

## 2.2 効果の定量化と評価手法の検討

これまでのまちづくりには熱環境の視点は導入されてこなかった。しかし、近年では極端な気象現象によって、例えば2013年の夏には猛暑日が30日を超える都市（甲府、多治見、京田辺など）が数多く出現し、暑熱がもたらす熱中症などの人の健康への影響などが懸念されることから、まちづくりにおいても熱環境を改善する取組等が期待される。そこで、適応策の導入手法や評価手法など、関連する情報を体系的に整理した資料（(仮称) 適応策導入マニュアル）を作成し、広く考え方を普及していく必要がある。

以下では、適応策導入マニュアルの基本的な考え方や掲載項目等について、基礎的な検討を行った。

### 2.2.1 作成の目的

まちと暑熱適応技術の最適な組み合わせをデザインし、健康・快適で賑わいのあるまちづくりの方法を示すことを目的とする。

### 2.2.2 基本的な考え方

まちづくりに適応策を導入していく考え方としては、例えば「暑熱対策が機能として盛り込まれたまちの景観づくり」などのように、単なるクールスポットの導入にとどまらず、まちづくりと一体となって導入されていくことが望ましい。

以下に基本的な考え方を3つに整理した。

#### ①まちの付加価値を高める涼しさづくり

- ・まちの課題や今後のまちづくりの方向性、さらには河川などの地域の冷熱資源の利用可能性を踏まえ、まちの賑わい創出など、単なるクールスポットづくりではなく、まちづくりに貢献できる涼しさづくりを目指す
- ・涼しさの機能がまちの景観になっていく

#### ②暑さのもとを絶ち涼しさを実感できる適応策の導入

- ・人が感じる暑さの仕組みを踏まえ、暑さのもとを絶ち、涼しさを実感できる適応策の導入を進める
- ・地域特性を踏まえ、必要に応じて複数の適応策を効果的に組み合わせる

#### ③気温評価から体感温度評価へ

- ・暑さを表す指標としては「気温」が広く普及しているが、対策効果として実感できるまでに気温を低下させることは難しい
- ・人は気温だけでなく、湿度、風、放射などの違いでも暑さや涼しさを感じることから、体感温度で評価する涼しさづくりの方法を提案する

### 2.2.3 マニュアルのねらいと対象読者

本マニュアルは、様々な読者や用途が考えられるが、以下のその一例を示した。

表 2.6 マニュアルのねらいと対象読者等

マニュアルのねらい	対象読者	使用例
①暑熱適応の必要性、有効性を示す資料づくり	国民全体	まちづくり WS などの配布 等
②都市計画やまちづくり計画、その他の計画等の作成時に参照する資料づくり	都市計画策定者、まちづくり協議会 等	地公体の気候変動適応計画の策定時 等
③まちづくりに具体的な暑熱適応策を導入する際に参照する資料づくり	開発事業者、設計者、施工者 等	適応策の設計時や評価の実施時 等

### 2.2.4 マニュアルの構成イメージ

マニュアルに記載すべき項目等のイメージを以下に示す。

表 2.7 適応策導入マニュアルの構成イメージ

章	項	内容
1 暑熱適応のまちづくりが目指すもの	1 背景	<ul style="list-style-type: none"> <li>・都市の暑熱化（気候変動及びヒートアイランド現象）</li> <li>・熱中症等の健康影響の増大</li> <li>・急速な高齢化（熱的弱者）</li> <li>・東京五輪 等</li> </ul>
	2 実現したいまちの姿	<ul style="list-style-type: none"> <li>・健康で快適</li> <li>・まちのコンパクト化（歩いて暮らせるまちづくり）との両立</li> <li>・夏でも賑わうまちづくり</li> </ul>
2 暑熱適応デザイン	1 基本的な考え方	<ul style="list-style-type: none"> <li>・まちの付加価値を高める涼しさづくり</li> <li>・涼しさを実感できる適応策の導入</li> <li>・気温評価から体感温度評価へ</li> </ul>
	2 進め方	<ul style="list-style-type: none"> <li>・まちの現状把握 <ul style="list-style-type: none"> <li>人の活動状況等の把握</li> <li>暑さの大まかな把握</li> <li>冷熱資源の把握</li> </ul> </li> <li>・暑熱環境の評価（対策場所の現状） <ul style="list-style-type: none"> <li>計測手法（温熱、人行動等）</li> </ul> </li> <li>・暑熱適応の目標設定 <ul style="list-style-type: none"> <li>まちづくりにおける暑熱対策の活用方策</li> </ul> </li> </ul>

				暑熱対策の目標設定 ・暑熱適応設計 目標を達成するための冷熱資源の活用と暑熱適応技術の組み合わせ ・合意形成 見える化手法 ・効果検証 計測・評価手法（温熱、人行動等）
3	暑熱適応技術	1	各種技術の効果と留意事項	・日射の遮蔽 ・水を活用した手法 ・緑を活用した手法 ・風を活用した手法 ・反射を活用した手法 ・.....
		2	対策事例	・事例概要

### 2.2.5 適応策の評価方法

暑熱対策が人の暑熱ストレスを低減させる効果に関する評価の現状、評価方法の課題と対応の検討方法を以下に示す。

#### 1) 暑熱環境評価の現状

人の熱交換プロセスは、環境側の熱環境要素（気温、湿度、放射、気流）と人側の要素（代謝量、着衣量）によって影響され、温熱環境を評価するにはこれらの要素を取り入れる必要がある。温熱環境の評価指標としては、生理物理学的要素（熱収支等）を考慮したものと、人の温熱感覚を考慮したものがあり、それぞれの目的に応じて指標が用いられている。

近年、温熱評価指標については精緻化が進められており、人の複雑な反応を前提として、熱環境を単一の指標で評価するため、人体モデルを用いた生理反応の関数化と熱収支計算にもとづく熱環境評価の方法が提案されてきた。しかし、それらのモデルの多くは、実際の人の反応、特に日本人における反応との対応の検証は必ずしも十分ではない。また、モデル計算においては、ばく露する熱環境は定常状態であることが想定されており、屋外の実在街区を歩行する際の時々刻々と変化する熱環境を評価する方法は開発されていないのが現状である。

以下に代表的な指標を整理したが、熱収支、人の温熱感覚の両方を考慮し、快適領域から酷暑領域まで評価できるオールマイティな指標は存在しない。

表 2.8 代表的な熱環境指標

指標	熱収支	温熱感覚・実験	評価域
PMV (予測平均温冷感申告)	○	○	快適領域
SET* (新標準有効温度)	○	○	快適領域
OT (作用温度)	○	×	領域の制約無し
WBGT (湿球黒球温度)	×	○	暑熱環境領域

○：考慮されている      ×：考慮されていない

## 2) 暑熱環境評価の課題

以下に、暑熱環境評価の問題点と課題を整理した。

### (1) 問題点①

上述のように、現状では人の複雑な生理反応等を反映した温熱評価指標は存在するものの、その算出には複雑な計算が必要になる指標が研究者の間では一般的に使われており、暑熱環境のレベルに応じて用いるべき指標が異なるなど、行政や民間事業者にとっては扱いにくい。

### (2) 問題点②

人が感じる暑さや涼しさの評価指標としては一般的には「気温」が用いられ、気温以外の要素を含めた「体感温度」という概念はあまり理解されていない。体感温度には気温、湿度、気流、放射が密接に影響するが、とりわけ「放射環境」についての理解は低く、人が実際に感じる暑さを改善する対策の効果を伝えにくい。

上述の問題点に対処するため、以下の2つが課題として設定される。

→課題①：統一的な尺度で、かつ計算が容易で分かりやすい評価方法が必要である。

→課題②：暑熱対策効果のイメージを共有するため、視覚的な描写を含め、評価結果を分かりやすく表現することが必要である。

## 3) 暑熱環境評価の検討方法

様々な暑熱適応策を組み合わせる導入することによる「人の暑熱ストレス」の軽減効果等を評価するが、上述の課題を踏まえ、以下の基本的な方針を設定し、新たな考え方を提案するのではなく、既往の知見を整理することで本検討に適した評価方法を構築する。

### (1) 検討の基本方針

**方針①**：人の暑熱ストレスによる評価

→体温調節反応などの暑熱による人の生理的・心理的な反応の程度で評価する

**方針②**：人体熱収支にもとづく評価

→人の体温調節反応を主たる熱収支の視点で捉え、対象領域の平均的な温熱環境を評価する

**方針③**：地方公共団体や民間事業者にも使いやすい評価体系

→簡便な評価方法と直感的に理解しやすい評価結果として表現する

## (2) 評価レベルの設定の手順

評価レベルの設定については、上記の方針に基づき、以下の流れで検討を進める。

- ① 温熱 4 要素を考慮した人体熱収支にもとづく必要な熱放散量で評価
- ② 人の身体の負荷をもとに、人が感じる快適性、人の健康リスクとの関係で閾値を設定

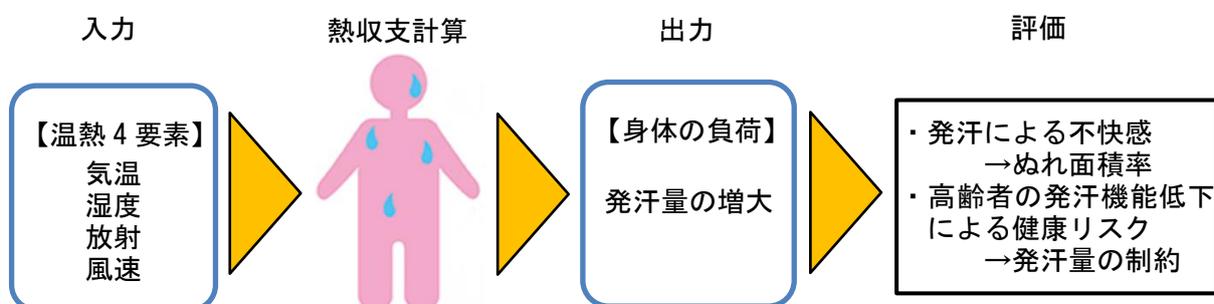


図 2.18 評価レベルの設定手順

## (3) 評価体系

人の暑熱ストレスとして、生理反応、心理反応、健康リスクの 3 つを考慮する。生理的な反応として、皮膚血管拡張と発汗による体温調節反応、また心理的な反応として快適性、さらには厳しい暑熱環境に一定時間以上ばく露することで引き起こされる様々な体調不良等の健康リスクの 3 つの軸を用いる。以下に、3 つの軸を用いた評価体系のイメージを示す。

表 2.9 評価体系のイメージ

環境温度 (4 要素)	低 $\xrightarrow{\hspace{10em}}$ 高			
体温調節反応	皮膚血流量の増大 (皮膚血管拡張、心拍数上昇)			
	発汗			
快適性	(快適)	中立	不快	
健康リスク				体調不良等
評価レベル	レベル 1	レベル 2	レベル 3	レベル 4

## 2.2.6 適応策の設計方法

複合的な暑熱対策技術を導入する際の設計方法について、設計の考え方と設計の実施手順のイメージを以下に示す。

### 1) 暑熱対策の設計の考え方

これまでのまちづくりにおいては、暑熱対策の視点は盛り込まれておらず、現状の暑熱対策は、感覚や経験的な涼しさ (心地良さ) を創出するために実施されている側面が強い。本事業では、人が感じる涼しさや暑熱ストレスの低減につながる、科学的な根拠を有する暑熱対策を推進する

ため、以下の方針で検討を進める。

#### (1) 設計の基本的な考え方

##### ①使いやすい評価ツールの活用

暑熱対策では、複数の対策技術を組み合わせることで効果が高まるが、各対策技術の対策効果を一定の精度でかつ簡便に計算できて、さらに効果を重ね合わせて評価可能なツールを用いる。

##### ②製品技術情報の整理

現在、普及している製品や技術は効果の表現が統一されておらず、暑熱ストレスの改善効果が比較しにくい。そこで、技術・製品の効果を設計者が簡単に計算できるよう情報を整理する。

#### (2) 評価項目の絞り込み

熱環境評価には、温熱4要素と人体側の2要素などの多くの要素が影響するが、要素を増やすほど評価方法が複雑になる。そこで、主たる評価項目と留意すべき項目として以下のように分類し、必要十分かつできるだけ簡便な評価とする。

##### ①主たる評価項目の例

暑熱対策の主たる熱環境改善のメカニズムが、放射環境の改善と気温の低下であることから、以下のように設定する。

- ・放射環境の改善効果と気温の低下効果を評価する
- ・ミストによる気温低下効果は、湿度の上昇による影響を相殺して評価する

##### ②留意すべき項目の例

ベースとなる気象条件によっては、熱環境改善効果が表れにくくなるため、以下の事項について留意しつつ設計できるよう工夫する。

- ・相対湿度が高いと、気化熱を活用する対策の効果が低くなり、人側についても汗が蒸散しにくくなるため、ベースとなる相対湿度を数段階で設定する
- ・風速が高いと、放射環境の改善効果よりも気温の高低による影響が大きくなるため、ベースとなる風速を数段階で設定する

#### (3) 複数技術による重ね合わせ効果の計算

放射環境の改善効果はMRT（平均放射温度）で評価することになるが、熱放射は4乗則で計算するため、実務者にとっては計算が煩雑になりがちである。そこで、近似式などを用いた簡便な手法を用いることとする。ただし、詳細な計算方法によってある程度の精度が確保されていることを検証する必要がある。

#### (4) 対策技術・製品情報の整理

- ①技術の概要と効果の発現メカニズム
- ②対策効果と効果の把握（予測）手法
- ③効果的な活用方法（技術の組合せ方法等）と留意事項

④事例、コストその他

2) 暑熱対策設計の実施手順

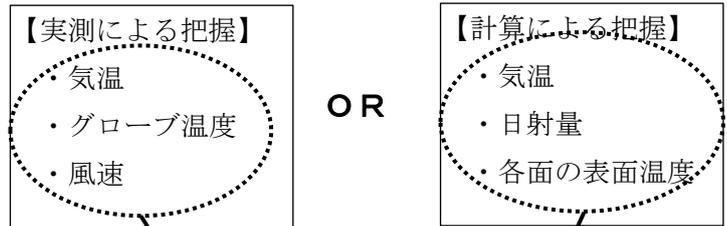
暑熱対策の設計手順のイメージを以下に示す。

気温と MRT で暑熱対策効果を評価する場合を例として、現況把握→目標設定→技術導入による効果計算（この場合 MRT の低下量）の流れを示す。

(1) 暑熱の現況把握

ある気象条件のもと、気温と MRT を把握する。把握方法には大きく分けて実測による方法とシミュレーション等の計算による方法がある。

MRT を算出する際の留意事項として短・長波放射の人体側の吸収率の設定があるが、実測の場合のグローブ温度の評価と比較できるように、計算により把握する場合の吸収率を「1」に設定する。



(2) 目標設定

①現況レベルの把握

気温と MRT から現況が「レベル4」であることを把握する。

②目標レベルの設定

事業実施場所の特性から、目標を「レベル2」に設定する。

③MRT の改善目標の設定

MRT の改善目標として 65℃から 45℃へ、20℃低下させることを目標とする。

		気温(℃)									
		28	29	30	31	32	33	34	35	36	37
MRT (℃)	25	26.5	27.5	28.0	28.5	29.0	29.5	30.0	30.5	31.0	31.5
	30	29.0	29.5	30.0	30.5	31.0	31.5	32.0	32.5	33.0	33.5
	35	31.5	32.0	32.5	33.0	33.5	34.0	34.5	35.0	35.5	36.0
	40	34.0	34.5	35.0	35.5	36.0	36.5	37.0	37.5	38.0	38.5
	45	36.5	37.0	37.5	38.0	38.5	39.0	39.5	40.0	40.5	41.0
	50	39.0	39.5	40.0	40.5	41.0	41.5	42.0	42.5	43.0	43.5
	55	41.5	42.0	42.5	43.0	43.5	44.0	44.5	45.0	45.5	46.0
	60	44.0	44.5	45.0	45.5	46.0	46.5	47.0	47.5	48.0	48.5
65	46.5	47.0	47.5	48.0	48.5	49.0	49.5	50.0	50.5	51.0	
70	49.0	49.5	50.0	50.5	51.0	51.5	52.0	52.5	53.0	53.5	
75	51.5	52.0	52.5	53.0	53.5	54.0	54.5	55.0	55.5	56.0	

※1 人に対する風速 1m/s、相対湿度 50%とした場合の評価レベル  
 ※2 気温 30℃のときの評価レベルの閾値を 29.5℃、40℃、47.7℃に設定して色付けした。

図 2.19 簡易体感温度 (℃) による評価

(3) 対策による MRT 低下量の計算

対策前と対策後の MRT を 4 乗則で計算してその差分を求めるのは煩雑なため、日射の遮蔽量や表面温度の低下量を用いて一次式で MRT の低下量を推定する。

$$\begin{aligned}
 \text{MRT 低下量} &= \text{対策前の MRT (4 乗則による計算。長波長放射、短波長放射の全球合計)} \\
 &\quad - \text{対策後の MRT (4 乗則による計算。長波長放射、短波長放射の全球合計)} \\
 \\
 \text{MRT 低下量} & \text{ (一次近似。対策による表温度低下量、短波長放射低下量)}
 \end{aligned}$$