

### S - 3 脱温暖化社会に向けた中長期的政策オプションの多面的かつ総合的な評価・予測・立案 手法の確立に関する総合研究プロジェクト

#### 3．都市に対する中長期的な二酸化炭素排出削減策導入効果の評価

##### ( 1 ) 都市シナリオの設定と二酸化炭素削減量統合評価

東京大学

大学院工学系研究科都市工学専攻 花木啓祐

<研究協力者> 東京大学

大学院工学系研究科都市工学専攻

石井 暁

#### [ 要旨 ]

昨年度、都市における中長期的な二酸化炭素排出削減策として将来可能性のある導入技術の洗い出しと、将来の都市シナリオの取りまとめを行った。これを受けて、今年度の研究では、気候条件、規模を代表する都市として選定した、札幌、宇都宮、東京、広島、那覇の 5 都市からいくつかを選び、空間分析を用いた民生建物部門からの二酸化炭素の排出量の推定を試みた。具体的には、2004 年における各都市内建物の内部用途を、最新情報である電子市街地地図をベースに、自治体が自主的に実施することが義務付けられている都市計画基礎調査建物現況調査、電話帳データベースで補完しながら推定し、別途求めた用途別・規模別に設定された二酸化炭素排出原単位から、都市内民生建物におけるエネルギー需要と二酸化炭素排出量を推定した。それぞれの地域差を反映させる要素としては、全国を寒冷地域、関東・中部地域、近畿以西地域の 3 分類に分割した空調設備の導入割合、各電力供給会社における単位電力あたりの排出量原単位をもちいた。

札幌市、宇都宮市、那覇市における検討の結果、電力需要、ガス需要、二酸化炭素排出量の空間分布を示した。宇都宮市は那覇市より年間電力消費量およびガス消費量において上回っているにもかかわらず、地域電源構成の違いにより、那覇市のほうが総合的に二酸化炭素排出量が大きいこと、各都市における、電力およびガス消費量由来の二酸化炭素排出量割合に地域差が見られることなどが明らかとなった。これら気候区分の異なる 3 都市の検討により、地域差をより正確に反映させるためにパラメータをより深く検討し、精度の向上を図る必要性はあるが、今後の都市における二酸化炭素排出削減策導入効果検討のベースとなることが期待される。

[ キーワード ] 二酸化炭素排出量、宇都宮、那覇、札幌、GIS

#### 1．目的

都市における中長期的な二酸化炭素排出削減策の評価には、導入可能性のある将来技術の洗い出しをおこない、正確な現状把握に基づく将来の都市の形態を注意深く検討する必要がある。都市における二酸化炭素の排出削減策としての技術および政策の導入は、都市の規模や属する気候区分などにより異なるため、幅広いオプションの可能性を考慮する必要があると同時に、空間分布を考慮した木目の細かな検討が必要となる。

例えば、都市からの二酸化炭素の主要排出源である民生建物系への対策として、地域冷暖房や太陽光発電等の技術は、技術的およびコストの両面における進展が早く、将来的に重要なオプションのひとつとなることが期待されている。しかし、これらの導入可能性やその効果を都市レベルでより正確に推定するためには、都市内部の現在および将来のエネルギー需要の空間分布を詳しく把握することが重要である。しかし、既存研究で多く用いられている検討方法では、一般的に入手が容易である3次メッシュ（1kmx1km）等を利用したものが多く、流域圏や都道府県レベルの推定<sup>1),2)</sup>には適しているものの、都市のレベルでの適正技術導入評価には適切ではない。

そこで本研究では、昨年度検討対象都市として選定された札幌市、宇都宮市、東京都区部、広島市、那覇市の5都市の中から、比較的データの整備が進んでいる札幌市、宇都宮市、那覇市を取り上げ、建物民生部門からのエネルギー需要に伴う二酸化炭素排出量を推定した。分析にあたり、各統計データベースの強みを生かすことにより、各建物レベルにおける用途別床面積と、原単位法によるエネルギー需要の推定方法に工夫した。

## 2. 方法

### (1) データベース

本研究では、都市計画基礎調査建物現況調査（以下、建物現況調査）、電話帳データおよび市街地地図を用い、建物内の用途別床面積を推定した。それぞれのデータベースは整備状況や仕様

表1 各データベースの長所および短所

データ	長所	短所
建物現況調査	<ul style="list-style-type: none"> <li>・最も多くの建物内用途情報が得られる</li> <li>・延床面積が与えられている場合が多い</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・用途分類など調査内容が統一されていない（自治体により異なる）</li> <li>・用途分類が分析に不適</li> <li>・アップデートが不規則（基本的に5年に一度）</li> <li>・全建物が網羅されていないことが多い（例：市街化地域のみ）</li> </ul>
電話帳データ	<ul style="list-style-type: none"> <li>・個別名義が与えられている</li> <li>・最も細かな用途分類</li> <li>・単一建物内の複合用途を推定可能</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・電話番号と座標による住所のマッチングが不完全であり、正確な住所を特定できない場合が多い</li> </ul>
市街地地図データ	<ul style="list-style-type: none"> <li>・最新データが手に入る</li> <li>・所有者の名義がいくらか入っている</li> <li>・民間データであるため建物情報がより正確</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・用途分類が不十分（3分類のみ）</li> <li>・建物階数データはほとんどない</li> <li>・延床面積はなし（建築面積のみ）</li> </ul>

が年度や地域により大きく異なり、それらの強みをうまく組み合わせる必要がある。表1に各データベースにおける長所と短所を示す。札幌市、宇都宮市、那覇市における基本情報、および研究に使用したデータベースの更新状況を表2に示す。総人口および総世帯数は平成17年度国勢調査の速報値または、平成17年度10月現在の値を示した。

### (2) 各都市の基本情報および建物内用途・規模の分類

札幌市、宇都宮市、那覇市ともに最新情報である市街地地図情報を検討のベースマップとして

用いた。建物内用途の推定は、建物現況調査を中心に、電話帳データおよび市街地地図データを補完的に用いることによりおこなった（詳細は昨年度報告書参照）。特に建物現況調査の用途分類は各自治体で独自の分類がなされているが、後述するエネルギー需要および二酸化炭素排出量原単位を計算する際に用いる用途に再集計した。集計後の用途カテゴリを表3に示す。

表2 各都市における基本情報および使用されたデータベースの更新年月日

	札幌市	宇都宮市	那覇市
<b>基本情報</b>			
総人口（2005年国勢調査より）	1,880,875	453,210	312,308
総世帯数（2005年国勢調査より）	837,371	182,020	122,464
建物総棟数（市街地地図より）	520,442	208,127	62,741
面積（km <sup>2</sup> ）	1121.12	312.16	38.99
気候区分 <sup>*1</sup>	I.北海道	南東北 宮城，福島，長野	VI.沖縄
<b>空間情報データベース</b>			
建物用途データ （都市計画基礎調査建物用途現況図）	2003年度 （平成15）	2001年度 （平成13）	2001年度 （平成13）
市街地地図データベース （ゼンリン社：ZmapTownII）	2004年10月 <sup>*2</sup>	2004年6月	2004年11月
電話帳データベース （ゼンリン社：TelPoint 全件版）	2003年10月	2003年9月	2004年6月

\*1: 一般的に北海道（I類），北東北（II類），南東北（III類），関東、東海、近畿、中国、四国、九州（IV類），南九州（V類），沖縄（VI類）の6区分に分類される。

\*2: 一部の区 = 2005年1月

### (3) 二酸化炭素排出量原単位の算出

規模別用途別床面積におけるエネルギー需要原単位

規模別用途別のエネルギー需要は近本ら<sup>3)</sup>のデータベースを用いて算出した。このツールには、各種の空調設備を導入した場合の建物用途および規模別における床面積当たりの年間エネルギー

表3 建物用途別規模別の分類

用途別	規模別	備考
官公庁施設	1000 m <sup>2</sup> 未 満 , 1000-2000m <sup>2</sup> , 2001-5000m <sup>2</sup> , 50001-10000m <sup>2</sup> , 10001-30000m <sup>2</sup> , 30001m <sup>2</sup> 以上	業務施設と同様とした
教育文化施設	1000 m <sup>2</sup> 未 満 , 1000-2000m <sup>2</sup> , 2001-5000m <sup>2</sup> , 50001-10000m <sup>2</sup> , 10001-30000m <sup>2</sup> , 30001m <sup>2</sup> 以上	業務施設と同様とした
厚生医療施設		
業務施設	1000 m <sup>2</sup> 未 満 , 1000-2000m <sup>2</sup> , 2001-5000m <sup>2</sup> , 50001-10000m <sup>2</sup> , 10001-30000m <sup>2</sup> , 30001m <sup>2</sup> 以上	
専用商業施設	1000 m <sup>2</sup> 未 満 , 1000-2000m <sup>2</sup> , 2001-5000m <sup>2</sup> , 50001-10000m <sup>2</sup> , 10001-30000m <sup>2</sup> , 30001m <sup>2</sup> 以上	
住商併用施設	2000m <sup>2</sup> 未満, 2001-10000m <sup>2</sup> , 10000m <sup>2</sup> 以上	集合住宅50% + 専用商業施設50%の平均とした
宿泊遊興施設		
スポーツ興行施設		業務施設の50%とした
独立住宅		
集合住宅	2000m <sup>2</sup> 未満, 2001-10000m <sup>2</sup> , 10000m <sup>2</sup> 以上	
専用工場		重・軽・サービスを含む。
住居併用工場		集合住宅50% + 専用工場50%とした
倉庫運輸関連施設		単独の駅舎などが含まれるが倉庫の比率が大きいため需要 = 0とした
その他		屋外利用地、仮設建物、農業関連施設が含まれる。需要なしと仮定した

需要を求めることができる。あらかじめツールを用いて、それぞれの規模別用途別の建物に各地域における空調設備導入割合（下記）を考慮して原単位を求め、建物内部の用途別床面積を掛け合わせて各建物のエネルギー需要とした。

#### 単位消費電力および消費ガスあたりの原単位

都市における単位消費電力あたりの二酸化炭素排出量は、供給電力会社の電源構成の違いにより大きく異なる。札幌市、宇都宮市、那覇市は、それぞれ北海道電力、東京電力、沖縄電力の値を用いた。それぞれの平均年間原単位を表4に示す。ガスについては、原単位を2.37t-CO<sub>2</sub>/Nm<sup>3</sup>とした。

表4 電力供給会社における年間平均二酸化炭素排出量原単位

都市	札幌市	宇都宮市	那覇市
供給電力会社	北海道電力	東京電力	沖縄電力
二酸化炭素排出量原単位 ( t-CO2/kWh )	0.52 (2003) *1	0.32 ( 2001 )	0.94 (2004)

\*1: 括弧内は年度を表す

#### (4) 空調設備導入割合の推定

事務所建物および商業建物の用途別規模別の空調システム採用割合は、建築設備情報年鑑・竣工設備データ(ELPAC)およびその集計データを用いた論文<sup>4), 5)</sup>を参考に、地域別・建物規模別空調設備導入割合を用いて求めた。データベースは、建物の調査結果を、規模別として5000m<sup>2</sup>以下、5001~10000m<sup>2</sup>以下、10000~30000m<sup>2</sup>、30000m<sup>2</sup>以上の4分類、地域別として、寒冷地、関東・中部、近畿以西の3分類に分けて集計してある。したがって、札幌市、宇都宮市、那覇市はそれぞれ

表5 業務施設建物の規模別空調設備採用割合

		~1000m <sup>2</sup>	1001~ 2000m <sup>2</sup>	2001~ 5000m <sup>2</sup>	5001~ 10000m <sup>2</sup>	10001~ 30000m <sup>2</sup>	30000m <sup>2</sup> ~
札幌市	中央熱源 電動空冷チラー	0.3%	3.9%	16.6%	31.0%	32.9%	41.5%
	中央熱源 ガス吸収式	0.3%	4.0%	5.8%	20.8%	48.8%	58.5%
	個別熱源 電気式パッケージ	99.4%	92.2%	77.6%	48.2%	18.3%	0.0%
宇都宮 市	中央熱源 電動空冷チラー	0.3%	3.9%	17.4%	34.4%	36.5%	42.1%
	中央熱源 ガス吸収式	0.3%	4.0%	6.3%	19.6%	46.1%	54.1%
	個別熱源 電気式パッケージ	99.4%	92.2%	76.3%	46.0%	17.4%	3.8%
那覇市	中央熱源 電動空冷チラー	0.3%	3.9%	16.4%	33.2%	35.6%	42.5%
	中央熱源 ガス吸収式	0.3%	4.0%	5.7%	19.6%	45.1%	51.7%
	個別熱源 電気式パッケージ	99.4%	92.2%	77.8%	47.3%	19.3%	5.8%

表6 商業施設建物の規模別空調設備採用割合

		~1000m <sup>2</sup>	1001~ 2000m <sup>2</sup>	2001~ 5000m <sup>2</sup>	5001~ 10000m <sup>2</sup>	10001~ 30000m <sup>2</sup>	30000m <sup>2</sup> ~
札幌市	中央熱源 電動空冷チラー	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%
	中央熱源 ガス吸収式	9.9%	14.9%	25.7%	37.3%	44.9%	45.3%
	個別熱源 電気式パッケージ	90.2%	85.1%	74.3%	62.7%	55.1%	54.7%
宇都宮市	中央熱源 電動空冷チラー	0.0%	0.0%	0.0%	4.4%	2.4%	0.7%
	中央熱源 ガス吸収式	9.9%	14.9%	17.6%	36.1%	58.3%	58.4%
	個別熱源 電気式パッケージ	90.2%	85.1%	82.4%	59.5%	39.3%	40.9%
那覇市	中央熱源 電動空冷チラー	0.0%	0.0%	3.7%	9.4%	4.2%	6.2%
	中央熱源 ガス吸収式	9.9%	14.9%	19.8%	37.2%	68.0%	58.1%
	個別熱源 電気式パッケージ	90.2%	85.1%	76.6%	53.4%	27.8%	35.7%

れの地域に属するとして、各地域における実際の調査建物数から規模別の設備導入割合を加重平均によって求めた。戸建住宅は全て個別熱源（熱交換器なし）と仮定した。延床面積5000m<sup>2</sup>以下の建物については、文献値<sup>5)</sup>を参考に全国共通とした。3都市における規模別、業務施設および商業施設の空調施設採用割合を表5および表6に示す。

### 3．結果および考察

#### (1) 電力・ガス年間需要および二酸化炭素排出量

表7に各都市における年間電力需要量、年間ガス需要量および年間二酸化炭素排出量とその内訳を示す。また、各都市においてこれらを空間的に可視化し、100mメッシュで集計したものを図1-図3に示す。全体の結果より、都市由来の二酸化炭素排出量における地域差が明らかとなっている。まず、札幌市、宇都宮市、那覇市の人口はそれぞれ、札幌市（188万人）＞宇都宮市（45.3万人）＞那覇市（31.2万人）であり、電力需要、ガス需要共に同様の傾向が見られるものの、二酸化炭素の排出量は那覇市が宇都宮市を上回る結果となった。

一人あたりの電力・ガス需要および二酸化炭素排出量では、電力需要に大きな差はみられないが、ガス需要および二酸化炭素排出量で比較的大きな地域差が現れている。例えば、ガス需要は那覇市がその他の都市と比較して小さいが、一人当たりの二酸化炭素排出量は最も大きい。那覇市においてガス需要、ガス吸収式などの空調設備導入割合が小さいこと、単位面積当たりのガス需要が最も大きい戸建住宅や集合住宅が少ないことが原因であると考えられる。また、二酸化炭素排出量は、沖縄電力における、単位消費電力あたりの二酸化炭素排出量原単位が他の2地域と比較して（表4）、大きいことが原因であると考えられる。

表7 各都市における電力需要、ガス需要および年間二酸化炭素排出量

	札幌市	宇都宮市	那覇市
総人口（2005年国勢調査より）	1,880,875	453,210	312,308
総世帯数（2005年国勢調査より）	837,371	182,020	122,464
建物総棟数（市街地地図より）	520,442	208,127	62,741
電力需要（GWh/year）	14360.2	3583.7	2699.4
一人当たりの電力需要（MWh/year）	7.63	7.91	8.64
ガス需要（ $\times 10^6 \text{Nm}^3/\text{year}$ ）	466.0	133.7	53.2
一人当たりのガス需要（ $\text{Nm}^3/\text{year}$ ）	247.77	295.08	170.45
二酸化炭素排出量 （ $\times 10^3 \text{t-CO}_2/\text{year}$ ）	電力由来 7467.31 （87.2%）	1136.04 （78.3%）	2402.44 （95.0%）
	ガス由来 1099.81 （12.8%）	315.61 （21.7%）	125.63 （5.0%）
	合計 8567.12	1451.65	2528.07
一人あたりのCO2排出量（ $\text{tCO}_2/\text{year}$ ）	4.55	3.20	8.09

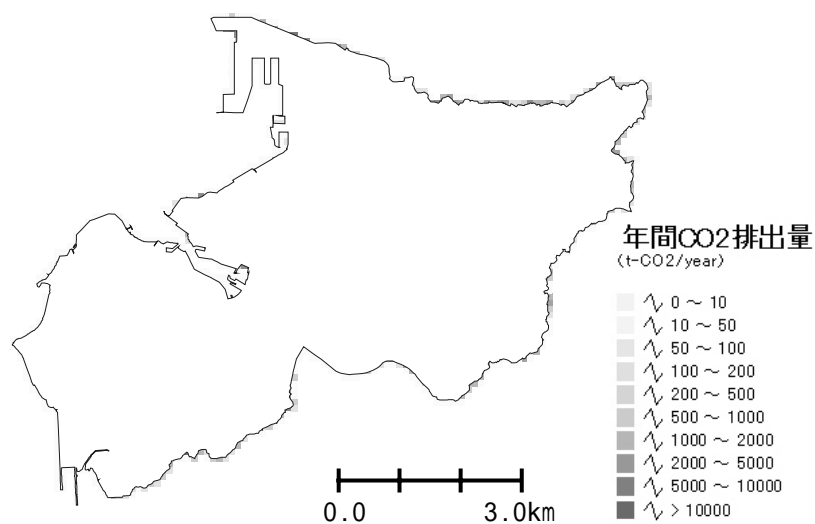


図1 那覇市における年間二酸化炭素排出量（100mメッシュ）

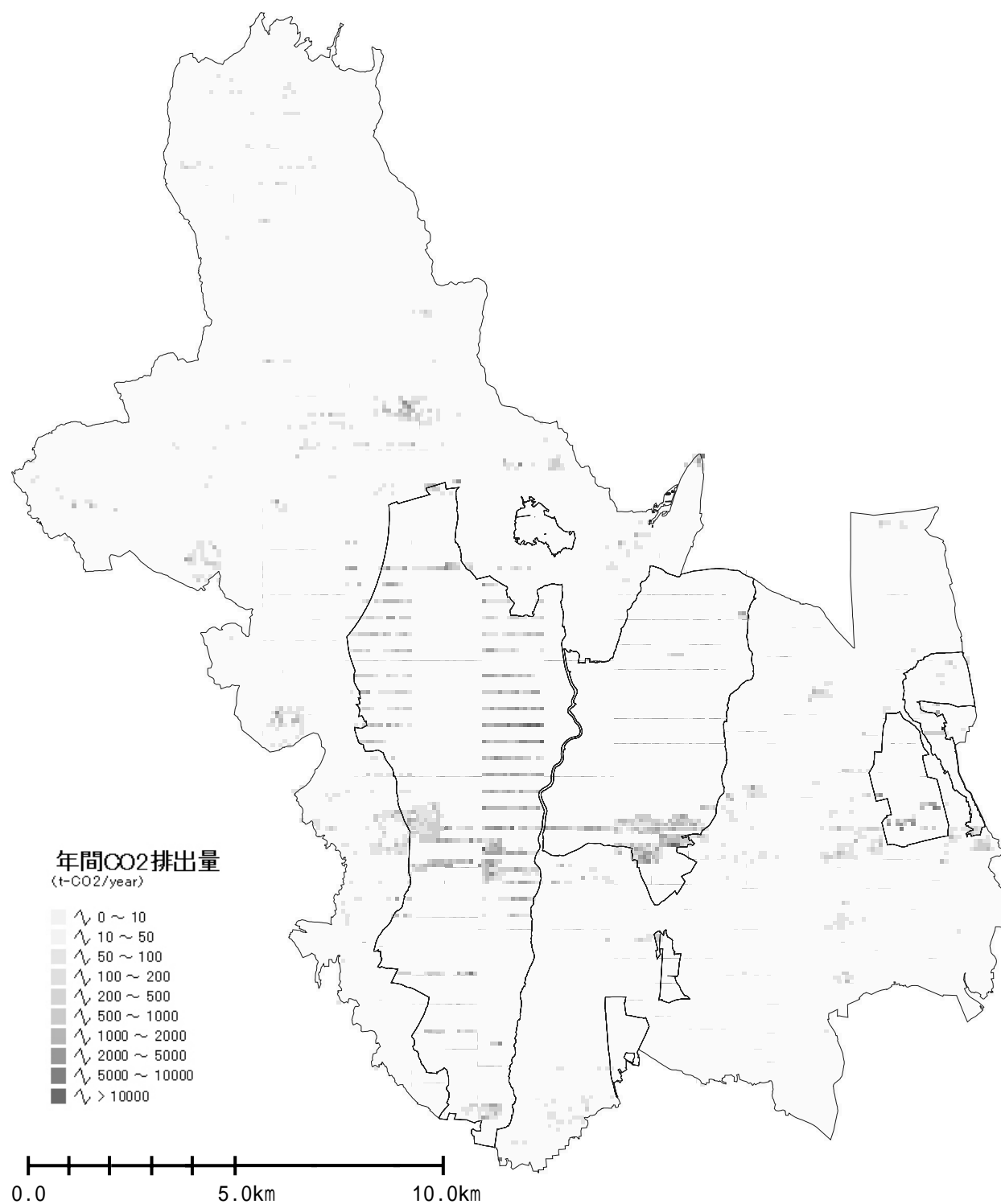


図2 宇都宮市における年間二酸化炭素排出量（100mメッシュ）  
（\*図中枠内は市街化区域を表す）



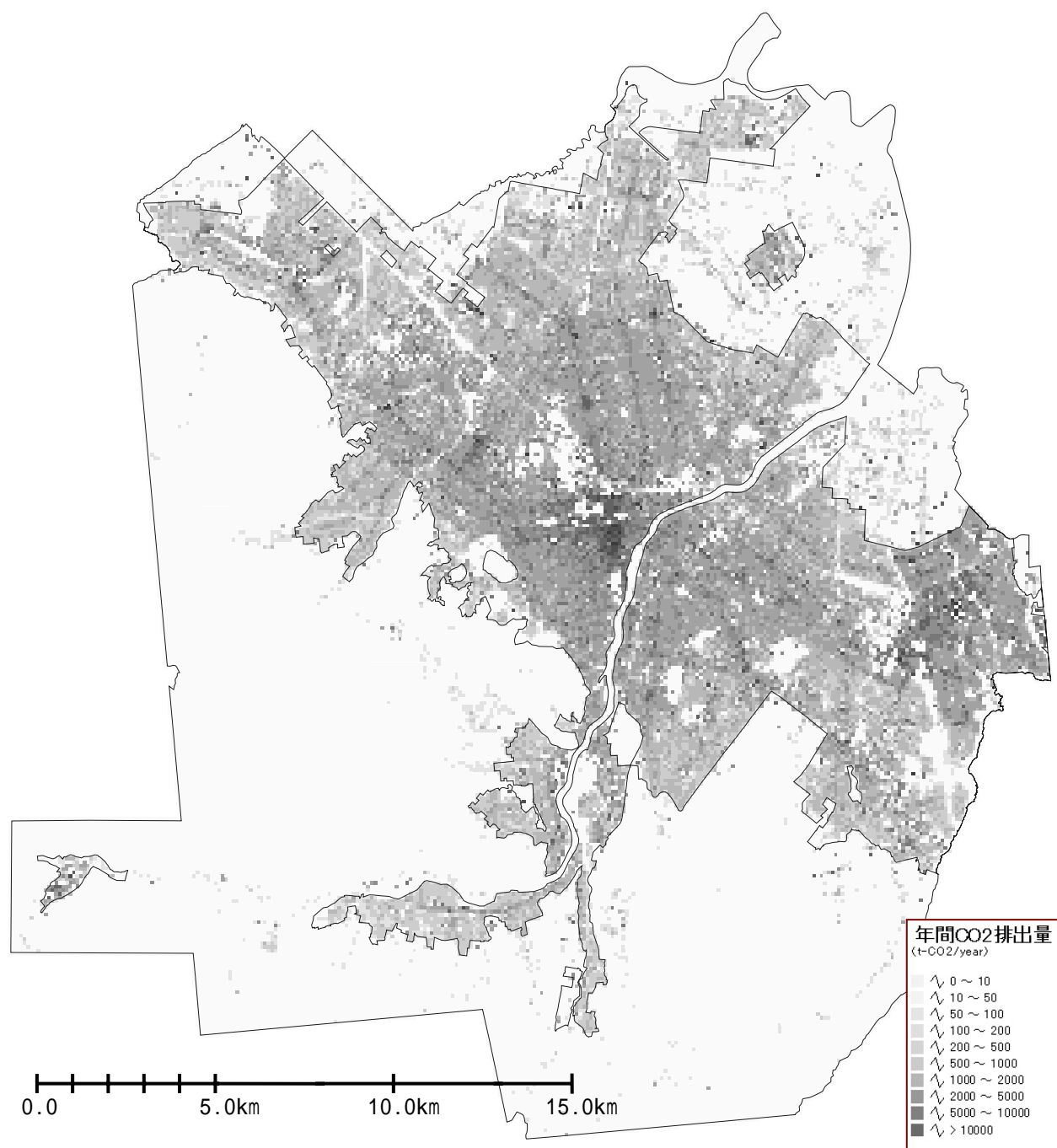


図3 札幌市における年間二酸化炭素排出量（100mメッシュ）  
（\*図中枠内は市街化区域を表す）

二酸化炭素排出量の空間分布は、宇都宮市や札幌市において、幹線道路に沿って比較的排出量の多い建物が分布している傾向が示されているが、那覇市ではそれらの空間的な偏りは少なく、南西部を除く市内ほぼ全域においてエネルギー需要が高い。これは、那覇市のように、比較的小さくてエネルギー需要が高い都市については地域冷暖房など様々な技術導入の可能性が考えられるが、札幌市や宇都宮市では検討に注意が必要であることを示している。

#### 4．本研究により得られた成果

本研究の成果より次の2つの成果が特に重要であると考えられる。第一に、様々な統計データを統合させることにより、都市レベルでの空間分析を可能にする木目の細かな分析方法を確立した。特に、空間分布を把握することにより、将来技術の導入評価を行うことが可能となった。

第二に、札幌市、宇都宮市、那覇市の検討において、同じ民生建物系におけるエネルギー需要と二酸化炭素の排出量ながらも、それぞれの地域において、大きな差があることが確認された。地域差をより正確に反映させるためにパラメータをより深く検討し、精度の向上を図る必要性はあるものの、今後の都市における二酸化炭素排出削減策導入効果において検討のベースとなることが期待される。

#### 5.参考文献

- 1) 田畑智博, 後藤尚弘, 藤江幸一, 井村秀文, 薄井智貴: 発生源空間分布から見た廃棄物輸送・再資源化施設の適正配置に関する研究, 土木学会環境システム研究論文集, Vol.30, pp.315-322, 2002
- 2) 丹治三則, 盛岡 通, 藤田 壮: 流域圏でのシナリオ誘導型施策立案と評価を支援する地理情報システムに関する研究, 土木学会環境システム研究論文集, Vol.31, pp.367-377, 2003
- 3) 近本智行, 伊香賀俊治, 永瀬修: 建物で消費されるエネルギーの定量データベース, 第20回エネルギーシステム・経済・環境コンファレンス論文講演集, pp. 271-274, 2004
- 4) 足永晴信, 田中稔, 山本享, 田口明美: 冷熱源機器の導入割合を考慮した空調システムおよび関連機器の地域排熱量に関する研究, 空気調和・衛生工学論文集, No.86, pp.77-85, 2002
- 5) 国土交通省・環境省: 平成15年度都市における人工排熱抑制によるヒートアイランド対策調査報告書: 2004

#### 6．国際共同研究等の状況

該当なし

#### 7．研究成果の発表状況

##### (1) 誌上発表

<論文(査読あり)>

なし

<その他誌上発表(査読なし)>

なし

##### (2) 口頭発表(学会)

なし

( 3 ) 出願特許

なし

( 4 ) シンポジウム、セミナーの開催(主催のもの)

なし

( 5 ) マスコミ等への公表・報道等

なし

#### 8 . 成果の政策的な寄与・貢献について

本研究により都市スケールでの解析精度の高い二酸化炭素削減量の統合評価手法が確立された。  
今後更なる具体的な適用例とともに結果が蓄積されれば、将来都市における二酸化炭素削減の政策提言をサポートする強力なツールとなることが期待できる。