

解説 都市ヒートアイランド現象

(UHI: Urban Heat Island)

白 迎玖 遠山茂樹

都市ヒートアイランド現象

都市内部には周辺地域とは異なる気候が存在する。この都市固有の気候を都市気候 (urban climate) とよんでいる。都市気候における最も顕著な現象として、都市の気温が高いことが挙げられる。図1はイギリス・ロンドンで観測された気温分布を示したものであるが、高温域が島状に市街地に存在することがわかる。図2は都心から田園地帯にいたる気温分布のモデルを示したものである。このような島状の分布から都市の高温域をヒートアイランド (heat island) とよんでいる。

都市内部の高温現象は、すでに19世紀の初期にルーク・ハワード (L. Howard) によってロ

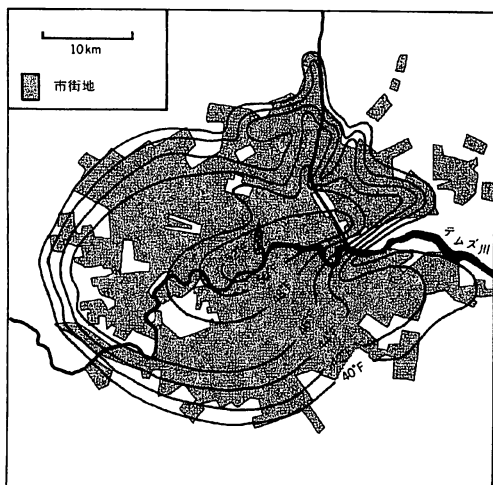


図1 ロンドンにおける気温分布
(1959年5月14日の最低気温)
Chandler, 1965より

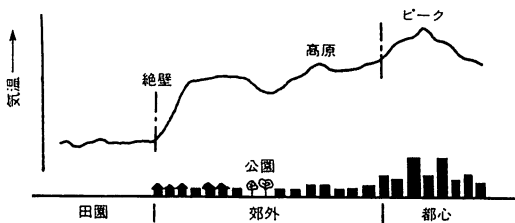


図2 都市の気温分布モデル (Oke, 1978より)

ンドンで発見された。彼は、1807年から1816年にいたる間に、都市ロンドンの内外で観測された気温を比較し、その両地点の温度差が五月に最小で0.3℃、九月と十一月には最大で1.2℃になることを示した。その後、ヨーロッパの諸都市でこのような都市内部の高温現象が次々と発見されるに及んで、1885年オーストリアの気候学者ユリウス・ハーン (J. Hann) は、周辺地域とは異なったこの都市特有の温度を「都市温度 city temperature, Stadttemperatur」(別訳: 都市気温 city temperature) と名づけた。1950年代以降、アメリカで研究が盛んになり、海に浮ぶ島の等高線図との類推からヒートアイランド¹の言葉が一般的になった。

ルーク・ハワード (Luke HOWARD, 1772～1864)

ロンドン生まれの薬剤師で、幼少の頃から雲に興味を抱く。ハワードは、雲の分類・命名を世界で最初におこなった人物である。積雲(クムルスCumulus)、層雲(ストラツスStratus)、巻雲(キルルスCirrus)、雨雲(ニムブスNimbus)といったような、今日でも使われている雲の名称は彼の命名による。ドイツの文豪ゲーテは、ハワードの雲の分類法を称賛し、ハワードに詩を捧げているほどだ。また、イギリスの代表的な風景画家(ランドスケープ・ペインター) ジョゼフ・ターナーも、雲を描く際にこのハワードの研究を参考にしたというから、何とも興味をそそられる。

ハワードは都市気候学に関する最初の書物といわれる *The Climate of London* (1820) において、9年間の調査結果にもとづき、ロンドンは周辺地域に比べ夜間は3.70度気温が高く、昼間は0.34度低いことを指摘した。今日のいわゆる「都市ヒートアイランド」現象の発見者といわれる所以である。彼はこの気温差を、ロンドンにおける燃料の広範な使用に帰している。当時ロンドンで日常的に使用されていた燃料といえば石炭で、大気汚染も深刻化していた。また、1700年に約30万だったロンドンの人口は、19世紀初頭には100万人以上にふくれあがっていた。大都市ロンドンで、毎日気象観測に余念がなかったルーク・ハワードは、筆頭建築家ジョン・ナッシュ(社交都市パースをつくった立役者) がすすめていたリージェント・ストリートをはじめとするロンドンの都市改造計画をどのような目で眺めていただろうか。

1821年、ハワードは学問としては誕生したばかりの気象学への貢献が認められ、王立協会(Royal Society)の特別会員に選ばれた。最高の榮譽といってよい。

¹ 「ヒートアイランド」という用語は、1954年アメリカ気象学会の雑誌に出たダックワースら(F.S. Duckworth and J.S. Sandberg)の論文に初出する。

ユリウス・ハーン (Julius Von HANN, 1839－1921)

1839年、ドナウ川に臨むオーストリア北部の商工業都市リンツ近郊のシュロス・ハウスに生まれる。ウィーン大学哲学科に学び、卒業後は学校の代用教員をしながら、オーストリア気象協会誌の編纂に携わる。1866年にフェーン現象についての説明を発表し、翌年、ウィーンの気象学及び地球力学中央研究所に勤めるかたわら、博士号を取得した。1874年、ウィーン大学の自然地理担当助教授となり、その後1877～1897年まで上記の研究所の所長をつとめた。その間、1883年には『気象学の手引き』(Handbuch für Meteorologie)を刊行したが、本書はこの分野では最初の本格的な手引書といわれる。1897年にオーストリア南東部にあるグラーツ大学教授に就任し、3年後の1900年にウィーン大学教授に就任した。1921年、ウィーンで死去。

ハーンがウィーン大学の教授になって2年後の1902年に、精神分析で名高いジークムント・フロイトが同じウィーン大学の教授に就任している。なお、オーストリア気象協会はハーンの功績を称え、すぐれた研究者に対してユリウス・フォン・ハーン賞を授与している。

UHI現象の研究は、19世紀初頭、観測による都市とその周辺の2地点間気温差(今日のヒートアイランド強度²に相当する)の研究にはじまる。特に欧米では気象観測の歴史が長く、かつ人口の都市集中が早くから進んでいたので、都市の気温変化を指示した記録は19世紀にまでさかのぼることができる。表1は、ドイ

ツのベルリンやミュンヘンなどヨーロッパの諸都市で求められた、19世紀から20世紀はじめにかけての都市内外の気温差を示したものである。これを見てもわかるように、このころヨーロッパの主要都市では、その内部は郊外より高温であった。

都市気温の観測は、当初はごく限られた観測点でのみ得られた測定値をもとにしたものであったが、その後、自動車の利用が可能になると都市の全域をおお

表1 ヨーロッパの諸都市における
都市内外の気温差(年平均気温)

都市名	観測期間	温度差(°C)
		(年平均値)
ベルリン	1891-1900	1.0
ミュンヘン	1820-1850	1.4
パリ	1816-1860	0.7
ウィーン	1851-1880	0.4
ロンドン	1810-1812	1.5
モスクワ	1901-1910	0.7

(出典：西沢，1977 所収)

² 都市内外の最大の気温差をヒートアイランド強度と呼ぶ(和達監修『最新気象の事典』, 1995)。

た観測が行われるようになった³。例えば、シュミット (W. Schmidt) は1927年にウィーンの街で実施した観測について報告しているが、その観測は、日の出前の気温変化の小さい時の気温分布を求める必要があるという認識に基づいて行われた。また、ペプラー (A. Pepler) がカールスルーエで行った同様の観測結果が、1929年に報告されている。いずれも夜間には、建造物の密集した地域では郊外よりもかなり気温が高いことが報告されている。その後、ドイツの諸都市ではこの種の観測が数多くなされ、都市と周辺地域の気温差が非常に大きいことが判明した。都市部では主に夜間に気温が上昇する現象は、このようにして広く認知され、そのおおよその実態を把握しつつ、地道な研究が続けられてきた。

地上気温の実測は、大別して定点 (固定点) 観測と移動観測の2つに分かれる。定点観測データはある地点における観測結果を時系列的にまとめたもので、データの信頼性が高いところから、気象研究の最も基本的なデータになる。これに対して移動観測は比較的短時間のうちに、一定範囲内を移動しながら計測するもので、線的、あるいは面的にデータを収集する手法である。移動観測では、短時間に都市周辺の多くの地点の気温を計測し、時間補正を施すことによって、同時刻における気温の分布図を作成することができる。地上気温の局地的な測定にもとづく水平分布は、技術的には困難な問題を伴わないので、早くから各地でその観測例が報告されてきた。サンフランシスコ (ダックワースら, 1954) の都市域の測定では、4月の風の弱い晴天の夜間に、周辺部との気温差が11℃ある分布が示され、UHIは風の弱い晴天の夜間によく現れることが明らかにされた。チャンドラー (T. J. Chandler 1965) の示す5月のロンドンの最低気温の分布 (図1を参照) は、6.7℃の気温差をもったヒートアイランドで、そのうち3-4℃の気温差は、直径約35kmに及ぶ都市域の周縁部の数kmから10km以内の区域に集中している点に特徴がある。1955年には、日本で最初の都市気候研究グループが誕生し、都市が形づくる「熱の島」の調査が活発に行われるようになった。岐阜県大垣市 (高橋, 1959) および山形県米沢市 (関口, 1960) の二つの都市でなされた上空の気温観測は、世界初の都市上空における気温の地理分布に関する調査であった。その都市上空の気温観測の特色は、高さ10メートル、20メートル、30メートルの三つの層について気温分布を求める点にあった。また、埼玉県熊谷

³ 車での移動観測。

(河村, 1956, 1964, 西沢, 1977所収)で行われた観測により、UHIは天気によっ

チャンドラー (T. J. CHANDLER, 1928年～)

マンチェスター大学地理学教授 (1973-77)、王立気象学会副会長 (1973-75)などを歴任。19世紀後期には、都市は周辺の農村地域とは全く異なる独自の気候上の特徴をもっていると言われていた。例えば、ロンドンは19世紀から20世紀への転換期に、冬季の何ヶ月もの間、「エンドウ豆の」濃霧("pea-soup" fogs)がたちこめていた。エンドウ豆のスープは濃厚で黄色く、これとロンドンの濃霧が似ているところから「エンドウ豆のスープ」の霧と呼ばれたのである。これに対して、イングランド北西部ランカシャー地方の工場地帯の雨は、工場から出る汚染物質が原因だという説を唱えるものもいた。第二次世界大戦後、こうした説を裏づける研究がいくつかなされたが、1965年にチャンドラーは、ロンドンにおいて何度も調査を実施し、気温の微妙な差異を詳細に分析した。そして、ロンドンの中心部は5月半ばには周辺の郊外よりも気温が高く、この差異は風のない穏やかな日に最も顕著であることを突きとめたのである。20世紀のはじめ人口650万を数えたロndonは、戦後の1950年代には800万以上のマンモス都市になった。そのため、1965年には大ロンドン (Greater London) が創設された。チャンドラーが調査を行った時代は、人口・市街地の両面でロンドンは大膨張期を迎えていたのである。

て変化することがわかった。「熱の島」の中心は風によって移動するが、その移動方向は風下で、高温の空気塊は風によって吹き寄せられたように風下側に移動する。「熱の島」は、風によって移動するだけではない。「熱の島」の中の最高温度と周辺の最低温度の差は、風速、雲量などの気象要素の影響を受けて変化するのである。それらのなかでは、風速の影響が最も大きい。オークとハネル (T. R. Oke and F. G. Hannell, 1970)

は、都市の規模が大きくなるとUHI形成の限界風速も大きくなることを指摘した (表2)。さらに、オーク (Oke, 1973) は、北米と西欧の都市を対象として、ヒートアイランド強度 ($\Delta \theta$) と都市の

表2 諸都市のヒートアイランドの発生限界風速の報告
(オークとハネル, 1970)

都市名	観測年	人口	限界風速
ロンドン, 英国	1956-61	8, 500, 000	12
モントリオール, カナダ	1967-68	2, 000, 000	11
ブレーメン, ドイツ	1933	400, 000	8
ハミルトン, カナダ	1965-66	300, 000	6-8
レディング, 英国	1951-52	120, 000	4-7
熊谷, 日本	1956-57	50, 000	5
パロアルト, 米国	1951-52	33, 000	3-5

(出典: 西沢, 1977 所収)

人口 (P) とが対数比例の関係 ($\Delta \theta = \alpha \log P - \beta$) にあることを明らかにした。日本においては、福岡 (1983) が同様の研究を行い、日本におけるヒートアイランド強度と人口の回帰直線の傾きが北米や西欧と大きく違うことを明らかにした (図3)。これはエネルギーの消費と関係があるといわれている (エネルギー「浪費型」ないし「節約型」ともいわれる)。また、高橋 (1959) は、岐阜県大垣市を対象として、風が弱いときの都市内外の温度差 $\Delta \theta$ は、家屋密度 (建蔽率) χ と密接な関係があることを指摘した ($\Delta \theta = 0.95 + 0.16 \chi$)。さらに、河村 (1974) は、東京の都市域の拡大に伴いUHI現象が強まることを実証した。(図4) に示す

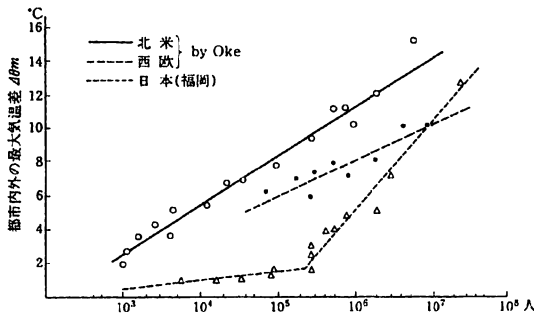


図3 都市内外の最大気温差 ($\Delta \theta$) と人口 (P) との関係

——および——は、カナダの9小都市およびヨーロッパの諸都市の観測結果

(オーク, 1973) より

——は福岡 (1983) の研究より

オーク (Timothy Richard Oke, 1941～)

1941年イギリス南西部デヴォン州に生まれる。1967年カナダのマックマスター大学 (McMaster University) にて博士号を取得。1978年よりカナダのブリティッシュ・コロンビア大学 (University of British Columbia, Canada) 地理学部教授。都市気候学・気象学の世界的権威で、都市における熱流動 (heat fluxes) の計測及びパラメーター (parameter) の推計に関する研究が著しく進捗したのは、彼の功績である。現在、オーク博士は、都市ヒートアイランドならびに他の局地的気候変化に関する権威でもある。カナダ気象学会会長賞 (1972年)、カナダ地理学協会賞 (1986年) などを受賞。オックスフォード大学客員研究員、ロックフェラー財団常任研究員。カナダ王立協会 (Royal Society of Canada) の特別会員をはじめ、多くの地理学・気象学の学術団体に所属し、指導的立場にある。

ように、1970年の東京のヒートアイランド強度は、20年前と比べて 2.0°C 近く増加した)。

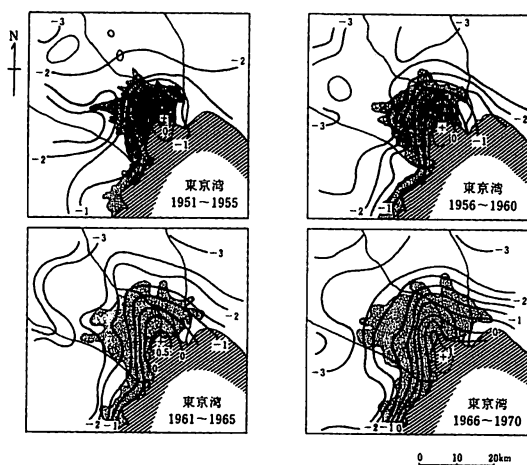


図4 東京とその周辺地域における1月の月平均最低気温の時代別変化
(河村, 1974) (福岡編, 1997 所収) より

一方、人口2-3万程度の小都市（あるいは都市とは言いがたい小さな集落）でも夜間にヒートアイランドが出現することについて、いくつかの報告がある。例えば、Fonda *et al.*, (1971) の人口4万人の海岸都市ベリンガム (Bellingham, アメリカ西部ワシントン州のカナダ国境に近い都市で、ベリンガム湾に臨む) の調査、Kopce (1970) による人口2.5万人の大学都市チャペル・ヒル・アンド・カルボロ (Chapel Hill and Carrboro, ノース・カロライナ州, ノース・カロライナ大学の所在地)、Hutcheon *et al.*, (1967) による人口2.1万人の同じく大学都市コーヴァリス (Corvallis, オレゴン州, オレゴン州立大学の所在地) の観測がある。また、Sharon and Koplowitz (1972) は、さらに人口5千人の小都市アシュドド (Ashdod, イスラエル西部の地中海に面した港町) のヒートアイランドを観測し、数ブロックの建物群に対応するヒートアイランドの存在を指摘した。日本においては、田宮ら (1981) は人口約1万人の団地でヒートアイランドを確認し、気層の鉛直混合による接地逆転の破壊によって、小規模な住宅団地であってもヒートアイランドが形成され得ることを明らかにした。

都市ヒートアイランドの形成について

これまでの研究により、都市ヒートアイランドの形成要因としては、次の5つが考えられている。①人間の代謝熱および産業、交通、生活面におけるエネルギー消費に伴う人工熱の発生、②大気汚染物質による温室作用、③都市構成物質の変化（コンクリートやアスファルトの使用）による蒸発散熱の減少と熱容量の増加に伴う高温の持続、④風速の減少による顕熱⁴交換の減少、⑤都市表面の凸凹の増大に伴う日射吸収量と長波放射⁵収支量の増加である。こうした諸要因の組み合わせによって、UHIは発生している（図5参照）。

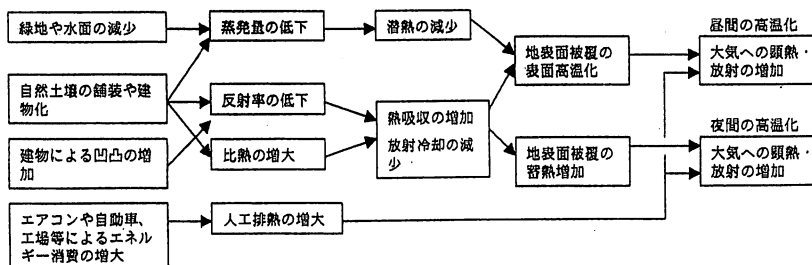


図5 都市の高温化を引き起こす主な原因

出典：平成12年度環境省請負業務報告書「ヒートアイランド現象の実体解析と対策のあり方について」

UHIの研究史をふり返ってみると、UHIには都市の質的發展段階に応じて次の3つのタイプがあるといわれている（西沢，1977）。

第1段階のUHI：主として冬の暖房用のエネルギー消費により形成されるタイプで、晴天で風が弱い冬の夜に発生しやすい。この段階では、人間のエネルギー消費といえはわずかなもので、冬の暖房用のエネルギー消費が大きな割合を占めていた時代に当てはまる。

第2段階のUHI：都市表面が人間によって改変された場合に発生するタイプで、夏の夜にみられる。このUHIは、日中の太陽放射エネルギーを都市の表面から大

⁴ 顕熱とは、温度変化の過程で、物質の変化を伴わずに吸収あるいは放出された熱のこと（『マグローヒル科学技術用語大辞典』，日刊工業新聞社，改訂第3版，2000）。

⁵ 長波放射とは、地表面や大気の放出する熱放射のこと。太陽放射を短波放射と呼ぶことに対応した用語である（吉野ほか編『気候学・気象学辞典』，1986）。

地に蓄えることのできるような都市に顕著である。このタイプのUHIは夏の夜に出現し、寝れぬ真夏夜⁶、さらに熱帯夜⁷を生む。

第3段階のUHI：都市表面が人工的に改変されたうえ、さらにその都市域におけるエネルギー消費が増大している都市で現れる。このUHIは、まさに大気の熱汚染（thermal pollution）をもたらすタイプである。

最近、山下（1992）は、都市の大地の温度、つまり地温分布にも四季を通じてUHIが出現するようになると、UHIは第4階段に入るということを指摘している（『生気象学の事典』，1993所収）。

現代のように、自動車や冷暖房機器の使用が増大し、電車や工場さらに火力発電所などにおけるエネルギー消費が増大している巨大都市にあっては、すでに

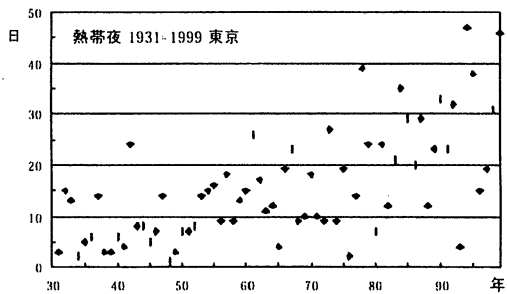


図6 東京における熱帯夜の出現頻度の経年変化

出典：平成12年度環境省請負業報告書「ヒートアイランド現象の実体解析と対策のあり方について」

表3 東京、名古屋および仙台における気温30℃を超えた延べ時間数

	1980年の 推計時間数	2000年の 推計時間数
仙台	31 時間	90 時間
東京	168 時間	357 時間
名古屋	227 時間	434 時間

出典：平成12年度環境省請負業報告書「ヒートアイランド現象の実体解析と対策のあり方について」

⁶ 夜間の最低気温が20℃以上の日を真夏夜とよぶことがある（吉野ほか編『気候学・気象学辞典』，1986）。

⁷ 熱帯夜は最低気温が25℃以上の夜をさす用語として、日本で使われている。基準値の25℃は区切りのよい数字であるが、特別な気象学的・生理学的根拠はなく、社会的用語として定着しているにすぎない（日本生気象学会編『生気象学の事典』，1993）。

UHIは第3段階、第4段階に入っていることが考えられる。熱汚染型のUHIは、季節や時刻に関わりなく発生し、また存在する。特に、夏季には、昼や夜もUHIの存在に悩まされ、生活者が高温にさらされる時間が年々増加しており、都市の温暖化問題として注目されている。その一例として、表3および図6に、日本の大都市における気温30℃を越えた延べ時間数と東京における熱帯夜の出現頻度の経年変化を示した。地球温暖化による気温上昇が100年で0.6-0.7℃であるのに対し、UHI現象によるそれはこの20年間で0.4-0.6℃とはるかに早いペースで進んでいる。

都市ヒートアイランド現象による都市問題

UHIは、都市の高温化を引き起こし、都市生活を不快にするだけでなく、夏季のエアコン利用によるエネルギー消費量の増加をもたらす。さらには人工排熱の増加と二酸化炭素の発生増という悪循環をも招いてきた。例えば、東京電力管内1都8県で気温が1℃上昇することにより、ピーク時の最大電力は約166万kW増加する（これを気温感応度という）。また、気温感応度166万kWをもとに東京23区の時間帯別気温感応度を推計し、この20年間の各時間帯の平均上昇気温（7-9月で約1.2℃）をかけて、1日あたりの電力需要の増加分を計算した。これをCO₂排出量に換算し、夏季（7-9月）分を合計すると、20年前と気温が変わらなければ約29.5万tのCO₂排出量が節約できることになると報告されている（報告書「ヒートアイランド現象の実体解析と対策のあり方について」、2001）。また、UHI現象が発生すると、それに連動して大気汚染や粉塵公害といった都市特有の環境問題も生じる。一般には大気中の気温は上空にいくほど低いが、UHI現象の特徴として、郊外では上空にいくほど気温が高くなる逆転層が発達しやすいことが知られている。地表面から熱が供給される都市域では空気の混じりやすい混合層が発達するが、逆転層では空気が混合しにくい。そのため、図7に示すように、都市域では下層が高温で、高さが増すにつれて徐々に温度は下がるが、ある一定の高さでやや気温が上昇し逆転層が形成される。他方、郊外では地表近くが最も温度が低く、高度が増すにつれて温度は上昇し、ある一定の高さで気温が最高値を

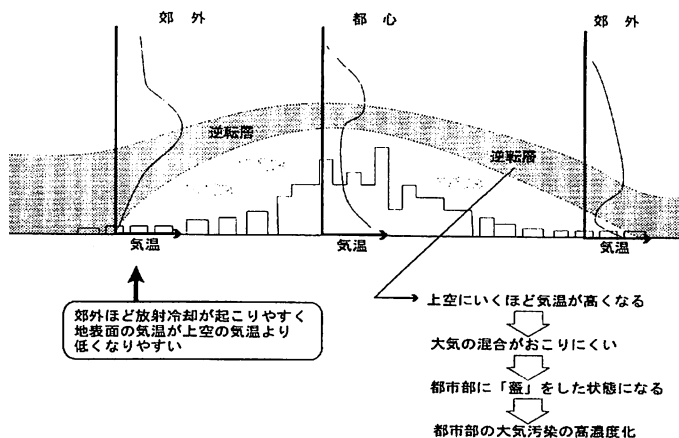


図7 大都市の内外における大気の様式図

出典：平成12年度環境省請負業務報告書「ヒートアイランド現象の実体解析と対策のあり方について」

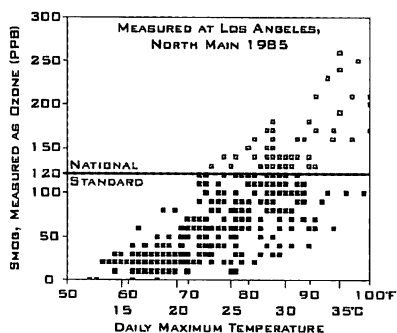
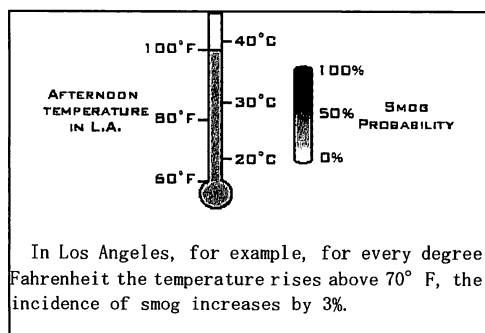


図8 気温の上昇とスモッグの増加

出典：アメリカ Heat Island Group(Leader: Hashem Akbari, University of California, Berkeley)
研究報告書 (2000年)

表4 UHI現象による都市生活への影響とそれに関連する都市問題

	UHIに象徴される都市問題
夏 季	①都市の不快さ <ul style="list-style-type: none"> ・夏季熱帯夜の出現日数の増加 ・高温時間が長くなり、しかもその範囲が拡大 ・さらに、暑熱による発病や死亡例が急速に増加、ピーク時の電力不足 ②冷房用電力消費の増大 ③都市部において、短時間に記録的な雨量を伴う夕立が頻発
冬 季	大気汚染の助長
その他	①都市の乾燥化→都市の砂漠化 ②生態系の変化

示す、地面に接した逆転層が形成される。ちょうど、都市上空に逆転層を大きな屋根とするようなドーム状の都市大気が形成されることになる。この現象は、1964年7月16日に行われたニューヨーク上空の気温分布の垂直観測（ロバート・ボルンスタイン, 1964, 西沢, 1977所収）により、明らかにされた。都市部の大気は蓋をされたような状態になり、これが大気汚染の一因といわれている。「熱の島」が、一方では「汚染ドーム」と呼ばれるのもこのような理由からである。近年、アメリカでは、気温の上昇とスモッグの増加との間に関連性があることが指摘され（図8）、さらに、UHIと光化学スモッグの発生との関連についても研究が進められている。一方、わが国では、猛暑となった1995年には日本全国で延べ139日、光化学スモッグ注意報が発令されたこともあった（保坂, 2000）。

表4は、UHI現象に象徴される都市熱環境問題を整理してみたものであるが、その主なものとしては次の諸点があげられよう。

① 夏場の都市の不快さ

これが、都市部の高温化に伴い、夏場の冷房用電力消費の増大につながる悪循環を引き起こしていることも問題である。図9に示すように、1965-1999年東京の場合、冷房消費エネルギーの減少あるいは極端に高い増加がある年は、夏季の平均気温が低い年か、または高い年と対応している。ここでは、冷房消費エネル

ギーが気温と密接に関係していることが証明される。

② 冬場の大気汚染を深刻化させる

特に、緯度の高い都市では、この問題が注目されている。日本では、北海道の旭川市の調査により、市街地中心部の大気汚染濃度(ここで市民の健康への影響が懸念されているのは、 NO_2 、 SO_2 の濃度である)は、郊外域に比べて非常に高い値を示していることが確認された(図10)。

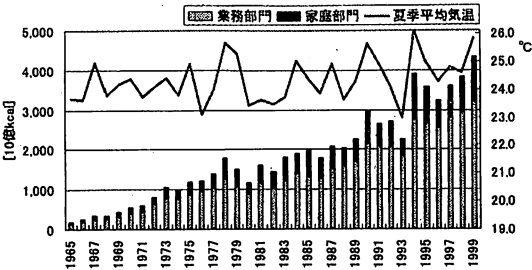


図9 東京23区の冷房負荷(家庭部門と業務部門)と夏季平均気温との関係
出典：平成12年度環境省請負業報告書「ヒートアイランド現象の実体解析と対策のあり方について」

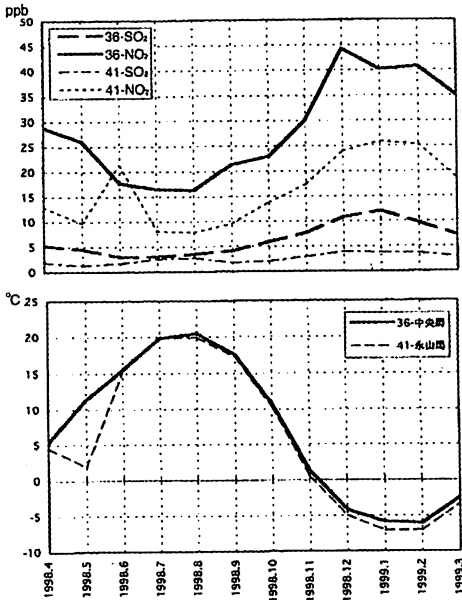


図10 旭川市における月平均気温と汚染濃度の変化(1998/4-1999/3)
(石田, 1999)

また、これとは別に、都市の乾燥化といった問題もある。UHIと都市の湿度の低下は一体である。気温が上昇することによって、都市の空気の湿度は下がる。水蒸気の少ない空気がUHIによって暖められることで、ますます乾燥する。蒸発する水分が少ない都市では、気温が下がりにくくなってしまう。その結果、都市の気温は蒸発水分が多い郊外より高くなってしまう。つまり、都市化によって、都市には蒸発して水蒸気となる水分が減少し、特に、気温が上昇することで、湿度は低下するのである。従って、UHIと都市の湿度の低下は一体であるといえる。

近年、地球温暖化がUHIに及ぼす影響についての研究も行われている。大和田(1995)の研究によれば、冬季においては、地球の温暖化に伴うUHIへの影響は少ないが、夏季においては、冬季に比べていずれもヒートアイランド強度を高めることが明らかにされている(名古屋の場合、1℃の気温上昇に対して0.33℃、2℃では2.43℃も高くなる計算となった)。今後の地球の温暖化に伴い、夏季のヒートアイランド強度はさらに一層その度合を増すことが懸念される。

参考文献

- アメリカ Heat Island Group (Leader: Hashem Akbari, University of California, Berkeley) 研究報告書 (2000) : <http://eetd.lbl.gov/HeatIsland/PUBS/>
- 気象利用研究会編 (1998) : 気象利用学, 第5章 温熱環境, 森北出版, 128-149.
- 財団法人日本システム開発研究所&ヒートアイランド現象抑制対策手法検討委員会 (2002) : 平成11年度環境省請負業務報告「ヒートアイランド現象抑制のための対策手法」
- 社団法人環境情報科学センター&ヒートアイランド実態解析調査検討委員会 (2001) : 平成12年度環境省請負業務報告書「ヒートアイランド現象の実態解析と対策のあり方について」
- 関口 武 (1960) : 山形県米沢市における都市気温の分布—本邦都市気候の研究—, 東京教育大学地理学研究報告 IV, 17-41.
- 高橋日出男・福岡義隆 (1994) : 都市域における風速の鉛直分布とヒートアイランドの立体構造, 「地理学評論」, 67 (8), 530-550.
- 高橋百之 (1959) : 日本の中小都市における気温分布と家屋密度, 「地理評論」, 32 (6), 305-313.

- 田宮兵衛・大山秀樹 (1981): 小集落に夜間発生するヒートアイランドの実態と成因について, 「地理学評論」, 54 (1), 1-17.
- 西沢利栄 (1977): 熱汚染, II 章「熱の島」の誕生—大気の熱汚染, 三省堂, 62-114.
- 二宮洸三・山岸米二郎・新田 尚編 (1999): 『わかりやすい気象の用語事典』, オーム社, 209.
- 日本建築学会編著 (2000): 都市環境のクリスマアトラス—気候情報を活かした都市づくり—, 旭川積雪寒冷盆地都市 (石田秀樹), ギョウセイ, 23-36.
- 日本生気象学会編 (1993): 『生気象学の事典』, 朝倉書店, 332-333.
- 朴 恵淑 (1986): ソウル市及びその周辺地域における夏季のヒートアイランドの気候学的考察, 「地理学評論」, 59 (12), 689-705.
- 原田 朗 (1989): 大気の汚染と気候の変化, 第2章 都市の熱汚染, 第3章 熱汚染と都市域の風, 東京堂出版, 26-67.
- 福岡義隆 (1983): 都市の規模とヒートアイランド, 「地理」, 28, 34-42.
- 福岡義隆編 (1997): 都市の風水土—都市環境学入門—, 第3章 都市の環境汚染は人口に比率する (福岡義隆), 第4章 都市気候と地球温暖化 (大和田道雄), 朝倉書店, 10-37.
- 福岡義隆 (2001): 新版改定版図説環境地理, 第5章 人口・都市と環境 53. 「熱の島」の成長と人口・家屋密度, 古今書院, 113.
- 保坂直紀 (2000): 異常気象, 4 都市をおそう異常気象, ナツメ出版企画, 146.
- マグローヒル科学技術用語大辞典編集委員会編 (2000): 『マグローヒル科学技術用語大辞典』, 日刊工業新聞社, 改訂第3版.
- 松村 赳・富田虎男編 (2000): 『英米史辞典』, 研究社, 428-429, London の項.
- 三上岳彦編 (2001): 科学技術振興事業団戦略的基礎研究「都市ヒートアイランドの計測制御システム」最終報告書.
- 三澤 正編 (1995): 大気環境と人間, II 章 大気環境をめぐる問題 5 都市の気候, 開成出版社, 123-124.
- 山下脩二 (1986): 日本におけるヒートアイランドとその形成要因について, 「日本気象学会誌」, 23 (1), 11-18.
- 吉野正敏・浅井富雄・河村 武・設楽 寛・新田 尚・前島郁雄編 (1986): 『気候学・気象学辞典』, 二宮書店, 413, 447.
- 和達清夫監修 (1995): 『最新気象の事典』, 東京堂出版.
- Chandler, T. J. (1965): *The Climate of London*. Hutchinson, London.
- Duckworth, F. S. and J. S. Sandberg (1959): The effect of cities upon horizontal and vertical temperature gradients. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 35, 198-207.
- Oke, T. R. (1978): *Boundary Layer Climates*. Methuen, London.

ルーク・ハワード関連

The Concise Dictionary of National Biography (1992), Vol. II, Oxford University Press.

<http://www.islandnet.com/~see/weather/history/howard.htm>

http://www.cloudman.com/luke/luke_howard.htm

T. J. チャンドラー関連

<http://atschool.eduweb.co.uk/wellscs/geog/metlink7.html>

Who's Who 2002, A&C BLACK, London.

ユリウス・ハーン関連

<http://www.aeiou.at/aeiou.encyclop.h/h168041.htm>

<http://bmbwk.gv.at/cgi-bin/kalender.cgi?1001&txtonly>

ティモスイ・リチャード・オーク博士関連

The Canadian Who's Who (1999), Vol. xxxiv, University of Toronto Press.