

都市における人間活動と熱環境の時空間分布を考慮した

CO₂ 排出シミュレーション

平野勇二郎

CO₂ Emission Simulation with Consideration to Spatio-Temporal Distributions of Human Activities and Urban Thermal Environments

Yujiro HIRANO

Abstract: We carried out a quantitative analysis on the impact on energy consumption from air conditioning and water-heating of the urban heat island phenomenon and reduction effects for CO₂ emissions of mitigation measures. Specifically, our study proposes an evaluation method with consideration to the heat island phenomenon - for which position, severity and shape are changeable depending on season and time of day - as well as taking into account spatial distributions and time variations in human activity; we also provide examples of our method's application. An outcome of the study, as indicated by yearlong evaluations, illustrates the reduction of energy consumption for air conditioning and water heating as a result of the heat island effect. We also confirmed the high probability that mitigation measures are effective for energy conservation and the reduction of CO₂ emissions.

Keywords: 都市ヒートアイランド (urban heat island), 空調エネルギー消費 (air-conditioning energy consumption), CO₂ 排出 (CO₂ emission)

1. はじめに

都市熱環境の適切な計画・管理は、都市環境と地球環境の両方に関係するため重要な政策課題である。とくに顕著な都市熱環境の悪化を招く要因として、都市ヒートアイランド現象に関する指摘は多く、種々の自治体においてヒートアイランド対策の導入が進められている(一ノ瀬, 2002)。

都市ヒートアイランドは冷房用エネルギー消費の増大は、化石燃料消費による CO₂ 排出量の増

大に結びつくため、地球温暖化問題とも関係する深刻な問題である。しかしながら、冬季に寒冷化するヒートアイランド緩和策を導入することは暖房用エネルギー消費の増大による CO₂ 排出量の増大につながるため、熱環境改善策を選択する際に慎重な検討が必要である(平野ほか, 1999)。

ヒートアイランド現象は夏季と冬季、日中と夜間では昇温の要因や有効な緩和策が異なる場合が多い。また、冷房・暖房利用等による人間側のエネルギー消費行動も季節・時刻によって異なり、商業・業務用地や住宅地などの市街地形態や建物構造によってその気温による影響の生じ方が異なる。このため、熱環境と人間活動の両方の時空間分布を踏まえて緩和策を検討する必要がある。

平野勇二郎 〒305-8506 茨城県つくば市小野川 16-2

独立行政法人国立環境研究所

Phone: 029-850-2890

E-mail: yhirano@nies.go.jp

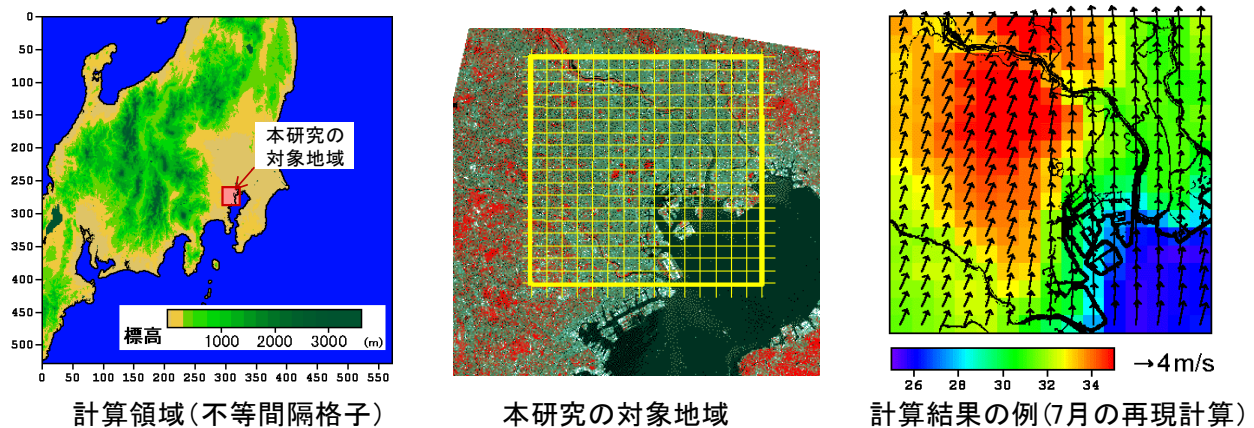


図-1 本研究における都市気候シミュレーションのモデル設定

こうした背景から、本研究では東京を対象とし、都市熱環境とエネルギー消費活動の両方の時空間分布を考慮し、都市ヒートアイランド現象やその緩和策が空調・給湯用エネルギー消費量や CO_2 排出量へ及ぼす影響の評価を行った。

2. 本研究における評価方法

従来からエネルギー消費の気温感応度に基づいて都市ヒートアイランド現象が空調用エネルギー消費量に及ぼす影響の評価が行われてきた (Fung et al., 2006). しかしながら、多くの場合、エネルギー消費の気温感応度は気温とエネルギー供給量のデータから算出されるため、一般に供給エリアよりも細かい空間単位で算出することが難しい。したがって、こうしたエネルギー消費の気温感応度の知見を、都市部に局所的に高温域が生じる都市ヒートアイランド現象の影響評価にそのまま適用することは困難である。

そこで書者らは、床面積あたり/世帯数あたりエネルギー消費原単位を用いたエネルギー消費分布の推定方法を気温の時空間分布と結びつけて、気温の影響を含めてエネルギー消費量を算出する方法の開発を行っている (平野ほか, 1999). この方法では、エネルギー供給データではなくエネルギー消費原単位を気温の関数で表現し、この関数により気温分布に応じたエネルギー消費原単位の分布を算出し、さらに床面積/世帯数の分

布を乗じることによりエネルギー消費量を算出する。この方法により、季節・時間により位置・強度・形状が変化する都市ヒートアイランド現象と住宅やオフィスなどによる人間活動の両方の時空間分布を考慮した評価が可能である。本研究ではこの推定手法と局地気象モデルによる都市気候シミュレーションとを結び付けて通年のエネルギー消費量を算出し、空調・給湯利用による CO_2 排出量を算出した。

3. ヒートアイランド現象の影響評価

本研究では、コロラド州立大学メソスケールモデル (Ichinose et al., 1999; Hirano et al., 2004) を用いて、図-1 の通りに東京都心部を対象とした都市気候シミュレーションを行った。ここでは、まず都市ヒートアイランド現象が CO_2 排出量に及ぼす影響を評価するため、現状およびヒートアイランドの影響を受けていない場合の気温分布を都市気候シミュレーションにより得た。現状のシミュレーションでは気象モデルにおいて設定する地表面の物理特性を現状の土地利用データに基づいて設定した。一方、ヒートアイランドの影響を受けていない場合の気温分布は、建物用地、交通用地、その他の用地のパラメータを森林および荒地に変更して地表面の物理特性を設定した。

得られた月別・時刻別気温分布に時刻別・用途別・建物用途別エネルギー消費原単位の推定式

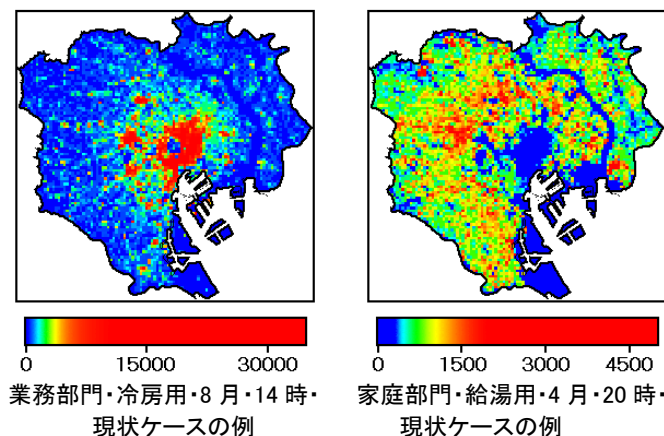


図-2 エネルギー消費算出結果の例 (Mcal/時/メッシュ)

(平野ほか, 1999) を適用し, 業務部門は床面積あたり, 家庭部門は世帯あたりのエネルギー消費量を算出した. 次に, これらの分布に世帯数/床面積の分布を乗じることによりエネルギー消費量の分布を得た (図-2).

得られたエネルギー消費量から CO_2 排出量を算出し, 対象地域全体で集計した (図-3). この結果, 業務部門ではヒートアイランド現象により CO_2 排出量は増大しているが, 家庭部門では減少しており, 対象地域全体では減少しているという結果となった. したがって, 住宅地を含んだ都市全体のスケールで冬季は寒冷化するヒートアイランド対策を導入すると, CO_2 排出量の増大を招く可能性がある. このため, 例えば落葉樹の利用や季節風の利用など, 冬季は寒冷化せずに夏季の暑熱環境を改善するヒートアイランド緩和策を選択することが重要である.

4. 熱環境改善策の評価事例

前章の評価結果から分かる通り, 都市ヒートアイランド現象が CO_2 排出量に及ぼす影響は季節や時間, 商業・業務用地や住宅地などの市街地形態によって異なるため, 都市熱環境とエネルギー消費行動の両者の時空間分布を踏まえて評価することがきわめて重要である. ここでは, その一例として落葉樹により緑化したケースを想定して評価を行った.

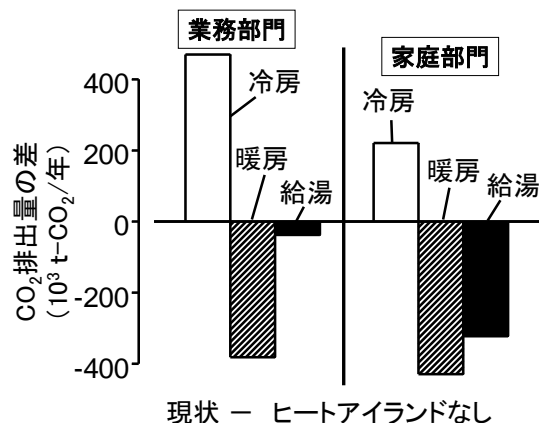


図-3 年間 CO_2 排出量の差

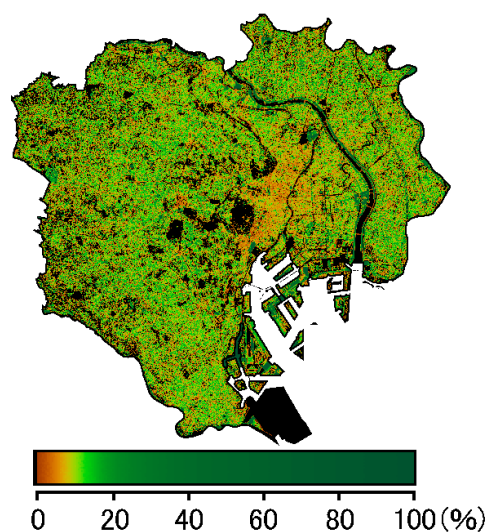


図-4 緑化の想定 (緑化後の緑被率)

まず東京都地理情報システムの建物ポリゴンデータから得た非建蔽率と衛星リモートセンシングによる緑被率データから, 土地利用別に緑化余地を仮定し, 緑化のシナリオを作成した (図-4). 設定方法の詳細はここでは省略する. 次に衛星リモートセンシングによる現状の緑被率と, 図-4に示した緑化後の緑被率をそれぞれ気象モデルの地表面部分に組み込んで, 都市気候シミュレーションを行った. ただし, 月別にシミュレーションを行う際の緑化部分の植生の季節変化パターンは衛星リモートセンシングによる緑被率の樹林地における季節変化パターンに基づいて設定した. 緑被率データの気象モデルへの組み込みは Hirano et al. (2004) の方法を用いた.

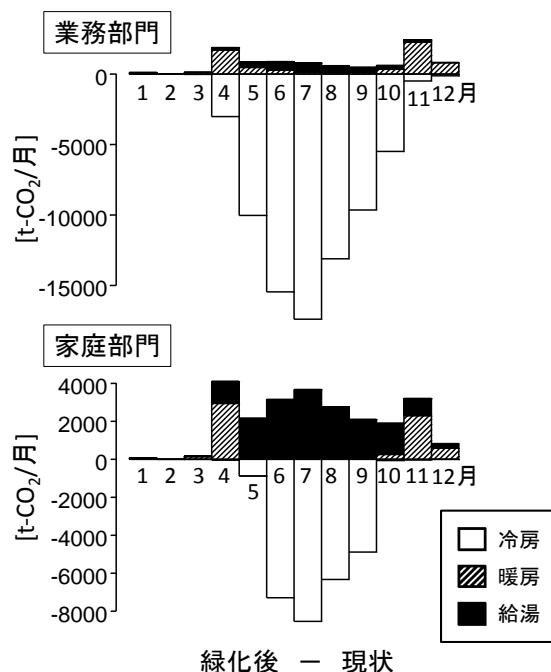


図-5 月別 CO₂ 排出量の差

得られた現状および緑化後の気温分布から前章と同様に CO₂ 排出量を算出し、月別に集計した (図-5)。この結果、業務部門では夏季の冷房削減による CO₂ 削減が大きく、また暖房・給湯への影響は小さいため、明確な CO₂ 削減効果が得られている。一方、家庭部門では夏季の冷房削減による CO₂ 削減効果は得られているが、給湯の増大や中間季付近の暖房の増大も無視できず、結果としてはほぼ相殺されている。この結果は、住宅と商業・業務建築が混在した多くの市街地において緑化により CO₂ 削減効果が得られる可能性が高いことを示唆するものである。また、住宅地においても、景観の向上や洪水防止、延焼防止などの様々な目的のために緑化する際に、落葉樹を選択することにより CO₂ 増大を防ぐことができることを示唆しており、有益な知見である。

5. まとめ

本研究では、都市ヒートアイランド現象やその緩和策による空調・給湯用エネルギー消費とその CO₂ 排出量の削減効果について評価した。とくに著者らが開発を行っているエネルギー消費分布

推定手法と都市気候シミュレーション手法とを結び付け、CO₂ 排出量の季節変化や日変化、市街地の空間分布等を踏まえてシミュレーションを行った。この結果、例えば、通年評価では暖房・給湯用エネルギー消費への影響が大きく、ヒートアイランド現象による CO₂ 排出量の減少がみられたが、落葉樹のような冬季は寒冷化せずに夏季の暑熱環境を改善する方策では省エネルギー効果・CO₂ 削減効果が得られる可能性が高いことなどが示された。今後、具体的な自治体による緑化計画にこの評価手法を適用し、より現実的な環境計画の定量評価に結びつける予定である。

謝辞

本研究を進めるにあたり国立環境研究所の藤田壮氏、一ノ瀬俊明氏にご指導を頂きました。本研究は環境研究総合推進費 (2RF-1303) および科学研究費補助金 (24760438) 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

- 一ノ瀬俊明 (2002)：地方自治体におけるヒートアイランド対策－環境省委員会の活動－，大気環境学会誌，37 (6)，A71-84.
- 平野勇二郎・茅陽一・柴崎亮介 (1999)：都市ヒートアイランド現象の空調・給湯用エネルギー消費への影響評価．土木学会論文集，629/VII (12)，83-96.
- Fung, W. Y., Lam, K. S., Hung, W. T., Pang, S. W., Lee, Y. L., 2006. Impact of urban temperature on energy consumption of Hong Kong, *Energy*, 31, 2623-2637.
- Hirano, Y., Yasuoka, Y., Ichinose, T., 2004. Urban Climate Simulation by Incorporating Satellite-Derived Vegetation Cover Distribution into a Mesoscale Meteorological Model, *Theoretical and Applied Climatology*, 79, 175-184.
- Ichinose, T., Shimodozono, K., Hanaki, K., 1999. Impact of anthropogenic heat on urban climate in Tokyo. *Atmospheric Environment*, 33, 3897-3909.