

建物エネルギーモデルとモニタリングによる炭素排出量・人工排熱量の高精度な推計手法の開発

Development of High Accuracy Estimation Method for Carbon and Anthropogenic Heat Emissions with a Building Energy Model and Monitoring Data

原 政之*

1. はじめに

2021年8月9日に、気候変動に関する政府間パネル（Intergovernmental Panel on Climate Change; IPCC）第1作業部会において8年ぶりの新しい報告書となる第6次評価報告書¹⁾が公表された。今回の報告書では、人間活動の影響が大気・海洋・陸域が温暖化させたことに疑う余地はないと記されている。1850～1900年からの地球全体で平均した気温上昇量は、2010～2019年には0.8～1.3℃に達していたと推定されており、2081～2100年には地球全体の平均気温上昇量は、温室効果ガス排出量を大幅に削減した温室効果ガス排出量シナリオ（SSP1-1.9）でも1.0～1.8℃、温室効果ガス排出量の削減が進まなかった温室効果ガス排出量シナリオにおいては3.3～5.7℃と予測されている。

また、同報告書では、都市域では都市ヒートアイランド現象（Urban Heat Island; 以下、UHI）によって局所的な気温上昇が生じており、熱波の頻度や深刻さが増しているとも指摘している。

ところで、現在、世界人口の55%は都市に集中し、温室効果ガスの70%は都市から排出されている²⁾。更に、気候変動に対し脆弱な人口も都市に集中している。この為、都市の気候変動対策はその重要性を増しつつあり、暑熱環境の悪化を始めとした気候変動への適応策及び緩和策の推進が求められている。

ここで、日本および熊谷における気温上昇について、図1³⁾に示す。図1は、気象庁の観測データより作成した、都市化の影響が少ない日本国内15地点平均、および、熊谷の年平均地上気温の変化を示している。都市化の影響が少ない地点では、地球温暖化（Global Warming; 以下、GW）による気温上昇が見られており、その上昇率は1898～2020年までの間では100年あたり1.26℃になっている。一方、

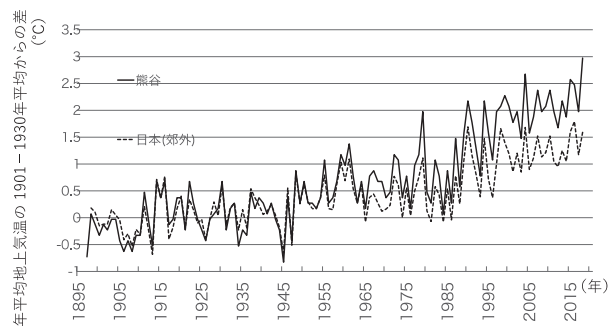


図1 気象庁の観測による年平均地上気温の経年変化。都市化の影響が少ない日本全国の15地点平均（破線）、および、熊谷（実線）（原ほか、2021³⁾から引用）。

熊谷では100年あたり2.1℃の割合で上昇している。日本全体での平均と熊谷とでの気温上昇率の差は、都市ヒートアイランド現象によるものと考えられます。このように、日本の都市域では、気温上昇はGWだけではなくUHIの影響も受けている。

年平均気温で見ると、この差は小さく見えるかもしれないが、視点を変えると温暖化が急速に進行している様子が見える。例えば、熊谷では、猛暑日（最高気温が35℃以上の日）の日数は、1980年代10年間では73日であったが、2010年代10年間では238日と3倍以上になっている。また、熱帯夜（夜間の最低気温が25℃以上の日）の日数は、1980年代には34日であったが、2010年代には175日と5倍以上に増えている。さらに、冬日（最低気温が0℃未満の日）の日数は、1980年代では598日であったが、2010年代では439日と、150日以上減少している。

2. 簡易推計ツールの必要性

UHIの原因は大きく分けて二つ挙げることができる。一つは人工排熱、もう一つは自然植生から人

* 埼玉県環境科学国際センター 専門研究員

工被覆・建造物への土地利用の変化である。そのため、UHI 対策としては、人工排熱量を減らす、若しくは、蓄熱しない建造物や保水性のある建造物を増やすなどが考えられる。

一方、GW 対策としては、GW による悪影響を受けないようにするための策（適応策）も重要ではあるが、温室効果ガス排出量の削減（緩和策）が唯一の根本的な対策である。国としては、緩和策および適応策をそれぞれ車輪の両輪として位置付け、どちらも必要な対策であると謳っている。国における緩和策としては、1998年に地球温暖化対策推進法を公布し、以降改正が進められている。同法に基づき、地方自治体においても地球温暖化対策実行計画を策定し温室効果ガス排出量削減を進めることが求められている。2050年までにカーボンニュートラルを達成することが求められている現状において、暑熱環境の気候変動適応策としてのUHI対策が行われているが⁴⁾、この際にも、同時に、GW対策について考慮する必要がある。

このため、都市での対策の設計に際しては、UHI・GWの両因子としての人工排熱量・炭素排出量（以下、熱・CO₂排出量）の正確な推計が有用である。その推計には主にインベントリ分析が用いられてきたが、手順が煩雑であり、実際の熱・CO₂排出量との比較検証も殆どなされない為、推計の精度・不確実性ともに不明である場合が多い。また、人口や土地利用の変化等に伴う熱・CO₂排出量の将来変化を予測する簡易手法も開発されていない。これら排出量の将来予測を気候変動適応策の設計や低炭素社会を目指した都市計画の策定に反映させる為にも、そのような簡易手法の開発が望まれている。

このような状況の中、我々は、現在、Kikegawa et al. (2003)⁵⁾で開発された建物エネルギーモデルによる高精度な熱・CO₂排出量推計結果をもとに数理統計モデルを構築している。また、構築した数理統計モデルを用いた民生部門の人工排熱・二酸化炭素排出量（以下、熱・CO₂排出量）推計、および、他部門の既存手法での熱・CO₂排出量推計を組み合わせ、熱・CO₂排出量の推計を行っている。さらに、これらの熱・CO₂排出量推計手法に基づいて簡易に全国で排出量インベントリ推計が可能となるツール（以下、簡易推計ツール）を作成している。

3. 簡易推計ツール想定利用者に対するヒアリング

環境政策へ活用するための出口の明確化のため、政策担当者である埼玉県環境部温暖化対策課およびエネルギー環境課の担当者を対象としたヒアリング調査を実施し、以下のような要望を得た。

- ・施策の効果の事前推計、事後検証が求められるが、現在ではこのような推計を簡易に行うことができないツールはなく、複数の施策メニューの効果を推計できる簡易インベントリ作成ツールは有用
- ・既に行なっている施策を評価したいとのニーズあり
 - ・住宅省エネ性能等（断熱性能、省エネ機器導入）
 - ・地中熱ヒートポンプ
 - ・太陽光パネル
- ・当初計画では地方自治体の政策担当者（技術職）、地方自治体の研究所職員の利用を想定
- ・環境部局の政策担当者（行政職）でも利用可能であると更に有用との意見
- ・近年、2050年までのカーボンニュートラルへの動きも活発化しているため、簡易推計ツールのようなものが使えるとありがたい

このようなヒアリングの結果を受け、現在、簡易推計ツールの開発を進めているところである。

4. 簡易推計ツールの概要

簡易推計ツールでは、表1の仕様に準じた熱・CO₂排出量の推計が可能である。簡易推計ツールはWeb GISをベースとしたツールであり、図2で示すようにウェブブラウザ経由で対象地域、気候シナリオ、排出量削減対策を直感的に選択することが可能なGUIとなっており、政策担当者または地方自治体の研究所職員が自ら対策を考慮した熱・CO₂排出量を推計することができる。簡易推計ツールにより、現在削減が進まず課題となっている、家庭・業務部門のCO₂削減量の推計が可能となり、自治体施策に貢献することを見込んでいる。また、CO₂削減だけではなく、人工排熱削減により都市ヒートアイランド現象を弱める効果も評価できる。更に、推計された人工排熱量インベントリは、数値気象モデルを用いた都市ヒートアイランドのシミュレーションの入力データとしても使用することができる。

表1 簡易推計ツール仕様

推計対象	産業・家庭部門の人工排熱量および二酸化炭素排出量
対象地域	全国または都道府県ごと
空間解像度	標準地域メッシュ第3次地域区画に準じる
時間解像度	1時間ごと、季節ごと、平日・週休日別
気候シナリオ	現在気候から+2°C上昇まで、0.5°C刻みで選択可能
電力排出係数	直接指定可能
排出量削減対策	高効率家電普及率、地中熱ヒートポンプ普及率、住宅地の緑被率、太陽光発電普及率、住宅高断熱化率などを指定可能
出力値	3次メッシュでの人工排熱・二酸化炭素排出量推計値、および、それらの対象地域全体での集計値
出力形式	画像ファイル、shapefile形式やGeoJSON形式
開発環境	Jetty – Geoserver – PostGIS – PostgreSQLでの実装 (オープンソースのサーバアプリケーションを活用)

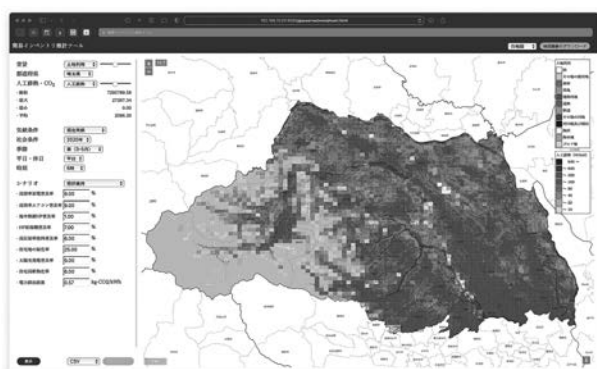


図2 簡易推計ツールのGUI（開発版）

5. 最後に

簡易推計ツールは現在開発を終えて、改良を進めているところである。現時点での簡易推計ツールのGUIは、図2のようになっている。簡易推計ツールは、一般的なPCのウェブブラウザから操作することができ、直感的な操作で熱・CO₂排出量の推計ができ、それらに対策を施した時の効果も瞬時に得ることができるようになっている。

設計段階から行ってきた地方自治体の複数の関連部署の政策担当者を対象としたヒアリングを引き続き行い、この開発版を用いながら、どのようなツールであれば政策立案などに役立つか、どのような熱・CO₂排出量削減対策が考えられるか、ユーザーインターフェースは使いやすいかなどについて、ヒアリング結果を基に改良を進め、政策の立案などに役立つツールとなるよう、また実際の政策立案に用いられることを目指しているところである。

謝辞

本発表の一部は、(独)環境再生保全機構の環境研究総合推進費(JPMEERF20191009)により実施した。

参考文献

- 1) IPCC, Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, Masson-Delmotte, V., P. Zhai, A. Pirani, S.L. Connors, C. Péan, S. Berger, N. Caud, Y. Chen, L. Goldfarb, M.I. Gomis, M. Huang, K. Leitzell, E. Lonnoy, J.B.R. Matthews, T.K. Maycock, T. Waterfield, O. Yelekçi, R. Yu, and B. Zhou (eds.), (2021) Cambridge University Press (in press)
- 2) International Energy Agency, World Energy Outlook 2008, (2008), International Energy Agency, Paris.
- 3) 原政之, 本城慶多, 大和広明, 武藤洋介, 嶋田知英, 宮川武明, 栗原諒至, 都市の気温上昇と暑熱対策—埼玉県の施策例—, グリーン・エージ, (2021年9月), 28-31.
- 4) 原政之, 栗原諒至, 井出浩一, 嶋田知英, 気候変動適応への取り組み—暑熱環境対策を中心とした事例—(総説), 保健医療科学, (2020), 69, 5, 444-452
- 5) Yukihiro Kikegawa, Yutaka Genchi, Hiroshi

Yoshikado, Hiroaki Kondo, Development of a numerical simulation system toward comprehensive assessments of urban warming countermeasures including their impacts upon the urban buildings' energy-demands, Applied Energy, (2003), **76**, 4, 449-466, [https://doi.org/10.1016/S0306-2619\(03\)00009-6](https://doi.org/10.1016/S0306-2619(03)00009-6).

著者略歴



独立行政法人海洋研究開発機構 技術研究主事を経て、2014年10月より埼玉県環境科学国際センター研究員。博士（理学）。専門は、局地気候・気象学。