

# 市区町村別直接・間接排出量の推計と その視覚化に関する研究

中道 久美子<sup>1,2</sup>・山形 与志樹<sup>3</sup>・花岡 伸也<sup>4</sup>・王 旭陽<sup>5</sup>

<sup>1</sup>正会員 国立環境研究所 地球環境研究センター (〒305-8506 つくば市小野川16-2)

E-mail: nakamichi.kumiko@nies.go.jp

<sup>2</sup>正会員 東京工業大学大学院理工学研究科国際開発工学専攻 (〒152-8550 東京都目黒区大岡山2-12-1)

E-mail: nakamichi@ide.titech.ac.jp

<sup>3</sup>非会員 国立環境研究所 地球環境研究センター (〒305-8506 つくば市小野川16-2)

E-mail: yamagata@nies.go.jp

<sup>4</sup>正会員 東京工業大学大学院理工学研究科国際開発工学専攻 (〒152-8550 東京都目黒区大岡山2-12-1)

E-mail: hanaoka@ide.titech.ac.jp

<sup>5</sup>非会員 東京工業大学大学院理工学研究科国際開発工学専攻 (〒152-8550 東京都目黒区大岡山2-12-1)

E-mail: wxy@tp.ide.titech.ac.jp

気候変動緩和策としてCO<sub>2</sub>排出量の削減は、国際的にも喫緊の課題である。これまで地域レベルでの排出量推定の試みがなされてきたが、全部門を総合して直接・間接排出量の両面から推計し、その空間分布を容易に比較できる手法は十分に確立されていない。本研究は、市区町村レベルで直接・間接排出量の空間分布を分析し、誰もが直感的に把握できるよう可視化することを目的とする。具体的には、家庭・業務・産業・運輸の各部門の直接排出量を算定する研究成果をGISで統合するとともに、家計最終消費に基づく間接排出量を推計し、面積カルトグラムを用いて可視化した。排出量を排出場所に割り付ける直接排出と最終需要者側に割り付ける間接排出の両面から推計することで、排出責任の観点から比較し、空間分布特性の違いを視覚的に表現することができた。

**Key Words :** *climate change mitigation, direct/indirect CO<sub>2</sub> emission, spatial distribution, visualization*

## 1. はじめに

気候変動に関する政府間パネル(IPCC)の第5次報告書<sup>1)</sup>は、最近30年間の各10年間の世界平均地上気温は、1850年以降のどの10年間よりも高温であること、気候変動の原因が人間活動によるものであり、地球温暖化は人間が排出する温室効果ガスによることを明言した。特に、二酸化炭素(CO<sub>2</sub>)の累積総排出量と世界平均地上気温の応答は、ほぼ比例関係にあることが示され、CO<sub>2</sub>排出量の削減が急務となっている。

2012年度の日本の二酸化炭素排出量はCO<sub>2</sub>換算で12億トンである。2013年11月には、ポーランド・ワルシャワにおいて、「国連気候変動枠組条約第19回締約国会議(COP19)」が行われ、政府は原発の稼働ゼロを前提に2020年には2005年比3.8%の温室効果ガスを削減することを国際的に表明した。東日本大震災の際の福島での原

子力発電所の事故の後、原子力発電所の停止に伴う火力発電所の稼働増加で化石燃料依存度が高まり、CO<sub>2</sub>排出量が増加している中で、目標の実現に向けて国内対策のための法整備や政策立案が急務となっている。

しかし、地方自治体においても気候変動に対する緩和策の実施が急務であるにも関わらず、規模の大きい自治体以外の温暖化対策はあまり進んでいないのが現状である<sup>2)</sup>。そもそも地域レベルのCO<sub>2</sub>排出量の現状が把握されておらず、対策や計画も立てにくいのが温暖化対策の大きな課題の一つである<sup>3)</sup>。そのため、国レベルの数値目標達成を具体的に計画するため、地域(県・市区町村)レベルでの温暖化対策の検討が必要であり、地域での排出量推計の高精度化が求められている。これまでも、各部門で地域レベルでの排出量推定の試みがなされてきた<sup>4)5)6)</sup>。このように一般的に推計されている「直接排出量」に対して、排出責任について考えてみると、生産や

サービスに伴うCO<sub>2</sub>排出量は生産者の責任ではなく、最終消費者の消費生活に起因しているものが多くを占めている<sup>7)</sup>。そのため、CO<sub>2</sub>排出量を算定する際、エネルギー転換や製造・運輸等に伴う排出量を排出場所に割り付けた「直接排出量」のみならず、エネルギーや製造物、サービス等を使用する最終消費者に、それぞれの消費量に応じて割り付けた「間接排出量」も重要である。最終消費者として世帯に着目し、家計消費に基づく間接排出量を推計した研究としては、2人以上世帯・単身世帯、世帯人員、住宅所有関係、収入階級、世帯主年齢の各区分で排出量を算出し全国平均値と比較した研究<sup>8)</sup>がある。同様に、全国消費実態調査、全国物価統計調査等のデータも用いて品目別支出金額を補正した上で、世帯人員別のCO<sub>2</sub>排出量を全国平均と全国6地域別に算出した研究<sup>9)</sup>もある。また、近年は、これらの間接排出量の概念に基づきシナリオ分析で評価する研究<sup>10)11)12)</sup>も行われつつあるが、そもそも市区町村単位において全部門を総合して現状のCO<sub>2</sub>排出量を推計し、その空間分布を比較分析する手法はまだ十分に確立されていない。

特に、直接排出量・間接排出量の両面から推計することで、排出責任の観点から議論することが可能となり、行政担当者等が政策を検討する際に有用な情報となる。また、世帯の家計消費に基づく間接排出量は、ライフスタイルや生活サービスの面で一般住民の生活に深い関連があり、その見直しにより削減を促すことが重要である。しかし、数値の把握だけでは一般住民がその重要性を直感的に理解することは難しく、専門的知識の乏しい人々も含めて誰もが一目で理解できるよう、視覚に訴える必要がある。

そこで、本研究では、積み上げ方式の推計方法をベースとし、市区町村レベルで、全部門を統合した直接・間接排出量の空間分布状況について分析し、誰もが直感的に把握できるよう可視化することを目的とする。具体的には、市区町村単位あるいはメッシュ単位で、家庭・業務・産業・運輸の各部門のCO<sub>2</sub>排出量を算定する研究成果を活用して直接排出量をGISで統合する。間接排出量については、産業連関表を考慮した原単位と市区町村別の家計消費、世帯数を用いて間接排出量を算定する手法を確立し、全国市区町村単位で推計する。そして、その値によって地図を変形し視覚的に表現した面積カルトグラムを用いることにより、可視化を行う。

## 2. CO<sub>2</sub>排出量の推計方法と視覚化の手法

### (1) 直接排出量と間接排出量の定義と意義

本研究において、「直接排出量」は、エネルギー転換や製造、運輸等に伴う排出量を、排出場所に割り付けた

値、「間接排出量」は、エネルギーや製造物等を使用するユーザー（最終需要部門）に、それぞれの消費量に応じて割り付けた値と定義している。なお、間接排出量に関しては、都市ガス、ガソリン、LPG、灯油の消費分として、上記の定義で算定された結果に、別途それらのエネルギーの使用に伴う「直接燃焼分」のCO<sub>2</sub>排出量を加える必要がある。

従来は、CO<sub>2</sub>排出量は「直接排出量」で定義されることが一般的であるが、間接排出量の評価方法を用いることで、排出責任について議論することが可能となる。例えば、直接排出量の視点で評価すると、火力発電所や大型工場が中小自治体に立地しているケースでは、その場所のCO<sub>2</sub>の排出量が多いことになる。しかし、それらの製造やエネルギー転換はあくまで最終消費者のために行っており、市区町村の政策としてコントロールすることは難しい<sup>13)</sup>。それに対して、間接排出量の観点をを用いて、排出責任を最終消費部門へ再定義してから評価することは、CO<sub>2</sub>排出量削減の政策立案の材料としては有用だと考えられる。

### (2) 直接排出量の推計方法

#### a) 民生部門（家庭）

民生部門（家庭）のCO<sub>2</sub>排出量推計における基礎データは総務省家計調査であり、その月報及び四半期報から得られた地域別光熱費支出額と世帯属性別光熱費支出額を用い、さらに住宅のエネルギー消費実態調査や小売物価統計等の各種統計を組み合わせることでエネルギー源別・用途別のエネルギー消費量推計のためのデータを得ている。ここで、用途については暖房、冷房、給湯、厨房、照明他で区分している。そして、世帯人員の多い世帯の方がエネルギー消費効率が高いため1人当たりで見ると単身世帯ではCO<sub>2</sub>排出量の値が大きくなる等、世帯属性によって原単位が異なることを考慮し、高齢単身、若中年単身、高齢夫婦、若中年夫婦、片親と未婚子供、夫婦と未婚子供、その他で区分した家族構成によって分類した。また、分析対象エネルギー源は、電力、都市ガス、LPG、灯油とした。なお、分析対象年次は全部門ともに2005年としている。

家計調査の複数の集計表をより合理的に説明する地域別属性別光熱費支出額の集合を、ベイズ推定及び遺伝的アルゴリズムにより推計した後、エネルギー源別消費量と用途別エネルギー消費量を推定する田中らの方法<sup>14)</sup>を用いて、都道府県及び7都市別に用途別家族構成別CO<sub>2</sub>排出量原単位を推定した。そして、推定された原単位を市区町村別家族構成別世帯数に乗じることで、市区町村別CO<sub>2</sub>排出量を算出した。

#### b) 民生部門（業務）

まず、基礎指標としては、固定資産の価格等の概要調

書、公共施設状況調、学校基本調査、財政金融統計月報・国有財産特集、医療施設静態調査、商業統計・業態別統計編及び大規模小売店舗統計編、事業所統計、建築統計・建物用途別・着工床面積の各種データを用い、建物用途別床面積を整理した。建物用途の区分については、事務所ビル、卸・小売業（区分：百貨店、スーパー[食品あり]、スーパー[食品なし]、コンビニエンスストア、その他小売業、卸売業）、飲食店、学校（保育園・幼稚園、小中学校、短大・大学、試験研究機関）、宿泊（ホテル・旅館）、医療（病院、診療所）、その他（区分：文化施設、スポーツ施設、娯楽施設、福祉施設）としている。

次に、主にエネルギー経済研究所による調査結果から、建物用途別・エネルギー種類別・熱用途別のエネルギー消費量及び構成比を得た。ここで、エネルギー種類区分については、電力、都市ガス、LPG、灯油、A重油とし、熱用途区分については、暖房、冷房、冷蔵冷凍、給湯、厨房、動力、照明とした。

推計方法としては、建物用途別床面積にエネルギー種類別・熱用途別消費量と構成比を乗じて算出した外岡らによる都道府県別の推計結果<sup>15)</sup>を利用し、2004年事業所・企業統計から得られた市区町村別・業種別の従業者数比に応じて配分を行った。

### c) 産業部門

まず、基礎データとして、物質、領域・年次、発生源に関するデータと、エネルギー消費量、植生データ、土地利用データ等の活動量データを独自に得ている。また、排出係数だけでなく、空間配分係数・ジオメトリ変換、時間配分係数、高さ配分係数等も考慮している。ここで、産業セクターの区分としては、電気業、熱供給業、都市ガス製造業、農林業、水産業、鉱業、建設業、製造業、機械、廃棄物焼却を採用している。

推計には、排出量の部門別管理、環境動態モデル及び対策評価モデルへの基盤データ提供を目的としたシステムであるG-BEAMS (Georeference-Based Emission Activity Modeling System)<sup>16)</sup>を利用している。まず、NO<sub>x</sub>排出量を推計した後、人口、生産額、従業員数、土地利用形態等の空間代替データを用いて市区町村単位で空間配分を行った。そして、日本ではNO<sub>x</sub>排出量とCO<sub>2</sub>排出量の相関関係があることを考慮し、日本全体の産業セクター別CO<sub>2</sub>排出量<sup>17)</sup>をNO<sub>x</sub>排出量の空間分布に応じて配分した。

### d) 運輸部門

まず、本研究では、特に運輸部門の中でも排出量が多くその削減が懸念されている自動車に着目することとする。使用データとしては、道路交通センサス及び自動車輸送統計年報から得られた交通量、走行量・平均速度、保有台数、車種・年式構成とともに、排出係数、補正係数を用いている。排出量推計モデル（発生過程別推計）

を利用し、CO<sub>2</sub>排出量を市区町村別・車種別に推計しており、移動距離にCO<sub>2</sub>排出係数を乗じることで走行時排出量を推計している。ここでは、走行時の排出量に加えて、始動時や暖機時における排出量の増加分も考慮しており、CO<sub>2</sub>排出量には直接的には関係しないが、燃料タンク等からの蒸発ガスも推計済みである。このような方法で推計したCO<sub>2</sub>排出量を、移動地域別に3次メッシュ単位で集計したKannariらの結果<sup>18)</sup>を直接排出量とし、市区町村別に面積按分を行った。

### (3) 間接排出量の推計方法

我が国において家計の実態を網羅する統計には、家計調査と全国消費実態調査がある。全国消費実態調査は、サンプル数が5万件と規模が大きく、県庁所在市以外にも地域別の傾向が把握できる。ただ、調査期間が9～11月のうち限られた月数であり、季節変動を考慮することができない。一方、家計調査は全国数千世帯であり、地域別には県庁所在市別しか対象とされていないが、季節変動を考慮し年間の値を得ることができる。そこで、本研究では間接排出量の推計に2005年度の家計調査のデータを用いることとする。本研究では、世帯人数に把握可能な総世帯（全世帯が対象）の調査結果と、2人以上世帯の調査結果を用い、1世帯あたりの年間支出金額を品目で分類し、都市階級・地方・都道府県庁所在市別で集計した結果を使用する。この品目分類はどの用途にかかわらず、同じ商品は同じ項目に分類する方法で、全部で981品目に分類されている。また、世帯数のデータとしては、2005年の国勢調査の値を用いた。

間接排出量におけるCO<sub>2</sub>排出量の原単位には、2005年の産業連関表による環境負荷原単位データブック(3EID)<sup>19)</sup>の購入者価格基準の値を用いた。これは、消費活動に伴い間接的に発生する403部門の環境負荷量を示した数値であり、比較的制度の高い推計ができると考えられる。ただし、排出原単位を国産技術仮定に基づく計算で行う場合、輸入品と国産品の生産プロセスが大きく異なる品目では原単位の過大評価や過小評価につながる懸念される。それに対し、近年ではGlobal link input-output (GLIO) モデルを用いて推計したグローバルサプライチェーンを考慮した環境負荷原単位（グローバル拡張）も推計が進んでいる。本研究では、2005年度において、既存研究と同じく国産技術仮定の原単位とグローバル環境負荷原単位の両方を用いて間接CO<sub>2</sub>排出量の推計し、結果を可視化することで比較を行う。

各地域の間接排出量は、以下の式により算出した。

$$CE_i = \sum_j H_{ij} \left[ \sum_k E_{ijk} (ic_{ik} + dc_{ik}) \right] \quad (1)$$

CE<sub>i</sub>: i地域の年間CO<sub>2</sub>排出量(kg-CO<sub>2</sub>/年)

$j$ : 世帯のタイプ (全世帯と2人以上の世帯に分類)

$H_j$ : 地域  $i$  のタイプ  $j$  の世帯数

$E_{ijk}$ :  $i$  地域  $i$  で、県庁所在地のタイプ  $j$  の世帯による消費  
品目  $k$  への年間支出 (円/世帯/年)

$ic_k$ : 地域  $i$  における消費活動に伴う消費品目  $k$  の  $CO_2$  間接  
排出原単位 (kg- $CO_2$ /百万円)

$dc_k$ : 地域  $i$  における灯油、ガソリン、プロパンガス (以下  
LPG)、都市ガスの利用に伴う消費品目  $k$  の  $CO_2$  直接燃  
焼分排出原単位 (kg- $CO_2$ /百万円)

間接排出量算定のフローを図-1に示す。このうち、直  
接燃焼分については、図-2に示すフローによって排出原  
単位を設定した。

#### (4) 視覚化の手法

まず、推計した各部門の直接排出量の結果を用い、全  
部門の  $CO_2$  排出量の合計値を算出した。この際、各部門  
で推計単位が異なることを考慮し、GISを用いて2008年4  
月時点の市区町村区画単位に統一し、全部門合計値を算  
出した。

次に、その全部門合計値を用いて、直接排出量、間接  
排出量のそれぞれについて、面積カルトグラム (エリア  
カルトグラム) を作成した。ここで、面積カルトグラム  
とは、各エリアの量や率を示す統計データをエリアの面  
積で表現した図である。面積カルトグラムは、地域間の  
隣接関係を保持したまま地図を連続的に変形し統計デー  
タを表現する連続面積カルトグラムと、隣接関係を捨象  
し各地域を非連続に記して統計データを表現する簡便法  
の非連続面積カルトグラムに分けられる。本研究では、  
このうち連続面積カルトグラムの手法を採用した。この  
連続面積カルトグラムでは、地理的地図のエリアの隣接  
関係を保った上で、統計データの大小を表現するように  
地理的地図を変形させる。統計データがエリア面積で示  
されるため、エリア間の比較や地理的分布、全体的な傾  
向を把握することが可能となる。特に、統計データの値  
が大きなエリアは図形として大きく表示されるため、図  
面として目立って表現される。面積カルトグラムは統計

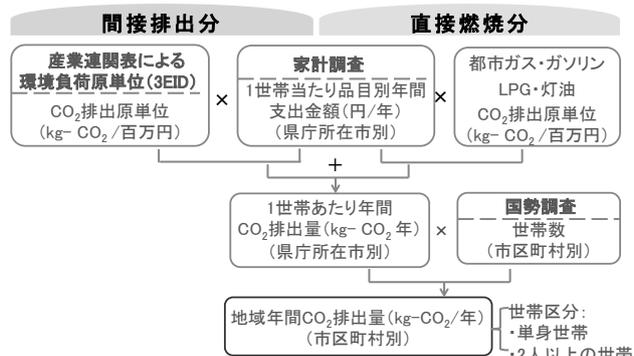


図-1 間接排出量の計算フロー

データの地理的分布を印象的に視覚化することができ、  
読図者が地域の特徴を直感的に理解することを促す<sup>20)</sup>。  
カルトグラムの読図者はカルトグラム上と地理的地図上  
の地図形状の比較を行い、その違いをもとに表現されて  
いる統計データの特徴を認識する。そのため、本研究で  
作成した市区町村別に区分した日本全体の地図のように、  
読図者が対象地域の地理的地図形状に対して先験的な知  
識を備えている場合に、カルトグラムによる視覚化は特  
に効果的であり、印象的な視覚化が可能である。

カルトグラム作成ソフトウェアの開発には、操作性の  
高い作成手法を構築する必要がある。操作性とは具体的  
に、データ入力や変数設定等の初期値設定に試行錯誤を  
要さず容易であること、また短時間で計算が可能である  
ことを意味する。これら操作性に関わる条件を満たすた  
めには、最低限の変数を用い、またそれらの初期値設定  
が持つ数学的な意味が明らかであることなど、作成手法  
は数学的に明快でなければならない。これに対し、井上  
<sup>21)</sup>が新たな連続エリアカルトグラムの作成手法を提案し  
た。本研究はこの概要について述べる。まず、任意形状  
の地域を三角網分割することを前提とし、連続エリアカ  
ルトグラム作成問題を三角形の面積を統計データに合わ  
せて変形する問題として定式化を行い、三角形の面積を  
統計データに合わせるよう変形するアルゴリズムを提案  
する。この上、地理的地図からの変形を抑制する正則化  
条件として、三角網上の各辺の方位角変化を抑制する項

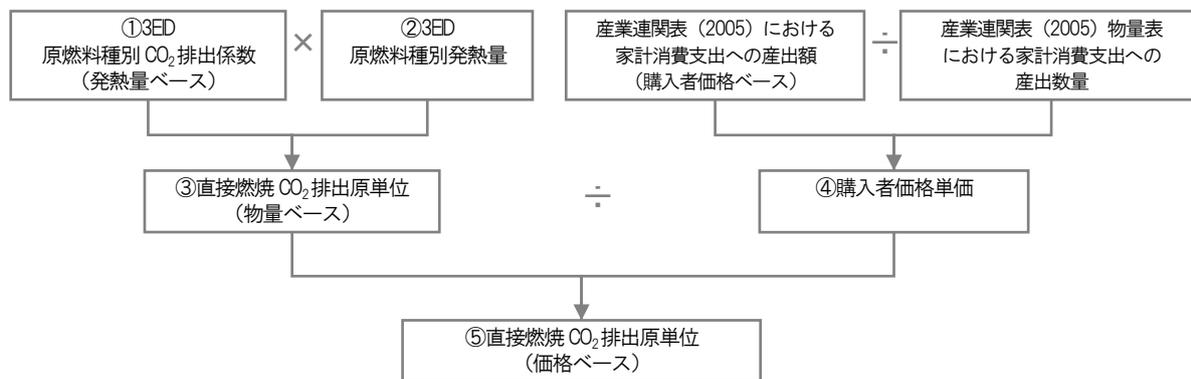


図-2 間接排出量直接燃焼分の排出原単位算定フロー

を導入し、地理的地図からの変形を抑制する。これらをもとに、地理的地図からの変形が小さく比較対照が容易な連続エリアカルトグラムを作成できる数学的に明快な手法を提案し、視覚化された統計データの解釈が比較的容易に連続エリアカルトグラム作成を行うことができる。この方法は明快な手法であるが、まだソフトウェアとして開発されておらず、アルゴリズムのみが提供されている。本研究ではそのアルゴリズムのソースコードをコンパイル・検証などを行ってから、CO<sub>2</sub>排出量データをプログラムに取り込み、以下の手順により連続エリアカルトグラムを作成した。

- 1) 2008年時点において日本のポリゴンデータに基づいて、i) 個々のポリゴンにポリゴン番号と、その頂点にも頂点番号を振る。ii) 各頂点番号に、座標データをつける。iii) 各ポリゴン番号に、市区町村のCO<sub>2</sub>排出総量の統計データを紐付する。この際、直接排出量、間接排出量（国産技術仮定）、間接排出量（グローバル拡張）の3種類の統計データを用意する。なお、市区町村の合併情報を参照し、いったんすべてのデータを2008時点の市区町村情報に合わせる必要がある。
- 2) 上記3つのデータを、CSVファイルとして格納し、プログラミングに取り込み、計算を行う。結果としてエリアカルトグラム（変形後）のポリゴン番号に対応した頂点の座標データが得られる。
- 3) 上記のエリアカルトグラムのポリゴンの頂点座標データをArcGISに取り込み、頂点の座標データからポリゴンデータを作り、エリアカルトグラムを地図として描画する。
- 4) 市区町村のCO<sub>2</sub>排出総量のエリアカルトグラムのポリゴンデータと、ポリゴン番号に基づいて、別途に整理した市区町村のCO<sub>2</sub>1人あたり排出量データと統合する。そしてArcGISの上に階層分布図として表現させる。これにより、市区町村のCO<sub>2</sub>排出総量と1人あたり排出量を1つの地図として表現することが可能となる。

### 3. 分析結果

分析結果として、まず、行政区画の形に何も加工を施さず、直接排出量で推計した結果を図-3に、間接排出量で推計した結果を図-4に示す。これらの結果は、いずれも比較のため1km<sup>2</sup>当たりの値で算出している。その結果、間接排出量で見れば三大都市圏や西日本の大都市を中心に分布している一方、直接排出量で見れば国内に分散して分布しているという結果が得られた。さらに、直接排出量については火力発電所が立地している市区町村で産

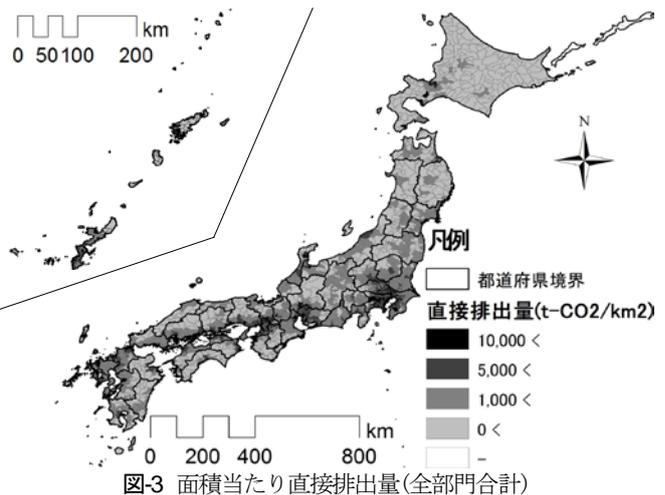


図-3 面積当たり直接排出量(全部門合計)

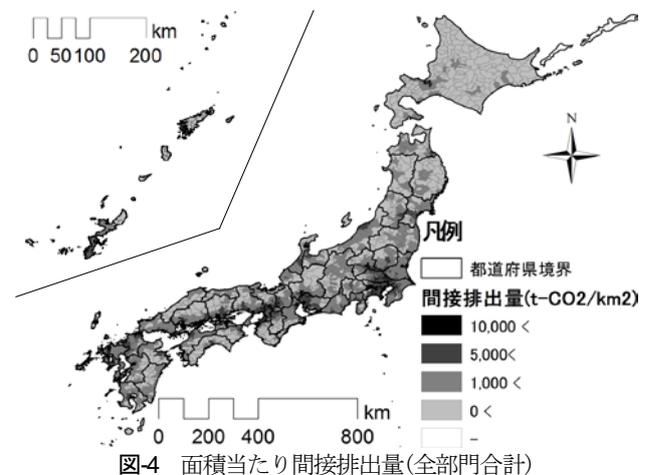


図-4 面積当たり間接排出量(全部門合計)

業部門のCO<sub>2</sub>排出量が大きくなっていることが分かった。それに対し、間接排出量については、それらの市区町村で発電された電気が三大都市圏や県庁所在地等の大都市で使用されCO<sub>2</sub>が排出されている様子が見て取れた。これらのことから、直接排出量と間接排出量の分布状況が大きく異なることが明らかとなった。ただし、この図を見るだけではそのような直接排出量と間接排出量の違いは一目では理解しづらく、市区町村の面積が小さい場合には色の違いがほとんどわからない状態になっていることがわかる。一方で、メッシュ単位で表示すれば面積の違いはなくなるが、特に間接排出量については市区町村の特性による違いが大きく、それが曖昧になってしまう傾向がある。そもそも政策は自治体単位で行われるため、メッシュでは解釈が難しい。

そこで、この結果を、直接排出量、間接排出量（国産仮定）、間接排出量（グローバル拡張）を面積カルトグラムで示したものを、それぞれ図-5、図-6、図-7に示す。面積の大きさを市区町村別の排出量の総量を、色で一人あたりの値を示している。直接排出量については、北海道伊達市、茨城県鹿嶋市、千葉県君津市、三重県尾鷲市、兵庫県赤穂市の面積がほかより大幅に大きいことが明白である。このように、各電力会社の火力発電所や、各電

力会社と製鉄会社との共同火力発電所等が立地している市区町村でCO<sub>2</sub>排出量が大きくなっている傾向が顕著に現れており、局所的に大きな値を示している。本研究では2005年の結果を示しており、東日本大震災の前で原子力発電所がまだ稼働している時期である。原子力発電と火力発電を併用している場合でも既にこれだけのCO<sub>2</sub>が排出されていたことから、その後の原子力発電所の稼働率が低い状況では、この面積カルトグラムはさらに極端に偏った形になっていると考えられる。一方、これらの直接排出量が大きい市区町村について、間接排出量を見てみると、その値は顕著ではなく、他の地域と同程度だった。これは、エネルギー転換に伴うCO<sub>2</sub>排出量が、ほとんど最終消費部門へ配分されることを示している。つまり、間接排出量については、発電所のある市区町村で発電された電気等のエネルギーや、産業集積のある市区町村で生産された製品が、三大都市圏や県庁所在地等の大都市で使用されるCO<sub>2</sub>が排出されている様子を、視覚的に明示することができた。特に、各県庁所在地などの世帯数が多い自治体と、都市圏の都心部で消費が比較的多い自治体では、間接排出量が多いことがわかった。これを示すことで、最終消費者に環境意識を喚起するための材料になると考えられる。

また、日本全体の総計と比較すると、直接排出量は840,642,015.3トン、間接排出量（国産技術仮定）は426,064,652.1トン、間接排出量（グローバル拡張）は535,914,910トンであることがわかった。このことから、  
 i) 50%以上のCO<sub>2</sub>排出量は家庭の消費活動によるもの、  
 ii) 輸入活動がより多くのCO<sub>2</sub>排出を誘発していることが示された。特に日本のように食料自給率が低く、工業製品についても輸入多い国では、国内のCO<sub>2</sub>排出量が多くなくても、普段の消費活動で大量の輸入品が購入されることで、他国へ大きな環境負荷を与えている可能性がある。今後、国全体のCO<sub>2</sub>排出量の排出責任を評価する際には、グローバルのサプライチェーンを考慮することが重要であるといえる。

#### 4. おわりに

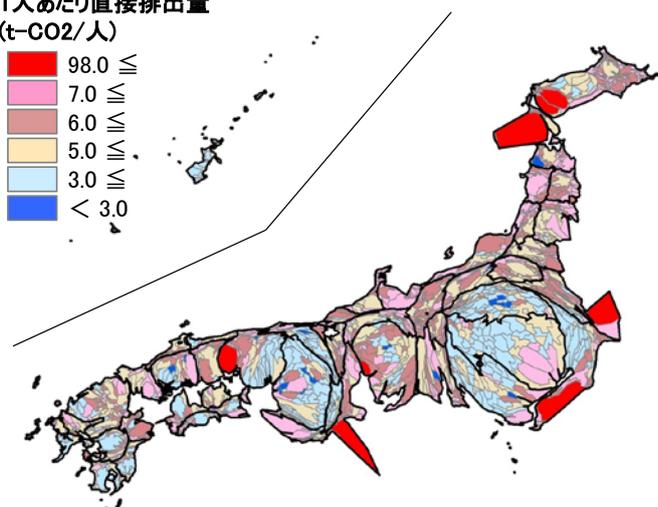
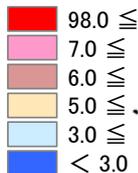
本研究では、家庭部門・業務部門・産業部門・運輸部門の全部門を統合したCO<sub>2</sub>排出量について、直接・間接排出量の両方の視点から、その分布を面積カルトグラムを用いて比較・考察した。

分析の結果、直接排出量で見れば、特に電気業等のエネルギー転換部門で多くCO<sub>2</sub>が排出されている一方、間接排出量で見ると、そのエネルギーが都市部で利用

#### 凡例

都道府県境界

#### 1人あたり直接排出量 (t-CO<sub>2</sub>/人)



※面積は市区町村別の総量、ハッチングは1人当たりの値を示す  
 図-5 直接排出量の面積カルトグラム作成結果

#### 凡例

都道府県境界

#### 1人あたり間接排出量 (t-CO<sub>2</sub>/人)

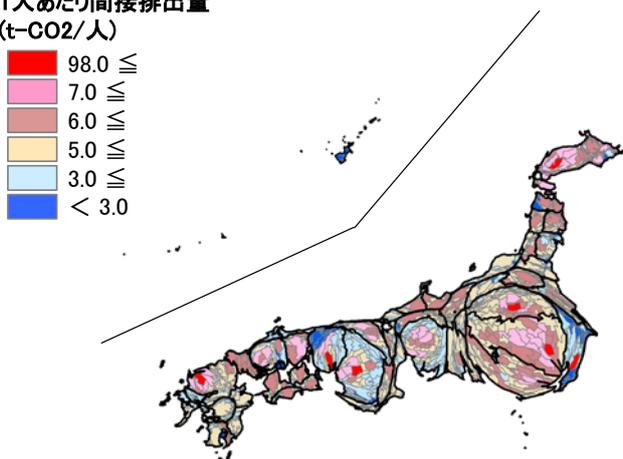
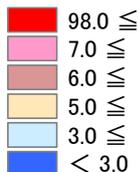


図-6 間接排出量(国産技術仮定)の面積カルトグラム作成結果

#### 凡例

都道府県境界

#### 1人あたり間接排出量 (t-CO<sub>2</sub>/人)

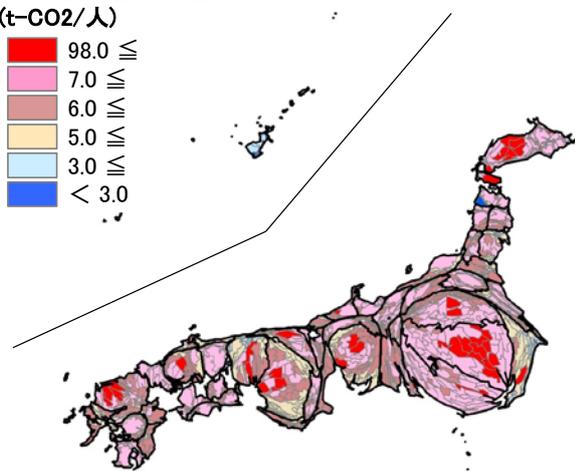
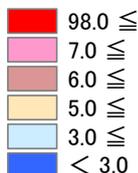


図-7 間接排出量(グローバル拡張)の面積カルトグラム作成結果

されることによってCO<sub>2</sub>が排出されている様子を、面積カルトグラムを用いて表現することによって空間的に把握することができた。面積カルトグラムを用いて表現することによって、これらの空間分布の違いや関連性を直感的に把握することが可能になったといえる。

国レベルでの目標設定との対応を容易にするという点からは、エネルギーの生産者に排出を割り付ける直接排出量が便利であるが、排出責任の観点からは間接排出量でエネルギーの消費者の責任や対策を議論するアプローチも重要である。しかし、単純に通常の地図の形状を用いて着色等を施すだけでは、Large Point Source (LPS)のような点源が含まれる市区町村や、地理的面積の小さい大都市圏の市区におけるCO<sub>2</sub>排出量の情報は埋もれてしまう。そこで、本研究で提案した面積カルトグラム手法によるCO<sub>2</sub>排出量の「見える化」によって、数量的な把握能力に長けた専門家だけでなく、政策担当者や産業界、さらには一般住民等も含めて、誰もがその違いを直感的に把握することが可能となる。特に、本研究で新たに作成した間接排出量の面積カルトグラム手法によるマッピングは、排出責任の観点から今後重要なものと考えられ、特に民生部門における排出削減対策の検討への応用が期待される。

今後は、直接・間接排出量の空間分布の時間変化を定量的に解析し、さらにその変化要因を分析することにより、地域レベルにおける温暖化対策の検討に資するシステムの開発を目指す予定である。

**謝辞：**本研究は、文部科学省の気候変動適応研究推進プログラム (Research Program on Climate Change Adaptation: RECCA) の助成を受けて実施した。本研究の実施において、民生部門については埼玉大学経済学部 外岡豊教授に推計結果の提供をいただくとともに、他部門に関しても有益なご指導をいただいた。民生部門 (家庭) については熊本大学大学院自然科学研究科 田中昭雄特任教授に、産業部門の推計にあたっては国立環境研究所 小林伸治氏に、さらに運輸部門に関してはフリーランス 神成陽容氏、国立環境研究所 大原利眞氏、森野悠氏に、間接排出量に関してはパシフィックコンサルタンツ株式会社の井伊亮太氏に、面積カルトグラムに関しては東北大学 井上亮十教授、株式会社価値総合研究所 山崎清氏、岩上一騎氏にご助言をいただいた。記して謝意を表す。

## 参考文献

- 1) Intergovernmental Panel on Climate Change (2014) Climate Change 2013: The Physical Science Basis, January, 2014, <http://www.ipcc.ch/>.
- 2) 中口毅博, 市区町村の地球温暖化対策の実施パターンと類型化に関する研究 (2010) 2008 年の全国市区町村の対策実施状況に基づく分析. 環境科学会誌, Vol.23,

No.4, pp.297-306.

- 3) 中口毅博 (2011) 市区町村における温暖化対策・温暖化計画の立案・推進上の課題, 地域政策研究, Vol.54, pp.22-28.
- 4) 環境自治体会議, 環境自治体会議環境政策研究所編 (2005) 特別資料 全国市区町村の CO<sub>2</sub> 排出量推計と将来予測, 環境自治体白書 2005 年版, 生活社.
- 5) 環境自治体会議, 環境自治体会議環境政策研究所編 (2007) 特別資料 全国市区町村の 90・00・03 年 CO<sub>2</sub> 排出量推計, 環境自治体白書 2007 年版, 生活社.
- 6) 環境省地球環境局 (2006) 平成 17 年度地方公共団体の二酸化炭素排出量推計手法検討調査報告書, <http://www.colgei.org/CO2/>
- 7) 朝倉啓一郎, 早見均, 溝下雅子, 中村政男, 中野諭, 篠崎美貴, 鷺津明由, 吉岡完治 (2001) 第 3 章環境家計簿作成のための CO<sub>2</sub> 排出点数表, 環境分析用産業連関表, 慶應義塾大学出版会, pp71-102.
- 8) 中村昌広, 乙間末廣 (2004) 家計消費に由来する二酸化炭素発生量 一世帯属性による差に着目して一, 環境科学会誌, Vol.17, No.5, pp.389-401.
- 9) 井原智彦 (2011) 消費者行動における CO<sub>2</sub> 排出削減ポテンシャルの評価, 公的統計のマイクロデータの利用に関する研究会発表資料, [http://www.nstac.go.jp/services/pdf/111111\\_4-1.pdf](http://www.nstac.go.jp/services/pdf/111111_4-1.pdf)
- 10) Shigeto, S.; Yamagata, Y.; Hidaka, M. and Horio, M. (2012) An easily traceable scenario for 80% CO<sub>2</sub> emission reduction in Japan through the final consumption-based CO<sub>2</sub> emission approach: A case study of Kyoto-city, Applied Energy, Vol.90, pp.201-205.
- 11) 中道久美子, 山形与志樹, 瀬谷創 (2013) 東京都市圏の気候変動緩和・適応策の相互作用に関する土地利用シナリオの CO<sub>2</sub> 排出量評価, 土木学会論文集 D3, Vol.69, No.5, pp.I\_381-389.
- 12) Nakamichi, A., Yamagata, Y. and Seya, H. (2013) CO<sub>2</sub> emissions evaluation considering introduction of EVs and PVs under land-use scenarios for climate change mitigation and adaptation – Focusing on the change of emission factor after the Tohoku Earthquake –, Journal of the Eastern Asia Society for Transportation Studies, Vol.10, pp.1025-1044.
- 13) 上岡直見 (2008) 市区町村の CO<sub>2</sub> 対策効果「見える化データ」, 環境自治体白書 2008 年版, 環境自治体会議, pp.19-20.
- 14) 田中昭雄, 久保隆太郎, 中上英俊, 石原修 (2008) 世帯属性を考慮した住宅用エネルギー消費原単位の推定と将来予測, 日本建築学会環境系論文集, 73(628), pp.823-830.
- 15) 外岡豊, 深澤大樹, 中口毅博, 馬場毅, 石田武志, 金本圭一朗 (2008) わが国民生部門の CO<sub>2</sub> 排出削減シナリオ, CGER リポート I079-2008 家庭・業務部門の温暖化対策, pp.91-133, 独立行政法人国立環境研究所.
- 16) Nansai, K., Suzuki, N., Tanabe, K., Kobayashi, S. and Moriguchi, Y. (2004) Design of Georeference-Based Emission Activity Modeling System (G-BEAMS) for Japanese Emission Inventory Management, Online proceeding of 13th International Emission Inventory Conference, pp.1-11, June, Florida, USA.
- 17) 温室効果ガスインベントリオフィス (2010) 温室効果ガス排出量・吸収量データベース 日本の温室効果

- ガス排出量データ（1990～2008年度）確定値，  
<http://www-gio.nies.go.jp/aboutghg/nir/nir-j.html>
- 18) Kannari, A., Tonooka, Y., Baba, T. and murano, K. (2007) Development of multiple-species 1 km × 1 km resolution hourly basis emissions inventory for Japan, Atmospheric Environment, Vol.41, pp.3428-3439.
- 19) 南齋規介, 森口祐一, 東野達 (2002) 産業連関表による環境負荷原単位データブック(3EID) –LCA のインベントリデータとして–, 独立行政法人国立環境研究所地球環境研究センター.
- 20) 井上亮, 清水英範 (2005) 連続エリアカルトグラム作成の新技术 –GIS 時代の統計データの視覚化手法–, 土木学会論文集, Vol.779/IV-66, pp.147-156.
- 21) 井上亮 (2005) カルトグラムの作成手法に関する研究-GIS を用いた統計データの表現に向けて-, 東北大学博士論文.

(2014. 8. 1 受付)

## ESTIMATION AND VISUALIZATION OF DIRECT AND INDIRECT CO<sub>2</sub> EMISSIONS OF EACH MUNICIPALITY IN JAPAN

Kumiko NAKAMICHI, Yoshiki YAMAGATA, Shinya HANAOKA and Xuyang  
WANG

The serious further efforts on CO<sub>2</sub> and other green house gases emission reduction by global climate change mitigation remain as an urgent global issue to be solved. In order to consider the global warming mitigation measures at local level, CO<sub>2</sub> emissions should be estimated not only at the national level but also at the municipal level. The objective of this study is to analyze geographical distribution by using area cartogram. From the viewpoint of the emission responsibility, this study focuses on the both direct and indirect CO<sub>2</sub> emission from all sectors by integrating sector estimates to support local climate policies. As the result, the spatially explicit emissions are mapped from the viewpoint of both direct and indirect CO<sub>2</sub> emission. The result of indirect emission is especially important in view of the emission responsibility. The mapping of taxable income suggests that some economic indexes may relate to the indirect emission. The developed system can be used for visualization of CO<sub>2</sub> emission which enables the common people to understand the difference of spatial distribution. Especially, our new indirect emission mapping expects to play more important role as indicators which is more relevant to the liability of residential and commercial sector emission.