

中四国地方を対象とした 人工排熱分布推定と気温変動への影響評価

佐野 裕己

高知工科大学 システム工学群 建築・都市デザイン専攻

都市化に伴いヒートアイランド現象が深刻化しており、その要因の一つである人工排熱の推定に関する研究は三大都市圏を中心に進められてきたが、地方圏では十分に行われていない。本研究では、中四国地方を対象に市町村単位で人工排熱分布を推定し、人工被覆域割合と併せて気温変動への影響を検討した。その結果、人工排熱と気温変動の直接的な関係は確認されなかったが、人工被覆域割合が夜間の高温化に関与していることが示された。また、人工被覆域の拡大と人工排熱は密接に関連していることから、人工排熱が間接的に気温変動へ影響を及ぼす可能性が示唆された。

Key Words: ヒートアイランド現象, インベントリ分析, 人工被覆域割合, 熱帯夜日数

1. 序論

(1) 背景

近年、深刻化するヒートアイランド現象の主な要因として、土地被覆の変化と人工排熱が挙げられる。土地被覆の変化とは、蒸発散による冷却効果を有する森林など植生域が、都市化に伴いアスファルトなどの人工被覆域へと転換することで、気温上昇が促進される現象である。一方、人工排熱は、都市における産業活動などに伴って放出される熱が都市部の気温上昇を引き起こすものである。ヒートアイランド現象を緩和するためには、これらの要因を定量的に評価することが不可欠である。しかし、人工排熱の推定には詳細なエネルギーデータが必要であるため、既往研究¹⁾²⁾³⁾は三大都市圏に集中しており、データ整備が不十分な地方圏である中四国地方を対象とした研究は限られている。人工排熱は「供給」「消費」「排出」の3段階で捉えられるが、都市の気温に直接影響を及ぼす排出段階の把握にはデータ上の制約が大きい⁴⁾。そこで本研究では、比較的データ取得が可能な消費段階に着目し、中四国地方の市町村単位に

おける人工排熱分布推定と、それに伴う気温変動の評価を行う。

(2) 目的

本研究では、中四国地方の市町村を対象に、住宅、非住宅、工場、清掃工場の4分野におけるエネルギー消費量に基づき、消費段階の人工排熱量をインベントリ分析により推定する。さらに、その空間分布および2010年、2015年、2020年における経年変化を明らかにするとともに、推定した人工排熱量と気象観測データとの相関を解析し、人工排熱が地域の気温変動に与える寄与を定量的に評価する。

(3) 本研究の独自性

本研究は、これまで大都市に集中してきた人工排熱推定を、中小都市が中心である中四国地方に適用し、地域的な研究空白の補完を図った。また、都市ごとの実際のエネルギー消費量に基づくインベントリ分析により、実態に即した人工排熱量を市町村単位で推定し、地域差や空間分布特性を詳細に把握した。

2. 人工排熱分布推定

(1) 使用データ

- ① 国勢調査/世帯人員別一般世帯数⁶⁾
- ② 家庭部門の CO₂排出実態統計調査/年間エネルギー消費量⁷⁾
- ③ 国勢調査/男女別人口及び世帯数⁶⁾
- ④ 山口県都市計画基礎調査⁸⁾
- ⑤ DECC/単位延床面積あたり年間一次エネルギー消費量⁹⁾
- ⑥ 企業・事業所他部門のエネルギー消費の推移¹⁰⁾
- ⑦ 経済センサス-活動調査/製造業地域編統計表¹¹⁾
- ⑧ 一般廃棄物処理事業実態調査/施設別整備状況¹²⁾

(2) 推定手法

本研究では、中四国地方の市町村単位で、主要な人工排熱源の対象とされる住宅、非住宅、工場、清掃工場についての排熱を消費段階で捉え、分布推定を行った。推定時期は、2010年、2015年、2020年とし、排熱量の単位はGJ/年とした。

a) 住宅排熱

家庭部門の CO₂排出実態調査に含まれる、世帯人数別のエネルギー消費量原単位と地方別のエネルギー消費量原単位を用いて、中四国地方における世帯人数別のエネルギー消費量原単位を求めた。求めた原単位に、国勢調査に基づく中四国地方の市町村別・世帯人員別世帯数を乗じることで、市町村別の住宅排熱量を推定した。

b) 非住宅排熱

非住宅は、建物の延床面積に基づいて排熱を求めるが、中四国内において建物延床面積の十分に推定可能なデータが整備されているのは山口県のみであった。そこで、山口県 11 市町の延床面積由来の排熱量と各市町の夜間人口から回帰係数を求めることで推定した。都市計画基礎調査から求めた延床面積に、エネルギー消費量データベースの用途別単位面積あたりのエネルギー消費原単位を乗じることで、山口県の 11 市町における非住宅排熱量をそれぞれ算出する。求めた排熱量と山口県の各市町の夜間人口より、回帰係数を求め、中四国の市町村の夜間人口を代入することで、非住宅排熱量を推定した。

c) 工場排熱

企業・事業所他部門の製造業のエネルギー消費量

を利用し、経済センサス活動調査の製造品出荷額等を用い、全国に対する各県のシェア、各県に対する各市町村のシェアに基づき、各々に分配し、工場排熱量を推定した。

d) 清掃工場排熱

一般廃棄物処理事業実態調査より、中四国にある各ごみ処理施設において、年間処理量に施設別の低位発熱量を乗じることで、清掃工場排熱量を推定した。

(3) チャートマップの作成

推定した人工排熱分布を可視化するため、チャートマップを作成した(図-1)。人工排熱量は市町村単位で、年ごとに作成し、各市町村の中心位置にパイチャートを配置した。パイチャートの大きさは各市町村の人工排熱量(GJ/年)に対応させ、グラフの区分は各分野における人工排熱量の構成比を示している。

(黄：住宅、橙：非住宅、緑：工場、青：清掃工場)

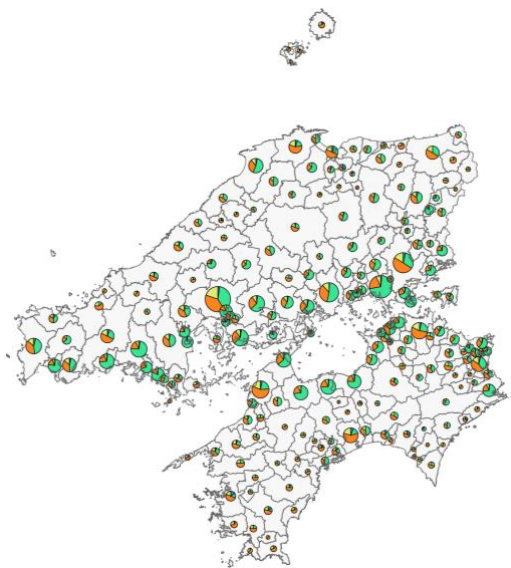


図-1 2020年中四国地方人工排熱チャートマップ

3. 気温への影響

(1) 気温への影響検証の概要

長期的な気温変化には、地球温暖化などの広域的要因と、ヒートアイランド現象のような局地的要因がある。本研究では、ヒートアイランド現象に起因する気温変化を抽出し、人工排熱による影響を検討した。また、気温に影響を及ぼす要因として、人工排熱との比較対象になる気象観測所周辺の土地利用割合

についても求め、同様に気温変化との相関を検討した。

(2) 使用データ

- ① 気象庁/過去の気象データ(1980-2025)¹³⁾
- ② 国土交通省/土地利用メッシュデータ(1987, 1991, 1997, 2006, 2009, 2014, 2016, 2021)¹⁴⁾

(3) 手法

a) 気温指標の長期変動分析

ヒートアイランド現象の影響が顕在化しやすい気温指標として、冬季(12月, 1月, 2月)の最低気温平均, 年間熱帯夜日数, および年間冬日日数の経年データを用い, これらの気温指標における長期的な変動傾向の有無を分析した。分析にはPythonを用いた単回帰分析を適用し, 回帰直線の傾きに対する検定により, 有意水準5%を満たす観測地点および気温指標について, 統計的に有意な長期変動が認められたと評価した。

b) 観測所周辺の土地被覆解析

各気象観測所周辺に半径 5km バッファを作成し, 土地利用細分メッシュデータを利用して, バッファ内の人工被覆域の面積割合を算出した。人工被覆域は土地利用種別における建物用地, 幹線交通用地(鉄道, 道路)とした。対象期間は35年間の8時点とした。

観測所周辺のバッファ占有率 10%を閾値として,

- (1) 常に人工被覆域占有率 10%以上の観測所
 - (2) 2021年までに人工被覆域占有率 10%以上となる観測所
 - (3) 常に人工被覆域占有率 10%未満の観測所
- の3グループに分類した。

ここで, グループ(3)における各気温指標の変化率の平均を, 地球温暖化などの自然要因による気温変化とみなし, グループ(1)および(2)の各観測所について, それぞれの気温指標変化率とグループ(3)の平均変化率との差分を算出した。この差分を, ヒートアイランド現象に起因する気温変化として扱うこととした。

c) 都市化および人工排熱と気温指標の相関分析

a)により有意な気温変動が確認され, かつ b)に基

づいてヒートアイランド現象の影響が想定されるグループ(1)および(2)の各観測所を対象とした。これらはヒートアイランド現象に起因する気温変化が顕在化している地点と考えられる。これらの観測所について, ヒートアイランド現象に起因する各気温指標と人工被覆率平均値との相関, および人工排熱量平均値との相関について分析した。また, 無相関検定を行い, 統計的に有意な相関の有無についても検証した。

4. 結果と考察

図-1 に示すように, 中四国地方の人工排熱分布推定では, 主要都市を中心に人工排熱量が多いことが明らかとなった。分野別では, 非住宅排熱が大きな割合を占める市町村が多く, 瀬戸内海側の市町村では工場排熱が大きな割合を占めるなどの地域性が確認された。一方, 清掃工場排熱は市町村スケールでは相対的に小さい割合にとどまった。人工排熱量の経年変化を見ると, 分野によっては微増の分野もあるが, 全体としては概ね横ばいから緩やかな減少傾向にあった。例として, 高知市の経年変化を図-2 に示す。

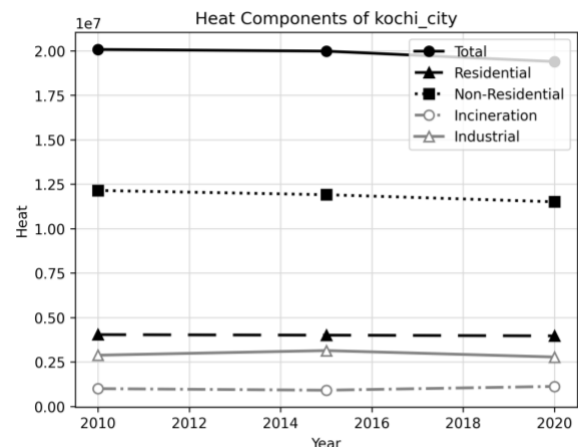


図-2 高知市の人工排熱量の経年変化

本研究では, 自動車排熱および火力発電所排熱を考慮していない。しかし, 自動車におけるエネルギー使用量は減少傾向にあり⁵⁾, 火力発電所のエネルギー効率も向上している。これらを踏まえると, 自動車排熱および火力発電所排熱を含めた場合でも, 人工排熱量は横ばいから緩やかな減少傾向を示すと予想

される。また、図-3 に示すように、気温への影響検証では、年間熱帯夜日数の変化率と人工被覆域割合の間に、統計的に有意な比較的高い相関が認められ、人工被覆域割合の多い都市では年間熱帯夜日数の増加率が高い傾向にあることが明らかになった。

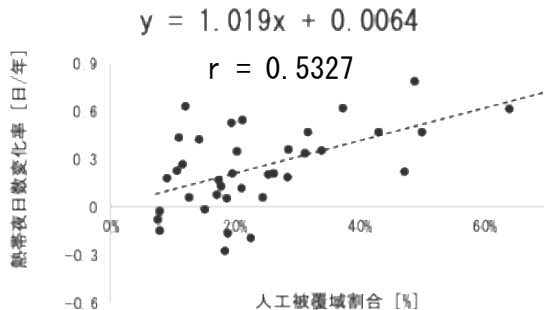


図-3 人工被覆域割合と熱帯夜日数変化率の相関

一方で、人工排熱量平均値と各気温指標との間には統計的に有意な相関は認められず、人工排熱量と気温指標の変化との直接的な関係は確認できなかった。しかし、各観測点周辺の人工被覆域割合と夜間気温上昇との間には有意な相関が認められたことから、人工被覆域の拡大により、土地被覆における蓄熱の増大や蒸発散の減少が生じ、夜間冷却の低下を通じて、熱帯夜日数の増加に関与している可能性が示唆される。さらに、人工排熱は都市化の進行と密接に関連する要素であることを踏まえると、人工被覆域の拡大を介して間接的に夜間高温化へ影響を及ぼしている可能性も否定できない。

5. まとめと今後の課題

本研究では、中四国地方における人工排熱分布の推定と気温変動との関係を分析した。その結果、人工排熱は全体としては概ね横ばいから緩やかな減少傾向にあることが明らかとなり、気温変動への直接的な影響は認められなかった。一方で、人工被覆域の拡大を介して夜間の高温化に影響を及ぼしている可能性が示唆された。

また、本研究では、主要な人工排熱源として自動車排熱および火力発電所排熱は含めていない。地方都市では自動車排熱の寄与が大きく、また火力発電所

排熱は市町村単位で大きな影響を及ぼす可能性があることから、これらを含めた総合的な人工排熱推定が今後の課題である。さらに、人工排熱量は短期間・市町村単位で推定したのに対し、気温変動および人工被覆域は長期間・観測所周辺で評価しており、この時間的・空間的スケールの不一致も関係性が明確にならなかった一因と考えられるため、今後はスケールを統一した検討が必要である。

参考文献

- 1) 萱場互起, 青柳曉典, 高橋俊二, 重回帰分析による人工排熱量の推定, 測候時報, 77, (2010), pp. 137-151.
- 2) 保莉和也, 近藤裕昭, 亀卦川幸浩, 井原智彦, 名古屋市における人工排熱量の推定とその気温影響の解析, 日本ヒートアイランド学会論文集, 10, (2015), pp. 6-15.
- 3) 吉田伸治, 大岡龍三, 村上周三, 原山和也, 人工排熱が都市のヒートアイランド現象に及ぼす影響のCFD解析, 第15回数値流体力学シンポジウム, (2001), E03-2, pp. 1-4.
- 4) 環境省(2005), ヒートアイランド対策マニュアル, http://www.env.go.jp/air/life/heat_island/manual_01/08_ref02.pdf
- 5) 日本自動車工業会, 日本自動車車体工業会, (2024), 自動車製造業における地球温暖化対策の取り組み, https://www.meti.go.jp/shingikai/sankoshin/sangyo_gijutsu/chikyu_kankyo/jidosha_wg/pdf/2023_001_04_01.pdf
- 6) 総務省統計局, 国勢調査, <https://www.e-stat.go.jp/stat-search/files?page=1&toukei=00200521&tstat=000001136464>
- 7) 環境省, 家庭部門のCO₂排出実態統計調査, https://www.e-stat.go.jp/stat-search/files?page=1&toukei=00650408&kikan=00650&result_page=1
- 8) 山口県, 都市計画基礎調査結果, <https://yamaguchiopendata.jp/ckan/dataset/toshikeikakukisotyou>
- 9) 日本サステナブル建築協会, DECC, <https://www.jsbc.or.jp/decc/index.html>
- 10) 経済産業省, 部門別最終エネルギー消費, <https://www.meti.go.jp/press/2025/12/20251212002/20251212002-1.pdf>
- 11) 経済産業省, 経済センサス-活動調査結果, https://www.meti.go.jp/statistics/tyo/census/r3result/r03_index.html#menu_oudan01
- 12) 環境省, 一般廃棄物処理事業実態調査, <https://www.e-stat.go.jp/stat-search/files?page=1&layout=datalist&toukei=00650101&tstat=000001165526&cycle=7&tclass1=000001165529&tclass2=000001165530&tclass3val=0&metadata=1&data=1>
- 13) 気象庁, 気象観測データ, <https://www.data.jma.go.jp/risk/obsdl/>
- 14) 国土交通省, 土地利用細分メッシュデータ, <https://nflftp.mlit.go.jp/ksj/gml/datalist/KsjTmplt-L03-b-2021.html>