究 その 1 : 混合土地利用の評価指標の定義. 日本建築学会学術講演梗概集, F, 251-252p.
- 原山 昭彦, 丸山 松廣, 武市 久 2002 : 土地利用の秩序度の評価方法についてー宮田用水地区, 農業土木学会全国大会講演要旨集, 638-639p.
- Hortal, J., Triantis, K.A., Meiri, S., Thébault, E., & Sfenthourakis, S. 2009 : Island species richness increases with habitat diversity . American Naturalist, 174 (6), 205-217p
- Huslshoff, R.M.1995 : Landscape indices describing a Dutch landscap, Landscape

- Ecology, 10 (2), 101-111p.
- 亀山 章 1985 : 地域計画における景観生態学の応用. 信州大学環境科学論集, 7, 1-4p.
- 加藤 和弘 2008 : 景観生態学の理論. 生態学, 生態工学, 331-334 p.
- Kienast, F. 1993. : Analysis of historic landscape patterns with a Geographical Information Systema methodological outline. Landscape Ecology , 8 (2) , 103-118p.
- 小出 治 1977 : 土地利用混合度の適用並びにその検定. 都市計画 別冊 (12), 79-84p.
- 唐崎 卓也, 安中 誠司 2001 : 10m メッシュ土地利用図を用いた集落景観の指標化—景観指標による戦後の土地利用変化の特徴の分析—. 農村計画論文集, 3, 283-288p.
- Krishnalyer, P.V. 1950 : The theory of probability distributions of points on a lattice. Annuals of Mathematical Statistics, 21, 198-217p.
- Krummel J.R., Gardner, R.H., Su ihara, G., O'Neill, R.V., Colman, P.R. 1987 : Landscape patterns in a disturbed environment.. Oikos 48, 321-324p.
- Leser, H. 1976 : Landschaftsökologische Untersuchungen. Beiheft, 432pp.
- Laser, H. 1984 : zum ökologie, ökosystem-und ökotopbegriff. Natur und Landschaft, 59 (9), 351-357p.
- Levin, S. A. 1976 : Spatial patterning and the structure of ecological comm-unities. Lectures on Mathematics in the Life Sciences, Vol.8, 1-35 p.
- Levin, S.A. 1992 : The problem of pattern and scale in ecology. Ecology, Vol 73, 1943-1967 p.
- 李 団胜, 石 玉琼 2009 : 景観生態学, 化学工業出版社, 北京. 126pp.
- Li, H., and J.F. Reynolds 1993 : A new contagion index to quantify spatial patterns of landscapes. Landscape Ecology, 8, 155-162p.

- 守村 敦郎 2008 : 景観指数による緑被の分布特性の評価. 人間環境大学, 5, 29-41p.
- McGarigal, K., Cushman, S.A., and Ene, E. 2012 : FRAGSTATS, Spatial Pattern Analysis Program for Categorical Maps. University of Massachusetts Amherst, USA.
<http://www.umass.edu/landeco/pubs/mcgarigal.marks.1995.pdf>
- 望月 翔太, 村上 拓彦 2011 : 景観解析ソフト FRAGSTATS の使い方. 景観生態学, 16 (1), 53-58p.
- Murcia, C. 1995 : Edge effects in fragmented forests : implications for conservation. Trends Ecol., Vol.10, 58-62p.
- 中越 信和, 原 慶太郎 (監訳) 2004 : 景観生態学—生態学からの新しい景観理論とその応用. 文一総合出版, 399pp. 東京.
- 中村 和郎, 手塚章, 石井 英也 1991 : 『地域と景観』地理学講座第4巻. 古今書院, 204pp, 東京.
- NAVEH, Z. and A. S. LIEBERMAN 1994 : Landscape Ecology Theory and Application. 2nd ed, 356p. Springer-Verlag, New York.
- 野間 三郎, 岡田 真 1981 : 生態地理学. 朝倉書店, 202pp, 東京.
- 沼田 真 1996 : 景相生態学—ランドスケープエコロジー入門—. 朝倉書店, 178p, 東京.
- 岡橋 秀典 1993 : ルーラル, デザインの展開と農村景観論. 地理科学, 48(4), 255-268p.
- 岡田 俊裕 1987 : 日本における「景観」概念と「景観」学論. 人文地理学, 39(5), 449-452p.
- O'Neill R.V., Krummel, J.R., Gardner, R.H., Sugihara, G., Jackson, B., DeAngelis, D.L., Milne, B.T., Turner, M.G., Zygmunt, B., Christenson, S.W., Dale, V.H. and Graham, R.L. 1988 : Indices of landscape pattern. Landscape Ecology ,

- 1, 153-162p.
- O' Neill, R.V , C .T. Hunsaker., S. P. Timmins, B. l. Jackson, K. H. Riitters and J .D. Wickham 1996 : Scale Problems in Reporting Landscape Pattern at the Regional Scale [J]. *Landscape Ecology*, 11, 169-180p.
- O' Neill, R.V , K H Riitters and J D Wickham 1999. : Landscape pattern metrics and regional assessment . *Ecosystem Health* , 5 (4) , 225-233p.
- O' Neill, R.V , C .T. Hunsaker , S. P. Timmins, B. l. Jackson, K. H. Riitters and J .D. Wickham 1996 : Scale Problems in Reporting Landscape Pattern at the Regional Scale [J]. *Landscape Ecology*, 11, 169-180p.
- Pickett, S. T. A. and M. L. Cadenasso. 1995 : Landscape Ecology : Spatial Heterogeneity in Ecological Systems. *Science*, 269, 5222,
- Riitters K H , R. V. O' Neill and C. T .Hunsaker 1995 : . A factor analysis of landscape pattern and structure metrics. *Landscape Ecology* , 10 (1) , 23-39p.
- Riitters K.H, O'Neill, R.V, Hunsaker, C.T, Yankee .D.H, Timmins .S.P , Jones K.B. and Jackson, B.L. 1995: A factor analysis of landscape pattern and structure metrics. *Landscape Ecology*, 10, 23-39p.
- Risser, P.G, R.T.T. Forman and J.R. Karr 1984 : Landscape ecology — directions and approaches. Special Publications No 2, Illinois Natural History Survey, Champaign
- 杉浦 直 1974 : 景観生態学の理論と方法—東ドイツ学派を中心にして—. *東北地理*, 26(3), 137-148p.
- Schmithüsen J. 196 : Der wissenschaftliche Landschaftsbegriff Pflanzensoziologie und Landschaftsökologie (Den Haag 1968), 23-43p.
- Forman R. T. T. and M. Godron 1986: Landscape ecology. 619p. John Wiley& Sons, New York.

- 千田 稔 1998 : 風景の文化誌 I 一都市, 田舎, 文学一, 古今書院, 262pp, 東京.
- 武内 和彦 1991 : 地域の生態学. 朝倉書店, 254pp, 東京.
- 玉川 英則 1982 : 土地利用の秩序性の数理的表現に関する考察. 都市計画 別冊 (17), 73-78p.
- Tischendorf, L. 2001 : Can landscape indices predict ecological processes consistently ? , *Landscape Ecology*, 16, 235-254p.
- Troll, C. 1939 : Luftbildplan und ökologische Bodenforschung. *Zeitschrift der Gesellschaft für Erdkunde zu Berlin*, 241-311p.
- Troll, C. 1968 : Landschaftsökologie. Pflanzensoziologie und Landschaftsökologie. (Editor by Tuxen, R.) : The Hague : Junk, 1-21 p.
- Troll, C. 1970a : Landschaftsökologie (Geoecology) and Bio-ecologie. Eine Terminologische Studie. *Revue roumaine de Géologie, et Géographie*, Ser. Geogr.T.14, 9-18p.
- 恒川 篤史 , 李東 根他 1991 : 土地利用混在の定量化手法. *環境情報科学*, 20 (2), 115-120p.
- Turner, M.G. 1989 : Landscape ecology : the effect of pattern on process. *Annual Review of Ecology and Systematics*, 20, 171-197p.
- Turner, M.G. and R. H. Gardner 1991 : Quantitative methods in landscape Ecology. The analysis and interpretation of landscape heterogeneity (Editor by Turner, M. G. and R. H. Gardner). *Ecological Studies* , Vol.82, 3-14p.
- Turner, M. G. , C. L. Ruscher 1988 : Changes in landscape patterns in Georgia , USA. *Landscape Ecology* , 1 (4) , 241-251p.
- Turner, M. G. and R.H. Gardner 1990 : Quantitative Methods in Landscape Ecology. New York: Springer-Verlag.
- Turner, M.G. 1990 : Spatial and temporal analysis of patterns . *Landscape*

- Ecology , 4, 21-30p.
- Turner, M.G., Ruscher. C. L. 1988 : Changes in landscape patterns in Georgia, USA. Landscape Ecology, 1, 241-251p.
- Turner, M. G. 1990 : .Landscape changes in nine rural counties of Georgia.. Photogrametry Engineering and Remote Sensing, 56, 379-386.p.
- Turner, M. G., Costanza, R., and Sklar, F. H. 1989. : Methods to evaluate the performance of spatial simulation models. Ecological Modelling , 48, 1-18p.
- 渡部 章郎 2009 : 専門分野別による景観概念の変遷に関する研究－特に植物学系分野、文学系分野に関して－. 四天王寺大学紀要, No 47, 1-15p.
- 渡部 章郎, 進士 五十八, 山部 能宜 2009 : 地理学系分野における景観概念の変遷. 東京農大農学集報, 54(1), 20-27p.
- 烏 建国 2000(Wu jian guo) : 景観生態学-概念と理論[J]. 生態学雑誌, 9 (1), 42-45 p.
- 烏 建国 2007 : 景観生態学－パターン、プロセス、スケールと等級, 高等教育出版社, 北京,
- 肖 笃宁 1991 : 景観生態学理論方法および応用. 中国林業出版社, 186-195p, 北京.
- 肖 笃宁, 布仁仓, 李 秀珍 1997 : 生態空間理論と景観不均質性[J]. 生態学報, 17 (5), 453-461p.
- 肖 笃宁, 李 秀珍 2003 : 景観生態学の学科前沿と発展戦略[J]. 生態学報, 23 (8), 1615-1621p.
- 井手 久登 1971 : 景域保全論. 応用植物社会学研究会, 121pp.
- 吉川 徹 1997 : メッシュデータに立脚した土地利用の集塊性の把握手法について. 日本建築学会計画系論文集, vol.495, 147-154p.
- 吉川 徹 1999 : メッシュデータに立脚した同種, 異種土地利用の集塊性の把

握手法. 日本建築学会計画系論文集, vol.520, 227-232p.

Young A G, Clarke G M. 2000 : Genetics, Demography and Viability of
Fragmented Populations. Cambridge University Press, Cambridge.

横張 真, 武内 和彦 1990 : 生物資源. 日本土壌協会, 農林水産省構造改善局資
源課編「地域資源管理システムの手法と考え方」, 173-222.

横山 秀司 1995 : 景観生態学. 古今書院, 207pp, 東京.

横山 秀司 2002 : 景観の分析と保護のための地生態学入門. 古今書院, 277pp, 東
京.

3 空間パターンの定量化とリモートセンシング・GIS の役割

3-1 空間パターンの定量化とリモートセンシングツール

3-1-1 リモートセンシングの概要

リモートセンシング (Remote Sensing) は遠隔探査ともいい、広義には観測対象物に直接接触せずその特性情報を取得する技術を意味する。狭義には (図 3-1)、航空機や人工衛星などのプラットフォーム (Platform) に搭載されたリモートセンサ (Remote Sensor) を用いて、観測対象物から自然に反射または放射される電磁波をまたは人工的に観測対象物に向かって電磁波を発射し、観測対象物から反射される電磁波を記録し、それらのデータを用いて観測対象物や現象に関する情報を収集する技術を言う。物質の種類と状態によって、その放射・反射される電磁波の特性が異なる (図 3-2) ため、放射・反射電磁波のスペクトル特性を把握することにより、対象物の大きさ、形、性質の情報を得ることが可能である (長澤ほか 2007)。

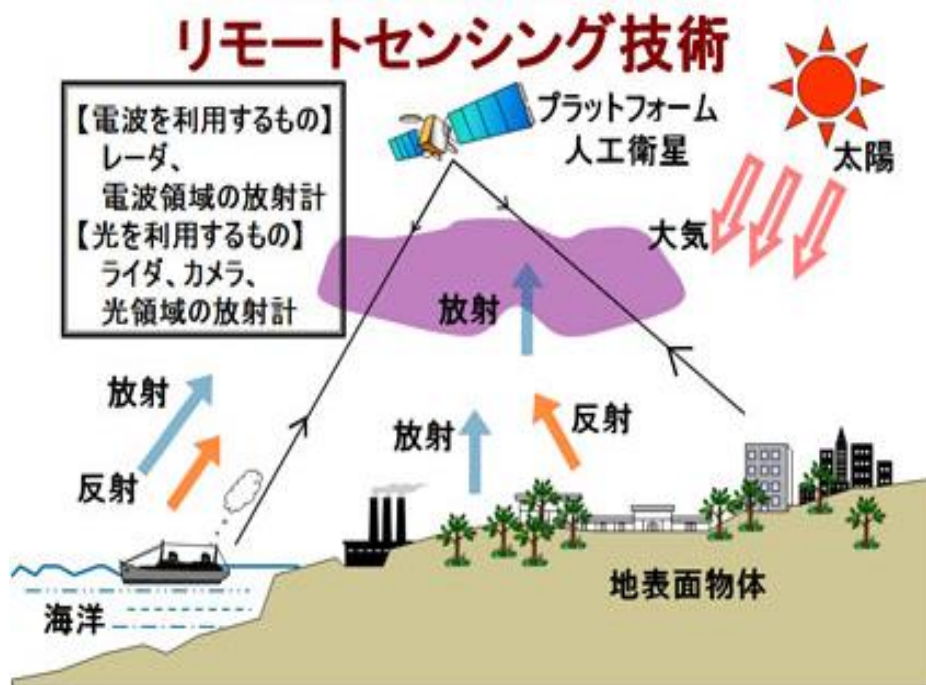
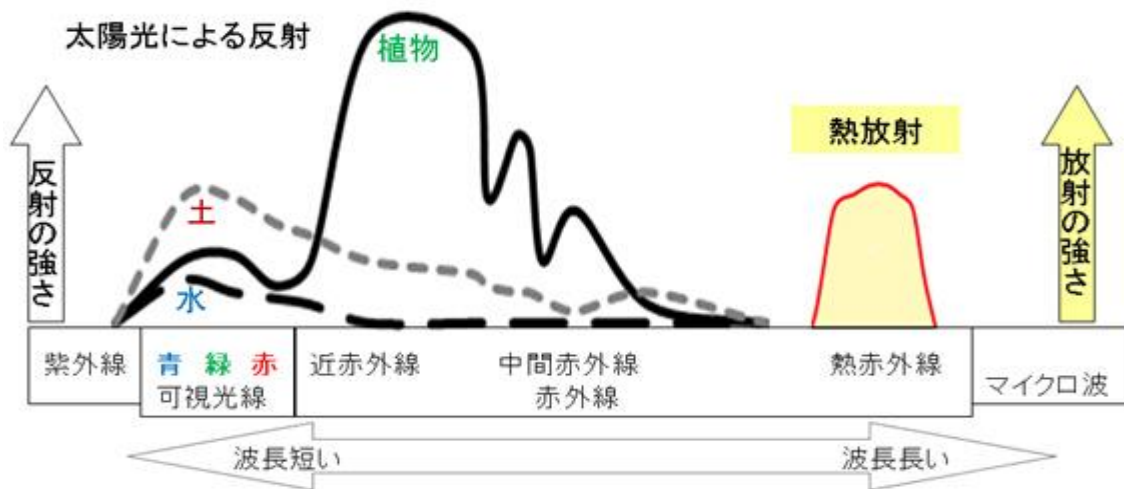


図 3-1 リモートセンシングの原理とデータ収集



区分	名称	波長	特徴	衛星センサー
可視光	可視光(青)	0.4 μm ~ 0.5 μm	土壌と植生の区別	L,A
	可視光(緑)	0.5 μm ~ 0.6 μm	植物の活力度	L,A,S,T
	可視光(赤)	0.6 μm ~ 0.7 μm	陸域と水域の判別、植生度	L,A,S,T,N
赤外線	近赤外	0.7 μm ~ 1.3 μm	植物活性度、陸水や地形の判読	L,A,S,T2,N
	短波長赤外	1.3 μm ~ 3 μm	陸水域の判定、地質判読、土壌含水量	L2,S,T6,N
	中間赤外	3 μm ~ 8 μm		N
	熱赤外	8 μm ~ 14 μm	温度測定	L,T5,N2
	遠赤外	14 μm ~ 1mm		
マイクロ波	Xバンド	2.4cm ~ 3.75cm	葉で反射	TerraSAR-X
	Cバンド	3.75cm ~ 7.5cm	葉や枝で反射	Radasat等
	Lバンド	15cm ~ 30cm	葉を透過して幹や地表で反射	Palser(Alos)

*注 名称は分野により異なり、短波長赤外を中間赤外に含める場合もある。

衛星センサー L:ランドサット、D:ALOS(大地)、S:スポット、I:イコノス、T:テラ(ASTER)、N:ノア
数字は複数チャンネル数を示す。

図 3-2 電磁波長域と分類名称および植生，土，水の反射と放射の特性

リモートセンシング技術は、1972年最初の地球観測衛星 Landsat が米国によって打ち上げられて以降、急速に普及し各国で多数の多様な衛星が継続に打ち上げられた。この数十年以来、衛星センサの特性、衛星の運動、データ受信、処理システム、データ判読、コンピュータなどの知識の進捗に伴い、より高い解像度（時間、波長スペクトル）の衛星画像を手軽に入手できるようになった。今まで、Terra(EOS-AM)、MODIS、NOAA 衛星の AVHRR などの 250m~1.1km の分解能の衛星画像、Landsat 衛星の TM、ETM+、SPOT、ALOS などの数十 m 分解能の衛星画像、IKONOS、

QuickBird, ALOS PRISM などの 1~2m 分解能の衛星画像などの観測された大規模のデータが民生, 科学研究, 行政・政策お軍事目的のために提供されてきた。

衛星リモートセンシングの特徴は, 広域性 (広いなど地域を観測可能なこと), 均質性 (同一のセンサで観測できること), 周期性 (一定の時間間隔で観測できること), 継続性 (長期間にわたって観測を続けられること) である。これらの特徴が農林, 地質, 水分, 海洋, 気象, 環境などの研究分野で積極的に, 広く活用されて来た。

リモートセンシングデータにおける情報抽出には以下の 5 つのタイプがある (日本リモートセンシング研究会 1992) :

- ① 分類 (Classification) : 例, 土地被覆, 樹種, 植生, 農作物
- ② 変化検出 (Change detection) : 例, 土地被覆・土地利用変化,
- ③ 物物量の抽出 (Extraction of physical quantities) : 例, 温度, 大気成分, 標高
- ④ 指標抽出 (Extraction of index) : 例, 植生指標, 汚濁指標
- ⑤ 特定地物・状態の抽出 (Identification of specific features) : 例, 山火事, 水害の災害状況の把握, リニアメントの抽出, 遺跡の検出など。

3-1-2 景観パターンの定量化とリモートセンシングの役割

景観パターンを分析の基本的な流れは, 図 3-3 のようである。リモートセンシングデータは空間データとして景観パターン定量化研究の主なる情報源となっており, その特徴はいずれも景観パターン定量化において極めて重要なものである。

リモートセンシングは, 広い範囲にわたって繰り返し観測が可能であるため, 対象となる地域の広域的な空間パターンを明確に把握することができる。リモートセンシングデータを用いて, 景観を地図として表現することにより, 研究者は現地に行かなくても, その状況を把握できる。リモートセンシングデータは, ある時点において, その瞬間に形成された空間パターンの画像を提供できる。例えば, 大規模な地震, 水

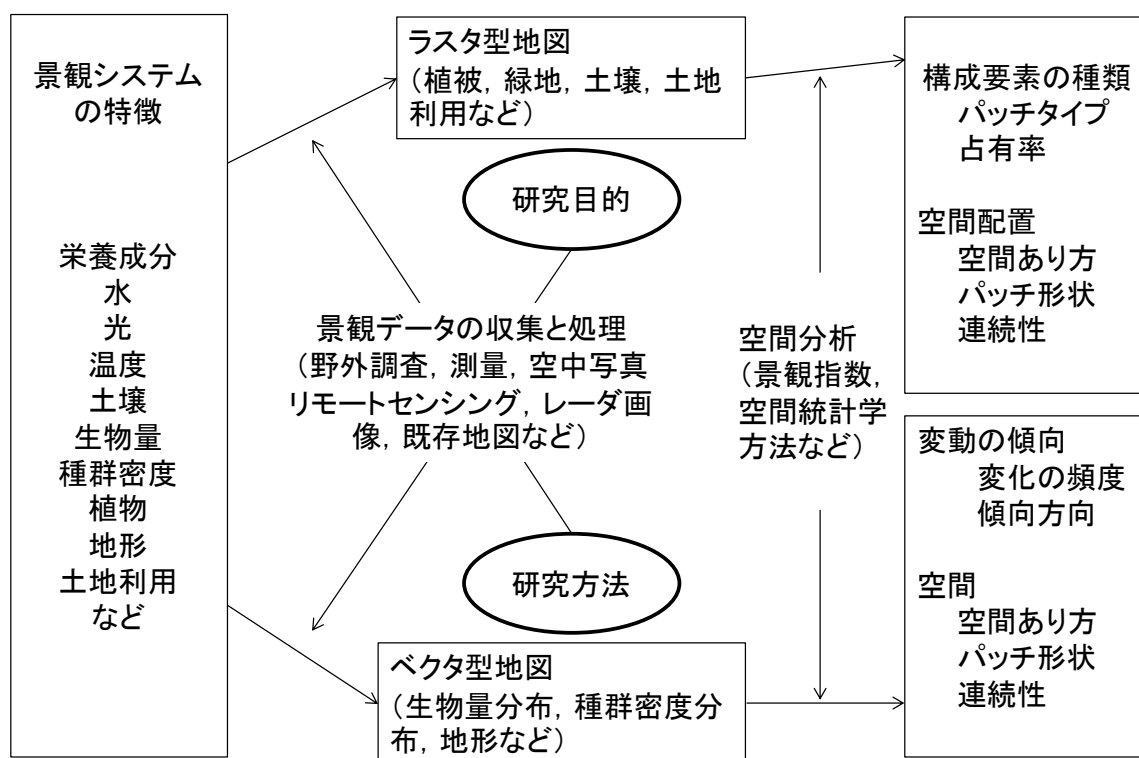


図 3-3 景観パターンの研究の基本フロー

害、森林火災などの大規模の自然災害が起きた時、リモートセンシングデータを用いて、発災時の災害状況と被害範囲およびその空間分布を把握でき、災害による土地被覆変化や復興状況などにも有効である。

一般的に、リモートセンシングデータは観測、収集された季節が異なると解析結果に違いがあり、その原因の一つは、季節変化に伴う植生情報を中心とした土地被覆状況の変化ともう一つは、季節によって太陽高度と日射量に違いが生じるためである(土屋 1990)。または、画像判読、画像分類の手法によって解析結果に違いがある。例えば、目視判読による判読者の個人差、教師付き分類手法 supervised Classification (最尤分類法, 最短距離分類法, オブジェクトベースの分類法) と教師なし分類手法 Unsupervised Classification (ISODATA 法により分類法) の違いがある。リモートセンシングデータ画像の分類結果は都市緑地, 土地利用などの把握な

どに利用されているため、その分類結果の精度を評価することが必要である。

景観パターンとは、異なる空間スケールにおいて時間とともに変化しつつしている。その変化および現状を把握するために、様々な異なるスケールにおいて、研究を展開する必要がある。空間パターンは異なるスケールにおいて、異なる特徴および属性を表現する（図 3-4）。生態学的な空間スケールは、対象範囲全体の広さ（研究対象地域の面積）とデータの最小単位（あるデータセット内で最小の空間解像度，セルサイズ）という 2つの要素が含まれている（Forman and Godron 1986, Turner et al 1989）。最少単位と対照範囲は、研究の最小と最大の限界を示すとともに、抽出される生態系の特徴がスケールに依存して変わる程度を規定する（Wiens 1989）。さらに、過去の衛星画像も入手し、多時的な時系列衛星画像を解析することにより、空間パターンの時系列的な変動を把握することができる。衛星データを提供する多くの機関ではインターネット経由で画像を確認しながら、検索・注文が可能である（長澤ほか 2007）。

緑被地の空間パターンを把握するとき、衛星リモートセンシングデータを用いて、一つの公園から、区、市、国、地球レベルまでの様々なスケールにおける緑被地を抽出し、その分布の概況を効率的に把握することができる。リモートセンシングにおい

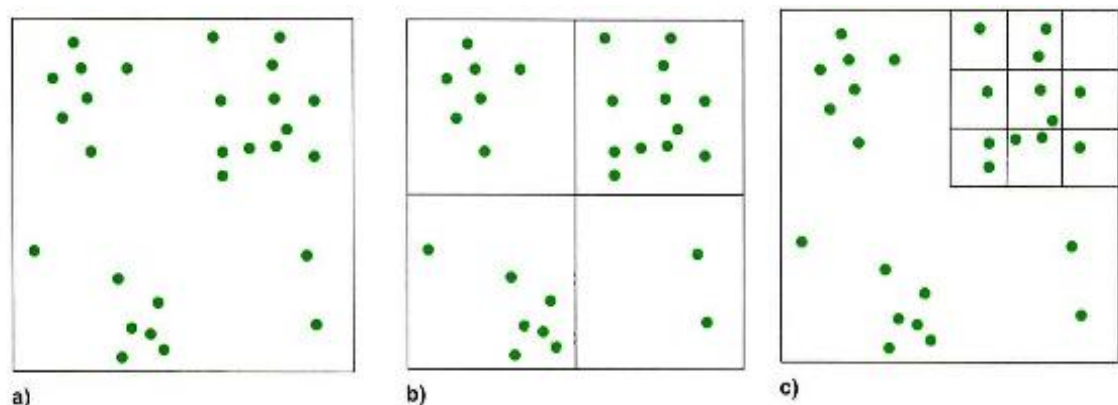


図 3-4 異なるスケールにおける空間パターンの違い

(a) 実際の空間パターン (b) 凝集した分布 (c) ランダム型分布

では各種のセンサは利用されているため、研究者には異なる空間分解能のデータ(1mから数十m, 250m, 1.1kmまで)を提供できる。または、二つか複数の画像を組み合わせることで、より大きいスケールにおける生態現象を把握できる。ただし、緑被地を抽出際には、衛星画像の空間分解能より小さい面積の緑被地は抽出されないことが最大の問題点となっている。そのために IKONOS や QuickBird, ALOS PRISM Pan-sharpen などの高分解能衛星と航空機 LiDAR (Light Detection And Ranging) への期待が高まっている。または、高精度の緑被地抽出のために様々な研究手法が検討されてきた。例えば、正規化植生指数 NDVI (Normalized Differential Vegetation Index) による緑被地抽出(石丸 2005)、NDVI と最尤法・ISODATA などの分類手法を併用した緑被地抽出(羽柴ほか 2000, 小泉ほか 2002)、NDVI と空中写真を用いた緑被地抽出(一ノ瀬 2004) など。

緑被地分布図、土地利用・土地被覆図を作成し、そこ空間分布のパターンの定量的分析を行う際に、研究対象物および対象地域の地理条件・空間特性、または、研究の目的などに基づいて、研究に適した時間的、空間的なスケールを定義し、衛星画像分類手法を選択することが重要である。

3-2 空間パターンの定量化と GIS ツール

3-2-1 GIS の概要

GIS とは Geographic Information System の略称であり、地理情報システムと訳される。GIS は、位置(座標)を持った空間データをその属性情報とともに作成、操作、交換、表示、管理、保存するためのシステムもしくはソフトウェアである。GIS は、1970年代にカナダで始められた土地資源マッピング・プロジェクトをきっかけに発展してきた技術である(矢吹 2009)。広い意味では、GIS は「空間的情報を管理、分析、表示するアプローチ全般」として使われている(原 2005)。近年、コンピュータ性能の向上およびインターネットなどの各種の通信情報関連技術、社会情報化の進捗に加え、リモートセンシング、GPS (Global Positioning System)、CAD、

CG, シミュレーションモデルなど周辺技術の利用などに伴って、膨大なデータの作成と扱いが容易になった。近年, GIS を Geographic Information Science とも記しており (長澤ほか 2007), 「地理情報システム (GISystem)」から「地理情報科学 (GIScience)」へと進化する働きを見せている (高阪, 村山 2001)。現在では, 自然科学から人文・社会科学まで広範におよぶ学問領域での科学研究, 地域づくり, まちづくり, 防災対策, 教育・文化などの行政や市民生活, 土地評価, 営業計画, 市場分析などのビジネスの多くの場面で利用されてしつとあり, さまざまな分野において不可欠なツールとなっている。

GIS は, 地図情報とその属性データを統合的に作成し, ベクター型データ (点, 線と面のような形式で空間情報を表現する) とラスター型データ (配列で空間情報を表現する) の 2 種類で表現できる。

GIS の基本的な空間解析機能は (高阪, 村山 2001) :

- ① 距離, 周長, 重心座標, 面積, 体積, 最大弦長, 丸み係数といった幾何学的な計測
- ② 地図データの属性情報の論理演算を行うテーブル演算
- ③ 地図要素間の空間関係 (隣接性) を検索する近隣分析
- ④ 地図データの位置情報から条件を付けて検索する空間検索
- ⑤ 点, 線, 面などの図形から等距離にある領域を確定するバッファリング (バッファ生成)
- ⑥ 属性の異なる複数のレイヤを重ねて新しい主題図を作成するオーバーレイ解析
- ⑦ 連結性の測定・最短経路の探索・セールスマンも巡回問題・水系網分析などを可能にするネットワーク分析
- ⑧ 勢力圏や後背地などの理論的な設定に用いるティーセン (ボロノイ) 分割など。

今日, 有償・無償さまざまな GIS ソフトウェア (SuperMap GIS, ARCGIS, ArcView GIS, IDRISI, AutoCAD Map など) のを利用することができる。

本研究では世界で最も普及している米国 ESRI 社の ArcGIS バージョン 10.2 を利

用した。ArcGIS では次のことができる (<http://resources.arcgis.com/ja/home/>) : インテリジェント マップの作成, 共有, および使用 ; 地理情報の作成 ; 地理データベースの作成と管理 ; 空間解析による問題の解決 ; マップベース アプリケーションの作成 ; 地理と視覚化を活用した情報のコミュニケーションおよび共有など。

3-2-2 空間パターンの定量化と GIS の役割

GIS は, リモートセンシングを用いて作成した広域的や時系列的な様々な時空間スケールにおける土地利用・被覆画像, 緑被地分布図の情報を GIS データとして取り扱い, 表示することができる。その景観全体と土地利用ごとのパッチ数, 面積, 周長, 面積率, 平均パッチ面積, 平均周長, 距離などの空間的な情報の定量化したデータを算出できる。GIS は以上の地理的事象の空間配置 (arrangement), 空間分布 (distribution), 空間構造 (structure) を, 点 (各種統計データや調査地点等の点データ)・線 (高速道路, 鉄道や河川等の線データ)・面 (建物や土地利用等の面データ) で表示し, 空間属性をもとに空間パターンを明らかにすることができる。

GIS を用いた空間データ分析に際しては, まず, GIS の空間データ可視化や空間解析などの機能を駆使して空間分布の特徴を探索し, 空間パターンに関する有効な仮説を確立する (張 2010)。

GIS は, 空間パターンに影響する地形, 標高, 温度, 湿度, 人口密度 (人間活動) などの様々な環境要因のデータと空中写真, 衛星リモートセンシングから作成した土地利用図などの様々なデータを取り込み, レイヤーで重ね合わせて表示する。また, その上に, 点 (調査地点となる都市中心, 店舗など), 線 (道路や河川データ), 面 (行政界, もしくは市区町村単位の多角形データ) で表示するベクタデータと組み合わせ, それらの空間配置を目で見出し, 視覚的に分析することができる。さらに, これらのデータを再分類し, 空間分析を行うことができる。

3 章の参考・引用文献

Forman,R., and ,M.Godron. 1986 : patches and structural components for a
Landscape ecology . BioScience, 31, 733-740p.

原 慶太郎 2005 : 景観生態学に基づく生態系解析. 『環境アセスメントにおけ
る生態系調査解析手法』 1-11p, 日本環境アセスメント協会.

石丸 裕史 2005 : 衛星画像を用いた緑量把握手法の検討. PREC Study Report,
11, 44-47p.

一ノ瀬 友博 2004 : 衛星データを用いた鳥類のための生態的ネットワーク構築手
法の試み. 日本都市計画学会 都市計画報告集, 2, 102-107p.

小泉 圭吾, 高木 直樹 2002 : リモートセンシング技術を用いた都市内緑被の把
握—京都市の林地, 農地の経年変化—. 日本建築学会計画系論文集, 552, 77-84p.

長澤 良太, 原 慶太郎, 金子 正美 2007.: 自然環境解析ためのリモートセンシ
ング・GIS ハンドブック. 古今書院, 256pp, 東京.

Turner,M.G., , R.V , O' Neill, R.H. Gardner and B milne 1989 : Effects of changing
spatial scale on the analysis of landscape patterns. Landscape Ecology, 3,
153-162p.

高阪 宏行, 村山 祐司 2001 : GIS—地理学への貢献. 古今書院. 384pp. 東京

矢吹 初 2009 : GIS の研究と教育. 青山学院総合研究所, 8 (2), 8-9p.

Wiens, J. 1989 : Spatial scaling in ecology. Functional Ecology, 3, 385-397p.

張 長平 2010 : 統計的推計による空間パターン分析 —千葉県市川市を事例とし
て—. 国際地域学研究, 13 , 77-90p.

4. 都市緑被地解析（上海市）の事例

4-1 本研究の背景と目的

4-1-1 都市緑地の定義

都市緑地とは、都市空間において公園、墓園、交通緑地、遊園地、ゴルフ場などの休養・休息・運動・遊戯・災害防止などの用に供している施設を指す。欧米では、グリーンスペース（green space）またはオープンスペース（open space）と呼称される。ここでまず、本研究で扱う「都市緑地」という言葉の意味内容を明確にしたい。「緑地」の他に多くの研究では「緑被地」の用語も使用されているが、その意味は異なる。「緑地」とは、日本の都市緑地法では、「樹林地、草地、水辺地、岩石地もしくはその状況がこれらに類する土地が単独、あるいは一体となって良好な自然的環境を形成している土地をいう」と記述がある。本研究でも、これを踏襲して「緑地」を定義する。この定義では、植生の特徴について触れられていない。つまり、土地被覆よりも土地利用の観点からの定義がなされており、植生が存在しない領域が「緑地」とされていたり、逆に植生があるにも関わらず緑地として認められない場合がある。例えば公園には砂地、草地、樹林地、水辺地といった多様な土地被覆が存在するが、これら全てをまとめて「緑地」とされている、逆に、住居の庭木は建蔽地の一部とされ緑地にはならない。つまり、「緑地」とは、「宅地、道路、商工業用地などに建蔽されず、空地として持続する土地」のことである。

次に、この「緑地」の定義に対し「緑被地」は植生に覆われているか否かが重要になる。東京都緑被率標準調査マニュアルにおいて、「緑被地」は樹木被覆地、草地、農地、屋上緑化の4区分である。裸地、水面は緑被地に含まれていない。衛星画像を用いての抽出対象緑被地についても同マニュアルにおいて指定されており、本研究では、「緑被地」の定義、抽出範囲をこれに沿って行っていく。緑被地の抽出範囲については図4-1に示す。

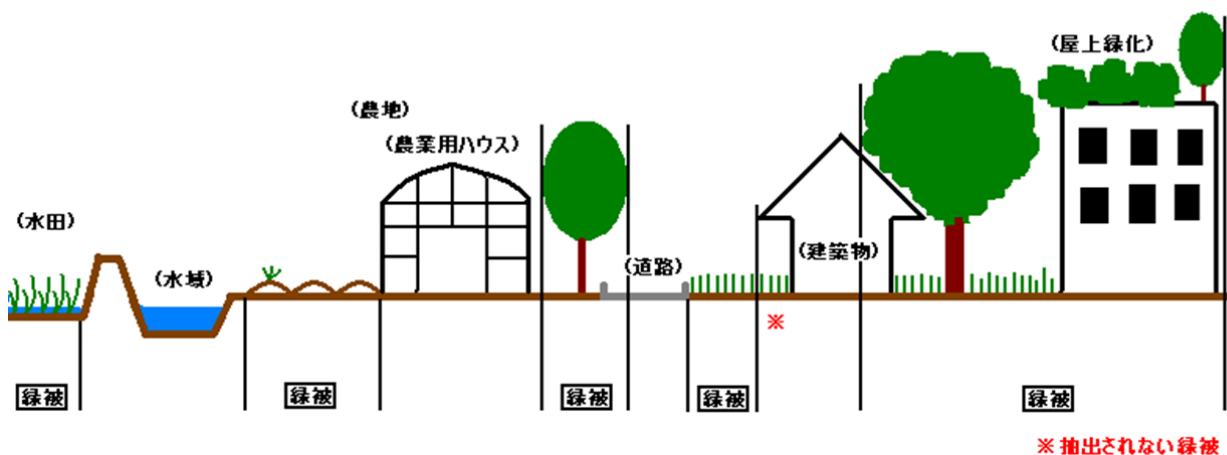


図 4-1 緑被地の定義と抽出範囲

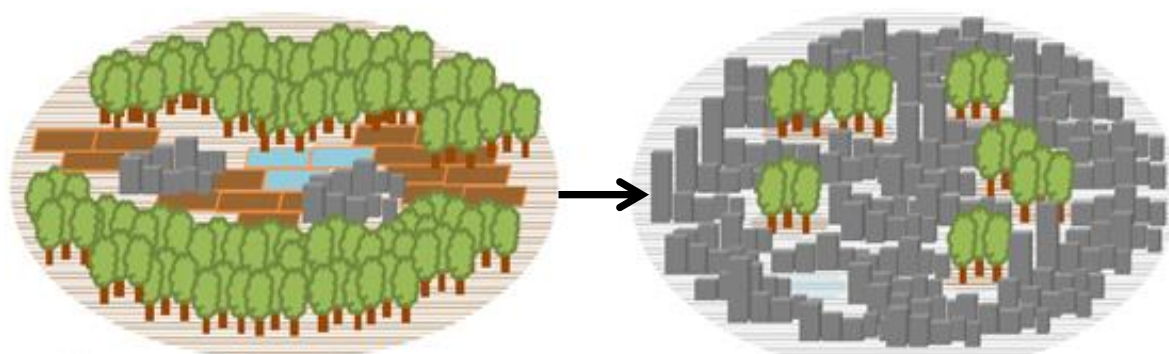
4-1-2 本研究の背景と目的

近年、グローバルな経済発展に伴って世界の諸都市は拡大を続けており、世界各国で大都市圏が形成されている。特に、このような都市化の流れはアジア地域で顕著であり、北京、上海、広州、バンコク、ジャカルタ、ボンベイなどで大都市圏が形成された。現在、人口増加による都市化問題の中で注目されているのがアジアの新興諸国に存在するこれらの大都市圏である。

国連の人口推計を先進国と新興・発展途上国にわけて見てみると、先進国は19世紀に起きた産業革命による急速な都市化によって人口が増え始め、1950年には都市人口が農村人口を上回った。その後、1970年まで先進国の都市人口は世界の都市人口の過半数を占めていた。しかしながら、1975年以後、新興・発展途上国では都市人口が爆発的に増加、先進国を上回った。発展途上国は1970年代以後の非常に短い期間で急激な都市開発を行い、大都市を形成している。その勢いは現在も衰えることなく、世界の大都市の人口の上位10都市の中には2000年で7都市を新興・開発途上国が占め、2015年にはさらに1都市増えて8都市が占めている。

新興諸国の中でも比較的早い時代に開発が始まり、成長を続ける都市として上海市が挙げられる。上海市は、中国においても最も急速な都市化が進行している巨大都市

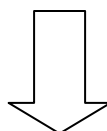
である。しかしながら、近年における急速な都市の巨大化は都市生活においてさまざまな環境の劣化を招いており、様々な問題に悩まされることになった。例えば、都市化の速度に都市のインフラ整備が追いつかなかったために、人口過密やスラム、大気汚染、水質汚濁、ヒートアイランド現象、騒音、交通渋滞、などの多くの環境・社会問題を引き起こした（図 4-2）。



森林, 農地などの
ランドスケープ



都市的
ランドスケープ



ヒートアイランド現象,
大気汚染, 騒音などの環境問題
生物の生息地の分断
近郊地域の農村景観の劣化
生物多様性の減少など

図 4-2 都市化とその引き起こす様々な問題

以上のような環境問題を解決する対策として緑被地の持つ機能が挙げられる。

- 1) 環境への効果：ヒートアイランド現象の防止，酸素の放出と炭素ガスの吸収，熱の遮断効果，防風・防音効果，景観の改善
- 2) 防災効果：延焼の防止，水源涵養・洪水調節
- 3) 人の心身の健康：知識・教養の習得，レクリエーションの場の提供
- 4) 自然との共生：自然生態系の保全，自然と人間との接点の増大

つまり，現在，深刻な環境・社会問題を抱える都市にとって緑被が担う役割というのは非常に大きいことがわかる。ただ，都市の緑被はあればいいというわけではない。多くの人間が暮らし，多くの建物が集中する都市の中で，「どれだけの緑地がどのように分布しているのか」という都市緑地の空間的な分布特性を明らかにするのが重要である。都市緑地は都市ランドスケープを構成する重要な要素の一つであり，都市緑地の量，規模およびその空間的配置パターンは都市の生活環境と生態環境を測定する重要な基準となる（Byomkeshetal 2012）。都市緑地の形状・配置・分布は，土地利用の影響を強く受け自然と人為的要因の相互作用の結果であると解される（高ほか 2000 Luck and Wu 2002）。

都市緑地の維持，管理の課題は，今後の都市計画，都市環境管理計画において重要な関心事である。国家や市区政府の緑地計画においても単に緑地面積の拡張だけでなく，地域的な文化や歴史を含めて成り立つ生態環境を考慮した緑のネットワークの創造や保全，緑地間のネットワーク強化が計画，推進されている（胡 2005）。この目的のために，都市緑地の現況と変化のプロセスを把握し，空間的配置パターンを定量的に分析することは重要な課題である。緑地の定量的評価手法は，ランドスケープ研究の重要な研究課題としてこれまでも国内外で多くの研究の蓄積が見られ，その形状や空間的配置パターンを解析する景観指数（LandscapeMetrics）が提案されている（Turner 1990，Frohn 1998，MaGarigaletal. 2012）。

上海市人民政府は，2020 年を計画目標とする「上海市都市緑化システム計画」を立案し（図 4-3），市全域の緑被率 35%以上を達成目標としてこれまでに国際都市と

して積極的な緑化政策を進めている（張 2002）。このなかで，市街化地区の公共緑地は道路や水路に沿って近郊，郊外の一般緑地と連結し，全体として緑地の連結とその生態的機能を重視しており，さらに時空間的なデータの整備が急がれている。

そこで，本研究の目的は，時系列の人工衛星画像データを用いて上海市における都市緑地の時空間的変動を地図化するとともに，景観指数を用いた緑被地の形状と空間的配置パターンを定量的に提示することにより，上海市における都市化と都市政策に関連した都市緑地の時空間的な変動を解析することにある。さらに，衛星画像の空間分解能の違いが景観指標の算出結果に与える影響について事前評価を行い，有効な景観指数の選択についても提案を行う。



図 4-3 上海市都市緑化システム計画（2002-2020 年）

4-2 研究対象地域と調査方法

4-2-1 対象地域の概要

上海市は中国揚子江（中国では長江と呼ばれている）河口南岸に位置し、北部から東部は江蘇省、西南部は浙江省と接している（図 4-4）。上海市の中心には揚子江につながる黄浦江が流れておりその東側を浦東（Pudong）、西側を浦西（Puxi）と呼んでいる（図 4-5）。租界の形成から都市としての発展が始まった上海市は、1950 年代から 1960 年代にかけては工業都市として発展した。中国では 1978 年に始まった「経済改革・対外開放」政策以降、沿海地域はその恩恵を強く受けて発展してきた。上海市は 1984 年に経済特区として開放され、長江デルタ経済開放地帯が形成された（刘・彭 2001）。さらに、1992 年以降は、新興の開発特区である浦東新区が牽引役となって東アジアの金融・貿易センターとして急速な発展を続けている。長江沿岸都市の発展にもさらに拍車がかかった。

租界時代の旧市街地は黄浦江（Huang Pu Jiang）を遡った浦西にあり、当時の浦東には広く農村景観が広がっていた。その後都市化の進展は急速に郊外へ拡大していくが、同時に中心地区は改革開放を象徴する国際都市を目指して再開発が進み、インフラ、交通網、緑地帯などが整備された。上海万博の誘致以降、さらに新たな浦東国際空港をはじめとする対外交通施設の建設、地下鉄を中心にした市内交通機関の整備で迅速な発展を遂げてきた。上海市の都市環状線をなす高速道路は、中心から外側へ内環線、中環線、外環線、郊環線の 4 つがある（図 4-4）。これらの環状道路が都心と郊外あるいは他の都市とを結ぶ放射状の道路と繋がり、都市圏の構造・開発などに大きな効果を発揮している。本研究の対象範囲は、外環線内側の上海市（約 663km²）に設定した（図 4-5）。この範囲は上海市総面積のわずか 1/10 に過ぎないが、全市の半数以上の人口が密集している。



図 4-4 中国上海市の地理的位置と研究対象地における 4つの環状道路

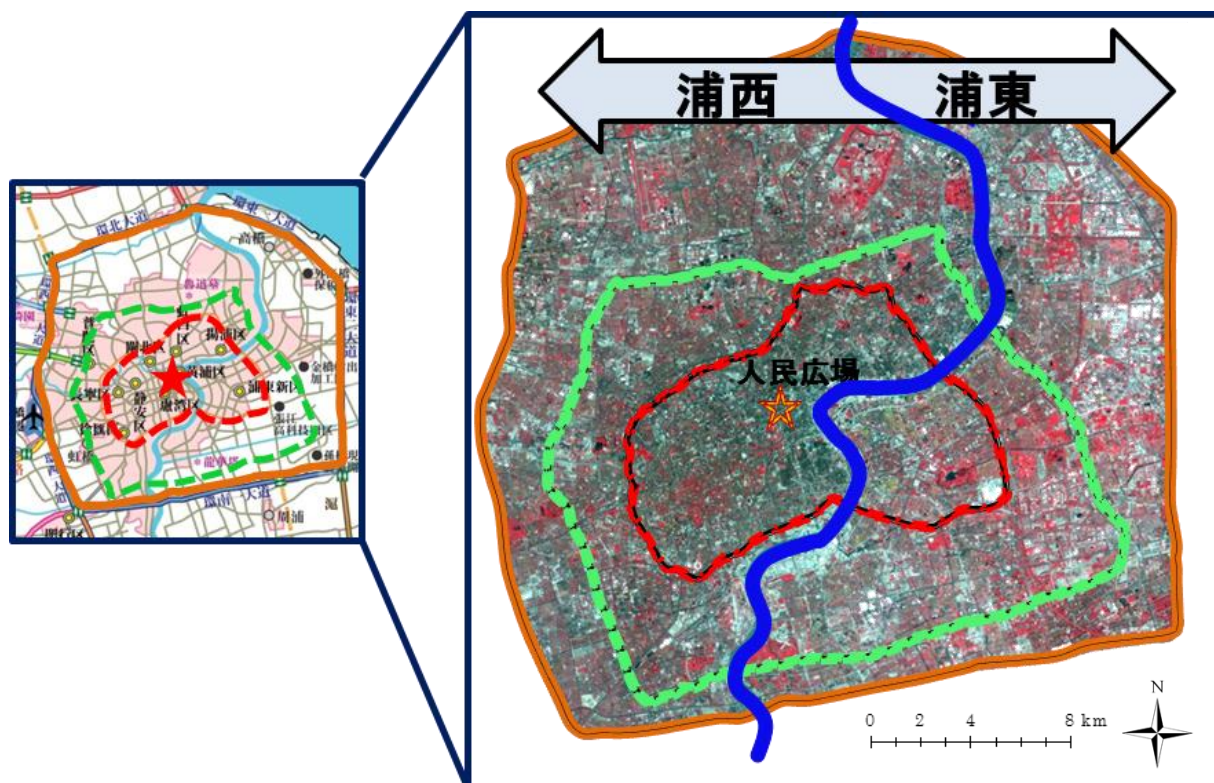


図 4-5 緑被地解析の対象地域

4-2-2 使用したデータと調査方法

本研究では、ALOS Avnir-2 Prism パンシャープン画像（2.5m 空間分解能：2010年1月14日撮影）と Landsat ETM+パンシャープン画像（15m空間分解能：2001年3月13日撮影）を使用して都市緑地の抽出を行った。

画像解析の流れは図 4-6 に示すように、まず両者の衛星画像にまず水域マスクを作成し、NDVI（正規化植生指数）ヒストグラムから植生域と非植生域に大きく区分した後、目視判読によって植生被覆域、人工構造物被覆域、水域の3カテゴリーの土地被覆分類図を作成した(図 4-7)。これにより、緑地と非緑地の2値化した緑被地分布図を作成したが、この際緑被地の図化最小単位を1haと設定した(図 4-8)。精度検証は、ランダムに発生させた305点について Google Earth 上の Geo-Eye1 画

像による目視判読でトレーニングサンプル（教師データ）を作成し、Kappa 係数を用いた統計的な手法で実施した（図 4-9，表 4-1）。

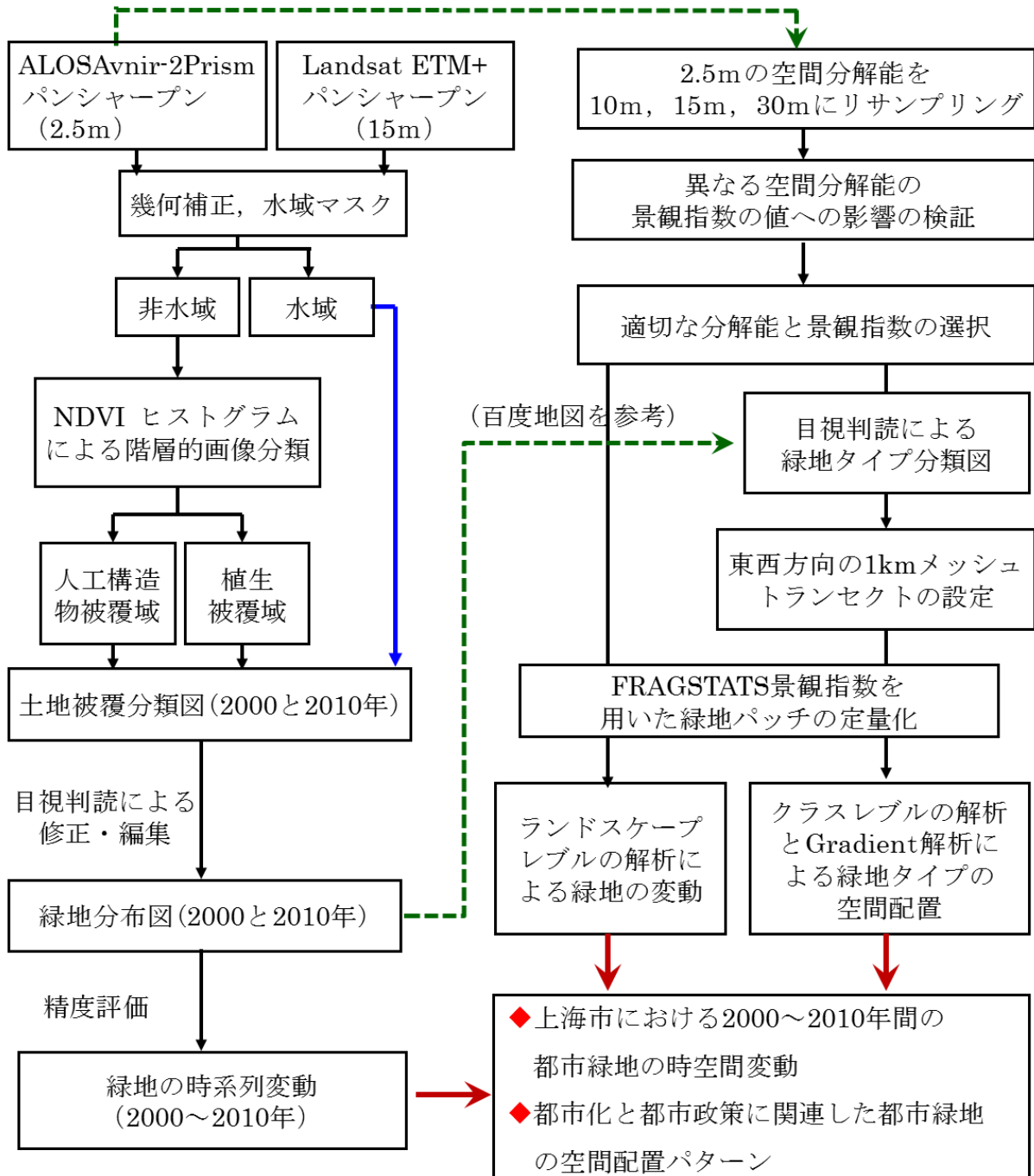


図 4-6 本研究のプロローチャート

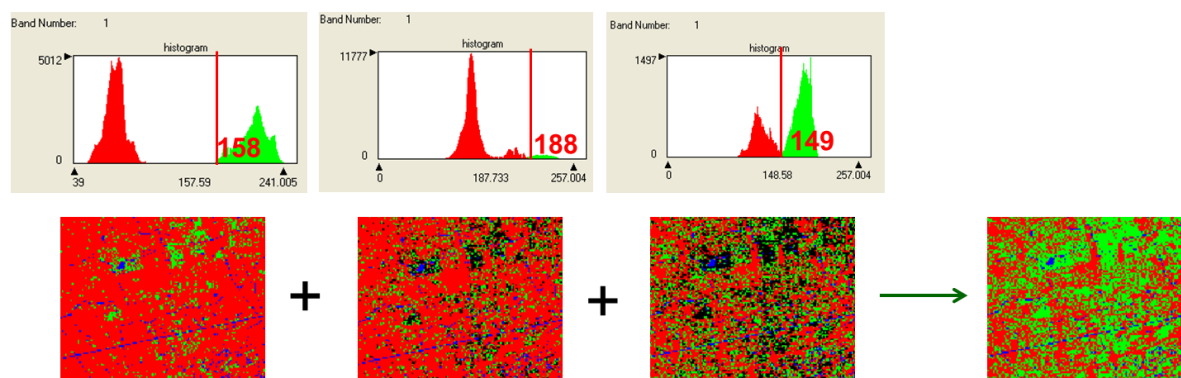
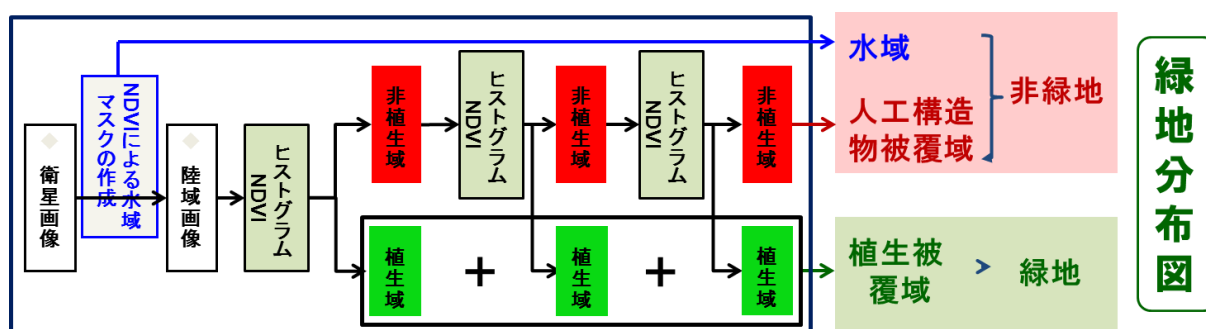


図 4-7 緑被地分布図作成の手順

さらに、緑被地タイプの細分は Google Earth とインターネット地図である百度 (Baidu : <http://map.baidu.com>) を参照し、中国の都市緑地分類の国家標準 (CJJ/T85-2002) に基づいて目視判読で行った。景観指数の解析では、まず異なる空間分解能の主題図が景観指数の値に与える影響を事前に評価するため、2010年の緑被地分布図 (空間分解能 2.5m) を 10m, 15m, 30m にリサンプリングしてそれぞれの景観指数を算出し、その変動を確認した。景観指数の選択にあたっては、緑被地パッチの面積やエッジ、形状の複雑さ、集塊の度合いの 3 つの指標に着目し、既往研究を参照して行った。ここで言う緑被地パッチとは、緑に被覆された一塊の空間を意味する。景観指数の算出には、米国マサチューセッツ大学で開発された FRAGSTATS ver.4 を使用した (MaGarigal et al.,2012 : <http://www.umass.edu/landeco/research/fragstats/fragstats.html>)。

4-3 結果と考察

4-3-1 緑被地の抽出精度と時系列変動

2000年と2010年の衛星画像分類により抽出された緑被地分布図を図4-8に示す。それぞれの精度評価の結果は、2000年では総合分類精度が85.9% (Kappa係数0.70)、2010年では総合分類精度93.1% (Kappa係数0.80)を示し、緑被地景観の定量的解析に対して十分に耐用する高い分類精度が得られた(図4-9, 表4-1)。

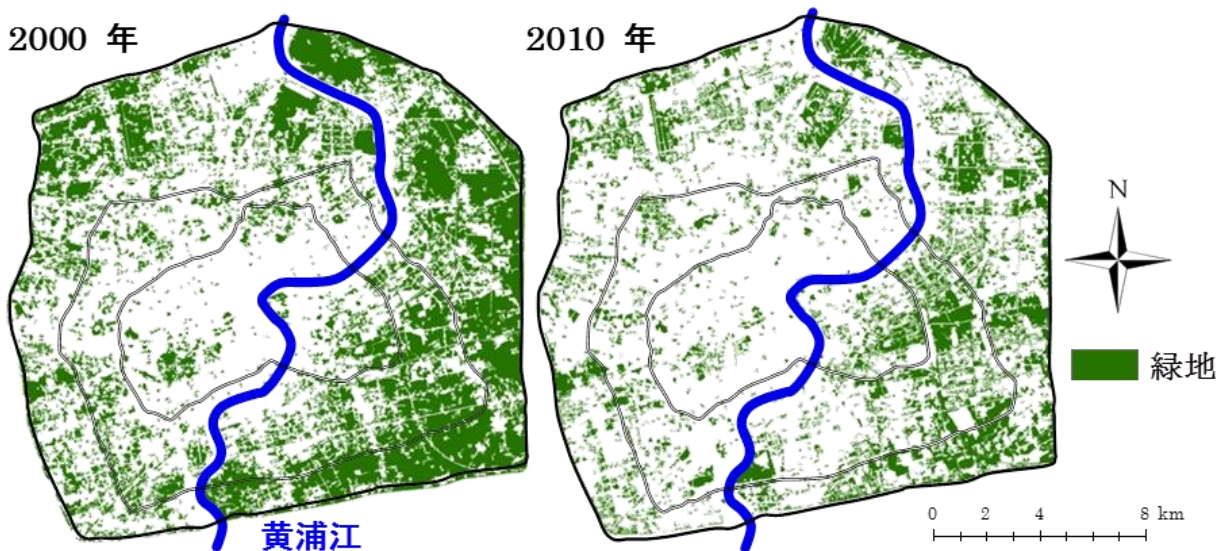


図4-8 2000年と2010年における緑被地分布図

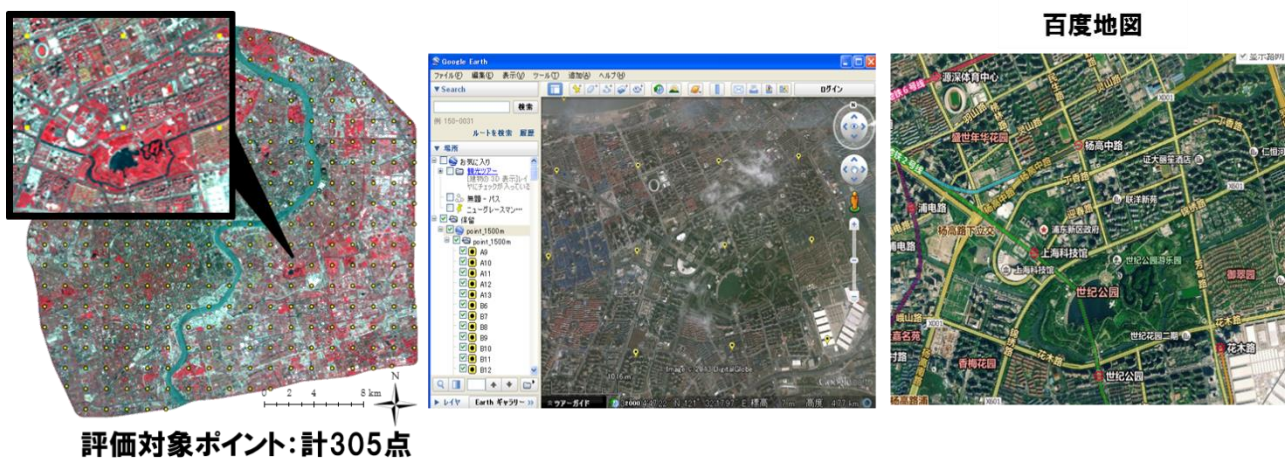


図4-9 精度評価のトレーニングデータ

表 4-1 2000 年と 2010 年の都市緑地分類図の精度評価の結果

	2000 年			2010 年		
	PA	UA	K _{hat}	PA	UA	K _{hat}
緑地	89.5	87.1	0.73	93.3	97.8	0.89
非緑地	80.4	83.8	0.68	92.4	79.2	0.73
Kappa 係数	0.70			0.80		
総合	85.9			93.1		
分類精度	85.9			93.1		

PA:プロデューサ精度 ; UA:ユーザ精度 ; K_{hat}: Kappa 係数

対象地域における緑被地面積は、2000 年に 23,862ha（緑被地率 36%）であったのが 2010 年には 15,094ha（緑被地率 22.8%）となり、その減少率は 37%であった。さらに、2000 年に 1,027 個あった緑被地パッチ（平均面積：23.2ha）は 2010 年に 1,898 個（平均面積：8ha）となり、その変動は個数で 85%の増加、平均面積で 65%の縮小となり、総体として緑被地は減少しつつ分断化が進んでいることが明らかになった。

研究対象地を浦西、浦東と内環、中環、外環により、浦西内環、浦西中環、浦西外環エリアと浦東内環、浦東中環、浦東外環エリアの 6 つに分けて変化を解析した（図 4-10）。そのエリア別の特徴を見ると、すべてのエリアで緑被地率は減少していた（図 4-11）。なかでも、浦東の外環エリアでは減少率が 57%と一番高く、次いで浦東の中環エリアと浦東地区で高い値を示す一方で、都心に近い浦東の内環エリアでは 4%であった。緑被地パッチの単位でも、すべてのエリアで個数が増加し平均面積は減少している（図 4-11）。特に、浦東の外環エリアではその変化が極めて顕著で、パッチ数は 3 倍以上、平均面積は 86%以上も減少した。浦西の外環エリアでも、緑被地パッチ数は 60%と高い増加率を示し、都市から遠ざかるほど緑被地の分断化が進行している。



図 4-10 上海市中心部のエリア区分

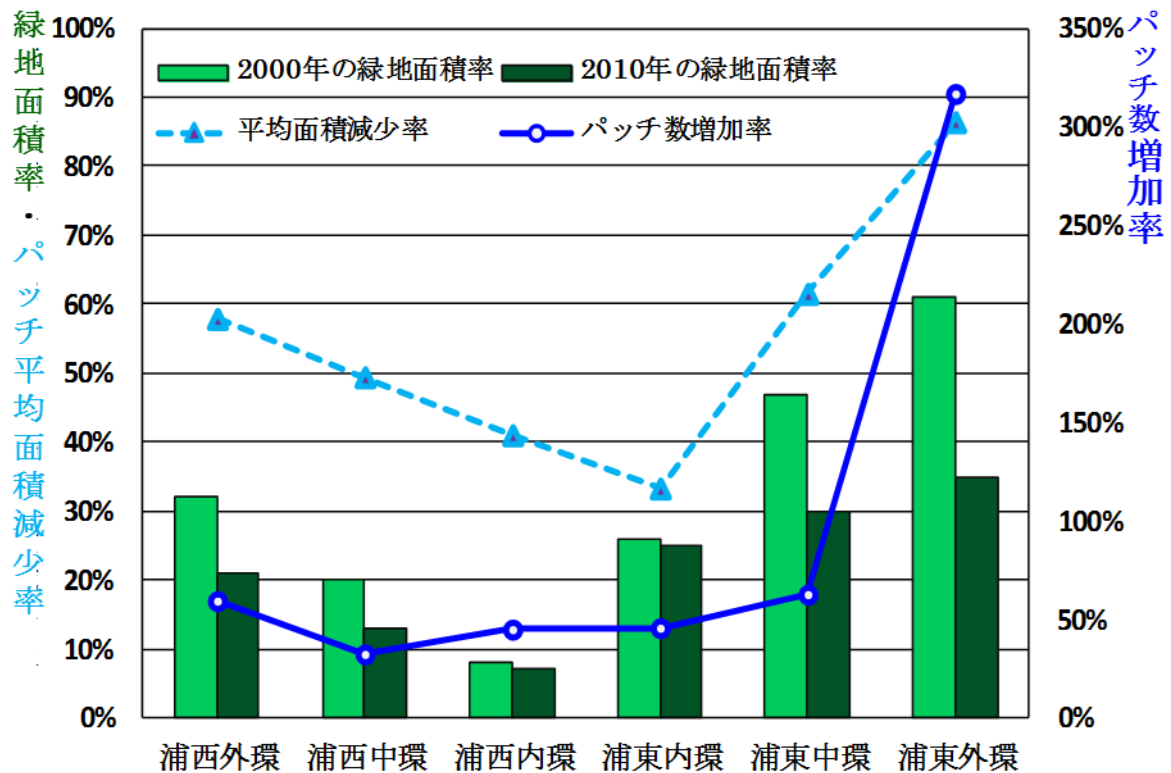


図 4-11 エリア別の緑地変動（2000年～2010年）の特徴

4-3-2 空間分解能と景観指数の決定

衛星画像の空間分解能（ピクセルサイズ）の違い（図 4-11）が景観指数の算出結果に如何に影響するかを事前に把握することは、異なる衛星センサから抽出した緑被地分布図を用いて時系列的変動を議論する際に重要なステップである。本研究で採用した景観指標は、面積・エッジの指標から Percentage of Landscape (PLAND), Patch Area Mean (AREA-MN), Largest Patch Index (LPI), 形状の複雑さの指標から Area-Weighted Mean Shape Index (SHAPE-AM), Perimeter Area Fractal Dimension (PAFRAC), Landscape Shape Index (LSI), 集塊性・分断化の指標から Number of Patches (NP), Patch Density (PD) の 8 つである（表 4-2）。

結果は図 4-12 に示すように、PLAND, SHAPE-AM, PAFRAC の 3 の指標は空間分解能の違いによって指数値に大きな変化はなく、ピクセルサイズによる影響を受けないことがわかった。LPI と AREA-MN はピクセルサイズの増大によって指数の値も大きくなるが、LPI ではその傾向が 15m でピークとなり 30m で減少に転じた。LSI の値は、ピクセルサイズの増加に伴って連続的に減少した。NP と PD はどちらもパッチの分断度を指標する指数であるが (MaGarigaletal.,2012), ピクセルサイズの増大に応じてともに指数値は僅かに減少していく傾向を示した。ここでは、100ha あたりの密度を示す PD を用いて分断化を指標させた。本研究では、景観指数の時系列的な解析を進めるにあたり、2000 年と 2010 年の緑被地分布図のピクセルサイズを 15m に統一して解析を進めることにした。

表 4-2 採用した景観指数の詳細

景観指数	内容
PLAND	景観全体に占める割合 (%)。0<PLAND≤100。
AREA-MN	パッチの平均面積 (ha)。AREA-MN>0。
LPI	最大パッチ面積の景観全体に占める割合 (%)。0<LPI≤100, 値が大きいほど、その優占度は高くなる。
LSI	パッチの周長と面積の割合で示す形状指数。LSI≥1, 値が高いほど複雑度が高い。
SHAPE-AM	パッチの面積によって加重値が付与されるパッチ形状指数の平均値。SHAPE-AM≥1, 値が高いほど複雑度が高い。
PAFRAC	パッチの周長と面積割合のフラクタル次元化。1≤PAFRAC≤2, 形状が単純の場合 1 に近づき、複雑の場合値は 2 に近づく。
NP	パッチの個数。NP≥1, 値が大きいほど分断化の度合いが高い。
PD	100ha 当たりのパッチ数。PD>0, 値が大きくなれば、分断化の度合いが高い。

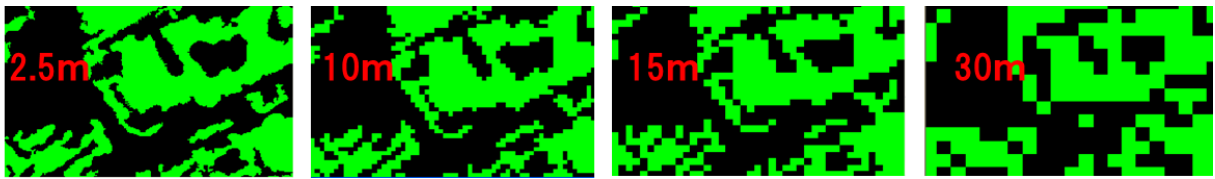


図 4-11 ALOS Avnir-2 Prism パンシャープン 2.5mの空間分解能を
10m, 15m, 30mにリサンプリングした画像

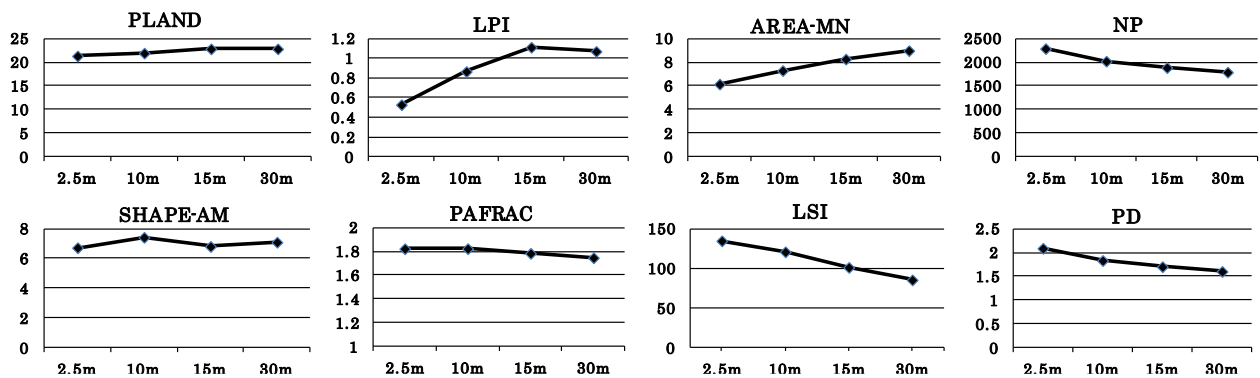


図 4-12 ピクセルサイズによる景観指数の変化

4-3-3 緑被地の時系列変動 - ランドスケープレベルの解析

ここで、ランドスケールレベルの解析とは土地被覆の中から緑被に覆われている景観の特徴を景観指標の計算結果から解析することを指す。本研究では、緑被地の形状と空間パターンの経年変動について 2000 年と 2010 年の緑被地分布図をもとに解析した。前述の 8 つの景観指数のなかから、空間分解能の差異による影響が比較的少ないと判定された PD (パッチの分断化) と PAFRAC (パッチ形状の複雑さ) を採用し、浦西と浦東地区の内環、中環、外環エリアごとに 2 時期の値を 2 次元投影して変動の方向性や変動量を検討した (図 4-13)。

この図の中で、矢印線の長いほど緑被地パッチの形状がより複雑化し、線の傾斜角が大きいほど緑被地パッチの分断化が進んでいる様子を表している。

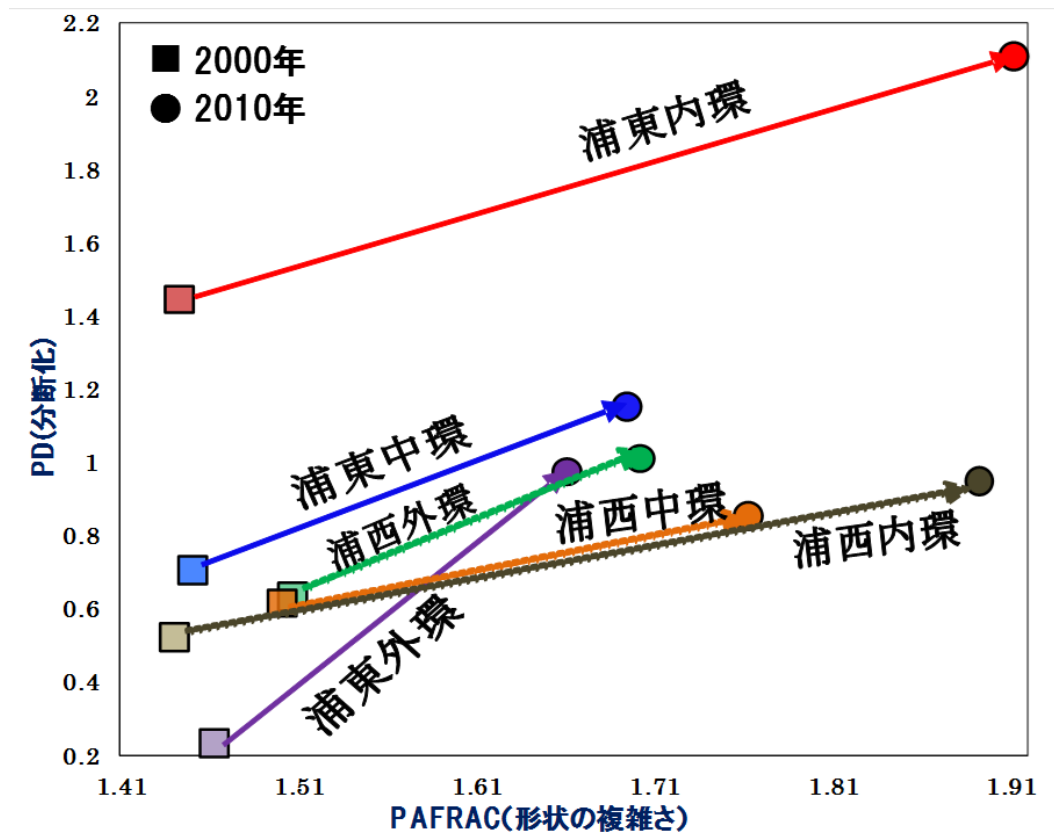


図 4-13 エリア別の PAFRAC と PD の時系列変動

対象地域全体として、2000年～2010年の間に緑被地パッチの分断化，形状の複雑化は進んでいる。しかしながら，その特徴は一様でなく黄浦江を境に浦東と浦西で，また都心からの距離に応じてかなり異なった様相を呈している。浦東は経済特区として急速に開発が進行し，緑被地は都市化の影響を強く受けていることが予想される。これには単に緑被地の破壊だけでなく，大規模な公園整備，緑化も2010年に開催された上海万博の会場周辺（浦東内環エリア）で行われた。結果として，相対的に浦東では浦西に比べて緑被地パッチの分断化の度合いが大きくなっている。一方，旧市街地である浦西の内環エリアや近接の中環エリアでは，分断化と比較すると，緑被地パッチの形状の複雑化の方がより顕著である。このエリアには，上海市人民政府の総合都市計画によって住宅区や歴史・文化区に公共緑被地が確保され，歴史的景観を保持しながら新旧が融合する都市景観が作られている。その結果，不規則に密集している

高層ビル・建物の中にさまざまな大きさ、かたちの人工緑地がモザイク状に配置され、全体としての緑被地パッチ形状は極めて複雑化したと考えられる。

4-3-4 現況の緑被地タイプの空間的配置 - クラスレベルの解析

ここで、クラスレベルの解析とは都市緑地のタイプごとに景観構造特性を景観指標の計算結果から解析することを指す。この解析のために、2000年と2010年における都市緑地を公園緑地、付属緑地、生産緑地、防護緑地とその他緑地の5つのタイプに分類した(図4-14)。分類の際には分類基準(CJJ/T85-2002)を参考した(表4-3)。

上海市の都市拡大は浦東、浦西地区とで対照的な広がりを見せているため、旧租界に近接し今日の上海市の中心地である人民広場から浦東、浦西両地区に伸びる東西方向に1kmのメッシュトランセクト(Transect)を設定し、緑被地タイプ別の景観指数の空間的配置パターンを検討した(図4-15)。ここでは、上海市の緑被地の約8割を

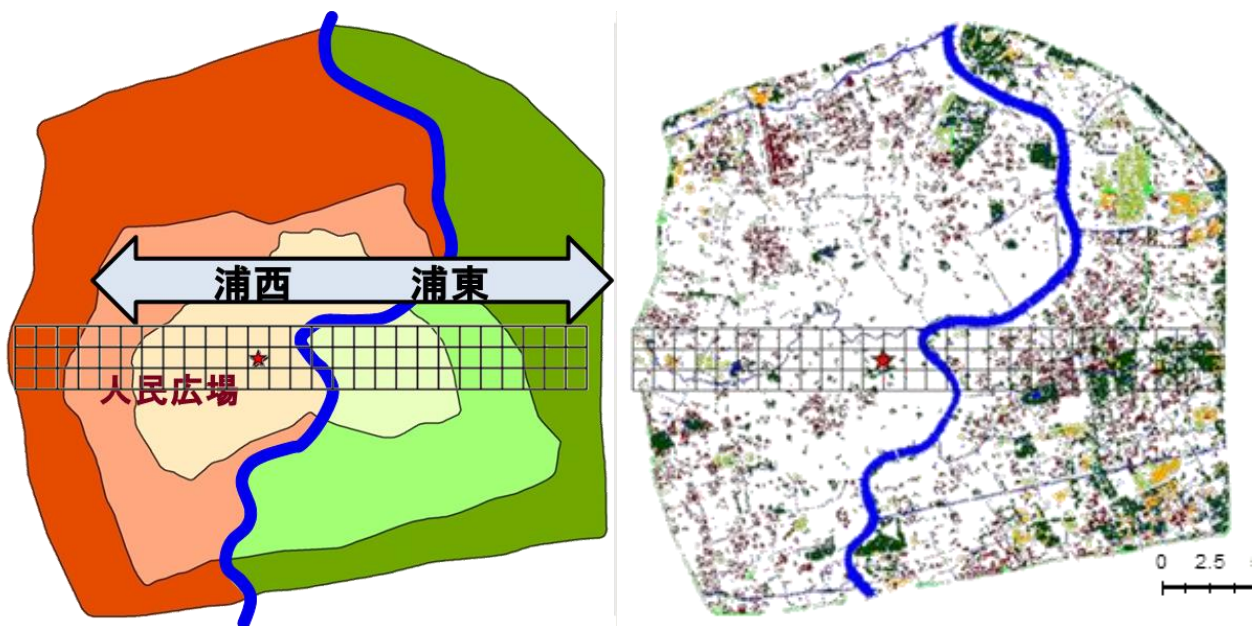


図4-14 左：設定した東西方向の1kmのメッシュトランセクト(Transect)
右：緑地タイプの区分(2010年)

構成する公園緑地（41.5%）と付属緑地（38.8%）に注目して解析した。

メッシュサイズの1km²は、緑被地パッチの平均面積、最大面積を考慮して設定したが、今回はさらに同じサイズのメッシュ（Moving Windows）をトランセクトの両側に発生させ景観指数の値の平均化を行った。この手法は、都市緑地の構造と配置パターンをより定量的に表現できることが実証されている。

表 4-3 緑地タイプの分類基準（CJJ/T85-2002）

緑地タイプ	内容及び範囲
公園緑地	各タイプの公園，居住区公園，動物・植物園，街道広場緑地
付属緑地	居住地，公共施設，工場と市政施設用地などの緑地
防護緑地	道路防護緑地，防風林，隔離林帯，電線緑帯
生産緑地	農地，苗木・花・草などの畑
その他緑地	都市建設予定地の中の緑地

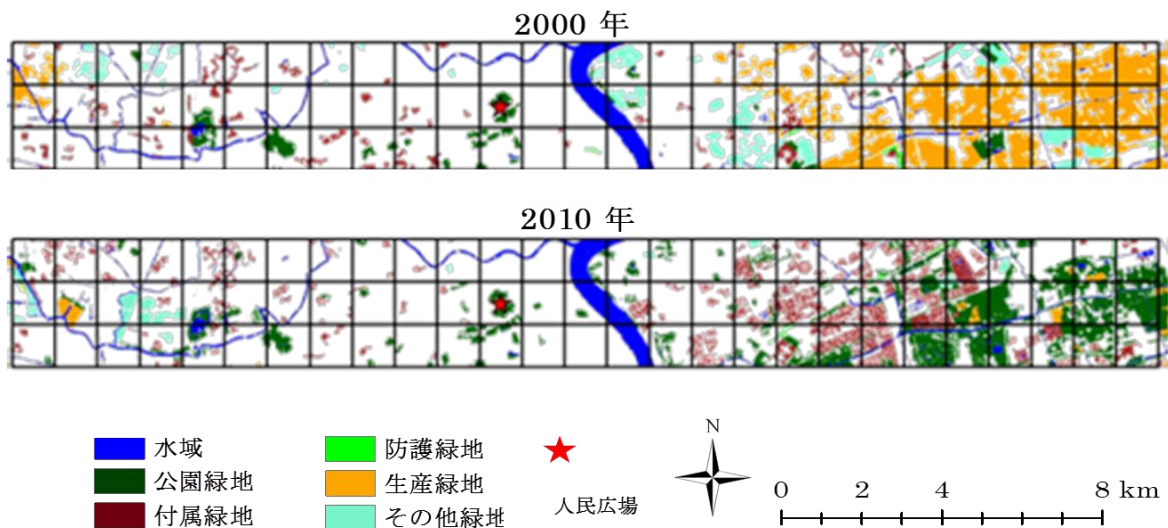


図 4-15 1km のメッシュトランセクト（Transect）で切り出した緑地区分図

計算した景観指数を図 4-16 のようにグラフで示す。解析の結果、公園緑地が浦東地区で著しく増大したのが特徴的である。PLAND（面積占有率）の激増は、浦東の中環、外環エリアにおける農地から転用された大規模な公園緑地開発によるものである。これらの公園緑地は都市緑地のオープンスペースとして開放され、道路等も急速に整備された結果、緑被地の分断化の度合いは高く形状も複雑なものになった。一方、浦西での変動は浦東ほどに大きくないものの、郊外地区（中環、外環エリア）における公園緑地の分断度と形状の複雑さの指標値が増加した。付属緑地も浦東地区における変動が顕著である。2000年の段階で未開発地区が広がっていた内環外側の浦東では、特に中環エリアでこの10年間で建築された高密度な集合住宅地開発の結果、PLANDの値は大きく増加した。その他の指標値も浦東の内環と中環エリアで増大しており、新興開発地区における中・高層集合住宅地の居住環境を考慮した人工緑化の特徴を表している。浦西では、外環エリアの場合は浦東同様にすべての指標値が増加

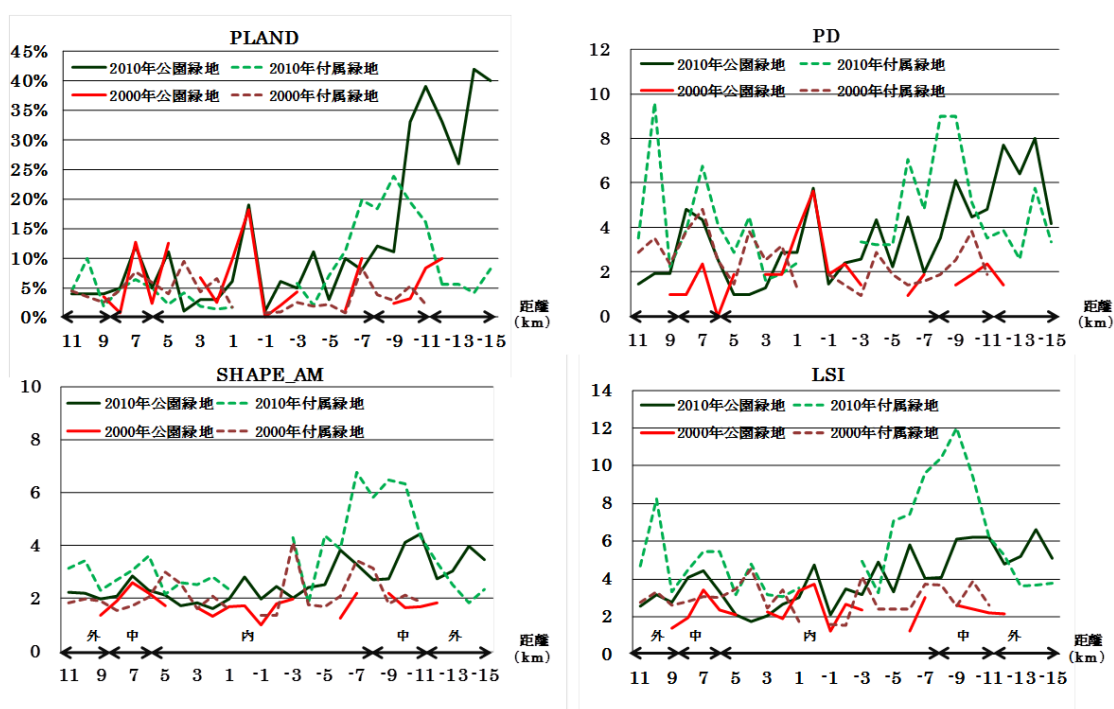


図 4-16 東西断面に沿う緑地タイプ別の景観指数の変化

傾向を示す。しかし、内環、中環エリアの PLAND の値は減少しつつも分断化と形状の複雑さの指標は増加している。これは、都心地で国際的な大都市を目指した旧市街を改造する大規模な再開発（高層建造物の集積と人工緑化）が行われた結果と思われる。

4-4 都市緑被地解析の結論

上海市外環状線内を対象としたランドスケールレベルでの景観指数の時系列変動、および浦東・浦西地区を東西方向に横切る Transect に沿うクラスレベルでの緑被地の形状と配置パターンを解析した結果、緑被地景観はエリア別に異なる変動プロセス、特徴的な空間的配置パターンを示すことが明らかにされた。都市における緑被地分布の時空間的変動は、都市化のプロセスに大きく影響を受けている (Maetal,2005)。都市化の DrivingForce (推進力) としては、通常人口と経済の集積が考えられるが、中国の大都市における緑被地分布は都市開発と都市の環境 (緑地) 政策が強く影響することが報告されている (KongandNakagoshi,2006)。上海市においても、都心における道路等のインフラ整備と都市再開発、不動産開発、住宅地開発の進展と大きく関連すると考えられる。実際に、2009 年末の上海全市における道路の長さは 2000 年の時以上のように、景観指数の示す 2000 年から 2010 年までの都市緑地の景観変化は、付属緑地で著しく分断化が進行し、パッチの形状が複雑化していることが明らかになった。このことは、上海総合交通企画 (2000-2020) により進行してきた市街地内の点に比べて 195%増大し、取り壊された旧居民住宅の面積は 212%増加し、新たに建設された建物の面積は約 255%、そのうち 8 階以上の高層建物は 331%も増加した (上海統計年監 2011)。都市再開発は緑地の分布形状に大きな変化をもたらしており、伝統的密集低層住宅地から都市型の高層集合住宅に変わったり、および新たに建設されたりすることで、建造物を取り囲んでいる、より複雑な形状の緑地が増加している。一方、黄浦江と揚子江に挟まれた、昔から密度の高い水路網に沿って小規模の散居集落が多く分布していた浦東地区では 1990 年代以降の浦東新区国家プロジェ

クトとして、陸家嘴金融センター地区、金橋輸出加工工業区、張江ハイテク産業パーク、外高橋保税区、上海浦東国際空港などの大規模な新市街地開発が急速に進められた結果、農地は開発に収用され、面積が激減した。また、2010年の上海世界博覧会に向けて、上海都市圏では港湾、空港、高速道路などの交通基盤の整備が急速に進められ、緑被地の分断化、形状の複雑化は一層高まった。それに対して、行政府は市街地蔓延の抑制、都市自然生態環境の改善、都市近郊農業の保護としてくさび形緑地を計画した。実際に、上海市緑地システム計画では旧市街地を中心とした都市居住環境の劣化を憂慮し、外環線内側に都心と郊外をくさび形に連結する8つの大規模緑地公園を建設し、そのうちの5つは浦東新区の各新規開発市街地の間に配置された（図4-17）。これにより、浦東には公園緑地が他を圧倒する高い面積占有率を示す結果となった。



図4-17 浦東開発とくさび形緑地の概略図

上海市都市緑地システム計画では、都市緑地は多くの生態系サービスを有し、その便益は実際の緑地の質と量に大きく依存するものとしている。今後、都市景観の向上に寄与する市街地内の比較的小規模な付属緑地と環境保全や多様なレクリエーションに需要に対応する郊外の大規模の公園緑地のネットワーク化を促進するとともに、経済発展と環境改善を両立させる政策を支援する緑地情報の整備が必要である。このためにも、本研究で提示したような緑地の時空間データベースの構築はこれまでの都市緑地を維持・管理することと、将来的な緑地の保全・創出に関する基本的な方向や政策の検討に有効であると考えられる。

4 章の参考・引用文献

- Byomkesh, T., N. Nakagoshi and D. Ashraf 2012 : Urbanization and green space dynamics in Greater Dhaka, Bangladesh. *Landscape and Ecological Engineering*, 8(1), 45-58p .
- Frohn, C. 1998 : Remote Sensing for Landscape Ecology: New Metric Indicators for Monitoring, Modeling, and Assessment of Ecosystems. Lewis Publishers, Boca Raton, Florida, 99 pp.
- 胡運華 2005 : 上海市中心城区生態綠化的研究. 城市管理世紀論文會議文集, 38-40p .
- 高峻, 揚名靜, 陶康華 2000 : 上海城市綠地景觀格局的分析研究. *中國園林*, 16(67), 53-56p.
- Kong, F. and N. Nakagoshi 2006 : Spatial temporal gradient analysis of urban green spaces in Jinan, China, *Landscape and Urban Planning*, 78(3), 147-164p.
- Luck, M. and J. Wu 2002 : A gradient analysis of urban landscape pattern: a case study from the Phoenix metropolitan region of USA, *Landscape Ecology*, 17, 327-339p.
- Ma, K., L. Zhou, S. Niu and N. Nakagoshi 2005 : Beijing urbanization in the past 18 years. *Journal of International Development and Cooperation*, Hiroshima University, 11, 87-96p.
- McGarigal, K., Cushman, SA., and Ene, E. 2012 : FRAGSTATS : Spatial

Pattern Analysis Program for Categorical Maps. University of
Massachusetts Amherst, USA.

<http://www.umass.edu/landeco/research/fragstats/fragstats.html>

Pham, D. and N. Nakagoshi 2007 : Urban green space gradient analysis and
building eco-network in Hanoi, Vietnam Discussion Paper Series, 5, 1-28p.

Turner M. G. 1990 : Spatial and temporal annals landscape patterns,
Landscape Ecology, 4 (1), 21-30p.

張式煜 2002 : 上海城市綠地系統規畫. 城市規劃匯刊, 142, 489-492p.

國家統計局 2011 : 上海統計年監2011. 中國統計出版社, 北京, 449 pp.

5. 都市近郊緑被地解析（バンコク首都圏）の事例

5-1 研究の背景

近年，アジア新興諸国における都市化の進展は，これまでの先進諸国が経験した都市化のプロセスとは全く異なったものである。それは急速な経済発展のもとで急激な人口増加を伴っており，大都市において産業，人口の一極集中が著しい。経済活動の集中が作用し経済発展の一翼を担ったと言える半面，バンコク，ジャカルタ，マニラに代表される首都圏での交通混雑，居住環境の悪化，都市貧困層の増加は広く知られた問題である（藤田，柳下 2005）。特に，アジアの巨大都市（Mega-Cities）では巨大な都市人口を抱える都市部と広大な周辺の農村部が明瞭な境界のないまま広がるという特徴を持っている（Takeuchi, Hara 2006）。その結果，都市域の特徴である人工構造物と農村部の特徴である農地などが同じ地域に見られて，都市農村混在地域と呼ばれている（図 5-1）。



図 5-1 バンコク郊外における都市農村混在景観

McGee & Robinson(1995)は、ASEAN 諸国における近年の都市化の状況を特に「Mega-Urbanization」と呼び、人口は世界的なレベルで巨大都市に集まるが、それらの大都市地域の中では分散する形態をとると論じた (Sato 2000)。このことは、都市化による環境問題の発生が単に都市内部にとどまらず、近郊・郊外地域においてもさまざまな憂慮すべき環境問題を引き起こす要因となることを意味している

バンコク首都圏 (Bangkok Metropolitan Region : BMR) は、バンコク都 (Bangkok Metropolitan Administration : BMA) と周辺 5 つの県 (Changwat) から構成されており、タイ王国における高い経済成長を支える中心地として機能している。こうしたなかで、1980 年代以降バンコク都の都心部では人口が減少する一方、近郊地域では急激な人口増加が続いている (Nakagawa 1997)。一般的に、大都市圏の土地利用変化は、近郊の農業的土地利用が都市的機能の土地需要の増大に伴って都市的土地利用に変化する (Kikuchi *et al* 2001)。その様相は国によってさまざまであるが、アジアの新興国の場合、まず都市と農村の経済格差によって地方からの人口が職や現金収入を求めて流入し都市域が無秩序にスプロール的に拡大する傾向が特徴的である。

バンコク首都圏が位置するチャオプラヤ河下流のデルタ地帯は、歴史的に同国最大の穀倉地帯であり、広い範囲で伝統的な水田農業地帯が展開している。都市域の拡大はこうした農地のなかへスプロール的に進行してきており、今後の地域環境・生態系への悪影響が危惧されている。しかしながら、現状ではそれらを的確に把握する十分な空間データが整備されておらず、実際の都市・地域計画も現実に即したものであるとは言い難い。土地利用の変化は、地域の自然環境のみならず社会・経済環境および文化などの諸環境の変化を敏感に反映するものであり、その変化を把握することは地域の性格や環境変化の問題を解明していくための鍵となる。バンコク首都圏を対象とした土地被覆(land cover)・土地利用(land use)の時系列変化を扱った研究はこれまでにいくつか行われているが (Usuda 1997, Alinda *et al* 2002, Yamashita 2011), すでに報告事例が古く最新の状況が扱われていなかったり、解析の土台となる衛星画像データの解像度が低く詳細な変動の把握に課題が残されている。そこで、本研究では

最新の高分解能衛星リモートセンシング画像の解析と既往の GIS データを統合的に活用することにより、近年の都市域の拡大状況と周辺近郊農業地域における土地利用・ランドスケープの時空間的な変化を把握する地図情報の整備を行った。高解像度で図化されたデータである故に、本研究では単に面積や密度の数量的把握にとどまらず、ランドスケープパッチ分析 (Landscape Patch Metrics) の手法を用いて土地利用・ランドスケープの混在度の解析を行い、都市近郊・郊外地域に広がる無秩序なスプロール現象により、伝統的な農地が都市的土地利用へと変貌する様相と、その結果として出現した現在の都市化と近郊農業地域のランドスケープの空間配置の特徴を明らかにすることを試みた。

5-2 研究対象地域と調査方法

5-2-1 対象地域の概要

本研究の対象とするバンコク首都圏 (Bangkok Metropolitan Region : 以下, BMR と呼称する) の範囲は、タイにおける 76 の行政単位である県 ((Changwat) の一つであるバンコク都 (Bangkok Metropolitan Administration : 以下, BMA と呼称する) とそれに隣接する Nontaburi, Pathum Thani, Nakhon Pathom, Samut Sakhon と Samut Prakan の 5 県の 6 行政区から構成されている (図 5-2)。その面積は、BMA で 1,565km², BMR 全体で 7,760km² である。参考として、東京 23 区的面積は 621km², 東京首都圏面積は 3,600 km² であるので、首都圏域の面積としては東京首都圏よりはるかに大きい。1980 年代から 1990 年代前半にかけてタイは大きく経済成長し、これに関連してバンコク首都圏の都市化、工業化は、地方や農村からの人口流入と外国企業の進出などにより著しく進んだ。1990 年代後半のタイ経済の低迷期においても、バンコク首都圏の都市化、工業化は高度経済成長期に比べてその程度は弱くなっているが、大都市への人口や資本の集中は継続している。その結果、バンコク首都圏における都市的土地利用と農業的土地利用の競合は留まることなく進行し、農業的土地利用は縮小傾向を一層強めている。特に、アーバンフリンジでは無秩序に開発が進

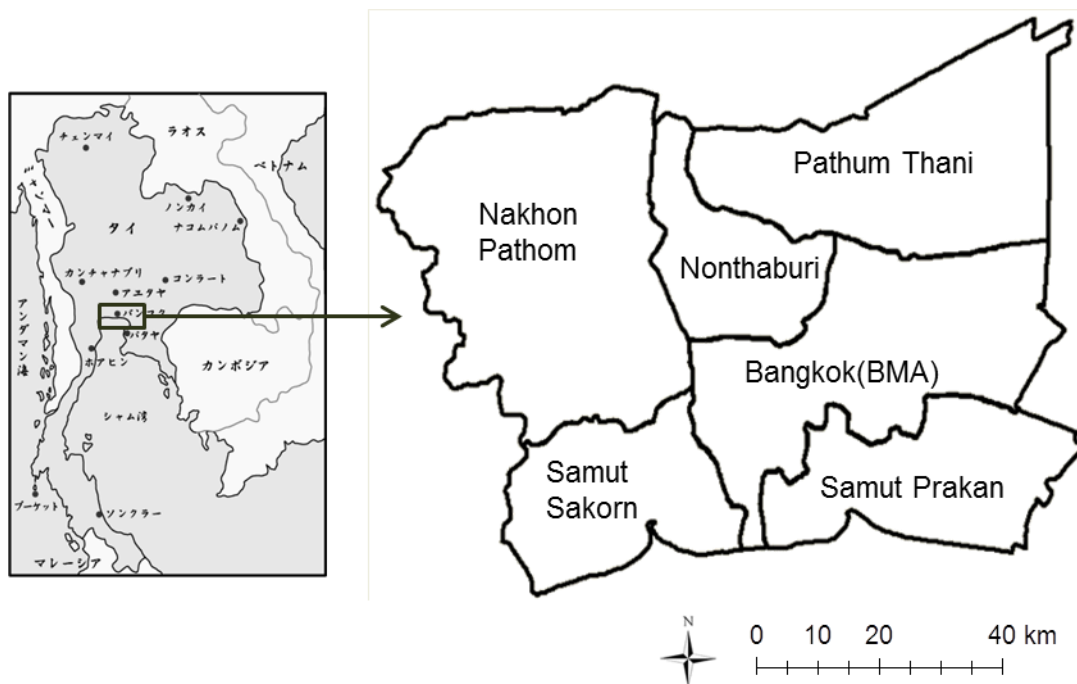


図 5-2 本研究の研究対象地

む工業団地や住宅地が伝統的な農村ランドスケープを破壊して侵入し（図 5-1），農業環境を悪化させるばかりでなく，農民の生産意欲を低下させ農業的土地利用の持続性を阻害する要因の一つにもなっている。

5-2-2 使用したデータと調査方法

本研究の意義を特徴づける点の一つとして，土地被覆・土地利用解析の土台となる空間情報の解像度（resolution）が極めて高いことがあげられる。それらは，2003年にタイ全土で撮影された縮尺 1:10,000 のカラー空中写真をオルソ化（ortho-rectified）したデータセット（空間分解能 50 cm）と 2008 年と 2009 年に取得した ALOS Avnir-2 Prism Pansharpen 画像（空間分解能 2.5m）の衛星リモートセンシング画像である。

タイ王国土地開発局（Land Development Agency, Thailand）は，同国における土地利用図の作成を担っている国家機関であり，近年では GIS で用いることのできる

土地利用デジタルデータの整備を進めている。そこで、本研究では同機関が 2000 年頃に撮影された Landsat ETM 画像の目視判読によって作成した土地利用図（32 カテゴリー）と上述の 2003 年に撮影されたオルソ空中写真の目視判読で作成された土地利用図（32 カテゴリー）を解析の素材として用いた。後者の土地利用図は高分解能なオルソ空中写真をベースとしているので詳細な土地利用ポリゴンが描かれており、その分類精度も高いと評価できる。しかしながら、作成されてから既に 7 年以上が経過しており、急速なバンコク首都圏の土地利用変動を鑑みれば既に out of date な情報である。そこで、本研究では ALOS Aninir-2 画像（10m 空間分解能：2008 年 12 月 17 日撮影，2009 年 11 月 21 日）と同日撮影の Prism 画像（2.5m 空間分解能）を入手してパンシャープン処理を行い、先の 2003 年の土地利用図の更新判読に供した。さらに、2000 年を遡って都市の拡大過程，土地被覆の変動を検討するために、1994 年 10 月 25 日に撮影された Landsat TM 画像（30m 空間分解能）を入手し、ALOS Pansharpen 画像を用いて幾何補正を行った。これによって、1994 年，2000 年，2009 年の 15 年間にわたる変化解析を行うことができる時系列(temporal)なデータセットを整備した。

5-2-3 解析の方法

図 5-3 に本研究で行われる解析のフローを示した。まず、現況の土地利用図を作成するために、ALOS Pansharpen 画像の目視判読によって 2003 年土地利用図（Land Development Agency 作製）の経年変化修正を行い（図 5-4）、2009 年現況の土地利用図を完成させた。この作業には約 128 時間が費やされ、極めて精度の高い判読図が完成した。一方、1994 年の土地被覆図は Landsat TM を用いて教師なし分類である ISODATA 法により画像分類を実施し、4 カテゴリーの土地被覆分類図を作成した（図 5-5）。

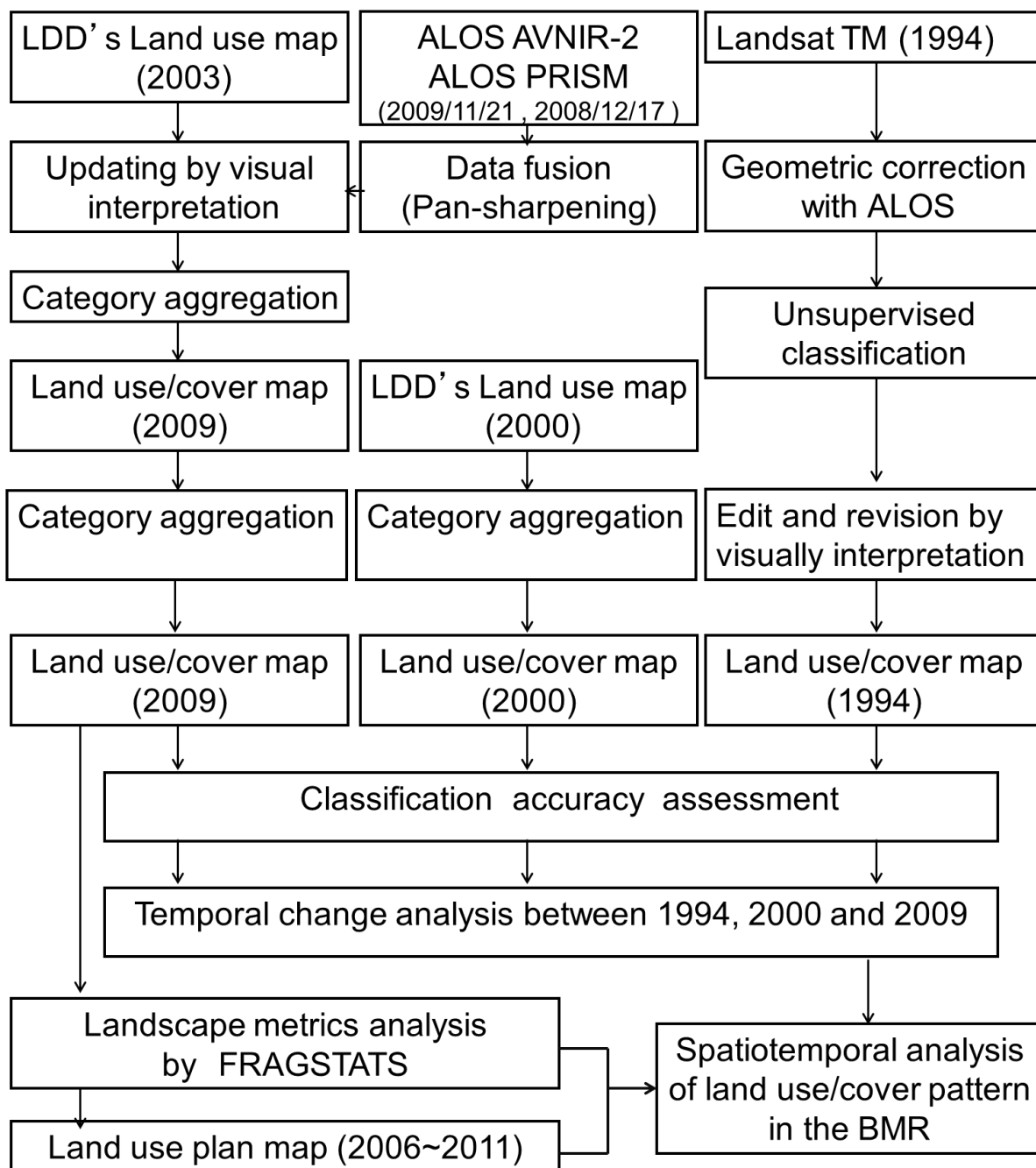


図 5-3 本研究のプロージャート



2009年の Alos
Pan Sharpen画像

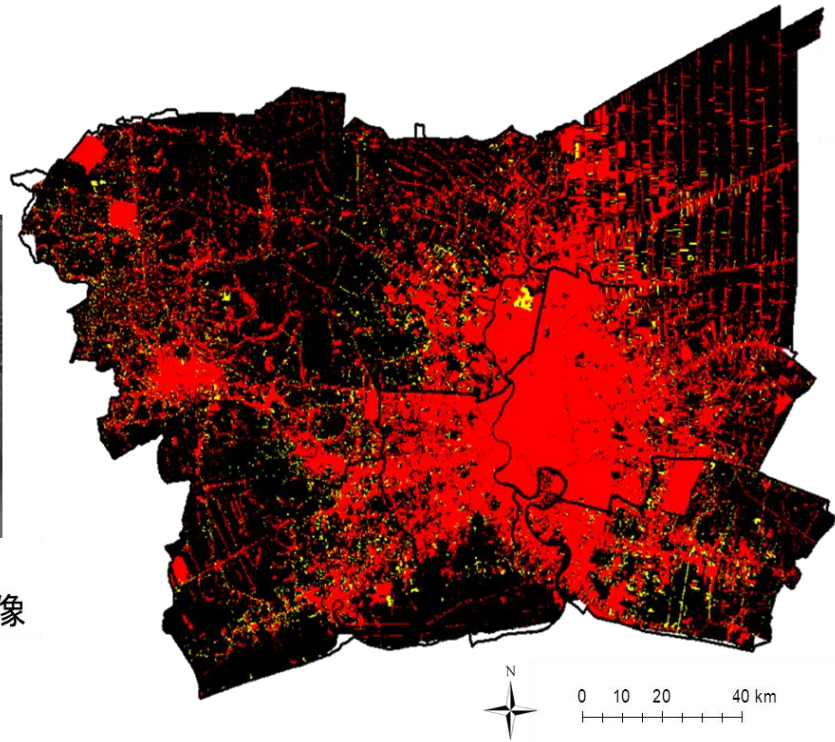


図 5-4 2003 年の都市域（赤い色）と 2003～2009 年まで増加した都市域（黄色）
の抽出（2009 年撮影された ALOS Pan Sharpen 画像を判読）

元来の高分解能土地利用図の持つ 19 カテゴリーを保持しつつ修正を行ったが、時系列解析ではより低解像度の Landsat ETM, TM 画像をベースとした土地利用・土地被覆情報との時系列解析が行われることを鑑み、敢えて分類の詳細精度(categorical resolution)を落とすような凡例項目の統合・編集を行った（図 5-5）。具体的には、1994 年からの 15 年間の変化抽出の場合、表 5-1 に示すように大きく Built up area, Vegetation area, Water bodies および others の 4 カテゴリーに統合 (agglomerate) し（図 5-6）、土地被覆として都市的・非都市が区別できる程度までに解像度を低下させた。最新の 2009 年土地利用図は、高分解能画像の目視判読で作成られたもので図化精度は極めて高く、ランドスケープの形状パッチ分析を行う十分なデータである。本研究では都市的土地利用と近郊農業地域のランドスケープパターンを定量化する

ことを試みた。この目的のために、オレゴン州立大学で開発された空間パターン解析ソフトウェア、FRAGSTATS を利用した (McGarigal and Marks,1995)。

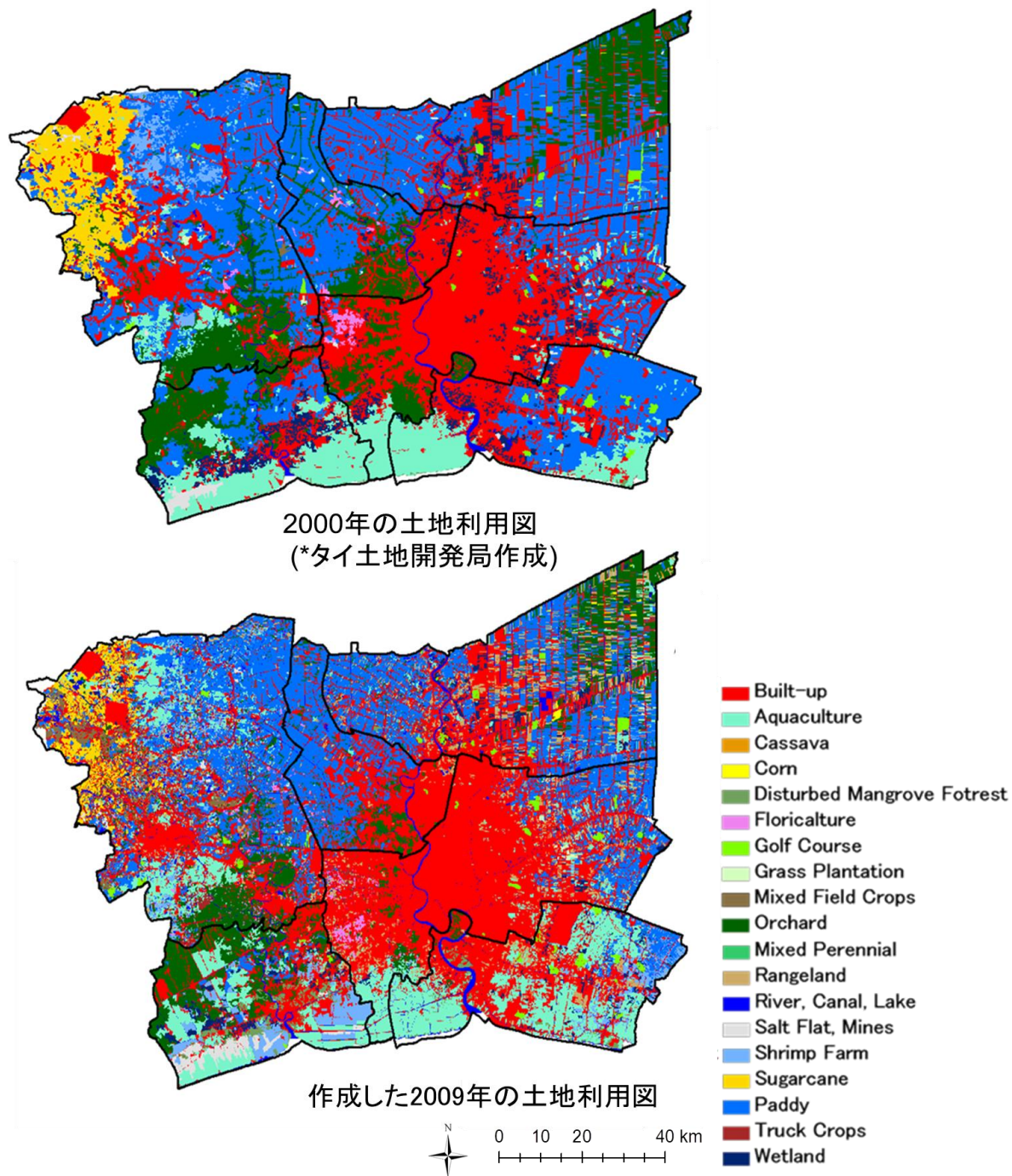


図 5-5 凡例項目を 19 カテゴリーに統合・編集した
2000 年と 2009 年の土地利用図

表 5-1 Land use/cover classification scheme

Reclassified type	Original land use type	
Urban/built-up	City, Town, Commercial	
	Allocated land project	
	Villages	
	Institutional land	
	Airport	
	Railway station	
	Harbor	
	Factory	
	Recreation area	
	Swine Farm House	
	Agriculture/vegetation	Abandoned Paddy
		Transplanted Paddy Field
		Abandoned Orchard
		Mixed Orchard
Truck Crops		
Floriculture		
Grass Plantation		
Disturbed Mangrove Forest		
Rangeland		
Golf Course		
Mixed Field Crops		
Corn		
Sugarcane		
Cassava		
Mixed Perennial		
Water Bodies	River, Canal, Lake	
	Wetland	
	Aquaculture	
	Shrimp Farm	
Others	Mines	
	Salt Flat	

5-3 結果と考察

5-3-1 1994–2009 年間の土地被覆変化

ここでは、都市ランドスケープと農村ランドスケープの大局的な競合関係を把握し、その時空間的な変化の特徴を議論する。ここでいう都市的都市利用とは、土地利用図で区分された built-up area と garden tree settlements の集合であり、農業的土地利用とは paddy field, various type of dry fields, orchards などに加えて grassland を包括したものとして扱っている。すなわち、人工構造物で覆われていない植生被覆域に相当している。そのため、ゴルフ場のグリーンや農耕が行われていない遊休農地、放棄地なども含まれており、厳密な意味で農業的土地利用ではない個所も含まれているが、全体から見ればごく僅かと考えた。

土地被覆分類の精度検証結果について、カッパー係数を用いて統計学的に検討した。結果は表 5-2 に示すように、1994 年、2000 年および 2009 年の分類画像のいずれも総合分類精度で 80% を超える値を得た。一方、カッパー係数は各年でそれぞれ 0.63, 0.66, 0.82 となり 2009 年は高い精度を得たが、1994 年と 2000 年では中程度の検証結果であった。しかしながら、緑被地のプロデューサ精度、ユーザ精度ともに 80% を超える値が示されており、以降の農業・緑被ランドスケープの定量的解析を行うのに十分な精度であると判断した。

表 5-2 1994 年、2000 年、2009 年における土地被覆分類図の精度評価

Year	1994			2000			2009		
	PA	UA	K_{hat}	PA	UA	K_{hat}	PA	UA	K_{hat}
Urban/built-up	56.6	95.6	0.94	83.8	72.9	0.64	95.5	85.9	0.81
Agricultural/vegetation	93.9	82.5	0.52	82.9	88.6	0.71	83.1	96.1	0.93
Water bodies	68.4	65.0	0.60	66.7	69.7	0.64	89.0	80.2	0.74
Overall Kappa	0.63			0.66			0.82		
Overall Classification Accuracy	81.6			80.7			88.1		

PA: Producer's Accuracy, UA: User's Accuracy, K_{hat} : Kappa statistics

図 5-6 に、1994 年、2000 年および 2009 年の時系列的な土地被覆分類図を示した。佐藤（2000）は、都市景観の観点からバンコクの都市圏を同心円的に 3 つの地帯に分けている。すなわち、中心部は完全に市街地化した「市街地充填地帯」であり、その外側には観戦道路に沿って市街地が延びる「帯状開発地帯」が展開している。さらにその外側には、農村的景観の中に孤立した工業団地や住宅団地が点在する「分散的市街化地帯」へと移行していく。この形状は、1994 年以降 2009 年までを対象にした本研究の土地被覆解析の結果でも明瞭に表れており、特にアーバンフリンジにおける都市的土地利用の拡大は著しいものである。

1994 年、2000 年、2009 年の各時期における都市的土地利用の面積占有率は 16.5%、28.2%、35.4%と増加の一途を辿り、1994-2000 年間で+71%、2000-2009 年間で+26%の増加率を示すことがわかった。特に、2000 年以降、都市域はバンコク都の行政域を超えて隣接する Nonthaburi, Pathum Thani, Samut Prakan の各県へと拡大し、市街地は完全に連結した。それとは対照的に農業的土地利用は 71.4%、56.1%、43.3%と減少を続け、1994-2000 年間で-21%、2000-2009 年間で-23%の減少率を示した（図 5-7、表 5-3）。

人口の増減をみると、過去 16 年間に於いて近郊地域（図 5-8）の Pathum Thani 県と Nonthaburi 県でそれぞれ+91%、+50%を急増しているのに対し、都心の BMA で+2%、Samut Sakhon 県で-6%と低い値であった。このように人口統計値では人口の急速な増加を伴う都市化が近郊地域、特に都心の北部地域で著しく進んでいること示し、衛星リモートセンシングによる土地被覆解析と一致した傾向が裏付けられた。こうした人口の増加は土地利用変化の原動力(driving force)と考えられるので、人口の増加率と都市的土地利用面積の拡大率の関係を調べた。その結果は、図 5-9 に示すように正の相関関係が確認されたが、Pathum Thani 県と Samut Sakhon 県は例外的であった。すなわち、Pathum Thani 県では人口増加率が都市的土地利用面積の拡大率に比べて著しく高い値を示したが、その理由として Pathum Thani 県はチャオプラヤ河に隣接し、伝統的に稲作水田地域が広範に分布しており、元来人口密度が低

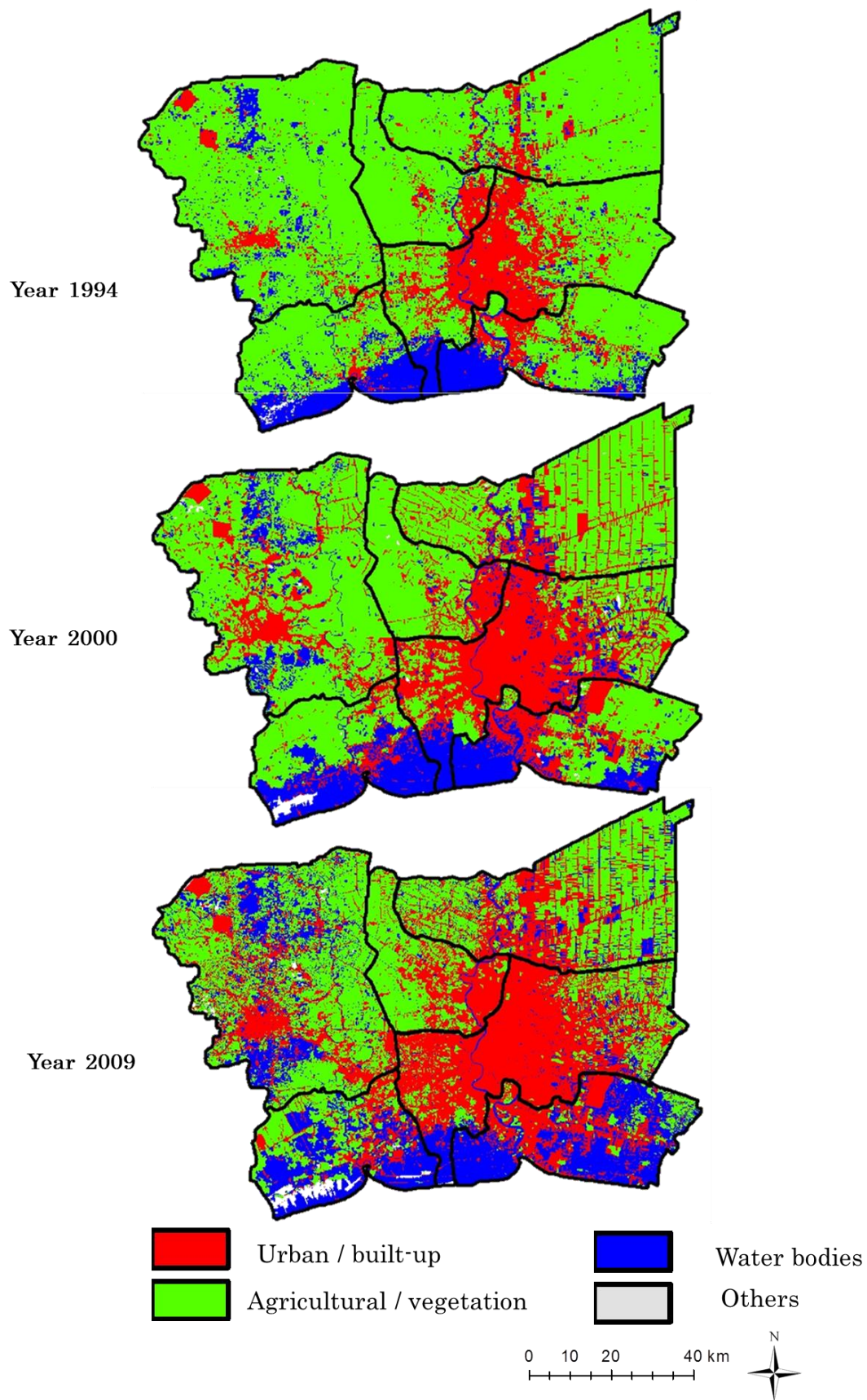


図 5-6 1994 年，2000 年および 2009 年の時系列的な土地被覆分類図

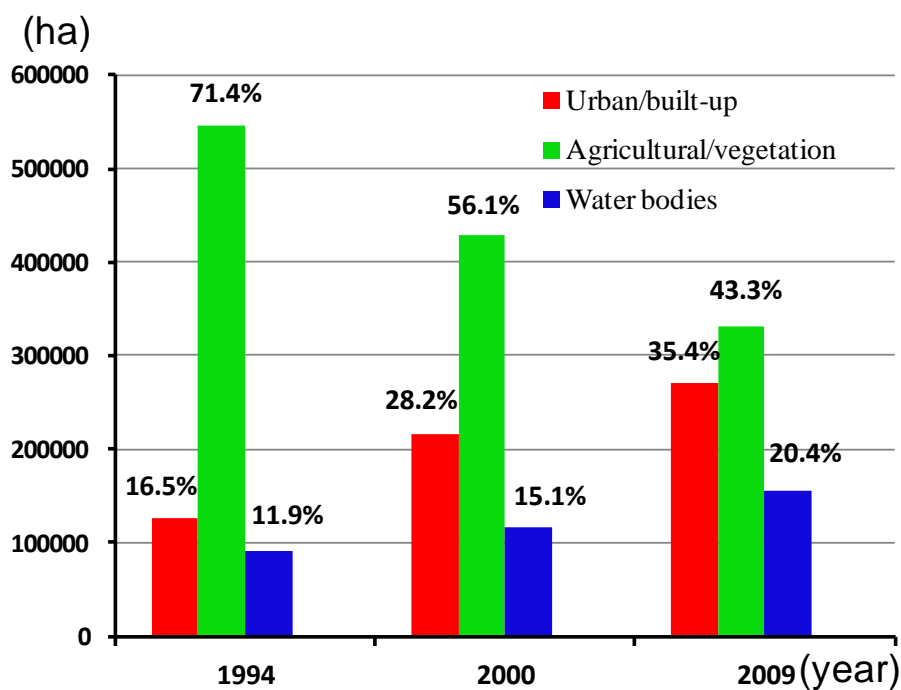


図 5-7 1994 年，2000 年および 2009 年の土地被覆面積占有率

表 5-3 各県における都市的土地利用と農地的土地利用の変動
(1994-2000 と 2000-2009)

Class	Urban/built-up		Agricultural/vegetation	
	1994~2000	2000~2009	1994~2000	2000~2009
Nakhon Pathom	+108%	+26%	-14%	-19%
Nonthaburi	+55%	+70%	-11%	-22%
Samut Prakan	+59%	+29%	-30%	-68%
Samut Sakorn	+59%	+78%	-26%	-27%
Pathum Thani	+113%	+21%	-15%	-13%
BMA	+53%	+12%	-46%	-16%
BMR	+71%	+26%	-21%	-23%

かったことが想定される。実際に、Pathum Thani 県の 1994 年の人口密度は 3.29 人（人口は 500,086 人）で隣接する Nonthaburi 県の 29%に過ぎない。このようななかで、近年の極めて急速な人口増加を経験することになった。一方、Samut Sakhon 県では大半がエビの養殖池として土地利用されており、経済発展のなかで近年一層に養殖関連の施設の拡大がみられた。すなわち、人口増加を伴わない土地利用変化であったと言える。

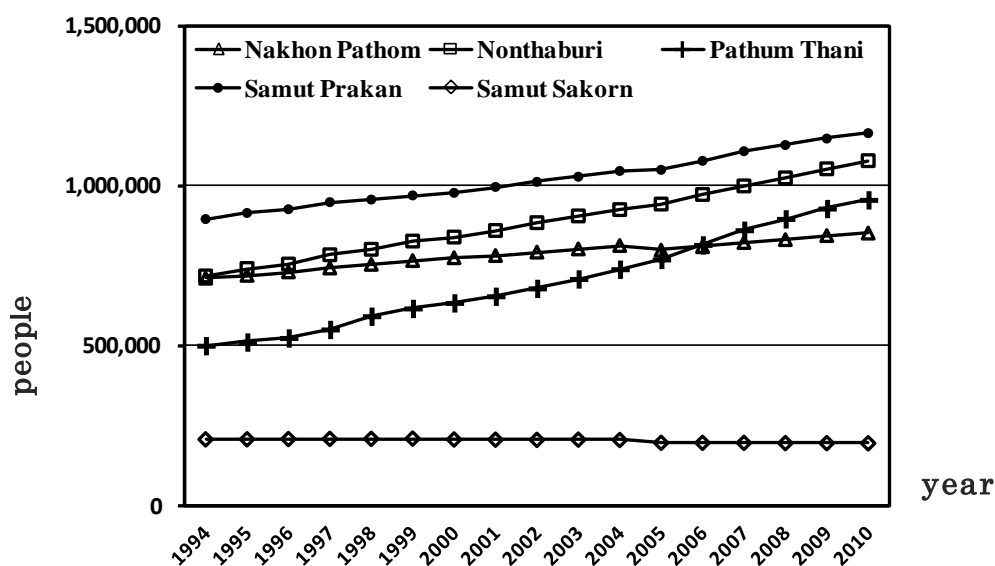


図 5-8 1994-2010 年の BMR 近郊地域の人口

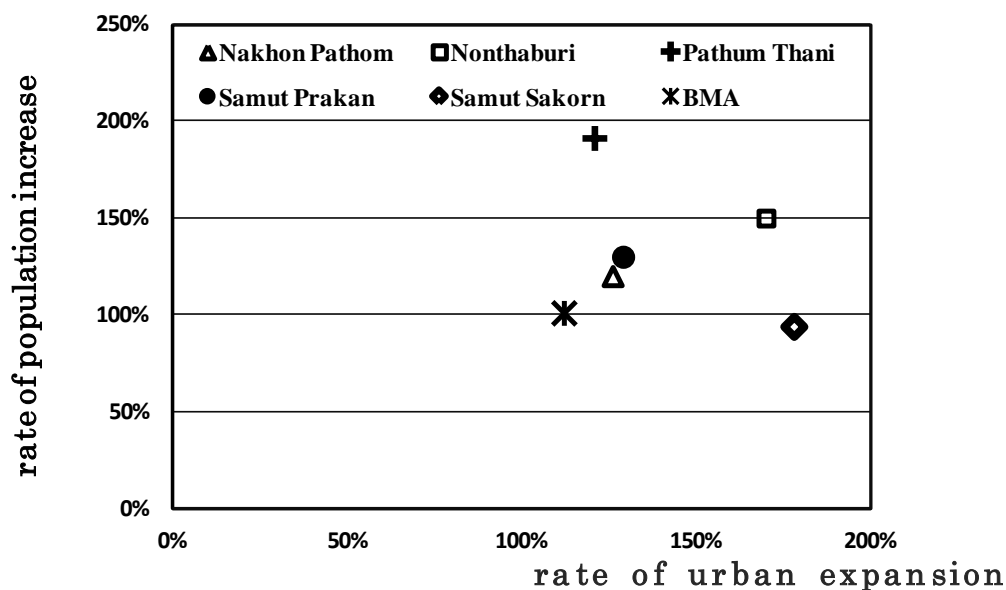


図.5-9 人口増加率と都市化率(1994-2009)の関係

5-3-2 近郊地域における農業・緑被ランドスケープのパッチ形状分析

ここで言うパッチとは、周囲とは異なる一塊の等質的な空間を意味する（例えば、水田地帯の中に分布する畑地や果樹園など）。本研究では 2009 年の土地被覆図から農業・緑被域（agriculture/vegetation）のみを抽出し、農業・緑被パッチの形状分析を行った。採用した景観指数は、パッチ密度（patch density: PD), 最大パッチ指標（largest patch index : LPI), 景観パッチ指標（landscape shape index : LSI)の 3 つの指標であり、FRAGSTATS を用いて計算した。以下に、3 指標の特徴と計算手法について解析する。

PD は、10,000m² (100ha) あたりのパッチ数であり、下式によって求められる。

$$PD = \frac{n_i}{A}(10,000)(100); PD > 0 \quad (1)$$

ここで、 n_i はパッチ数、 A はランドスケープの全体面積 (m²)

LPI は、ある景観パッチタイプ j （本研究では緑被域：agriculture/vegetation）における最大パッチ i の占める割合で、さらに 100 をかけたもので、下式によって求められる。

$$LPI = \frac{\max(a_{ij})}{A}(100) \quad (2)$$

ここで、 a_{ij} はある景観パッチ ij の面積 (m²)、 A はランドスケープの全体面積 (m²)

LSI は、ある景観パッチの周縁の総延長の全景観に占める割合で、LSI の値が 1 に近づくほど、景観におけるパッチの形状は正方形に近づく。LSI の値が大きくなるほど、パッチの形がより複雑になる。下式によって求められる。

$$LSI = \frac{e}{\min e} \quad (3)$$

ここで、 e はある景観パッチの周縁の総延長である。

以上の景観指数は、BMR 全体を覆う 10x10km² サイズのメッシュを単位として計算した。さらに、景観指数の南北、東西での水平方向への変化を確認する目的でバンコクの都心部に位置する王宮（図 5-10）を中心点として東西、南北方向にトランセクトを設定した。

図 5-11 は、景観指数を用いた農業・緑被パッチ（2009 年）の形状分析結果である。PD はランドスケープの分断化を評価する重要な指標であり（Luck and We 2002）、この値の増加はランドスケープが細かく裁断され、孤立化した状況を表す（Kong and Nakagoshi 2006, Byomkesh *et al.* 2012）。BMR では、PD の最大値を示すメッシュは Nakhon Pathom 市や BMA の東西両方向に縁辺地域に分布している。LPI はランドスケープの優占度を表す簡単な指標であり（McGarigal *et al.* 2012）、この値が大きい場合にはある特定のパッチが優占的に分布していることを意味している。対象地域では、チャオプラヤ河の伝統的な稲作水田が卓越する Pathon Thani 県や Nonthaburi 県と Nakhon Pathom 県の境界付近に大きな値の LPI が確認された。

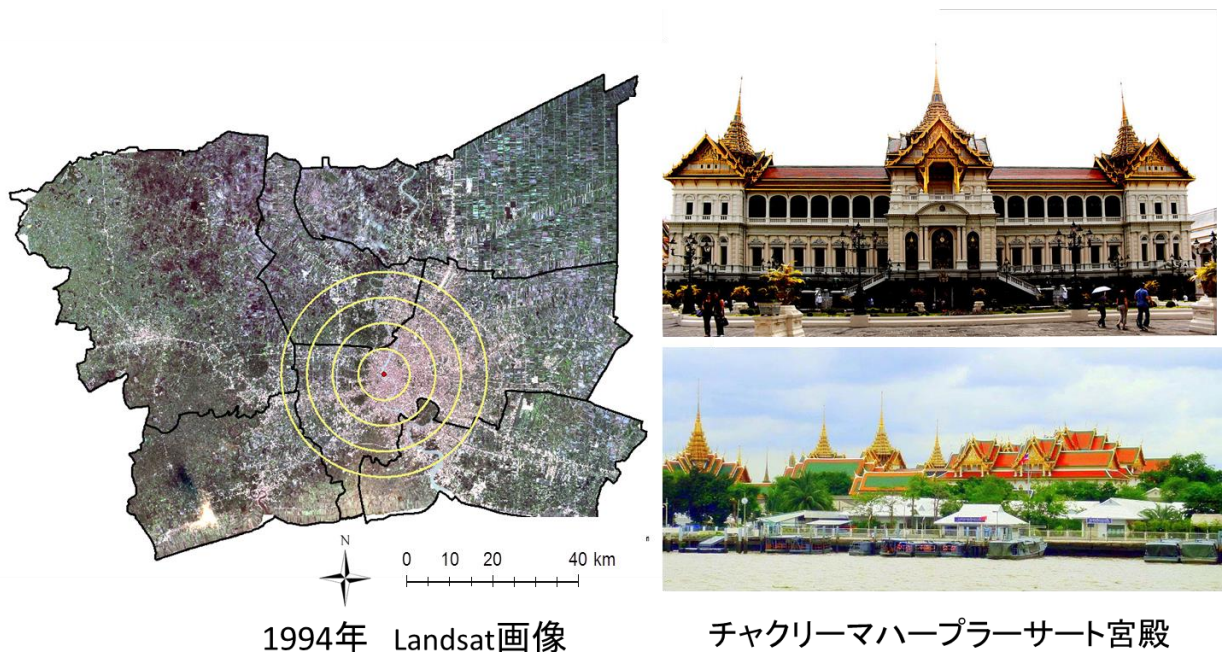


図.5-10 バンコクの都心部に位置する王宮

さらに、LSI はランドスケープパッチの複雑さを表す指標で、それは土地自然に対する人間のインパクトの度合いの大きさを反映している。LSI は都市内部に比べて都市周辺・近郊地域で大きな値が示されており、特に Nakhon Pathom 県や Pathon Thani 県、BMA の東西両縁辺地域で著しい。LSI の空間的分布は PD のそれと似通った傾向を示すのも特徴的である。

図 5-12 は、東西 (90km)、南北 (60km) 方向のトランセクトに沿った各パッチ形状の指数値の水平分布を示したものである。グラフの中心に描かれた波線は、バンコク中心の王宮の位置を表している。PD の値は、チャオプラヤ河を挟んで東西で対照的な分布を示す。河の右岸にあたる西側は、都市化の進んだ左岸と比べて未だ伝統的な農村ランドスケープが広く展開しており、広範な土地が古い時代より果樹園（特に椰子園）に覆われてきた。こうした土地利用景観の中に新たな都市的土地利用がスプロールした結果、ランドスケープは著しく分断され PD 値が相対的に高い値を示した。これに対し、左岸（東側）や北部方面へは PD 値の増加が現れるのは都心より 30km 地点からであり、いわゆるインナーシティではランドスケープは単調になっているのがわかる。LPI は東西方向では明瞭な対照を示すが、南北方向ではそれほどでもない。さらに、LSI 値の水平分布は PD のそれと似通った傾向を示している。総じて、農業・緑被パッチの複雑さは均質に都市化が進行し都市的土地利用が圧倒する都市内部では低く、近郊・郊外地域に向けて徐々に高くなっていくという傾向が3つの景観指数の値から実証された。

以上のように、景観指数を用いた農業・緑被ランドスケープのパッチ形状分析およびその空間分布の解析 (gradient analysis) により、都市化に伴う近郊・郊外地域のランドスケープの分断化や複雑さの度合いを指標化することができた。さらにその空間的分布の特徴は都市から郊外に向けて一様に変化するといった単純なものではなく、都市化の歴史的な背景や地理的環境要因に大きく影響されていることがわかった。

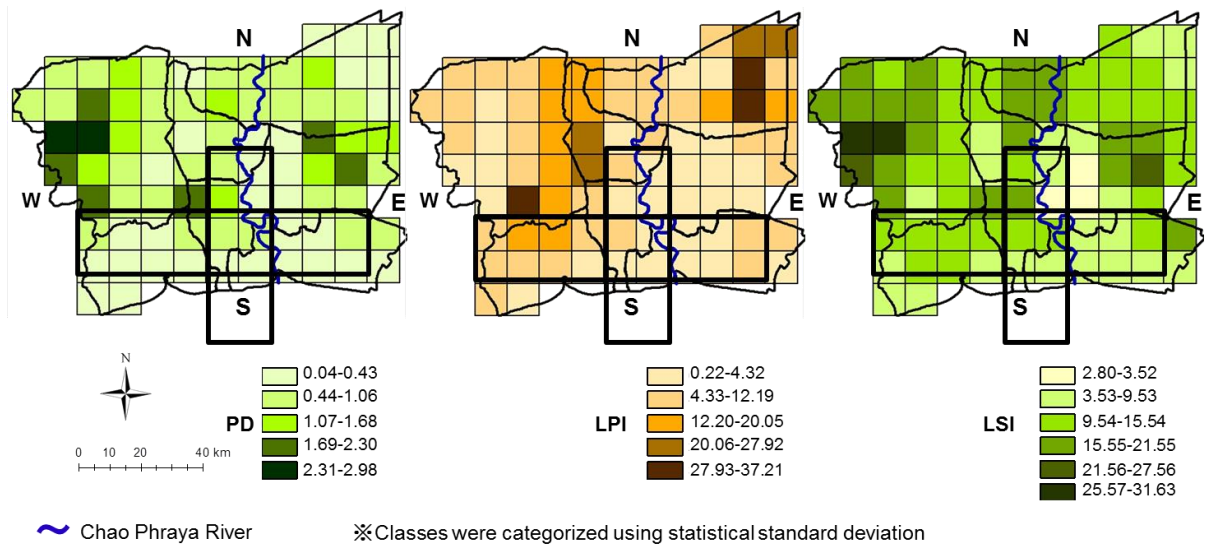


図 5-11. 景観指数(PD, LPI と LSI)を用いた農業・緑被パッチの空間分析 (2009 年)

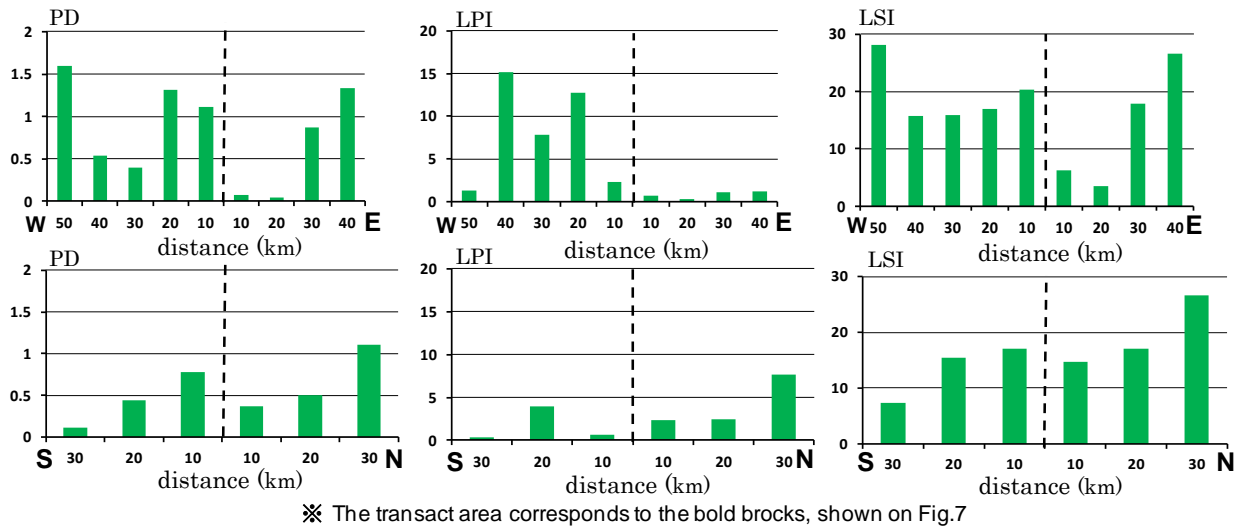


図 5-12 東西, 南北方向のトランセクトに沿った各景観指数の水平分布 (2009 年)

5-3-3 都市化と土地利用計画との不整合性

近郊・郊外地域における無秩序な都市化に伴うスプロール現象は、地域の環境・生態系を悪化させ、ひいては都市の生活基盤整備の開発コストを引き上げることにもつながる。アジアの新興諸国における急速な都市化は、適切な土地利用計画が立案されないままに進むことによって、伝統的な農村ランドスケープの分断化を引き起こしている。結果として、細かく小さく裁断されたパッチから構成される都市と農村の混合したランドスケープが都市近郊地域には広く出現することになった。そこで、2000-2009 年間で実際に都市的土地利用に変化した個所と既往の土地利用計画図(2006-2011 年)とのオーバーレイ解析を行い、計画と現実の不整合(Inconsistency)地域の抽出を行った(図 5-14)。その結果、BMA に隣接するいわゆるアーバンフリンジで非常に高い値を示すことがわかった。

各県毎の面積集計結果では、Nonthaburi 県と BMA の農業地域計画ゾーンでそれぞれ 14%と 12%という相対的に高い値を示し、BMA の農業保全計画ゾーンでは 19%であった(表 5-4)。さらに、図 5-15 は農業地域計画ゾーンあるいは農業保全計画ゾーンに 2000-2009 年の間に侵入した都市的土地利用のパッチ数と面積を図化したものである。以上のような集計結果の統計値と図 5-11 に示されたパッチ形状分析の結果から、PD と LSI 値が相対的に高い地域は農業地域ゾーンや農業保全ゾーンにおいて近年に都市化した個所とよく一致している様子が読み取れた。すなわち、近郊農村地域におけるランドスケープの分断化と複雑化はこうしたアーバンフリンジの都市化と密接に関連していることが明らかにされた。

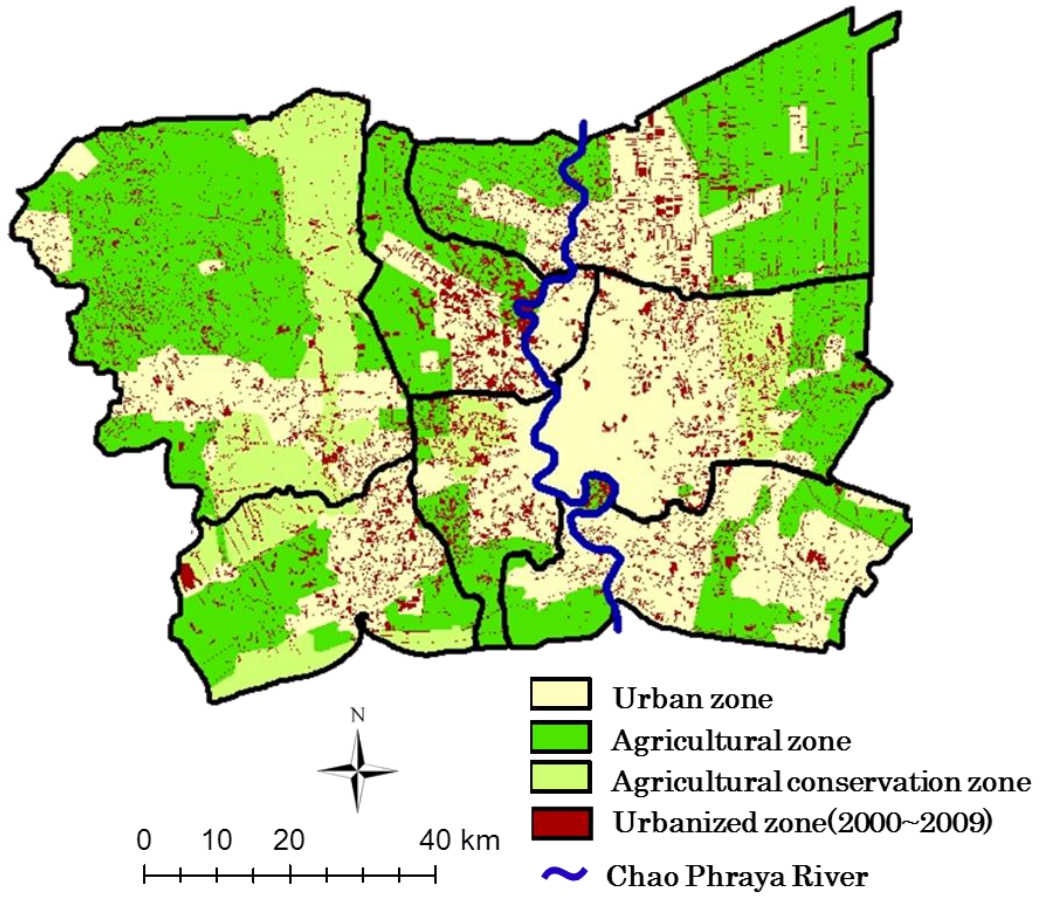


図 5-14. 土地利用計画ゾーン(2006-2011) と 2000~2009 年までに
都市的土地利用に変化した箇所

表 5-4 各県の計画ゾーンごとにおける都市化占有率

		Nakhon Pathom	Nontha-buri	Samut Prakan	Samut Sakorn	Pathum Thani	BMA	BMR
Agricultural zone	Urbanized area between 2000 and 2009	8,869	4,609	2,702	2,206	7,763	5,141	31,290
	Area occupancy	8%	14%	8%	6%	7%	12%	8%
Agricultural conservation zone	Urbanized area between 2000 and 2009	3,365	325	4	1,900	0	4,549	9,831
	Area occupancy	6%	4%	8%	8%	0%	19%	9%

Unit: ha

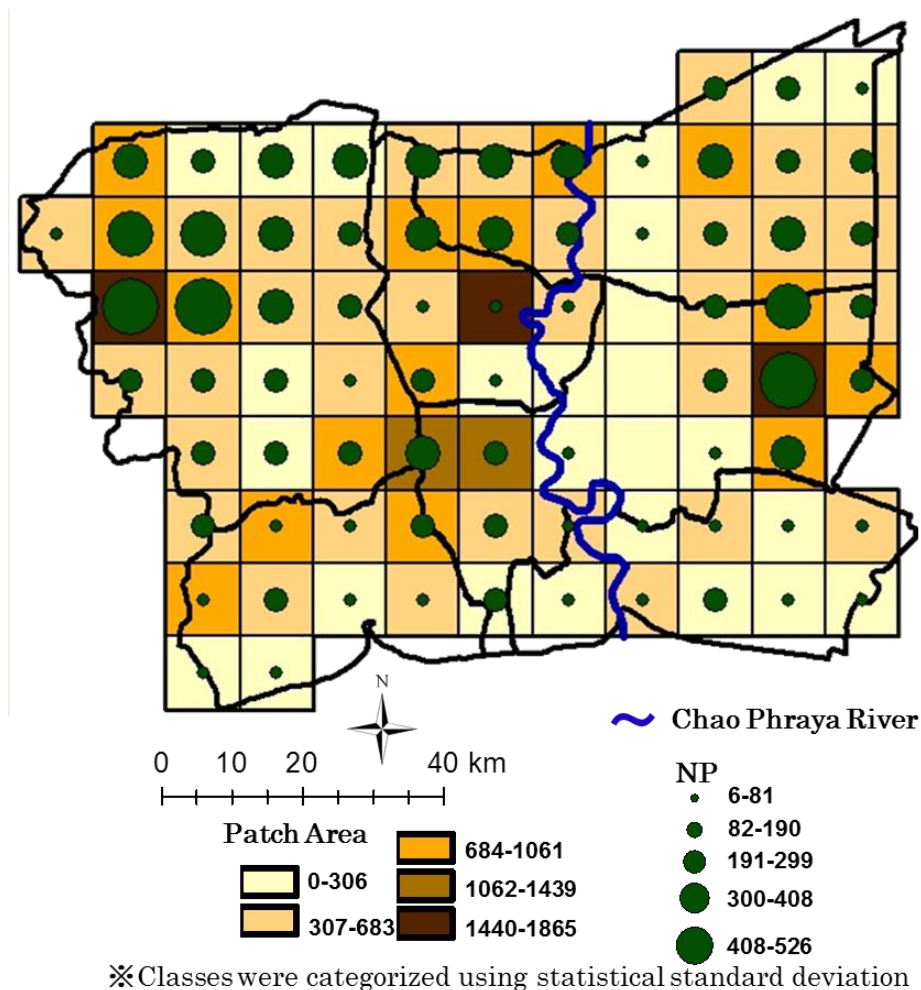


図 5-15 農業地域計画ゾーンあるいは農業保全計画ゾーンに 2000-2009 年の間に侵入した都市的土地利用のパッチ数と面積

5-4. 都市近郊緑被地解析の結論

都市化に関連した時空間的な土地利用・土地被覆解析では、都市部への著しい人口流入によって引き起こされたと指摘土地利用の拡大によって近郊・郊外地域にあった伝統的農村ランドスケープに大きな景観変化を引き起こしたことが明らかにされた。変化抽出解析の結果は、1994-2000年と2000-2009年の各期間でそれぞれ171%、126%の都市的土地利用面積の拡大がみられた一方で、緑被面積は同期間で71.4%、43.3%減少していた。衛星リモートセンシングとGIS解析によって都市のスプロール化と近郊・郊外地域における都市と農村ランドスケープの著しい混在の様子を地図化することができた。

最新の2009年の土地被覆図を用いて緑被ランドスケープのパッチ形状分析を行った結果、都市内部に比して近郊・郊外地域で分断化し、形状も複雑な様相を呈していることがわかった。特に、Nakhon Pathom市の近郊、Pathum Thani市やNonthaburi市のアーバンフリンジ、BMAの東西の縁辺部でその傾向が顕著であり、都市的土地利用と農村ランドスケープが著しく混在し競合的な土地利用が展開している。このような状況を定量的に把握し、今後の土地利用計画に活用していくためにも、ランドスケールの形状（景観指標）分析は極めて有効な手法であると言える。

5章の参考・引用文献

- Byomkesh, T., Nakagoshi, N., and Ashraf, D. 2012 : Urbanization and green space dynamics in Greater Dhaka, Bangladesh. *Landscape and Ecological Engineering*, 8 (1) , 45-58p.
- Forman, R., 1995 : *Land Mosaics, The Ecology of Landscapes and Regions*, Cambridge University Press. Cambridge. 656pp.
- 藤田 安男, 柳下 修一 2005 : 東アジアにおける都市化とインフラの整備. *開発金融研究所報*, 25, 69-93p.
- Gardner, H., and O'Neill, R., 1991 : Pattern, process, and predictability: The use of neutral models for landscape analysis. *Quantitative methods in landscape ecology*. Edited by Turner, G., Springer, New York, 289-307 p.
- Hara, Y., Takeuchi, K., and Okubo, S. 2005 : Urbanization linked with past agricultural land use patterns in the urban fringe of a deltaic Asian mega-city: A case study in Bangkok. *Landscape and Urban Planning*, 73(1), 16-28p.
- Hara, Y., Hiramatsu, A., Honda, R., Sekiyama, M., and Matsuda, H. 2010 : Mixed land-use planning on the periphery of large Asian cities: The case of Nonthaburi Province, Thailand. *Sustainability Science*, 5 (2) , 237-248p.
- Kikuchi, T., Yamamoto, M., Sasaki, H., and Tsubaki, M. 2001 : Sustainability and its driving force of agricultural land use changes in the suburbs of Bangkok Metropolitan Region. *Global Environment*, 6 (2), 227-239p
- Kong, F., and Nakagoshi, N. 2006 : Spatial temporal gradient analysis of urban green spaces in Jinan, China. *Landscape and Urban Planning*, 73 (80), 147-164p.

- Luck, M., and Wu, J. 2002 : A gradient analysis of urban landscape pattern: A case study from the Phoenix metropolitan region, Arizona, USA. *Landscape Ecology*, 17 (4), 327-339p.
- McGarigal, K., SA Cushman, and E. Ene 2012 : FRAGSTATS v4: Spatial Pattern Analysis Program for Categorical and Continuous Maps. In [http:// www.umass.edu/landeco/research/fragstats/fragstats.html](http://www.umass.edu/landeco/research/fragstats/fragstats.html). University of Massachusetts, Amherst, USA.
- McGee, T. 1992 : Emergence of Desakota region in Asia; The Extended Metropolis Settlement Transition in Asia. University of Hawaii Press, Honolulu, 3-25p.
- McGee, T. 1995 : Metro fitting the emerging mega-urban regions of ASEAN: An overview. *The Mega-Urban Regions of South-east Asia, Policy Challenges and Responses*. Edited by Terence, G., McGee T., and Ira R., UBC Press, Vancouver.
- Murakami, A., Alinda, Z., Takeuchi, K., Tsunekawa, A., and Yokota, S. 2004 : Trends in urbanization and patterns of land use in the Asian. *Landscape and Urban Planning*, 70 (3-4) , 251-259p.
- Nakagawa, S. 1997 : Residents in a suburban area of Bangkok Metropolis; Classification by migratory and social characteristics. *Regional Views*, 10, 45-59p.
- Sato, T. 2000 : Process of urbanization in the suburban Bangkok. *KomazawaChiri*, 36, 13-31p
- Takaya, Y. 1982 : Agricultural Development in the Tropical Deltaic Region. Soubunsha, Tokyo (in Japanese). 256pp.

- Tran, H., and Yasuoka, Y. 2000 : Integration and Application of Socio-economic and Environmental Data within GIS for Development Study in Thailand. The 21st Asian Conference on Remote Sensing, Taipei, December 2000, Asian Association on Remote Sensing, Taiwan.
- Turner, G. 1990, Spatial and Temporal Landscape Pattern. *Landscape Ecology*, 4 (1) 21-30p.
- Usuda, Y., Yan, W., and Kubo, S. 1997 : Analysis of urban environment in Bangkok with the integration of remote sensing and GIS. Proceeding of the Japanese Conference on Remote Sensing, 22, 91-94p.
- Yamashita, A. 2011 : Comparative analysis on land use distributions and their changes in Asian mega cities, Makoto Taniguchi: In *Groundwater and Subsurface Environments - Human Impacts in Asian Coastal Cities*, Springer, Tokyo, 61-81p.

謝辞

本研究を進めるにあたって、多くの方々にご指導、ご協力をいただきました。

来日以来 6 年間、鳥取大学農学部の主指導教員の長澤良太教授と副指導教員の日置佳之教授には、研究生の時から始まり研究面のリモートセンシング技術、GIS の専門的知識を基礎から研究の細部まで丁寧なご指導を賜りました。または、現地（海外）調査、研究指導ゼミ、投稿論文・博士論文の制作など多くのことでの研究指導のみならず、留學生活、社会規範など様々な場面においてご指導を頂きました。貴重な研究経験と知識を得る機会を与えてくださったことをここに心より深く感謝致します。

景観指数を用いた都市および近郊地域の緑被地景観の定量的評価に関する研究

要旨

都市および近郊地域における緑地の維持、管理の課題は、今後の都市計画、都市環境管理計画において重要な関心事である。都市緑地の現況と変化のプロセスを把握し、空間的配置パターンを定量的に分析することは重要な課題であると考えられる。緑被地の定量的評価手法は、ランドスケープ研究の重要な研究課題としてこれまでも国内外で多くの研究が行われており、景観の形状や空間的配置パターンを解析する景観指数が提案されている。本研究では、近年のアジア地域において最も急速にして且つ巨大な都市へと成長した中華人民共和国(中国)の上海市とタイ王国のバンコク市を事例研究対象地域として、景観指数を用いた緑被地景観の定量的解析を行った。この2つの都市は、都市の成長プロセス(歴史)や都市計画・政策の内容、そして実際の都市景観、構造などさまざまな点において異なった特徴を有している。景観構造を定量化するための指標は、1990年代にアメリカ合衆国の研究者を中心に景観パターンおよびその変化を分析する景観指数(Landscape Metrics)が提案されており、今日では地理情報システム(GIS)が景観分析のツールとして利用することができるようになった。本研究では、アジア地域の巨大都市とその近郊地域における緑被地を定量的に解析するために景観指数の手法を適用し、緑被地景観の時空間的なパターンや変化の特徴を解明することを目的としている。このためには、最新かつ高精度の土地被覆データが必要であり、都市の拡大過程を正確に図化するために時系列的な高分解能衛星画像の解析を行った。高分解能衛星によって得られる詳細な緑地データは、その後の景観指数を用いた緑地景観の形状分析に極めて有用な情報を提供することができる。本研究では、このような緑地解析の手法的側面についても言及し、その精度評価や新たな手法

の提言についても論じている。

租界の形成から都市としての発展が始まった上海市は、1950年代から1960年代にかけては工業都市として発展した。その後、中国の改革開放政策によって「経済特区」として開放され、1992年以降は新興の開発特区である浦東新区が牽引役となって東アジアの金融・貿易センターとして急速な発展を続けている。このように上海市は、改革開放を象徴する国際都市を目指して再開発が急速に進み、極めて計画に配置されたインフラ、交通網、緑地帯などが特徴的である。一方のバンコク市は、かつてはチャオプラヤ河デルタの農産物集積地として開けた中心都市であるが、1980年頃からタイ国の急速な経済成長によって首都圏の都市化、工業化は地方農村からの人口流入と外国企業の進出が著しく進んだ。その結果、バンコク首都圏における都市的土地利用は周辺地域に無計画、無秩序に拡大し、農業的土地利用の競合が留まることなく進化した。特に、アーバンフリンジでは無秩序に開発が進む工業団地や住宅地が伝統的な農村ランドスケープを破壊して侵入し、農業環境を悪化させるばかりでなく農民の生産意欲を低下させ農業的土地利用の持続性を阻害する要因の一つにもなっている。こうした都市拡大のなかで、都市および近郊地域の緑地の空間的分布は、量的、質的の両側面で大きな変化を遂げており、その景観構造・パターンの特徴を定量的に明らかにすることは重要な課題であると考えた。

2つの研究対象地域を検討した結果、以下の知見を得ることができた。まず、上海市においては外環状線内を対象としたランドスケールレベルでの景観指数の時系列変動、および浦東・浦西地区を東西方向に横切るTransectに沿うクラスレベルでの緑被地の形状と配置パターンを解析した結果、緑被地景観はエリア別に異なる変動プロセス、特徴的な空間的配置パターンを示すことが明らかにされた。都市における緑被地分布

の時空間的変動は、都市化のプロセスに大きく影響を受けている。都市化のDriving Force（推進力）としては、通常人口と経済の集積が考えられるが、中国の大都市における緑被地分布は都市開発と都市の環境（緑地）政策が強く影響することが考えられる。都市再開発は緑地の分布形状に大きな変化をもたらしており、伝統的密集低層住宅地から都市型の高層集合住宅に変わったり、および新たに建設されたりすることで、建造物を取り囲んでいる、より複雑な形状の緑地が増加している。次に、バンコク市においては、都市化に関連した時空間的な土地利用・土地被覆解析では、都市部への著しい人口流入によって引き起こされたと都市的土地利用の拡大によってBMRの近郊・郊外地域にあった伝統的農村ランドスケープに大きな景観変化を引き起こしたことが明らかにされた。衛星リモートセンシングとGIS解析によって都市のスプロール化と近郊・郊外地域における都市と農村ランドスケープの著しい混在の様子を空間的に地図化することができた。

キーワード：緑被地，定量的評価，景観指数，上海，バンコク

**Study on the Quantitative Evaluation of Green Spaces
in the Urban and Suburban Areas using Landscape Metrics**

Summary

Maintenance and management of green space in urban and suburban areas is an important concern for urban planning and urban environmental management. To grasp the process of current status and changes of urban and suburban green areas and to analyze the spatial arrangement pattern quantitatively is considered to be an important issue. Green quantitative evaluation method, as an important topic in landscape research, has been studied a lot with the proposal of Landscape Metrics on analyzing the landscape shape and spatial arrangement pattern. In this study, the quantitative analysis of green landscape has been done with Landscape Metrics using People's Republic of China (China) Shanghai and Bangkok city of the Kingdom of Thailand , which have grown into huge mega-cities most rapidly in recent years, as case study areas. The two cities have many different characteristics on various aspects as growth process (history), urban planning, city policy contents, urban landscape and structure etc. Indices for quantifying landscape structure had been proposed by the researchers of the United States with Landscape Metrics which analyzed the landscape patterns and its changes around the 1990s, and nowadays, it has become possible to use the Geographic Information System (GIS) as a tool for landscape analysis. In this study, I applied the method of Landscape Metrics in order to quantitatively analyze the green spaces of huge cities and its suburbs in Asian region, to

elucidate the characteristics of spatial patterns and changes of green landscape. For this purpose, the analysis of time-series, high-resolution satellite images has been executed in order to chart expansion process of the city accurately for the necessity of getting the latest and high accuracy land cover data. Detailed green spaces data obtained by high resolution satellites, can provide very useful information on the shape analysis of the green landscape with Landscape Metrics subsequently. In this study, it mentioned about the methodological aspects of such green space analysis and also about the recommendations of the accuracy evaluation and new techniques.

Shanghai, became to be a city beginning from the formation of leased territory, and was developed as an industrial city from the 1950s and 1960s. Then, it is opened by the reform and opening policy of China as a "special economic zone" , and since 1992, it has continued the rapid development as a financial and trade center of East Asia with the driving force of new emerging development zone, Pudong New Area. Thus Shanghai proceeded rapidly with the aim of becoming an international city that symbolizes the reform and opening up with the characteristic of arranged infrastructure, transportation network.

Bangkok City was formerly a central city that had been opened as agricultural products integrated areas of the ChaoPhraya River delta and with the rapid economic growth of Thailand from around 1980, the urbanization and industrialization of metropolitan area had been preceded significantly due to the population inflow from local rural area and advance of foreign companies. As a

result, urban land use in the Bangkok metropolitan area had been expanded disorderly with no plan to the surrounding areas, and the conflict with agricultural land use had been preceded without stops. Especially, the disordered development of industrial and residential areas had invaded and destroyed the traditional rural landscape, becoming one of the main factors of inhibiting the agricultural land use, which was not only worsening the agricultural environment and also reducing the production enthusiasm of farmers. Among these urban expansions, the spatial distribution of green lands of urban and suburban areas has shown great changes on both quantitative and qualitative aspects, which is thought to be an important issue on quantitatively clarifying its characteristics of landscape structure and patterns.

As study results on the two study areas, following findings have been obtained. Firstly, for Shanghai, the analyzing result of time series variation of landscape index on landscape level objecting the inside part of outer loop line and of the shape and placement pattern of green spaces on class level of transecting the Pudong and Puxi district across the east-west direction, has shown that the green landscape exhibited different variation processes and characteristic spatial arrangement pattern for each area. The spatial variation of landscape distribution in the city has been affected greatly by the urbanization process. The accumulation of population and economy is always considered to be the driving force of urbanization, but for major cities in China, the urban development and urban environmental policy is considered to be great influences on green land

distribution. Urban re-development has resulted in a significant change in the distribution shape of the green spaces with changing the traditional low-rise residential areas into urban high-rise residential areas, and with the new constructions, resulting in green space of more complex shapes is increasing to surround the buildings. Next, in Bangkok, in the spatial land use and land cover analysis related to urbanization, the great landscape variation has been caused in the traditional rural area near the suburbs and suburban areas by the urban land use expansion due to the significant population influx into urban areas. The urban sprawl and remarkable mix contamination of urban and rural landscape in suburbs and suburban areas can be spatially mapped using satellite remote sensing and GIS analysis.

Keywords: Green spaces, Quantitative evaluation, Landscape metrics, GIS, Shanghai, Bangkok