

博士学位論文

広域的な観点からの透水面分布の 空間特性に関する分析手法の開発と応用

Development and Applications of a Method for Analyzing the Spatial
Feature of Pervious Surface Distributions on a Regional Scale

2016 年

摂南大学大学院
工学研究科 創生工学専攻
植松 恒

目次

	頁
第1章 序論	
1. 1 研究の背景	1
1. 2 研究の目的	2
1. 3 研究の範囲	3
1. 4 研究の構成	5
1. 4. 1 研究の流れ	5
1. 4. 2 論文の構成	6
第2章 既往の研究調査と本研究の特徴	
2. 1 既往の研究の整理	10
2. 2 本研究の特徴	12
2. 2. 1 透水面分布の空間的な連なりの抽出手法の開発	12
2. 2. 2 気象観測データを用いた抽出箇所の特徴の把握	12
2. 2. 3 透水面分布の規模に応じた広域分析の検討	12
2. 2. 4 植生分布の空間的な連なりの変遷の分析	12
第3章 透水面分布の空間的な連なりの抽出手法の開発	
3. 1 対象領域および対象データについて	14
3. 1. 1 対象領域の選定	14
3. 1. 2 対象データの選定	14
3. 2 衛星データを用いた透水面分布の推定	15
3. 2. 1 混合スペクトル分析を用いた透水面分布の推定	15
3. 2. 2 エンドメンバーの選定	17
3. 2. 3 透水面率の算出	19
3. 2. 4 推定精度の検証	19
3. 3 空間的な位置関係を考慮した透水面分布の連なりの抽出	21
3. 3. 1 空間的自己相関分析の適用	22
3. 3. 2 SSCの作成とその活用方法について	24
3. 3. 3 透水面分布の空間的な連なりの抽出	26
3. 3. 4 透水面軸の選定	33
3. 4 透水面軸の近傍と遠方との土地被覆状態の比較	35
3. 5 気象観測データを用いた透水面軸の検証	38
3. 5. 1 気象観測データの選定	39
3. 5. 2 夜間における透水面軸が有する冷却効果の調査	39
第4章 透水面分布の規模に応じた広域分析の検討	
4. 1 対象領域および対象データについて	44
4. 2 透水面分布の規模に応じた空間的な連なりの抽出	46
4. 2. 1 透水面分布の規模に応じた広域分析の考え方	46
4. 2. 2 透水面率の算出	46
4. 2. 3 規模別の透水面軸の選定	46
4. 3 透水面分布の規模ごとに抽出した透水面軸の特性の把握	52
4. 3. 1 土地被覆状況の調査	52
4. 3. 2 抽出箇所の夜間気温との比較	54
4. 3. 3 抽出箇所の周辺における透水面分布の構成について	56

第5章	植生分布の空間的な集積状態とその変遷の把握	
5.1	対象領域および対象データについて	63
5.2	植生分布の空間的な連なりの抽出	64
5.2.1	植生分布を対象とした広域分析の考え方	64
5.2.2	植生分布の空間的な分布状態の把握	65
5.2.3	植生分布変移軸の選定	73
5.3	植生分布の空間的な連なりの変遷の把握	73
5.3.1	2時期での植生の分布状態の比較	73
5.3.2	植生分布変移軸の抽出箇所の特徴	77
5.3.3	植生群の推定結果による比較	81
第6章	結論	
6.1	研究の成果	85
6.2	今後の展望	87
参考文献		89
謝辞		93

第1章 序論

1. 1 研究の背景

わが国の人口は、1960年の時点から2010年のピーク時まで約3400万人増加した¹⁾。モータリゼーションの進展も相まって、国内の市街地はこの増加に対応するために郊外へと拡大してきた。現在では人口減少の局面に入り、今後30年間で約2割程度の人口減少が見込まれている。特に15歳から64歳の生産年齢人口は約3割程度減少すると推測される²⁾。少子高齢化社会を迎えつつあるなかで、施設や住居等がまとまって立地し、公共交通によって施設等にアクセスできる多極ネットワーク型コンパクトシティの実現へ向けた施策が立てられてきている³⁾。

コンパクトシティは、20世紀後半に環境問題が深刻化した欧州連合を中心として提起された持続可能な都市モデルの概念である。持続可能な都市発展を実現するには、既存の開発地や既存建物の再利用、緑地の保全、田園や自然の保存などエコロジカルな方法により都市をコンパクトな形に再生することが求められている⁴⁾。

その一方で、少子高齢化やコンパクトシティにより増加の見込まれる空き地などといったオープンスペースの扱いについては問題点が不明確であるなど、議論の余地は多い⁵⁾。近年では自然環境が有する機能を利用し、社会基盤の一つとして活用する、グリーンインフラストラクチャー（以降、グリーンインフラと呼ぶ）の整備が注目されている^{6),7)}。今後、増加が予想されるオープンスペースをグリーンインフラとして戦略的に活用していく必要がある。

グリーンインフラとしての活用が要請されている対象として、ヒートアイランド現象がある⁶⁾。オープンスペースのなかでも緑地などの自然的な土地被覆面である透水面は蒸発散機能を有しており、市街地に比べて気温を低く保つとともに、透水面が分布する地域の周辺にまで気温の低減効果をもたらすことが知られている^{8),9)}。日中は、葉の生い茂った木々が日差しを遮るため、樹林地で温度が低く保たれる。夜間では、放射冷却により、天空率の高い芝生地で温度が低く保たれる傾向が確認されている^{10),11)}。透水面の蒸発散機能や放射冷却機能の活用がヒートアイランド対策に期待されているものの、現状の都市の過密状態では透水面を面的、かつ、十分な面積で確保することは難しい。一方、透水面が空間的に連なることで気温の低減効果が高まるなど¹²⁾、空間的な分布状態によっては透水面の機能が効果的にもたらされることが期待できる。さらに、透水面分布の空間的な連なりは、ヒートアイランド対策にとどまらず、生態系の維持などにも寄与することが知られている¹³⁾。

一般に、透水面分布の空間的な連なりは、都道府県広域緑地計画などでの「みどりの将来像図」において緑のネットワークとして取り決められている¹³⁾。その一方で、ネットワークを構成する基となるのは、道路や河川といった都市施設であることが多く、必ずしも透水面分布そのものが反映されたものではない。都市全体の透水面の分布状態から空間的な連なりを抽出する分析手法の開発が望まれている。

これまでも地理データや航空写真、地球観測衛星データ（以降、衛星データと呼ぶ）を基に透水面分布の空間的な連なりを抽出・分析した試みがある¹⁴⁾⁻¹⁶⁾。しかし、現在においても分析手法の確立には至っておらず、分析結果を実際の都市政策に活用する試みもこれまでほとんどみられない。

透水面分布が有する冷却効果については、新宿御苑や皇居などその地域を代表する透水面分布を対象に、現地計測からその効果が確認されている^{9),17)}。都市に存在する透水面分布の空間的な連なりを広範囲から把握した上で、周辺地域に対する冷却効果を明らかにできれば、今後の都市整備に対するヒートアイランド対策の面からの新たな指針を提示できる可能性がある。

都市政策の評価や修正には、都市の状況を長期間にわたって広域的にモニタリングすることが望まれる。特に空間分布の特性に着目した分析手法を確立することによって、将来の都市像を想定した透水面の配置計画に対して策定根拠が示されることになり、戦略的な新たなアプローチへと展開していくことも期待できる。

1. 2 研究の目的

将来の都市整備に対して具体的な施策を立てていくなかで広域的な視点の必要性が指摘されている。これからの将来の状況において都市が持続可能な発展を遂げていくには、自然環境を含めた都市機能を広域のネットワークとして捉えていくことが望まれている。その一方で、空間的な連なりを有する透水面分布については広域的な観点からその位置づけを明確にした例はみられない。都市に存在する透水面分布の空間的な連なりを広域から把握した上で、その特性を明らかにする必要がある。本研究では、透水面分布の空間的な連なりを広域から抽出する新たなアプローチを提案するとともに、得られる結果が今後の都市整備計画策定への支援情報として有用であることを示す。具体的な目的は以下の4点である。

(1) 衛星データを用いた透水面分布の空間的な連なりの広域分析手法の開発

広域の透水面分布の把握には衛星データの利用が望まれる。衛星データの特徴として、「同時性」と「広域性」があげられる。例えば、Landsat-7ETM+データでは約185kmの観測幅をほぼ同時に、均一な精度で取得が可能である。本研究では衛星データを利用して広域の透水面分布の把握する。一方、都市内に散在して分布する透水面を広域からの空間的な連なりとして抽出する分析手法が望まれる。本研究では、空間的自己相関分析を応用することで、透水面分布が空間的に連なる箇所を透水面軸として抽出する広域分析手法を開発する。

(2) 気象観測データを用いた抽出結果の特性の分析

これまでに、静穏な夜間において透水面分布が周辺地域の気温を低減させる効果が確認されている^{9),10)}。本研究では、広域分析手法から得られた抽出箇所と気象観測データの夜間における気温との比較を通じて、抽出結果がヒートアイランド対策としての支援情報として有用であることを示す。

(3) 透水面分布の規模に応じた広域分析の検討と抽出結果の特性の整理

透水面が有する気温の低減効果は個々の透水面の規模に依存する傾向がある^{9),16),17)}。ヒートアイランド対策を想定した都市整備を行う上で、透水面の規模と冷却効果との関係を明らかにすることは避けて通れない課題である。本研究では、精緻な土地被覆データを基に規模の条件を設定した透水面軸を抽出する。規模の条件ごとの抽出箇所と夜間気温との関連性の検証から、透水面軸の特性を明らかにする。

(4) 観測時期の異なる衛星データを用いた植生分布の空間的な連なりの変遷の分析

将来の都市像を想定した透水面の配置計画の策定には、都市構造の変化とともに透水面分布の集積や分断、さらにはネットワークの形成状態の変遷もモニタリングする必要がある。

る。本研究では、透水面分布のなかでも特に開発等の影響を受けやすく、長期的なモニタリングが求められる植生分布を対象に、観測時期の異なる衛星データを用いて空間的な分布状態の変遷を分析する。

1. 3 研究の範囲

都市域を対象とした透水面分布の把握には、空間分解能が 10m 以上から 100m 以下の中分解能、かつ、複数の波長帯を持つ衛星データが利用されている¹⁸⁾。本研究では大阪府全域を対象とすることから Landsat-7 ETM+データ（空間分解能 30m×30m）を採用する。

都市における透水面はさまざまな空間パターンで分布する。地域パターンを探索するための空間分析手法として、ローカルな空間的自己相関分析がある。本研究では、ローカルな空間的自己相関分析を応用することで、都市内の透水面分布の空間的な連なりを透水面軸として抽出する手法を開発する。

都市内の透水面は、環境保全や防災、景観など重要な機能を有している¹³⁾。本研究では透水面が有する周辺地域への冷却効果に着目し、開発した手法から抽出される透水面軸の特性を明らかにする。検証には気象観測データの夜間における気温を使用する。精緻な土地被覆データを用いて、透水面分布の規模ごとに抽出された透水面軸と気温との関係を調査し、透水面分布の規模ごとに特性を整理する。

開発した分析手法の長期間のモニタリングへの適用については、対象領域を大阪府の北部地域に絞った上で、観測時期の異なる 2 時期の衛星データを使用し、植生分布と都市整備との関係を空間的な分布状態の面から明らかにする。表-1.3.1 に研究の範囲を示し、以下に詳細を述べる。

(1) 研究主題

研究主題は、以下の 3 点である。1 点目は「透水面分布の空間的な連なりの抽出手法の開発（第 3 章）」である。本研究では、広範囲の透水面分布を衛星データから推定した上で、透水面軸を広域から抽出する分析手法を提案する。分析手法から得られた結果と気象観測データの夜間気温との比較を通じて、透水面軸の特徴を透水面分布が有する冷却効果の面から明らかにする。

表-1.3.1 研究の範囲

研究主題	検討細目	対象データ	対象領域
透水面分布の空間的な連なりの抽出手法の開発(第3章)	衛星データによる透水面分布の空間的な連なりの抽出	Landsat ETM+データ (2000年8月25日観測)	大阪府全域
	気象観測データを用いた抽出箇所の検証	AMeDASデータ, 大気汚染常時監視測定局データ	ヒートアイランド優先対策地域
透水面分布の規模に応じた広域分析の検討(第4章)	空間的に連なった透水面分布の規模と気温との検証	みどりの分布図データ (大阪府環境農林水産部提供)	
植生分布の空間的な集積状態とその変遷の把握(第5章)	植生分布の空間的な変遷の分析	Landsat ETM+データ (2000年8月25日観測) Landsat OLIデータ (2013年7月20日観測)	大阪府北部地域 (30km×25km)

2点目は、「透水面分布の規模に応じた広域分析の検討（第4章）」である。精緻な土地被覆データを基に、透水面の規模の下限値ごとに整備した透水面分布データを開発した分析手法に適用することで、透水面分布の規模ごとの透水面軸を抽出する。さらに、気象観測データの夜間気温を用いて、抽出結果の特徴を透水面分布の規模ごとに比較し、知見を取りまとめる。

3点目は「植生分布の空間的な集積状態とその変遷の把握（第5章）」である。本研究では、観測時期の異なる2時期の衛星データを採用した上で、都市整備の影響を植生分布の空間的な集積状態の推移から分析する。

（2）検討細目

検討細目は、3章では衛星データを混合スペクトル分析に適用し、広域の透水面分布を推定した上で、ローカルな空間的自己相関分析であるG統計量を応用した手法から透水面軸を抽出する「衛星データによる透水面分布の空間的な連なりの抽出」と、気象観測データの夜間気温を用いて抽出箇所の特性を調査する「気象観測データを用いた抽出箇所の検証」とした。4章では、精緻な土地被覆データを用いて透水面分布の規模ごとの連なりを抽出し、その特性を分析する「空間的に連なった透水面分布の規模と気温との検証」と設定した。5章では、観測時期の異なる衛星データから植生分布の空間的な連なりを抽出し、経年の変化を分析する「植生分布の空間的な変遷の分析」とした。

（3）対象データ

3章では、2000年8月25日観測のLandsat-7 ETM+データ（空間分解能30m×30m）を採用した上で、透水面軸を抽出した。気象観測データを用いた検証では、AMeDAS（Automated Meteorological Data Acquisition System）データと大気汚染常時観測局の一般測定局の観測データ（大阪府環境農林水産総合研究所提供）を採用した。ただし、既往調査結果に基づき、一般測定局については室外機や冷却塔など気温データへの局所的な影響が懸念される測定局のデータはあらかじめ除いている¹⁹⁾。4章では、精緻な土地被覆データとして、みどりの分布図データ（空間分解能1m×1m：大阪府環境農林水産部提供）を採用した。みどりの分布図データは大阪府の自然環境に資することを目的として、「樹林」や「草地」、「農地」、「裸地」、「水面」の項目別に定めた画像データである。みどりの分布図データは2002年10月17日および2002年11月7日に撮影された航空写真を目視判読することにより作成されている。抽出結果の気温との検証は3章と同様のAMeDASデータと大気汚染常時観測局データを使用した。5章では、2000年8月25日観測のLandsat-7 ETM+データと2013年7月20日観測のLandsat-8 OLIデータ（いずれも空間分解能30m×30m）の2時期の衛星データを用いて植生分布の空間的な分布状態の変遷を分析した。

（4）対象領域

3章の「衛星データによる透水面分布の空間的な連なりの抽出」では、対象領域を大阪府全域と設定した。大阪府は北摂山系や金剛生駒山系、和泉葛城山系に囲まれているとともに、淀川や大和川といった河川が都心部を縫うように大阪湾へと流れており、大規模な透水面や水面が周囲や中央部に存在する。大阪府では「大阪府ヒートアイランド対策推進計画」を策定し、総合的な対策を中長期的な視点で実施している²⁰⁾。3章の「気象観測データを用いた抽出箇所の検証」および4章での「空間的に連なった透水面分布の規模と気温との検証」では、ヒートアイランドの影響が顕著である都市部を対象とすることから、大阪府が指定す

るヒートアイランド優先対策地域に対象領域を絞り込んでいる。5章は、対象領域として大阪府北部(30km×25km)を選定した。大阪府北部は大阪府中心部のベッドタウンとして発達し、豊かな自然をあわせ持つ地域であり、植生が多様な形態で分布している。その一方で、近年では中心市街地の再開発や郊外のニュータウン型の開発、高速道路の建設が進められており、都市整備の活発な地域でもある。

1. 4 研究の構成

1. 4. 1 研究の流れ

図-1.4.1 に研究の流れをまとめた。図-1.4.1 に示した番号①～⑨に沿って、以下に詳細を述べる。

- ① 既往の文献調査：都市内の透水面分布を把握する手法や空間的な連なりの抽出手法に関する既往の文献から問題点や課題を調査・整理し、本研究で扱う範囲を明確にする。次の②～④は「透水面分布の空間的な連なりの抽出手法の開発（第3章）」に該当する。
- ② 混合スペクトル分析を用いた透水面分布の推定：2000年8月25日観測のLandsat-7 ETM+データを混合スペクトル分析に適用し、大阪府全域の透水面の分布状態を推定する。
- ③ 透水面分布の空間的な連なりの抽出：Landsat-7 ETM+データから得られた透水面分布の推定結果に空間的自己相関分析を適用した上で、地形解析の1つであるHydrology Modeling（以降、水系網解析と呼ぶ）を応用することにより透水面分布の連続箇所を抽出する。ヒートアイランド現象の核となる都市中心部から冷却効果が期待できる郊外部や海域まで連なる透水面分布の連続箇所を透水面軸と定義し、選定する。
- ④ 気象観測データを用いた抽出結果の検証：気象観測データの夜間気温を用いて抽出した透水面軸を検証する。
- ⑤と⑥は「透水面分布の規模に応じた広域分析の検討（第4章）」に該当する。
- ⑤ 透水面分布の規模に応じた透水面軸の抽出：精緻な土地被覆データに基づき、透水面の規模の下限値ごとに透水面分布データを整備する。規模ごとの透水面分布データを広域分析に応用し、透水面分布の規模別の透水面軸を抽出する。
- ⑥ 空間的に連なった透水面分布の規模と気温との関連性の調査：気象観測データを用いて規模ごとの透水面軸を検証し、空間的に連なった透水面の規模と気温との関連性を明らかにする。
- ⑦と⑧は「植生分布の空間的な集積状態とその変遷の把握（第5章）」に該当する。
- ⑦ 2 時期の衛星データを用いた植生分布変移軸の抽出：2 時期の衛星データからNDVI（Normalized Difference Vegetation Index：正規化植生指数）を算出する。NDVIを植生被覆量の代替値として採用した上で、植生被覆量の多い箇所から少ない箇所へと連なる植生分布を植生分布変移軸と定義し、選定する。
- ⑧ 植生分布の空間的な分布状態の変遷の分析：2 時期での植生分布の集積状態と植生分布変移軸を比較することで、植生分布変移軸の変遷を分析する。
- ⑨ 研究の成果のまとめおよび今後の展望の整理：本研究で得られた結果をまとめるとともに、今後の展望について整理する。

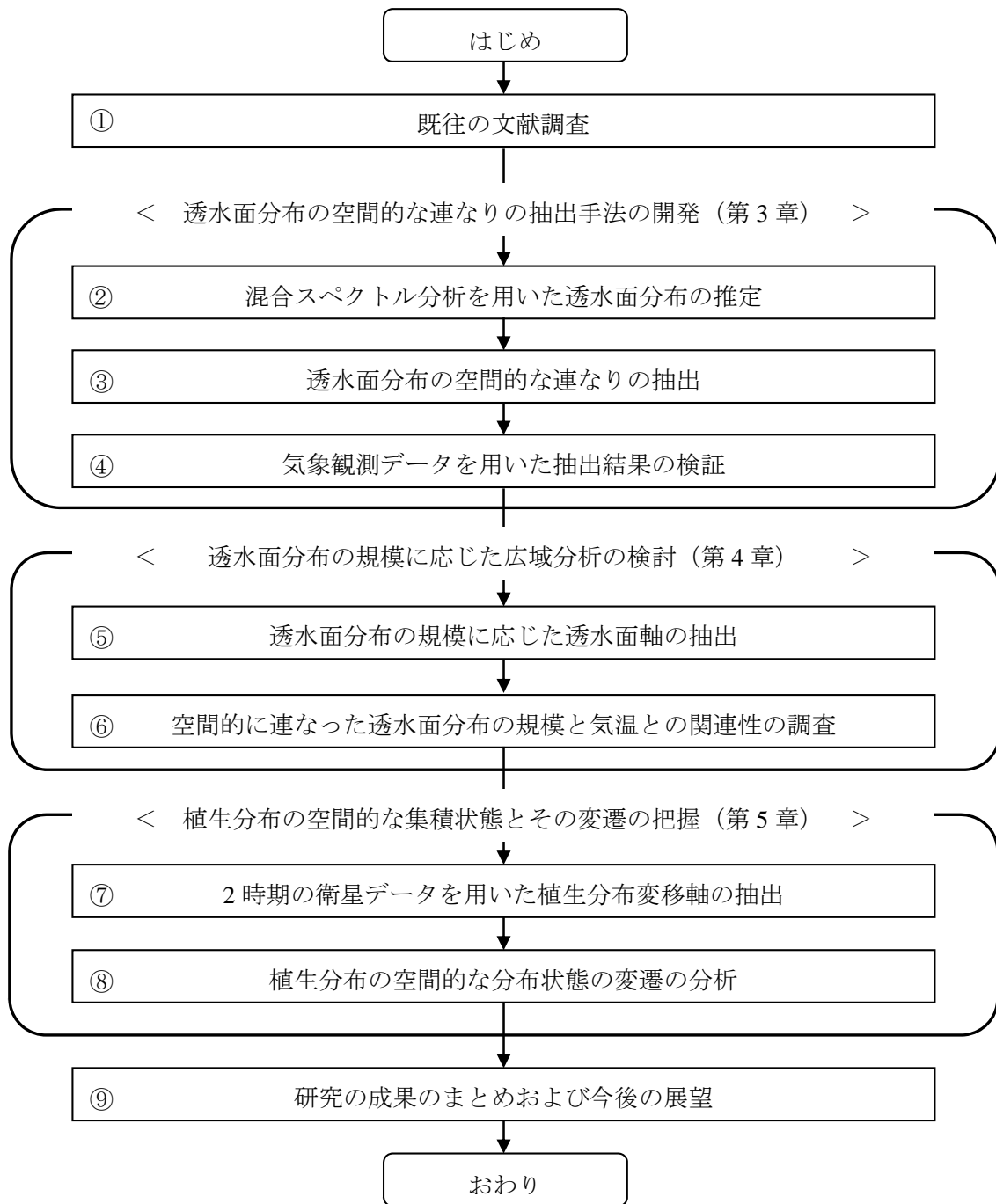


図-1.4.1 本研究の流れ

1. 4. 2 論文の構成

本論文は以下に示す6つの章から構成されている。

第1章では、本研究の背景と目的を整理し、研究の範囲および構成について記述した。

第2章では、透水面分布の分析や空間的な連りの抽出手法に関する研究の現状を述べるとともに、本研究の意義を述べた。

第3章では、衛星データから透水面軸を抽出するとともに、気象観測データを用いて透水面軸を検証した。

3.1 節では、3 章での対象領域と使用データについて述べた。広域的に透水面分布を把握することから、対象領域を大阪府全域とした。使用データは、大阪府を含む約 185km 四方を 1 シーンとして同時に観測できることから、2000 年 8 月 25 日観測の Landsat-7 ETM+ データを採用した。前処理として、ERDAS IMAGINE8.6 の ATCOR3 を使用した大気補正処理を実施し、DN 値を反射率に変換した後、幾何補正を行っている。本研究では Landsat-7 ETM+ データを幾何補正した際に生じた位置誤差の影響を除くために、注目する画素を中心とする周辺 3 画素×3 画素の値を平均化している。

3.2 節では、混合スペクトル分析を用いた透水面分布の推定手法とその推定結果について述べた。衛星データを Minimum Noise Fraction (以降、MNF と呼ぶ) 法に適用した結果を参考に、植生面・土壌面・ハイアルベド面 (コンクリート構造物表面および舗装面)・ローアルベド面 (アスファルト舗装面) の 4 つのエンドメンバーを選定した。本研究では植生面と土壌面から透水面が構成されることになる。選定したエンドメンバーを基に、混合スペクトル分析を適用し、衛星データの 1 画素を占める植生面と土壌面の占有率の総和を透水面率として算出した。ここでは衛星データから得られる透水面率を衛星透水面率と定義した。衛星透水面率の推定精度を検証するために、検証領域として寝屋川市高宮町を含む地域 (3km×3km) を選定した。その領域の QuickBird データ (パンシャープン画像: 空間分解能 0.6m×0.6m) を目視判読した結果と比較した。その結果、Root Mean Square (以降、RMS と呼ぶ) 誤差 12.3%を得た。

3.3 節では、透水面軸の抽出手法について述べた。衛星透水面率を基に距離パラメータ d を 135m~945m まで 90m ピッチで変化させながら、空間的自己相関分析を適用した。「負の空間的自己相関あり」と判別された各距離パラメータ d の結果を層状に重ね合わせることで負の SSC (Spatial Scale of Clumping) を作成した²¹⁾。負の SSC の谷部分は、衛星透水面率の高い画素が分布している可能性の高い領域が、衛星透水面率の低い領域の近傍に迫るように分布する箇所であり、結果として層数の高い領域に向けて透水面分布が連なって分布する傾向にある箇所とみなせる。そこで、水系網解析を応用することで、負の SSC の谷線を抽出し、透水面分布の連続箇所と設定した。さらに本研究では、ヒートアイランド現象の核となる都市中心部から冷却効果が期待される郊外部や海域まで連なる透水面分布の連続箇所を透水面軸と定義し、負の SSC の最上層から最下層まで連なるものを選定した。

3.4 節では、透水面軸の近傍と遠方の土地被覆状態を比較することで、透水面軸の抽出手法の妥当性を検証した。透水面軸は、空間的自己相関分析の結果を応用した SSC の考え方から、軸に沿って衛星透水面率の高い画素が集積するという仮定の下で抽出されている。そこで、検証用のデータとして、みどりの分布図データ (空間分解能 1m×1m: 大阪府環境農林水産部提供) を用いて衛星透水面率の 1 画素内 (90m×90m) の透水面の割合 (以降、透水面率と呼ぶ) を整備し、透水面軸近傍と遠方との透水面率の平均値を比較した。その結果、透水面軸の周辺では、透水面分布が空間的に連なることによって、透水面の割合が高くなることを統計的に明らかにした。よって、3.4 節での検証からは衛星データを用いた透水面軸の抽出手法の妥当性が明らかとなった。

3.5 節では、気象観測データを用いた透水面軸の検証について述べた。風の穏やかな夜間における透水面軸が有する周辺地域への冷却効果の把握を試みた。その結果、観測条件と気象条件を絞った上での限られたデータの範囲内ではあるが、透水面軸の近傍において周辺

地域への冷却効果を示唆する結果を得た。3.5 節の検証結果からは、開発した分析手法から得た透水面軸がヒートアイランド対策を講じる上での有用な基礎資料として利用できる可能性がみられた。

4 章では、みどりの分布図データから算出した透水面率データを基に規模ごとの透水面分布データを作成し、広域分析手法に適用することで、透水面分布の規模ごとの透水面軸を抽出した。土地被覆状態と気温データとの関連性を分析することで透水面の規模と生成される透水面軸の特性を整理した。

4.1 節では、4 章での対象領域と使用データについて述べた。対象領域は、大阪府が定めた「ヒートアイランド優先対策地域」とした。使用データは、精緻な土地被覆データとして、3 章で透水面軸の土地被覆状態の検証の際に使用したみどりの分布図データを採用した。気象観測データは 3 章と同様に AMeDAS データと大気汚染常時観測局データを使用した。

4.2 節では、透水面分布の規模に応じた広域分析手法の考え方を述べた後に、規模別の透水面軸を抽出した。本研究では、従来の研究の成果を加味した上で^{9), 17), 20)}、小規模な透水面分布のみでは、気温の低減効果は少ないと仮定した。次に、規模の下限值を変動させながら分析対象とする透水面分布を絞り込んだ上で、その都度抽出される透水面軸を対象に、空間的な集積の状態を検証するとともに、気温との比較を通じてその空間特性を分析した。具体的には、みどりの分布図データで自然面（「樹林」と「草地」、「農地」、「裸地」、「水面」）と判別された箇所を透水面と定義した上で、1 画素の範囲内の占有率を透水面率として算出した。本研究では、1 画素のサイズを 3 章での衛星データと同様の 90m×90m と設定している。規模別の透水面分布データは、都市公園の種別の規模（街区公園（0.25ha）、近隣公園（2ha）、地区公園（4ha）、総合公園（10ha～50ha）、運動公園（15ha～75ha））を参考に²³⁾、その規模以上の透水面に、仮想的に絞り込むことで作成した。規模ごとに算出した透水面率を広域分析に適用し、透水面軸を抽出した。その結果、透水面分布の規模の区別が大きくなるにつれて、透水面軸の本数が絞られ、淀川や山岳部などの大規模な透水面を始点とする透水面軸に限定されていく傾向を確認した。

4.3 節では、透水面分布の規模ごとに抽出した透水面軸の特性を土地被覆状態と夜間の気温、透水面分布の構成の面から整理した。選定した透水面軸の近傍とその周辺部の土地被覆状態を比較した。その結果、透水面軸が透水面率の高い画素が集積した部分を空間的に捉えている傾向が確認できた。気温データを用いた検証では、規模の下限値を 9ha とした場合の透水面軸において周辺地域との有意な気温差が現れている可能性が示唆された。透水面分布の構成について透水面軸ごとに整理した結果、透水面軸の周辺地域への有意な気温差は、透水面軸を構成している透水面の規模の構成比が変化したことにより生じたことを示唆する結果を得た。4 章での検討から、本研究では 9ha 以上の透水面分布から構成される透水面軸を基に、その連なりを維持や推進するように透水面を配置することで、大阪府での透水面によるヒートアイランド対策の効果が高まる可能性が示された。透水面の配置計画には、透水面軸を構成する透水面分布の個々の規模だけではなく、その構成比についても考慮する必要性が明らかとなった。

第 5 章では、透水面のなかでも特に長期的なモニタリングが求められる植生面を対象とした上で、都市整備の進捗と植生分布の空間的な分布状態の変遷との関係を広域的に把握することを目指し、2000 年と 2013 年の観測時期の異なる衛星データから得た NDVI を基に

2 時期での植生分布の集積状態と植生分布変移軸を比較した。

5.1 節では、第 5 章での対象領域および対象データについて述べた。対象領域は中心市街地の再開発や郊外のニュータウン型開発、高速道路の建設が進められている大阪府北部 (30km×25km) を選定した。対象データは 3 章で使用した 2000 年 8 月 25 日観測の Landsat-7 ETM+データと 2013 年 7 月 20 日観測の Landsat-8 OLI データ (共に空間分解能 30m×30m) を採用した。Landsat-8 OLI データは前処理として MODTRAN に基づいた大気補正処理を行った。

5.2 節では、2 時期の衛星データから算出した NDVI に空間分析手法を適用し、植生分布の空間的な集積の度合いを表す SSC を作成した上で、水系網解析を応用することで、植生分布が空間的に連なる箇所として植生分布変移軸を抽出した。本研究では、空間的自己相関分析により「正の空間的自己相関あり」と判別された結果から正の植生分布変移軸を、「負の空間的自己相関あり」と判別された結果から負の植生分布変移軸を抽出している。対象領域において、2000 年から 2013 年に移り変わることで、正の植生分布変移軸は平野部から山岳部に移動し、負の植生分布変移軸は河川敷を中心に都市部で広く分布する傾向がみられた。植生分布変移軸周辺での NDVI の統計的な特性を異なる観測時期間で比較したところ、植生被覆量の多い箇所の集積する領域が限定されてきていることを確認した。

5.3 節では、植生群を試験的に抽出し、植生分布変移軸を構成する植生群の推移を調査した。正の植生分布変移軸の周辺では、経年によって、規模の大きな植生群の減少する傾向を示した。負の植生分布変移軸では、都市内で植生被覆量の多い箇所が集まるような希少な領域においても植生群の規模の構成が変化したことを確認した。植生群を用いた植生分布変移軸の変遷の分析からは、縮小や分断といった変化が植生分布の空間的な連なりに影響を及ぼしている可能性が示唆された。5 章での検討からは、開発した分析手法を使用することで開発などによる都市構造の変化を空間的な分布状態の面から把握できることが明らかとなった。

第 6 章では、本研究で得られた全ての知見を取りまとめるとともに、研究の今後の展望について述べた。

第2章 既往の研究調査と本研究の特徴

2. 1 既往の研究の整理

既往の研究の概要を以下のように整理し、本研究の位置づけを明らかにする。

(1) 衛星データを用いた透水面分布の推定手法に関する研究

a) 都市域を対象とした NDVI による緑被率の推定

NDVI と緑被率との関係を解析し、東京都心部における緑被率の推定を試みた研究がある。実用性と簡便性を前提としており、都市スケールでの環境調査などに応用する上では十分に利用可能な推定精度が得られている。ただし、非緑被面の被覆カテゴリーを土地利用データにより代用しているため、土地利用と土地被覆とが完全に対応していないことや土地利用の種類によっては非緑被面の被覆状態が均一でないことが誤差の要因となる²⁴⁾。

b) 混合スペクトル分析を適用した透水面分布の広域推定の試み

衛星データを用いた透水面分布の把握には、最尤法などを用いた土地被覆分類が利用されてきた。これらの方法では、衛星データの画素ごとに土地被覆項目が割り当てられ、原単位法によって透水面が推定される。しかし、最尤法などの分類手法では土地被覆が混在する画素において誤分類が起こる可能性がある²⁵⁾。アメリカのオハイオ州コロンバスを対象として画素ごとの透水面の占有率の推定を試みた研究がある。MNF 法を用いて植生面、ハイアルベド面、ローアルベド面、土壌面のエンドメンバーを推定し、混合スペクトル分析を適用することで各エンドメンバーの占有率を推定している²⁶⁾。その一方で、混合スペクトル分析による透水面分布の推定は国内の都市域のような土地被覆状態が混在した領域での適用例は少なく¹⁸⁾、分析手法の適用の可能性を明らかにする必要がある。

(2) 透水面分布の空間的な連なりを対象とした分析手法に関する研究

a) 地区エコロジカル・ネットワークのベースマップの自動作成の試み

航空写真の正斜写真から植生の現状を把握し、その結果を用いて植生分布が連なる箇所を地区レベルで抽出した試みがある¹⁴⁾。この手法は植生分布の空間的な連なりを抽出する方法の1つであるが、航空写真を使用していることから広域レベルでの分析では、多大な労力と費用が生じることが予想される。

b) 緑地分布傾向の把握手法に関する研究

地理データや衛星データを用いて緑地の集積状態や連なりを分析した試みがある^{15), 27)}。例えば、Landsat TM データより生成される土地被覆分類図を基に、土地利用混合度の把握手法として代表的な Moran の第一測度での接合条件に着目し、応用することにより、画素単位での近接条件で植生分布の集積度や連なりを定量化している¹⁶⁾。これらの研究で採用されている把握手法は、画素そのものを植生域であるか否かといった 2 値の情報として活用したものと置き換えることができる。したがって、分析の主眼は対象とする画素の個数を面積として数値化することに置かれている。

c) 衛星データを用いた植生の空間分布に関する広域分析

広域の植生情報として衛星データから得られる NDVI を算出し、ローカルな空間的自己相関分析を応用することで、植生分布の空間的な連なりを抽出するアプローチがある。この広域分析法により抽出された結果は、広域緑地計画などで指定された植生軸よりも NDVI の高い画素が集積する傾向が確認されている²¹⁾。その一方で、植生分布の連なりの候補とな

る箇所を集水域と水系線を用いた目視判読により決定しており、必ずしも最も連続性の高い軸を選定しているとはいえない。分析手法の再現性を高める上でも、対象領域や分析対象の特徴に応じた自動抽出手法の検討が望まれる。

(3) 透水面の気温の低減効果に関する研究

a) 現地計測による緑地のヒートアイランド緩和効果の把握

緑地は日中には植物の蒸発散作用により、夜間には放射冷却により市街地と比べ低温に保たれる。規模が異なる都市内緑地を対象に、透水面分布の規模とヒートアイランド緩和効果について、気象条件との関係に基づいた定量的な評価の試みがある⁸⁾。緑地内の気温と周辺街路の代表点における気温の差はクールスポット効果と呼ばれている。真昼の場合では約1.5°C、早朝では約2.0°Cのクールスポット効果が確認されている。

静穏な夜間に緑地の冷気が周辺市街地に流出する現象を「にじみ出し現象」と呼ぶ。にじみ出し現象については、超音波風速温度計による把握が試みられている^{9)、17)}。にじみ出す冷気の風速はおよそ0.2m/s～0.5 m/s程度と弱いですが、影響を受ける市街地の気温は他の地域よりも2°C程度低下することが確認されている。その一方で、にじみ出し現象に関する研究事例は新宿御苑や皇居、大阪城公園など地域を代表する規模の大きな透水面分布を対象としている。

b) シミュレーションによる緑化効果の把握

NDVIと土地利用データ、気象データを基に、緑化によるヒートアイランド緩和効果を予測した研究がある^{28)、29)}。例えば、東京23区において緑被率の上限値と考えられる25.2%まで緑化した場合では、夏季の日中で最大0.7°C、冬季で0.2°Cの気温が低下すると予測されている³⁰⁾。その一方で、これらのシミュレーションは、都市全体の緑被率を増加させるという緑化シナリオでの事例である。ヒートアイランド対策では、透水面分布が有するヒートアイランド緩和効果を最大限に引き出すように透水面分布を計画的に配置する必要がある¹²⁾。透水面分布が空間的に連なる箇所では、透水面分布が分散する領域と比べて、ヒートアイランド緩和効果が高いとの指摘もある³¹⁾。したがって、緑化の効果の把握においても透水面の空間的な配置状態を加味した分析が望まれる。

c) 空間的な透水面分布と気温との関連性に関する研究

透水面の個々の規模と空間的な分布状態から周辺地域への気温の低減効果を明らかにした研究がある^{31)、32)}。例えば、UCSS(都市気候予測システム)を用いた熱環境の分析では、透水面が一つの群として集合している場合に最もクールスポット効果が高まることを確認している。一方で、複数の透水面が空間的に分散して分布し、これらの総面積が集合している面積と同じ場合においては、分散している透水面分布の方が周辺地域に及ぼす冷却効果が高いことを明らかとしている。個々では冷却効果が低い小規模な透水面分布であっても、空間的な分布傾向によっては気温の低減効果が表れることを示唆している。この現象はオアシス効果や移流効果とも呼ばれている³³⁾。透水面分布の規模と透水面の冷却効果との関係を空間的な連りの面から明らかにする必要がある。

(4) 透水面分布と都市整備との関連性の分析に関する研究

透水面分布と都市整備との関係は、法規制などの社会的な影響や個々の透水面分布の立地特性の面からなど、さまざまな視点から分析が試みられている^{34)–36)}。例えば、大阪府を対象に土地利用基本計画図と細密数値情報の土地利用データを用いて、農用区域を年次的

に追跡し、広域での土地利用の動向を分析した試みがある³⁷⁾。特に、土地利用の「畑・その他の用地」において、公共施設への転用傾向が大きくなっていることを明らかにしている。これからの土地利用計画には、地理空間データを活用した広域的・年次的なアプローチの重要性が指摘されている。

緑地環境の状況を環境要因による分布特性から把握した上で、その類型化から緑地保全の指針の導出を目指した研究がある³⁸⁾。得られた結果は、社会的な諸情報と緑地自体の性質・特性を組み込んだ分布状態を表わしている。その一方で、緑地の分布状況を画素単位での近接条件により評価しており、都心部等の既成市街地内での散在した緑地の分布傾向の把握・類型化については今後の課題としている。都市全体を対象とした空間的な集積度の面から透水面の分布状態を把握し、その推移と都市整備との関係性を明らかにする試みが望まれる。

2. 2 本研究の特徴

2. 2. 1 透水面分布の空間的な連なりの抽出手法の開発

本研究では、広域での透水面分布の空間的な連なりを透水面軸として抽出する手法を開発する。これは、散在する透水面の分布のなかで、空間的に連なる箇所を線状に抽出する分析アプローチである。線状として抽出することで、これまでは定義の難しかった透水面分布の空間的な連なりの位置を都市全体における分布状況に基づいて客観的に特定することが可能となるとともに連なりの方向性も表現できるものとなる。本研究では、衛星データから推定された透水面分布の広域性・同質性に着目する。衛星データの導入によって透水面軸を広域的、かつ、自動的に抽出する特徴がある。

2. 2. 2 気象観測データを用いた抽出箇所の特性の把握

2.1節で述べたように、これまでの多くの試みから透水面分布のヒートアイランド現象を緩和する効果が明らかとなってきた。その一方で、広域での透水面分布と実際のヒートアイランド現象との関連性を論じた例は、これまでほとんどみられないのが現状である。本研究では、開発した広域分析手法から得た透水面軸がヒートアイランドを緩和させる効果を示すか否かについて気象観測データの夜間での気温を用いて検証するとともにその特性を明らかにする。

2. 2. 3 透水面分布の規模に応じた広域分析の検討

透水面分布の冷却効果は透水面の規模に依存する傾向が指摘されている⁸⁾。個々では冷却効果が低いと考えられる透水面であっても、空間的に連なるように配置させることで、周辺地域への冷却効果が高まるとの指摘がある³¹⁾。一方、どの程度の規模以上の透水面分布が空間的に連なれば冷却効果が得られるのかを明らかにした試みはこれまでにみられない。本研究では、精緻な土地被覆データを基に、仮想的に小規模な透水面を段階的に省いた上で、開発した広域分析手法を応用し、透水面の規模に応じた透水面軸を抽出する。気象観測データの夜間での気温を用いた検証を通じて、空間的な連なりの面から透水面の規模と冷却効果の関係を明らかにする。

2. 2. 4 植生分布の空間的な連なりの変遷の分析

戦略的な透水面分布の配置計画を策定するには、長期間にわたるモニタリング結果から透水面分布の変化を把握するとともに、都市の成長と透水面分布の変遷との関係を明らか

にする必要がある。一方で、「緑のネットワーク」などに代表されるように空間分布の特性に着目する重要性は言及されているものの、その変遷を定量的に分析した例はほとんどみられない。本研究では、透水面分布のなかでも特に開発等の影響を受けやすく長期的なモニタリングが求められる植生分布を対象に、2000年と2013年の観測時期の異なる衛星データから得たNDVIを基に、2時期での植生分布の集積状態と空間的な連なりの変遷を分析し、都市整備の影響を空間的な分布状態の面から明らかにする。

第3章 透水面分布の空間的な連なりの抽出手法の開発

3. 1 対象領域および対象データについて

3. 1. 1 対象領域の選定

対象領域は、図-3.1.1 に示す大阪府全域とした。大阪府は北摂山系や金剛生駒山系、和泉葛城山系に囲まれているとともに、淀川や大和川といった河川が都心部を縫うように大阪湾へと流れており、大規模な透水面や水面が周囲や中央部に存在する。さらに、大阪府では2025年度までを計画期間とする「大阪府ヒートアイランド対策推進計画」を策定し、総合的な対策を中長期的な視点で実施している²⁰。3.5節の気象観測データを用いた透水面軸の検証では、ヒートアイランド現象の影響が顕著である都市部を対象とすることとし、大阪府が指定するヒートアイランド優先対策地域内（図-3.1.1中の灰色範囲内）を検証領域とした。

3. 1. 2 対象データの選定

(1) 対象データおよび検証用データ

対象データには、大阪府を含む約185km四方を1シーンとして同時に観測された、Landsat ETM+データ（マルチスペクトル画像（可視～赤外バンド：空間分解能30m×30m）、2000年8月25日観測、Path-Row：110-36）を採用した。3.2節での衛星データを用いた大阪全域の透水面分布の推定結果の検証には、QuickBirdデータ（パンシャープン画像（空間分解能0.6m×0.6m）、2004年11月23日観測）を使用した。3.4節の透水面軸の近傍と遠方との土地被覆状態の比較では、みどりの分布図データ（空間分解能1m×1m：大阪府環境農林水産部提供）を用いて検証した。3.5節の気象観測データを用いた透水面軸の検証では、AMeDASデータと大気汚染常時観測局の一般局の観測データを採用した。ただし、既往調査結果に基づき、

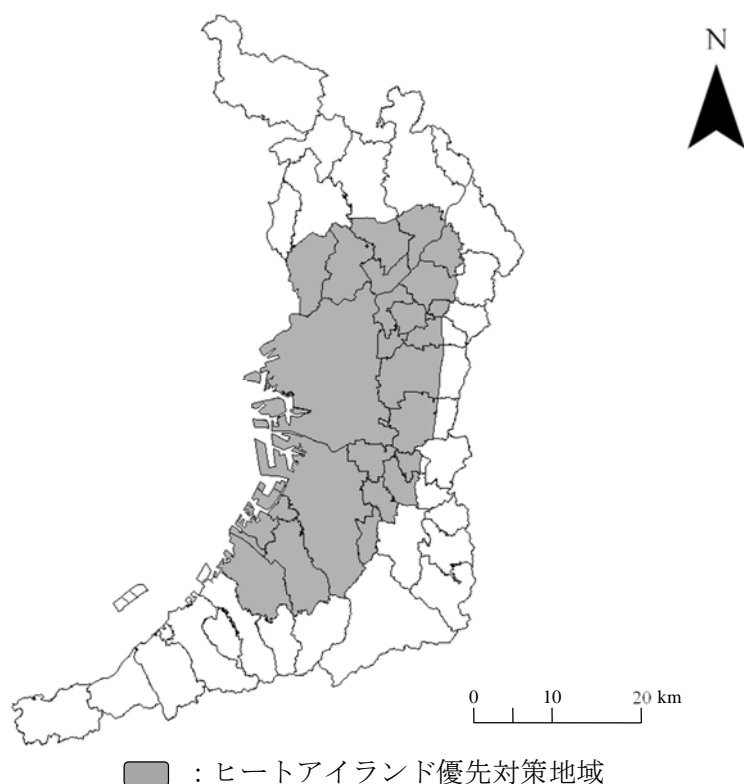


図-3.1.1 対象領域

一般測定局については室外機や冷却塔など気温データへの局所的な影響が懸念される測定局のデータはあらかじめ除いている¹⁹⁾。

(2) 衛星データの前処理

a) 大気補正

大気補正とは、大気による影響を除く処理のことである。大気は太陽からの光が地表に届く、あるいは地表からセンサに届く際の媒体である。太陽光は、地表の対象物に到着するまでに大気中の物質により阻害され減衰する。同様に対象物から反射・放射された光もセンサに到達するまでに減衰する。地表は太陽から直接届く光や、大気によって散乱した光によって照射される。また、センサには対象物からの反射・放射光以外に大気によって散乱した光も入射する。

本研究では、代表的な大気補正コードの MODTRAN に基づいた ERDAS IMAGIN8.6 の ATCOR3 を使用し、DN 値を反射率に変換した。ATCOR3 で大気補正を実施する上で、観測時期、Path-Row、シーン中心の経度、緯度を設定し、太陽の天頂角と方位角を算出する必要がある。今回は、表-3.1.1 のように設定した。大気モデルを衛星データの観測日などから、都市域・中緯度・夏と設定した。次に、SPECTRA 機能を利用して、画像から抽出した反射スペクトルと参照データとを比較しながら、両方の分布が合致するように反射スペクトルの大気パラメータを調査し、決定した上で大気補正処理を実施した。

b) 幾何補正

幾何補正とは、衛星データの幾何学的な歪みを除去することである。衛星データに含まれる幾何学的な歪みは、センサに起因する内部歪みとプラットフォームや対象物に起因する外部歪みに分けられる。内部歪みとしては光学カメラにおけるレンズ系フィルムの平面性、スキャナにおけるスキャン速度や視野角の変動などがその要因となる。外部歪みとしては、プラットフォームの位置、高度、地球の曲率、自転などが要因となる。データの補正の対象とするのは、主に外部歪みである。本研究では、数値地図 25000 (地図画像)「京都及大阪」、 「和歌山」を基準とし、衛星データと共通する GCP (Ground Control Point) を 50 点選定した上で、幾何補正を行った。さらに、本研究では幾何補正した際に生じた位置誤差の影響を除くために、注目する画素を中心とする 3 画素×3 画素の値を平均化し、1 画素の大きさを 90m×90m に内挿している。

3. 2 衛星データを用いた透水面分布の推定

3. 2. 1 混合スペクトル分析を用いた透水面分布の推定

衛星や航空機に搭載されたイメージセンサから都市域を観測すると、1 画素内に複数の土地被覆が混在する。このような場合、最尤分類法などの画素ごとに土地被覆を割り当てる方法では、誤分類を起こす可能性がある²⁵⁾。一方で、混在した土地被覆状態を分析する手法

表-3.1.1 大気補正を実施する際の各諸条件

観測時期	2000年8月25日
Path-Row	110-36
シーン中心経度	E 135° 01' 52"
シーン中心緯度	N 34° 36' 50"
大気モデル	都市域・中緯度・夏

として、画素内の反射率を構成する代表的な要素の面積占有率を推定するアプローチがあり、混合スペクトル分析と呼ばれている。

本研究では、ある構成要素が 1 画素内に一様に敷き詰められた際の反射率をエンドメンバーと呼ぶ。混合スペクトル分析では、式 (3.2.1) のように衛星データのあるバンド b での反射率 R_b はこの画素を構成する各要素のエンドメンバー $R_{b,i}$ とその面積占有率 F_i との積の総和によって表現できる。

$$R_b = \sum_{i=1}^N R_{b,i} F_i + e_b \quad \text{式 (3.2.1)}$$

N は構成要素の数、 e_b は残差を表す。ただし、式(3.2.1)は式(3.2.2)の制約条件を持つ。

$$\sum_{i=1}^N F_i = 1, 0 \leq F_i \leq 1, \quad \text{式 (3.2.2)}$$

図-3.2.1 のように 1 画素内の反射率の構成要素を植生面・土壌面・ハイアルベド面・ローアルベド面の 4 つとし、混合スペクトル分析を適用することで個々の面積占有率を算出する。ハイアルベド面はコンクリート構造物表面および舗装面、ローアルベド面はアスファルト舗装面を想定している。つまり、植生面と土壌面の占有率の総和によって透水面の占有率を算出することになる。なお、水面の箇所についてはあらかじめ対象外とした上で、透水面率の推定を実施したのちに透水面率 100%として定義・追加している。

本研究では、式 (3.2.1) で定義される混合スペクトル分析を最小 2 乗法に基づき実施した。各衛星データの 6 バンドの反射率を R 、植生面・土壌面・ハイアルベド面・ローアルベド面のエンドメンバーの反射率を R_p 、 F を各エンドメンバーの占有率とすると式 (3.2.3) のように表現できる。

$$R = R_p F \quad \text{式 (3.2.3)}$$

ただし、 R は配列 (6, 1) の行列、 R_p は配列 (4, 6) の行列、 F は配列 (4, 1) の行列を表す。植生の占有率を F_v 、ハイアルベドを F_h 、ローアルベドを F_l 、土壌を F_s とすれば式 (3.2.2) は式 (3.2.4) のように表せる。

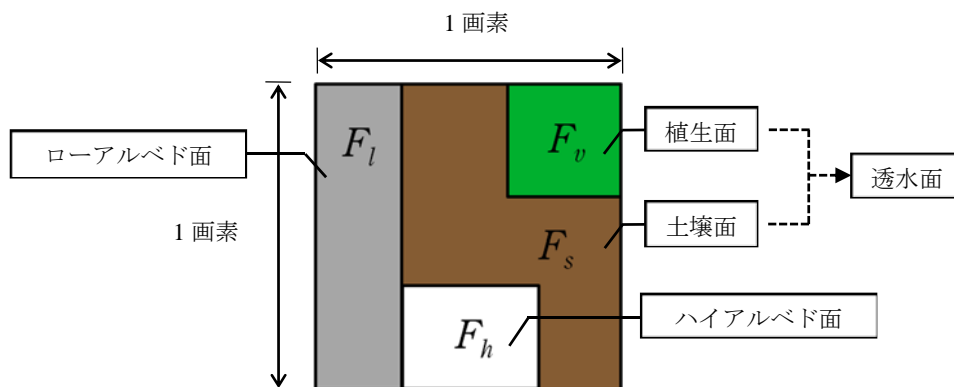


図-3.2.1 1 画素内の反射率の構成要素について

$$\sum_{i=1}^N F_i = F_v + F_h + F_l + F_s = 1 \quad \text{式 (3.2.4)}$$

式 (3.2.3) は混合スペクトル分析の制約条件である式 (3.2.2) を満たさなければならないため、ここでは R と R_p の行列に (1) と (1, 1, 1, 1) の行を追加することより処理した。これより R の次数は (7, 1), R_p は (7, 4) となる。4つのエンドメンバーの占有率 F を求めるために式 (3.2.5) の正規方程式を用いた。 R_p^T は R_p の転置行列を示す。

$$R_p^T R = R_p^T R_p F \quad \text{式 (3.2.5)}$$

$R_p^T R_p$ の逆行列を式 (3.2.5) の両辺に左からかけることより式 (3.2.6) のようにエンドメンバーの占有率 F を算出した。

$$F = (R_p^T R_p)^{-1} R_p^T R \quad \text{式 (3.2.6)}$$

3. 2. 2 エンドメンバーの選定

混合スペクトル分析を用いて透水面率を算出するには、画素の各構成要素のエンドメンバーを確定する必要がある。本研究では、MNF (Minimum Noise Fraction) 法の適用から得た散布図を参考に、各エンドメンバーの分光反射特性を考慮して選定した。MNF 法とは、主成分分析に似た手法であり、信号ノイズ比を最小にするように新しい成分を選ぶことで、画像の質の高い順に新成分を出力する方法である³⁹⁾。具体的には Landsat ETM+データに MNF 法を適用し、信号とノイズ成分に分離させるとともに、上位の信号成分を用いて3種類の散布図を作成した。作成した散布図を図-3.2.2 に示す。これまでの研究成果では、各散布図は三角形分布に近い形を形成し、三角形の頂点付近は植生面・土壌面・ハイアルベド面・ローアルベド面のエンドメンバーを示すことがわかっている²⁶⁾。本研究では、作成した散布図を基に、構成される三角形がなるべく多くの点群を含むものをエンドメンバーの候補点とした。なお、図-3.2.2 中の (a) Component1-2 における破線で囲われた範囲の点群は、運動場などの裸地を示すことを確認した。これらの点群はハイアルベド面ではなく土壌面として判別されることが望ましい箇所である。そこで、本研究では、誤分類が想定される点群を考慮しハイアルベド面の候補点を選定している。

次に、エンドメンバーの候補点の分光反射特性を比較するとともに、航空写真の目視判読でエンドメンバーを決定した。図-3.2.2 中の◇は、選定した各エンドメンバーを表わしている。選定したエンドメンバーの反射率を図-3.2.3 に示す。植生面のエンドメンバーはバンド4 (近赤外バンド) で高い値を示すことがわかる。ローアルベド面は、全てのバンドで比較的低い反射率を示した。土壌面とハイアルベド面のエンドメンバーでは、1バンドから4バンドまではハイアルベド面が土壌面よりも高い反射率を示すものの、バンド5とバンド7では土壌面の方が高い反射率を示した。これは本研究で設定した領域では、大規模なコンクリート構造物が少なく、全てのバンドにおいて反射率の高いハイアルベド面のエンドメンバーの取得が難しかったことが要因の1つと考えられる。

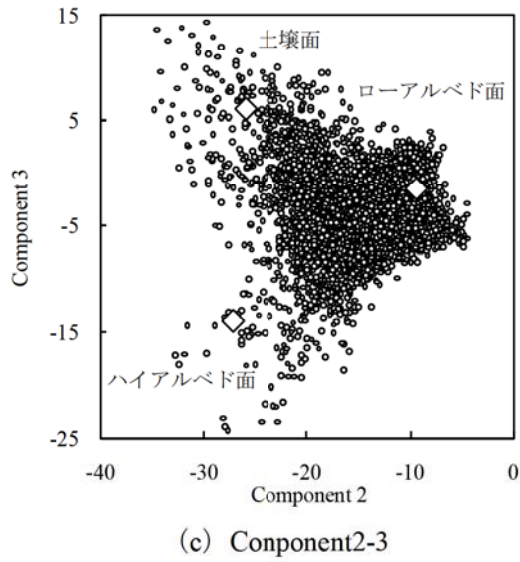
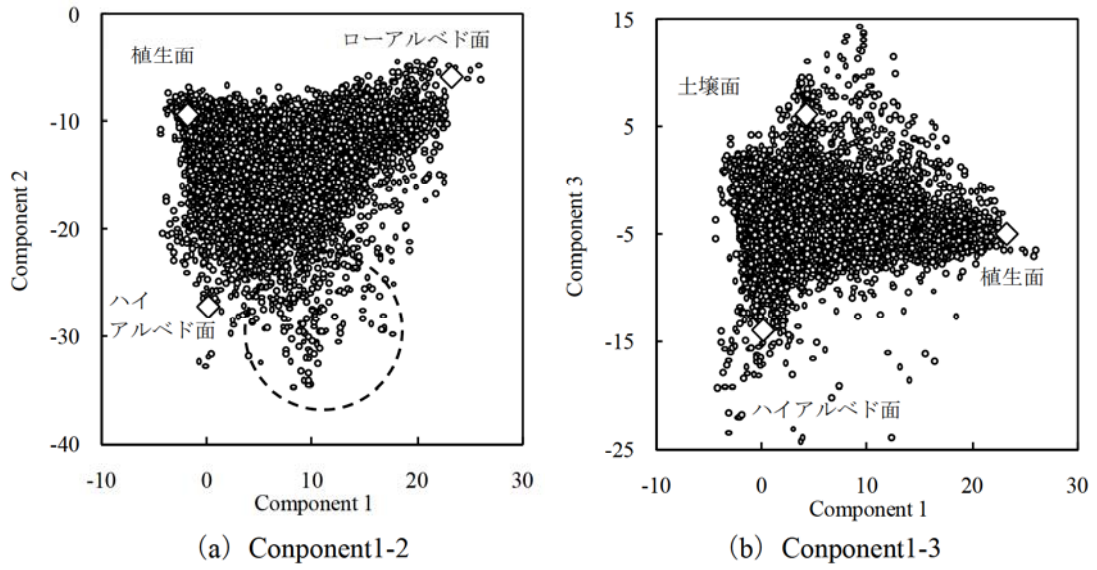


図-3.2.2 MNF 法より得た散布図

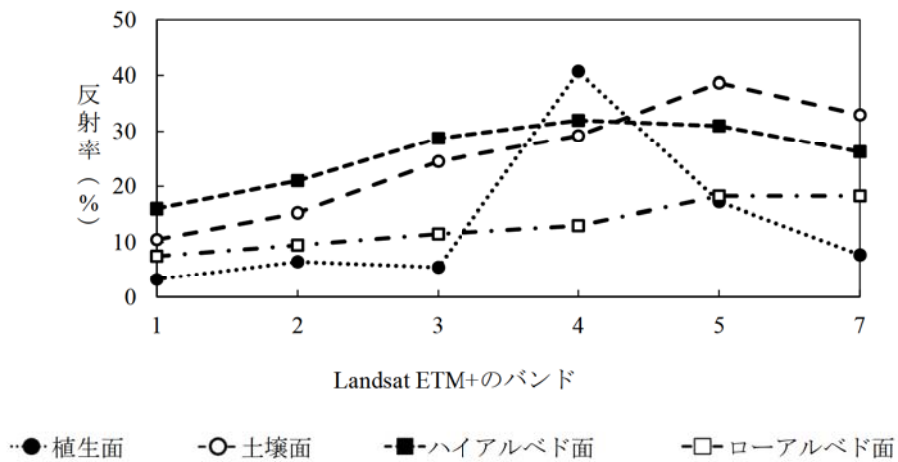


図-3.2.3 エンドメンバーの反射率

3. 2. 3 透水面率の算出

準備したエンドメンバーのバンドごとの反射率を混合スペクトル分析に適用し、それぞれの構成要素の面積占有率を算出した。算出した植生面と土壌面の面積占有率の総和から衛星透水面率を算出した。図-3.2.4 に算出した衛星透水面率の分布状況を示す。大阪中心部などの都市域では衛星透水面率が低く、郊外部に移るにつれて徐々に衛星透水面率の高い値を示す箇所が多くなっていることがわかる。

3. 2. 4 推定精度の検証

2000年8月25日観測のLandsat ETM+データから算出した衛星透水面率の推定精度を検証するために、テストエリアとして土地被覆が混在する寝屋川市高宮町を含む地域(3km×3km)を選定した。図-3.2.5 に示す。テストエリアのQuickBirdデータ(2004年11月23日観測)と航空写真、現地調査結果を用いて、透水面の分布状況を目視により判読することで、検証に使用するデータ(以降、検証用透水面率と呼ぶ)を作成した。なお、推定精度の検証では衛星データと検証用に整備したデータとの観測期間の間に土地被覆状態の改変が見られる箇所と水域を対象外としている。図-3.2.6 にテストエリアにおける衛星透水面率と検証用透水面率の分布状況を示す。図-3.2.5 と図-3.2.6 中の①などの透水面が少なく、コンクリート構造物などの建物が多く分布する領域では、衛星透水面率と検証用透水面率は共に高い値を示すことが確認できる。大阪府立大学工業高等専門学校(以下、OIC)の運動場を示す②や内上川治水緑地を示す③などの透水面が多く分布する箇所では、衛星透水面率と検証用透水面率は低い値を示している。その一方で、低層住宅が広がる④などにおいて、衛星透水

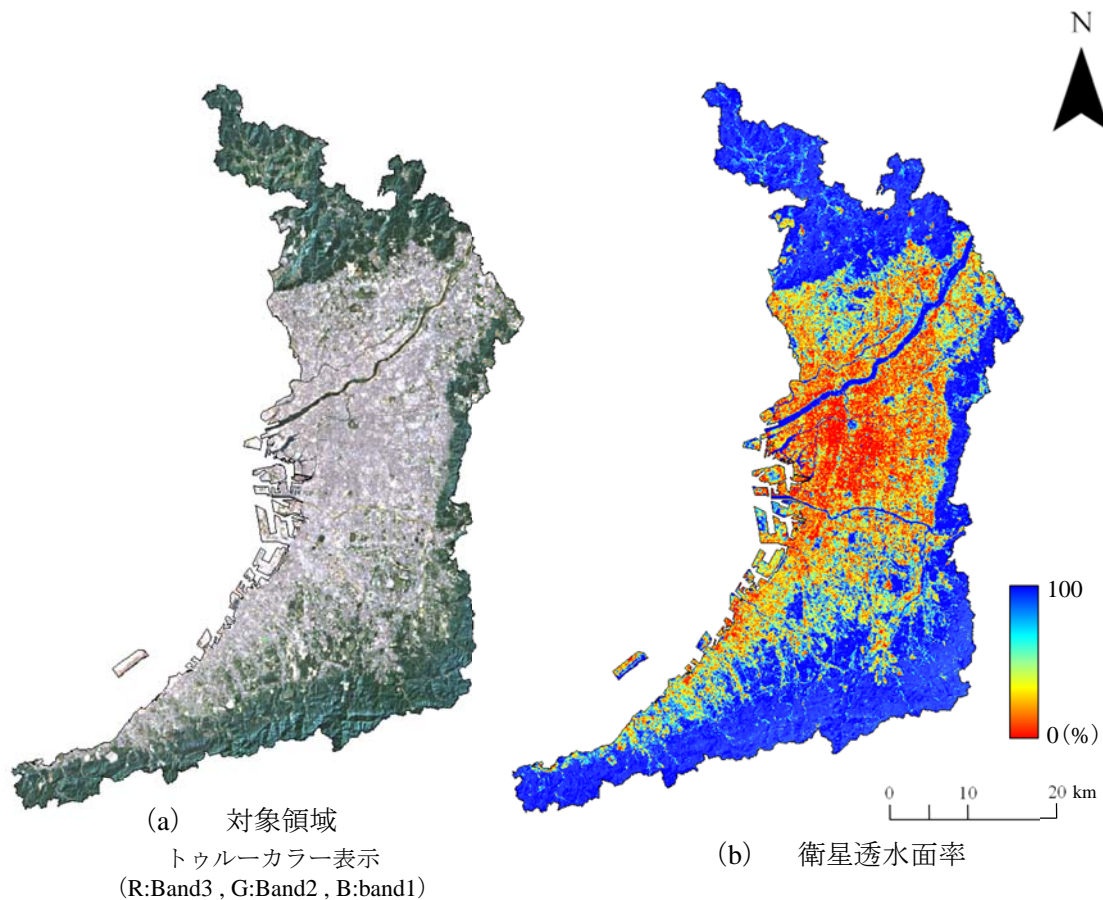


図-3.2.4 衛星透水面率の分布状況 (Landsat ETM+データ)

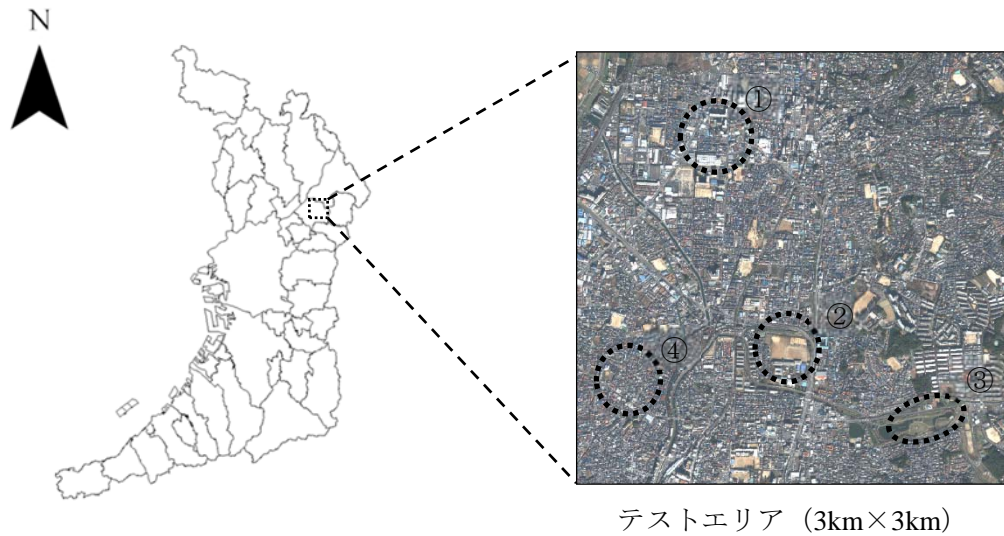


図-3.2.5 テストエリア

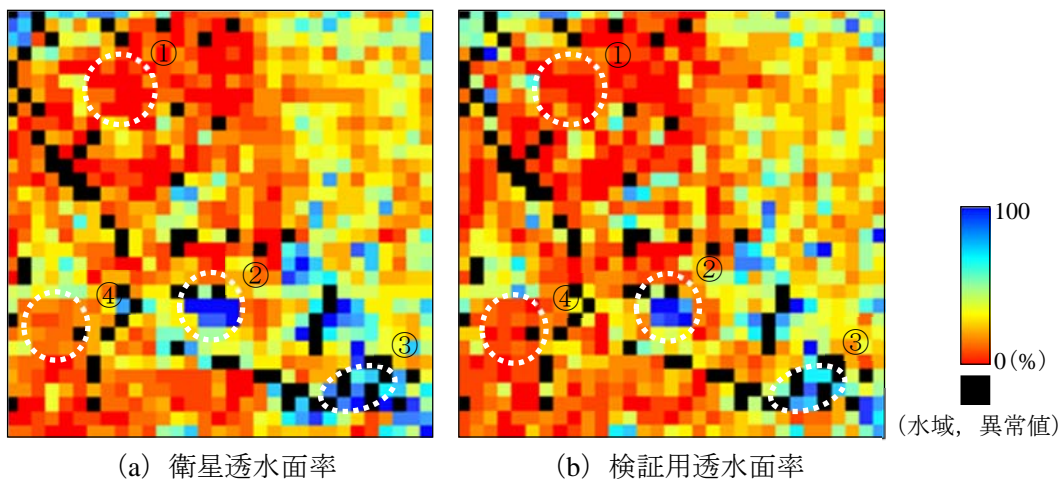


図-3.2.6 衛星透水面率と検証用透水面率の分布状況

面率の方が検証用透水面率よりも低い値を示す箇所も散見される．図-3.2.7に衛星透水面率と検証用透水面率の関連性を示す．散布図中の点線より右側では検証用透水面率より衛星透水面率が高いことを意味し，左側は検証用透水面率より衛星透水面率が低いことを表している．衛星画像を用いて確認すると，衛星透水面率の方が低い値を示す箇所は，図-3.2.8 (a)のように反射率の高い値を示す運動場が分布する地域であった．これは混合スペクトル分析の際に，運動場が土壌面ではなくハイアルベド面と誤分類されたためだと推測される．衛星透水面率の方が高い値を示す箇所は，図-3.3.8 (b)のように透水面とその他の土地被覆面が混在する地域であった．土地被覆状態が複雑に分布することや，建物や樹木などの影が多く分布するため，検証用透水面率を作成する際の透水面の判読が困難な地域である．推定精度は検証用透水面率と衛星透水面率とのRMS誤差を算出することで検証した．その結果，RMS誤差12.3%を得た．目視判読には10%程度の誤差を有する可能性が指摘されていることや²⁶⁾，本研究で対象とする範囲は大阪府全域と広範囲であることを考慮すると，得られた衛星透水面率は妥当な精度を有しているといえる．

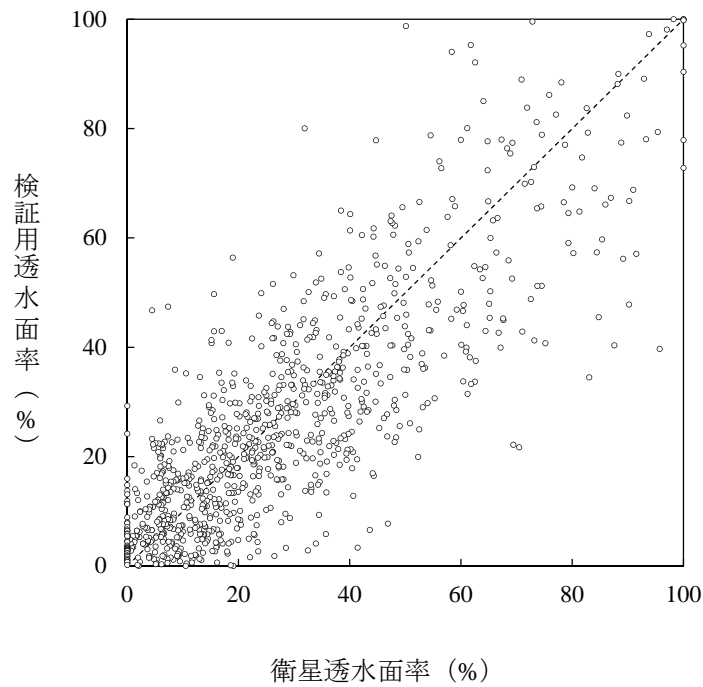


図-3.2.7 衛星透水面率と検証透水面率



(a) 衛星透水面率の方が低い値を示す箇所



(b) 衛星透水面率の方が高い値を示す箇所

図-3.2.8 散布図上の特徴点の整理

3. 3 空間的な位置関係を考慮した透水面分布の連なりの抽出

図-3.2.4 に示すように、都市中心部では透水面率の高い箇所が散在する傾向にある。透水面の集積し、連なる箇所を抽出するには、「面」として拡がりをもつ透水面の分布箇所を選定すべきであり、従来も多くの抽出手法が開発されてきた。一方で、広域的な視点に立てば、それらの全体での分布の傾向を把握することが望まれる。特に都市域では、規模の大きな透水面分布は少なく、個々の透水面が全体で集積し、かつ、それが空間的に連なることによって気温の低減への寄与が期待できる。そこで、本研究では透水面率の高い箇所が集まり、「線」状を形成する箇所を透水面軸として抽出することとした。

3. 3. 1 空間的自己相関分析の適用

本研究で採用した空間分析手法はローカルな空間的自己相関分析であるG統計量である。G統計量は地域内部における個々の局地的なクラスターや地域パターンを探索するために開発された手法である⁴⁰⁾。距離パラメータ d をもつ重み係数 $w_{ij}(d)$ は、式(3.3.1)に示すように2進的重み係数であり、領域内に含まれるか含まれないかに規定される重み係数である。概念図を図-3.3.1に示す。点 j が点 i の d 領域内に位置するときは1、点 j が点 i の d 領域外の場合は0の値とする。

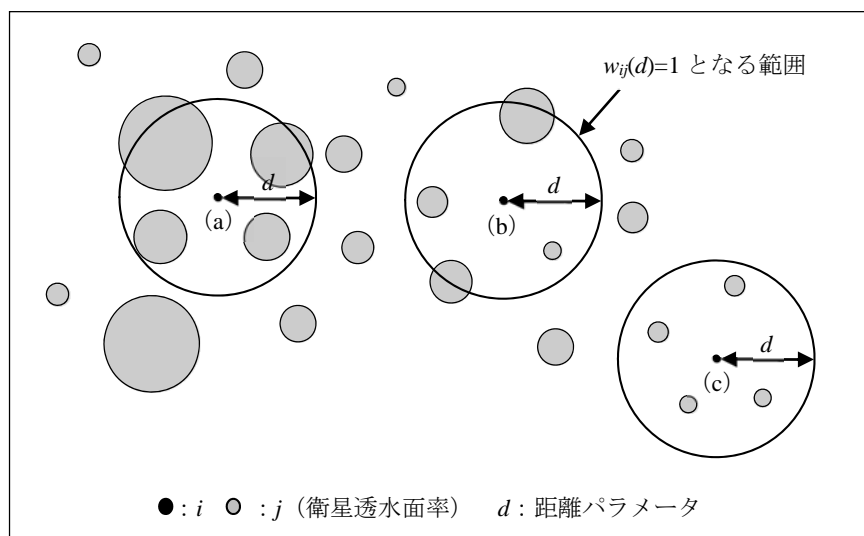
$$w_{ij}(d) = \begin{cases} 1 & \text{点 } j \text{ が点 } i \text{ の } d \text{ 領域内のケース} \\ 0 & \text{点 } j \text{ が点 } i \text{ の } d \text{ 領域外のケース} \end{cases} \quad \text{式 (3.3.1)}$$

距離パラメータ d の重み係数 $w_{ij}(d)$ をもつ局所的な空間的自己相関測度 $G_i(d)$ は、点 i の d 領域内に位置する点の属性値 x_j の合計値を全地域の点属性値 x の合計値で割る比率で、分布パターンのローカルな空間的相関を量る非集計的統計量である。 $G_i(d)$ は式(3.3.2)で定義される。なお、本研究での第3章では衛星透水面率を、第4章では透水面率を、第5章ではNDVIの値を点属性値 x_j として採用する。

$$G_i(d) = \frac{\sum_j w_{ij}(d) x_j}{\sum_j x_j} \quad i \neq j \quad \text{式 (3.3.2)}$$

ただし、 x_j は正の値のみ適用可能である。

点 i の半径 d の領域内に位置する点 j の x_j が大きいほど、全地域の合計値に占める当該地域の合計値の割合は高くなる。半径 d の領域内における衛星透水面率の合計値が大きければ $G_i(d)$ の値は大きくなる。したがって、局所的な空間的自己相関測度 $G_i(d)$ の大小により半径 d の領域内における空間的属性の集中度を測定することができ、空間分布に存在するクラ



(a) 正の相関 (b) 相関なし (c) 負の相関

図-3.3.1 距離パラメータ d をもつ重み係数 $w_{ij}(d)$ の概念図

スターの抽出が可能となる。

$G_i(d)$ の有意性の検定は、 $G_i(d)$ の期待値と分散が母集団 $\{x_i\}$ に関するランダム性の仮定に基づいて求められる。期待値を式(3.3.3)に、分散を式(3.3.4)にそれぞれ示す。

$$E[G_i(d)] = W_i / (n - 1) \quad \text{式 (3.3.3)}$$

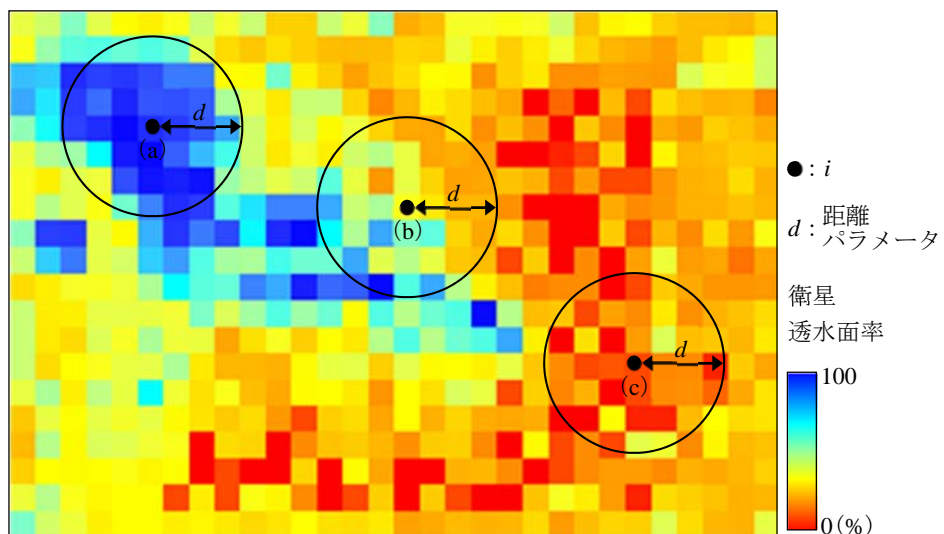
$$\text{Var}[G_i(d)] = \frac{W_i(n-1-W_i)}{(n-1)^2(n-2)} \frac{Y_{i2}}{Y_{i1}^2} \quad \text{式 (3.3.4)}$$

ただし、 $W_i = \sum_j w_{ij}(d)$ 、 $Y_{i1} = \sum_j x_j / (n-1)$ 、 $Y_{i2} = \sum_j x_j^2 / (n-1) - Y_{i1}^2$

局所的な空間的自己相関測度 $G_i(d)$ の標準化正規化変量 $z_i(d)$ を式(3.3.5)に示す。

$$z_i(d) = \frac{G_i(d) - E[G_i(d)]}{\sqrt{\text{Var}[G_i(d)]}} \quad \text{式 (3.3.5)}$$

正の大きい $z_i(d)$ 値は、点 i の d 領域内に位置する点 j の x_j に大きい値が多く表われていることを、一方、負の大きい $z_i(d)$ 値は、点 i の d 領域内に位置する点 j の x_j に小さい値が多く表われていることを意味する。本研究では、局所範囲をウィンドウ処理のウィンドウサイズに置き換えた上で、標準化正規化変量を画素単位で計算することとした。図-3.3.1 の概念図を本研究で用いた画素単位の考え方で表すと図-3.3.2 のようになる。ある画素を中心とした d 領域内で、図-3.3.2 (a) のように衛星透水面率の高い画素が集積していれば、 $z_i(d)$ の値は高くなる。 $z_i(d)$ は統計的検定に適用することも可能であり、ある有意水準の下で、図-3.3.2 (a) のように衛星透水面率の高い画素が集積する領域では「正の空間的自己相関あり」、図-3.3.2 (c) のように衛星透水面率の低い画素が集積すると「負の空間的自己相関あり」と画素 i ごとに判定される。なお、本研究での空間的自己相関分析は、画素中心から一定距離内にある局所範囲を計算の対象とすることから、ウィンドウ処理におけるウィンドウの形を円形としている。



(a) 正の空間的自己相関あり (b) 空間的自己相関なし (c) 負の空間的自己相関あり

図-3.3.2 画素単位での概念図

3. 3. 2 SSCの作成とその活用方法について

(1) SSCの作成方法について

ここでは、SSCを衛星透水面率に適用する。SSC (Spatial Scale of Clumping) とは、空間的自己相関分析の判定結果のうち「空間的自己相関あり」と判別された各局所範囲 (距離パラメータ d) の結果を仮想レイヤーとして層状に重ね合わせることで作成するものであり、ここでは透水面分布の空間的な集積度を表す。SSCは図-3.3.3 および下記に示す①から③の手順で作成する。以下にSSCの作成方法について詳細を述べる。

① 最大の距離パラメータ d_{max}

図中①の (a) と (b), (c) は衛星透水面率の画素の中心を示している。空間的自己相関分析を実施し、有意水準との比較から (a), (b), (c) は画素中心から最大の距離パラメータ d_{max} の範囲で、「負の空間的自己相関あり」と判別される箇所とする。全ての画素においても同様の判定を実施し、この最大の距離パラメータ d_{max} で「負の空間的自己相関あり」と判別された画素の位置に1層目の仮想レイヤーを設定する。

② 各距離パラメータ d での積み上げ

最大の距離パラメータ d_{max} から距離パラメータ d を減少させながら空間的自己相関分析を適用する。各距離パラメータで「負の空間的自己相関あり」と判別された場合は仮想レイヤーを積み上げる。「負の空間的自己相関あり」と判別されない場合は、積み上げを終了する。なお、距離パラメータ d が減少するとともに「負の空間的自己相関あり」の領域が単純に少なくなっていくわけではない。距離パラメータ d の大小にかかわらず相関あり・なしが交互に出現するケース (以降、オーバーハングと呼ぶ) もあり得る。本研究では、透水面の空間的な連なりを抽出するといった観点から、このような画素は周囲から影響を複雑に受けているとして重ね合わせから除外している。図中②の (a) は最小の距離パラメータにおいても「負の空間的自己相関あり」と判別される箇所であり、他の地点と比べ高い層数が得られる。その一方で、②の (b) と (c) は3層目と2層目で積み上げが終了する。空間的自己相関分析の結果を仮想レイヤーとして層状に重ね合わせることで、画素の地点ごとにさまざまな層数が得られる。

③ 等高線の作成

②の結果を地形データの標高と同様に捉え、同数の層を結ぶことで③のような等高線 (等層線) を描くことができる。これがSSCと定義されるものである。③の (a) の最上層のような箇所は、その地点を中心とした近傍から遠方にわたって衛星透水面率の低い画素が集積している箇所であり、周辺に透水面が少ない都市中心部などが該当すると想定される。(c) の1層程度のような下層部では、近傍で透水面とそれ以外の土地被覆が混在しているものの、遠方まで見ると衛星透水面率の低い画素が集積していると判別される領域である。つまり、下層部ほど、透水面の分布している可能性の高い箇所と解釈できる。

(2) SSCを用いた透水面分布の連続箇所の抽出方法について

(1) で作成したSSCを用いた透水面分布の空間的な連なりの抽出方法について説明する。図-3.3.4 (a) の破線で囲まれる箇所のような、負のSSCの谷部分は層数の低い (透水面が分布する可能性の高い) 箇所が、層数の高い (透水面分布が少ない) 箇所に迫るように分布していると考えられる。そこで、水系網解析を応用することで、図-3.3.4 (b) の矢印ように負のSSCの谷部に沿ってできる谷線を透水面分布の連続箇所と定義した。これは、散在する透水面の分布のなかで、空間的に連なる箇所を線 (谷線) 状に表現したのと言い換えることもできる。

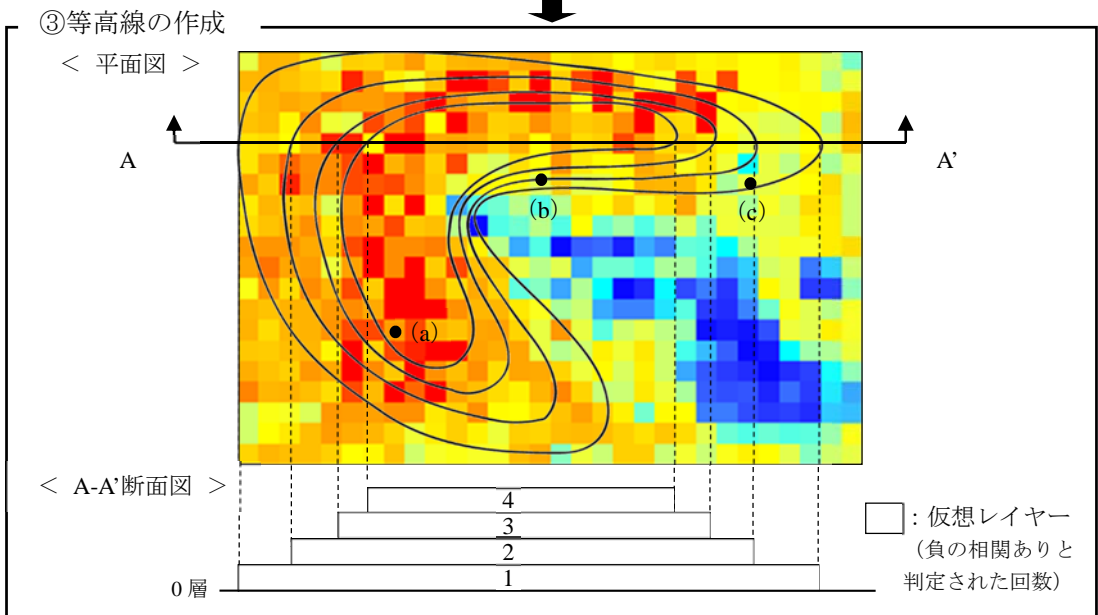
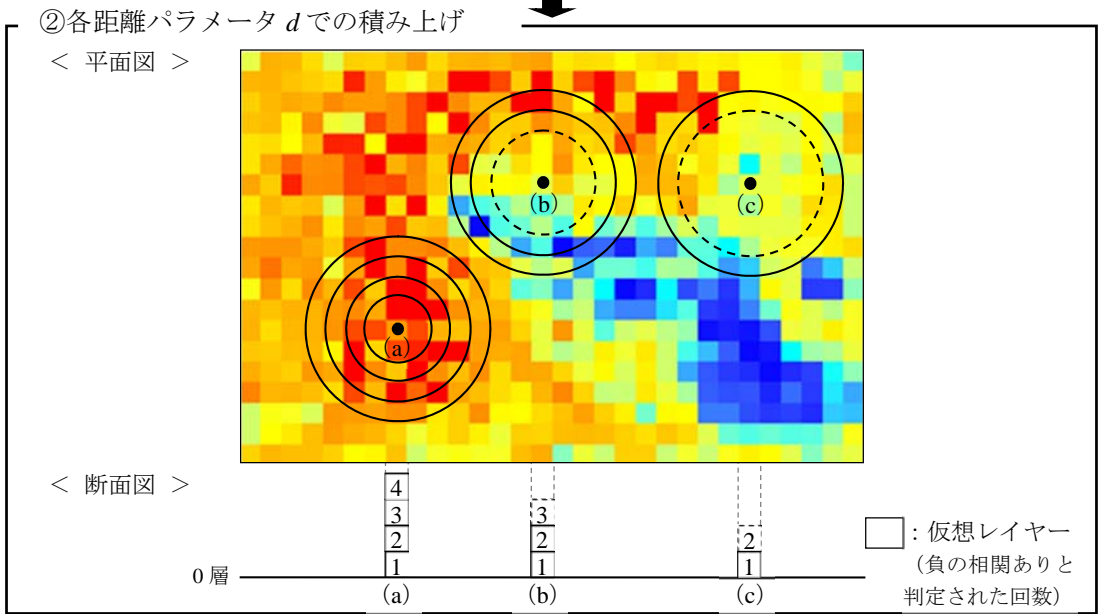
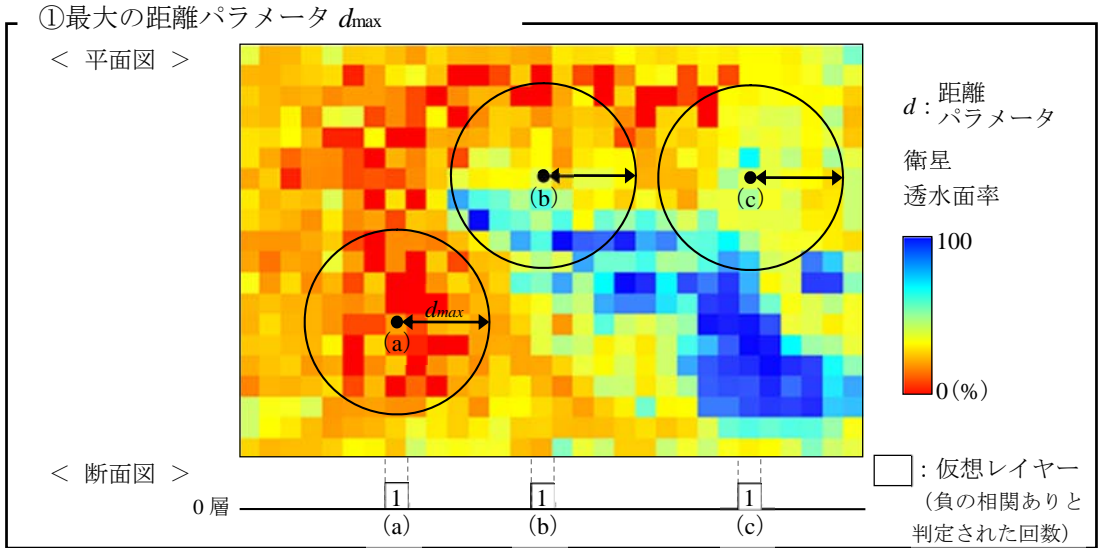
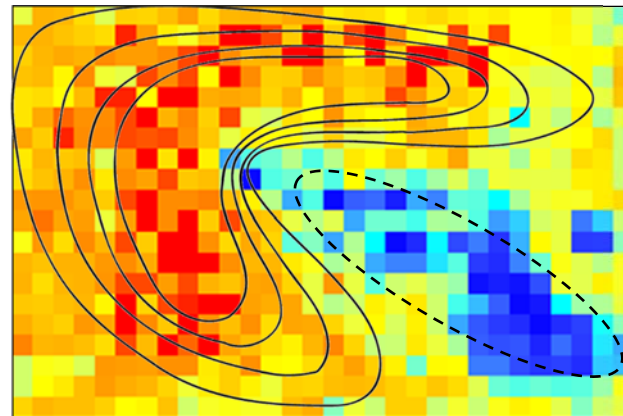
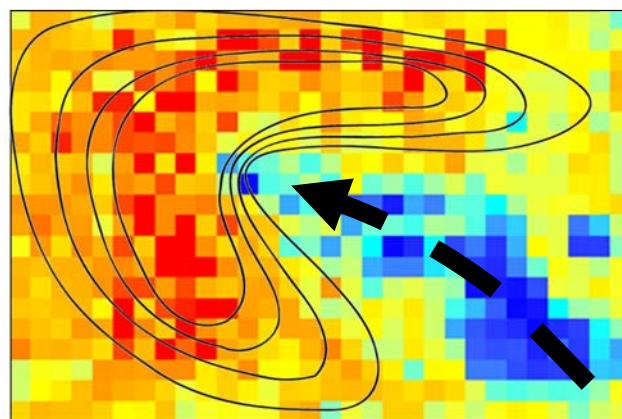


図-3.3.3 SSCの作成方法



(a) 負の SSC と谷部分



(b) SSC の谷線

衛星透水面率

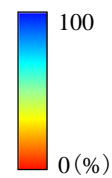


図-3.3.4 透水面分布の空間的な連続箇所

3. 3. 3 透水面分布の空間的な連なりの抽出

(1) 透水面分布の連続箇所の抽出の流れ

3.3.2 項で述べた SSC の作成方法および透水面分布の空間的な連続箇所の抽出方法について、3.3.3 項では具体的な作業手順を図-3.3.5 にまとめた上で、図に示した番号①～④に沿って、以下に詳細を述べる。

- ① 各距離パラメータ d での空間的自己相関分析の適用：本研究では、距離パラメータ d を変更しながら、空間的自己相関分析を適用する。得られた結果から検定統計量 $z_i(d)$ を基に有意水準を 10% で「正の空間的自己相関あり」と「空間的自己相関なし」、「負の空間的自己相関あり」の 3 種類に分類する。
- ② 分析結果に基づいた距離パラメータ d の範囲の決定：SSC の作成は対象データの特性に応じて、空間的自己相関分析を求める距離パラメータ d の最大値と最小値を調査する必要がある。そこで、本研究では①で判別された領域の面積比を距離パラメータ d ごとに出し、隣り合う距離パラメータ d との変化量を算出する。変化量が収束する距離パラメータ d までを適用範囲とする。
- ③ SSC の作成：②より求められた適用範囲内で「負の空間的自己相関あり」と判別された結果を層状に重ね合わせ、負の SSC を作成する。
- ④ 透水面分布の空間的な連続箇所の抽出：③で作成した負の SSC に地形解析の 1 つである水系網解析を応用し、谷線を抽出する。谷線を透水面分布の連続箇所と定義している。

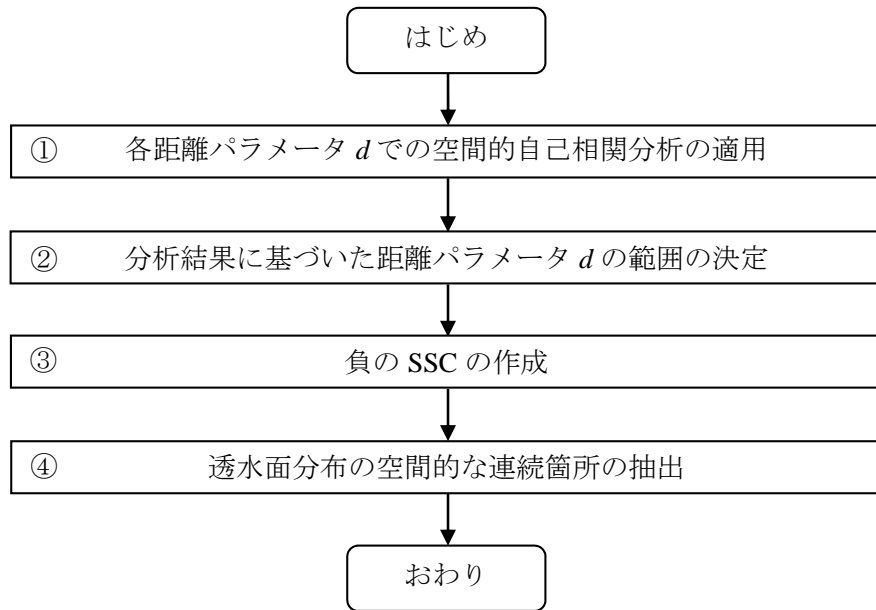


図-3.3.5 透水面分布の空間的な連続箇所の抽出の流れ

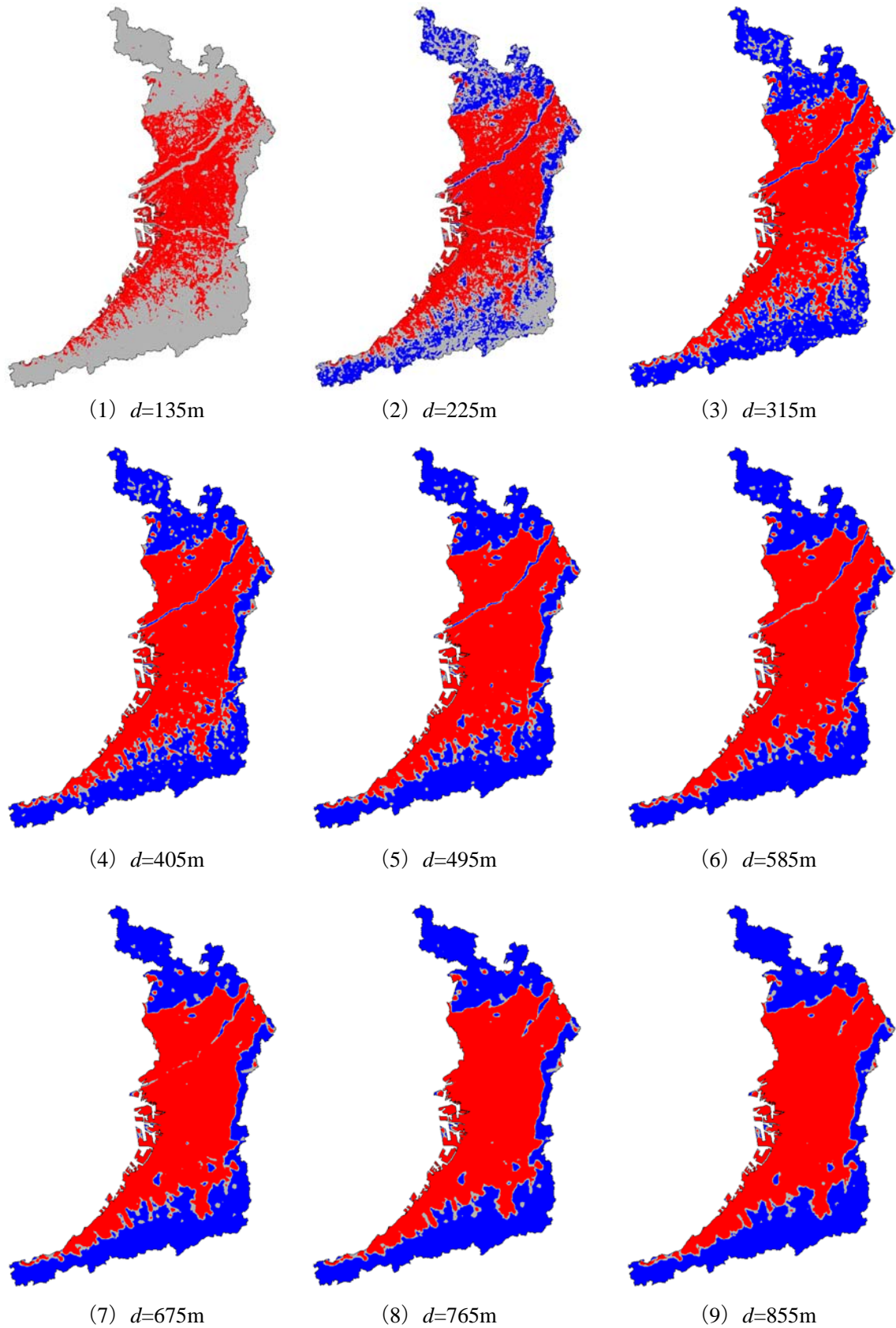
(2) 各距離パラメータでの空間的自己相関分析の適用

距離パラメータ d の値を変化させながら空間的自己相関分析を適用し、適用結果の変遷を調査した。ウィンドウ処理は奇数の画素数でウィンドウの直径が決定されることから、距離パラメータ d の初期値を3画素×3画素のウィンドウサイズと同等の135mと設定した上で、1画素の大きさに相当する90mピッチで増加させていき、それぞれの検定統計量 $z_i(d)$ の値を対象領域の全域にわたって計算した。

検定統計量 $z_i(d)$ を基に有意水準を10%で「正の空間的自己相関あり」と「空間的自己相関なし」、「負の空間的自己相関あり」の3種類に判別した。例えば、図-3.3.2 (c) のように衛星透水面率の低い画素が集積する地域では、「負の空間的自己相関あり」と判別される。距離パラメータ d ごとの判別結果を図-3.3.6に示す。3種類に判別した領域の面積占有率を距離パラメータ d ごとに図-3.3.7のように算出した。距離パラメータ d の増加とともに、「正・負の空間的自己相関あり」と判定された領域が増加するとともに、「空間的自己相関なし」と判定された領域が減少していることがわかる。

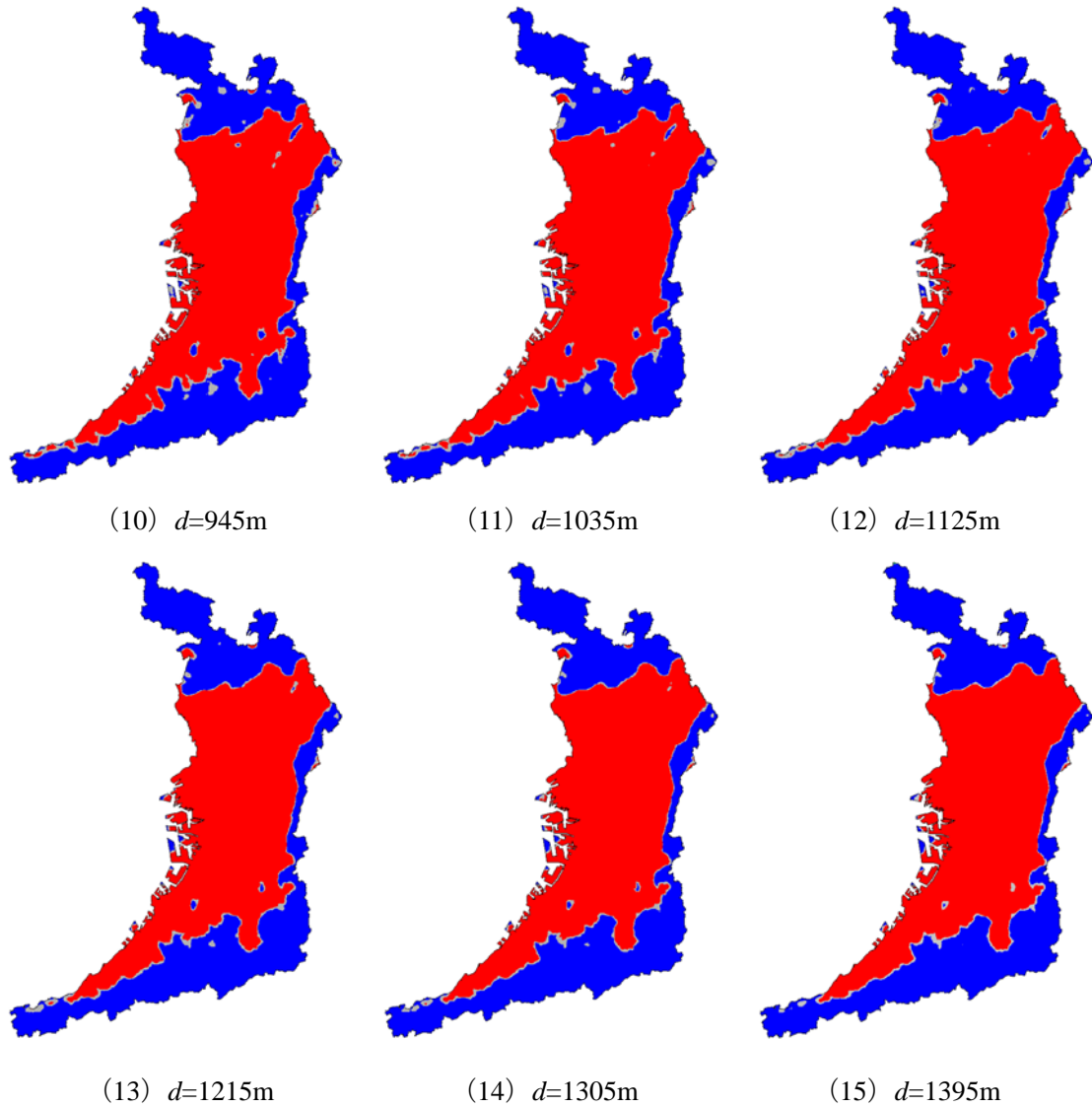
(3) 分析結果に基づいた距離パラメータの範囲の決定

3種類に判定した区分ごとの面積占有率について、最小の距離パラメータ d_{\min} から隣り合う距離パラメータ d ごとの面積占有率の差分を求め、面積占有率の変化量として図-3.3.8のように整理した。図-3.3.8からは距離パラメータ d の増加とともに面積占有率の変化量が収束する傾向が確認できる。本研究での空間的自己相関分析は隣り合う画素間での関連性を調査するウィンドウ処理の考えを利用しており、距離パラメータ d が増加するたびに処理後のデータには、対象データの上下左右端に未処理の領域が画素単位で1行・1列ずつ同時に増えていくこととなる。そこで、ここでは距離パラメータ d を変化させた際に、「正・負の空間的自己相関あり」、「空間的自己相関なし」と判定された領域のそれぞれの差分値が、ウィンドウ処理で生じる未処理の領域の差分値(0.5%)を下回ったときに収束したと判断し、距離パラメータ d の範囲を $d=945\text{m}$ までと決定した。



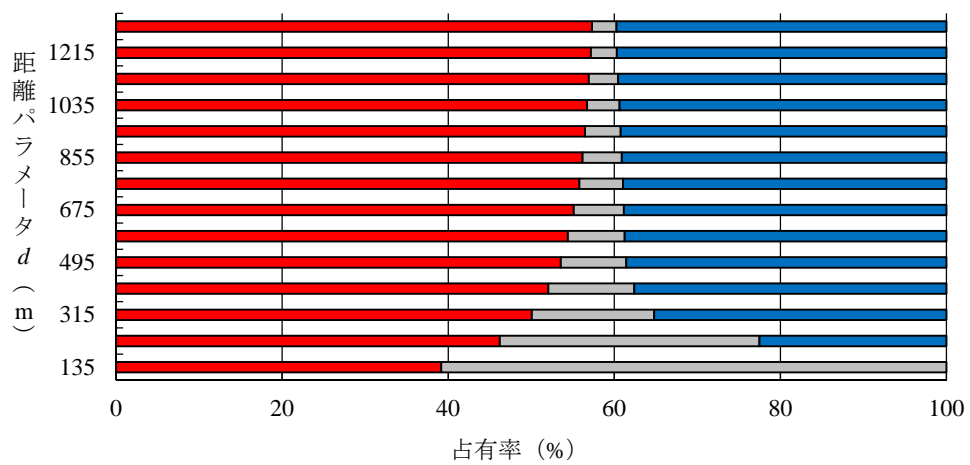
■: 正の空間的自己相関あり ■: 空間的自己相関なし ■: 負の空間的自己相関あり

図-3.3.6 各距離パラメータ d における分析結果 (その 1)



■: 正の空間的自己相関あり ■: 空間的自己相関なし ■: 負の空間的自己相関あり

図-3.3.6 各距離パラメータ d における分析結果 (その 2)



■: 正の空間的自己相関あり ■: 空間的自己相関なし ■: 負の空間的自己相関あり

図-3.3.7 面積占有率の算出結果

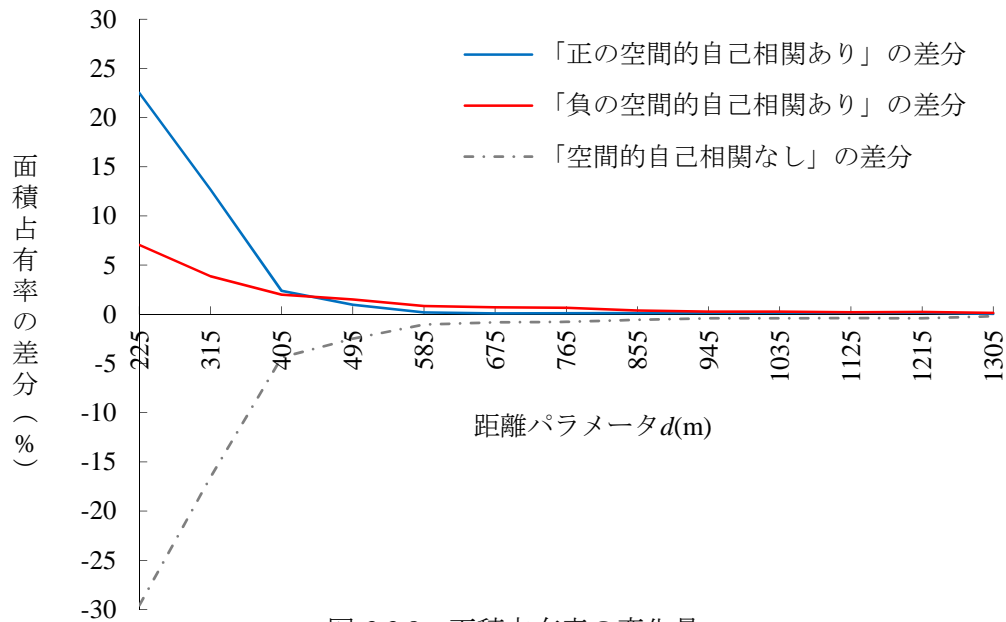


図-3.3.8 面積占有率の変化量

(4) 正の SSC の作成

最大の距離パラメータ d_{max} の 945m から最小の距離パラメータ d_{min} の 135m まで、距離パラメータ d を変化させながら「負の空間的自己相関あり」の結果を重ね合わせることで、負の SSC を作成した。作成した SSC をグラデーションで表示すると図-3.3.9 (a) ようになる。赤色ほど層数が高いことを表している。図-3.3.9 (b) の 2000 年 8 月 25 日観測の LandsatETM+ データと比較すると、SSC の層数が 8 層以上の高い値を示す箇所は、大阪府の中心部を含む広い範囲で分布していることがわかる。都市中心部から淀川や大和川などの河川や郊外部に近づくにつれて、層数の高い（グラデーションの赤色）から層数の低い（緑色）へと SSC の層数が徐々に低くなる傾向が確認できる。

表-3.3.1 に、オーバーハング箇所の全域に対する割合の変遷を整理した。SSC の適用範囲（135m から 945m）では、全体のうち 0.35% 程度のオーバーハング箇所が存在することがわかる。本研究では、対象領域内での透水面分布の全体像を把握することを目的とするため、オーバーハングの領域の詳細な分析は行わないものとする。

(5) 透水面分布の空間的な連続箇所の抽出

本研究では、SSC から透水面分布の空間的な連続箇所を抽出するために、一般に地形状態から谷線等を抽出する際に使用される水系網解析 (Hydrology Modeling) を応用した。水系網解析は集水面積の変化に伴い、抽出される谷線が異なるため集水面積を確定する必要がある。谷線の抽出例を図-3.3.10 に示す。図-3.3.10 (a) の集水面積 8.1km^2 (1000 画素) から集水面積を減少させていくと、図-3.3.10 (b) の集水面積 1.62km^2 (200 画素) のように抽出される谷線の本数が増加するとともに、SSC の層数が低い箇所から層数の高い箇所へと谷線が発生していることが確認できる。その一方で、集水面積の減少に伴い、谷線が最上層に到達した以降も最上層内で、図-3.3.11 の点線内のように枝分かれする箇所を確認した。本研究での透水面分布の連続箇所は、SSC の最下層から最上層に到達する線を谷線として抽出することから、図-3.3.11 の (b) のような最上層内での枝分かれした線を対象としない。そこで、谷線が最上層内で枝分かれし、延長し始める直前の集水面積を本研究に最適な集水面

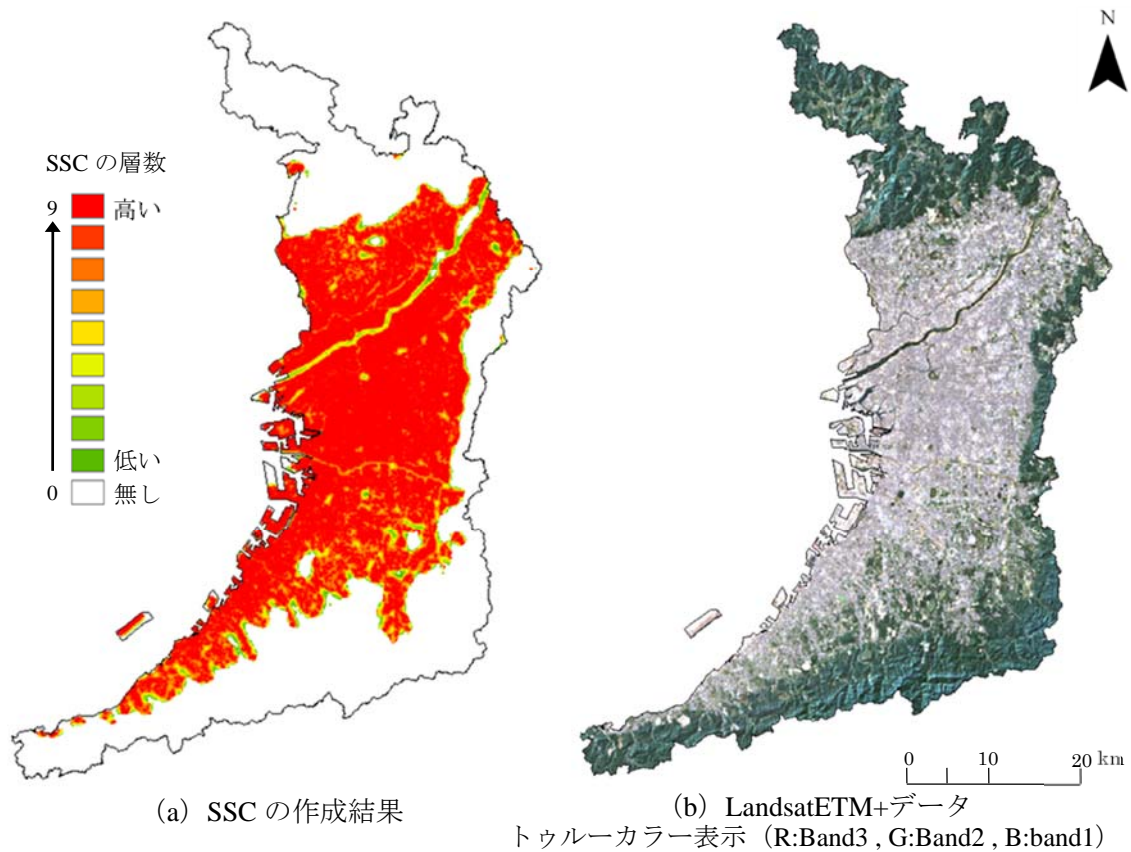


図-3.3.9 SSC の分布状況

表-3.3.1 オーバーハング箇所割合 (%) の変遷

$d(m)$ の組み合わせ	割合 (%)	$d(m)$ の組み合わせ	割合 (%)
	SSC		SSC
135-225	0.35	585-675	0.34
225-315	0.39	675-765	0.38
315-405	0.37	765-855	0.34
405-495	0.37	855-945	0.25
495-585	0.34		

積として採用した。具体的には、最上層に谷線の末端が位置する本数の割合を集水面積ごとに算出した。

算出結果を図-3.3.12 に示す。集水面積 0.89km^2 (110 画素) までは、集水面積の減少に伴い最上層に到達する谷線の割合が減少している。これは集水面積を減少させることで、谷線が最上層に到達し終えていることが表れたと考えられる。一方で、集水面積 0.81km^2 (100 画素) 以降では最上層に到達する谷線の割合が大きくなる。谷線の成長が最上層まで到達し、最上層内での枝分かれが発生したケースが多くなるためと考えられる。対象領域では都市域が広く分布しており、結果として SSC の最上層が台地上に分布していることに影響したものと考えられる。以上のことより、集水面積を 0.81km^2 (100 画素) と決定し、透水面分布の連続箇所を抽出した。図-3.3.13 に集水面積 0.81km^2 (100 画素) を用いた透水面分布の連続箇所の抽出結果を示す。得られた結果は淀川や大和川などの河川周辺を中心に、大阪府全域で分布していることが確認できる。

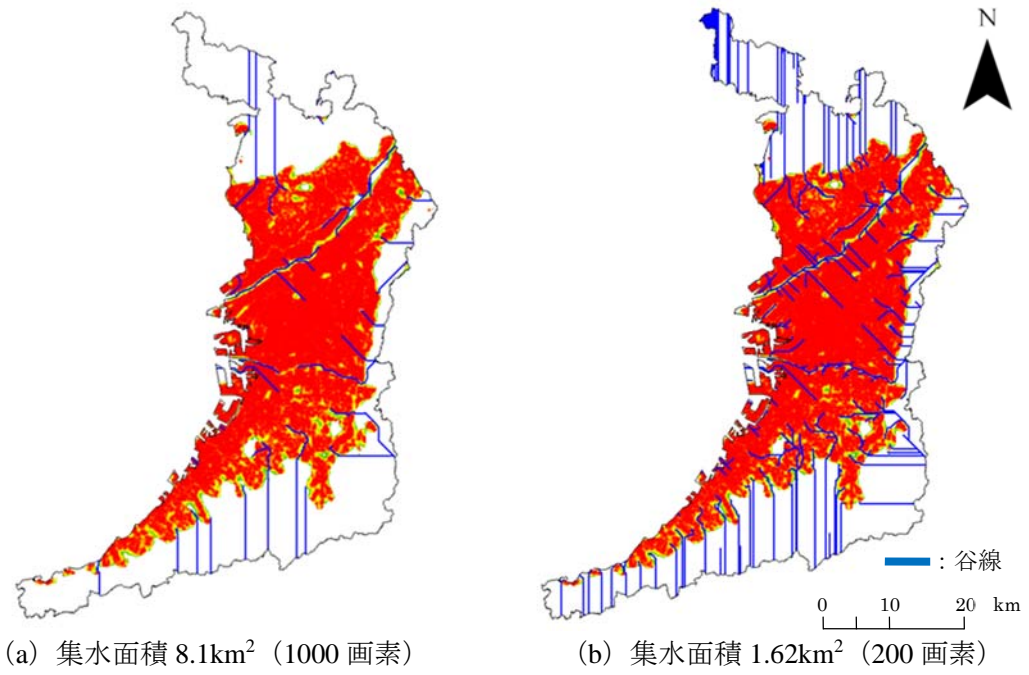


図-3.3.10 谷線の抽出例

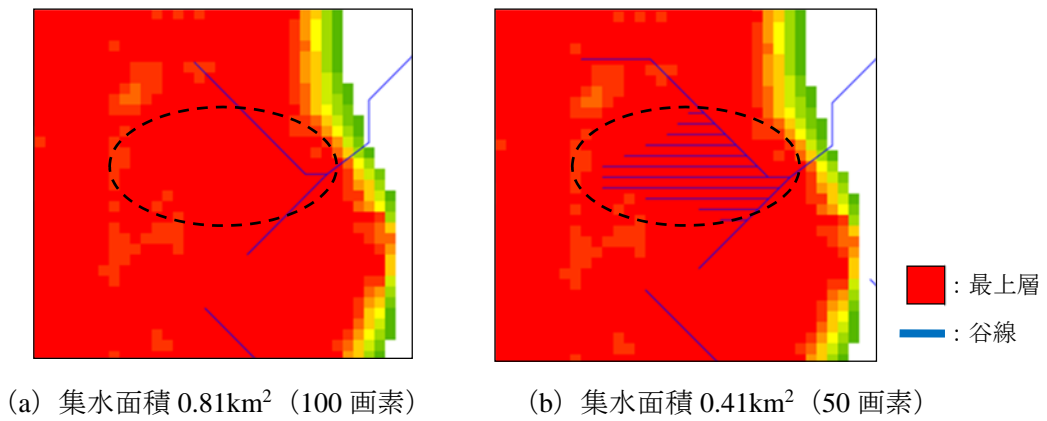


図-3.3.11 最上層での谷線の一部

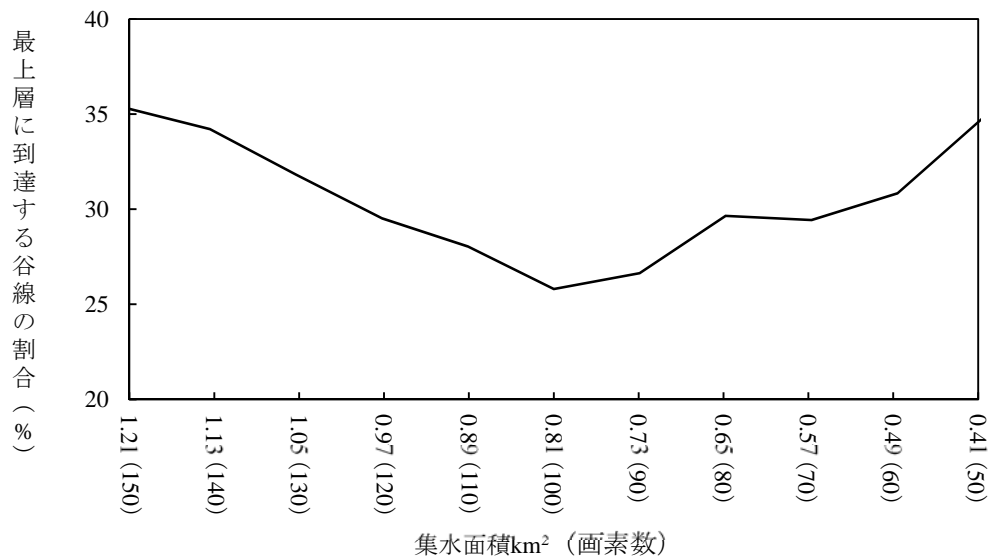


図-3.3.12 集水面積別の最上層に達する谷線の割合

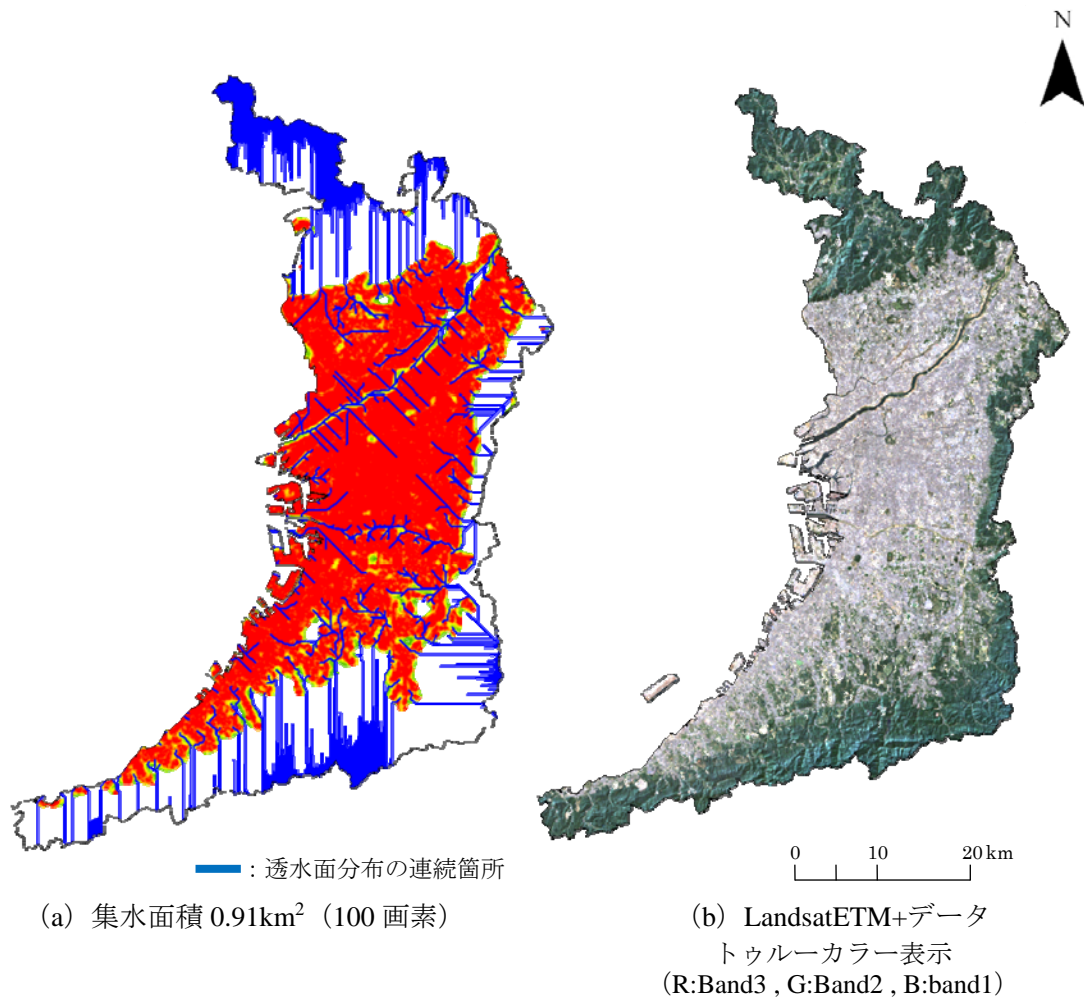


図-3.3.13 透水面分布の空間的な連続箇所

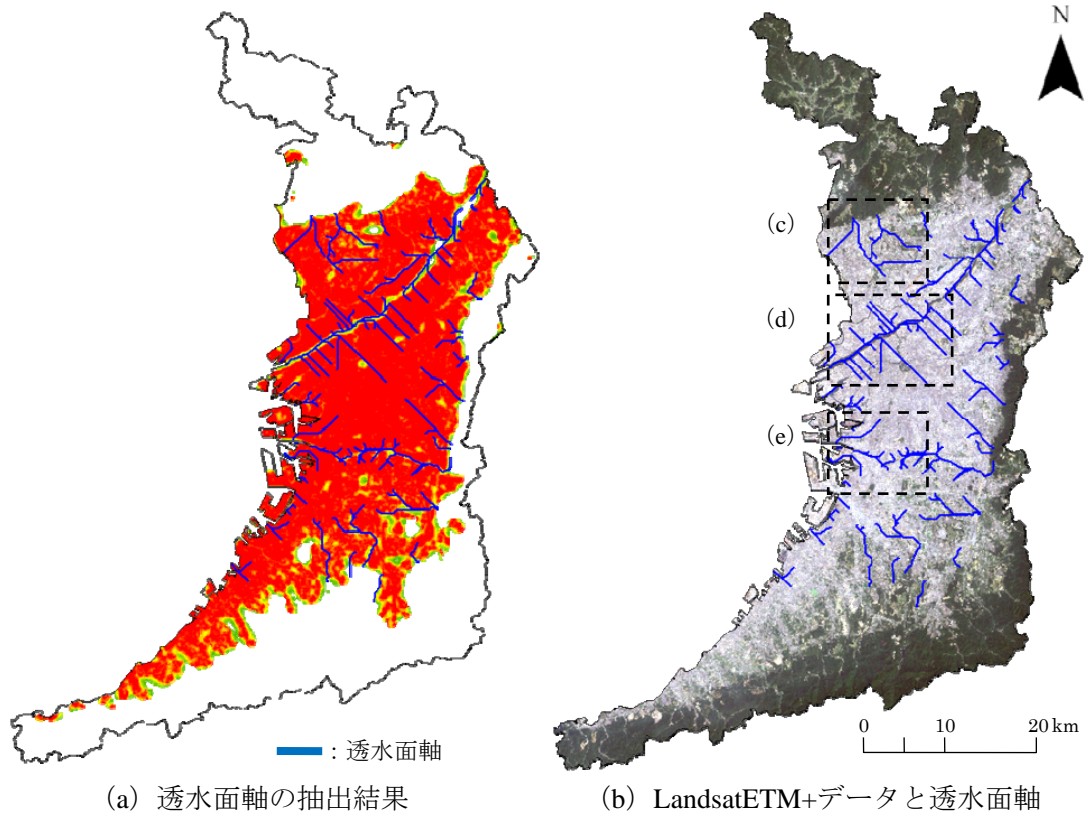
3. 3. 4 透水面軸の選定

(1) 透水面軸の定義

抽出した透水面分布の連続箇所の中から、ヒートアイランド現象の核となる都市中心部から冷却効果が期待できる海域や郊外部まで連なるものを透水面軸と定義した。具体的には 3.2.2 項で述べた SSC の解釈より、SSC の最上層を透水面分布が少ない都市中心部、最下層を透水面が多く分布している可能性が高い箇所と考え、正の SSC の最上層から最下層まで連なる透水面分布の連続箇所を対象とした。なお、本研究では都府県レベルでの広域的な分析を前提としていることから、大阪府の最小市町村である藤井寺市の最短の幅（約 2km）を参考に、2km 以上の透水面軸のみを抽出している。

(2) 透水面軸の抽出

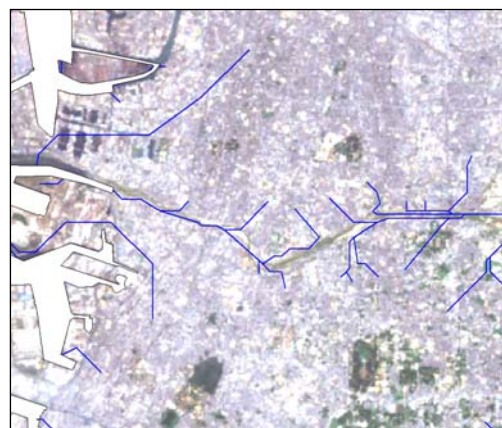
(1)のように設定した定義から透水面軸を抽出した。結果を図-3.3.14 に示す。結果として、1058 本の透水面分布の連続箇所から 123 本の透水面軸を抽出した。得られた透水面軸は、図-3.3.14 (c) のような対象領域の北部や東部、南部に存在する山岳地や農地、図-3.3.14 (d) の淀川や (e) の大和川といった大規模な河川から都市中心部へと分布していることがわかる。



(c) 北部の山岳部周辺地域



(d) 淀川周辺地域



(e) 大和川周辺地域

図-3.3.14 透水面軸の分布状況

3. 4 透水面軸の近傍と遠方との土地被覆状態の比較

透水面軸は、空間的自己相関分析の結果を応用した SSC の考え方から軸に沿って衛星透水面率の高い画素が集積するという仮定の下で抽出されている。そこで、本研究では透水面軸の近傍と遠方の土地被覆状態を比較することで、透水面軸の抽出手法の妥当性を検証した。以下に詳細を述べる。

(1) 検証用データの整備

透水面軸を検証するために、大阪府が航空写真を目視判読により「樹林地」や「草地」、「農地」、「裸地」、「水域」の種類別に分類した、みどりの分布図データ（空間分解能 $1\text{m}\times 1\text{m}$ ：大阪府環境農林水産部提供）を検証用のデータとして採用した。みどりの分布図データを用いて、衛星透水面率の1画素（ $90\text{m}\times 90\text{m}$ ）内の透水面の割合を透水面率として整備した。具体的には、みどりの分布図データの「樹林地」と「草地」、「農地」、「裸地」、「水域」を透水面と設定し、透水面のあり・なしの2値化画像（空間分解能 $1\text{m}\times 1\text{m}$ ）を作成した。図-3.4.1 (a) に透水面の2値化画像の一例を示す。2値化画像を用いて 90 画素 \times 90 画素のウィンドウ処理を行い、ピクセルサイズを 90m に最近隣内挿法を用いて内挿することで、図-3.4.1 (b) の透水面率を得た。図-3.4.1 (c) に同領域の衛星データをトゥルーカラーで示す。

(2) 検証方法について

検証方法の概念図を図-3.4.2 に示す。透水面軸から各距離パラメータ d 以内の領域に含まれる透水面率の平均値（以降、軸上透水面率と呼ぶ）を算出する。また、灰色で示される最大の距離パラメータ d_{max} から $2d_{\text{max}}$ の間の透水面率の平均値を比較用透水面率として算出する。距離パラメータ d を変化させながら、軸上透水面率と比較用透水面率を比較することで抽出した透水面軸を検証した。

(3) 土地被覆状態を比較した透水面軸の検証

a) 軸上透水面率と比較用透水面率の関係

図-3.4.3 に透水面軸ごとの軸上透水面率と比較用透水面率の関係性を距離パラメータ d ごとに整理した。散布図中の点線は 45 度を表す線である。点線より右下側は、比較用透水面率より軸上透水面率が高いことを意味し、左上側では軸上透水面率の方が低いことを表している。軸上透水面率の距離パラメータ d を最大の距離パラメータ d_{max} の 945m から狭めていくと、点線より右側へと点群が移動する傾向が確認できる。軸上透水面率の算出範囲を軸近傍へと狭めることで、比較用透水面率と比べて軸上透水面率が高い値を得ていることがわかる。

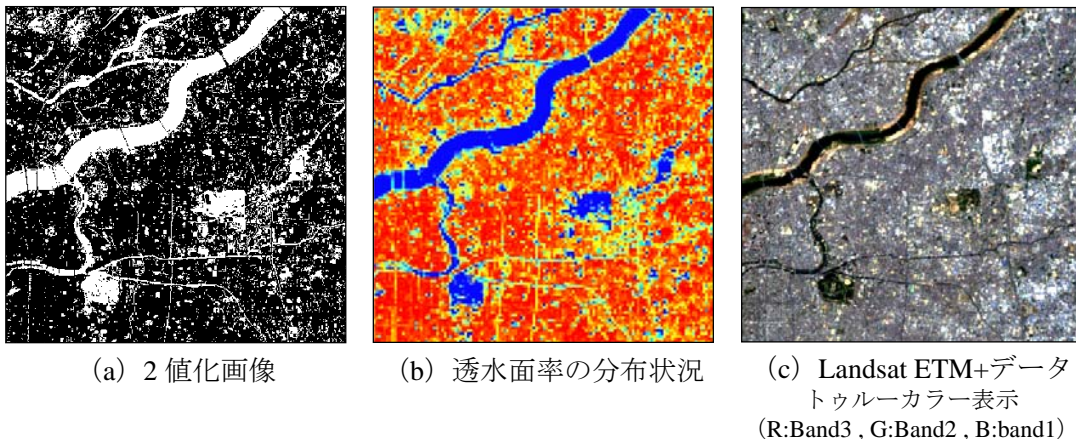


図-3.4.1 検証用データの整備結果の例

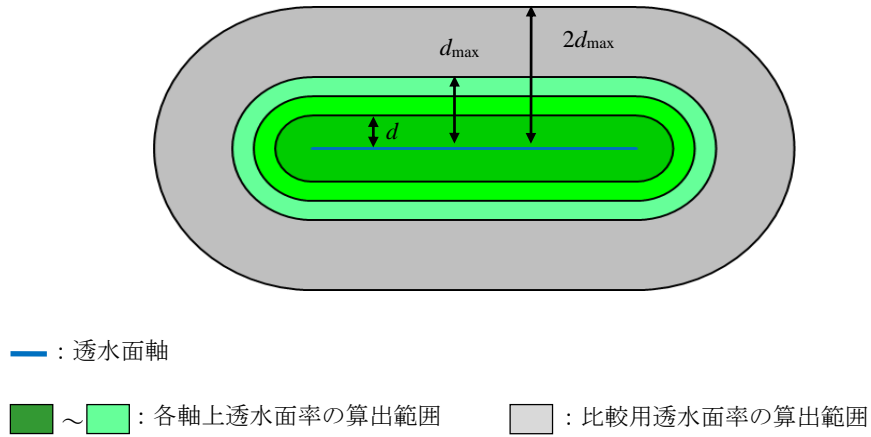


図-3.4.2 検証の概念図

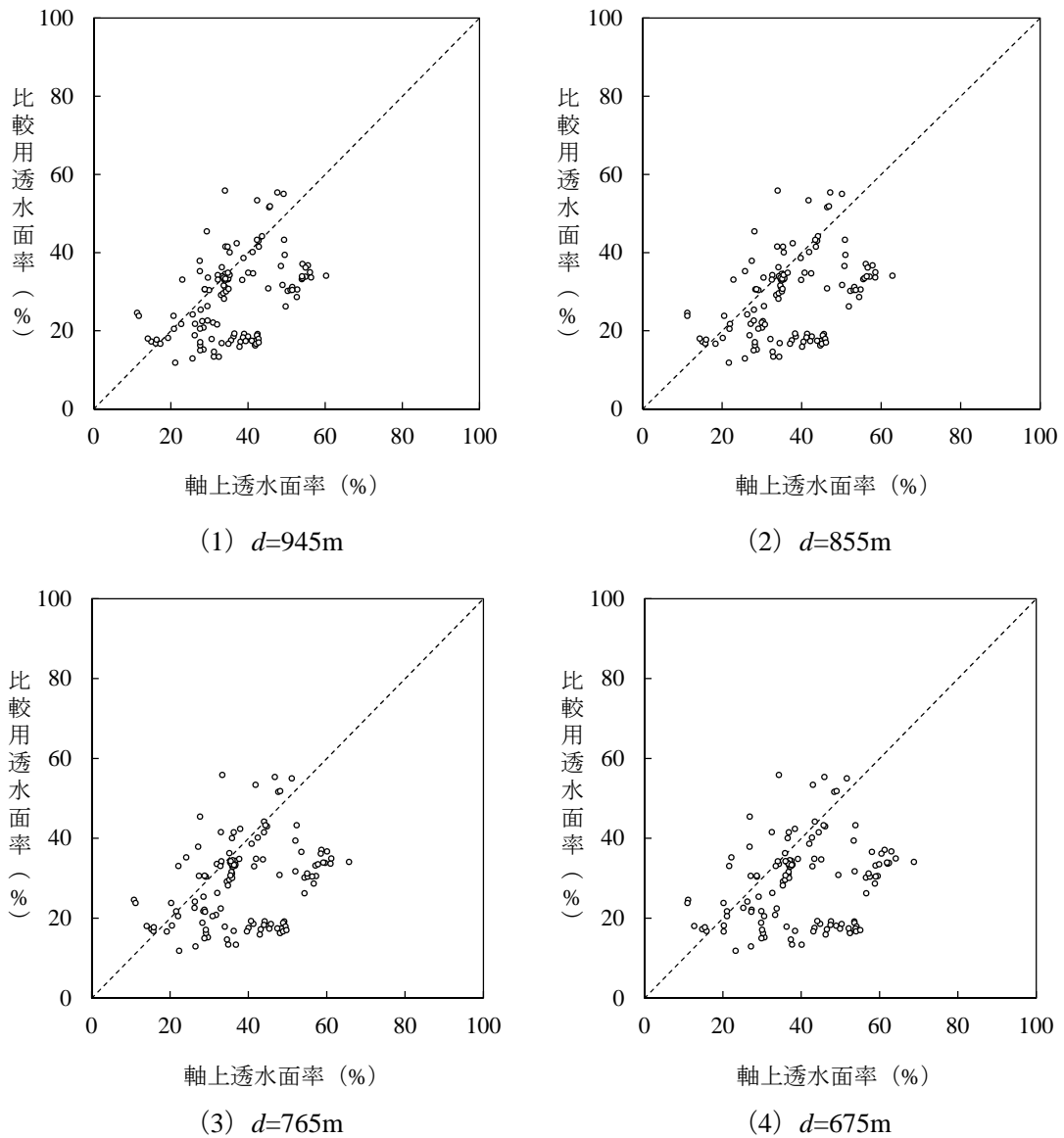
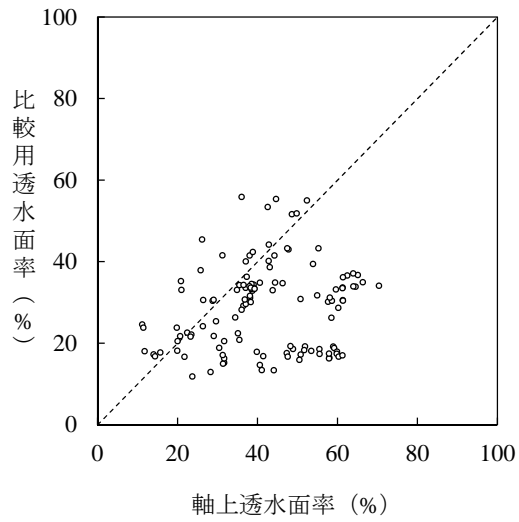
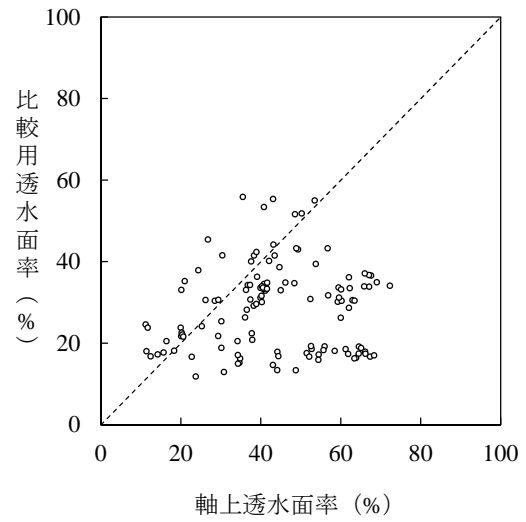


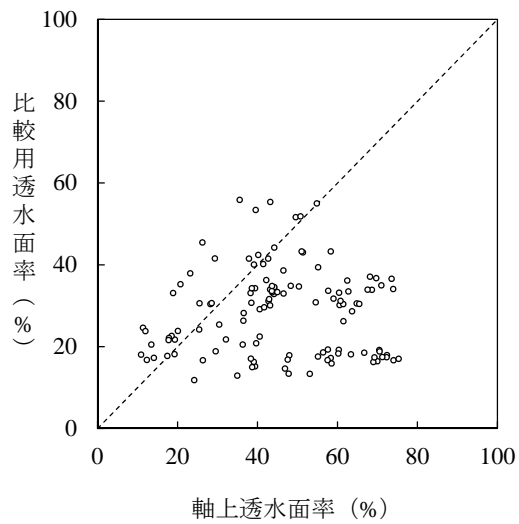
図-3.4.3 軸上透水面率と比較透水面率の散布図 (その1)



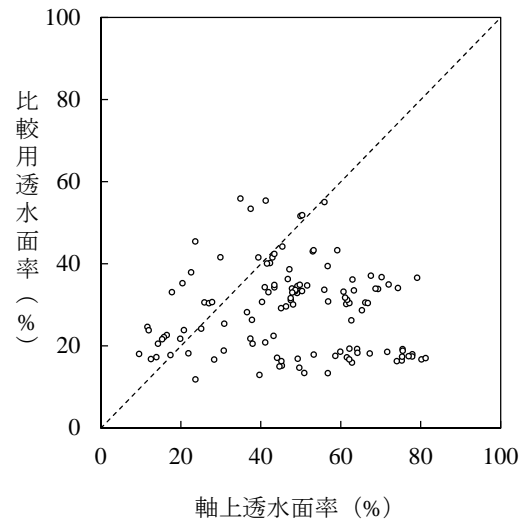
(5) $d=585\text{m}$



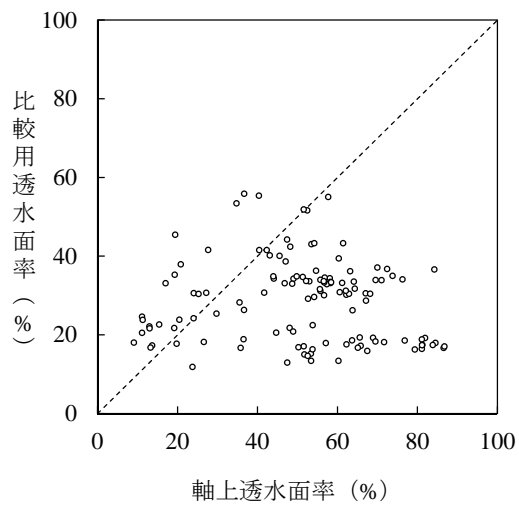
(6) $d=495\text{m}$



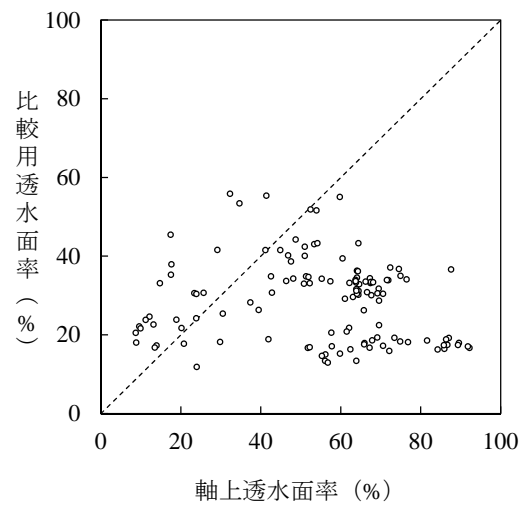
(7) $d=405\text{m}$



(8) $d=315\text{m}$



(9) $d=225\text{m}$



(10) $d=135\text{m}$

図-3.4.3 軸上透水面率と比較透水面率の散布図 (その2)

b) 検定統計量での比較

距離パラメータ d ごとに算出した軸上透水面率と比較用透水面率を統計的に比較した。検証には、Welch 法に基づく 2 標本の差を利用した検定の考え方をを用いており、帰無仮説を「軸近傍とそれ以外とでは透水面率の平均値に差はない」とした上で、式 (3.4.1) より検定統計量 t_0 を計算している。

$$t_0 = \frac{\bar{x}_{in} - \bar{x}_{out}}{\sqrt{\left(\frac{s_{in}^2}{n_{in}} + \frac{s_{out}^2}{n_{out}} \right)}} \quad \text{式 (3.4.1)}$$

\bar{x}_{in} , s_{in}^2 および n_{in} は軸上透水面率の平均値、分散およびデータ数 (画素数) を示し、 \bar{x}_{out} , s_{out}^2 および n_{out} は比較用透水面率の平均値、分散とデータ数 (画素数) を示す。なお、Welch 法に基づく検定は、比較するデータの数や分散の違いを考慮した検定方法である。距離パラメータ d を変化させながら軸上透水面率と比較用透水面率を比較することで、透水面軸を検証した。

結果を図-3.4.4 に示す。図-3.4.4 では、横軸に軸上透水面率の算出範囲、縦軸は軸上透水面率と比較用透水面率の差を検定統計量で表している。検定統計量の値が正側に振れると、軸上透水面率の方が比較用透水面率より高いことを意味する。得られた結果は全ての調査範囲で正側に振れ、有意水準 5% を越える結果を示した。さらに、 $d=945\text{m}$ から調査範囲を狭めることで、検定統計量が増加する傾向が確認できる。つまり、透水面軸の近傍になればなるほど、衛星透水面率の高い画素が集積していると解釈できる。

3. 5 気象観測データを用いた透水面軸の検証

透水面軸に沿って透水面率の高い箇所が集積する傾向が現れた。したがって、透水面軸の周辺に放射冷却などの温度の低減効果が現れている可能性がある。そこで、本研究では放射冷却が生じやすい気象条件の下での気象観測データとの関連性を検証した。なお、ヒートアイランド現象の生じているなかでの比較を実施することから、対象領域内で大阪府が定めたヒートアイランド優先対策地域を検証領域として定めた。

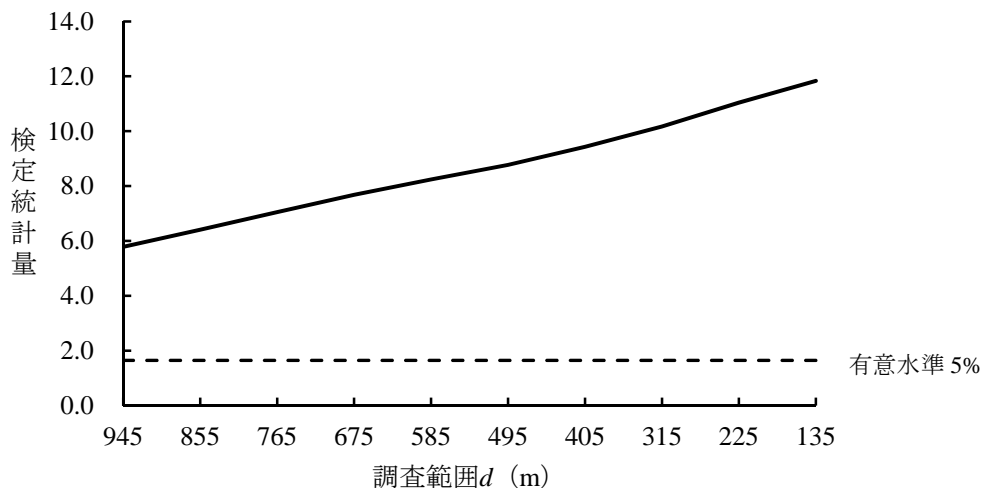


図-3.4.4 土地被覆状態の検証結果

3. 5. 1 気象観測データの選定

(1) 気象観測データについて

本研究で使用する気象観測データは AMeDAS データと大気汚染常時監視測定局の一般局のデータである。両データの特徴を以下に記す。

a) AMeDAS データ

AMeDAS (Automated Meteorological Data Acquisition System) とは、気象庁の「地域気象観測システム」の通称であり、大雨や突風、大雪などの気象状況をきめ細かく迅速に把握するために開発された。主に降水量と気温、日照時間、風向、風速の 5 要素を 1 時間毎に観測している。観測密度は約 21km 四方に 1 点程度であり、都道府県レベルの気象状況の把握に適している。データはオンラインで入手が可能である⁴¹⁾。

b) 大気汚染常時監視測定局データ

大気汚染常時監視測定局とは、大気汚染状況を常時監視するシステムであり、都道府県や市町村が設置している。観測目的によって一般局と自排局に大別される。一般局は「環境基準の適合状況の把握、大気汚染対策効果の確認などの地域全体の汚染状況を把握する」ことを目的としている。自排局は「自動車排気ガスに起因する汚染状況を把握する」ことを目的とし、交差点やバイパスなど幹線道路周辺の大気を対象としている。主な測定項目は大気汚染 11 要素と気象 4 要素（気温、湿度、風向、風速）であり、1 時間毎に観測している。観測密度は自治体間で異なるが、市域レベルの気象状況の把握に適している⁴²⁾。本研究では、大阪府環境農林水産部「大阪府地域大気汚染常時監視測定データファイル」から提供を受けたデータを利用した⁴³⁾。

(2) 8 月の典型的な晴天日の選定

1998 年から 2002 年の 8 月の AMeDAS データを用いて、典型的な 8 月の晴天日（以降、晴天日）を以下の条件で選定した。AMeDAS の設置状況を図-3.5.1 に示す。選定の条件は①枚方と大阪、生駒山、堺の観測局における 1 日あたりの日照時間が 8 時間以上、かつ、②枚方と豊中、大阪、生駒山、堺における 1 日あたりの降水量が 1mm 未満の場合である。なお、豊中では日照時間を観測していないため、①の条件から除いている。①と②の条件により晴天日として 31 日を選定した。

選定した晴天日を基に大気汚染常時監視測定局の一般局の気温と風速、風向データを整備した。整備した全 18 局の立地状況を図-3.5.2 に示す。本研究では、室外機や冷却塔など気温データへの局所的な影響が懸念される観測局のデータをあらかじめ除いている¹⁹⁾。

3. 5. 2 夜間における透水面軸が有する冷却効果の調査

さらに、前項で整備した晴天日での気象観測データを絞り込む。絞り込んだ気象観測データを用いて、透水面軸が有する周辺地域への冷却効果の把握を試みた。以下に詳細を述べる。

(1) 夜間での代表日の選定

都市部では、人工排熱やコンクリート構造物などの蓄熱などにより晴天日においてヒートアイランド現象が顕著となる。晴天日が長期間にわたって続く場合など、特定の気象条件が継続する期間によっては、都市の高温化に差異が生じることが考えられる。本研究では、1998 年から 2002 年の夜間での気温データを対象としており、5 年間を通じて、観測条件を整えることが望まれる。そこで、長期的に地表面が蓄熱状態にある場合を避けるために、枚方と豊中、大阪、八尾、堺において晴天日の前日に 1mm 以上の降水量が確認された日を代

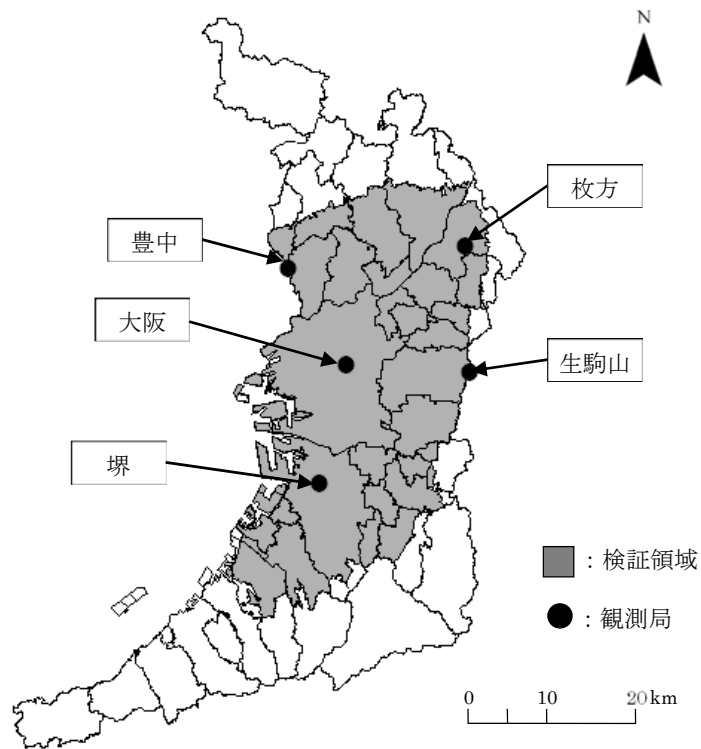


図-3.5.1 検証領域における AMeDAS の分布状況

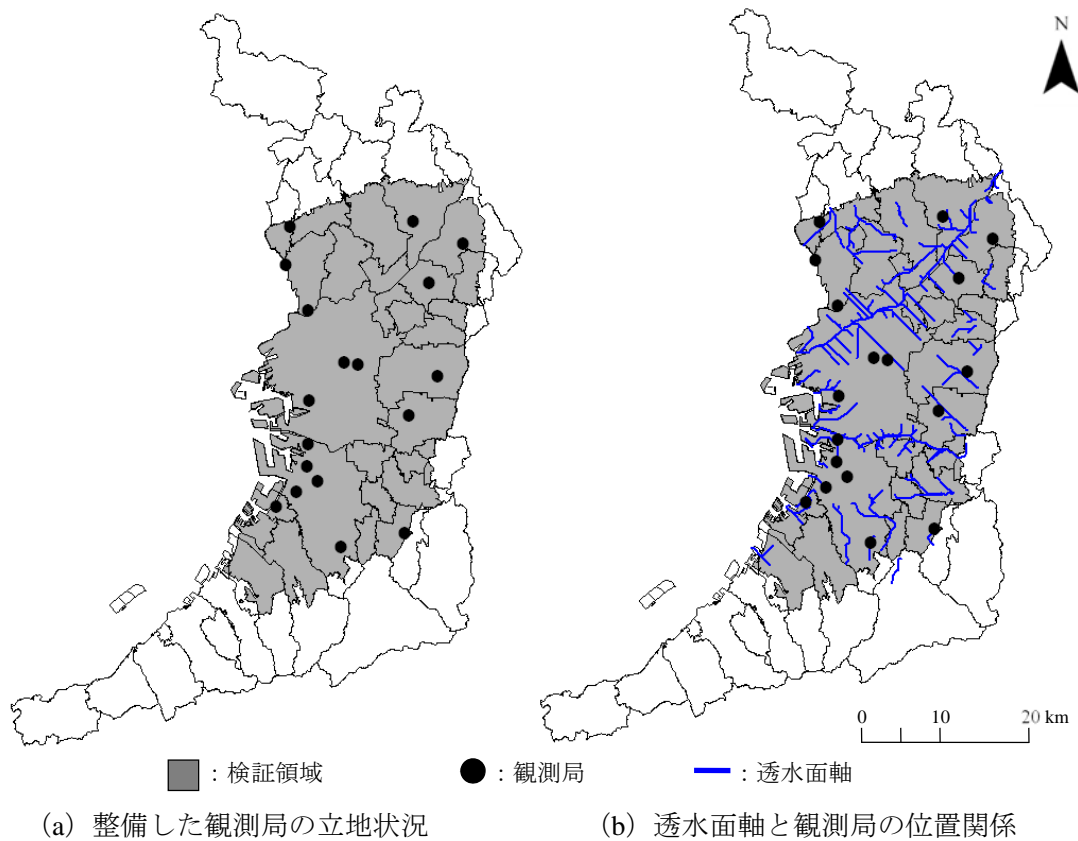


図-3.5.2 検証で使用する観測局の立地状況

表日とした。その結果、代表日として1999年8月28日と2001年8月23日、2002年8月30日の3日間を選定した。

最後に、風の穏やかな夜間に透水面の周辺地域に対する冷却効果が顕著に見られるとの指摘から、検証で対象となる時間帯を選定した^{9),17)}。具体的には、AMeDASの枚方と豊中、大阪、八尾、堺で観測された1時間あたりの風速データを用いて、5カ所の観測所の平均値を算出し、平均値が2m/s以下の場合を風の穏やかな時間帯として採用した。その結果、代表日の翌午前4時(午前3時から午前4時まで)で条件を満たした。以上のことから、透水面軸の検証には、気象観測局で観測された代表日翌日の午前4時の気温データを用いることとした。

(2) 透水面軸の冷却効果の把握

各観測局から透水面軸までの最短距離を算出し、午前4時の気温との関係を図-3.5.3のように整理した。横軸に観測局から透水面軸までの最短距離(m)、縦軸に全18局の夜間代表日(3日間)の翌午前4時の気温(°C)を示している。なお、使用する観測結果の総数は53点である。対象観測局から透水面軸までの距離が1000m程度周辺までの場合は、散布図にばらつきがあるものの、透水面軸から離れるにつれて気温が上昇する傾向が確認できる。その一方で、図中の点線で囲まれる箇所のように、透水面軸から2000m以上離れているにも関わらず、気温が25°C以下と比較的低い値を示す観測局が確認できる。これらの観測局はAMeDASの枚方と豊中、堺であった。AMeDASは、大きさ一辺20m以上でおおよそ600m²以上の芝生広場の中央部で観測することや周囲に近接して建物が存在しないことなどの観測上の規定がある⁴⁾。観測条件の違いにより、AMeDASの気温データは大気汚染常時監視測定局の気温データと比較して、低い値を示す傾向が指摘されている¹⁹⁾。図中の点線内のデータはAMeDASデータの特徴を表したものとも推測される。本研究では、検証領域内の全体の透水面軸と気象観測データとの傾向を確認することから、観測点数をできるだけ多く確保するケースとして、AMeDASデータを含めた場合を検証した。さらに、使用データからAMeDASでの観測結果を除き、大気汚染常時監視測定局データのみを対象とした場合についても検証した。なお、AMeDASデータを含めた場合は53点、AMeDASデータを除いた場合は41点の気温データとなる。

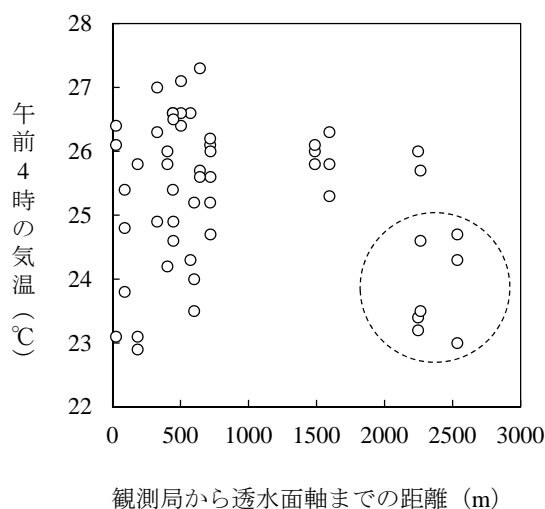


図-3.5.3 観測局から透水面軸までの距離と気温

図-3.5.4 に示す概念図のように，調査範囲を変化させながら，各透水面軸から調査範囲内の観測局の気温データと範囲外の気温データを比較することで検証した．調査範囲は正のSSCの距離パラメータ d を基に変化させる．表-3.5.1 に調査範囲とデータ数の関係を示す．具体的には3.4節・式(3.4.1)において \bar{x}_in ， s_{in}^2 および n_{in} を調査範囲内の気温データ， \bar{x}_{out} ， s_{out}^2 および n_{out} を調査範囲外の気温データとし，調査範囲を変化させながらすべての透水面軸で調査範囲内にある観測局の気温データと調査範囲外の気温データとで平均値を検定統計量 t_0 より比較した．ただし，図-3.5.4 との対応を考慮し，検定統計量 t_0 が正側に振れば調査範囲内に含まれる気温データの方が低い値を示すように式(3.4.1)を変形している．

図-3.5.5 に AMeDAS データを含めた場合と除いた場合の検証結果を示す．図-3.5.5 では，横軸を調査範囲，縦軸はそれぞれの透水面軸から各調査範囲内に含まれる観測局と調査範囲外に位置する観測局の気温データの平均値の差を検定統計量で表している．表-3.5.1 での585mから495mをみると，調査範囲内と範囲外のデータ数の差が小さくなるのがわかる．図-3.5.5 では，さらに調査範囲が小さくなるに連れて調査範囲内の気温データの平均値が低いことを示す結果が確認できる．緑地からの冷気のにじみ出しは，緑地の大小などにもよるが，200m程度周辺まで影響を及ぼすとの指摘もある^{9), 17)}．調査範囲315mおよび225mでの有意水準10%と比較すると，得られた結果は透水面軸近傍での気温の低減効果を示唆したものと推測される．AMeDAS データを除いた場合では全ての調査範囲で検定統計量が正側に振れるなど，調査範囲の全体を通じて有意な結果を示している．一方で，表-3.5.1を確認すると，AMeDAS データを含む・含まないの関係なく，調査範囲135mでは該当するデータ数が著しく減少しており，統計的に不安定な結果を招いたものと考えられる．

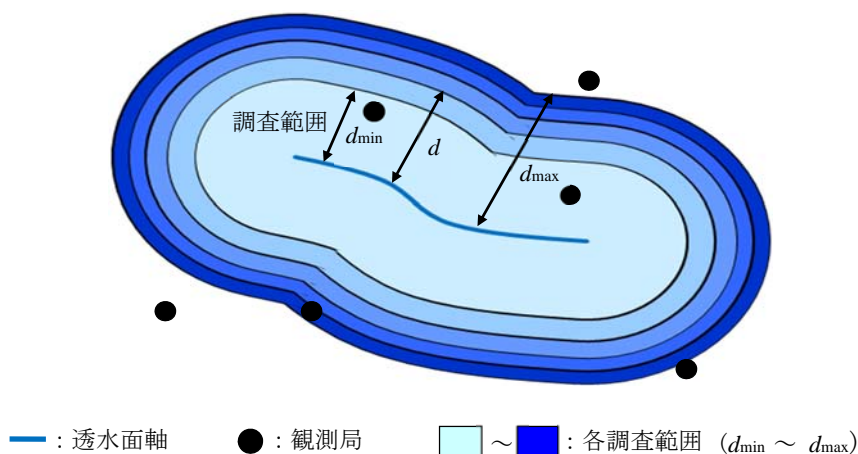
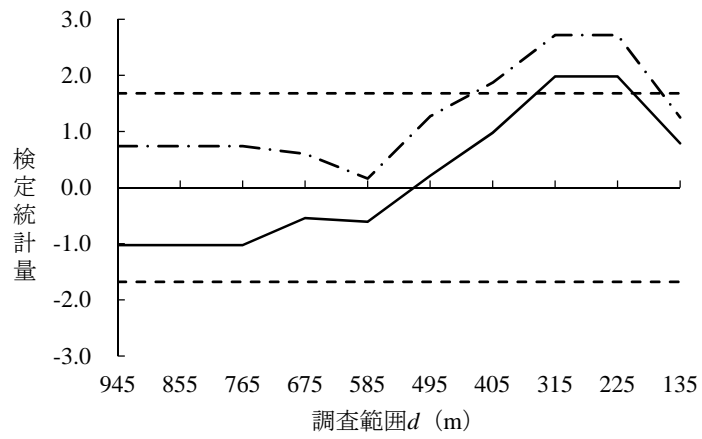


図-3.5.4 検証の概念図

表-3.5.1 調査範囲とデータ数

		d (m)										
		945	855	765	675	585	495	405	315	225	135	
データ数 (個)	AMeDAS含む	調査範囲内	42	42	42	36	30	21	15	9	9	6
		調査範囲外	11	11	11	17	23	32	38	44	44	47
	AMeDAS除く	調査範囲内	38	38	38	32	26	21	15	9	9	6
		調査範囲外	3	3	3	9	15	20	26	32	32	16



—— : AMeDAS データを含めた場合 - · - : AMeDAS データを除いた場合 - - - : 有意水準 10%

図-3.5.5 代表日（翌午前4時）での検定統計量の結果

第4章 透水面分布の規模に応じた広域分析の検討

4.1 対象領域および対象データについて

大阪府は国内の主要都市（東京，名古屋，横浜）と比べて，真夏日と熱帯夜の日数がともに最も多く，国内においてヒートアイランド現象が顕在化している都市の一つである．大阪府では2004年に「大阪府ヒートアイランド対策推進計画」が策定され，優先的に対策を実施すべき都市域として，「ヒートアイランド優先対策地域」が定められている²⁰．4章では，「ヒートアイランド優先対策地域」に指定された地域を対象領域と設定した．図-4.1.1に大阪府全域と対象領域について，衛星データ（Landsat ETM+データ 2000年8月25日観測）を用いて示す．対象領域には，大小さまざまな規模の都市公園や農地が存在するとともに，淀川や大和川といった河川が都心部を縫うように大阪湾へ流れており，大規模な透水面や水面が周囲や中央部に存在する．

対象データは，3章において透水面軸の土地被覆状態の検証に使用した精緻な土地被覆データであるみどりの分布図データ（空間分解能 1m×1m：大阪府環境農林水産部提供）を採用した．対象領域での分布状況を図-4.1.2に示す．みどりの分布図データは大阪府の自然環境に資することを目的として，「樹林」，「草地」，「農地」，「裸地」，「水面」の項目別に定めた画像データである．2002年10月17日と2002年11月7日に撮影された航空写真を目視判読することにより作成されている．気象観測データは3章と同様に AMeDAS データと大気汚染常時観測局の一般局の観測データを使用した．

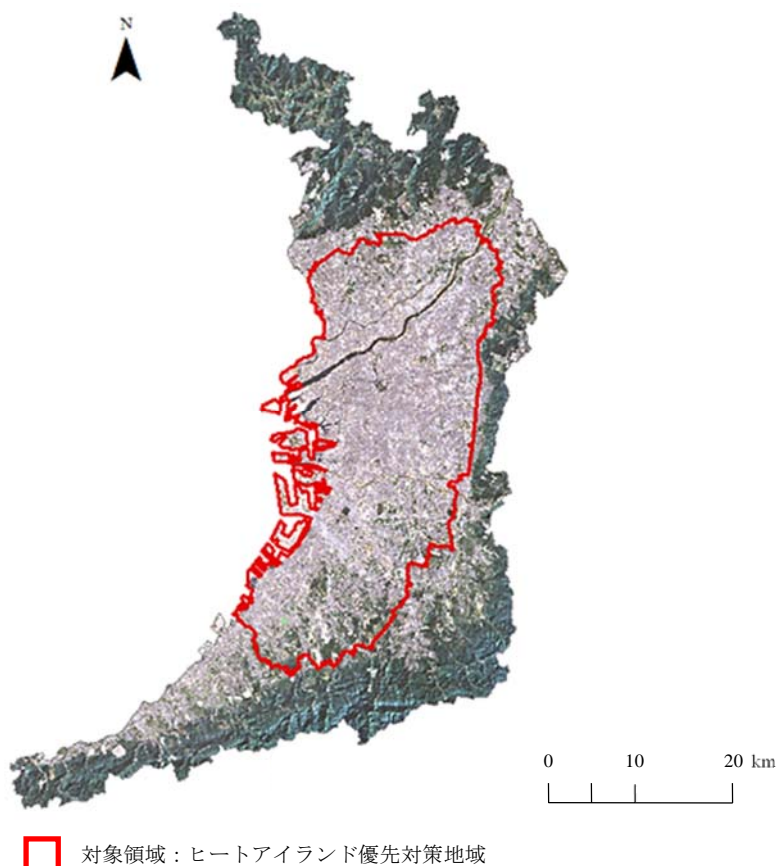


図-4.1.1 対象データの対象領域内での分布状況

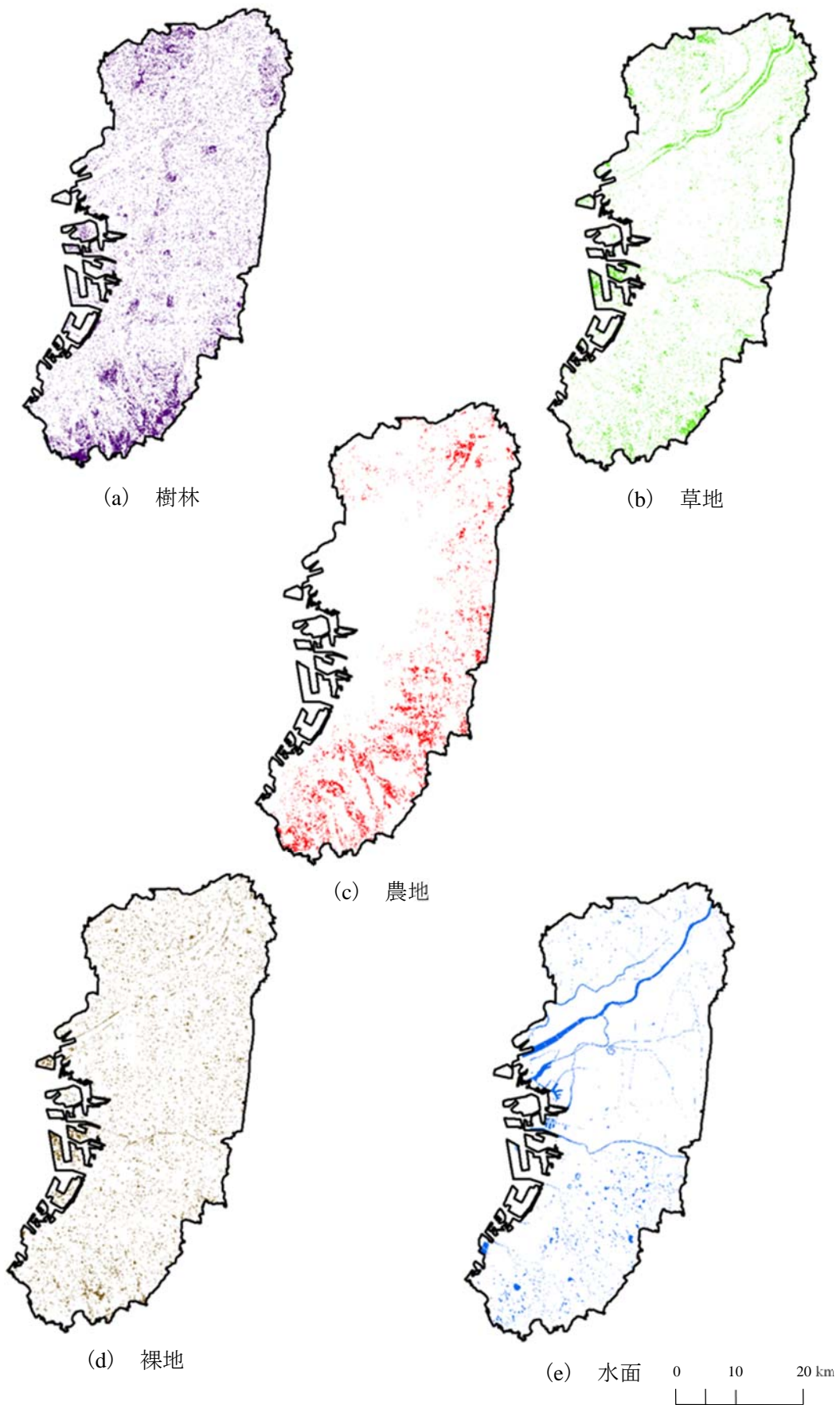


図-4.1.2 対象データの対象領域内での分布状況

4. 2 透水面分布の規模に応じた空間的な連なりの抽出

4. 2. 1 透水面分布の規模に応じた広域分析の考え方

本研究で採用する手法は、小規模な透水面が散在する場合であっても、高い透水面率の画素の集積に寄与していればその近傍で透水面軸が抽出されると想定される。その一方で、透水面が有する気温の低減効果は、透水面の規模に依存することが指摘されている^{9),16),17)}。透水面分布が空間的に連なる状態にあっても、個々の透水面の規模が十分でなければ、透水面軸近傍と遠方とでは気温差の生じない恐れもある。

そこで本研究では、透水面の規模の条件を次のように設定し、分析することとした。まず、従来の研究の成果を加味した上で^{9),17)}、小規模な透水面のみでは、気温の低減効果は少ないと仮定した。次に、規模の下限値を変動させながら分析対象とする透水面を絞り込んだ上で、その都度抽出される透水面軸を対象に、空間的な集積の状態を検証するとともに、気温との比較を通じてその空間特性を分析した。

4. 2. 2 透水面率の算出

本研究では、みどりの分布図データで自然面（「樹林」、「草地」、「農地」、「裸地」、「水面」）と判別された箇所を透水面と定義した上で、都市公園の種別の規模（街区公園（0.25ha）、近隣公園（2ha）、地区公園（4ha）、総合公園（10ha～50ha）、運動公園（15ha～75ha））を参考に²³⁾、その規模以上の透水面に、仮想的に絞り込むことで規模別の透水面分布データを作成した。作成した透水面分布データを図-4.2.1に示す。得られた規模別の透水面分布データを基に、それぞれの規模ごとの透水面率を算出した。結果を図-4.2.2に示す。なお、本研究では、3章での衛星データで得られた結果との比較も想定し、1画素のサイズを衛星データと同様の90m×90mと設定している。図-4.2.2では、すべての規模を通じて、都市中心部で透水面率が低い値を示すことがわかる。対象とする透水面が規模の大きいものに限定されていくにつれて、淀川や山岳部の周辺など、限られた地域のみで透水面率の高い値を示し、都心部全域が透水面率の低い箇所で覆われていくことがわかる。

4. 2. 3 規模別の透水面軸の選定

規模ごとに作成した透水面分布データを3章で開発した広域分析に適用すると図-4.2.3のように透水面が省かれた領域においてSSCの層数が増減し、透水面の規模ごとの特性を示す透水面軸の抽出が期待できる。そこで、本研究では、規模ごとに算出した透水面率を広域分析に適用し、透水面軸を抽出した。なお、空間的自己相関分析の適用範囲と水系網解析の適用時の集水面積は3章の衛星データを用いた場合と同様の135m～945mと0.81km²と設定している。結果を図-4.2.4に示す。図-4.2.4(a)と(b)、(c)、(d)では河川や郊外部から都市部に向けて、SSCの起伏に富んだ層数の分布となっていることがわかる。その一方で、(e)75ha以上では、黄緑から黄色で示されるSSCの4層目や5層目を示す箇所が(a)から(d)までの区分に比べて、全体的に減少していることが確認できる。透水面軸については、SSCの起伏の谷部分に沿うように、河川や対象領域南部の農地からSSCの層数の高い箇所へ軸が分布する傾向が確認できる。さらに、透水面の規模の区分が大きくなるにつれて、透水面軸の本数が絞られ、大阪湾や淀川、山岳部などの大規模な透水面を始点とする透水面軸に限定されていく傾向を示すことがわかる。



図-4.2.1 規模ごとの透水面分布データ (その1)

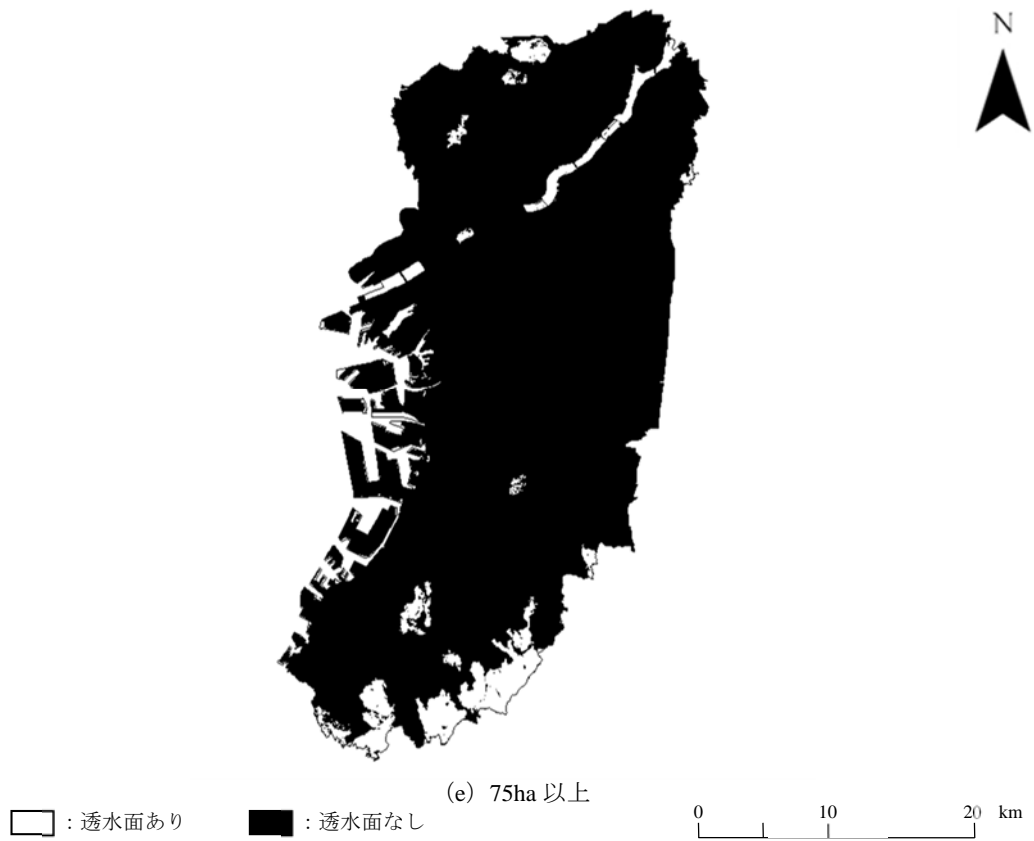


図-4.2.1 規模ごとの透水面分布データ (その 2)

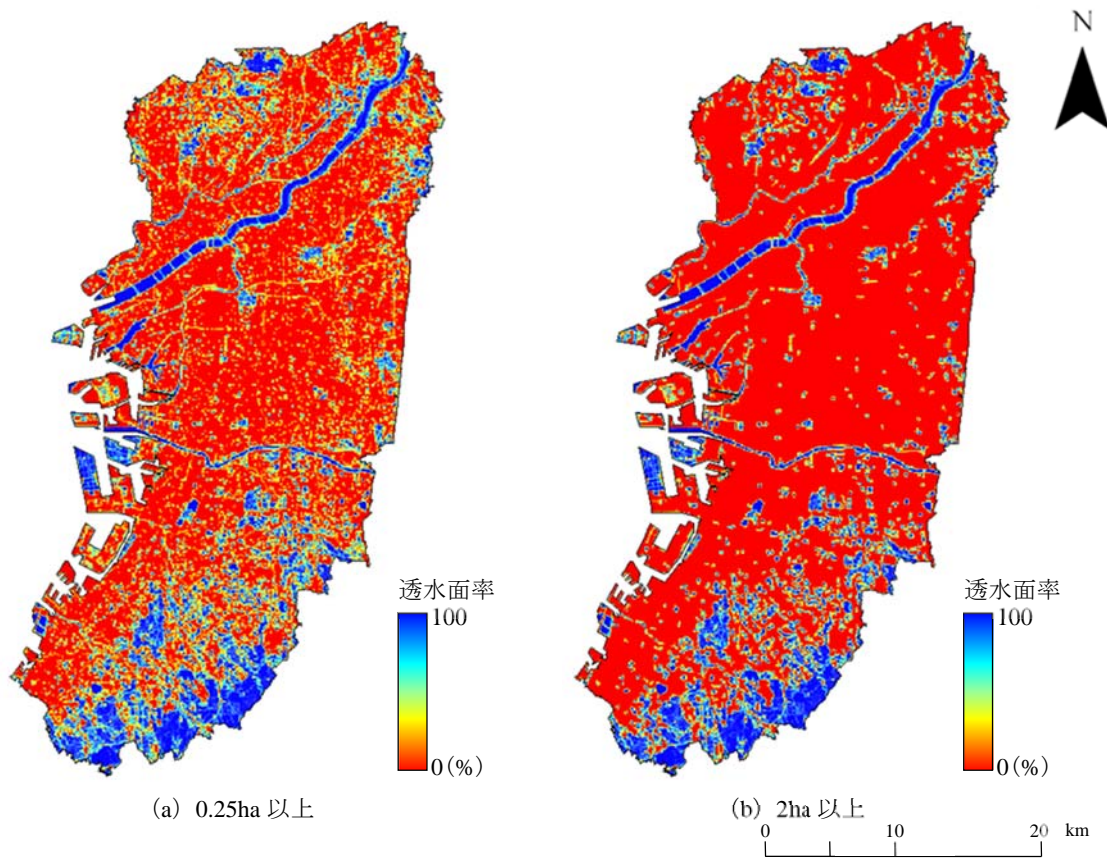
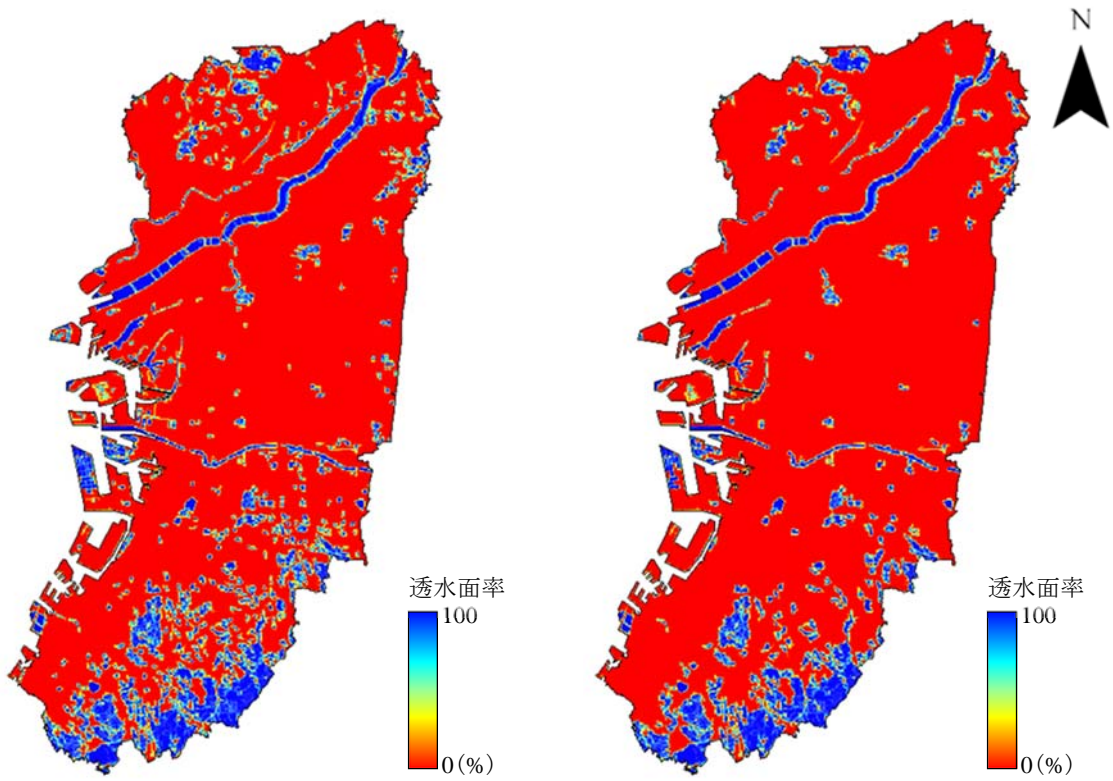
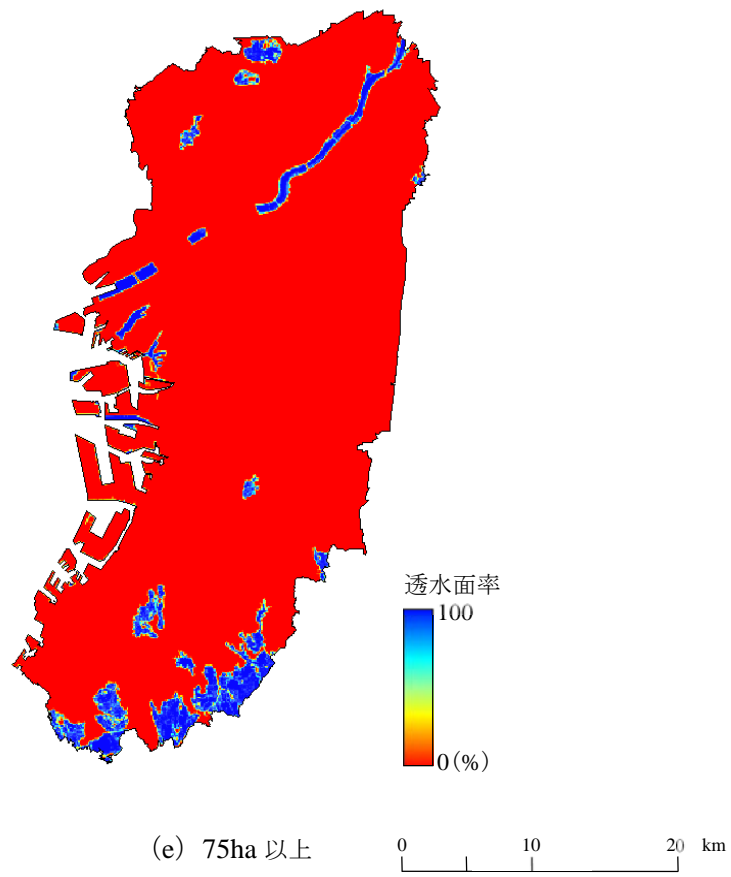


図-4.2.2 規模別の透水面率の分布状況 (その 1)



(c) 4ha 以上

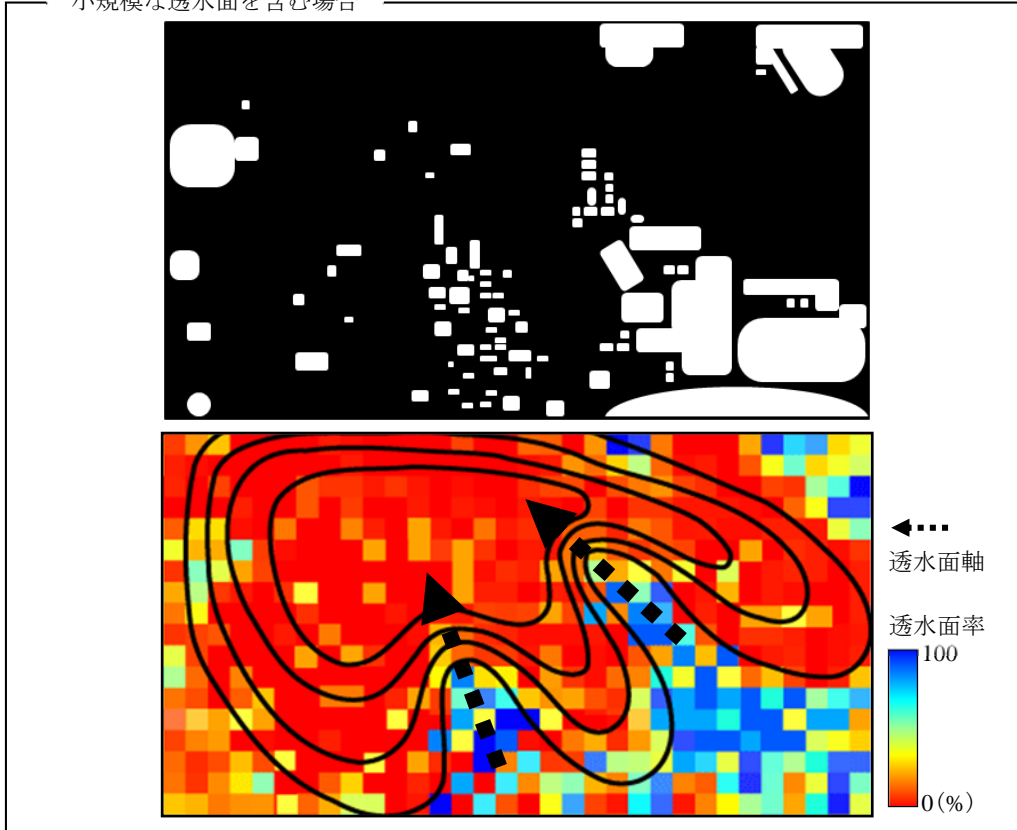
(d) 10ha 以上



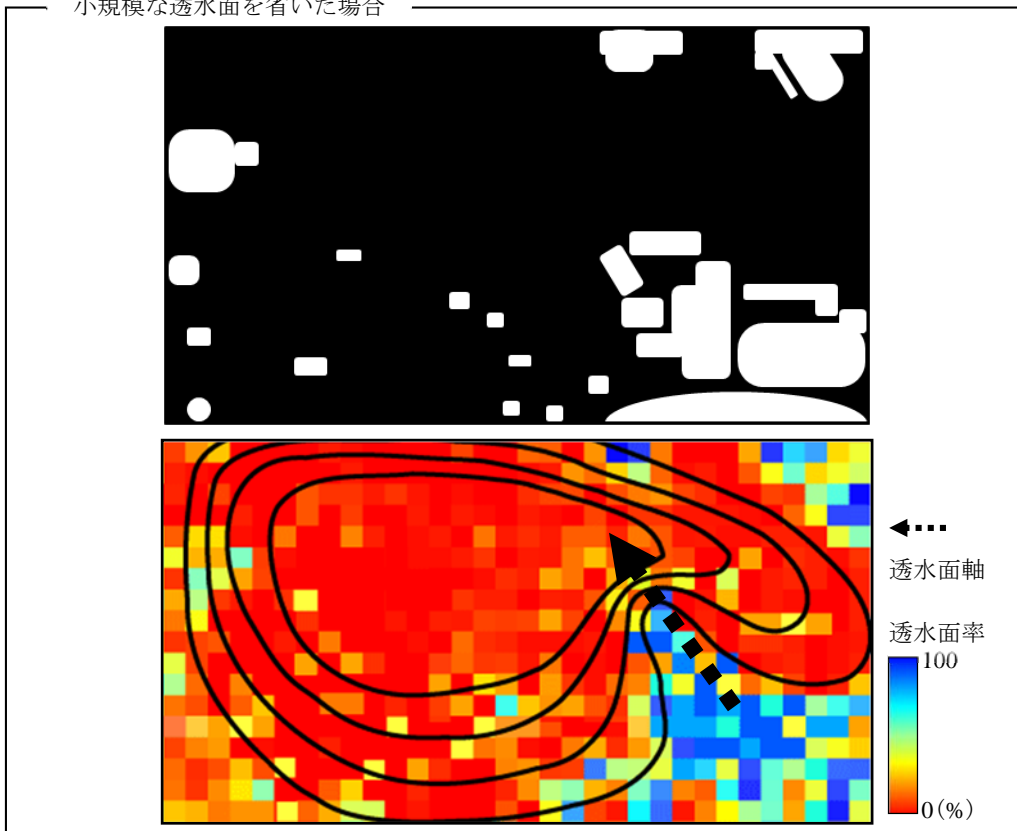
(e) 75ha 以上

図-4.2.2 規模別の透水面率の分布状況 (その2)

小規模な透水面を含む場合



小規模な透水面を省いた場合



□ : 透水面あり ■ : 透水面なし

図-4.2.3 透水面の規模ごとのSSCと透水面軸について

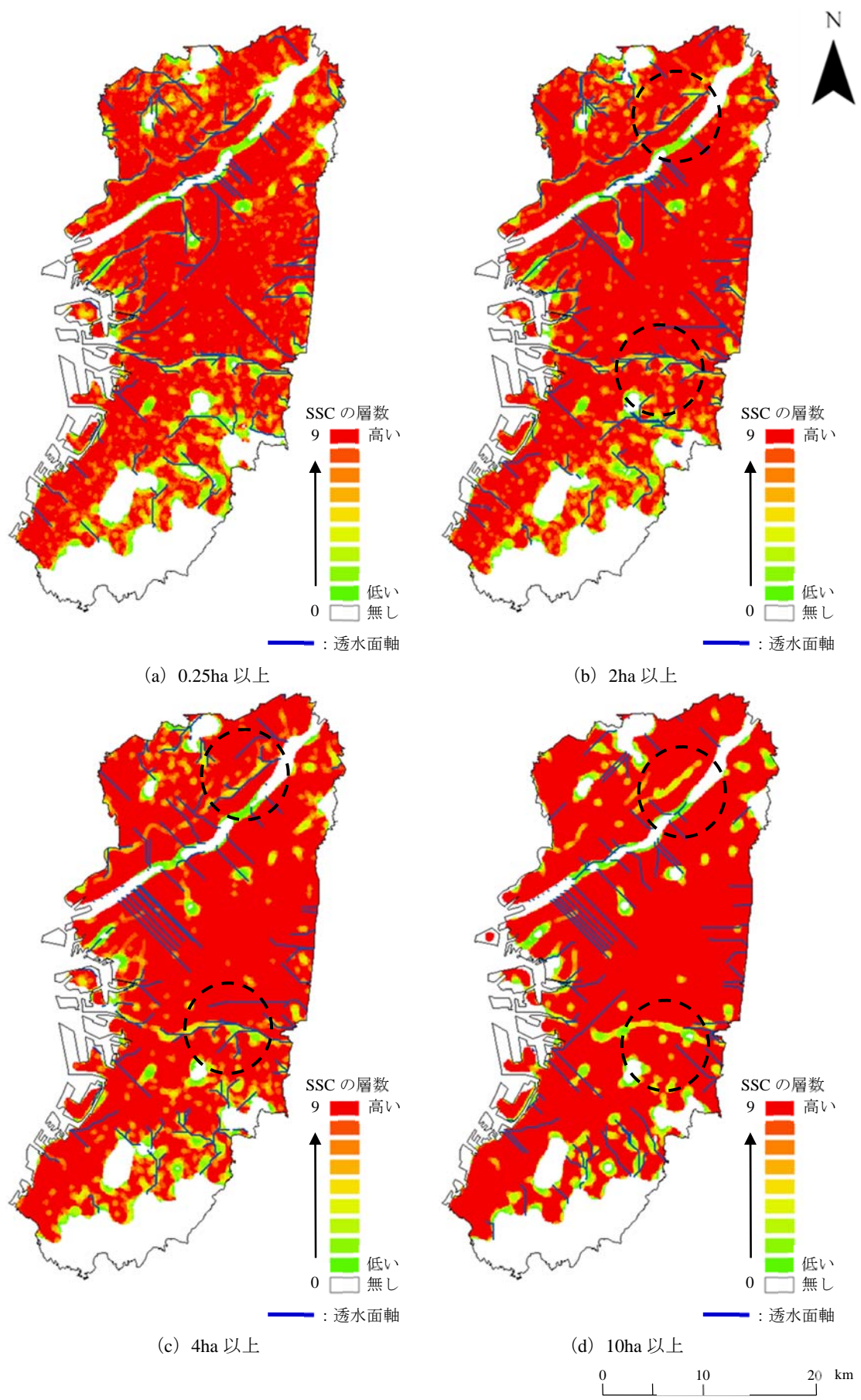
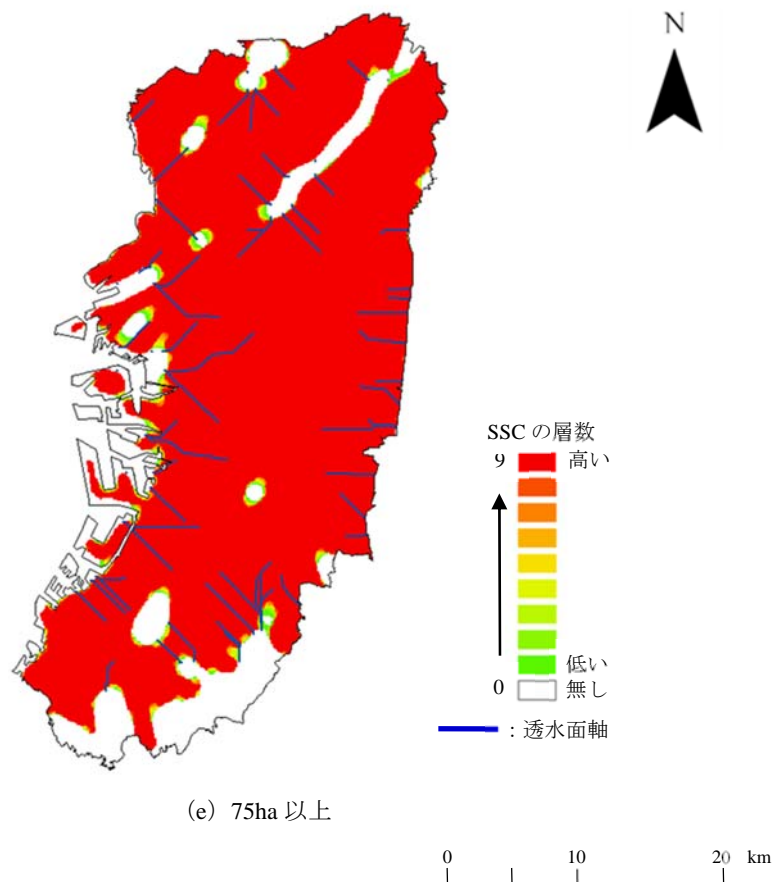


図-4.2.4 規模ごとの負の SSC と透水面軸 (その 1)



(e) 75ha 以上

図-4.2.4 規模ごとの負の SSC と透水面軸（その 2）

4. 3 透水面分布の規模ごとに抽出した透水面軸の特性の把握

4. 3. 1 土地被覆状況の調査

3.4 節と同様に透水面軸の近傍と遠方の土地被覆状況を比較することで、抽出された透水面軸の妥当性を検証した。図-3.4.2 の検証の概念図を図-4.3.1 として再掲する。検証は、透水面軸からの各距離パラメータ d 以内の領域に含まれる透水面率の平均値を軸上透水面率として算出する。算出結果の比較する対象として、最大の距離パラメータ d_{\max} から $2d_{\max}$ の間に含まれる透水面率の平均値を比較用透水面率として算出する。距離パラメータ d を変化させながら軸上透水面率と比較用透水面率を比較することで、透水面の規模の下限値ごとに抽出した透水面軸を検証した。

結果を図-4.3.2 に示す。図-4.3.2 では横軸に軸上透水面率の算出範囲、縦軸は軸上透水面率と比較用透水面率の差を検定統計量で表している。検定統計量が正側に振れると、軸上透水面率の平均値が比較用透水面率より高いことを意味する。軸上透水面率の算出範囲が 315m から 855m の範囲では、すべての透水面軸で有意水準 5% を越える結果を示した。得られた透水面軸がその直下の土地被覆状態だけでなく、空間的な透水面の連なりが認められた軸周辺の範囲において抽出されていることを示唆した結果とも解釈できる。その一方で、算出範囲を絞り込んだ場合では、10ha 以上と 4ha 以上の区分では算出範囲 405m 以下か

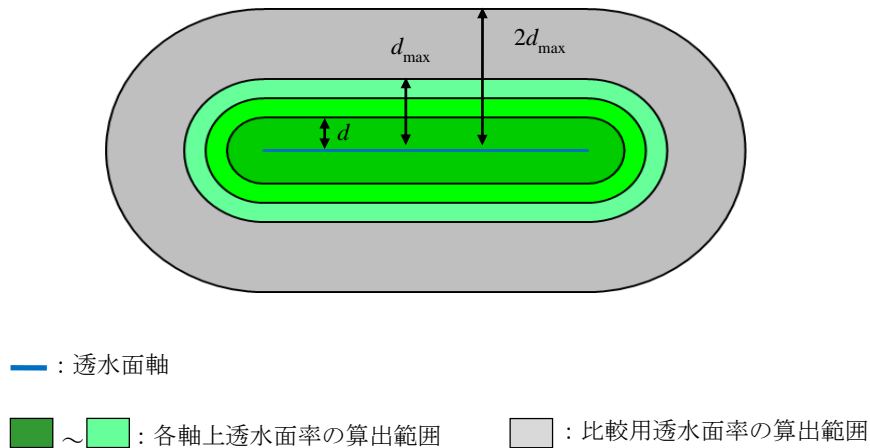


図-4.3.1 検証の概念図 (図-3.4.2 の再掲)

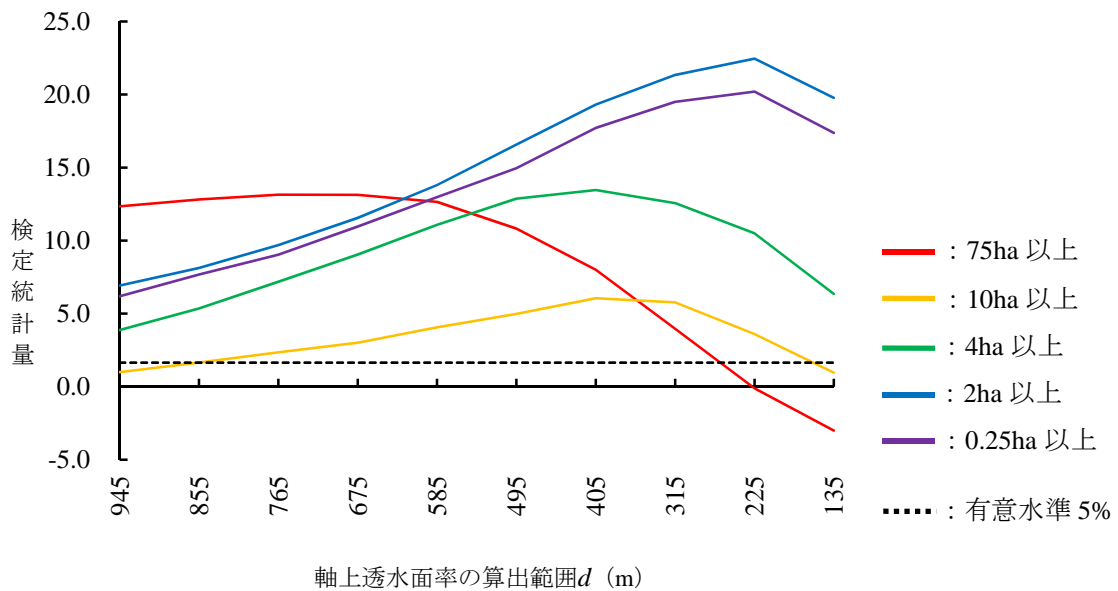


図-4.3.2 土地被覆の検証結果

ら、2ha 以上と 0.25ha 以上の区分では算出範囲 225m 以下から検定統計量が減少する傾向が確認できる。算出範囲を絞り込むことで、軸上透水面率のデータ数が減少することにより、統計的に不安定な結果を示したと推測される。さらに、75ha 以上の透水面分布を対象とした場合では、算出範囲 135m で検定統計量が負の値を示すことがわかる。75ha 以上の大規模な透水面は、都市中心部では少なく、対象領域の周辺部に位置する郊外地等で多く分布する傾向があり、空間的な連なりを形成することが難しい。こうした空間分布に対して、本研究で採用した手法では十分に適用できないことが示唆された。

4. 3. 2 抽出箇所の夜間気温との比較

(1) 気温データの整備

透水面分布の規模ごとに抽出された透水面軸の周辺地域とそれ以外の地域について、気温差の有無をそれぞれで検証した。ここでは夜間を対象に、放射冷却の生じやすい気象条件の下での気温データとの関連性を検証している。検証に使用した気温データは3.5節と同様に次の基準より整備した。ここでは、図-4.3.3の対象領域周辺部を含む20局の気温データを使用している。

はじめに、「みどりの分布図」の基となる航空写真の撮影時期を参考に、対象の期間を2001年から2003年とした上で、8月の典型的な晴天日を選定した。選定の条件としては、まずAMeDAS観測局のデータを取り上げ(i)枚方と大阪、八尾、堺の観測局における1日あたりの日照時間が8時間以上、かつ、(ii)枚方と豊中、大阪、八尾、堺における1日あたりの降水量が1mm未満の場合である。なお、豊中では日照時間を観測していないため、(i)の条件から除いている。(i)と(ii)の条件により晴天日として32日を選定した。

長期的に地表面が蓄熱状態にある場合を避けるために、枚方と豊中、大阪、八尾、堺において晴天日の前日に1mm以上の降水量が確認された日を代表日とした。その結果、代表日として2001年8月23日と2002年8月30日、2003年8月10日の3日間が選定された。

最後に、AMeDASの枚方と豊中、大阪、八尾、堺で観測された1時間あたりの風速データを用いて、5カ所の観測所の平均値を算出し、平均値が2m/s以下の場合を風の穏やかな時間帯として採用した。その結果、代表日の翌午前5時(午前4時から午前5時まで)で条件を満たした。以上のことから、透水面軸の検証には、図-4.3.3の気象観測局で観測された代表日翌日の午前5時の気温データを用いることとした。なお、気温データの総数は54であった。

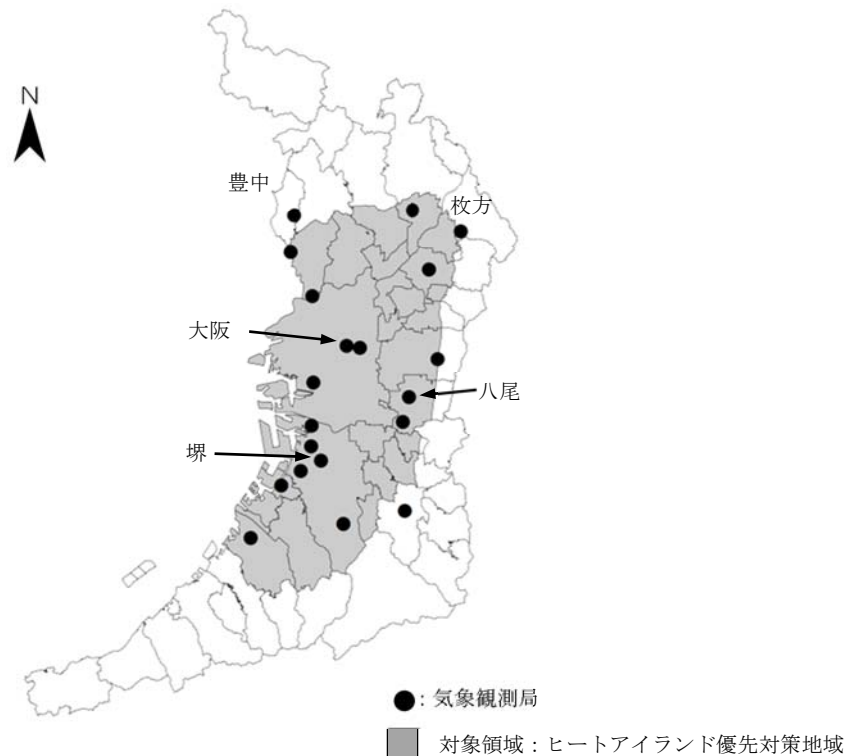


図-4.3.3 観測局の配置状況

(2) 透水面軸周辺の気温の比較方法

透水面軸と気温との関係は、図-4.3.4のように、軸から近傍の地域に位置する観測局と軸から遠方の地域に存在する観測局とを比較することで検証した。3.5節では調査範囲内に含まれる観測局と範囲外に位置する観測局との気温の平均値を比較し、透水面軸の周辺地域での気温の低減効果を示唆する結果を得ている。その一方で、AMeDASと大気汚染常時監視測定局の一般局とでは観測条件が異なる可能性がある。気温データを用いた検証では、調査の範囲を限定するなど、使用する観測データと検証内容に応じた条件設定の必要性がみられた。そこで、本研究では比較範囲を d_{\max} から $2d_{\max}$ の範囲に限定した上で、調査範囲を d_{\min} から d_{\max} まで変化させながら、すべての透水面軸で調査範囲内・比較範囲内の観測局での気温データの平均値を比較した。

(3) 検証結果

規模別透水面軸と気温データとの関係を図-4.3.5に示す。図-4.3.5では、横軸を調査範囲、縦軸はそれぞれの調査範囲と比較範囲に位置する観測局の気温データの平均値の差を検定統計量で表している。なお、図-4.3.5では、調査範囲内の気温データの平均値が低くなる場合に検定統計量が正の値を示すように設定している。調査範囲の変化に伴う検証対象データ数の推移を表-4.3.1に示す。10ha以上の透水面を用いた透水面軸では、すべての調査範囲で検定統計量が正の値を示した。さらに、135mの範囲では透水面軸近傍での平均気温が低くなり、有意水準10%を越えていることがわかる。

その一方で、0.25ha以上から4ha以上まで、および、75ha以上の透水面を対象とした結果では、検定統計量が負の値を示す傾向が確認できる。特に、2ha以上と4ha以上では、負で有意な結果を示した。図-4.2.4での結果を基に、2ha以上および4ha以上の区分での透水面軸と10ha以上の透水面軸とを比較すると、2ha以上と4ha以上の区分では、図-4.2.4に破線で示した神崎川周辺地域や大和川周辺地域のように、小規模な透水面が反映され、結果として透水面軸が都市中心部まで生成されている傾向が確認できる。

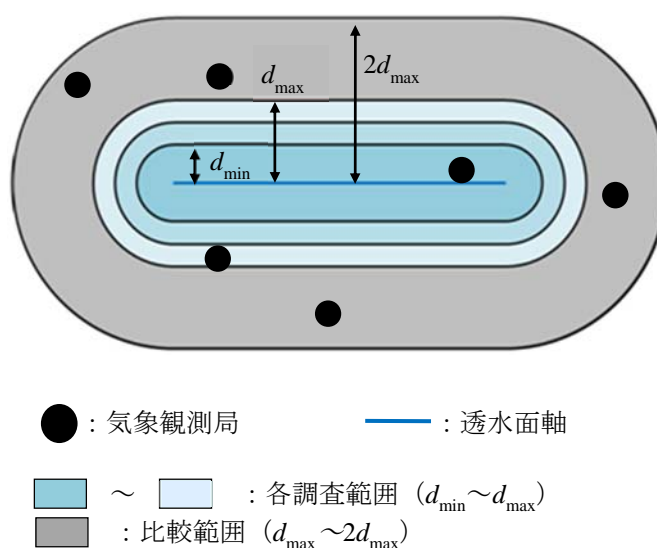


図-4.3.4 透水面軸と気温データとの関連性の検証

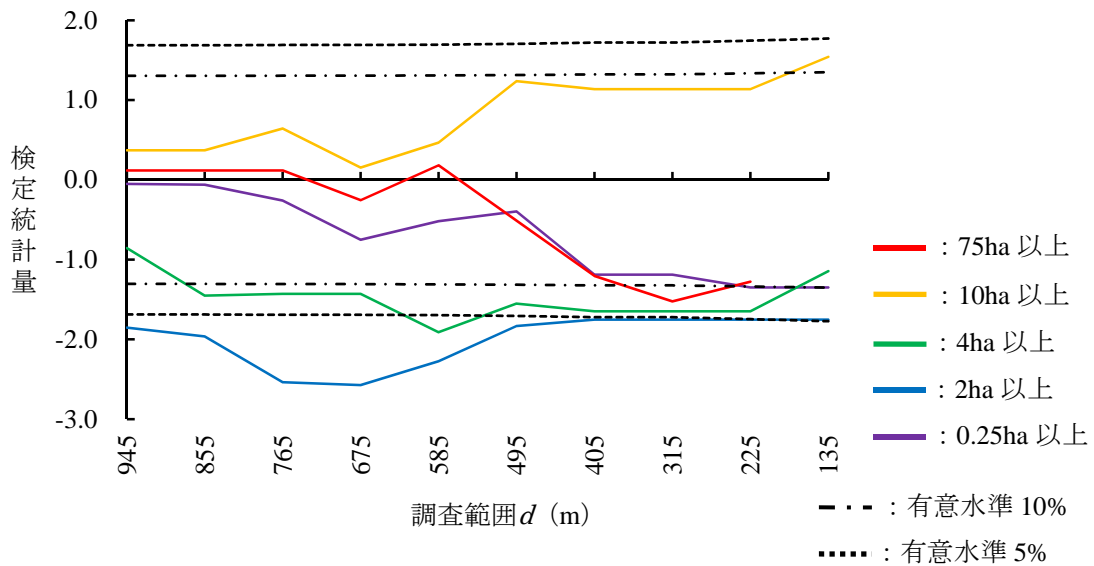


図-4.3.5 気温データでの検証結果

表-4.3.1 各範囲とデータ数

d (m)		945	855	765	675	585	495	405	315	225	135	
データ数 (個)	0.25ha以上	調査範囲	35	31	28	25	20	11	9	9	6	6
		比較範囲	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14
	2ha以上	調査範囲	38	32	29	27	21	17	3	3	3	3
		比較範囲	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9
	4ha以上	調査範囲	27	24	21	21	16	13	6	6	6	3
		比較範囲	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22
	10ha以上	調査範囲	30	30	21	18	15	9	6	6	6	4
		比較範囲	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13
	75ha以上	調査範囲	28	28	28	24	18	15	12	9	6	0
		比較範囲	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11

4. 3. 3 抽出箇所周辺の透水面分布の構成について

(1) 透水面軸周辺の分布状況の把握

前項での検証結果から、透水面軸が有する冷却効果は透水面分布の単純な規模だけではなく、透水面軸を構成する透水面分布の構成状態が影響している可能性が考えられる。そこで、各透水面軸がどの程度の規模の透水面の分布の下に生成されているかについて、透水面の規模の下限値ごとに整理した。図-4.3.6では、横軸に透水面の規模、縦軸に透水面軸から調査範囲315mの範囲に含まれる透水面の箇所数を累積相対度数として表している。累積相対度数80%での各透水面軸の傾向を比較すると、10ha以上の透水面軸では、70ha以上の大規模な透水面をも含むことが確認できる。4ha以上の透水面軸では、25ha程度の透水面を含む一方で、その半数以上が10ha未満の透水面で構成されていることがわかる。さらに、4ha以上、2ha以上、0.25ha以上と透水面の規模の設定が小さくなるにつれて、調査範囲内はより小規模な透水面で占められる傾向が確認できる。透水面の周辺地域への冷却効果は、比較的規模の大きな透水面で顕著であると指摘されている⁹⁾。小規模な透水面を含んだ場合では、

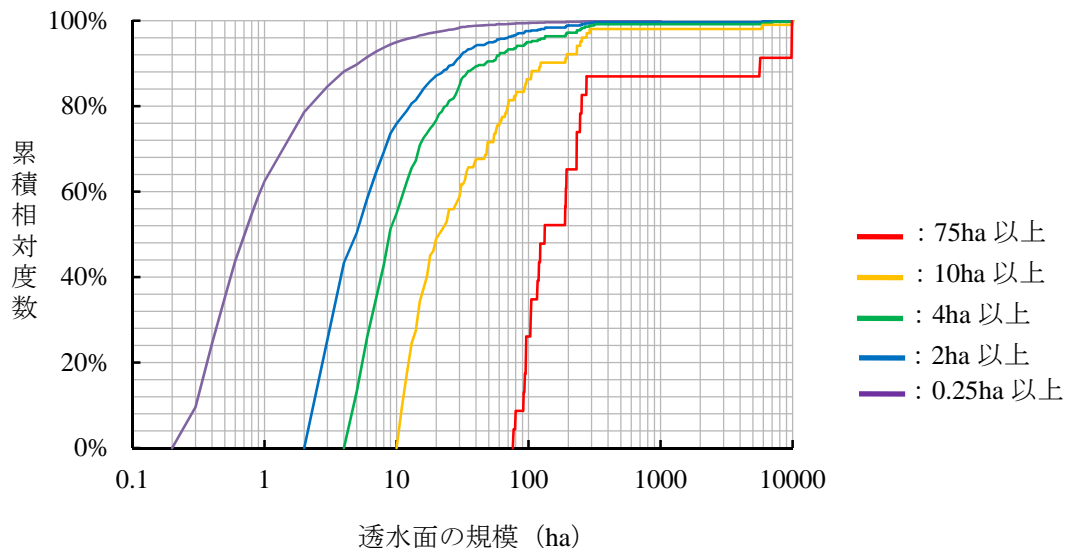


図-4.3.6 透水面軸周辺の透水面の構成 (d=315m)

気温の低減に対する寄与の低い透水面を取り込んだ透水面軸が抽出されていることが推測される。

また、75ha以上など、透水面を極端に大規模なものに絞った場合は、図-4.2.4 (e)で確認できるように都市部の透水面の多くが省かれることになり、効果的な透水面軸を抽出することが困難であったことが想定される。

(2) 詳細な区分での検討

前項での検証から10ha以上の透水面分布を対象とした透水面軸の近傍では、平均気温が低くなる傾向を得ていることから、4ha以上から10ha以下の範囲に、透水面分布と夜間気温との関係が変わるような透水面の規模の下限値の存在する可能性がある。そこで、本研究では、透水面の区分設定を、より詳細に5ha以上、6ha以上、7ha以上、8ha以上、および、9ha以上の規模と設定し、透水面軸を抽出し、どの規模を基準とした段階で透水面軸周辺に有意な気温差が見られるのかを調査した。各区分での透水面率の分布状況を図-4.3.7に示す。負のSSCと抽出した透水面軸を図-4.3.8に示し、気温データとの検証結果を図-4.3.9に整理した。表-4.3.1と同様に、表-4.3.2に検証の対象となるデータ数の推移を示す。ここでの気温データを用いた検証は、図-4.3.4に示した、調査範囲と比較範囲での観測局の気温データを用いた方法と同様であり、検定統計量が正側に振れば、調査範囲内に含まれる気温データの方が低い値を示すこととなる。

5ha以上と6ha以上の区分では、全ての調査範囲で検定統計量が負側に有意な結果を示すことがわかる。その一方で、基準とする透水面の規模が大きくなるにつれて透水面軸近傍において、検定統計量が増加する傾向が確認できる。7ha以上では検定統計量が調査範囲675mと225mで負に有意な結果を示し、8ha以上の規模を対象とした段階では135mの調査範囲内で検定統計量が正側に振れている。さらに、9ha以上を対象とした軸においては、135mの範囲内で検定統計量が有意水準10%を上回っており、周辺地域との有意な気温差を示唆する結果を得ている。

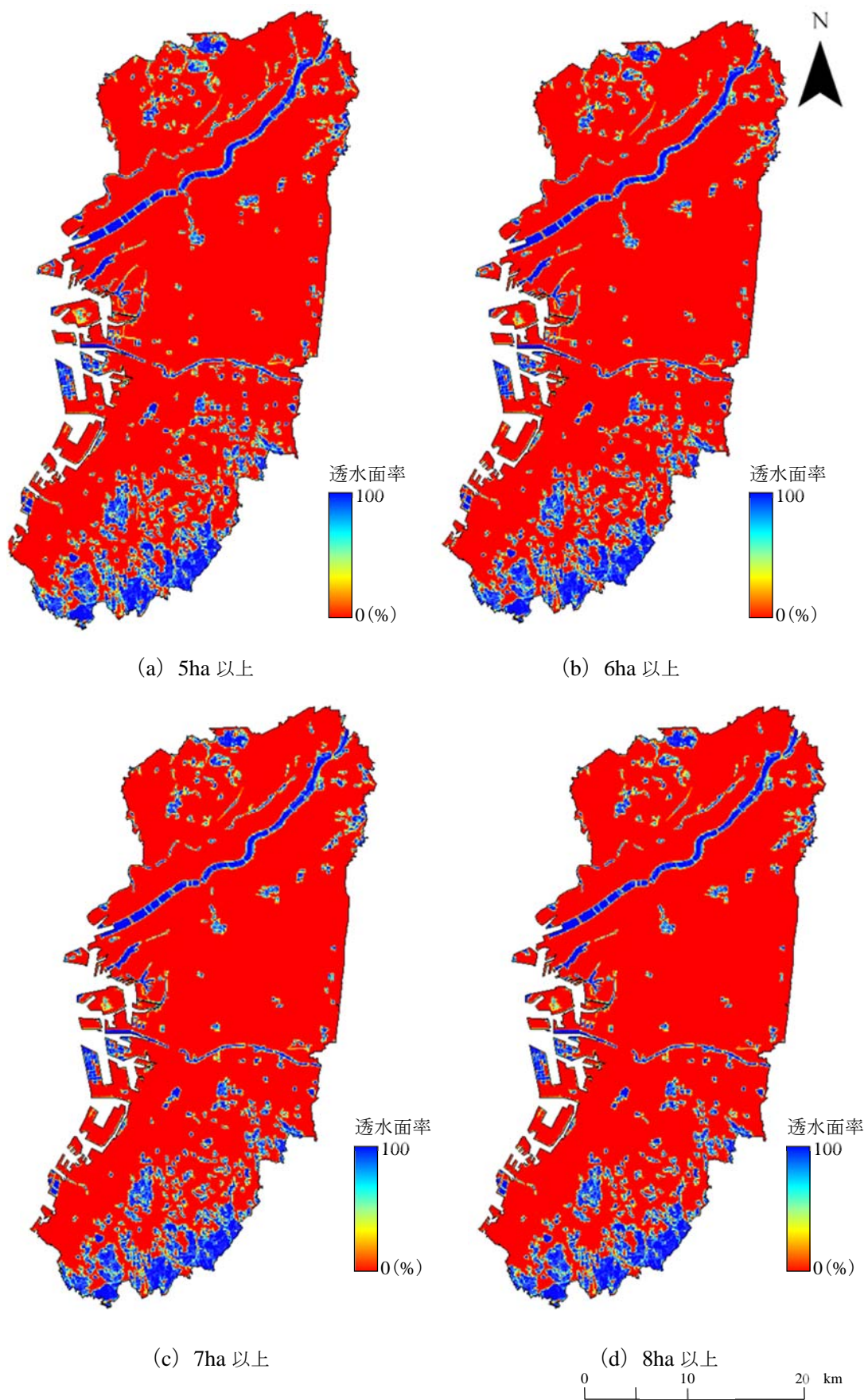


図-4.3.7 詳細な規模別の透水面率の分布状況 (その1)

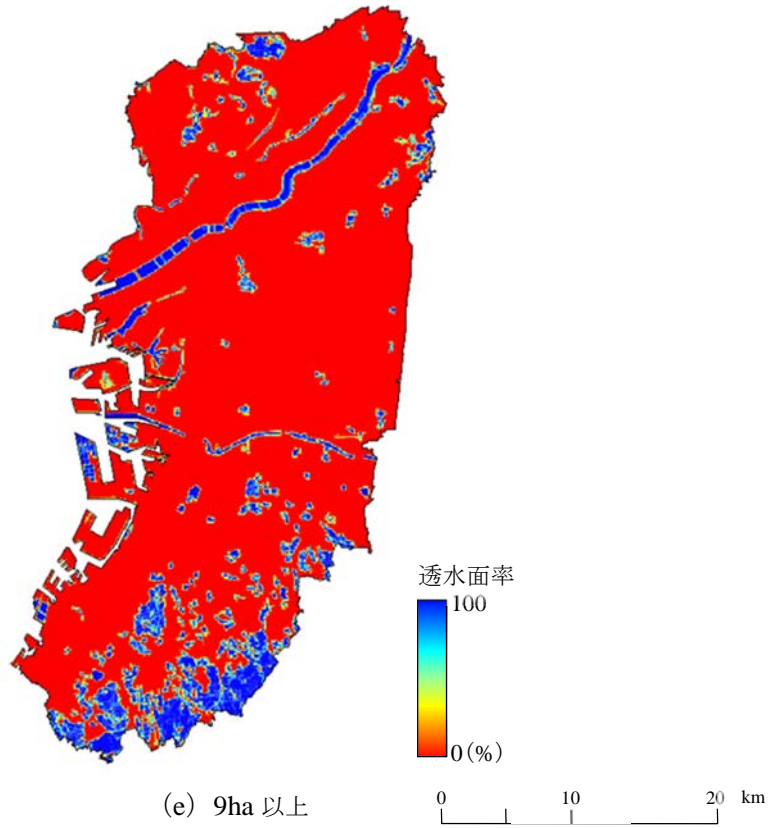


図-4.3.7 詳細な規模別の透水面率の分布状況（その 2）

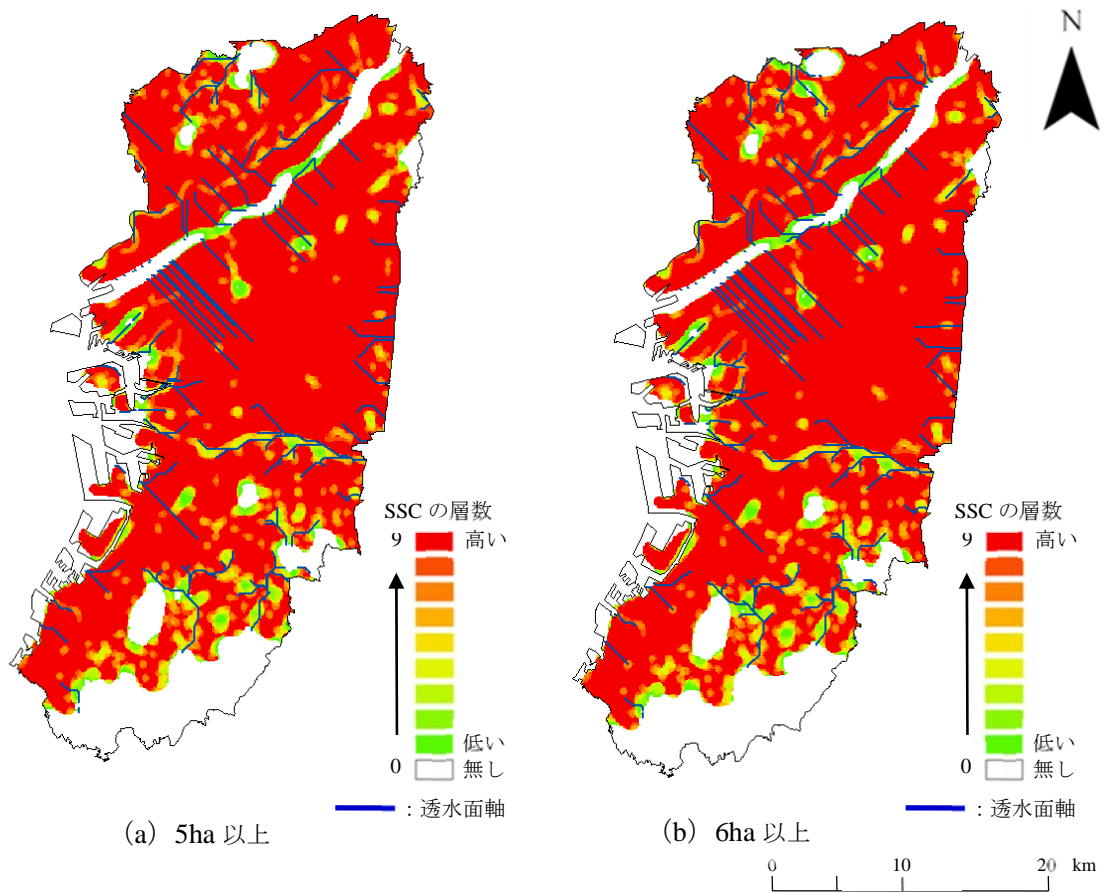


図-4.3.8 詳細な規模別の負の SSC と透水面軸（その 1）

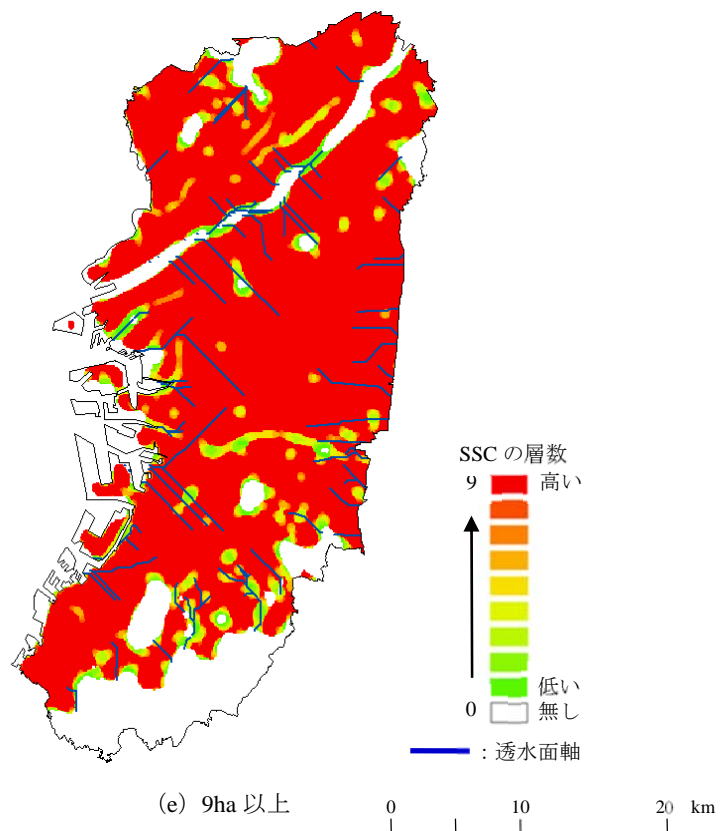
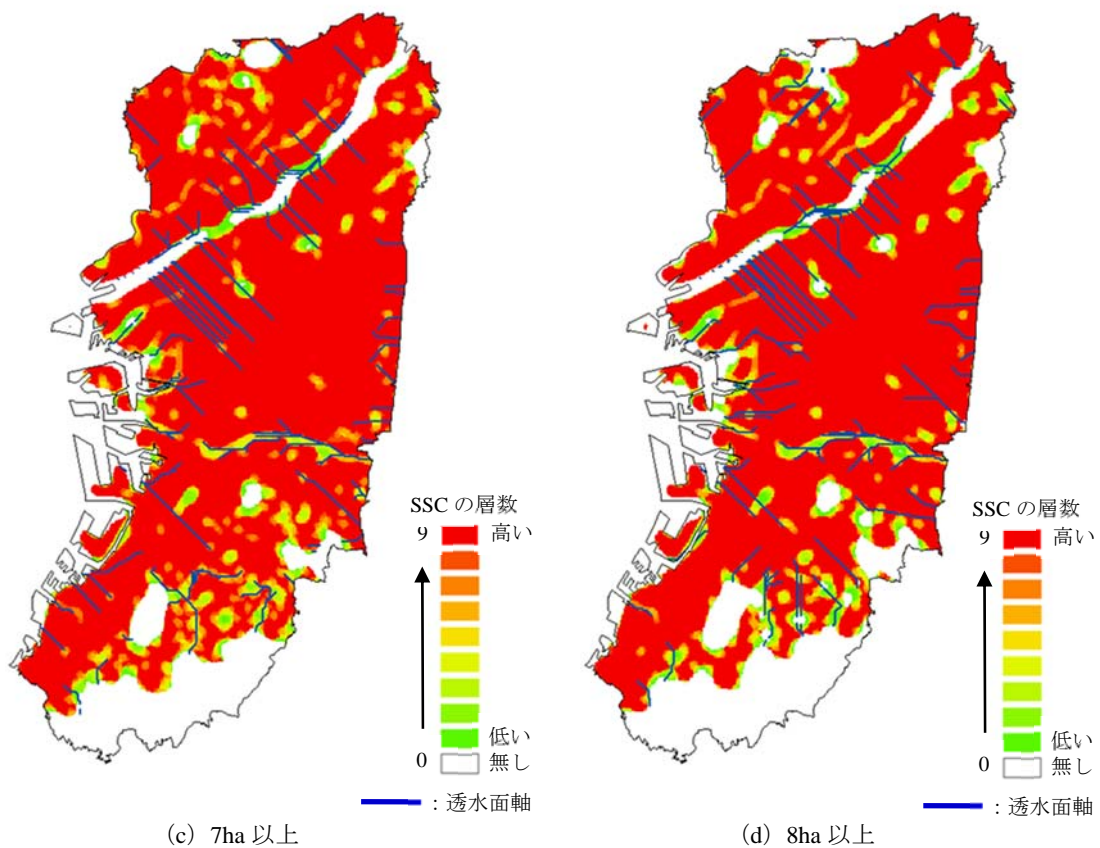


図-4.3.8 詳細な規模別の負の SSC と透水面軸（その 2）

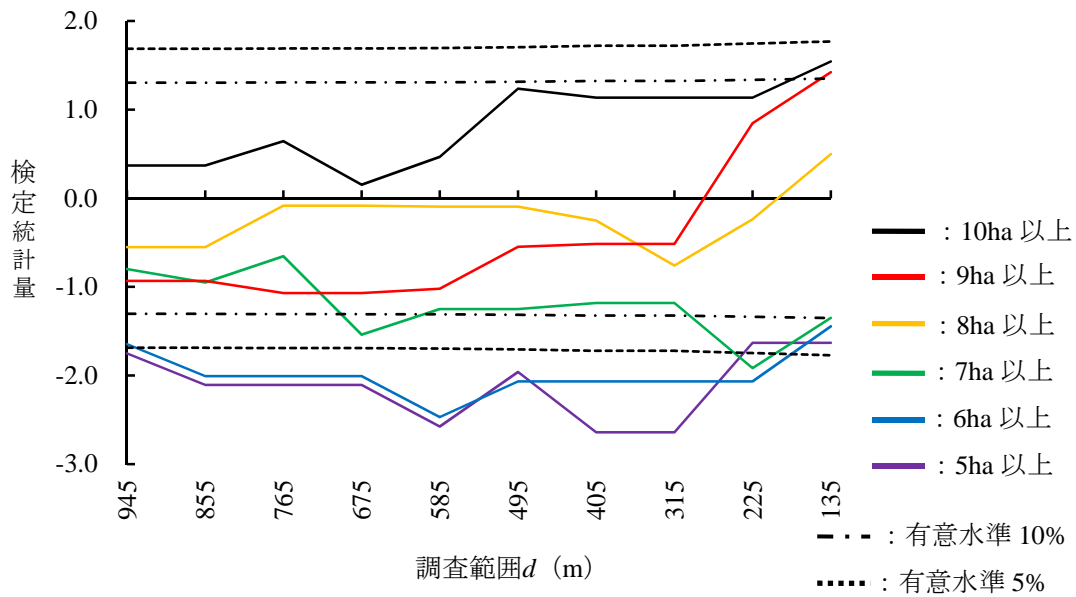


図-4.3.9 詳細な区分での気温データとの関連性の検証結果

表-4.3.2 調査範囲とデータ数

d (m)		945	855	765	675	585	495	405	315	225	135	
データ数 (個)	5ha以上	調査範囲	27	20	20	20	15	6	6	6	6	3
		比較範囲	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21
	6ha以上	調査範囲	35	31	31	31	27	18	12	12	6	6
		比較範囲	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16
	7ha以上	調査範囲	37	31	24	20	15	15	9	9	6	3
		比較範囲	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14
	8ha以上	調査範囲	30	30	23	23	20	20	17	14	9	6
		比較範囲	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16
	9ha以上	調査範囲	27	27	24	24	21	15	11	11	5	3
		比較範囲	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13

図-4.3.6と同様に、各透水面軸の調査範囲における透水面の規模の構成比を図-4.3.10に整理した。図-4.3.10では5ha以上と6ha以上、7ha以上と8ha以上、9ha以上と10ha以上で同様な傾向が示されており、3つのグループが形成されていることがわかる。この透水面の規模の下限値で3グループに分類される傾向は、気象観測データを用いた図-4.3.9のグラフ上からも読み取ることが可能である。図-4.3.9で現われた透水面軸の周辺地域への有意な気温差は、透水面軸を構成している透水面の規模の構成比が変化したことから生じたとも考えられる。なお、透水面の分布における面積規模の構成と気温差との関係については、より詳細な分析が必要となるため、今後の課題とする。

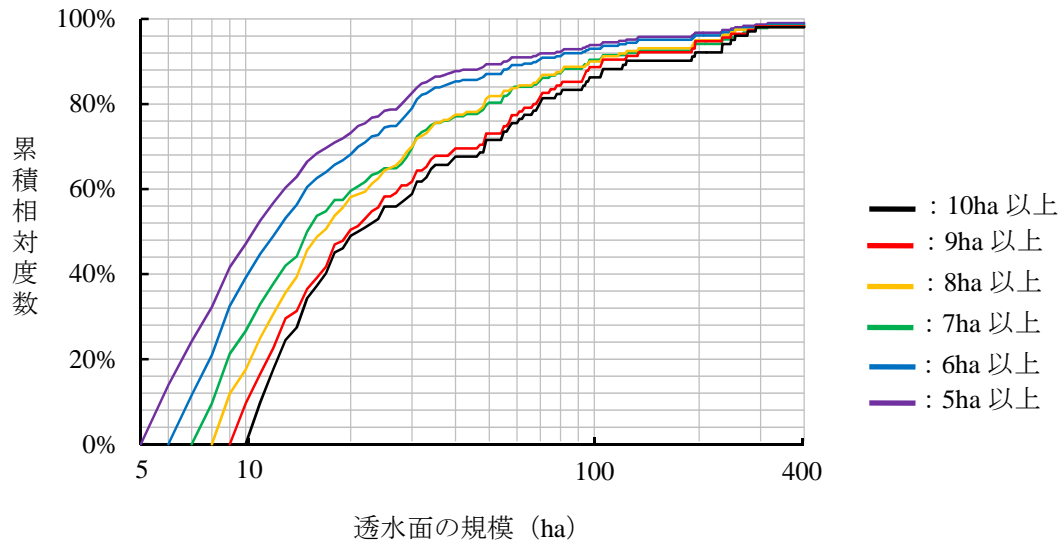


図-4.3.10 詳細な区分での透水面軸周辺の透水面の構成 ($d=315m$)

第5章 植生分布の空間的な集積状態とその変遷の把握

5.1 対象領域および対象データについて

対象領域は図-5.1.1 に示す大阪府北部地域（30km×25km）を選定した。大阪府の北部地域は大阪府中心部のベッドタウンとして発達し、豊かな自然をあわせ持つ地域であり、植生が多様な形態で分布している。その一方で、近年では中心市街地の再開発や郊外のニュータウン型の開発、高速道路の建設が進められており、都市整備の活発な地域でもある。

対象データは3章で使用した2000年8月25日観測のLandsat-7 ETM+データと2013年7月20日観測のLandsat-8 OLIデータ（共に空間分解能30m×30m）を採用した。Landsat-8 OLIデータは前処理としてMODTRANに基づいた大気補正処理を行っている。Landsat-8 OLIデータの大気補正は表-5.1.1のように設定した上で実施している。図-5.1.2に対象領域における2000年と2013年の衛星データを示す。なお、Landsat-8 OLIデータは幾何補正後に配布されたデータを使用している。

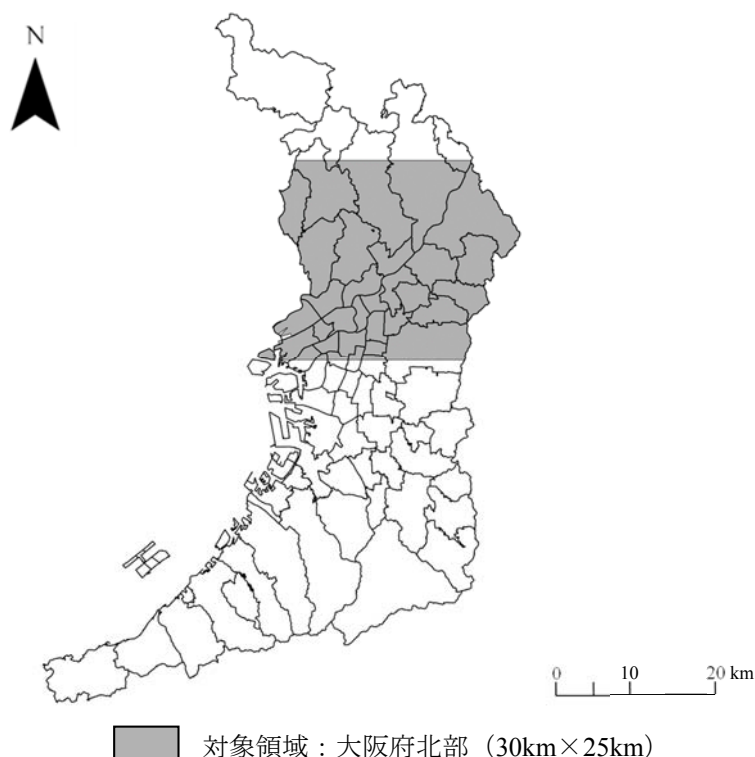


表-5.1.1 大気補正を実施する上での設定項目

	Landsat-8 OLI
観測時期	2013年7月20日
Path-Row	110-36
シーン中心緯度	E135°01'52"
シーン中心経度	N34°36'50"
大気モデル	都市域・中緯度・夏
視程	35km
平均標高	54.7m

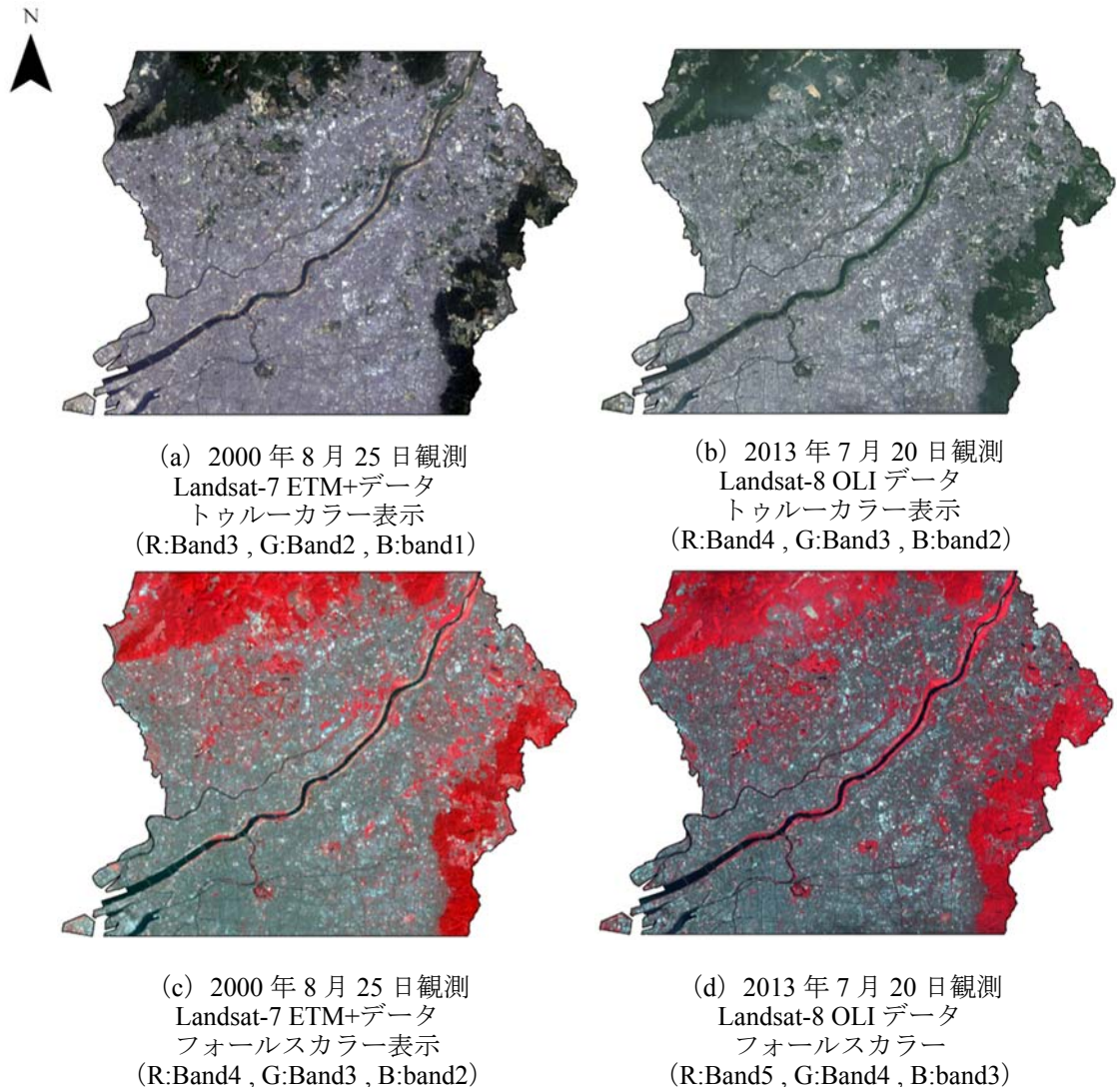


図-5.1.2 対象領域における 2 時期の衛星データ

5. 2 植生分布の空間的な連なりの抽出

5. 2. 1 植生分布を対象とした広域分析の考え方

第 5 章では透水面のなかでも特に開発等の影響を受けやすく長期的なモニタリングが求められる植生面を対象とする。都市整備の進捗と植生の空間的な分布状態の変遷との関係を広域的に把握することを目指し、2000 年と 2013 年の観測時期の異なる衛星データから得た植生分布データを基に 2 時期での植生分布の集積状態と植生分布変移軸を比較した。本研究では、植生被覆量を代替する指標として衛星データから得られた NDVI (Normalized Difference Vegetation Index : 正規化植生指数) を採用している。NDVI は式 (5.2.1) のように計算される植生の活性度を表す指標である⁴⁴⁾。

$$NDVI = \frac{R_{NIR} - R_{RED}}{R_{NIR} + R_{RED}} \quad \text{式 (5.2.1)}$$

ただし、 R_{RED} は赤色波長域、 R_{NIR} は近赤外域の反射率を表す。

一方で、衛星画像から得られた NDVI は植生被覆量と強い相関があることが知られており、広範囲からの緑被率の推定に採用されている^{24),45),46)}。NDVI は衛星データの画素単位で計算されることになるが、その画素値は必ずしも観測したセンサの空間分解能で規定される地上での大きさを代表した値とはならないとの指摘がある²⁴⁾。そこで、本研究では 2001 年 10 月 3 日に観測された IKONOS 画像（空間分解能:4m×4m）を目視判読することにより作成した植生被覆率データと Landsat-7 ETM+データから算出した NDVI とを空間分解能を変化させながら比較し、最も相関係数が高い値を示した 60m×60m を NDVI の空間分解能として採用した²¹⁾。なお、2013 年に観測された Landsat-8 OLI データについても 2000 年観測の衛星データの画素と同等の大きさを網羅すると仮定し、NDVI の空間分解能を 60m×60m と設定している。

5. 2. 2 植生分布の空間的な分布状態の把握

(1) 空間的自己相関分析の適用

本研究では、開発した分析手法に衛星データから算出した NDVI を適用することで植生分布の空間的な分布状況を把握する。具体的には、3 章および 4 章と同様に、ローカルな空間的自己相関分析である G 統計量を応用したアプローチから SSC を作成する。NDVI を分析手法の入力データとして使用する場合は、注目する画素の中心から半径 d 領域内に NDVI の高い画素が集積すると「正の空間的自己相関あり」、NDVI の低い画素が集積すると「負の空間的自己相関あり」、NDVI の高い画素と低い画素が混在する場合は「空間的自己相関なし」と画素ごとに判定されるように設定している。なお、G 統計量（式 (3.3.2)）の点属性値 x_j は正の値を対象とすることから、ここでは対象領域内の全ての画素の NDVI をオフセット (+1) し、NDVI を 0 以上 2 以下の値に変更した上で G 統計量を算出している。

(2) 植生分布を対象とした SSC の考え方

本研究では「正の空間的自己相関あり」と「負の空間的自己相関あり」の場合のそれぞれで SSC を作成する。図-5.2.1 に SSC の概念図を示す。図-5.2.1 (i) の (a) 点は、その画素を中心に近傍から遠方まで NDVI の高い画素が集積している地域を表している。このような地点は正の SSC の層数が高い箇所となる。図-5.2.1 (i) の (b) 点のような正の SSC の層数の低い箇所は、注目する画素の近傍では NDVI の高い画素と低い画素が混在した状態となるものの、画素中心から遠方までの範囲では NDVI の高い画素が集積する地域である。つまり、正の SSC は層数が高いほどその地点を中心に植生被覆量の多い箇所が空間的に集まる傾向を示す。図-5.2.1 (i) の (c) 点は、その画素を中心に近傍から遠方まで NDVI の低い画素が集積していることを表す地域である。負の SSC では層数が高い箇所ほど、その地点を中心として近傍から遠方まで植生被覆量の少ない箇所が集まる傾向を示す。

(3) SSC の作成について

SSC の作成には積み上げの基準となる最大の範囲を設定する必要がある。本研究では最小の範囲の半径 d を 3 画素×3 画素のウィンドウサイズと同等の 90m とした上で、 d を増加させながら対象領域の全体で空間的自己相関分析を実施し、判定結果の変化量が収束する傾向を調査した。本研究では、検定統計量 $z_i(d)$ を基に有意水準を 10% で「正の空間的自己相関あり」と「空間的自己相関なし」、「負の空間的自己相関あり」の 3 種類に判別している。距離パラメータ d ごとの判別結果を、図-5.2.2 と図-5.2.3 に 2 時期ごとに整理した。判別した領域の結果の推移を図-5.2.4 に示す。面積占有率の変化量は図-5.2.5 のように算出した。

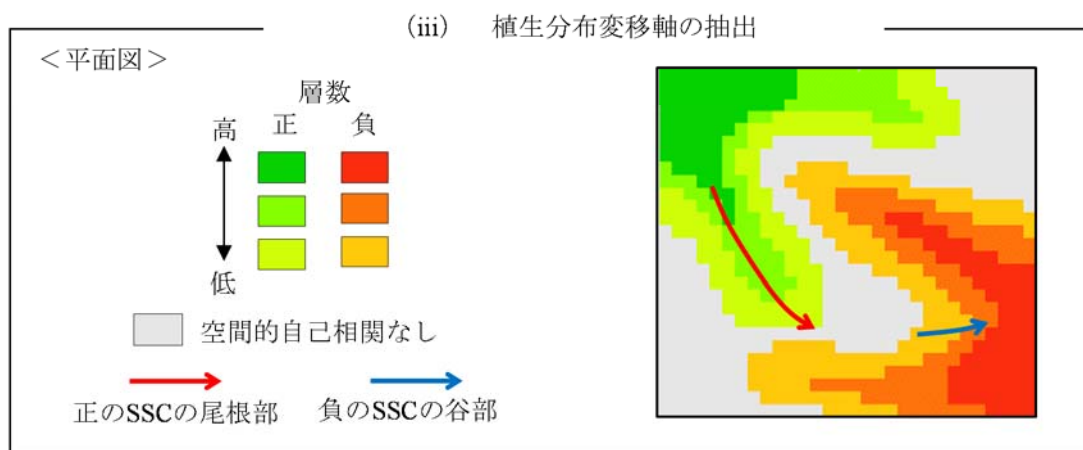
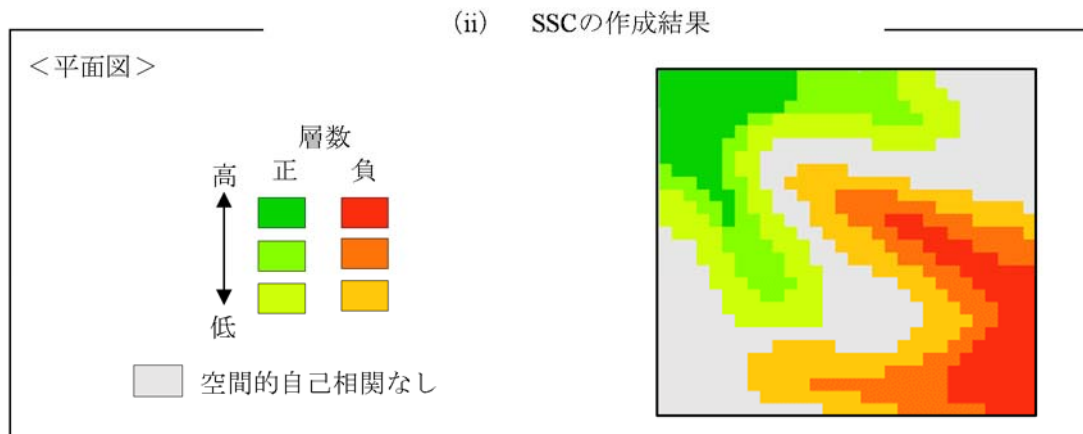
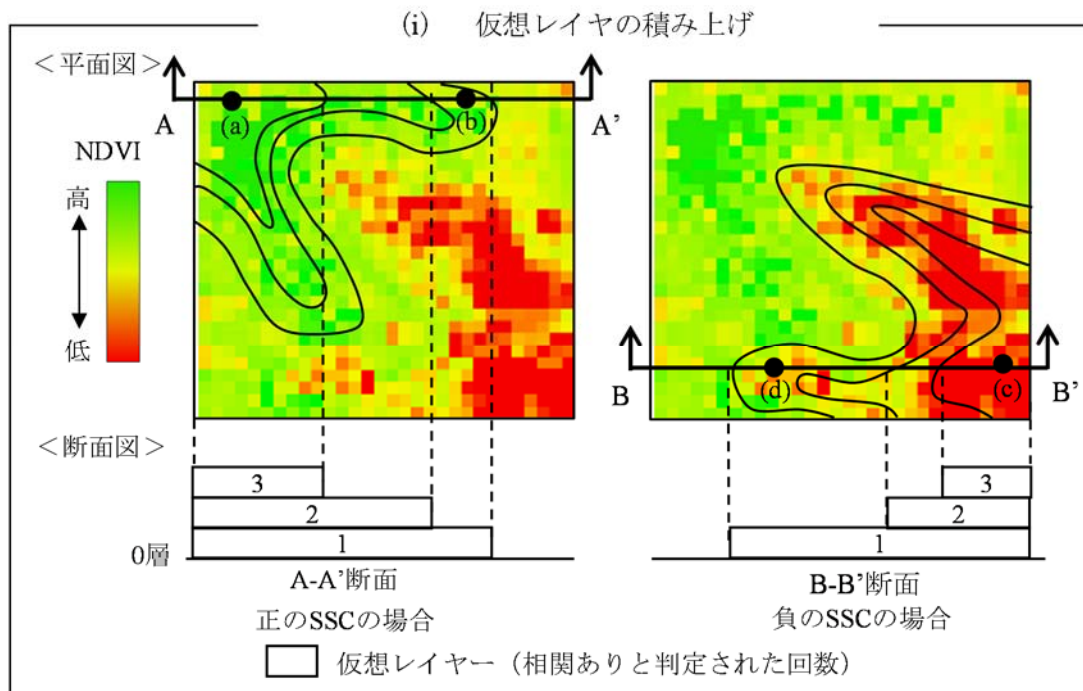


図-5.2.1 SSCの作成概念図

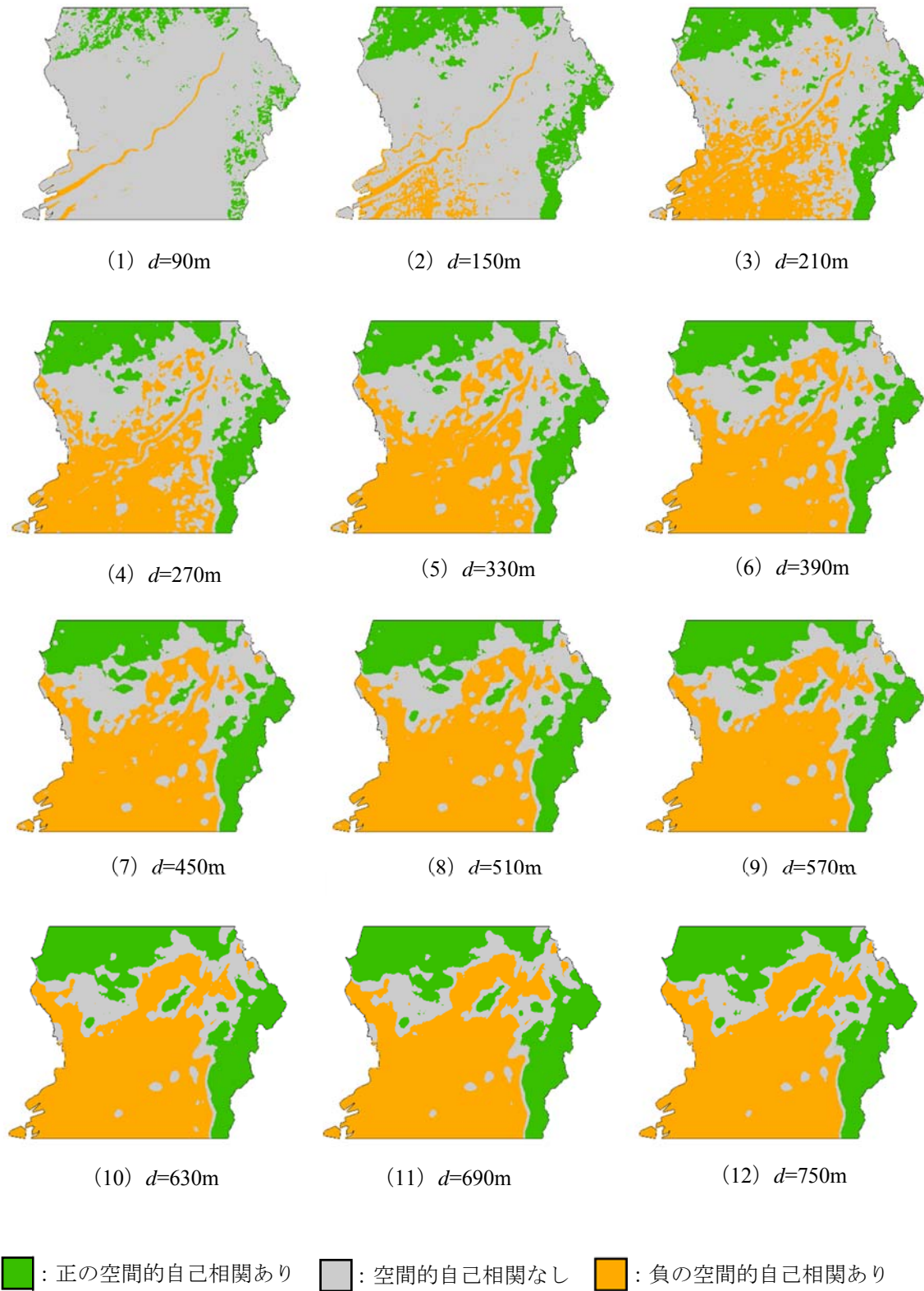


図-5.2.2 2000年の各距離パラメータにおける判定結果 (その1)

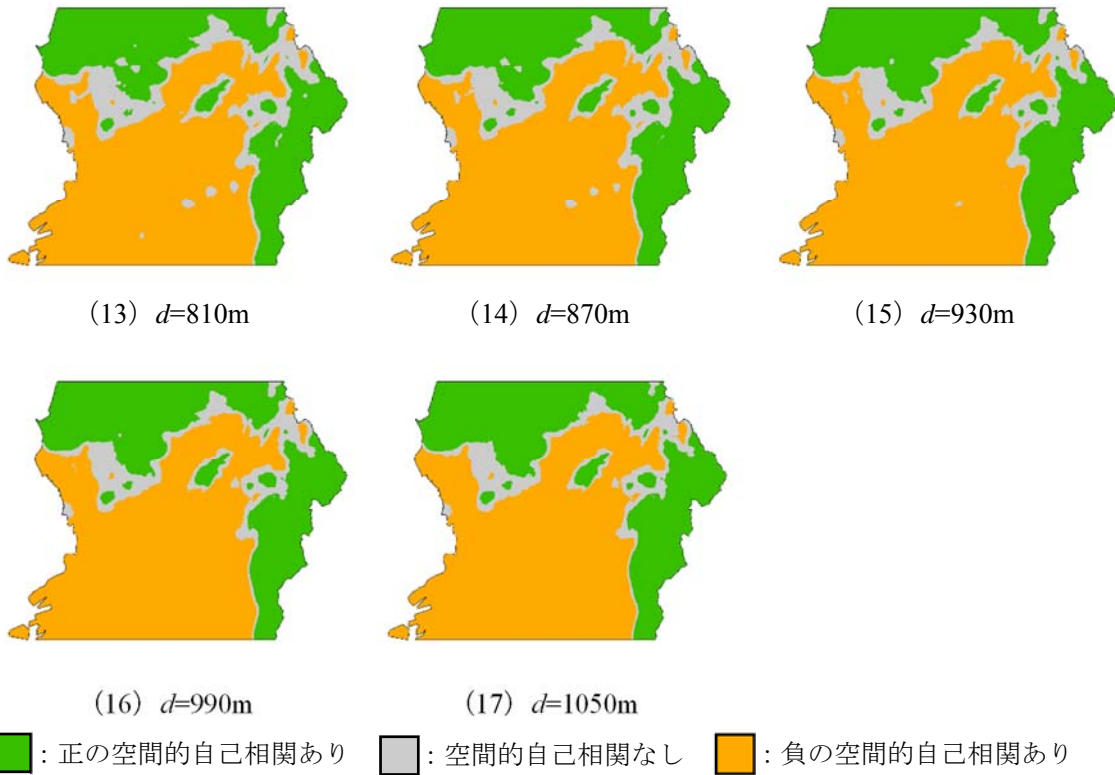


図-5.2.2 2000年の各距離パラメータにおける判定結果（その2）

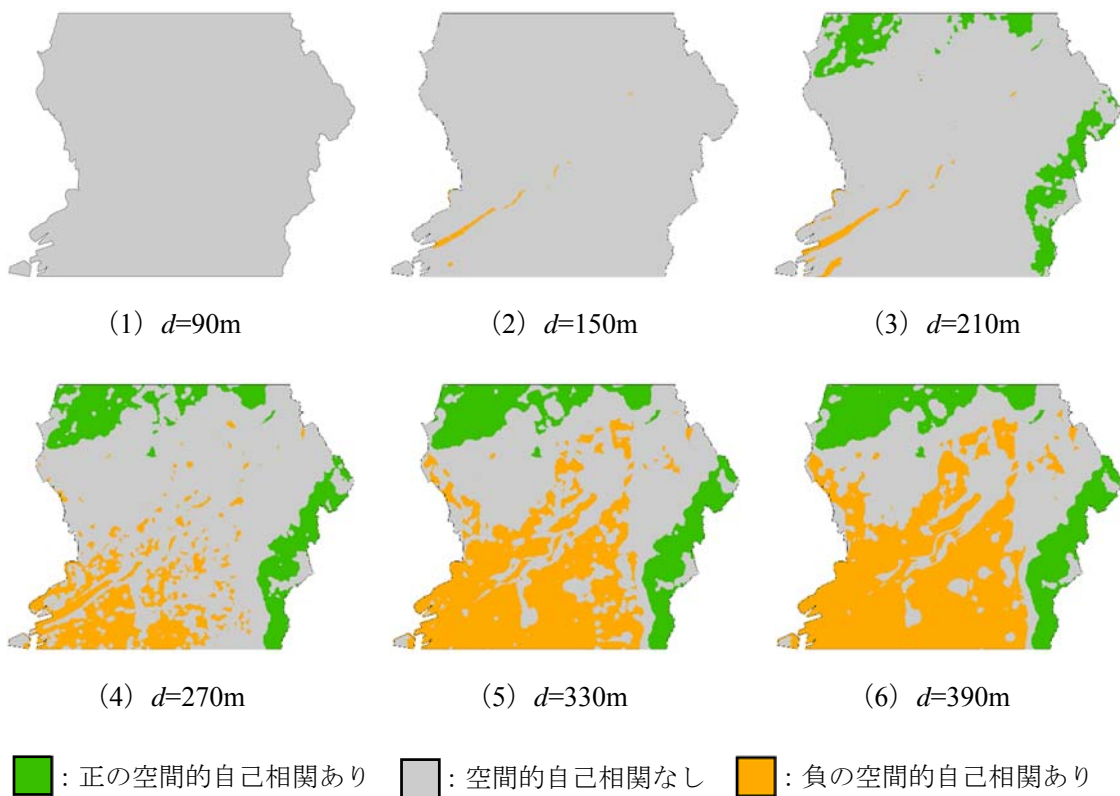
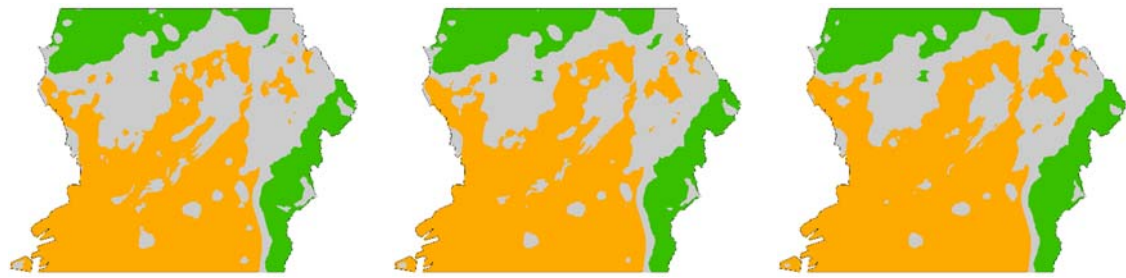


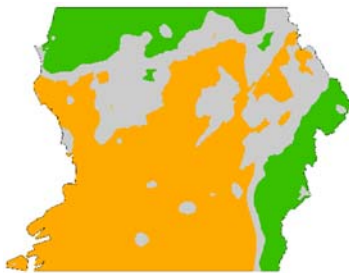
図-5.2.3 2013年の各距離パラメータにおける判定結果（その1）



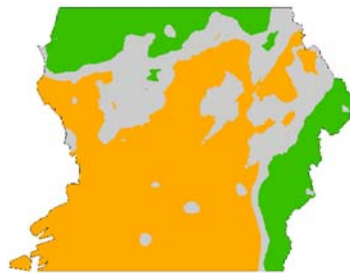
(7) $d=450\text{m}$

(8) $d=510\text{m}$

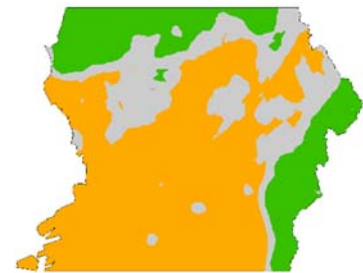
(9) $d=570\text{m}$



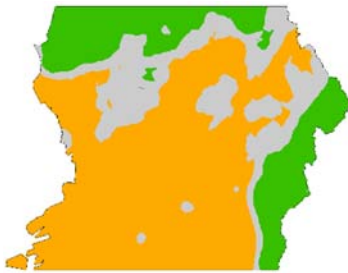
(10) $d=630\text{m}$



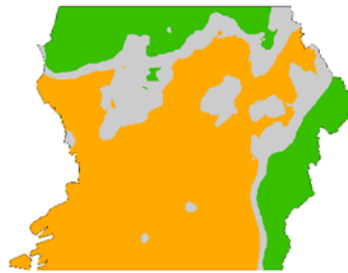
(11) $d=690\text{m}$



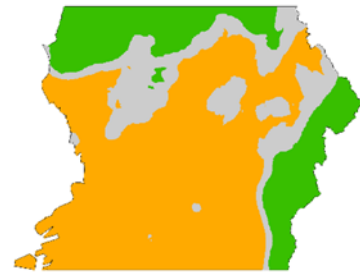
(12) $d=750\text{m}$



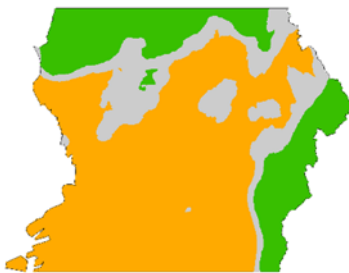
(13) $d=810\text{m}$



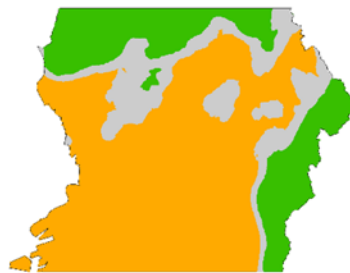
(14) $d=870\text{m}$



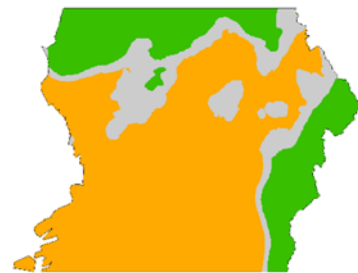
(15) $d=930\text{m}$



(19) $d=1170\text{m}$



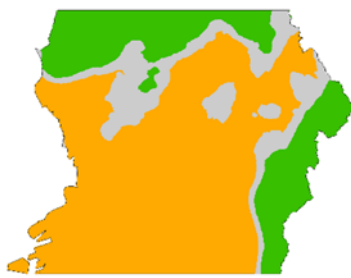
(20) $d=1230\text{m}$



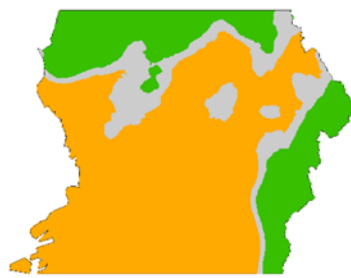
(21) $d=1290\text{m}$

: 正の空間的自己相関あり
 : 空間的自己相関なし
 : 負の空間的自己相関あり

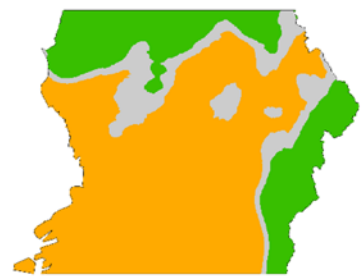
図-5.2.3 2013年の各距離パラメータにおける判定結果（その2）



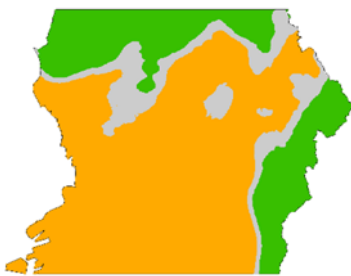
(19) $d=1170\text{m}$



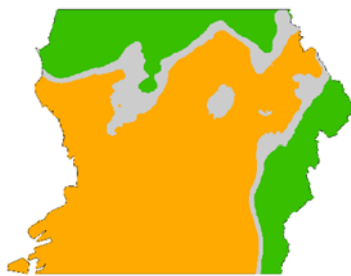
(20) $d=1230\text{m}$



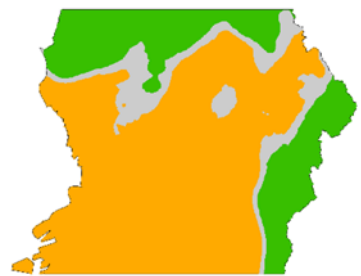
(21) $d=1290\text{m}$



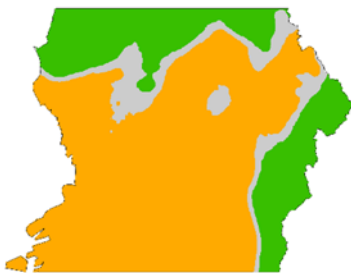
(22) $d=1350\text{m}$



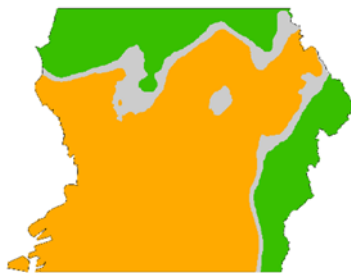
(23) $d=1410\text{m}$



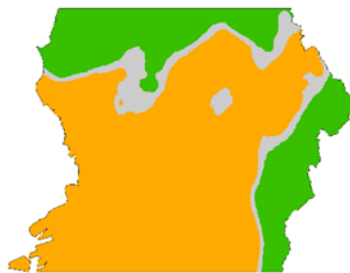
(24) $d=1470\text{m}$



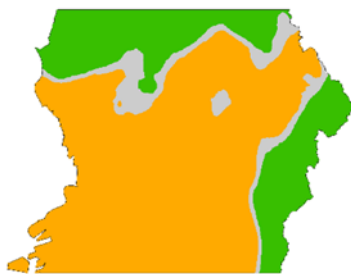
(25) $d=1530\text{m}$



(26) $d=1590\text{m}$



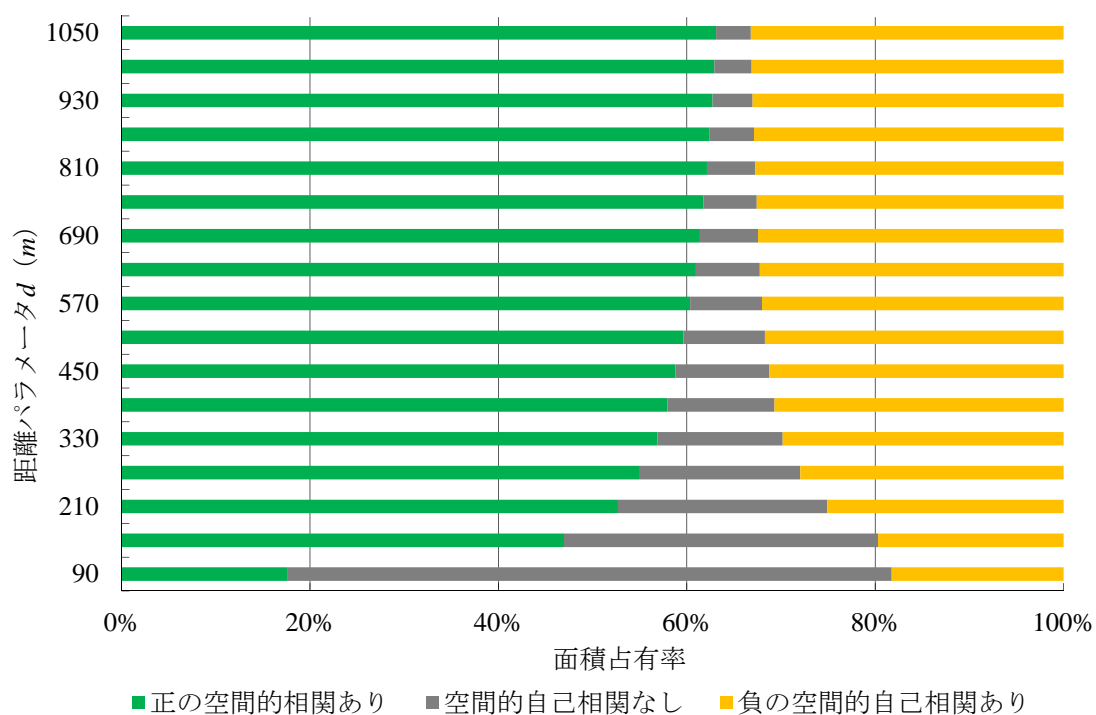
(27) $d=1650\text{m}$



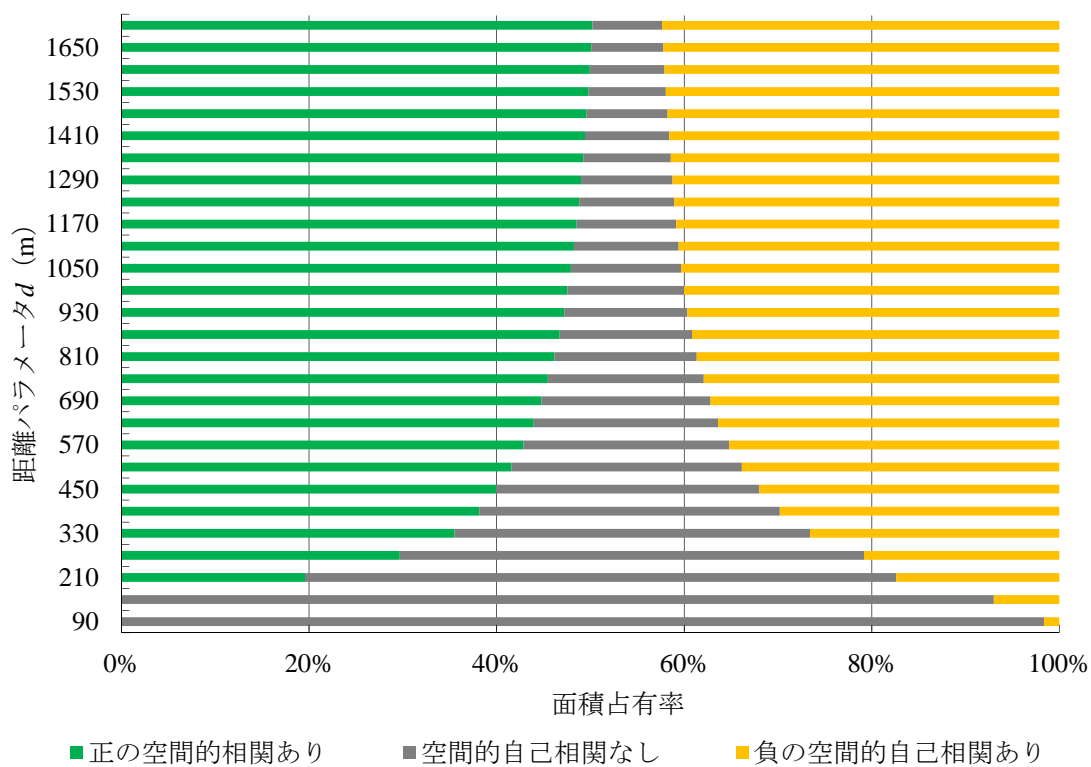
(28) $d=1710\text{m}$

: 正の空間的自己相関あり
 : 空間的自己相関なし
 : 負の空間的自己相関あり

図-5.2.3 2013年の各距離パラメータにおける判定結果 (その3)

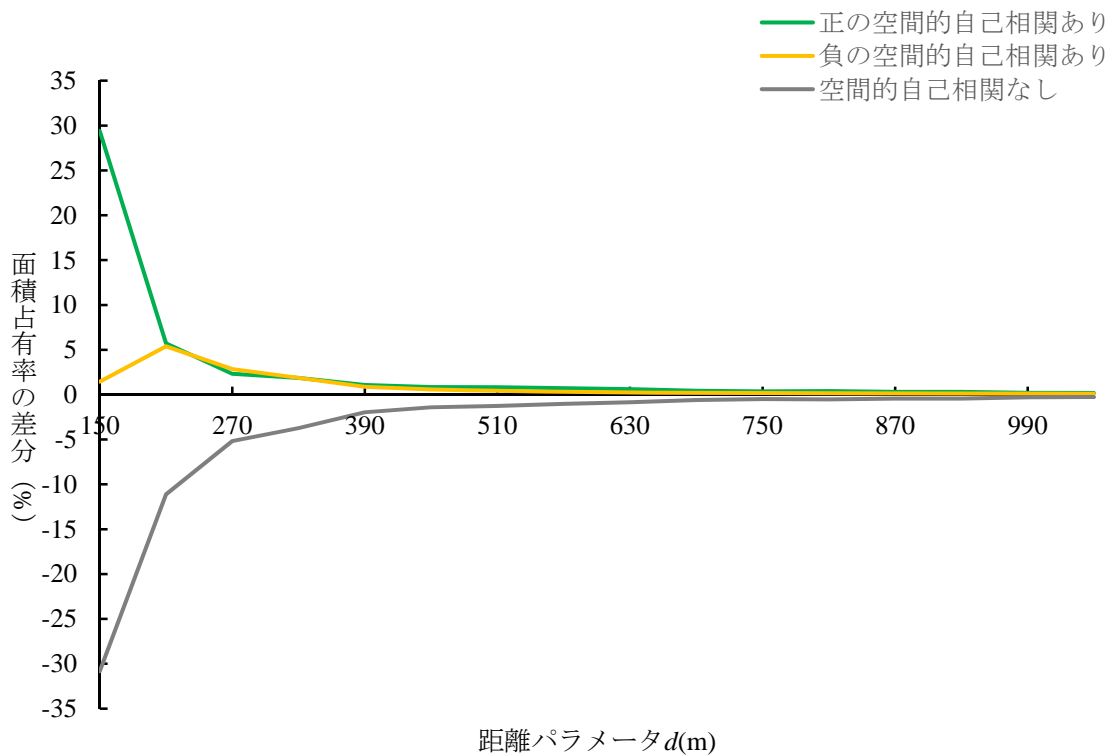


(a) 2000 年の場合

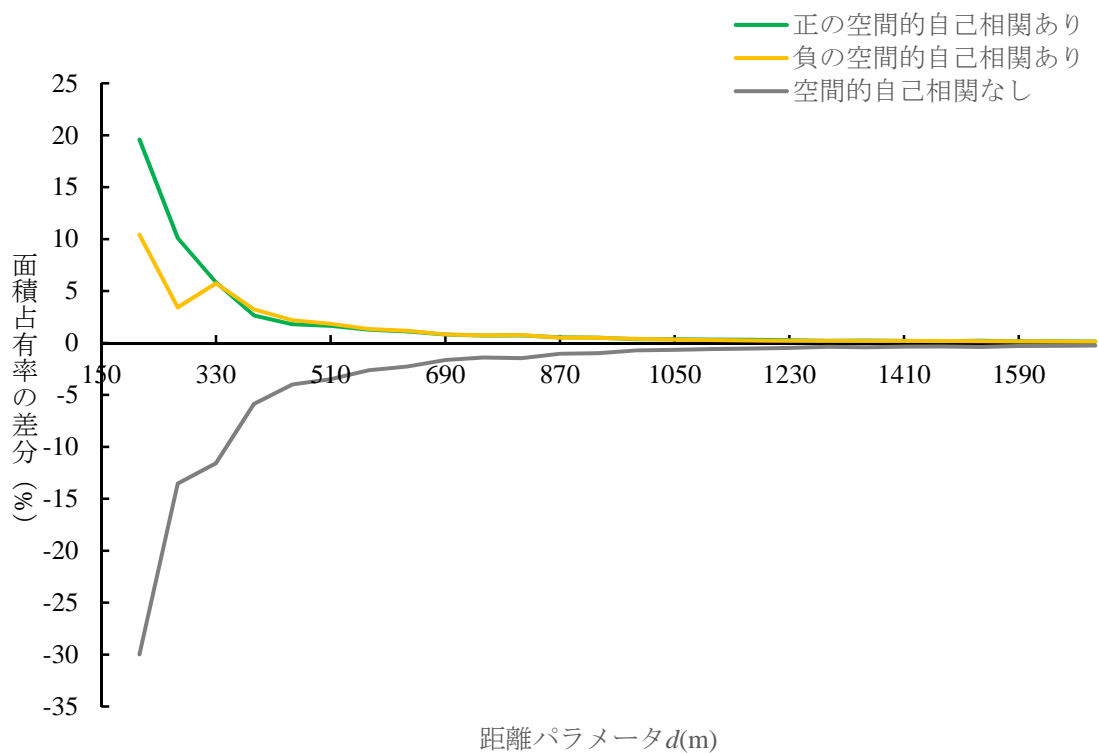


(b) 2013 年の場合

図-5.2.4 距離パラメータ d と面積占有率



(a) 2000年の場合



(b) 2013年の場合

図-5.2.5 距離パラメータ d と面積占有率の変化量の関係

距離パラメータ d の増加とともに、「空間的自己相関なし」と判定された領域が徐々に減少するとともに、「正と負の空間的自己相関あり」の領域が増加し、やがて変化が少なくなることがわかる。ここでは、半径 d の増加に伴う「正と負の空間的自己相関あり」、「空間的自己相関なし」のそれぞれでの判別結果の面積占有率の差分が処理対象となる領域全体の 0.3% 未満となる場合に収束していると判断し、条件として設定した。2000 年では 1050m、2013 年では 1710m で判別結果が収束する傾向を示した。本研究では 2 時期での変遷を調査することから、2 時期を通じて最大の距離パラメータである $d=1710\text{m}$ を SSC の層を積み上げる基準面として、2 時期共通で採用した。結果として、2000 年の SSC については、1050m ~ 1710m までは各層の形状に変化がなく、垂直に重なっていることになる⁴⁷⁾。

5. 2. 3 植生分布変移軸の選定

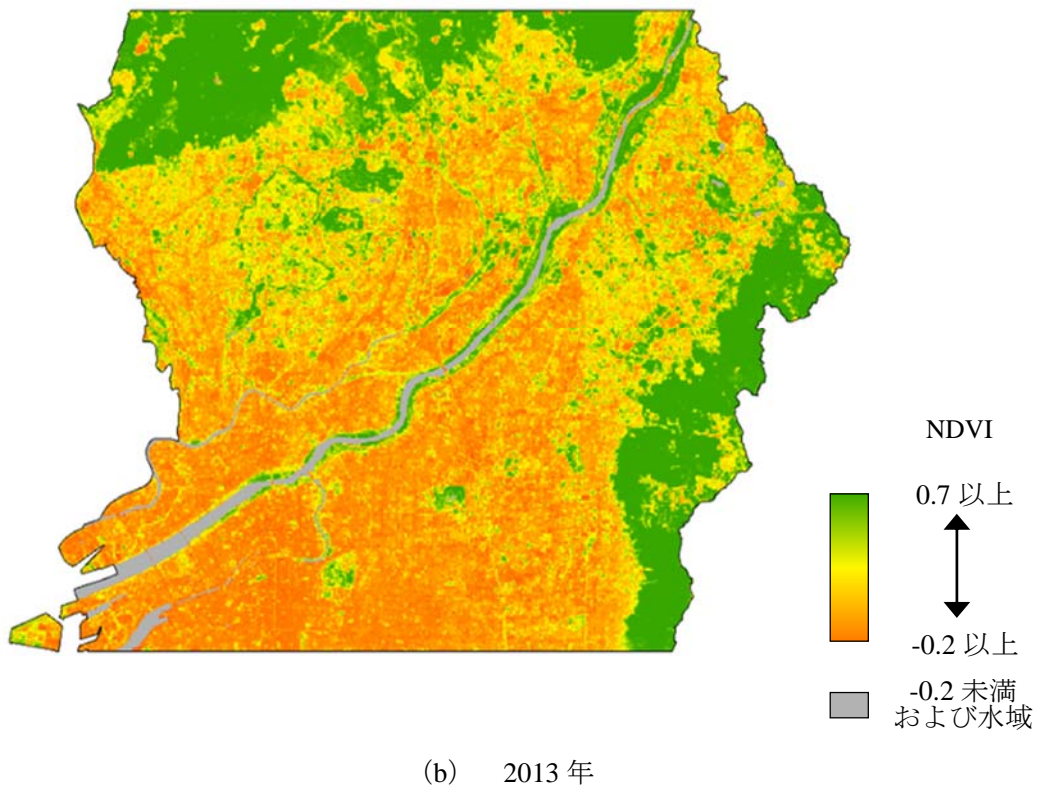
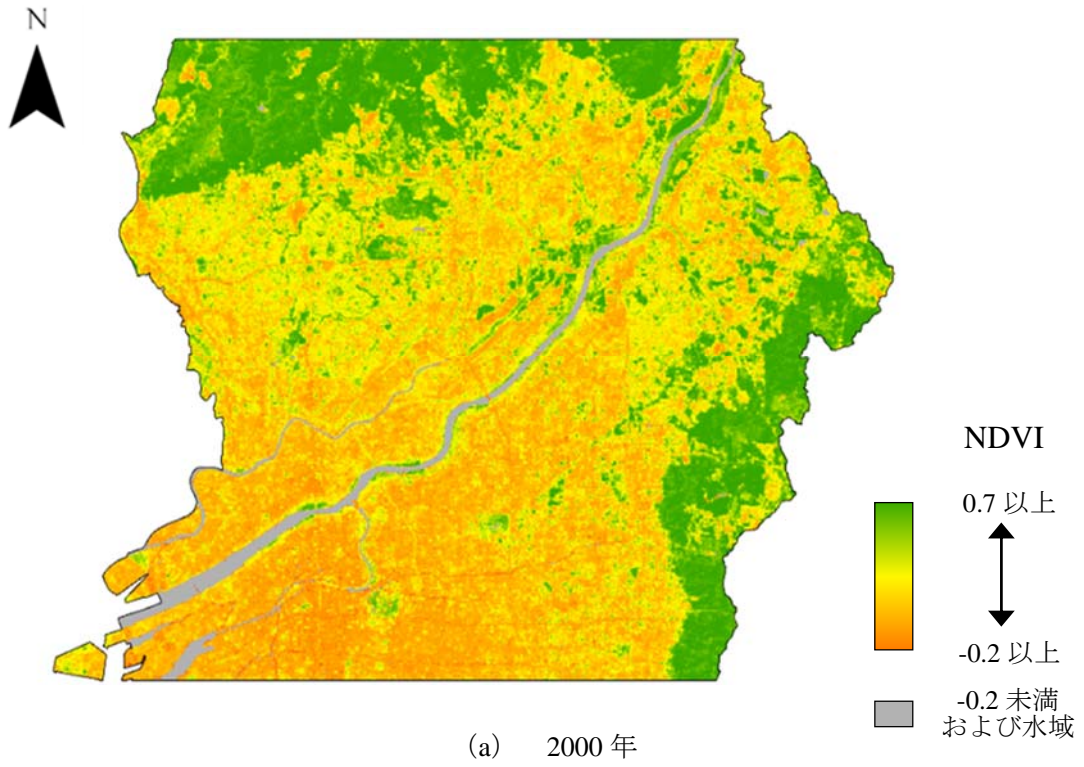
正・負の SSC はその層数の高低によって地形図のように植生分布の連なり度合いを表現したもののみならずすることができる。そこで SSC に水系網解析 (Hydrology Modeling) を応用することで植生分布の空間的な連なりを抽出した。正の SSC では尾根線を抽出した。図-5.2.1 (iii) の赤矢印で示した正の SSC の尾根部は SSC が高い領域から低い領域に向かうに連れて層の高さが低くなりにくい部分であり、近傍から遠方まで NDVI の高い画素が集積した状態が維持されやすいことを意味する。負の SSC では谷線を抽出した。図-5.2.1 (iii) の青矢印で示した負の SSC の谷部は、都市部において希少な植生分布の集まりが都心部などの植生被覆量の少ない領域に迫るように分布する箇所となる。本研究では植生被覆量の多い箇所と少ない箇所の間での連なりの抽出を前提に、正の SSC での尾根線と負の SSC での谷線のなかでも、SSC の斜面部分に位置し、かつ、広域的分析の観点から 2km 以上のものを植生分布変移軸と定義し、正と負の植生分布変移軸を選定した。

水系網解析によって尾根線や谷線を抽出するには、集水面積を確定する必要がある。本研究では、植生被覆量の高い（あるいは、低い）箇所が集まっている場所とまばらな場所とをつなぐ部分の分析となるため、SSC の斜面での植生分布変移軸の現れ方に着目する。集水面積の絞り込みに伴い SSC の最上層内での水系線の枝分かれが始まる集水面積を決定し、尾根線と谷線を抽出する値として採用した。2000 年の正の SSC から得られる尾根線は 1.314km^2 (365 画素)、負の SSC から得られる谷線は 1.98km^2 (550 画素)、2013 年の尾根線は 1.458km^2 (405 画素)、谷線は 0.99km^2 (275 画素) の集水面積を採用している。

5. 3 植生分布の空間的な連なりの変遷の把握

5. 3. 1 2 時期での植生の分布状態の比較

2000 年と 2013 年の NDVI の算出結果を図-5.3.1 に、SSC の作成結果を図-5.3.2 に示す。2 時期の NDVI を比較すると 2013 年の方が山岳部の一部や都市域で NDVI の低い値を示す傾向が確認できる。正と負の SSC の総面積を 2 時期で比較したところ、正の SSC の総面積は約 30% 減少し、負の SSC の総面積は約 20% 増加していた。SSC の層数の分布状態の変化を把握するために、SSC の各層の占める面積の構成比を図-5.3.3 の累積相対度数で比較した。図-5.3.3 (a) の正の SSC においては、2000 年と比べて 2013 年では最下層の調査範囲が 1710m と広がっていると同時に、下層部分の割合が増加することがわかる。正の SSC の層数の低い箇所は調査範囲の広い場合にのみ正の空間的自己相関ありと判定される地域である。正の SSC の推移を図-5.3.2 で確認すると、正の SSC そのものの面積は減少しているなかで、



0 5 10 km

図-5.3.1 NDVI の算出結果

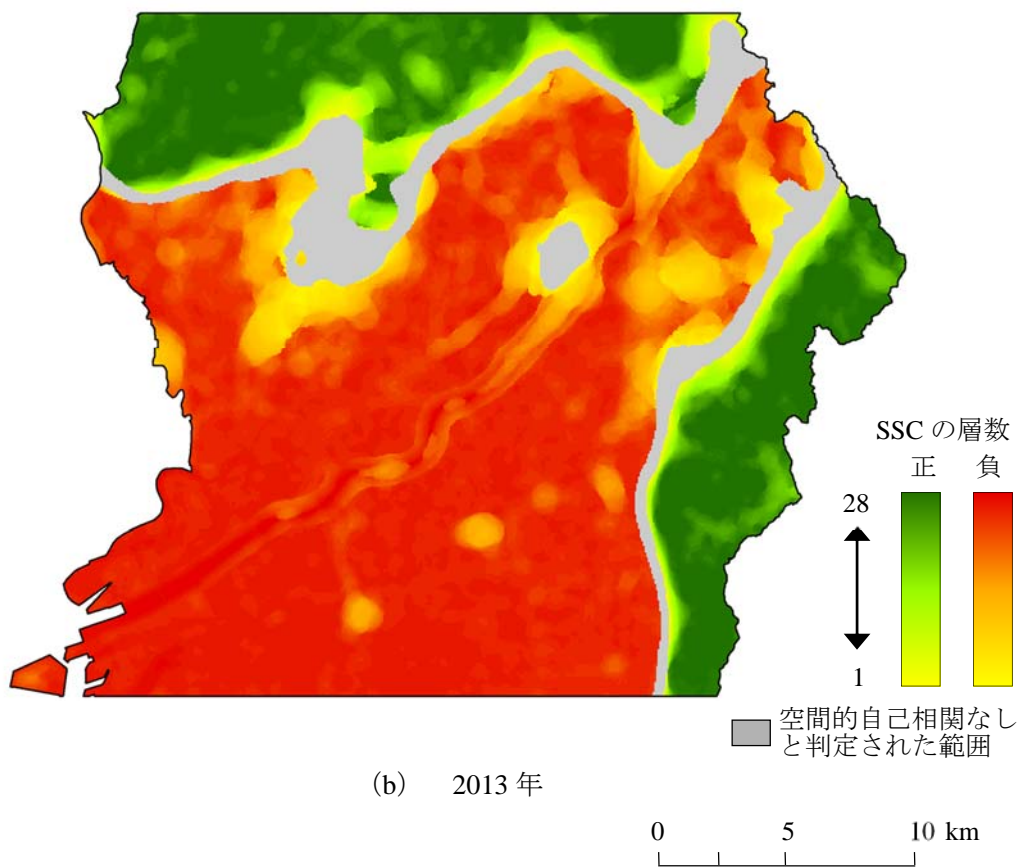
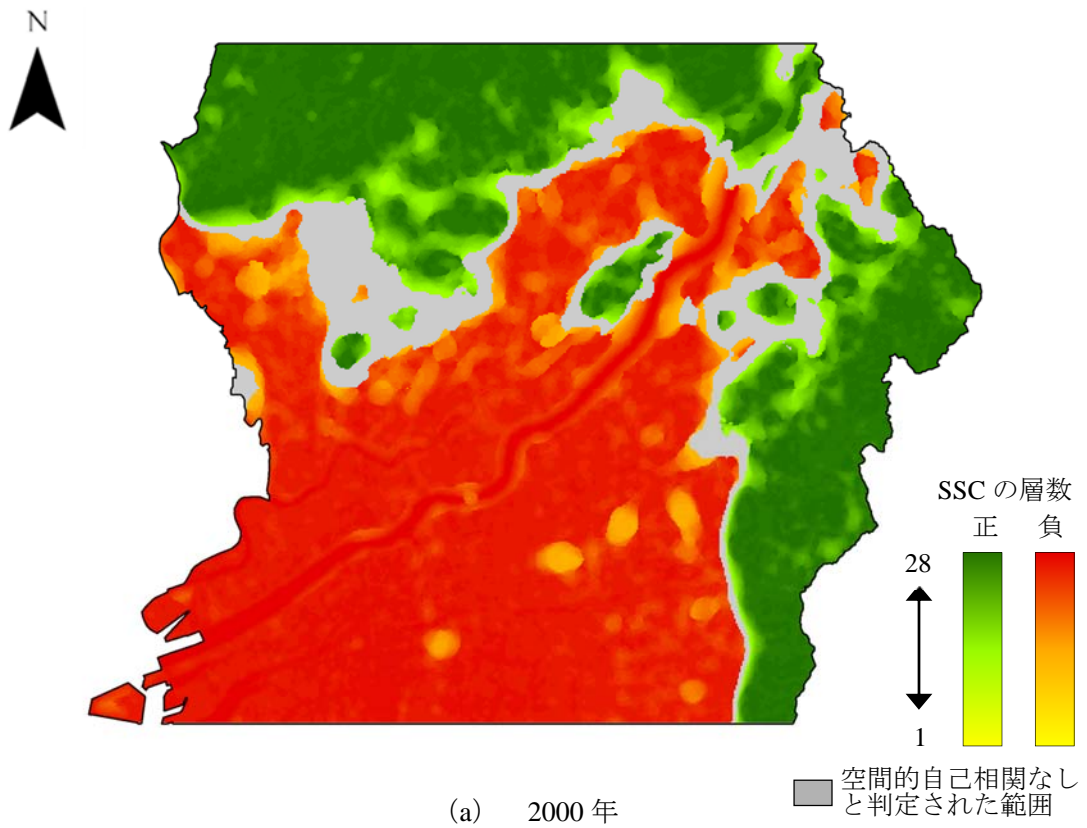
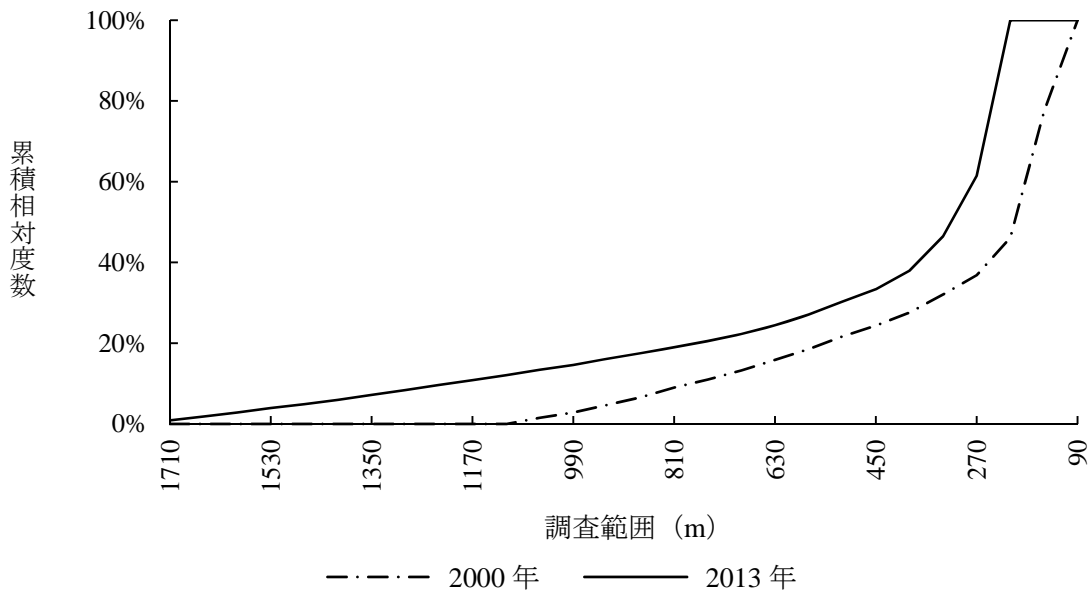
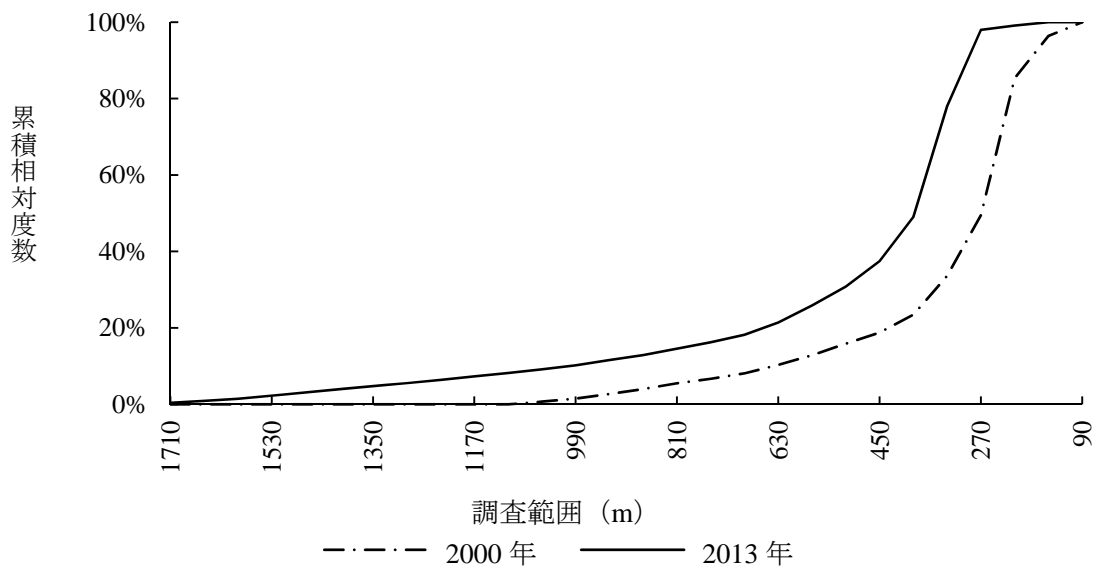


図-5.3.2 SSC と植生分布変移軸



(a) 正の SSC



(b) 負の SSC

図-5.3.3 SSC の各層の構成比

空間的自己相関なしとの境界部分に層数の低いことを表わす黄緑色～黄色の部分が見られていることが確認できる。かつて近傍から遠方に渡って植生被覆量の多い箇所が集積していると判定されていた箇所が、遠方まで範囲を広げてはじめて植生被覆量の多い箇所が集まっていると判定されるように変化すると判断される。図-5.3.3 (b) の負の SSC においても 2013 年で下層部分の割合が多い傾向がみられた。負の SSC では、総面積が増加するとともに上層部分の占める割合が減少している。図-5.3.2 の対象領域における分布では、負の SSC は都市部から郊外部へ範囲が広がる傾向が確認できる。負の SSC の領域は植生分布のまばらであった箇所が含まれるように広がったことが考えられる。

5. 3. 2 植生分布変移軸の抽出箇所の特徴

(1) 植生分布変移軸の抽出状態

図-5.3.4 に、選定した植生分布変移軸について正の SSC から作成されるものを赤線、負の SSC から作成されるものを青線で示す。図-5.3.4 (a) の破線内の正の植生分布変移軸を図-5.3.4 (b) の 2013 年のものと比較すると、北上し、山岳部に移動する傾向や植生分布変移軸そのものが消滅している箇所もみられる。図-5.3.4 (b) の負の植生分布変移軸の分布状態では、河川敷を中心に都市域の全体に抽出箇所が広く分布するように変化している傾向が確認できる。図-5.3.4 と比較すると目視では NDVI の低い値の分布状態のなかで抽出されている面もある。都市内の希少な植生分布の連なりを抽出している可能性もあるが、NDVI の極小さな値のみとなると分布の連なりを形成しうる植生そのものが存在するか否かといった点についても注意が必要となる。本研究では NDVI の分布状態に検討の範囲を絞ることとし、低い NDVI の分布と植生の存在量との空間的な関連性については今後の課題とする。

(2) 植生分布変移軸の変遷の分析

本研究では、植生分布変移軸の近傍と遠方の NDVI の平均値を統計的に比較することで、植生分布の空間的な連なりの変遷について分析した。3.4 節と 4.3.1 項と同様に土地被覆状態の検証を行う。ここでは、図-5.3.5 のように 2000 年および 2013 年の植生分布変移軸のそれぞれから調査範囲（距離パラメータ d までの範囲）を検証範囲と設定した。なお、5 章では 3.4 節と 4.3.1 項とは異なり、調査範囲 d から最大の調査範囲 d_{\max} までの範囲を比較範囲としている。 d_{\max} から d を狭めながら各範囲における 2000 年および 2013 年の NDVI の平均値を算出した。検証には Welch 法に基づく 2 標本の差を利用した検定の考えを用いており、帰無仮説を「軸の近傍とそれ以外とは NDVI の平均値に差はない」とした上で、検証範囲の NDVI の平均値と比較範囲の NDVI の平均値の差を検定統計量 t_0 として算出した。

a) 抽出手法の適用性の検証

植生分布変移軸は、抽出箇所の近傍に NDVI の高い画素が集積するとの仮定により抽出されている。各植生分布変移軸と同時期の NDVI を使用し検証することで、植生分布変移軸の抽出方法の適用性を明らかにする。図-5.3.6 は正の植生分布変移軸について検証範囲に含まれる NDVI の平均値と比較範囲に含まれる NDVI の平均値の差を検定統計量として算出し、検証範囲の大きさ (d の範囲) ごとに整理した結果を示している。図-5.3.6 の縦軸は正側に振れると検証範囲に含まれる NDVI の平均値の方が高い値を示す。横軸は数値が小さくなるにつれて植生分布変移軸の近くへ検証範囲が限定されていることを表す。図-5.3.6 (a) は破線で 2000 年での正の植生分布変移軸の抽出方法の適用性の検証結果を示している。図-5.3.6 (a) の破線では検定統計量の値が正側に振れ、検証範囲 870m 以下では正側の有意水準 5% で有意な結果が得られた。図-5.3.6 (b) では実線で 2013 年現在での検証結果を示している。図-5.3.6 (b) の実線では有意水準 5% で 1290m 以下の検証範囲で正側に有意な結果が得られる傾向がみられる。

図-5.3.7 に負の植生分布変移軸の検証結果を示す。図-5.3.7 (a) の破線での 2000 年で負の植生分布変移軸として抽出された箇所での検証結果は、すべての検証範囲で正側の有意水準 5% を上回る結果を示した。図-5.3.7 (b) の実線で示した 2013 年に負の植生分布変移軸として抽出された箇所においては、1290m 以下の検証範囲で有意水準 5% を上回る結果が得られた。

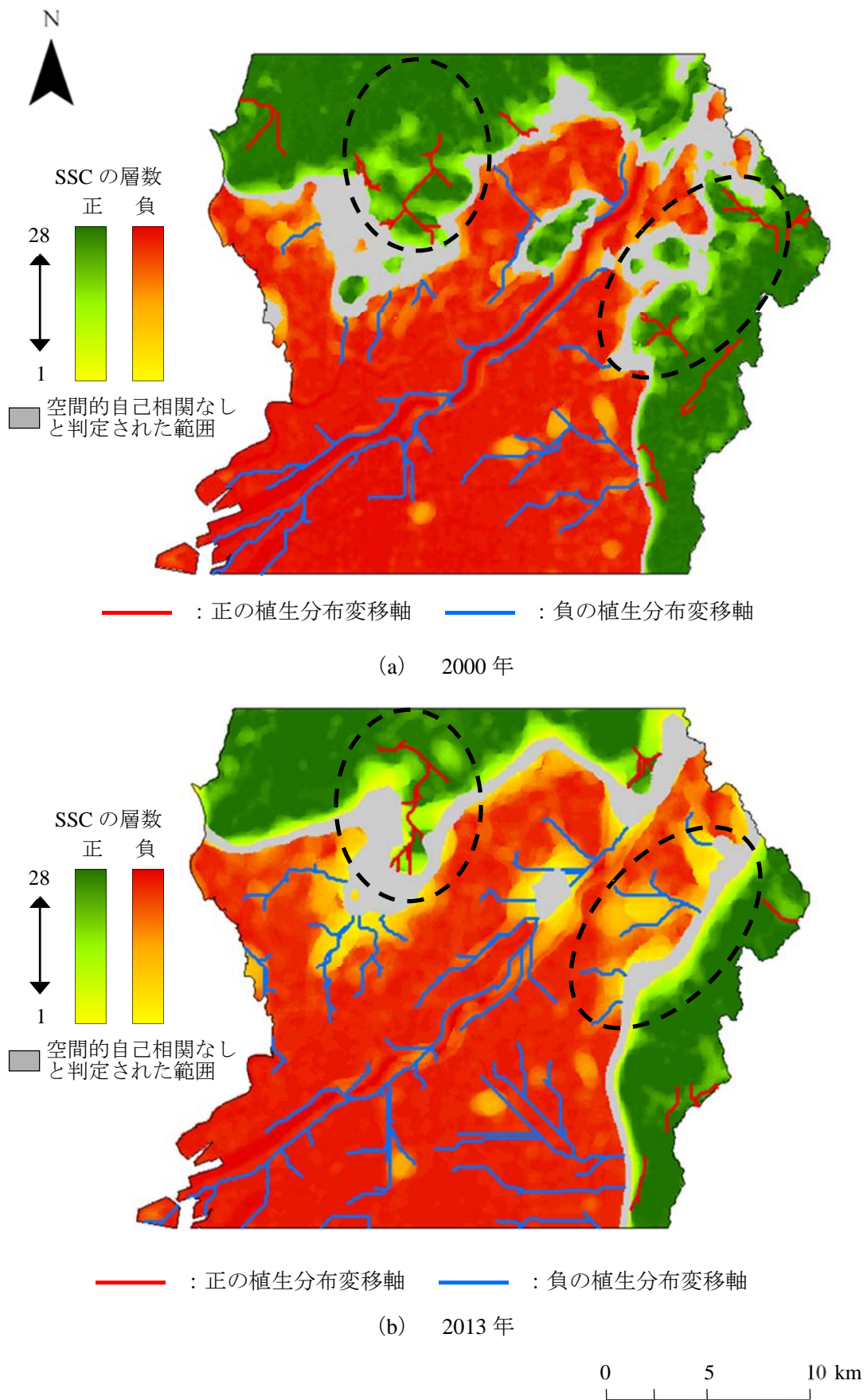


図-5.3.4 SSC と植生分布変移軸

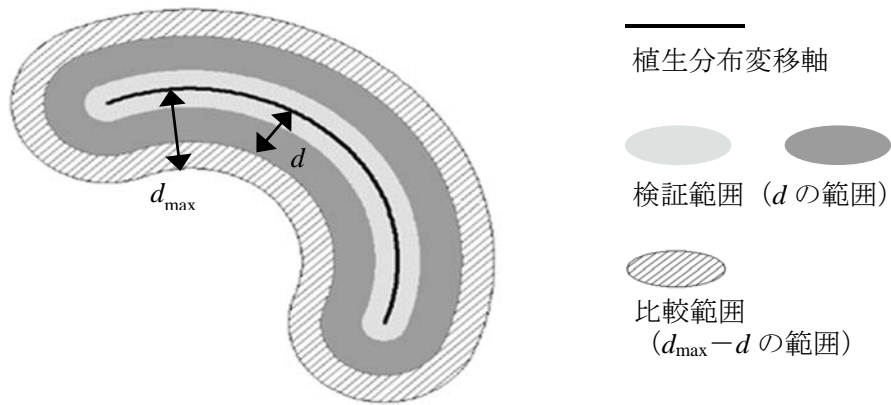


図-5.3.5 植生分布変移軸の検証方法

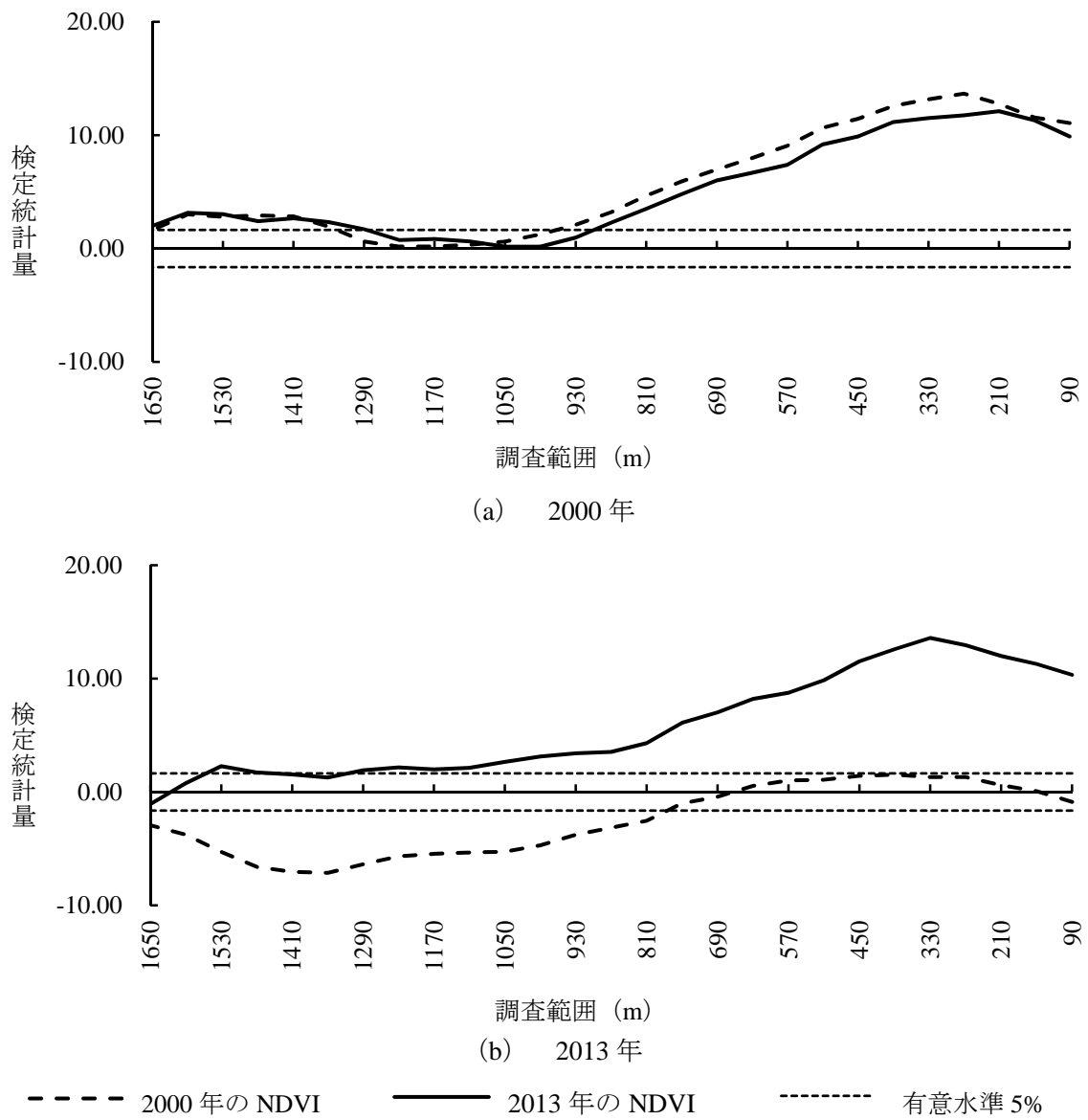


図-5.3.6 正の植生分布変移軸の検証結果

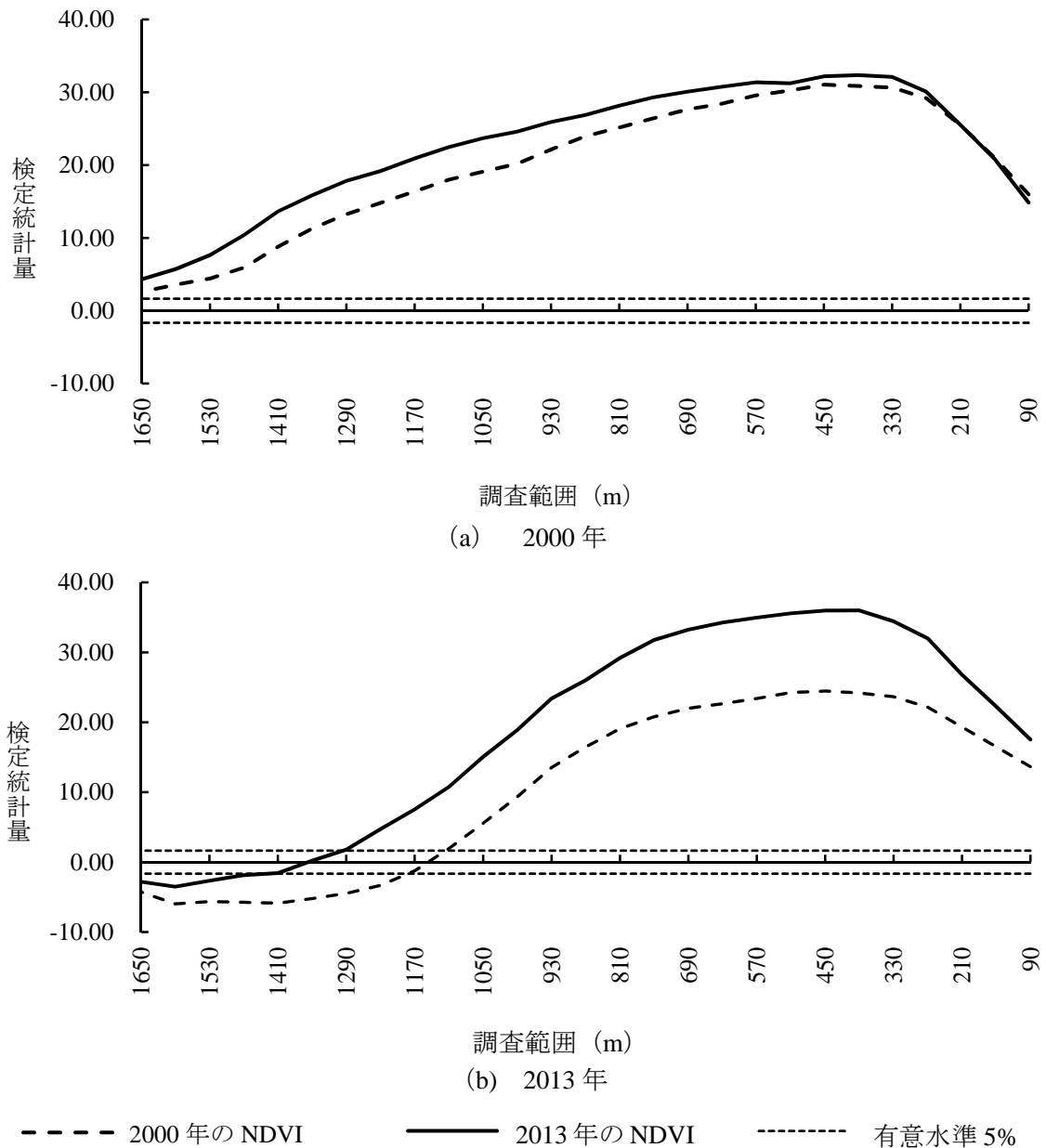


図-5.3.7 負の植生分布変移軸の検証結果

b) 植生分布変移軸の変遷の調査

いずれの時期においても、正・負の植生分布変移軸の近傍に NDVI の高い画素が集積する結果となった。これらの空間的な特徴を有する箇所に対して 2 時期の NDVI を用いた検証結果を比較することで、抽出箇所の周辺の植生分布の連なりの変遷を調査する。考え方を図-5.3.8 に示す。図-5.3.8 のオレンジ色で示す 2000 年の植生分布変移軸では、前項にて検証範囲と比較範囲に含まれる 2000 年の NDVI を比較することで植生分布変移軸の抽出手法の適用性を検証したこととなる。そこで、次に同位置の 2013 年の NDVI を使用し、同様に検証する。2000 年と 2013 年の検証結果を比較することで、2000 年に抽出された植生分布変移軸の周辺の土地被覆状態がどのように変化したかを明らかにする。同様に、図-5.3.8 の青色で示す 2013 年の植生分布変移軸では、2013 年の NDVI で抽出手法の適用性を検証すると

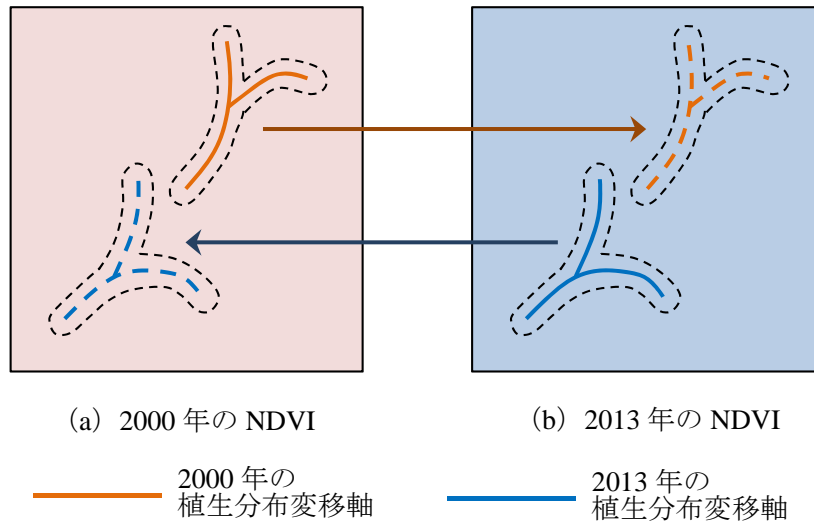


図-5.3.8 土地被覆状態の変遷の調査方法

もに、2000年のNDVIを使用することで2013年の植生分布変移軸の周辺の土地被覆が過去ではどのような状態であったかを調査することになる。

図-5.3.6 (a) の実線は2000年の正の植生分布変移軸周辺での2013年のNDVIの分布状態を示している。図-5.3.6 (a) から2000年の正の植生分布変移軸の周辺で、2000年と2013年のNDVIで同様の傾向を示すことが確認できる。2000年のNDVIより抽出された正の植生分布変移軸は、2013年においても抽出箇所の周辺にNDVIの高い画素が集まる傾向を維持していることが推測される。図-5.3.6 (b) の破線で示した2013年の正の植生分布変移軸周辺での2000年のNDVIの分析結果では、検定統計量の値が正側で有意な結果を得られなかった。図-5.3.2の正のSSCの変遷を考慮すると、2013年の正の植生分布変移軸の周辺は、2000年の段階では近傍に限らず、広い範囲でNDVIの高い値を示す地域であったことが推測される。つまり、2013年の正の植生分布変移軸は2000年から2013年の間に抽出箇所の近傍と遠方とのNDVIの差が大きくなることによって植生分布変移軸として抽出されたことが考えられる。

図-5.3.7 (a) の2000年の負の植生分布変移軸では2000年と2013年ともに、抽出箇所の周辺にNDVIの高い画素が集まる傾向を確認できる。図-5.3.7 (b) の2013年に負の植生分布変移軸として抽出された箇所においては、2000年のNDVIで1050m以下の検証範囲とした場合に有意水準5%を上回る結果を示した。2013年での負の植生分布変移軸の周辺では2000年から2013年に移り変わることで、NDVIの高い画素の集まりが広がる傾向を確認できる。

5. 3. 3 植生群の推定結果による比較

(1) 植生群の比較

対象領域において、2000年から2013年に移り変わることで、正の植生分布変移軸は平野部から山岳部に移動し、負の植生分布変移軸は河川敷を中心に都市部で広く分布する傾向がみられた。正・負のSSCの変遷と併せて考えると、2000年から2013年にかけて、植生被覆量の多い箇所が集まる領域が分断されてきた可能性がある。そこで本研究では、植生分布変移軸の変化の特性を把握するために、まとまりのある植生分布を植生群として試験的に

抽出し、植生分布変移軸を構成する植生群の構成の推移を調査した。具体的には、大阪城公園などの大規模な緑地や農業振興地域での農地を含む地域を、2 時期を通じて植生分布の変化が少ない地域とみなし、テストエリア（総面積：4.6km²）として選定した。大阪府が 2002 年 10 月 17 日および 2000 年 11 月 17 日撮影の航空写真の目視判読により作成した「みどりの分布図」（空間分解能：1m×1m）における植生面を参照用のデータとした上で、テストエリアにおける 2000 年の衛星データのフォールスカラー画像を基に植生群の領域を確定させた。2013 年の場合も同様に「みどりの分布図」での植生面や 2013 年観測の衛星データを参考に、植生群の領域を確定させた。図-5.3.9 に確定した植生群のエリアの例を示す。植生群の領域を含むテストエリア内において、2000 年と 2013 年それぞれにおいて NDVI を対象に閾値を変動させ、植生群と最も一致する値を決定した。表-5.3.1 に結果を示す。表-5.3.1 は閾値によって 2 つの群に区分された結果と、あらかじめ設定したテストエリア内の植生群とそれ以外の領域との一致率をエラーマトリクスで表したものである。この閾値を使用して全域で区分された領域を比較のための植生群と定義した。植生群の分布状態を図-5.3.10 に示す。図-5.3.10 のように試験的に作成した植生群データを用いて、植生分布変移軸周辺の植生群の分布状態を調査した。

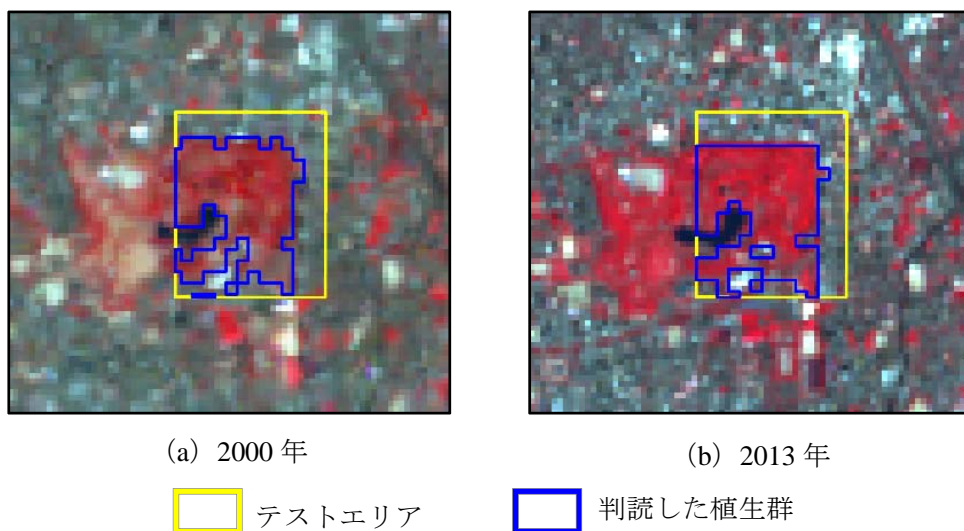


図-5.3.9 フォールスカラー画像と判別した植生群の領域

表-5.3.1 植生群の一致率

		(a) 2000年		(b) 2013年	
		判読した植生群		判読した植生群	
		植生	植生以外	植生	植生以外
閾値によって区分された結果	植生	91.2	15.1	84.0	15.3
	植生以外	8.8	84.9	16.0	84.7

(単位：%)

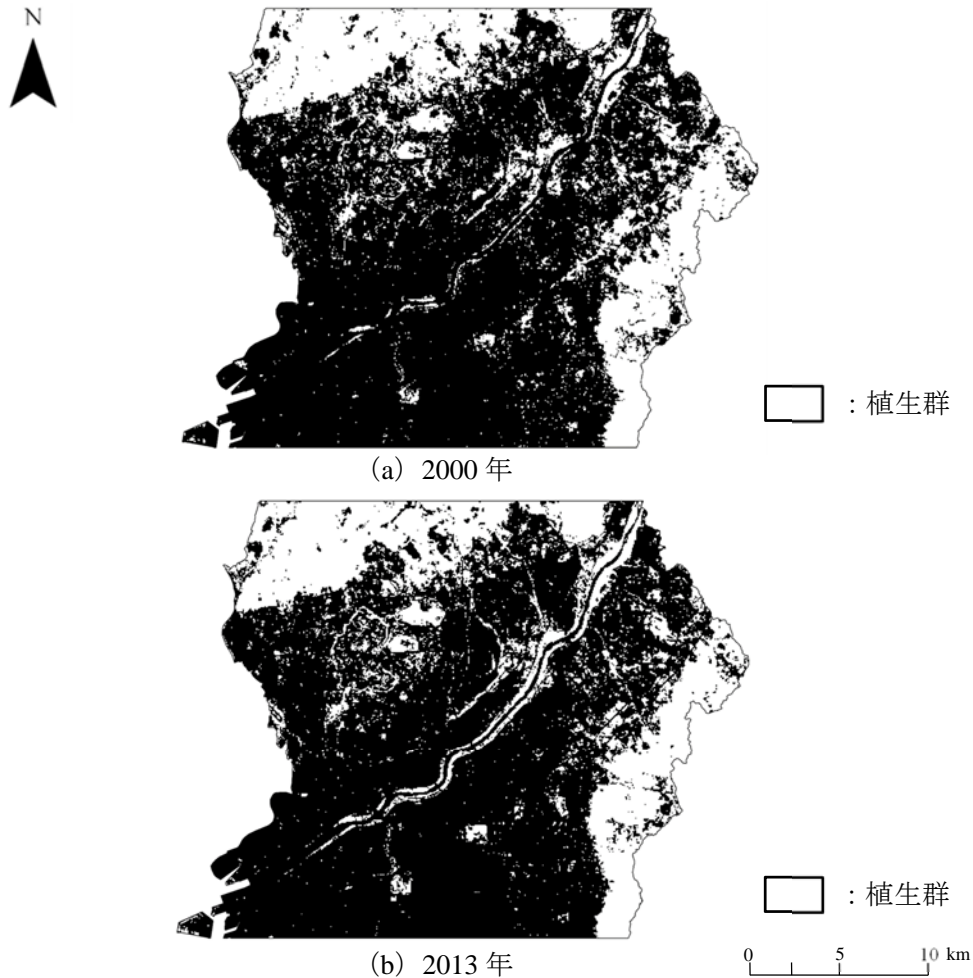
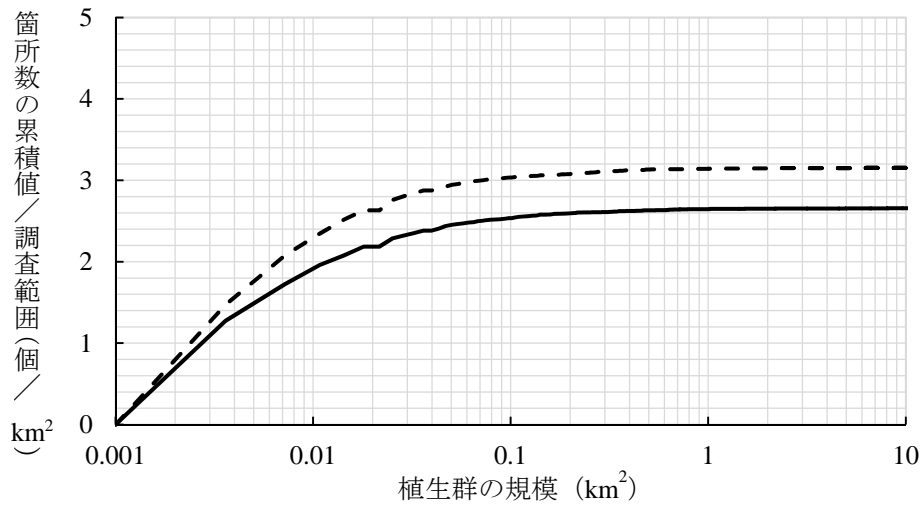


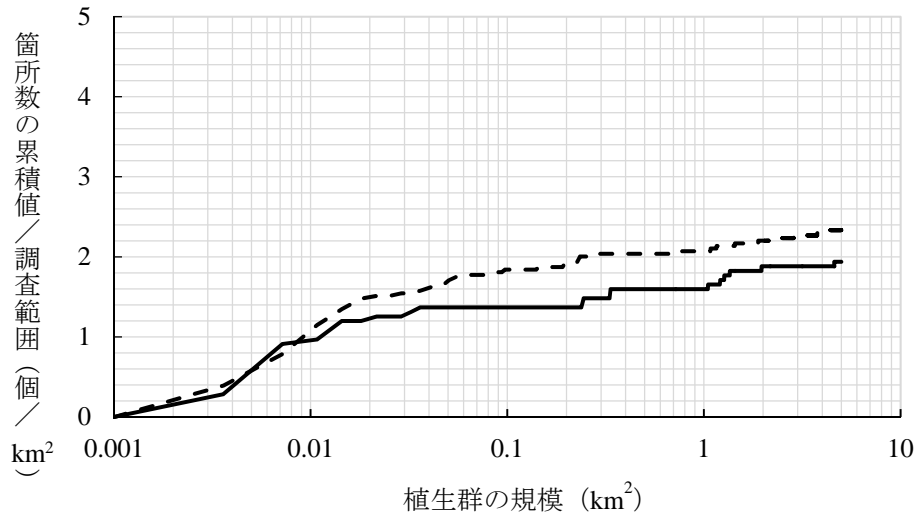
図-5.3.10 植生群の分布状況

(2) 植生群の配置密度での比較

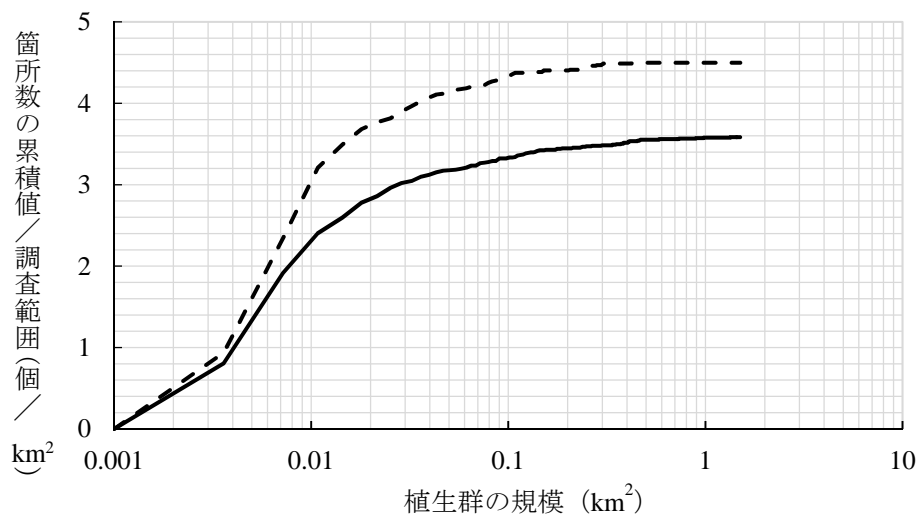
図-5.3.11 に、2 時期の植生群の規模と構成について整理した。図-5.3.11 では縦軸に植生群の箇所数の累積値を調査範囲の面積で除した密度として表し、横軸は植生群の規模を対数値として表現している。対象領域の全体での結果を示す図-5.3.11 (a) では、 0.004km^2 から 0.02km^2 程度の区分において植生群の箇所数に差異が生じていることがわかる。つまり、対象領域全体では 2000 年から 2013 年に移り変わることで、 0.004km^2 から 0.02km^2 程度の植生群が減少する傾向が推測される。その一方で、図-5.3.11 (b) の正の植生分布変移軸から 330m の範囲での植生群の構成は、対象領域の全体での傾向よりも大きな、 0.04km^2 から 0.2km^2 程度の植生群において箇所数の累積値に 2 時期で変化がみられる。図-5.3.4 において正の植生分布変移軸の抽出箇所に変化がみられた対象領域の北部や東部の地域は、ニュータウン型の開発や高速道路が新たに整備された地域でもある。図-5.3.11 (b) でみられる規模の大きな植生群の変化は都市整備により大規模な植生群が縮小や分断されたことを示唆する結果とも考えられる。図-5.3.11 (c) の負の植生分布変移軸から 450m の範囲での結果では、 0.004km^2 から 0.01km^2 の範囲では対象領域全体でみられる傾向と同様の変化を示すものの、特に $0.01\text{km}^2 \sim 0.02\text{km}^2$ 程度の植生群の箇所数が 2000 年と比較して 2013 年では大幅に減少する傾向がみられる。これは、都市内で植生被覆量の多い箇所が集まるような希少な領域においても植生群の規模の構成が変化したことを意味している。



(a) 対象領域全体



(b) 正の植生分布変移軸周辺



(c) 負の植生分布変移軸周辺

----- 2000年のNDVI ————— 2013年のNDVI

図-5.3.11 植生群の配置密度の検証結果

第6章 結論

6. 1 研究の成果

本論文は、都市内に存在する透水面分布の空間的な連なりを広域から把握する新たな分析手法の開発とその応用について述べた。以下に本研究の成果をまとめる。

(1) 衛星データを用いた透水面分布の空間的な連なりの広域分析手法の開発 (第3章)

a) 広域での透水面分布の推定

2000年8月25日観測のLandsat ETM+データに最小二乗法の考えを基とした混合スペクトル分析を適用し、大阪府全域の透水面分布を衛星透水面率として推定した。土地被覆状態が混在した寝屋川市の一部地域を検証領域と設定し、その領域のQuickBirdデータを目視判読した結果と衛星透水面率を比較した。その結果としてRMS誤差12.3%を得た。本研究では、広域な透水面分布の推定を目的としていることから、算出した衛星透水面率は妥当な精度を有していることを確認した。

b) 空間的な位置関係を考慮した透水面分布の連なりの抽出

本研究では、衛星透水面率に空間的自己相関分析を応用することで透水面分布の空間的な連なりを透水面軸として抽出する手法を提案した。距離パラメータ d を変化させるごとに空間的自己相関分析を実施し「負の空間的自己相関あり」と判別された結果を層状に重ね合わせることで負のSSCを作成した。負のSSCは透水面率の低い画素の空間的な集積度を表したものとなる。対象領域の負のSSCの層数が8層以上の高い値を示す箇所は、大阪府の中心部を含む広い範囲で分布し、層数が2層以下の比較的低い値を示す箇所は、淀川などの河川や山岳部近傍といった大規模な透水面の周辺で分布する傾向がみられた。

負のSSCを地形データのように扱うことで得た谷部分は、透水面が分布する可能性の高い領域が、透水面の少ない領域の近傍に迫るように分布する箇所であり、結果として層数の高い領域に向けて透水面が連なって分布する傾向にある箇所とみなせる。そこで、水系網解析を応用することで、負のSSCの谷線を抽出し、透水面分布の連続箇所と設定した。その結果、1058本の透水面分布の連続箇所が得られた。さらに、ヒートアイランド現象の核となる都市中心部から冷却効果が期待される郊外部や海域まで連なる透水面分布の連続箇所を透水面軸と定義し、123本を選定した。透水面軸は、対象領域の北部や東部、南部に存在する山岳地や農地、淀川や大和川といった大規模な河川から都市中心部へとSSCの起伏に沿って分布する傾向があった。

c) 透水面軸の近傍と遠方の土地被覆状態の比較

透水面軸の近傍と遠方の土地被覆状態を比較することで、抽出した透水面軸を検証した。具体的には、精緻な土地被覆データである「みどりの分布図」を用いて透水面率を整備し、透水面軸の近傍と遠方との透水面率の平均値を統計的に比較した。透水面軸の近傍では、透水面率の平均値が高い値を示すとともに、透水面軸に近づくにつれてその傾向が顕著になる結果が得られた。以上のことから、衛星データを用いた透水面軸の抽出手法の妥当性が明らかとなった。

(2) 気象観測データを用いた透水面軸の特性の分析 (第3章)

抽出した透水面軸が有する周辺地域への冷却効果の把握を試みた。検証には、夜間の風の穏やかな時間帯(午前4時)の気温データを使用した。距離パラメータ d を基に、調査範囲

を設定し、調査範囲内に含まれる観測局と調査範囲外に位置する観測局の平均気温の差を検定統計量で比較した。その結果、315m以下の調査範囲が狭い場合で有意な差を確認した。観測条件と気象条件を絞った上での限られたデータの範囲内ではあるが、透水面軸の近傍において周辺地域への冷却効果を示唆する結果が得られた。開発した分析手法から得られる透水面軸がヒートアイランド対策を講じる上での有用な基礎資料として利用できる可能性を見いだすことができた。

(3) 透水面分布の規模に応じた広域分析の検討と抽出結果の特性の整理 (第4章)

a) 透水面分布の規模に応じた透水面軸の抽出

都市内の基幹公園の標準とされている規模を参考に 0.25ha 以上、2ha 以上、4ha 以上、10ha 以上、75ha 以上と基準を設定した上で、精緻な土地被覆データである「みどりの分布図」を基に、仮想的に透水面を省いた規模ごとの透水面率を算出した。作成した透水面率に広域分析手法を応用し、規模ごとの透水面軸を抽出した。透水面軸は SSC の起伏の谷部分に沿うように、河川や対象領域南部の農地から SSC の総数の高い箇所へ軸が分布する傾向を確認した。さらに、透水面の規模の区分が大きくなるにつれて、透水面軸の本数が絞られ、大阪湾や淀川、山岳部などの大規模な透水面を始点とする透水面軸に限定されていく傾向がみられた。選定した透水面軸の近傍とその周辺部の土地被覆状態を比較した結果、透水面軸が透水面率の高い画素が集積した部分を空間的に捉えている傾向が確認できた。

b) 透水面分布の規模と夜間気温との関連性の調査

透水面分布の規模ごとに抽出した透水面軸と夜間気温(午前5時)との関連性の検証を通じて、透水面軸の特性を整理した。夜間気温との比較からは、規模の下限値を 9ha とした場合の透水面軸において周辺地域との有意な気温差が現れている可能性がみられた。さらに、透水面軸周辺の透水面の面積規模と構成比について透水面軸ごとに整理した。その結果、透水面軸の周辺地域への有意な気温差は、透水面軸を構成している透水面の規模の構成比が変化したことにより生じたことを示唆する結果を得た。本研究では 9ha 以上の透水面分布から構成される透水面軸を基に、その連なりを維持や推進するように透水面を配置することで、大阪府での透水面によるヒートアイランド対策の効果が高まる可能性を確認した。さらに、透水面の配置計画には、連なりを構成する透水面分布の個々の規模だけではなく、その構成比についても考慮する必要性が明らかとなった。

(4) 観測時期の異なる2時期の衛星データを用いた植生分布の空間的な連りの変遷の分析 (第5章)

観測時期の異なる2時期の衛星データから算出した NDVI に開発した分析手法を適用し、植生分布の空間的な集積の度合いを表す SSC を作成した。SSC を基に水系網解析を応用することで植生被覆量の多い箇所から少ない箇所へと植生分布が空間的に連なる箇所を植生分布変移軸として定義し、抽出した。SSC の2時期での推移を確認すると、空間的自己相関分析において「空間的自己相関なし」に区分される、植生分布がまばらに存在するような箇所に変化がみられることがわかった。SSC の層数の比較では、2000年から2013年において近傍から遠方に渡って植生被覆量の多いと判定される箇所が山岳部に限定される傾向を確認した。さらに、植生分布変移軸周辺での NDVI の統計的な特性と植生群の規模を比較したところ、縮小や分断といった変化が植生分布の空間的な連りに影響を及ぼしている可能性が示唆された。以上のことから、本研究では開発した分析手法を使用することで、開発な

どによる都市構造の変化を空間的な分布状態の面から把握できることが明らかとなった。

6. 2 今後の展望

本研究は前述のように、空間的な連なりを有する透水面分布について、広域的な観点からその特性の一端を把握できたと考える。ここでは、将来的な可能性を見据えた上で、これまでに明らかになった問題点と新たな展開について述べる。

(1) ハイパースペクトルデータの適用

3章では、衛星データを用いて透水面の分布状態を推定した。推定は Landsat ETM+データの6バンドの情報を使用し、透水面の占有率を1画素内ごとに算出する混合スペクトル分析を採用している。現在、数百バンドもの観測帯をもつセンサによって観測されたりリモートセンシングデータである、ハイパースペクトルデータがさまざまな分野で採用されている^{48), 49)}。混合スペクトル分析を用いた透水面率の推定法にハイパースペクトルデータを適用することで、分析精度の向上が期待できる。

(2) 気象観測局の追加

本研究の3章と4章での気象観測データを用いた検証では、AMeDASデータと大気汚染常時監視測定局の観測データを採用した。本研究で用いた観測局の総数は20局である。より詳細な気象観測データと透水面軸との検証には、観測局の増設が望まれる。対象領域には、各大学の研究室が独自に設置している観測局などが存在する。これらの観測局を利用することで、観測密度を高めることが可能となる。その一方で、さまざまな観測局を使用すると、観測局ごとに観測条件が異なることによる誤差が生じる可能性も考えられる。首都圏ではMETROS (Metropolitan Environmental Temperature and Rainfall Observation System: 首都圏環境温度・降雨観測システム) と呼ばれる都内120地点の気象を観測するシステムがある^{50), 51)}。METROS などの高密度での観測結果を利用し、透水面軸を検証することで透水面分布の空間的な連なりのより詳細な特性の把握が期待できる。

さらに、近年ではソーシャルメディアの登場により、人々は周囲の状況や感情、考えをインターネット上に発信するようになった⁵²⁾。特に、位置情報付きの発信データには空間上での特性が表れている可能性がある⁵³⁾。位置情報付きソーシャルメディアデータと高密度での現地観測データとを併用した透水面軸の検証を行うことで、透水面分布の気温の低減効果と暑熱環境の変化との空間的な関連性を明らかにすることも興味深い。

(3) 地域ごとの区分結果の検証

気温は透水面分布だけではなく、建物や地形、人工排熱などのさまざまな要因の影響を受ける。透水面軸とそれに沿った地形や土地利用構成の関連性を分析することも興味深い。谷などの地形条件を加味した上でCFD (数値流体力学: Computation Fluid-Dynamics) 解析を応用することで、局所空間の冷気流の形成・流出状況を明らかにした試みもある⁵⁴⁾。一方で、透水面軸は都市に散在する透水面の分布傾向を広域スケールで表現したものである。広域スケールでのCFD解析は膨大なコンピュータ資源が必要となる。

(4) 透水面の種類に着目した分析

4章では、みどりの分布図データで自然面と分類されている箇所を透水面として、透水面軸と気温との関連性を明らかにした。一方で、透水面の保水量や蒸発散量は樹林や草地、裸地など自然面の種類ごとに異なる。樹木の葉の種類や活性状態による影響も懸念される。さ

らに、水深が深い水面においては、夜間において水温が気温よりも高温になるとの指摘もある⁵⁵⁾。透水面の種類ごとの分布状態を加味した空間分析を実施することで、ヒートアイランド対策としての透水面分布のより効果的な配置方法の提案が可能となる。

(5) 土地利用動向に基づいた透水面分布の分析

5章では、衛星データから算出したNDVIを空間的自己相関分析に適用し、植生分布の疎密の観点から対象領域内を「正の空間的自己相関あり」、「負の空間的自己相関あり」、「相関なし」の3区分した上で、植生被覆量の多い箇所から少ない箇所へと植生分布が空間的に連なる箇所を植生分布変移軸として抽出した。異なる観測時期での比較から植生分布変移軸は、植生分布の疎・密のいずれでもない「相関なし」の地域において縮小や分断といった変化が顕著であることが明らかとなった。このような地域は、開発圧力の低下に伴い居住誘導区域の検討対象となる可能性が考えられる。将来の都市像を想定した透水面の配置計画では、都市の機能が集約される都市中心部や集約によって透水面が増加すると考えられる郊外部など、地域ごとの透水面の集積状態に応じた透水面軸を抽出し、その特性を明らかにすることが望まれる。

参考文献

- 1) 国立社会保障・人口問題研究所：人口統計資料<http://www.ipss.go.jp/syoushika/tohkei/Popular/P_Detail2016.asp>, (閲覧 2016.4.19)
- 2) 国立社会保障・人口問題研究所：日本の将来推定人口（平成 24 年 1 月推計）<<http://www.ipss.go.jp/syoushika/tohkei/newest04/gh2401.asp>>, (閲覧 2016.4.19)
- 3) 国土交通省：国土のグランドデザイン 2050, 2014 年, <<http://www.mlit.go.jp/common/001047113.pdf>>, (入手 2015.10.22)
- 4) 海道清信：コンパクトシティ 持続可能な社会の都市像を求めて, 学芸出版社, p.287, 2001 年
- 5) 国土交通省・国土交通政策研究所：オープンスペースの実態把握と利活用に関する調査研究, 2012 年, <<http://www.mlit.go.jp/pri/houkoku/gaiyou/pdf/kkk106.pdf>>, (入手 2015.10.22)
- 6) 環境省：平成 26 年版 環境・循環型社会・生物多様性白書, <<http://www.env.go.jp/policy/hakusyo/h26/index.html>>, (閲覧 2015.10.22)
- 7) European Commission. : Communication from the Commission to the European Parliament, The Council, the European Economic and Social Committee and the Committee of the Regions. Green Infrastructure (GI)—Enhancing Europe’s Natural Capital. COM(2013) 249 final., 2013, <<http://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=celex%3A52013DC0249>>, (閲覧 2015.10.22)
- 8) 森山正和, 河野仁, 吉田篤正, 宮崎ひろ志, 竹林英樹：都市における樹木のクールスポット効果に関する実測データ解析, 日本建築学会計画系論文集, No.541, pp.49-56, 2001 年
- 9) 成田健一, 菅原広史：都市内緑地の冷気のにじみ出し現象, 地学雑誌, Vol.120, pp.411-425, 2011 年
- 10) 浜田崇, 三上岳彦：都市内緑地のクールアイランド現象, 地理学評論, Vol.67, No.8, pp.518-529, 1994 年
- 11) 菅原広史, 成田健一, 三上岳彦, 本條毅, 石井康一郎：都市内緑地におけるクールアイランド強度の季節変化と気象条件の依存性, 天気, Vol.53, No.5, pp.393-404, 2006 年
- 12) ヒートアイランド対策推進会議：ヒートアイランド対策大綱, 環境省, 2013. <<http://www.env.go.jp/press/files/jp/22572.pdf>>, (入手 2016.4.19)
- 13) 国土交通省都市・地域整備局都市計画課・公園緑地課：新編緑の基本計画ハンドブック, p.234, 社団法人日本公園緑地協会, 2007 年
- 14) 沈振江, 川上光彦, 山下智：GIS を用いた地区エコロジカル・ネットワークのベースマップの自動作成に関する研究, 情報・システム・利用・技術シンポジウム論文集, No.25, pp.217-222, 2002 年
- 15) 小林優介, 石川幹子：細密メッシュデータを用いた森林の集塊性の分析手法に関する研究, 都市計画論文集, No.38-3, pp.619-624, 2003 年

- 16) 小林祐司, 佐藤誠治, 姫野由香, 有馬隆文: ランドサット TM データを利用した緑地分布傾向の把握手法に関する研究, 日本都市計画学会学術研究論文集, No.35, pp.253-258, 2000 年
- 17) 竹林英樹, 森山正和: 実測調査による市街地内公園からの冷気のにじみ出し現象の解析, 日本ヒートアイランド学会論文集, Vol.3, pp.34-39, 2008 年
- 18) Qihao Weng : Remote sensing of impervious surfaces in the urban areas: Requirements, methods, and trends, *Remote Sensing of Environment* , Vol.117, pp.34-49, 2012.
- 19) 鳴海大典, 吉田篤正, 鍋島美奈子, 竹林英樹: 都市熱環境監視に資する気象観測局の実態に関する調査研究, 日本建築学会技術報告集, Vol.14, No.27, pp.193-198, 2008 年
- 20) 大阪府・環境農林水産部・みどり・都市環境室地球環境課: 大阪府ヒートアイランド対策推進計画, p.49, 2004 年, <[http://www.epcc.pref.osaka.jp/ondanka/heat_i/matidukuri/ keikaku/](http://www.epcc.pref.osaka.jp/ondanka/heat_i/matidukuri/keikaku/)>, (入手 2015.10.22)
- 21) 熊谷樹一郎, 前田壮亮: 事前広域評価支援を目的とした植生分布に関する空間分析方法の開発, 土木学会論文集 F, Vol.64, No.3, pp.237-247, 2008 年
- 22) 環境省: 平成 17 年度都市緑地を活用した地域の熱環境改善構想の検討調査報告書, 2006 年, <<http://www.env.go.jp/air/report/h18-03>> (入手 2015.10.22)
- 23) 日本都市計画学会: 実務者のための新・都市計画マニュアル I【都市施設・公園緑地編】公園緑地, pp.55-87, 2002 年
- 24) 平野勇二郎, 安岡善文, 柴崎亮介: 都市域を対象とした NDVI による実用的な緑被率推定, 日本リモートセンシング学会誌, Vol.22, No.2, pp.163-174, 2002 年
- 25) 稲村実: カテゴリー分解に基づくリモートセンシング画像のデータ解析, 電子情報通信学会論文誌 C, Vol.70-C, No.2, pp.241-250, 1987 年
- 26) Wu, Changshan., Murray, A.T. : Estimating impervious surface distribution by spectral mixture analysis, *Remote Sensing of Environment* , Vol.84, Issue 4, pp.493-505, 2003.
- 27) 原科幸爾, 恒川篤史, 武内和彦, 高槻成紀: 本州における森林の連続性と陸生哺乳類の分布, ランドスケープ研究, Vol.62, No.5, pp.569-572, 1998 年
- 28) 佐藤大樹, 村上周三, 大岡龍三, 吉田伸治, 原山和也, 近藤裕昭: ヒートアイランド緩和方策が夏季と冬季の都市熱環境へ及ぼす影響の数値解析 夏季・冬季の都市気候特性の分析及び緑化と高アルベド化の効果の検討, 日本建築学会環境系論文集, No.577, pp.55-62, 2004 年
- 29) 尹聖皖, 足永靖信: 地方沿岸都市における緑化による夏季熱環境緩和効果に関する数値シミュレーション - 逗子市におけるケーススタディ -, 日本建築学会環境系論文集, No.577, pp.41-46, 2004 年
- 30) 平野勇二郎: ヒートアイランド緩和策の気温低下効果とそのエネルギー消費量への影響 東京都心部の地上緑化を対象とした夏季・冬季のケーススタディ, 日本建築学会環境系論文集, No.591, pp.75-82, 2005 年
- 31) 入江彰昭: 気温推定による緑地のヒートアイランドの緩和効果に関する研究, ランドスケープ研究, Vol.66, No.5, pp.889-892, 2003 年
- 32) 岩本麻利, 篠田友博, 尾上佳宏, 他: 大規模都市緑地周辺市街地におけるクールアイランドのネットワークに関する研究(その 1), 日本建築学会大会学術講演梗概集, Vol.2006,

- pp.631-632, 2006 年
- 33) 近藤純正：地表面に近い大気科学，東京大学出版会，p.324, 2000 年
 - 34) 下村泰彦，河野礼，加我宏之，増田昇：大阪市聖天山地区を事例とした風致地区制度と緑地景観の保全に関する研究，都市計画論文集，No.43-3, pp.661-666, 2008 年
 - 35) 円井基史，仙田満，國吉真哉：横浜市における斜面緑地の変遷と保全に関する研究，日本建築学会大会学術講演梗概集（東北），pp.859-860, 2000 年
 - 36) 佐藤篤志，清水裕之，有賀隆，大月淳：大都市周辺緑地の変遷及びその要因と地形との関係に関する研究 名古屋市に隣接する長久手町を対象として，日本建築学会東海支部研究報告集，第 41 号，pp.765-768, 2003 年
 - 37) 西前出，水野啓，小林慎太郎：大阪府における農振白地の土地利用変化動向，農村計画学会誌，Vol. 19, No. 19, pp.1-6, 2003 年
 - 38) 小林祐司，佐藤誠治，姫野由香，広中聡：緑地地域の特性把握と地域類型化に関する研究，日本建築学会計画系論文集，No.554, pp.227-234, 2002 年
 - 39) Green, A.A., Berman, M., Switzer, P., and Craig, M.D.: A transform for ordering multispectral data in terms of image quality with implications for noise removal, IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, Vol.26, No.1, pp.65-74, 1988.
 - 40) Ord, J. K. and Getis, A.: Local spatial autocorrelation statistics: distributional issues and an application, Geographical Analysis, Vol. 27, No. 4, pp. 286-306, 1995.
 - 41) 気象庁：地域気象観測システム（アメダス），<<http://www.jma.go.jp/jma/kishou/known/amedas/kaisetsu.html>>，（閲覧 2016.4.19）
 - 42) 空気調和・衛生工学会：ヒートアイランド対策－都市平熱化計画の考え方・進め方，株式会社オーム社，p.209, 2009 年
 - 43) 大阪府環境農林水産部環境管理室：大阪府大気汚染常時監視のページ，<<http://taiki.kankyo.pref.osaka.jp/taikikanshi/>>，（閲覧 2016.4.19）
 - 44) Ustin, S.L.: Remote Sensing for Natural Resource Management and Environmental Monitoring, Manual of Remote Sensing Third Edition, Volume 4, John Wiley and Sons, 2004.
 - 45) 竹内章司：衛星画像の植生指標による画素内緑被率の推定，写真測量とリモートセンシング，Vol.26, No.4, pp.4-12, 1987.
 - 46) 羽柴秀樹，亀田和昭，田中總太郎，杉村俊郎：高分解能衛星画像データによる都市域の小規模植生分布の抽出，土木学会論文集，No.685 / VII-20, pp.27-39, 2001 年
 - 47) Kumagai, K.: Verification of the analysis method for extracting the spatial continuity of the vegetation distribution on a regional scale, Computers, Environment and Urban Systems, Vol.35, pp.399-407, 2011.
 - 48) 沖一雄，船越祐哉，稲村實：ハイパースペクトルデータによる画素内特定被覆率推定に関する研究 - 植生被覆率の推定 - ，日本リモートセンシング学会誌，Vol.20, No.3, pp.17-33, 2000 年
 - 49) 天野雄一郎，高木直樹：ハイパースペクトル AVIRS を利用した都市域植生分類精度に関する研究 - コロラド州ボウルダーにおける詳細な植生把握 - ，日本建築学会環境系論文集，No.590, pp.49-55, 2005 年

- 50) 亀野勝彦, 永谷結, 柄澤孝和, 梅木清, 本條毅, 三上岳彦: 広域 METROS による首都圏のヒートアイランド解析, 環境情報科学論文集, No.22, pp.197-202, 2008 年
- 51) 高橋日出男, 清水昭吾, 大和広明, 瀬戸芳一, 横山仁: 稠密観測データに基づく晴天弱風の冬季夜間における東京都区部を中心とした気温分布について, 地学雑誌, Vol.123, pp.189-210, 2014 年
- 52) 谷口守, 星野奈月, 富永 透見: 「つぶやき」からみる都市についての一考察 都市名に着目して, 都市計画論文集, Vol. 49, No. 3, pp. 939-944, 2014 年
- 53) 今井龍, 中村健二, 田中成典, 藤本雄紀: マイクロログを用いた道路事業に係わる意見の抽出と位置情報推定に関する研究, 土木学会論文集 F3, Vol. 71, No. 2, PP. I_188-I_195, 2015 年
- 54) 梅干野晁, HE Jiang, 木多宏志: 航空機 MSS データと CFD による里山の夜間冷気流分布の解析, 日本リモートセンシング学会誌, Vol.27, No.5, pp.445-455, 2007 年
- 55) 菅原広史, 成田健一: 都市内河川による暑熱環境の緩和効果, 水文・水資源学会誌, Vol. 25, No. 6, pp.351-361, 2012 年

謝辞

本論文は、摂南大学理工学部都市環境工学科 熊谷樹一郎教授のご指導のもと取りまとめたものです。熊谷教授には終始懇切なるご指導を賜りました。ここに深甚なる謝意を表します。本論文において筆者の力不足がゆえに先生のご期待に多々至らぬ点については、今後よりいっそう研究に励み、さらに邁進することをお約束し、お詫びにかえたいと考えます。今後とも、変わらぬご指導とご鞭撻をどうぞよろしくお願いいたします。

摂南大学理工学部住環境デザイン学科 森山正和教授、摂南大学理工学部機械工学科 諏訪晴彦教授には本論文の副査をお引き受けいただき、本論文の問題点について詳細なご指摘とご指導をいただきました。ここに深くお礼申しあげます。

本研究は、多くのご協力とご意見をいただきながら進めることができました。特に、一般社団法人日本写真測量学会 関西支部では、研究成果の発表機会をいただくとともに、有益で的確なご指摘とご意見をいただきました。心から感謝申しあげます。

大阪府環境農林水産部からは「大阪府地域大気汚染常時監視測定データファイル」を提供していただきました。記して感謝いたします。

本研究を続けるにあたり、経済的な面から支援していただきました公益財団法人 富本奨学会に深く感謝申しあげます。

なお、社会人でありながらも、研究活動に集中することができたのは、上司を始め諸先輩同僚の方々のご理解とご配慮があったからに他なりません。特に、京都市教育委員会事務局 総務部教育環境整備室 西宮正義室長、田中繁之用地土木担当課長、西村寧人土木整備係長には、いろいろな面で便宜を図っていただきました。心から感謝申しあげます。

摂南大学理工学部都市環境工学科（現在）地域環境計画研究室の卒業生の皆さまには、さまざまなお力を賜りました。皆さまのお力添えがあってこそ、このようにまとめることができました。心からお礼申しあげます。

最後に、本論文をとりまとめることができたのは、家族の支えがあったからこそでもあります。両親といつも私を支えてくれている妻の優希、いつも私を元気にしてくれる子の綾人に感謝します。「ありがとう」。