

# ヒートアイランドのインパクト評価

## Impact Evaluation of the Urban Heat Island

鳴海大典 大阪大学大学院工学研究科 環境・エネルギー工学専攻

Daisuke Narumi

Osaka University, Division of Sustainable Energy and Environmental Engineering

キーワード：ヒートアイランド現象 (Urban Heat Island)、インパクト評価 (Impact Evaluation)、エネルギー消費量 (Energy Consumption)、人間健康 (Human Health)、大気汚染 (Air Pollution)

### 1. はじめに

日本の大都市では地球温暖化と都市ヒートアイランド化があいまって気温が急昇を続けている。高度経済成長期以降の都市開発やエネルギー消費の増大に伴い、大阪府における近年の気温上昇率(約0.3 /10年)は20世紀前半の約4倍程度までに達している。大阪府は元来、瀬戸内性気候帯に属することもあり、8月の日最高気温に関する平年値は全国最高値(33.0)を示し、熱帯夜に関しても東京の1.5倍程度の年間日数を記録しており、全国でも有数の暑熱環境が劣悪な都市と言える。今後とも全国的に昇温傾向は不可避と考えられるが、特に暑熱環境の劣悪な大阪府において昇温に伴う各種影響評価を行い、緩和対策や適応策を検討するための基礎資料を収集することは、今後想定される昇温影響に対する事前対応を検討していく上で非常に意義があると思われる。本稿では筆者らがここ数年取り組んできた大阪府のヒートアイランド現象がもたらす各種影響評価を行った結果を中心に報告する。

### 2. ヒートアイランド現象の成因と現状

ヒートアイランド現象とは、アスファルト舗装道路や建物などの人工被覆面の増加やエネルギー消費に伴う人工排熱の増加により都市域の地表付近の熱収支構造が変化し、都心部の気温が郊外部に比べて高くなる現象のことを言う。近年、このヒートアイランド現象による都市環境の変化がマスコミ等を賑わせており、新聞やテレビでは都会の劣悪な熱環境や熱帯性動物の侵出等の実態が紹介され人々を驚かせている。

図1に20世紀後半の約30年間の主要都市における8月平均気温の経年変化を示すと、各都市では軒並み気温が上昇しており、例えば大阪府では1.5 弱の伸びを示している。この気温変化について、都市化の影響が小さい八丈島と比較を行うと、八丈島では30年間の気温上昇が0.5 にとどまって

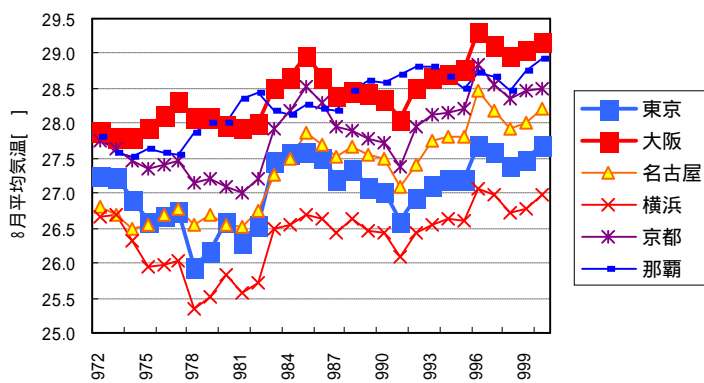


図1 主要都市における昇温傾向(8月平均気温)

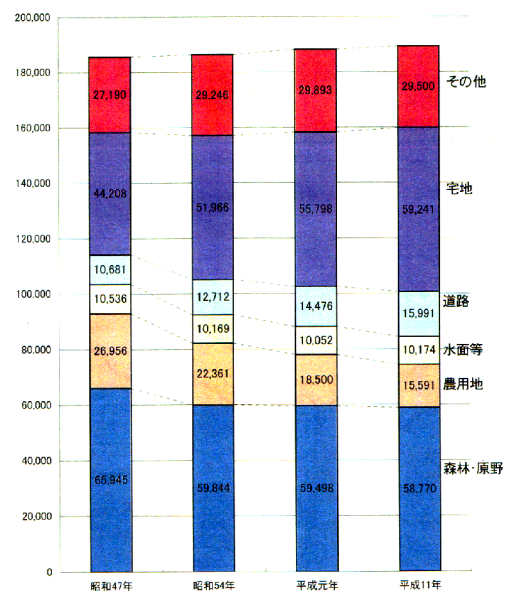


図2 土地被覆状況の経年変化(大阪府)<sup>1)</sup>

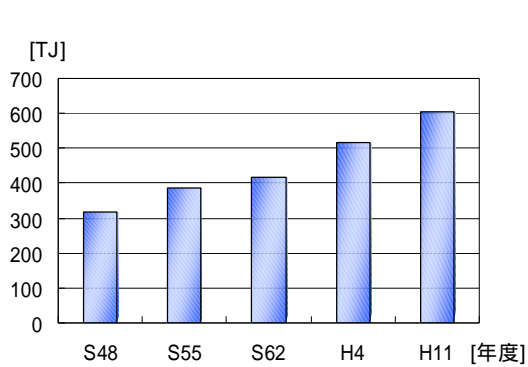
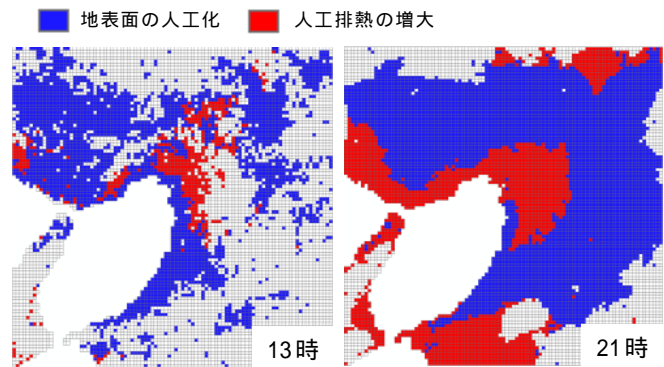


図3 民生部門人工排熱量の経年変化(大阪府)



色なしは顕著な昇温(0.2以上)が認められず

図4 京阪神地域における過去30年間の気温影響要因

おり、八丈島での気温上昇を地球温暖化による気候変動と仮定するならば、大阪府ではその2倍の変動(気温上昇)をヒートアイランド現象の影響により生じていることとなる。以上で示した高度経済成長期以降の気温上昇率は20世紀前半のそれと比較して4倍程度まで達するものである。

ヒートアイランド現象の主たる成因の一つである人工被覆面の増加に関して、大阪府における最近30年間の土地被覆状況の変化傾向を見てみると(図2)、森林・原野や農用地が20%減少しているのに対して、道路用地は50%の増加、宅地は34%の増加を示している<sup>1)</sup>。もう一つの主要因である人工排熱の増加に関して、大阪府における最近30年間の民生部門人工排熱量の変化傾向を見てみると(図3)、概ね2倍増加していることがわかる<sup>2)</sup>。これらの都市構造の変化や人間活動の変化が地表付近の熱収支構造に多大な影響を及ぼし、都市部の熱環境に悪影響を与えていることは想像に難くない。図4に京阪神地域における過去30年間の気温影響要因を都市気候シミュレーションモデルで分析した結果<sup>3)</sup>を示すと、特に夜間に顕著な昇温が全域的に確認されている。また、昇温要因については、大阪市や神戸市などの大都市域で特に人工排熱の影響が認められる一方で、広域的には地表面の人工化による影響が強いことが示されている。

### 3. ヒートアイランド現象がもたらす影響

前項で述べた都市熱環境の変化は、人間生活のみならず生態系や降水などの自然環境に至るまで、多岐に渡る影響を与えることが明らかとなりつつある。図5は下田ら<sup>4)</sup>によって作成されたヒートアイランド現象が及ぼす各種環境影響のCause-effect chainであるが、「人間活動」によって引き起こされた気温上昇に代表される「都市気象」の変化が、「エネルギー・資源」や「人間健康」、「都市生態系」に及ぼす影響、またそれら相互の複雑な因果関係が詳細にまとめられている。ここでは、シミュレーションや観測データなど種々の情報を基に気温影響評価を行った結果の一例を各項目別に概説する。

#### (1) 住民意識

ヒートアイランド現象による被害が予想される都市住民への影響程度や高温化に対する意識について、都心部(大阪市天王寺区北東部)と比較対照としての郊外部(箕面市南西部)の2地区を対象としてアンケート調査を実施した結果を紹介する<sup>5)</sup>。

図6に両地区の住民が「ヒートアイランド現象から受けている影響」について回答した結果を示す。最も影響を強く感じているのは「冷房の使用」に関する項目であり、都心部では日中77%、夜間団欒時76%、就寝時80%の住民が「ヒートアイランド現象の影響を受けて冷房を使用せざるを得ない」と回答していた。冷房使用への影響については、郊外部では日中の影響が強い一方で、都心部では夜間の影響が強く、地域間で相反する傾向が見られた。局地降水(設問1)に関する項目を除き、深刻度の高い回答は郊外部よりも都心部で影響が強くなる傾向を示していた。なお、「ヒートアイランド現象の影響を受け始めた時期」に



については、2割程度の住民がかなり以前から影響を受けていたと回答する一方で、6割程度の住民はここ5から10年の間、残り2割程度はここ2から3年の間に強く影響を受けるようになったと回答した。表1に回答者の身近で生じているヒートアイランド現象の環境影響について、自由記述形式で回答を受けた結果を示す。最も多くの意見が寄せられたのは「生態系の変化」に関する内容であり、セミ等の昆虫種や植生種の変化に関する意見が寄せられた。生態系の変化については、図6の設問Gで採り上げられ、影響を問題視している住民が比較的少なかったにも関わらず、このように多くの意見が寄せられたことは興味深い結果である。

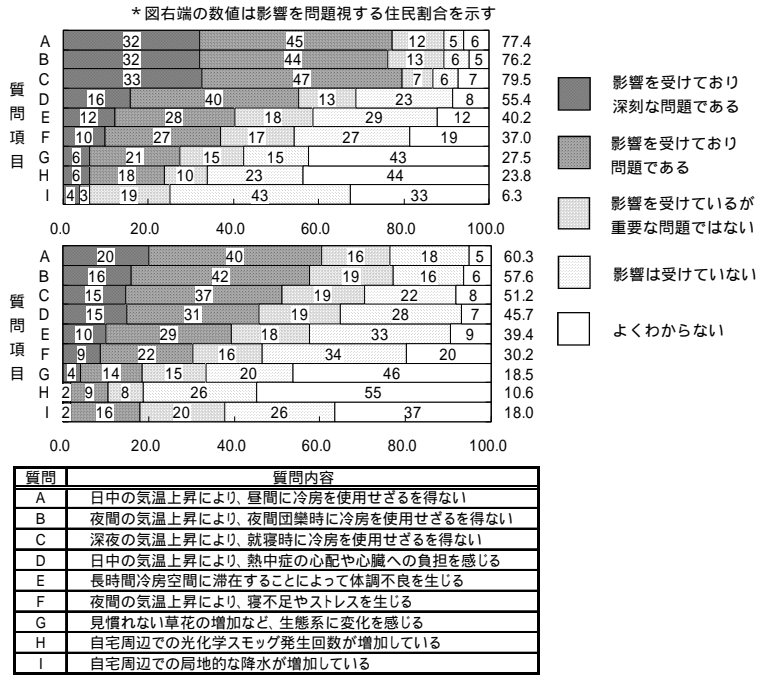


図6 ヒートアイランド影響に関する住民意識 (上：郊外、中：都心、下：質問項目)

(2) エネルギー消費量

図7に大阪市において気温が年間を通して1 上昇した場合に見込まれるエネルギー消費変動量を示す<sup>6)</sup>。住宅では、夏季には冷房負荷が増大することにより電力消費量が増加する一方で、給湯負荷が減少することによりガス消費量が減少する。これに対して、冬季には暖房・給湯負荷が減少することにより、電力・ガス・灯油消費量が減少する。これらの影響が相殺された結果、わずかながら冬季影響が優勢してエネルギー消費総量は1.0PJ(0.4%)減少する。業務建物では、夏季には冷房負荷が増大することにより電力・ガス消費量が増加する一方で、冬季には暖房・給湯負荷が減少することにより、電力・ガス消費量が減少する。これらの影響が相殺された結果、顕著に夏季影響が優勢してエネルギー消費総量は3.4PJ(2.1%)増加する。住宅と業務建物を総合すると、夏季は8.4PJ(5.9%)の増加、冬季は5.9PJ(3.7%)の減少となり、通年では2.5PJ(0.6%)の増加となった。

以上のエネルギー消費に対する気温影響については、評価エリアの住宅・業務比率やエネルギー源比率、冷温熱需要比などに依存していることが容易に推察できる。そこで、同様の検討を全国各地の主要都市に対して試みた結果を図8に示す<sup>7)</sup>。結果として、住宅と業務建物の総合影響を通年で評価すると、上述の大阪府や福岡市では気温上昇に伴いエネルギー消費量が増加する一方で、札幌や仙台などの寒冷地や東京

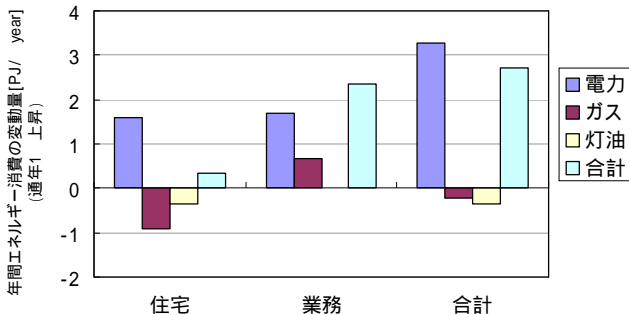


図7 通年1 上昇した場合の大阪市におけるエネルギー消費変動量

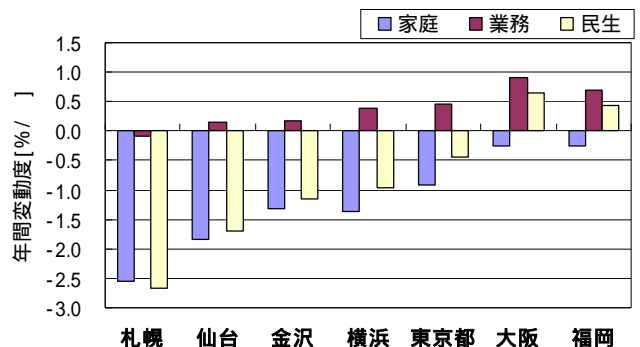


図8 エネルギー消費の気温影響に関する地域特性



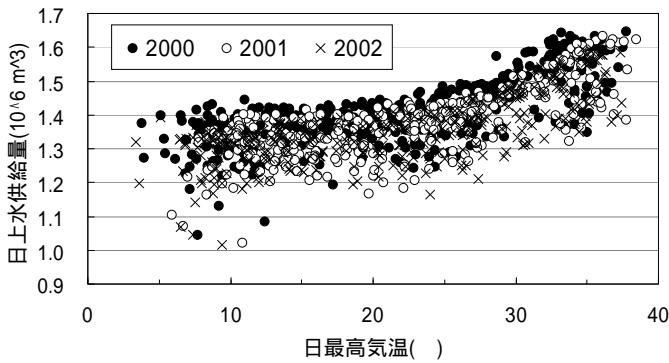


図9 上水供給量と気温の関係(大阪市)

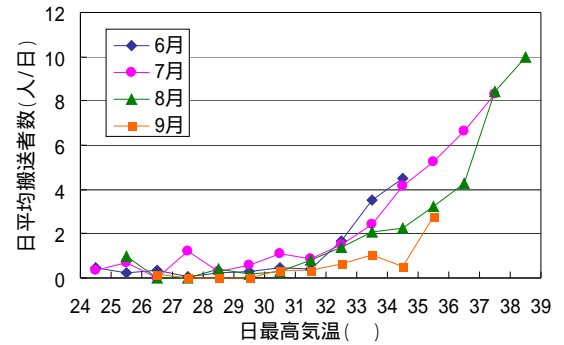


図10 熱中症による救急搬送者数と日最高気温の関係(大阪市)

都、横浜市においても住宅の暖房・給湯負荷の影響が優勢となり、気温上昇に伴いエネルギー消費量が減少することが示された。

### (3) 上水消費量

図9に大阪市における上水供給実績データを基に解析した日上下水供給量と日最高気温との関係を示す<sup>8)</sup>。特に日最高気温が20 付近を超えた付近から供給量が2次曲線的に増加し始め、増加率の大きい34 付近では、気温が1 上昇した場合に大阪市全体で3.3E05t/day増加することが示された。建物用途別に気温感度を分析した結果によると、百貨店における気温感度が最も大きく、事務所や宿泊施設では同程度であり、住宅ではほとんど気温に感応しないことから、気温影響による消費量の増加は主として空調等の冷却水用途によるものと推察された。

### (4) 熱中症による救急搬送者数

図10に大阪市における救急搬送データ(2001年から2005年)を基に解析した熱中症による救急搬送者数と日最高気温との関係を示す<sup>9)</sup>。熱中症による搬送者数は日最高気温が31 付近で増加し始め、35 付近からは急激に搬送者が増加することが分かる。熱中症の発生は当日の気温以外にも、前日との気温差や風速、日射などの気象条件が大きく影響することから気温のみで評価することは難しいが、暑さへの適応に関する閾値が35 付近から存在する可能性を示している。

### (5) 住宅における冷房利用状況

寝苦しさに伴う寝不足などに起因する夏カゼなどの健康影響は定量化が非常に難しいが、ここでは夜間就寝時のエアコン利用がそれを回避するための適応行動であると考えて評価した。図11に戸建住宅90世帯を対象とする実測結果を基に解析した、就寝時のエアコン利用状況と外気温の関係を示す<sup>10)</sup>。特に熱帯夜の基準温度である25 付近から急激な増加が認められ、夜間就寝時のエアコン利用に関する閾値が25 から27 付近に存在する可能性を示している。外気温が27 付近では、1 の上昇により冷房利用率が25%増加することが示されている。

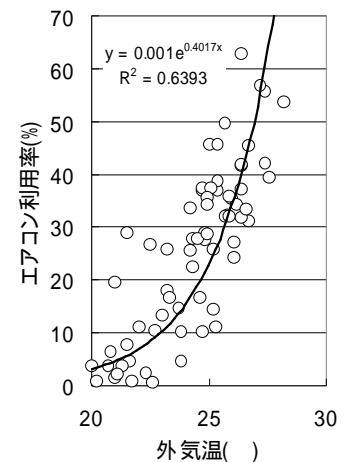


図11 住宅における夜間冷房利用率と外気温の関係

### (6) 光化学オキシダント

図12に関西圏を対象とする数値モデルの計算結果を基に解析した、気温上昇と光化学オキシダント濃度変化の関係を示す<sup>11)</sup>。気温が全域で一日を通して1 上昇した場合、光化学

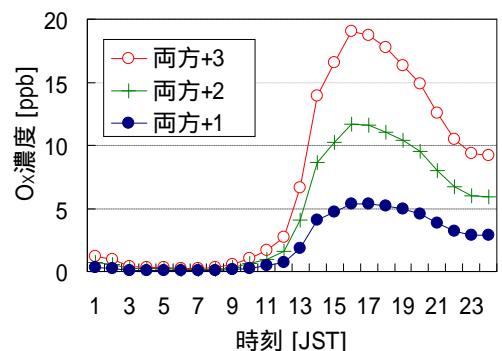


図12 外気温上昇と光化学オキシダント濃度変化の関係

反応の活性化と植生から発生するVOCs(イソプレンやモノテルペンなど)増加の相乗効果によって光化学オキシダント濃度は大阪市中心で5.5ppb増加することが示されている。年間を通して全日で5.5ppb濃度が上昇した場合、環境基準値(60ppb)超過日数は現状からほぼ2倍なることに相当する。

#### 4. おわりに

近年ヒートアイランド対策に関する検討がようやく各省庁や地方自治体で始められた段階にある。ヒートアイランド対策は単に気温を何度下げるかといった観点から実施するのではなく、如何に環境影響を最小限にとどめるかといった観点から実施すべきものである。そのためには、都市の温暖化に関するメカニズムを解明するのももちろんのこと、温暖化が環境影響を引き起こす発生メカニズムについても包括的かつ定量的に把握しておく必要がある。ヒートアイランド現象が及ぼす影響はエネルギー消費から人間健康、さらには生態系など、工学を始めとして医学や気象学、農学、心理学まで幅広い学問分野を包含することから全体像の把握には非常に困難な作業を伴うが、今後の緩和対策や適応策の社会便益を定量化するためにも不可欠な検討課題である。

#### 参考文献

- 1)大阪府：大阪府ヒートアイランド対策推進計画～ヒートアイランドに配慮したまちづくり～、2004年6月
- 2)羽原勝也、岸本卓也、鳴海大典、下田吉之、水野稔：近畿圏を対象とした人工排熱全体像の把握および都市熱環境への影響評価、日本建築学会大会大会学術講演梗概集(関西)、環境工学D-1、pp.777-778、2005年9月
- 3)照井奈都、鳴海大典、下田吉之、水野稔：過去の再現に基づくヒートアイランド現象の成因分析、日本建築学会大会大会学術講演梗概集(九州)、環境工学D-1、pp.779-780、2007年9月
- 4)Yoshiyuki Shimoda, Daisuke Narumi and Minoru Mizuno:Environmental Impact of Urban Heat Island Phenomena -Cause-effect chain and evaluation in Osaka City-, Journal of Life Cycle Assessment, Japan, 2005.7
- 5)鳴海大典、水野稔、下田吉之：大阪府域の都市ヒートアイランド現象が住民の意識・生活面に及ぼす影響、No.19、環境情報科学論文集、pp.13-18、2005年11月
- 6)鳴海大典、二浦尾友佳子、下田吉之、水野稔：都市域の昇温がエネルギー消費に及ぼす影響、日本建築学会環境系論文集、pp.71-78、2007年3月
- 7)鳴海大典、橋本早紀、下田吉之、水野稔：民生部門エネルギー消費の気温影響に関する地域特性、エネルギー資源、pp.-、2007年11月
- 8)坂口勝俊、岸本卓也、鳴海大典、下田吉之、水野稔：大阪府域を対象とした上水消費量に関する気温感応度、空気調和・衛生工学会学術講演会講演論文集、pp.1083-1086、2004年9月
- 9)鳴海大典、下田吉之、水野稔：気温変化が人間の健康面へ及ぼす影響、日本ヒートアイランド学会第2回全国大会、pp.134-135、2007年8月
- 10)鳴海大典、森藤奈央、岸本卓也、下田吉之、水野稔：ヒートアイランド現象の対策目標に関する一考察、日本建築学会大会大会学術講演梗概集(中部)、環境工学D-1、pp.657-658、2003年9月
- 11)鳴海大典、坂口勝俊、近藤明、下田吉之、水野稔：都市域の昇温が光化学オキシダント濃度に及ぼす影響、日本建築学会環境系論文集、No.612、pp.89-96、2007年2月