

道路交通からの人工排熱に着目した 都市型ヒートアイランド関連施策の効果に関する研究 —東京 23 区を対象として—

今井 康平 山本 佳世子

A Study on the Effect of the Measures for Urban Heat Island from the Viewpoint of Anthropogenic Exhaustion Heat from Road Traffic -The Case of 23 Special Wards in Tokyo-

Kouhei IMAI Kayoko YAMAMOTO

Abstract: In recent years, especially in world major cities, heat island effect is observed in summer in particular, and it leads to the one of the most serious urban environmental problems. Particularly in summer, artificial exhaust heat increases by the use of air conditioners and its effect has exerted the secondary influence like the continuance of tropical nights and the frequent occurrence of flood in urban areas. Therefore, this study aims at analyzing the effects of various measures to ease urban heat island with focus on artificial exhaust heat using GIS. We make the GIS database concerning road traffic to calculate artificial exhaust heat to evaluate these measures.

Keywords: 都市型ヒートアイランド (Urban Heat Island), 道路交通 (Road Traffic), 人工排熱 (Anthropogenic Exhaustion Heat), 東京 23 区 (23 Special Wards in Tokyo)

1. 研究の背景と目的

近年、地球温暖化とともに、世界各地の主に都市部で観測されるヒートアイランド現象（以下 UHI）が深刻な問題となっている。三上（2006）の報告では、UHI の主原因の 1 つを「人工排熱の増大」としている。また、各省庁の報告を見ると、経済産業省^{注1)}は 1973 年～2005 年間の日本のエネルギー消費は、民生、運輸、産業の各部門で各々約 2.6 倍、約 2.1 倍、約 1.0 倍に増加したことを報告し、環境省^{注2)}は東京 23 区の人工排熱の割合は、建物で約 50%、自動車で約 40%、工場で約 10%と試算している。一方、UHI の対策に関する先行研究では、主に緑地を中心とした土地利用に関するものが多く、近年の代表的な研究事例として、例えば田村ら（2005）や梅干野（2005）があげられる。しかし、道路交通の人工排熱の UHI への影響は、前述のように多大であるにもかかわらず、これまであまり着目されてこなかった。

以上を踏まえて、本研究は東京 23 区を対象として、道路交通の人工排熱に着目した関連施策の評価を行うことを目的とする。具体的には、道路交通の人工排熱の抑制・軽減のための諸施策に関してそれぞれ効果関数を設定して、定量的な解析を行い、効果的な改善策を提案する。

2. 研究方法

本研究では、これまで、UHI の発生と原因について先行研究および行政資料等に関する文献調査を行って、研究全体における背景や目的となる部分を整理した（今井ら、2007）。加えて、研究の全体を示すプロセスの概念図を示した上で、上記と同様な文献調査を行って、UHI 対策の関連施策を体系的にまとめ、その効果を定量的に解析するために効果変数の提案などを行った（今井ら、2008）。本報告では、これらの著者らの先行研究の成果に基づき、次段階の研究プロセスとして、電子地図データを利用した GIS による定量的な解析について言及する。具体的には、東京 23 区の道路交通に関する UHI 対策の関連施策を対象とし、道路のラインデータ上に道路交通情報を中心とした様々な関連情報を統括した上で、人工排熱量を算出する方法について示す。

図 1 に道路交通の人工排熱の算出方法の概要図を示す。このフローチャートでは、GIS 上で数値地図 2500^{注3)}の電子地図データから道路交通センサス^{注4)}にある東京 23 区の各道路をラインデータとして抽出し、効果変数を用いて各関連施策の効果関数を設定することで最終的に道路交通の人工排熱量を算出し、これを電子地図データとして加工する手順を示している。なお、図 1 中の効果変数に含まれる「道

路交通状況データ」と「交通状況変動率」，効果関数に含まれる「人工排熱量算出式」は〔3．関連施策の効果関数の設定〕に示す．また，〔4．各種データ入力と使用〕で，図1中の効果関数のGISにおける具体的な適用手順をフローチャートに示した上で，GIS上での各データの入手手順について論じる．

3．関連施策の効果関数の設定

前述の著者らの先行研究では，その施策対象の変動性から，UHI 対策の関連施策を，表1に示すように，A．輸送機体・燃料，B．道路・路面建設，C．道路付随物の3つに分類した．また，表1の施策の実施効果は多岐に渡っているが，最終的には人工排熱の抑制効果（主効果）を得ることができる．そこで，この主効果に至る直前の要因となる効果を副効果と定義し，副効果の決定要因を効果変数とした．この上で，各関連施策の副効果の影響を受けた人工排熱量を，前述の効果変数を用いて効果関数を設定し算出する．また，各関連施策の実施効果を明示するために，これらの施策を実施しない場合の初期関数の設定も行う．この初期関数に関しては3－2節で述べる．

3－1．効果変数

表1は，関連施策による人工排熱量算出で扱う効果を付加した．ただし，ETC の普及による道路長のみは，ETC 料金所は通常料金所よりも料金所区間の走行速度が向上することを想定しているため，料金所変数の項目とその程度に当たる，「道路交通状況データ」と「交通状況変動率」を関連施策ごとにまとめている．また，副効果の効果対象を交通流に関するデータ（走行台数[交通量]など）か，交通施設に関するデータ（道路長[道路区間の長さ]など）に影響するかによって，「流動対象」と「静止対象」の2つに分類した．これにより，各副効果がどのような効果を重視したものかを明らかにした上で，解析に必要な効果変数となる項目とその程度を関連施策ごとに整理することができる．さらに，この分類では，流動対象は潜熱の影響，静止対象は顕熱の影響を主に受けているため，潜熱と顕熱の影響をそれぞれ考慮しているといえる．

道路交通状況データの欄には，道路交通による人工排熱量を算出するために必要となる各データ項目を示している．この各データ項目では，道路交通センサスにある，区間延長（道路長），平日24時間自

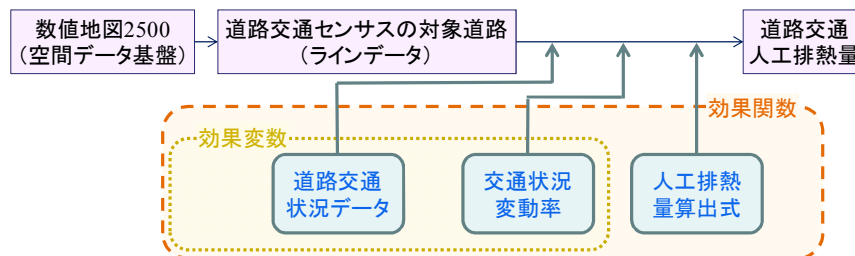


図1．道路交通による人工排熱量の算出方法

表1．関連施策と効果変数

施策対象	No.	都市型ヒートアイランド関連施策	副効果	効果対象	効果変数(道路交通状況データ・交通状況変動率)				
					道路長	走行台数	走行速度	道路幅	信号数
A. 輸送機体・燃料	1	低公害車両の普及（ハイブリッド車両など）	燃費向上	流動対象	○	普及率	○	×	×
	2	燃料燃焼による排熱抑制（ガソリン・軽油）	燃費向上		○	普及率	○	×	×
B. 道路・路面建設	3	自転車・歩行者の為の道路整備	走行速度向上		○	○	向上率	×	×
	4	環状道路整備	走行速度向上		○	○	向上率	×	×
	5	空港・湾口等へのアクセス道路整備	走行速度向上		○	○	向上率	×	×
	6	特殊舗装（保水性舗装）	蓄熱量低下	静止対象	○	×	×	○	×
C. 道路付随物	7	エネルギー消費機器の高効率化（信号灯器のLED化）	機器高効率化		×	×	×	×	普及率
	8	信号制御の高度化（感応化・系統化）	走行速度向上	対流対象	○	○	向上率	×	×
	9	ETCの普及	走行速度向上		料金所区間長	普及率	向上率	×	×

動車類交通量（走行台数）、混雑時平均旅行速度（走行速度）、幅員（道路幅）、信号交差点数（信号数）の値を用いる。なお、走行台数では乗用車、バス、小型貨物車、普通貨物車の車種別の各値、走行速度では2005年度の平日と休日の両値を入力する。また、信号数に関しては、道路幅により分けられた2種類の信号交差点数を用いてそれぞれの信号数を定義した上で、積算することで求めた値を入力する。

交通状況変動率は、各関連施策と各道路交通状況データ項目に関して、解析における関連施策の効果関数を設定した時に変化させる値であり、表中に説明区間長の推計では区間内の車両のみを対象とした。また、特殊舗装における交通状況変動率は、[3-2. 初期関数と効果関数]で説明するように、路面排熱係数を路面排熱変数としている。さらに、表中の○印は、その道路交通状況データが該当する関連施策の効果の表れる値を示しており、変数値ではなく、該当道路の全ての値が解析の対象となるものである。また、×印は、その道路交通状況データが該当する関連施策の効果と関わらないことを示している。

3-2. 初期関数と効果関数

人工排熱量算出式について、関連施策を実施しない場合と実施する場合の関数を、それぞれ初期関数と効果関数とした。効果関数に関しては、表1で示した各関連施策が影響を及ぼす効果変数を用いて、人工排熱量算出式をたてた。この具体的な式は、それぞれ表2と表3に示す。

3-2-1. 初期関数

初期関数では、3-1で示した流動対象と静止対象に合わせ、関連施策を実施しない場合についても、初期対象として流動対象と静止対象を考えた。

流動対象の初期関数は、道路長と車種別走行台数を用いて、車種別・速度別排熱係数から算出する。車種別・速度別排熱係数は、国土交通省・環境省が報告している車種別・速度別消費エネルギー係数^{注5)}から換算する。また、静止対象の初期関数は、道路面積に対する路面排熱係数と信号数に対する信号排熱係数を用いて算出する。路面排熱係数は、西岡の実測結果^{注6)}によるアスファルトの表面温度からボルツマン定数を用いて定めた。さらに、信号排熱係数は、警察庁が報告している電球式・LED式別電力消費^{注7)}から1日分の熱量に換算した。以上より、上記の流動対象と静止対象の初期関数の和が、関連施策を行わない場合の人工排熱量算出式となる。

3-2-2. 効果関数

表3は関連施策のそれぞれの効果関数を示しており、効果関数は初期関数を応用して関連施策毎に設定した。各関連施策の具体的な留意点としては、No. 1・2では、車種別・速度別排熱係数の設定値が変わるため、車種別・速度別排熱変数として新たに設定する。また、走行台数に車種別普及率を用いて重み付けを行う。No. 3～5・8では、施策による短縮時間を用いて走行速度の向上率を算出し、これを車種別速度別排熱係数に用いて車種別・速度別排熱変

表2. 初期関数

初期対象	初期関数(人工排熱量算出式) $Q_d[J]$
流動対象	$Q_{\alpha} = \text{道路長} L[km] \times \text{車種別走行台数} M[\text{台}] \times \text{車種別・速度別排熱係数} C_v[J/(km \cdot \text{台})]$
静止対象	$Q_{\beta} = (\text{道路長} L[km] \times \text{道路幅} W[km] \times \text{路面排熱係数} C_{lw}[J/(km^2)]) + (\text{信号数} S[\text{台}] \times \text{信号排熱係数} C_s[J/\text{台}])$

表3. 関連施策と効果関数

No.	都市型ヒートアイランド関連施策	効果対象	効果関数(人工排熱量算出式) $F_n[J]$
1	低公害車両の普及(ハイブリッド車両など)	流動対象	$F_1 = \text{道路長} L[km] \times \{(\text{車種別普及率} d1[\%] \times \text{車種別走行台数} M[\text{台}] \times \text{車種別・速度別排熱変数} X_{Cv1}[J/(km \cdot \text{台})]) + \{(100 - \text{車種別普及率} d1[\%]) \times \text{車種別走行台数} M[\text{台}] \times \text{車種別・速度別排熱係数} C_v[J/(km \cdot \text{台})]\}$
2	燃料燃焼による排熱抑制(ガソリン・軽油)		$F_2 = \text{道路長} L[km] \times \{(\text{車種別普及率} d2[\%] \times \text{車種別走行台数} M[\text{台}] \times \text{車種別・速度別排熱変数} X_{Cv2}[J/(km \cdot \text{台})]) + \{(100 - \text{車種別普及率} d2[\%]) \times \text{車種別走行台数} M[\text{台}] \times \text{車種別・速度別排熱係数} C_v[J/(km \cdot \text{台})]\}$
3	自転車・歩行者のための道路整備		$F_3 = \text{道路長} L[km] \times \text{車種別走行台数} M[\text{台}] \times \text{車種別・速度別排熱変数} X_{Cv3}[J/(km \cdot \text{台})]$
4	環状道路整備		$F_4 = \text{道路長} L[km] \times \text{車種別走行台数} M[\text{台}] \times \text{車種別・速度別排熱変数} X_{Cv4}[J/(km \cdot \text{台})]$
5	空港・湾口等へのアクセス道路整備		$F_5 = \text{道路長} L[km] \times \text{車種別走行台数} M[\text{台}] \times \text{車種別・速度別排熱変数} X_{Cv5}[J/(km \cdot \text{台})]$
6	特殊舗装(保水性舗装)	静止対象	$F_6 = \text{道路長} L[km] \times \text{道路幅} W[km] \times \text{路面排熱変数} X_{Clw}[J/km^2]$
7	エネルギー消費機器の高効率化(信号灯器のLED化)		$F_7 = \text{LED信号普及率} ds[\%] \times \text{信号数} S[\text{台}] \times \text{信号排熱変数} X_{Cs}[J/\text{台}] + \{(100 - \text{LED信号普及率} ds[\%]) \times \text{信号数} S[\text{台}] \times \text{信号排熱係数} C_s[J/\text{台}]\}$
8	信号制御の高度化(感応化・系統化)		$F_8 = \text{道路長} L[km] \times \text{車種別走行台数} M[\text{台}] \times \text{車種別・速度別排熱変数} X_{Cv8}[J/(km \cdot \text{台})]$
9	ETCの普及	流動対象	$F_9 = \text{料金所区間長} Lg[km] \times \{(\text{ETC普及率} d9[\%] \times \text{料金所区間車種別走行台数} Mg[\text{台}] \times \text{車種別・速度別排熱係数} C_v[J/(km \cdot \text{台})]) + \{(100 - \text{ETC普及率} d9[\%]) \times \text{料金所区間車種別走行台数} Mg[\text{台}] \times \text{車種別・速度別排熱係数} C_v[J/(km \cdot \text{台})]\}$ $[\text{※料金所区間車種別走行台数} Mg[\text{台}] = \{(\text{料金所数} Ng[\text{箇所}] \times \text{料金所区間長} Lg[km]) \div \text{道路長} L[km]\} \times \text{車種別走行台数} M[\text{台}]]$

数を設定する。No. 6 では、路面排熱係数を路面排熱変数として新たに設定した。No. 7 では、No. 1 等と同様に、信号台数に LED 信号普及率で重み付けを行う。No. 9 では、対象道路の道路長に占める料金所数分の料金所区間長の割合と、対象道路の車種別走行台数との積から、料金所区間車種別走行台数を設定する。加えて、No. 1 等と同様に、料金所区間車種別走行台数に ETC 普及率を用いて重み付けを行う。

4. 人工排熱量の算出方法

図 2 は、GIS による人工排熱量の算出方法のフローチャートを示したものである。まず、基図として、数値地図 2500 から東京 23 区の道路データ（ラインデータ形式）を抽出し、これに道路交通センサスの関連データを各道路の属性データとして付加する。この段階での道路交通状況データと交通状況変動率は、表 1 に示した効果変数となる。次に、中段には関連施策を実施しない場合の人工排熱量を算出する初期関数を示したが、この部分の詳細は表 2 に示している。最後に、下段に関連施策を実施した場合の人工排熱量算出のための効果関数を示した。

以上の手順にしたがって、関連施策を実施しない場合と実施した場合の各道路の人工排熱量を、GIS によりそれぞれ算出し、関連施策を評価する。

5. 結論と今後の研究課題

本報告では、道路交通の人工排熱量の算出方法を示し、関連施策の効果変数と効果関数について説明した上で、フローチャートを用いて GIS における解析の手順を提示した。また、効果関数の設定では、潜熱と顕熱を考慮して、副効果の効果対象を流動対象と静止対象の 2 つに分類したが、初期関数についても同様なことを行った。さらに、基図としてラインデータ形式の道路データを使用することにより、足永ら (2004) の 500m メッシュによる解析に比べ、道路交通による人工排熱をさらに詳細な空間スケール単位で算出できると考えられる。

今後の研究課題としては、効果関数による人工排熱量の算出を行うにあたって、関連施策が重複した場合に、関連施策ごとの影響の程度などを考慮して、累計の人工排熱量の換算を重回帰分析などによって、重み付けを行った上で算出することを検討することがあげられる。

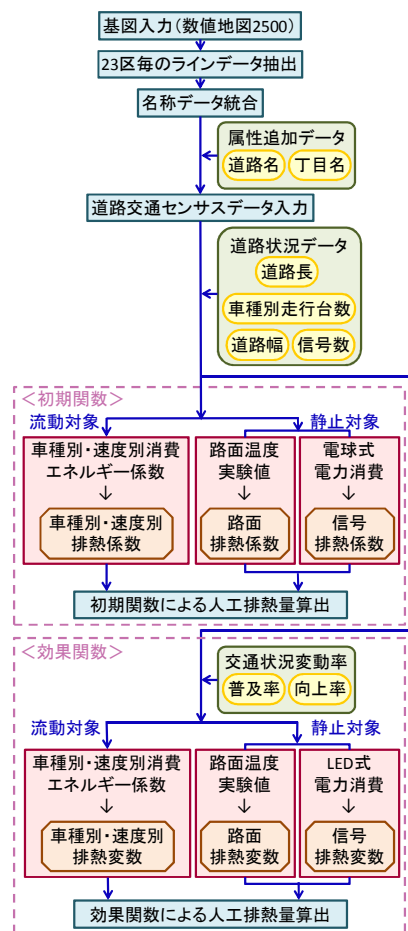


図 2. GIS による人工排熱量の算出方法のフローチャート

<注釈>

- 1) 経済産業省資源エネルギー庁：日本のエネルギー2007，2007
- 2) 環境省環境管理局大気生活環境室：ヒートアイランド現象による環境影響に関する踏査報告書，2003
- 3) 国土院：数値地図 2500（空間データ基盤）関東-3，2003 発行（6刷）
- 4) 社団法人交通工学研究会：平成 17 年度道路交通センサス全国道路・街路交通情勢調査，2007
- 5) 車種別・速度別排熱係数：国土交通省・環境省「平成 15 年都市における人工排熱抑制によるヒートアイランド調査報告書（第 3 章 交通排熱の計算方法[表 3-2 車種別・速度別消費エネルギー係数]」，2004
- 6) 路面排熱係数：西岡真稔：都市ヒートアイランド抑制を狙う環境配慮型道路舗装，建築雑誌 Vol.120 No.1527 pp.48-49，2005
- 7) 電球式・LED 式別電力消費係数：警察庁（信号灯の LED 化[電球式・LED 式別電力消費]），<<https://www.npa.go.jp/Koutsuu/kisei/shisetu/led.pdf>>，2002.10.5 更新，2008.7.27 閲覧

<参考文献・出典>

- 1) 経済産業省資源エネルギー庁：日本のエネルギー2007，2007
- 2) 環境省環境管理局大気生活環境室：ヒートアイランド現象による環境影響に関する調査報告書，2003
- 3) 三上岳彦：都市ヒートアイランド研究の最新動向—東京の事例を中心に—，E-journal GEO，vol.1(2)79-88，2006
- 4) 田村英寿・石井康一郎・横山仁 他：東京 23 区におけるヒートアイランド対策導入効果の数値予測，東京都環境科学研究所年報，2005
- 5) 梅干野晃：ヒートアイランド対策とその効果の予測・評価—都市づくりに焦点をあてて（特集 ヒートアイランド）—，空気調和・衛生工学，79(5)，2005
- 6) 今井康平・山本佳世子：人工排熱に着目した都市型ヒートアイランド現象についての研究構想の提案，日本環境共生学会，2007 年度学術大会 46-51，2007
- 7) 今井康平・山本佳世子：道路交通の人工排熱に着目した都市型ヒートアイランド対策に関する研究，日本計画行政学会関東支部，第 2 回若手研究交流会 140-143，2008
- 8) 足永靖信・李海峰・尹聖琬：顕熱潜熱の違いを考慮した東京 23 区における人工排熱の排出特性に関する研究，空気調和・衛生工学会論文集，No.92 pp.121-130，2004