

4.2 熱管理の手法

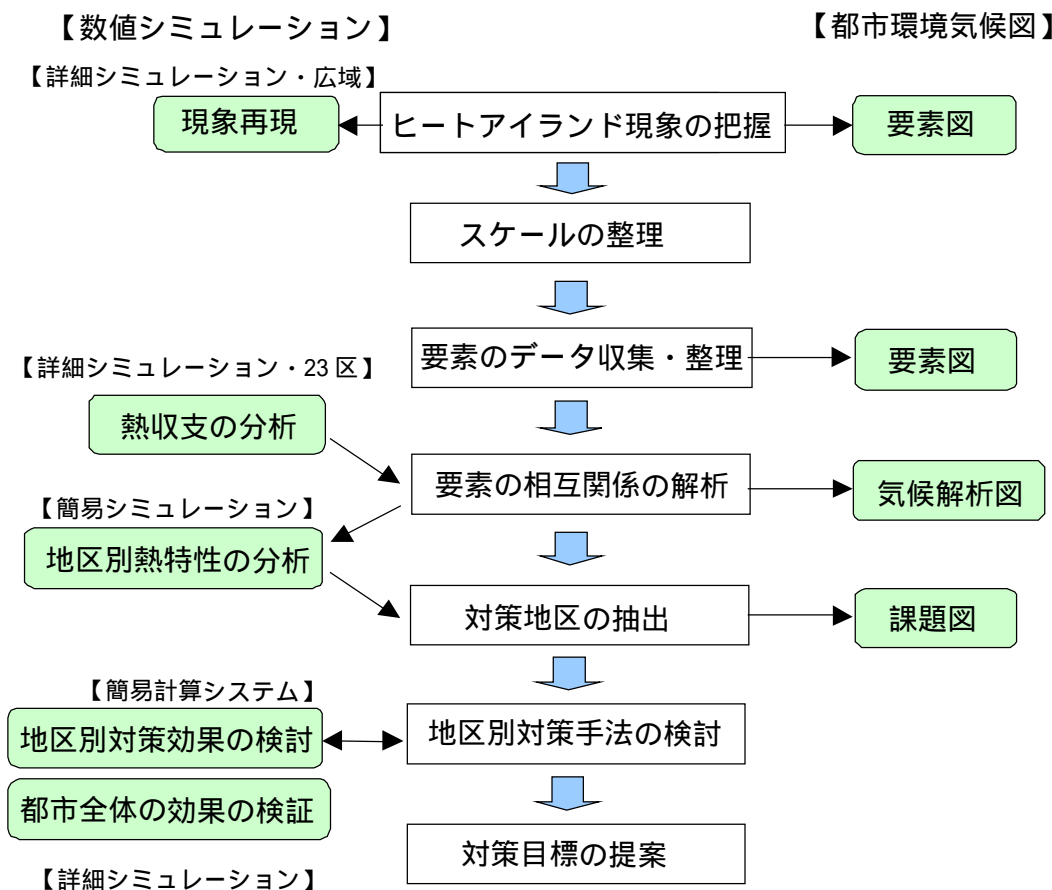
熱管理を検討する際には対象となる都市で熱環境のバランス変化、その特徴的な現象としての熱帯夜の発生状況などを把握・評価する。次いで、現象と対策のスケールを検討し、目標とする対策とスケールの関係を事前に整理しておく必要がある。

データの収集は、対策のスケールに応じた密度のデータを気象、土地利用、人工排熱等の分野について収集する。

数値シミュレーションは、現況の熱収支や地区の熱特性の分析、対策効果の予測に有用である。本調査では「簡易シミュレーションシステム」やそれを用いた「簡易計算システム」を開発した。

都市環境気候図は以上の検討結果を地図上に取りまとめたもので、ヒートアイランド対策の原点となるものである。

都市の熱管理を検討する手順を図4-2にまとめた。以下この手順に従って検討内容を整理する。



注) 数値シミュレーション手法は基本的に同じUCSSを用いているが、作業を簡易化するため「詳細シミュレーション(スケールによって広域、東京23区と使い分けている)」、仮想する空間モデルを単一化した「簡易シミュレーション」、簡易シミュレーションであらかじめ計算した結果を指定されたパラメータごとに示す「簡易計算システム」等がある。

図4-2 都市の熱管理の流れ

1) ヒートアイランド現象の把握

ヒートアイランド現象は 19 世紀の英国でその存在が指摘されており、少なからず人口や産業が集中した都市では発生していると考えられる。しかし、それがどの程度で総合的な熱管理が必要か否かについては、いくつかの定量的な指標で評価する必要がある。なお、経年的な変化を見る場合、都市によって猛暑や冷夏などの気象的な変動があるため一定の期間（3～5年）の平均値で、また観測値も所在地の局地的な特性（観測位置と周辺の建物高さや風など）を反映する場合があるので、できるだけ複数点の観測値で評価することが望ましい。

(1) 気温の上昇

多くの都市では、都心部に气象台や測候所、アメダスの観測地点が設置されており気温の経年的な変化を見ることができる。都市化による経年的な気温の上昇は、最高気温よりも日射の影響がない最低気温により顕著に現れる。季節的には冬季の方が顕著であるが、生活への影響という観点からは夏季（7～9月）の気温が問題となる。東京の場合、この 100 年間で最高気温は約 2℃、最低気温は約 4℃、平均気温は約 3℃ 上昇した。この間の地球温暖化等による上昇が平均気温で約 1℃ と見積もられることから、このペースを上回る気温の上昇は都市化の影響と推定することができる。

また、より身近な指標で捉えるためには、熱帯夜の発生日数や高温（例えば 30℃ 以上）にさらされる延べ時間などが分かりやすい。

(2) ヒートアイランド強度

都心と都市化の影響を受けていない郊外の温度差を見ることによってヒートアイランド現象の著しさを評価する。日中の温度差（例えば最高気温）は人工排熱よりも日射の影響が大きくその差を顕著に見ることができないが、夜間（例えば最低気温）の差は日射の影響がなく人工化された地表面被覆に昼間蓄熱された熱が大気に放出されるため、対流顕熱（地表面・建物）の影響を顕著に見ることができる。東京の場合、東京（大手町）と熊谷、宇都宮などを例にヒートアイランド強度を見ると、この 100 年の間に最低気温で約 1.5℃ の拡大が見られた。

(3) 影響

ヒートアイランド現象による都心部の高温化の影響としては、熱中症の発生状況（救急車による搬送人員）や桜の開花時期の変化などでとらえることができる。本調査では試していないが、夏季の暑さのために不眠に悩む人の数も多数に上っていると推定される。また、エネルギー消費の面では夏季の冷房による電力エネルギーのピーク需要なども指標の一つとなる。また、現象的には十分解明されていないが冬季を中心としたヒートアイランドによるダストドームの形成・大気汚染の高濃度化も検討対象となる。

以上の指標を整理した上で、当該都市の過去（例えば高度成長期以前）と比べて変化していると判断される場合（都市化によって対流顕熱や人工排熱（顕熱）が生活環境としての都市気候を変化させるまでに過大化している）は、熱の管理が必要となる。

2) スケールの整理

本調査で対象とした東京は規模が大きく他都市とスケールが多少異なるが、圏域レベルの

第 階層～建物の形状が見える第 階層までに分けて整理した。熱管理を検討する際は対象となる都市や対策のスケールを検討し、目標とする対策とスケールの関係を事前に整理しておく必要がある。この整理がないと以下のデータ収集、対策の検討に大きな混乱をもたらす。

3)要素のデータ収集・整理

ヒートアイランド現象は多くの関連要素を持っており、その現象解明や対策効果を把握するためには多くの基礎データを必要とする。本調査でも海水温や鉛直方向の気温、風向風速などまだ残された領域があり、また大気汚染のデータも十分に活用するところまで至っていないが、基礎的なモニタリング項目として以下の項目を捉えておけば、対策について概略の検討はできる。

(1) 気象データ

気温の経年変化を把握するには気象台、測候所、アメダス等のデータが利用できる。また、地域的な分布を見るためには空間密度の高いデータが必要となるため、例えば一般大気監視局で測定されている気温、湿度、風向風速のデータや自治体や学校、民間（ビル屋上）などで独自に収集されているデータを利用することもできるが、利用に当たっては観測位置や観測方法を精査して、データとしての精度を確認しておく必要がある。なお、熱管理のためには一般大気監視局の温度計なども校正しておくことが望まれる。

(2) 地形・土地利用データ

地形データは、当該都市がおかれている自然的な立地条件（海陸風や冷気供給源としての海、山の分布や風の通りやすさとしての河川や斜面など）を評価するのに用いる。市販の1/25,000地形図などが利用できる他、後述する数値シミュレーションのデータとする場合には国土地理院の「数値地図 50mメッシュ標高」が利用できる。

土地利用データは、都市の地表面被覆の状況を把握する資料として活用する。自然土壌とみなされる山林・田畑、自然土壌と建物が混在する住宅地、多くが人工被覆で覆われていると考えられる商業業務地、冷気供給源となる公園緑地・河川湖沼などに分類される。自治体で作成されている土地利用現況図、植生分布図の他、デジタルデータとしては国土地理院の「国土数値情報 10分の1細分土地利用ファイル」「細密数値情報（10mメッシュ）」、自治体による都市計画GISデータなどが利用できる。

(3) 人工排熱データ

人工排熱は、大きく建物、自動車、工場等のエネルギー消費に伴う排熱の3つに分けられる。特に都心の商業業務地区ではメッシュによって日射量の50%以上に達するような人工排熱がある。

人工排熱のうち、事務所や家庭で使われる空調などから排出される熱（建物内部で使用される照明やコピー機などの排熱も最終的には空調に転化されると考える）で、本調査では建物の延べ床面積に建築研究所で作成された建物用途別規模別原単位を乗じて建物排熱を求めた。建物延べ床面積は、本調査では住宅地図や自治体の建物調査結果をGIS化したデータなどを利用した。

自動車排熱は、幹線道路については道路交通センサスの車種別交通量に燃料消費率及び燃料別発熱原単位を乗じて求め、非幹線道路（細街路等）については細街路等の交通

密度を推計して同様の計算を行うことができる。

工場からの排熱は、工場のエネルギー消費を環境省「大気汚染物質排出総合調査」から求め、これに燃料の発熱原単位を乗じて求めることができる。

人工排熱は、利用時間帯によって排出パターンが異なるので注意を要する。例えば空調の場合、都心の商業業務施設では営業時間が中心であり、家庭では帰宅後から就寝までが主な利用時間帯となる。これに対して自動車排熱は24時間帯で発生が見られ、また24時間操業の工場では昼夜間を問わず一定の排熱がある。昼間の対策には商業業務施設のような施設の省エネが効果的であり、夜間の対策には深夜営業の商業施設や自動車交通からの排熱削減が効果的といえる。

(4) その他関連データ

ヒートアイランド現象には直接関係しないが、冷気供給資源や温排水の排出場所としての海水の温度、大気汚染濃度（NO_x、光化学オキシダント）などが挙げられる。いずれも水質測定や大気質測定で把握されているデータである。また、衛星画像による地表温度分布は地表面被覆の特性を判定するのに役立つ。

これら収集したデータは、同スケールの地図上に都市環境気候図（第 部参照）の「基礎情報図」として整理し、様々な解析に用いる。

4) 熱収支の分析(詳細シミュレーションシステム)

当該都市全体の熱の出入りを地表面（建物を含む）を境界とした熱流量で把握し、熱収支のバランス（日射に対する反射、放射、対流顕熱、蒸発潜熱、人工排熱の占める割合）や昼間・夜間の変化を分析して、地表面付近の大気にかかる大気熱負荷量（顕熱・潜熱）を算出する。

この分析によって、対流顕熱が大きい、蒸発潜熱が少ない、人工排熱が多いなど当該都市の放熱特性と対策を講ずべき熱を評価することができる。

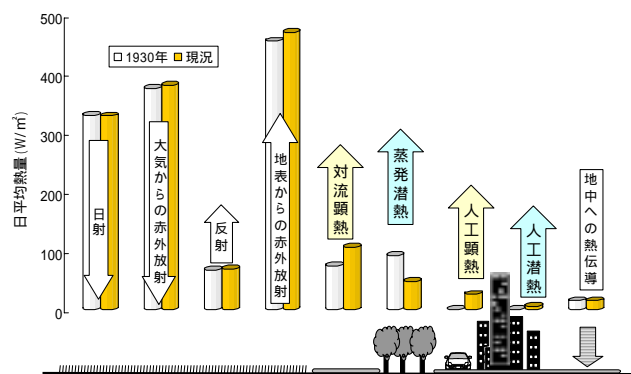


図4 - 3 地表面を境界とした熱収支の例(東京23区)

5) 要素の相互関係の解析

収集したデータを重ね合わせ、熱と気候特性から都市の熱的特性を把握し、課題を明らかにする。この結果は都市環境気候図（第 部）の「考察図」として取りまとめる。

(1) 要素の分析

気温（高温地区、冷気供給源を表す）、土地利用・用途（地表面被覆の状態を表す）、大気熱負荷量（地表面から大気に向かう熱流量を表す）、風（移流拡散の可能性を表す）の関連性を分析し、熱と気候特性から地区の特性を明らかにして結果を「気候解析図」などにまとめる。

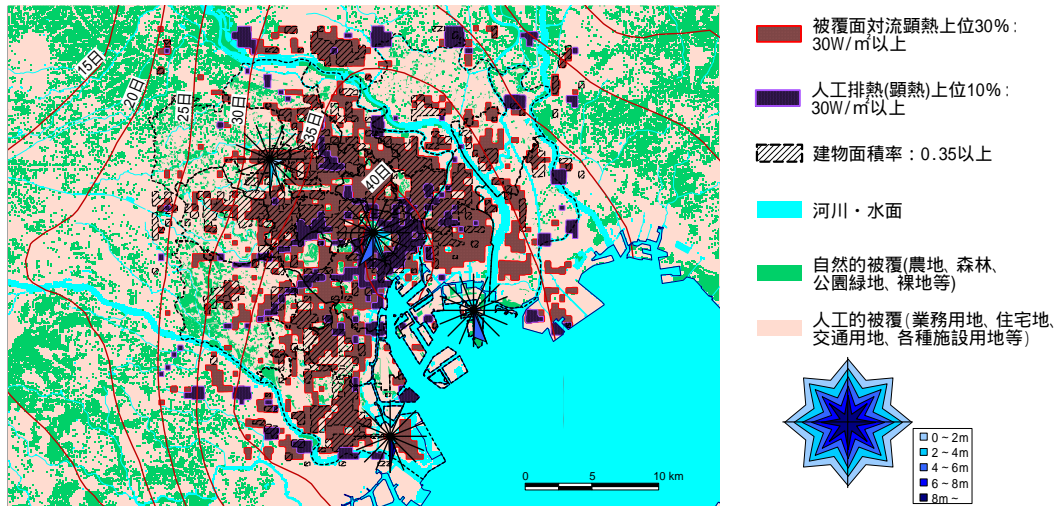
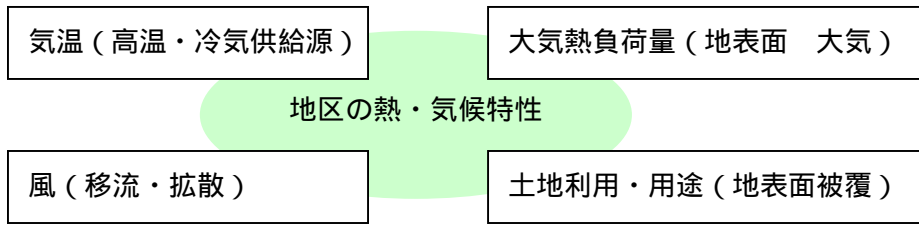


図4 - 4 気候解析図(東京23区)

(2) 地区の類型化

分析結果より、対策を講ずる上で熱的に等質と考えられる地区を類型化する。この場合、対策の観点から例えば政令市の区や町の単位で類型化する方法も考えられる。

東京23区の場合は、水辺緑地エリア（保全対象となるエリア）、人工被覆エリア（空港など特殊なエリア）、住宅エリア、業務系エリア、混合エリアの5類型に分け、さらに住宅、業務系、混合エリアについては建物の建て詰まり状況から高密/低密に分類した。

6) 地区別熱特性の分析(簡易シミュレーションシステム)

簡易シミュレーションシステムによりUCSSのパラメータに地区ごとの平均値を入力して地区毎の現況をシミュレートし、日平均及び昼間/夜間の平均対流顕熱・蒸発潜熱の構成、人工排熱の割合を計算して、地区毎に対策すべき大気熱負荷量を分析する。

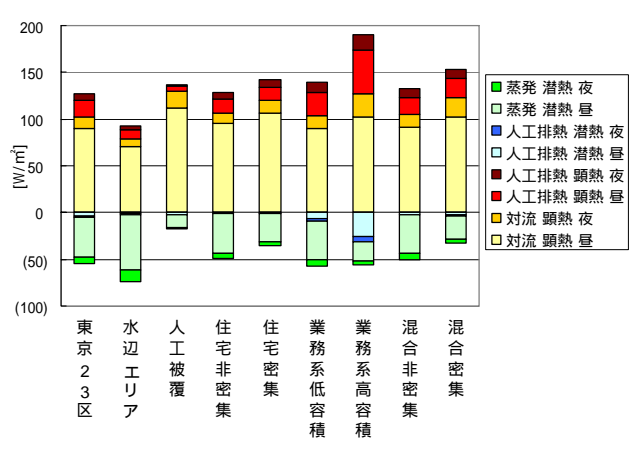


図4 - 5 地区類型別大気熱負荷量の例(東京23区)

7) 対策地区の抽出

日平均大気熱負荷量（顕熱）の多い地区、夜間大気熱負荷量（顕熱）の多い地区、大気熱負荷量（顕熱）に比べて大気熱負荷量（潜熱）の割合が小さい地区、冷気供給源としての開水面・緑地を含む地区、建物が建て詰まりキャノピー層内の換気が行われにくいと考えられる地区、卓越風向に沿って連担したオープンスペースなどを評価して、対策地区を抽出する。

この結果は「課題図」として取りまとめ、凡例にはそれぞれが抽出された理由と対策の方向性を記述する。

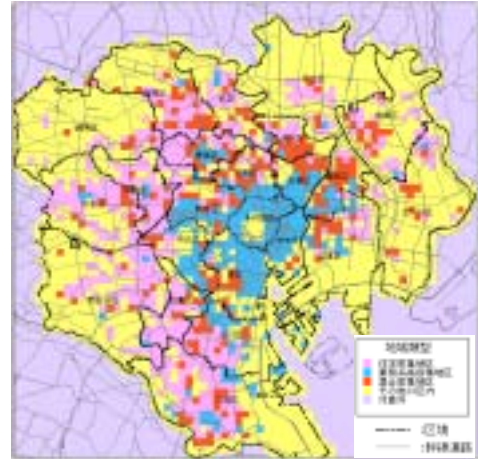


図4 - 6 課題図の例(東京 23 区)

8) 地区別対策手法の検討

気候解析図または地区別熱特性の分析結果をもとに地区特性に応じた対策手法を検討する。本調査で提供する簡易計算システム（業務地区用）では、対象地区の対策手法に応じたパラメータを入力することで、対策効果を気温、大気熱負荷量の変化として参照することができる。対策の実現可能性を考慮した複数の対策案の中から最も効果的な対策手法を選定することができる。（巻末参考資料参照）

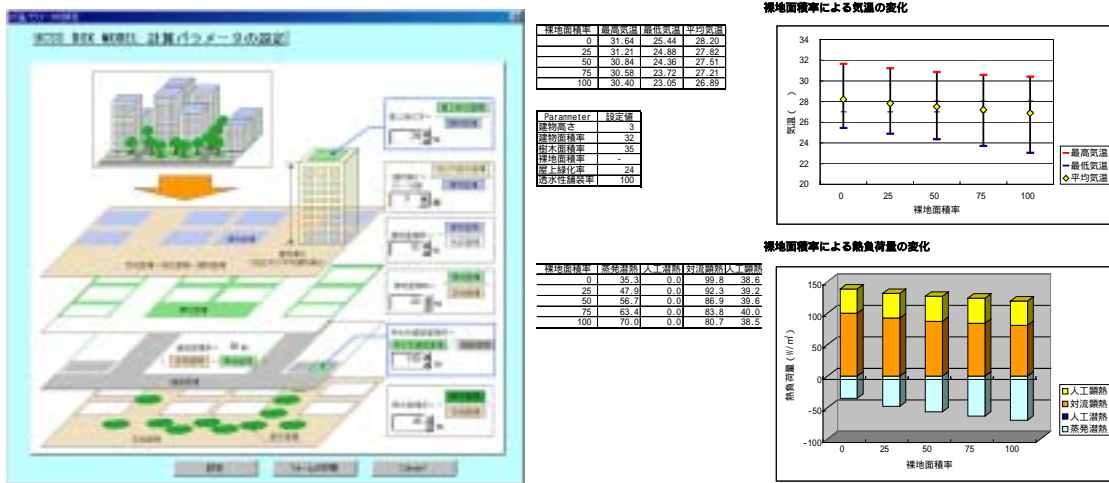


図4 - 7 簡易計算システムの活用例

9) 対策目標の提案

地区別対策効果を当該都市全体で確認する場合には、個々の対策を組み入れた都市全体の詳細シミュレーションで再度計算して確認することもできる。検討結果から、地区別対策手法及び目標値を設定し、大気熱管理の目標として環境管理計画等の中で明らかにする。この場合、道路整備や再開発など個別計画で実現を目指す項目と、中長期的に都市計画やエネルギー計画などで実現を目指す項目に分けて示す必要がある。

以上の流れは、熱を軸にした切り口からこれまで科学的な解明が遅れて考慮できなかった気候を計画に反映させ、環境省、国土交通省が提唱する「環境配慮型都市」を実現するものである。