

平成 28 年度国土政策関係研究支援事業 研究成果報告書

地理空間情報を活用した都市域における人と自然の
共生モデル構築に関する研究
-レインガーデンの最適配置計画を基軸として-

<研究代表者>

石松 一仁

公益社団法人 中国地方総合研究センター

目次

第1章	はじめに	1
1.1	背景と目的	2
1.2	研究フロー	7
第2章	研究方法	8
2.1	研究対象地	9
2.2	地理空間情報の収集およびGISデータの作成	13
2.2.1	使用ソフト	13
2.2.2	土地利用図	13
2.2.3	地下水位	13
2.2.4	標高と傾斜度	14
2.2.5	人口分布	14
2.3	エコロジカルネットワークの評価	15
2.3.1	指標種の選定	15
2.3.2	算定方法	15
2.4	アクセシビリティの評価	16
2.5	レインガーデンの表面流水抑制量の推定	16
2.6	広島市の雨水処理費用の算出	17
第3章	結果	18
3.1	GISデータ	19
3.1.1	土地利用図	19
3.1.2	地下水位	25
3.1.3	標高と傾斜度	29
3.1.4	人口分布	34
3.2	エコロジカルネットワークの現状分析	37
3.3	アクセシビリティの現状分析	41
3.4	レインガーデンの建設適地	44
3.5	レインガーデンの建設効果	49
3.5.1	表面流水の抑制	49
3.5.2	エコロジカルネットワークの修復	50
3.5.3	アクセシビリティの改善	53

第4章 考察	56
4.1 レインガーデンの建設適地	57
4.2 レインガーデンの普及戦略	59
4.3 レインガーデンのマネジメント	60
4.3.1 都市緑化先進国シンガポールにおける事例	60
4.3.2 外国人労働者	62
4.3.3 シルバー人材	62
4.3.4 若年無業者	63
4.3.5 地域住民	64
4.3.6 維持管理の低減化	65
第5章 まとめ	66
5.1 本研究から得られた知見	67
5.2 今後の課題	67
謝辞	68
引用文献	69

第1章 はじめに

1.1 背景と目的

人類をはじめ地球上のすべての多様な生物の生存を支える重要な生態系サービス（生態系がその機能を通じて人間社会に提供する便益）への悪影響を食い止めるうえで、都市は重要な役割を担っている。都市化に伴う緑地の減少によって不透水層（コンクリート・アスファルト）が増加し、生態系サービスは劣化してきている。その結果、生物多様性の低下だけでなく、表面流水が増量するよう雨水循環経路が大きく改変され（図 1-1）、都市型洪水といった我々の生命を脅かす環境問題が深刻化してきている。不透水層の増加は、雨水がタイムラグ無しに下水管渠に流入する状況を生み出し（Gallagher et al. 2011）、そこに近年の異常気象による集中豪雨が重なり、既存の下水管渠だけでは雨水を処理しきれず全国各地で内水被害が発生している（図 1-2）。さらに、1 時間雨量強度 50mm 以上の年間発生回数は、アメダスによる統計期間約 40 年で増加傾向が明瞭（信頼度水準 95% で統計的に有意）に現れて

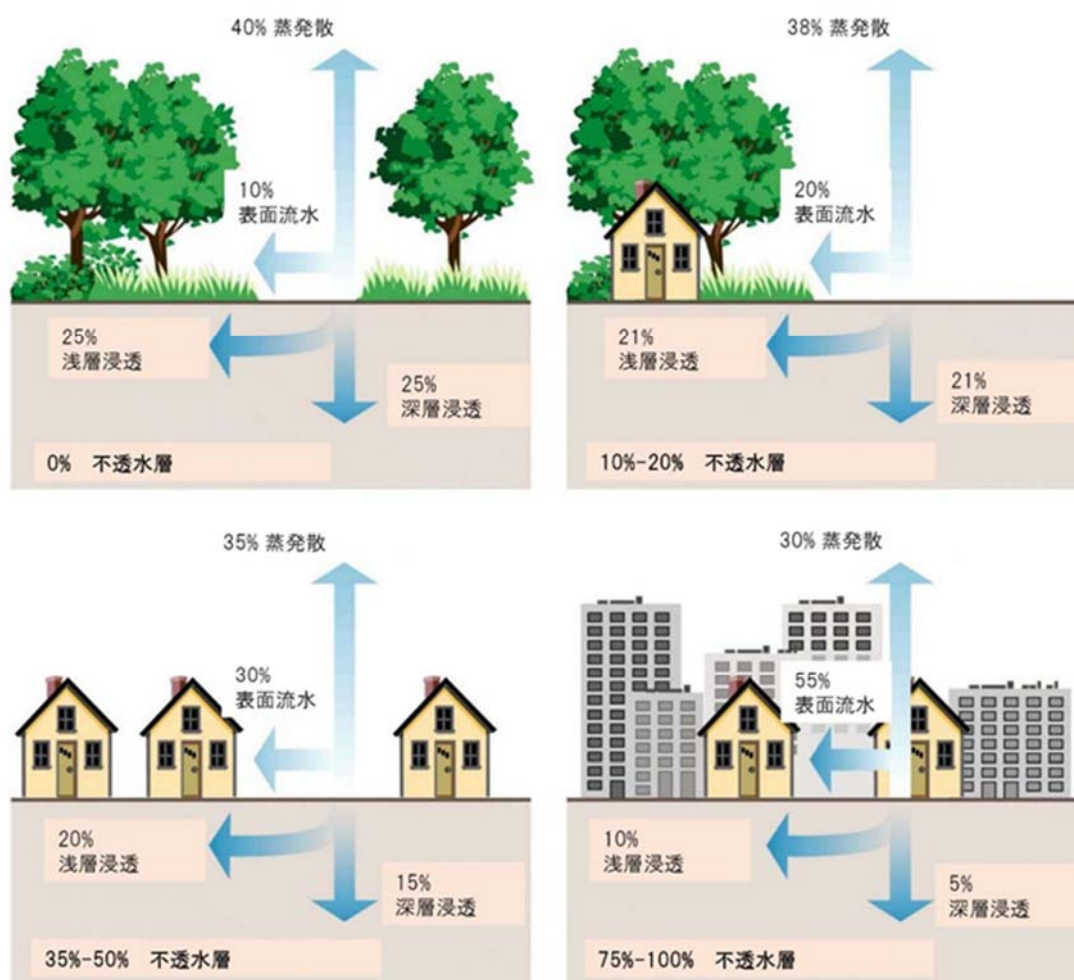


図 1-1 不透水層の被覆率と表面流水の関係

(Federal Interagency System Restoration Working Group 1998)

おり（気象庁 2015）、今後もこの傾向が続くと内水被害の拡大が懸念される。また、本来、雨水が土壌を浸透することによって捕捉されるはずの栄養塩や重金属が河川に流入し、下流域の生態系に深刻な悪影響を与えている（Van-Meter et al. 2011; 浅枝 2011）。

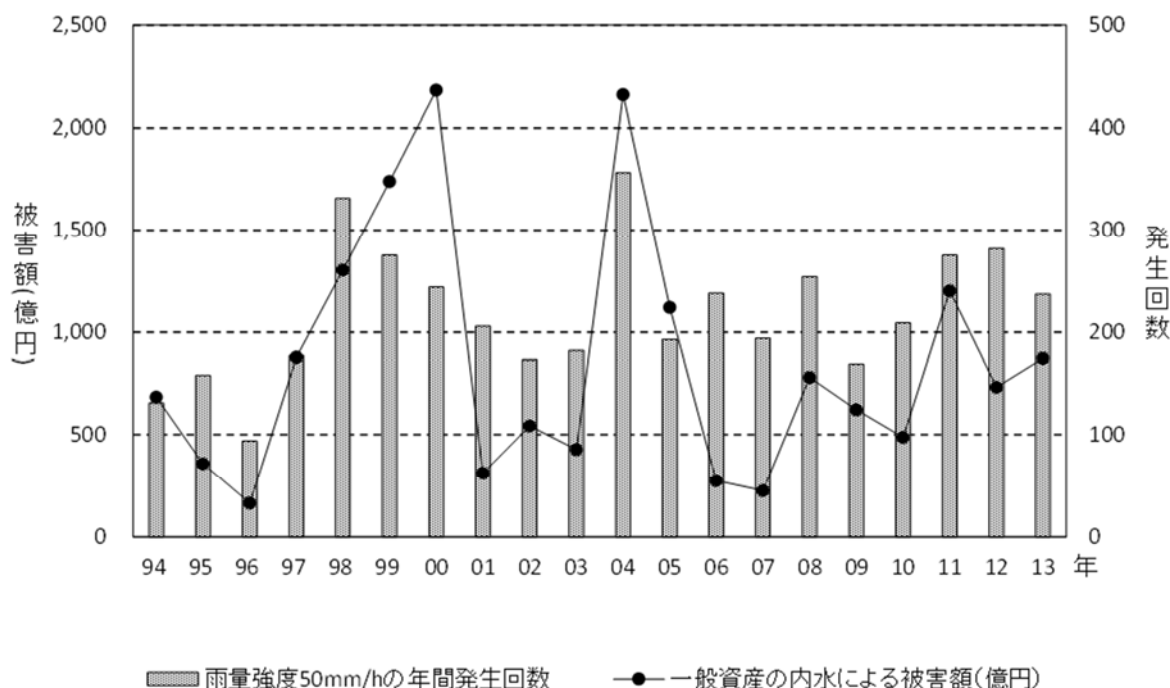


図 1-2 わが国における短時間強雨の発生回数と内水による被害額

(注1) アメダスの地点数は毎年増加しており、年による地点数の違いの影響を避けるため、1000地点あたりの発生回数となっている（2014年では約1300地点）

(注2) 一般資産に農作物は含まない

(資料) 国土交通省「水害統計調査」、気象庁「アメダスで見た短時間強雨発生回数の長期変化について」

全国に下水道整備が拡充し、管路延長が約 40 万 km に達する一方で、耐用年数を超過した管渠も増え始めており、今後管渠の老朽化に関わる問題は一層進むと予測される（桑野ほか 2010）。昭和 30～40 年代以降飛躍的に整備が進んできた下水管渠は、既にあるいは近い将来耐用年数を超過する（桑野ほか 2010）。老朽化に伴う更新の必要性が高まっていく中で、アセットマネジメントやストックマネジメントという言葉のもとに、現在供用中の施設を適切な維持管理と長寿命化対策を実施することにより、ライフサイクルコスト（LCC）を低減させ、効率的な事業運営を進める取り組みがなされている（細井ほか 2012）。しかしながら、人口減少が著しい地方圏では、一般に検討されている現施設の長寿命化が必ずしも LCC の低減につながるとは限らない（細井ほか 2012）。また、老朽化した下水管渠を更新したとしても、大都市圏で顕著なヒートアイランド現象（図 1-3）による局所的な豪雨などによる内水被害の根本的な解決には至らない（平賀 2015）。したがって、地方圏はもとより、大都市圏においても下水管渠だけに依存した雨水処理システムは限界を迎えており、不透水層を緑地に置き換える取り組みが急務である（屋井 2015）。

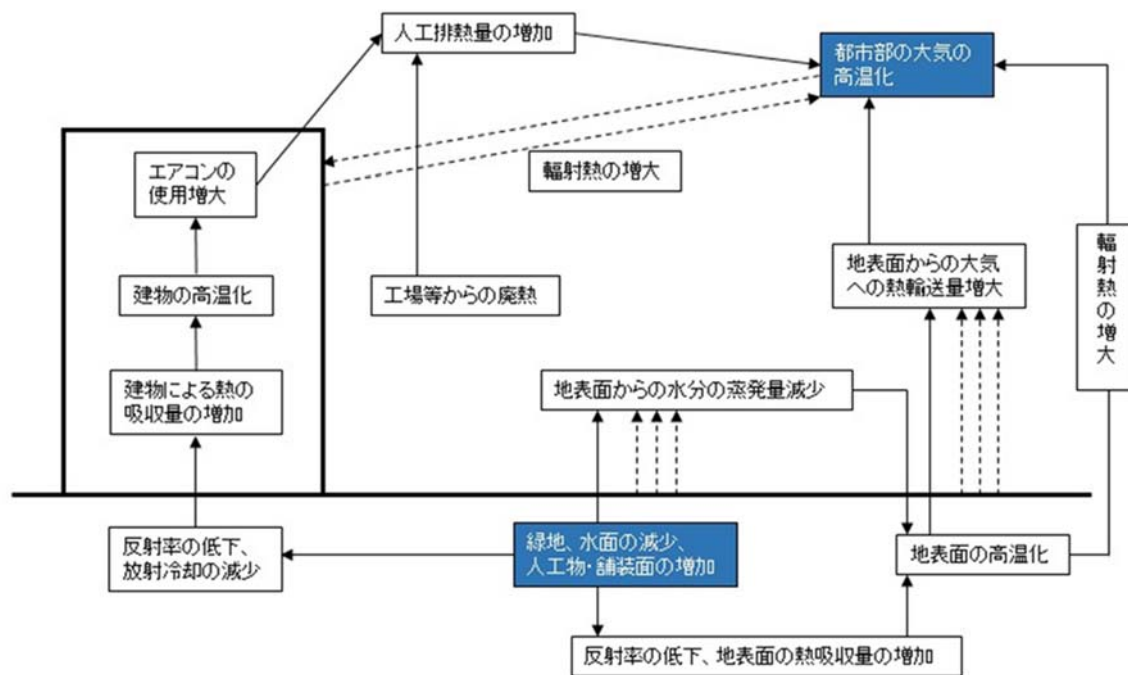


図 1-3 ヒートアイランド現象の発生メカニズム

(資料) 環境省「ヒートアイランド対策推進のために」で整理されている「ヒートアイランド現象はどのようにしておこるのか」の図をもとに作成

しかしながら、以前は緑地であった空間には、商業ビルや公共施設、住宅などが建設されているため、それらの建造物を直ちに取り壊して緑地を再生することは極めて困難である (Ishimatsu et al. 2012)。そのため、これまで緑化空間として見なされていなかった建物の屋上に 2000 年代初頭から注目が集まり、景観生態学や緑化学の分野において屋上緑化技術が次第に発展してきている。Ishimatsu et al. (2013) は、日本と英国で屋上緑化が内包する機能について研究し、生態系サービスの修復を目的とした屋上緑化手法について提案を行っている (図 1-4)。それと同時に、屋上緑化の限界として、①屋上に到達できない生物種が存在すること、②建物の耐荷重制限により十分な土壌厚を確保することが難しいため、一般的に地上の緑地よりも緑地としての機能性が劣ること、③施工費や維持管理費が障害となり都市域の一部の屋上しか緑化されていないこと、以上の 3 点を指摘している。

不透水層を緑地に置き換える場合、その効果は緑地の基盤である土壌厚に大きく依存すると考えられる。例えば、土壌厚が大きいほど雨水の吸収量も大きくなり、そこに自生することができる植物の種類も増加し、多種多様な生物の生息空間としても機能することができる。そのため、都市緑化を実践する場合、単に緑地面積だけで評価するのではなく、緑地面積にその土壌厚を乗じて得られる値で評価することが、緑地としての機能性を高める上で極めて重要となる。屋上に地上の緑地と同じような土壌厚を確保することは現実的に難しく、屋上緑化の限界はこのことに起因している。

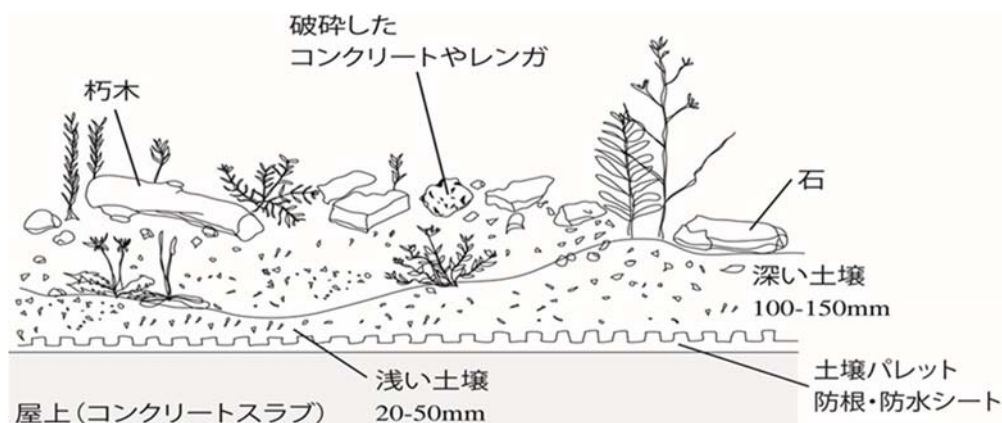


図 1-4 生態系サービスの修復を目的とした屋上緑化手法
(after Ishimatsu and Ito 2013)

ドイツなどの欧州、アメリカやカナダ、オーストラリアなどでは、都市の限られたオープンスペースに植栽された窪地を設けて、屋根や歩道、駐車場などの不透水面を流出する雨水を引き込み貯留させて、大気や地下に還すレインガーデン（雨庭）が社会実装化されている（図 1-5）。レインガーデンは、①都市型洪水の軽減、②健全な雨水循環経路の再生、③植物や土壌による雨水浄化、④ヒートアイランド現象の緩和、⑤生物の生息空間の再生、⑥都市景観の修復（Diez and Clausen 2005; Hostetler 2009）などの緑地としての機能を凝縮させた空間である。レインガーデンは、地上に建設することが前提であるため、土壌厚を十分に確保することができる。そのため、レインガーデン建設のためにスペースを十分に確保することができなくても、窪地を深くするなど地下方向の開発を積極的に行えば、緑地としての高い機能性を持たせることができる。また、レインガーデンは屋上緑化のような特殊空間緑化作業ではなく一般的な造園工事で建設することができるため、屋上緑化よりも施工費を安価に抑えることができることが予想される。深刻な財政問題を抱えた我が国において、低コスト化を実現した緑化手法を確立することは最も重要であると考えられる。

今後、人口減少に伴い都市が縮小し、都市域にオープンスペースが増加することが予想される。このようなオープンスペースは放置したままにしておくと、植生遷移が進行し緑地となるが、侵略的外来植物の温床になるだけでなく、生い茂った雑草が都市景観を損ね、治安維持の観点からも好ましくない空間になる可能性が極めて高いと考えられる。そのため、植生遷移に任せて緑地として活用するにしても、何らかの方策が必要となる。そこで、そのようなオープンスペースをレインガーデンとして活用することができれば、生態系サービスの修復に大きく貢献できると予想される。しかしながら、残念ながらことにわが国ではレインガーデンに関する調査・研究がほとんど行われておらず、社会実装化するための準備が整っていなかった。そのため、研究代表者（石松）は、科研費（研究課題番号 26870433）を獲得して、海外で供用されているレインガーデンの事例調査を実施し、設計・管理手法を

網羅的に把握した (Ishimatsu et al. 2017)。同時に、九州工業大学の実験ヤードに建設したレインガーデンにてモニタリング調査を実施し、表面流水抑制量を把握した。

本研究は、GIS を用いて広島市デルタ市街地におけるレインガーデン建設可能面積を把握し、その表面流水抑制効果をシミュレートすることを第1の目的とする。また、わが国でレインガーデンの社会実装化を推進していく上で想定される政策課題について議論することを第2の目的とする。本研究は、①都市域における自然環境の修復、②人と自然の適切な共生関係の創出、③都市型洪水に強い地域づくり、④健全な雨水循環系構築、⑤都市計画におけるビッグデータの活用手法の提案、に大きく資することができると考えられる。



図 1-5 海外で主流化している様々な形態のレインガーデン

(左上) 場所：アメリカ・フロリダ州ゲインズビル、撮影時期：2015年1月

(右上) 場所：アメリカ・オレゴン州ポートランド、撮影時期：2015年1月

(左下) 場所：アメリカ・オレゴン州ポートランド、撮影時期：2015年1月

(右下) 場所：デンマーク・コペンハーゲン、撮影時期：2015年9月

1.2 研究フロー

本研究のフローを図 1-6 に示す。

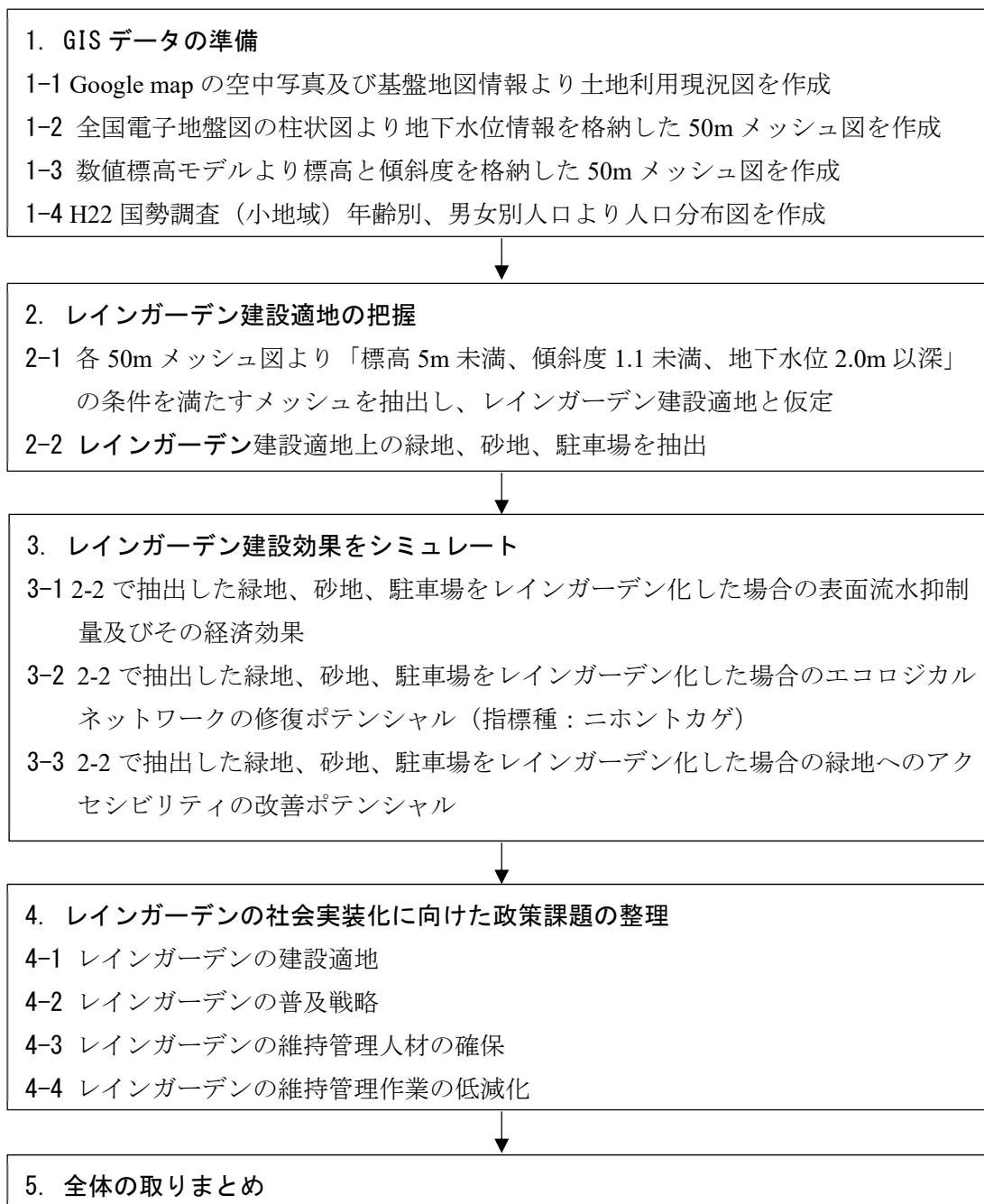


図 1-6 研究フロー

第 2 章 研究方法

2.1 研究対象地

本研究対象地である広島市デルタ市街地を図 2-1 に示す。中国地方の大大名となった毛利氏は、1589 年広島湾頭に形成されていた太田川の三角州（デルタ）を居住地と定め、その中央に輪郭を、前面に西国街道を引き入れた町人町を建設した。以後、海に向かって新開地（干拓地）の拡張が行われた。

海拔 5m の祇園大橋付近から下流は太田川三角州であり、近世初めの広島城築城の頃、その海岸線は海拔 2m の平和大通り付近にあり、さらにその前面に干潮平地（干潟）が広がっていた。現在白神社本殿がのる花崗岩の岩盤は当時の岩礁であり、標識用の白い布（白紙）が立てられていたところから、社名が由来するとされている。干潮平地は藩政・明治時代には干拓地として、大正・昭和には埋立地として陸地化され、現在ほぼ全域が消滅している。したがって、デルタ市街地は平和大通りを境に自然三角州面と人口三角州面とに分けられる（広島市 1983）。

広島市の中心であるデルタ市街地には、中四国地方のエンジンにふさわしい都市機能が集積している。その一方、地盤が満潮時の海水面よりも低いため、降った雨は、下水管や下水ポンプ場を経由しなければ、放流先である海や川へ排水することはできない。近年、広島市の下水道の排水整備水準を超過するゲリラ豪雨が発生しており、下水道施設整備だけで浸水被害を食い止めることは困難となっている。



図 2-1 デルタ市街地（黄色で塗りつぶし面）

図 2-2 は雨量強度 50-80mm/h の降雨イベントが発生した場合に想定される浸水エリアを示す（広島市 2014）。図 2-3 は平成 28 年 6 月 26 日の午後、20 分程度のゲリラ豪雨に見舞われた直後の広島市西区大芝一丁目付近の状況を示す。大芝一丁目は、0.36-0.75m の浸水が想定されるエリアに指定されている（図 2-2）。このようなエリアはデルタ市街地に散在しており、ゲリラ豪雨対策が急務となっている。

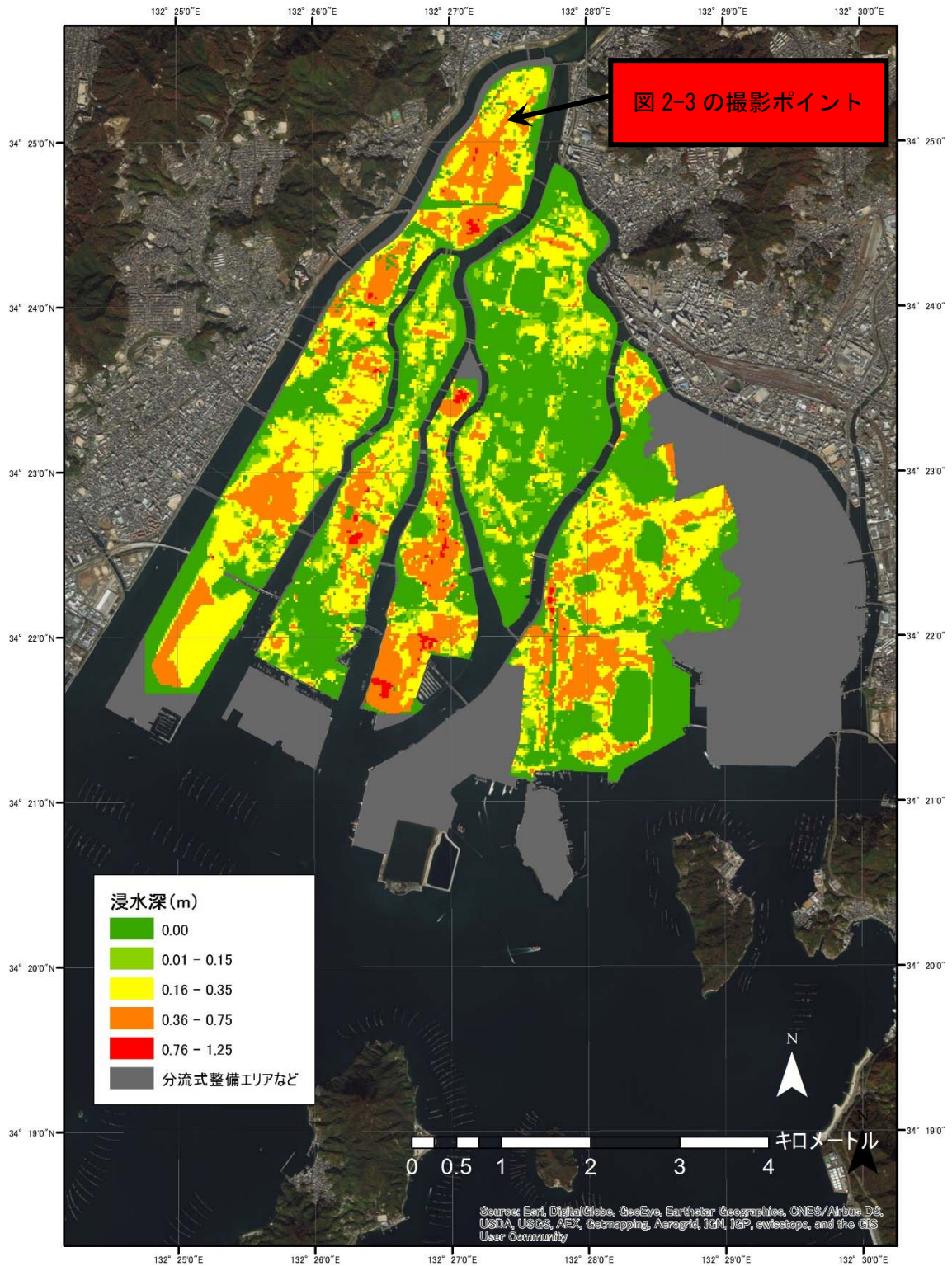


図 2-2 雨量強度 50-80mm/h における広島市浸水ハザードマップ (広島市 2014)



図 2-3 平成 28 年 6 月 26 日午後 20 分程度ゲリラ豪雨に見舞われた直後の広島市西区大芝一丁目付近

2.2 地理空間情報の収集および GIS データの作成

本研究で用いた地理空間情報の収集および GIS データの作成方法は、以下のとおりである。

2.2.1 使用ソフト

地理空間情報を分析するために、esri ジャパン社の ArcGIS for Desktop 10.4.1 と ArcGIS Spatial Analyst を使用した。また、研究補助員による空中写真の判読作業には、QGIS 2.14 を使用した。

2.2.2 土地利用図

1/600 スケールに拡大表示した Google map の空中写真 (2016 年 9 月 1 日から同年 11 月 10 日の間にアクセス) を研究補助員が判読し、「1. 堤内地緑地」、「2. 屋上庭園」、「3. 堤外地緑地」、「4. 砂地」、「5. 貯水池」、「6. 駐車場」のポリゴンを作成した。なお、戸建て住宅の庭や集合住宅の植え込みなどの私有地緑地は、公共緑地と比べて非常に小規模であったため今回は抽出していない。また、「6. 駐車場」は、コインパーキングのような暴露された駐車場であり、立体駐車場は含まれていない。

「7. 建築物」については、国土交通省国土地理院基盤地図情報 (<http://fgd.gsi.go.jp/download/menu.php>) より「建築物の外周線」をダウンロードし、その外周線によって囲まれたエリアをポリゴン化した。

「8. 道路」については、国土交通省国土地理院基盤地図情報より「道路縁」をダウンロードし、道路縁に囲まれていないエリアをポリゴン化した。道路縁の分断が見られた一部のエリアにおいては、この手法ではポリゴンを作成することができなかった。そのため、そのエリアにおいては、1/600 スケールに拡大表示した Google map の空中写真を研究補助員が判読し、ポリゴンを作成した。

なお、1~8 のいずれにも属さないエリアを「9. その他」とした。

2.2.3 地下水位

全国電子地盤図 (http://www.denshi-jiban.jp/map_menu.htm) より、2010 年に作成され 2011 年に公開された広島市デルタ市街地及びその周辺の柱状図情報をダウンロードした。次に、緯度経度と地下水位の情報をエクセルファイルにまとめた。このエクセルファイルを ArcGIS for Desktop 10.4.1 で読み込み、地下水位のポイントデータを作成した。最後に、ArcGIS Spatial Analyst でこのポイントデータをスプライン展開し、50m メッシュに平均値を格納した。

2.2.4 標高と傾斜度

国土交通省国土地理院基盤地図情報 (<http://www.gsi.go.jp/kiban/>) より 5m メッシュの数値標高モデル (DEM) をダウンロードした。次に、株式会社エコリスの web サイト (<http://www.ecoris.co.jp/>) より「標高 DEM データ変換ツール」をダウンロードし、そのツールを用いて 5m メッシュの DEM をラスター化した。ラスター形式の DEM は ArcGIS for Desktop 10.4.1 で読み込み、標高と傾斜度のポイントデータへ変換した。最後に 50m メッシュに標高と傾斜度のポイントデータの平均値をそれぞれ格納した。

2.2.5 人口分布

政府統計の総合窓口 e-Stat (<http://www.e-stat.go.jp/SG1/estat/eStatTopPortal.do>) より、平成 22 年度国勢調査 (小地域) の「年齢別 (5 歳階級、4 区分)、男女別人口」の統計データと境界データをダウンロードした。次に、ArcGIS for Desktop 10.4.1 で境界データを読み取り、統計データと結合した。

2.3 エコロジカルネットワークの評価

本研究で用いたエコロジカルネットワークの評価手法は、以下のとおりである。

2.3.1 指標種の選定

レッドデータブックひろしま 2011 (広島県 2011) において絶滅危惧種Ⅱ類に指定されているニホントカゲ (*Plestiodon japonicus*) を指標種として選定した。ニホントカゲは小規模な都市緑地でも生息が可能であるため (土金と大澤 2008)、レインガーデンのような小規模緑地の創出によるエコロジカルネットワークの修復ポテンシャルを評価する指標種にふさわしいと判断した。

2.3.2 算定方法

ニホントカゲの移動分散距離は 50m 以内とされるため (徳江ら 2011)、緑地ポリゴンから半径 50m 以内の緑地ポリゴンを連続性のある緑地と見なし、以下の計算式 (国土交通省 2016) により算定した。なお、計算にあたっては、各緑地ポリゴンに 25m のバッファーを設定し、バッファーが重なり合うポリゴンを 50m 以内の連続する一つの緑地として計算した。

緑地の創出前後の連結度を比較し、エコロジカルネットワークの修復ポテンシャルを評価した。

$$I = \frac{1}{A_{total}} (A_1^2 + A_2^2 + A_3^2 + \dots + A_n^2)$$

$$\text{連結度} = I/A_{total} \times 100$$

N : 連続する緑地ポリゴンの総数

A_{total} : 上記緑地の総面積

$A_1 \sim A_n$: 上記緑地の連続するそれぞれの面積 (ha)

2.4 アクセシビリティの評価

20～70代で最も歩行速度が遅い70代の最大歩行速度は2.27m/sec(伊東ら 1989)であり、一方、人が気軽に緑地へアクセスできる距離は徒歩3分圏内、すなわち228.6m以内であるとされる(Alexander 1977)。2.27m/secで3分間歩行した場合、移動距離は408.6mであり、228.6mとは大きく異なる。しかしながら、最大歩行速度で緑地へアクセスする行為は、気軽な行為とは言い難く、本研究では228.6mを気軽にアクセスできる距離と仮定した。228.6mは、70代が最大歩行速度の約55%で3分間歩行した場合の距離に相当し、気軽な行為として妥当であると判断した。

次に、任意の緑地(0.1ha未満の緑地は除外)に228.6mバッファを設定し、そのバッファ内の年少人口と高齢人口をアクセシビリティの評価指標とした。緑地の創出前後のバッファ内の年少人口と高齢人口をそれぞれ比較し、アクセシビリティの改善ポテンシャルを評価した。

2.5 レインガーデンの表面流水抑制量の推定

研究代表者(石松)が科研費(研究課題番号26870433)を獲得して実施したレインガーデンの表面流水抑制量の検証実験結果(Ishimatsu et al. 2017)より、レインガーデン1㎡の雨水浸透量を0.07 m³/minと仮定した。本研究では、GIS分析により抽出したレインガーデン建設適地の総面積に0.07 m³/minを乗ずることにより、レインガーデンを建設した場合の表面流水抑制量を推定した。

2.6 広島市の雨水処理費用の算出

広島市下水道局施設部計画調整課の協力を得て、雨水処理に係る維持管理単価を以下の手順で算出し、雨水処理単価 88 円/m³を得た。なお、処理水量実績の整理には平成 24～27 年度の広島市下水道事業会計決算書、支出の整理には平成 28～31 年度の広島市下水道事業中期経営プラン資料編を参考資料として用いた。

【手順 1】 処理水量実績の整理（単位：m³）

	H27 年度	H26 年度	H25 年度	H24 年度	合計
流入水量 (雨水+汚水)・・・A	160,492,260	156,302,229	157,942,863	154,975,817	629,713,169
年間有収水量 (汚水)・・・B	118,609,407	118,288,838	119,152,948	119,333,032	475,384,225
A-B	41,882,853	38,013,391	38,789,915	35,642,785	154,328,944

【手順 2】 H24 年度から H27 年度の支出の整理（単位：万円）

	雨水+汚水	汚水	雨水
維持管理費	3,880,905	2,527,559	1,353,346
減価償却費+企業債利息	12,472,716	6,441,396	6,031,320

【手順 3】 まとめ（単位：円/m³）

	維持管理費	減価償却費+企業債利息
汚水処理単価	53	135
雨水処理単価	88	391

第 3 章 結果

3.1 GIS データ

2.2 で示した方法に従って作成した GIS データは以下のとおりである。

3.1.1 土地利用図

作成した土地利用図の内訳を表 3-1 に示す。全体の 27.5%を占める「その他」は、南部に位置するウォーターフロント地区における工場敷地内の道路や駐車場、高架橋、広島西飛行場の滑走路などの不透水層が大半を占める。そのため、デルタ市街地の不透水層の割合は、75%を上回っている可能性が極めて高く、図 1-1 の右下に示す状態であることを確認した。

図 3-1～3-5 に作成した土地利用図を示す。

表 3-1 土地利用図の内訳

分類名		面積 (ha)	割合 (%)	
不透水層	駐車場	375.7	10.9	58.6
	建築物	1,023.7	29.6	
	道路	627.4	18.1	
透水層	屋上庭園	3.3	0.1	13.9
	堤内地緑地	353.1	10.2	
	貯水池	10.2	0.3	
	砂地	115.2	3.3	
その他		951.0	27.5	27.5
合計		3,459.6	100.0	100.0
(参考) 堤外地緑地		23.9	-	-

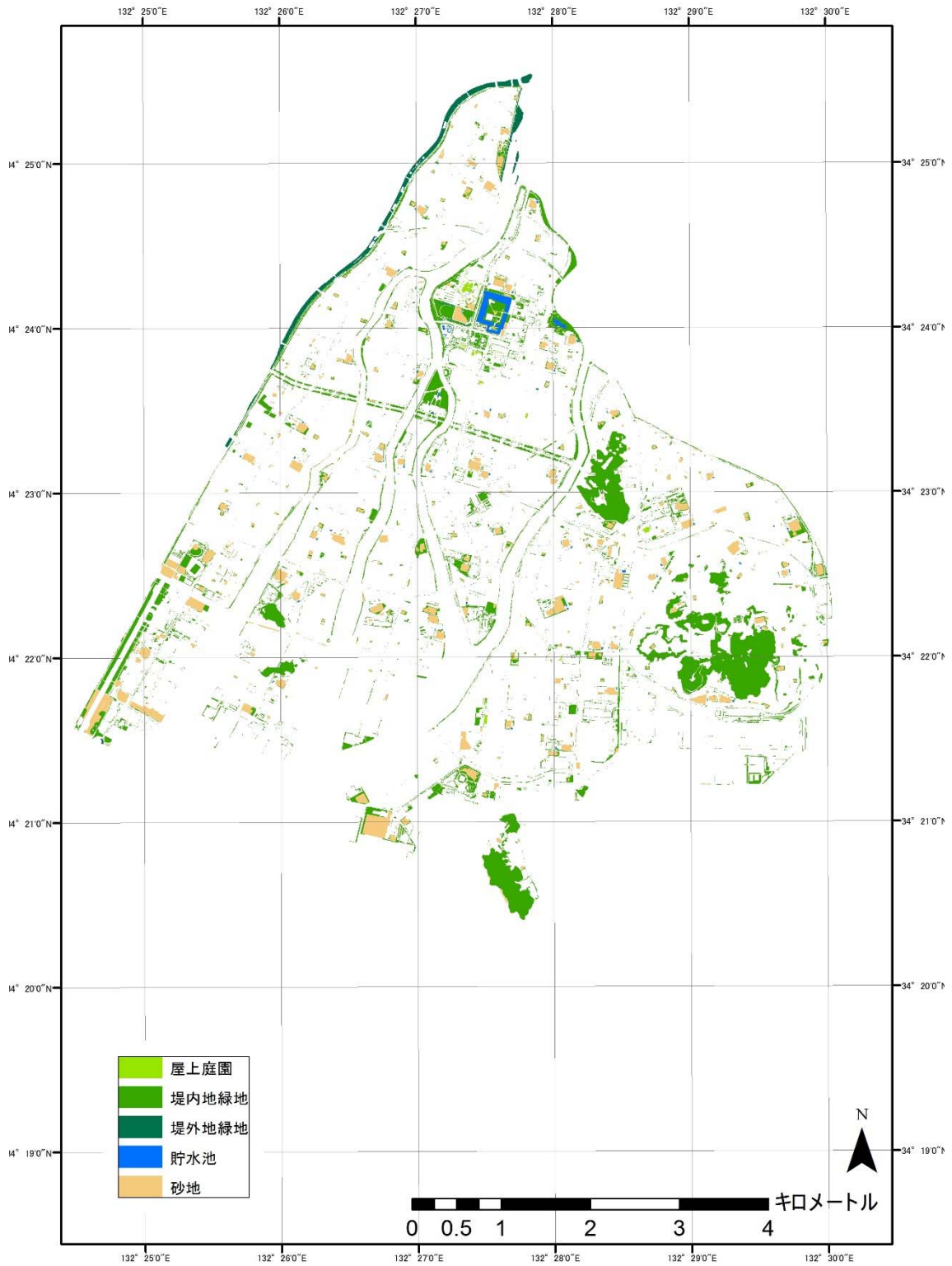


図 3-1 各透水層の分布状況

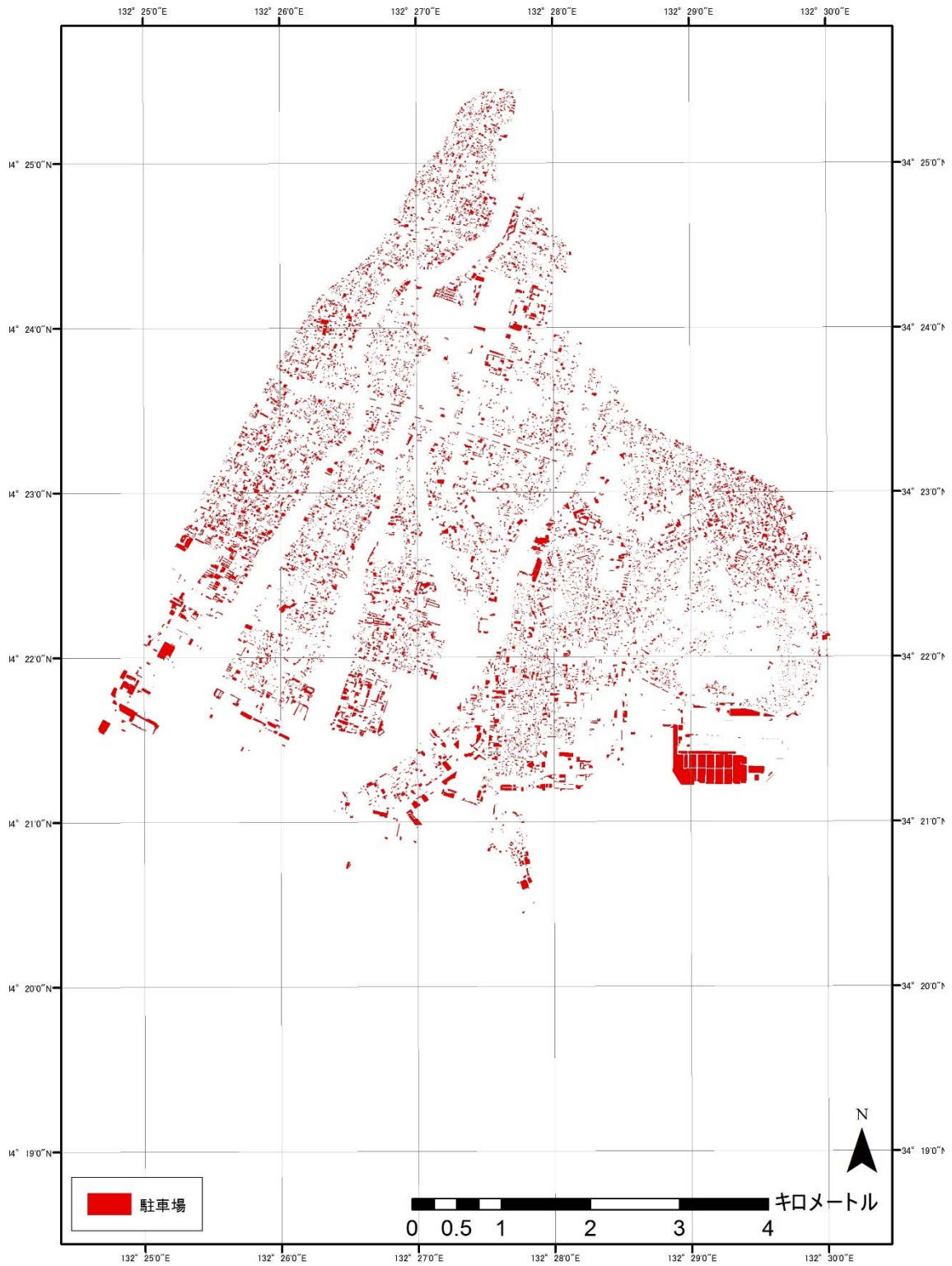


図 3-2 駐車場の分布状況



図 3-3 建築物の分布状況

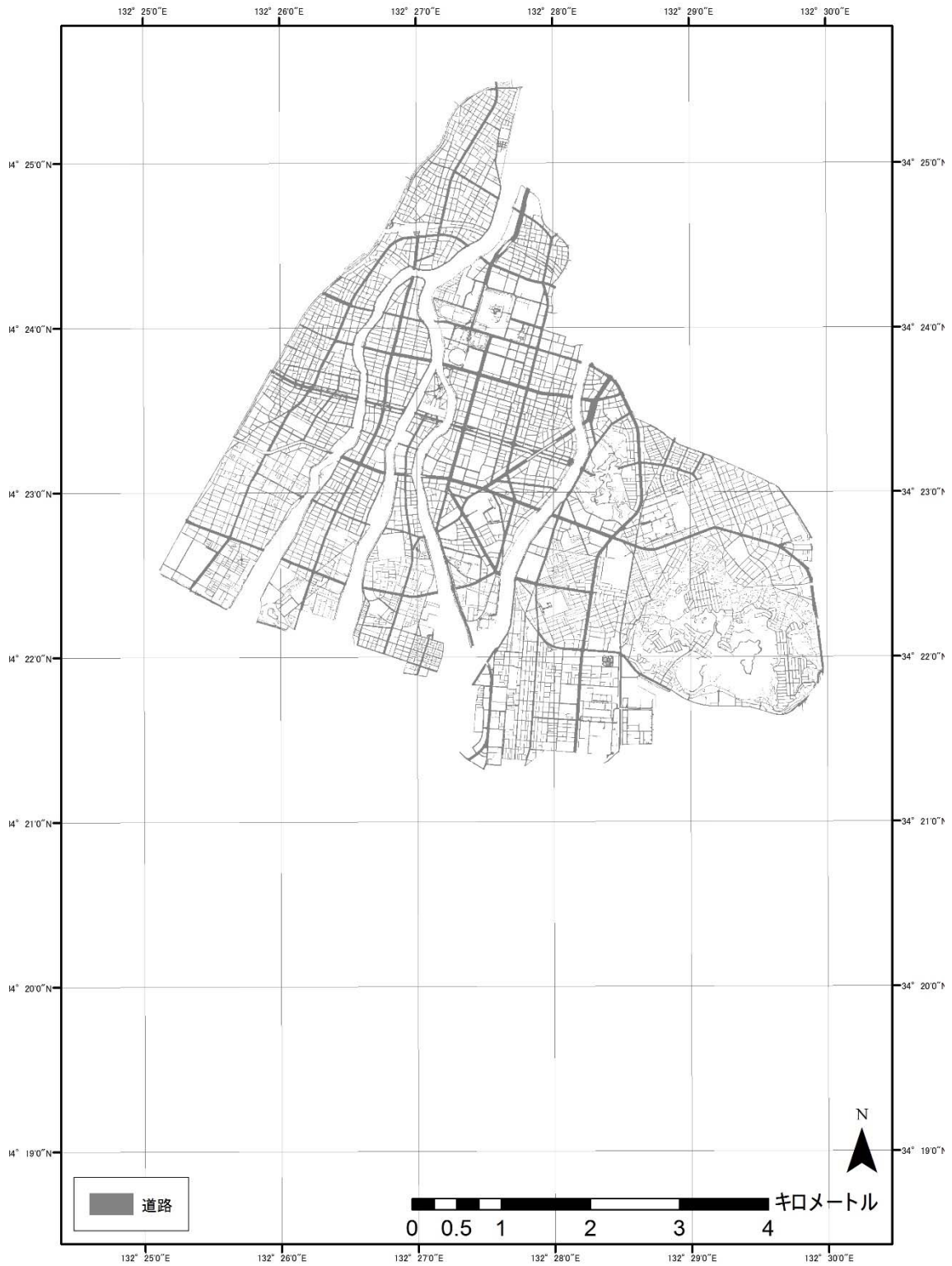


図 3-4 道路の分布状況

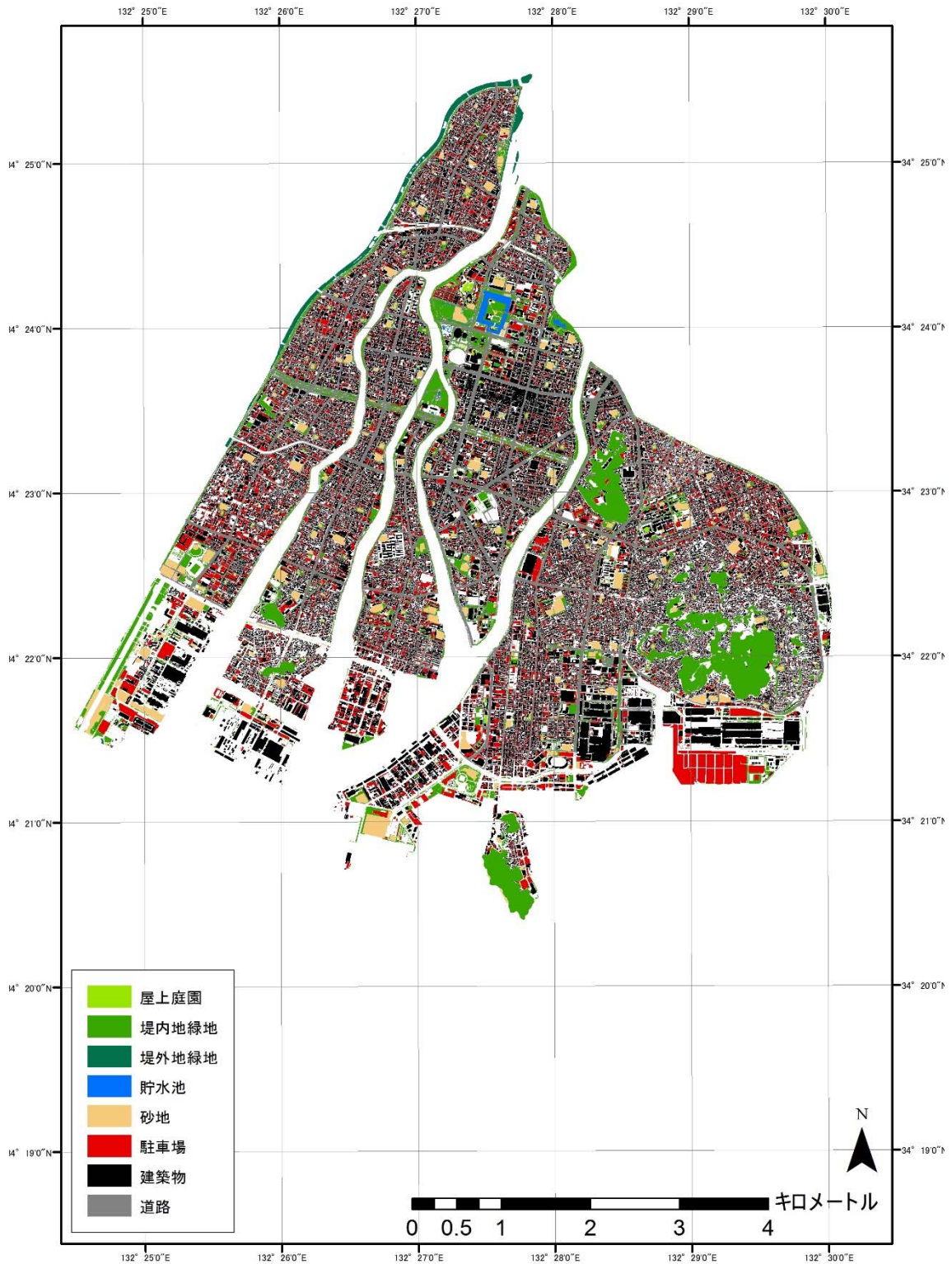


図 3-5 全ての土地利用レイヤーの重ね合わせ

3.1.2 地下水位

図 3-6 は地下水位情報を内包するポイントデータの分布状況、図 3-7 は地下水位のポイントデータをスプライン展開した結果、図 3-8 は 25m メッシュに格納された地下水位を示す。平和大通りより以北の自然三角州面の方が以南の人工三角州面よりも地下水位が低く、特に最北端の横川地区において地下水位が低いことを確認した。

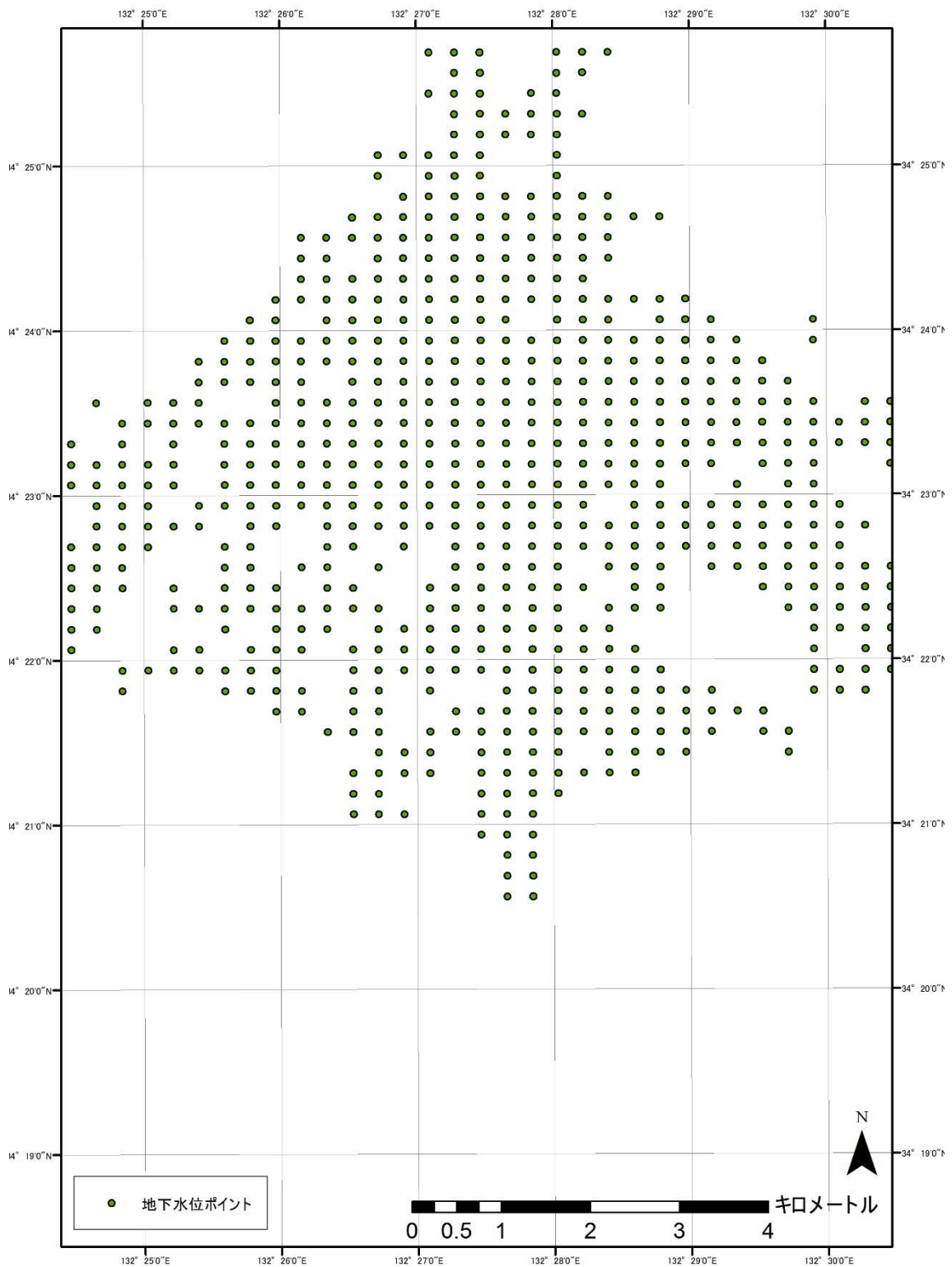


図 3-6 地下水位情報を内包するポイントデータの分布状況

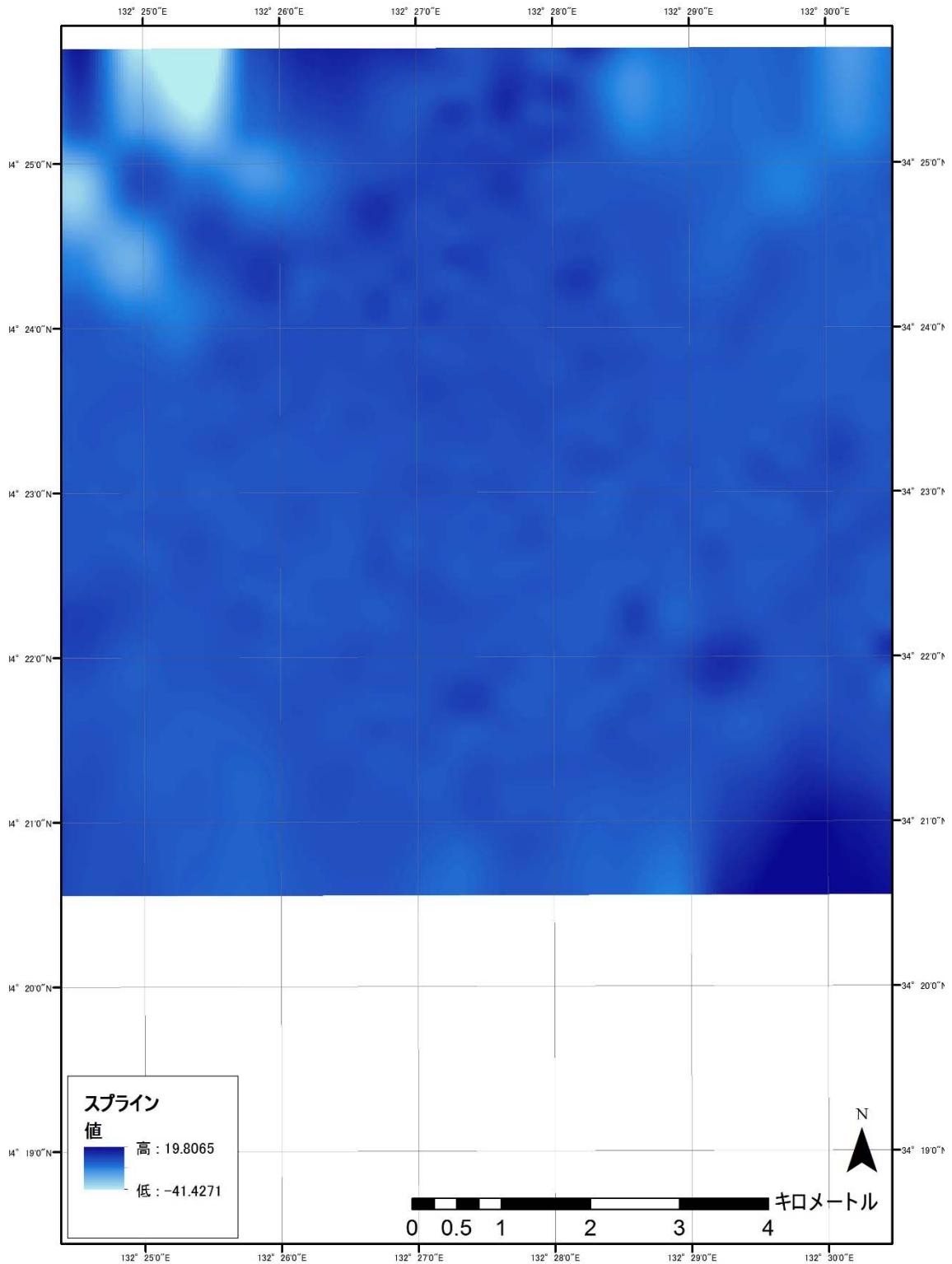


図 3-7 地下水位のポイントデータをスプライン展開した結果

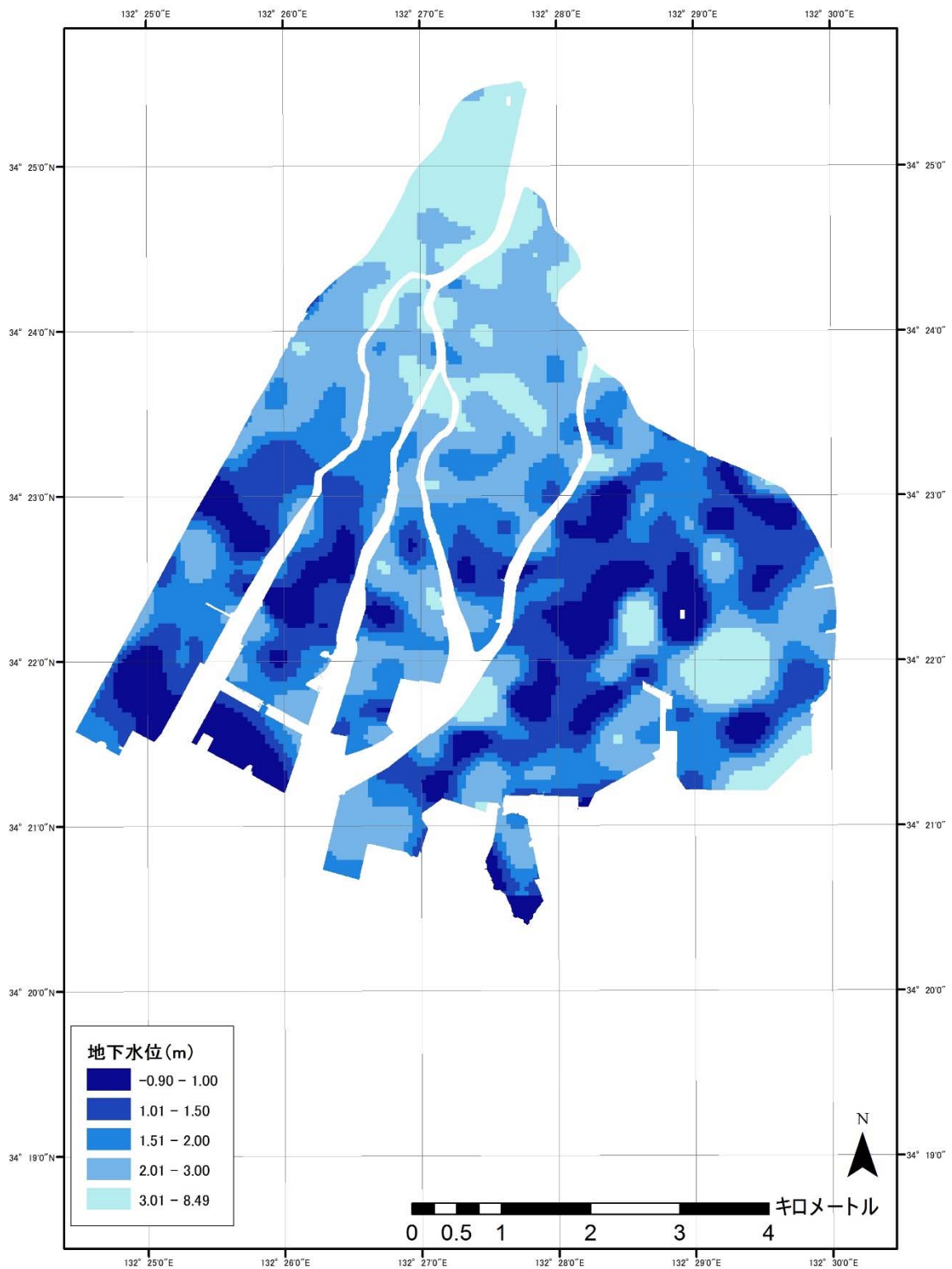


図 3-8 50m メッシュに格納された地下水位

3.1.3 標高と傾斜度

図 3-9 は基盤地図情報よりダウンロードした DEM、図 3-10 は陰影起伏図、図 3-11 は 25m メッシュに格納された標高、図 3-12 は 25m メッシュに格納された傾斜度を示す。黄金山、比治山、元宇品、江波山を除き、標高の低い平地が広がっていることを確認した。

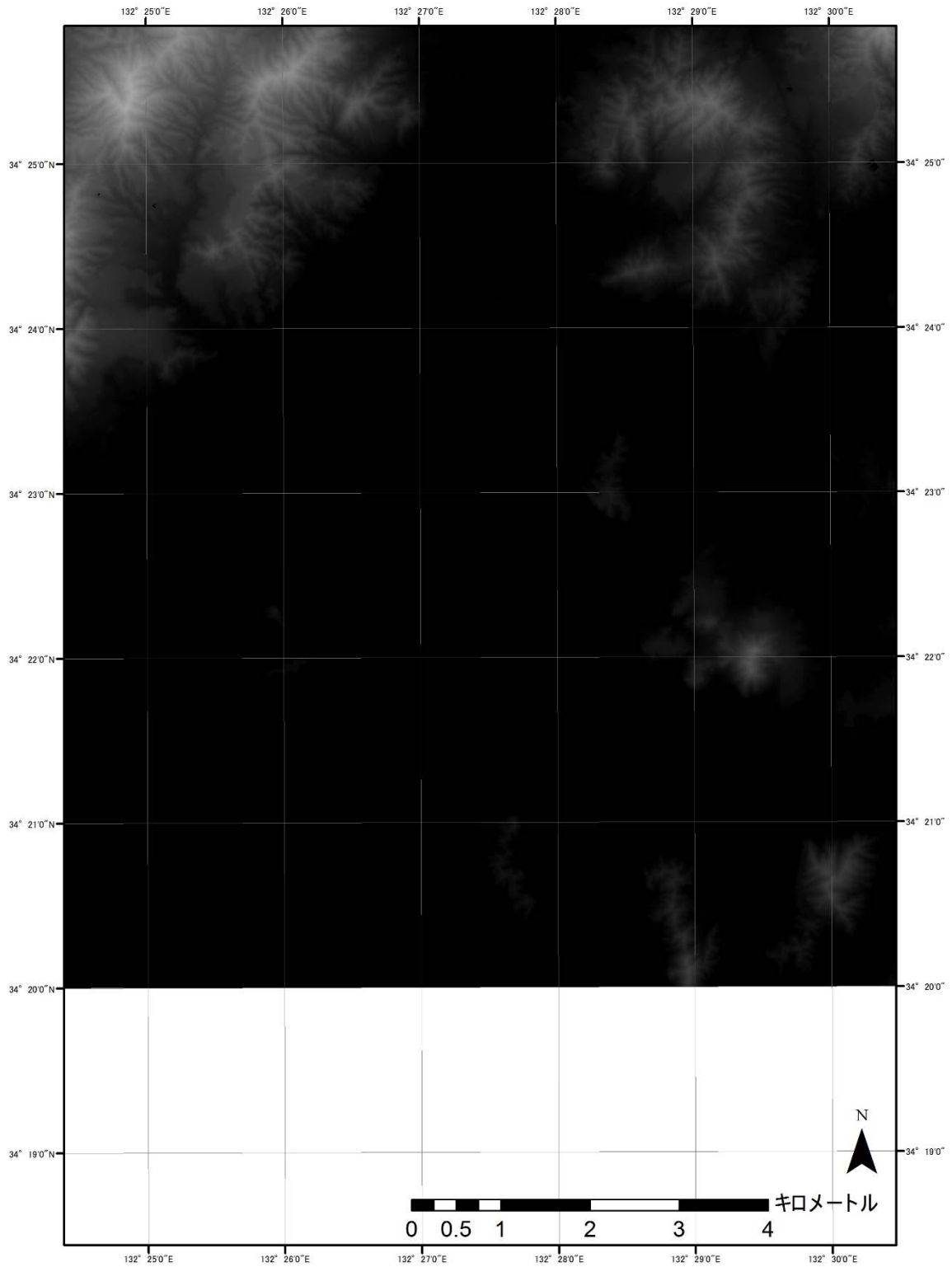


図 3-9 基盤地図情報からダウンロードした DEM

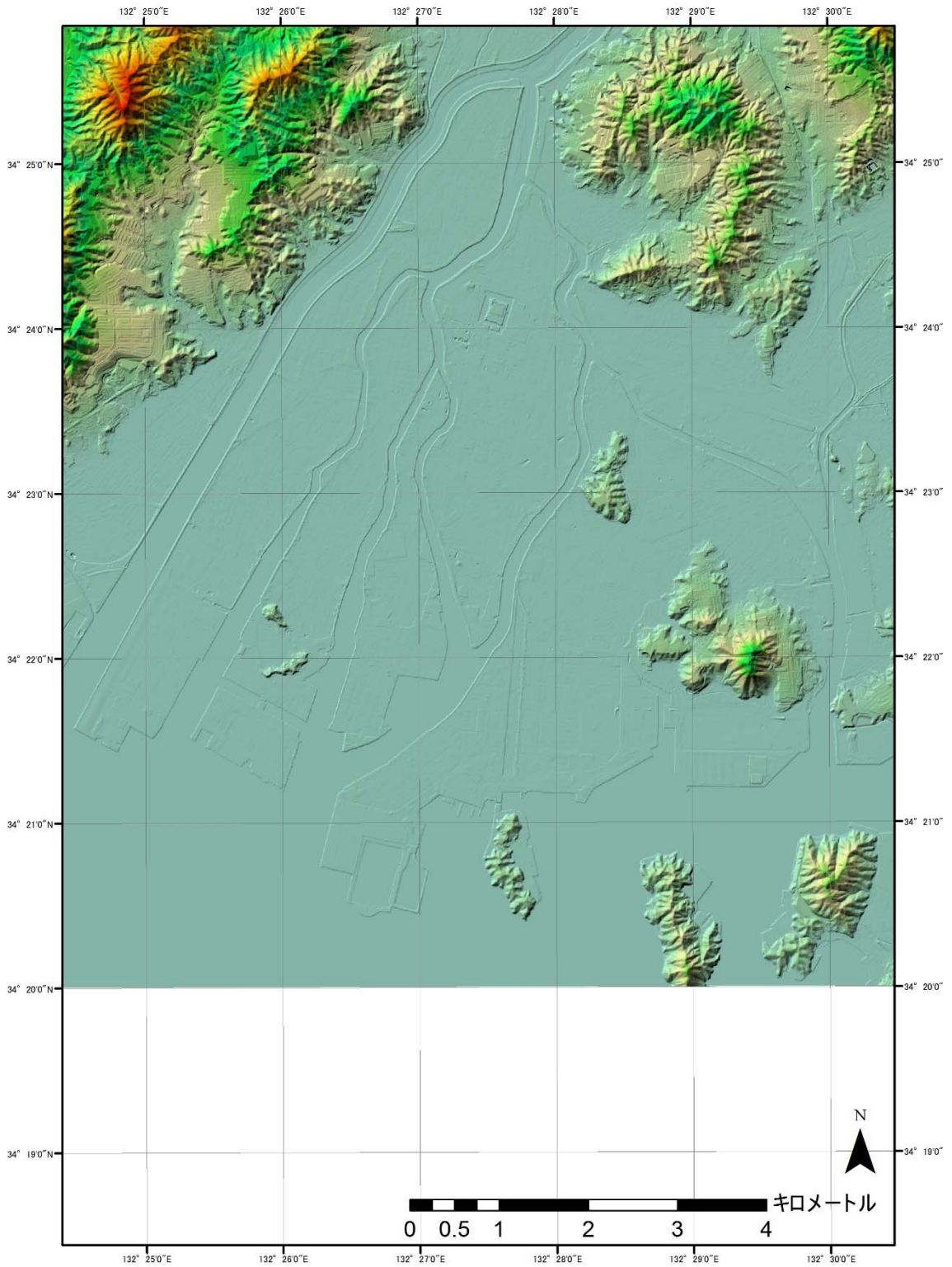


図 3-10 陰影起伏図

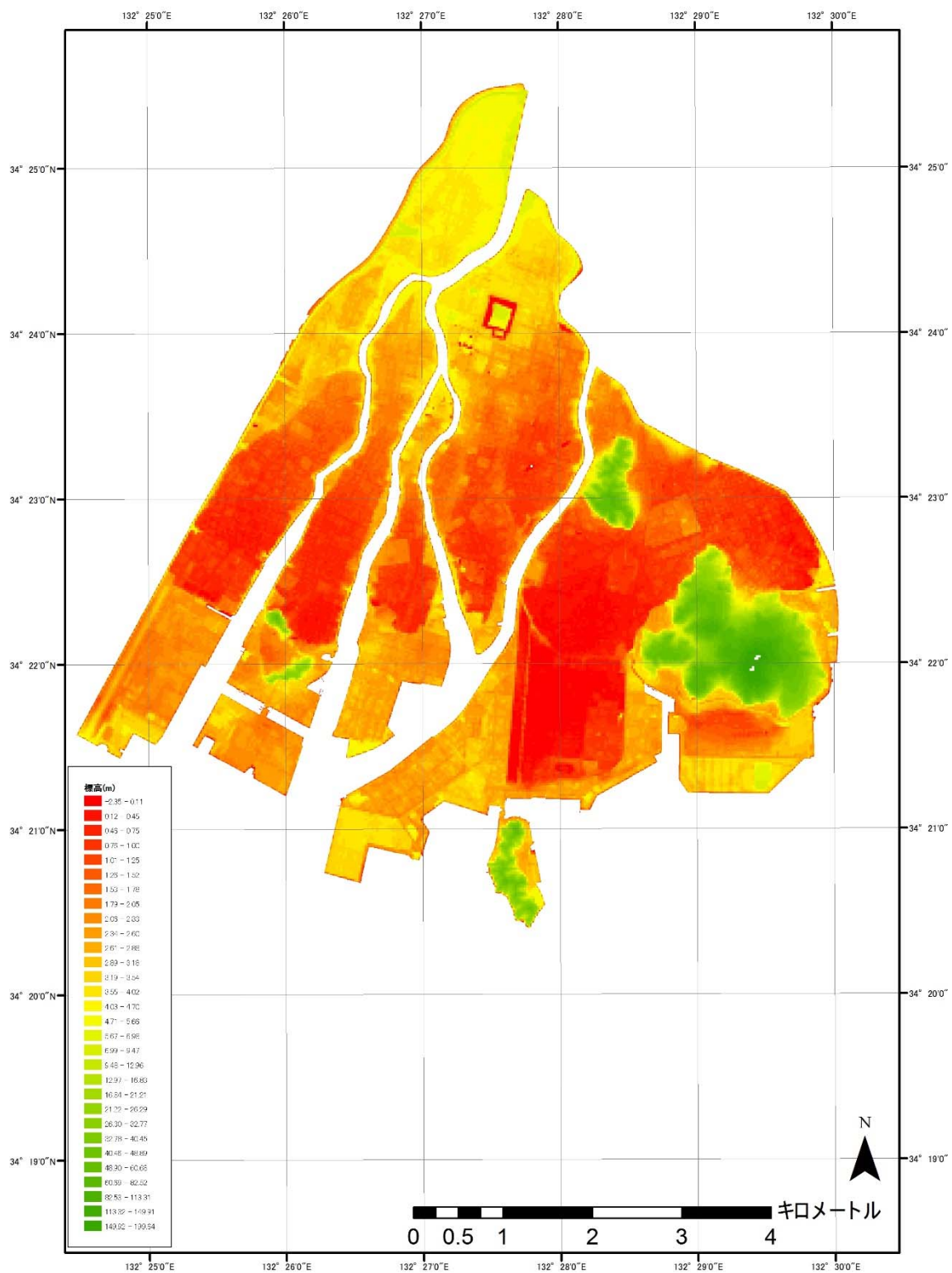


図 3-11 50m メッシュに格納された標高

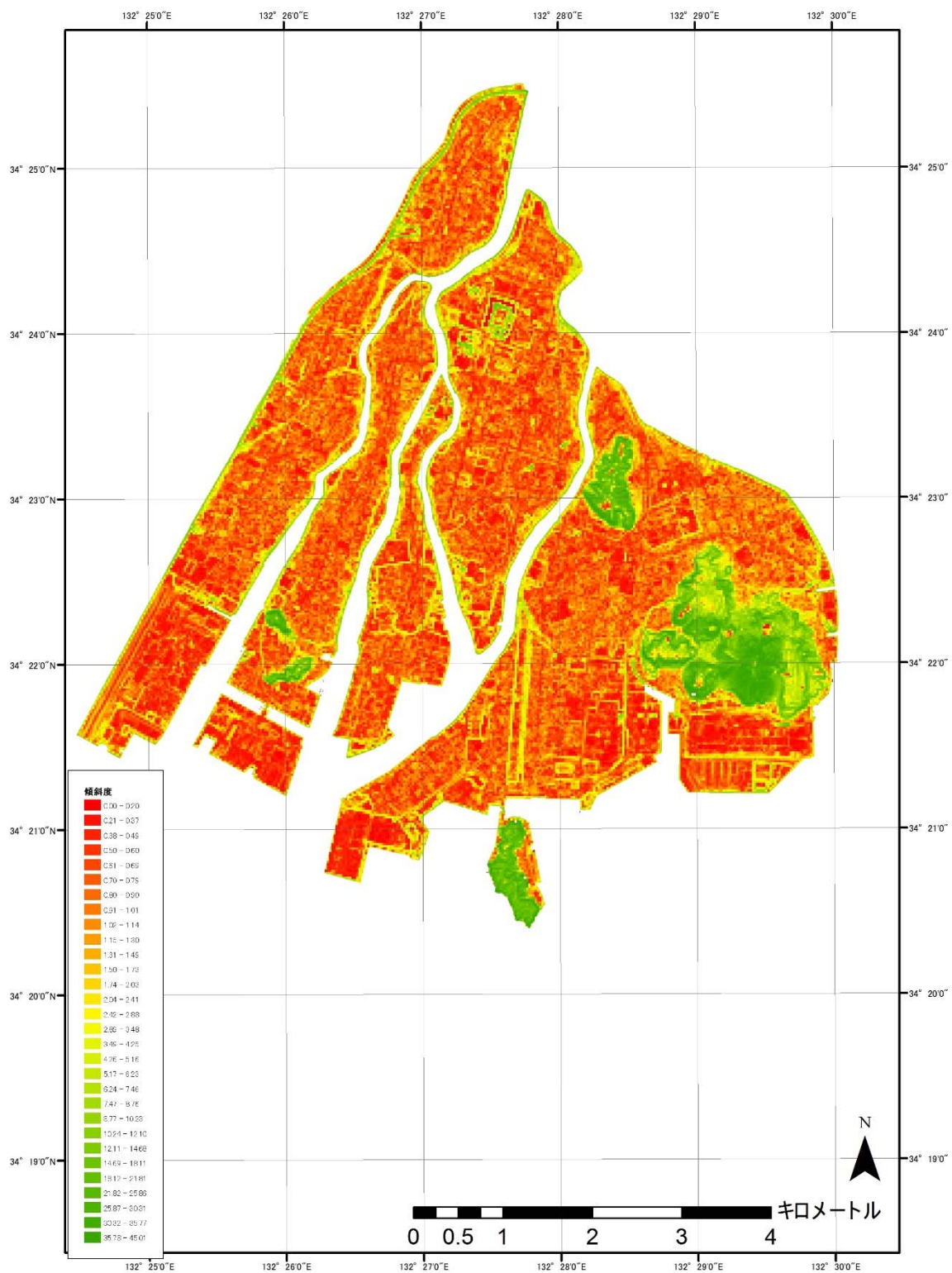


図 3-12 50m メッシュに格納された傾斜度

3.1.4 人口分布

図 3-13 は町丁目別の年少人口（15 歳未満）密度、図 3-14 は高齢人口（65 歳以上）密度を示す。

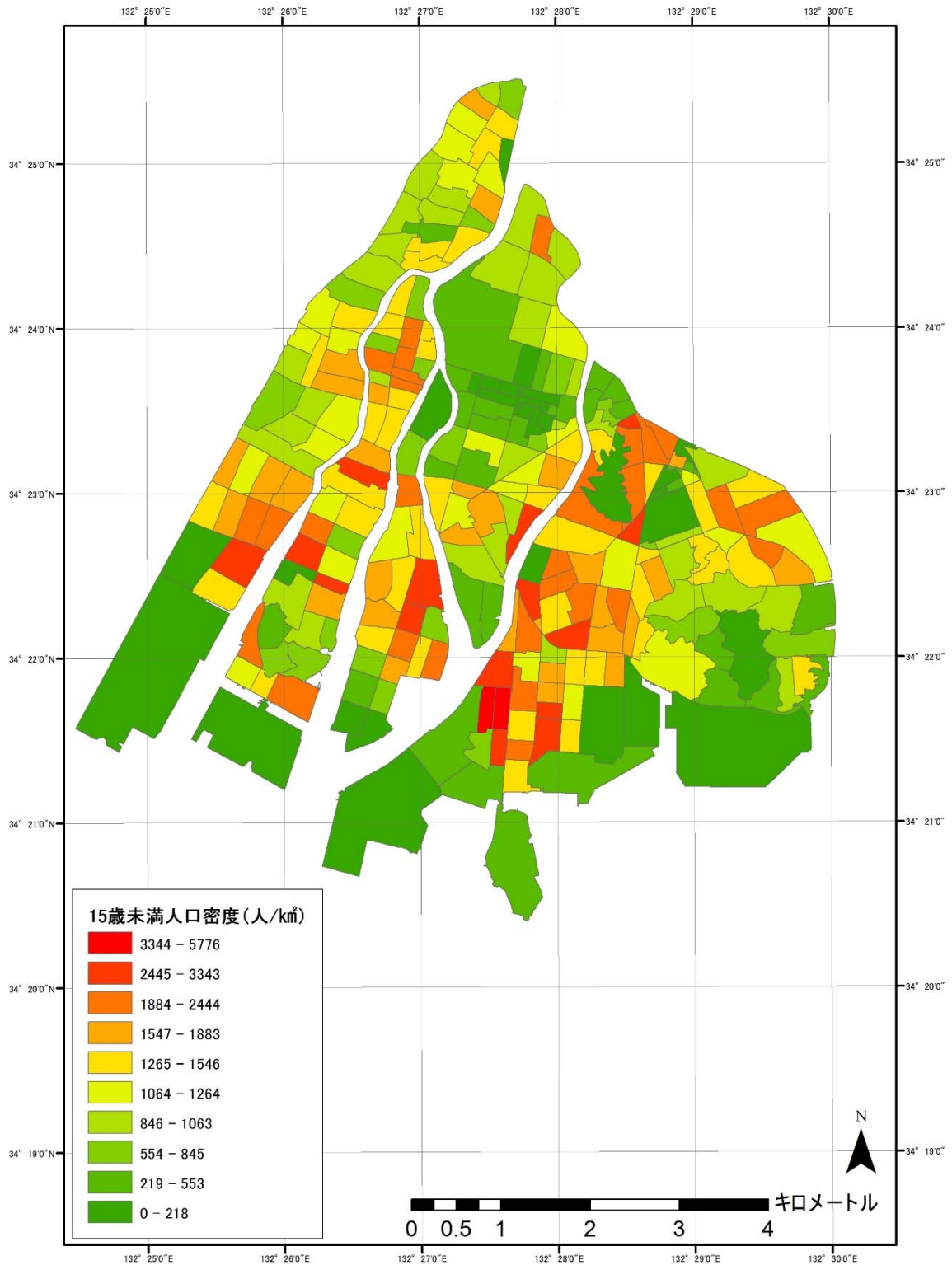


図 3-13 平成 22 年度町丁目別の年少人口密度

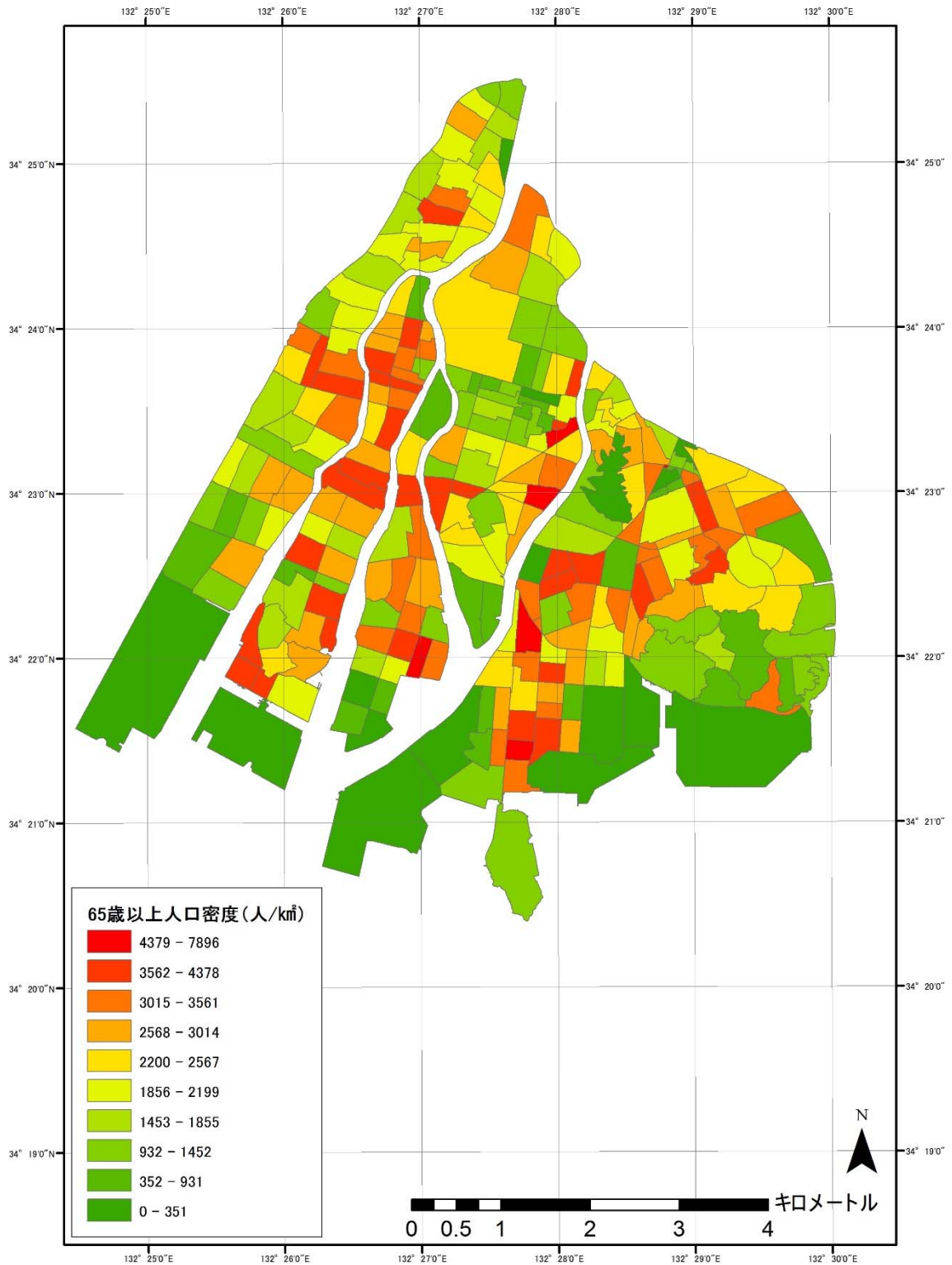


図 3-14 平成 22 年度町丁目別の高齢人口密度

3.2 エコロジカルネットワークの現状分析

指標種であるニホントカゲは地表徘徊性生物であるため、デルタ市街地を流れる河川は移動の妨げとして働く。そのため、デルタ市街地を A~E 地区に分割して（図 3-15）、それぞれ分析を実施した。図 3-16 は堤内地緑地と堤外地緑地、図 3-17 は堤内地緑地と堤外地緑地の 25m バッファーを示す。なお、屋上庭園は、ニホントカゲのアクセシビリティの観点から堤内地緑地や堤外地緑地と性質が大きく異なり同等に評価することが難しいため、本分析の対象外とした

表 3-2 はエコロジカルネットワークの現状分析結果を示す。C 地区と D 地区に比べ、A 地区、B 地区および E 地区の連結度が低いことを確認した。

表 3-2 エコロジカルネットワークの現状分析結果

	A 地区	B 地区	C 地区	D 地区	E 地区
連結度	49.3	47.4	98.8	98.7	55.8

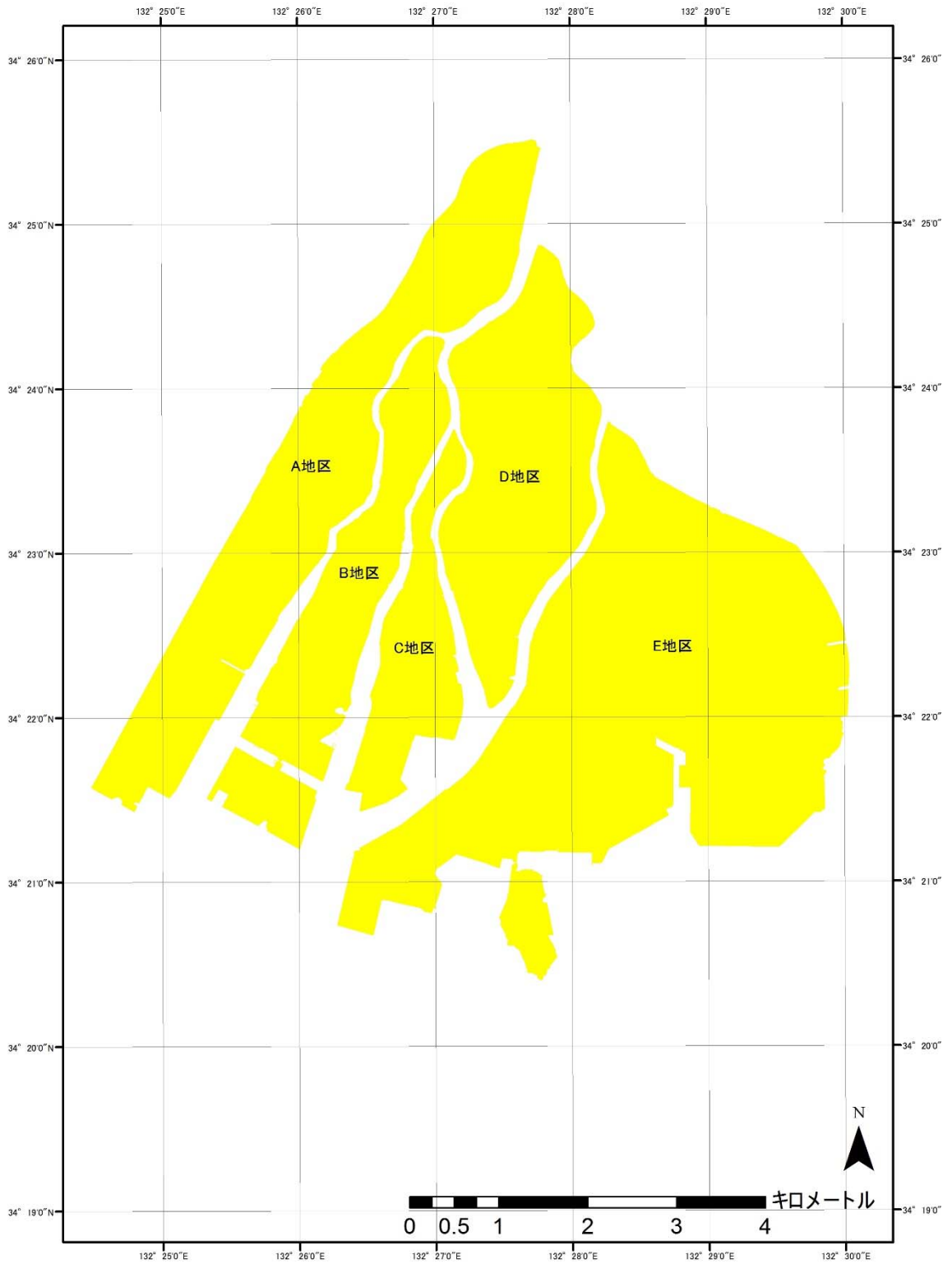


図 3-15 便宜上命名された地区名

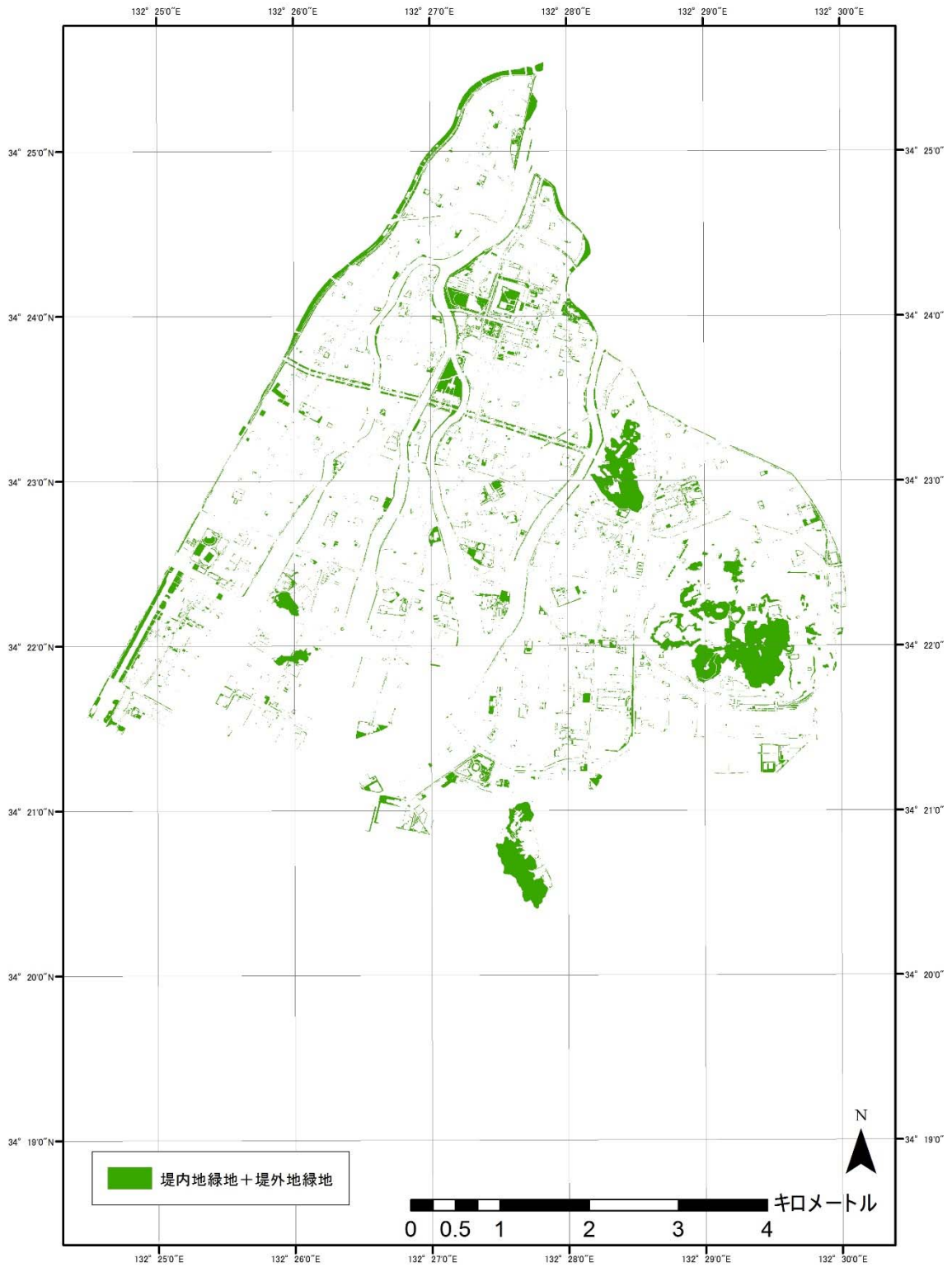


図 3-16 堤内地緑地と堤外地緑地の分布状況

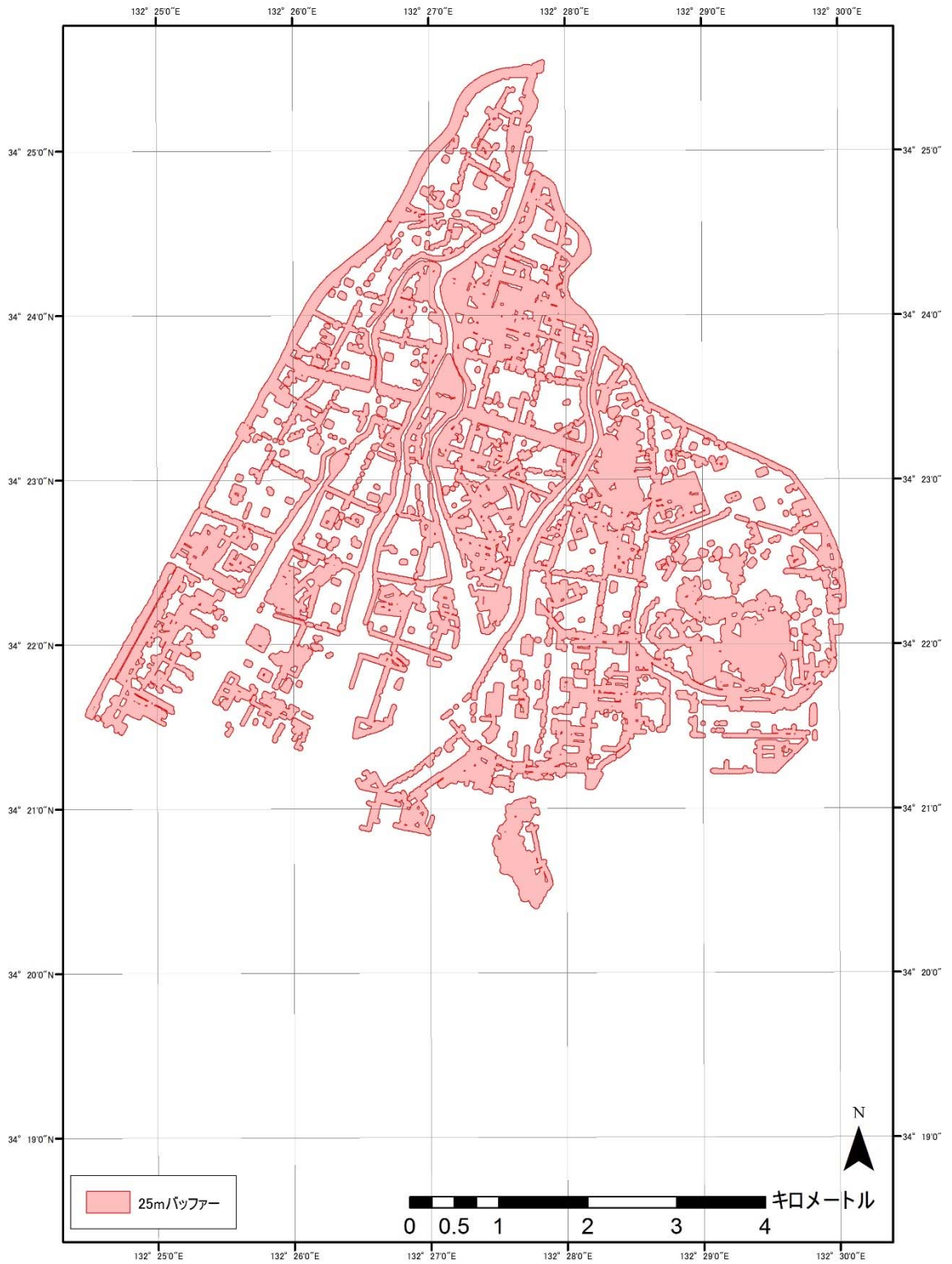


図 3-17 図 3-16 に示すポリゴンの 25m バッファー

3.3 アクセシビリティの現状分析

図 3-18 は 0.1ha 以上の堤内地緑地と堤外地緑地の分布状況、図 3-19 は 0.1ha 以上の堤内地緑地と堤外地緑地の 228.6m バッファーを示す。表 3-3 はアクセシビリティの現状分析結果を示す。A 地区の年少人口カバー率が他と比べてと極端に低いことを確認した。

表 3-3 アクセシビリティの現状分析結果

	228.6m 圏内 年少人口 (人)	228.6m 圏内 高齢人口 (人)	地区内 年少人口 (人)	地区内 高齢人口 (人)	年少人口 カバー率 (%)	高齢人口 カバー率 (%)
A 地区	2,819	9,570	7,015	11,571	40.2	82.7
B 地区	3,805	7,576	5,064	9,835	75.1	77.0
C 地区	2,570	4,417	2,947	5,059	87.2	87.3
D 地区	4,278	10,447	4,669	11,569	91.6	90.3
E 地区	11,675	18,607	14,377	22,776	81.2	81.7

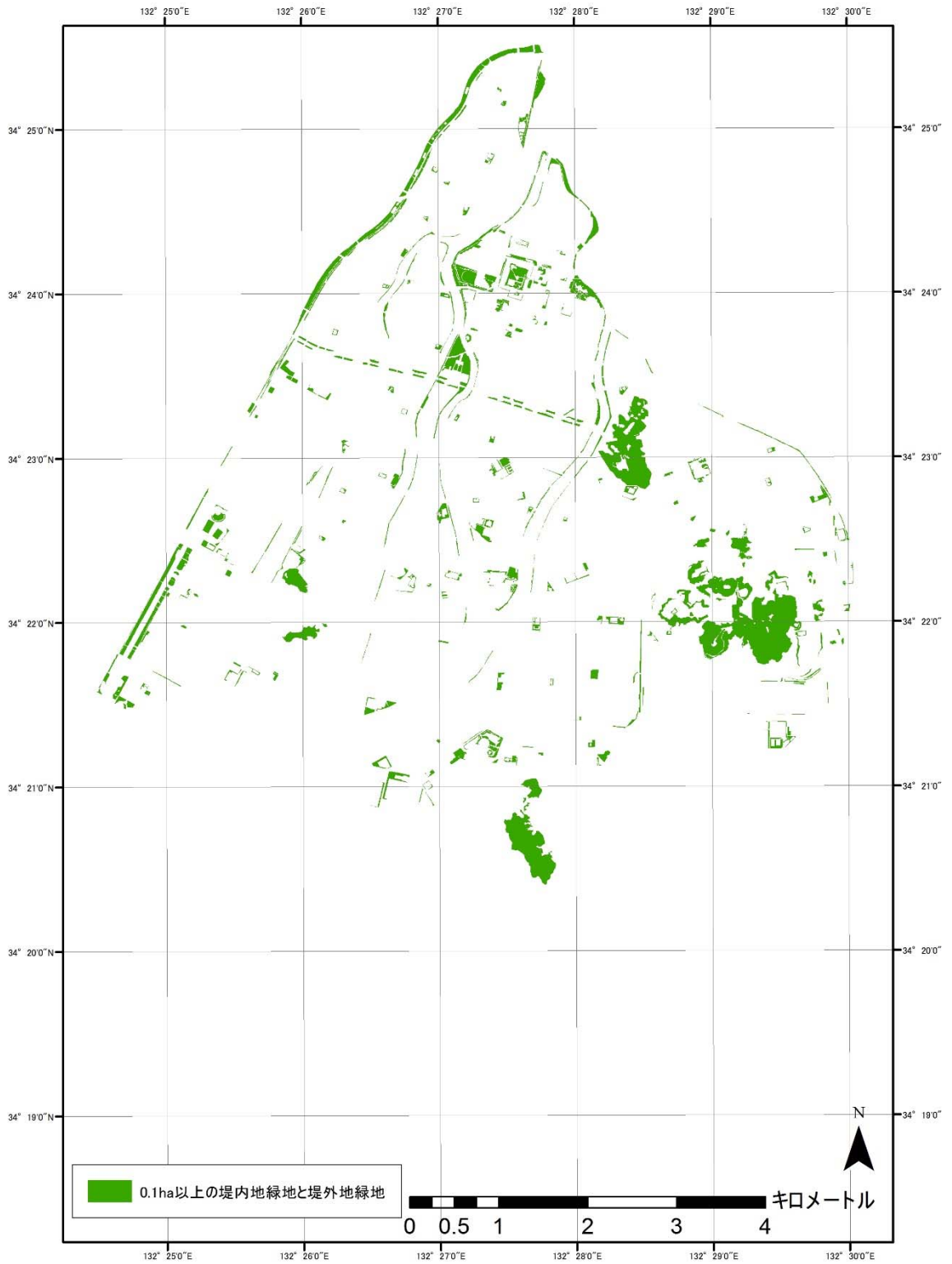


図 3-18 0.1ha 以上の堤内地緑地と堤外地緑地の分布状況

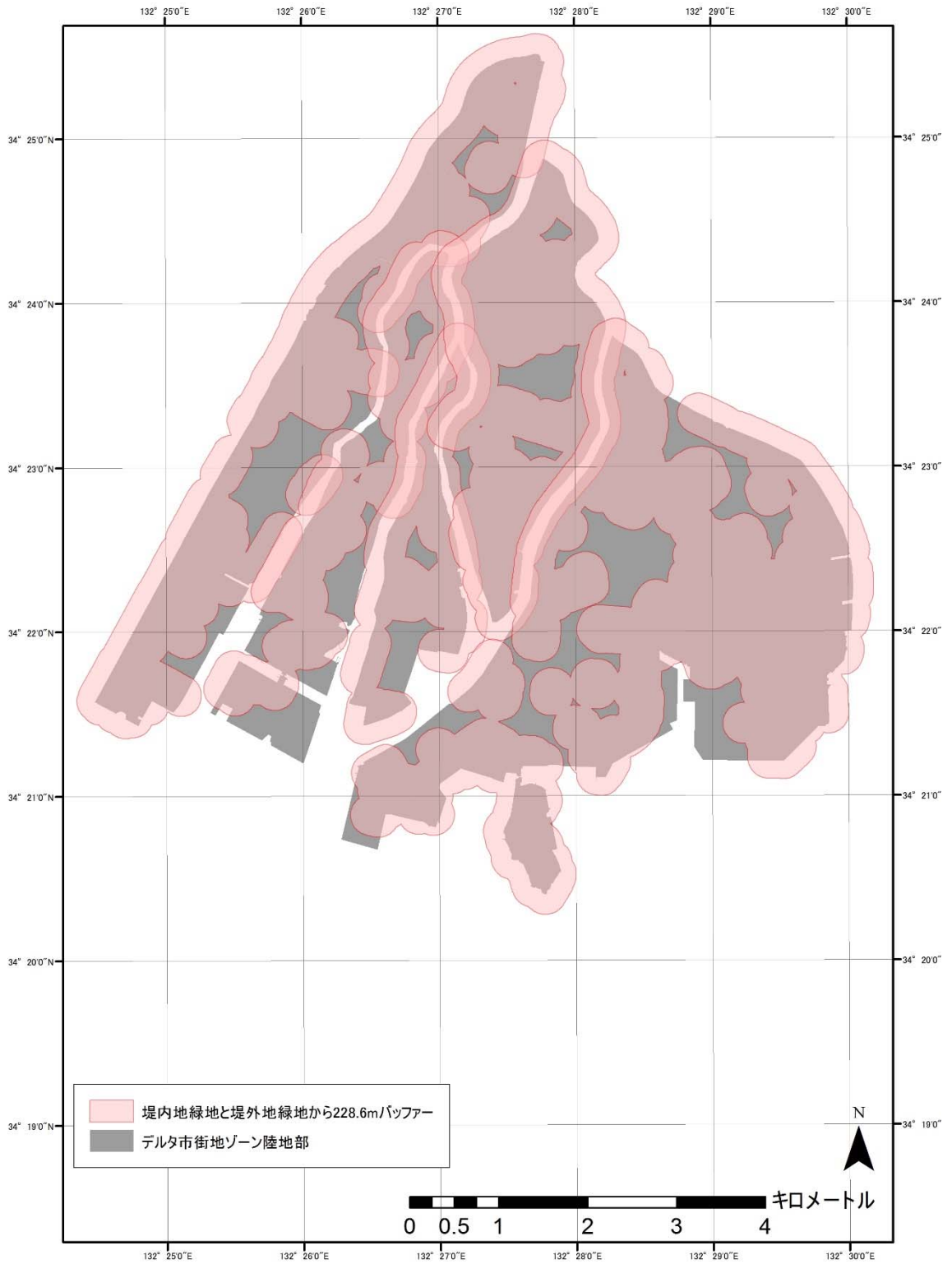


図 3-19 図 3-18 に示すポリゴンの 228.6m バッファー

3.4 レインガーデンの建設適地

レインガーデンの建設適地は、雨水が自然に溜まりやすく、且つ地下水位が低いことが望ましい。そこで本研究では、「1. 標高 5m 未満」、「2. 傾斜度 1.1 未満」、「3. 地下水位 2m 以深」、の条件を満たすエリアをレインガーデンの建設適地として抽出した（図 3-20）。

次に、レインガーデン建設適地上の堤内地緑地、砂地及び駐車場をそれぞれ抽出した（図 3-21、図 3-22、図 3-23）。表 3-4 はそれらの面積を示す。

表 3-4 レインガーデンの建設適地とその土地利用状況

レインガーデンの 建設適地 (ha)	建設適地上の 堤内地緑地 (ha)	建設適地上の 砂地 (ha)	建設適地上の 駐車場 (ha)
995.7	44.5	42.5	133.5

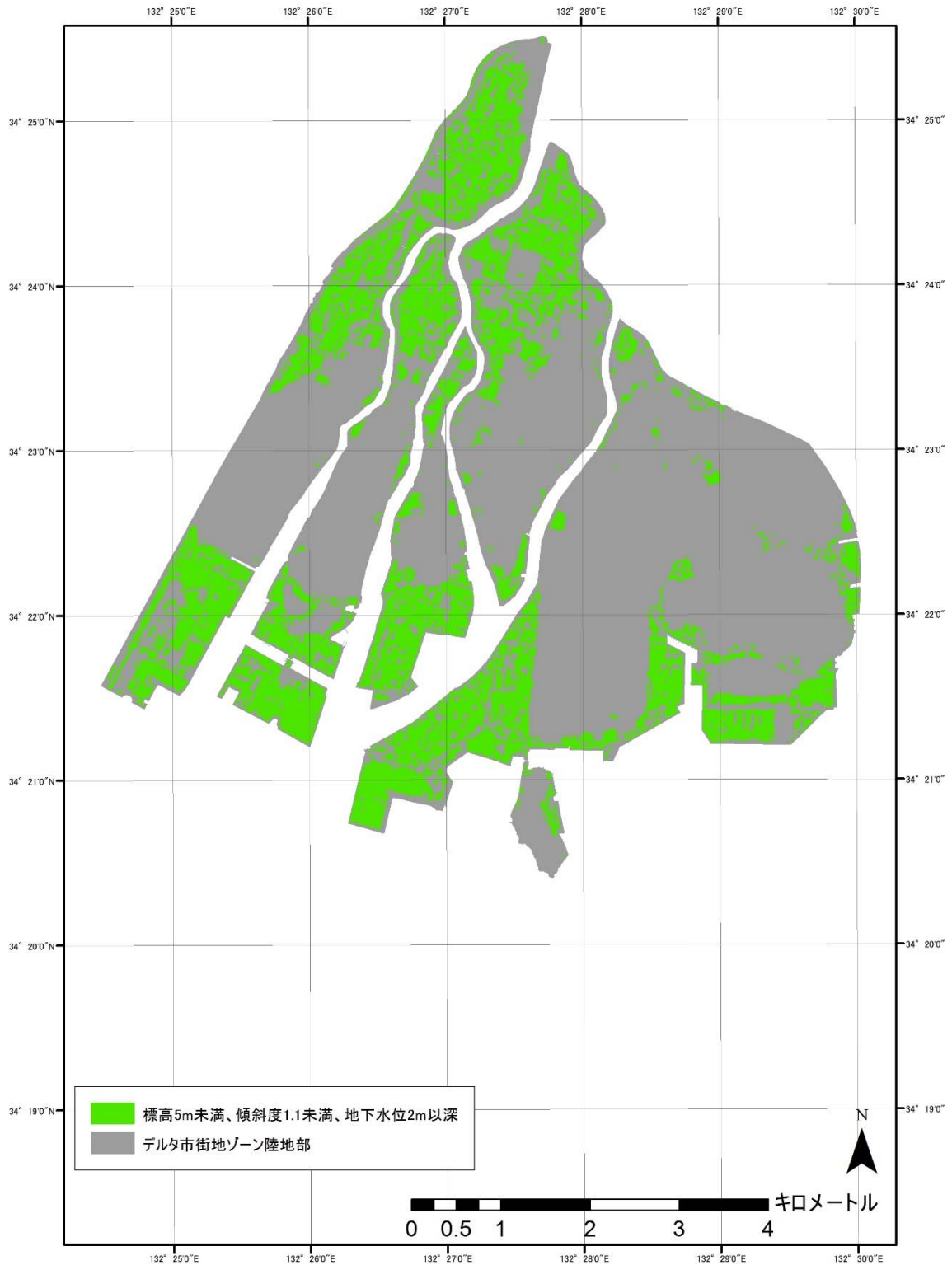


図 3-20 レインガーデン建設適地の分布状況
 (標高 5m 未満、傾斜度 1.1 未満、地下水位 2m 以深)

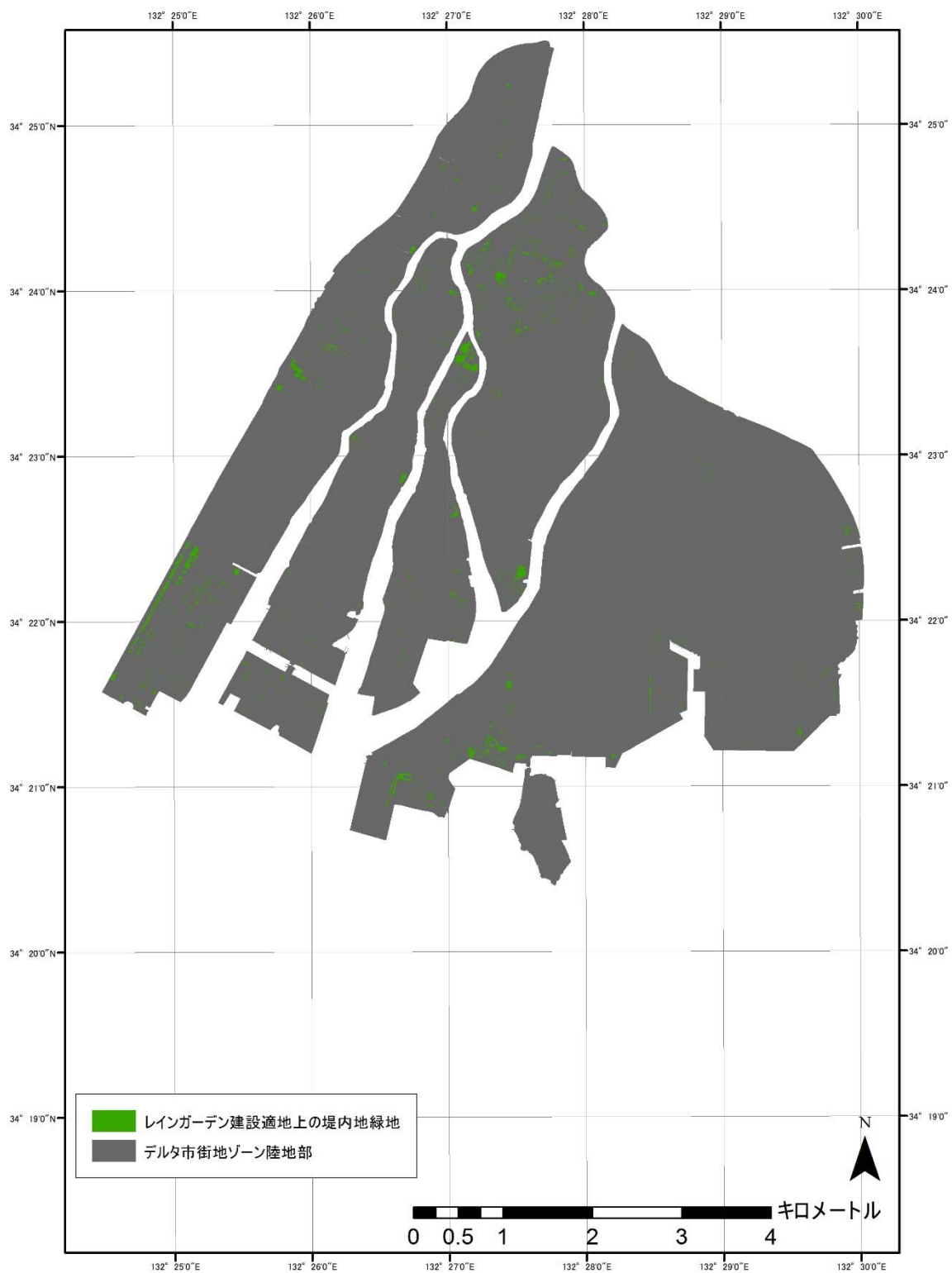


図 3-21 レインガーデン建設適地上の堤内地緑地の分布状況

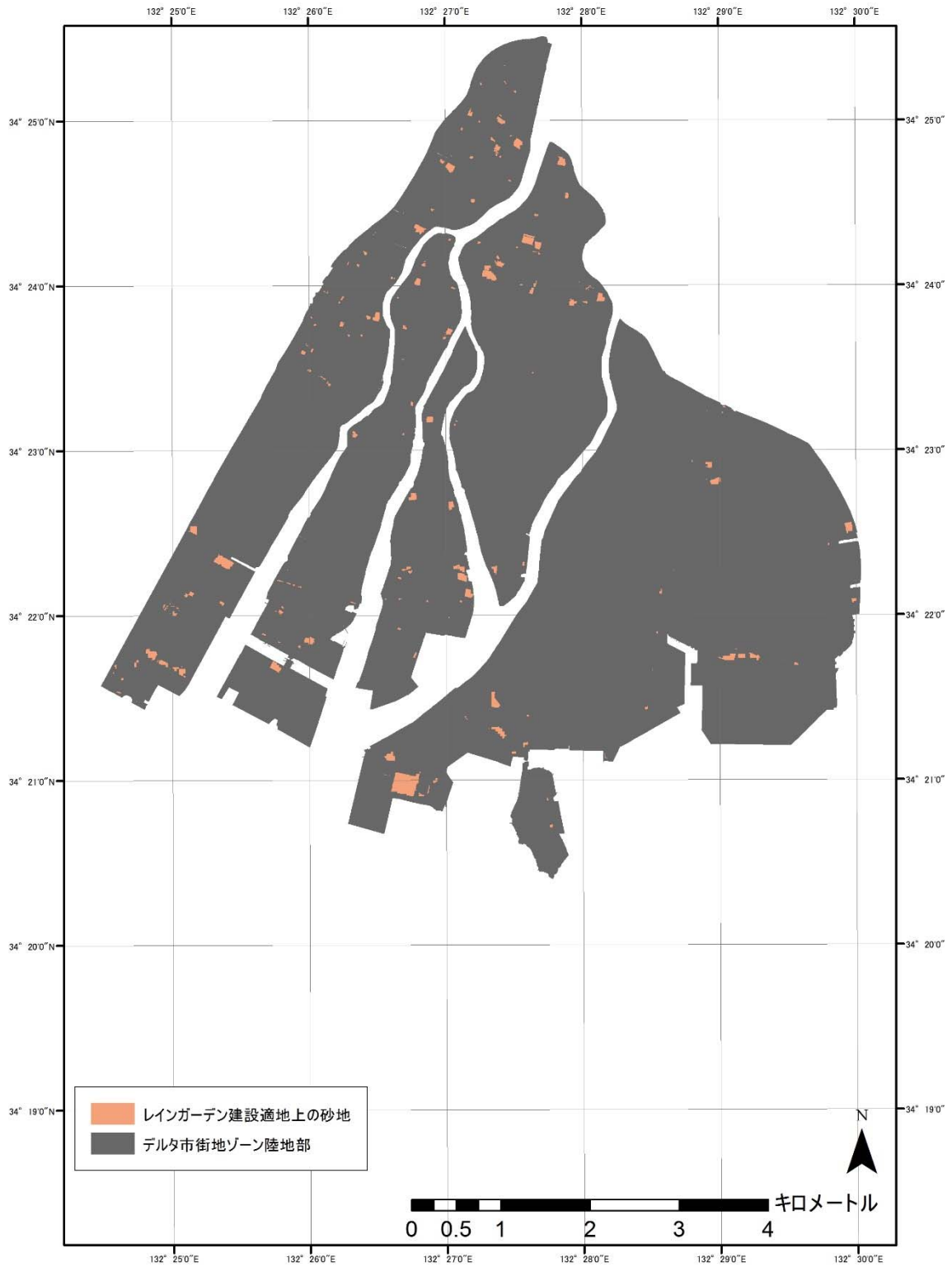


図 3-22 レインガーデン建設適地上の砂地の分布状況

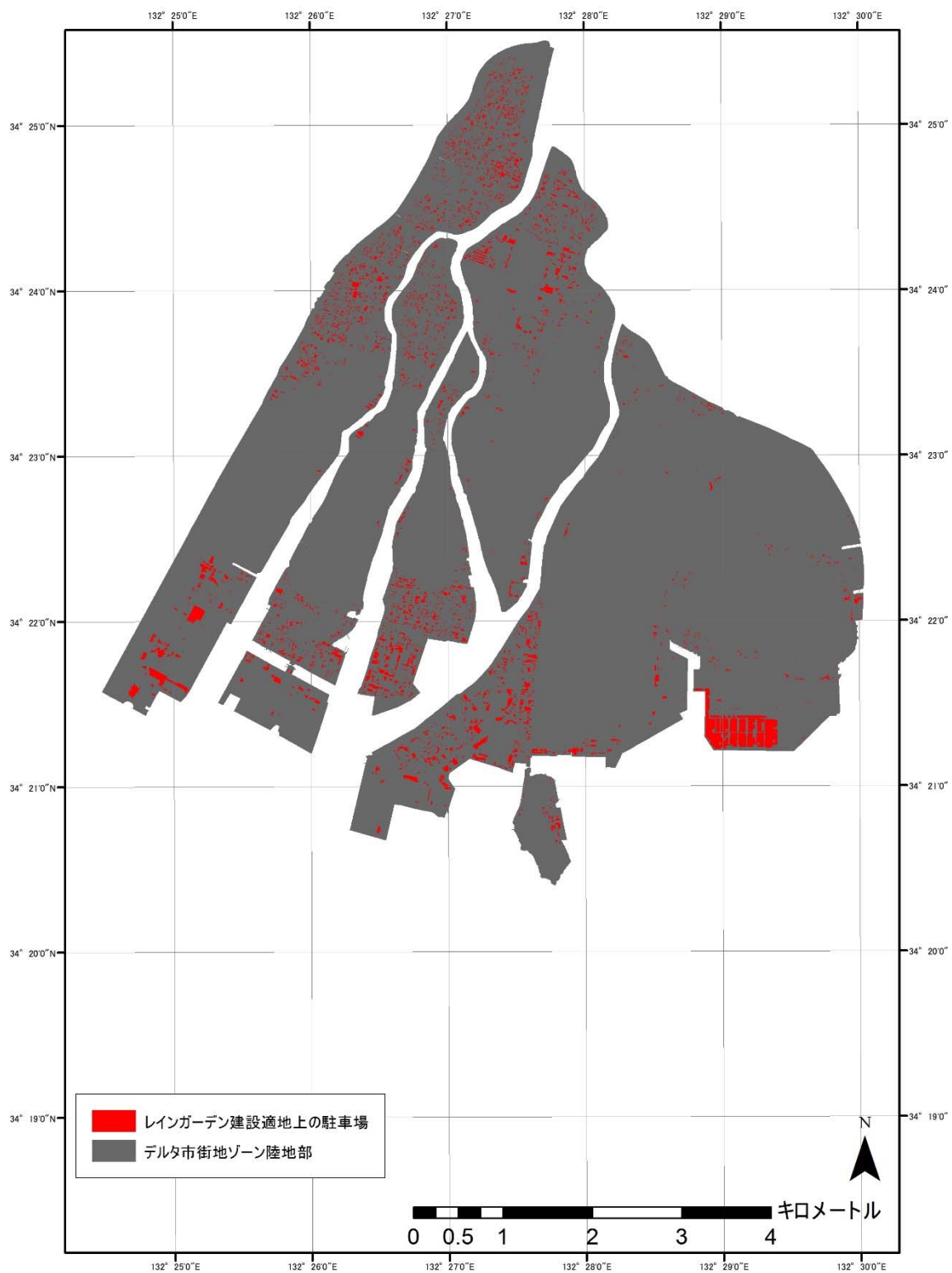


図 3-23 レインガーデン建設適地上の駐車場の分布状況

3.5 レインガーデンの建設効果

レインガーデンの建設効果を以下のとおりに評価した。

3.5.1 表面流水の抑制

前項 3.4 にて抽出されたレインガーデン建設適地上の堤内地緑地、砂地、駐車場の雨水処理ポテンシャルを表 3-5、3-6、3-7 にそれぞれ示す。レインガーデン化率 100%を達成することは現実的に難しいと考えられるが、10%であれば創意工夫次第で達成できる可能性は大いにあると考えられる。そこで、仮に堤内地緑地、砂地、駐車場をそれぞれ 10%レインガーデンにした場合の表面流水抑制量を推定すると 926,100 m³/h となる。これは、デルタ市街地にて 80mm/h の降雨イベントが発生した際の降水量（表 3-8）の約 3 分の 1 に相当することを確認した。

表 3-5 建設適地上の堤内地緑地の雨水処理ポテンシャル

レインガーデン化率	雨水処理ポテンシャル (m ³ /h)	経済効果 (円)
100%	1,869,000	164,472,000
50%	934,500	82,236,000
10%	186,900	16,447,200

表 3-6 建設適地上の砂地の雨水処理ポテンシャル

レインガーデン化率	雨水処理ポテンシャル (m ³ /h)	経済効果 (円)
100%	1,785,000	157,080,000
50%	892,500	78,540,000
10%	178,500	15,708,000

表 3-7 建設適地上の駐車場の雨水処理ポテンシャル

レインガーデン化率	雨水処理ポテンシャル (m ³ /h)	経済効果 (円)
100%	5,607,000	493,416,000
50%	2,803,500	246,708,000
10%	560,700	49,341,600

表 3-8 雨量強度別の降雨量と雨水処理費

	デルタ市街地における 1 時間降雨量 (m ³) (注) 貯水池と河川は除く	雨水処理費 (円)
80 mm/h	2,759,520	242,837,760
50 mm/h	1,724,700	151,773,600
20 mm/h	689,880	60,709,440

3.5.2 エコロジカルネットワークの修復

図 3-24 は、既存の堤内地緑地と堤外地緑地にレインガーデン建設適地上の砂地と駐車場を加えた状態を示す。なお、レインガーデン建設適地上の堤内地緑地は既存の堤内地緑地に含まれている。図 3-25 は、図 3-24 に示すポリゴンの 25m バッファーを示す。表 3-9 は、レインガーデン建設適地上の砂地と駐車場を 100%レインガーデン（緑地）にした場合のエコロジカルネットワークの改善ポテンシャルを示す。緑地が増加するため、全て「+」に転じることは自明である。

表 3-9 エコロジカルネットワークの改善ポテンシャル

	A 地区	B 地区	C 地区	D 地区	E 地区
改善前	49.3	47.4	98.8	98.7	55.8
改善後	53.5	92.2	99.7	98.9	73.8
前後の差	+4.2	+44.8	+0.9	+0.2	+18.0

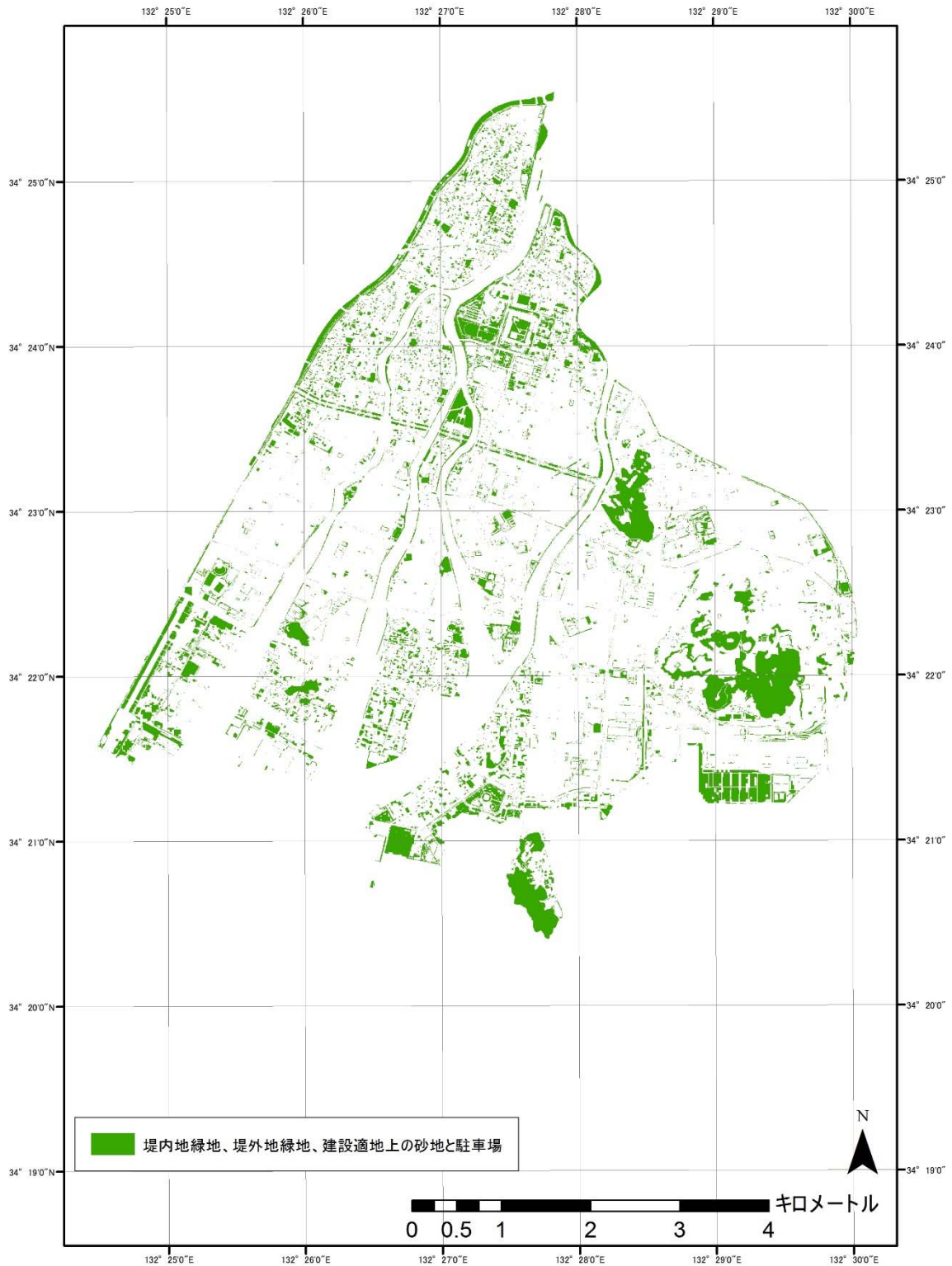


図 3-24 既存の堤内地緑地と堤外地緑地にレインガーデン建設適地上の砂地と駐車場をレインガーデン（緑地）として加えた状況

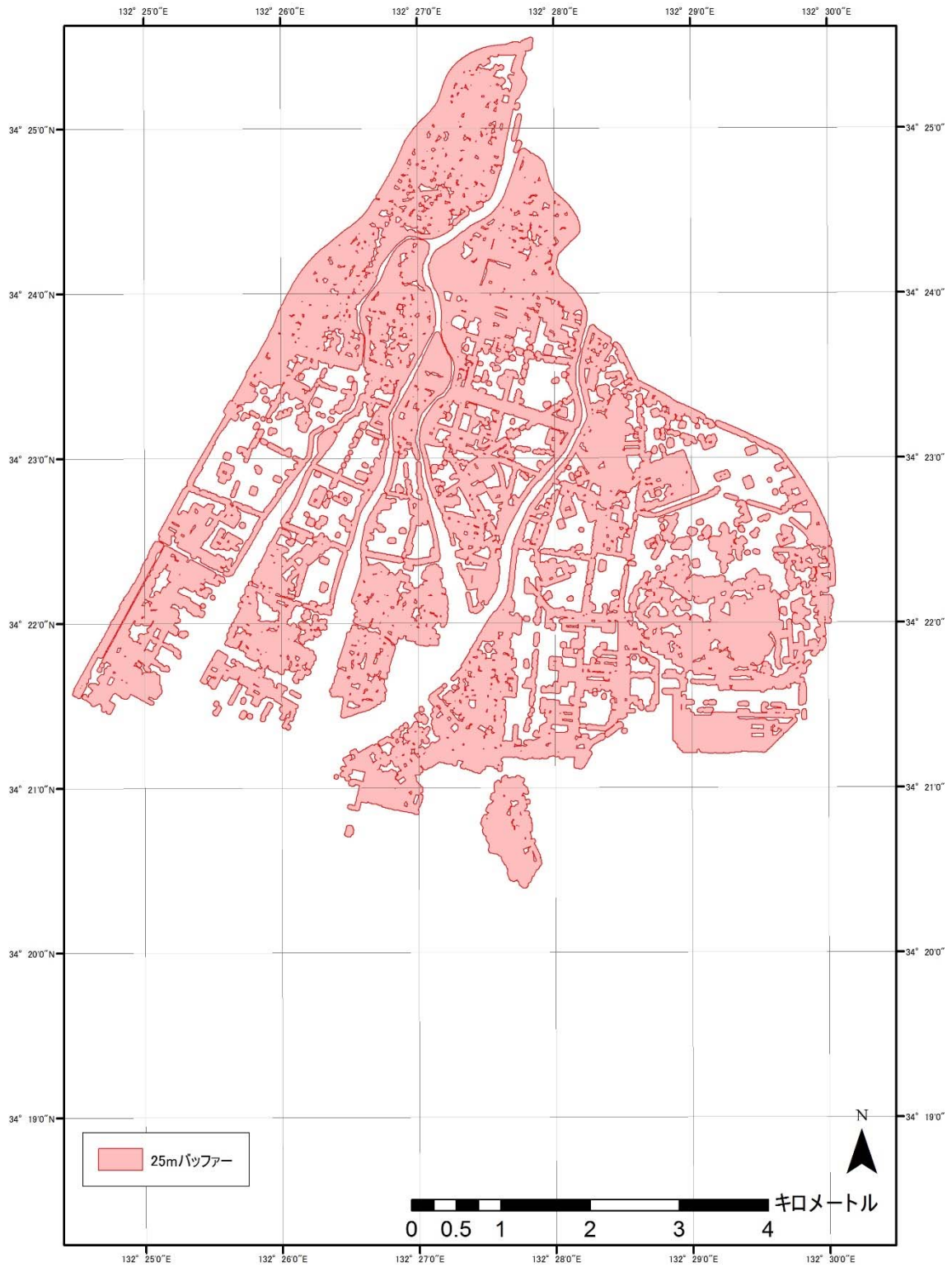


図 3-25 図 3-24 示すポリゴンの 25m バッファー

3.5.3 アクセシビリティの改善

図 3-26 は、0.1ha 以上の既存の堤内地緑地と堤外地緑地に、レインガーデン建設適地上の 0.1ha 以上の砂地と駐車場を加えた状態を示す。なお、レインガーデン建設適地上の堤内地緑地は既存の堤内地緑地に含まれている。図 3-27 は、図 3-26 に示すポリゴンの 228.6m バッファーを示す。表 3-10 は、レインガーデン建設適地上の砂地と駐車場を 100%レインガーデン（緑地）にした場合のアクセシビリティの改善ポテンシャルを示す。エコロジカルネットワーク同様、緑地が増加するため、全て「+」に転じることは自明である。

表 3-10 アクセシビリティの改善ポテンシャル

	A 地区	B 地区	C 地区	D 地区	E 地区
年少人口 カバー率 (改善前)	40.2	75.1	87.2	91.6	81.2
年少人口 カバー率 (改善後)	84.8	87.0	98.0	93.2	84.6
前後の差	+44.6	+11.9	+10.8	+1.6	+3.4
高齢人口 カバー率 (改善前)	82.7	77.0	87.3	90.3	81.7
高齢人口 カバー率 (改善後)	89.7	86.5	96.1	91.4	84.3
前後の差	+7.0	+9.5	+8.8	+1.1	+2.6

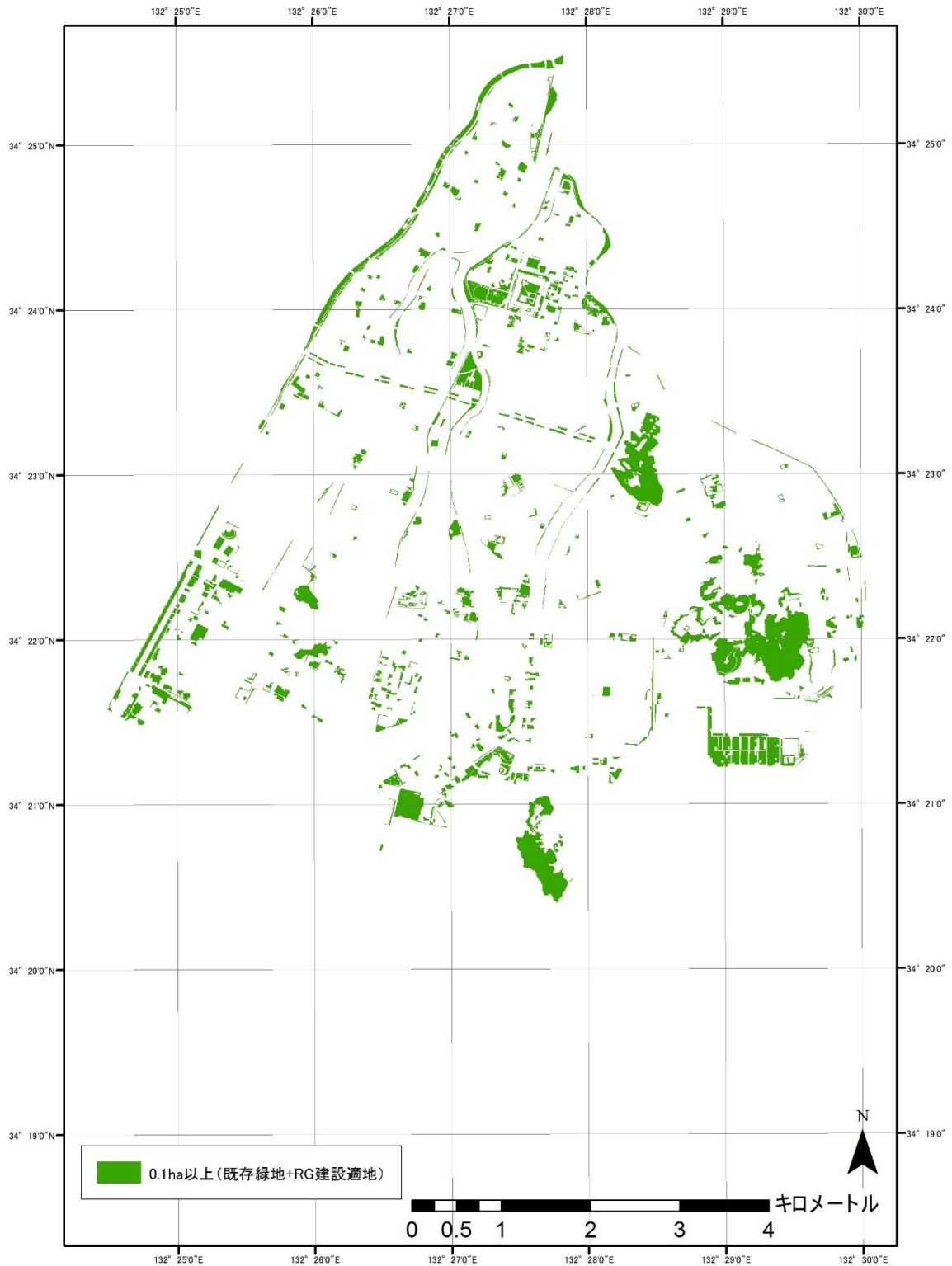


図 3-26 0.1ha 以上の既存の堤内地緑地と堤外地緑地にレインガーデン建設適地上の
0.1ha 以上の砂地と駐車場をレインガーデン（緑地）として加えた状態

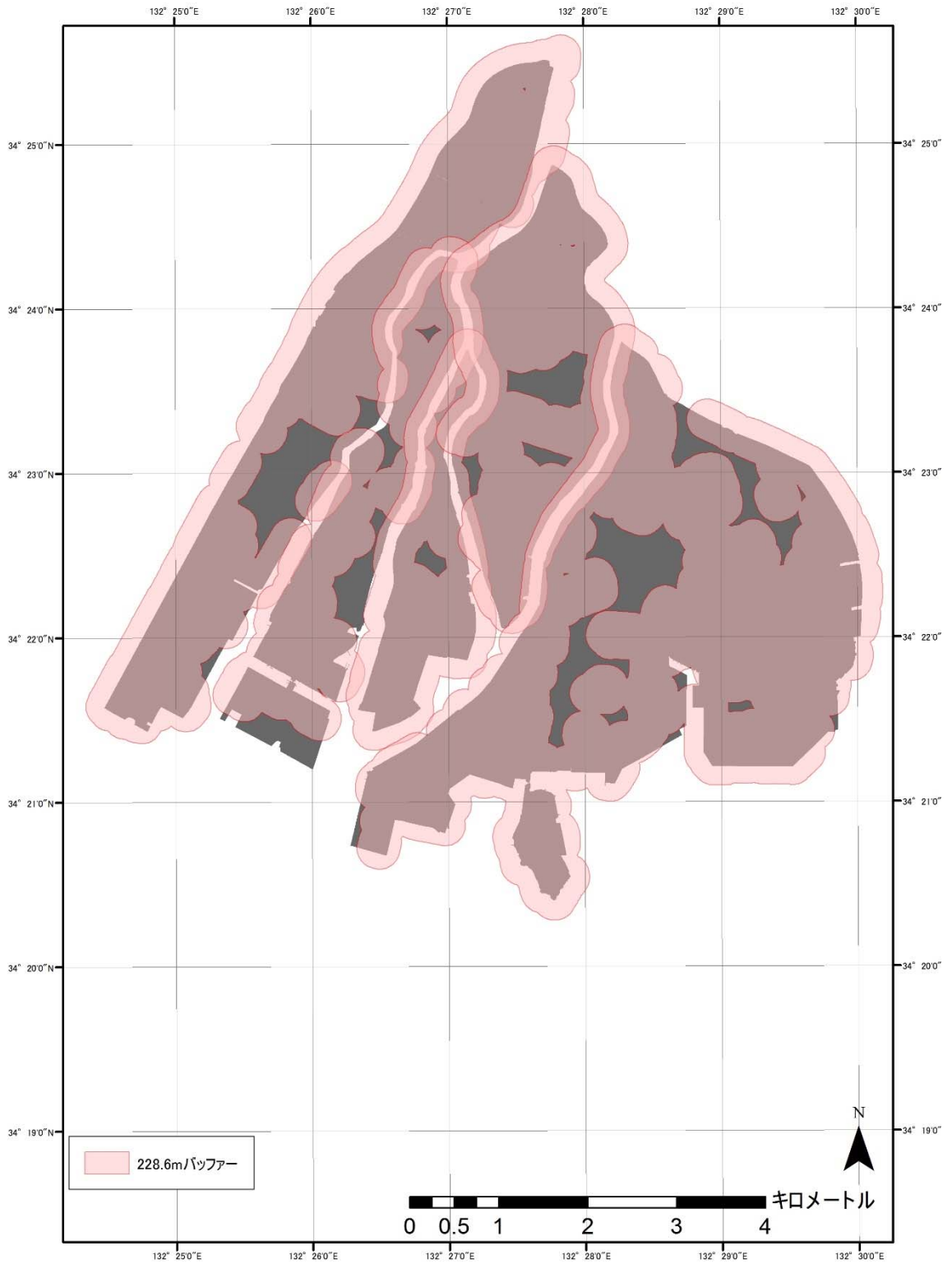


図 3-27 図 3-26 に示すポリゴンの 228.6m バッファー

第4章 考察

4.1 レインガーデンの建設適地

図 4-1 は自然三角州と埋立地（人工三角州）の境界を示す。境界より以北エリアにおいては、地下に埋設されているライフラインに注意を払えば、レインガーデンを問題なく建設できると考えられる。

一方、以南エリアについては、埋立事業が実施された際に用いられた埋立材料に関する調査が必要である。その理由は、万が一、埋立材料に環境汚染物質が含まれている場合、レインガーデン建設による雨水浸透量の増加により、沿岸海域にその環境汚染物質が溶出する可能性が懸念されるためである。デルタ市街地の沿岸海域は海面養殖業が非常に盛んであり、特に牡蠣養殖は全国的に知られている。牡蠣養殖は無給餌養殖の代表であり、海水中の懸濁物質をろ過して海水の透明度を向上させ、富栄養化の原因物質である窒素とリンを牡蠣という形で海から陸（人体）へ回収する富栄養化防止装置としての機能を内包している。埋立地から汚染物質が沿岸海域に溶出した場合、牡蠣の体内にその汚染物質が蓄積される可能性が考えられるため、レインガーデン建設の可否については、更なる検討を重ねる必要がある。

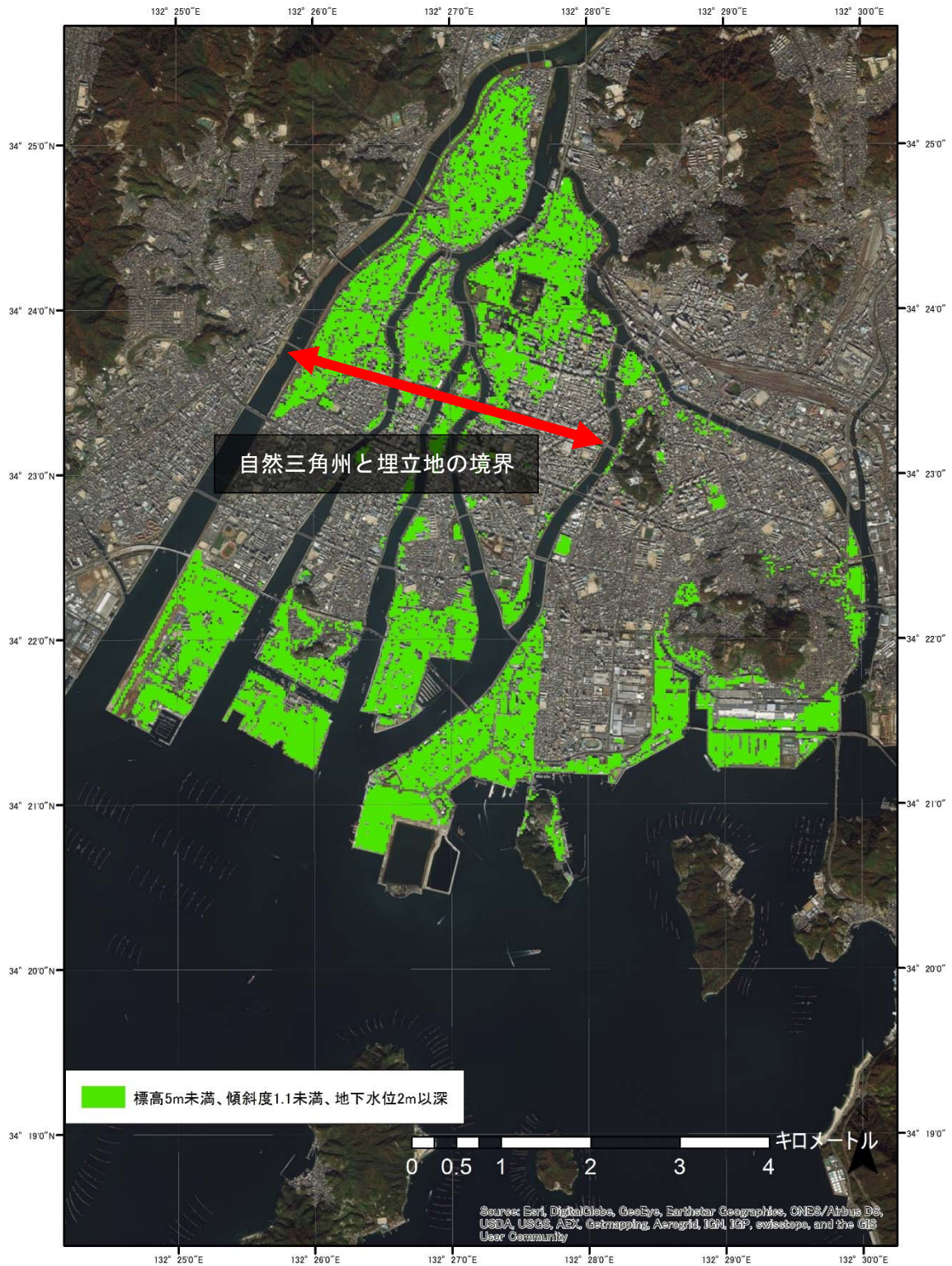


図 4-1 自然三角州と埋立地（人工三角州）の境界

4.2 レインガーデンの普及戦略

これまで都市緑化を推進する研究者は、図 4-2 の左側に示す都市緑地の機能を自治体や地域住民に対して科学的に示すことで都市緑地創出を試みてきたが、残念ながらその成果は限定的であり、都市環境問題は今日に至るまで悪化の一途をたどっている。その最大の原因は、自治体や地域住民が税金を投入してそれらの都市緑地の機能を獲得することより、生活や暮らしの経済的向上を優先的に選択してきたからではないだろうか。

表面流水抑制に特化した形態の緑地であるレインガーデンは、従来型の下水管渠（グレイインフラ）よりも安価に建設することができ、下水道整備費の大幅削減に寄与することができる（Penniman et al. 2013）。そのため、アメリカの各都市では、2000 年代初頭から急速にレインガーデンの社会実装化が進展した。

今後、わが国でも、レインガーデンを建設することによって下水道整備費を大幅に削減でき、それに付随する形で図 4-2 の左側に示す機能を獲得することができる、と自治体や地域住民に説明すれば、都市緑地は大幅に増加すると考えられる。エコは「Ecology」の「Eco」だけでなく、「Economy」の「Eco」でもあるということを国民全員が認識する必要がある。



図 4-2 都市緑地が内包する様々な機能

4.3 レインガーデンのマネジメント

わが国でレインガーデンの社会実装化が進展した場合に想定される政策課題の一つとして、除草清掃・草刈りなどの緑地マネジメント業務を担う人材の確保、が挙げられる。シンガポールの事例を踏まえながら以下のように考察した。

4.3.1 都市緑化先進国シンガポールにおける事例

シンガポールは「A City in a Garden」というコンセプトのもと、都市緑化政策を積極的に推進している都市緑化先進国として国際的に評価されている。シンガポールは熱帯雨林気候であるため、植物の生育が年間を通して旺盛であり、除草清掃・草刈りなどの緑地マネジメント業務が大量に発生する。シンガポールは、特別な技能・知識を必要としない単純労働を担う層（主にインド系の低賃金労働者、図 4-3）を積極的に受け入れ、彼らに緑地マネジメント業務を委託していると考えられる（図 4.4）。この構図は、建設現場でも同様である。



図 4-3 都市緑地のマネジメント業務に従事するインド系の低賃金労働者たち

場所：シンガポール、撮影時期：2017年1月

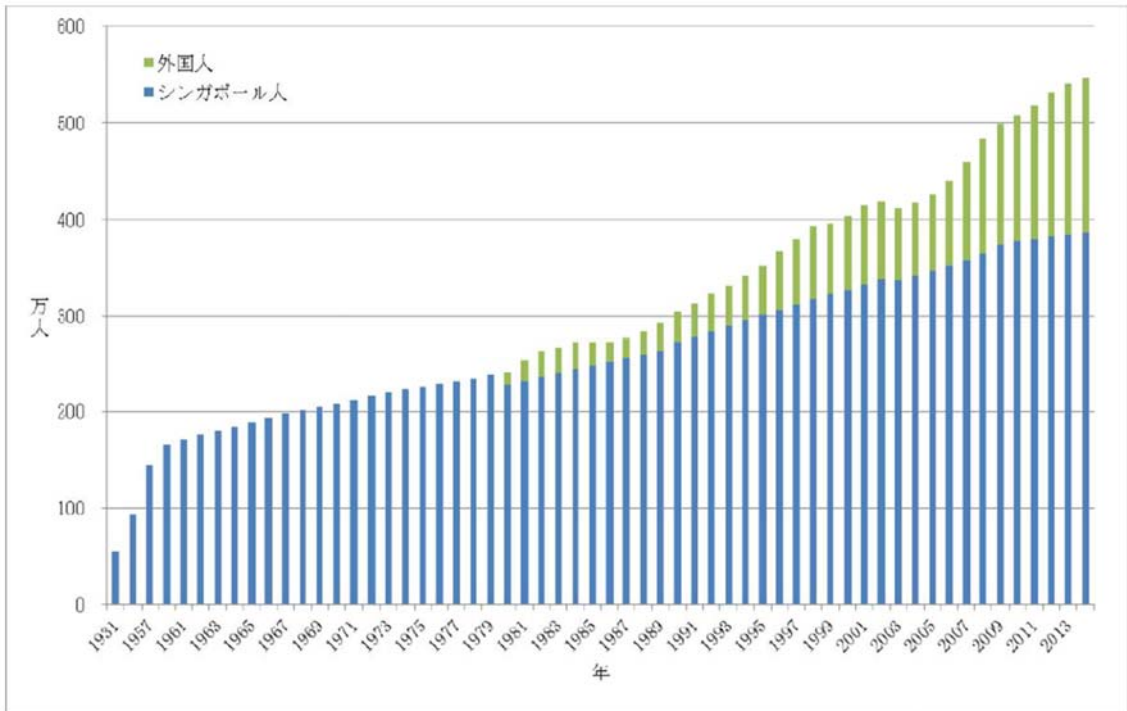


図 4-4 シンガポールの人口推移（自治体国際化協会シンガポール事務所 2015）

4.3.2 外国人労働者

2016年10月末において、わが国には907,896人の外国人労働者が滞在しており、その中でシンガポールにおけるインド系低賃金労働者に近い区分は、技能実習を目的として来日している168,296人である(表4-1)。しかしながら、単純労働の代表格と言える除草清掃・草刈りを、技能実習を目的として来日している外国人に委託することは、技能実習制度の趣旨に大きく反すると考えられる。また、わが国は移民・難民を受け入れておらず、今後も受け入れる予定はないため、移民・難民の雇用政策の一環として彼らに委託することもできない。

したがって、わが国ではシンガポールのように外国人の低賃金労働者に緑地マネジメント業務を委託することは非現実的であると考えられる。

表4-1 国籍別・在留資格別外国人労働者数(厚生労働省 2016)

	総数	①専門的・技術的分野の在留資格		②特定活動	③技能実習	④資格外活動		⑤身分に基づく在留資格				⑥不明	
		計	うち技術・人文知識・国際業務			留学	その他	計	うち永住者	うち日本人の配偶者等	うち永住者の配偶者等		うち定住者
全国総計	907,896	167,301 (18.4%)	121,160 (13.3%)	12,705 (1.4%)	168,296 (18.5%)	167,660 (18.5%)	24,687 (2.7%)	367,211 (40.4%)	208,114 (22.9%)	72,895 (8.0%)	8,965 (1.0%)	77,234 (8.5%)	36 (0.0%)
中国 (香港等を含む)	322,545 [35.9%]	72,071 (22.3%)	59,697 (18.5%)	3,063 (0.9%)	85,935 (26.6%)	70,680 (21.9%)	13,367 (4.1%)	77,426 (24.0%)	49,469 (15.3%)	16,142 (5.0%)	3,440 (1.1%)	8,375 (2.6%)	3 (0.0%)
韓国	41,461 [4.6%]	17,585 (42.4%)	14,717 (35.5%)	2,045 (4.9%)	137 (0.3%)	5,942 (14.3%)	856 (2.1%)	14,896 (35.9%)	9,987 (24.1%)	3,858 (9.2%)	274 (0.7%)	773 (1.9%)	0 (0.0%)
フィリピン	106,533 [11.7%]	4,877 (4.6%)	3,272 (3.1%)	746 (0.7%)	15,087 (14.2%)	495 (0.5%)	305 (0.3%)	85,021 (79.8%)	48,522 (45.5%)	14,464 (13.6%)	1,667 (1.6%)	20,368 (19.1%)	2 (0.0%)
ベトナム	110,013 [12.1%]	7,900 (7.2%)	6,761 (6.1%)	719 (0.7%)	43,828 (39.8%)	48,620 (44.2%)	884 (0.8%)	8,060 (7.3%)	3,876 (3.5%)	1,187 (1.1%)	754 (0.7%)	2,245 (2.0%)	2 (0.0%)
ネパール	39,056 [4.3%]	3,372 (8.6%)	1,161 (3.0%)	1,413 (3.6%)	357 (0.9%)	25,048 (64.1%)	6,816 (17.5%)	2,050 (5.2%)	1,034 (2.6%)	528 (1.4%)	189 (0.5%)	299 (0.8%)	0 (0.0%)
ブラジル	96,672 [10.6%]	462 (0.5%)	216 (0.2%)	13 (0.0%)	34 (0.0%)	116 (0.1%)	17 (0.0%)	96,030 (99.3%)	48,570 (50.2%)	14,518 (15.0%)	726 (0.8%)	32,216 (33.3%)	0 (0.0%)
ペルー	24,422 [2.7%]	86 (0.4%)	39 (0.2%)	6 (0.0%)	44 (0.2%)	49 (0.2%)	7 (0.0%)	24,230 (99.2%)	15,522 (63.6%)	1,503 (6.2%)	665 (2.7%)	6,540 (26.8%)	0 (0.0%)
G7/8+オーストラリア +ニュージーランド	61,211 [6.7%]	35,690 (58.3%)	18,869 (30.8%)	1,298 (2.1%)	39 (0.1%)	1,286 (2.1%)	444 (0.7%)	22,427 (36.6%)	11,580 (18.9%)	10,133 (16.6%)	177 (0.3%)	537 (0.9%)	27 (0.0%)
うちアメリカ	26,376 [2.9%]	16,020 (60.7%)	7,434 (28.2%)	86 (0.3%)	5 (0.0%)	397 (1.5%)	163 (0.6%)	9,680 (36.7%)	5,214 (19.8%)	4,169 (15.8%)	61 (0.2%)	236 (0.9%)	25 (0.1%)
うちイギリス	10,044 [1.1%]	5,929 (59.0%)	3,370 (33.6%)	191 (1.9%)	0 (0.0%)	128 (1.3%)	41 (0.4%)	3,755 (37.4%)	1,972 (19.6%)	1,705 (17.0%)	17 (0.2%)	61 (0.6%)	0 (0.0%)
その他	105,983 [11.7%]	25,258 (23.8%)	16,428 (15.5%)	3,402 (3.2%)	22,835 (21.5%)	15,424 (14.6%)	1,991 (1.9%)	37,071 (35.0%)	19,554 (18.9%)	10,562 (10.0%)	1,074 (1.0%)	5,881 (5.5%)	2 (0.0%)

注1: 【 】内は、外国人労働者総数に対する当該国籍の者の比率。()内は、国籍別の外国人労働者総数に対する当該在留資格の外国人労働者数の比率を示す。

注2: 在留資格「特定活動」(②)は、ワーキング・ホリデー、外交官等に雇用される家事従事者等の合計。

4.3.3 シルバー人材

(公社)全国シルバー人材センター事業協会のホームページ(<http://www.zsjc.or.jp/>)によると、2014年度時点で1,304団体、721,721人が登録している。緑地マネジメント業務で一部のシルバー人材は既に活躍している。今後、わが国では高齢者が増加するため、シルバー人材の登録者数が増加する可能性が考えられる。また、除草清掃・草刈りは適度な運動になるため、高齢者の健康寿命を伸ばすことに貢献する可能性が考えられる。

したがって、わが国ではシルバー人材に緑地マネジメント業務を委託することは非常に効果的であると考えられる。

4.3.4 若年無業者

わが国における若年無業者は70万人以上で高止まりしており（図4-5）、社会問題化している。そのため、厚生労働省が（公財）日本生産性本部に委託する形で「サポートステーションネット」を開設し、若年無業者の就労支援に取り組んでいる。そこで、緑地マネジメント業務をサポートステーションネットと連携して若年無業者に委託し、彼らの社会復帰を支援するシステムの構築を検討している。除草清掃・草刈りは難易度の低い作業であり、ブランクの有無は影響しない。緑地マネジメント業務に従事することで、次第に生活のリズムが整い、少なからず給金をもらうことで自信が芽生え、より高い給金を稼ぎたいという欲望が湧き、本格的に社会復帰するための求職活動につながれば理想的である。除草清掃・草刈りに適性を感じた若年無業者は、造園業界に進み、高みを目指せばよい。

今後、サポートステーションネットと連携して若年無業者に対して意識調査を実施し、この企画の実現可能性を探る価値は高いと考えられる。

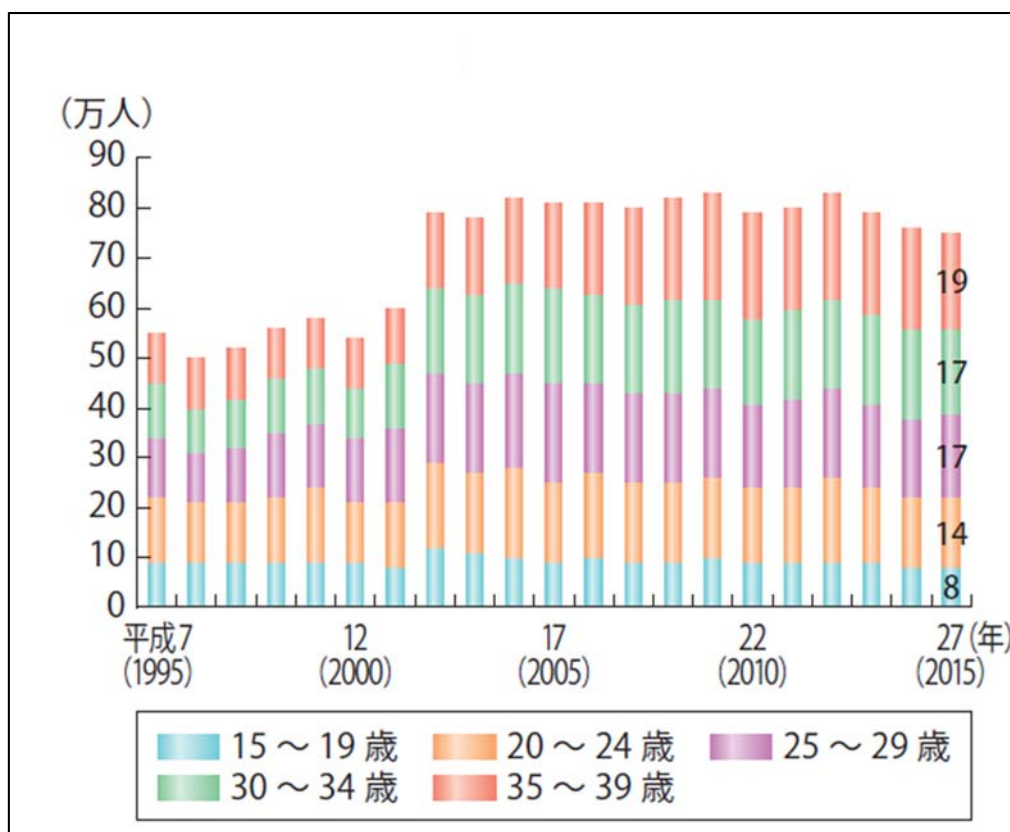


図4-5 若年無業者数の推移（出典：総務省「労働力調査」）

4.3.5 地域住民

コミュニティーガーデン形式を採用し、地域住民に緑地マネジメント業務を担ってもらうことも現実的であると考えられる（図4-6）。行政は、土木業者・造園業者に基礎工事を発注し、加えてレインガーデンの定期点検や緑化用植物・園芸道具の提供などの後方支援を担う。専門家はワークショップやシンポジウムで地域住民・行政職員・工事請負業者に専門的知見を提供し、スタートアップ支援を担う。

副次的効果として、地域住民の環境学習や減災学習につながることを期待される。

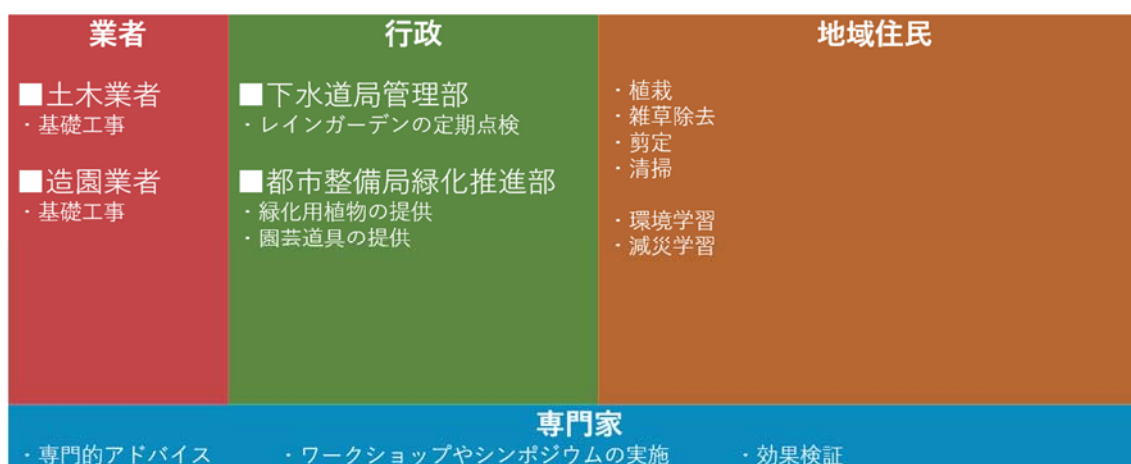


図4-6 コミュニティーガーデン形式でマネジメントする場合の役割分担

4.3.6 維持管理作業の低減化

緑地マネジメント業務を担う人材を確保することが困難である場合、砕石や玉砂利(図4-7)を敷き詰めれば、雑草の生育をある程度抑制することができる。梅雨時期になると雑草は生えてくるが、土壌のみのエリアと比べて非常に引き抜きやすくなる。さらに、砕石・玉砂利の色を黒にすると、アルベドの変化により熱の蓄積量が増大し、熱に弱い雑草はより生えにくくなる。しかしながら、砕石・玉砂利を敷き詰めると、図4-2の左側に示す都市緑地の機能の大部分が失われてしまうため、これは最終手段として認識しておく必要がある。



図4-7 国内外における砕石・玉砂利を有する庭園

(左上) 場所：オランダ・ロッテルダム、撮影時期：2014年4月

(右上) 場所：日本・京都市、撮影時期：2016年12月

(左下) 場所：オランダ・ロッテルダム、撮影時期：2014年4月

(右下) 場所：日本・京都市、撮影時期：2016年12月

第5章 まとめ

5.1 本研究から得られた知見

本研究から得られた知見を以下に箇条書きにて示す。

1. レインガーデン建設適地（標高 5.0m 未満、傾斜度 1.1 未満、地下水位 2.0m 以深）は、北部と南部に集中していることを確認した。北部は自然三角地であるため埋設されているライフラインに配慮すれば、レインガーデンは問題なく建設可能であると考えられる。一方、南部は埋立地であるため、埋立材料が環境汚染物質を含んでいる可能性について調査する必要がある。
2. レインガーデンだけで雨水をすべて処理することは困難であるが、既存の下水道とのベストミックス化を図ることにより、ゲリラ豪雨対策を講じることができる可能性が示唆された。これは従来型の下水道整備のみによる手法より経済的であるため、特に財政がひっ迫している地方圏において効果的であると考えられる。
3. レインガーデンの社会実装化に向けて、「分野横断型の事業化」、「土木業者と園芸業者の技術連携」、「緑地の維持管理システムの構築」の政策課題をクリアする必要があると考えられる。
4. レインガーデン建設適地をスクリーニングする場合は都市スケール、具体的な建設計画を立てる場合は町丁目スケールが適切であると考えられる。

5.2 今後の課題

今後の課題を以下に箇条書きにて示す。

1. 立地特性の異なる他の都市でも同様の GIS 分析を実施することにより、広島市デルタ市街地におけるレインガーデンの適性を相対的に評価する必要がある。同時に、この分析結果を用いてレインガーデン建設に関するわが国特有のメリット・デメリットを考察する必要がある。
2. 地下水位は時間の経過とともに変動するため、過去に遡って経年変化を把握する必要がある。
3. レインガーデン建設適地の土地所有者情報を入手することにより、建設難易度に関する優先順位をつける必要がある。
4. 現場透水試験を実施することにより、透水係数に関するデータを入手して GIS 分析に反映させる必要がある。
5. 地理空間情報を用いて一般住宅用貯水タンクの表面流水抑制量についてもシミュレートする必要がある。

謝辞

まず、国土計画・国土政策等に関する調査・研究にチャレンジする機会を与えてくださいました国土交通省国土政策局の関係者ならびに運営事務局の皆さまに深く御礼申し上げます。

次に、広島市浸水被害ハザードマップに関する資料提供及び雨水処理の維持管理単価の算出にご協力いただきました阪谷幸春氏（広島市企画総務局企画調整部長）と平井壮氏（広島市下水道局施設部計画調整課）に深く御礼申し上げます。

また、中間報告会及び最終成果報告会にてご指導いただき、本研究を正しい方向へ導いてくださいました池邊このみ先生（千葉大学大学院園芸研究科教授）に深く御礼申し上げます。池邊先生にご指導いただきましたことは、今後の研究活動にも大いに役立つと確信しております。

これからも謙虚に日々鍛錬を重ねることで研究者としての実力を養い、将来、わが国の国土計画・国土政策に大きく貢献したいと強く思っています。今後とも、どうぞよろしく願いいたします。

2017年3月14日 石松一仁
広島市デルタ市街地にて

引用文献

1. 浅枝隆 (2011) 図説生態系の環境, 98pp. 朝倉書店, 東京.
2. Alexander, C. (1977) *A Pattern Language: Towns, Buildings, Construction*, Oxford University Press, New York: 304-309pp.
3. Dietz, M. E. and Clausen, J. C. (2005), A field evaluation of rain garden flow and pollutant treatment. *Water, Air, and Soil Pollution* 167: 123-138.
4. Federal Interagency System Restoration Working Group (1998) *Stream Corridor Restoration Principles, Processes, and Practices*: 3-23pp.
http://www.nrcs.usda.gov/Internet/FSE_DOCUMENTS/stelprdb1044574.pdf (2016年8月6日アクセス)
5. Gallagher, M. T., Snodgrass, J. W., Ownby, D. R., Brand, A. B., Casey, R. E. and Lev, S. (2011) Watershed-scale analysis of pollutant distributions in stormwater management ponds. *Urban Ecosystems* 14: 469-484.
6. 平賀達也 (2015) 流域という視点から都市の再生を考える, *日本緑化工学会誌* 40(3):493-496.
7. 広島県 (2011) レッドデータブックひろしま 2011
<https://www.pref.hiroshima.lg.jp/site/tayousei/j-j2-reddata2-index2.html> (2016年12月21日アクセス)
8. 広島市 (1983) 広島新史-地理編-, 広島市, 広島
9. 細井由彦・増田貴則・赤尾聡史・灘英樹・高田大資 (2012) 人口減少が進む小規模自治体における下水道の長寿命化及び更新政策, *土木学会論文集G (環境)* 68(7): 681-690.
10. Hostetler, M. (2009), *Conserving biodiversity in subdivision development*. 71-80. University of Florida, Gainesville.
11. Ishimatsu, K., Ito, K., Mitani, Y., Tanaka, Y., Sugahara, T. and Naka, Y. (2017) Use of rain gardens for stormwater management in urban design and planning. *Landscape and Ecological Engineering* 13(1): 205-212.
12. Ishimatsu, K. and Ito, K. (2013) Brown/biodiverse roofs: a conservation action for threatened brownfields to support urban biodiversity. *Landscape and Ecological Engineering* 9: 299-304.
13. Ishimatsu, K. Ito, K. and Mitani, Y. (2012) Developing urban green spaces for biodiversity: a review. *Landscape Ecology and Management* 17(2): 31-41.
14. 伊東元・長崎浩・丸山仁司・橋詰謙・中村隆一 (1989) 健全男子の最大歩行速度における歩行周期の加齢変化, *日本老年医学雑誌* 26(4): 347-352.
15. 自治体国際化協会シンガポール事務所 (2015) シンガポールの少子化対策, *Clair Report* 418.

16. 気象庁 (2015) アメダスで見た短時間強雨発生回数の長期変化について
<http://www.jma.go.jp/jma/kishou/info/heavyraintrend.html> (2015年12月1日アクセス)
17. 国土交通省都市局公園緑地・景観課 (2016) 都市における生物多様性指標 (簡易版)
18. 桑野玲子・堀井俊考・山内慶太・小橋秀俊 (2010) 老朽下水管損傷部からの土砂流出に伴う地盤内空洞・ゆるみ形成過程に関する検討, 地盤工学ジャーナル 5(2):349-361.
19. 屋井裕幸 (2015) 日本における豪雨対策のこれまでとこれから, 日本緑化工学会誌 40(3):486-488.
20. Penniman DC, Hostetler M, Borisova T, Acomb G (2013) Capital cost comparisons between low impact development (LID) and conventional stormwater management systems in Florida. *Suburban Sustainability* 1(2), Article 1. Available at: <http://scholarcommons.usf.edu/subsust/vol1/iss2/1>. Accessed 15 Feb 2015
21. 徳江義宏・大澤啓志・今村史子 (2011) 都市域のエコロジカルネットワーク計画における動物の移動分散の距離に関する考察, 日本緑化工学会誌 37(1): 203-206.
22. 土金慧子・大澤啓志 (2008) 小規模な都市緑地におけるトカゲ類の生息に関する研究, 環境情報科学論文集 22:181-184.
23. Van-Meter, R. J., Swan, C. M. and Snodgrass, J. W. (2011) Salinisation alters ecosystem structure in urban stormwater detention ponds. *Urban Ecosystems* 14: 723-736.