

ヒートアイランド現象の解析について

解析事業部 営業部 山 口 敬 三
解析事業部 環境解析部 高 瀬 勝 彦
新 海 仁

1. はじめに

近年、経済社会活動や人口の都市域への過度の集中により、都市部においてヒートアイランド現象が年々顕在化してきている。この原因として、コンクリートやアスファルトなどの人工物が増加し緑地が減少したことによる地表面付近の温度の上昇や、産業活動や自動車排ガス、エアコンの室外機等から放出される人工排熱の増加等が指摘されている。

ヒートアイランド現象は、欧米では30年程前から都市環境問題として取り上げられてきたが、日本でも気象学の分野で都市気象として現象の解明の研究が進められてきた。この研究はコンピュータの発達に伴い、数理モデルによるシミュレーションを用いて現象の解明ならびに将来予測に精度を上げた。

本稿ではヒートアイランド現象の実態及び対策

についての概要と、数理モデルを用いたヒートアイランド現象の解析手法について紹介する。

2. ヒートアイランド現象とは

都市化の進行によって都心を中心に周辺の気温が上昇し、等温線が海に浮かぶ島のような形に見えることからこのように呼ばれている。

ヒートアイランド現象は大都市において、また中小都市においても南北、臨海内陸、人口を問わず全国の都市において確認され、真夏日の増加、熱中症など人への環境影響、生態系への影響、冬季の大気汚染の助長、冷房負荷の増大による夏季消費電力の増大、集中豪雨の増加等の様々な悪影響を与えている。そしてその気温上昇はこの20年間で0.4～0.6℃と地球温暖化による気温上昇よりも遙かに早いペースで進んでおり、短期的な緊急課題であるといえる。

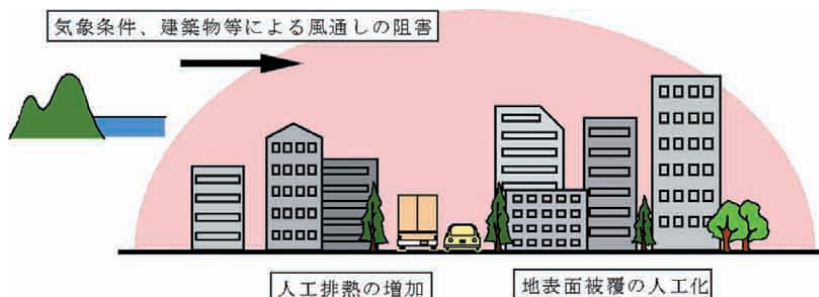


図1 ヒートアイランド現象の主な要因

3. ヒートアイランド現象の原因

ヒートアイランド現象の原因としては、都市化に伴う「地表面被覆の人工化」「人工排熱の増加」と各都市特有の地形・気象条件があげられる。

1) 地表面被覆の人工化

地表面が建物やアスファルトに覆われることにより、自然の土壌や緑などに比べて蒸発が極端に少なく比熱の大きい熱的特性へと変化する。自然土壌や緑地・水面の減少によって、気化熱により周囲の温度上昇を抑制する役割を担う蒸発散作用が減少し、さらに建築物による凸凹の増加や表面の人工化は反射率低下や比熱の増大を招き、日射による熱吸収の増加と放射冷却の減少をもたらす。蒸発散作用の減少や熱吸収量の増加は地表面の高温化を招いて大気を暖める対流顕熱や赤外線放射を増加させて昼間の気温を高温化し、地表面に吸収・蓄熱された熱は夜になっても大気中に放出され、夜間の気温をも高温化させる。

2) 人工排熱の増加

人工排熱は、排煙・冷却水など産業活動に伴う排熱、自動車など移動発生源による排熱、事務所や家庭の空調システム・照明・OA 機器などから排出される排熱などがある。空調システムやOA 機器など個別機器の省エネ化は進められているが、それを上回る人口と産業の集中、機器の普及が都市の人工排熱を増加させている。

3) 気象条件

ヒートアイランド現象の原因となる要因は、個々の小さな熱収支の変化や人工排熱の集積が大気を暖めることによって生成される一方、暖められた大気は海陸風や地理的な条件（市街地の広がりや河川・緑地の配置などによる風の道など）に

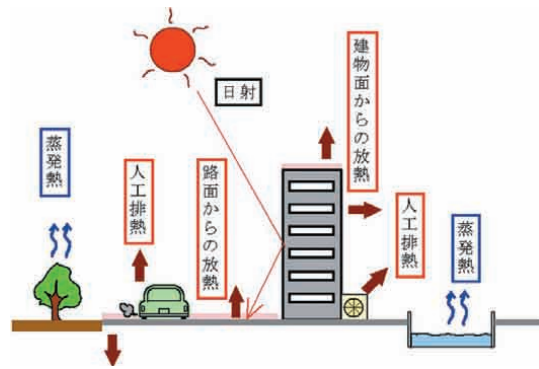


図2 地表面被覆における熱収支

支配されながらヒートアイランドを形成している。このため必ずしも対流顕熱や人工排熱の多いところが高温域になるとは限らず、例えば盆地に立地した都市では大気が滞留しやすくわずかな熱でも高温域が形成されやすい、あるいは都心部から風下方向に高温域が移動する等の現象も起きている。

4. ヒートアイランド対策

都心部における地表面の人工化や人工排熱の増加はある程度は避けられないところではあるが、その中であって地表面の改善や人工排熱の削減により、地表面を出来る限り蓄熱しないような自然状態に近づけることや不必要な熱を都市に持ち込まないことが対策の基本となる。そのためには屋上・壁面緑化、保水性舗装・建材、人工建造物表面における反射性・耐熱性の向上、水面の確保、省エネや自然エネルギーの利用、雨水等の保水及び循環利用、海風や山風の気象条件を有効に活用するなどの対策を実施していく必要がある。これらの対策の中から主なものの効果を以下に紹介する。

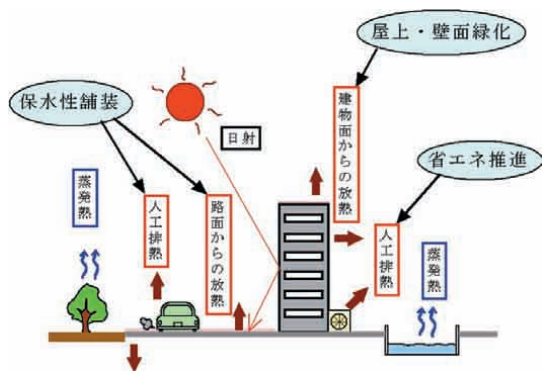


図3 ヒートアイランド対策

1) 公園緑地

高木による緑化は蒸発散作用とあわせて緑陰を作り、地表面温度の表面温度上昇を抑制する効果がある。公園緑地の気温低減作用は最低気温より最高気温に近著に現れ、東京杉並区の例では周辺に比べて緑地内で最大5℃近くの差が観測されており(山田, 丸太, 1989), 樹木や水面の効果が指摘されている。

2) 建物緑化

平面形状 40m × 25m, 面積 1000 m² の9階建事務所ビルで屋上緑化(土壌厚 20cm に芝生), 壁面緑化した場合, 屋上表面温度は何もしない場合(50 ~ 60℃)に比べて約20℃の低減が見込まれている(並木裕, 1992)。この結果, 特に最上階の冷房負荷を大きく低減することもできる。

3) 道路緑化

夏の晴れた日中には道路舗装面の温度は気温より20 ~ 30℃も高くなることもあるが, 緑陰部の表面温度は概ね「気温+3℃」以下に抑えられる。業務地区にある幅員6mの道路において, 緑化された公開空地が道路沿いに連続する街路とほとんど緑のない街路の夏の気温差は最大2℃(下

村, 増田等, 1998)が観測されており, 連続した緑の気温緩和効果が認められている。

4) 保水性舗装・屋根建材

幹線道路沿道などのように街区内の舗装面積が大きい場合には舗装の保水化は効果が大きく, 夜間は緑化と変わらない効果が期待できる。保水性ブロックとアスファルト舗装等による比較測定が8月に行われた結果, 十分に湿らした保水性ブロックではインターロックと比較して日中10 ~ 15℃表面温度が低く, 気温が高くなるにつれて表面温度と気温の差が大きくなることが認められている(住宅・都市整備公団, H 8年報告書)。

また, 屋根に保水機能を持たせることにより屋根表面の温度上昇を抑え, 冷房による消費エネルギーを減少させることができる。通常のストレート材と産業廃棄物からつくられたセラミック材(保水性屋根)を比較したところ, 降水の翌日には表面温度で保水性屋根材は17℃も低く, 効果は3日程度持続した。高密度化した住宅地区では地表面被覆に占める屋根の割合が高く, 壁面の淡色化や高反射率の屋根材とあわせ, ヒートアイランド対策としての効果が期待されている(T.Fujii etc, ICB-ICU '99)。

5. 数値シミュレーションの活用

ヒートアイランド現象のメカニズムは複雑で, 要因となる地表面被覆と人工排熱, それらの都市内における分布状況や地形・気象要因などが影響し, 時間的・季節的な変化を示す。対策による地表面熱収支の改善やエネルギー使用量の変化を見積もったとしても, それが大気温度のどこにどの程度影響してくるのかという対策導入量と気温と

の関係は気象条件など他の条件が多く関連するのである。このため対策としても様々な組み合わせやそのバランスを見ながら地域特性に応じた適切な対策を都市ごとに計画・実施することが重要になる。そのためにはまず対象都市の地域熱特性を把握し、対策技術の相対的な評価、地域特性に応じた評価を行うことが必要である。

そこで、数理モデルを用いた数値シミュレーションが重要な役割を果たす。シミュレーションでは、気温分布の予測とともに地表と大気の様々な形での熱交換量や人工排熱量など現象を形成する各種情報を得ることができ、当該地区の熱的な特性を分析・評価して改善または保全すべき要素を検討し、対策検討の基礎資料とすることができる。

ただし、ヒートアイランド対策には都市レベルでの省エネ計画や気象条件を生かした都市形態の改善など大規模なものから、街区や個別の建物レベルでの住環境改善を目指した植栽の配置や壁面材質の選定などの小規模なものまで、様々なスケールの視点からシミュレーションをおこなって対策を検討する必要がある。

6. シミュレーションモデルの概要

都市スケールのシミュレーションを行う場合には、既存の資料や地図、測定結果等を整理したメッシュデータをもとに、地表面被覆からの放射熱・蒸発熱と事業所や自動車・空調等からの人工排熱を算出し、大気の流れを含めた気象モデルで気温・風向・風速を求める。また、土地利用や気象情報、放射熱、蒸発熱、人工排熱、気温分布等のメッシュデータをGIS(地理情報システム)を用いて地図上に再現することにより対策検討を効率的に行うことができる。ヒートアイランド現象に対する対策効果をシミュレートする場合は、先ず現況の再現を行い、次いで対策によって変化する条件を入力し予測シミュレーションを行い、熱収支のバランスや気温の変化を予測して対策の効果を分析することが基本となる。

街区スケールのシミュレーションであれば個別の建物や道路、緑地等の形状・配置や熱的条件等をもとに気温、風向、風速、各構造物の表面温度等を求めることになるが、このときにより大きなスケールのシミュレーション結果から気象条件等を引き継いで予測を行うことができる。

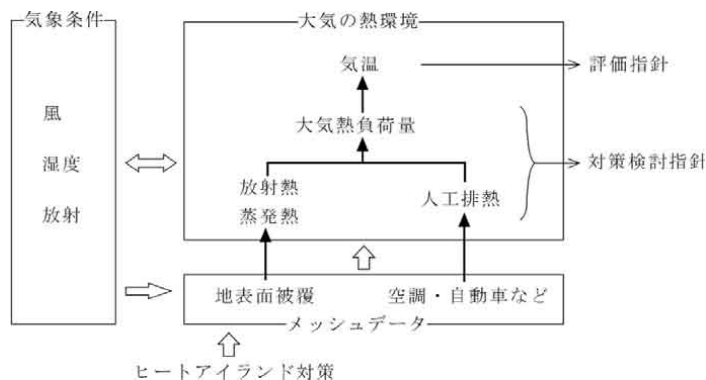


図4 シミュレーションモデルの概要

以下、本稿では都市スケールのシミュレーションについて述べるものとする。

7. モデルの入力データ

1) 地表面効果

土地利用状況や植生分布図、都市計画図等をもとに地表面を森林、草地、裸地、水面、各種舗装、人工構造物等にメッシュ毎に分類、またはメッシュ毎にその割合を算出し、分類ごとに熱収支に依存する係数を与える。

2) 地形条件

国土地理院の数値地図 50 mメッシュ標高等を利用し、各メッシュの平均標高を算定する。ただし、都市部では人工構造物の高さも考慮する。

3) 排熱条件

人工排熱については、メッシュ毎に以下のように推定し入力条件とする。ここで、気象条件の時間変化や蓄熱を考慮した非定常計算によるシミュレーションを行う場合には、排熱量の時間変化を設定する。

・工場、事業所

大気汚染総合調査結果により、施設種、燃料使用料、排ガス量等により排熱量や時間ごとの稼働率を推定する。

・民生

各種統計資料より、一世帯あたりの電気、ガス、灯油使用量を推定して排熱量に換算する、あるいは都市計画や住宅地図のGISと建物用途別、規模別の熱源システム原単位を設定し排熱量を推定するなどの手法により、人工排熱量をメッシュ毎にまとめる。時間変動率は電気、ガス利用の代表的パターンについて既存資料を整理する。

・自動車

幹線道路については道路交通センサスより道路区間毎の交通量と燃料消費率から燃料使用量(ガソリン、軽油)を算定する。細街路(非幹線道路)は推定式によりメッシュ毎の走行台キロを算定して燃料使用量を推定し、燃料使用量より排熱量を算定する。メッシュ毎の道路の延長距離はデジタル道路地図を利用することも考えられる。

4) 気象条件

シミュレーションの前提条件となる日射量、気温、湿度、風向・風速、海水面・河川水温等の気象条件としては、対象期間の実測値を用いるか、アメダスデータ等より対象季節の典型的な日を選定してデータを取得する。あるいは、より広域の気象モデルによるシミュレーション結果をもとに設定することもできる。

8. 解析事例

ここでは環境省が平成12年度に実施した東京23区における典型的な夏日を対象とした解析事例を紹介する。

1) 現況ケース(図5)

現況では14時には商業業務地区を抱える港区、新宿区等と豊島区、文京区方面に高温域が広がり、河川(隅田川、荒川、多摩川)に沿った地域や皇居周辺、臨海部はこれに比べると気温が低くなっている。この時間に都心部から大気へと放出される放射熱は、太陽から地表面に注がれる最大日射量の3~7割にも達する。日没後も港区、新宿区や豊島区には高温域が残り、風もこれら高温域ほど弱くなる傾向がある。また、千代田区は人工排熱の割合が高く、豊島区は地表面からの対流放射熱

が多いなど、地区ごとに熱の発生状況が異なることも把握できた。

2) 将来ケース (図6)

中心部で都市化がさらに進行した場合 (容積率 20%、自動車交通量 30%、建物排熱 50% 上昇) 及び緑地が減少 (生産緑地 50%、その他農地の緑地及び樹林の消滅) した場合、中心部や現況で緑地の地域を中心に確実に気温が上昇する。特に都市化の進行によって、中心部では最大昼間約 1℃、夜間 0.2 度程度の気温が上昇し、最高気温が 30℃を超える時間面積は現況の 1.34 倍となる。

3) 対策効果 (図7)

現況に対して 23 区で対策を講じた場合、排熱削減は昼間の気温低減に、地表面被覆の改善は夜間の気温低減にも効果がある。総合的な対策 (建物排熱 50% 削減、自動車排熱 20% 削減、舗装面の 50% に保水性舗装、建物屋上の 50% 緑化) を講じた場合には、昼間気温が都心部で 0.7℃、夜間気温についてはほぼ全区で 0.2℃程度減少し、30℃を超える時間面積は現況に比べて 21.3% 低減される。

9. おわりに

ヒートアイランド現象の解明ならびに対策効果の予測は、コンピュータの発達により数理モデルを用いて環境省や各研究機関で実施され始めている。

しかし、ヒートアイランド現象は、局地的な地表面被覆と大気との間の複雑な熱の移動や、その大気を移動させる気象条件、移流を規定する地形条件など、詳細スケールから広域スケールまでの様々な現象が相互に影響し合って時間的変化を伴

って形成されている。このため、対策としても対象都市及び地域の熱的特性を把握したうえで様々な対策を組み合わせ、数理モデルによるシミュレーションによって相対的な評価や地域特性に応じた評価を行いながら計画的に取り組むことが重要となる。

現在、ヒートアイランド現象の解析にあたって利用できるデータは各種気象データ、局所的な熱収支の測定結果、各種衛星画像、住宅地図や都市計画図等であり、地域毎の熱収支の実態把握についてはシミュレーションに頼るところが大きい。なお、数値シミュレーションの計算精度を向上させるためには地表面種別ごとの熱収支と特徴や各対策技術の導入効果を正確に把握する必要があるが、その方法や必要なデータは必ずしも整備されておらず、今後の知見の蓄積が望まれる。

参考文献

- 1) 尾島敏雄：ヒートアイランド，東洋経済新報社
- 2) 環境省：平成 12 年度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報告書 (平成 13 年 10 月)
- 3) 電中研ニュース 335：ヒートアイランドの実態に迫る
- 4) 環境省：平成 13 年度ヒートアイランド対策手法調査検討業務報告書 (平成 14 年 3 月)

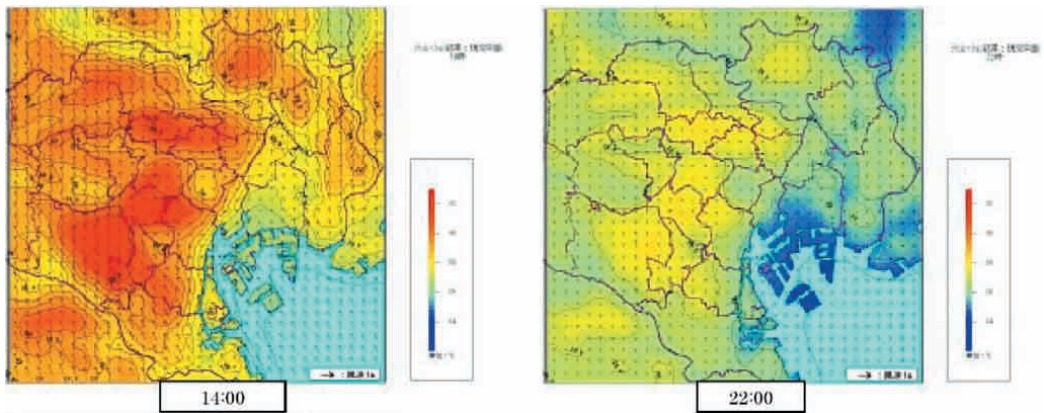


図5 環境省による東京 23 区の夏日における解析事例（現況）

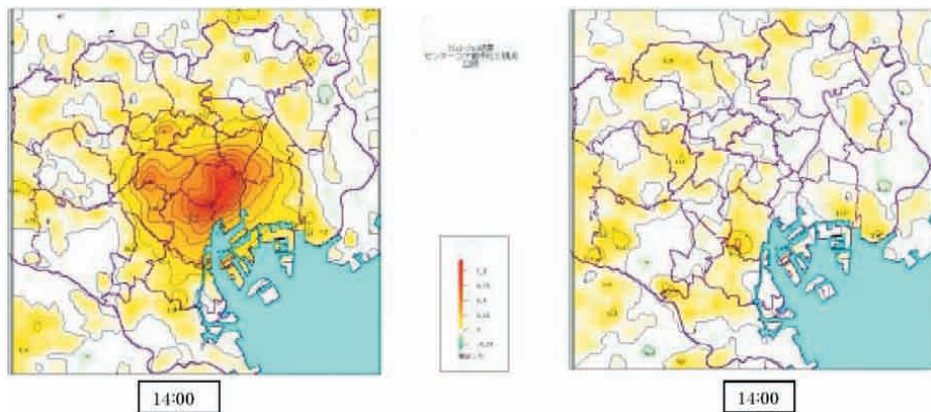


図6 環境省による東京 23 区の夏日における解析事例（左図：都市化進行, 右図：緑地減少）

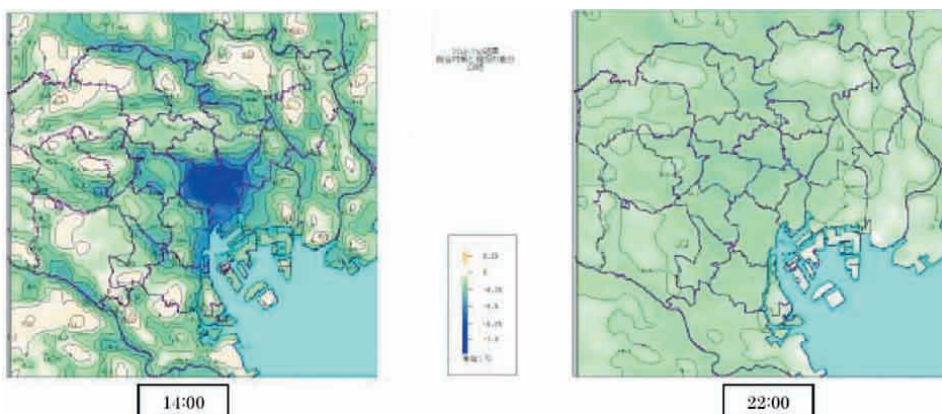


図7 環境省による東京 23 区の夏日における解析事例（総合的な対策）