

ヒートアイランド対策効果の定量化技術

環境研究グループ 上席研究員 足永 靖信

目次

はじめに

行政・自治体の取り組み

- 1) 行政の取り組み
- 2) 自治体の取り組み

ヒートアイランドの発生要因

- 1) ヒートアイランドとは
- 2) 都市高温化の要因
- 3) 発熱源としての人体
- 4) 都市のエネルギー消費と人工排熱

数値シミュレーションによる都市気温の定量化

- 1) U C S S の概要
- 2) ヒートアイランドの現在・過去・未来

1930年に熱帯夜は存在したか

都市再生とヒートアイランド影響

風洞実験によるヒートアイランド対策評価の試み

- 1) 高層建物の導入が気温に及ぼす影響
- 2) シュリーレンによる熱拡散構造の可視化

おわりに

謝辞

参考文献

はじめに

ヒートアイランド（都市の高温化現象）は、慢性化・深刻化の様相を極めており永らく都市環境問題の一つとされてきた。ヒートアイランドと言えば、日常的には熱帯夜の発生に見られるような緩慢ながらジワジワと継続する温熱の不快感を第一にあげる人が多い。本講演会全体のテーマ「安全・安心」とヒートアイランドのつながりは一見薄いように感じられるが、熱中症や集中豪雨、もしくはピーク電力の問題においてヒートアイランドをきっかけとして顕在化する災害的要素が結びつくのかもしれない。ところで、「安全・安心」の漢字に含まれている部首「うかんむり」

は語源上では屋根を意味するとされ、建築物との密接な関係を連想させるのである。しかし、現在「安全・安心」のキーワードは建築に限ったものではなく、むしろ食や医療、治安等の幅広い話題に頻繁に用いられているのはご存じの通りである。さて、語源はともかく、元来、建築物は寒暑、雨、風等の自然の脅威から人間を護るシェルターの役割を担っているのだとよく言われている。いわば、日々の暮らしを無事に過ごすための Safety zone の獲得に役立つ合理的な手段なのである。一方、気象に代表される自然現象は人間の力では制御不能な存在とされてきたが、近年の地球温暖化やヒートアイランドは自然の環境容量に対して人間

活動の影響が無視できない現実を我々に知らしめる。そして、これらの環境変化が人間にとって予期せぬ形で出現しているため、人間活動に伴う環境負荷を抑制することが求められている。

ヒートアイランド現象の解明と対策に係わる研究は、気象学・気候学や建築・土木等の幅広い分野で実施されてきたが、近年は行政・自治体による積極的な取り組みが見られるようになった。ヒートアイランド対策の観点から効果的な施策を導くための検討が各方面で展開されている。調査内容には数値解析等の科学的方法も含まれており、数年前と比べると急速にヒートアイランド対策効果に関わる検討事例を蓄積してきた感がある。本稿では、数値解析や風洞実験によりヒートアイランド対策による気温低下効果を定量化する技術開発の概要を紹介する。

行政・自治体の取り組み

1) 行政の取り組み

政府は今年度中にヒートアイランド大綱を策定する予定であり、国土交通省、経済産業省、環境省等が大綱策定の背景になる関連調査を進めているところである。

現在行政主導で実施されている調査委員会として、国土交通省・環境省・東京都による「ヒートアイランド現象における人工排熱に関する調査検討委員会」【委員長：村上周三教授（慶応大学）事務局：(社)環境情報科学センター】、国土交通省街路課による「都市廃熱処理システムに関する調査検討委員会」【委員長：尾島俊雄教授（早稲田大学）事務局：(社)日本地域冷暖房協会】、国土交通省住宅生産課による「ヒートアイランド緩和方策検討委員会」【委員長：村上周三教授（前出）事務局：(財)建築環境・省エネルギー機構】、経済産業省資源エネルギー庁による「ヒートアイランド現象緩和に対する省エネ等の効果に関する調査委員会」【委員長：松橋隆治助教

(東京大学)事務局：(財)省エネルギーセンター】等があげられる。

2) 自治体の取り組み

自治体による調査等を表1に一覧する。全体的に緑関係の施策が多い。最近の動向として、東京都による保水性建材、高反射性塗料の性能評価やヒートアイランド対策のモデル事業が目立つ。

ヒートアイランドの発生要因

1) ヒートアイランドとは

東京のヒートアイランドの現状を見てみよう。まず、熱帯夜の年間日数の経年変化を図1に示す。20世紀初頭にはほぼ皆無であったのが最近では30～50日近くを数える年が頻出していることが分かる。平均気温が上昇していることもあるがここ数年は気温の変動も大きくなっており、地球規模の気候変動と都市気候による変化を厳密に分離することは難しい。

図2は夏期の最低気温の分布を示したものである。図中

表1 ヒートアイランド対策に関する主な自治体の取り組み

自治体名	名称	内容
仙台市	屋上・壁面緑化	公共施設に関して、新築・既存建築物の屋上・壁面等の緑化を積極的に導入する。民間施設に関して、建築物等緑化助成制度により工事費の一部を助成
仙台市	緑地保全事業	都市緑地保全法に基づき、緑地保全地区、及び社の都の環境を作る条例に基づき(保存緑地)として指定された貴重な緑地を保全するため、緑地内での行為の制限や税の優遇措置、さらには、必要に応じて土地所有者の申し出により土地の買い取りを実施
埼玉県	都市の緑復活作戦推進事業	学識経験者等の検討委員会による「都市の緑復活作戦基本プラン」を策定、モデル的に県有施設の屋上緑化を実施。ふるさと埼玉の緑を守る条例を全面的に見直し、平地林等の緑地保全と市街地における屋上等の緑化を推進
さいたま市	雨水の地下浸透の促進	浸水性舗装の施行により、雨水を地下へ浸透させる。雨水集水樹の底を浸水式にして施工
さいたま市	オープン型民間緑地保全事業	さいたま市みどりの条例に基づき、市内に残る貴重な緑地や良好な自然環境と認められる緑地のうち、市と所有者の理解の得られた緑地をオープン型民間緑地(自然緑地)に指定し整備して市民に開放。緑地所有者とは5年間の契約を結び、5年ごとに更新する。固定資産税及び都市計画税相当額を補助金として交付し、所有者により維持管理が行われる。
さいたま市	クローズ型民間緑地保全事業	さいたま市みどりの条例に基づき、市内に残る貴重な緑地をクローズ型民間緑地(保存緑地)に指定し、良好な自然環境を確保。緑地所有者とは5年間の契約を結び、5年ごとに更新している。固定資産税および都市計画税相当額を補助金として交付し、所有者により維持管理が行われる。
さいたま市	新幹線沿線環境空間等整備事業の推進	新幹線及び埼京線の沿線において、騒音・日射等の対策として設けられている環境空間に対し、快適な環境空間を創造するため地域住民等が利用できる緑地空間を形成する緑地・緑道の整備等を実施する。
千葉市	新港横戸町線「みどりの道づくり」	海側から山側へ整備する広幅員道路及び隣接緑地・生活道路整備において一体の緑化を図る。
横浜市	屋上緑化推進調査事業	既存公共施設でのモデル事業などにより建物の屋上緑化を推進。来年度に支援制度を創設する予定。
川崎市	屋上緑化・壁面緑化助成事業	屋上は1件100万円、壁面は1件50万円を上限に助成。
名古屋市	ヒートアイランド現象実態調査	名古屋市内におけるヒートアイランド現象について、基礎データの収集、大型コンピュータによる解析及び解析結果に基づき気候解析図等を作成。
名古屋市	名古屋緑化基金建築物等緑化助成制度 緑化施設整備計画認定制度	前者は、市民や事業者が建物の屋上や壁面を緑化する場合に、面積等に応じて一定金額を助成。後者は、既成市街地において事業者等が緑化を推進するために作成した緑化の整備に関する計画を市が認定し、緑化施設の整備を支援する。
京都市	生け垣緑化助成制度	生け垣を公道に面した場所に設置する場合に、費用の一部を助成。
大阪府	ヒートアイランド対策検討調査事業	気象データや人工衛星による地表温度の観測データを収集・整理し、土地利用等による気温の実態を調査し、府域におけるヒートアイランド現象の実態
大阪府	車道部における浸水性舗装の試験施工	浸水性舗装の実施が有効な箇所を選定し、モデル事業として施工。
大阪府	屋上緑化	大阪府みどりの基金を活用し、市街地の中にもみどりの森をつくるモデルとなる民間施設の緑化施設等の整備に対し助成。「屋上緑化促進モデル検討会」を設置、課題や効果等の検証を行うモデル施設を選定し、設備費の助成を行う。公共道路に面しない民間建築物の緑化へも、緑化事業に対する助成を拡大し、植栽の基礎整備費も助成の対象に。
大阪府	民間建築物への屋上緑化などへの助成事業	屋上緑化面積を1平方メートル当たり0.2平方メートルに換算し、有効公開空地に参入し、容積率を削減する制度を創設。
兵庫県	屋上緑化等推進事業	市街化区域内で建築物(建築面積1000平方メートル以上)の新築を行う者に建築物の緑化を義務づける条例を施行するとともに、補助制度及び融資制度
神戸市	神戸らしい総合的な都市緑化施策	市民参画と協働による神戸独自の緑化施策を策定。
広島市	屋上緑化施設整備事業計画認定制度	緑化を重点的に推進する地区内の敷地面積1000平方メートル以上の民間建築物で、地上及び屋上を含めて20%以上を緑化した場合に、当該緑化施設に係る緑化固定資産税を軽減。
広島市	民有地緑化事業補助金制度の適用による助成	(財)広島市動植物公園協会において、市が認定した緑化施設整備計画に基づく工事に係る植物、用土及び植樹樹等に要する費用について200万円を限度に当該費用の2分の1を助成。
福岡市	緑化対策事業補助金(屋上緑化)	緑化重点地区(市街化区域)内の敷地面積500平方メートル以上の民有地に対して、20%以上の緑化(外構、屋上を含む)を行った場合、屋上緑化に係る緑化施設事業費に対して平方メートル当たり2万円を上限として、その2分の1を補助(ただし、助成上限額は1件当たり100万円)。

*新聞記事 Green Archt. Tribune(2003.8.13)より

の黒点は都の観測点を表している。23区全体が全体的に高い値を示しており、熱帯夜の指標である25以上の空気に含まれている。西に向かうほど気温は低くなり都心と比べると周辺部は2~3の気温差が見られる。

ヒートアイランド現象とは、都心部の気温が郊外に比べて島状に高くなる現象である。日本の大都市の場合、地球の温暖化傾向と比べてヒートアイランド現象の影響が大きいとされている。2001年のIPCC第3次報告書では地球の平均気温が20世紀の間に約0.6上昇していることが指摘されている。日本の場合、1960年代および1990年代に気温上昇傾向が顕著であり、20世紀を通しての気温上昇は約1と見積もられている。気象庁によると、日本の大都市(札幌、仙台、東京、名古屋、京都、福岡)の最近100年間における気温上昇のスピードは日本平均の2~3倍であること、特に東京は大都市の中でも気温上昇が顕著であることが分かっている。ヒートアイランドと地球温暖化の評価には共に気温という物理的尺度が用いられている。もちろん、現象の形成メカニズムやスケールは全く異なるが、施策上の対策検討においては、緑地保全や省エネルギー等、似通

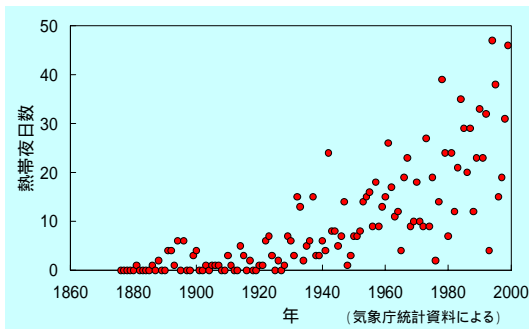


図1 東京の熱帯夜日数の経年変化

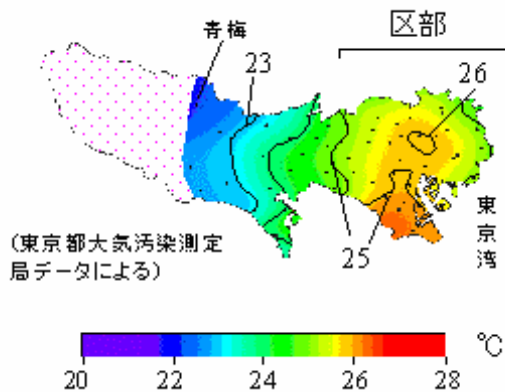


図2 東京における夏期夜間の気温分布 (1997年8月21日5時)

ったものが多いため共通の土俵で取り扱われるケースが多

いようである。

2) 都市高温化の要因

都市は何故高温化するのか。主な要因を以下に示す。

- 都市域で発生する人工排熱
- 緑地の減少に伴う地表の蒸発冷却能力の低下
- コンクリート、アスファルト等の建材の蓄熱作用
- 市街地の通風阻害による熱のよどみ
- 天空率の低下による放射冷却の抑制作用
- 細塵や大気汚染物質による温室効果、等

これらの要因自体は随分前から指摘されてきたが、実際にはこれらが複雑に絡み合っているためヒートアイランドのメカニズムの解明は困難である。数値シミュレーションのモデルは様々提案されており、入力条件さえ整えば気温を予測することが随分可能になってきたが、数値モデル間のギャップや物理パラメータの不足等の課題をいくつか抱えているのが現状である。

3) 発熱源としての人体

総じて人が集まるところではエネルギー需要が集中し人工排熱が大きくなる。まず人間自体が発熱源である。生物はエネルギーを摂取して代謝熱を出す。人間も例外ではない。170cmの成人男子の場合標準体重は63kgであり、必要なエネルギー摂取量は約2000kcalである。図3は摂取したエネルギーの行方を表したものである。摂取したエネルギーの一部は基礎・運動代謝により熱に変換されて周囲に対流・放射・蒸発の形で放熱される。室内で事務作業を行っている場合、摂取したエネルギーの約9割が周囲に放熱される。人間1人当たり約100ワットの発熱源であり、この熱量は室内の冷房負荷として一旦空調機が受け取り最終的には屋外へ放出される。

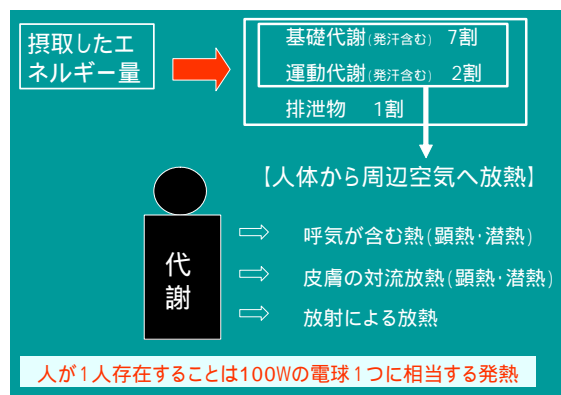


図3 人体の発熱

4) 都市のエネルギー消費と人工排熱

都市域では、住宅、オフィス等での空調、自動車の運転および工業生産のために電気、ガス、油等のエネルギーが大量に持ち込まれて消費され、最終的には排熱として環境に放出されている。住宅、自動車、工場のエネルギー消費と人工排熱の関係を模式的に描いたのが図4である。投入したエネルギー消費量の全てが大気温度上昇に荷担する訳ではない。冷却塔を有する空調システムの場合、大部分は潜熱で放出されるため気温上昇にはあまり影響しない。風呂のお湯に費やしたエネルギーの大部分は温排水として下水に流され(即時排出の場合)一部は燃焼排ガスのエンタルピーに姿を変える。このようにエネルギー消費の行方は大気、温排水等様々である。人工排熱量を正確に見積もるためにはエネルギー消費量だけではなく、エネルギーを消費した後に環境に出て行くプロセスも見届けなくてはならない。

便宜上、供給を1次エネルギー、末端の消費を2次エネルギーと称することがある。人工排熱は、エネルギーの供給と消費の帰結として陸域、海域、空域の環境が受け取る第3のエネルギーとも位置づけられ、その熱環境影響を含めて都市のエネルギー計画を再考することは持続可能な社会基盤の形成に役立つと思われる。

ミュレーション結果を様々な都市情報と一緒に表示・分析を行う必要がある。このような作業を行う上で都市GISは極めて有効なツールである。UCSSとは都市気候予測システム(Urban Climate Simulation System)の略称であり、都市気候シミュレーションプログラムを都市GISと合わせてシステム化したものである。大気乱流モデルの構築を含めて筆者が埼玉大学ヴタンカ助教授(当時)とUCSSを共同開発し、都市キャノピーモデルを用いた広域の数値シミュレーションに意欲的に取り組んでいる。

図5にUCSSの概要を示す。街区の幾何学的形状はグロス建ぺい率と建物の平均高さ・幅の情報から決定し、都市キャノピーモデルの入力としている。建物壁の4面は東西南北の方位にそれぞれ正対し、かつ建物配列は均一であると仮定している。そうすることにより、建物および地表の各面(東西南北の壁面及び屋上面、地面)同志の形態係数は天空率を含めて割と簡単に求めることができる。時刻毎の太陽位置と街区の幾何学的関係から建物各面と地表面の日陰率を3次元的に算出し、日陰率や形態係数の値に応じて短波・長波の相互放射計算を行う。この時、熱収支式を解くことにより建物各面と地面の表面温度や対流顕熱が同時に得られる。壁や屋根については外側から室内まで熱的に解いており室内に貫流する熱量や換気による熱交換を求めることができる。また、必要に応じて空調システム解析を

数値シミュレーションによる都市気温の定量化

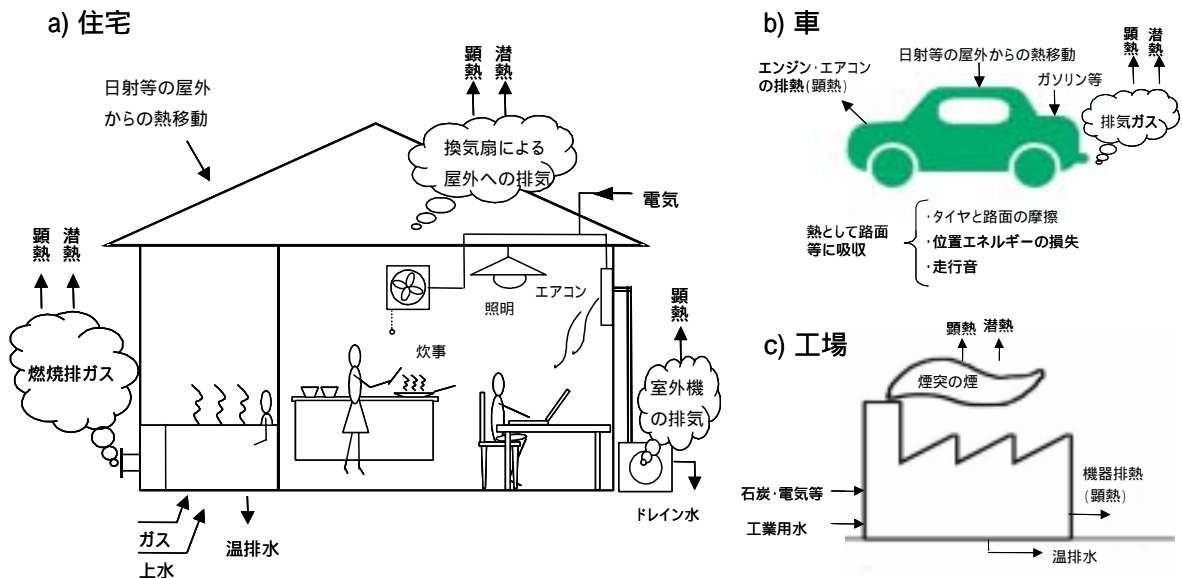


図4 都市のエネルギー消費と人工排熱

1) UCSSの概要

都市計画の環境影響評価や政策支援を行うためには都市計画に対応したシミュレーションの入力データの作成やシ

連成することにより空調排熱を動的に予測するならば、地域レベルの熱負荷計算ツールとしても応用範囲が広がる。

2) ヒートアイランドの現在・過去・未来

1930年に熱帯夜は存在したか

東京の建築物は年々高層化してきたが、節目にあたるのが大正時代に制定された市街地建築法である。この中で建築物の高さは百尺（約 30m）に制限され、以降の建築形態に大きな影響を与えた。当時の建築土地利用図を調べると、日本橋付近では大部分が「総描建物」で占められており、都心部に「固い建物」が偏在していることが解る（図 6）、東京 23 区に相当するエリアで現在の土地利用と比較すると、水面、樹林、草地等の自然被覆が減少しており、当時の 43.6%にほぼ半減している。その分建物、道路が増加し



図 6 1930 年頃の日本橋周辺

び人工排熱条件を設定して夏期の気象条件下で計算を行った。図 7 は現状の建築土地利用と人工排熱を入力とする夏期 6 時の UCSS による解析結果である。東京 23 区が全体的に熱帯夜の指標である 25 以上の空気に包まれており、都

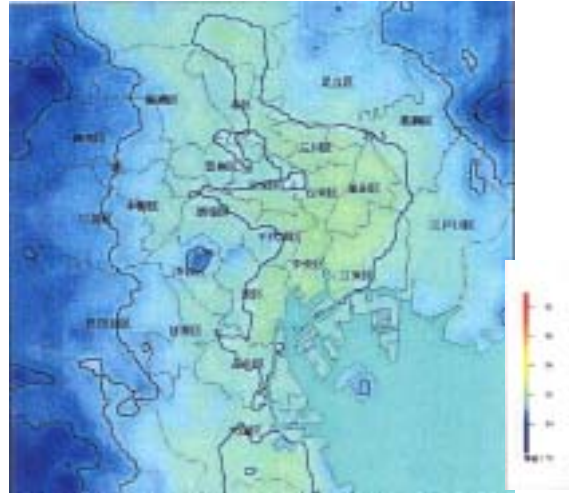


図 7 都市キャノピーモデルを用いた東京（現状）における夜間の気温分布の数値シミュレーション（現状の建築土地利用と人工排熱を入力とする夏期 6 時の UCSS による解析結果）

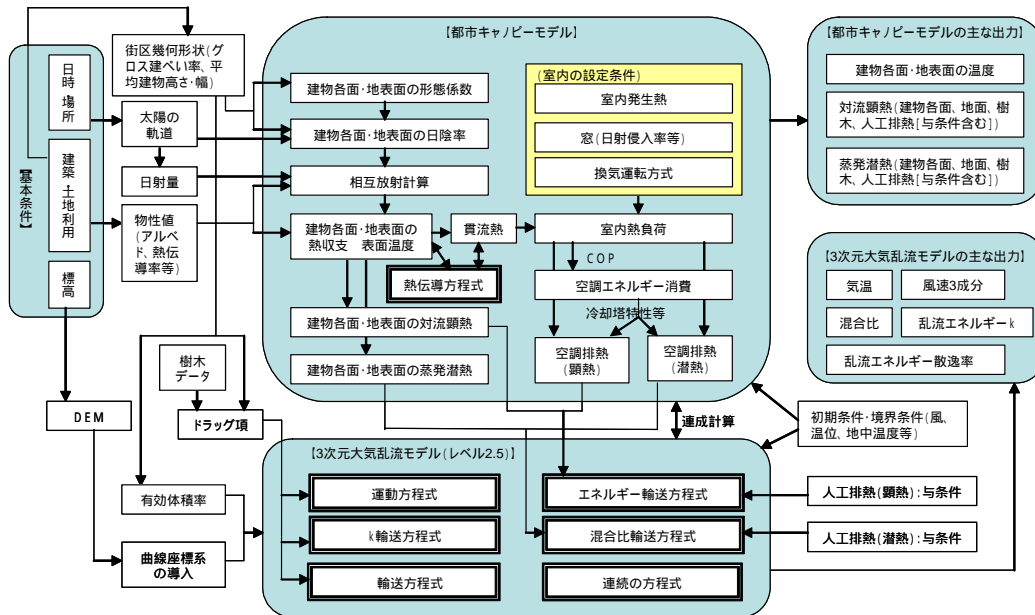


図 5 UCSS の概要

ており、建築面積は 3.2 倍、舗装面積は 11.0 倍という結果であった。

これらの変化が夜間の気温にどの程度影響するのかを UCSS により調べてみる。1930 年と現在の建築土地利用およ

心の東寄り（図 7 では右側）のエリアに高温域が形成されていることが分かる。この高温域では建物が密集しており天空率の値が小さい。そのため都市キャノピーモデルの効果が現れていると推察される。また、皇居や新宿御苑等の

大規模緑地が夜間にクールスポットを形成している様子を
確認できる。1930 年を想定した計算結果を図 8 に示す。気
温は自然地形に沿ったコンター線を描き沿岸部に向かって
高温化する傾向が見られる。都市構造物と気温の関係は明
瞭ではなくなる。東京の気温は 24 前後に収まっており、
この時代には熱帯夜の発生は希であったことを伺わせる。
対流顕熱（人工排熱含む）の値を調べると現状値の 5 分
の 1 から 8 分の 1 程度であり、それが気温低下の直接的な原
因と考えられる。

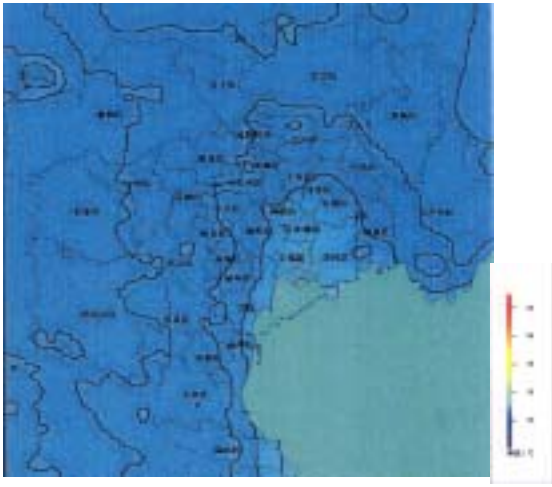


図 8 都市キャノピーモデルを用いた東京（1930 年）における夜間の気温分布の数値シミュレーション（1930 年の建築土地利用と人工排熱を入力とする夏期 6 時の UCSS による解析結果）

示したものである。都の人口がピークを迎えるとされる
2010 年を分析対象として現状の 1995 年から 15 年後の変化
を以下の手順で予測した。夜間人口は東京都資料に基づき
1995 年から 2000 年の人口データから 2010 年における区毎
の値を推定した。都心部回帰は夜間人口が主であると考え
オフィスの就労人口は現状維持とした。1 人当たりの床面
積増加率は統計資料から住宅 0.4m²/人/年、オフィス 9.4m²/
人/年として建物用途毎区毎床面積を集計しこれに人工排
熱原単位を乗じて建物の人工排熱を求めた。自動車の保有
率は統計資料から 15 年間で 14.9%増加すると仮定してその
間の人口増加も考慮した上で自動車交通の人工排熱を区毎
に算出した。建物容積の増加については、その分建ぺい率
が増加した建物に置き換わると考えた。その際、建物の建
設に伴う敷地面積の減少に即して芝生、樹木の面積率が低
下すると仮定した。以上の操作を、東京 23 区を含む解析領
域 32.5km 四方に施したところ、1995 年と 2010 年の比較に
おいて解析領域全体（海面を含む）で芝生面積率 4%減、樹
木面積率 2%減、人工排熱（建物、自動車交通、工場の夏期
の日平均顕熱）14%増の結果が得られた。

図 10 は 1995 年と 2010 年の地上 2m の夜間気温の平面分
布をそれぞれ示しており、破線で囲んだ領域は都心 5 区を
表している。1995 年における気温分布では 26.4 以上の高
温域は都心 5 区の東側に局所的に表れており新宿御苑や皇
居ではクールスポットが形成されている。2010 年になると
26.4 以上の高温域が都心 5 区のかなりの部分を覆うこと
になる。以上のように、数値シミュレーションは都市スケ
ールでヒートアイランド影響を予測する手法として有効で

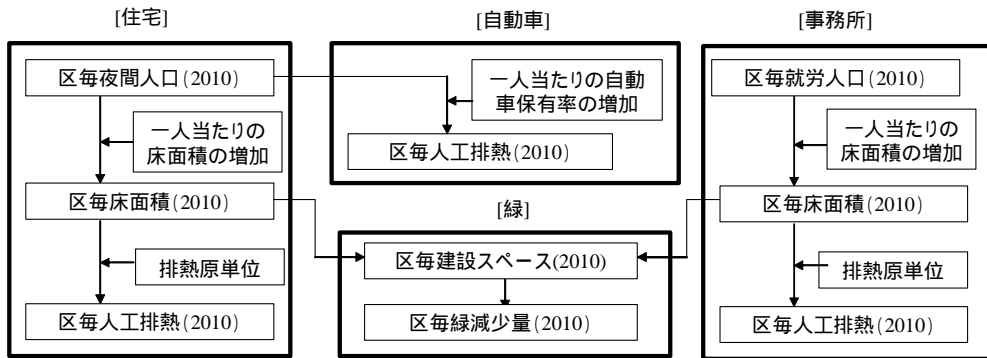


図 9 人工排熱と緑量の将来予測

都市再生とヒートアイランド影響

東京の都市開発により緑や人工排熱はどの程度変化する
のかを調べた。図 9 は人工排熱と緑量の将来予測の方法を

ある。

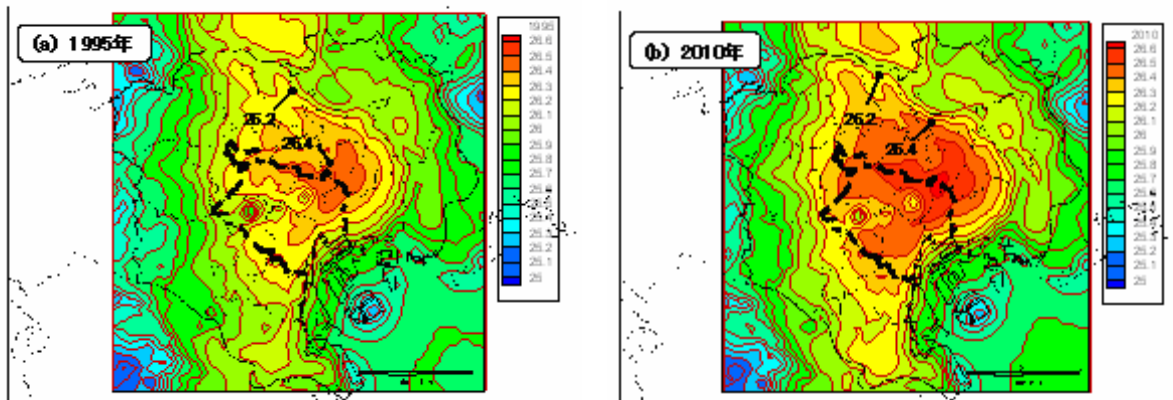


図 10 1995 年と 2010 年の比較 (夏期 22 時の気温分布)

風洞実験によるヒートアイランド対策評価の試み

1) 高層建物の導入が気温に及ぼす影響

建物の配置や地表面被覆を変更すると風の流れや表面温度が変化し、気温分布はかなり異なってくると予想される。そこで、地表面を加熱した風洞実験により、建物の高層化が気温、風に及ぼす影響を調べた。街区模型は 200 分の 1 の低層住宅地を想定し、その地表面部分を加熱する。そして、その一角に高層建物を導入した場合、気温、風がどのように変化するかを計測した。

温度成層の実験では現実の状況を完全に模擬することは難しい。そこで、レイノルズ数 R_0 を乱流状態になるよう確保した上でバルクリチャードソン数 R_0 の調整に配慮し、 $R_0=2,333$ 、 $R_0=-0.3$ の条件で実験を実施している。

$$R_0 = gH \left(\frac{\rho_f - \rho_a}{\rho_a} \right) / \{ (\rho_a + 273) (u_0)^2 \} \quad (1)$$

$$R_0 = u_0 H / \nu \quad (2)$$

g : 重力加速度 [m/s^2]

H : 低層建物の高さ [m]

ρ_0 : 風洞の気流温度 [$^{\circ}C$]

ρ_f : 風洞の床面温度 [$^{\circ}C$]

ρ_a : 平均温度 [$^{\circ}C$]

u_H : 高さ H の風速 [m/s]

u_0 : 風洞の基準風速 [m/s]

ν : 動粘性係数 [m^2/s]

実験結果を図 11 に示す。右図は流れに直交する線上 (図中 A1、A2) における地上付近の無次元気温を示し、黒が高層導入前、白が高層導入後のものである。高層建物の風下背面 (右図の右下部分) において高層導入前に比べて高層

導入後の気温が上昇している。これは、高層建物の背面で風が激み熱の拡散が妨げられるためと考えられる。一方、高層建物の風上や側面では風が強くなり気温はむしろ低下する。左図は気流の可視化写真であり、高層建物の背面で弱風化している様子を捉えている。地表面温度は同様であっても建物配置により気温は変化する。したがって、地表面温度を下げる対策に加えて風通しを得るための建物の配置・形状を今後検討するべきである。

2) シュリーレンによる熱拡散構造の可視化

建物キャノピー内の熱拡散構造は都市の気温形成を議論する上で重要なテーマである。しかし、気温センサを模型周辺に多点配置するのには数的に限界がある。そこで、シュリーレンを温度成層風洞に導入して熱拡散構造について検討を行うことにした。シュリーレンとは空気屈折率の相違を特殊な光学装置により明暗に表示するものである。従来、衝撃波等の高速域における適用事例がいくつか見られるが、今回の実験では温度勾配に着目して可視化画像の作成を試みた。

図 12 は表面を加熱した 2D 建物キャノピーにおけるシュリーレン画像である。画像の黒い部分は温度勾配が大きく、白い部分は周囲と気温が均一であることを示す。建物キャノピー内で形成される循環流が建物キャノピー内の気温を均一化している様子や地表面近傍、循環流の中央部分では温度むらが生じていることが解る。一方、建物キャノピーのトップでは剥離流に相当する部分が帯状に黒く現れており、上空と建物キャノピーの温度差が大きいことを示唆している。

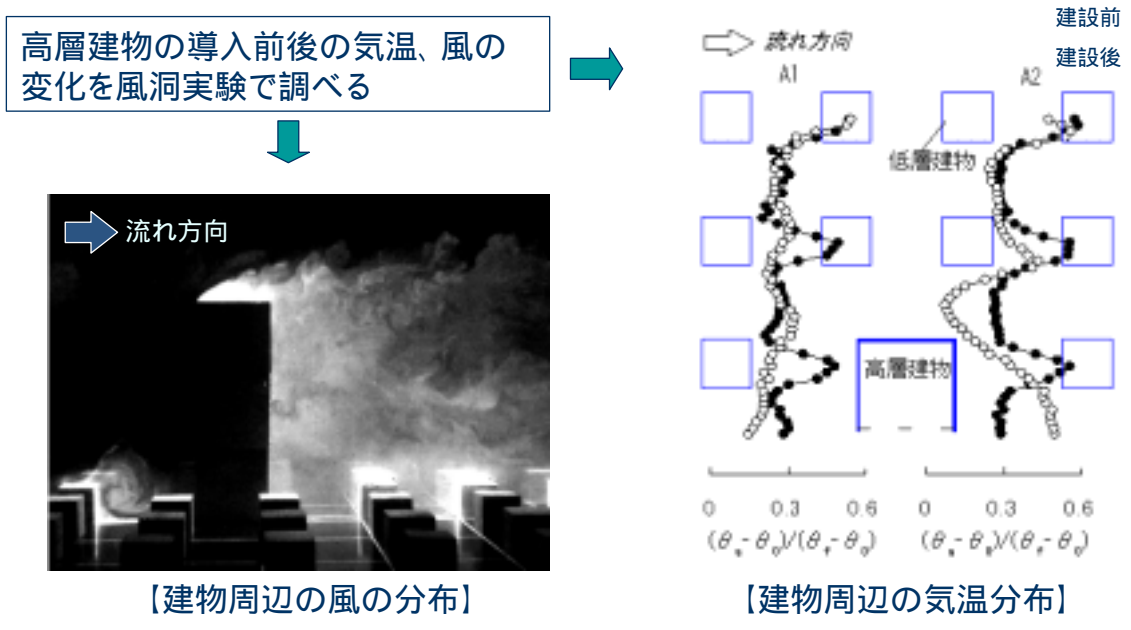


図 1 1 高層建物の導入が周辺の気温、風に及ぼす影響に関する風洞実験（写真は左右反転）

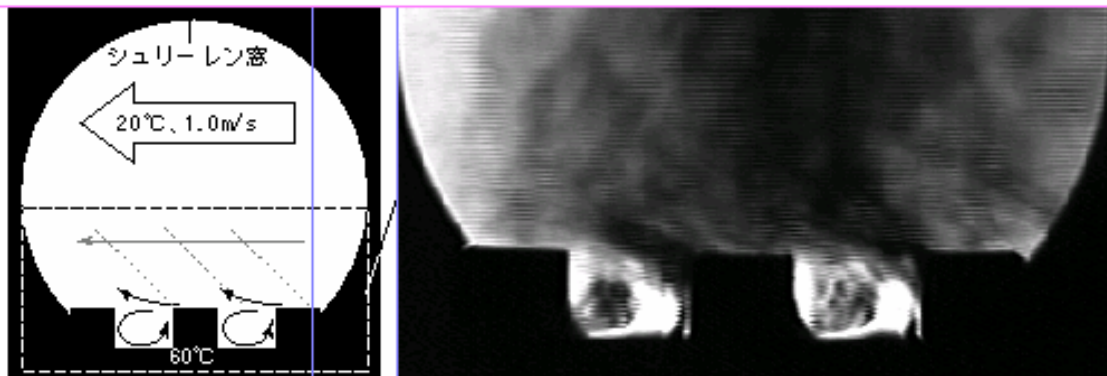


図 1 2 シュリーレンによる建物キャノピー内の熱拡散構造の可視化

おわりに

ヒートアイランド対策効果の定量化技術として数値シミュレーションと風洞実験の紹介を行った。来年度から開始される総合技術開発プロジェクト「都市空間の熱環境評価・対策技術の開発」ではこれらの手法を継続的に検討・活用するとともに、都市計画分野と連携してヒートアイランド対策に係わる費用対効果や意思決定支援技術、各種誘導手法の開発等に反映させたい。

謝 辞

本稿 4 章の数値シミュレーションは環境省が企画し社団

法人環境情報科学センターに設置した「ヒートアイランド対策手法調査検討委員会」【委員長：尾島俊雄教授（早稲田大学）】の一環として実施した結果の一部である。関係者に記して感謝の意を表したい。

参考文献

- 1) (社)環境情報科学センター：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、2002.3
- 2) 社会環境工学研究連絡会委員ヒートアイランド現象専門委員会：ヒートアイランド現象の解明に当たって 建築・都市環境学からの提言、日本学会会議、2003.7