

2. 効果的なヒートアイランド対策の推進手法

ヒートアイランド現象は、都市化の進展にともなう様々な原因が長年にわたり積み重なることで顕在化してきました。この現象を解消するには、都市構造や都市生活者のライフスタイルを抜本的に見直し、既存の枠組みを超えた様々な施策を、社会的な合意を得ながら長期的かつ計画的に進めていくことが求められます。



図2.1 ヒートアイランド対策の模式図 資料) 環境省

2.1 現象緩和と影響抑制

これまでのヒートアイランド対策は、「現象の緩和」に向けて原因を削減するという視点から進められてきています。

一方、ヒートアイランド現象は、熱中症の発生を増大させるなど、様々な影響を及ぼしており、「現象の緩和」に「影響の抑制」という視点を加えて対策を実施することも重要になっています。

例えば、同じ植樹という対策でも、人通りの多い歩道と少ない歩道では、アスファルト上に日陰をつくり表面温度を低下させるという物理的な効果は同じでも、人の暑熱ストレスの緩和という視点で見た効果は異なります。こうした影響抑制の視点を併せた対策は、効果を実感しやすく、都市の良好な熱環境形成や低炭素社会の形成にも寄与します。また、こうした影響抑制の視点から実施する対策の積み重ねは、ヒートアイランド現象の緩和にもつながっていくと考えられます。

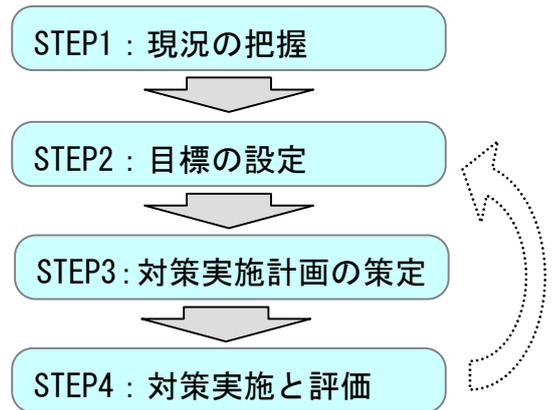
本ガイドラインでは、ヒートアイランド現象による主な影響抑制として、「日中の暑熱ストレスの緩和」と「夜間の寝苦しさを緩和」を取り上げ、その進め方などを示します。



図2.2 ヒートアイランド対策を進める視点

2.2 対策の効果的な進め方

ヒートアイランド対策の実施に当たっては、できることから行っていくことももちろん大切ですが、効果的に対策を実施していくためには、目標を明らかにした上で、計画的に必要な対策を実施していくことが求められます。ここでは、現況を把握した上で目標を設定し、各対策技術の特徴を理解しつつ、その目標を達成するために必要な対策を実施していくステップについて説明します。



STEP1：現況の把握

ヒートアイランド現象の実態と原因、影響について、現象緩和の視点である「ヒートアイランド現象の緩和」と、影響抑制の視点である「日中の暑熱ストレスの緩和」と「夜間の寝苦しさの緩和」から、把握を行います。把握した現況を都市環境気候図などに整理し、地域の特徴やニーズを考慮しつつ、優先的に対策を進める地区を抽出します。

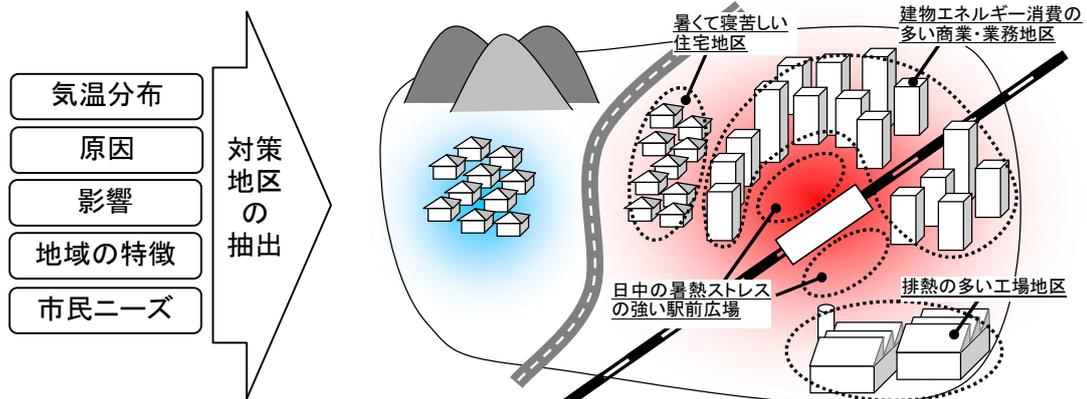


図 2.3 「現況の把握」の模式図

STEP2：目標の設定

目標は、抽出した対策地区ごとに地域の将来像や関連施策の目標などを検討し、設定します。

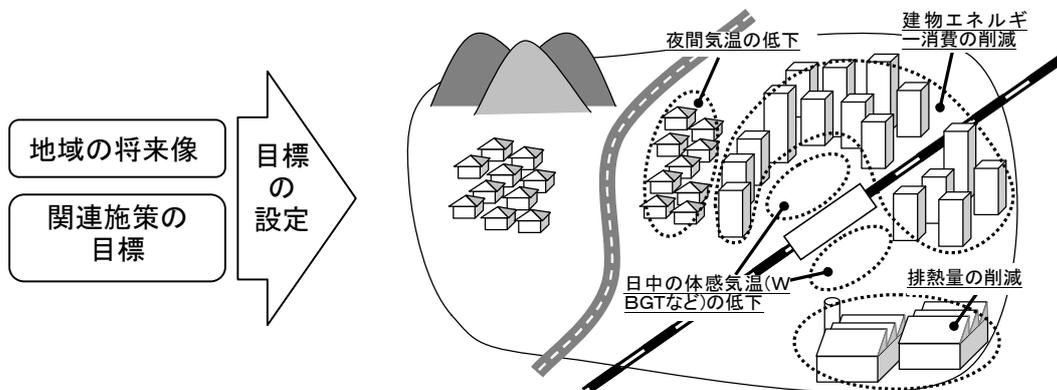


図 2.4 「目標の設定」の模式図

STEP3：対策実施計画の策定

設定した目標を達成するため、効果的な対策技術を選定するとともに必要な実施量を検討し、対策実施計画を策定します。実施可能な複数の対策を選定し、多面的に進めていくことが重要です。本ガイドラインでは、対策技術ごとに、対策の効果や効果的な活用方法を整理した対策技術等データシートを用意しました。

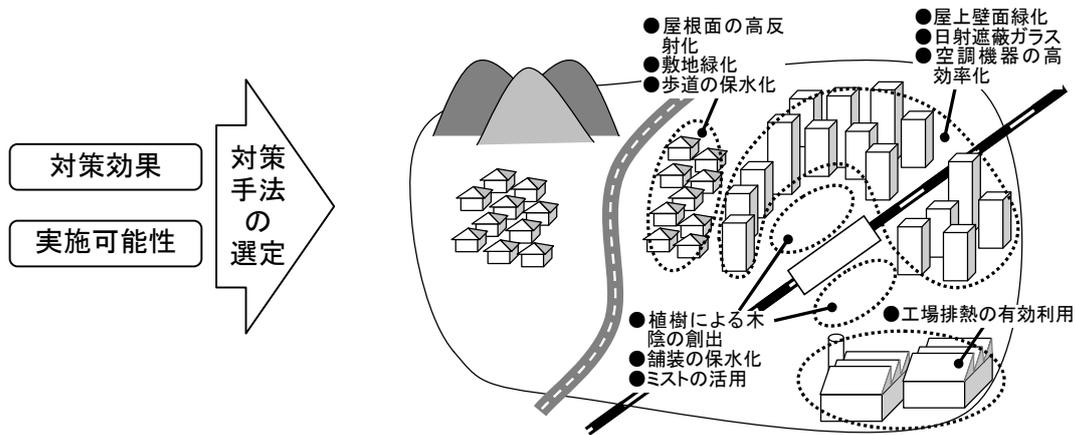


図 2.5 「対策実施計画の策定」の効果的な進め方の模式図

STEP4：対策実施と評価

長期的に対応が求められる場合などには、対策の推進を制度的な施策として位置付けていくことが望まれます。

対策による実際の効果を捉えるため、対策実施前と実施後の状況を把握し、これを公表していくなどにより、対策推進の社会的合意を得つつ進めることが重要です。また、計画した対策と効果の関係を検証し、対策計画を適宜、見直していくことが求められます。

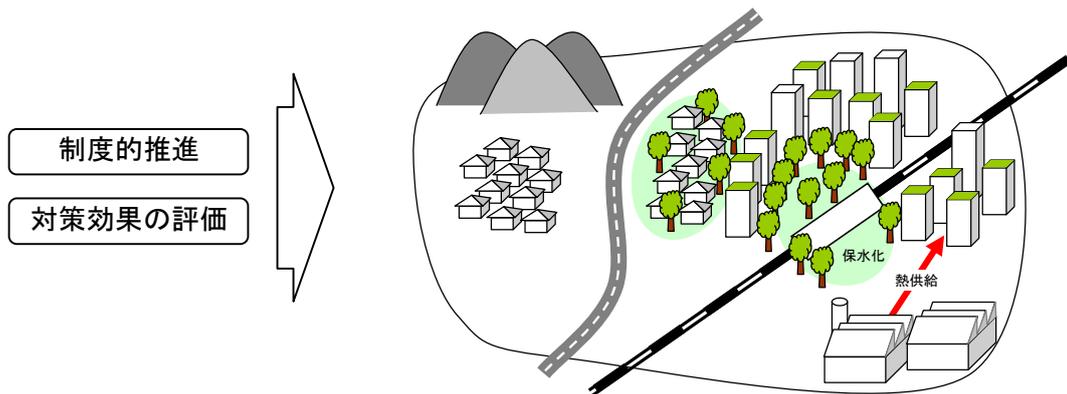


図 2.6 「対策実施と評価」の効果的な進め方の模式図

以下では、2.1で説明した現象緩和の視点である「ヒートアイランド現象の緩和」と、影響抑制の視点である「日中の暑熱ストレスの緩和」と「夜間の寝苦しきの緩和」のそれぞれについて、上記のステップに沿った効果的な対策の進め方を具体的に解説していきます。

2.2.1 ヒートアイランド現象の緩和を効果的に進める対策

この対策は、主にヒートアイランド現象が顕著な都心部で、人工排熱やアスファルト舗装などの原因が集積している地区において原因の削減を進めるものです。

STEP1：現況の把握

効果的に対策を進めるには、原因と現象の関係を把握し、現象緩和に有効と考えられる原因から削減していくことが求められます。そこで、まずは地域の気温分布や原因分布などを把握しますが、昼間と夜間では原因分布や風の状況などが異なるため、結果として気温分布も異なり、地域の現況を昼夜の別に把握する必要があります。

図2.7は、東京の昼と夜の気温分布です。夜間は高温部分が都心に集中しますが、昼間は都心から練馬などの北部に高温部が広がっていることが分かります。

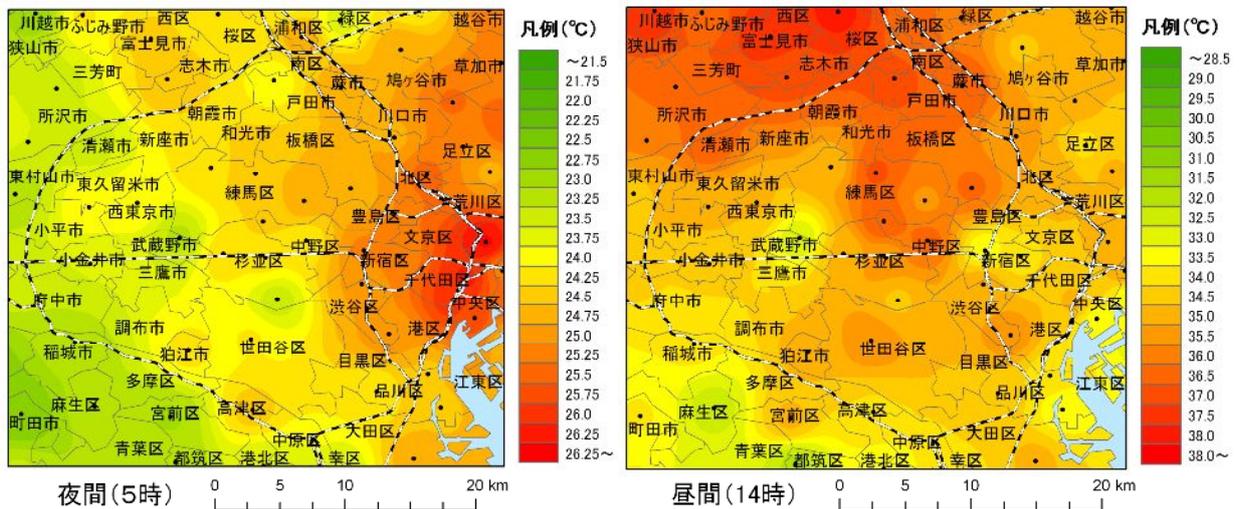


図 2.7 気温分布の例

2006年8月4日の東京付近の気温分布 左：午前5時、右：午後2時

資料) 広域メトロス研究会(代表：帝京大学 三上岳彦氏)提供

現象が顕著で、人工排熱やアスファルト舗装などの原因が集積している地区で原因削減を進めますが、地域の気象条件などによっては、原因分布と気温分布が一致しない場合もあります。例えば、湾岸など比較的風が強い地区などでは、地表面からの熱や工場からの排熱が、その地区の気温の上昇には直ちにつながらない可能性があります。そのため、この原因削減を進める対策では、原因の把握に重点を置いて対策地区を抽出します。

把握すべき原因には、地表面被覆の要素として緑被の状況や建物の状況、人工排熱の要素として建物排熱や自動車排熱、そして建物容積率や天空率といった建物の密集度を表すものなどがあります。

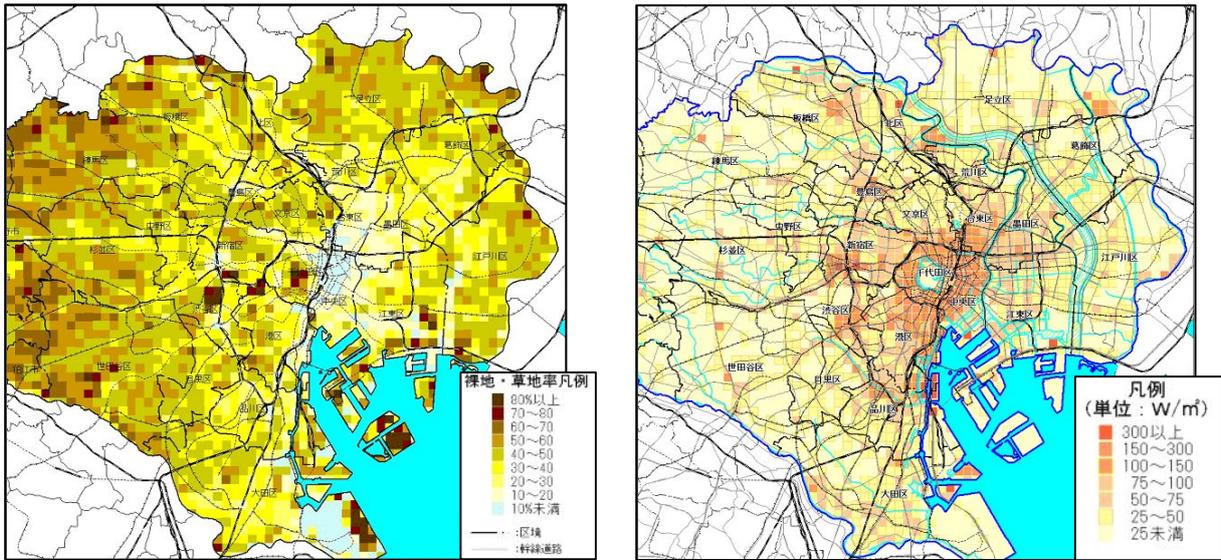


図 2.8 原因分布の例（左：地表面被覆分布図、右：人工排熱(昼間顕熱)分布図）

ヒートアイランド現象は、これらの原因が積み重なって発生しています。個別の原因に対して一つ一つ対策を行っていくことも重要ですが、複数の原因が集積している所を抽出し、優先的に対策を進めることが有効です。このように課題の抽出や対策の立案を目的として、都市の様々な情報を地図上に整理したものを都市環境気候図と言います。例えば、東京都のヒートアイランド対策ガイドライン¹において23区を500m×500mのメッシュに分割し、各メッシュの地表面被覆の状況、人工排熱量、建物形態、さらには数値シミュレーションによる顕熱量の分布から、23区を10種の類型に区分しています。これを「熱環境マップ」(図 2.9)と名付けていますが、これも都市環境気候図の一つです。原因分布および都市環境気候図の詳細については、技術資料1「都市環境気候図の作成方法」を参照ください。

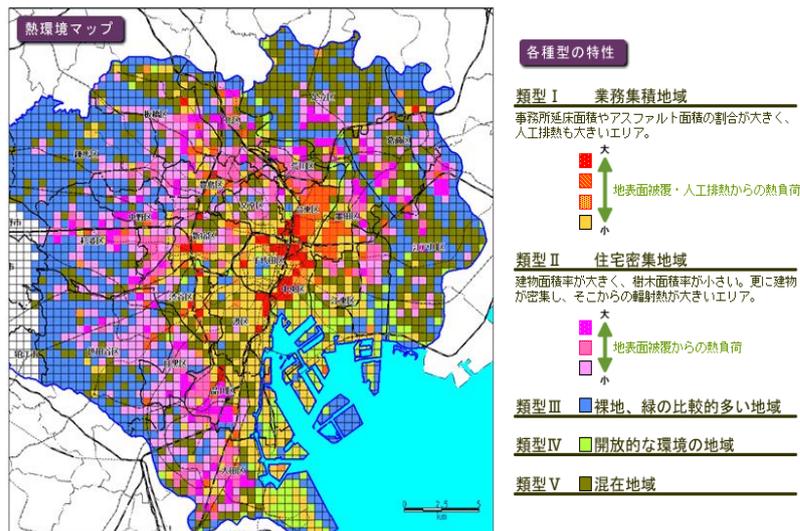


図 2.9 東京都における「熱環境マップ」¹

¹ 東京都：ヒートアイランド対策ガイドライン

STEP2：目標の設定

「気温上昇の抑制」や「原因の削減」などを目標として設定することが考えられます。ただし、気温は各年の変動が大きく、対策の効果を明確に把握することが難しくなる可能性があります。そのため、長期的なトレンドで設定したり、複数年の平均で設定することなどが考えられます。

ヒートアイランド対策を推進するための計画などを策定している地方公共団体では、多くの場合、対策の目標が設定されています。目標の設定にあたっては、STEP 1 で説明した現況把握や市民の意識調査（調査事例は技術資料 2 「住民ニーズの把握調査(アンケート)事例」を参照ください）などを実施し、課題を抽出した後に目標を設定していることが多いようです。

多くの地方公共団体で共通して設定している目標は「熱帯夜日数の削減」です。中には具体的な数値で熱帯夜日数が設定されているところもあります。

市民が暑くて困る場所として改善要望の高い道路や歩道などの暑熱緩和についても、クールスポットの創出などにより改善目標が設定されています。

表 2.1 地方公共団体におけるヒートアイランド対策の目標

計画など	策定年月日	目標
東京都環境基本計画	平成 20 年 3 月	2016 年度までに、ヒートアイランド対策推進エリアの全地域で、被覆状態の改善や排熱の減少、風の道の形成などにより、熱環境の改善がなされており、また多摩地域の市街地においては、現況に比べ熱環境の悪化が防止されている状態にする
大阪府ヒートアイランド対策推進計画	平成 16 年 6 月	住宅地域における夏季の夜間の気温を下げ、平成 37 年までに夏季の熱帯夜日数を現状より 3 割減らす 屋外空間にクールスポットを創出し、夏季日中の熱環境改善を図り、体感的な温度を下げる
東大阪市ヒートアイランド対策率先推進計画	平成 16 年 12 月	住宅地域における夏季の夜間の気温を下降させ、平成 22 年までに熱帯夜日数を現状より減らす 屋外空間に緑陰を創出し、夏季日中の熱環境の改善を図り、体感的な温度を下げる
大阪市ヒートアイランド対策推進計画	平成 17 年 3 月	平成 32 年までに、年平均気温の上昇傾向を抑え、熱帯夜日数の増加を食い止める
横浜市ヒートアイランド対策取組方針	平成 18 年 3 月	平成 37 年頃を目標時期として、市域全体でヒートアイランド現象による熱帯夜日数の減少を図る 特に都心部および都心部周辺で、熱帯夜日数の減少を図る
堺市ヒートアイランド対策指針	平成 20 年 3 月	市域全体で、ヒートアイランド現象による熱帯夜日数の減少を図る 街区レベルでクールスポットを創出することにより、街区空間における夏季の昼間の高温化を改善する

STEP3：対策実施計画の策定

抽出した対策地区の地域性や目標に応じて、原因を削減する対策技術を選定するとともに必要な対策量を検討します。原因を削減するには様々な対策技術があります。例えば、商業業務建物の集積地区における河川水を利用した地域冷暖房による建物排熱の削減、緑の少ない商業業務地区や工場・倉庫地区などにおける緑化や地表面の保水化の推進など、集積した原因の削減を進めることが効果的です。各対策の概要やその効果については、3章「対策技術等データシート」を参照ください。

表 2.2 ヒートアイランド現象の緩和に有効な対策技術例の一覧

	対策手法	データシート No	ヒートアイランド現象の緩和		地球温暖化対策
			日中の現象緩和	夜間の現象緩和	
風を活用した対策	海風・山谷風の活用	1	✓	✓	
	河川からの風の活用	2	✓		
緑を活用した対策	公園・緑地などの活用	3	✓	✓	
	街路樹の活用	4	✓	✓	
	駐車場の緑化	5	✓	✓	
	建物敷地の緑化	6	✓	✓	
	屋上緑化	7	✓	✓	✓
	壁面緑化	8	✓	✓	✓
水を活用した対策	噴水・水景施設の活用	9	✓		
	舗装の保水化と散水	10	✓	✓	
	建物被覆の親水化・保水化	11	✓	✓	✓
反射を活用した対策	遮熱性舗装の活用	14	✓	✓	
	屋根面の高反射化	15	✓	✓	✓
人工排熱対策	地域冷暖房システムの活用	16	✓	✓	✓
	建物排熱の削減	17	✓	✓	✓
	自動車排熱の削減	18	✓	✓	✓

また、同じ対策技術でもその効果は昼と夜で異なります。そのため、対策実施計画を策定する際にも、昼夜に分けて目標の達成に適した対策技術の選定と必要な対策実施量を考える必要があります。例えば、工場・倉庫地区において道路や敷地を保水化した場合、昼には最大で約1℃の低下となりますが、夜間の地上気温では最大で1.5℃程度低下する可能性があることがシミュレーションによる計算から分かります（図 2.10）。

対策技術等データシートには、対策効果を把握する目安として、一定の条件の下で計算した各対策技術の実施量と気温低下量の関係を示しています。そのため、特定地域の地形や気候などの特性や、複数の対策を組み合わせた場合の詳細な気温低下量の分布などを予測するには、数値シミュレーションを実施する必要があります。数値シミュレーションは、そのスケールや用途によ

2章 効果的なヒートアイランド対策の推進手法

って複数の種類があり、適切な計算ツールを選定する必要があります。数値シミュレーションについては、技術資料5「効果予測・評価のための主なシミュレーションモデル」を参照ください。

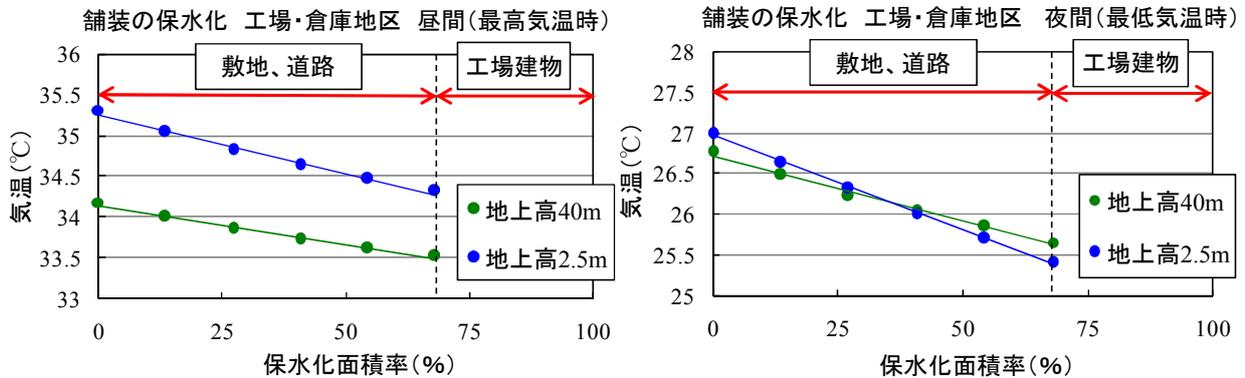


図 2.10 舗装の保水化対策による地上高別の気温低減効果 (UCSS シミュレーション)

左：昼間（最高気温時） 右：夜間（最低気温時）

全面積から工場・倉庫建物(32%)を除いた敷地(道路含む)が、保水化が実施可能な面積(68%)。

計算方法や条件などの詳細は、3章「対策技術等データシート」を参照のこと。

東京都では上述の「熱環境マップ」に基づき、地域類型ごとに適した対策を★の数で表す「東京モデル」という一覧表を作成し公表しています(表 2.3)。「東京モデル」では各類型における対策効果と当該対策の実施可能性(実施余地)を考慮して★の数が検討されています。

表 2.3 東京都における地域別の対策効果²

表 2-3 東京モデル一覧表(熱環境マップ上類型における対策メニュー) (★★★: 対策余地が大きく見込めるメニュー, ★★: 対策余地が見込めるメニュー, ★: 量的制約があるが一定の対策余地が見込めるメニュー)

類型	地域分布	地域特性	5類型における対策メニュー(対策余地による評価)							
			敷地草地緑地化(緑地率向上対策)	敷地樹木緑化(樹木率向上対策)	道路緑化(歩道緑化対策)	屋上緑化(緑化率向上対策)	壁面緑化(緑化率向上対策)	屋根反照率低下(屋根塗装対策)	保水性舗装(保水性向上対策)	人工排熱削減(建物・交通)
類型Ⅰ 緑地率向上 地域	主に環状7号線の内側の中心部や郊外の拠点を中心に分布	●舗装面積割合が40%を占め、全地域で最も高く、建物も合わせた人工被覆割合が70%を超え、最大 ●緑地、草地、水田を合わせた自然被覆割合が30%を下回り最小 ●年間100W/m ² 前後の人工排熱(顕熱)を排出 ●割合は、建物から6割、交通・事業所から2割ずつ ●年間排出される人工排熱(顕熱)の割合が大きい(建物や地中アクトから90W/m ² 前後) ●平均建物高さ(20m超)・建物幅(15m超)が最大で高層化 ●建物面積割合が類型Ⅱに続いて大きく、天空率も下から2番目 ●対流顕熱は13時間900W/m ² で、人工排熱(顕熱)を合わせた顕熱70%は、400W/m ² 近くで最大 ●放射顕熱と人工排熱(顕熱)を合わせた顕熱70%は、12時間で200W/m ² 未満で、類型Ⅱに次いで小さい	★★	★★	★	★★	★★	★★	★★	★★
類型Ⅱ 住宅密集 地域	主に環状7号線の周辺に沿って環状に分布	●建物面積割合が35%程度で最も高く、舗装を合わせた人工被覆割合が60%を超え、類型Ⅰに次いで大きい ●樹木面積割合が4%弱で最も小さい ●年間40W/m ² 前後の人工排熱(顕熱)を排出し、類型Ⅱの2倍程度 ●平均建物高さが9m程度で類型Ⅲと同程度、平均建物幅が10m超で中層化 ●天空率が60%を下回っており、最も密集 ●対流顕熱は12時間900W/m ² を超え、最大 ●放射顕熱は、類型Ⅲの半分程度で150W/m ² 程度	★★	★★	★	★★	★★	★★	★★	★★
類型Ⅲ 緑地、緑の比較的多い地域	主に郊外の住宅地や大規模団地、河川周辺などに分布	●舗装面積割合が最も小さく、建物も合わせた人工被覆割合が30%程度で最小 ●自然被覆割合が70%近くで最大 ●樹木面積割合が10%超で最大 ●年間20W/m ² 前後の人工排熱(顕熱)を排出し、最も小さい ●割合は、建物、自転車交通はほぼ同等程度 ●平均建物高さが約8.9mと最も小さく、2、3階層中心の低層住宅地 ●建物面積割合が20%未満で、天空率79%と類型Ⅳに次いで開放的 ●対流顕熱は最大で200W/m ² と類型Ⅳに次いで小さい ●放射顕熱は最大で300W/m ² 未満で、類型Ⅳに次いで大きい	★	★	★	★	★★	★★	★★	
類型Ⅳ 開放的な環境の地域	主にウォーターフロント地域や大規模公園周辺に分布	●建物面積割合が10%強程度で最も小さく、舗装を合わせた人工被覆割合も40%弱で、類型Ⅲに次いで少ない ●水面割合が30%を超え最大 ●建物立地が少ないため、建物排熱が小さい ●事業所排熱割合が高い(建物、交通と同程度) ●平均建物高さが2.3mと類型Ⅰに次いで大きく、平均建物幅も15mを超え、類型Ⅰに次いで大きい ●天空率が60%超で最大で最も開放的 ●地形の起伏特性を反映して建物排熱が大きい ●対流顕熱が最大で200W/m ² 未満で最小 ●放射顕熱が最大で300W/m ² を超え、最大	★★	★	★	★★	★★	★★	★★	
類型Ⅴ 混在地域	足立、葛飾、江戸川など、商業立地特性などが郊外の拠点に準ずる地域等に広く分布	●上記4類型の中間的な性格 ●排熱量は、類型Ⅱに近似し、工業など事業所からの割合が大きい ●上記4類型の中間的な形態 ●類型ⅡとⅢの中間的な性格	★★	★★	★	★★	★★	★★	★★	

² 東京都：ヒートアイランド対策ガイドライン

コラム 『地球温暖化対策に資するヒートアイランド対策』

屋上緑化などの建物外皮対策や人工排熱の削減対策など、エネルギー消費の削減につながるヒートアイランド対策は、地球温暖化対策としての効果があります。表 2.4 には、ヒートアイランド対策と地球温暖化対策の両方に効果のある対策を整理しました。

表 2.4 ヒートアイランド対策と地球温暖化対策に寄与する対策手法の一例

対策手法	データシート No	対策効果の概要
屋上緑化	7	表面温度低下効果、屋上面の断熱性向上による空調負荷削減効果
壁面緑化	8	表面温度低下効果、壁面からの貫流熱削減による空調負荷削減効果
建物被覆の親水化・保水化	11	表面温度低下効果、貫流熱の削減による空調負荷削減効果
屋根面の高反射化	15	表面温度低下効果、貫流熱の削減による空調負荷削減効果（冬季の暖房負荷が増加する地域があるので注意が必要）
地域冷暖房システムの活用	16	未利用熱の利用による排熱削減効果、空調機器効率の向上と未利用熱利用によるエネルギー消費削減効果
建物排熱の削減	17	建物からの空調機器からの排熱削減効果、建物エネルギーの削減効果

エネルギー削減の実施計画の策定には、対策の地域や建物の種類などについて検討し、通年での評価を行うことが重要です。

図 2.11 では、業務建物に屋上緑化を実施した場合、札幌から福岡のいずれの地域でも空調削減効果が見られています。屋上緑化対策では、土壌層が形成されることで、建物の断熱性能が向上します。そのため、冬季の暖房負荷には影響が少ないものの、夏季の冷房負荷の削減効果が大きくなります。一方、高反射率塗料による対策でも夏季の冷房負荷は減りますが、冬季も日射を反射するために暖房負荷は増加してしまいます。そのため、仙台以北での空調負荷低減効果はほとんど見られません。

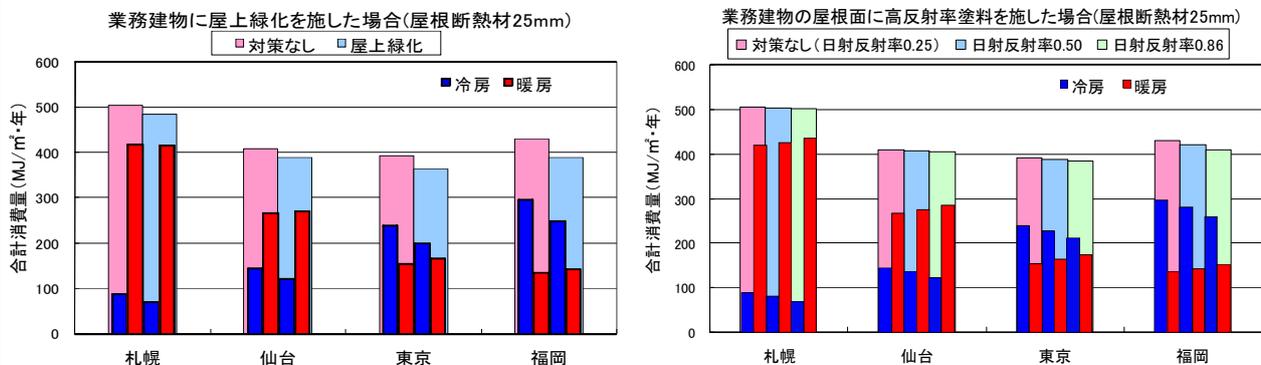


図 2.11 対策による空調負荷削減効果(業務建物) 左図：屋上緑化，右図：高反射率塗料

計算方法や条件などの詳細は、3章「対策技術等データシート」を参照のこと。

STEP4：対策実施と評価

民間の建物などにおける対策を推進するためには、条例による緑化の義務付けや省エネ計画書の提出の義務付けなどの規制的手法や、助成金による経済的手法などがあります。また、建物の設計上の環境配慮を評価してランキングする方法もあります。

緑化の義務付けでは、東京都の「東京における自然の保護と回復に関する条例」による屋上緑化の推進や、名古屋市都市緑地法に基づく「緑化地域制度」による敷地緑化を推進する制度などがあります。このように対策を義務付けていくことは、確実に緑化が推進できるという点で有効と考えられます。

【名古屋市緑化地域制度の概要】



都市緑地法に基づく制度で、建築行為を行う際の建築確認において審査される。

- 施行年度：平成20年10月
 - 対象区域：市街化区域全域
 - 対象敷地面積：原則として300㎡以上、建ぺい率が60%を超え80%以下の区域については500㎡以上
 - 対象の建築行為：新築の全て、増築後の床面積の合計が制度施行日における床面積の合計の1.2倍を超えるもの
 - 義務付ける緑化率：建ぺい率に応じて10%から20%の範囲
- また、建ぺい率が80%を超える場合や建ぺい率の規定が適用されない場合、緑化地域制度では十分な緑化を義務付けることができないため、緑のまちづくり条例により緑化を義務付けている。

緑化を推進するための助成金制度は多くの地方公共団体で実施されています。推進する緑化には、屋上や壁面の建物緑化、駐車場や生垣の敷地緑化などがあります。特に広いアスファルト面を有する駐車場の緑化を推進する制度は顕熱を抑制する有効な手法と考えられます。

また、東京都では延べ床面積1万㎡を超える建物の新築に際し、「ヒートアイランド現象の緩和」を含む4項目について評価した建築物環境計画書の提出を義務付けています。ヒートアイランド現象の緩和では、「建築設備からの人工排熱対策」「敷地と建築物の被覆対策」「風環境への配慮」の3つの評価項目が設定されています。さらには、住宅用途建物では販売広告や賃貸広告への評価結果の表示義務付けなどが図られています。

海外にもヒートアイランド対策に資する制度が数多く見られます。国内には見られない特徴的なものとしては、流出雨水処理費用の割引制度や都市内の風に配慮した都市計画の推進などがあります。流出雨水処理費用(StormWaterFee)とは、これまで下水道料金の一部に含まれていた雨水処理費用を分離して水道利用者から直接、徴収するものです。料金は敷地面積に応じて課金されますが、敷地の緑化など、敷地外への雨水の流出を抑制する浸透エリアの割合に応じて料金が割り引かれます。敷地の所有者は流出雨水処理費用の割引率を高めるため、緑化などにより敷地内の被覆を改善することで、ヒートアイランド対策にも寄与します。

都市内の風に配慮した都市計画は、ドイツのシュツットガルトにおけるクリマアトラスの活用が知られていますが、香港では都市計画のガイドラインにおいて、Air Ventilation (都市の風通し) などの開発計画上の要求事項が定められています。風通しについては、建物が過密で気温と湿度が高い香港における暑熱の緩和や快適性確保のための風環境の向上を目指す指針が示されています。制度の対象は、国の主要なプロジェクトとなっていますが、民間のプロジェクトについてはガイドラインで配慮することが推奨されています。具体的には、主風向に沿った風の道(Breezeways)を作り出すために、連続したオープンスペースや低層建築物などを配置すること、主要道路は主風向に平行か、30度までの角度にすることなどが示されています。また、主風向の風上に向かって建物高さが低くなるように配置することなどが求められています。

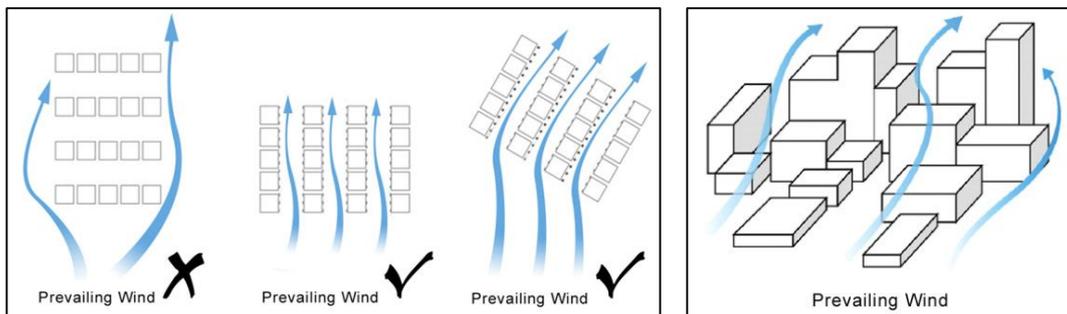


図 2.12 Air Ventilation Assessment のモデル図

資料) Hong Kong Urban Design Guidelines : Air Ventilation

国内外の関連制度の事例については、技術資料3「対策を推進するための制度事例」を参照ください。

ヒートアイランド対策は長期的に実施することが求められるため、対策による効果をできるだけ定量的に把握・評価し、適宜、対策計画を見直すなどにより、効果的な対策の推進に努めることが重要です。対策効果については、設定した目標の達成の程度で評価します。ただし、気温低減などの効果は短期間には明確にならない可能性があるため、毎年の対策の進捗は、緑化面積の増加量など対策実施量で評価し、例えば5年ごとに設定した目標指標で評価するなどの方法が考えられます。

2.2.2 日中の暑熱ストレスを効果的に緩和する対策

近年、ヒートアイランド現象などによる日中の暑熱化により、熱中症発症者数が増えてきています。ヒートアイランド対策による暑熱ストレスの緩和は、熱中症リスクの低減につながることで期待されます。ここでは、効果的に暑熱ストレスを緩和するため、日中の暑熱改善効果の高い場所を特定し、その場所での体感温度を低下させる手順を具体的に説明します。

STEP1：現況の把握

私達が暑さを感じる感覚（体感温度）には、気温だけではなく、湿度や日射、地表面からの輻射熱などが影響しています。そこで、人通りが多い場所（駅前広場や主要な歩道など）を調査地点として、気温、地表面温度、地表面からの輻射熱、WBGTなどを把握します。WBGTは、気温に加えて輻射熱や湿度を取り入れた体感指標で、以下の式から算出されます。

日射のある場合： $WBGT = 0.7 \times \text{湿球温度} + 0.2 \times \text{黒球温度} + 0.1 \times \text{乾球温度}$
日射のない場合： $WBGT = 0.7 \times \text{湿球温度} + 0.3 \times \text{黒球温度}$

調査地点を検討する際には、市民が日頃暑熱ストレスを感じやすい場所についてアンケートを取ることも有効です。日射の状況は非常に局地的であり、時間によっても変化するため、できれば数地点で一定期間連続して測定するなどの方法が望まれます。

図 2.13 は、熱画像測定による地表面温度などの測定結果です。同じ気温であっても、日なたと日陰で地表面温度には約 12℃（40-28）、また WBGT では約 4℃（25.9-21.8）異なっています。熱環境測定手法の詳細については、技術資料 4「気温等の測定方法」を参照ください。

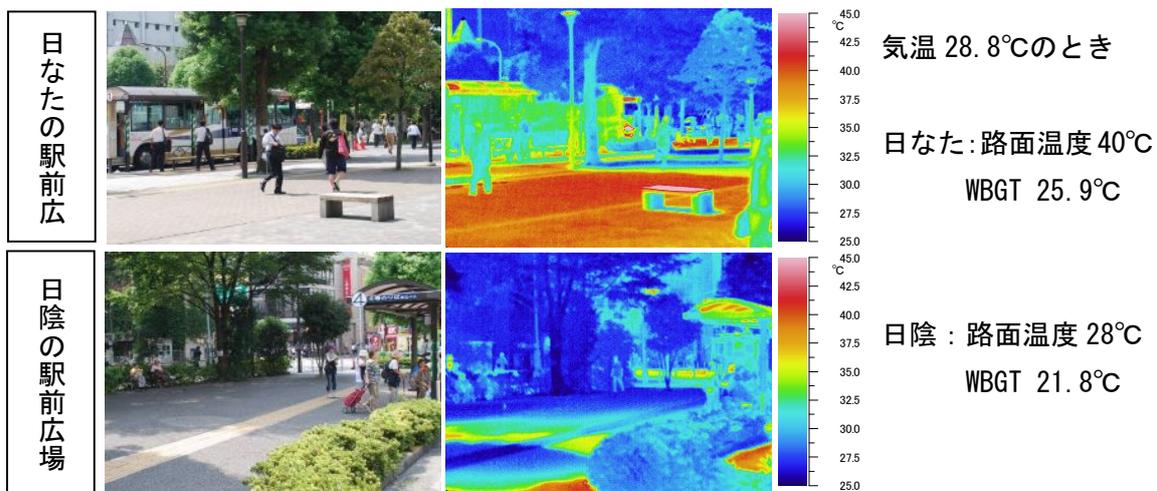


図 2.13 駅前広場における日なたと日陰の状況

東京都 京王線調布駅南口，2008年9月10日11時40分 資料)平成20年度環境省調査

コラム 『様々な体感指標について』

体感指標には WBGT 以外にも様々あります。ここではいくつかの体感指標を紹介します。

a) MRT (Mean Radiant Temperature : 平均放射温度)

周囲の全方向から受ける熱放射を平均化した温度表示を言う。MRT の値が気温よりも高いと、周囲から受ける放射熱による暑さを感じ、逆に気温よりも低いと涼しさを感じる。

b) PMV (Predicted Mean Vote : 予測平均温冷感申告)

ファンガーにより提案された指標で、熱的中立(暑くも寒くもない状態)に近い状態での温冷感を、温熱環境の6要素(気温、平均放射温度、湿度、気流、着衣量、代謝量)から予測する指標である。7段階の感覚量で評価し(表2.5)、PPD(予測不満足率)を容易に算出できる。ISO7730で定められた国際規格であり、ISO7730では $PMV \pm 0.5$ ($PPD = 10\%$)を快適範囲としている。なお、ISO7730では、温熱環境が表2.6の範囲内にあり、かつ $PMV = -2 \sim +2$ の間でのPMVの使用を推奨している³。

表 2.5 PMV と温冷感

PMV	温冷感	予測不満足率(PPD)
3	非常に暑い	99%
2	暑い	75%
1	やや暑い	25%
0	どちらでもない	5%
-1	やや寒い	25%
-2	寒い	75%
-3	非常に寒い	99%

表 2.6 ISO7730におけるPMV使用の推奨範囲

項目	推奨範囲
代謝量	46~232W/m ²
着衣熱抵抗	0~0.310m ² °C/W(0~2clo)
気温	10~30°C
着衣表面温度	10~40°C
風速	0~1m/s
水蒸気圧	0~2700Pa(相対湿度30~70%)

c) SET* (Standard New Effective Temperature : 標準新有効温度)

ギャグらにより提案された指標で、温熱環境の6要素から求められる。異なった温熱環境の比較を行えるように、一般的なオフィスワークを想定し、気流、着衣量、代謝量を標準化しており、ASHRAE(アメリカ暖房冷凍空調学会)で標準的体感温度として採用されている。PMVがいわば均質一体の人体モデルであるのに対し、SET*は人体を深層部と皮膚層の2層モデルで表現し、平均皮膚温、皮膚濡れ面積率を求めている。よって、蒸発熱放散は温熱環境6要素の影響を全て含んでおり、PMVよりも広い範囲への適用が期待される⁴。図2.14は夏季の屋外で日本人被験者に対して行った快適感の申告実験結果⁵であり、SET*値と実際に感じる快適感の対応を見ることができる。

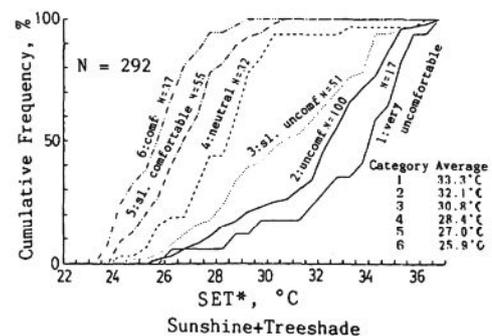


図 2.14 快適感別、SET*の累積頻度分布⁵
(夏季の日陰および日なたアスファルト面)

³ ISO-7730, Moderate thermal environments -Determination of the PMV and PPD indices and specification of the conditions for thermal comfort, 1997

⁴ 石井昭夫, 快適環境の評価手法, 新版 快適な温熱環境のメカニズム 豊かな生活空間を目指して, 67-86, 2006

⁵ 石井昭夫他, 屋外気候環境における快適感に関する実験的研究, 日本建築学会計画系論文報告集, 386, 28-37, 1988

STEP2：目標の設定

熱中症の発症を防ぐ視点からは、体感温度の指標である WBGT などを低下させることが目標として考えられます。表 2.7 は WBGT を指標とした熱中症予防のための運動指針です。

表2.7 熱中症予防のための運動指針 資料) 財団法人日本体育協会ホームページ

WBGT (°C)	湿球温 (°C)	乾球温 (°C)	運動は原則中止
31	27	35	WBGT31°C以上では、皮膚温度より気温のほうが高くなり、体から熱を逃すことができない。特別の場合以外は運動を中止する。
28	24	31	熱中症の危険が高いため、激しい運動や持久走などは避ける。体力の低いもの、暑さに慣れていないものは運動中止。運動する場合は積極的に休息をとり、水分補給を行う。
25	21	28	熱中症の危険が増すため、積極的に休息をとり、水分を補給する。激しい運動では30分おきくらいに休息をとる。
21	18	24	熱中症による死亡事故が発生する可能性がある。熱中症の兆候に注意しながら、運動の台間に積極的に水分を補給する。
			通常は熱中症の危険は少ないが、水分の補給は必要。市民マラソンなどではこの条件でも熱中症が発生するので注意する。

- ※ WBGT(湿球黒球温度)の算出方法
 屋外: $WBGT = 0.7 \times \text{湿球温度} + 0.2 \times \text{黒球温度} + 0.1 \times \text{乾球温度}$
 屋内: $WBGT = 0.7 \times \text{湿球温度} + 0.3 \times \text{黒球温度}$
- ※ 環境条件の評価はWBGTが望ましい。
- ※ 湿球温度は気温が高いと過小評価される場合もあり、湿球温度を用いる場合には乾球温度も参考にする。
- ※ 乾球温度を用いる場合には、湿度に注意。湿度が高ければ、1ランクきびしい環境条件への注意が必要。

WBGT は、気温が同じであっても黒球温度や湿度によってその値は異なります。図 2.15 は、相対湿度を 55%とした場合の黒球温度と気温と WBGT の関係を表したグラフですが、気温が上昇しても黒球温度を低く保つことにより、WBGT を低く抑えることができることが分かります。黒球温度は、日陰では気温とほぼ同じ値となりますが、日なたで舗装面からの輻射熱があると、気温よりも 15~20°C 近く高くなることもあります。また、風が吹くと黒球温度は下がります。つまり、日射の遮蔽や地表面などからの輻射熱の抑制、風通しを確保することなどにより、WBGT を下げることができます。

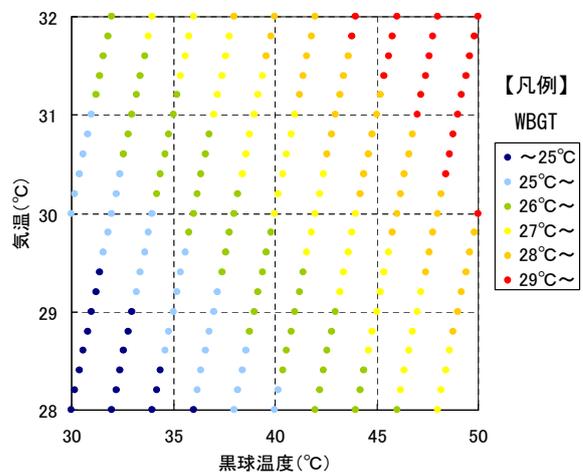


図 2.15 気温と黒球温度による WBGT ランク (相対湿度を 55%とした場合) 資料) 平成 20 年度環境省調査

STEP3 : 対策実施計画の策定

体感温度を上昇させる原因を削減することで、暑熱ストレスを緩和させることができます。

体感温度を上昇させる最も大きな要因は日射です。日射を遮蔽するためには、人工的なテントなどでも可能ですが、やはり樹木による木陰の創出が効果的です。テントはそれ自体の表面温度が高くなり、そこからの輻射熱が体感温度を上昇させますが、樹冠の表面温度は気温と同程度に抑制されるため、木陰では涼しさを感じることができます（図 2.16）。輻射熱を低減させるには

地表面を保水化したり建物の壁面を緑化することも有効です。また、歩行者空間に放出される空調機器の室外機からの排熱削減、歩行者空間の風通しを確保することも体感温度の改善に効果があります。その他にも人工的にミスト（霧状の水）を噴霧したり、広場に噴水を設けるなど、空気を強制的に冷却して暑熱ストレスを緩和する手法などがあります。

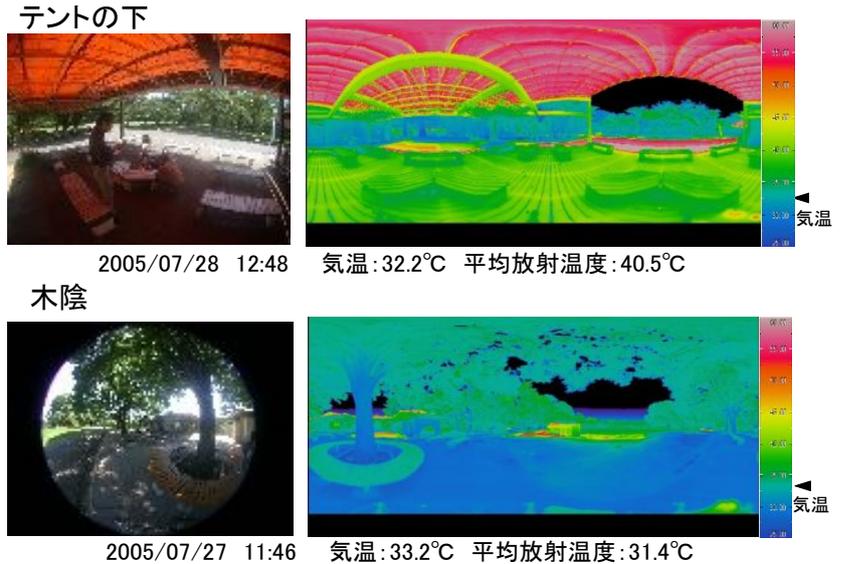


図 2.16 テントの下と木陰の放射温度の違い⁶

こうした取組で効果的に暑熱ストレスを緩和させるには、駅前の広場、人通りの多い歩道、さらには歩行者が立ち止まる時間の長い交差点の付近など、多くの人々が暑熱にさらされる環境で実施することが重要です。また、こうした対策の積み重ねは、熱中症リスクの低減につながるだけでなく、快適な街づくりにも貢献すると考えられます。



図 2.17 交差点での樹木による木陰の創出事例
東京都江東区木場5丁目付近

⁶ 環境省：平成17年度都市緑地を活用した地域の熱環境改善構想の検討調査報告書，平成18年3月

東京駅近くの丸の内仲通りでは、以前は街路樹に樹冠の小さな樹木を用いていましたが、現在ではケヤキなどの樹冠の大きな落葉樹に植え替えています。同時に、仲通りに面する建物の用途も衣替えし、それまでの銀行などが立ち並ぶオフィス街から、建物の1階部分に様々なブランドショップなどが店を連ねるショッピングモールとなっています。そのため、夏季にも暑熱を避けながら買い物を楽しめるなど、通りの付加価値が高まっています。このような方策は、地区の地権者や行政などによる長年の協議の末に実現できるものであり、地区が一体となって取り組むことが求められます。



図 2.18 丸の内仲通りにおける緑化対策 左:整備前 右:整備後
資料) 三菱地所株式会社提供

熱中症の発生を抑制するための対策としては、上記のような暑熱ストレスを緩和する手法の他、熱中症予報などの情報提供や、水分補給など熱中症予防に関する知識の普及なども有効です。熱中症予防については、「熱中症環境保健マニュアル 2008（環境省）」などを参照ください。

STEP4：対策実施と評価

長期的に対応が求められる場合などには、2.2.1で紹介したように対策を制度的な施策として位置付けていくことが望まれます。また、熱中症に関する知識の普及啓発や、WBGTなどの観測に基づく注意報などの情報提供が、国やいくつかの地方公共団体によって行われています。

コラム 『熱中症の予防について』

環境省では、熱中症予防のためのマニュアルを作成し公表するとともに、ホームページ上（環境省熱中症予防情報サイト）で熱中症の予防情報の提供を行っています。

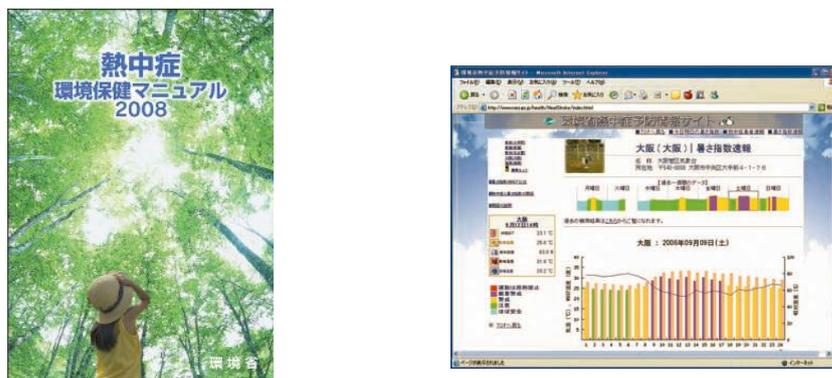


図 2.19 環境省が提供する熱中症関連情報

左：熱中症環境保健マニュアル 2008，右：環境省熱中症予防情報サイト

熱中症環境保健マニュアルでは、熱中症を予防するための注意事項などが分かりやすく示されています。また、高齢者や小児向けなどの注意点も示されており、例えば体温調節機能が低下している高齢者では就寝中にも熱中症になる可能性があることなどから、寝る前にも水分を補給することなどが挙げられています。

環境省熱中症予防情報サイトでは、WBGT（暑さ指数）の実況値（東京・大阪など6都市）と、温度・湿度などの気象予報から予測したWBGT（当日と翌日の2日分）を提供しています。

日常生活での注意事項

- (1) 暑さを避けましょう。
- (2) 服装にも工夫しましょう
- (3) こまめに水分を補給しましょう。
- (4) 急に暑くなる日に注意しましょう。
- (5) 個人の条件を考慮しましょう。
- (6) 集団活動の場ではお互いに配慮しましょう。

図 2.20 熱中症に対する日常生活での注意事項
資料）環境省

2.2.3 夜間の寝苦しさを効果的に緩和する対策

ヒートアイランド現象により夜間気温が高温化すると、快適な睡眠が得られにくくなります。夜間は、日中にくらべて一般的に風が弱く、日射による直接的な影響がなくなるため、街区自体の熱的な特性、すなわち地表面の蓄熱性の高さ、人工排熱の多さ、天空放射の阻害の程度などが当該街区の気温形成に影響を及ぼします。これまでのヒートアイランド対策は原因が集積している商業・業務地区などで多く実施されてきましたが、夜間の寝苦しさを効果的に緩和しようとするれば、効果を実感しやすい住宅街での対策が必要になります。

この対策は住宅街の夜間気温を低下させるため、夜間の人工排熱を低減や、住宅地での緑化や保水化などにより地表面温度を気温よりも低下させ、住宅地の気温を積極的に冷やす街区づくりを推進するものです。

STEP1：現況の把握

対策地域を抽出するため、睡眠の阻害状況を把握します。例えば、夜間の暑熱によって目が覚めてしまう人数の分布を把握する手法があります。

まず、夜間における気温分布の調査を行います。図 2.21 は、東京都心部における夜間（午前5時）の気温分布です。山手線の内側において気温が高く、杉並区や世田谷区などでは比較的気温が低くなっています。

次に、夜間人口の分布を調査します。図 2.22 は、国勢調査における夜間人口分布です。夜間人口は、山手線の内側よりもやや外側の方が多くなっています。

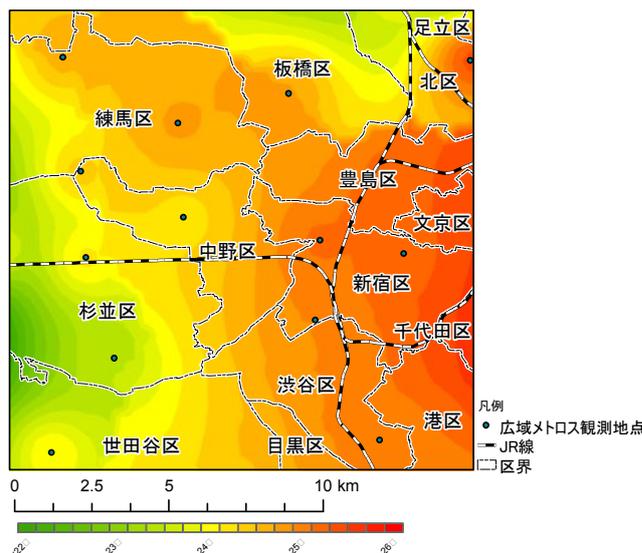


図 2.21 夜間気温分布（5時）
（広域メトロス測定結果，帝京大学三上岳彦氏）
資料）平成 20 年度環境省調査

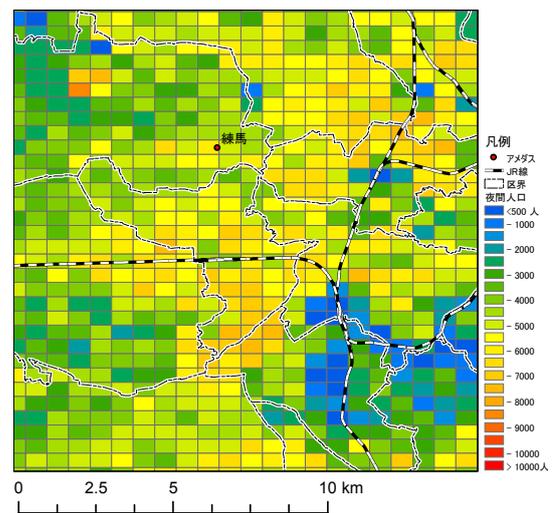


図 2.22 夜間人口分布
資料）国勢調査より作成

上記の夜間気温分布（5時）と夜間人口分布から得られる分布に、覚醒割合⁷（図 2.23）の要素を追加することにより、暑くて睡眠中に目が覚めてしまう可能性のある人口分布（図 2.24）を推定することができます。

図からは、気温がやや高く人口の多い地域や、気温はそれほど高くないが人口が多い地域で、推定覚醒人口が多くなっていることが分かりますが、これらの地域が対策地域として挙げられます。

現況の把握手法の詳細については、技術資料1「都市環境気候図の作成方法」、技術資料4「気温等の測定方法」を参照ください。

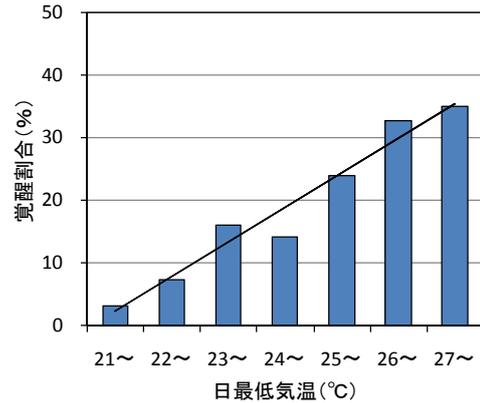


図 2.23 日最低気温に対する覚醒割合⁷
調査地域) 東京、大阪、福岡
調査対象人数) 延べ 362 名

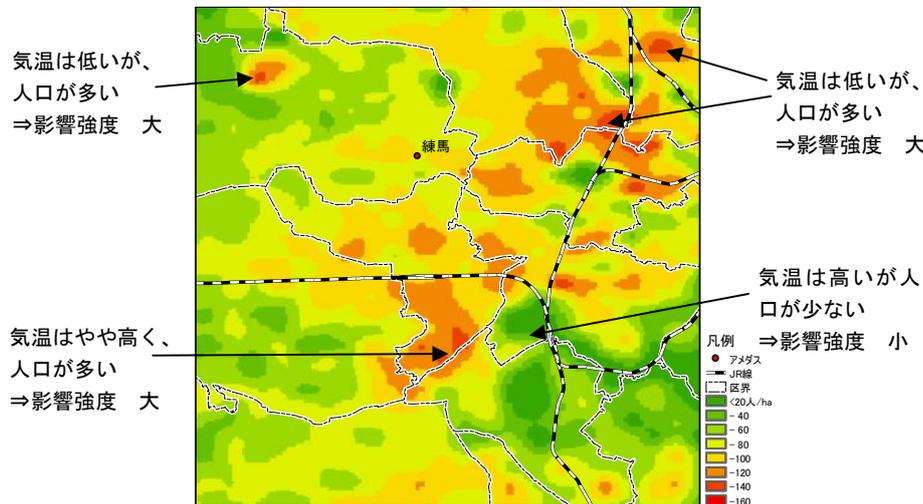


図 2.24 推定覚醒人口の分布 資料) 平成 20 年度環境省調査

STEP2：目標の設定

夜間の寝苦しさを緩和するための目標を設定します。

2.2.1 で現状の地方公共団体における目標設定の事例を紹介しましたが、ほとんどの地域で「熱帯夜日数の削減」、すなわち夜間気温の低下が目標として設定されています。事例においては具体的な数値目標が設定されている例は多くありませんが、例えば、日最低気温を 1℃低下させることを目標とすれば、図 2.23 より推定覚醒人口が 5%程度、削減することが期待できます。住宅地で実施する対策にはその地域の住民の理解・協力が得られやすいよう、分かりやすい目標を設定するなどの工夫が必要です。

⁷ 環境省：平成 20 年度ヒートアイランド対策の環境影響等に関する調査業務，平成 21 年 3 月

また、住民アンケートなどにより、どの程度の割合の方が寝苦しさを感じているかを把握し、これをもとに目標を設定することも考えられます。対策効果についてもアンケートなどにより寝苦しきの改善状況を直接に把握できる可能性があります。気温などの実測値や対策実施率などの客観的な指標も合わせて設定することが望まれます。

STEP3：対策実施計画の策定

夜間の寝苦しさを緩和するため、住宅地の夜間気温を低下させます。

住宅地の特徴として、都心部に比べて天空率が大きいことが挙げられますが、放射冷却により地表面の温度が低下し、地表面付近の気温低下量が大きくなることが期待できます。そのため、日中における地表面被覆への蓄熱量を抑制し、夜間の地表面温度の低下をより一層、促進する対策が有効であると考えられます。例えば、敷地の緑化や屋根面の高反射化、歩道や道路の保水化や街路樹による木陰の創出などです。

例えば、日最低気温にして1℃の気温上昇抑制を目標として対策手法を選定する場合、駐車場など敷地のコンクリートを緑化（全面積に対して約25%）することで約0.7℃、歩道などのアスファルトを保水化（全面積に対して約20%）することで約0.3℃、合計1℃程度、低下することが期待されます（図2.25）。また、図2.25では、対策実施量が増えるにつれ、地上高2.5mの気温と40mの気温が逆転していますが、地表面温度が低下して上空の気温より地上付近の気温が低くなる接地逆転現象が起きていることが分かります。

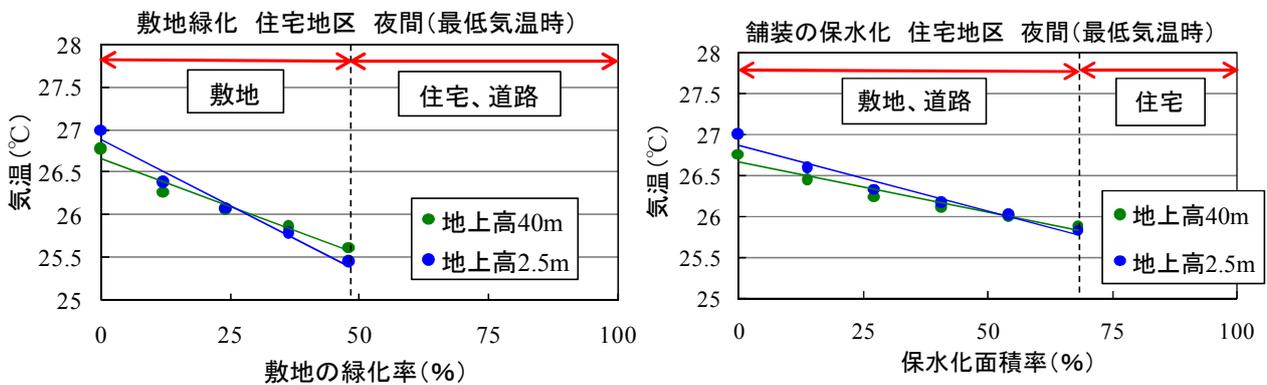


図 2.25 対策別気温低減効果（UCSS シミュレーション）

緑化が実施可能な面積は、全面積から建物面積(32%)と道路(20%)を除いた48%。また舗装の保水化が実施可能な面積は、全面積から建物面積(32%)を除いた敷地(道路含む)68%。
 計算方法や条件などの詳細は、3章「対策技術等データシート」を参照のこと。

ある程度の規模の緑地などが住宅街に近接している場合には、緑地で作られた冷気が住宅地に運ばれてくる冷気の「にじみ出し現象」が期待できます。そうした場合には、緑地からのにじみ出しを暖めずに住宅街に導入できるよう、緑地周辺の住宅敷地の重点的な緑化を推進したり、緑地と住宅街の境にあるアスファルト道路を保水化したり高反射化して蓄熱しないようにするなど

の方策も有効です（図 2.26）。

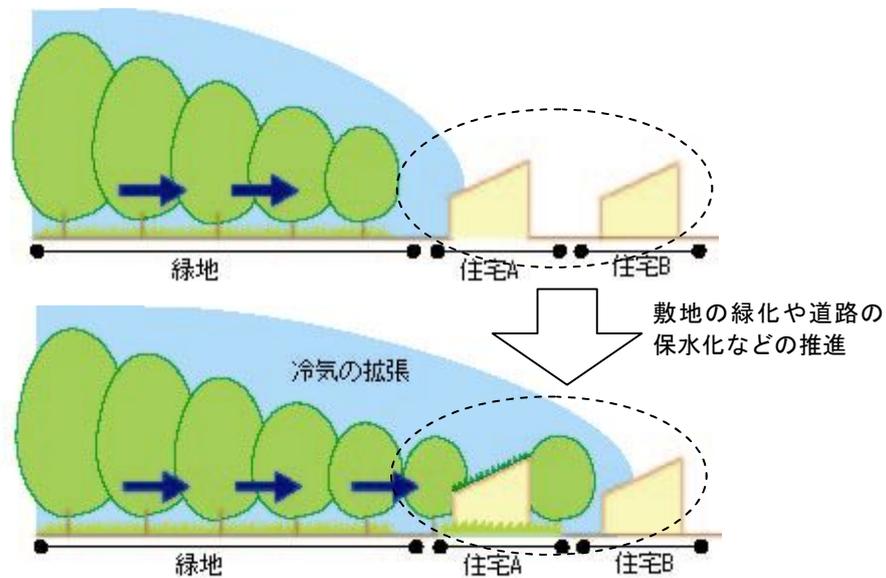


図 2.26 住宅地における近接緑地からの冷気活用イメージ⁸

また、普及啓発の観点も含め、住民と協力し、地区一帯で夕方に打ち水をするなどの対策も道路などの蓄熱量を減らすには有効です。

夜間の寝苦しさを緩和するもう一つの方策として、寝室内の気温や体感温度を低下させることも有効です。室内の壁面からの輻射熱を抑制するには、例えば西日の当たる西側の壁面に緑のカーテンなどによる壁面緑化を施すことが有効です。

STEP4：対策実施と評価

長期的に対応が求められる場合などには、2.2.1 で紹介したように緑化対策の義務付けや、建物緑化に対する助成など対策を制度的な施策として位置付けていくことが望まれます。

住宅地を対象として対策を推進するには、住民の理解と協力が欠かせません。また、住宅地全体で進めることにより対策効果が高まることが期待できます。そのため、例えば、住宅地における気温などの観測を支援したり、適切な睡眠の確保に向けた普及啓発を推進するなどにより、住宅街の屋外環境に対する住民の意識を高められる可能性があります。なお、住宅地における気温などの観測については、対策を評価する観点からも重要です。

⁸ 環境省：平成 16 年度都市緑地を活用した地域の熱環境改善構造の検討（中間報告）、平成 17 年 3 月

