

都市域における種多様性の保全・回復にむけた
緑地構造の階層的分析和シナリオ評価への適用

横 田 樹 広

都市域における種多様性の保全・回復にむけた
緑地構造の階層的分析とシナリオ評価への適用

【 目 次 】

【 図表リスト 】	6
第 1 章 研究の着眼点および目的	9
第 1 節 都市域の生物多様性の保全・回復にむけた複層的緑地計画の必要性	9
1.1 都市域における生物多様性への着目	9
1.2 ランドスケープ構造の地域的差異への配慮	10
1.3 複層的緑地計画にむけた課題	12
第 2 節 都市ランドスケープの水平的パターンと入れ子構造	14
2.1 都市ランドスケープ構造の機能的把握	14
2.1.1 都市域におけるランドスケープの連結性	14
2.1.2 都市ランドスケープの空間的異質性	15
2.1.3 階層的パッチダイナミクス (Hierarchical patch dynamics paradigm)	16
2.2 都市ランドスケープ構造の階層的分析のための空間フレーム	16
2.2.1 土地被覆セグメントを単位としたランドスケープ構造の把握	16
2.2.2 オブジェクト指向画像分析を用いた土地被覆セグメントの抽出	18
2.3 ランドスケープの空間的異質性の指標としての入れ子構造	19
2.3.1 種組成の入れ子構造	19
2.3.2 ランドスケープの水平的入れ子構造と把握のための空間フレーム	20
2.3.3 緑地環境整備におけるランドスケープの水平的入れ子の活用可能性	22
第 3 節 本研究の目的と構成	24
3.1 研究の目的	24
3.2 研究対象地	25
3.3 研究の構成	26
第 2 章 都市域におけるランドスケープの水平的入れ子構造の把握	28
第 1 節 本章の目的および研究における位置	28
第 2 節 広域都市圏におけるランドスケープの水平的入れ子構造の把握	29
2.1 研究の方法	29
2.1.1 対象地域および使用データ	29
2.1.2 分析の流れ	30
2.2 分析の方法	30

2.2.1	地形-植生ユニットの作成	30
2.2.2	土地被覆セグメントの抽出および類型化	30
2.2.3	土地被覆セグメントにおける地形-植生ユニットの構成間の入れ子	32
2.3	分析の結果	32
2.3.1	土地被覆セグメントの抽出および類型化	32
2.3.2	土地被覆セグメントにおける地形-植生ユニットの構成間の入れ子	34
2.4	考察	37
第3節	台地・丘陵地内におけるランドスケープの水平的入れ子構造の把握	40
3.1	研究の方法	40
3.1.1	対象地域および使用データ	40
3.1.2	分析の流れ	41
3.2	分析の方法	41
3.2.1	土地被覆セグメントの抽出および類型化	41
3.2.3	土地被覆セグメントにおける地形-植生ユニットの構成間の入れ子	42
3.3	分析の結果	42
3.3.1	土地被覆セグメントの抽出および類型化	42
3.3.2	土地被覆セグメントにおける地形-植生ユニットの構成間の入れ子	44
3.4	考察	48
第3章	都市ランドスケープの水平的入れ子構造の変化に伴う鳥類営巣・繁殖期環境の変動分析とシナリオ評価への適用	50
第1節	本章の目的および研究における位置	50
第2節	ランドスケープの水平的入れ子構造の変化と鳥類営巣・繁殖環境の変化との関係性	52
2.1	研究の方法	52
2.1.1	対象地域および使用データ	52
2.1.2	分析の流れ	52
2.2	分析の方法	53
2.2.1	土地被覆セグメント内の営巣・繁殖レベルの変化に基づく鳥類种群の分類	53
2.2.2	种群ごとの営巣・繁殖レベルの変化に関連するランドスケープ構造の分析	53
2.3	分析の結果	54
2.3.1	土地被覆セグメント内の営巣・繁殖レベルの変化に基づく鳥類种群の分類	54
2.3.2	种群ごとの営巣・繁殖レベルの変化に関連するランドスケープ構造の分析	55
2.4	考察	58
第3節	都市圏スケールにおける樹林地創出・復元シナリオに伴う鳥類営巣・繁殖レベルの変動評価	60
3.1	研究の方法	60
3.1.1	対象地域および使用データ	60
3.1.2	分析の流れ	60

3.2 分析の方法	61
3.2.1 東京都市圏スケールにおける樹林地の創出・復元シナリオの設定	61
3.2.2 樹林地創出・復元シナリオに伴う営巣・繁殖鳥類相の変動予測	63
3.3 分析の結果	64
3.3.1 樹林地創出・復元シナリオに応じた鳥類種群の営巣・繁殖レベルの変化の差異	64
3.3.2 鳥類種群に応じた樹林地創出・復元シナリオの影響の差異	66
3.4 考察	72
第4章 台地・丘陵地内の小規模樹林における鳥類種組成に関連するランドスケープ 条件の分析とシナリオ評価への適用	74
第1節 本章の目的および研究における位置	74
第2節 台地・丘陵地内の小規模樹林における鳥類種組成に関連するランドスケープ条件の 分析	76
2.1 研究の方法	76
2.1.1 対象地域および使用データ	76
2.1.2 調査・分析の流れ	78
2.2 鳥類相調査および植生構造調査の実施	78
2.2.1 鳥類相の調査	78
2.2.2 植生立体構造の調査	79
2.3 マルチスケールにおける緑地構造の把握	79
2.3.1 サイトスケールにおける植生構造の分析	79
2.3.2 台地・丘陵地内におけるランドスケープの構成および構造の分析	79
2.3.3 東京都市圏スケールにおけるランドスケープの水平的入れ子度の変数算出	80
2.4 分析の方法	80
2.4.1 出現パターンに基づく鳥類種群の分類	80
2.4.2 マルチスケールにおける緑地構造と鳥類種組成との関連性の分析	81
2.5 分析の結果	81
2.5.1 出現パターンに基づく鳥類種群の分類	81
2.5.2 鳥類種組成と緑地分布の階層的構造の分析	83
2.6 考察	85
第3節 台地・丘陵地ランドスケープ内における樹林地創出・創出シナリオに伴う鳥類相の 変動評価	87
3.1 研究の方法	87
3.1.1 対象地域および使用データ	87
3.1.2 分析の流れ	87
3.2 分析の方法	87
3.2.1 台地・丘陵地ランドスケープ内における樹林地創出・復元シナリオの設定	87
3.2.2 ランドスケープ内における樹林地創出・復元シナリオの評価	89

3.3 分析の結果	90
3.4 考察	95
第5章 総合考察 ―都市域におけるランドスケープマネジメントへの展開―	96
第1節 本章の構成	96
第2節 各章の結果のまとめと特徴	98
2.1 ランドスケープの水平的入れ子とその階層的関係性	98
2.2 都市圏スケールのランドスケープの水平的入れ子構造と種組成変化への作用	100
2.3 台地・丘陵地スケールにおけるランドスケープ構造と種組成変化への作用	102
第3節 都市域における緑地環境の創出・復元と複層的緑地計画への展開	104
3.1 種多様性の保全・回復に資するランドスケープ内の景観構造	104
3.2 種多様性の保全・回復に資する都市圏スケールのランドスケープ構成	105
3.3 ランドスケープの水平的入れ子を指標とした緑地環境の創出・復元の可能性	106
第4節 今後の検討課題	108
摘要	110
謝辞	113
【参考文献】	114
【参考ホームページ】	121

【 図表リスト 】

第 1 章

- 図 1.1 農村から都市にかけてのランドスケープの変化
- 図 1.2 土地被覆セグメントと地形-植生ユニットを単位としたモザイクの把握
- 図 1.3 オブジェクト指向画像分析における Multi-resolution segmentation
- 図 1.4 種組成の水平的入れ子（完全な入れ子の状態）
- 図 1.5 土地被覆セグメントを単位としたランドスケープの水平的な入れ子の把握
- 図 1.6 ランドスケープの水平的入れ子（完全な入れ子の状態）
- 図 1.7 復元・創出する緑地環境に応じたランドスケープの水平的入れ子の変化
- 図 1.8 研究対象地とその構成

第 2 章

- 図 2.1 研究対象地域（首都圏整備法に基づく区域指定，対象地域 3 次メッシュ領域）
- 図 2.2 土地被覆セグメントのタイプの分類要因
- 図 2.3 土地被覆セグメントのタイプごとの立地
- 図 2.4 土地被覆セグメントのタイプごとの Nestedness Temperature（1990 年代）
- 図 2.5 土地被覆セグメントのタイプごとの Nestedness Temperature の変化（1980 年代～1990 年代）
- 図 2.6 対象地域 3 次メッシュ（下総台地地域 380 メッシュ，多摩丘陵地域 279 メッシュ）
- 図 2.7 Scale Parameter に応じて抽出される樹林パッチおよび土地被覆セグメントの個数および面積の推移
- 図 2.8 土地被覆セグメントのタイプの分類要因（下総台地対象地域，多摩丘陵対象地域）
- 表 2.1 土地被覆セグメントのタイプごとの地形-植生ユニットの構成
- 表 2.2 土地被覆セグメントのタイプごとの Nestedness Temperature の算出結果（下総台地対象地域，多摩丘陵対象地域）
- 表 2.3 下総台地対象地域における土地被覆セグメントのタイプごとの地形-植生ユニット構成
- 表 2.4 多摩丘陵対象地域における土地被覆セグメントのタイプごとの地形-植生ユニット構成

第 3 章

- 図 3.1 鳥類営巣・繁殖レベルデータにおけるメッシュ内確認種数（東京都,1980; 東京都,1998）
- 図 3.2 土地被覆セグメントを単位とした営巣・繁殖レベルの変化に基づく種群分類
- 図 3.3 種群 B（アオゲラ・ヤマガラなど）の営巣・繁殖レベルに対する CART の結果
- 図 3.4 種群 C（ホオジロ・モズなど）の営巣・繁殖レベルに対する CART の結果
- 図 3.5 種群 D（オオヨシキリ・ヒバリなど）の営巣・繁殖レベルに対する CART の結果
- 図 3.6 種群 E（コゲラ・メジロ）の営巣・繁殖レベルに対する CART の結果
- 図 3.7 種群 F（ムクドリ・ツバメなど）の営巣・繁殖レベルに対する CART の結果
- 図 3.8 樹林地創出・復元シナリオのゾーニングのための地域区分

- 図 3.9 樹林地創出・復元シナリオの実施対象地域
- 図 3.10 シナリオに応じた土地被覆セグメントの類型ごとの Nestedness Temperature の変化量
- 図 3.11 シナリオⅠ：大規模公共施設における樹林地創出の評価（単位メッシュ面積あたりの営巣・繁殖レベルの変化）
- 図 3.12 シナリオⅡ：河川・水域沿い樹林地創出 の評価（単位メッシュ面積あたりの営巣・繁殖レベルの変化）
- 図 3.13 シナリオⅢ：農地とセットでの樹林地創出の評価（単位メッシュ面積あたりの営巣・繁殖レベルの変化）
- 図 3.14 シナリオⅣ：市街地内植林地の林相転換の評価（単位メッシュ面積あたりの営巣・繁殖レベルの変化）
- 図 3.15 シナリオⅤ：農地の遷移に伴う樹林化の評価（単位メッシュ面積あたりの営巣・繁殖レベルの変化）
- 表 3.1 樹林地創出・復元シナリオの立地条件および環境設定

第 4 章

- 図 4.1 下総台地対象樹林の立地（20 地点）
- 図 4.2 多摩丘陵対象樹林の立地（20 地点）
- 図 4.3 TWINSpan による種群出現パターンの分類結果（越冬期）
- 図 4.4 TWINSpan による種群出現パターンの分類結果（営巣・繁殖期）
- 図 4.5 下総台地における越冬期の種群出現パターンの分類要因（CART の結果）
- 図 4.6 多摩丘陵における営巣・繁殖期の種群出現パターンの分類要因（CART の結果）
- 図 4.7 下総台地対象地域における樹林地創出・復元シナリオの実施対象地域
- 図 4.8 多摩丘陵対象地域における樹林地創出・復元シナリオの実施対象地域
- 図 4.9 下総台地の対象樹林におけるシナリオに応じた種群出現パターンの変動予測（越冬期）
- 図 4.10 多摩丘陵の対象樹林におけるシナリオに応じた種群出現パターンの変動予測（営巣・繁殖期）
- 表 4.1 下総台地の対象樹林周辺の土地被覆セグメントにおける主要な地形-植生ユニット
- 表 4.2 多摩丘陵の対象樹林周辺の土地被覆セグメントにおける主要な地形-植生ユニット
- 表 4.3 ランドスケープ内における樹林地創出・復元シナリオの立地条件および環境設定
- 表 4.4 下総台地対象樹林におけるシナリオごとの Nestedness Temperature および越冬期の種群出現パターンの変動予測
- 表 4.5 多摩丘陵対象樹林におけるシナリオごとの Nestedness Temperature および営巣・繁殖期の種群出現パターンの変動予測

第 5 章

- 図 5.1 Scaling ladder strategy（Wu & David, 2002 より引用）
- 図 5.2 都市圏スケールの地形-植生ユニットの構成間の水平的入れ子度と都市化による影響
- 図 5.3 都市圏スケールの樹林地創出・復元シナリオに応じたランドスケープの水平的入れ子の変化傾向
- 図 5.4 シナリオに応じた種群間・立地間のトレードオフ

表 5.1 台地・丘陵地内で入れ子度が高い土地被覆セグメントの類型と地形-植生ユニットの構成

表 5.2 台地・丘陵地内で入れ子度が低い土地被覆セグメントの類型と地形-植生ユニットの構成

第 1 章 研究の着眼点および目的

第 1 節 都市域の生物多様性の保全・回復にむけた複層的緑地計画の必要性

1.1 都市域における生物多様性への着目

20 世紀は世界人口の急速な都市化を見た時代であったが、21 世紀には、発展途上国を中心に、さらなる世界的な都市化の進行が見込まれている。1900 年に 2 億 2000 万人（世界人口の 13%）だった都市人口は、1950 年には 7 億 3200 万人（世界人口の 29%）に、2005 年には 32 億人（世界人口の 49%）が都市に住むようになっており、今後、2030 年には都市人口は 49 億人（世界人口の 60%）を占めることが予測されている（United Nations, 2006）。このような世界的な都市化傾向に伴い、都市の生物多様性の保全・回復は、グローバルな生物多様性の確保にむけた重要な課題となりつつある。都市域の自然環境は、野生生物の都市環境への移入・適応の場であると同時に、都市住民の生活の質（Quality of life）に寄与する多面的な機能（生態系サービス）の提供基盤であり、人々に自然生態系に対する価値形成の場や機会を提供している（Miller, 2005; Dunn *et al.*, 2006; CONTREC, 2008）。都市域の生物多様性に関する人々の関心は、大きく、都市が生態系に及ぼす影響、都市生態系における生物多様性の回復、嫌忌生物など人への負の影響のマネジメントに代表される（Savard *et al.*, 2000）が、これらのバランスを踏まえた生物多様性の保全・回復が必要である。

1992 年リオの地球サミットにおいて締結された生物多様性条約の締約国会議（COP）のなかでも、2008 年の COP9（ドイツ・ボン）にて、生物多様性への地域的な取り組み（Local action for biodiversity）として、地方自治体が都市域の生物多様性に果たす役割について確認がなされ、ボン行動宣言（Bonn Call for Action）が採択された。我が国でも、第 3 次生物多様性国家戦略の策定（2007 年）や生物多様性基本法の制定（2008 年）に伴い、都市域においても、国土レベルの生態系ネットワーク構築に資する自然環境の保全・復元が重要となっている。例えば、自治体レベルで生物多様性戦略の策定が進展しており、広域的な生物多様性のモニタリング・評価と、それに応じた保全・管理の目標設定が重要となっている。また、都市開発においては、Policy（政策）、Program（プログラム）、Plan（計画）の策定段階を対象とした戦略的環境アセスメント（SEA）の普及（UNU/IAS, 2003）にむけ、SEA ガイドラインが策定され（環境省, 2007 年）、事業の構想・計画段階からの環境保全措置の確実な実施と、その過程における合意形成が求められている。

都市域の自然環境は、その多くが、旧来の里地・里山において、薪炭林や採草地等の「ムラ」・「ノラ」の二次的自然環境として維持されていたものであり、農的管理と関わりの深い生態系が形成されてきた（井手, 1992; 山本, 2000; 武内ら, 2001）が、都市域の急速なスプロール化により細分化され、環境のモザイクを形成してきた（図 1.1）。これに対し、従来の市街化区域や用途地域指定等の画一的な線引きによる都市計画は必ずしも効果的な土地利用誘導策とならず（Yokohari, *et al.*, 2000）、土地利用の混在や無秩序な土地改変を生じ、都市内において十分な自然環境を担保してきたとは言い難い。

一方で今日、我が国の総人口は 2004 年を機に減少に転じ、人口構造の変化に伴う都市構造の転換期を迎えつつある。例えば、国土交通省国土計画局の試算（2007 年）では、土地利用の集約化等の対応施策をとらなかった場合、三大都市圏における 2050 年の人口が中心都市 1km 圏内で 2000 年比 80%（市街地規模で約 90%）、その他地域で 2000 年比 75%（市街地規模で約 70%）まで減少する可能性が指摘されており、人口減少を前提とした都市計画制度の見直しが求められている。今後、都市近郊を中心として生じる可能性がある開発の局所化、農地・樹林地の管理放棄、さらには市街地の縮退といった土地利用上の課題に対して、農地や二次的自然環境の適切な保全・管理・活用や市街地における緑地創出を推進し、都市緑地環境の一体的な整備を推進していくことが求められる。このようななかで、生物多様性の観点から都市域における緑地環境整備の全体指針の形成と、ランドスケープのマネジメントが必要となっている。とくに、自治体または地域レベルにおいて、将来的な土地利用の変化が生態系に与える影響を事前に予測し、生物多様性の側面から具体的な緑地環境整備の施策を検討していくための基盤情報と評価の枠組みが必要となっている。

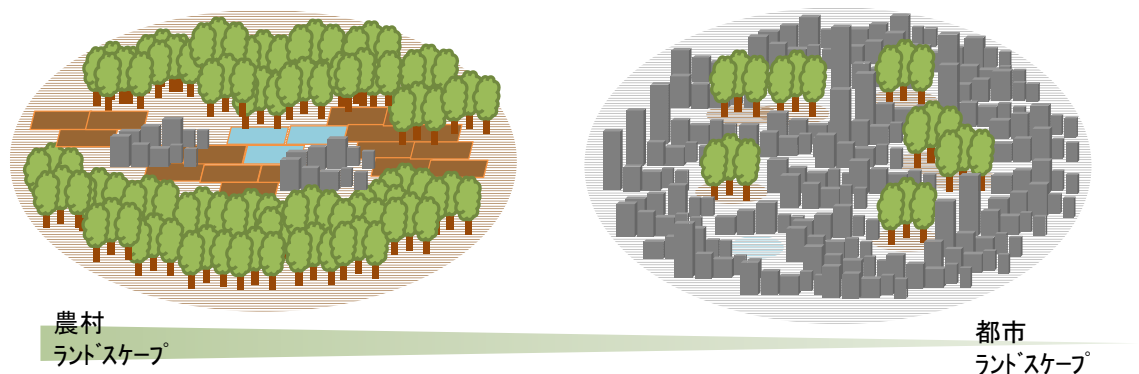


図 1.1 農村から都市にかけてのランドスケープの変化

1.2 ランドスケープ構造の地域的差異への配慮

都市域の生物多様性は、都市域における全ての生物の間の変異性であり、生態系の多様性、種間の多様性（種の多様性）、種内の多様性（遺伝的多様性）である。今日、都市域における生物多様性の保全・回復にむけた緑地環境整備では、種の地域個体群の維持・回復を図るため、生息地間の連結性を向上させ、これを広域的に発展させることにより生態系ネットワークを構築していくことが基本的な指針となっている。生態系ネットワークは、あるタイプの生態系が周辺環境との相互作用を含めて有機的なつながりをもって連続する空間システムであり（Opdam *et al.*, 2006）、国土スケールにおける保全地域の指定（例えば EU における生息地指令，NATURA2000 など）から、自治体スケールでの緑の基本計画、事業サイトスケールにおける緑地環境の創出・復元など、異なるスケールで緑地環境整備に反映されている。一方で、すべての生物種は異なる空間スケールの生態的現象の影響を受けている（Forman, 1964; Diamond, 1973; Mackey and Lindenmayer, 2001）。したがって、適切な生態系ネットワークの構築にあたっては、都市域の広域的なランドスケープ構造を把握し、異なるスケールにおけるランドスケープ構造と生物多様性との関連性を把握することが重要となる。

都市域の土地利用変化に伴う広域的なランドスケープ構造の変化に関しては、緑被分布やその連続性の変化など、ランドスケープの水平的分布パターンの変化 (Swenson & Franklin, 2000; Lasanta *et al.*, 2006) を中心に研究がなされてきた。そして、ランドスケープの水平的分布パターンの変化が生物相に与える影響に関しては、生息地の細分化 (Habitat fragmentation) との関連を中心に研究が蓄積され、生息地の細分化による生物種のメタ個体群への影響 (Kozakiewicz & Kanopka, 1991; Swetnam *et al.*, 1998; Rustigian *et al.*, 2003) や、種多様性への影響 (Olf & Ritchie, 2002; Wamelink *et al.*, 2003; Waldhardt *et al.*, 2004) に関する検討がなされてきた。

複雑な土地被覆のモザイクを形成している我が国の都市においては、ランドスケープ構造の把握において、とくにその質的構成も把握し、生息地の空間的な異質性 (heterogeneity) と種多様性との関連性を検討したうえで、緑地環境整備の空間的要件を検討する必要がある。たとえば、流域において、地域固有の分布を有する生物種群の生息適地の分布が種多様性の分布と部分的な不一致 (ギャップ) を生じ、その要因として地域固有の地形・地質条件が作用していることが指摘されている (横田ら, 2008)。一方で、生息地の空間的な異質性と種多様性との関連性の把握においては、地域に応じて異なる種多様性の指標となる単一種を網羅的に抽出することは困難であり、また、単一種について把握される生息環境条件から、生物種間の関係を踏まえて種多様性に寄与するランドスケープ構造の目標設定を行うことは困難である。したがって、地域に応じて異なるランドスケープ構造と種多様性との関係を把握するためには、生態系を指標する生物種群を単位として、そのマクロな分布と生息環境の空間的異質性との関係性を把握したうえで、生息環境条件の異なる生物種群間についてバランスを図ることが必要である (Ernoul *et al.*, 2003; Holzkämper *et al.*, 2006)。

このように、都市域におけるランドスケープ構造の地域的差異は、種多様性の保全・回復のための緑地環境整備にあたって、目標とする自然環境の設定や立地選定の重要な要件となる。地域レベルの環境特性を踏まえた緑地環境整備によって、社会・文化・経済的価値を含めた生物多様性の多面的価値に基づく土地利用の最適化 (De Groot, 2007) を図っていくことにより、地域的な環境の固有性を保ちつつ持続可能な都市環境整備を行っていくことが必要である (Hansen *et al.*, 2005)。しかしながら、ランドスケープ構造の地域的差異を踏まえた緑地環境整備のあり方に関しては、科学的かつ客観的な手法の検討が不足し、体系的方策の構築に至っていない。

このような中で、土地利用変化や緑地環境整備が生態系に与える影響について、将来の目標環境を設定したうえでそれにより求められる課題を未然に解決していく、シナリオベースの計画評価手法への期待が高まっている (Hawkins & Selman, 2002; Zebisch *et al.*, 2004; Bolliger *et al.*, 2007; Hemstrom *et al.*, 2007)。シナリオの策定と評価を通じて、都市構造や土地利用の変化に伴った緑地環境の復元・創出や管理の影響を顕在化することによって、客観的根拠に基づいた緑地環境整備の計画対象地域の選定 (Lee & Thompson, 2005) や計画策定プロセスにおける合意形成 (Wollenberg *et al.*, 2000; Waltz *et al.*, 2007) を促進することが期待される。国内における都市域の種多様性の保全・回復のためのシナリオ評価の研究としては、ビオトープネットワーク形成シナリオの評価 (李ら, 1999) や、郊外における生態系ネットワーク計画のための GAP 分析とシナリオ分析 (飯塚ら, 2004; 長濱ら, 2006) などがあるが、主として生息地またはランドスケープの連結性の視点からの影響評価であり、特定種の生息可能性の変化あるいは生物相の種数の変化を評価対象としている。広域的なランドスケープ構造の質的構成の地域的差異に注目し、その変化に対する生物種組成全

体の変化を評価対象としたシナリオ評価の事例はまだ少ない。

1.3 複層的緑地計画にむけた課題

都市ランドスケープのマネジメントにおいて、空間スケールは現象把握の基本的視点を決定づけるものであり、空間スケールに応じた階層性をもったマネジメントの仕組みが必要である (Rice, 1992)。空間スケールに応じて階層的に捉えられるランドスケープ構造には、スケール間の関係性が存在し、上位スケールにおけるランドスケープ構造の変化がより下位のスケールにおける環境変化を規定する (トップダウン効果) とともに、下位スケールにおける環境変化の蓄積が上位スケールのランドスケープ構造の変化要因となる (ボトムアップ効果)。一方で、サイトスケールでの一時的な種多様性を規定する要因は、広域スケールでの長期的な種多様性の変化を規定する要因とは異なる可能性があることも指摘されている (Willis & Whittaker, 2002)。

したがって、都市域における種多様性の保全・回復にむけた緑地環境整備にあたっては、異なる空間スケールで施策策定とその効果の予測を行うことによって、事業サイトスケールから国土スケールにいたるまで、スケールごとに上位または下位のスケールの指針との関連性をもった整備指針を形成していく複層的な緑地計画が必要であり、その一体的な推進を図ることが期待される。そのなかで、個々の空間スケールにおける施策の効果予測も、その上位または下位の空間スケールとの関係性を含めて検討されることが必要である (Rice, 1992; Savard, 1994; Sexton *et al.*, 1998; Groves *et al.*, 2002)。すなわち、個々の緑地環境の整備においては、その効果を、事業サイト内の種多様性に対する効果 (α 多様性への効果) に加えて、地域スケールにおける異なる緑地環境間の種組成の変異に対する効果 (β 多様性への効果) の観点から把握することにより、対象地域の種多様性全体 (γ 多様性) への効果を総合的に把握することが求められる。

我が国の都市においても、体系的な緑地環境整備にむけて、広域スケールのランドデザイン、自治体スケールにおける緑の基本計画、事業サイトスケールにおける緑地環境の創出・復元に反映可能な生態学的知見として、マルチスケールでのランドスケープ構造と種多様性の関係性に関する知見の蓄積が望まれる。都市域のランドスケープ構造は、近年のリモートセンシング技術の発展に伴い、土地被覆を基本情報として、異なるスケールでの分析を効率的に行うことが可能となっている。これに対して、統合的に活用できる生物相データを整備することにより、空間スケールをまたいだ複層的な生物多様性マネジメントのあり方を検討していくことが求められる (Sexton *et al.*, 1998; Smith & Wyatt, 2007)。すなわち、異なるスケールにおいて、種組成に影響するランドスケープ構造の空間的要件を把握したうえで、それらの空間的要件の視点から、各スケールでの緑地環境整備の計画対象地域および目標環境を評価し最適化していく複層的な計画手法を整備することが期待される。

一方で、都市域では、土地利用の混在に伴って土地被覆が多様かつ複雑なモザイクを形成しており、ランドスケープ構造と生物相との関連性を把握するための統一的な空間単位を設定するための客観的な方法が確立されていない。また、都市環境は常に人為的攪乱や改変の影響を強く受けるため、市街地を含めた土地被覆全体を対象として、広域的かつ網羅的に生物相のモニタリングを行うことが困難である。これらの課題から、都市域の土地被覆モザイクを対象として、生物相に影響するランドスケープ構造の空間的要件に関する検討が十分になされているとは言い難い。

これに対して、異なるスケールにおいて、スケール間の関連性を有しながら都市域の土地被覆を分析するための空間単位を設定し、生物相に影響するランドスケープ構造の空間的要件を把握するための客観的手法を検討する必要がある。その際とくに、土地被覆のモザイクを形成する環境のバランスと、生物相のバランスとを図るための客観的手法が求められる。また、これにあわせて、階層的な緑地環境整備のシナリオ評価手法を構築することによって、生物相のデータ整備の空間的フレームワークの検討を含め、広域的かつ階層的な都市域の種多様性モニタリングと、その緑地環境整備計画への反映方法を検討する必要がある。

第2節 都市ランドスケープの水平的パターンと入れ子構造

2.1 都市ランドスケープ構造の機能的把握

2.1.1 都市域におけるランドスケープの連結性

ランドスケープの連結性 (Landscape connectivity) は、ランドスケープが生物種 (個体・個体群) の資源パッチ間の移動を促進または阻害する度合いと定義される (Taylor *et al.*, 1993)。ランドスケープの細分化に伴い生じる生息地の縮小や消失は、生息地間距離を拡大させ、種の地域個体群の安定的な生息基盤が連続的に確保された状態を分断する。ランドスケープの細分化に伴う生物種組成の変動に関しては、主に個体群生態および群集生態の視点から、種・種群レベルの移動・分散や資源配分などへの影響について理論研究を中心に蓄積され、種・種群ごとに空間的・時間的な変動の傾向が異なることが指摘されている (Ollff & Ritchie, 2002; Lloyde *et al.*, 2005; Chave & Norden, 2007)。たとえば、一般的には細分化が進んでいないパッチ的生息環境において種の多様性が高くなる一方で、移動能力の高い鳥類や哺乳類、先駆性植物種群等に関して、エッジ効果等の影響によって必ずしもそのような傾向とはならない場合もあることが報告されている (Debinski & Holt, 2000)。これに対して、細分化の進んだランドスケープにおいて、ランドスケープの連結性の向上は、地域に生息する多様な種の生息環境の質的向上に資すると考えられ、分断の進んだ地域 (ギャップ) を補填するコリドーの形成が、とくに細分化の進んだパッチ内における種多様性 (α 多様性) の向上に効果を有することが指摘されている (Bruinderink *et al.*, 2003; Pardini *et al.*, 2005; Bailey, 2007)。

一方、都市域におけるランドスケープ構造の形態と生物相との関係については、島状の生息地をパッチ、都市化による人為的土地被覆をマトリクス、パッチを連結する線状生息地をコリドーとして、生息環境の空間的機能を分類するパッチーコリドーマトリクスモデル (Forman, 1995) に基づく検討が多く蓄積されてきた。これをもとに、パッチ状生息地における環境条件と種組成との関連性に関しては、主にパッチ面積や周縁長などとの関係性の観点から既に多くの知見が蓄積されている。

これに対して、特に人為的影響が大きく作用するマトリクスにおける環境条件が、一部種群の代替的生息地や移動経路として機能し、個体・個体群の移動や資源利用に影響を与えることが指摘されている (Hobbs, 1988; Dunford & Freemark, 2004; Ricketts, 2001)。マトリクスの環境条件は、パッチ・コリドーの種組成に影響を与える (Dover & Sparks, 2000; Debinski, 2006; 鶴川・加藤, 2007) とともに、マトリクス自体における種組成の地域的な差異 (Melles *et al.*, 2003; 横田・武内, 2006) に影響を与える。生息地の連結性の向上に寄与するコリドーや飛び石状生息地は、それらを移動または生息のための環境として活用できる生物群にとっては有効であるが、その他の生物群に対しても生息地間の連結性を高めることが必要であり、多様な種が活用可能な緑地環境をすべてのマトリクス環境で維持・回復させることが必要である (Murphy & Noon, 1992; Franklin, 1993; Rosenberg *et al.*, 1997)。マトリクスがパッチにおける個体群や種組成に与える影響は、パッチ自体の環境条件に比べると小さい (Goodwin & Fahrig, 2002) とする指摘があるが、マトリクスにおける環境復元は、直接または間接的にランドスケープの連結性の向上に作用すると考えられる (Wethered & Lawes, 2003; Murphy & Lovett-Doust, 2004)。

したがって、都市域における種多様性の保全・回復のためには、細分化の進んだパッチにおいてより多様な種の生息可能性を向上させるとともに、多様な種が活用可能なコリドー、飛び石状生息地の創出と、マトリクスにおける生息地の創出・復元によって、地域内におけるランドスケープの連結性を向上させることが効果的である。しかしながら、都心部のように人工環境が主体のランドスケープや均質性の高いランドスケープにおいては、パッチとマトリクスの機能的境界を明瞭に把握することができ一方、土地被覆・土地利用が複雑なモザイクをなす郊外を中心とした地域においては、両者の機能的境界が不明瞭であり、パッチとマトリクスの関係性を一体的に捉える必要が生じる。とくに後者の場合は、地域に応じたランドスケープ構造が生物相に与える影響を把握するうえで、主要な個別生息地の面積や形態を把握するとともに、土地被覆のモザイク全体の地域的な差異を把握することが重要となる。

2.1.2 都市ランドスケープの空間的異質性

都市域におけるランドスケープ構造と種多様性の分布は、それを把握するための空間スケールに強く依存する。具体的には、都市ランドスケープ構造は、一定スケールにおいて機能的役割の異質なユニットが繰り返し現れる水平的なモザイクを形成しているとともに、異なるスケール間で、下位スケールにおける環境要素が上位のスケールにおける環境要素の構成要素となる相互関係よりなるスケール間の関係性によって形成されている (Wu & Vankat, 1991; Wu, 1997; Wu & David, 2002)。

このようなランドスケープ構造の空間的異質性は、地域個体群の移動・分散 (Gardner *et al.*, 1989; Johnson *et al.*, 1992) や異なる生物種間の相互作用 (Pacala & Roughgarden, 1982; Danielson, 1991) に影響するとともに、環境の異質性をもたらす攪乱の影響 (Pickett & Cadenasso, 1995) を受けており、さまざまな生態的機構に関連している。国内の都市域におけるランドスケープに関しても、植物種について、都市近郊における二次的自然環境のモザイクが種の供給源、移動・分散のルート、あるいは逃避先 (レフュージア) として機能していることが指摘されている (井手・武内, 1992)。また、都市化や開発により消失したランドスケープの復元・創出にあたっては、種多様性の回復のためにランドスケープの異質性を復元することは重要な要件と考えられる (Ziv, 1998; Sklenička & Lhota, 2002)。

このようなランドスケープ構造の空間的異質性は、モザイクの構成要素となる均質性の高い環境要素 (空間ユニット) を「等質地域」、それらが特定の要因 (例えば地形的要因) に応じて集合した異質性の高い領域を「結節地域」として捉えることができ、これらがスケールに応じて繰り返し現れる関係性として把握することができる (武内, 1991)。したがって、ある地域におけるランドスケープ構造の分析にあたっては、一定スケールにおける水平的な景観構成の差異を、上位または下位スケールの景観構成と同時にとらえることが重要 (Dungan, *et al.*, 2002) であり、そこにおける種多様性の把握においては、ランドスケープスケールにおける要因とサイトレベルの要因との関連性を明らかにすることが必要である (Angold *et al.*, 2006)。ランドスケープレベルでの地域的な種組成の差異 (β 多様性) を捉えるためには、適切な観測サイトの規模や配置、対象生物群の選定も重要となる (Mac Nally *et al.*, 2004)。

2.1.3 階層的パッチダイナミクス (Hierarchical patch dynamics paradigm)

人為的な影響を強く受けている都市のランドスケープ構造は、都市中心部から郊外にかけて都市的土地利用の変異が、攪乱や環境ストレス（大気汚染など）等の変異を生じており（McDonnell and Pickett, 1990）、生物相もこれらの環境傾度に沿った変化をとることが指摘されている（Crooks *et al.*, 2004）。たとえば、広域的な都市の環境傾度において、適度なレベルの人為的攪乱を受ける郊外地域において種多様性が高くなっている例が、鳥類（Clergeau & Burel, 1997）やチョウ類（Blair, 1997; Collinge *et al.*, 2003）などの生物群について指摘されている。

このような都市のランドスケープ構造の水平的分布パターンを異なるスケール間の関係性を含めて捉える視点として、Wu & Devid (2002)は、一定スケールでのランドスケープのパターンおよびその形成要因を異なるスケールでのパターンおよびその形成要因との動的な関係性を伴って把握する「階層的パッチダイナミクス (Hierarchical patch dynamics paradigm)」を提唱している。これは、ランドスケープ構造の水平的分布パターンのスケール間の階層性と、ランドスケープの水平的分布におけるパッチダイナミクス（Pickett & White, 1985）や、生息地レベルまたはランドスケープレベルでの中規模攪乱仮説（Huston, 1979）をベースとし、大きく 1）適切なパッチ階層構造の把握、2）対象とする特定スケールにおける現象の観測とモデル化、3）スケール間の階層構造に則した情報の外挿、の 3 つのステップで、都市ランドスケープの機能を階層的にとらえるものである（Wu & Devid, 2002）。都市域において、複数のスケールで、マトリクスを含めたランドスケープ構造と生物相の異質性を捉え、各スケールにおける自然環境の創出・復元の整備指針を複層的な緑地計画に位置づけるうえで、階層的パッチダイナミクスのフレームワークに基づく分析は有益と考えられる。

本研究では、マトリクスを含めた都市のランドスケープ構造の把握を行い、都市の土地被覆のモザイクが種多様性に対して有する機能に注目する。そのなかで、特定スケールにおいて、土地被覆モザイクにおけるランドスケープ構造を、主に景観構成の異質性の観点から把握するとともに、その生物種組成への影響を把握し、シナリオ評価への適用を行う。そのなかで、階層的パッチダイナミクスを参考に、異なるスケールでの空間的異質性の間の関係性にも注目し、複層的な緑地計画にむけた知見を得ることを目指す。

2.2 都市ランドスケープ構造の階層的分析のための空間フレーム

2.2.1 土地被覆セグメントを単位としたランドスケープ構造の把握

複雑な土地被覆のモザイクによって形成される都市のランドスケープ構造では、生物生息環境として重要な植生の分布も多様な構成と複雑な形態を有しており、そのような植生分布の構成や形態が、生息する生物群に応じてパッチ、コリドー、マトリクスとしての機能を決定づける。したがって、ランドスケープ構造の水平的分布パターンを把握するうえでは、土地被覆を構成する植生と、植生の成立基盤となる地形条件を、ランドスケープの構成単位として捉え、土地被覆モザイクにおける水平的な配置・構成を把握することが必要である。さらに、そのようなランドスケープの構成要素（景観構成要素）の水平的な配置・構成の把握にあたっては、土地被覆のモザイクと景観構成要素との関係性を把握するための空間フレームが必要である。そのような空間フレームとして、植生の構成・形態（パッチ-コリドー-マトリクス）を包含し、土地被覆の空間単位

が必要である。このような空間単位としての土地被覆セグメントと、景観構成要素としての地形-植生ユニットの設定によって、土地被覆のモザイクが形成する都市のランドスケープ構造の空間的な把握が可能となる（図 1.2）。土地被覆セグメントは、都市の土地被覆モザイクの質的構成を区分する空間単位であり、その異質性の把握単位となる。したがって、その内部においては、土地被覆の構成単位（植生や河川などにとどまらず人工構造物を含む）がさまざまな要因（たとえば地形・地質やそれに応じた土地利用など）に応じて規則性をもって集合している領域である。とくに生物生息環境の観点から、景観構成要素としての地形-植生ユニットは、土地被覆モザイクの「等質地域」として捉えることができ、モザイクの把握のための空間単位である土地被覆セグメントは、等質地域が複合的な環境要因によって集合した「結節地域」と捉えることができる。土地被覆セグメント内における地形-植生ユニットの質的な構成が、土地被覆セグメント間の空間的異質性を形成する。

このような土地被覆セグメントの適切な空間規模は、都市域におけるランドスケープ構造と生物相との関係性を把握するうえで注目する生物群に応じた設定が必要となる。たとえば、Debinskiら（2001）は、チョウ類群集を指標として、土地被覆モザイクの構成要素のスケールとパッチ間の個体群移動パターンとの関係性について、モデルとその検証を通じて把握しており、より小さなサイズのパッチからなるモザイクにおいて隣接パッチの影響が大きくなること、ジェネラリスト種・スペシャリスト種ともにより細かな構造の土地被覆モザイクに対する選択性が高いことを示している。

また、土地被覆セグメントは、土地被覆のモザイクに基づく空間単位であるため、河川流域における小流域のように地形的骨格に応じて把握可能な結節地域とは区分が異なる。これは、都市的な土地被覆が、すでに小流域に代表される地形的区分に応じた結節地域を越境する形で拡大したことによるものである。したがって、土地被覆に基づく空間単位としての土地被覆セグメントを空間単位としたランドスケープ構造の把握は、都市の土地被覆モザイクのなかで、都市的土地被覆と自然的土地被覆とのバランスを図るための空間フレームとして有益であると考えられる。

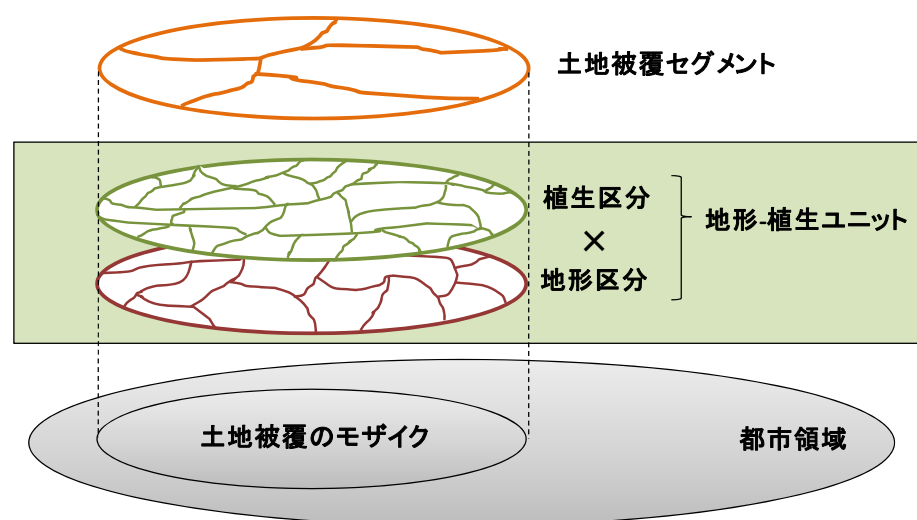


図 1.2 土地被覆セグメントと地形-植生ユニットを単位としたモザイクの把握

2.2.2 オブジェクト指向画像分析を用いた土地被覆セグメントの抽出

本研究では、土地被覆のモザイク度の高い都市域において、均質性の高い土地被覆セグメントを抽出するための手法として、リモートセンシングデータのオブジェクト指向分析 (Hay *et al.*, 2005; Benz *et al.*, 2004) に着目する。オブジェクト指向画像分析 (Object-based Image Analysis) により、土地被覆の構成・形態が相互に異質となる土地被覆セグメントを効率的に区分し、これを空間単位として広域的なランドスケープ構造の質的構成を分析する手法について検討する。

オブジェクト指向画像分類は、リモートセンシングデータをもとに、構成する画素同士の空間的關係性を基準として、土地被覆の領域分割 (segmentation) と分類 (classification) を行う手法である。これにより抽出されたパッチをベースとしたマルチスケールでの景観分析 (Ziv, 1998; Hay *et al.*, 2001) や衛星データの植生図化 (鎌形ら, 2005 など) 等への応用が図られている。マルチスケールでのランドスケープ構造の把握のためには、従来のピクセルベースによる単一スケールでのリモートセンシングによる土地被覆のモニタリングには限界があり、空間明示型のオブジェクト指向分析によりオブジェクト間の関係性を考慮できるかたちで土地被覆をモニタリングおよび分析することが必要である。したがって、階層的パッチダイナミクスを含めた都市域における階層的なランドスケープの把握においては、オブジェクト指向によるマルチスケールでの領域分割と、セグメント間の関係性のモデリングが有効なツールとなる。マルチスケールでの領域分割において抽出される土地被覆セグメントを単位として、上位または下位のスケールのセグメント間の関係性をどのように把握するかが、ランドスケープ構造全体の階層的な把握のうえで重要となる (Burnett & Blaschke, 2003)。

本研究では、領域分割の手法として、Baatz and Schäpe (2000) による Multi-resolution segmentation (領域成長法) を用いて、均質な画像領域を抽出する。本手法は、隣接する領域 (最初は画素) 同士を、領域の形状指数 (shape parameter) および領域内画素値の標準偏差 (color parameter) をもとに算出される類似度を基本情報として、閾値 (scale parameter) を判定基準に領域結合をしていき、均質な領域を作成する手法である。異なる scale parameter による領域分割を比較すると、上位のセグメントは、より小さな scale parameter をもとに分割される下位スケールのセグメントとその境界をもとに統合される (図 1.3)。Multi-resolution segmentation による領域分割は、特定の領域の土地被覆について、異なるスケールの領域分割により生じるセグメントが互いに内包関係を形成しながら分割されるため、垂直的な入れ子構造を有する土地被覆セグメントの分割が可能である。したがって、異なるスケールで土地被覆セグメントの構成を把握しながら、特定スケールでその内部構成を比較するための空間単位を形成することが可能である (臼田ら, 2003; 横田, 2007)。本研究では、オブジェクト指向の領域分割による土地被覆セグメントを、生物相の地域的差異に関連する景観構成の地域的差異を把握するための空間単位として応用し、都市のランドスケープ構造の把握に活用する。

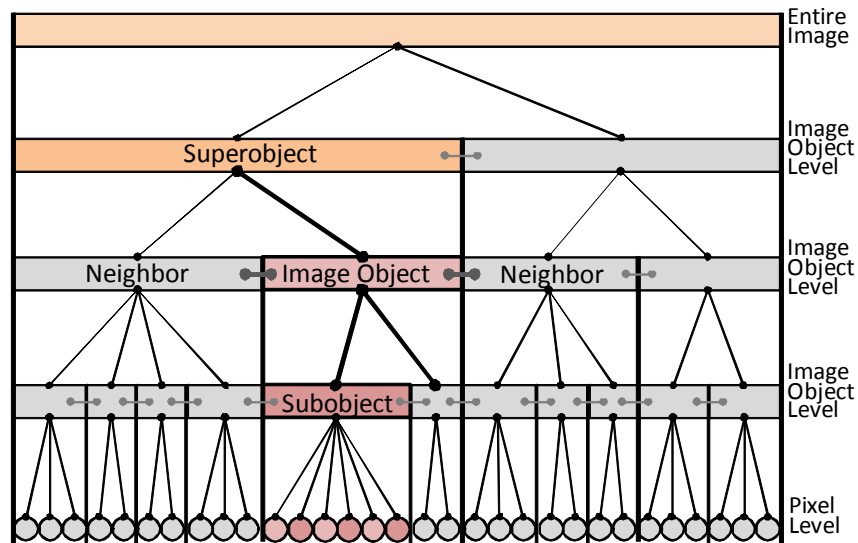


図 1.3 オブジェクト指向画像分析における Multi-resolution segmentation
(Definiens A.G.,2007 をもとに改変)

2.3 ランドスケープの空間的異質性の指標としての入れ子構造

2.3.1 種組成の入れ子構造

生物種組成の入れ子は、生息生物種の乏しいサイトにおける種組成が、生息生物種の豊富なサイトにおける種組成を包含する組成となっている状態 (Wright & Reeves, 1992; Patterson & Atmar, 1986; Wright *et al.*, 1998) を指し、生物相の分布における生物地理学的な規則性のひとつと考えられる (Atmar and Patterson,1993)。種組成の完全な入れ子の状態 (図 1.4) において、どのサイトにも生息する種と限られたサイトにしか生息していない種とが明瞭に区別され、対象地域の種多様性の指標は種数となる。

都市域のランドスケープにおいて種組成の入れ子が生じる例が指摘されており、たとえば鳥類を対象として、人為的改変により細分化の進んだ孤立樹林における種組成の入れ子が報告されている (Fernández-Juricic, 2002; Fisher & Lindenmayer, 2005; 橋本ら, 2005 など)。種組成の入れ子は、都市化に対する生物相の応答について種組成の観点から把握するための指標となり、都市域の自然環境管理において、あるサイトにおける種組成とその周辺サイトにおける種組成との関係性を把握うえで有効な指標となる (Fleishman *et al.*, 2007)。

例えば、Donnelly & Marzluff (2004) は、都市中心から郊外にかけて分布する鳥類相について、樹林性の小型鳥類および都市適応型鳥類の入れ子度 (%PN を指標) が、樹林パッチサイズと周辺の都市化度に影響されていることを把握し、種組成の入れ子を保つための種ごとの環境条件 (パッチの最小サイズや周辺の都市的土地被覆の割合等) の閾値を提案している。また、Fleishman *et al.* (2002) は、3つの山脈スケールにおける鳥類およびチョウ類の種組成の入れ子を把握し、鳥類種組成の入れ子傾向には営巣環境やエサ場となる植生分布が、チョウ類種組成の入れ子傾向には幼虫の食草や成体の吸蜜源の分布が影響していることを確認し、生物群に応じた入れ子構造に影響を与える環境条件が異なることを指摘している。

種組成の入れ子構造は、生物種群の分布について、単に種数の豊富さだけでなく、種組成の分布パターンに関する情報を提供する点において、都市域の緑地環境整備においても効果的に活用できる可能性がある。たとえば、生息地間で種組成の入れ子の傾向が強い場合、より種の豊富なサイトにしか見られない種、すなわち入れ子の上位にあたる種組成にしか見られない種は、より保全の必要性の高い種となり得る (Patterson, 1987)。また、種組成の入れ子構造が保たれている地域において、ランドスケープスケールでの種多様性の保全策を検討する際には、固有性の高い種をその生息地単体のみで保全するのではなく、周辺生息地間の種組成のバランスを図りながら保全を図ることが重要であり、種組成の入れ子がそのための判断指標となり得ると考えられる (Wright & Reeves, 1992)。

種組成の入れ子構造の要因として、Lindenmayer & Fisher (2006) は、地域個体群の選択的な移入 (selective immigration) と絶滅 (selective extinction) のほかに、ハビタットの入れ子構造 (habitat nestedness) を挙げている。とくに、ハビタットの入れ子構造は、生息地間において種組成を構成する種ごとの生息環境条件が入れ子の関係にあることを示すものであり、生息地間の環境条件の入れ子に応じた種の生息が、種組成の入れ子を促進すると考えられる。ハビタットの入れ子構造は、ランドスケープ構造に関連する機構として、種組成の分布パターンの予測や、生物相保全のための緑地環境整備の立地選定や目標環境設定への応用の観点から注目される (Honnay *et al.*, 1999; Cam *et al.*, 2000)。

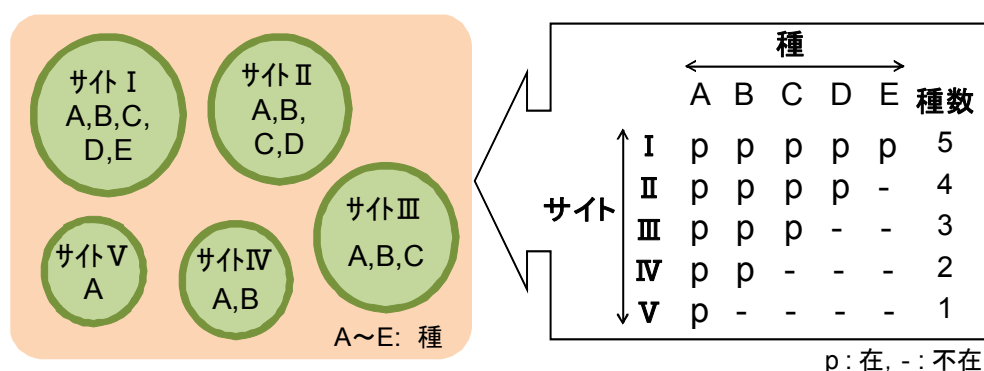


図 1.4 種組成の水平的入れ子（完全な入れ子の状態）

2.3.2 ランドスケープの水平的入れ子構造と把握のための空間フレーム

本研究では、種組成の入れ子構造の要因のひとつであるハビタットの入れ子構造を、都市のランドスケープ構造の質的構成（景観構成）の把握に適用する。すなわち、都市の土地被覆モザイクにおける景観構成を、入れ子構造を指標とすることによって、地域間の景観構成の関係性を含めて把握する。また、景観構成と生物種組成の分布とを同時に把握することによって、生物種群とその分布パターンを指標として、種多様性の保全・回復のためのランドスケープの配置要件の把握につながると考えられる。

ランドスケープの水平的入れ子構造の把握のための空間フレームとして、土地被覆に基づくランドスケープ構造の把握のための空間フレーム（図 1.2）と、オブジェクト指向画像分析により抽出される土地被覆セグメント（図 1.3）を応用する。すなわち、オブジェクト指向画像分析により抽出される土地被覆セグメントを空間単位として、その内部における景観構成として地形-植生ユニットの構成を把握し、土地被覆セグメントごとの地形-植生ユニットの構成の入れ子構造を把握する。また、異なる土地被覆セグメントにおける景観構成の間の入れ子を、土地被覆のモザイクまたは立地の類似するセグメントの集合（土地被覆セグメントの類型）ごとに把握することによって、ランドスケープ構造の地域的差異を把握する（図 1.5）。入れ子の関係性は、一定スケールにおける土地被覆セグメントごとの地形-植生ユニットが入れ子の関係性を示す「水平的な入れ子」と、特定の土地被覆セグメントが異なるスケールで地形-植生ユニットと内包関係を示す「垂直的な入れ子」に分けることができる。ここで注目するランドスケープの水平的入れ子構造は、種組成の入れ子同様、異なる土地被覆セグメント内の景観構成間の水平的な関係性を捉えるものであり、「水平的入れ子構造」である。

以上の空間フレームに基づき、ランドスケープの水平的入れ子は、環境が多様な土地被覆セグメント内における景観構成（地形-植生ユニットの組合せ）が、環境が均質な土地被覆セグメント内における景観構成を包含する関係と定義できる。扇状地を例とした景観構成の完全な入れ子の状態を図 1.6 に示す。

景観構成の水平的な異質性を、入れ子を指標として捉えることによって、土地被覆セグメント間の景観構成要素（地形-植生ユニット）の在・不在パターンを把握し、土地被覆のモザイ

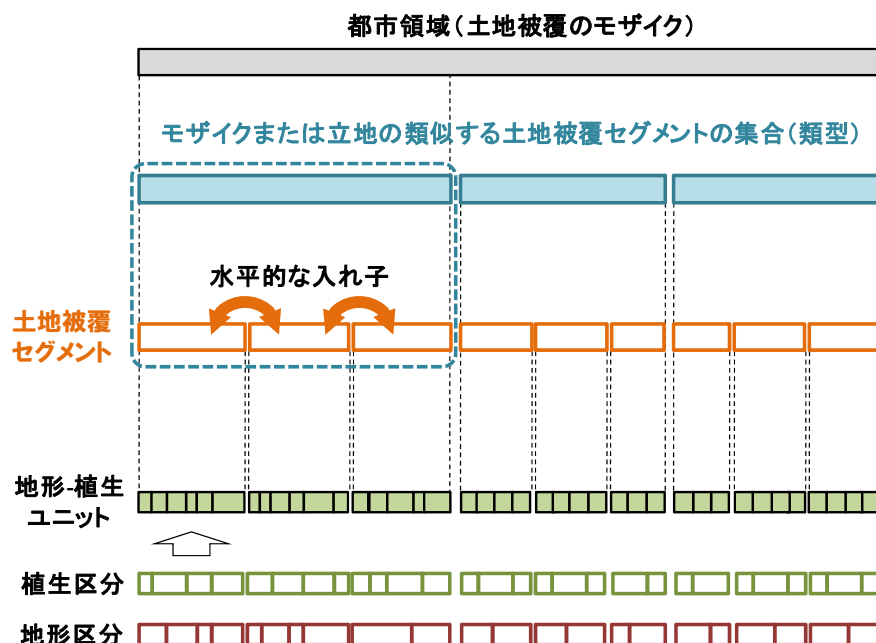


図 1.5 土地被覆セグメントを単位としたランドスケープの水平的な入れ子の把握

クまたは立地が類似したセグメントの類型（上位の空間フレーム）ごとに、ランドスケープ構造の質的特性を相対比較することが可能である。従来のランドスケープの特徴量として、景観構成要素の特化度や混在度があるが、これらは土地被覆セグメント内における個々の景観構成要素の立地配分を特徴づける指標となる一方で、セグメントとその構成要素としての関係性の把握にとどまり、土地被覆セグメントの類型ごとの水平的な景観構成パターンを直接特徴づけることはできない。すなわち、水平的な入れ子を指標とすることによって、緑地環境整備による個々の地形-植生ユニットの保全や復元・創出が、土地被覆セグメントの景観構成の変化とセグメント間の関係性の変化を通じて、土地被覆のモザイクにどのような質的影響を与えるか、直接的に把握することができる。

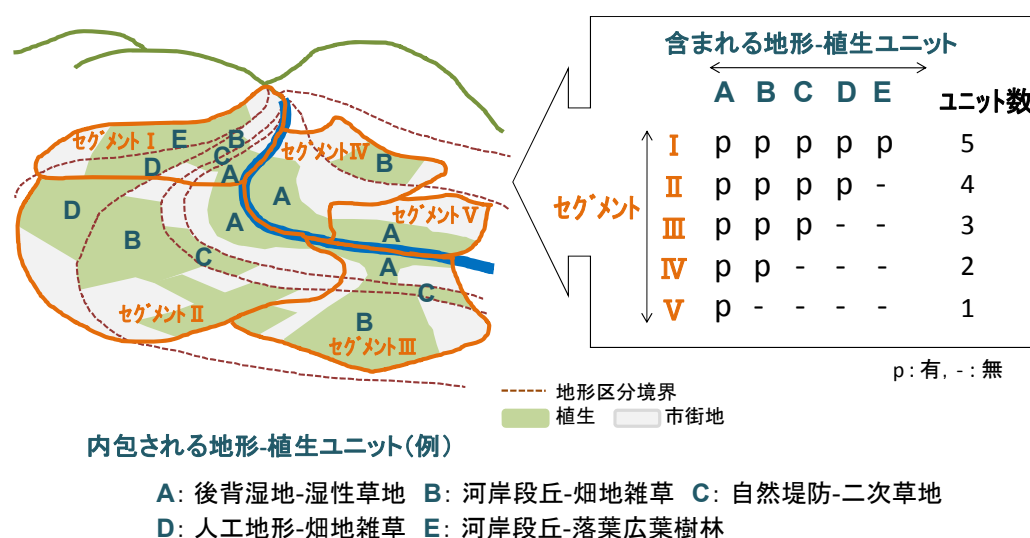


図 1.6 ランドスケープの水平的入れ子（完全な入れ子の状態）

2.3.3 緑地環境整備におけるランドスケープの水平的入れ子の活用可能性

ランドスケープの水平的入れ子の把握は、緑地環境整備における復元・創出環境の目標設定への活用が期待できる。都市化の進行によって土地被覆セグメントの景観構成の多様度が低下した地域においては、土地被覆セグメント間の入れ子度を高める重点的な環境復元と、入れ子度を低める分散的な環境創出とによって、地域全体で形成される土地被覆のモザイクの質的構成が異なる（図 1.7：扇状地における例）。前者においては、網羅的に地形-植生ユニットを復元して質の高い土地被覆セグメントを重点的に再生する環境復元であり、景観構成の水平的入れ子度が高まる結果、環境の多様性の高い土地被覆セグメントが形成され、そのなかで優先的に保全すべき地形-植生ユニットの明確化が可能となる。一方後者は、創出する地形-植生ユニットは限定的であるが、創出立地を振り分け、立地となる土地被覆セグメントにおける従来の景観構成に応じて、土地被覆セグメントの環境の多様性を向上させる環境創出である。結果として、景観構成の水平的入れ

子度は低下または現状維持レベルであるが、創出する環境の質を重点化することによって、土地被覆セグメントに応じた景観構成を創出することが可能となる。

このように、環境復元・創出の質的効果を、景観構成の水平的入れ子により把握し、さらに地域間で入れ子度の比較を行うことによって、当該地域における景観構成の復元・創出の特徴を客観的に把握することが可能である。また、景観構成の水平的入れ子と、広域的な生物種組成との関連性を把握することによって、地域内における環境復元・創出がより広域的な生物種組成とその多様性に及ぼす影響について把握することが可能であり、種多様性（とくに β 多様性）の保全・回復のための環境復元・創出の指針に反映させることが期待される。

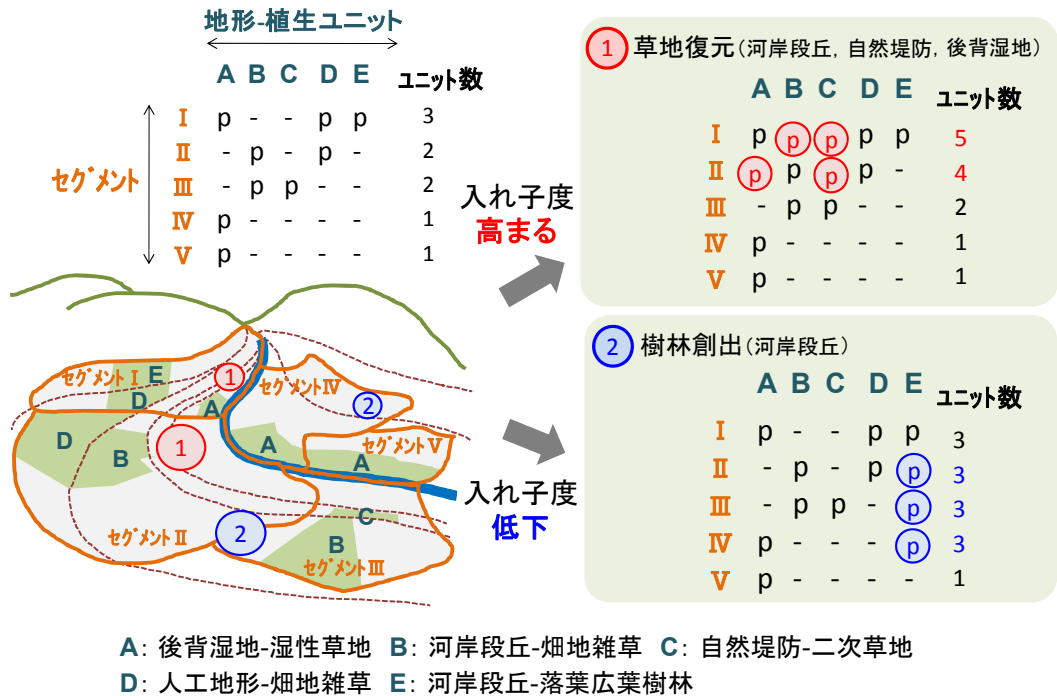


図 1.7 復元・創出する緑地環境に応じたランドスケープの水平的入れ子の変化

第3節 本研究の目的と構成

3.1 研究の目的

本研究では、都市域における種多様性、さらにはその基盤である生態系の多様性の保全・回復にむけて、広域スケールにおける緑地環境整備の計画策定から事業サイトスケールにおける緑地環境の創出・復元にわたって活用可能な生態系評価・計画のあり方について検討する。とくに、市街地を含めた都市域の土地被覆のモザイクが生物相にもたらす影響について、都市ランドスケープ構造の形態的特性や質的構成と、生物種組成との質的な関係性の把握を目指す。

土地被覆のモザイクが形成するランドスケープ構造の地域的差異の把握にあたっては、土地被覆セグメントを空間単位として、景観構成のバランスを把握する。これにより、下位スケールの緑地環境整備が上位スケールのランドスケープ構造に与える影響を含めて、緑地環境整備の効果を検討する。ここで、景観構成の地域的差異の指標として、本研究では、一定スケールにおける土地被覆セグメント間の水平的な入れ子の関係性に着目し、その活用可能性を検討する。土地被覆セグメントを空間単位、地形-植生ユニットを景観構成要素とし、景観構成の類似する土地被覆セグメントの集合（類型）をモザイクの一部と捉えて比較することで、土地被覆モザイクの水平的分布パターンをその内部構成を含めて把握する。

異なるスケールにおいて、ランドスケープの水平的入れ子と種組成の分布との関連性を把握することにより、立地の異なる土地被覆セグメントにおける景観構成と種多様性の一体的なバランスを図るための方策について検討する。

以上をもとに、本研究では、都市域におけるランドスケープの水平的入れ子構造の把握を行い、種組成に与える影響を評価するとともに、関連するランドスケープ条件を把握することによって、緑地環境整備において配慮すべき空間要件を抽出することを目的とする。まず、都市域の土地被覆の水平的な分布パターンを把握し、地域に応じた地形-植生ユニットの構成の関係性について、水平的入れ子を指標として把握する。また、広域スケールで種組成に影響するランドスケープ要件を抽出するとともに、ランドスケープ内において種組成に影響する環境要件を抽出し、その関係性について把握することにより、複層的な緑地環境整備にむけた空間的要件を検討する。

これをもとに、異なる立地における樹林地の創出・復元シナリオの評価を行うことにより、広域的な樹林地整備が、その立地に応じて種組成の分布バランスに与える影響を具体化する。また、異なるスケールで樹林地創出・復元シナリオを評価することによって、緑地環境整備による種組成への作用を異なるスケールで把握することを目的とする。

以上により、都市域における自然環境の創出・復元によって、ランドスケープ内・ランドスケープ間において種組成に与える影響を一体的に把握し、ランドスケープの構成と種組成の均衡を図りながら種多様性の保全・回復を図るための、持続的な環境復元目標の設定方法について検討することを目的とする。これによって、都市域において、地域レベルでランドスケープのマネージメントを行っていくための自然環境の評価・モニタリングのフレームワークを提案することを目指すものである。

3.2 研究対象地

本研究の対象地は、東京都市圏（Tokyo metropolitan region）である。ここで、東京都市圏は、1965年の首都圏整備法改正において定められた「既成市街地」および「近郊整備地帯」と対象とし、東京中心部より半径約50km圏のエリアである。これらの地域は、現状および将来における市街化の進行を前提とした都市整備の対象とされている地域であり、首都圏の中でも特に市街化が進展し、自然環境の保全、再生、創出の必要性がより高いエリアと考えられる。首都圏整備法において、「既成市街地」は、「東京都及びこれと接続する枢要な都市を含む区域のうち、産業及び人口の過度の集中を防止し、かつ、都市域の機能の維持及び増進を図る必要がある市街地の区域」とされ、「近郊整備地帯」は、「既成市街地の近郊で、その無秩序な市街地化を防止するため、計画的に市街地を整備し、あわせて緑地を保全する必要がある区域」と定義されている。近郊整備地帯においては、首都圏近郊緑地保全法（1966年制定）に基づき、19区域約16,000haが「近郊緑地保全区域」に指定されている。一方で、1976年から1997年にかけての緑地の減少量は、近郊整備地帯内で約45,000ha（減少率11%）、既成市街地内で約4,000ha（減少率50%）となっており、近郊整備地帯の緑地減少、既成市街内の緑地不足は依然として深刻である。大都市圏で失われた自然環境のネットワークの再生にむけて、積極的な緑地確保および質の向上が求められている。また、今後考えられる人口減少に伴う都市構造の変化に伴い、とくに郊外地域を中心に、管理放棄地の増大や市街地の縮退に伴う土地利用の調整が求められると考えられる。

首都圏整備法に基づく「第5次首都圏基本計画」（1999年内閣総理大臣決定）では、自然環境が生物多様性の保全や人と自然とのふれあいの空間等として大きな役割を果たしているとの認識に立ち、生態系のネットワークの必要性が述べられた。また、緑地が二酸化炭素の吸収や水源涵養、ヒートアイランド現象の緩和に資する微気象の調整、地域の個性を形づくる景観の形成、自然とのふれあいの空間などの多面的機能を有することを踏まえ、緑地減少等の課題に対応するための広域的な水と緑のネットワークの整備の必要性が明確化されている。

2004年には、「首都圏の都市環境インフラのグランドデザイン」（自然環境の総点検等に関する協議会、2004）において、東京都市圏を対象として、自然環境の骨格に関する点検がなされた。その中で、まとまりのある保全重要度の高い自然環境が抽出され、これらの機能向上に資する首都圏の水と緑のネットワークの再生・創出にむけた将来像が示された。また、2005年の国土計画法体系の改正（国土総合開発法から国土形成計画法への移行）の一環として首都圏整備法が改正され、基本計画と整備計画は「首都圏整備計画」として一本化され、新たな「首都圏整備計画」（国土交通省、2006）が策定された。その中では、首都圏の目指すべき地域構造として「分散型ネットワーク構造」が掲げられ、都心居住の進展と近郊地域外縁部での人口減少といった最近の人口動向も踏まえ、広域的緑地、さらには自然地のより積極的な保全・再生や、市街地内緑地・里山・農村地帯・森林地帯等のバランスのとれた自然回復にむけた土地利用のあり方が、今後の検討課題とされた。同時に、新たに広域地方計画制度が創設され、これを受けて策定された「首都圏広域地方計画スケルトン（案）」（国土交通省、2008）においても、本地域の目指すべき方向性として、引き続き、エコロジカルネットワークおよび水と緑のネットワークの形成が示されている。

3.3 研究の構成

本研究では、都市圏および台地・丘陵地ランドスケープの2つのスケールにおいて、ランドスケープ構造および生物相の地域的差異を把握する（図1.8）。ランドスケープ構造の地域的差異として、ランドスケープの水平的入れ子構造を把握する。各スケールにおけるランドスケープの水平的入れ子構造は、土地被覆のモザイクの把握のための空間単位となる土地被覆セグメントを抽出し、土地被覆セグメント内における立地に応じた景観構成を、地形-植生ユニットを構成要素として把握する。すなわち、土地被覆のモザイク・パターンが類似するセグメントにおいて、地形-植生ユニットの構成間の相互関係を、水平的入れ子を指標として評価する。これを含め、スケールごとに、生物種組成と関連性のあるランドスケープ条件を評価し、立地の異なる樹林地創出・復元シナリオ評価への適用を図る。

まず、第2章において、都市圏スケールおよびランドスケープスケールを対象として、ランドスケープの水平的入れ子構造を把握する。ランドスケープスケールの分析は、ランドスケープ構造が地形の解析度合いに応じて異なると台地・丘陵地ランドスケープを対象とし、下総台地・多摩丘陵の都市域を対象地とする。都市圏および台地・丘陵地ランドスケープにおいて、土地被覆セグメントを空間単位として地形-植生ユニットの構成を把握し、土地被覆のモザイク・パターンが類似するセグメント間で、地形-植生ユニット構成間の水平的入れ子の関係性を分析する。各スケールにおける土地被覆セグメントの抽出にあたっては、解像度の異なるリモートセンシングデータを用いたオブジェクト指向分析により、均質性の高い土地被覆のセグメント抽出を行い、これを空間単位としたランドスケープの水平的入れ子構造の把握を行う。

次いで第3章では、都市圏スケールにおけるランドスケープ構造が、広域的な種多様性の分布に与える影響について検討することを目的とする。東京都都市部を対象とし、既往の営巣・繁殖期鳥類分布情報を用いて、ランドスケープの水平的入れ子に関連する環境条件の変化と、鳥類種組成の変化との関連性を分析する。これにより、ランドスケープの地域的差異の変化が、生物種組成におよぼす影響について把握する。これにより得られる知見をもとに、都市圏スケールでの広域的な緑地環境整備による樹林地の創出・復元の効果を、シナリオ策定と分析によって評価する。都市圏内の異なる立地に応じた樹林地の創出が、ランドスケープの地域的差異に与える影響について分析し、それにより生物種群が受ける影響を評価することによってシナリオ評価を行い、その有効性について検討する。

第4章では、台地・丘陵地内のスケールで、ランドスケープ構造が種多様性に与える影響について検討することを目的とする。下総台地西部・多摩丘陵東部の都市縁辺部を対象とし、小規模残存樹林周辺のランドスケープ構造について、その質的構成を含めて、鳥類種組成との関連性を分析する。これをもとに、都市域における樹林地の創出・復元シナリオの評価への適用を図り、ランドスケープ内の種多様性の保全・回復要件について把握する。とくに、立地の異なる樹林地の創出・復元による種組成への効果の差異を把握することにより、ランドスケープ内の景観構成の地域的差異を踏まえた緑地環境整備にむけて、配慮すべき空間的要件とシナリオ評価の有効性について検討する。

最後に第5章において、上記成果を統合し、都市ランドスケープ構造の水平的入れ子と種組成との関連性について総合的に考察し、都市域における種多様性の保全にむけた複層的な緑地計画

のあり方について検討する。とくに、ランドスケープ内の都市域における緑地環境整備と、異なるランドスケープをまたいだ広域的な緑地環境整備との関連性について検討し、配慮すべき計画要件について検討する。

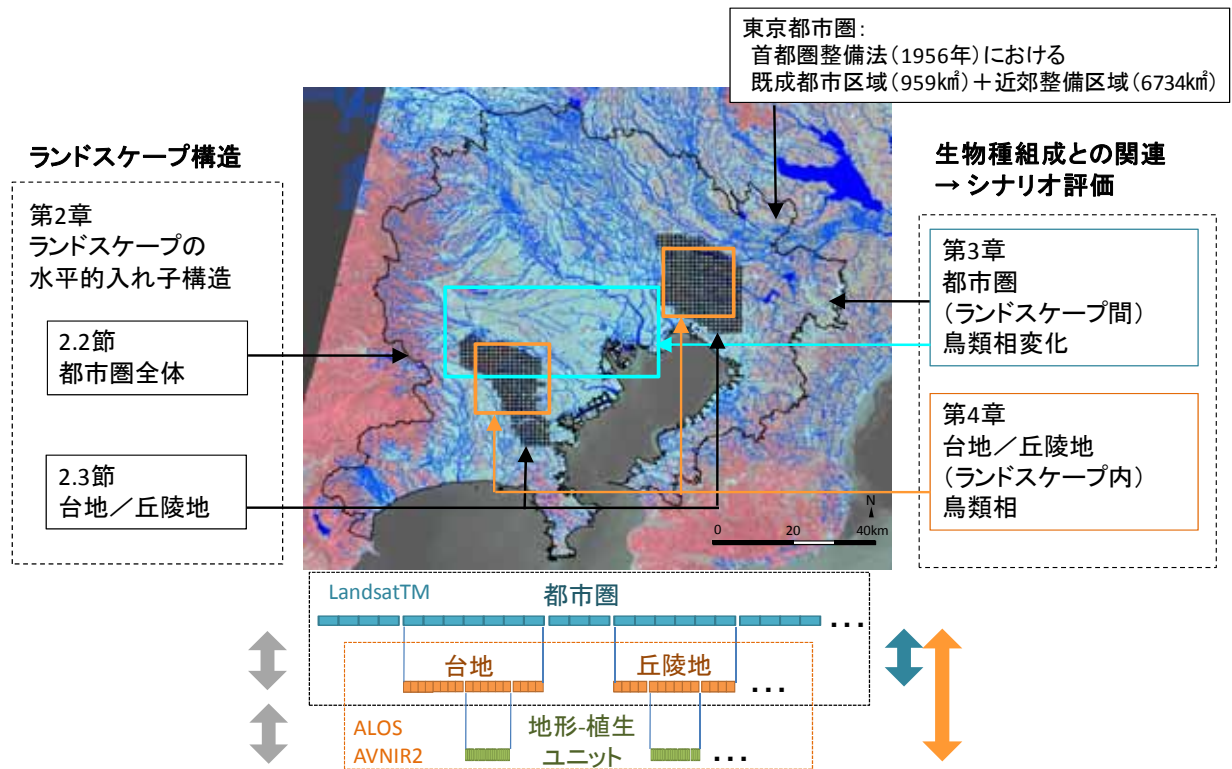


図 1.8 研究対象地とその構成

第2章 都市域におけるランドスケープの水平的入れ子構造の把握

第1節 本章の目的および研究における位置

本章では、都市域におけるランドスケープ構造の地域的差異とその要因を把握することを目的とする。とくに、主に都市内および市街化によるランドスケープの細分化が進んだ都市周縁部を対象として、ランドスケープの水平的入れ子構造について把握することを目的とする。対象地域において、人工的土地被覆と植生環境とが混在する都市マトリクス環境を対象として、内部における景観構成の地域的差異を分析する。

ランドスケープの水平的入れ子構造は、都市域のある領域における景観構成が、別の領域における景観構成を包含する場合に成立する領域間の関係性である。ランドスケープの水平的入れ子構造の把握のための空間単位となる領域の抽出には、オブジェクト指向画像分析による土地被覆セグメントを用い、景観構成の把握単位（最小構成要素）には地形とその上に成立した植生が均質な地形-植生ユニットを用いる。土地被覆モザイクの類似性に応じて、土地被覆セグメントを単位として、地形-植生ユニットの構成間の水平的入れ子の形成度合いについて把握を行う。

本章では、都市圏スケールと、ランドスケープ構造の異なる台地・丘陵地スケールの2つのスケールで、土地被覆のモザイクに応じたランドスケープの水平的入れ子構造を把握する。異なるスケールにおける土地被覆の分析にあたっては、空間解像度の異なる人工衛星データを使用する。それぞれのスケールにおいてランドスケープの水平的入れ子構造の把握を行うことにより、下位スケールにおける景観構成の変化が上位スケールにおける景観構成の変化に与える影響について検討する。とくに、都市域において残存する里地・里山由来の景観構成要素が、広域的な環境の多様性において果たす位置について、現状の土地被覆のモザイクに応じて把握する。これらを通じて、都市域における広域的な種多様性の保全・回復にむけて、現存する景観構成をどのように保全し、新たな植生環境をどのように創出・復元するか、土地被覆モザイクの将来的な目標設定を行うための指標として、ランドスケープの水平的入れ子構造の活用可能性について検討することを目的とする。

まず、第2節において、広域都市圏スケールにおけるランドスケープの水平的入れ子構造の把握を行う。ここでは、土地被覆のモザイクに応じて、その内部の景観構成の地域的差異について、土地被覆セグメントを空間単位として把握する。土地被覆のモザイクが類似する地域において、土地被覆セグメント内の地形-植生ユニットの構成間の水平的入れ子構造を把握し、その成因として考えられる地形・植生要件について検討する。次いで第3節において、台地・丘陵地スケールにおけるランドスケープの水平的入れ子構造の把握を行い、広域スケールでのランドスケープの水平的入れ子の形成要因となり得る地域レベルの景観構成の特質について検討する。

これらを通じて、広域都市圏スケールにおいてランドスケープの水平的入れ子を指標とした土地被覆のマネジメントの可能性について検討する。また、広域都市圏スケールおよび台地・丘陵地スケールにおける種組成の空間的バランスを図るうえでの基礎情報として、ランドスケープの水平的入れ子の活用可能性について検討する。

第2節 広域都市圏におけるランドスケープの水平的入れ子構造の把握

2.1 研究の方法

2.1.1 対象地域および使用データ

対象地域は、首都圏整備法において定められた「既成都市区域（約 959 km²）」および「近郊整備区域（約 6,734 km²）」より構成される東京都市圏（合計約 7,693 km²）である。分析対象範囲は、本エリアに一部または全域が重なる 3 次メッシュ（南北約 0.9km×東西約 1.1km）8069 メッシュにより覆われる領域とした（図 2.1）。

対象地域において、ランドスケープの構成単位として、地形および植生の同質な環境をなす地形-植生ユニットを抽出するため、植生データとして環境省第 5 回（1994 年～1998 年実施）・第 3 回（1983～1986 年実施）自然環境保全基礎調査による 2 時期の 5 万分の 1 植生図 GIS データ（環境省自然環境情報 GIS Web サイト）を使用した。また、対象地域全域をカバーする広域的な地形分類データとして、「日本の地形・地盤デジタルマップ」（若松ら, 2005）の 3 次メッシュ地形分類データを使用した。

一方、分析の空間単位として、植生データと同時期における土地被覆セグメントを抽出するため、Landsat TM によるオルソ補正済みマルチスペクトルデータ（1993 年 5 月 21 日撮影，空間解像度：約 28.5m）を使用した。

また、土地被覆セグメントの類型化のための土地利用データとして、細密数値情報 10m メッシュ土地利用データ（国土地理院，1994 年および 1984 年）を、地形データとして、数値地図 50m メッシュ標高データ（国土地理院）を使用した。首都圏整備法の指定地域に関する GIS データは、国土数値情報 GIS データ（国土交通省国土数値情報ダウンロードサービス Web サイト）のうち、三大都市圏計画区域の指定地域ポリゴンデータを使用した。

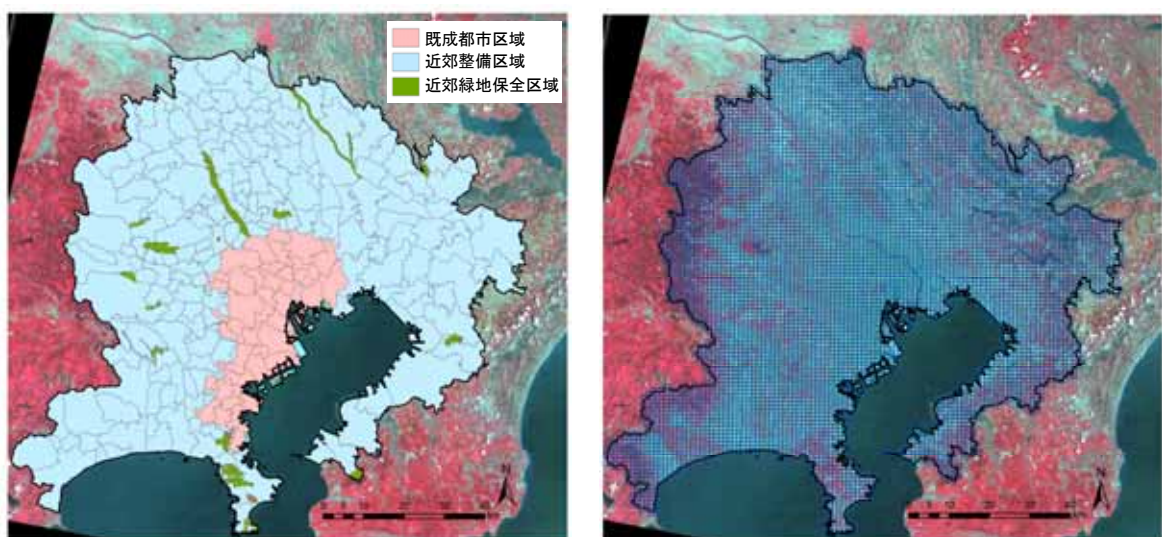


図 2.1 研究対象地域（左：首都圏整備法に基づく区域指定，右：対象地域 3 次メッシュ領域）

2.1.2 分析の流れ

東京都市圏スケールにおける都市域のランドスケープの水平的入れ子構造の把握のための空間単位として、Landsat TM データを用いたセグメント分割により土地被覆セグメントを抽出し、土地被覆セグメントごとにその内部における地形-植生ユニットの構成を把握した。土地被覆セグメントの分割においては、地形-植生ユニットを包含する最適なセグメント規模の設定を行い、分割によって形成された土地被覆セグメントをもとに、純粋なパッチ状緑地で占有される土地被覆セグメントを除いた、都市マトリクスを包含する土地被覆セグメントを抽出した。

抽出された土地被覆セグメント内について、土地被覆のモザイクの分布特性を示す地形・植生条件を算出し、これをもとに土地被覆セグメントの類型化を行い、土地被覆セグメントにおける地形-植生ユニットの構成間の水平的入れ子構造を把握するための集合（上位の空間フレーム）とした。

分類されたセグメント類型ごとに、土地被覆セグメントを空間単位として地形-植生ユニットの構成を把握し、同一のセグメント類型における土地被覆セグメント内の地形-植生ユニットの構成間の入れ子の成立度合いを把握した。

2.2 分析の方法

2.2.1 地形-植生ユニットの作成

対象地域における植生データおよび地形分類データの重ね合わせにより、地形-植生ユニットを作成した。

植生分布の把握単位として、環境省 5 万分 1 植生データの群落凡例を相観植生レベルの植生タイプに統合し、使用した。統合にあたっては、環境省自然保護局・アジア航測株式会社（1999）による植生統一凡例の考え方を参考とし、群落凡例をもとに、落葉広葉樹林、常緑広葉・針葉樹二次林（植林地含む）、竹林、自然林、湿性林、自然草地、二次草地（人工草地含む）、水田雑草群落、畑地雑草群落（果樹園含む）の 9 つの相観植生凡例に統合した。緑の多い住宅地、市街地等の人為的土地利用、開放水域は、分析対象とする景観ユニットの対象からは除外した。

地形分類データは、「日本の地形・地盤デジタルマップ」による対象地域の地形分類より、沿岸海域を除く 18 タイプ（ローム台地、三角州・海岸低地、丘陵、埋立地、山地、山麓地、岩石台地、干拓地、後背湿地、扇状地、火山地、火山山麓地、火山性丘陵、砂丘、砂州・砂礫洲、砂礫質台地、自然堤防、谷底低地）を使用した。

なお、植生データと地形分類データの重ね合わせにより作成された地形-植生ユニットのうち、まとまった面積規模を有する区分のみを分析の対象（景観構成の最小構成要素）とするため、面積 1000 m²以下の地形-植生ユニットは分析の対象から除外した。

2.2.2 土地被覆セグメントの抽出および類型化

対象地域におけるパッチおよびマトリクス空間を抽出するため、オブジェクト指向画像分析における Multi-resolution segmentation の手法を用いて、土地被覆セグメントを作成する。

ここでは、1993 年の Landsat TM データ（Band1～Band4）を用いて、オブジェクト指向分析による土地被覆のセグメント分割（Segmentation）を行い、都市ランドスケープ構造の空間単位を作

成する。最適な scale parameter を設定するため、各対象地域の Landsat TM の 4 バンド画像 (R,G,B, NIR) をもとに、複数の scale parameter を設定した (20 から 90 まで 5 刻み間隔で設定, scale parameter が小さくなるほど多くのセグメントに分割される)。このうち、生成されるセグメントの最小面積が、対象地域における地形-植生ユニットごとの合計面積の最小値 (5323 m²) を超える scale parameter を、地形-植生ユニットの構成を把握可能かつより詳細な土地被覆セグメントを生成するための scale parameter の最適値として採用した。最適 Scale parameter により生成された土地被覆セグメントのうち、対象地域 (首都圏整備法指定地域) ポリゴンに内包される土地被覆セグメントを、地形-植生ユニット構成の分析のためのユニットとして抽出した。なお、いずれの scale parameter においても、color parameter を 0.9、shape parameter を 0.1 (compactness 0.5, smoothness 0.5) としてセグメントを作成した。分析には、オブジェクト指向画像分析ソフトである Definiens 5 (DEFINIENS 社) を使用した。

抽出した土地被覆セグメントのうち、10ha 以上の面積を有し、樹林または草地の占める割合が 80%以上であるセグメントは、樹林パッチより成るセグメントとして分析対象から除外した。ここで、10ha という閾値は、島状生息地における繁殖期鳥類の種組成が、10-35ha 程度の生息地で頭打ちになるという欧州既往研究 (Fernández-Juricic & Jokimäki, 2001) の知見を参考とした。

抽出された土地被覆セグメントについて、緑地分布形態と地形条件に関する変数をもとに、類型化を行った。これにより、土地被覆のモザイク構造の類似する土地被覆セグメントを分類し、土地被覆セグメントを単位としたランドスケープの水平的入れ子の把握のための上位の空間フレームとした。

セグメント内の緑地分布形態に関する変数として、緑地面積割合 (樹林, 畑, 水田, 公園緑地ごとの面積割合; 細密数値情報 10m メッシュ土地利用データをもとに算出), 植生割合多様度 (地形-植生ユニットに用いた 5 万分の 1 植生図 9 凡例の面積多様度を Shannon-Weaver's H'により算出 (O'neil *et al.*, 1988)), 樹林/草地からの平均最短距離および樹林草地隣接長 (5 万分の 1 植生図凡例より樹林, 草地の統合凡例をもとに算出) を用いた。また、セグメント内の地形条件に関する変数として、数値地図 50m メッシュ標高データおよび国土数値情報 (国土交通省) の谷密度メッシュデータ (3 次メッシュを 2×2 あわせた 2 倍メッシュの各辺をきる谷の数の総和) をもとに、セグメント内の最大傾斜度、平均標高、平均谷密度を算出した。これらのセグメント内の環境条件変数をもとに、Two Step クラスタ分析 (Banfield & Raftery, 1993) により、土地被覆セグメントを類型化した。Two-Step クラスタ分析は、類似度の基準に基づいて観測値をグループ分けする手法であり、大量のサンプルのクラスタ化に適している。最初のステップでクラスタ中心を発見するためにデータを流し 2 番目のステップでは、階層クラスタ化方法を使用して、サブクラスタをより大きなクラスタに結合させていく類型化手法である。分析には SPSS Statistics 17.0 を使用した。

次いで、土地被覆セグメントの類型を目的変数、類型化に用いた環境条件変数を説明変数として、分類木分析 (Classification and Regression Trees (CART) (Breiman *et al.*, 1984)) を用いて、土地被覆セグメントの類型に寄与する環境条件を把握した。分類木の基準として、最大の分類深さは 4 とし、5 セグメント以下の分類群 (親ノード) はそれ以上分類しない、3 セグメント以下の分類群 (子ノード) が発生する場合は分類しない、分岐基準における不純度の指標は Gini とした。分析には SPSS Statistics 17 および SPSS Decision Trees を用いた。

2.2.3 土地被覆セグメントにおける地形-植生ユニットの構成間の入れ子

上記において分類された土地被覆セグメントの類型ごとに、土地被覆セグメント内の地形-植生ユニットの有無に関する構成を算出した。土地被覆セグメント内における地形-植生ユニットの構成をもとに、ランドスケープ構造要素の入れ子度合いの指標として、Nestedness Calculator (Atmar & Patterson, 1995) を用いて、Nestedness Temperature の算出を行った。Nestedness Temperature は、完全な入れ子モデル (Null モデル) へのフィッティングをもとに、構成要素の入れ子度合いを指標化する (0 度: 完全な規則性~100 度: ランダム分布) ものである。1990 年代 (第 5 回調査) と 1980 年代 (第 3 回調査) における植生データをもとに、2 時期の Nestedness Temperature を算出し、土地被覆セグメントの類型に応じた地形-植生ユニットの構成間の水平的入れ子構造とその変化動向を把握した。

2.3 分析の結果

2.3.1 土地被覆セグメントの抽出および類型化

土地被覆のセグメント分割のため、異なる Scale parameter を用いて Landsat TM データの Multi-resolution segmentation を行い、対象地域における地形-植生ユニットごとの合計面積の最小値 5323 m²を超える土地被覆セグメントを生成する Scale parameter=65 を、scale parameter の最適値として採用した。これにより生成された土地被覆セグメントのうち、対象地域に内包される 2684 セグメントを、地形-植生ユニット構成の分析のためのユニットとして抽出した。このうち、樹林パッチより成る土地被覆セグメントの条件を満たす 735 セグメントを除外し、1949 セグメントが土地被覆セグメントとして抽出された。

この土地被覆セグメントを対象とし、セグメント内部の緑地分布形態および地形条件に関する変数をもとに Two-step クラスタ分析を行った結果、8 タイプの土地被覆セグメントに分類された。それぞれの土地被覆セグメントを特徴づける環境条件を抽出するため、土地被覆セグメントタイプを目的変数、セグメント内の環境条件を説明変数として分類木による分類要因の把握を行った結果を図 2.2 に示す。土地被覆セグメントの類型に影響した環境条件は、水田面積割合、樹林-草地隣接長、最大傾斜度、樹林面積割合、植生タイプ多様度となった。土地利用の特性に関して水田・樹林の面積割合、セグメント内の地形条件として最大傾斜度、セグメント内の植生のモザイクに関する環境条件として樹林-草地隣接長および植生タイプ多様度が作用したと考えられる。

分類された土地被覆セグメントの類型ごとの立地を図 2.3 に示す。8 タイプの土地被覆セグメントの類型は、以下のように特徴づけられた。類型 A は、水田面積割合が一定規模以下で樹林・草地隣接長により特徴づけられる台地縁辺部の都市域、類型 B は、高い傾斜度および樹林面積割合により特徴づけられる森林環境との連続性の強い山麓周辺の都市域、類型 C は、傾斜度が高いが樹林面積割合は低い丘陵地周辺の都市域、類型 D は、傾斜度は低く植生の多様度が高い台地・段丘上の都市域、類型 E は、水田面積割合が高い低地面上の都市域、類型 G は、都市化度の高い台地・低地一般面の都市域と考えられた。また、類型 F および類型 G は、ともに傾斜度、樹林面積割合、植生多様度がいずれも低く、類型 F は都心部、類型 H は都市化の進んだ沿川・沿岸部の市街地、と考えられた。

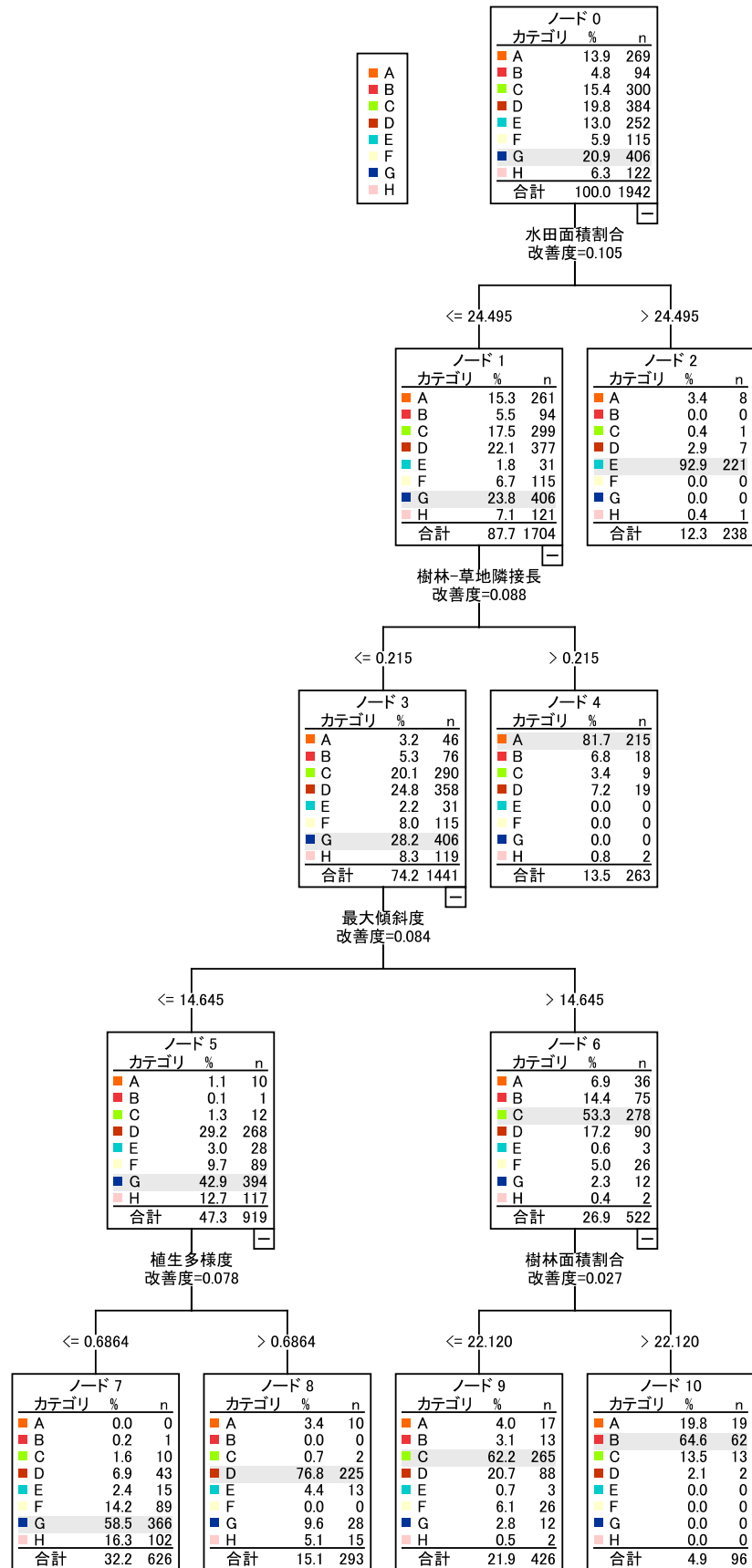


図 2.2 土地被覆セグメントのタイプの分類要因

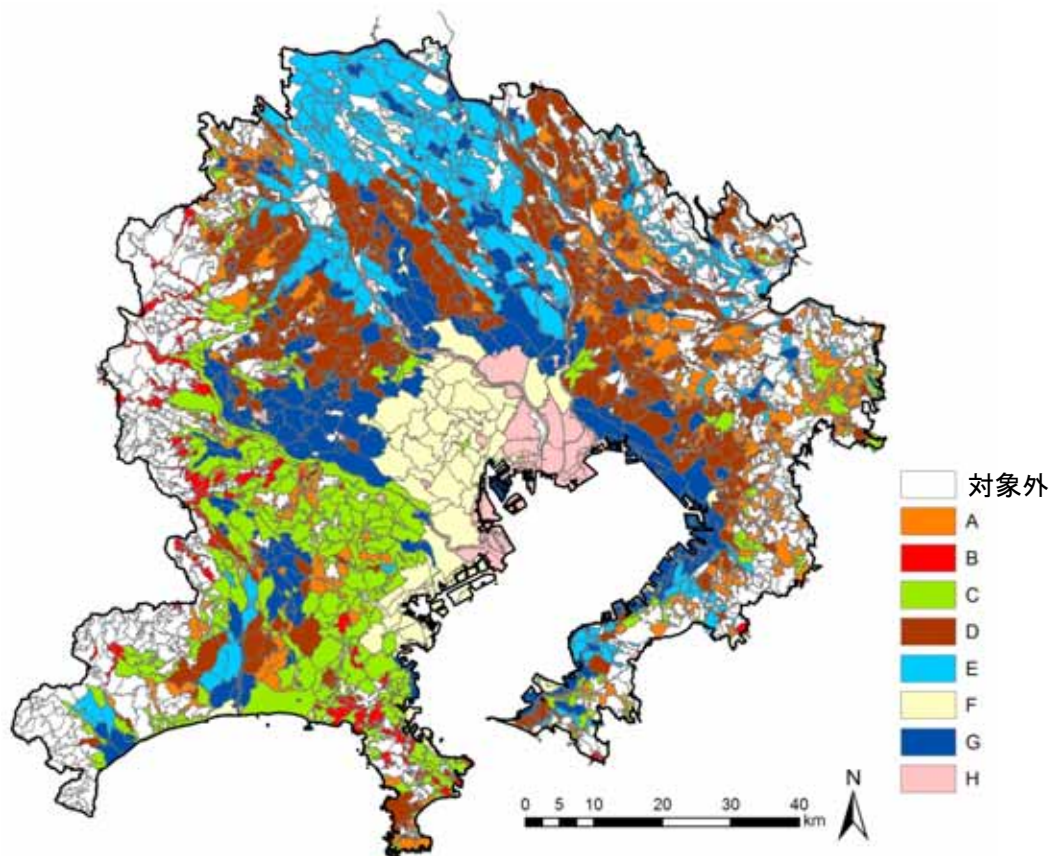


図 2.3 土地被覆セグメントの類型ごとの立地

2.3.2 土地被覆セグメントにおける地形-植生ユニットの構成間の入れ子

1990 年代植生データ（第 5 回自然環境保全基礎調査植生調査データ）を用いて、土地被覆セグメントの類型ごとに、土地被覆セグメント内の地形-植生ユニット構成間の入れ子度 *Nestedness Temperature* を算出した結果を、土地被覆セグメントのタイプの分布に応じて示す（図 2.4）。また、土地被覆セグメントの類型ごとに、地形-植生ユニットの構成のうち、主要に見られる地形-植生ユニット、中間的に見られる地形-植生ユニット、限られたセグメントのみに見られる地形-植生ユニットを抽出した結果を表 2.1 に示す。

両時期ともに、*Nestedness Temperature* の値は、台地・段丘上セグメント（類型 D）および台地・低地一般面セグメント（類型 G）、台地周辺縁辺部セグメント（類型 A）で低い値となり、土地被覆セグメントの地形-植生ユニット構成間の入れ子度が顕著であった。また、都市圏周辺の森林環境に連続する山麓周辺セグメント（類型 B）および沿岸沿川市街地セグメント（類型 H）において、*Nestedness Temperature* が高い値となり、土地被覆セグメントの地形-植生ユニット構成間の入れ子度が低い傾向にあった。丘陵地周辺セグメント（類型 C）、低地面セグメント（類型 E）、都心部セグメント（類型 F）では、*Nestedness Temperature* が中間的な値をとり、土地被覆セグメントの地形-植生ユニット構成間の入れ子度は中間的であった。

これらより、台地および台地に連続する低地上の土地被覆セグメント（類型 D、類型 G、類型

A) において、セグメント間で地形-植生ユニットの構成間の入れ子度が高く、地形的起伏の小さな土地条件において、地形-植生ユニット構成の入れ子の関係性が生じている結果となった。一方、山麓周辺や沿川・沿岸部の土地被覆セグメントにおいては、セグメント間で地形-植生ユニットの構成の入れ子を形成しにくい状態にあった。

1980 年代植生データに基づく地形-植生ユニットと、1990 年代植生データに基づく地形-植生ユニットをもとに、1990 年代の土地被覆セグメント類型に応じた 2 時期の Nestedness Temperature の変化を算出した結果 (図 2.5)、1980 年代から 1990 年代にかけて、都市環境を主とするセグメント (類型 F, 類型 H) 以外では地形-植生ユニットの入れ子度に大きな変化は見られない。沿岸沿川市街地セグメント (類型 H) および山麓周辺セグメント (類型 B) において入れ子度が高まる傾向にあった一方で、都心部セグメント (類型 F) において入れ子度が低下した。森林環境に連続するマトリクスでは、ランドスケープの細分化が、河口・沿岸部都市域では、まとまった規模で新規に整備された緑地が、均質性の高いマトリクス内において入れ子形成に寄与している可能性が考えられた。

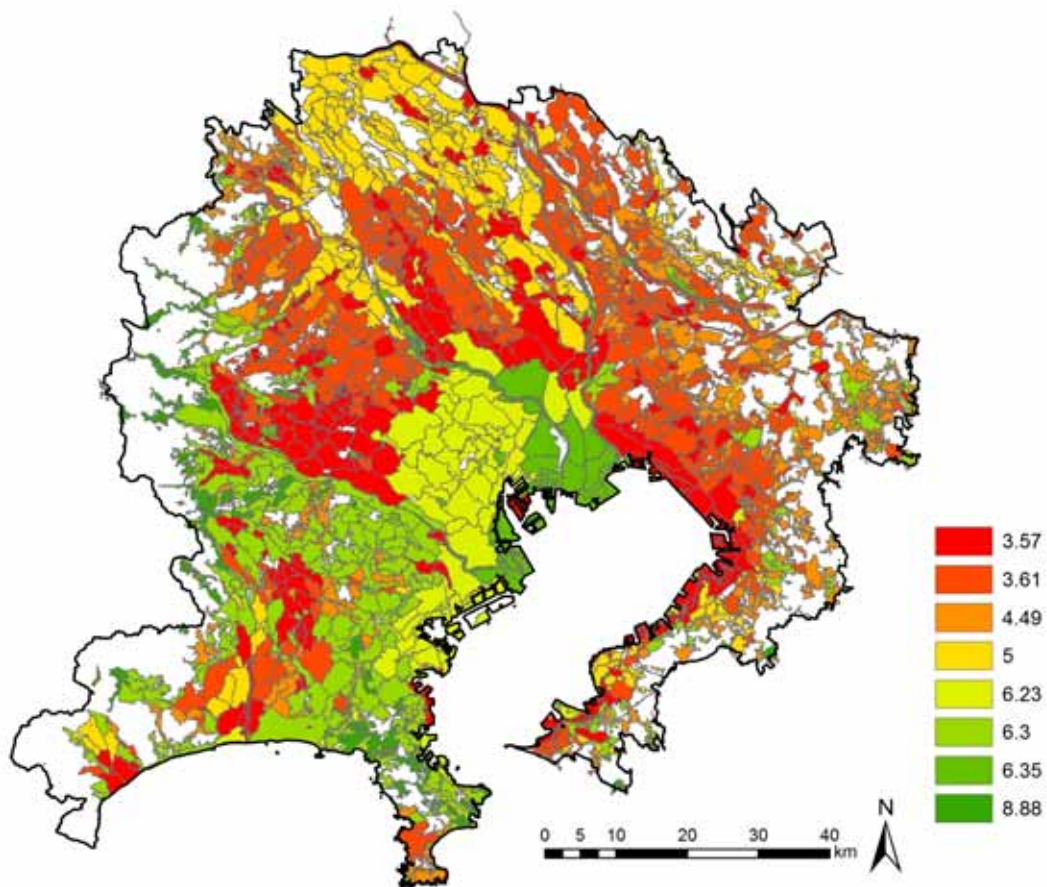


図 2.4 土地被覆セグメントの類型ごとの Nestedness Temperature (1990 年代)

表 2.1 土地被覆セグメントの類型ごとの地形-植生ユニットの構成

セグメント類型		G		D		A		E	
Nest. Temp.		3.57		3.61		4.49		5.00	
地形・植生 ユニット数		100		116		104		86	
セグメント数		373		382		269		252	
多くの セグメント に見られる	畑地雑草-ロ-ム台地	150	畑地雑草-ロ-ム台地	338	畑地雑草-ロ-ム台地	222	水田雑草-後背湿地	194	
	二次草地-ロ-ム台地	109	落広樹林-ロ-ム台地	298	落広樹林-ロ-ム台地	213	水田雑草-自然堤防	181	
	落広樹林-ロ-ム台地	87	常針樹林-ロ-ム台地	287	常針樹林-ロ-ム台地	207	畑地雑草-後背湿地	159	
	水田雑草-ロ-ム台地	75	水田雑草-ロ-ム台地	285	水田雑草-ロ-ム台地	197	畑地雑草-自然堤防	140	
	水田雑草-後背湿地	70	二次草地-ロ-ム台地	258	二次草地-ロ-ム台地	175	水田雑草-ロ-ム台地	133	
↑ 中間的 ↓	水田雑草-自然堤防	68	畑地雑草-谷底低地	150	水田雑草-谷底低地	103	畑地雑草-ロ-ム台地	94	
	常針樹林-ロ-ム台地	65	水田雑草-谷底低地	146	落広樹林-谷底低地	94	自然草地-自然堤防	71	
	畑地雑草-自然堤防	60	水田雑草-後背湿地	102	常針樹林-谷底低地	94	水田雑草-谷底低地	56	
	畑地雑草-後背湿地	53	畑地雑草-後背湿地	97	畑地雑草-丘陵	73	二次草地-後背湿地	55	
	二次草地-自然堤防	52	落広樹林-谷底低地	95	落広樹林-丘陵	70	自然草地-後背湿地	50	
限られた セグメント に見られる	落広樹林-丘陵	5	常針樹林-干拓地	5	常針樹林-砂礫州	5	常針樹林-丘陵	5	
	落広樹林-自然堤防	5	畑地雑草-砂丘	5	二次草地-干拓地	5	竹林-谷底低地	5	
	常針樹林-後背湿地	5	畑地雑草-干拓地	5	自然林-砂礫台地	5	二次草地-扇状地	5	
	常針樹林-埋立地	5	落広樹林-干拓地	4	自然林-後背湿地	5	畑地雑草-砂礫台地	5	
	竹林-後背湿地	5	常針樹林-砂丘	4	水田雑草-砂礫州	5	落広樹林-砂礫台地	4	
	落広樹林-山麓地	1	落広樹林-山地	1	落広樹林-埋立地	1	落広樹林-山麓地	1	
	etc.		etc.		etc.		etc.		

セグメント類型		F		C		H		B	
Nest. Temp.		6.23		6.30		6.35		8.88	
地形・植生 ユニット数		48		109		53		70	
セグメント数		61		299		110		94	
多くの セグメント に見られる	二次草地-ロ-ム台地	21	落広樹林-丘陵	173	二次草地-自然堤防	37	落広樹林-丘陵	62	
	落広樹林-ロ-ム台地	15	畑地雑草-ロ-ム台地	154	二次草地-三角州	35	常針樹林-丘陵	56	
	二次草地-三角州	14	落広樹林-ロ-ム台地	151	二次草地-後背湿地	33	二次草地-丘陵	54	
	畑地雑草-ロ-ム台地	13	畑地雑草-丘陵	144	二次草地-埋立地	33	畑地雑草-丘陵	45	
	二次草地-埋立地	12	二次草地-丘陵	140	自然草地-自然堤防	21	落広樹林-山地	41	
↑ 中間的 ↓	落広樹林-谷底低地	10	二次草地-谷底低地	66	二次草地-干拓地	14	水田雑草-丘陵	31	
	落広樹林-三角州	9	常針樹林-谷底低地	61	水田雑草-自然堤防	14	畑地雑草-山地	29	
	二次草地-自然堤防	7	竹林-丘陵	56	水田雑草-後背湿地	14	落広樹林-谷底低地	28	
	二次草地-火山丘陵	6	畑地雑草-砂礫台地	53	二次草地-ロ-ム台地	13	二次草地-山地	25	
	二次草地-後背湿地	6	自然林-丘陵	53	水田雑草-干拓地	13	常針樹林-谷底低地	23	
限られた セグメント に見られる	常針樹林-丘陵	5	自然林-後背湿地	5	常針樹林-ロ-ム台地	4	落広樹林-砂礫州	5	
	二次草地-三角州	5	竹林-扇状地	4	竹林-自然堤防	4	落広樹林-埋立地	5	
	自然草地-自然堤防	5	二次草地-自然堤防	4	竹林-後背湿地	4	二次草地-砂礫台地	5	
	畑地雑草-谷底低地	5	自然草地-自然堤防	4	二次草地-砂礫台地	4	自然林-ロ-ム台地	5	
	自然林-ロ-ム台地	5	自然林-山地	4	自然草地-砂礫州	4	落広樹林-扇状地	4	
	落広樹林-砂礫台地	1	落広樹林-火山丘陵	1	落広樹林-砂礫台地	1	落広樹林-火山地	1	
	etc.		etc.		etc.		etc.		

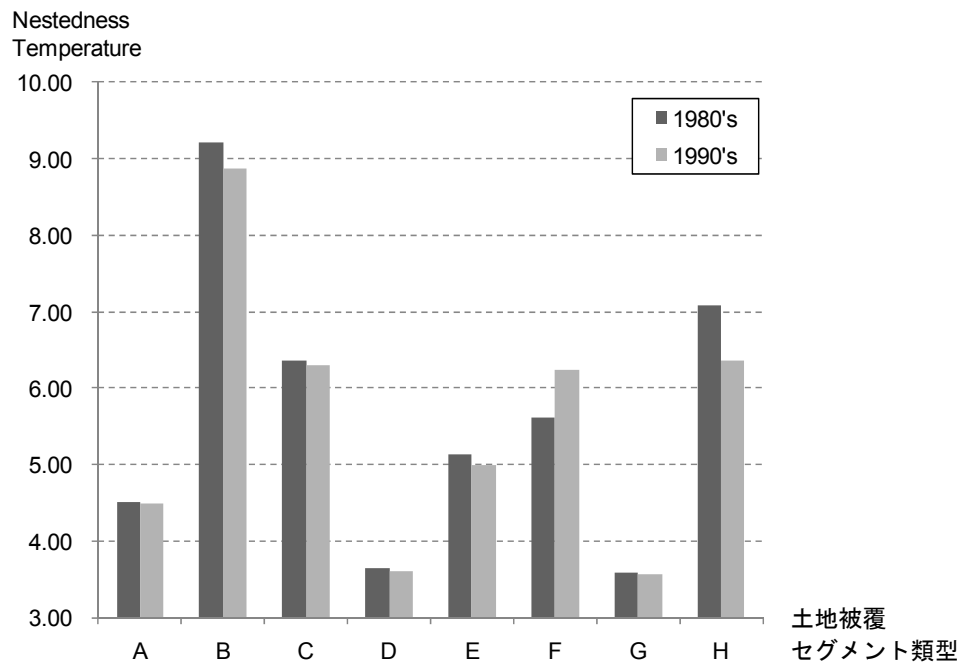


図 2.5 土地被覆セグメントの類型ごとの Nestedness Temperature の変化（1980 年代～1990 年代）

2.4 考察

オブジェクト指向画像分析を用いた土地被覆セグメントを単位として、都市圏スケールの市街地を含む土地被覆のモザイクについて、モザイクの状況が類似する土地被覆セグメントを類型化し、類型ごとに地形-植生ユニットを要素として景観構成の入れ子構造を把握した。土地被覆セグメントの類型に影響した環境条件として、土地利用の特性に関して水田・樹林の面積割合、セグメント内の地形条件として最大傾斜度、セグメント内の植生のモザイクに関する環境条件として樹林-草地隣接長および植生タイプ多様度が作用した。セグメント内の地形条件とそれに応じた土地利用および植生のモザイクが、土地被覆のモザイクが類似する土地被覆セグメントのタイプの決定要因として作用した。

景観構成の水平的入れ子度が高い土地被覆セグメントの類型においては、セグメント内の地形条件およびそれに応じた植生タイプの分布が、異なる土地被覆セグメント間で入れ子状に現れていることによって成立していると考えられる。すなわち、異なる土地被覆セグメントの類型ごとに、各セグメント内の地形条件およびそれに応じた植生タイプの分類パターンの均質性が高いセグメント間の関係性として、水平的入れ子が成立する。水平的入れ子が成立する場合、土地被覆セグメントの類型において、網羅的な植生タイプ（または地形条件）を内包するセグメントと、典型的な植生タイプ（または地形条件）のみを内包するセグメントの両方が成立し、かつ、その中間的な植生タイプ構成（または地形構成）を内包するセグメントが存在する場合に、セグメント間の入れ子度が高くなると考えられる。

台地ランドスケープは、土地被覆セグメントの類型におけるセグメントごとの景観構成の間の

水平的入れ子の傾向が大きいランドスケープであった。したがって、セグメントごとの植生タイプまたは地形条件は、前述のような規則性の高い構成をなすと考えられる。とくに地形-植生ユニットの入れ子度が高かった台地・段丘上の土地被覆セグメント（類型 D）では、地形の起伏は小さく、植生多様度が高いことから、主として多様な植生タイプによって地形-植生ユニットの入れ子が形成されていると考えられる。樹林-草地隣接長に指標される植生分布のモザイク度が特徴である台地縁辺部セグメント（類型 A）と比べて、より地形-植生ユニットの入れ子度が高い要因として、市街地環境と樹林・草地環境の混在が地形条件に応じて生じている結果と考えられる。すなわち、台地上における樹林・草地環境や台地縁辺部の樹林環境を包含するかたちで市街化が進んだなかで、立地に応じて植生環境の残存構成が異なることにより、入れ子の関係が生じている可能性が示唆された。とくに、ローム台地における植生が土地被覆セグメント間で共通性の高い地形-植生ユニットとして存在し、これに対して谷底低地、後背湿地等の低地・湿地の地形上の多様な地形-植生ユニットが中程度混在することで、入れ子度が高まっていると推察された（表 2.1）。台地開析地形周辺の改変と農地・草地の残存パターンに応じて、景観構成の水平的入れ子が形成されていると言える。

一方、景観構成の水平的入れ子の傾向が小さい土地被覆セグメントの類型として、森林環境に連続する山麓周辺の土地被覆セグメント（類型 B）と、沿川・沿岸部の市街地の土地被覆セグメント（類型 H）が挙げられた。山麓周辺の土地被覆セグメント（類型 B）では、地形の均質性が高く、またセグメント間で共通性の高い地形-植生ユニットが多いことから、セグメントの景観構成間の入れ子度が低いと考えられた。また、沿川・沿岸部の市街地の土地被覆セグメント（類型 H）では、地形-植生ユニット自体が限定的である結果、セグメントの景観構成間の入れ子度が低いと考えられた。

丘陵地周辺の土地被覆セグメント（類型 C）では、地形-植生ユニットの入れ子度は中程度におさまっていた。これは、土地被覆セグメント内において、丘陵地における地形条件に応じた地形-植生ユニットに加えて、台地に関係する地形条件に応じた地形-植生ユニットが包含されており、異なる地形条件における景観構成を含むことによって、入れ子度が低下していると考えられた。丘陵地周辺において、台地から丘陵地にかけて連続する異なる地形条件の分布を越境するかたちで市街化が進行している結果、土地被覆にもとづき市街地を含む土地被覆セグメントを抽出する際に、異なる地形条件の地形-植生ユニット混在するかたちで土地被覆セグメントが抽出されたことが、入れ子度低下の一因として考えられた。

以上より、ランドスケープの水平的入れ子構造は、土地被覆のモザイクが類似する土地被覆セグメントの類型ごとに、土地被覆セグメント内の地形-植生ユニットの構成間の関係性を把握するための指標となった。また、土地被覆セグメントごとの地形-植生ユニットの水平的分布パターンが、景観構成間の関係性におよぼす影響を把握するうえで有益であり、都市圏スケールのランドスケープの創出・復元目標の設定においても活用可能と考えられた。一方で、土地被覆セグメントの類型における景観構成の入れ子構造が、より詳細なスケールでどのような空間的要件により成立しているかを具体的に把握することが課題として挙げられた。

そこで第 3 節において、都市圏スケールの景観構成の水平的入れ子の傾向が特徴的に異なった台地・丘陵地ランドスケープに注目し、都市圏スケールの地形-植生ユニットの入れ子に影響を与えているランドスケープ内の景観構成に関する分析を行うことを目的とする。都市圏スケールに

においては、広域的な地形条件および植生分布をもとに土地被覆セグメントの類型を把握し、類型ごとに土地被覆セグメントの地形-植生ユニットの構成を把握した。これに対して、台地・丘陵地ランドスケープスケールにおいては、都市圏スケールで土地被覆モザイクの地域的差異を形成している地形-植生ユニットの構成をもとに、ランドスケープ内における土地被覆セグメントの類型を抽出し、その類型に応じた地形-植生ユニットの具体的構成を把握することによって、ランドスケープ内における景観構成の地域的差異を分析する。 -

第3節 台地・丘陵地内におけるランドスケープの水平的入れ子構造の把握

3.1 研究の方法

3.1.1 対象地域および使用データ

(1) 対象地域

研究対象地は、下総台地西部および多摩丘陵東部とした。両地域とも都心より 30km 圏内にあたり、主として 1960 年代以降、東京都市圏の拡大とともに、台地および丘陵地を起源とする樹林環境の消失および細分化が広範にわたって生じた地域である（井手・武内,1992）。

分析対象地域は、3 次メッシュ（約 1km 四方）を単位として抽出した。「日本の地形・地盤デジタルマップ」における地形分類データより、下総台地対象地域に含まれる連続した「台地」および「谷底低地」メッシュを 380 メッシュ、多摩丘陵対象地域に含まれる連続した「丘陵」および「谷底低地」メッシュを 279 メッシュ抽出し、それぞれ分析対象地域とした（図 2.6）。

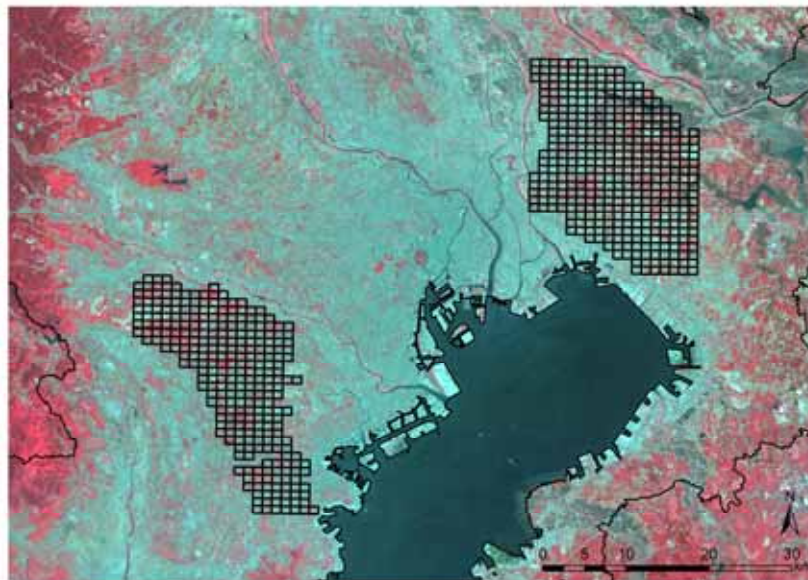


図 2.6 対象地域 3 次メッシュ（下総台地地域 380 メッシュ，多摩丘陵地域 279 メッシュ）

(2) 使用データ

ランドスケープの分析単位となるセグメント（分割領域）を設定するための土地被覆データとして、ALOS/AVNIR-2（2006 年 8 月 5 日撮影，空間解像度約 10m，ポインティング角 15.0°，プロダクトレベル 1B2 オルソ補正プロダクト）によるマルチスペクトル人工衛星データ（Band1～Band4 の 4 バンド）を使用した。また、景観構成の分析のため、植生データとして環境省第 5 回自然環境保全基礎調査による 5 万分の 1 現存植生図 GIS データを、地形条件データとして国土地理院数値地図 25000（土地条件）を用いた。

分析対象とする景観ユニットの作成にあたっては、事前に植生および地形判例を統合して使用した。植生データは群落凡例をもとに、落葉広葉樹林，常緑広葉・針葉樹二次林（植林地含む），竹林，自然林，湿性林，自然草地，二次草地（人工草地含む），水田雑草群落，畑地雑草群落（果樹

園含む)の9の相観植生凡例に統合した。緑の多い住宅地、市街地等の人為的土地利用、開放水域は、分析対象とする景観ユニットの対象からは除外した。植生データと土地条件(斜面、台地・段丘面、山麓堆積地形、凹地・浅い谷、低地微高地、低地面、頻水地形、人工地形の8分類)のオーバーレイ(面積100m²以下は除外)により、地形-植生ユニット(計59区分)を作成した。

3.1.2 分析の流れ

下総台地・多摩丘陵スケールにおける都市域環境におけるランドスケープの水平的入れ子構造の把握のための空間ユニットとして、ALOS/AVNIR-2 データを用いたセグメント分割により、土地被覆セグメントを抽出し、その内部における地形-植生ユニットの構成を把握する。土地被覆のセグメント分割において、樹林パッチを最も効率よく抽出する最適なセグメント規模の設定を行い、分割によって形成された土地被覆セグメントをもとに、土地被覆セグメントを抽出する。地形・植生構造条件をもとに、土地被覆セグメントを類型化し、抽出された類型ごとの土地被覆セグメントをユニットとして、セグメント内部の地形-植生ユニットの組成をもとに、入れ子構造の把握を行った。

3.2 分析の方法

3.2.1 土地被覆セグメントの抽出および類型化

ALOS/AVNIR-2 データをもとに、第2章第2節同様、土地被覆セグメントの作成のための領域分割の手法として、Baatz & Schäpe (2000) による Multi-resolution Segmentation (領域成長法) を用いて、均質な画像領域を抽出した。

最適な scale parameter を検討するため、各対象地域の ALOS/AVNIR-2 の4バンド画像(R,G,B,NIR)をもとに、複数の scale parameter を設定した(20から60まで5刻み間隔で設定, scale parameter が小さくなるほど多くのセグメントに分割される)。なお、衛星画像データは、それぞれの対象地域を包含するよう十分な範囲で切り出して使用した。

ここで各 scale parameter により作成されたセグメントをもとに、ランドスケープ構造においてパッチとなるセグメントの分類を行った。基準として、面積10ha以上のセグメントであり、樹林植生(植生データより抽出)を80%以上包含するセグメントを、樹林パッチセグメントとした。また、それ以外のセグメントを土地被覆セグメントとして区分した。なお、ここでは緑被の形態的側面には注目していないため、コリドー環境は、パッチあるいはマトリクス of セグメントの中に包含して扱った。

以上に基づき、各対象地域内において、抽出される樹林パッチセグメントの合計面積が最大となる(最も効率的に樹林パッチを抽出できる)ような scale parameter を最適な scale parameter として採用し、それにより抽出される土地被覆セグメントを以降の分析対象とした。なお、いずれの scale parameter においても、color parameter を0.9、shape parameter を0.1(compactness 0.5, smoothness 0.5)としてセグメントを作成した。

地形-植生ユニットの構成をもとに、マトリクスの分類を行った。各対象地域について、(1)において作成された土地被覆セグメントを単位として、セグメント内の地形-植生ユニットごとの面積割合を算出した。

各対象地域について、土地被覆セグメント内の地形-植生ユニット面積割合をもとに、クラスタ分析（大規模クラスタリング）を行い、土地被覆セグメントを 5 類型に分類した。土地被覆セグメントごとに、土地被覆セグメントの類型を目的変数、地形-植生ユニットの面積割合を説明変数として、分類木分析（Classification Tree）を行い、土地被覆セグメントの類型の規定要因を抽出した。検証データを用いた正当率検証のためのサンプル数を確保するため、分類木の基準として、最大の分類深さは 5 とし、30 セグメント以下の分類群（親ノード）はそれ以上分類しない、15 セグメント以下の分類群（子ノード）が発生する場合は分類しない、無作為に母集団の 50%を学習サンプル、50%を検証サンプルとして割り当てた。分岐基準における不純度の指標は Gini とした。分析には SPSS Statistics 17 および SPSS Decision Trees を用いた。

3.2.3 土地被覆セグメントにおける地形-植生ユニットの構成間の入れ子

各対象地域について、上記で分類した土地被覆セグメントの類型ごとに、各地形-植生ユニットの有無に基づき、地形-植生ユニットの入れ子の判定を行った。入れ子の判定には、第 2 章第 2 節同様、Nestedness Calculator を用いた。分析対象とするセグメント数が 1000 を超える土地被覆セグメントの類型に関しては、ランダムサンプリングにより 500 のセグメントを抽出して分析した。

3.3 分析の結果

3.3.1 土地被覆セグメントの抽出および類型化

各対象地域について、領域分割（Multi-resolution segmentation）における scale parameter の変化による、樹林パッチセグメントの面積および合計面積、土地被覆セグメントの個数および面積の推移を図 2.7 に示す。樹林パッチセグメント合計面積が最大となる scale parameter の最適値と、その結果各エリアに土地被覆セグメント数およびその平均面積は、下総台地エリアについて scale parameter=35、土地被覆セグメント数 5425（平均面積 6.53ha）、多摩丘陵エリアについて scale parameter=45、土地被覆セグメント数 1906（平均面積 11.24ha）となった。なお、上記土地被覆セグメントは、各対象地域に完全に内包されるセグメントのみを分析の対象とした。

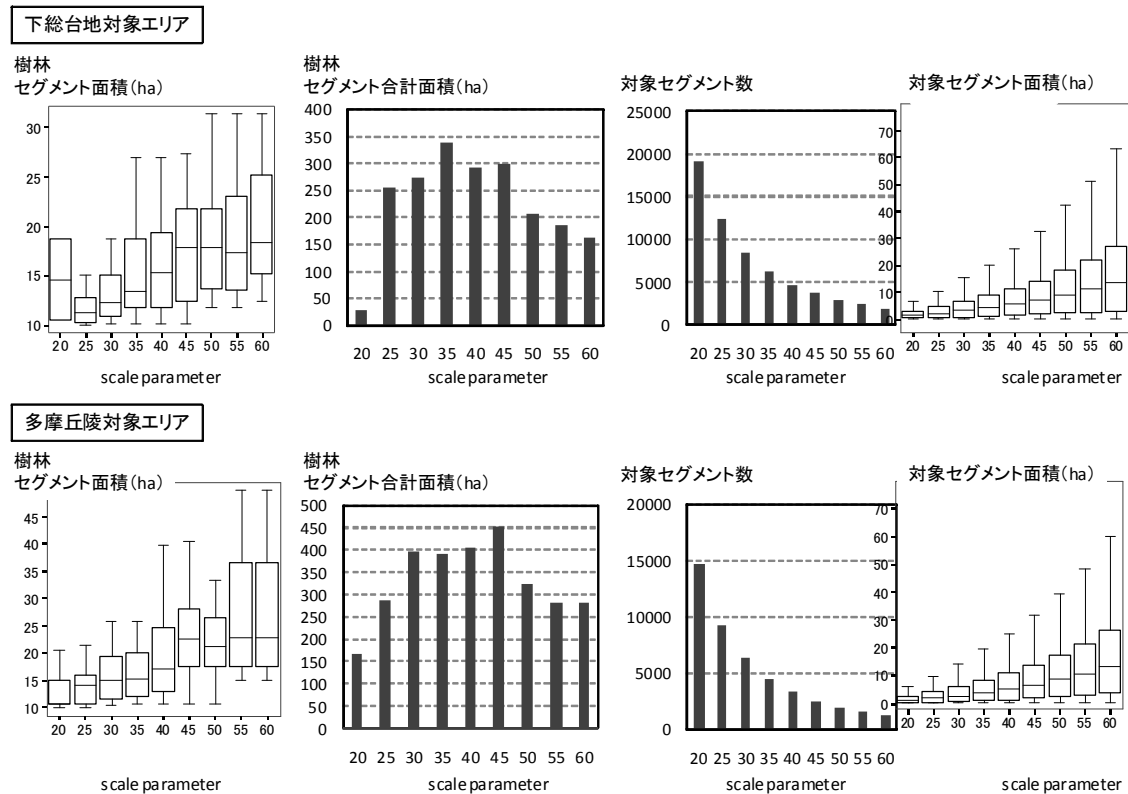


図 2.7 Scale Parameter に応じて抽出される樹林パッチおよび土地被覆セグメントの個数および面積の推移

各対象地域について、土地被覆セグメントを 5 類型（A～E）にクラスタリングし、地形-植生ユニット面積割合を説明変数として分類木分析を行った結果を図 2.8 に示す。土地被覆セグメントの類型ごとに、土地被覆セグメント内の地形-植生ユニットの構成の差異を特徴付ける要素として、下総台地エリアでは、台地段丘-畑地雑草、人工地形-二次草地、台地段丘-常緑広葉・針葉樹二次林、台地段丘-二次草地、台地段丘-自然草地（河畔湿性草地等）が抽出された。一方、多摩丘陵では斜面-落葉広葉樹林、低地面-水田雑草、斜面-常緑広葉・針葉樹二次林、人工地形-落葉広葉樹林が抽出された（図 2.8）。結果として、土地被覆セグメントは次のように分類され特徴づけられた。

下総台地エリアでは、類型 A：台地段丘面の畑・果樹園または畑地雑草を特徴とする類型、類型 B：台地段丘面の常緑広葉樹・針葉樹二次林を特徴とする類型、類型 C：主に市街地、類型 D：台地段丘面における自然草地を特徴とする類型、類型 E：二次草地を特徴とする類型、に分類された。

多摩丘陵エリアでは、類型 A：主に市街地、類型 B：斜面の常緑広葉・針葉樹二次林を特徴とする類型、類型 C：斜面の落葉広葉樹林を特徴とする類型、類型 D：低地面の水田雑草を特徴とする類型、類型 E：造成地等人工地形上の落葉広葉樹林を特徴とする類型、に分類された。

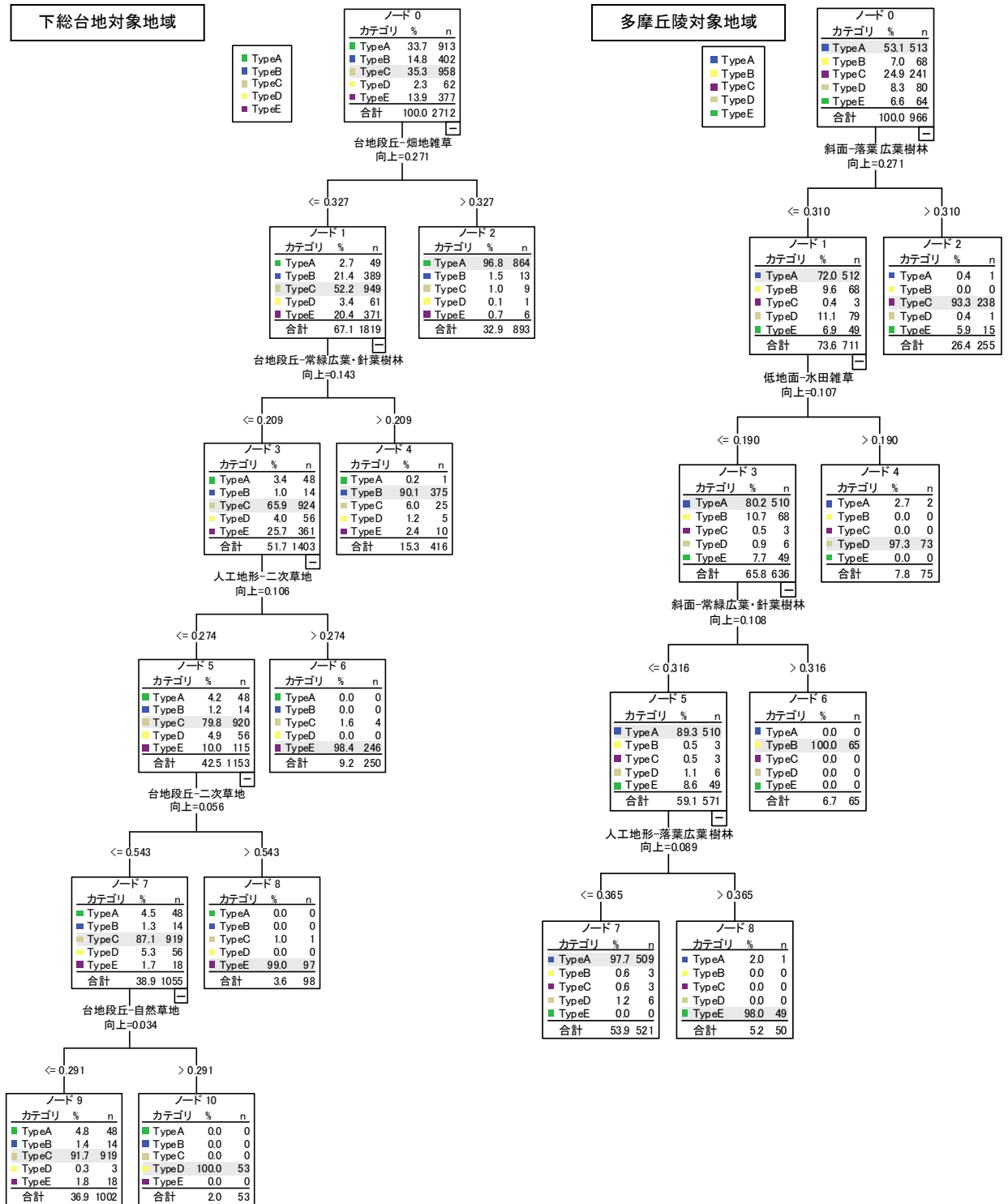


図 2.8 土地被覆セグメントのタイプの分類要因（左：下総台地対象地域，右：多摩丘陵対象地域）

3.3.2 土地被覆セグメントにおける地形-植生ユニットの構成間の入れ子

それぞれの対象地域について、土地被覆セグメントのタイプごとに、セグメント内の地形-植生ユニットの構成をもとに Nestedness Temperature を算出し、比較した結果を表 2.2 に示す。また、そ

それぞれの対象地域について、土地被覆セグメントの類型ごとに、地形-植生ユニットの構成のうち、主要に見られる地形-植生ユニット、中間的に見られる地形-植生ユニット、限られたセグメントのみに見られる地形-植生ユニットを抽出した結果を表 2.3、表 2.4 に示す。

全体的に fill（土地被覆セグメント×地形-植生ユニットの行列に占める有データの割合）が小さいために、Nestedness Temperature は小さい値をとるが、大きな値ほどランダムな地形-植生ユニットの構成をとり、小さな値ほど入れ子の規則性に近い地形-植生ユニットの構成をとると判断できる。表 2.2 より、両エリアとも市街地が主体となる土地被覆セグメント（下総台地類型 C、多摩丘陵類型 A）では、地形-植生ユニット構成のランダム度が高くなった。また、多摩丘陵対象地域では、低地面－水田雑草群落に代表される、谷津田起源と考えられる土地被覆セグメント（多摩丘陵類型 D）において、最も地形-植生ユニット構成のランダム度が高い結果となった。一方、台地・段丘における常緑二次林または畑地・自然草地、丘陵地における二次林を起源とする土地被覆セグメントは、概ね規則的な入れ子傾向がみられ、台地においては耕作放棄地・二次草地型、丘陵地においては人工改変地形（造成地環境）の落葉樹林を特徴的に含む土地被覆セグメントにおいて、最も規則的な入れ子に近い景観構成となった。

表 2.2 土地被覆セグメントの類型ごとの Nestedness Temperature の算出結果
（上：下総台地対象地域，下：多摩丘陵対象地域）

下総台地				
土地被覆セグメントの類型	特徴的な地形-植生ユニット	セグメント 総数	Nestedness Temperature	fill (%)
A: 台地畑地タイプ	台地段丘-畑地雑草	1829	3.79	11.9
B: 台地常緑樹林タイプ	台地段丘 -常広・針葉樹二次林	813	3.61	11.5
C: 台地モザイク	—	1935	9.36	11.4
D: 台地自然草地タイプ	台地段丘-自然草地	120	3.21	12.0
E: 台地二次草地タイプ	台地段丘-二次草地 人工地形-二次草地	728	2.36	9.2

多摩丘陵				
土地被覆セグメントの類型	特徴的な地形-植生ユニット	セグメント 総数	Nestedness Temperature	fill (%)
A: 丘陵地モザイク	—	1051	6.44	9.3
B: 常緑二次林タイプ	斜面 -常広・針葉樹二次林	123	3.72	13.5
C: 落葉二次林タイプ	斜面-落葉広葉樹林	464	3.65	12.6
D: 低地水田雑草タイプ	低地面-水田雑草	150	8.78	16.7
E: 残存落葉二次林タイプ	人工地形-落葉広葉樹林	118	0.76	8.0

表 2.3 下総台地対象地域における土地被覆セグメントの類型ごとの地形-植生ユニット構成

セグメント 類型	A: 台地畑地タイプ		B: 台地常緑樹林タイプ		C: 主に市街地	
Nestedness Temperature	3.79		3.61		9.36	
地形-植生 ユニット数	46		54		57	
セグメント数	1829(500サンプル)		813		1935(500サンプル)	
多くの セグメント に見られる	台地段丘-畑地雑草	500	台地段丘-常針樹林	813	低地面-水田雑草	239
	凹地-畑地雑草	320	台地段丘-畑地雑草	461	台地段丘-畑地雑草	238
	台地段丘-常針樹林	220	斜面-常針樹林	406	台地段丘-常針樹林	172
	斜面-畑地雑草	195	凹地-常針樹林	331	低地面-二次草地	152
	人工地形-畑地雑草	177	人工地形-常針樹林	241	斜面-常針樹林	149
↑ 中間的 ↓	低地面-水田雑草	60	人工地形-二次草地	115	低地面-落広樹林	65
	人工地形-常針樹林	56	斜面-落広樹林	107	台地段丘-自然草地	62
	低地面-常針樹林	55	低地面-畑地雑草	101	凹地-常針樹林	62
	斜面-落広樹林	50	台地段丘-水田雑草	82	人工地形-自然草地	62
	凹地-二次草地	50	人工地形-畑地雑草	76	人工地形-落広樹林	52
限られた セグメント に見られる	山麓堆積-畑地雑草	5	山麓堆積-畑地雑草	5	山麓堆積-畑地雑草	5
	低地面-竹林	5	山麓堆積-二次草地	3	低地微高地-水田雑草	4
	山麓堆積-常針樹林	4	低地微高地-常針樹林	3	凹地-自然林	4
	山麓堆積-水田雑草	4	低地微高地-畑地雑草	3	山麓堆積-落広樹林	3
	人工地形-竹林	4	凹地-竹林	3	山麓堆積-二次草地	3
	山麓堆積-二次草地	1	低地微高地-落広樹林	1	山麓堆積-自然林	1
	etc.		etc.		etc.	

セグメント 類型	D: 台地自然草地タイプ		E: 台地二次草地タイプ	
Nestedness Temperature	3.21		2.36	
地形-植生 ユニット数	31		41	
セグメント数	120		728	
多くの セグメント に見られる	台地段丘-自然草地	120	人工地形-二次草地	560
	台地段丘-二次草地	40	台地段丘-二次草地	468
	凹地-自然草地	37	台地段丘-常針樹林	190
	台地段丘-常針樹林	34	台地段丘-畑地雑草	175
	台地段丘-落広樹林	28	人工地形-常針樹林	164
↑ 中間的 ↓	斜面-自然草地	22	人工地形-自然草地	69
	台地段丘-畑地雑草	22	斜面-常針樹林	67
	人工地形-二次草地	17	台地段丘-落広樹林	57
	低地面-自然草地	14	台地段丘-自然草地	52
	凹地-常針樹林	13	凹地-畑地雑草	52
限られた セグメント に見られる	斜面-二次草地	5	斜面-自然林	7
	低地面-二次草地	5	凹地-落広樹林	7
	人工地形-常針樹林	5	凹地-自然草地	7
	低地面-畑地雑草	4	台地段丘-竹林	6
	人工地形-畑地雑草	4	人工地形-竹林	6
	斜面-自然林	1	山麓堆積-自然林	1
	etc.			

表 2.4 多摩丘陵対象地域における土地被覆セグメントの類型ごとの地形-植生ユニット構成

セグメント 類型	A: 主に市街地		B: 常緑二次林タイプ		C: 落葉二次林タイプ	
Nestedness Temperature	6.44		3.72		3.65	
地形-植生 ユニット数	54		33		50	
セグメント数	1051 (500サンプル)		123		464	
多くの セグメント に見られる	斜面-畑地雑草	222	斜面-常針樹林	123	斜面-落広樹林	464
	斜面-落広樹林	210	低地面-常針樹林	59	人工地形-落広樹林	284
	人工地形-畑地雑草	178	斜面-畑地雑草	55	低地面-落広樹林	224
	台地段丘-畑地雑草	160	人工地形-常針樹林	53	斜面-畑地雑草	220
	人工地形-落広樹林	149	斜面-落広樹林	32	斜面-自然草地	158
↑ 中間的 ↓	斜面-自然林	55	低地面-畑地雑草	23	低地面-水田雑草	107
	人工地形-常針樹林	51	台地段丘-畑地雑草	21	斜面-竹林	104
	低地面-自然草地	46	低地面-水田雑草	18	人工地形-畑地雑草	99
	低地面-二次草地	44	斜面-自然草地	14	台地段丘-畑地雑草	98
	人工地形-水田雑草	34	人工地形-落広樹林	14	斜面-二次草地	95
限られた セグメント に見られる	低地微高地-水田雑草	4	台地段丘-落広樹林	5	台地段丘-二次草地	7
	凹地-自然草地	4	人工地形-水田雑草	5	山麓堆積-落広樹林	6
	斜面-湿性林	3	斜面-自然林	4	台地段丘-自然樹林	3
	凹地-落広樹林	3	台地段丘-自然草地	4	山麓堆積-常針樹林	3
	凹地-常針葉樹林	3	低地面-二次草地	4	山麓堆積-畑地雑草	2
	山麓堆積-落広樹林	1	低地微高地-畑地雑草	1	低地微高地-落広樹林	1
	etc.		etc.		etc.	

セグメント 類型	D: 低地水田雑草タイプ		E: 残存落葉二次林タイプ	
Nestedness Temperature	8.78		0.76	
地形-植生 ユニット数	46		32	
セグメント数	150		118	
多くの セグメント に見られる	低地面-水田雑草	148	人工地形-落広樹林	118
	人工地形-水田雑草	88	斜面-落広樹林	75
	低地面-畑地雑草	80	人工地形-自然草地	14
	斜面-落広樹林	73	人工地形-畑地雑草	14
	台地段丘-水田雑草	66	台地段丘-落広樹林	11
↑ 中間的 ↓	台地段丘-落広樹林	35	斜面-畑地雑草	10
	斜面-竹林	32	低地面-落広樹林	10
	斜面-常針樹林	29	人工地形-二次草地	9
	低地面-常針樹林	22	斜面-自然草地	6
	低地面-自然草地	20		
限られた セグメント に見られる	低地微高地-自然草地	4	台地段丘-畑地雑草	3
	頻水地形-水田雑草	4	低地面-畑地雑草	3
	台地段丘-二次草地	2	人工地形-常針樹林	3
	台地段丘-自然草地	2	斜面-常針樹林	2
	凹地-落葉広葉樹林	2	斜面-竹林	2
	山麓堆積-落広樹林	1	台地段丘-常針樹林	1
	etc.		etc.	

3.4 考察

オブジェクト指向画像分析を用いた土地被覆セグメントを単位として、ランドスケープ内の市街地を含む土地被覆のモザイクについて、モザイクの状況が類似する土地被覆セグメントの類型ごとに、地形-植生ユニットを要素として景観構成の入れ子構造を把握した。ここで、土地被覆セグメントを空間単位としたモザイクの類型化は、都市圏レベルの土地被覆セグメントにおける景観構成（第2節）を決定づけている地形-植生セグメントの構成をもとに、台地・丘陵地ランドスケープ内における土地被覆セグメントの類型を把握した。

台地・丘陵地ランドスケープ内において、土地被覆セグメントの類型を決定づける地形-植生ユニットとして、以下が抽出された。台地においては、台地段丘-畑地雑草，台地段丘-常緑広葉・針葉樹二次林，台地段丘-自然草地，台地段丘-二次草地，人工地形-二次草地が、土地被覆セグメントの類型を特徴づけた。また、丘陵地においては、斜面-常緑広葉・針葉樹二次林，斜面-落葉広葉樹林，低地面-水田雑草，人工地形-落葉広葉樹林が、土地被覆セグメントの類型を決定づけた。

台地・丘陵地ランドスケープ内において、土地被覆セグメント内の地形-植生ユニットの構成間の入れ子度が高い類型は、台地において、台地段丘-二次草地を特徴とするセグメント、丘陵地において、人工地形-落葉広葉樹林を特徴とするセグメントであった。これらの土地被覆セグメントの類型において、セグメント内で主要な地形-植生ユニットは、台地において、人工地形-二次草地と台地段丘-二次草地、丘陵地において、人工地形-落葉広葉樹林と斜面-落葉広葉樹林であった。

これらより、土地被覆セグメント内の残存環境の起源となる里地・里山由来の地形-植生ユニットと、これが改変されて生じた人工地形上の地形-植生ユニットが、共通性の高い景観構成要素として土地被覆セグメントに含まれることによって、景観構成の入れ子度が高まっていると考えられた。薪炭林由来の二次林や採草地・耕作放棄地由来の二次草地が、部分的な土地改変の影響を受けながらも残存した都市内の二次林・二次草地が混在した土地被覆セグメントにおいて、土地被覆セグメント内の景観構成の入れ子度が高くなると考えられた。土地被覆セグメント内におけるミクロなスケールでの地形-植生ユニットの質的变化が、土地被覆セグメント間の関係性として見たときには、入れ子の関係をともなった景観構成を形成する一因となると考えられる。

一方で、台地内・丘陵地内ともに、多様な地形-植生ユニットを含む土地被覆セグメントの類型においては、セグメント内の景観構成の入れ子度は低い傾向を示した。包含される地形-植生ユニットの多様性が高い土地被覆セグメントでは、土地被覆セグメントの立地に応じて地形-植生ユニットがランダム的に包含される結果、景観構成の入れ子度が低い状態を維持していると考えられた。これらの土地被覆セグメントの類型は、台地内・丘陵地内において、土地被覆のモザイクが景観構成のモザイク度の高さに反映されている土地被覆セグメントであると考えられる。

また、丘陵地内において、低地面-水田雑草群落を特徴とする土地被覆セグメントにおいては、入れ子度が最も低かった。これは、土地被覆セグメント内において優占的な低地面-水田雑草群落以外に包含される地形-植生ユニットが、低地面-畑地雑草群落，斜面-落葉広葉樹林など複合的であり、ランダム性の高い景観を構成することによると考えられる。また、旧来の谷底面や低地面における水田環境周辺にみられたこれらの地形-植生ユニットの分布パターンが、立地に応じてランダムに生じる結果と考えられた。丘陵地内では、大規模造成および微地形条件に応じた開発の進展が自然環境の残存形態に影響を与えてきた（松井ら，1997）結果、土地被覆セグメントに

における景観構成は、入れ子度の高い土地被覆セグメントと入れ子度の低い土地被覆セグメントとに二極化傾向が進んでいることが推察される。斜面における残存二次林が一部改変されながら残る土地被覆セグメントと、谷戸周辺の環境のモザイクのように多様な景観構成がランダムに形成される土地被覆セグメントとでは、将来の景観構成バランスの図り方が異なる可能性がある。例えば前者の土地被覆セグメントにおいて景観構成の入れ子度を高いまま保ち、後者の土地被覆セグメントにおいて景観構成の入れ子度の低い状態を保つなど、景観構成の入れ子を指標として、現状に対してどれだけの地形-植生ユニットの改変を許容するか検討していくことが有効であると考えられる。

以上より、ランドスケープ内においては、土地被覆のモザイクの状況の異なる土地被覆セグメントの類型に応じて、セグメント内に内包される地形-植生ユニットの分布パターンが異なり、この分布パターンに応じて、類型ごとの景観構成の入れ子度が異なることが明らかとなった。すなわち、土地被覆モザイクの類似する土地被覆セグメントの類型は、それを構成する土地被覆セグメント間の景観構成の関係性を反映した類型であると考えられる。このような土地被覆のモザイクを構成する土地被覆セグメント間の関係性の把握において、水平的入れ子がよい指標となると考えられた。里地・里山由来の二次的環境が部分的に改変されて残存する土地被覆セグメントで、セグメント間の景観構成の入れ子がみられやすいことから、将来的な土地利用において保全対象となる地形-植生ユニットと人為的改変により生じる地形-植生ユニットの混在をどのように配置するかを検討するうえでも、入れ子を指標として地域の景観構成のバランスを図ることが有効であると考えられた。

都市域における種多様性の保全・回復に向けた緑地環境整備において、土地被覆のモザイクに応じた土地被覆セグメントの景観構成のバランスをどのように図っていくかを検討するうえで、景観構成の入れ子を指標として、生物相の種組成との関連性を把握することが必要である。そこで第3章において都市圏スケール(ランドスケープ間)、第4章において台地・丘陵地スケール(ランドスケープ内)で、土地被覆セグメントの景観構成の入れ子度と生物種組成との関連性を把握する。また、それぞれのスケールで、緑地環境整備のシナリオ評価を通じて、緑地環境整備の立地に応じて異なる将来的な景観構成のバランスと生物種組成の作用について把握する。

第3章 都市ランドスケープの水平的入れ子構造の変化に伴う鳥類営巣・繁殖期環境の変動分析とシナリオ評価への適用

第1節 本章の目的および研究における位置

第2章では、都市圏スケールにおいて地形・植生分布に応じた土地被覆セグメントの類型ごとに景観構成の水平的入れ子の状況を把握し、とくに台地周辺の土地被覆セグメントの類型において、景観構成の入れ子度が高いことを把握した。また、台地・丘陵地スケールにおいても、地形・植生ユニットの構成に応じた土地被覆セグメントの類型ごとに、景観構成の入れ子の状況を把握し、都市域の起源となる里地・里山の環境構成要素を残しながら一部土地改変を受けた土地被覆セグメントにおいて地域的な景観構成の入れ子度が高いことを確認した。

一方で、人為的改変を伴う都市域における種多様性について、地域間の景観構成と生物種組成のバランスを図りながら種多様性の保全および回復するための緑地環境整備指針を検討するためには、ランドスケープの水平的入れ子構造およびそれに付随したランドスケープの水平的構造に関する条件の変化が、生物種組成の分布に与える影響に関する検討が必要である。現状わが国において、生物種組成の入れ子構造におよぼすランドスケープ構造の影響に関しては、とくにパッチ的な樹林環境を中心に種組成の入れ子構造を把握した事例がある（橋本ら, 2005）が、都市域のランドスケープスケール構造との関連性を通じた把握はなされていない。そこで本研究では、都市圏スケール（ランドスケープ間）および台地・丘陵地スケール（ランドスケープ内）における景観構成の入れ子構造と、関連するランドスケープの水平的分布パターンについて、それぞれの空間スケールにおける生物種組成との関連性について検討する。

本章ではまず、既往生物分布情報の存在する営巣・繁殖期鳥類相を指標として、広域的な都市圏スケールにおけるランドスケープの水平的入れ子構造および関連するランドスケープスケールの環境条件の変化が生物種組成の変化に及ぼす影響について把握することを目的とする。本研究で使用する営巣・繁殖期鳥類相データに関しては、既に植田ら（2004）により、種組成の変化傾向とランドスケープ条件との関連性に関する検討がなされているが、本研究では、都市域内におけるランドスケープの水平的入れ子構造の視点から、土地被覆のモザイクが類似する土地被覆セグメントの類型ごとに、土地被覆セグメントを空間単位として、セグメント内における景観構成の入れ子度および関連する環境条件との関連性を把握することを目的とする。都市圏スケールにおいて景観構成の入れ子度の変化と関連性に応じて鳥類種群を分類し、それら種群の生息環境の変化と景観構成の入れ子度の変化との関係を把握する。

鳥類の生息環境条件に関する分析に関しては多くの研究の蓄積があり、パッチ面積との関係（樋口ら, 1982; 村井・樋口, 1988; 平野ら, 1989）、植生階層構造との関係（一ノ瀬・加藤, 1994; 加藤, 1996; 一ノ瀬・加藤, 1996; 葉山, 1996; 一ノ瀬・加藤, 1999; 森田・葉山, 2000）、周辺土地利用・景観構造との関係（一ノ瀬, 2002; 中津ら, 2004）、既存緑地・緑道との連結性との関係（森本・加藤, 2005）、都市域環境との関係（一ノ瀬, 2006; 鶴川・加藤, 2007）などが検討されている。一方で、種多様性の保全・回復のための都市圏スケールの緑地環境整備指針の策定にあたっては、創出・復元目標とする環境について、連続性・連結性に代表される広域的なランドスケープ分布パターンを通じ

た生物相への影響に加えて、入れ子構造に代表されるランドスケープの質的構成に関する要件が生物相に与える影響に関しても把握することが必要である。

本章では、第 2 節において、都市圏スケールの土地被覆のモザイクを形成する土地被覆セグメントの類型ごとに、セグメント内の景観構成の入れ子度および関連するランドスケープ条件の変化と、鳥類種組成の変化との関係性を把握する。

これをもとに、第 3 節において、都市圏スケールにおける緑地環境の創出・復元シナリオ評価への適用を図り、景観構成の入れ子構造を指標として、緑地環境整備を通じたランドスケープの創出・復元にむけたランドデザインにおいて配慮すべきランドスケープ構造の質的要件について検討する。とくに、都市圏スケールにおける緑地環境の創出・復元シナリオ評価への適用を通じて、土地被覆のモザイクを形成する土地被覆セグメントの類型ごとに、土地被覆セグメントを空間単位として、景観構成バランスと鳥類相の種群構成の関係性に配慮した緑地環境整備指針の要件を得ることを目的とする。

第2節 ランドスケープの水平的入れ子構造の変化と鳥類営巣・繁殖環境の変化との関係性

2.1 研究の方法

2.1.1 対象地域および使用データ

都市圏スケールにおいて、生物種組成の変化に与えるランドスケープ構造の分析のための対象地域は、異なるランドスケープ間の生物相の変化を把握可能な既往生物分布情報が整備された地域である、東京都都市部を対象とした。本地域においては、1970年代（1973～78年）および1990年代（1993～97年）に、東京都および財団法人日本野鳥の会による東京都鳥類繁殖調査（東京都公害局編,1980; 東京都環境保全局編, 1998）が実施されている。本データは、東京都をカバーする3次メッシュ領域について整備された確認鳥類の繁殖可能性のランクデータである（図3.1）。両時期とも3次メッシュ（東西約1.1km×南北約0.9km）を調査単位とし、種名・個体数・繁殖状況の直接観察（ラインセンサス法）およびアンケート調査に基づき、各種のメッシュごとの繁殖可能性を5段階区分（5：確実に繁殖～1：繁殖しないを可とする）により評価している。

本研究では、主として樹林地およびその周辺のランドスケープ構造の変化と鳥類繁殖状況との関連性に注目するため、上記データのうち、水鳥（ガン・カモ類、シギ・チドリ類）、水域への依存度の高い種（セキレイ類およびカワセミ）、および移入種・外来種を除いた確認種を分析対象とした。また、行動圏が広域に及び、生息および繁殖条件が対象領域外の環境条件にも依存していると考えられるワシ・タカ類およびフクロウ類は分析対象から除外した。対象とした34種の営巣・繁殖期鳥類の分布について、3次メッシュごとの営巣・繁殖レベルレベルをGISデータ化し使用した。

一方、ランドスケープ構造の分析には、第2章第2節における分析結果を使用した。土地被覆のモザイクの分析の空間単位としての土地被覆セグメントは、Landsat TM データより作成・分類された東京都都市圏スケールのセグメントを使用した。また、景観構成の水平的入れ子構造を把握するための土地被覆のモザイクの類似した土地被覆セグメントの類型も、第2章第2節の土地被覆セグメントの類型を用いた。このうち、3次メッシュを単位とした種ごとの繁殖レベルデータの領域に包まれる土地被覆セグメント計393を分析対象として抽出した。

また、第2章第2節同様、植生データとして、環境省第5回自然環境保全基礎調査（1994年～1998年）および第3回調査自然環境保全基礎調査（1983～1986年実施）による5万分の1植生図GISデータ（環境省自然環境情報GIS Web サイトよりダウンロード）を、地形データとして「日本の地形・地盤デジタルマップ」（若松ら, 2005）を使用し、植生および地形データのオーバーレイにより得た地形-植生ユニットを分析に使用した。土地被覆セグメント内における地形条件の把握のためのデータとして、細密数値情報10mメッシュ土地利用データ（国土地理院, 1994年および1984年）および数値地図50mメッシュ標高データ（国土地理院）を使用した。

2.1.2 分析の流れ

都市圏スケールのランドスケープの水平的入れ子構造の把握に使用した土地被覆セグメントを単位として、種ごとの営巣・繁殖レベルの変化傾向に基づき、鳥類相種群を分類した。

一方、土地被覆のモザイクを形成する土地被覆セグメントの類型ごとに、土地被覆セグメント

を空間単位として、セグメント内の地形-植生ユニットの構成間の水平的入れ子の度合いの変化量と、これに関連するランドスケープ条件の変化量を算出し、種群ごとの営巣・繁殖レベルの全体傾向との関連性を分析する。これによって、土地被覆セグメントの景観構成の水平的入れ子の変化に伴う土地被覆セグメント内の鳥類種群の営巣・繁殖環境の変化を把握し、これに作用するランドスケープ条件について検討する。

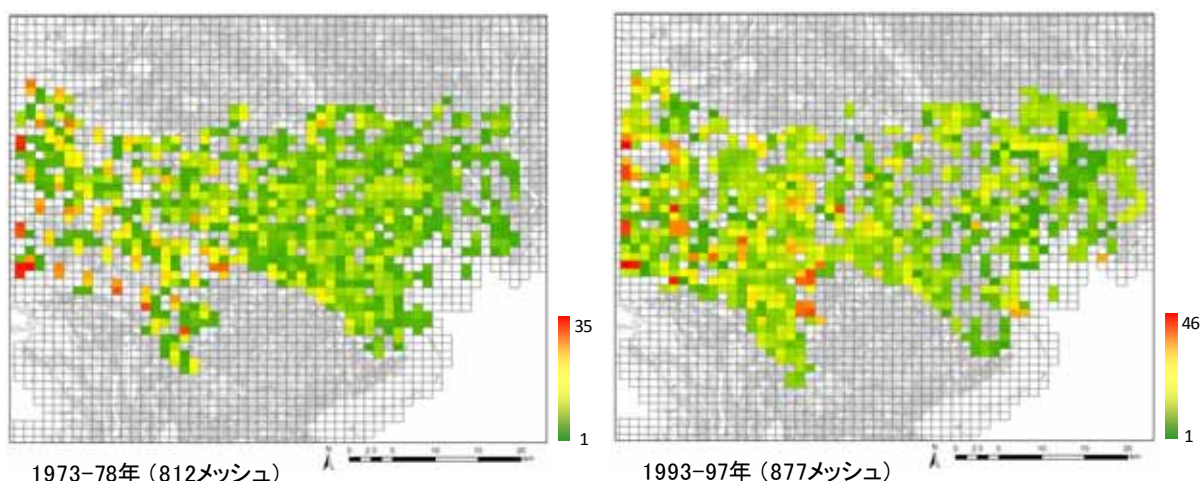


図 3.1 鳥類営巣・繁殖レベルデータにおけるメッシュ内確認種数（東京都,1980; 東京都,1998）

2.2 分析の方法

2.2.1 土地被覆セグメント内の営巣・繁殖レベルの変化に基づく鳥類種群の分類

まず、対象地域に含まれる都市圏スケールの土地被覆セグメントを単位として、営巣・繁殖期鳥類相の変化に基づき、営巣・繁殖レベルが類似の傾向を示す鳥類種群の分類を行った。土地被覆セグメントに含まれる 1970 年代および 1990 年代の 3 次メッシュ繁殖レベルデータを集計し、セグメント内に含まれる 2 時期の種ごとの営巣・繁殖レベルの積算値を算出した。3 次メッシュよりも小さい土地被覆セグメントにおける各鳥類種の営巣・繁殖レベルは、セグメントを包含する 3 次メッシュにおける当該種の営巣・繁殖レベルの値を採用した。

これをもとに、土地被覆セグメント内における 2 時期の種ごと繁殖レベルの積算値の差分（1970 年代のレベルに対する 1990 年代のレベルの変化量）を算出し、階層クラスタ分析により、セグメント内繁殖レベルの変化傾向の類似性を把握し、これをもとに、セグメント内鳥類相変化の把握のための種群を分類した。階層クラスタ分析におけるクラスタ化の方法はグループ間平均連結法を用い、間隔の測定方法には平均ユークリッド距離を用いた。分析には SPSS Statistics 17 を用いた。

2.2.2 種群ごとの営巣・繁殖レベルの変化に関連するランドスケープ構造の分析

土地被覆セグメント内における鳥類種群ごとの営巣・繁殖レベルの変化量として、上記により得られた種群を単位として、1970 年代に対する 1990 年代におけるセグメント内における種群ご

との営巣・繁殖レベルの変化量の合計値を算出した。

一方、土地被覆セグメントの類型ごとに、1990年代における土地被覆セグメントを空間単位として、1970年代に対する1990年代の景観構成の入れ子度の変化量を算出した。環境省第3回自然環境基礎調査および第5回自然環境保全基礎調査の植生データを用いて、1970年代および1990年代の地形-植生ユニットを作成し、土地被覆セグメントの類型ごとに、2時期のNestedness Temperatureの変化量を算出した。また、2時期について、土地被覆セグメント内においてランドスケープの水平的入れ子に付随する植生配置形態の変化量として、緑地タイプ面積割合（樹林、畑、水田、公園緑地の面積割合；細密数値情報10mメッシュ土地利用データをもとに算出）、植生割合多様度（相観植生凡例9タイプの面積多様度をShannon-Weaver's H'により算出）、樹林・草地からの平均最短距離、樹林-草地隣接長（樹林、草地の統合凡例をもとに算出）について、1970年代から1990年代の変化量を算出した。

土地被覆セグメントを分析の空間単位として、営巣・繁殖レベルの変化傾向をもとに分類された鳥類種群ごとに、2時期における営巣・繁殖レベルの変化量を目的変数、景観構成の入れ子度および関連条件の変化量を説明変数として、回帰木分析（CART）により、営巣・繁殖レベルの変化量に影響するランドスケープ要因を分析した。回帰木の基準として、最大の分類深さは5とし、5セグメント以下の分類群（親ノード）はそれ以上分類しない、3セグメント以下の分類群（子ノード）が発生する場合は分類しない、分岐基準における不純度の指標はGiniとした。分析にはSPSS Statistics 17およびSPSS Decision Treesを用いた。

2.3 分析の結果

2.3.1 土地被覆セグメント内の営巣・繁殖レベルの変化に基づく鳥類種群の分類

土地被覆セグメントを単位として、種ごとの営巣・繁殖レベルの変化量をもとにしたクラスタ分析を行った結果、山麓から市街地にかけての環境傾度と生息分布に応じて、図3.2の6タイプの鳥類種群に分類された。それぞれの鳥類種群は、種群タイプA：樹林環境への依存度が高く山地・山麓に限定的に見られる、営巣・繁殖環境が減少傾向にある種群（ホトトギス・カッコーなど）、種群タイプB：山麓から郊外にかけてある程度まとまった規模の樹林環境を利用し、立地に応じて営巣・繁殖環境の増減傾向が分かれる種群（アオゲラ・ヤマガラなど）、種群タイプC：林縁・草地環境を利用し、営巣繁殖環境がおおむね減少傾向にある種群（ホオジロ・モズなど）、種群タイプD：草地・農地環境を利用し、立地に応じて営巣・繁殖環境の増減傾向が分かれる種群（オオヨシキリ・ヒバリなど）、種群タイプE：都市緑地を利用し、営巣・繁殖環境がおおむね増加傾向にある種群（コゲラ・メジロ）、種群タイプF：市街地環境への適応度が高く、営巣・繁殖環境の増減傾向が分かれる種群（ムクドリ・ツバメなど）、と考えられた。ツバメはクラスタ分析における位置が他の種群と異なるが人為的環境との関連性の強さから種群タイプFに含めた。

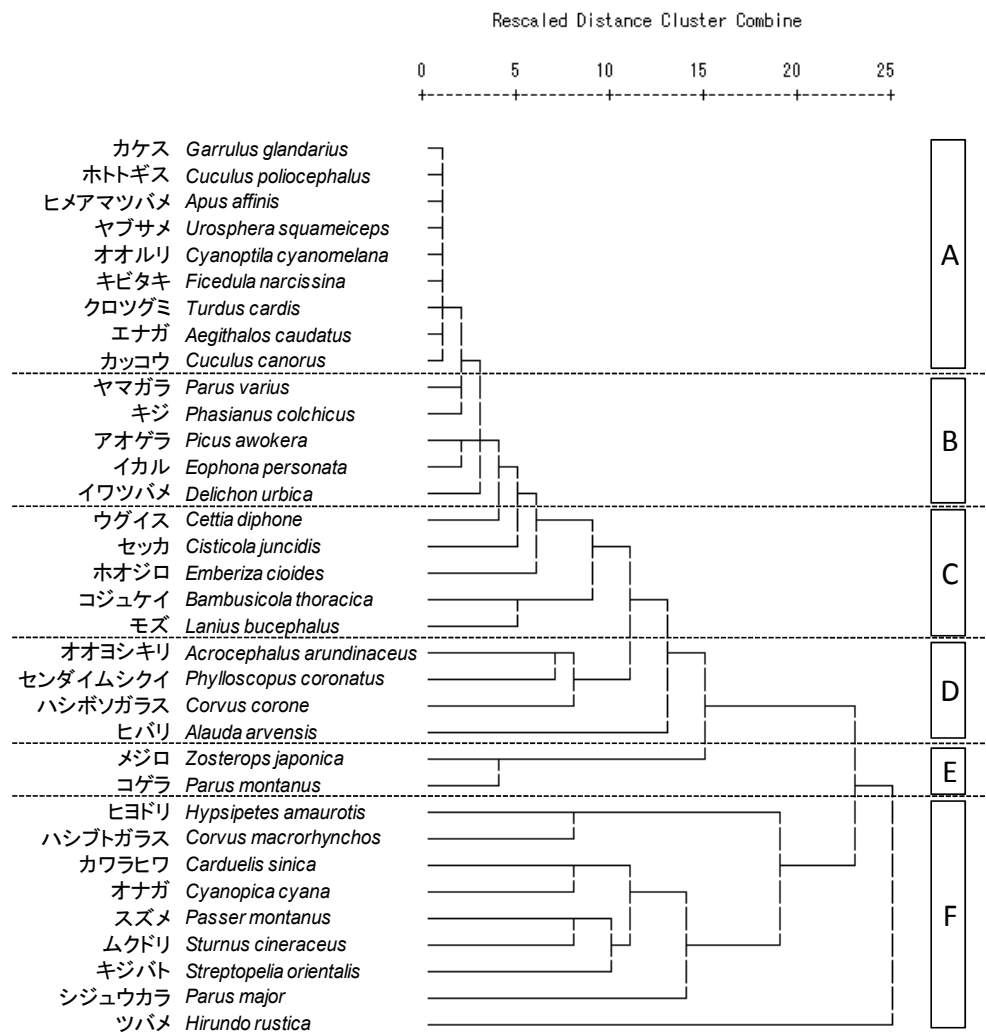


図 3.2 土地被覆セグメントを単位とした営巣・繁殖レベルの変化に基づく種群分類

2.3.2 種群ごとの営巣・繁殖レベルの変化に関連するランドスケープ構造の分析

土地被覆セグメントを単位とし、本章 2.3.1 における分類種群ごとの営巣・繁殖環境の変化に影響するランドスケープ条件を抽出するため、営巣・繁殖レベルの変化量の合計値を目的変数、土地被覆セグメントの類型に応じた土地被覆セグメント内の Nestedness Temperature の変化量、緑地タイプ面積割合、植生タイプ多様度、樹林・草地からの平均最短距離、樹林-草地隣接長の変化量を説明変数として、回帰木分析を行った結果、樹林依存度が高く営巣・繁殖環境が減少傾向にある種群タイプ A（ホトトギス・カッコウなど）を除き、種群タイプの営巣・繁殖環境の変化に作用するランドスケープスケールの環境条件が抽出された（図 3.3～図 3.7）。種群タイプ A に関して有意な回帰木モデルが得られなかった理由としては、山地～山麓に限定的に分布する種群タイプ A の営巣・繁殖レベルの変化が、市街地を含む土地被覆セグメント以上に、本分析で検討対象外とした樹林パッチの環境条件に依存し、影響要因が抽出できなかったことによると考えられる。

各種群タイプの営巣・繁殖環境の増加要件として、山麓から郊外にかけての樹林環境を利用し

増減傾向が分かれる種群タイプ B（アオゲラ・ヤマガラなど）に対しては、セグメントにおける水田面積割合、草地からの平均最短距離、樹林面積割合の変化量が抽出され（図 3.3）、主としてセグメント内におけるまとまった農地および樹林環境の分布変化に関する要因が作用した。とくに、郊外農地環境から都心部市街地にかけての大きなスケールの環境傾度の指標として水田割合が作用したと考えられる。

林縁・草地環境を利用し営巣・繁殖環境が減少傾向の種群タイプ C（ホオジロ・モズなど）に対しては、農地割合、地形-植生ユニットの入れ子度、草地からの平均最短距離の変化量が抽出され（図 3.4）、農地および草地環境の分布変化に関する要因が作用したと考えられた。

草地・農地環境を利用し営巣・繁殖環境の増減傾向が分かれる種群タイプ D（オオヨシキリ・ヒバリなど）に対しては、樹林からの最短平均距離および公園面積割合の変化量が抽出され（図 3.5）、樹林の細分化、都市緑地の増加と関係する要因が作用したと考えられた。樹林からの距離は、農地・草地オープンスペースの分布と相反関係をもつ変数として抽出されたと考えられる。

都市緑地を利用し営巣・繁殖環境が増加傾向の種群タイプ E（コゲラ・メジロ）に対しては、地形-植生ユニットの入れ子度、水田割合、樹林割合の変化量が抽出され（図 3.6）、樹林・農地環境の細分化と景観構成の入れ子度の低下と関連する要因が作用したと考えられた。種群タイプ B と同様、水田割合は、郊外農地環境から都心部市街地にかけての大きなスケールの環境傾度の指標として作用したと考えられる。

市街地環境への適応度が高く営巣・繁殖環境の増減傾向が分かれる種群タイプ F（ムクドリ・ツバメなど）に対しては、地形-植生ユニットの構成間の入れ子度、水田面積、樹林面積、植生多様度の変化量が抽出され（図 3.7）、樹林・農地環境の細分化と景観構成の入れ子度の低下との関連が作用したと考えられた。種群 B、E と同様に、水田割合は、郊外農地環境から都心部市街地にかけての大きなスケールの環境傾度の指標として作用したと考えられる。

結果として、種群タイプ C（ホオジロ・モズなど林縁・草地利用種群）、種群タイプ E（コゲラ・メジロなど都市緑地利用種群）、種群タイプ F（ムクドリ・ツバメなど市街地適応種群）に関して、営巣・繁殖レベルの変化要因として、土地被覆セグメントの類型に応じた土地被覆セグメント内の景観構成の入れ子度が抽出された。これらの種群は、営巣・繁殖レベルの変化が、都市化に伴う土地被覆セグメントの景観構成間の関係性の変化との関連が強い種群であった。すなわち、広域的なランドスケープの水平的入れ子構造の変化が種群分布の変化に与える影響を把握するうえでの指標となる種群であると考えられた。

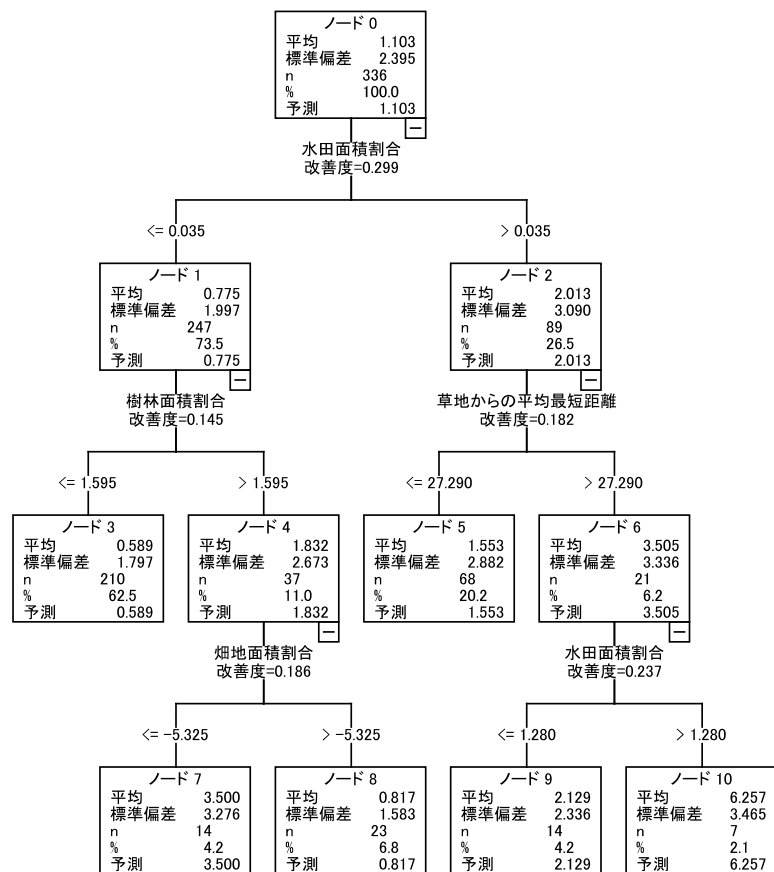


図 3.3 種群 B（アオゲラ・ヤマガラなど）の営巣・繁殖レベルに対する CART の結果

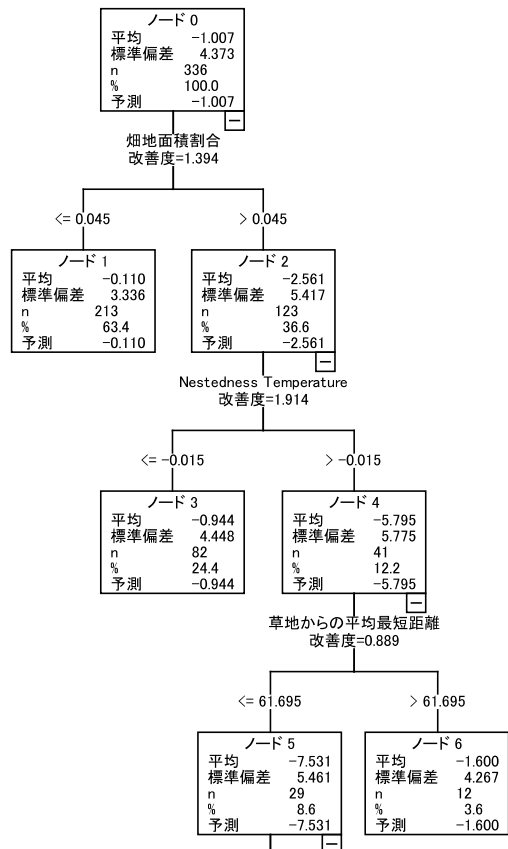


図 3.4 種群 C（ホオジロ・モズなど）の営巣・繁殖レベルに対する CART の結果（3 段まで）

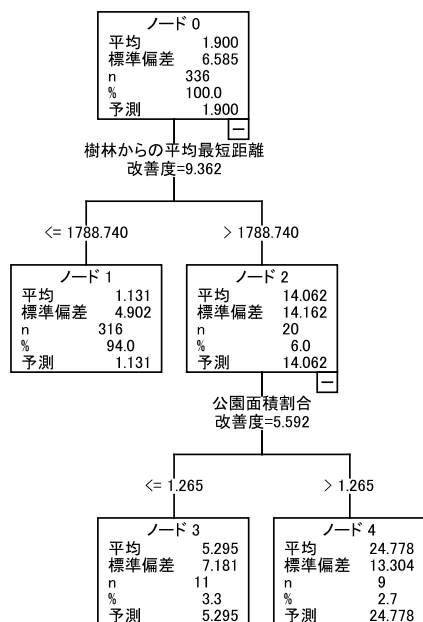


図 3.5 種群 D（オオシキリ・ヒバリなど）の営巣・繁殖レベルに対する CART の結果

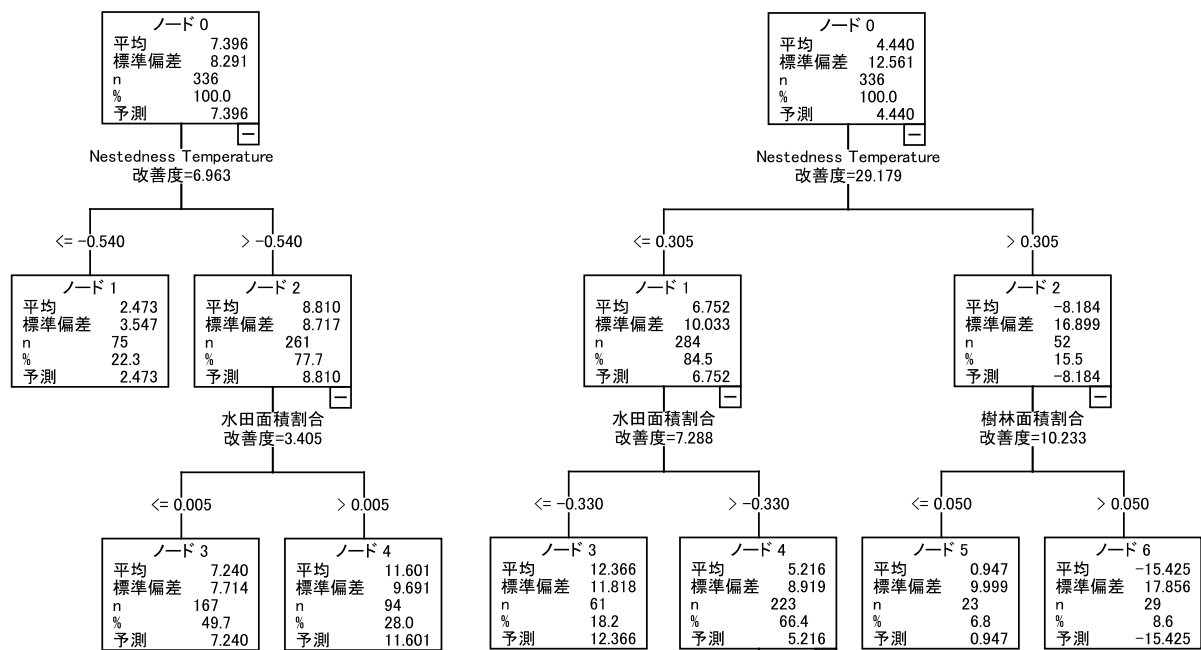


図 3.6
種群 E (コゲラ・メジロ) の営巣・繁殖レベルに対する CART の結果

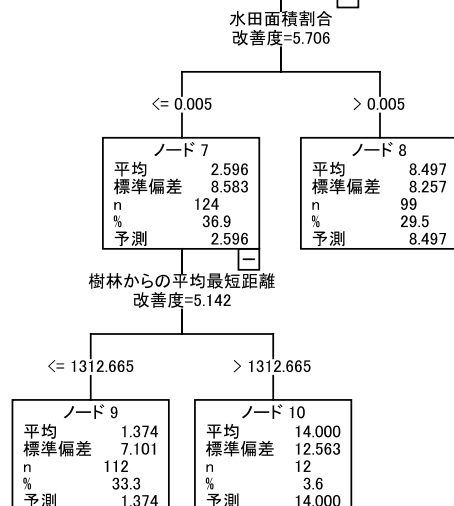


図 3.7
種群 F (ムクドリ・ツバメ) の営巣・繁殖レベルに対する CART の結果

2.4 考察

都市圏スケールでの土地被覆セグメントを単位として、営巣・繁殖レベルの変化傾向に基づく種群分類により、生息分布と生息環境条件を反映して営巣・繁殖レベルの変化傾向が類似した鳥類種群の分類結果が得られた。樹林依存度が高く営巣・繁殖環境が減少している種群（タイプ A：ホトトギス・カッコウなど）から、都市緑地または市街地環境への適応性が高いと考えられる種群（タイプ E：コゲラ・メジロ、タイプ F：ムクドリ・ツバメなど）にかけ、山麓から市街地にかけての環境傾度に応じた営巣・繁殖環境の変化状況に即して、種群が分類されたと考えられる。

各種群タイプの営巣・繁殖レベルの変化に関連したランドスケープ変化として、主として緑地タイプ（水田、畑地、樹林）の面積割合および樹林・草地からの平均最短距離といった植生配置条件が抽出された。これら変数として、直接的要因となる変数とともに、それと相反する変化傾

向を示す変数が抽出された。また、都市化傾向に応じた広域的なランドスケープの変異を指標する変数として水田面積割合が抽出された。セグメント内における環境条件（面積割合）とともに、セグメント間で相互に影響を有する環境条件（平均最短距離）が作用し、それぞれの鳥類種群の営巣・繁殖レベルの増減が生じていると考えられた。とくに、林縁・草地環境を利用し営巣繁殖環境が減少傾向の種群（タイプ C：ホオジロ・モズなど）と都市緑地利用種群（タイプ E：コゲラ・メジロ）、市街地環境への適応が進む種群（タイプ F：ムクドリ・ツバメなど）において、営巣・繁殖傾向の変化に、土地被覆セグメントの類型に応じた地形-植生ユニットの構成間の水平的入れ子の変化が作用する結果を得た。このことから、これらの鳥類種群は、都市域の景観構成の変化に対する指標性が高い種群であると考えられた。

都市適応種群の営巣・繁殖環境に対する地形-植生ユニットの構成間の入れ子の作用として、都市緑地における特定の営巣・繁殖環境を利用する種群（タイプ E：コゲラ・メジロ）に関しては、Nestedness Temperature の減少が一定規模以上、すなわち、地形-植生ユニットの構成間の入れ子度が低下または一定レベルを上限として増大する土地被覆セグメントにおいて、営巣・繁殖傾向の増大が大きいと考えられた。樹林環境の細分化により、ある程度の入れ子度が増大する適度な規模の樹林環境が残る土地被覆セグメント内で、営巣・繁殖環境が増加傾向にあると推察された。この種群の営巣・繁殖には、ある程度の直径以上の樹幹を有する樹木や林床の藪といった生息環境が必要であり、地形-植生ユニットの構成間の入れ子が適度に保たれている土地被覆セグメントで、このような営巣・繁殖条件が維持・向上することが推察された。

一方、市街地適応種群（タイプ F：ムクドリ・ツバメなど）に関しては、Nestedness Temperature の増加が一定規模以下、すなわち、地形-植生ユニットの構成間の入れ子度が増大または一定レベルを上限として低減する土地被覆セグメントにおいて、営巣・繁殖レベルの増大傾向が大きい結果であった。市街地内の緑地の増加に伴い、均質性の高い市街地環境からある程度の入れ子度の増大が図れるような植生環境の多様化が、営巣・繁殖環境の増加傾向につながると推察された。

林縁・草地環境利用種群（タイプ C：ホオジロ・モズ）の営巣・繁殖レベルに対する地形-植生ユニットの構成間の入れ子の作用は、Nestedness Temperature の減少が一定規模以下の場合、営巣・繁殖レベルの減少傾向が軽減する結果であった。すなわち、地形-植生ユニットの構成間の入れ子度の変化が一定レベルの範囲内で保たれている土地被覆セグメントにおいて、種群の営巣・繁殖レベルの減少傾向が軽減する。このことから、多様な地形-植生ユニットの混在によって景観構成の入れ子度の低い状態にある土地被覆セグメントの類型では、景観構成要素となっている地形-植生ユニットの組合せを維持することにより、土地被覆セグメントの類型に応じた土地被覆セグメント景観構成の入れ子度を保つことが、営巣・繁殖環境の保全につながると考えられた。

以上より、都市圏スケールのランドスケープの水平的入れ子構造および関連するランドスケープ条件の変化が鳥類営巣・繁殖環境に与える影響は、その影響側面および作用が種群に応じて異なると考えられる。したがって、ランドスケープスケールにおいて種多様性の保全・回復に資する緑地環境整備のためには、緑地環境整備の立地や目標環境に応じて生じる将来的な景観構成のバランスの変化に伴う鳥類種群ごとの生息環境への影響を把握したうえで、整備指針に反映するランドスケープの質的条件および形態的条件を抽出することが有効である。そこで第 3 節において、本節の結果を都市圏スケールでの緑地環境整備シナリオに適用することによって、景観構成バランスの指標としてのランドスケープの水平的入れ子構造の展開可能性について検討する。

第 3 節 都市圏スケールにおける樹林地創出・復元シナリオに伴う鳥類営巣・繁殖レベルの変動評価

3.1 研究の方法

3.1.1 対象地域および使用データ

(1) 対象地域

都市圏スケールにおいて鳥類種群ごとの営巣・繁殖レベルの変化に作用するランドスケープ構造の評価モデルを、都市域における緑地環境整備シナリオの評価へと展開し、種多様性の保全・回復にむけた緑地環境整備の指針検討やランドスケープのランドデザインへの活用可能性について検討する。シナリオ評価の対象地域は、第 2 章第 2 節において対象とした東京都市圏（首都圏整備法における「既成都市区域」および「近郊整備区域」の範囲とする。都市圏スケールにおいて、広域的なランドスケープの創出・復元にむけた緑地環境整備シナリオの評価を通じて、緑地環境整備によるランドスケープの水平的入れ子構造および関連するランドスケープ条件への作用が鳥類営巣・繁殖レベルの変化に与える影響について把握する。

(2) 使用データ

緑地環境整備シナリオにより変動する環境条件は、ランドスケープスケールの植生変化とし、既往の植生分布をベースとして将来的な植生を設定する。植生変化の設定のためのベースデータとして、環境省第 5 回自然環境保全基礎調査（1994 年～1998 年）による植生データの統合凡例（相観植生レベルの 9 凡例）を使用した。また、土地利用に関しては 1994 年数値地図 10m メッシュ土地利用（国土地理院）を、地形条件に関しては数値地図 50m メッシュ標高データ（国土地理院）を使用した。

また、緑地環境整備の実施対象立地のゾーニングのため、現行法に基づく指定地域データとして、国土数値情報における地域指定データ（国土交通省国土数値情報ダウンロードサービス Web サイト）を使用した。

3.1.2 分析の流れ

はじめに、都市圏スケールにおける緑地環境整備シナリオの設定を行う。今後の都市域における緑地環境の創出・復元においては、緑地・緑道環境の整備や民有緑地の創出といった環境軸の形成、都市内の二次林等を対象とした身近な樹林地の管理・再生、あるいは、人口減少に伴う都市構造の変化として、増大する耕作放棄地における自然遷移の進行や都市構造そのものの縮退・再編を通じた空閑地など、樹林と関連した緑地環境の創出や管理転換が生じることが予測される。このような社会的トレンドを踏まえ、特定の植生環境の創出・復元による環境復元が、緑地環境整備の実施対象となる立地に応じて変動するランドスケープ構造の作用を明らかにするため、ここでは樹林地の創出・復元を対象として、施策および対象立地の異なるシナリオを設定する。

シナリオ設定に基づくランドスケープ構造の変化に対して、第 2 節で導出した評価モデルの適用を図る。東京都都市部において鳥類種群ごとの営巣・繁殖レベルに作用したランドスケープの水平的入れ子構造に関連するランドスケープ条件の変数について、シナリオに応じた変数を算出

し、評価モデルを適用する。モデル適用の結果得られるシナリオごとの鳥類営巣・繁殖レベルの変動予測によって、シナリオの施策および対象立地の違いによる鳥類種群の営巣・繁殖環境への影響の差異を把握する。

3.2 分析の方法

3.2.1 東京都市圏スケールにおける樹林地の創出・復元シナリオの設定

ランドスケープスケールにおける樹林地創出・復元シナリオとして、表 3.1 に示す 5 タイプの施策シナリオを設定する。施策の実施対象立地のゾーニングに関しては、現行の法体系における地域区分（図 3.8）を使用した。市街地内および市街地縁辺部における樹林地の創出・復元エリアを設定する際は、都市計画法（1968 年制定，2006 年最終改正）における市街化区域および市街化調整区域を使用したゾーニングを設定した。また、周辺郊外地域を対象とした樹林地の創出・復元エリアを設定する際は、国土利用計画法（1974 年制定，2005 年最終改正）の土地利用基本計画における農業地域、森林地域を使用したゾーニングを設定した。なお、市街化区域に重複する農業地域および森林地域においては市街化区域を優先し、農業地域・森林地域に重複する市街化調整区域においては、農業地域・森林地域を優先してゾーニングを設定した。

樹林地の創出シナリオとして、シナリオⅠ～シナリオⅢの 3 つの施策シナリオを設定した。

シナリオⅠは既存都市施設における緑地創出として、一定規模以上の公共施設の敷地内における樹林地の創出を対象とする。施設の敷地面積規模は、工場立地法（1973 年制定，2000 年最終改正）において工場施設の緑化義務の設定における基準敷地面積に相当する面積として 9000 m²、緑地面積割合を敷地面積の 20%とし、創出される植生は落葉広葉樹と常緑・針葉樹の混交林と設定した。本施策シナリオの実施対象地域は、指定区域を問わず、対象地域全体において適用されることとした。

シナリオⅡでは、河川・止水域沿い緑地における二次草地（路傍雑草群落，伐開跡地群落）における樹林地および水辺草地の創出を対象とする。河畔・水辺環境の再生を目標設定とし、河川および池沼に隣接する二次草地において、湿性林および湿性草地（それぞれ創出植生の占める面積割合を水辺二次草地の全体面積の 20%とした）を創出するシナリオを設定した。施策実施の対象とする指定区域は、主に都市緑地環境整備の一環としての実施を前提として、市街化区域内、および農業地域・森林地域に該当しない市街化調整区域とした。

シナリオⅢでは、農地に隣接する二次草地を対象として、畑地（および畑地雑草群落）・水田（および水田雑草群落）とセットとなった樹林地の創出を対象とする。創出する植生は落葉広葉樹二次林とした。施策実施の対象は市街地近郊に位置する農地周辺とし、市街化調整区域のうち、森林地域に該当しない地域を対象ゾーンとした。

一方、樹林地の管理および誘導的な植生遷移を通じた復元シナリオとして、シナリオⅣおよびシナリオⅤの 2 つの施策シナリオを設定した。

シナリオⅣでは、市街地内の放棄可能性のある植林地における林相転換を対象とした。植生データにおいて、駅から 2km 圏内に存在し、管理作業の実施可能性が高い樹林地として最大傾斜度が 30° 以下の植林地を抽出した。抽出された植林地において、植生管理により落葉広葉樹二次林および常緑・針葉樹二次林より構成される混交林を復元するシナリオを設定した。施策実施の対

表 3.1 樹林地創出・復元シナリオの立地条件および環境設定

シナリオ	対象	ゾーン				立地条件		創出環境
		市街化 区域	市街化調整区域			現状	条件	
			指定 なし	農業 地域	森林 地域			
I	既存大規模 公共施設	●	●	●	●	公共施設	面積≧9000㎡(工場緑化相当)	落広二次林 常緑二次林 (面積20%)
II	河川・水域 隣接草地	●	●			二次草地	河川・水域に隣接	湿性林 湿性草地 (各20%)
III	農地隣接草地		●	●		二次草地	畑地・水田に隣接	落広二次林
IV	市街地内 植林地	●	●	●		植林地	傾斜≦30°（作業性） 駅からの平均距離≦2km（アクセス性）	落広二次林 常緑二次林
V	条件不利農地				●	水田 ・水田雑草	面積?20ha(農振農用地未満) 傾斜最大値≧15°（条件不利地）	湿性林
						畑地 ・畑地雑草		落広二次林

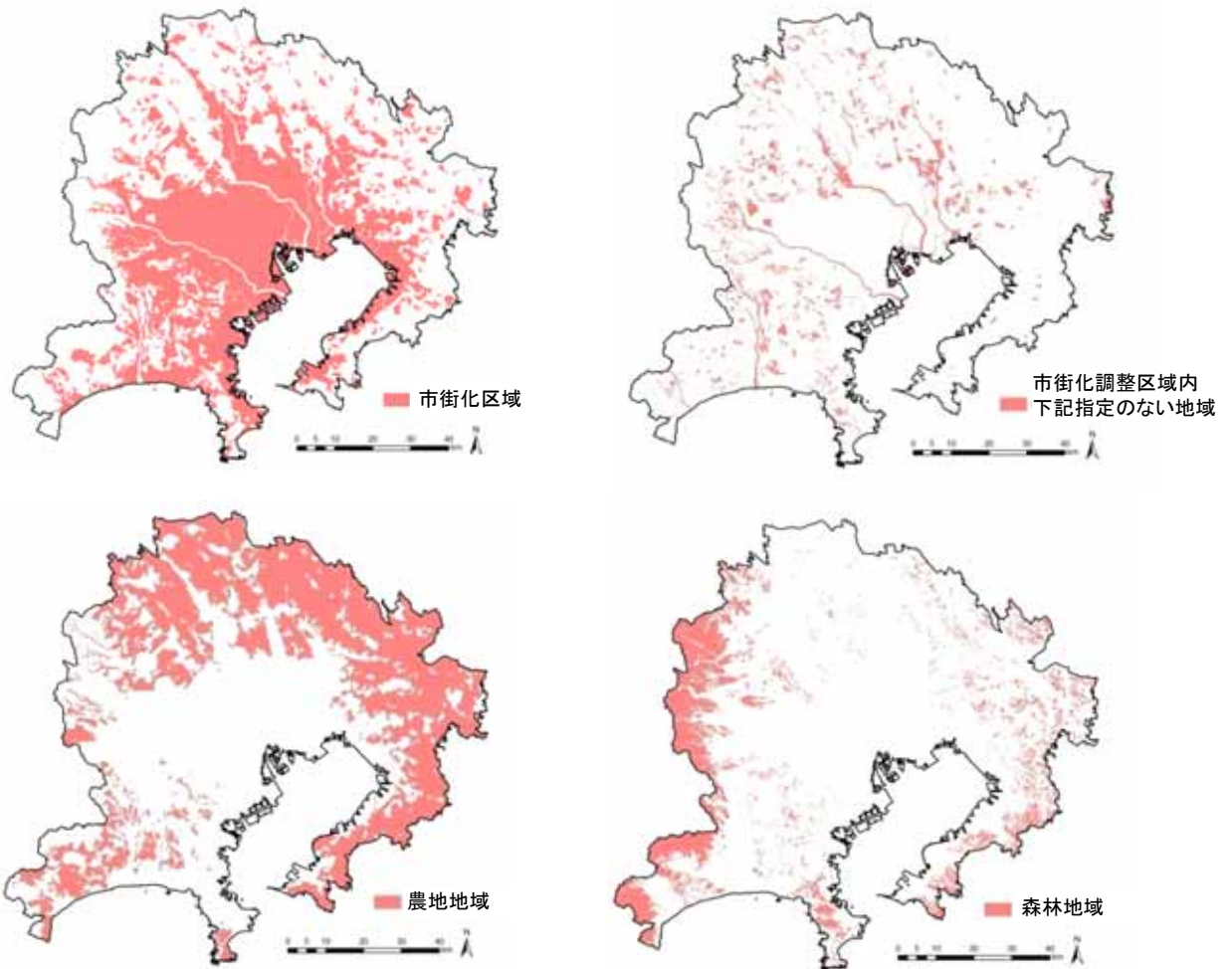


図 3.8 樹林地創出・復元シナリオのゾーニングのための地域区分

象ゾーンとして、市街化区域および森林地域に該当しない市街化調整区域とした。

シナリオⅤでは、森林地域内の耕作放棄地における再樹林化を対象とした。植生データにおいて、森林地域内に位置する農地（畑地・畑地雑草群落、水田・水田雑草群落）のうち、農業振興地域の整備に関する法律（農振法）（1969年制定，2007年最終改正）に基づき市町村が制定する農業振興地域整備計画において、農用地区域として指定される基準面積である20ha以上の集団的農地を除き、農地を抽出した。このうち、営農不利地の条件として、ポリゴン内の最大傾斜が15°以上の農地を転用可能性の高い農地とし、再樹林化の対象地として設定した。

以上の基準による樹林地創出・復元シナリオⅠ～Ⅴの実施対象とする立地を図3.9に示す。シナリオの植生変化の設定に基づき、シナリオごとの対象ポリゴンにおける将来的な植生データを設定した。

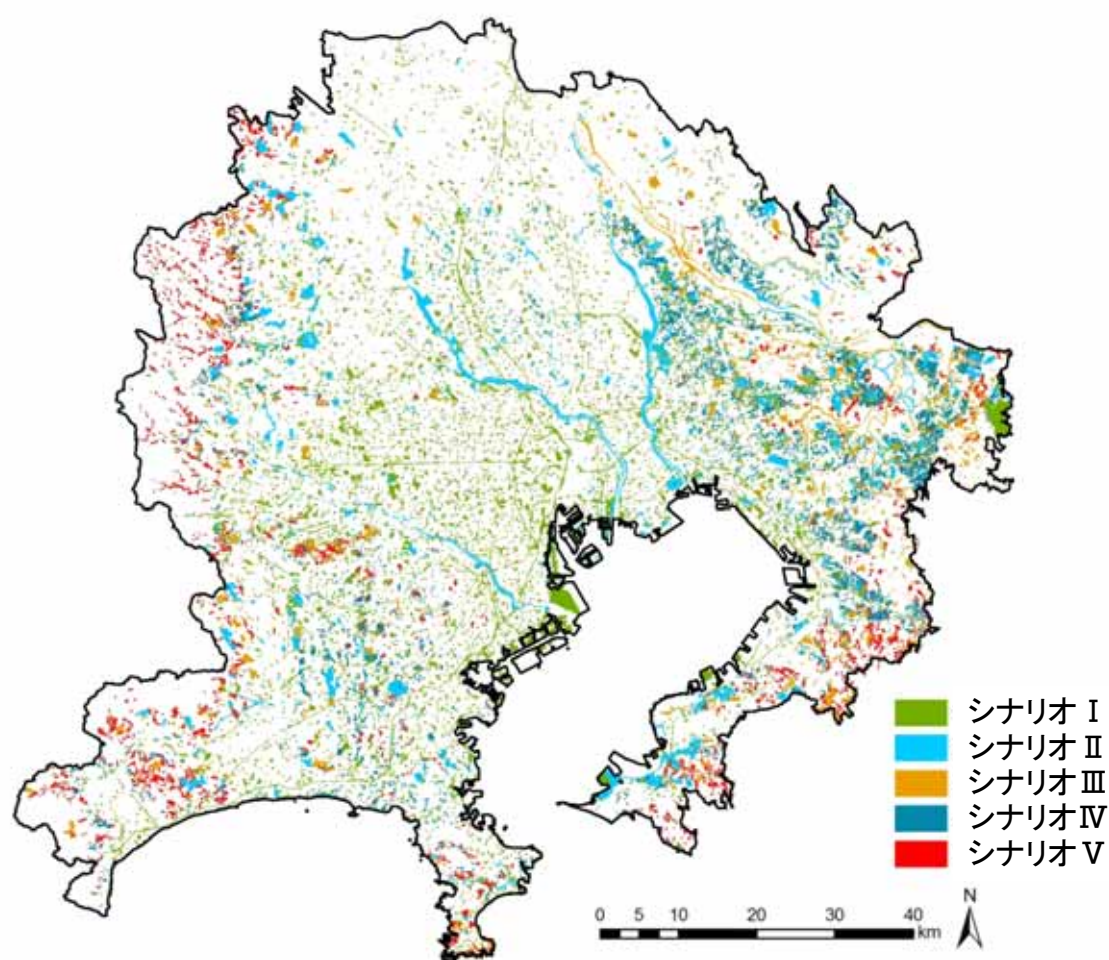


図 3.9 樹林地創出・復元シナリオの実施対象地域

3.2.2 樹林地創出・復元シナリオに伴う営巣・繁殖鳥類相の変動予測

東京都市圏スケールの緑地創出・復元シナリオに、本章第2節における分析結果として得られた鳥類種群の営巣・繁殖レベルの回帰木モデルを適用することにより、それぞれの施策シナリオによる鳥類種群ごとの営巣・繁殖レベルの変動を予測する。

そのための説明変数として、各シナリオによる将来的な植生データに基づき、Landsat TM データを用いた土地被覆セグメントを空間単位として、本章第 2 節の分析において使用した土地被覆セグメントの類型ごとの土地被覆セグメント内の景観構成の入れ子度として Nestedness Temperature、これに関連するランドスケープ条件として、緑地タイプ面積割合、植生割合多様度、樹林・草地からの平均最短距離、樹林-草地隣接長を算出した。例えば、草地の樹林化を伴うシナリオの場合、樹林からの平均最短距離は、新たに樹林化される植生ポリゴンを含む樹林ポリゴン全体からの平均最短距離を算出する一方、草地からの平均最短距離は、樹林化に伴い減少する草地ポリゴンを差し引いた草地ポリゴン全体からの平均最短距離を算出した。また、Nestedness Temperature は、将来的な植生データに基づき地形-植生ユニットを作成し直したうえで、土地被覆セグメントの類型ごとに、将来的な植生による土地被覆セグメント内の地形-植生ユニットの構成より再計算を行った。

第 2 節では、1990 年代時点における土地被覆セグメント内での 1970 年代から 1990 年代にかけての変数の変化量を説明変数としている。したがって、シナリオに伴う将来的な植生データを用いてセグメント内の各変数を算出した後、1990 年代のセグメント内の各変数の値からの変化量を算出した。シナリオに応じた各変数の変化量を説明変数として、鳥類種群ごとの営巣・繁殖レベルの変化量を目的変数とした回帰モデルを適用した。

3.3 分析の結果

3.3.1 樹林地創出・復元シナリオに応じた鳥類種群の営巣・繁殖レベルの変化の差異

1990 年代の植生分布からシナリオに応じた植生分布へ変化した場合の土地被覆セグメントの類型ごとの Nestedness Temperature の変化量を図 3.10 に示す。樹林地創出・復元シナリオの立地に応じて、土地被覆セグメントの類型ごとの景観構成の入れ子度が変化し、その差異が生じた。シナリオⅠ（大規模施設樹林地創出）では、とくに景観構成の入れ子度への作用が顕著であり、低地面セグメント（類型 E）、都心部セグメント（類型 F）、台地・低地一般面セグメント（類型 G）および沿岸沿川市街地セグメント（類型 H）において、とくに景観構成の入れ子度が低下した。シナリオⅡ（河川・水域沿い樹林地創出）では、沿岸沿川市街地セグメント（類型 H）および山麓周辺セグメント（類型 B）、丘陵地周辺セグメント（類型 C）などで、景観構成の入れ子度が低下した。また、シナリオⅢ（農地樹林地創出）では台地・段丘上セグメント（類型 D）において、シナリオⅣ（市街地内人工林の林層転換）では丘陵地周辺セグメント（類型 C）において、景観構成の入れ子度は微増した。

ランドスケープスケールにおける樹林地創出シナリオⅠ～Ⅲおよび樹林地復元シナリオⅣ～Ⅴについて、シナリオの実施に伴う植生変化に応じたランドスケープ条件の変化が各鳥類種群の営巣・繁殖レベルの変化に及ぼす影響について、回帰モデルを適用した結果を図 3.11～図 3.15 に示す。

シナリオごとに、鳥類種群に応じた営巣・繁殖レベルに対する作用の差異を比較した結果、シナリオⅠ（大規模施設樹林地創出）・シナリオⅡ（河川・水域沿い樹林地創出）・シナリオⅢ（農地樹林地創出）・シナリオⅣ（市街地内人工林の林層転換）においては、種群タイプ B（アオゲラ・ヤマガラなど樹林利用種群）、種群タイプ C（ホオジロ・モズなど林縁・草地利用種群）、種群タ

イプ D（ヒバリ・オオヨシキリなど農地・草地利用種群）に対する効果が一定の範囲に収まり、効果が明確である土地被覆セグメントの立地にも差が生じなかった。これに対して、シナリオ V（条件不利農地樹林化）では、すべての種群に関して立地に応じた営巣・繁殖レベルの変化が生じ、施策シナリオの実施対象立地のランドスケープ条件を通じた作用が生じやすいシナリオと考えられた。シナリオ V（条件不利農地樹林化）の実施対象地は、現状のランドスケープ分布において、都市圏周辺の森林環境および農地環境との近接度の高いエリアに位置し、ここでの農地から樹林地への遷移の誘導が、鳥類種群ごとの営巣・繁殖レベルの変化に影響を与えるランドスケープ条件に広く作用し、実施対象地を含む土地被覆セグメントにおいて各種群の営巣・繁殖レベルの変動が生じる結果となったと考えられる。

樹林地の創出・復元の立地に応じて、種群ごとの営巣・繁殖レベルの変化に与える影響の大きさは異なった。とくに、シナリオによる植生変化に伴い、土地被覆セグメントの景観構成の入れ子度の変化が土地被覆セグメントの類型ごとに顕著に異なるシナリオ I（大規模施設樹林地創出）およびシナリオ II（河川・水域沿い樹林地創出）において、樹林地創出立地に応じた営巣・繁殖レベルの地域的差異が大きく変動し、種群によっては地域間で営巣・繁殖レベルの増加と減少とが分かれるトレードオフの変動が生じる結果となった。樹林地創出シナリオのうち、とくにシナリオ I（大規模施設樹林地創出）およびシナリオ II（河川・水域沿い樹林地創出）は、創出立地に応じたランドスケープの水平的入れ子構造の変化への影響が大きく、土地被覆セグメントの類型に応じた土地被覆セグメント内の景観構成の入れ子度の変化が、種群ごとの営巣・繁殖レベルの地域的差異に影響を与える結果となった。

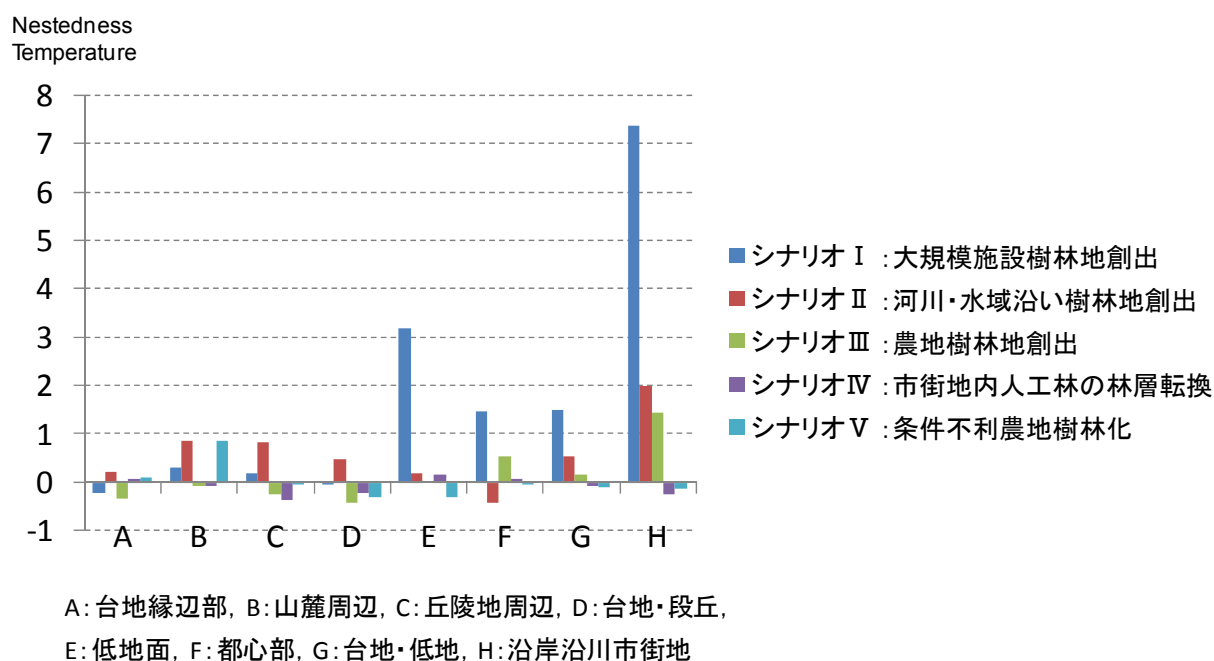


図 3.10 シナリオに応じた土地被覆セグメントの類型ごとの Nestedness Temperature の変化量
(1990 年代の植生分布に基づく値から各シナリオに応じた植生分布による値への変化量)

3.3.2 鳥類種群に応じた樹林地創出・復元シナリオの影響の差異

樹林地創出・復元シナリオの評価により得られた種群ごとの営巣・繁殖レベルの変化結果を図 3.11～図 3.15 に示す。

山麓から郊外にかけてある程度まとまった規模の樹林環境を利用する種群タイプ B（アオゲラ・ヤマガラなど）に関しては、シナリオⅠ～Ⅳにおいて、営巣・繁殖レベルが概ね微増傾向となった。シナリオⅤ（農地樹林化シナリオ）に限り、一部地域で営巣・繁殖レベルが向上する結果となった。営巣・繁殖レベルの変化との関連性の強いランドスケープ条件として、土地被覆セグメント内における水田・農地・樹林の面積および草地からの平均最短距離が挙げられたが（本章 2.3.2 参照）、これらの面的分布に関する条件に対して、他のシナリオに比べてシナリオⅤによる農地樹林化が作用したと考えられる。

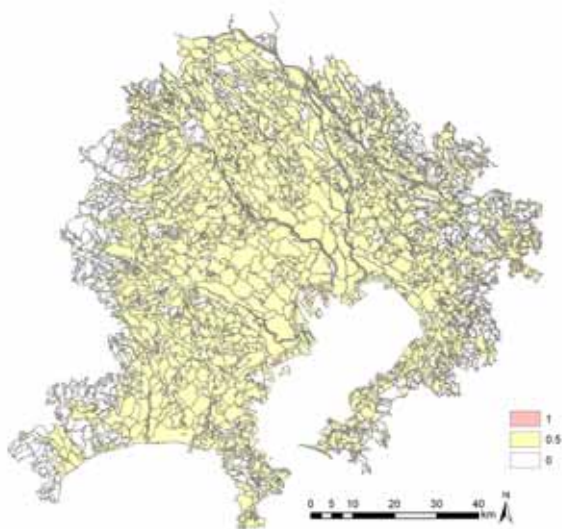
林縁・草地環境を利用する種群タイプ C（ホオジロ・モズなど）に対しては、他の種群と異なり、シナリオを問わず概ね微減傾向となった。営巣・繁殖レベルの変化との関連性の強いランドスケープ条件は、農地・樹林環境の面積割合および草地からの平均最短距離に加えて、地形-植生ユニットの構成間の入れ子の影響が挙げられたが、シナリオに応じた土地被覆セグメントの類型に応じた土地被覆セグメントの景観構成の入れ子の変化による営巣・繁殖レベルの変化への作用は小さかった。

草地・農地環境を利用する種群タイプ D（オオヨシキリ・ヒバリなど）に対しては、シナリオを問わず微増傾向となった。営巣・繁殖レベルの変化との関連性が強い条件として、樹林からの距離と公園割合が挙げられたが、種群タイプ C 同様、シナリオに応じた土地被覆セグメントの類型に応じた土地被覆セグメントの景観構成の入れ子の変化による営巣・繁殖レベルの変化への作用は小さかった。

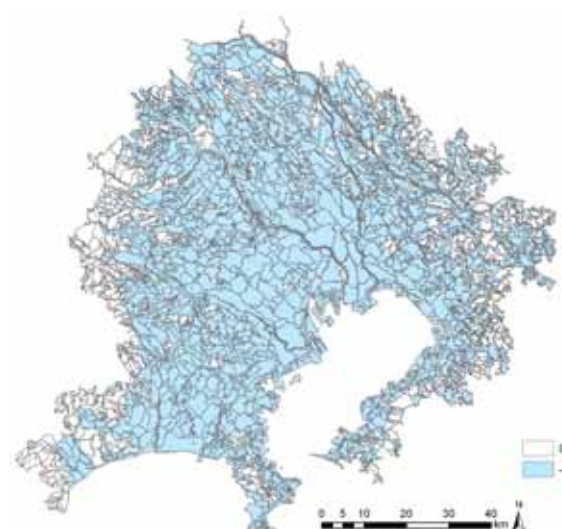
上記 3 つの種群タイプに関しては、シナリオに応じた樹林化の対象セグメントに応じたランドスケープ条件の変化が、各種群の営巣・繁殖レベルの変化に影響するランドスケープ条件の閾値を超えて作用しにくかったと考えられる。

一方、都市緑地利用種群（タイプ E：コゲラ・メジロ）、市街地適応種群（タイプ F：ムクドリ・ツバメなど）に関しては、それぞれのシナリオに応じて地域的な営巣・繁殖レベルの変動に差が生じた。これらの種群の営巣・繁殖レベルの変化には、土地被覆セグメント内の地形-植生ユニットの構成間の入れ子度の変化が上位的に作用しており（本章 2.3.2 参照）、樹林地創出・復元に伴う広域的なランドスケープの水平的入れ子構造の変化が、営巣・繁殖レベルの変化に広く作用したことが一因と考えられた。これらの種群に対しては、樹林化創出シナリオ（シナリオⅠ～Ⅲ）に関して、樹林地復元シナリオ（シナリオⅣ、Ⅴ）と同等レベルの影響を生じた。また影響の分布は、樹林化シナリオの実施対象となる立地に応じて変化したことから、シナリオによるランドスケープの水平的入れ子構造が、土地被覆セグメントの類型に応じて異なった変化傾向を生じ、種群の営巣・繁殖レベルに作用するランドスケープ条件の閾値に対してもシナリオに応じた作用を生じたと考えられる。

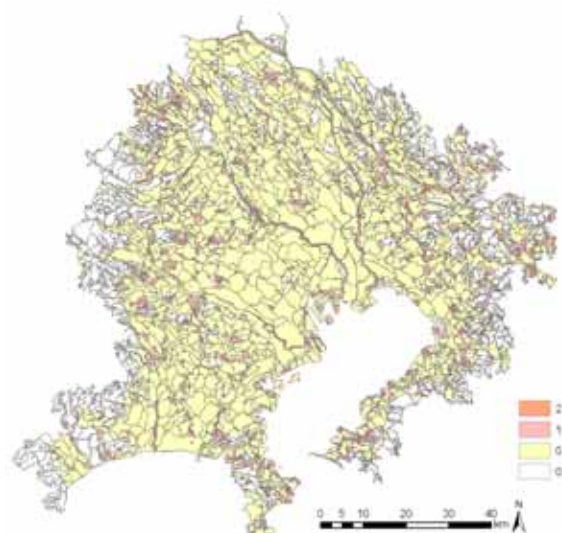
都市緑地利用種群（タイプ E：コゲラ・メジロ）の営巣・繁殖レベルは全体的に増加傾向となったのに対し、市街地適応種群（タイプ F：ムクドリ・ツバメなど）は全体的に増減傾向が分かれる結果となった。



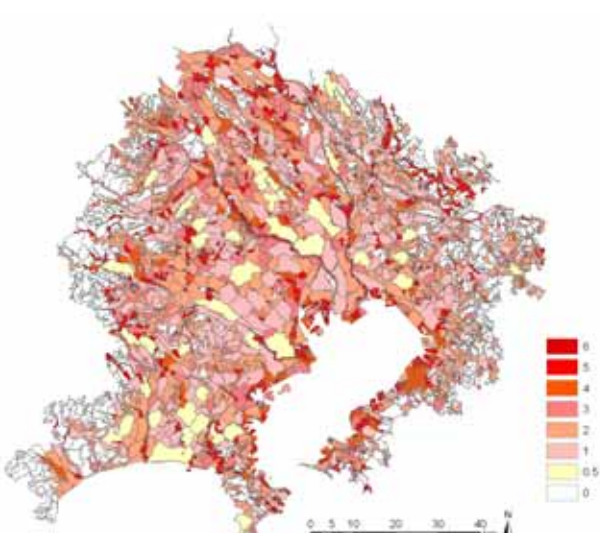
種群タイプ B（アオゲラなど樹林利用種群）



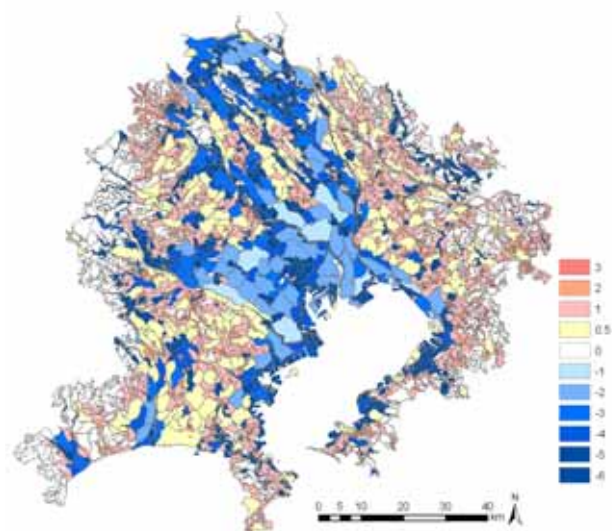
種群タイプ C（ホオジロなど草地利用種群）



種群タイプ D（ヒバリなど農地利用種群）



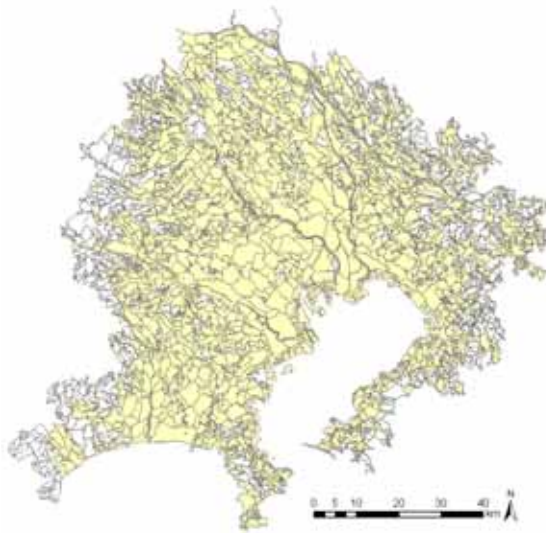
種群タイプ E（コゲラなど都市緑地利用種群）



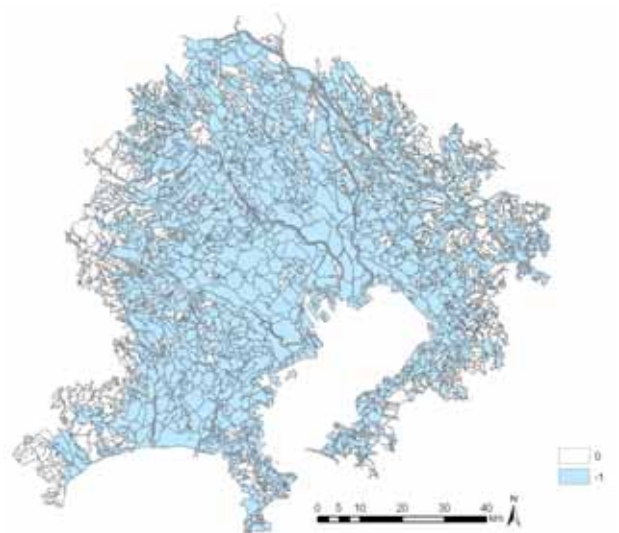
種群タイプ F（ムクドリなど市街地適応種群）

図 3.11

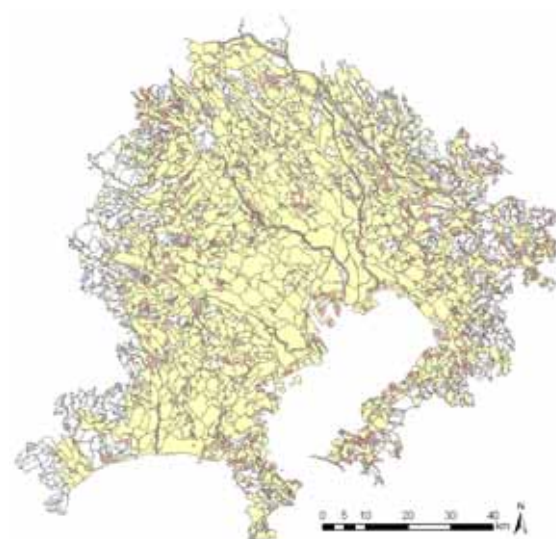
シナリオ I：大規模公共施設における
樹林地創出の評価（単位メッシュ面積
あたりの営巣・繁殖レベルの変化）



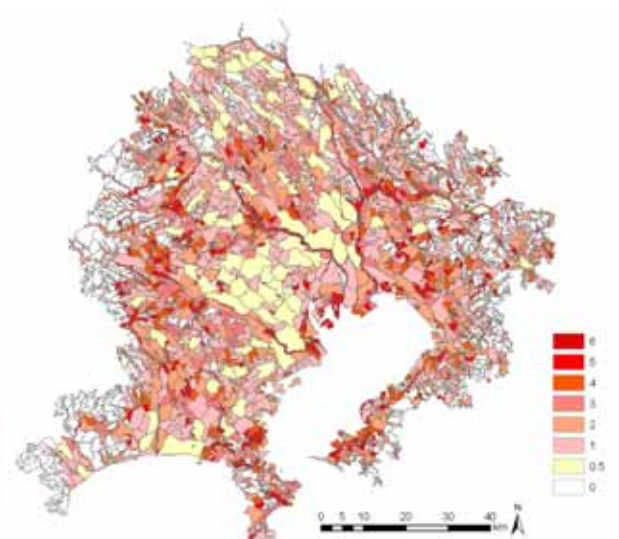
種群タイプ B（アオゲラなど樹林利用種群）



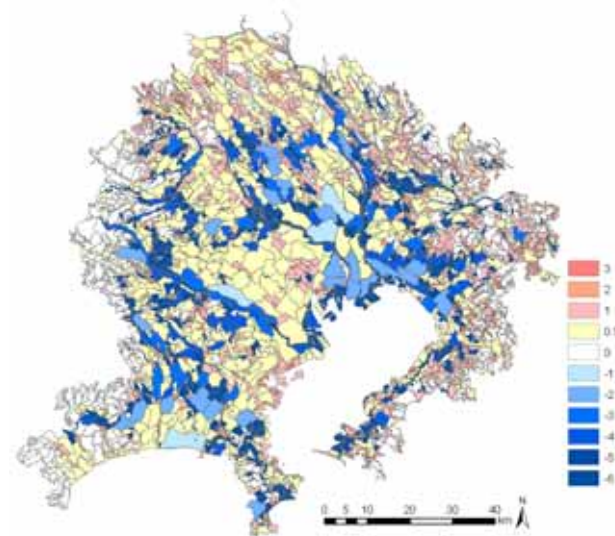
種群タイプ C（ホオジロなど草地利用種群）



種群タイプ D（ヒバリなど農地利用種群）



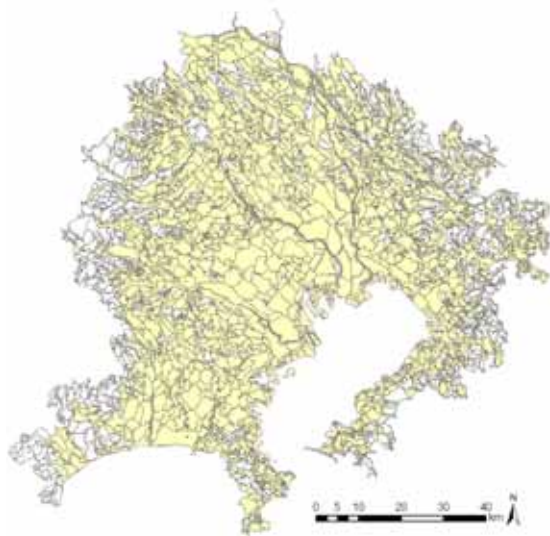
種群タイプ E（コゲラなど都市緑地利用種群）



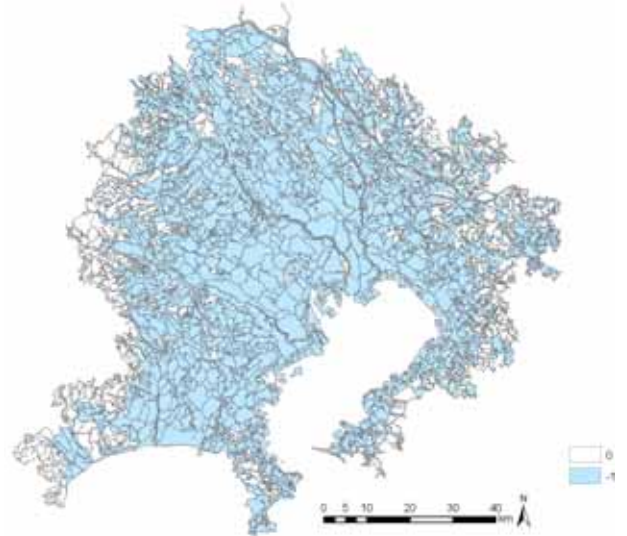
種群タイプ F（ムクドリなど市街地適応種群）

図 3.12

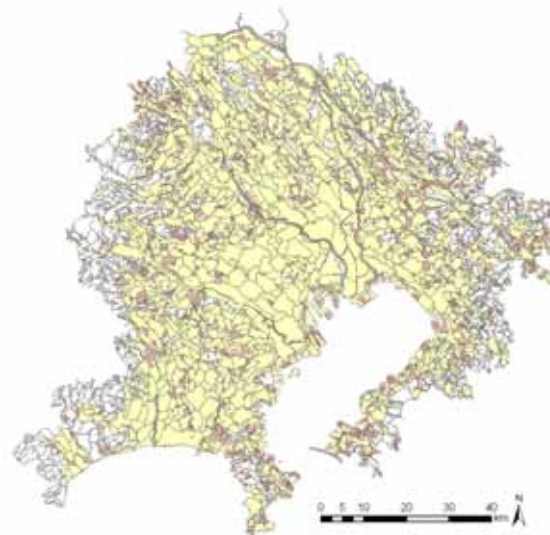
シナリオⅡ：河川・水域沿い樹林地創出
の評価（単位メッシュ面積あたりの営巢・
繁殖レベルの変化）



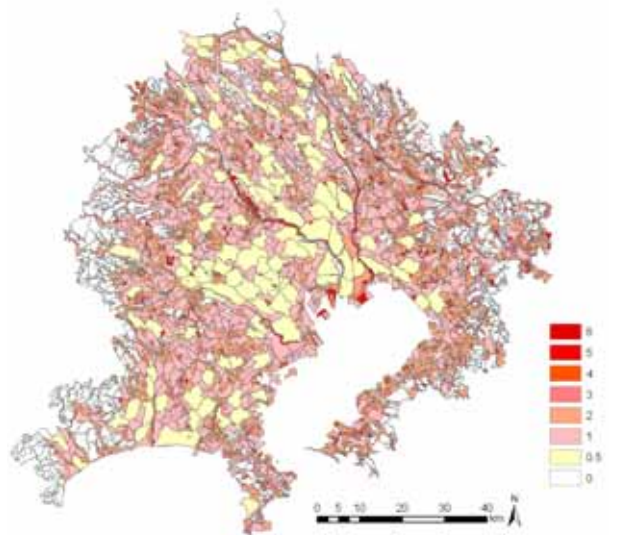
種群タイプ B（アオゲラなど樹林利用種群）



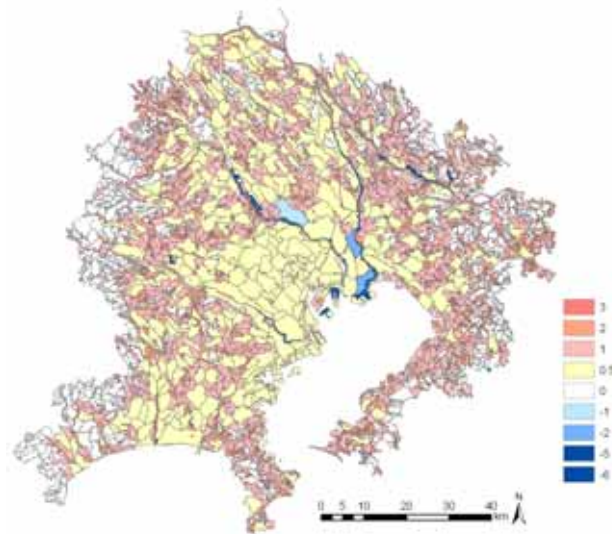
種群タイプ C（ホオジロなど草地利用種群）



種群タイプ D（ヒバリなど農地利用種群）



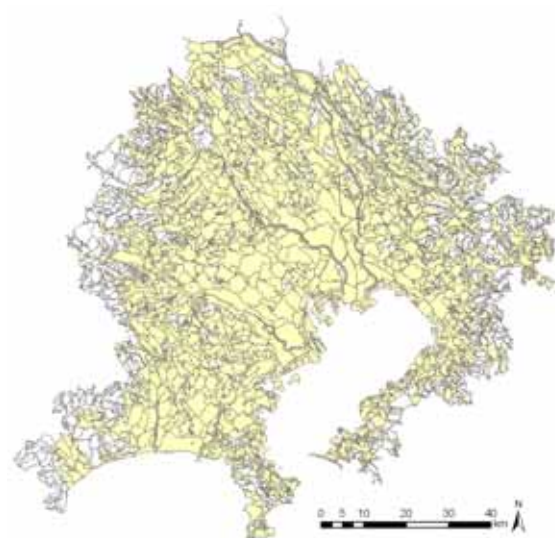
種群タイプ E（コゲラなど都市緑地利用種群）



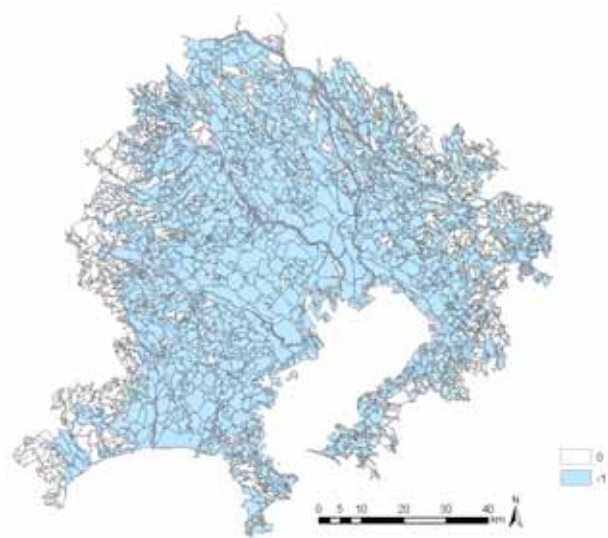
種群タイプ F（ムクドリなど市街地適応種群）

図 3.13

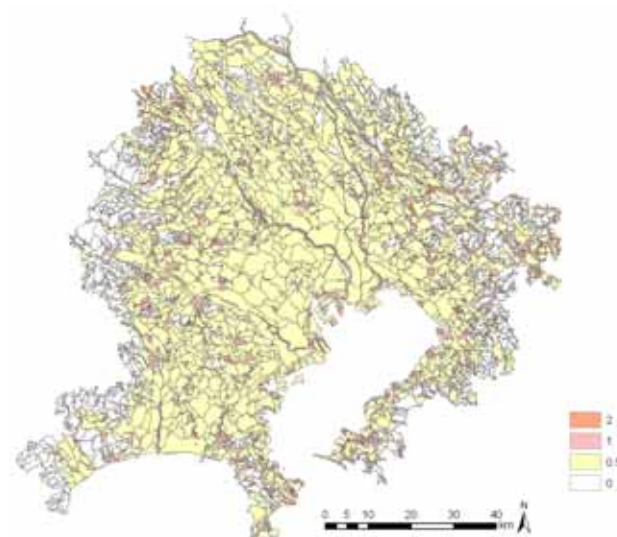
シナリオⅢ：農地とセットでの樹林地創出の評価（単位メッシュ面積あたりの営巢・繁殖レベルの変化）



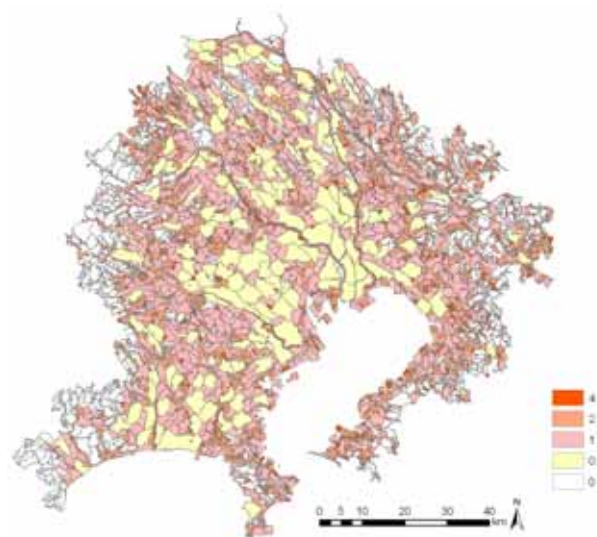
種群タイプ B（アオゲラなど樹林利用種群）



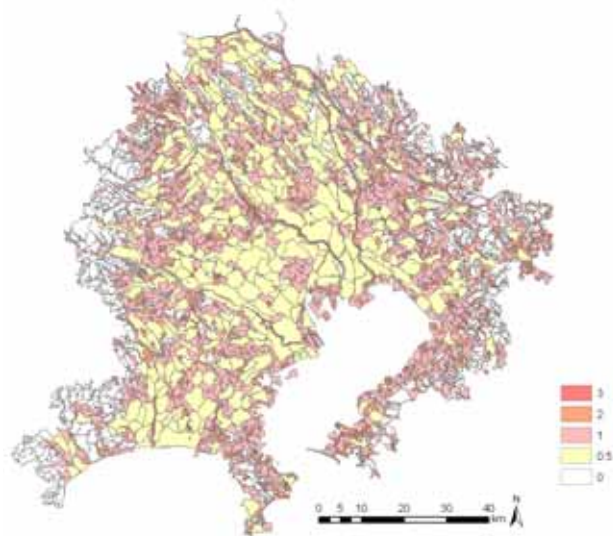
種群タイプ C（ホオジロなど草地利用種群）



種群タイプ D（ヒバリなど農地利用種群）



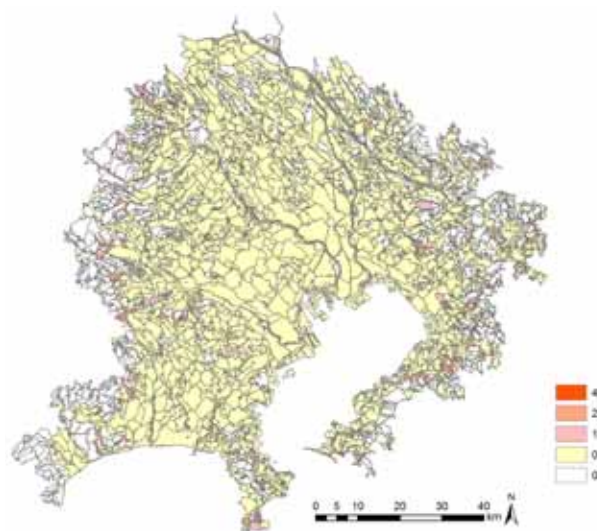
種群タイプ E（コゲラなど都市緑地利用種群）



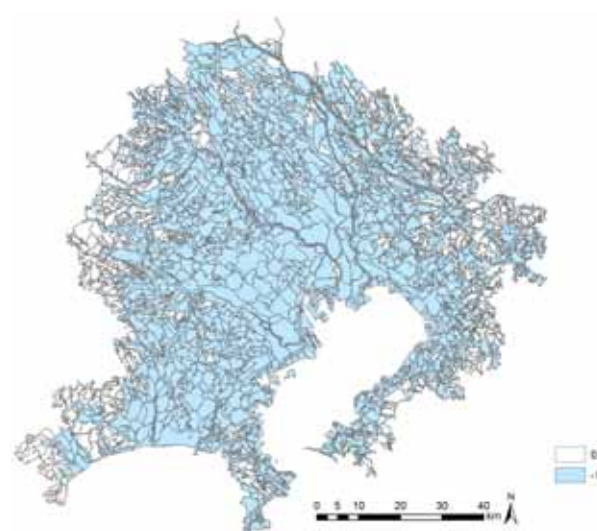
種群タイプ F（ムクドリなど市街地適応種群）

図 3.14

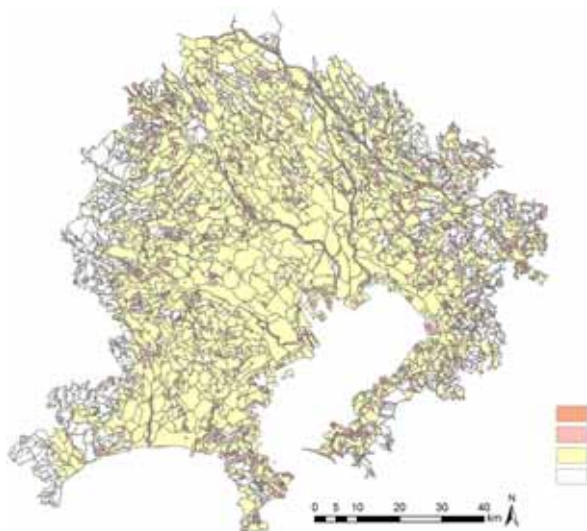
シナリオⅣ：市街地内植林地の林相転換
の評価（単位メッシュ面積あたりの営巢・
繁殖レベルの変化）



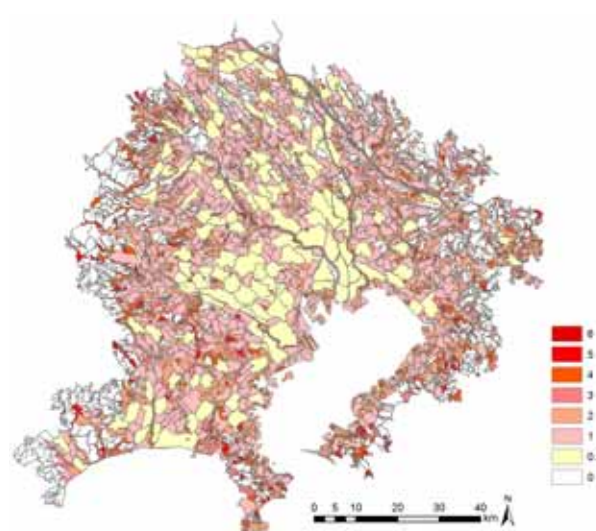
種群タイプ B（アオゲラなど樹林利用種群）



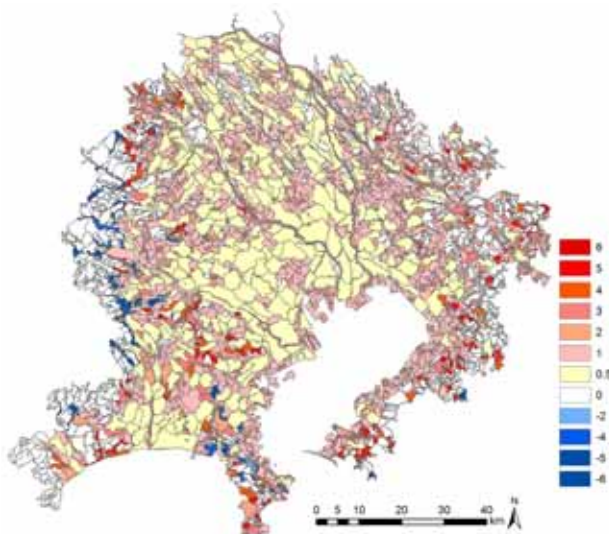
種群タイプ C（ホオジロなど草地利用種群）



種群タイプ D（ヒバリなど農地利用種群）



種群タイプ E（コゲラなど都市緑地利用種群）



種群タイプ F（ムクドリなど市街地適応種群）

図 3.15

シナリオ V：農地の遷移に伴う樹林化
の評価（単位メッシュ面積あたりの営巢・
繁殖レベルの変化）

3.4 考察

都市圏スケールでのランドスケープの水平的入れ子構造および関連するランドスケープ条件の違いが鳥類種群の営巣・繁殖レベルに与える要因分析をもとに、立地の異なる樹林地創出・復元シナリオの評価への適用を行い、緑地環境整備の施策オプションの評価への活用可能性を検討した。結果として、対象種群に応じて、緑地環境整備の立地に応じたランドスケープ構造の変化が、ランドスケープの水平的入れ子構造とランドスケープの水平的分布パターンの変化を通じて営巣・繁殖レベルに作用する度合いが異なると考えられた。シナリオ評価の結果、林縁・草地環境を利用する種群タイプ C（ホオジロ・モズなど）に対するシナリオの作用は、唯一、シナリオを問わず概ね微減となり、樹林地創出・復元による効果が種群に応じてトレードオフを生じた。一方で、ランドスケープの水平的入れ子を通じた施策シナリオの影響は、種群タイプ E に対しては一律増加傾向側に作用するのに対して、種群タイプ F に対しては大きな増加または減少傾向の 2 極化に作用した。緑地環境整備による景観構成の変化による入れ子の変化の影響がより大きい種群として、市街地との関連性の強い種群（タイプ F：ムクドリ・ツバメなど）が挙げられた。ただし、市街地適応種群（タイプ F：ムクドリ・ツバメなど）には、本来樹林環境を活用するが市街地内における植栽や人工構造物等を利用して生息範囲を広げている種群（たとえばシジュウカラなど）も含まれており、より詳細に種群を区分したうえで変動傾向を予測する場合は、各種群で異なる影響も生じ得る。また、都市内においてこれら種群の営巣・繁殖レベルを網羅的に把握することは実質的に困難であり、データ取得密度の空間的なばらつきが変動予測に影響を与える可能性がある。より詳細な変動傾向の把握にあたっては、構成種ごとの分析が必要となると考えられる。

したがって、都市域の種多様性の維持・回復にむけた緑地環境整備の効果の把握指標として、複数の鳥類種群に対する緑地環境整備の効果の作用の違いを把握することが有効である。また、種群に応じたトレードオフに対しては、樹林ランドスケープの整備のみでは、草地ランドスケープに依存する鳥類種群の営巣・繁殖環境に対しては負の影響を生じる可能性があるため、別途草地ランドスケープの創出・復元施策が必要である。樹林ランドスケープを対象とした整備施策と草地ランドスケープを対象とした整備施策の間の効果比較を可能とするよう、草地ランドスケープを対象を絞ったシナリオ評価により営巣・繁殖レベルの変動評価を行うことも有効と考えられる。

また、本分析では、シナリオに応じた都市圏スケールのランドスケープの水平的入れ子構造の変化が、種群ごとの営巣・繁殖レベルに作用する影響を、シナリオ評価を通じて検討できた。土地被覆セグメントの類型ごとの土地被覆セグメント内の景観構成の入れ子度が上位的な環境条件として営巣・繁殖レベルの変化に影響した種群として、都市緑地利用種群（タイプ E：コゲラ・メジロ）、市街地適応種群（タイプ F：ムクドリ・ツバメなど）が挙げられた。これらの種群に対しては、とくに大規模公共施設や河川・水域沿いを対象とした樹林地創出シナリオが、その立地に応じて土地被覆セグメントの地形-植生ユニットの構成間の入れ子度の変化を生じ、営巣・繁殖レベルの地域的差異をもたらしたと考えられた。

これらより、立地の異なる樹林地創出・復元シナリオの評価を通じて、緑地環境整備の施策および立地の選定において、創出・復元される環境による生物種群への影響について、地域間の影

響のトレードオフと、生物種群間への影響のトレードオフに配慮することが重要であると考えられた。その際、ランドスケープの水平的入れ子構造に着目した施策シナリオの影響の評価は、異なる生物種群の生息環境の変動可能性を通じて、生物種群間の変動バランスを把握しながら、地域間の景観構成の変動バランスを図るうえで有効と考えられた。なお、本研究において、営巣・繁殖レベルの変動傾向の予測は、都市圏内の対象土地被覆セグメント間の比較のなかで抽出されたランドスケープ条件との関連によって分析したものであり、実際の開放系では、今回分析対象外である都市近郊の樹林パッチの環境条件を含めて、より広域的なランドスケープ条件を反映した変動傾向も生じ得ると考えられ、注意が必要である。

第4章 台地・丘陵地内の小規模樹林における鳥類種組成に関連するランドスケープ条件の分析とシナリオ評価への適用

第1節 本章の目的および研究における位置

第3章において、鳥類営巣・繁殖条件の観点から、都市圏スケールにおける土地被覆セグメントの類型ごとの景観構成の入れ子構造と、付随するランドスケープの水平的分布パターンに関する環境条件について、生物種組成との関連性について検討し、ランドスケープスケールにおける緑地環境整備シナリオの評価への適用を行った。一方で、特定のランドスケープ内の都市域におけるサイトレベルの緑地環境の創出・復元においては、創出・復元環境のランドスケープ内における環境の異質性における位置を把握するとともに、創出・復元する環境が周辺ランドスケープ構造に及ぼす影響を把握することにより、都市域全体に対する創出・復元環境の波及効果を把握することが必要である。とくに、種多様性の保全・回復にむけた地域スケールの緑地環境整備のマスタープランの策定にあたっては、マスタープランにより誘導する個別の創出・復元環境の蓄積が、地域スケールのランドスケープ構造の中で果たす生態的機能について事前に予測評価することによって、より戦略的な保全・復元目標の設定が可能になり、地域全体の種多様性ポテンシャルの効果的な維持・向上に貢献すると考えられる。

本章では、台地・丘陵地ランドスケープ内の都市域における緑地環境整備が、主としてランドスケープ構造の変化を介してもたらす波及効果について、その施策配分に応じた差異をシナリオ評価により把握することを目的とする。そのために、まずランドスケープ内の土地被覆セグメントにおける種組成について、サイトレベルにおける環境条件と周辺土地被覆セグメントにおける環境条件がもたらす影響を、それらの相互関係性を踏まえて把握し、緑地環境整備によるランドスケープ条件の変化がもたらす効果の評価に反映する必要がある。そこで本章では、ランドスケープ内に残存する小規模樹林を単位とし、小規模樹林を含む地域スケールのランドスケープ構造と生物種組成の関連性に注目する。その際、ランドスケープ構造の質的構成の把握として、土地被覆セグメントの景観構成の水平的入れ子に着目し、ランドスケープ内における景観構成の地域的差異を踏まえた関連性の把握を行う。

本章では、とくに里地・里山由来の小規模樹林周辺のランドスケープ構造に注目し、その水平的入れ子を含めて、ランドスケープスケールおよびサイトスケールの環境条件が種組成に与える影響を把握し、ランドスケープ内の都市域における緑地環境整備の評価への活用可能性について検討することを目的とする。樹林環境起源のランドスケープを対象とした理由として、現状のランドスケープの保全および創造において、環境アセスメントや都市緑化といった自然環境施策のなかで、依然としてまとまった樹林環境軸の保全・創出ニーズが顕在化していることが挙げられる。また、今後の都市内および都市縁辺部において、創出自然環境の増大や管理放棄地・空地の増大が生じる中で、その全てについて植生遷移を一定程度に制限するかたちで草地ランドスケープとして維持することに対しては、管理のための人的資源やコストをはじめとした社会的課題が依然として大きく、草地ランドスケープの創出・復元は樹林地との一体的な関連性のなかでマネジメントを図ることが現実的であると考えられることによる。本研究においても、都市域に

における草地ランドスケープの位置および種多様性の維持・回復にむけた要件に関しては、樹林環境との関連性において把握することとした。

土地被覆セグメントを空間単位としてランドスケープの水平的入れ子構造を把握するための上位の空間フレームとして、第2章、第3章においては、土地被覆のモザイクが類似する土地被覆セグメントの類型を、植生・地形の水平的分布および地形-植生ユニットの構成に応じて抽出し、類型に応じた土地被覆セグメントの景観構成を分析対象とした。一方、本章においては、対象小規模樹林を単位とし、対象樹林周辺の土地被覆セグメントの集合を、ランドスケープ内の土地被覆モザイクの地域的差異の把握のための上位の空間フレームとする。

まず第2節において、台地・丘陵地内の都市域に近接して残存する小規模樹林における種組成を対象として、サイトの環境条件に対する周辺ランドスケープ構造の作用を把握する。そのなかで、周辺ランドスケープ構造の作用に関して、対象樹林周辺の土地被覆セグメントの集合に応じた土地被覆セグメント内の景観構成の水平的入れ子を含め検討し、地域スケールの緑地環境整備におけるランドスケープ構造の質的構成の位置づけについて把握する。

次いで第3節において、台地・丘陵地ランドスケープ内の樹林地創出・復元シナリオの評価への適用を図り、サイトレベルの環境創出・復元の体系的な施策配分によるランドスケープの種多様性の保全・回復のための知見を得ることを目的とする。

第 2 節 台地・丘陵地内の小規模樹林における鳥類種組成に関連するランドスケープ条件の分析

2.1 研究の方法

2.1.1 対象地域および使用データ

(1) 対象地域

研究対象とする小規模樹林は、下総台地西部、多摩丘陵東部の都市外縁部に残存する樹林のうち、面積 1~10ha の樹林地とした。樹林地抽出にあたっては、樹林地パッチ間の個体群の移動・分散による影響を最小限にとどめるため、樹林地間の最短距離を最低 1km 以上保つこととし、下総台地より 20、多摩丘陵より 20 の計 40 の樹林を抽出した (図 4.1, 図 4.2)。1km 以上の樹林間距離は、樹林における種組成の把握に際して、小型鳥類による対象樹林間の移動の影響を最小化するための確保距離とした。対象とする樹林は、市街地内および市街地の周縁部に残存し、現地調査が可能な残存樹林を対象とし、丘陵頂部や谷津・谷戸の谷頭部といったパッチ状樹林環境のコアとなる立地は含めないこととした。

なお、対象とする樹林の面積は、下総台地 (20 サンプル) において平均 34,864 m² (標準偏差 21,185 m²)、多摩丘陵 (20 サンプル) において平均 46,151 m² (標準偏差 22,417 m²) である。

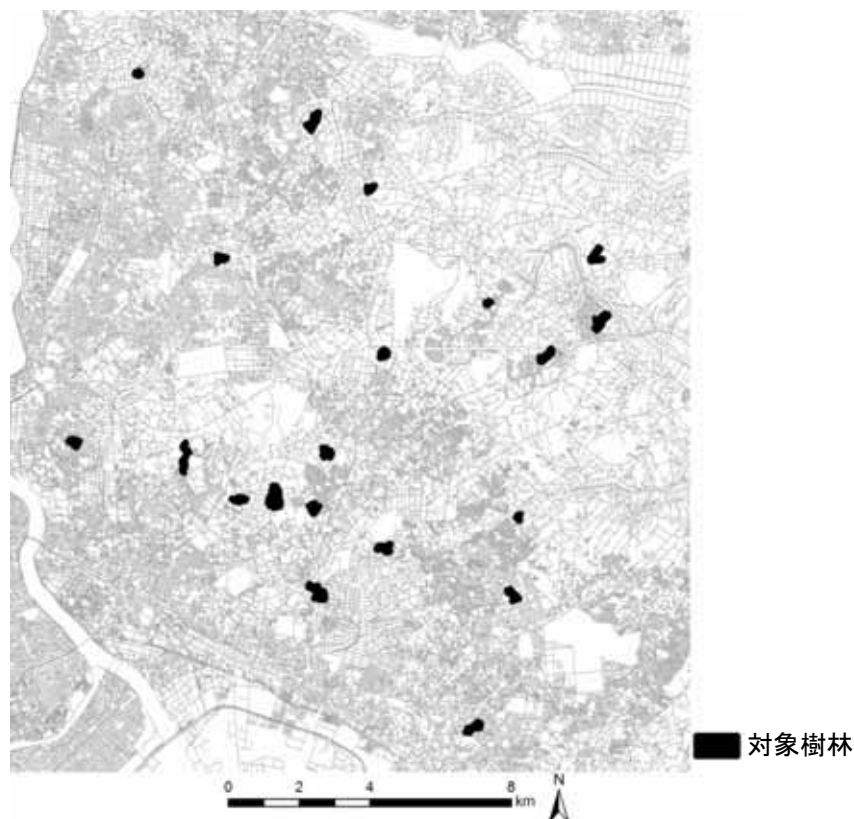


図 4.1 下総台地対象樹林の立地 (20 地点)

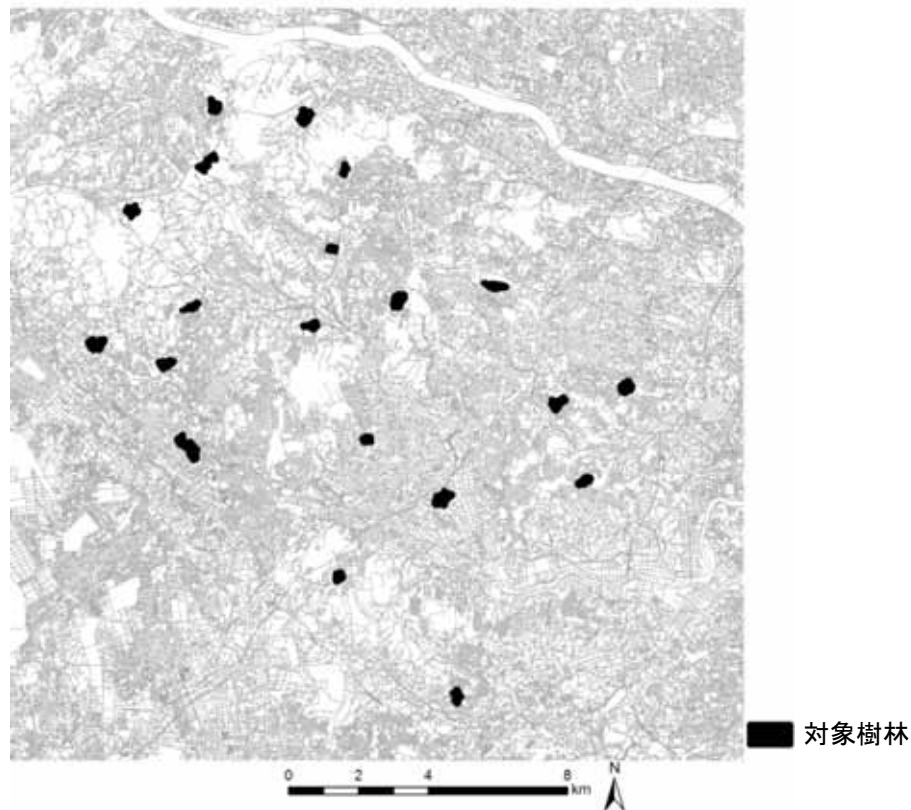


図 4.2 多摩丘陵対象樹林の立地（20 地点）

(2) 使用データ

対象樹林周辺のランドスケープ構造を分析するため、対象地域をカバーする夏期・冬期 2 時期の ALOS-AVNIR2 マルチスペクトルデータを用いて、植生タイプを分類した。下総台地、多摩丘陵の対象地域をともにカバーする植生データとしては、環境省作成 5 万分 1 植生データ（1993 年～1998 年）に限られており、対象地域をカバーする最新状況の植生データの分析には、人工衛星の活用が有用である。また、対象地域を広域的にカバーしつつ、対象樹林周辺の緑被モザイクを詳細に把握することができる分解能をもった人工衛星データとして、ALOS-AVNIR2（空間分解能：約 10m）を使用した。

植生分類における精度を確保するため、夏季・冬季 2 時期のデータを使用した。下総台地エリアについて 2006 年 8 月 5 日撮影の夏季データおよび 2007 年 1 月 11 日撮影の冬季データを、多摩丘陵エリアについて 2006 年 8 月 5 日撮影の夏季データおよび 2006 年 12 月 30 日撮影の冬季データを用いた。土地被覆セグメントの領域分割を行ったうえで分類を行うオブジェクト指向画像分析により、相観植生タイプを分類した。

Multi-resolution Segmentation により、上位セグメントと下位セグメントの 2 つのレベルで領域分割（segmentation）を行った。上位セグメントは、対象地域におけるパッチ／マトリクスの分析単位、および対象樹林周辺のランドスケープの水平的入れ子構造の分析のための単位として生成した。一方、下位セグメントは、植生タイプの分類のための単位として生成した。

上位セグメントは、第 2 章第 3 節で、ランドスケープ内における地形・植生ユニットの構成間の

入れ子の把握において使用した都市土地被覆セグメント(下総台地において Scale Parameter=35, 多摩丘陵において Scale Parameter=45 により領域分割した結果得られたセグメント)を用いた。下位セグメントの生成のための Scale Parameter は、植生立体構造の調査において階層別緑被率が類似する相観植生として分割した林分の大きさに合わせて緑被を分割できる Scale Parameter とし、Scale Parameter=5 と設定した。

両エリアについて、まず夏期データのみを用いて 2 つのレベルのセグメントを生成し、下位セグメントをもとに、植生タイプの分類を行った。はじめに、下位セグメントをもとに、夏季データを用いてセグメント内の夏季 NDVI の平均値を算出し、その閾値を設定(夏季 NDVI 平均値が -0.2 以上を緑被と設定)することにより、緑被セグメントを抽出した。次いで、冬季データを用いて、セグメント内における冬季 NDVI の平均値を集計し、閾値を設定(冬季 NDVI 平均値が 0.14 以上を常緑、それ以外の緑被を落葉と設定)することにより、落葉植生と常緑植生を分類した。

そのうえで、下位セグメントを単位として、最尤法を用いた教師付き分類により、落葉広葉樹、常緑広葉樹、針葉樹、竹林、落葉生垣・植込、常緑低木植栽、高茎草本、低茎草本の 8 タイプに分類した。分類のためのセグメントの変数は、セグメント内の Band1 (青) ~ Band4 (近赤外) のバンド値の平均値, 夏季 NDVI の平均値, 冬季 NDVI の平均値, Shape Index, Roundness Index を用いた。分類精度の検証として、対象樹林パッチ内に含まれるセグメントを対象に現地調査データとの比較を行い、 κ 係数 0.7 以上を確保した。

2.1.2 調査・分析の流れ

下総台地・多摩丘陵の対象樹林各 20 を対象として、越冬期および営巣繁殖期における鳥類種組成の把握と、植生立体構造の調査を行った。各時期における鳥類種組成をもとに、種群出現パターンの分類を行い、類似の出現パターンを示す樹林の類型化を行う。分類された樹林タイプをもとに、サイトレベルの植生立体構造に関する変数およびランドスケープ条件との関連性について把握する。その際、ランドスケープの水平的入れ子に関して、都市圏スケールにおける土地被覆セグメントにおける地形-植生ユニットの構成間の入れ子度、および台地・丘陵地ランドスケープ内の対象樹林周辺における土地被覆セグメントの地形-植生ユニットの構成間の入れ子度を Nestedness Temperature により把握し、サイトレベルの植生立体構造に関する条件と合わせて、種組成との関連性について分析した。

2.2 鳥類相調査および植生構造調査の実施

2.2.1 鳥類相の調査

対象樹林において、営巣・繁殖期および越冬期の鳥類相の調査を実施した。営巣・繁殖期調査は 2007 年 4 月 6 日~7 月 7 日にかけて、越冬期調査は 2007 年 12 月 16 日~2008 年 3 月 2 日にかけて行い、各エリアの対象樹林パッチを営巣・繁殖期、越冬期に各 2 回ずつ巡る調査を実施した。調査方法は、対象樹林地を利用する鳥類相を最大限把握するため、ラインセンサスにより実施した。植生構造との関係性の把握を目的とする場合、定点調査による方法が考えられたが、植生構造が多様であり、起伏、形状も不整形の樹林地において、周辺環境との隣接エリアも含めた

対象樹林地全体で生息種群を把握することを目的として、ラインセンサスにより実施することとした。ラインセンサスの調査ルートは、樹林地内の既存の歩行路をもとに、対象樹林パッチの林内および林縁部を重複無く最大限くまなく巡るよう、あらかじめ設定したうえで調査を実施した。調査は、無風または微風の晴天日に、日の出直後から 10 時の時間帯において、調査ルートを時速 2km 程度で歩きながら、ルート両側 25m 範囲内で確認された鳥類の出現地点を空中写真（解像度 20cm）をベースマップとしてプロットし、目視および 8 倍双眼鏡により種名、個体数、行動を重複を避けて記録した。

結果として、営巣繁殖期調査では、下総台地 20 パッチにおいて 31 種 1,769 個体、多摩丘陵 20 パッチにおいて 32 種 2,296 個体の鳥類を記録し、越冬期調査では、下総台地パッチにおいて 45 種 3,573 個体、多摩丘陵パッチにおいて 39 種 3,351 個体の鳥類を記録した。

2.2.2 植生立体構造の調査

樹林地植生および林縁植生の立体構造を把握するため、鳥類相調査の範囲であるライントランセクト調査ルートの周辺 25m 圏における階層別緑被率の調査を行った。植生の階層は、樹木層に関して高木層、亜高木層、低木層、植込み層の 4 段階、草本層に関して高茎草本層（草丈 1m 以上）、低茎草本層（草丈 1m 以下）の 2 段階に分類した。ここで、植込み層は人為的に植栽された低木植栽群を低木層と分けて把握するために設定することとし、亜高木層と高木層との区分が困難な場合は、高木層に統合することとした。

調査にあたっては、対象樹林の空中写真データおよび現地調査をもとに、対象樹林において、あらかじめ階層別緑被率が類似すると判断された相観植生パッチをひとまとまりの林分として区分した。そのうえで、相観植生の林分ごとに、鳥類相調査ルート沿いに 25m 四方のコドラートを設定し、その内部における階層別緑被率を調査した。樹木層に関しては、植生の階層ごとの最高高さを記録するとともに、樹木層に関して、各階層における落葉樹、常緑広葉樹、針葉樹、竹類の緑被率を目視により調査・記録した。草本層に関しては、階層ごとに緑被率のみ目視により記録した。

2.3 マルチスケールにおける緑地構造の把握

2.3.1 サイトスケールにおける植生構造の分析

植生立体構造調査における相観植生パッチレベルでの階層別緑被率データを集計し、GIS を用いて対象樹林全体の階層別緑被率を算出した。これをもとに、対象樹林ごとに、樹林内における植生階層多様度を算出した。同様に、対象樹林内部の植生構造を特徴づける変数として、対象樹林を単位として、高木層の植生多様度、低木層の被度、地表面における舗装率を算出した。これら 4 変数をサイトスケールの植生構造の変数として分析において使用した。

2.3.2 台地・丘陵地内におけるランドスケープの構成および構造の分析

台地・丘陵地内のランドスケープの構成および構造に関する変数として、以下について算出した。対象樹林周辺の土地被覆セグメントの集合ごとに、土地被覆セグメントの景観構成の水平的入れ子の指標として Nestedness Temperature を把握した。また、樹林環境に付随する植生配置

形態に関する変数として、樹林面積割合、草地面積割合、植生タイプ多様度 H' 、樹林からの平均最短距離、草地からの平均最短距離、樹林草地隣接長、を算出した。上記変数は、対象樹林から周辺 2km 圏内を対象として算出した。

ランドスケープ内における地形・植生ユニットの構成間の入れ子の把握にあたっては、地形・植生ユニットの集計のための空間単位として、Multi-resolution segmentation による上位セグメントを使用した。各エリアについて、上位の土地被覆セグメント内における下位の地形・植生ユニットの構成を分析した。地形・植生ユニットは、下位セグメントを単位として分類された植生タイプ（8 タイプ；落葉広葉樹、常緑広葉樹、針葉樹、竹林、落葉生垣・植込、常緑低木植栽、高茎草本、低茎草本）と、国土地理院数値地図 25000 土地条件を用いた地形中分類ポリゴン（10 タイプ；斜面、変形地、台地・段丘、山麓堆積地形、低地微高地、凹値・浅い谷、低地一般面、頻水地形、水部／人工地形）とを重ね合わせて得られるポリゴンのうち、1000 m²以上のポリゴンを抽出して使用した（重ね合わせにより生じる意味を持たない微小ポリゴンの影響を排除するため）。対象樹林ごとに、樹林から 2km 圏内に一部が含まれる上位セグメントを単位として、その内部における地形・植生ユニットの構成について、Nestedness Calculator を用いて入れ子度の指標である Nestedness Temperature を算出した。

2.3.3 東京都市圏スケールにおけるランドスケープの水平的入れ子度の変数算出

対象樹林の立地条件の広域的ランドスケープ構造における位置に関する変数として、都市圏スケールの土地被覆セグメントをユニットとした入れ子度を用いた。都市圏スケールの土地被覆セグメントの類型ごとに、対象樹林を含む土地被覆セグメントの景観構成の入れ子度の指標として Nestedness Temperature を算出し、台地・丘陵地内のランドスケープに関する変数と同時に分析に使用した。

2.4 分析の方法

2.4.1 出現パターンに基づく鳥類種群の分類

樹林を中心としたランドスケープ条件に注目するため、確認鳥類のうち、水鳥（カモ類、サギ類）や水辺の鳥（ハクセキレイ、キセキレイ、セグロセキレイ、カワウ、カワセミ）、人為環境との関連が強い移入種（ドバト）および外来種（ガビチョウ、ソウシチョウ）は、分析対象から除外することとした。また、出現頻度の少ない種が分析に与える影響を軽減するため、各時期の確認個体数の合計が 5 以下であった種（オオタカ、ノスリ、カシラダカ、トラツグミ、アカゲラ、カッコウ、キジ、タヒバリ、マヒワ、ウソ、ヒガラ）は分析対象外とした。分析に用いた種は、越冬期 26 種 6,384 個体、営巣繁殖期 23 種 3,920 個体である。

次いで、越冬期、営巣繁殖期の対象樹林における種群出現パターンを分類するため、各時期の両地域の対象樹林地ごとの種別出現個体数をもとに、TWINSpan を用いて、類似する出現パターンを示す樹林地および鳥類種群を分類した。分析には PC-ORD5（MjM Software Design 社）を用いた。分類のための個体数のしきい値は、0、2、5、10、20 とし、分割ごとの指標種の最大数は 5、分割の最大数は 6、分割の最小グループサイズは 5 とした。

2.4.2 マルチスケールにおける緑地構造と鳥類種組成との関連性の分析

島嶼生態学における知見として、島状樹林地における鳥類種数が面積対数値に比例する種数－面積曲線の関係性が知られており、市街地マトリクスに囲まれた生息地に関しても同等の関係性が種組成を規定している可能性がある（樋口ら,1982; 村井・樋口,1988; Hobbs,1988）。そこではじめに、下総台地・多摩丘陵の各地域における対象樹林における出現種数について、対象樹林の面積との関係性について把握した。

次いで、下総台地・多摩丘陵のそれぞれの対象樹林について、越冬期、営巣繁殖期における各地域の種群出現パターンの規定要因を分析するため、下総台地・多摩丘陵ごとに、TWINSpanにより分類された樹林グループを目的変数、対象樹林レベルの植生立体構造および周辺ランドスケープの水平的入れ子、植生分布形態を説明変数とし、分類木による分析を行った。分類木の基準として、最大の分類深さは5とし、3セグメント以下の分類群（親ノード）はそれ以上分類しない、2セグメント以下の分類群（子ノード）が発生する場合は分類しない、分岐基準における不純度の指標はGiniとした。分析にはSPSS Statistics 17およびSPSS Decision Treesを用いた。

2.5 分析の結果

2.5.1 出現パターンに基づく鳥類種群の分類

越冬期、営巣・繁殖期における両地域の種ごと出現個体数に基づき、TWINSpanにより、類似する出現パターンを示す樹林地および種群を分類した結果を、図4.3および図4.4に示す。両地域における鳥類の種群出現パターンは、大きく、越冬期について3タイプ（図4.3内A～C, a～c）、営巣・繁殖期について3タイプ（図4.4内D～F, d～f）の樹林地－種群タイプに分類された。

ここで、下総台地の対象樹林では、営巣・繁殖期において、20の樹林のうちの16の樹林で種群出現パターンが同一タイプ（タイプE）に分類された。逆に、多摩丘陵の対象樹林では、越冬期において、20の樹林のうちの19の樹林で、種群出現パターンが同一タイプ（タイプB）に分類された。

台地ランドスケープ内で越冬期に、丘陵地ランドスケープ内では営巣・繁殖期において、樹林間の相対的な種群出現パターンが分かれる結果となった。越冬期における種群出現パターンは、主として、ヒバリ・ムクドリ・モズ・アカハラなど（種群タイプ c）、コジュケイ・ホオジロなど（種群タイプ a）の開放的な農地・草地環境や林縁環境を利用する種の混在度に応じて変化した。また、営巣・繁殖期における種群出現パターンに関しては、カケス・ホトトギス・エナガなどの樹林環境を利用する種（種群タイプ f）、コジュケイ・ウグイスなどの林縁・林床草地を利用する種（種群タイプ f）、ツバメ・ムクドリなどのオープンランドを利用する種（種群タイプ d,e）の混在度に応じて、種組成が変化した。

2.5.2 鳥類種組成と緑地分布の階層的構造の分析

下総台地・多摩丘陵の対象樹林周辺の土地被覆セグメントにおける主要な地形-植生ユニットを表 4.1, 表 4.2 に示す。これらの地形-植生ユニットは、対象樹林周辺の土地被覆セグメントの地形-植生ユニット間の入れ子構造において、共通性の高い主要な景観構成要素であると考えられる。下総台地においては、対象樹林間で周辺の地形-植生ユニットの構成に大きな差は見られないが、多摩丘陵においては、対象樹林の一部において、台地段丘および低地面に関連した地形-植生ユニットが主要要素に含まれた。

下総台地、多摩丘陵の各地域について、越冬期および営巣・繁殖期の種群出現パターンについて、樹林タイプを目的変数、対象樹林レベルの植生立体構造および周辺ランドスケープの水平的入れ子、植生分布形態を説明変数とした分類木分析の結果を図 4.5, 図 4.6 に示す。

下総台地内においては、越冬期における種群出現パターンの広がりに関連のある変数として、樹林周辺 2km 圏内における草地からの平均最短距離および草地面積割合が抽出された（図 4.5）。また、営巣・繁殖期における基本的な種組成の差異に関連のある変数として、周辺 2km 圏内における草地面積割合、樹林土地被覆セグメントにおける地形-植生ユニット間の入れ子度（Nestedness Temperature）、植生タイプ多様度が抽出された（図 4.6）。

下総台地（越冬期）、多摩丘陵（営巣・繁殖期）において、ともに樹林内の植生階層構造に比べて周辺ランドスケープ条件、とくに樹林周辺 2km 圏における草地環境の影響が強く作用した。下総大地においては、樹林周辺 2km 圏における草地からの平均最短距離および草地面積割合が種群出現パターンに作用した。多摩丘陵においては、樹林周辺 2km 圏における草地面積割合に加えて、地形-植生ユニットの構成間の入れ子（Nestedness Temperature）や植生タイプの多様度が種群出現パターンに作用した。

表 4.1 下総台地の対象樹林周辺の土地被覆セグメントにおいて主要な地形-植生ユニット
(着色は主要 5 種の地形-植生ユニット)

樹林 ID	セグメント数	台地段丘- 低茎草地	台地段丘- 落広樹林	低地面- 低茎草地	斜面- 低茎草地	人工地形- 低茎草地	低地面- 落広樹林	台地段丘- 常広樹林	人工地形- 落広樹林	凹地- 低茎草地	台地段丘- 落葉植込
S1	167	125	86	73	64	59	49	43	32	28	27
S2	143	97	65	18	9	84	9	25	52	51	30
S3	136	104	56	89	78	12	45	41	4	33	22
S4	206	156	122	85	47	93	68	39	58	60	68
S5	186	143	120	58	35	74	46	30	51	59	69
S6	206	134	111	106	58	117	71	35	65	68	86
S7	144	92	43	70	44	90	27	12	37	22	25
S8	170	148	95	48	55	63	18	17	25	91	62
S9	198	144	121	81	63	81	52	63	58	104	57
S10	188	149	102	73	65	75	45	57	33	96	60
S11	175	124	92	74	80	85	45	54	39	53	28
S12	191	135	118	83	65	39	83	89	34	76	50
S13	151	110	74	51	60	80	28	36	36	54	42
S14	173	143	76	74	47	80	44	24	30	44	33
S15	216	156	126	93	51	108	74	45	66	55	78
S16	198	134	114	95	46	96	70	35	58	51	76
S17	209	150	121	88	56	62	68	80	51	95	50
S18	180	143	79	62	50	100	40	22	44	58	38
S19	148	78	44	27	36	85	7	10	41	40	17
S20	98	68	26	19	16	48	9	4	15	34	9

表 4.2 多摩丘陵の対象樹林周辺の土地被覆セグメントにおいて主要な地形-植生ユニット
(着色は主要 5 種の地形-植生ユニット)

樹林 ID	セグメント数	人工地形- 低茎草地	人工地形- 落広樹林	人工地形- 落葉植込	斜面- 落広樹林	斜面- 低茎草地	斜面- 落葉植込	斜面- 常広樹林	台地段丘- 落広樹林	台地段丘- 低茎草地	低地面- 落広樹林	低地面- 低茎草地	台地段丘- 落葉植込
T1	120	97	83	75	65	56	34	21	15	14	13	12	9
T2	113	59	59	51	77	73	64	33	49	49	45	34	42
T3	130	56	63	54	102	95	83	56	47	47	65	48	31
T4	143	81	85	73	98	88	72	52	33	41	67	73	35
T5	86	44	35	38	44	39	38	16	40	49	23	29	45
T6	107	85	75	70	64	56	48	27	28	28	20	25	15
T7	98	76	57	70	35	30	31	16	30	39	29	41	32
T8	108	82	63	83	52	36	26	19	21	25	26	33	19
T9	97	44	49	43	67	56	57	48	26	31	48	37	25
T10	112	53	46	40	70	68	49	27	62	65	48	37	57
T11	119	85	89	68	84	72	51	35	25	22	38	29	13
T12	137	65	60	53	96	90	71	61	21	12	60	33	6
T13	121	77	74	75	74	68	63	34	25	33	42	53	23
T14	114	70	78	66	76	64	51	38	26	25	42	36	16
T15	139	97	91	91	88	75	57	37	31	40	46	48	27
T16	124	81	65	77	68	67	50	25	40	45	36	43	32
T17	109	65	60	61	66	69	53	34	44	50	46	44	36
T18	102	60	51	54	56	63	48	35	49	60	28	39	41
T19	158	101	99	81	98	99	62	40	21	16	41	32	11
T20	68	37	40	34	50	52	47	27	28	28	23	17	30

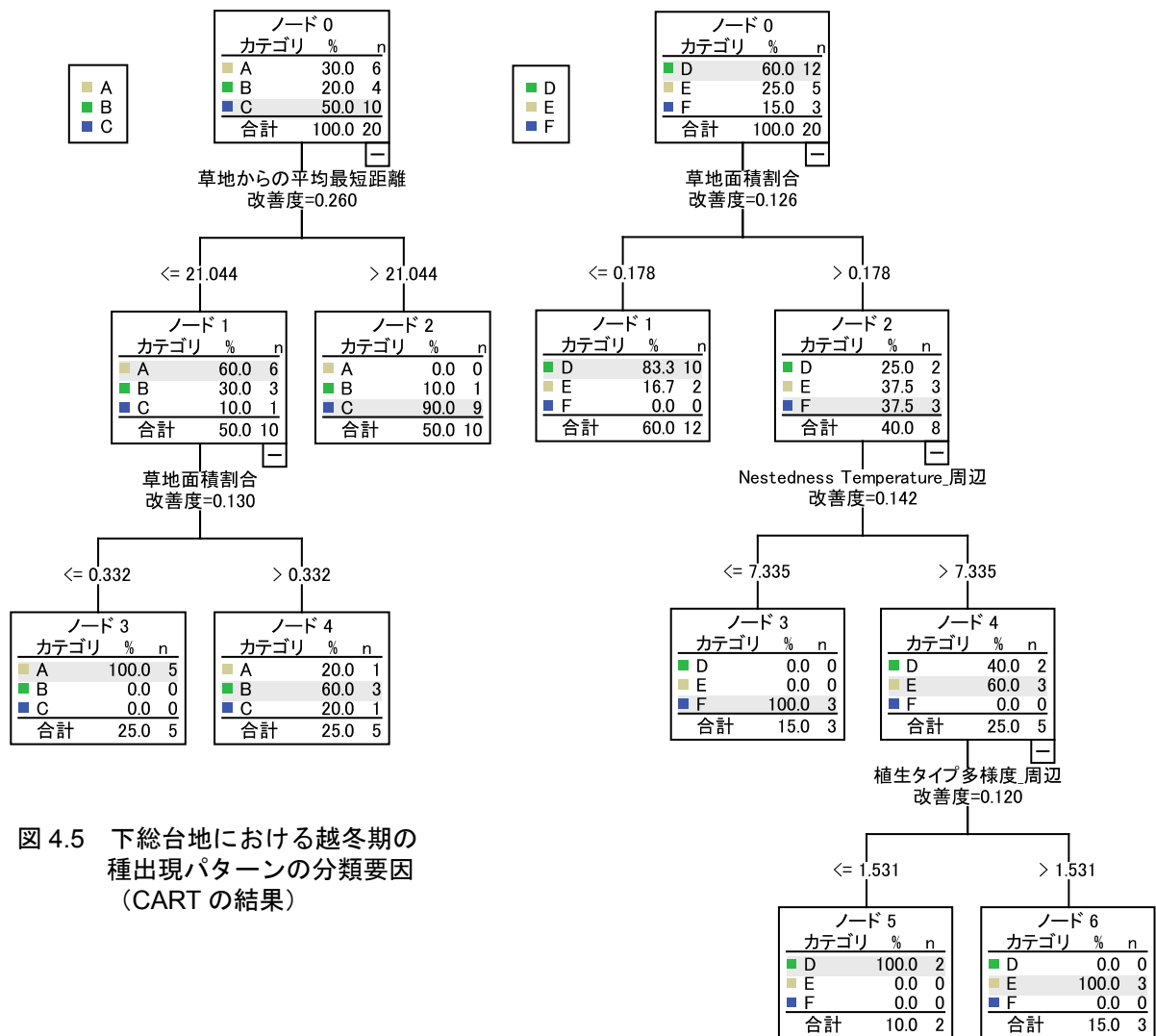


図 4.5 下総台地における越冬期の種出現パターンの分類要因 (CART の結果)

図 4.6 多摩丘陵における営巣・繁殖期の種出現パターンの分類要因 (CART の結果)

2.6 考察

下総台地内および多摩丘陵内における小規模樹林の鳥類相に関して、越冬期、営巣・繁殖期における種群出現パターンをもとに鳥類種群を分類した結果、下総台地では越冬期において、農地・草地環境や林縁環境を利用する種群の混在、多摩丘陵では、営巣・繁殖期において、樹林環境、林縁・林床草地、オープンランドを利用する種群の混在により種群出現パターンの差異が生じた。本研究の対象樹林においては、種群出現パターンに関連した環境条件として、樹林内の植生階層構造よりも周辺ランドスケープ条件による影響が主要影響として把握された。また、下総台地では、主として樹林周辺における草地環境の分布形態に関する変数が抽出されたのに対して、多摩丘陵では、樹林周辺の草地分布形態に加えて、樹林周辺の土地被覆セグメントにおける地形-植生

ユニットの構成間の入れ子度や植生タイプの多様度といった、周辺ランドスケープのモザイク構成による影響がより強く作用した。

樹林間の鳥類の種群出現パターンの差異に対して、台地ランドスケープにおいては、樹林周辺の土地被覆セグメントにおける地形-植生ユニットの構成間の入れ子による種群出現パターンへの直接的な影響は小さかった。混在する鳥類種群の生息環境に直接関係する農地・草地環境の分布が種群パターンに影響した結果となり、対象樹林周辺に面的に残存している草地環境の分布形態が上位的に作用していた。主要な地形-植生ユニットとしては、台地段丘上および人工地形、低地面、凹地における草地環境が挙げられ、台地ランドスケープのモザイクの基本構成要素として分布しているこれらの草地環境の分布形態が、残存樹林における農地・草地利用種群の生息状況に作用していると考えられる。したがって、台地ランドスケープにおいて、ランドスケープ内の樹林間の種多様性の維持・向上を図るためには、現状の残存樹林周辺の農地、林縁・草地環境の面的な保全・復元がより重要と考えられる。また、樹林地の創出・復元による種多様性への効果の検討においては、その立地周辺における草地環境の分布による影響を加味することが必要である。

一方、丘陵地ランドスケープにおいては、混在する種群のタイプの多様性に関係して樹林周辺の景観構成のバランスが影響した。丘陵地ランドスケープのモザイクの基本構成要素となる地形-植生ユニットである人工地形上の落葉広葉樹林・植込・草地や斜面の落葉広葉樹林・草地といったユニットに対して、斜面の常緑広葉樹林や台地・段丘および低地面の落葉広葉樹林・草地といったユニットの混在の有無が、残存樹林における種群出現パターンに作用している。その結果、丘陵地ランドスケープ内においては、残存樹林の立地間差異が台地ランドスケープ内に比べて大きく検出されたものと考えられる。

丘陵地ランドスケープ内において、樹林環境を利用する種群、林縁・林床草地を利用する種群、オープンランドを利用する種群は、ランドスケープ内における景観構成の入れ子構造とも関連深い種群と考えられた。これらの種群はそれぞれ、ランドスケープ内において生じる環境変化や緑地環境の細分化において、残存樹林間の種群バランスを図るうえでの指標種群となり得ると考えられた。都市化の進展した丘陵地においては、都市域における種多様性の創出・復元を行う上で、ランドスケープ内の環境多様性および景観構成のバランスの回復を図ることが有効であると考えられた。

第 3 節 台地・丘陵地ランドスケープ内における樹林地創出・創出シナリオに伴う鳥類相の変動評価

3.1 研究の方法

3.1.1 対象地域および使用データ

台地・丘陵地ランドスケープ内のマトリクス環境における樹林の創出・復元が、ランドスケープスケールの環境条件を通じて、周辺地域の種組成に作用する影響を把握するため、各地域における土地被覆セグメントを対象として、樹林地創出・復元シナリオの評価を行う。ALOS データを用いた地形-植生ユニットの構成間の入れ子の把握のための土地被覆セグメント (Segmentation) における Scale Parameter は下総台地で 35, 多摩丘陵で 45 を単位として、下総台地・多摩丘陵の対象地域内の土地被覆セグメントに対して、シナリオの設定を行った。各施策シナリオによる鳥類相への作用について、本章第 2 節における下総台地・多摩丘陵の土地被覆セグメント内に内包される小規模樹林を対象として把握する。

シナリオの設定において使用したデータは、第 3 章と同様である。ランドスケープ内における樹林地の創出・復元施策の検討にあたっては、より詳細なスケールで、高精度かつ最新の環境・社会条件データを使用することが望ましいが、本研究では、第 2 章における都市圏でのランドスケープスケールの樹林地創出・復元シナリオとの直接的な関連性を重視し、シナリオ設定のための新規データを別途使用しなかった。

3.1.2 分析の流れ

第 2 章における都市圏スケールでの樹林地創出・復元シナリオの施策および実施対象立地をうけ、台地・丘陵地ランドスケープ内における樹林の創出・復元シナリオの実施対象地を、下位レベルの土地被覆セグメントをもとに設定する。

各対象地域において設定するランドスケープ内の樹林地創出・復元シナリオに対して、本章第 2 節における対象樹林周辺の土地被覆セグメントにおけるランドスケープ条件の変化を算出し、対象樹林を対象として分類木分析によって種群出現パターンの評価モデルを適用することにより、各シナリオが土地被覆セグメントの環境条件の変化を通じて対象樹林の種組成に与える影響を評価する。

3.2 分析の方法

3.2.1 台地・丘陵地ランドスケープ内における樹林地創出・復元シナリオの設定

第 2 章における都市圏スケールの樹林地創出・復元シナリオをもとに、ランドスケープ内における樹林地創出・復元シナリオの項目および実施対象地の設定を行った。施策シナリオの対象は都市圏スケール同等とした。

一方、ALOS データによる両地域の相観植生タイプの分類データをもとに、シナリオごとに創出・復元する植生を設定した (表.4.3)。シナリオに伴う植生変化は、ALOS データのオブジェクト指向画像分類において分類の単位とした下位セグメント (scale parameter=5 により分割された植生単位領域) を単位とし、植生変化の対象地は、都市圏スケールの施策シナリオ実施対象地ポリ

表 4.3 ランドスケープ内における樹林地創出・復元シナリオの立地条件および環境設定

シナリオ	対象	立地条件		既往の 土地被覆	創出植生
		現状	条件		
I	既存大規模 公共施設	公共施設	面積 $\geq 9000\text{m}^2$ (工場緑化相当)	市街地	落葉広葉樹 常緑広葉樹 (面積20%)
II	河川・水域 隣接草地	二次草地	河川・水域に隣接	低茎草本 生垣草本	落葉広葉樹 高茎草本 (各20%)
III	農地 隣接草地	二次草地	畑地・水田に隣接	低茎草本 生垣草本	落葉広葉樹 生垣植栽木
IV	市街地内植林地	植林地	傾斜 $\leq 30^\circ$ (作業性) 駅からの平均距離 $\leq 2\text{km}$ (アクセス性)	常緑針葉樹	落葉広葉樹 常緑広葉樹
V	条件不利農地	水田・ 水田雑草	面積 $\geq 20\text{ha}$ (農振農用地未満) 傾斜最大値 $\geq 15^\circ$ (条件不利地)	低茎草本	落葉広葉樹
		畑地・ 畑地雑草		低茎草本	落葉広葉樹

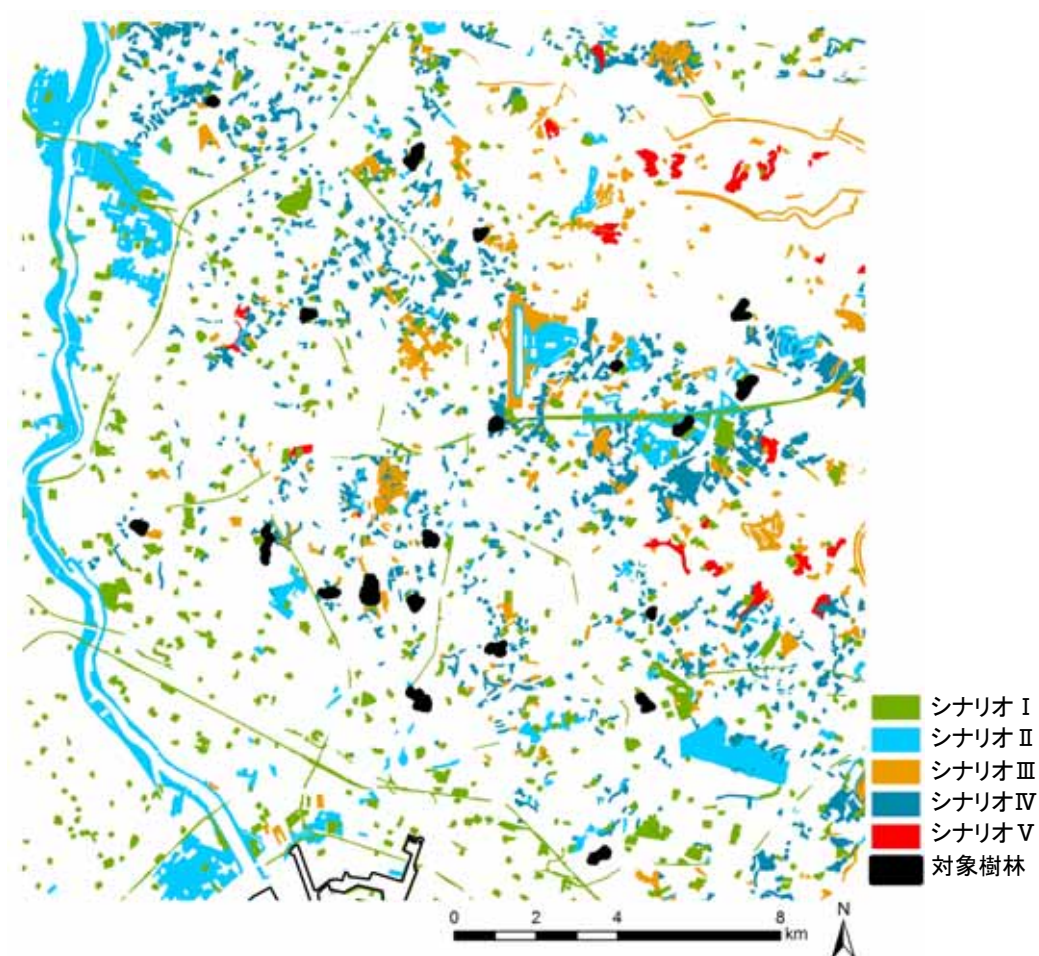


図 4.7 下総台地対象地域における樹林地創出・復元シナリオの実施対象地域

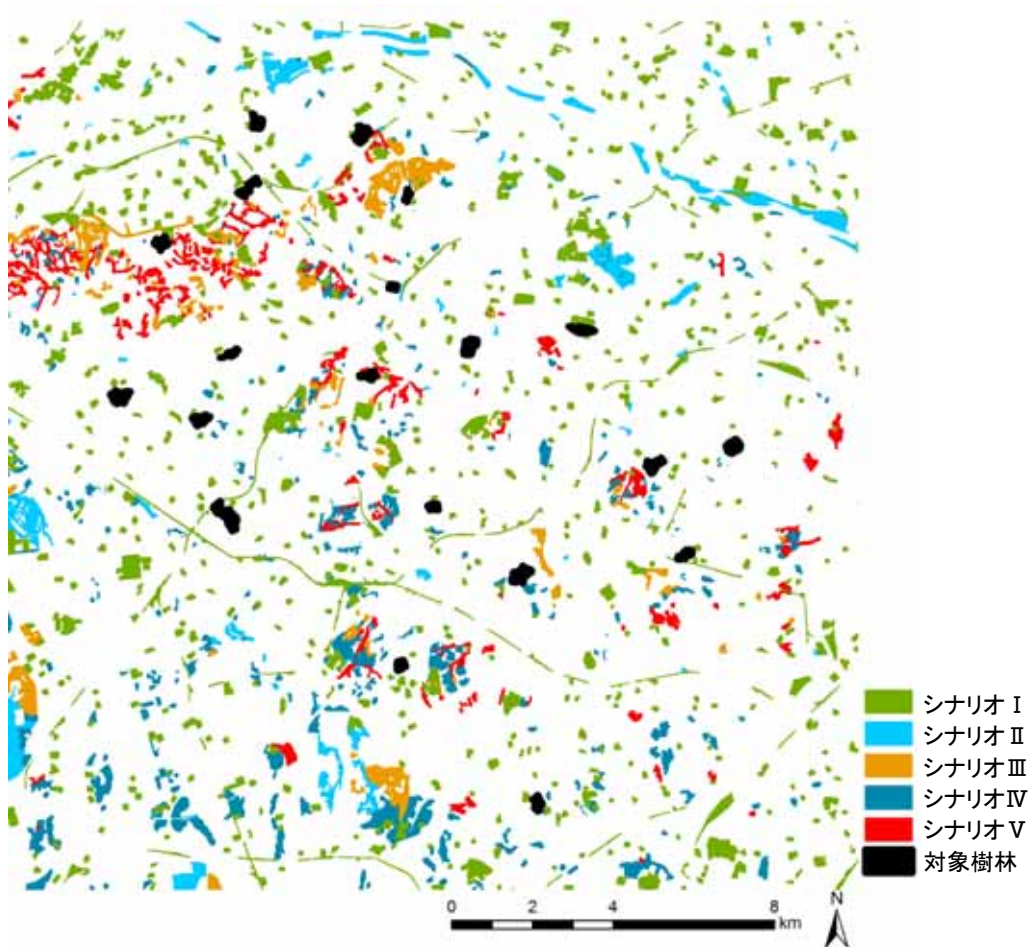


図 4.8 多摩丘陵対象地域における樹林地創出・復元シナリオの実施対象地域

ゴンの中に含まれるセグメントとした。

下総台地および多摩丘陵における各シナリオの実施対象地域を図 4.7, 図 4.8 に示す。

シナリオⅠは、緑地創出優先度が高いと考えられる既存大規模公共施設において、施設立地内に落葉広葉樹および常緑広葉樹の混交した樹林地創出を行うシナリオとし、工場緑化法相当の 9000 m²以上の公共施設用地に、敷地面積の 20%の樹林地創出を行うものとした。シナリオⅡは、河川・水域沿いに隣接する二次草地または人工草地のセグメントを、各 20%の割合で落葉広葉樹および高茎草本植生に転換するシナリオとした。シナリオⅢは、農地に隣接する草地植生セグメントを、落葉広葉樹・植栽木に転換するシナリオとした。シナリオⅣは、都市圏スケールのシナリオ対象地内の常緑針葉樹セグメントを落葉広葉樹、常緑広葉樹の混交林に転換するシナリオとした。シナリオⅤは、都市圏スケールのシナリオ対象地域内の低茎草本セグメントを落葉広葉樹に転換するシナリオとした。

3.2.2 ランドスケープ内における樹林地創出・復元シナリオの評価

ランドスケープ内の土地被覆セグメントにおける樹林地創出・復元シナリオに伴い、シナリオ

ごとに設定されたシナリオ実施後の将来植生データをもとに、下総台地・多摩丘陵内の各 20 の小規模樹林の周辺 2km 圏におけるランドスケープ条件を再計算した。ランドスケープの水平的入れ子に関しては、ALOS データの Multi-resolution segmentation における上位セグメントを単位として、シナリオ実施後の植生の設定がされた下位セグメントと土地条件データとの重ね合わせにより作成した地形-植生ユニットデータをもとに再計算した。対象樹林ごとに、樹林から 2km 圏内に一部が含まれる上位セグメントの内部における下位の地形-植生ユニットの構成について、施策シナリオ実施後の Nestedness Temperature を算出した。第 2 節と同様に、対象樹林から周辺 2km 圏内を対象とした植生配置形態に関する変数として、樹林面積割合、草地面積割合、植生タイプ多様度 H' 、樹林からの平均最短距離、草地からの平均最短距離、樹林草地隣接長を再計算し、分析に使用した。

一方、対象樹林内における植生立体構造をはじめとしたサイトレベルの樹林環境条件は、シナリオに対して再設定はせず、現状と不変とした。

以上をもとに、下総台地・多摩丘陵の各 20 の対象樹林において、各シナリオによる植生変化に伴うランドスケープ条件の変化が鳥類種組成（越冬期，営巣繁殖期）にもたらす影響を、回帰モデルを適用することにより評価した。鳥類の種群出現パターンに基づく対象樹林の分類タイプを目的変数とし、対象樹林の周辺立体構造およびシナリオ適用後の周辺ランドスケープの水平的入れ子，植生分布形態を説明変数とし、シナリオによる樹林分類タイプの変動を把握した。

3.3 分析の結果

下総台地・多摩丘陵内における現状の鳥類の種群出現パターンによる対象樹林のタイプをもとに、下総台地においては越冬期について、多摩丘陵においては営巣・繁殖期について、シナリオに応じた鳥類の種群出現パターンの変動予測を行った。シナリオに応じた対象樹林周辺の土地被覆セグメントにおける地形-植生ユニットの構成間の入れ子度（Nestedness Temperature）の変化を表 4.4（左）および表 4.5（左）に示す。現状の種群出現パターンにおいて、出現種群の異なる樹林タイプ（下総台地：樹林タイプ A～C，多摩丘陵：樹林タイプ E～F）を指標として、各シナリオによる樹林地創出・復元による対象樹林ごとの樹林タイプの変動を把握した結果を表 4.4（右），表 4.5（右）、その分布を図 4.9 および図 4.10 に示す。

樹林地創出・復元シナリオに伴うランドスケープの水平的入れ子構造の変化を把握した結果、下総台地の対象樹林では、シナリオⅠ（大規模施設樹林地創出），シナリオⅡ（河川・水域沿い樹林地創出）およびシナリオⅢ（農地樹林地創出）の樹林地創出シナリオにおいて、樹林周辺の土地被覆セグメントにおける地形-植生ユニットの構成間の入れ子が低下する結果となった一方で、シナリオⅣ（市街地内人工林の林層転換），シナリオⅤ（条件不利農地樹林化）の樹林復元シナリオにおいて、一部樹林で周辺の地形-植生ユニットの構成間の入れ子が促進される結果となった。これに伴う種群出現パターンの変化を把握した結果、下総台地の対象樹林では、越冬期において、シナリオⅡ（河川・水域沿い樹林地創出）およびシナリオⅢ（農地樹林地創出）によって種群出現パターンの均質化が生じる結果となった一方で、その他のシナリオでは種群出現パターンの多様化が生じる結果となった。

一方、多摩丘陵の対象樹林では、シナリオⅠ（大規模施設樹林地創出）において、樹林周辺の

土地被覆セグメントにおける地形-植生ユニットの構成間の入れ子度が一律的に低下する結果となったのに対して、シナリオⅡ（河川・水域沿い樹林地創出）、シナリオⅢ（農地樹林地創出）、シナリオⅣ（市街地内人工林の林層転換）、シナリオⅤ（条件不利農地樹林化）において、一部樹林で周辺の地形-植生ユニットの構成間の入れ子度が高まる結果となった。これに伴う種群出現パターンの変化は、シナリオを問わず均質化が生じる傾向を示し、とくにシナリオⅢ（農地とセットになった樹林地創出）およびシナリオⅤ（条件不利農地における樹林化）において、その傾向が大きい結果となった。一部樹林において、周辺土地被覆セグメントの地形-植生ユニットの構成間の入れ子度の低下が種群出現パターンの均質化に寄与したと考えられた。

表 4.4 下総台地対象樹林におけるシナリオごとの Nestedness Temperature（左）
および越冬期の種群出現パターンの変動予測（右）

樹林 ID	現況 Nest. T	シナリオ					現況 樹林タイプ	シナリオ				
		I	II	III	IV	V		I	II	III	IV	V
S1	3.81	↘ 6.45	↘ 5.63	↘ 6.22	↗ 3.74	↘ 3.88	C	C	C	C	C	C
S2	4.96	↘ 8.67	↗ 3.61	↘ 6.68	↘ 5.90	↘ 5.15	B	C	C	C	C	C
S3	6.10	↘ 6.70	↘ 7.83	↘ 9.89	↗ 5.78	↗ 5.95	A	A	C	C	A	A
S4	6.49	↘ 8.69	↘ 6.75	↘ 7.94	↘ 7.25	↘ 6.56	C	C	C	C	C	C
S5	5.33	↘ 6.23	↘ 5.96	↘ 6.32	↗ 5.32	↗ 5.25	C	C	C	C	C	C
S6	7.66	↘ 9.80	↘ 7.84	↘ 8.87	↗ 7.51	↘ 7.76	A	A	A	C	A	A
S7	4.17	↘ 7.13	↘ 5.70	↘ 5.51	↘ 4.30	↘ 4.30	A	A	C	C	A	C
S8	5.63	↘ 10.12	↘ 8.79	↘ 8.27	↘ 5.68	↗ 5.88	A	B	C	C	A	A
S9	8.72	↘ 10.27	↘ 12.23	↘ 12.21	↗ 8.07	↗ 8.63	B	B	C	C	B	B
S10	7.92	↘ 8.99	↘ 12.11	↘ 11.56	↘ 8.27	↗ 7.58	B	B	C	C	B	B
S11	6.20	↘ 7.56	↘ 6.83	↘ 9.85	↘ 6.56	↘ 6.48	B	B	C	C	B	B
S12	10.11	↘ 10.62	↘ 12.17	↘ 12.48	↘ 10.19	↘ 10.14	A	B	C	C	B	B
S13	6.99	↘ 8.90	↘ 9.39	↘ 9.83	↘ 7.54	↘ 8.18	C	C	C	C	C	C
S14	3.15	↘ 5.24	↘ 3.94	↘ 4.10	↘ 3.54	↗ 3.13	C	C	C	C	C	C
S15	7.11	↘ 9.97	↘ 7.19	↘ 8.54	↗ 7.06	↗ 6.99	A	A	C	C	A	C
S16	7.25	↘ 9.18	↗ 5.62	↘ 8.67	↗ 7.04	↘ 7.29	C	C	C	C	C	C
S17	8.40	↘ 8.90	↘ 9.91	↘ 10.21	↗ 8.13	↗ 8.33	C	B	C	C	B	B
S18	3.97	↘ 6.78	↘ 4.47	↘ 6.11	↘ 4.44	↘ 3.97	C	C	C	C	C	C
S19	3.30	↘ 5.56	↘ 5.74	↘ 6.07	↘ 3.97	↘ 3.83	C	C	C	C	C	C
S20	3.39	↘ 7.89	↘ 3.88	↘ 4.31	↘ 3.50	↗ 3.22	C	C	C	C	C	C

※表中の矢印は地形-植生ユニットの入れ子度の変化傾向を表す
※樹林タイプの着色は現況から変化した樹林タイプを示す

表 4.5 多摩丘陵対象樹林におけるシナリオごとの Nestedness Temperature（左）
および営巣・繁殖期の種群出現パターンの変動予測（右）

樹林 ID	現況 Nest. T	シナリオ					現況 樹林タイプ	シナリオ				
		I	II	III	IV	V		I	II	III	IV	V
T1	5.84	↘ 7.35	↘ 6.38	↘ 5.92	↗ 5.71	↗ 5.75	F	D	F	F	F	F
T2	9.59	↘ 12.25	↘ 9.70	↘ 9.73	↗ 9.40	↘ 9.70	E	D	D	D	D	D
T3	9.50	↘ 10.39	↘ 9.96	↘ 10.02	↘ 9.86	↘ 9.75	D	D	D	D	D	D
T4	9.58	↘ 10.37	↗ 9.25	↗ 9.40	↗ 9.19	↗ 9.35	E	E	E	D	E	D
T5	10.60	↘ 14.60	↘ 10.28	↗ 9.79	↗ 9.63	↗ 9.79	D	D	D	D	D	D
T6	5.46	↘ 6.54	↘ 5.58	↗ 5.45	↗ 5.44	↗ 5.18	E	D	D	D	D	D
T7	4.54	↘ 6.14	↘ 4.63	↘ 5.09	↗ 4.52	↘ 4.59	D	D	D	D	D	D
T8	5.32	↘ 7.29	↘ 6.06	↘ 5.68	↘ 6.03	↘ 5.75	D	D	D	D	D	D
T9	12.24	↘ 13.68	↘ 12.83	↘ 12.67	↗ 12.22	↘ 13.37	D	D	D	D	D	D
T10	10.50	↘ 13.03	↗ 10.48	↘ 10.69	↗ 10.45	↘ 10.69	D	D	D	D	D	D
T11	7.86	↘ 8.20	↗ 7.82	↘ 8.23	↗ 7.68	↗ 7.57	D	D	D	D	D	D
T12	8.48	↘ 9.14	↗ 8.41	↘ 9.17	↗ 8.41	↘ 8.63	E	E	E	D	E	D
T13	8.21	↘ 9.28	↘ 9.05	↘ 8.37	↗ 8.01	↗ 7.98	D	D	D	D	D	D
T14	8.06	↘ 9.10	↘ 8.39	↗ 7.94	↘ 8.37	↘ 8.18	E	E	E	D	E	D
T15	6.04	↘ 7.40	↘ 6.21	↗ 5.95	↘ 6.07	↗ 5.97	F	D	F	F	F	D
T16	7.56	↘ 9.08	↗ 7.09	↗ 7.34	↗ 6.85	↗ 7.01	D	D	D	D	D	D
T17	9.29	↘ 11.98	↗ 8.97	↘ 9.40	↗ 9.07	↘ 9.51	D	D	D	D	D	D
T18	8.41	↘ 11.38	↘ 8.43	↘ 8.49	↘ 8.43	↗ 8.34	D	D	D	D	D	D
T19	6.81	↘ 8.62	↘ 7.01	↘ 7.49	↘ 7.00	↘ 7.16	F	D	F	D	F	F
T20	9.63	↘ 11.62	↘ 10.16	↘ 10.17	↘ 10.38	↘ 10.22	D	D	D	D	D	D

※表中の矢印は地形-植生ユニットの入れ子度の変化傾向を表す
※樹林タイプの着色は現況から変化した樹林タイプを示す

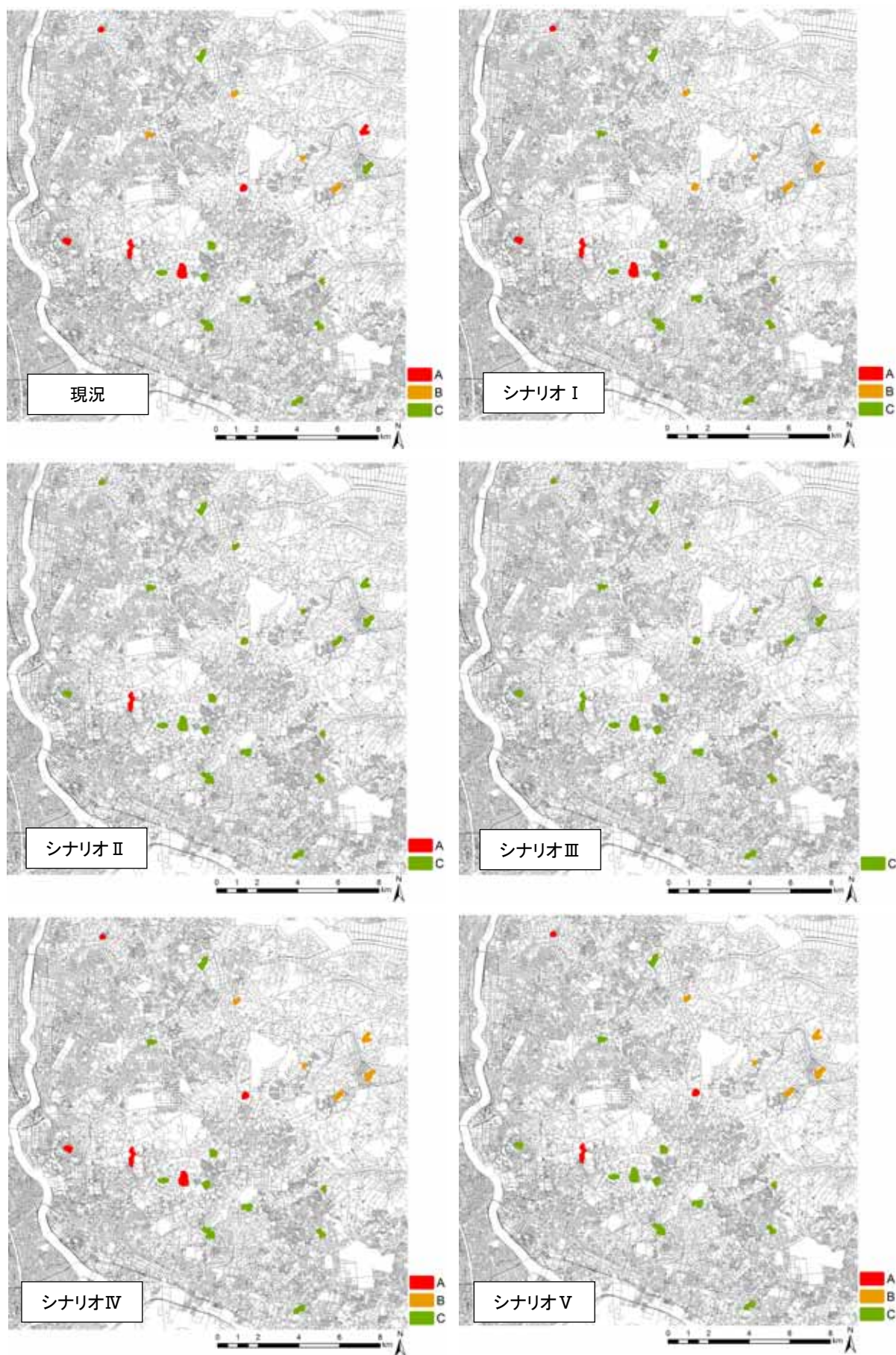


図 4.9 下総台地の対象樹林におけるシナリオに応じた種群出現パターンの変動予測（越冬期）

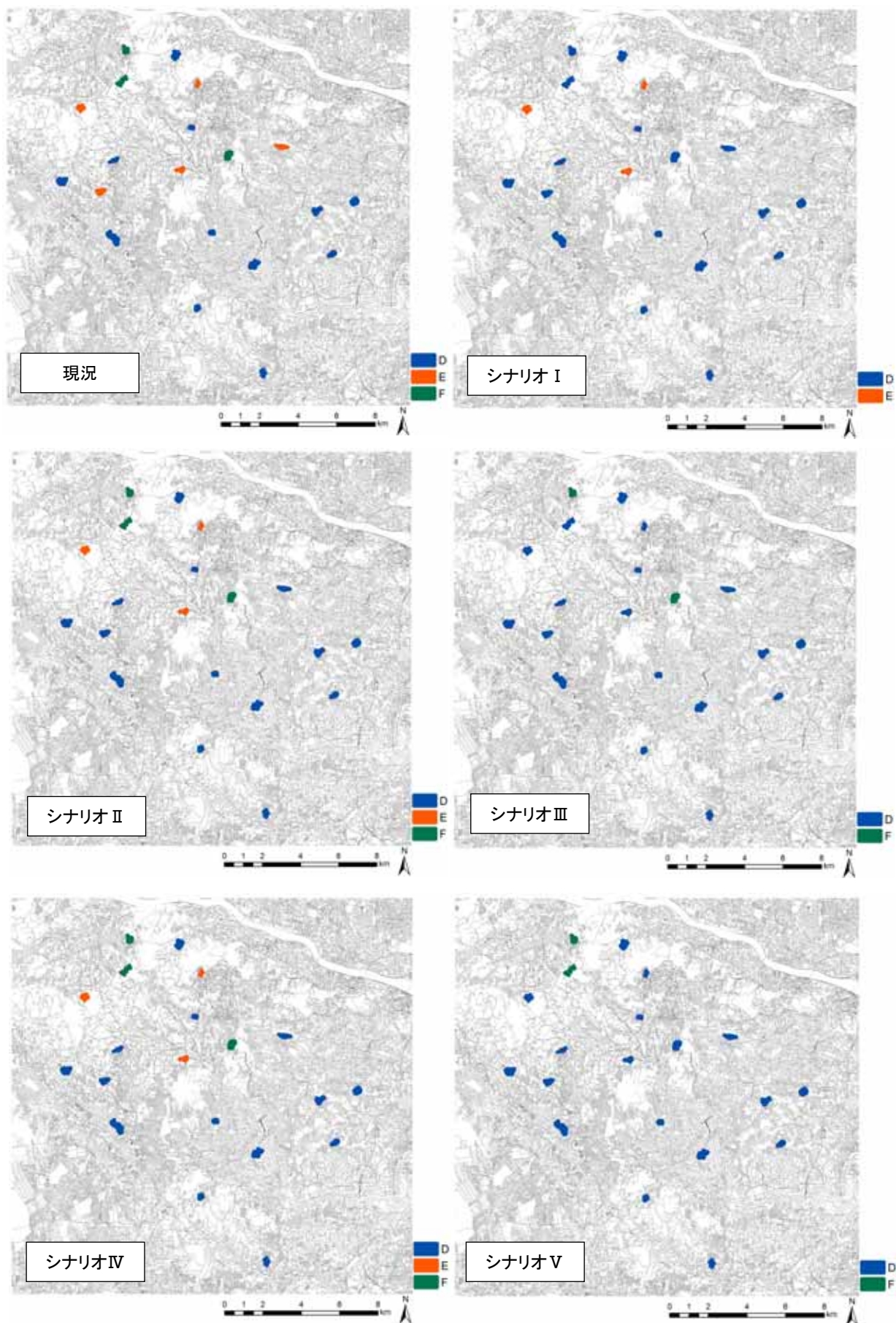


図 4.10 多摩丘陵の対象樹林におけるシナリオに応じた種群出現パターンの変動予測（営巣・繁殖期）

3.4 考察

台地・丘陵地ランドスケープ内における立地の異なる 5 つの樹林地創出・復元シナリオに伴う対象樹林の種組成への作用を評価し、樹林地創出・復元立地の選定において配慮すべき種組成バランスの変動を把握した。台地ランドスケープ内においては、樹林地創出・復元シナリオに対して種群出現パターンが多様化と均質化の二極化傾向を示す結果を得た。とくに、シナリオⅡ（河川・水域沿いにおける樹林地創出）およびシナリオⅢ（農地と一体となった樹林地創出）において、草地環境の樹林化に伴い、種群出現パターンが均質化に作用する結果となった。樹林地周辺の河川沿い草地や農地と一体となった草地環境を保全することにより、樹林地における地形-植生ユニットの構成間の入れ子度の極端な低下を抑制し、部分的に入れ子度の向上を図ることも有効であると考えられた。一方、丘陵地ランドスケープ内においては、樹林地の創出・復元シナリオの立地に応じた地形-植生ユニットの構成間の入れ子度の低下が、種群出現パターンの均質化を促進する結果を得た。樹林地周辺の土地被覆セグメントにおける地形-植生ユニットの構成間の入れ子度の維持において、農地とセットとなった草地環境や耕作放棄地が重要な景観構成要素となると考えられた。また、種群出現パターンのバランスにおいては、樹林地の創出・復元と同時に、草地景観構成要素の復元による入れ子度の維持・増大も効果的であると考えられた。

以上より、台地・丘陵地ランドスケープ内における樹林地創出・復元にあたっては、その立地周辺のランドスケープ構造に応じた創出・復元が重要であると考えられる。とくに、地形-植生ユニットの構成間の入れ子が高いと考えられる景観構成要素である台地・段丘の二次草地や、丘陵地改変地形周辺の落葉広葉樹林などが分布するマトリクス環境では、これらの景観構成要素を含む周辺マトリクス領域における環境構成を把握したうえで、入れ子度を維持するかたちで創出樹林地の立地を検討することにより、樹林地創出による種組成の二極化または一律的な均質化を軽減することが可能であると考えられた。

その際、ランドスケープ内の土地被覆のモザイクが形成するランドスケープ構造の質的構成の地域的差異について、オブジェクト指向画像分析における異なる **scale parameter** による **Multi-resolution segmentation** を用いて、植生分布の把握のための下位セグメントを集計する上位セグメントを単位とし、地域スケールの景観構成を把握することが可能である。また、その指標としての土地被覆セグメント内の景観構成の入れ子構造を比較する上位の空間フレームとして、小規模樹林地周辺の土地被覆セグメントの集合に応じて、ランドスケープ内における小規模樹林地の立地となる地域の景観構成の入れ子度の把握が可能であった。ランドスケープ内の市街地等マトリクス環境において、緑地環境の創出・復元の効果の予測にあたっては、創出・復元する緑地環境の質・面積と近い樹林を周辺地域およびランドスケープ内で抽出し、抽出した樹林における種群出現パターンに対して影響するランドスケープの水平的入れ子構造を、樹林地周辺の土地被覆セグメントの集合に応じて把握することが有効である。これにより、マトリクス環境における緑地環境の創出・復元がランドスケープ内の地域的な景観構成バランスに及ぼす影響を、樹林地周辺の土地被覆セグメントの景観構成の入れ子を指標として把握することが可能である。その際、種群出現パターンの地域的差異と、景観構成の入れ子の地域的差異とに応じて、マトリクス環境における樹林地環境の創出・復元の効果把握を行い、種多様性に寄与する景観連結性の向上を図ることが有効であると考えられた。

第5章 総合考察 ―都市域におけるランドスケープマネジメントへの展開―

第1節 本章の構成

本研究では、東京都市圏を対象として、都市圏スケール（ランドスケープ間）および台地・丘陵地スケール（ランドスケープ内）の2つのスケールで、ランドスケープ構造と生物相の地域的差異と、両者の関係性の把握を行った。ランドスケープ構造の把握においては、地域間の質的構成の差異の指標として、土地被覆セグメントを空間単位として、地形-植生ユニットの水平的入れ子の関係性を把握した。また同時に、ランドスケープ構造の変化に伴う影響について、樹林地の創出・復元を例としたシナリオの設定と評価を行い、緑地環境整備のグランドデザインおよびマスタープランに反映可能な配慮要件を抽出することを試みた。とくに、立地の異なる樹林地創出・復元によって、既往の地形-植生ユニットの構成バランスに生じる影響と、それを通じた生物種群の出現パターンの変動について、異なるスケールでのシナリオ評価によって客観的に把握した。

本章では、まず第2節において、2つのスケールにおけるランドスケープ構造と生物相の分析およびシナリオ評価への適用を通じて得られた知見について整理し、第3節において、都市域におけるランドスケープマネジメントへの展開にむけた考察を行う。

ランドスケープレベルの波及効果を伴うより戦略的な緑地環境の保全や創出・復元にむけて、Wu & David (2002) による階層的パッチダイナミクスのパラダイムにおける *Scaling ladder strategy* (図 5.1) に則して、スケール間の階層的な関係性をふまえた知見の整理と考察を行う。すなわち、本章では、異なるスケールを通じたランドスケープ構造の構成および機能について、上位スケールのランドスケープ構造から下位スケールのランドスケープ構造にむけて、トップダウン効果に基づく知見を整理する。その一方で、緑地環境整備施策への展開にむけて、下位スケールから上位スケールにむけて、ボトムアップ効果にもとづいて、都市域のランドスケープマネジメントに展開可能な配慮要件について考察することを目的とする。

第2節において、上位スケールから下位スケールにわたる都市ランドスケープのもつ構成および機能の把握として、景観構成の入れ子の傾向把握（第2章）、都市圏スケールにおける入れ子の変化がもたらす種組成の変動への影響評価とシナリオ評価への適用（第3章）、台地・丘陵地ランドスケープ内における景観構成の入れ子がもたらす種群出現パターンへの影響把握とシナリオ評価への適用（第4章）について、結果のまとめと特徴を整理する。

第3節においては、上記シナリオ評価を踏まえ、下位スケールから上位スケールにかけて、緑地環境整備計画や土地管理における配慮要件を考察する。台地・丘陵地ランドスケープ内において、個別事業やマスタープランにおける配慮要件を考察したうえで、都市圏スケールにおいて上位計画としてのグランドデザインにおいて求められるランドスケープレベルの配慮要件について検討する。これにより、種多様性の保全・回復にむけた都市域のランドスケープマネジメントのための複層的な緑地計画のあり方について検討する。

具体的な配慮要件の検討にあたっては、とくに、ランドスケープの水平的入れ子の関係性を指標とし、創出・復元する緑地環境を含めた都市におけるランドスケープと生物相の地域的差異のバランスを図るための配慮事項について着目する。そのうえで、手法の展開可能性、および今後

の検討課題についても検討することとする。

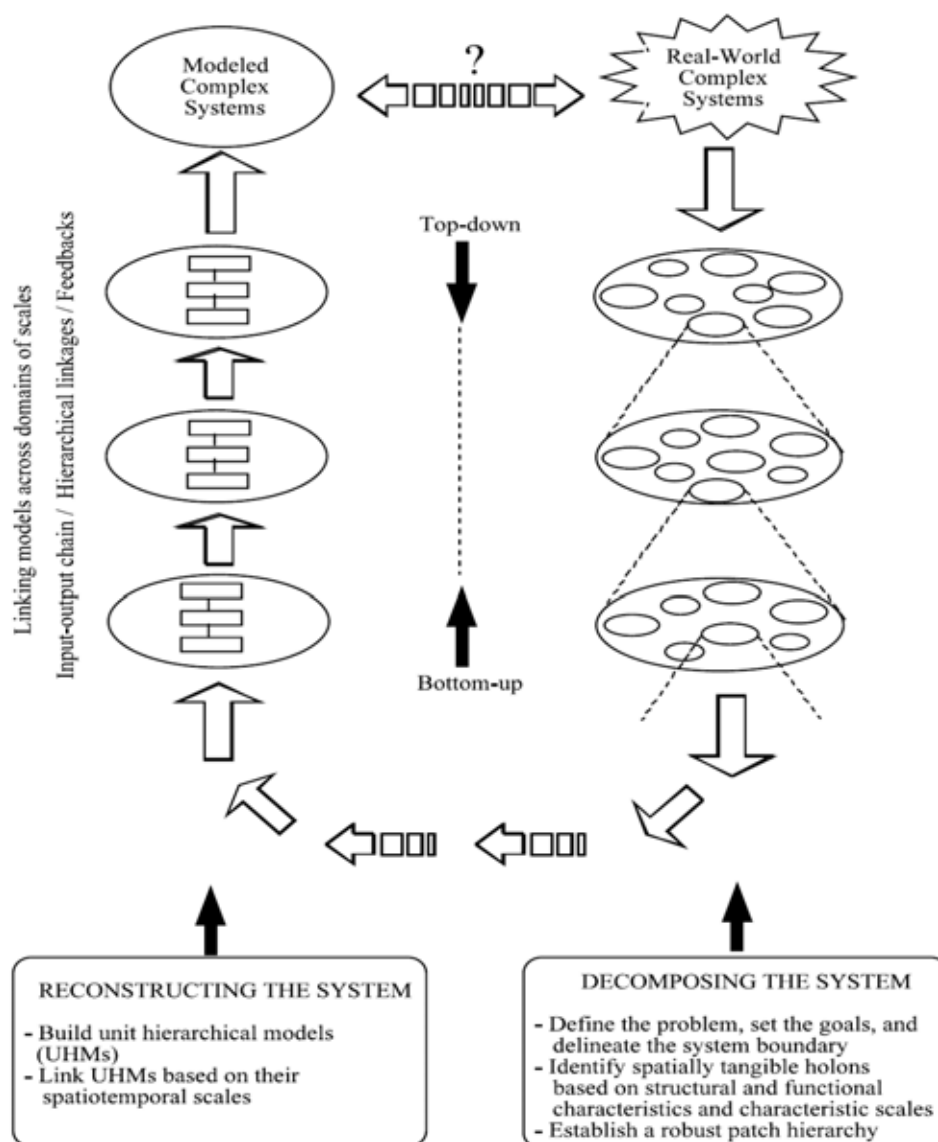


図 5.1 Scaling ladder strategy (Wu & David, 2002 より引用)

第2節 各章の結果のまとめと特徴

2.1 ランドスケープの水平的入れ子とその階層的関係性

本研究では、まず第2章において、都市域におけるランドスケープ構造の質的構成の指標として、ランドスケープの水平的入れ子の関係性に注目し、都市圏スケールと台地・丘陵地スケールの2スケールで、入れ子の状況およびその成因を把握した。景観構成の把握の単位として、人工衛星データのオブジェクト指向分析によるセグメンテーションを活用した都市域の土地被覆セグメントを空間単位とし、地形条件と植生条件が均質な地形-植生ユニットを最小の景観構成要素として、土地被覆セグメントの地形-植生ユニットの構成間の水平的入れ子構造を把握した。

都市圏スケール、台地・丘陵地スケールともに、土地被覆モザイクの類似する領域（土地被覆セグメントの類型）を上位の空間フレームとして、領域内の土地被覆セグメント間で景観構成の入れ子構造の比較を行った。すなわち、土地被覆モザイクの類似する領域において、その内部の地形-植生ユニットの構成においてどのような地域的差異があるか、土地被覆セグメントを空間単位として把握した。結果として、都市圏スケールにおいては、土地被覆モザイクの類似する領域（土地被覆セグメントの類型）は、広域スケールでの地形区分と類似性の高い領域となった。また、台地・丘陵地スケールでは、代表的な地形-植生ユニットの包含状況に応じた土地被覆モザイクの類型を得た。

都市圏スケールにおいては、土地被覆セグメントの地形-植生ユニットの構成間の水平的入れ子度が、とくに台地および台地周辺部を中心に最も高く、都市圏縁辺部の山麓周辺および沿岸・沿川都市部において最も低く、また丘陵地周辺において中程度であることを確認した（図 5.2）。台地および台地周辺の土地被覆セグメントにおいては、ローム台地上の畑地雑草・二次草地・落葉広葉樹林・水田雑草により形成されている地形-植生ユニットの共通性が高く、これに後背湿地・自然堤防・谷底低地といった台地開析地形周辺に残存している農地・草地により形成される地形-植生ユニットが中程度に混在することにより、土地被覆セグメント間の地形-植生ユニットの構成間の入れ子度が高い状態にあると考えられた。また、山麓周辺では、主に土地被覆セグメント内の地形の均質性から、地形-植生ユニットの構成間の入れ子度が低く、沿岸・沿川都市部では、土地被覆セグメント内に含まれる地形-植生ユニットが限定的であるために、入れ子度が低い状態にあった。丘陵地周辺においては、一部の土地被覆セグメントが台地にも及ぶため、台地の地形-植生ユニットと丘陵地の地形-植生ユニットをともに含み、セグメント間での地形-植生ユニットの共通性が低くなる結果、台地および台地周辺部に比べて入れ子度が低い状態にあると考えられた。

また、台地・丘陵地ランドスケープ内において、土地被覆セグメントの地形-植生ユニットの構成間の水平的入れ子度は、里地・里山を起源とする環境が人工的土地改変を受け、一部で残存している土地被覆セグメントにおいて高くなることを確認した（表 5.1）。薪炭林や採草地など、土地被覆モザイクの起源となる里地・里山由来の植生環境が地形改変を受け、とくに共通性の高い地形-植生ユニット（たとえば、台地における人工地形-二次草地、丘陵地における人工地形-落葉広葉樹林など）として残存している地域で、地形-植生ユニットの構成間の入れ子を促進している可能性がある。このような地域では、人為的改変の前後の地形-植生ユニット（台地における台地段丘-二次草地と、人工地形-二次草地）が主要な構成要素であり、限られた土地被覆セグメントで

のみしか見られない地形-植生ユニット（たとえば、台地における凹地-落葉広葉樹林、丘陵地における低地面-畑地雑草など）を優先的に保全する必要があると考えられる。

一方で、台地・丘陵地ランドスケープ内において、立地に応じた多様またはランダムな地形-植生ユニットによって構成されるモザイク環境では、地形-植生ユニットの構成間の入れ子度が低いと考えられた（表 5.2）。また、丘陵地における低地水田雑草タイプの土地被覆セグメントは、谷戸周辺の多様な植生のモザイクを反映し、入れ子度が低いと考えられた。これらの地域では、限られた植生を残しながら地形または植生の均質化が生じるような改変を受けると、入れ子度が増大しやすいと考えられる。したがって、土地被覆セグメントの内部において多様な微地形または植生環境を有する場合に、多様またはランダムな地形-植生ユニットが包含され、入れ子度は低下する。開析の進んだ台地環境に比べて丘陵地環境の方が微地形の多様性が高いと考えられ、地形-植生ユニットの多様性としては、台地ランドスケープよりも丘陵地ランドスケープにおいて高いと考えられる。これを受けて、地形-植生ユニットの構成間の入れ子も、丘陵地ランドスケープよりも台地ランドスケープにおいて高くなった。

以上の地形-植生ユニットの構成間の入れ子の地域的差異の要因としては、過去の都市開発に伴う地形-植生ユニットの消失・改変パターンの影響も大きいと考えられる。地形-植生ユニットが大規模で均質性が高い山麓周辺や、小規模でランダム性が高い市街地においては、面的または小規模な開発によって入れ子度への影響は小さかったと考えられる。一方で、台地・丘陵地周辺においては、地形的な境界を超える規模で生じる土地改変（武内・吉岡,1982; 武内ら,1986）とともに、微地形に応じた土地改変（武内,1991; 松井ら,1997）により、特定の地形-植生ユニットのまとまり（たとえば急峻な斜面樹林）のみを残した地形-植生ユニットの改変がなされてきた。台地では、このような改変環境に、残存した地形-植生ユニットが混在するかたちで、地形-植生ユニットの構成間の入れ子が高まったと考えられる。また、台地を含む丘陵地周辺の土地被覆セグメントでは、個別の地形に応じた多様な改変パターンによって、入れ子度が中程度に保たれていると考えられた。

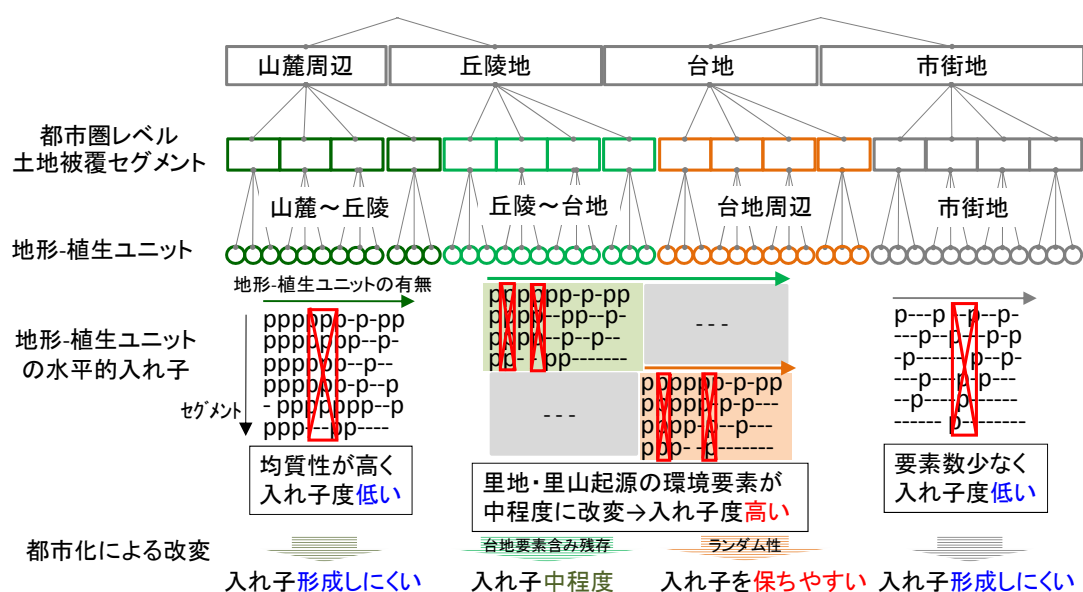


図 5.2 都市圏スケールの地形-植生ユニットの構成間の水平的入れ子度と都市化による影響

表 5.1 台地・丘陵地内で入れ子度が高い土地被覆セグメントの類型と地形-植生ユニットの構成

セグメント 類型	台地二次草地タイプ		残存落葉二次林タイプ	
Nestedness Temperature	2.36		0.76	
類型区分数	41		32	
セグメント数	728		118	
多くの セグメント に見られる	人工地形-二次草地	560	人工地形-落広樹林	118
	台地段丘-二次草地	468	斜面-落広樹林	75
	台地段丘-常針樹林	190	人工地形-自然草地	14
	台地段丘-畑地雑草	175	人工地形-畑地雑草	14
	人工地形-常針樹林	164	台地段丘-落広樹林	11
↑ 中間的 ↓	人工地形-自然草地	69	斜面-畑地雑草	10
	斜面-常針樹林	67	低地面-落広樹林	10
	台地段丘-落広樹林	57	人工地形-二次草地	9
限られた セグメント に見られる	斜面-自然林	7	台地段丘-畑地雑草	3
	凹地-落広樹林	7	低地面-畑地雑草	3
	凹地-自然草地	7	人工地形-常針樹林	3
	山麓堆積-自然林	1	台地段丘-常針樹林	1

表 5.2 台地・丘陵地内で入れ子度が低い土地被覆セグメントの類型と地形-植生ユニットの構成

セグメント 類型	台地モザイク タイプ		丘陵地			
			丘陵地モザイクタイプ		低地水田雑草タイプ	
Nestedness Temperature	9.36		6.44		8.78	
類型区分数	57		54		46	
セグメント数	1935 (500サンプル)		1051 (500サンプル)		150	
多くの セグメント に見られる	低地面-水田雑草	239	斜面-畑地雑草	222	低地面-水田雑草	148
	台地段丘-畑地雑草	238	斜面-落広樹林	210	人工地形-水田雑草	88
	台地段丘-常針樹林	172	人工地形-畑地雑草	178	低地面-畑地雑草	80
	低地面-二次草地	152	台地段丘-畑地雑草	160	斜面-落広樹林	73
	斜面-常針樹林	149	人工地形-落広樹林	149	台地段丘-水田雑草	66
↑ 中間的 ↓	低地面-落広樹林	65	斜面-自然林	55	台地段丘-落広樹林	35
	台地段丘-自然草地	62	人工地形-常針樹林	51	斜面-竹林	32
	凹地-常針樹林	62	低地面-自然草地	46	斜面-常針樹林	29
限られた セグメント に見られる	山麓堆積-畑地雑草	5	低地微高地-水田雑草	4	低地微高地-自然草地	4
	低地微高地-水田雑草	4	凹地-自然草地	4	頻水地形-水田雑草	4
	山麓堆積-自然林	1	山麓堆積-落広樹林	1	山麓堆積-落広樹林	1

2.2 都市圏スケールのランドスケープの水平的入れ子構造と種組成変化への作用

第3章では、都市圏スケールにおいて、ランドスケープの水平的入れ子の変化が生物相の変化に及ぼす影響について、鳥類の営巣・繁殖レベルを指標として把握した。土地被覆のモザイクが類似する土地被覆セグメントの類型ごとに、土地被覆セグメントを単位として、地形-植生ユニットの構成間の入れ子の変化と鳥類種群の変化傾向との関連性を評価した。その結果、とくに都市緑地利用種群（コゲラ・メジロ）・市街地適応種群（ムクドリ・ツバメなど）と、林縁・草地環境

を利用し営巣・繁殖環境が減少傾向の種群（ホオジロ・モズなど）が、土地被覆セグメントの地形-植生ユニット間の入れ子の変化の影響を受け、景観構成の変化に対する指標性が高かった。都市圏スケールにおいて、立地の異なる5つの樹林地創出・復元シナリオの評価を行った結果、シナリオの対象立地や目標環境に応じた変化傾向が示された。景観構成の入れ子の変化との関連性が認められた種群のシナリオに対する応答は、都市緑地利用種群（コゲラ・メジロ）は一律増加、林縁・草地利用種群（ホオジロ・モズなど）は一律微減と、種群間のトレードオフを生じる結果となり、これに対しては別途草地ランドスケープの保全・復元施策が必要と考えられた。また、市街地適応種群（ムクドリ・ツバメなど）の営巣繁殖環境は、樹林地創出・復元シナリオにより、地域間で増減が分かれるトレードオフを生じる結果となった。

また、樹林地創出・復元シナリオの立地に応じても、種群間・立地間のトレードオフを生じる結果となった。シナリオⅠ（大規模施設樹林地創出）による影響は、都市緑地利用種群（コゲラ・メジロ）に対して一律増加に作用する一方で、市街地適応種群（ムクドリ・ツバメなど）に対しては地域間のトレードオフを生じる結果となった。一方で、シナリオⅣ（市街地内植林地の林相転換）による影響は、両方の種群に対して一律増加に作用した。

シナリオに応じた景観構成の入れ子の変動は、樹林地創出・復元の立地に応じて変動した（図5.3）。その結果、シナリオに応じた営巣・繁殖レベルの変動量も、シナリオⅠ（大規模施設樹林地創出）では樹林地創出地の立地に応じた景観構成の入れ子度の低下が大きく、これに応じた種群への影響も大きい結果となるが、シナリオⅣ（市街地内植林地の林相転換）では入れ子の変動が小規模（丘陵～台地でわずかに増大）であり、種群への影響もよりゆるやかな変動となった。

これらより、とくに土地被覆セグメントにおける景観構成の入れ子と関連深い種群の営巣・繁殖環境の回復に対しては、ランドスケープスケールの保全・復元施策の配分バランスが重要であると考えられた。

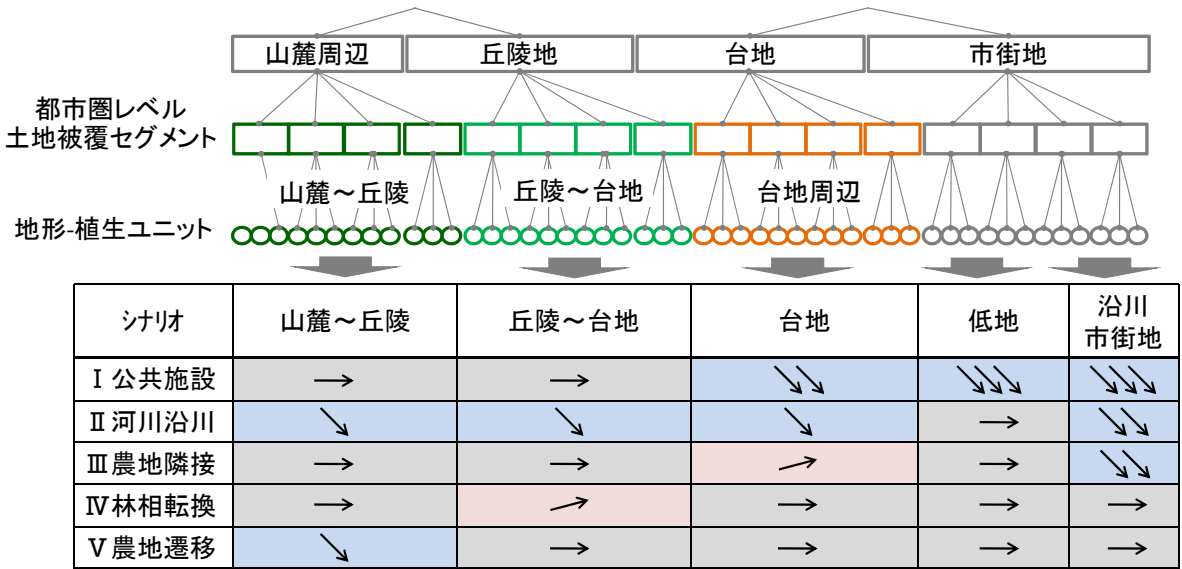


図 5.3 都市圏スケールの樹林地創出・復元シナリオに応じたランドスケープの水平的入れ子の変化傾向

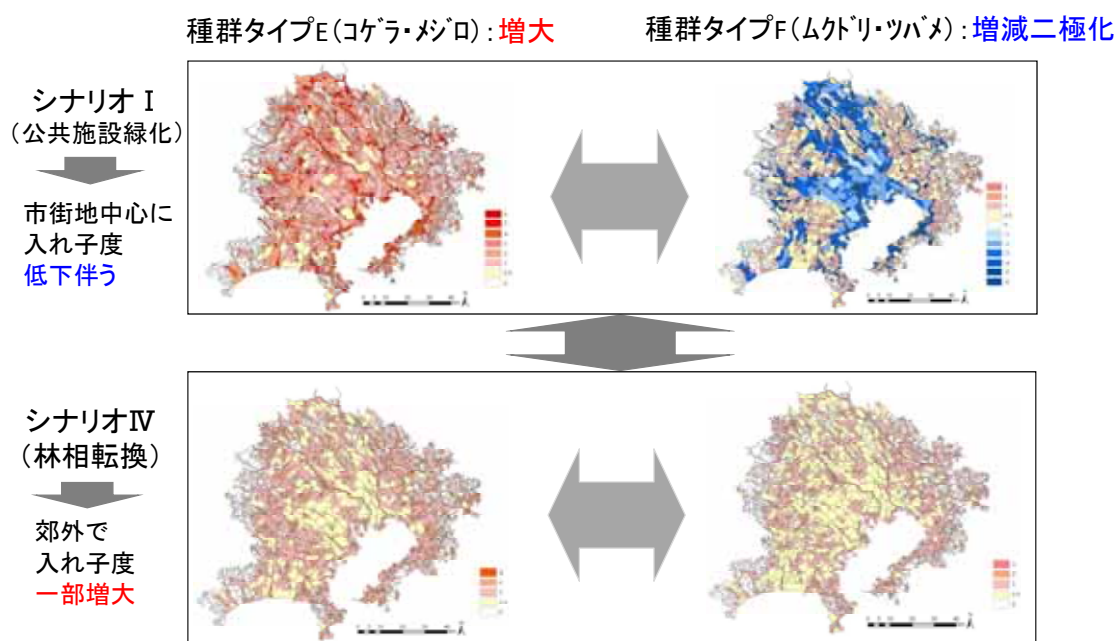


図 5.4 シナリオに応じた種群間・立地間のトレードオフ

2.3 台地・丘陵地スケールにおけるランドスケープ構造と種組成変化への作用

第 4 章では、台地・丘陵地ランドスケープ内における環境創出・復元が、景観構成の変化を通じて現状の生物相に作用する要件を抽出するため、台地・丘陵地内の小規模樹林における鳥類種組成と、周辺土地被覆セグメントの景観構成の入れ子および樹林内の植生立体構造との関連について把握した。景観構成の入れ子は、対象とする小規模樹林に応じて、対象樹林周辺 2km 圏内に包含される土地被覆セグメントの類型ごとに把握した。

小規模樹林における種群出現パターンに影響するランドスケープ条件として、下総台地内では周辺 2km 圏における草地からの平均最短距離および草地面積割合が、多摩丘陵内では周辺 2km 圏における草地面積割合、地形-植生ユニットの構成間の入れ子度および植生タイプ多様度が挙げられた。孤立樹林の鳥類種組成に対して、対象樹林内の植生立体構造よりも周辺ランドスケープ条件が作用し、とくに対象樹林周辺の草地環境の分布状況が、対象樹林における農地・草地利用種群の混在に影響を与え、鳥類種組成全体に影響すると考えられた。そして、対象樹林周辺の地形-植生ユニットの構成間の入れ子度は、下総台地に比べて多摩丘陵において、より重要な要因として作用した。

台地・丘陵地ランドスケープ内における樹林地創出・復元シナリオに伴う小規模樹林の鳥類種組成への作用を評価した結果、下総台地内では、シナリオ I（大規模施設樹林地創出）、シナリオ II（河川・水域沿い樹林地創出）およびシナリオ III（農地樹林地創出）において、周辺地域の景観構成の入れ子度が低下し、これに伴い、シナリオ II およびシナリオ III で種組成の均質化が生じた。一方、多摩丘陵内では、シナリオ I（大規模施設樹林地創出）で一律的な景観個性の入れ子の低下

が生じた一方、シナリオⅡ（河川および水域沿いにおける樹林地創出）、シナリオⅢ（農地とセットになった樹林地創出）、シナリオⅣ（市街地内植林地の林相転換）、シナリオⅤ（条件不利農地樹林化）において、周辺地域の景観構成の入れ子度が一部促進される傾向となった。これに対して鳥類種組成は、シナリオを問わず均質化に作用し、とくにシナリオⅢ（農地樹林地創出）・シナリオⅤ（市街地内植林地の林相転換）でその傾向が大きかった。小規模残存樹林周辺において、農地環境と一体となった樹林地創出・復元は、景観構成の入れ子への影響が大きく、景観構成の入れ子を一定範囲内に維持できる立地において樹林地創出・復元を図ることで、均衡ある種組成の回復に寄与すると考えられた。

第3節 都市域における緑地環境の創出・復元と複層的緑地計画への展開

3.1 種多様性の保全・回復に資するランドスケープ内の景観構造

台地・丘陵地ランドスケープ内において、小規模樹林の鳥類種組成に与える環境条件として、サイトレベルの植生立体構造との比較を通じてランドスケープ条件の抽出をした結果、下総台地では、周辺2km圏における草地からの平均最短距離および草地面積割合が優先的に作用し、多摩丘陵では、周辺2km圏における草地面積割合、地形-植生ユニットの構成間の入れ子度、植生タイプ多様度が優先的に作用した。農地・草地環境を利用する鳥類種群の生息が、小規模樹林における種多様性に影響し、その分布において樹林周辺のマトリクス環境における草地環境の分布が重要であると考えられた。また、下総台地に比べて多摩丘陵内において、小規模樹林における種組成に、樹林周辺における地形-植生ユニットの構成間の入れ子の影響が挙げられ、現状の種組成のバランスを保つためには、周辺環境における景観構成のバランスを図る必要があると考えられた。

一方で、シナリオ評価によって、樹林拡大において樹林利用種群への影響と草地利用種群への影響とのトレードオフが生じる可能性が示された。これに対しては、台地・丘陵地内において、地形-植生ユニットの構成間の入れ子への作用が大きいエリアを事前に抽出することで、種多様性の保全・回復のため、草地ランドスケープに関連した地形-植生ユニットの保全ターゲットの選定や、それらを含みながら地形-植生ユニットの異質性を保つための都市域領域の抽出を行うことが効果的と考えられる。一方で、トレードオフが生じると考えられた種群の構成種（たとえば樹林利用種群の指標としてのアオゲラと、草地利用種群の指標としてのホオジロなど）に対しては、種レベルでの生息適地の把握とシナリオ評価による保全措置効果によるトレードオフの関係性の把握（横田ら，2006；横田ら，2008）を行うことも有効である。

下総台地内の都市域では、河川・水域沿いおよび農地と一体となった樹林地創出で、多摩丘陵内のマトリクスでは、農地と一体となった樹林地創出または農地樹林化によって、種組成の一方的な変化の傾向が顕著であった。これらの地域では、とくに、地形-植生ユニットの構成間の入れ子を指標とし、地形-植生ユニットの多様性を維持するかたちで緑地環境整備を図ることが重要である。その際に重要となる景観構成要素として、下総台地では、谷津地形に関連した草地環境として、台地ランドスケープ内の谷底低地や河川沿いの低地一般面における二次草地や、台地・段丘上の畑地とセットになった二次草地が挙げられた。また、多摩丘陵では、谷戸地形に関連した草地環境として、谷底低地または低地一般面における耕作放棄地や農地とセットになった二次草地、あるいは谷戸奥部における農地・耕作放棄地が、挙げられた。半自然草地、耕作放棄地等の二次草地の分布は、景観構成要素に対する人為的な管理の作用と関連する要因である。旧来の里地・里山に存在した採草地や薪炭林等は、農地環境と一体的に存在し、それらの間に落葉落枝の堆肥化などの機能的関係性が保たれた状態で分布していた（山本,2000）。しかしながら、現在都市内または市街地縁辺部において残存している二次草地は、農的環境と直接的な関係性の薄い状態にあり、その質的変容は、人為的管理の可能性に直接関係する。下総台地では、人為的管理の行き届かなくなった二次的環境が農地周辺に遷移の進行する状態で存続するのに対して、多摩丘陵では、都市公園等の指定緑地以外における二次草地等は、面的な保全戦略のない現状において消失対象となりやすい。このような草地ランドスケープ要素の残存可能性が、樹林環境と草地

環境が一体的に存在していた里地・里山の細分化後の景観構成要素の多様性に関連し、面的な都市領域における入れ子形成の抑制要因となると考えられる。これらの二次草地は、里地・里山における採草地として機能していたと考えられるが、今後これら草地の遷移を一定レベルに維持するための現代的な管理のあり方について、バイオマス資源利用などの現代的ニーズとの関連も含めて検討する必要がある。また、これらの草地環境は、地形-植生ユニットの構成間の入れ子度を高める景観構成要素となっており、入れ子における鍵となる生息地であると言える。入れ子を維持するための地形条件の優先的保全を行うとともに、草地環境および樹林環境とが混在したモザイク性の高い緑地環境整備を行うことによって、入れ子を保ちながら周辺ランドスケープ条件を向上し、ランドスケープ内における種群出現パターンの多様度を維持しながら個体群の回復が可能となると考えられた。二次草地の植生そのものを維持することが難しい改変インパクトが生じる場合には、同等の地形条件における二次草地の代償的な創出・復元を行うことによって、都市域の景観構成に対するオフセットを行うことが効果的と考えられる。その際、異なる保全措置に対する効果をシナリオ評価を通じて事前把握することにより、ランドスケープ内の種組成の分布に即した適切なミティゲーションサイトの検討が可能と考えられた。

3.2 種多様性の保全・回復に資する都市圏スケールのランドスケープ構成

都市圏スケールの土地被覆セグメントを単位とした景観構成の水平的入れ子が鳥類営巣・繁殖環境に与える影響の把握において、林縁・草地利用種群（ホオジロ・モズなど）と都市緑地適応種群（コゲラ・メジロ）および市街地適応種群（ムクドリ・ツバメなど）がランドスケープ間の景観構成の入れ子度の指標種群として、異なる樹林地整備シナリオの影響の差異を良く表現した。都市圏スケールにおいて、土地被覆のモザイクの類似する景観構成の類型ごとに、水平的入れ子を指標として、種群に応じて土地被覆セグメント内の景観構成のバランスを図ることにより、緑地環境整備によるこれら種群に対する効果の種群間・地域間のトレードオフを低減することが重要と考えられた。

既存の景観構成要素との関連では、下総台地では河川・農地とセットになった二次草地、多摩丘陵には農地とセットになった二次草地や谷戸奥部の農地・耕作放棄地を内包する土地被覆セグメントにおいて、ランドスケープ内におけるこれらの景観構成要素の消失または創出・復元による入れ子の変化の影響が、都市圏スケールの土地被覆セグメントにおける地形-植生ユニットの構成間の入れ子の変化に作用していると考えられる。都市緑地適応種群（コゲラ・メジロ）、市街地適応種群（ムクドリ・ツバメなど）、林縁・草地利用種群（ホオジロ・モズなど）は、都市圏スケールの土地被覆セグメントの入れ子の変化に応じた営巣・繁殖環境の変動を把握するための種群として適していた。

都市緑地適応種群に対しては、樹林地創出・復元による営巣・繁殖条件の向上効果がシナリオに応じて生じたが、ランドスケープの再整備に資する樹林地の創出・復元にあたっては、上記の二次草地・農地に関連した景観構成要素を含みながら、土地被覆セグメントを単位とした複合的な緑地環境整備の展開が効果的であると考えられた。たとえば、大規模公共施設における樹林地創出にあたって、各ランドスケープ内で上記景観構成要素を含む土地被覆セグメントにおいて、セグメント内の景観構成の入れ子を維持・促進するような樹林地を創出することによって、より

効果的な種群の営巣・繁殖条件の向上効果が期待できる。これにより、樹林地創出シナリオでトレードオフの影響を生じる可能性がある林縁・草地利用種群や、増減傾向が分かれた市街地適応種群の営巣・繁殖環境にとっても、減少傾向に働く影響の作用の軽減につながり、異なる種群にとっての営巣・繁殖環境の一律的向上（ネットゲイン）を図ることが可能であると考えられた。

都市圏レベルにおいて異なる複合的な種群に対する生息状況のネットゲインにつながる緑地環境整備を展開することは、機能的なランドスケープの連結性・連続性を向上させ、ランドスケープ内における各種群の生息適地をネットワーク的に担保することにつながると考えられる。都市圏スケールとランドスケープ内スケールの両方のスケールで、景観構成の水平的入れ子を指標として種群間・立地間の効果バランスを保ちながら、個別種群に対する生息環境を担保していく緑地環境整備を実施することにより、種群を単位とした種多様性の維持・向上にむけたより統合的かつ効果的な緑地環境整備が可能になると考えられた。

3.3 ランドスケープの水平的入れ子を指標とした緑地環境の創出・復元の可能性

本研究を通じて、ランドスケープ内における土地被覆セグメントの景観構成の入れ子が、ランドスケープ間の土地被覆セグメントの景観構成の入れ子の地域的差異の要因となっていると考えられた。種群ごとの生息適性の観点からも、スケール間で入れ子の形成作用が生じている土地被覆セグメントにおいて、土地被覆セグメント内の景観構成の変化を通じて、種群レベルの生息適性に対する重要な影響が生じているエリアとして捉えることができると考えられる。この影響は、ランドスケープ構造の変化に伴うランドスケープ間のバランス（たとえば樹林ランドスケープと草地ランドスケープの構成比率）の変化を通じた種組成への影響と考えられ、このようなランドスケープ変化の検出において、景観構成の水平的入れ子の把握が有効な指標となり得る。これを指標とし、ランドスケープの改変に伴い地域内および地域間の景観構成バランスの変動が生じている土地被覆セグメントを把握することにより、地域全体での環境多様性の消失の未然防止を図ることが必要であると考えられる。ランドスケープ構成の攪乱が生じている土地被覆セグメントを抽出し、景観構成バランスの維持において重要な保全対象となる土地被覆セグメントをホットスポットとして抽出することによって、戦略的環境アセスメント等における自然環境への事前配慮に効果的に活用することが可能と考えられる。

都市域においては個々の土地被覆セグメントが地域の景観構成においてしめる位置（景観位置；Landscape position）は、里地・里山起源の景観構成要素をはじめとした残存環境が形成するランドスケープ構造の地域的差異により変化する。とくに都市周縁部における二次的自然環境を包含する都市域においては、ランドスケープ間およびランドスケープ内において、入れ子を指標とした景観構成のモニタリングを行い、その変化傾向が種組成に及ぼす影響について、両スケールで把握することが必要と考えられる。都市圏スケールにおける種多様性の維持・向上にむけたランドスケープの保全、創出・復元を図るうえで、現状の種組成に対する都市圏スケールでの景観構成の入れ子の影響を把握したうえで、ランドスケープ内の景観構成の入れ子と種組成の変動について観測し、両方のスケールでその傾向を把握することで、種多様性に寄与する均衡あるランドスケープ管理を図ることが重要と考えられた。そのための基盤システムとして、都市圏スケールとランドスケープ内の景観構成のモニタリングを連携させ、それぞれのスケールで景観構成

のバランスを図るため、景観構成の水平的入れ子の度合いを閾值的に活用していくとともに、その基準を都市圏スケールでの緑地環境整備のランドデザインとランドスケープ内のマスタープランの事前評価に活用していく、ランドスケープ管理の支援のためのシステムへと展開させていくことが可能と考えられた。

第4節 今後の検討課題

本研究においては、都市域におけるランドスケープの水平的入れ子構造が、ランドスケープ間およびランドスケープ内において種組成に与える影響について把握した。また、緑地環境整備シナリオの評価への展開を通じて、質的構成を含めたランドスケープの変動による種組成の変動について予測し、ランドデザイン等における検討に反映する方法について検討した。

ランドスケープの水平的入れ子の影響の分析およびシナリオ評価への展開において、今後以下の三点が課題となると考えられた。

一点目は、スケールの異なる景観構成の入れ子間の関係性の把握が課題として挙げられる。本研究では、景観構成の水平的入れ子と種組成との関連性について、2つのスケールで独立して把握し、その傾向をスケール間で考察した。一方で、上位スケールにおける景観構成と下位スケールにおける景観構成の間には、垂直的な関係性も成立している。スケール間の関係性を含めたランドスケープの統合的な分析を行うためには、スケールごとの水平的入れ子とともに、スケール間の垂直的な入れ子も捉える必要があり、そのための方法が課題として挙げられる。

二点目は、土地被覆のモザイクを把握するための土地被覆セグメントの種類の設定のあり方である。本研究では、ランドスケープの入れ子構造と種組成との関連性の把握において、都市圏スケールでは植生・地形条件の類似する土地被覆セグメントの集合、台地・丘陵地内のサイト周辺スケールでは、対象樹林周辺に位置する土地被覆セグメントの集合、を土地被覆セグメントの類型（上位の空間フレーム）として扱った。ともに土地被覆のモザイクの一部をなす集合であるが、どのような土地被覆セグメントの類型を単位としてランドスケープの入れ子構造を把握しシナリオ評価を行うことが最適切か、地域に応じて最適化していくプロセスが必要である。都市化のプロセスを地域の構成との関連性のなかで把握し、土地被覆のモザイク単位として適切な土地被覆セグメントの集合の形成方法を検討していくことが必要と考えられる。

三点目は、動的な評価モデルの構築である。本研究では、ランドスケープの水平的入れ子と種組成の関連性について、都市圏スケールでのシナリオ評価（3章）では、2時期データを用いた変動に基づく評価を行ったが、既往データの有無の課題から、2時期間の変化傾向に基づく将来シナリオの評価にとどまり、連続的変動を捉えた評価とはなっていない。植生および土地被覆に関するモニタリングは人工衛星データの活用による定期的観測が可能となっており、連続的なデータ取得と分析により、より詳細な時間的解像度による入れ子の変化のモニタリングが可能と考えられる。また、シナリオ評価のシステム全体を動的なシステムとなるためには、連続的な種組成分布データの存在が重要な要件となる。都市圏を対象として、重点的なモニタリング対象とする都市領域の設定による都市域の広域的な種組成のモニタリングの取り組みが期待される。

一方で、ランドスケープの水平的入れ子構造の把握に基づくシナリオ評価にあたり、より現実的施策課題に即したシナリオ評価を行うためには、社会条件等の取り込みが必要である。特にランドスケープの水平的分布に関しては、その多くで過去の土地管理履歴との関連性が指摘されている。都市域における複雑な土地利用履歴に関する情報整理を推進し、ランドスケープスケールの景観構成に関して、過去の土地管理履歴の影響を踏まえた把握を行っていくことも課題である。今後、ランドスケープの地域的差異の把握において、土地利用履歴やその他の社会環境条件も踏

まえた施策シナリオ評価のあり方について検討していくことが必要と考えられる。

以上の研究課題を中心として今後検討を深め、緑地構造の階層的な分析とシナリオ評価について、統一的でランドスケープの地域的特性への適応性も高い評価プロセスと客観的な評価基準の開発にむけて努力していきたい。

摘要

1. 研究の目的

都市域における種多様性の保全・回復は、生物多様性の保全にむけた地域的取り組みとして重要性を増している。都市域における生息地基盤の整備指針としては、これまでとくに種のメタ個体群の維持存続のため、コリドー整備等による生息地の連続性の確保が検討されてきた。一方、都市域全体で、広域的な環境の多様性を踏まえて種多様性を確保するための緑地環境整備の在り方に関しては、その基盤となる科学的かつ客観的な環境評価およびランドデザインへの展開技術が不足し、体系的施策の構築に至っていない。

そこで本研究では、ランドスケープの水平的分布構造のうち、とくに景観構成の水平的入れ子構造およびその空間的配置に着目し、都市域における種多様性に作用する緑地構造の要件を把握する。同時に、異なる緑地環境整備の立地や目標設定が種組成に与える影響を予測するシナリオ評価への適用を通じて、都市ランドスケープの体系的マネジメントへの展開のための知見を得ることを目的とする。

2. 都市域におけるランドスケープの水平的入れ子構造の把握

ランドスケープの水平的入れ子構造は、一定の空間スケールにおいて、都市域のある領域における景観構成が別の領域における景観構成を包含する関係にある場合に成立する領域間の関係性である。本研究では、入れ子を指標とした緑地環境整備の立地選定の可能性について検討するため、東京都市圏を対象とし、都市圏全体およびその中で異なる景観構成要素を含む台地・丘陵地内部の2つのスケールで、都市域における景観構成の水平的入れ子とその形成要因を把握した。入れ子の把握のための空間ユニットの作成には、解像度の異なる人工衛星データのオブジェクト指向分析により、土地被覆の均質性の高い都市域領域（土地被覆セグメント）を抽出した。土地被覆セグメントを、セグメント内の植生・地形条件をもとに類型化し、類型ごとに、セグメント内において植生・地形条件の均質性の高い環境類型の入れ子度を Atmar & Patterson (1995) による Nestedness Temperature により把握した。

その結果、東京都市圏スケールでは、台地上および隣接する低地面に位置するセグメントにおいて、環境類型の入れ子度が最も高い状態である一方で、森林周辺および都心部のセグメントで入れ子度が最も低く、丘陵地を中心としたセグメントにおける入れ子度は中間的であった。入れ子度が異なる下総台地と多摩丘陵の内部における下位スケールでの環境類型の入れ子は、代表的景観構成要素により特徴づけられ、下総台地では台地段丘または人工地形上の二次草地を、多摩丘陵では人工地形上の落葉広葉樹林を包含するセグメントで、入れ子度が最も高い。このことから、採草地・薪炭林等の里地・里山起源の二次的自然環境を一定規模包含しつつ、その改変による消失や質的变化が生じる過程で、都市域内のランドスケープの水平的入れ子が生じると考えられた。

3. 都市ランドスケープの水平的入れ子構造の変化に伴う鳥類営巣・繁殖期環境の変動分析とシナリオ評価への適用

都市域の生物種組成に対するランドスケープの水平的入れ子の作用を把握するため、東京都市圏の一部を対象とし、土地被覆セグメントにおける景観構成の入れ子の変化と、鳥類営巣・繁殖レベルの変化の関連性について分析した。種組成データは、1970年代・1990年代における東京都鳥類営巣・繁殖レベル調査メッシュデータ（約1km四方）を使用した。

土地被覆セグメントを単位として、営巣・繁殖レベルの変化について、類似傾向の種群ごとに、地形-植生ユニットの構成間の入れ子度および関連する植生配置形態（緑地タイプ割合、植生多様度、樹林・草地からの平均最短距離、樹林-草地隣接長）の変化との関係を回帰木により分析した。その結果、限定的なセグメントでのみ営巣・繁殖が確認されている種群（ホトトギス・カッコウなど）以外について、関連するランドスケープ条件が抽出された。とくに、都市緑地の増加に伴い都市への適応が進む種群（コゲラ・メジロ、ムクドリ・ツバメなど）と、林縁・草地環境を利用しセグメントに応じて営巣・繁殖環境が減少傾向の種群（ホオジロ・モズなど）が、地形-植生ユニットの構成間の入れ子の変化の影響を受け、セグメントの景観構成に対する指標性が高いと考えられた。

上記をもとに、東京都市圏を対象として、緑地環境の整備や管理転換の増大に伴う樹林地拡大シナリオの評価を行った。異なるサイト（大規模公共施設、河川・水域沿い、耕作地隣接草地）における3タイプの樹林地創出シナリオと、農林地の管理転換（植林地の林相転換、条件不利農地の樹林化）による2タイプの樹林地復元シナリオの計5シナリオについて、種群ごとの鳥類営巣・繁殖レベルの変化を評価した結果、シナリオの対象立地や目標環境に応じた変化傾向が示された。また、環境類型の入れ子と関連のあった上記種群でシナリオ間の傾向が相反した。都市緑地適応種群（コゲラ・メジロ）・市街地適応種群（ムクドリ・ツバメなど）に対しては、公共施設または河川水域等を軸とした市街地内における樹林地創出シナリオで、セグメントの立地に応じた地域間の変動の偏りが大きく、とくに市街地適応種群に対しては営巣・繁殖環境の増減の二極化が生じた。効果的な立地選定を通じた樹林地創出がランドスケープスケールでの営巣・繁殖条件の向上効果を生じる可能性が示唆された。一方で、樹林地拡大に伴い、林縁・草地利用種群（ホオジロ・モズなど）の営巣・繁殖環境は総じて微減傾向となり、別途草地ランドスケープの保全・復元施策が必要と考えられた。これらより、とくに土地被覆セグメントにおける景観構成の入れ子と関連深い種群の営巣・繁殖環境の回復に対しては、ランドスケープスケールの保全・復元施策による景観構成の変化を介した立地間のバランスと種群バランスへの影響に対して配慮することが重要であると考えられた。

4. 台地・丘陵地内の小規模樹林における鳥類種組成に関連するランドスケープ条件の分析とシナリオ評価への適用

台地・丘陵地ランドスケープ内の都市域における環境創出・復元が、地域のランドスケープ特性として種組成に作用する要件を抽出するため、台地・丘陵地内の小規模樹林における鳥類相と、周辺マトリクス領域のランドスケープ構造との関連について把握した。下総台地内と多摩丘陵内の小規模樹林各20（面積1～10ha）を対象に、鳥類種組成と樹林地周辺の地形-植生ユニットの構成間の入れ子度および植生配置形態との関連について、樹林の植生構造（植生階層多様度、高木層植生多様度、低木層被度、舗装率）とあわせて分析した。種群出現パターンの決定要因として、下総台地内（越冬期）では樹林周辺における草地からの平均最短距離および草地面積割合が、多

摩丘陵内（営巣・繁殖期）では樹林周辺における草地面積植生多様度に加えて地形-植生ユニットの構成間の入れ子度および植生タイプ多様度が挙げられ、下総台地に比べ多摩丘陵において、周辺ランドスケープ構造がより重要な要因として作用した。基本となる種群出現パターンの決定要因として、台地内・丘陵地内ともに、対象樹林の植生構造に比べて周辺ランドスケープ条件が作用し、とくに周辺の草地分布に応じて農地・草地利用集群の混在状況が変化することにより、種出現パターンが変化していると考えられた。

上記をもとに、台地・丘陵地ランドスケープ内のマトリクス環境における樹林地創出・復元シナリオに伴う対象樹林の種組成への作用を評価した。3.における5つの樹林地創出・復元シナリオによる樹林地周辺での植生環境変化の影響を適用した結果、下総台地内の都市域では、河川・水域沿いおよび農地と一体となった樹林地創出で、多摩丘陵内のマトリクスでは、農地と一体となった樹林地創出または農地樹林化によって、対象樹林の種組成の均質化への影響が大きい結果となった。このことから、小規模残存樹林周辺において、景観構成の入れ子への影響を一定範囲に抑えながら樹林地創出・復元を図ることで、均衡ある種組成の回復に寄与すると考えられた。

5. 総合考察

都市域におけるランドスケープの水平的入れ子は、広域ランドスケープスケールで景観構成と関連性が強い鳥類種群の営巣・繁殖環境成立要件として作用するとともに、台地・丘陵地ランドスケープ内において、小規模残存樹林における基本的な鳥類種組成の多様化に寄与する土地被覆セグメントの要件にもなっていた。広域的な種多様性を戦略的に保全・回復するため、既に市街化が進んだ都市領域に加えて、今後都市域の縮退等で人為的管理の低下に伴う環境の均質化が危惧される都市域において、採草地・薪炭林等の里地・里山起源の景観構成要素を、単体としてではなく、地域ごとの景観構成を保つように一体的に保全する必要がある。また、将来的な土地利用においてこれらの利用・管理を創出するとともに、その改変が不可避の際は、積極的な土地条件の修復と植生回復による景観構成要素の創出・復元を行い、基盤となるランドスケープの再整備を図ることが重要となる。

本研究では、都市域の把握スケールに応じたシナリオ評価を通じて、種組成と関連性のあるランドスケープ要件を、緑地環境整備施策の検討に直接反映させることが可能であることを示した。サイトレベルの緑地創出・復元を効果的に配置することにより、景観構成との関連性の高い種群に対してランドスケープスケールの生息環境の向上効果が期待できる。そのための立地選定において、景観構成の水平的入れ子の観測は、人為影響の大きい都市ランドスケープの中で、復元目標となり得る景観構成要素を残した都市領域を抽出するうえで有効な指標と考えられた。一方、樹林環境拡大シナリオのみでは、生物種群間または地域間で影響のトレードオフが生じる可能性も示唆され、ランドデザインにおいてランドスケープ間の均衡を図ることが重要である。そのためには、異なるスケールのランドスケープ構造の動的な関係性を明らかにするとともに、土地利用履歴に基づくランドスケープの地域的差異や社会環境要件も踏まえた施策シナリオ評価の在り方について検討することが今後の課題として挙げられた。

謝辞

本研究を進めるにあたり、多くの方々のご指導とご支援を頂いた。東京大学大学院農学生命科学研究科の武内和彦教授には、研究に対して終始ご指導頂き、基本的な研究の方向性からご指導を頂いた。同研究科の大黒俊哉准教授、山本勝利連携併任准教授には、研究の方法およびまとめ方について常に熱心にご指導を頂いた。同研究科の加藤和弘准教授には、データ分析の方法およびまとめ方について、終始懇切にご指導を頂いた。また、東京大学大学院新領域研究科の横張真教授には、主として緑地計画の観点から多くの貴重なご指導ご助言を頂いた。東京大学農学生命科学研究科緑地創成学研究室の北川淑子氏には、調査・分析から研究の方向性に至るまで多くのご助言とご支援を頂いた。東京情報大学の原慶太郎教授、武蔵工業大学環境情報学部の小堀洋美教授、フェリス学院大学国際交流学部の佐藤輝准教授には、私が本研究に着手するきっかけを与えて頂いたとともに、さまざまなご助力を頂いた。また、東京大学大学院農学生命科学研究科緑地創成学研究室の学生の皆様には、多くのアドバイスやご支援を頂いた。

株式会社地域環境計画の彦坂洋信氏、大坪瑞樹氏、伊東憲正氏には、生物調査にあたってのさまざまなアドバイスを頂いた。

清水建設株式会社技術研究所の皆様には、多くのご助言とサポートを頂いた。同研究所の藤盛紀明顧問、矢代嘉郎所長には、研究の推進に大きなご理解とご支援を頂いた。同研究所地球環境技術センターの川島実氏、那須守氏、中村健二氏、小田原卓郎氏、林豊氏をはじめとする研究員の皆様には、終始研究と業務との両立を支援して頂いた。

また、本研究の一部には、財団法人国土技術研究センターの平成 19 年度研究開発助成を使用させて頂いた。

上記の皆様方のご指導・ご支援がなければ、本研究は決して成立し得なかった。ここに記して心より御礼申し上げる。

最後に、博士課程学生としての研究と会社員としての仕事の兼業を最後まで支え励ましてくれた、妻、娘、妻のお腹の中の赤ちゃん、そして家族の皆に、限りない感謝の気持ちを残したい。

【 参考文献 】

- Angold, P.G., Sadler, J.P., Hill, M.O., Pullin, A., Rushton, S., Austin, K., Small, E., Wood, B., Wadsworth, R., Sanderson, R. and Thompson, K. (2006): Biodiversity in urban habitat patches. *Science of the Total Environment* 360, 196-204.
- Atmar, W. and Patterson, B.D. (1993): The measure of order and disorder in the distribution of species in fragmented habitat. *Oecologia* 96, 372-382.
- Atmar, W. and Patterson, B.D. (1995): The nestedness temperature calculator: a visual basic program, including 294 presence-absence matrices. AICS Research, Inc., University Park, NM and The Field Museum, Chicago, IL.
- Baatz, M. and Schäpe, A. (2000) Multiresolution segmentation: an optimization approach for high quality multiscale image segmentation. In: Strobl, J. and Blaschke, T. ed., “Angewandte Geographische Informations” verarbeitung XII, Wichmann-Verlag, Heidelberg, Germany.
- Bailey, S. (2007): Increasing connectivity in fragmented landscapes: An investigation of evidence for biodiversity gain in woodlands. *Forest Ecology and Management* 238, 7-23.
- Banfield, J. D. & Raftery, A. E. (1998): Model-based Gaussian and non-Gaussian clustering. *Biometrics* 49, 803-821.
- Benz, U.C., Hoffmann, P., Willhauck, G., Lingenfelder, I. and Heynen, M. (2004): Multi-resolution, object-oriented fuzzy analysis of remote sensing data for GIS-ready information. *ISPRS Journal of Photogrammetry & Remote Sensing* 58, 239-258.
- Blair, R.B. and Launer, A.E. (1997): Butterfly diversity and human land use: Species assemblages along an urban gradient. *Biological Conservation* 80, 113–125.
- Bolliger, J., Kienast, F., Soliva, R. And Rutherford, G. (2007): Spatial sensitivity of species habitat patterns to scenarios of land use change (Switzerland). *Landscape Ecology* 22,773-789.
- Breiman, L., Friedman, J.H., Olshen, R.A. and Stone, C.J. (1984): Classification and Regression Trees. Wadworth Co. eds., Belmont, 358 pp.
- Bruinderink, G.G, Sluis, T.V.D., Lammertsma, D., Opdam, P. and Pouwels, R. (2003): Designing a coherent ecological network for large mammals in northwestern Europe. *Conservation Biology* 17(2), 549-557.
- Burnett,C. and Blaschke, T. (2003): A multi-scale segmentation / object relationship modeling methodology for landscape analysis. *Ecological Modelling* 168, 233-249.
- Cam, E., Nichols, J.D., Hines, J.E., Sauer, J.R., Alpizar-Jara, R. and Flather, C.H. (2000): Inferences about nested subsets structure when not all species are detected. *Oikos* 91, 428-434.
- Chave, J. and Norden, N. (2007): Changes of species diversity in a simulated fragmented neutral landscape. *Ecological Modelling* 207, 3-10.
- Clergeau, P. and Burel, F. (1997): The role of spatio-temporal patch connectivity at the landscape level: an example in a bird distribution. *Landscape and Urban Planning* 38, 37-43.
- Collinge, S.K., Prudic, K.L. and Oliver, J.C. (2003): Effects of local habitat characteristics and landscape context on grassland butterfly diversity. *Conservation Biology* 17, 178-187.

- CONTUREC (2008): The Erfurt Declaration. International Conference of the Competence Network Urban Ecology (CONTUREC) “Urban biodiversity and design – Implementing the Convention on Biological Diversity in towns and cities”, Erfurt, Germany.
- Crooks, K.R., Suarez, A.V. & Bolger, D.T. (2004): Avian assemblages along a gradient of urbanization in a highly fragmented landscape. *Biological Conservation* 115, 451-462.
- Danielson, B.J. (1991): Communities in a landscape: the influence of habitat heterogeneity on the interactions between species. *American Naturalist* 138, 1105–1120.
- Debinski, D.M. (2006): Forest fragmentation and matrix effects: the matrix does matter. *Journal of Biogeography* 33, 1791-1792.
- Debinski, D.M. and Holt, R.D. (2000): A survey and overview of habitat fragmentation experiments. *Conservation Biology* 14(2), 342-355.
- Debinski, D.M., Ray, C. and Saveraid, E.H. (2001): Species diversity and the scale of the landscape mosaic: do scales of movement and patch size affect diversity? *Biological Conservation* 98, 179-190.
- Definiens A.G. (2007): Definiens Professional 5.0 Essentials Training Operating Principles and Tools; the Main Features and Algorithms. Definiens AG. eds., München, 124pp.
- De Groot, R. (2006): Function-analysis and valuation as a tool to assess land use conflicts in planning for sustainable, multi-functional landscapes. *Landscape and Urban Planning* 75, 175-186.
- Diamond, J.M. (1973): Distributional ecology of New Guinea birds. *Science* 179, 759-769.
- Donnelly, R., Marzluff, J.M. (2004): Importance of reserve size and landscape context to urban bird conservation. *Conservation Biology* 18, 733–745.
- Dover, J. and Sparks, T. (2000): A review of the ecology of butterflies in British hedgerows. *Journal of Environmental Management* 60, 51-63.
- Dunn, R. R., Gavin, M. C., Sanchez, M. C. & Solomon, J. N. (2006): The pigeon paradox: Dependence of global conservation on urban nature. *Conservation Biology* 20 (6), 1814 -1816
- Dunford, W. and Freemark, K. (2004): Matrix matters: effects of surrounding land uses on forest birds near Ottawa, Canada. *Landscape Ecology* 20, 497-511.
- Dungan, J.L., Perry, J.N., Dale, M.R.T., Legendre, P., Citron-Pousty, S., Fortin, M.J., Jakomulska, A., Miriti, M. and Rosenberg, M.S. (2002): A balanced view of scale in spatial statistical analysis. *Ecography* 25, 626-640.
- Ernault, A., Bureau, F. and Poudevigne, I. (2003): Patterns of organization in changing landscapes: implications for the management of biodiversity. *Landscape Ecology* 18, 239-251.
- Fernández-Juricic, E. (2002): Can human disturbance promote nestedness? A case study with breeding birds in urban habitat fragments. *Oecologia* 131, 269–278.
- Fernández-Juricic, E. and Jokimäki, J. (2001): A habitat island approach to conserving birds in urban landscapes: case studies from southern and northern Europe. *Biodiversity Conservation* 10, 2023-2043.
- Fischer, J. and Lindenmayer, D.B. (2005): Nestedness in fragmented landscapes: a case study on birds, arboreal marsupials and lizards. *Journal of Biogeography* 32, 1737-1750.
- Fleishman, E., Betrus, C.J., Blair, R.B., Mac Nally, R., Murphy, D.D. (2002): Nestedness analysis and conservation planning: the importance of place, environment, and life history across taxonomic groups.

- Oecologia* 133, 78–89.
- Fleishman, E., Donnelly, R., Fay, J.P. and Reeves, R. (2007): Applications of nestedness analyses to biodiversity conservation in developing landscapes. *Landscape and Urban Planning* 81, 271–281.
- Forman, R.T. (1964): Growth under controlled conditions to explain the hierarchical distribution of a moss, *Tetrapis pellucid*. *Ecological Monographs* 34, 1–25.
- Forman, R.T. (1995): Land Mosaics, The Ecology of Landscapes and Regions. Cambridge University Press eds., Cambridge, 632pp.
- Franklin, J.F. (1993): Preserving biodiversity: species, ecosystems, or landscapes? *Ecological Applications* 3, 202–205.
- Gardner, R.H., O'Neill, R.V., Turner, M.G. and Dale, V.H. (1989): Quantifying scale-dependent effects of animal movement with simple percolation model. *Landscape Ecology* 3, 217–228.
- Goodwin, B.J. and Fahrig, L. (2002): How does landscape structure influence landscape connectivity? *Oikos* 99, 552–570.
- Groves, C.R., Jensen, D.B., Valutis, L.L., Redford, K.H., Shaffer, M.L., Scott, J.M., Baumgartner, J.V., Higgins, J.V., Beck, M.W. and Anderson, M.G. (2002): Planning for biodiversity conservation: putting conservation science into practice. *BioScience* 52(6), 499–512.
- Hansen, A.J., Knight, R.L., Marzluff, J.M., Powell, S., Brown, K., Gude, P.H. and Jones, K. (2005): Effects of exurban development on biodiversity: patterns, mechanisms, and research needs. *Ecological Applications* 15(6), 1893–1905.
- 橋本啓史・村上健太郎・森本幸裕 (2005): 京都市内孤立林における樹林性鳥類の相対種数－面積関係と種組成の入れ子パターン. 景観生態学 10(1), 25–35.
- Hawkins, V. and Selman, P. (2002): Landscape scale planning: exploring alternative land use scenarios. *Landscape and Urban Planning* 60, 211–224.
- Hay, G., Marceau, D.J., Dubé, P. and Bouchard, A. (2001): A multiscale framework for landscape analysis: object-specific analysis and upscaling. *Landscape Ecology* 16, 471–490.
- Hay, G.J., Castilla, G.M., Wulder, M. A. and Ruiz, J.R. (2005): An automated object-based approach for the multiscale image segmentation of forest scenes. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation* 7, 339–359.
- 葉山嘉一 (1996): 都市緑地における鳥類の生息特性に関する研究. 造園雑誌 57(5), 229–234.
- Hemstrom, M., Merzenich, J., Reger, A. and Wales, B. (2007): Intergrated analysis of landscape management scenarios using state and transition models in the upper Grande Ronde River Subbasin, Oregon, USA. *Landscape and Urban Planning* 80, 198–211.
- 樋口広芳・塚本洋三・花輪伸一・武田宗也 (1982): 森林面積と鳥の種数の関係. *Strix* 1, 70–78.
- 平野敏明・石田博之・国友妙子 (1989): 冬季における森林面積と鳥の種数との関係. *Strix* 8, 173–178.
- Hobbs, E.R. (1988): Species richness of urban forest patches and implications for urban landscape diversity. *Landscape Ecology* 1, 141–152.
- Holzäpfer, A., Lausch, A. and Seppelt, R. (2006): Optimizing landscape configuration to enhance habitat suitability for species with contrasting habitat requirements. *Ecological Modelling* 198, 277–292.
- Huston, M. (1979): A general hypothesis of species diversity. *American Naturalist* 113, 81–101.

- 飯塚康雄・佐伯緑・藤原宣夫 (2004): 生態系ネットワーク計画のための GAP 分析. 土木技術資料 46(7), 38-43.
- 一ノ瀬友博 (2002): 公園緑地における鳥類の出現状況と公園緑地の植生及び周辺土地利用との関係に関する研究—都市域における生態的ネットワーク計画の構築のための基礎的研究—. 都市計画論文集 37, 919-924.
- 一ノ瀬友博 (2006): 大阪市中心部の街路樹と越冬期の鳥類の出現状況の関係. ランドスケープ研究 69(5), 537-540.
- 一ノ瀬友博・加藤和弘 (1994): 埼玉県所沢市の孤立樹林地における鳥類群集の分布に影響を及ぼす諸要因について. 造園雑誌 57(5), 235-240.
- 一ノ瀬友博・加藤和弘 (1996): 埼玉県所沢市の孤立樹林地における越冬期の鳥類分布と植生構造との関係について. ランドスケープ研究 59(5), 73-76.
- 一ノ瀬友博・加藤和弘 (1999): 武蔵野台地および狭山丘陵の樹林地における鳥類分布と植生の組成の関係について. ランドスケープ研究 62(5), 577-580.
- 井手任 (1992): 生物相保全のための農村緑地配置に関する生態学的研究. 緑地学研究 11, 120pp. 東京大学農学部緑地学研究室.
- 井手任・武内和彦 (1992): 広域都市圏の緑地構造と生物相保全に関する研究. 第 27 回日本都市計画学会学術研究論文集, 535～540.
- Johnson, A.R., Wiens, J.A., Milne, B.T., Crist, T.O. (1992): Animal movements and population dynamics in heterogeneous landscapes. *Landscape Ecology* 7, 63-75.
- 片桐由希子・山下英也・石川幹子 (2004): コモンデータに基づく小流域データベースの作成と緑地環境評価の手法に関する研究. ランドスケープ研究 67(5), 793-798.
- 片桐由希子、山下英也、石川幹子 (2005): 流域の水循環に視点を置いた小流域の緑地環境の変化に関する研究. ランドスケープ研究 68(5), 913-918.
- 加藤和弘 (1996): 都市緑地内の樹林地における越冬鳥類と植生構造の関係. 造園雑誌, 59(5)77-80.
- 鎌形哲稔・原慶太郎・赤松幸生・森大・李雲慶・星野義延 (2005): オブジェクト指向分類による植生図作成手法の提案. 2005 年度日本写真測量学会秋季学術講演会, 81-84.
- 環境省自然保護局・アジア航測株式会社 (1999): 第 5 回自然環境保全基礎調査植生調査報告書 植生メッシュデータ作成及び全国とりまとめ業務 (第 6 回植生調査手法の検討, 統一凡例の考え方). 99pp.
- Kozakiewicz, M. and Kanopka, J. (1991): Effect of habitat isolation on genetic divergence of bank vole populations. *Acta Theriologica* 36, 363-367.
- Lasanta, T., González-Hidalgo, J.C., Vicente-Serrano, S.M. and Sferi, E. (2006): Using landscape ecology to evaluate an alternative management scenario in abandoned Mediterranean mountain areas. *Landscape and Urban Planning* 78, 101-114.
- Lee, J.T. and Thompson, S. (2000): Targeting sites for habitat creation: an investigation into alternative scenarios. *Landscape and Urban Planning* 71, 17-28.
- 李承恩・盛岡通・藤田壮 (1999): 都市域におけるビオトープの連続性評価及びエコロジカルネットワークの形成に関する研究. 環境システム研究 27, 285-292.
- Lindenmayer, D.B. and Fischer, J. (2006): Nestedness and Community Assembly. In: Lindenmayer, D. B.

- and Fischer, J. (eds), *Habitat Fragmentation and Landscape Change*. Island Press, Washington DC, pp. 133-141 ,
- Lloyd, P., Martin, T.E., Redmond, R.L., Langner, U. and Hart, M.M. (2005): Linking demographic effects of habitat fragmentation across landscapes to continental source-sink dynamics. *Ecological Applications* 15(5), 1504-1514.
- Mackey, B.G. and Lindenmayer, D.B. (2001): Towards a hierarchical framework for modelling the spatial distribution of animals. *Journal of Biogeography* 28, 1147-1166.
- Mac Nally, R., Fleishman, E., Bulluck, L.P. and Betrus, C.J. (2004): Comparative influence of spatial scale on beta diversity within regional assemblages of birds and butterflies. *Journal of Biogeography* 31, 917-929.
- 松井健・武内和彦・田村俊和編 (1997): 丘陵地の自然環境－その特性と保全－. 古今書院, 東京, 202pp.
- McDonnell, M.J. and Pickett, S.T.A. (1990): Ecosystem structure and function along urban-rural gradients: an unexploited opportunity for ecology. *Ecology* 71, 1232-1237.
- Melles, S., Glenn, S., and Martin, K. (2003): Urban bird diversity and landscape complexity: Species–environment associations along a multiscale habitat gradient. *Conservation Ecology* 7, 5(online: <http://www.consecol.org/vol7/iss1/art5/>).
- Miller, J.R. (2005): Biodiversity conservation and the extinction of experience. *TRENDS in Ecology and Evolution* 20(8), 430-434.
- 森本豪・加藤和弘 (2005): 緑道による都市公園の連結が越冬期の鳥類分布に与える影響. *ランドスケープ研究* 68(5), 589-592.
- 森田健吾・葉山嘉一 (2000): 丘陵地の植生が繁殖期の鳥類に及ぼす影響について. *ランドスケープ研究* 63, 505-508.
- 村井英紀・樋口広芳 (1988): 森林性鳥類の多様性に影響する諸要因. *Strix* 7, 83-100.
- Murphy, D.D. and Noon, B.R. (1992): Integrating scientific methods with habitat conservation planning: reserve design for northern spotted owls. *Ecological Applications* 2, 3-17.
- Murphy, H.T. and Lovett-Doust, J. (2004): Context and connectivity in plant metapopulations and landscape mosaics: does the matrix matter ? *Oikos* 105, 3-14.
- 長濱庸介・佐伯緑・松江正彦・大村径 (2006): エコロジカルネットワーク計画のための生息地予測モデルとシナリオ分析の検討. *土木技術資料* 48(1), 48-53.
- 中津弘・前中久行・夏原由博 (2004): ラインセンサスを通してみた京阪奈丘陵の鳥類と里地・里山の景観構造との関係. *ランドスケープ研究* 67, 487-490.
- Olf, H. and Ritchie, M.E. (2002): Fragmented nature: consequences for biodiversity. *Landscape and Urban Planning* 58, 83-92.
- O'Neill, R.V., Krummel, J.R., Gardner, R.H., Sugihara, G. and Jackson, B., DeAngelis D.L., Milnes B.T., Turner M.G., Zygmunt B., Christensen S.W., Dale V.H. and Graham R.L. (1988): Indices of landscape pattern. *Landscape Ecology* 1, 153-162.
- Opdam, P., Steingröver, E. and Rooij S.V. (2006): Ecological networks: A spatial concept for multi-actor planning of sustainable landscapes. *Landscape and Urban Planning* 75, 322-332.

- Pacala, S.W. and Roughgarden, J. (1982): Spatial heterogeneity and interspecific competition. *Theoretical Population Biology* 21, 92–113.
- Pardini, R., de Souza, S.M., Braga-Neto, R. and Metzger, J.P. (2005): The role of forest structure, fragment size and corridors in maintaining small mammal abundance and diversity in an Atlantic forest landscape. *Biological Conservation* 124, 253-266.
- Patterson, B.D. and Atmar, W. (1986): Nested subsets and the structure of insular mammalian faunas and archipelagos. *Biological Journal of Linnean Society* 28, 65-82.
- Patterson, B.D. (1987): The principle of nested subsets and its implications for biological conservation. *Conservation Biology* 1, 323–334.
- Rice, K. (1992): Theory and conceptual issues. *Agriculture, Ecosystems & Environment* 42, 9-26.
- Pickett, S.T.A. and White, P.S. (1985): The ecology of natural disturbance and patch dynamics. Academic Press, 472pp.
- Pickett, S.T.A. and Cadenasso, M.L. (1995): Landscape ecology: spatial heterogeneity in ecological systems. *Science* 269, 331–334.
- Ricketts, T. H. (2001): The matrix matters: effective isolation in fragmented landscapes. *American Naturalist* 158, 87-99.
- Rosenberg, D.K., Noon, B.R. and Meslow, E.C. (1997): Biological corridors: form, function and efficacy. *BioScience* 47, 677-687.
- Rustigian, H.L., Santelmann, M.V. and Schumaker, N.H. (2003): Assessing the potential impacts of alternative landscape designs on amphibian population dynamics. *Landscape Ecology* 18, 65-81.
- Savard, J.L., Clergeau, P. and Mennechez, G. (2000): Biodiversity concepts and urban ecosystems. *Landscape and Urban Planning* 48, 131-142.
- Sexton, W.T., Dull, C. W. and Szaro, R.C. (1998): Implementing ecosystem management: a framework for remotely sensed information at multiple scales. *Landscape and Urban Planning* 40, 173-184.
- Sklenička, P. and Lhota, T. (2002): Landscape heterogeneity – a quantitative criterion for landscape reconstruction. *Landscape and Urban Planning* 58, 147-156.
- Smith, G.M. and Wyatt, B.K. (2007): Multi-scale survey by sample-based field methods and remote sensing: A comparison of UK experience with European environmental assessments. *Landscape and Urban Planning* 79, 170-176.
- Swenson, J.J. and Franklin, J. (2000): The effects of future urban development on habitat fragmentation in the Santa Monica Mountains. *Landscape Ecology* 15, 713-730.
- Swetnam, R.D., Ragou, P., Firbank, L.G., Hinsley, S.A. and Bellamy, P.E. (1998): Applying ecological models to altered landscapes – Scenario testing with GIS. *Landscape and Urban Planning* 41, 3-18.
- 武内和彦 (1991): 地域の生態学. 朝倉書店, 254pp.
- 武内和彦・吉岡慎一 (1982): 東京大都市地域の宅地開発に伴う地形改変. 総合都市研究 15, 49-58.
- 武内和彦・興水肇・田村俊和・宮城豊彦 (1986): 丘陵地の土地自然特性と開発にともなう自然潜在力の変化. 造園雑誌 50(5), 125-130.
- 武内和彦・鷲谷いづみ・恒川篤史編 (2001): 里山の環境学. 東京大学出版会, 257pp.
- Taylor, P.D., Fahrig, L., Henein, K. and Merriam, G. (1993): Connectivity is a vital element of landscape

- structure. *Oikos* 68, 571-573.
- 東京都公害局編 (1980): 東京都鳥類繁殖調査報告書 (昭和 48 年～昭和 53 年). 財団法人日本野鳥の会発行, 107pp.
- 東京都環境保全局編 (1998): 東京都鳥類繁殖状況調査報告書 (平成 5～9 年度). 108pp.
- 植田睦之・加藤和弘・松野葉月・黒沢令子・成末雅恵 (2004): 東京の鳥類相の変化とその要因. *Strix* 22, 1-20.
- 鵜川健也・加藤和弘 (2007): 都市域の鳥類群集に影響する要因に関する研究の現状と課題. *ランドスケープ研究* 70(3), 299-308.
- 鵜川健也・加藤和弘 (2007): 都市域の樹林地および樹林地を取り巻く区間の環境条件と鳥類群集の関係. *ランドスケープ研究* 70(5), 487-490.
- United Nations (2006): *World Urbanization Prospects The 2005 Revision*. United Nations Publications, New York, 196pp.
- United Nations University Institute of Advanced Studies (UNU/IAS) (2003): *Urban Ecosystem Analysis - Identifying Tools and Methods* -. UNU/IAS, Tokyo, 17pp.
- 臼田裕一郎・渡部展也・福井弘道・李雲慶 (2003): Object-Oriented Classification における Image Segmentation の最適化に関する検討. 2003 年度日本写真測量学会年次学術講演会, 125-128.
- 若松加寿江・久保純子・松岡昌志・長谷川浩一・杉浦正美 (2005): 日本の地形・地盤デジタルマップ. 東京大学出版会. (製品シリアル番号: JEGM0001)
- Waldhardt, R., Simmering, D. and Otte, A. (2004): Estimation and prediction of plant species richness in a mosaic landscape. *Landscape Ecology* 19, 211-226.
- Walz, A., Lardelli, C., Behrendt, H., Grêt-Regamey, A., Lundström, C., Kytzia, S. and Bebi, P. (2007): Participatory scenario analysis for integrated regional modeling. *Landscape and Urban Planning* 81, 114-131.
- Wamelink, G.W.W., ter Braak, C.J.F. and van Dobben, H.F. (2003): Changes in large-scale patterns of plant biodiversity predicted from environmental economic scenarios. *Landscape Ecology* 18, 513-527.
- Wethered, R. and Lawes, M.J. (2003): Matrix effects on bird assemblages in fragmented Afriomontane forests in South Africa. *Biological Conservation* 114, 327-340.
- Willis, K.J. and Whittaker, R.J. (2002): Species diversity – Scale matters. *Science* 295, 1245-1248.
- Wollenberg, E., Edmunds, D. and Buck, L. (2000): Using scenarios to make decisions about the future: anticipatory learning for the adaptive co-management of community forests. *Landscape and Urban Planning* 47, 65-77.
- Wright, D.H., Patterson, B.D., Mikkelsen, G.M., Cutler, A. and Atmar, W. (1998): A comparative analysis of nested subset patterns of species composition. *Oecologia* 113, 1-20.
- Wright, D.H. and Reeves, J.H. (1992): On the meaning and measurement of nestedness of species assemblages. *Oecologia* 92, 416-428.
- Wu, J. (1997): Hierarchy and scaling: extrapolating information along a scaling ladder. *Canadian Journal of Remote Sensing* 25, 367-380.
- Wu, J. and Vankat J.L. (1991): An area-based model of species richness dynamics of forest island. *Ecological Modelling* 58, 249-271.

- Wu, J. and David, J.L. (2002): A spatially explicit hierarchical approach to modeling complex ecological systems: theory and applications. *Ecological Modelling* 153, 7-26.
- 山下英也、片桐由希子、石川幹子 (2005): 小流域を単位とした緑地保全地域の分析に関する研究. 鎌倉市滑川流域を事例として. 都市計画論文集 40(3), 865-870.
- 山本勝利 (2000): 里地におけるランドスケープ構造と植物相の変容に関する研究. 農業環境技術研究所報告 20, 1-105.
- 横田樹広 (2007): 2 時期 ALOS-AVNIR2 データを用いたオブジェクト指向分類による都市緑地景観分析の検討. 2007 年度日本写真測量学会全国大会発表論文集, 201-204.
- 横田樹広・伴武彦・上杉章雄・栗原彰子・中野雅美・松岡明彦 (2006): 複数種を対象とした HEP による環境影響評価方法の研究－里山生態系を対象としたケーススタディー. 環境アセスメント学会 2006 年度研究発表会要旨集, 47-52.
- 横田樹広・武内和彦 (2006): 高解像度都市緑被モニタリングによる都市内小規模緑被の分布把握とチョウ類を指標とした生態系ネットワーク機能の評価. 都市計画論文集 41(3), 361-366.
- Yokota, S. and Takeuchi, K. (2006): Study on the relationship between landscape characteristics of fragmented urban green spaces and distribution of urban butterflies – Application of object-based satellite image analysis-. In Lang, S., Blaschke, T. and Schöpfer, E. eds.. Proceedings of 1st International Conference on Object-based Image Analysis, Salzburg University, Austria.
- 横田樹広・伴武彦・青島正和・磯田真紀・佐口利一・則行雅臣・吉田馨 (2008): 戦略的環境アセスメント (SEA) における HEP 活用可能性に関する検討. 環境アセスメント学会 2006 年度研究発表会要旨集, 187-192.
- 横田樹広・小田原卓郎・米村惣太郎・那須守・南基泰・上野薫・愛知真木子・寺井久慈 (2008): 土岐川・庄内川流域における種多様性ポテンシャルおよび湧水湿地指標種の生息適地の評価. 日本緑化工学会・日本景観生態学会・応用生態工学会合同大会 ELR2008 福岡 講演要旨集, 40.
- Yokohari, M., Takeuchi, K., Watanabe, T. and Yokota, S. (2000): Beyond greenbelts and zoning: a new planning concept for the environment of Asian mega-cities. *Landscape and Urban Planning* 47, 159-171.
- Zebisch, M., Wechsung, F. and Kenneweg, H. (2004): Landscape response functions for biodiversity - assessing the impact of land-use changes at the county level. *Landscape and Urban Planning* 67, 157-172.
- Ziv, Y. (1998): The effect of habitat heterogeneity on species diversity patterns: a community-level approach using an object-oriented landscape simulation model (SHALOM). *Ecological Modelling* 111, 135-170.

【参考ホームページ】

環境省自然環境情報 GIS Web サイト : http://www.biodic.go.jp/kiso/gisddl/gisddl_f.html
 国土交通省国土数値情報ダウンロードサービス Web サイト : <http://nlftp.mlit.go.jp/ksj/>