

平成 18 年度 ヒートアイランド現象の実態把握及び 対策評価手法に関する調査（概要）

- 環境省水・大気環境局大気生活環境室 -

ヒートアイランド現象は、都市に特有の環境問題として注目を集めており、平成 16 年 3 月には「ヒートアイランド対策大綱」が取りまとめられました。環境省では、熱大気汚染と位置付けてその対応を進めているところですが、効率的な熱環境改善に向けてはヒートアイランド形成メカニズムのさらなる解明や対策の評価方法の確立などが課題として残されています。

本調査は、「ヒートアイランド現象の実態を把握」し、「都市特性に応じた熱環境形成メカニズムの解明な検討」するとともに、「対策評価手法の確立に向けた検討」を目的としています。

【1. ヒートアイランド現象の実態把握に関する検討】

1) 検討の目的

環境省では、ヒートアイランド現象の実態把握のための観測・監視体制の強化に努めることとしています。しかし、大都市における高密度な観測態勢を直ちに構築することは容易ではなく、また、ヒートアイランド観測に適した観測地点の条件が十分に明らかになっている状況とはいえません。そこで、国内で実施されている気温等の観測状況調査し、広域的なヒートアイランド現象を把握する際に用いる気温等の観測点に関する留意事項を整理しました。

2) 既存の気温等の観測網

現在、国内で行われている主な気温観測網を表 1 に整理しました。

全国的に展開されている主要な観測としては、気象庁による気象官署及びアメダスによる観測、環境省、各自治体において実施されている大気汚染常時監視に伴う気温観測等があげられます。また、一部の地域では消防署、農業試験場等の公的機関で気温等の観測が行われています。その他にも民間企業などによる測定が行われている場合があります。

表 1 既存の気温等の観測網

| | 名称等 | 所管 | 概要 |
|-------|---|-------------|---|
| 主要な観測 | 気象官署 (気象台・測候所) | 気象庁 | 全国約 110 ケ所で気圧、気温、湿度、風向、風速、降水量等の気象観測を行っている |
| | アメダス (地域気象観測システム) | 気象庁 | 1974 年から運用を開始し、現在、降水量の観測所は全国に 1300 ケ所、このうち約 850 ケ所では気温、風向・風速等を観測している。 |
| | 大気汚染常時監視局 (一般環境大気測定局、 自動車排出ガス測定局) | 環境省、 自治体 | 大気汚染防止法に基づき、大気の汚染状況を常時監視する測定局である。測定局の設置目的は大気汚染防止対策のための資料を得ることにある。 現在、全国で約 2100 ケ所において大気汚染の常時監視が行われている。しかし、気温の測定が行われている局は、関東、北陸、中部、関西においては 1379 局中、223 局(16%)であった |
| | 環境省広域測定 | 環境省 | 広域のヒートアイランド現象を把握するため、関東、中部、近畿の各圏で気温測定を主体に 17 ケ所の気象観測を行っている |

| | | | |
|--------|-------|--------------|---|
| その他の観測 | 消防署 | 都道府県 消防本部 | 自然災害防止及び被害を最小限に抑えるために気象観測装置を独自に設置して気象観測業務を行っている消防署がある。 |
| | 農業試験場 | 都道府県 | 一部の農業試験場では極時に気象観測を行っている場合がある。しかし、財政的な事情等からアメダス等の気象観測で代替する動きが見られる。 |
| | 民間の観測 | 気象情報提供会社 | 気象情報提供会社の中には、独自の気象観測を実施し、有料で配信している会社がある |
| | | 空調制御のための測定 | 建物の空調システムを効率的に制御するため外気温を測定している場合がある |

3) 観測地点状況の調査及び気温観測についての留意事項

上記で整理した観測網のうち、主にアメダス局と大気汚染常時監視局（一般局）について、観測地点周辺状況を含めて測定状況の調査を行いました。調査対象は、関東圏、中部圏、関西圏とし、あわせて約 260 ヶ所の測定局の測定方法等の状況、周辺環境等を調査しデータベースとして整理しました。

調査の結果、いくつかの地点で周辺環境等の影響を受け、気温が高い傾向を示す地点、低い傾向を示す地点があるのが確認されました。周辺の道路等の温熱源や建物等による通風障害、河川や緑地等の冷熱源等の影響によりその地点としては正しい気温が測定されていたとしても、広域圏（メソスケール）の気温分布を表示するための気温データとしてこうした観測地点の気温データを使用した場合、ヒートアイランド現象の分布状況を見誤るおそれがあります。そこで、広域圏における気温観測について留意すべき点として以下の事項を整理しました。

表2 気温観測について留意すべき事項

| |
|--|
| 〔気温観測についての留意事項〕 |
| ・人工排熱源の近傍を避ける |
| ・測器の直下の被覆の状況やセンサーまわりの通風の有無は、特に日中の気温に影響する |
| ・測器周辺の大きな建物等による通風の障害を極力避ける |
| ・周辺の状況とは異なる緑地等の冷熱源の近傍は避ける |

4) まとめ

今後は、以下の2段階に分けてヒートアイランド現象の実態把握網の構築を行っていく必要があります。

ヒートアイランド現象の分布と強度の把握

ヒートアイランド現象の経年的な変化の把握

具体的には広域的なヒートアイランド現象を把握するための観測密度や密度や長期的に観測すべき地点の条件などについての検討を行います。

【2. 熱環境形成メカニズムの地域特性の解析】

1) 熱環境形成メカニズムの違い

図1に示すように同じ関東圏にあって、東京(大手町)などの沿岸部と熊谷などの内陸部では最高気温、最低気温の状況が異なるというように地域ごとに熱環境が違ってきます。

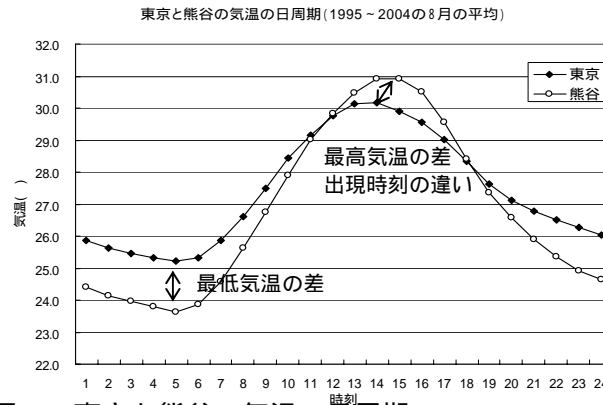


図1 東京と熊谷の気温の日周期(1995～2004の8月の平均値)

東京では熊谷より最低気温が高いけれども、最高気温は熊谷のほうが高く気温の日較差は熊谷のほうが大きくなっています。また、最高気温の出現時刻は東京に比べて熊谷のほうが1時間ほど遅くなっています。こうしたことより気温を暖める力、冷ます力(熱環境形成メカニズム)が地域によって異なることが考えられます。

2) 熱環境形成メカニズムの解析手法

今回、広域的な風を含めた熱環境形成メカニズムの解析手法及び入力データ構築手法について検討しました。首都圏全域(半径約40km圏)を対象に広域的な風を解析するメソスケールモデル(LOCALS)と都市条件による熱環境形成を解析する都市キャノピーモデル(UCSS)を連成させたシミュレーションモデル(LOCALS-UCSS)を用いて検討を行いました。



図2 熱環境形成に係わる要素

シミュレーション結果については、関東地域約 200 ヶ所で観測が行われている広域メトロスの 2006 年 8 月の測定結果¹⁾と比較して再現性を確認しました。LOCALS-UCSS によるシミュレーションの現況再現性の評価は以下のようにまとめられます。

- ・ 最高気温分布及び海風進入時の計算結果についてはある程度の再現性が確認できた。
- ・ 都心部については時系列的にみてある程度の再現性が確認できた。
- ・ 郊外の夜間については気温が高くなる傾向がみられる。

3) 熱環境メカニズムの地域特性の解析

広域メトロスの観測及びシミュレーションによる現況再現の結果、気温形成には広域的な気象の状況と局地的な都市化等の状況が複雑に関係していることがうかがえます。そこで地域の熱環境特性の解析は以下の 3 ケースを設定し実施しました。都市条件については人工排熱をなくした場合を設定し、現況再現結果との気温差の解析を行いました。

表 3 解析ケース

| NO | 記号 | 対象日・気象条件 | 都市条件 | | 備考 |
|-------|----|----------|------|------|------------------------------------|
| CASE1 | EC | 8月4日(南風) | 都市形態 | 現況再現 | 海風が気温の及ぼす地域等の現況再現確認及び熱環境特性分析の基礎データ |
| | | | 人工排熱 | 現況再現 | |
| CASE2 | - | 8月5日(東風) | 都市形態 | 現況再現 | 風が異なる条件時において、風が気温の及ぼす地域等の現況再現 |
| | | | 人工排熱 | 現況再現 | |
| CASE3 | NC | 8月4日(南風) | 都市形態 | 現況再現 | 人工排熱の気温上昇への寄与の地域性の分析 |
| | | | 人工排熱 | なし | |

(1) 気象条件の違いによる広域的な気温形成の状況の分析

8月4日と5日の最高気温出現時刻(14時)及び海風進入時(18時)の気温偏差の分布(図3)に示します。

最高気温出現時刻の状況(14時の気温分布)

最高気温出現時刻についてみると、4日はアメダスさいたまから鳩山、久喜にかけて高温域が分布しています。それに対し5日はアメダス越谷から府中、八王子にかけて南西方向に高温域が分布しています。また、風の状況についてみると4日は全般的に南系の風ですが北西部から北風が進入し、埼玉県中部に海風前線が形成されています。5日については、東京湾及び相模湾方面からの南系の風と鹿島灘方面からの東系の風があり、アメダスさいたまから八王子にかけて風の収束域が形成されています。両日ともこの海風前線である風の収束域と高温部の分布が対応しています。

海風進入時刻の状況(18時の気温分布)

4日については南系の風が解析領域の北端まで吹き抜け、海風前線は解消されています。相模湾及び東京湾からの海風により、相模地域から所沢、青梅付近の地域及び京浜地域方面の気温が低下しています。一方、東京都心付近は気温低下がみられず、都心を頂点に逆三角形の高温域が北側に形成されています。

5日については、南系の風と東系の風が埼玉県西部で収束しており、この付近に高温部が

¹⁾ データ提供：広域メトロス研究会 代表者 首都大学東京三上教授

形成されています。また、南からの海風の風速は 4 日に比べやや弱くなっているものの、神奈川県内及び東京湾の京浜地域では海風により低温部が形成されています。

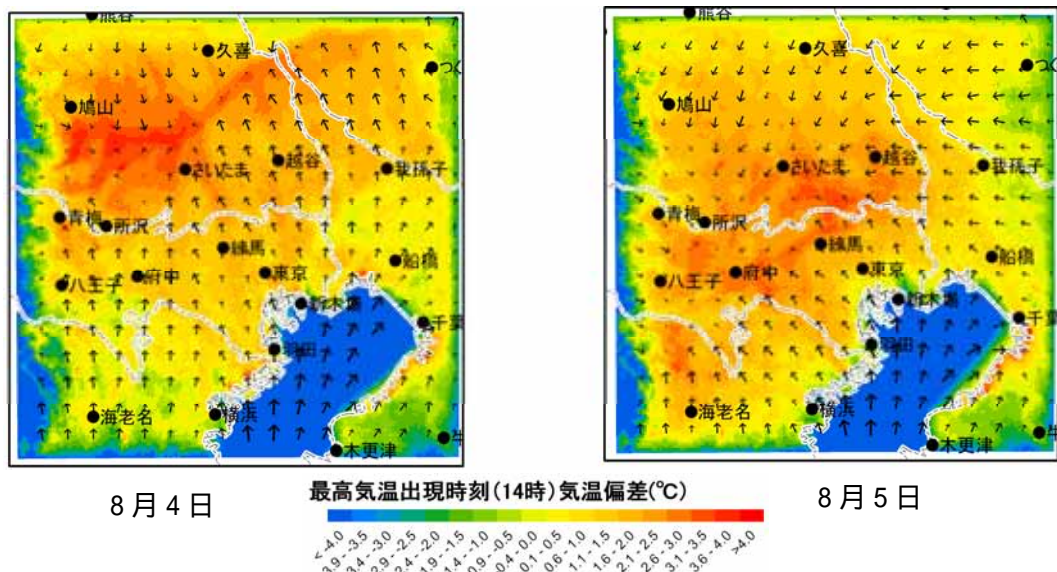


図3(1) 8月4日と5日の気温偏差と風向・風速分布(14時)

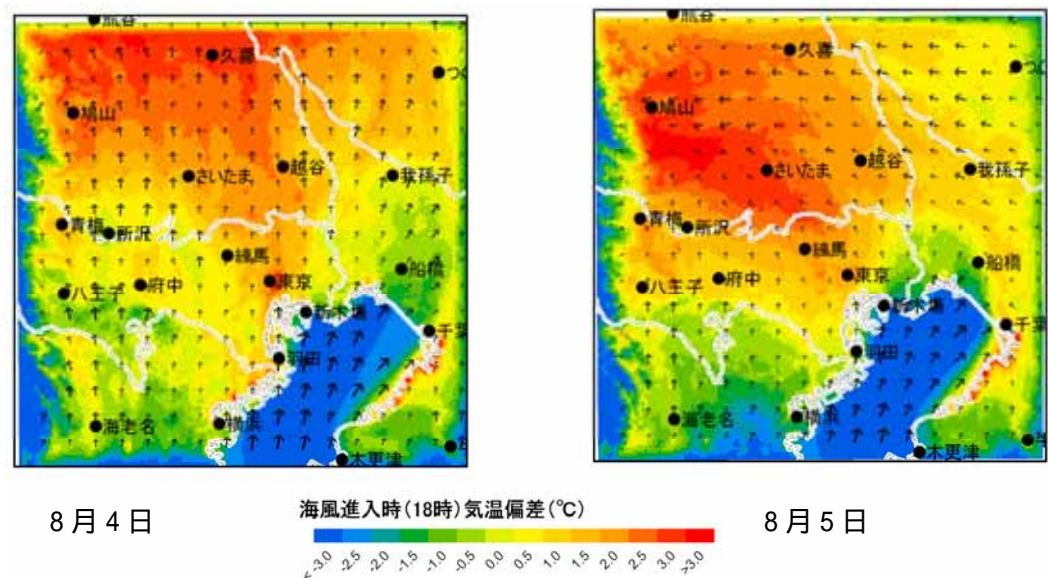


図3(2) 8月4日と5日の気温偏差分布と風向・風速分布(18時)

(2) 樹林地が気温分布に及ぼす局所的な状況の分析

市街地周辺において緑被率 0.4 以上のメッシュが分布しているエリアを対象に緑地による気温低下効果の分析をおこないました。

湾岸部では海風の影響で気温が低くなっていますが、内陸に行くに従って上昇した気温は緑被率の高いメッシュを通過することで気温が低下し、その気温低下は風下側数メッシュに及んでいることがみられます。特に皇居、明治神宮等の緑被率が 0.5 を超えるメッシュではその効果が顕著にみられます。

その他のエリアでも緑被率が高いメッシュの気温は低下し、その風下側の 1~2 メッシュは緑地の風上のメッシュに比べ気温が低い傾向がみられます。

以上より、ある程度の規模以上の樹林地は気温を低下させる機能を持ち、その気温低下は風により風下側へ移動することが示唆されました。気温低下の影響範囲は最大でも500m～1km程度と考えられます。

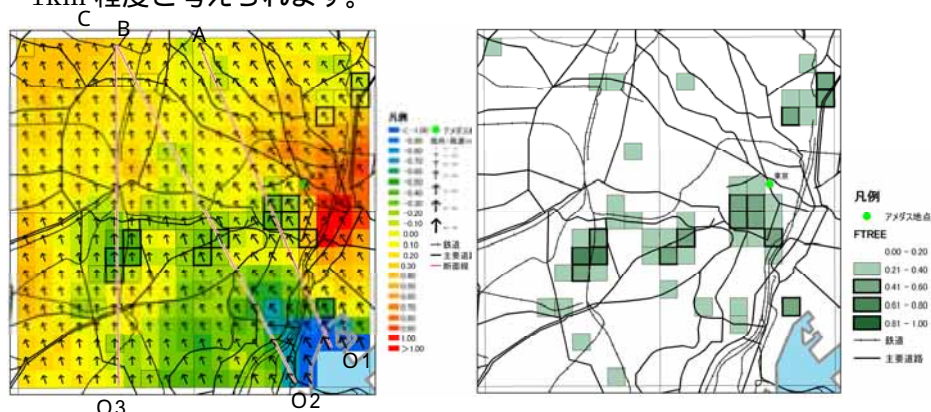


図4 都心緑地周辺の気温偏差・風向・風速分布（左図） 緑地メッシュ分布（右図）

(3) 人工排熱による気温上昇感度の地域性の分析

人工排熱を除いたケースと現況再現結果との差から都市の人工排熱が気温に及ぼす影響についての分析を行いました。両者の平均気温の差(dT)、人工排熱(顕熱量)(dH)及び人工排熱の気温上昇感度(dT/dH)の地域分布を整理し、図5に示しました。

人工排熱による気温上昇の考察

0時から6時については、自動車からの排熱と工場・事業場等からの排熱が主となっており、幹線道路や臨海工業地域で排熱量が大きくなっています。気温上昇は川崎及び千葉の臨海工業地域周辺、またその他点在する点的な排熱源の周辺部で見られます。都心及び周辺地域においては、幹線道路の付近の気温上昇が見られます。

13時から18時は都心の気温上昇が強まるという傾向が見られます。この時間帯は海風が強くなり風速の大きい地域は気温が上がりにくくなりますが、高密度化した都心部では風が弱風化し、人工排熱の影響をより受けやすくなるということが考えられます。

人工排熱による気温上昇感度の考察

人工排熱による気温上昇感度(dT/dH)について、図5では小さい方から1/3を緑、大きい方から1/3を赤、中間の1/3を白で示しました。

気温上昇感度は、全般的に内陸部において気温上昇感度の大きい地域が分布しています。また、気温上昇感度は、相対的に夜間より日中のほうが低くなっています。これは日射による地表面等の温度上昇に伴う上昇気流の発生で、日中は夜間に比べ上下方向の気流が大きいことが理由と考えられます。

夜間に地表面の冷えやすい内陸地域は、夜間の大気安定度が高まり、上下方向の気流の混合が小さくなるため、内陸地域では人工排熱による気温上昇感度が高くなることが考えられます。そのため、少ない人工排熱量でも気温上昇に反映する熱環境的に脆弱な地域といえます。

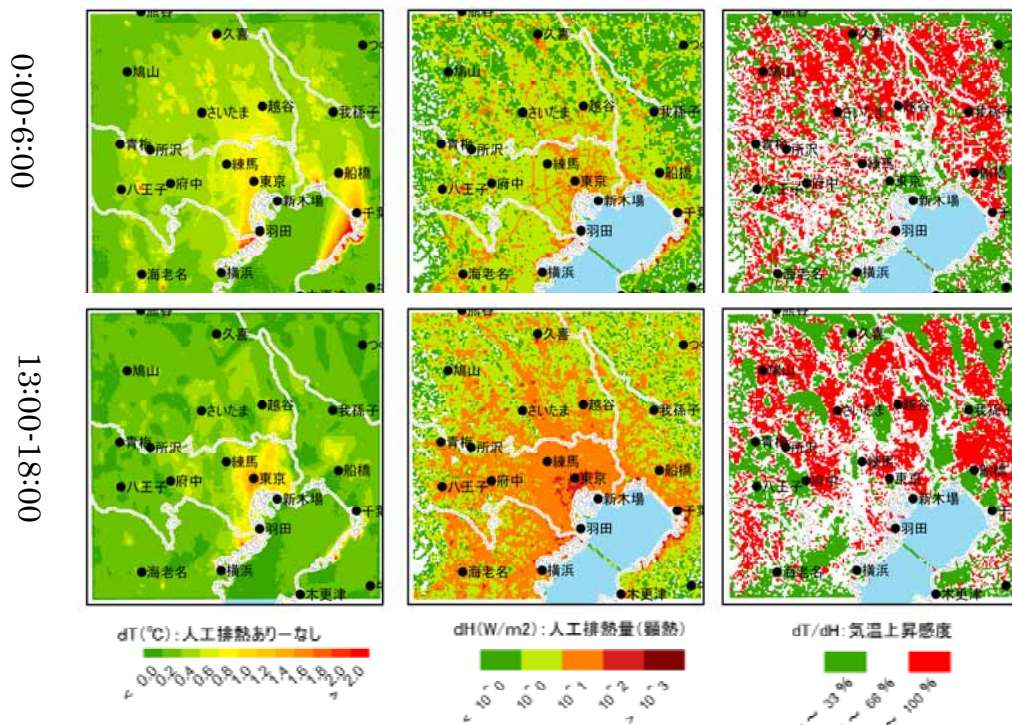


図5 人工排熱(dH)を除いたときの気温差(dT)及びその気温感度(dT/dH)

(4) 熱環境特性の地域ゾーニング

今回の分析結果をもとに、図6に示す熱環境特性の地域ゾーニングを試みました。

解析対象日の気象条件からは、神奈川県から多摩地域にかけての範囲と千葉県の西部地域には海風が入り込みやすいという結果が得られました。また、海風前線の形成される位置を境としてその北側を内陸地域に分類しました。高密度化して海風の進入を阻害していると思われる都心部及び臨海工業地域などの人工排熱が大きい地域についても区分しました。

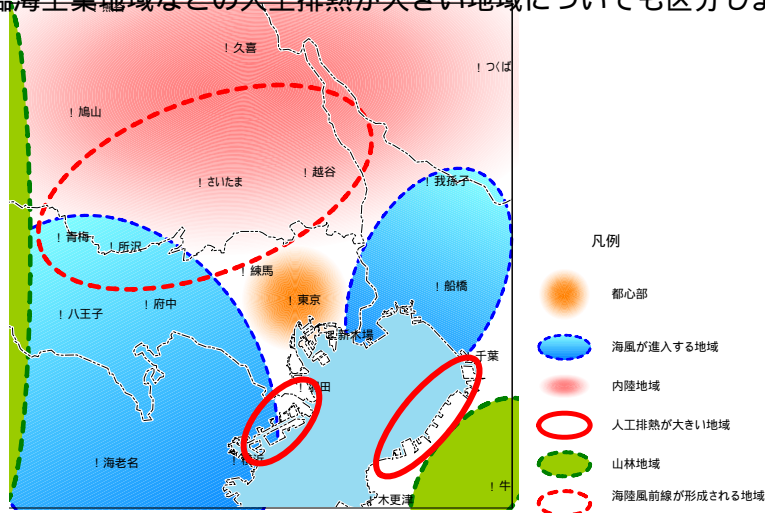


図6 地域熱環境特性のゾーニング例

(5) 課題の整理

今回の成果を踏まえ、今後の課題として以下のことがあげられます。

- ・今回の検討では、日中から夕方における再現性は確認されたが、夜間の最低気温の再現性については今後の改善が必要となる。また、風速も全般的に大きい傾向となっておりこの点も改善の必要がある。

- ・今回は 2 つの気象状態で解析を行ったが、両日とも風の強い傾向にあったため、比較的風の弱い日等、他の気象条件での検討も必要となる。
- ・都市条件については人工排熱の有無についてのみ実施したが、建物高さ、密度、地表面被覆等の条件を変更した検討も必要となる。

【3. 対策効果の評価手法の検討】

1) 検討の目的

ヒートアイランド対策の効果的な実施を支援するため、ヒートアイランド対策種別・規模等に応じた適切な事前評価手法を整理することを目的とし、現状における対策実施の課題を抽出した上で、スケールに応じたヒートアイランド対策を体系的に整理し、今後実務レベルで求められる可能性のある評価指標を整理しました。

2) ヒートアイランド対策の対策種別と評価手法の整理

(1) 対策スケールからの整理

各スケールにおける対策種別及び対策主体について表 4 に整理しました。

表 4 対策種別と対策主体の整理

| 対策スケール | 対策種別 | 対策主体 | |
|-----------------|-----------------------------------|---------------------------------------|------------------------------|
| (0)都市圏・自治体スケール | 対策優先地域の選定 (ホットスポット対策) | 自治体(都道府県、政令市レベル) | |
| | 緑地・水面等の自然環境の保全(クールスポット対策) | 自治体(都道府県、政令市レベル) | |
| | 条例、指針、推進計画等による施策の推進 観測・監視体制の構築 | 自治体(都道府県、基礎自治体) 国、自治体(都道府県、政令市レベル) | |
| (1)地区スケール | 大規模緑地を活用した対策 (緑地周辺の対策) | 自治体(都道府県、基礎自治体) | |
| | 風の道を活用した対策 | 国(国道、河川管理者等)、自治体(都道府県、基礎自治体) | |
| | 地区内の自然資源の利活用 (地中熱・河川熱等の利用) | 自治体(都道府県、基礎自治体) 開発事業者 | |
| (1.5)屋外空間施設スケール | 屋外空間における対策 | 植樹による緑化対策 | 自治体(公共空間) 開発事業者(私有地) |
| | | 芝生、保水性舗装等の 地表面対策 | 自治体(公共空間) 開発事業者(私有地) |
| | | 散水、水噴霧装置 | 自治体(公共空間) 開発事業者(私有地) |
| (2)建物・施設スケール | 建築物における対策 | 被覆対策 | 開発事業者・建築事業者(新築) ビル所有者(既築) |
| | | 空調機器等の対策 | 開発事業者・建築事業者(新築) ビル所有者(既築) |

(2) 季節・時間帯を考慮した対策効果

対策技術種別毎に季節・時間帯による効果の違いを表 5 に整理しました。

日射由来の熱に対する対策は夏季の日中に最も効果が大きく、日中の蓄熱削減が夜間の効果として期待できます。また、冬季には日射由来の熱を有効活用することができなくなり、エネルギー消費に負の影響をおよぼすことが考えられます。建物被覆の改善を図る対策では、北日本など暖房負荷の大きい地域などでは、通年でエネルギー消費量が増加することが考えられます。また、東京以西においても業務ビルに比べて住宅は暖房負荷が大きい特性があり、通年でエネルギー消費量が増加する場合が考えられます。

一方、エネルギー消費に伴い排出される人工排熱の対策は、一般的に省エネルギー対策や未利用エネルギーの対策であり、年間を通じて対策効果が期待できるものがほとんどです。

表5 対策技術の季節・時間別の効果

| 対策技術 | 季節・時間帯 | 夏季 | | | | 冬季 | | | | 通年 | |
|-----------------|---------|------------|---|----|---|----|---|----|---|----|---|
| | | 昼間 | | 夜間 | | 昼間 | | 夜間 | | T | E |
| | | T | E | T | E | T | E | T | E | T | E |
| エネルギー由来の熱に対する対策 | 人工排熱抑制 | 省エネ機器の導入等 | | | | | | | | | |
| | | 地中・河川等への排熱 | | | | | | | | | |
| 日射由来の熱に対する対策 | 建物被覆改善 | 屋上緑化・壁面緑化 | | | | | | | | | |
| | | 高反射率塗料 | | | | | | × | | × | |
| | 地表面被覆改善 | 保水性舗装・建材 | | | | | | × | | × | |
| | | 地表面緑化 | | | - | | - | | - | | - |
| 中高木植栽 | | | - | | - | | - | | - | - | |
| その他 (換気・冷却) | 通風の向上 | 風の道の形成等 | | | | | | | | | |
| | 水の利用 | 散水・水噴霧装置 | | | | | | - | - | - | - |

凡例 T：気温への効果 E：エネルギー消費への効果
 ○：大きな対策効果が期待できる ○：対策効果が期待できる
 △：対策効果が期待できる部分もあるが場合により負の影響が生じる
 ×：負の影響が生じる場合がある
 -：基本的に実施されないまたは効果がほとんどない

(3) 対策効果の評価指標に関するまとめ

環境影響及び対策技術と対策効果の関係を踏まえて、対策効果の評価手法を選定する際の留意点を以下のとおり整理しました。

対策技術及び対象とする環境影響のスケールに応じた評価指標を選定する

時間帯や季節により対策効果が異なることから、評価する時間帯、季節を考慮した評価指標を選定する

冬季には負の影響が生じる対策技術もあることから通年評価の必要性を検討する

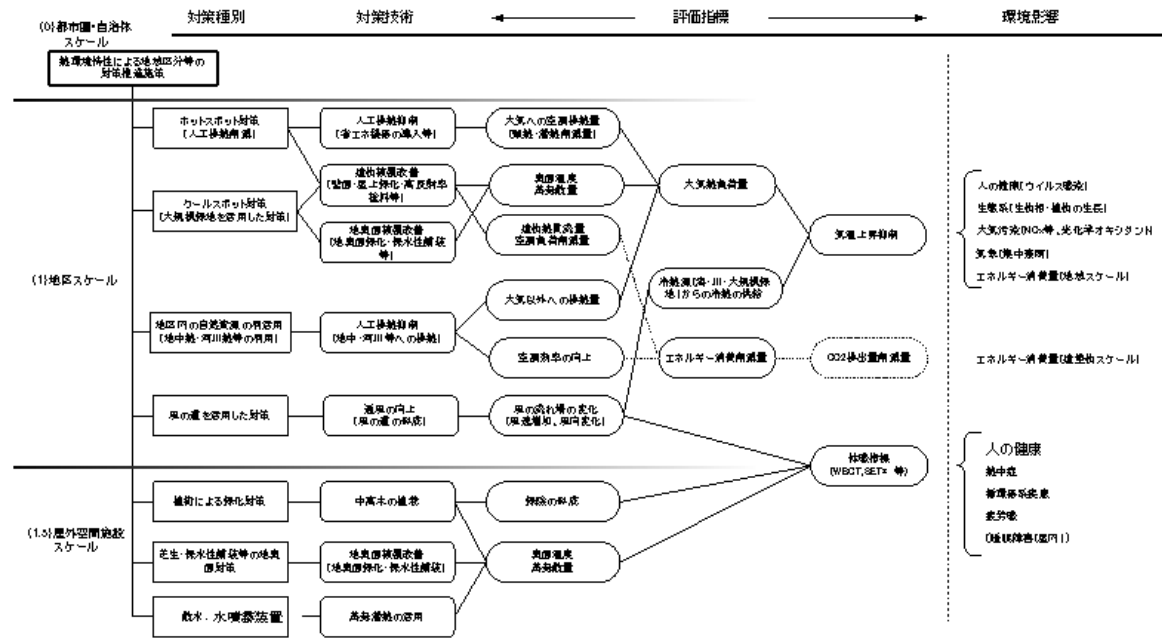


図7 対策種別と対策評価指標・環境影響の関係

3) 対策効果の評価手法の検討

ヒートアイランド対策を効果的に行うには、対策実施に先立って、効果を予測・評価する必要があります。

ヒートアイランド対策効果を評価するシミュレーションモデルにはいくつかの種類があり、その対象スケール、評価指標に応じて適切なモデルを選定することが重要です。

下表に各スケールでのシミュレーションモデルとその代表的なツールを整理しました。

表6 ヒートアイランド対策を評価できるシミュレーションモデル

| モデル | 対象スケール | 水平解像度 | 垂直解像度 | 主な出力結果 | 代表的なツール |
|----------------------|--|--------------------|------------------------------------|--|--|
| メソスケールモデル | 10 ⁴ ~10 ⁵ m (都市~都市圏) | 10 ³ m | 10 ¹ ~10 ² m | 気温、湿度、風向・風速、SET*、建物外皮温度、地表面温度、建物貫流熱負荷 | ・LOCALS ・東大生研メソモデル ・大阪大学メソスケールモデル |
| 都市キャノピーモデル | 10 ² ~10 ³ m (街区~都市) | 10 ¹ m | 10 ⁰ m | 気温、湿度 風向・風速 建物外皮温度、地表面温度、対流顕熱、蒸発潜熱 | ・UCSS |
| 建築物表面温度・顕熱負荷(HIP)モデル | 10 ¹ m (建物~街区) | 10 ⁻¹ m | 10 ⁻¹ m | 表面温度分布 MRT 周辺への顕熱負荷(HIP) | ・東工大 HIP モデル ・サーモレンダー(市販製品) |
| 1次元建築大気連成モデル | 鉛直:地表0m~上空100m (大気~建物~室内) | — | 10 ⁰ m | 気温、湿度、気流鉛直分布、建物外皮温度 室内温湿度、建物空調負荷、地面温度、SET*、エリアの熱収支各成分 | ・九大都市気候モデル ・都市気候・エネルギー連成モデルシステム(産総研・明星大共同開発モデル) |
| CFDモデル | 10 ¹ m (建物~街区) | 10 ⁻¹ m | 10 ⁻¹ m | 気温、湿度、風向・風速 表面温度 MRT,SET*、WBGT | ・東大生研ミクロモデル ・STAR-CD(市販製品) ・FLOW-DESIGNER(市販製品) ・WIND-PERFECT(市販製品) |

4) 今後の課題

(1) 地域特性を考慮した有効な対策手法の選定

過年度調査結果で整理されたように気候や建物用途によりエネルギー消費量の気温感応度が異なります。また、ヒートアイランド現象により生ずる環境影響も地域により異なることが考えられます。今年度整理した熱環境の地域特性のメカニズム把握手法を踏まえて、対策を優先すべき地域、有効な対策手法等を整理することが今後必要です。

(2) 対策評価ツールの普及に向けた適切な使用方法の整理

ヒートアイランドを評価できるツールのうち製品化されているのは主に CFD です。その他のツールは市場で公開されているものはほとんどありません。ただし、CFD の利用には専門知識が必要となり、都市計画や建築設計分野の技術者が対策効果の予測に使うためには、上記のような留意事項を整理し、その対応策を示す必要があります。

今後は、対策効果を適切に評価できるツールの普及を図るとともに、ヒートアイランド対策効果を予測する手法をガイドラインとして整理することが必要となります。