

全国主要都市の家庭におけるCO₂排出量の 構造分析とエネルギー用途の推定手法

平野勇二郎¹・藤田 壮²・高橋俊樹³

¹正会員 国立環境研究所アジア自然共生研究グループ (〒305-8506 茨城県つくば市小野川16-2)

E-mail: yhirano@nies.go.jp

²正会員 国立環境研究所アジア自然共生研究グループ (〒305-8506 茨城県つくば市小野川16-2)

³群馬大学大学院工学研究科 准教授 (〒376-8515 群馬県桐生市天神町 1-5-1)

都市のCO₂排出についての既存の研究のほとんどは個別都市を対象としたケーススタディーであるが、低炭素都市を実現するためには、今後都市発展が見込まれる地域への適用性が要求される。また、具体的なCO₂排出削減の方策を検討する際には、エネルギー消費の用途を把握することが必須である。そこで本研究ではより一般的なエネルギー用途推定・CO₂排出量予測手法を構築するため、家計調査から算出した全国主要都市の家庭におけるCO₂排出量をベースとして、集合・戸建住宅の比率や都市ガス・プロパンガスの比率などの各要因へ分解し、推定式を作成した。この結果、人口密度と気温のみで各都市における世帯当たりCO₂排出量を表現し、エネルギー消費の用途構成も概ね明らかにすることができた。

Key Words : CO₂ emission, household energy consumption, urban environment, low carbon city

1. はじめに

京都議定書第一約束期間の中盤にさしかかった。地球温暖化対策のために省エネルギーを進めるにあたり、エネルギー需要の要因分析や需要予測が不可欠である。とくに家庭において、生活に伴うエネルギー消費によるCO₂排出は人間活動と直接関係するため、的確に把握し、有効な対策について検討する必要がある。

都市におけるCO₂削減の方策を検討するためには、多都市に適用できる一般的な知見を見出すことがきわめて重要であると著者らは考えている。もし特定の都市を分析対象として、その都市の低炭素化の方策を検討したとしても、都市構造を改変する対策は数十年以上の時間がかかる。もちろん数十年先を見越して今すぐにアクションを起こすことも大切であるが、現在、国際的にも緊急課題となっている地球温暖化対策の時間スケールを考えれば、それだけでは十分とはいえない。したがって既存の都市に関する知見を個別に蓄積するだけではなく、こうした知見に基づいて今後新たに都市発展が見込まれる地域において有益な提言をすることも必要であると著者らは考えている。しかしながら、これまでの都市におけるCO₂排出についての研究のほとんどは個別都市を対象としたケーススタディーであり、他都市への適用性は

十分に検討されていないことが多い。また、各々の都市で類似した研究が行なわれているケースも多く、研究コストや労力の多重投資が行なわれていることも否定できない。こうしたことから、今後は都市の人口規模や生活様式、気候条件が異なる他都市へ適用できる一般的な知見を得ることが必要であると著者らは考えている。

そこで著者らはより一般的なCO₂排出量推計・予測手法や、都市類型別の都市低炭素化の方策について体系化・理論化することを目的とし、諸都市におけるCO₂排出構造を分析する研究を進めている。その一環として、すでに民生業務部門については体系的な調査データ収集と要因分析を行なっている^{1,2)}。しかしながら、家庭部門は気温の影響を受けやすく³⁾、また都市の人口規模や生活様式によっても大きく変動するため、各都市の諸条件と結びつけた解析がことさら重要であると考えている。とくに、こうした地域条件によってCO₂排出量の総量だけではなく、エネルギー消費の用途構成が大きく異なるため、さらに複雑である。一般に、有効なCO₂排出削減の方策を検討するためにはエネルギー用途の把握が必須であるが、その多くは既存の統計資料からは直接把握できない。また、地域条件が異なる個々の都市においてエネルギー用途を把握しうる詳細な調査を個別に行なうには、相当数の調査が必要となる。このため、地域条件に

基づいて既存資料によるCO₂排出量の構造分析や用途分解を行なうというアプローチが有効である。

そこで本研究では、家庭におけるCO₂排出量と各都市の諸条件との関係について検討し、CO₂排出構造とエネルギー消費の用途構成の定式化を試みる。家庭部門のエネルギー消費量やCO₂排出量についてはこれまでも複数の実態調査が行われている^{4)~8)}。こうしたエネルギー消費量の実態把握を目的とした独自調査を行えば、エネルギー用途別や建物の戸建・集合などの建て方別、木造・RC造などの構造別などの詳細な情報が得られるが、コストや労力を要するためいずれの調査も対象地域の数には限界があり、各都市の諸条件と結びつけた一般化という目的には不向きである。一方、家計調査⁹⁾のエネルギー購入量からの推計も行われている^{10),11),12)}。家計調査では全国49都市において別々にサンプル調査されているため、地域条件を把握するには有益な資料である。ただし家計調査では諸要因が平均化されているため、詳細な情報が得られない。とくに、具体的なCO₂排出削減の方策を検討するためにはエネルギー用途を把握することが必須であるが、家計調査のみでは複数の用途で利用されているエネルギーを分解することは難しい。これに対し本研究では、実態調査による推定式などの既知の知見と、家計調査による都市別の推計値とを結びつけて、できる限り諸要因に分解し、構造を明らかにする。また、地域条件が異なる種々の都市において、独自調査をせずにエネルギー用途を把握する方法を構築する。

家庭におけるCO₂排出量が都市規模や都市化の程度と強く関係していることは予想できるが、そのメカニズムは複雑である。例えば都市化により集合住宅が増加して冷暖房負荷が減少すること、都市ガスが普及してCO₂排出係数が大きい灯油・プロパンガスの消費量が抑制されること、高密度化により自動車によるガソリン消費量が削減されることなど、種々の要因が同時に作用している。また、現状の日本の都市分布では大都市は比較的温暖な地域に集中しているため、気候条件との間接相関が生じている可能性がある。こうした条件下では、多変量解析などのエンピリカルな手法では一定のサンプル数を確保することや説明変数間の相関を取り除くことなど、さまざまな制約が生じる。このため、種々の要因について個別に推定式を作成することや、既知の計算式を組み込むことなどにより諸要因に分解するという本研究のアプローチが有効である。

これまでも家庭部門におけるマクロなエネルギー消費量やCO₂排出量の構造分析やモデリング、将来予測などの研究は行なわれていたが^{13)~15)}、こうした既往研究の多くは、主に諸要因を詳細に組み込むことにより精度や信頼性を向上することを追求している。これに対し本研究は、前述した問題意識から、諸要因を詳細に組み込むこ

とよりも、少ないパラメータで簡便にCO₂排出構造の分析とエネルギー用途の推定を行なう手法を構築することに重点を置いている。また、詳細に個別都市を分析することではなく、大都市により一般化することを目指しているという点に特徴がある。

とくに近年は、例えば地球温暖化対策地方公共団体実行計画の策定や地域新エネルギー・省エネルギービジョン策定等事業など、地方自治体の政策担当者に地域内のエネルギー消費量やCO₂排出量を把握することが求められる機会が増えている。現状では、こうした場合の多くは原単位法などの単純な推計手法が用いられているが、実際には地域条件により大きく異なる家庭からのCO₂排出量を一律の原単位で把握することには無理がある。また、市区町村規模の空間スケールでは供給側のデータによる把握は難しいことや、独自調査を行なうにはコストや労力を要することから、政策担当者が手軽に利用できる推定手法を構築することには意義がある。

なお本研究では世帯あたりの原単位をベースにして分析する。ただし家計調査の資料の制約から単身世帯の把握が困難であったため、世帯人員数が二人以上の世帯を対象とする。

2. 家計調査等によるCO₂排出量推計

まず全国49都市の世帯当たりの電力、ガソリン、都市ガス、プロパンガス、灯油による年間CO₂排出量を計算した。計算対象年は2003年から2007年までとし、年による気象条件やサンプリングによる変動を平滑化するため、分析にはこの期間の平均値を用いた。計算方法としては既往研究^{10),11)}を参考に、基本的には家計調査⁹⁾による光熱費の支出金額と小売物価統計調査¹⁶⁾によるエネルギー価格から、各エネルギーの購入量を算出した。ただし家計調査では電力、都市ガス、プロパンガスについて従量料金と基本料金を区別できないため、エネルギー購入量を算出するためには契約世帯数の情報が必要である。そこで、電力は全世帯において利用しているものと仮定した。また、ガスについては、いずれの家庭においても都市ガス、プロパンガスのどちらか片方を利用しているものと仮定し、各々の利用世帯数を家計調査による各ガス購入頻度から配分した。家計調査のガソリンの項目には軽油が含まれているが、現在の日本では家庭用乗用車の大半がガソリン車であるため、ここではガソリンの原単位により計算した。発熱係数やCO₂排出係数は「特定排出者の事業活動に伴う温室ガスの排出量の算定に関する省令」、「地球温暖化対策の推進に関する法律施行令第3条」等に基づいて設定した。ただし都市ガスはガス会社によって利用ガスが異なるため、ガス事業年報¹⁷⁾によ

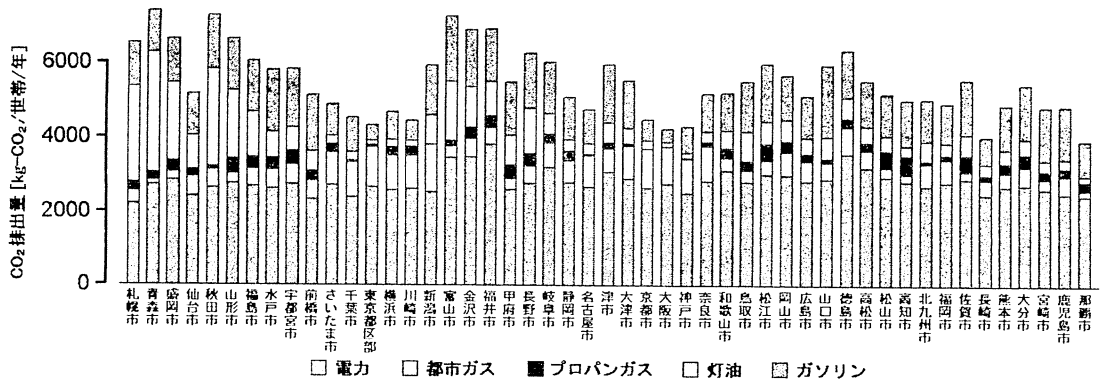


図-1 家計調査による世帯あたり年間CO₂排出量（エネルギー源別）

り発熱係数を個別に設定してエネルギー量に換算した。これらの結果得られたCO₂排出量を図-1に示す。

3. CO₂排出量の要因分析と推定手法構築

(1) 暖冷房・給湯・調理（ガス・灯油等）

図-1から、寒冷地においてCO₂排出量が多いことが読み取れる。ただし前述した通り、この要因としては、気候条件の直接的な影響と、大都市が比較的温暖な地域に位置していることによる間接相関とが含まれるため、一般的な推定手法を構築するためには両者の分離が必要である。

そこで暖冷房については式(1)～(4)に示した通り、戸建住宅・集合住宅を区別して気温からエネルギー消費量が算出できるデグリーデーによる推定式⁹⁾を用いた。

戸建住宅・暖房用：

$$y = 1.25 \cdot 10^{14} \cdot x^5 - 3.49 \cdot 10^4 \cdot x^2 + 2.15 \cdot x - 155 \quad (1)$$

集合住宅・暖房用：

$$y = 2.26 \cdot 10^{11} \cdot x^4 - 1.01 \cdot 10^4 \cdot x^2 + 0.748 \cdot x + 25 \quad (2)$$

戸建住宅・冷房用： $y = 1.12 \cdot 10^3 \cdot x^2 + 0.621 \cdot x + 18 \quad (3)$

集合住宅・冷房用： $y = 1.91 \cdot 10^4 \cdot x^2 + 0.798 \cdot x + 21 \quad (4)$

y ：エネルギー消費量（二次）[Mcal/年]

x ：デグリーデー（暖房は D_{18-18} 、冷房は D_{24-24} ）

給湯については気温の影響を反映するため、式(5)に示した気温による給水温度の予測式⁹⁾から水温を計算し、式(6)からエネルギー消費量を算出した。

$$T_w = 0.7 \cdot T_a + 7.0 \quad (5)$$

$$Q = V \cdot c \rho \cdot (T_{hw} - T_w) / \eta \quad (6)$$

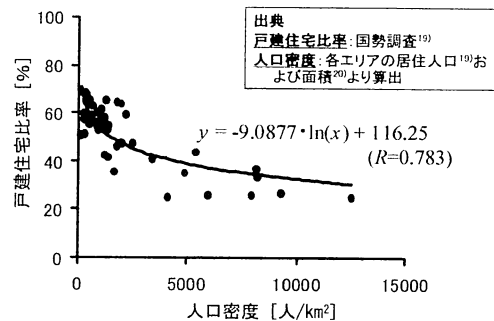


図-2 戸建住宅比率と人口密度の関係

T_a ：気温， Q ：給湯用エネルギー消費量， V ：使用湯量， T_{hw} ：給湯温度， T_w ：給水温度， $c \rho$ ：水の体積熱容量， η ：機器効率

給水温度以外のデータはLPガス資料年報¹⁰⁾の想定値を用いた。ただし、実際には使用湯量は世帯人員数に左右されるため、本来ならば世帯人員数の地域性と結びつけた分析が必要である。この点は今後検討する予定である。

調理については既存原単位データ⁹⁾によれば気候条件の影響は小さいと考えられるが、家庭における燃料使用用途として無視できない大きさであるため、図-1との絶対値の対応を考える上では考慮する必要がある。そこで本研究では既存原単位データ⁹⁾に基づき戸建住宅は4000 [MJ/世帯/年]、集合住宅は3700 [MJ/世帯/年]として一律に設定した。

上記の算定方法では、気候条件以外に地域条件を反映する変量として、戸建・集合住宅の比率や、都市ガス・プロパンガスの比率によって定まるCO₂排出係数があげられる。これらは都市化の程度が支配要因であると考えられたため、本研究では人口密度を説明変数としてそれぞれ図-2、図-3の通りに推定式を作成した。人口密度は

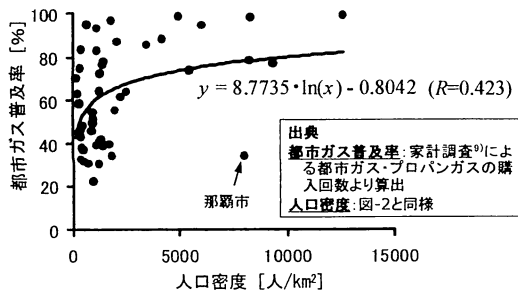


図3 都市ガス普及率と人口密度の関係



図4 ベース電力のCO₂排出量と延床面積の関係

各エリアに居住する夜間人口¹⁹⁾と面積²⁰⁾から算出した。実際には、都市化の程度を表現する指標は人口密度以外にも多数考えられるが、ここでは若干の試行錯誤を行った上で、最も説明力があつたことと、公開されている既存統計から容易に取得可能であることから人口密度を選択した。ただし、最適な説明変数の選択についてはさらなる検討の余地がある。

都市ガス普及率に基づいてCO₂排出係数を定めるためには、用途別に使用エネルギーの構成比を設定する必要があるが、これについては正確なデータが得られなかった。空調や給湯の機器保有率の調査資料は複数あるものの、調査対象等の条件が資料により異なっており、本研究の条件に合ったデータは見当たらなかった。例えば、民生部門エネルギー消費実態調査⁸⁾では地域別の冷暖房・給湯機器の世帯普及率、台数普及率が掲載されているが、都市ガス・プロパンガスの区別がない。一方、石油化学新聞社¹⁸⁾や石油情報センター²¹⁾²²⁾の資料には、冷暖房・給湯機器のエネルギー種別利用割合が掲載されており、都市ガス・プロパンガスは区別されているが、いずれも複数回答可であるため総和が100%にならないことや、都市ガス・プロパンガス以外の使用エネルギーについては都市ガス利用世帯とプロパンガス利用世帯の区別がないことなどの問題点がある。またこれらの資料はいずれもサンプル調査であるため、調査対象等の条件が資料により異なっており、必ずしも資料間の整合性があるとは言えないといった問題もある。

こうしたことから、エネルギー構成比を詳細に把握することは今後の重要な研究課題であると考えているが、ここでは前述の各種資料を参考として次の通りに仮定した。まず暖房については、資料によってばらつきは大きいですが、電力を利用している世帯は単身世帯を除けば40～50%程度であると考えられる。ただし複数回答可の資料の重複率などから、冷暖兼用ルームエアコンと灯油・ガス燃焼式の暖房器具と併用しているケースが多いと推察されるため、約半分が電力であると仮定し、20%とした。暖房にガスを利用している世帯は全世帯の10～20%程度

表-1 用途別エネルギー構成比の想定

	都市ガス利用世帯	プロパンガス利用世帯
暖房	都市ガス: 30% 灯油: 50% 電力: 20%	灯油: 80% 電力: 20%
冷房	電力: 100%	電力: 100%
給湯	都市ガス: 100%	プロパンガス: 40% 灯油: 60%
調理	都市ガス: 100%	プロパンガス: 100%

であるが、プロパンガスはほとんど暖房に使われていないため、都市ガス利用世帯の30%をガス利用とし、その他は灯油とした。給湯については、各種資料よりガス: 灯油の比率は7: 3程度であるが、コスト面や立地条件などから、都市ガス普及地域において給湯に灯油を利用しているケースは少ないと考えられるため、ここでは都市ガス利用世帯の100%、プロパンガス利用世帯の40%がガス利用とし、プロパンガス利用世帯の60%が灯油利用であると仮定した。以上の仮定に基づき、ここでは表-1の通りに設定した。これは既存の調査資料⁸⁾¹⁸⁾²¹⁾²²⁾と比較して概ね矛盾のない設定であると考えているが、あくまで想定値であるため、今後詳細な検討が必要である。

(2) 照明・動力等（ベース電力）

次に照明、動力等の電力消費によるCO₂排出について検討する。ただし図-1に示した電力には暖冷房に利用された電力が含まれているため、前節の推定値と合わせて積み上げるとダブルカウントとなるため、一般的な推定手法としては不都合がある。そこで、月別データ（家計調査月報）を用い、暖房・冷房が含まれていないと考えられる中間季の電力消費量を算出し、分析を行なった。この結果、地域性は必ずしも顕著とはいえないが、図-4に示した通り世帯あたり延床面積との若干の相関が生じた。また、世帯あたり延床面積はやはり大都市ほど小さいことが予想されたため、前節と同様に人口密度により推定式を作成したところ、図-5の通りとなった。

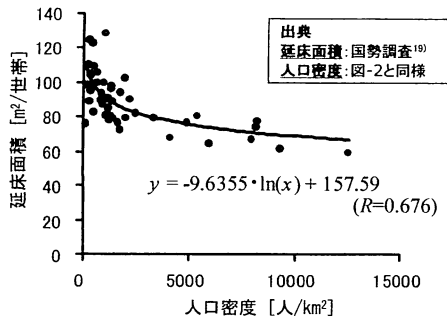


図-5 世帯あたり延床面積と人口密度の関係

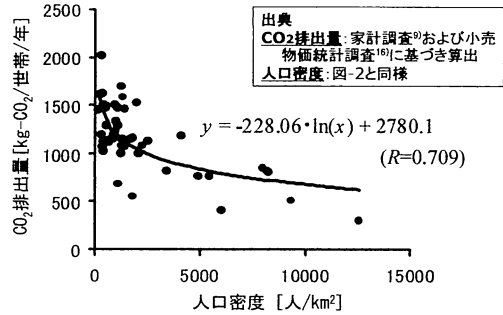


図-6 ガソリン消費によるCO₂排出量と人口密度の関係

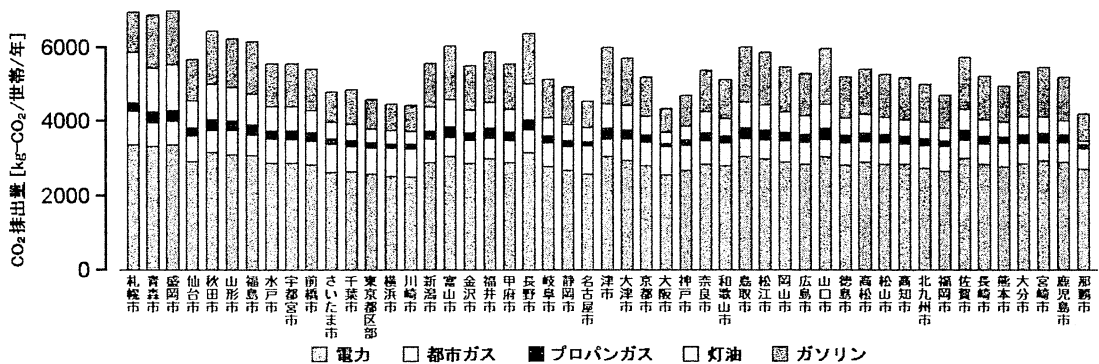


図-7 推定式による世帯あたり年間CO₂排出量（エネルギー別別）

(3) 自動車（ガソリン）

図-1より、ガソリン消費によるCO₂排出量は大都市において少ないことが分かる。そこで図-6の通りに人口密度による推定式を作成した。実際には大都市においてガソリン消費が少ない理由は、市街化に伴って公共交通機関が発達し、自家用車の利用頻度が減ること、建物が密集することにより建物間の移動距離が短くなることの両者が考えられるため、本研究の目的ではこれらを区別することが望ましい。また低炭素都市の構築に向けた一般化という意味では、前者の要因については公共交通機関によるCO₂排出量をカウントする必要がある。しかしながら、家計調査に基づく推計ではこれ以上の検討は困難であるため、今後は道路交通センサス等のデータを用いてさらに詳細な検討を行なう予定である。

4. 推定式によるCO₂排出量推計

前章で作成した一連のCO₂排出量推定式により、全国49都市の人口密度と気温のデータから、世帯あたりCO₂排出量を計算した。気温データは各都市の近隣観測ポイ

ントにおける気象庁の地上気象観測データ²⁹⁾を用いた。この計算結果をエネルギー源別、用途別に集計したものをそれぞれ図-7、図-8に示す。図-7と、家計調査等のデータから直接算定したCO₂排出量（図-1）とを比較すると、地域間のマクロなCO₂排出特性は概ね表現できていると判断できる。両者の関係を検討したところ、相関係数 $R=0.822$ であった（図-9）。本研究では気温と人口密度のみによる簡略化したパラメタリゼーションを行っていることを考慮すれば、良好な結果であると考えている。ただし、本研究では都市化の程度を表現する指標として人口密度を、気候条件を表現する指標として外気温を用いたが、実際には必ずしもこの2つの変数が最適であるとは言いきれない。今後はより網羅的に種々の指標を比較することや、より理論的な観点から最適な変数を見出すことなどにより、最適な変数の選択についても検討する価値がある。

ここで、エネルギー源の内訳を見ると、ガスと灯油の比率は図-7と比較して図-1の方が都市によるばらつきが大きいことが分かる。今回は資料不足により表-1の通りにエネルギー構成比を均一に設定したが、この点は改善の余地がある。とくに、現状では熱需要が多い寒冷地で

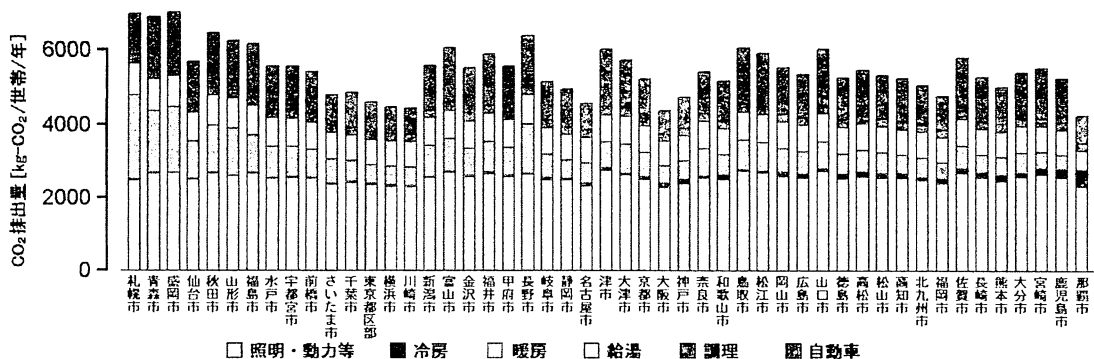


図-8 推定式による世帯あたり年間CO₂排出量(用途別)

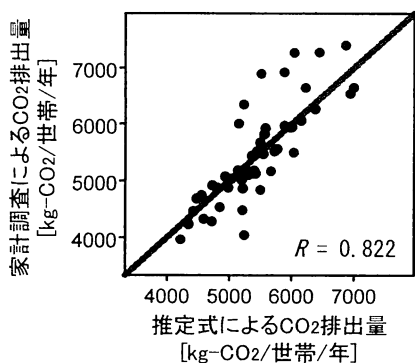


図-9 本研究の推定式と家計調査による推計値の比較(都市別)

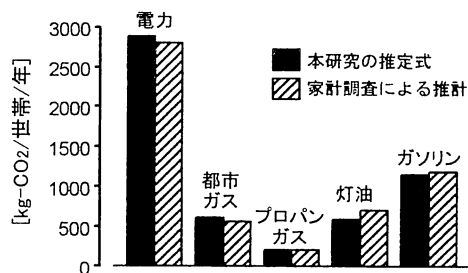


図-10 本研究の推定式と家計調査による推計値の比較(49都市平均・エネルギー源別)

はランニングコストが安い灯油利用の機器が普及しているが、図-7ではそれを反映していない。また、寒冷地では電力も過大評価となっているが、これも表-1において暖房の20%が電力利用と一律に設定したためであると考えられる。最近では冷暖兼用ルームエアコンの効率は向上しつつあるが、現状で普及している機器の大半は他の機器と比較してランニングコストが安いとは言えないため、熱需要が多い地域ほど他の燃焼式の暖房機器が優先的に用いられていると推察される。今後は地域別の設備機器保有率のデータ⁹⁾などを参考に気候条件や地域条件による定式化を行い、設定をより現実に近いことが必要である。次に、これらのエネルギー源別CO₂排出量について、49都市の平均値を算出して比較した(図-10)。この図から、やはり灯油が若干少なめであるが、全体としてはよく一致していることが分かる。したがって表-1の設定値は、全国的な平均値としては概ね妥当であると考えられる。用途別の集計結果(図-8)からは、寒冷地では暖房が多いことや、大都市では全体としてエネルギー消費量が少ないことなどの傾向が読み取れる。

ただし、前述した通り、国内では大都市は比較的温暖な地域に位置することが多いため、図-8のみでは気温の影響と都市化の影響を分離できとは言えない。そこで次に本研究で得た推定式に基づき、札幌市、東京都都区部、那覇市の気温条件で人口密度を変化させた場合のエネルギー消費原単位の変化について検討した(図-11)。この図は、人口密度の影響は3000[人/km²]付近までならば居住地域の高密度化によるCO₂削減効果が明確であるが、それ以上の高密度地域ではさらに高密度化してもそのCO₂削減効果はあまり大きくはないことを示唆している。この結果は、コンパクトシティ化などによる適度な高密度化がCO₂排出削減に結びつく可能性を示唆しており、最適な都市規模を検討する上で有益な資料となり得ると考えている。次に気候条件の影響について対等の人口密度で比較すると、札幌～東京間では差異が非常に明確に生じており、寒冷地において暖房利用によるCO₂排出量が多い傾向が顕著である。これに対し、東京～那覇間では、暖房/冷房の比率は入れ替わるものの、総排出量ではその差は札幌などの寒冷地と比較して大きくはないという結果となった。

5. まとめ

本研究では全国主要都市の家庭におけるCO₂排出量を分析し、CO₂排出構造とそのエネルギー消費の用途構成の推定手法を提案することを目的とした。とくに本研究において戸建・集合住宅の比率や都市ガス・プロパンガスの比率などについて個別に推定式を作成し、また冷暖房・給湯については気候条件に基づく既知の計算式を組み込むといった方法で種々の要因へ分解した。この結果、人口密度と気温のみで各都市における世帯当たりCO₂排出量を表現し、エネルギー用途の構成も概ね明らかにすることができた。ただし、現段階ではそれぞれ非常に単純な回帰式に基づいていることや、用途別のエネルギー構成比（表-1）を仮定していることなどの問題点がある。都市構造による平均世帯人員数の違いを反映できなかったことにも検討課題が残されている。本研究で用いたデータは単身世帯が含まれていないので、世帯人員数の地域差の影響は生じにくいデータであると言えるが、その一方で、単身世帯が含まれていないことによるバイアスについては別途検討する必要がある。また、本研究では自動車のCO₂排出は算定したが、代替手段である公共交通については算定できていないため、この点も今後の課題である。低炭素都市の実現に向けた一般化という意味では家庭用エネルギーのみでは不十分であるため、今後、業務部門や交通に関する種々の研究とも結びつけて複雑な都市代謝の過程でのCO₂排出構造をシステム工学的に把握していくことが必要であると考えている。

謝辞：本研究を進めるにあたり名古屋大学大学院環境学研究科の井村秀文教授、群馬大学工学部電気電子工学科（研究当時）のOoi Wei Tze氏にご指導、ご協力を頂きました。本研究は平成22年度環境研究総合推進費「水・物質・エネルギー統合解析によるアジア拠点都市の自然共生型技術・政策シナリオの設計・評価システムに関する研究」（研究代表者：藤田 壮）の支援により実施されました。ここに記して感謝の意を表します。

参考文献

- 1) 平野勇二郎, 外岡 豊, 伊香賀俊治, 亀卦川幸浩, 藤沼康実, 下田吉之: 民生業務部門エネルギー消費原単位に関する各種資料の比較評価, 日本建築学会環境系論文集, No.633, pp.1331-1339, 2008.
- 2) 平野勇二郎, 井村秀文: 各種既存資料に基づく民生業務部門エネルギー消費量の分析, 第36回環境システム研究論文発表会講演集, pp.199-208, 2008.
- 3) 平野勇二郎, 亀卦川幸浩, 玄地 裕, 近藤裕昭: 事務所および住宅における空調・給湯用エネルギー消費量の気候感応度算定に関する各種手法の相互比較, エネルギー・資源, Vol.27, pp.218-224, 2006.
- 4) 澤地孝男, 坊垣和明, 吉野 博, 鈴木憲三, 赤林伸一, 井上 隆, 大野秀夫, 松原斎樹, 林 徹夫, 森田 大: 用途別エネルギー消費原単位の算出と推定式の作成 全国的調査に基づく住宅のエネルギー消費とライフスタイルに関する研究 (第1報), 日本建築学会計画系論文集, No.462, pp.41-48, 1994.
- 5) 石田建一: 戸建住宅のエネルギー消費量, 日本建築学会計画系論文集, No.501, pp.29-36, 1997.
- 6) 長谷川善明, 井上 隆: 全国規模アンケートによる住宅内エネルギー消費の実態に関する研究 世帯特性の影響と世帯間のばらつきに関する考察 その1,

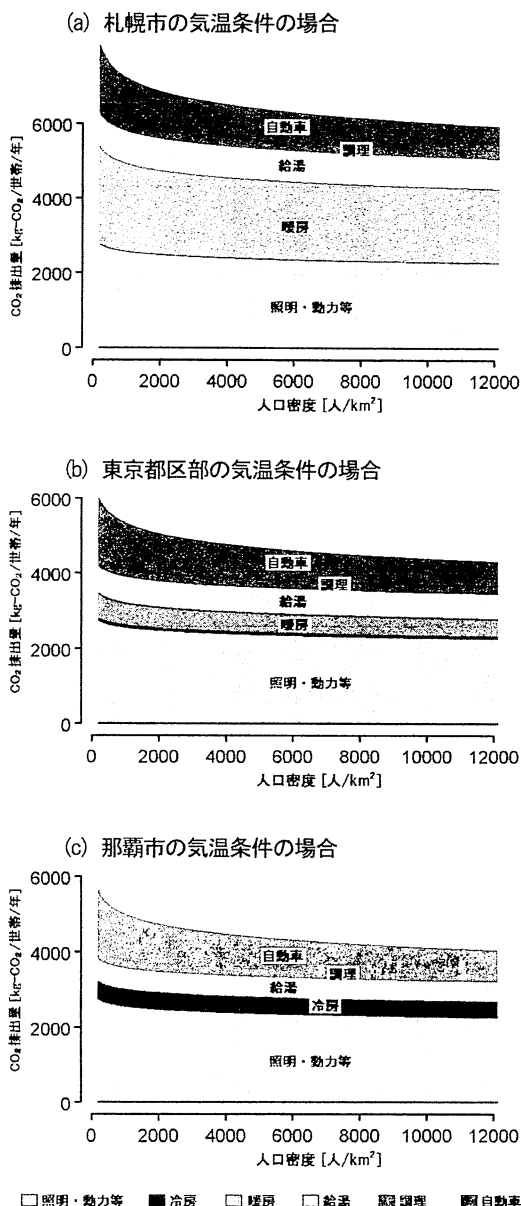


図-11 本研究の推定式に基づく人口密度とCO₂排出量の関係

- 日本建築学会環境系論文集, No.583, pp.23-28, 2004.
- 7) 中村美紀子, 中上英俊, 村越千春, 田中章夫: アンケートによる大都市圏の家庭用エネルギー消費構造の実態調査 (第2報) エネルギー種別消費量, 空気調和・衛生工学会大会学術講演論文集, pp.933-936, 2006.
 - 8) 日本エネルギー経済研究所: 民生部門エネルギー消費実態調査, 新エネルギー・産業技術総合開発機構, 1999.
 - 9) 総務省統計局: 家計調査
<http://www.stat.go.jp/data/kakei/index.htm>
 - 10) 三浦秀一: 全国都道府県庁所在都市の住宅におけるエネルギー消費とCO₂排出量の推移に関する研究, 日本建築学会計画系論文集, No.528, pp.75-82, 2000.
 - 11) 福代和宏: 関東・東海・関西・中国地方各都市における家庭部門月別エネルギー消費量の推定, 空気調和・衛生工学論文集, No.114, pp.61-68, 2006.
 - 12) 環境自治体会議: 環境自治体白書 2007年版, 生活社, 2007.
 - 13) 中村美紀子, 中上英俊, 室田泰弘, 村越千春, 水谷傑, 平山 翔, 岸田真一: 2015年のライフスタイルと家庭用エネルギー消費に関する調査 (第1報) 家庭用エネルギー消費量のマクロ予測, 空気調和・衛生工学会大会学術講演論文集, pp.1481-1484, 2008.
 - 14) 藤井拓郎, 下田吉之, 森川貴夫, 水野 稔: 熱負荷計算を組み込んだ都市住宅エネルギーエンドユースモデルの開発 世帯詳細区分型都市住宅エネルギーエンドユースモデルの開発と応用(1), 日本建築学会環境系論文集, No.589, pp.51-58, 2005.
 - 15) 伊香賀俊治, 三浦秀一, 外岡 豊, 下田吉之, 小池万里, 深澤大樹, 水石 仁: 住宅のエネルギー消費量とCO₂排出量の都道府県別マクロシミュレーション手法の開発, 日本建築学会技術報告集, No.22, pp.263-268, 2005.
 - 16) 総務省統計局: 小売物価統計調査
<http://www.stat.go.jp/data/kouri/index.htm>
 - 17) 資源エネルギー庁: ガス事業年報.
 - 18) 石油化学新聞社: 2005年版 LP ガス資料年報, Vol.40, 2005.
 - 19) 総務省統計局: 平成17年国勢調査
<http://www.stat.go.jp/data/kokusei/2005/index.htm>
 - 20) 国土地理院: 全国都道府県市区町村別面積調
<http://www.gsi.go.jp/KOKUJYOHO/MENCHO-title.htm>
 - 21) 日本エネルギー経済研究所 石油情報センター: 平成14年度 プロパンガス消費実態調査, 2003.
 - 22) 日本エネルギー経済研究所 石油情報センター: 平成14年度 灯油消費実態調査, 2003.
 - 23) 気象庁: 気象統計情報
<http://www.jma.go.jp/jma/menu/report.html>

EXAMINATION AND FORMULATION OF HOUSEHOLD CO₂ EMISSIONS AND ENERGY USES IN MAJOR CITIES IN JAPAN

Yujiro HIRANO, Tsuyoshi FUJITA and Toshiki TAKAHASHI

Reducing CO₂ emission resulting from household energy consumption in cities is extremely important because it is intimately connected with the urban activities of humans. Although many studies of CO₂ emission reduction in cities have been conducted, most of these have been case studies of individual cities. To realize a low-carbon city, such studies should be applied to areas where future urban development is expected. Therefore, to build a general estimation and prediction method, we calculated the CO₂ emissions from households in major cities in Japan using the annual report on the family income and expenditure survey, and examined the relationships between CO₂ emissions and various regional characteristics. Moreover, we developed estimation equations for energy use. Generally, the CO₂ emissions due to household energy consumption and energy use were expressed as functions of population density and mean air temperature.