

### 3 周辺地域の熱環境改善とは

#### 3.1 熱環境を表す要素

体感としての快適さを表すものは、その用途によっていくつも数量化されているものの、統一されてはいない。そのため、熱環境の改善方法を検討する上では、温熱環境を規定する要素のうち周囲での取組みによって改善可能な**気温、湿度、風（気流）、熱放射**に焦点を当てる。

周辺地域の熱環境を改善するにあたっては、地域の住民や企業の取組みが重要であり、その取組みは体感としての快適さが得られることで促進されると考えられる。

#### 温熱環境を規定する要素

人間は、体内で発生させた熱を外部環境と熱交換を行って、体温の調整を行っている。この熱交換に影響を与える要素は、温熱環境要素と呼ばれ、以下の6要素が挙げられている。

##### (ア) 代謝量

体内の代謝による熱平衡を指す。また、この代謝量はメット (met) という単位で表すことができる。1met は、椅座安静状態の代謝量で  $58.2\text{W}/\text{m}^2$  である。通常の事務作業では、1.1 ~ 1.2met である。

##### (イ) 着衣量

着衣の断熱性は、クロ (clo) という単位で表される。1clo は、気温は  $21.2^\circ\text{C}$  で、相対湿度 50%、気流  $0.1\text{m}/\text{sec}$  で、椅座安静にしている状態をいう。

##### (ウ) 気温

##### (エ) 熱放射

周囲の表面温度が低ければ気温が高くても快適になる。その放射環境を表現するために、平均放射温度という概念が用いられる。平均放射温度 (MRT) とは、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 は以下の数式で表すことができる。

$$MRT = \sqrt[4]{\sum \theta_{si}^4 \cdot \psi_i}$$

( $\theta_{si}$  : 面  $i$  の表面温度 ( ) ,  $\psi_i$  : ある位置から面  $i$  への形態係数)

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。

##### (オ) 風 (気流)

同じ気温においても、風が吹けば体感温度が下がるように、気流の流れが体感温度に影響を与える。また、人体が動いている時には、その動きも含めた相対気流として定義される。

## (カ) 湿度

湿度は、温冷感に影響を与える。また、低湿度・高湿度の条件においては、静電気の問題等の熱的不快感とは、別の不快感を与える。

また、以上のうち(ア)と(イ)は人間側の要素として、(ウ)から(カ)は外的な要素として分類することができる。

### 体感指標<sup>6</sup>

体感温度を数量化するために、以下のような体感指標が用いられている。

#### (ア) WBGT (Wet Bulb Globe Temperature) 湿球黒球温度 / 屋内・屋外の体感指標

WBGT は、ISO で定められた国際規格であり、作業者が労働環境において受ける暑熱環境による熱ストレスの評価を行い、速やかな判断を行うことを目的としている。この方法は、労働者が活動している一定時間における平均的な熱の影響を評価する場合には適用できるが、短時間に受けた熱ストレスの評価や、快適域に近い熱ストレスの評価には適用できない。また屋外、屋内とも労働者の活動環境としての適・不適切を判断することができる。各数式を以下に示す。

屋内もしくは屋外で太陽照射のない場合： $WBGT = 0.7tnw + 0.3tg$

屋外で太陽照射のある場合： $WBGT = 0.7tnw + 0.2tg + 0.1ta$

(tnw：自然湿球温度、tg：黒球温度、ta：乾球温度)

#### (イ) ヒートインデックス / 屋外体感指標

ヒートインデックスは、暑気症状を防ぐために、US ナショナルウエザーサービスが開発した、気温と湿度を加味した指標である。高温域においては、湿度の影響が大きくなり、比較的人の生理的な現象を良く反映する指標の一つと考えられる。アメリカなどでは、この指標を利用して天気予報などで熱中症への注意が呼びかけられている。ヒートインデックスは次の式から導かれる。

$$\text{HeatIndex} = -42.379 + 2.04901523T + 10.14333127RH - 0.22475541(T \times RH) - 6.83783 \times 10^{-3}T^2 - 5.481717 \times 10^{-2}RH^2 + 1.22874 \times 10^{-3}T^2 \times RH + (8.5282 \times 10^{-4}) \times T \times RH^2 - 1.99 \times 10^{-6} \times T^2 \times RH^2$$

(T：気温(F)、RH：相対湿度(%))

#### (ウ) PMV (Predicted Mean Vote) 快適指数/

デンマークのフィンガーによって提案された指標で、温度環境に関する6要素(空気温度、平均放射温度、気温、湿度、着衣量、代謝量)の組合せで求めることができ、ISO-7730として、国際規格となっている。PMVは、以下の式から導かれ、-3から3の数値によって表される。表5の7段階の感覚量が、数値として導かれる。

$$PMV = (0.303e - 0.36M + 0.028) [(M - W) - 3.05 \times 10^{-3} \{5733 - 6.99(M - W) - pa\} - 0.42 \{(M - W) - 58.15\} - 1.7 \times 10^{-5} M(5867 - pa) - 0.0014M(34 - ta) - 3.96 \times 10^{-8} fcl \times \{(tcl + 273)^4 - (tr + 273)^4\} - fcl \cdot hc(tcl - ta)]$$

(M:体表面積の新陳代謝率(1met=58W/m<sup>2</sup>))

<sup>6</sup> 既往の体感指標に関しては、以下の2つの資料を参考にした。  
・梅干野晃：住まいの環境学，放送大学教育振興会，1995  
・田辺新一：快適性の評価，熱と環境 Vol.47，pp.1-14，1996

W:外部仕事(ほとんどの活動では0) [W/m<sup>2</sup>]  
 Icl:衣服の熱抵抗[m<sup>2</sup>· /W]  
 fcl:裸体時皮膚表面積に対する着衣時の皮膚露出表面積の割合  
 ta:空気温度( ) tr:平均輻射温度( ) var:相対風速(m/s) Pa:水蒸気分圧(Pa)  
 hc:対流熱伝導率[W/(m<sup>2</sup>· )] tcl:衣服の表面温度( )

表 3 - 1 PMV 値の意味

-3	-2	-1	0	1	2	3
寒い	涼しい	やや涼しい	どちらでもない	やや暖かい	暖かい	暑い

**(工) ET\* (New Effective Temperatur) 新有効温度 / 屋内体感指標**

ET\*は、椅座位、着衣量 0.6clo の静穏な気流の場合を基準として、人体と環境との熱平衡式から導かれている。気温・風速・湿度・熱放射の組合せを〔気温=周囲面〕の温度(平均放射温度)、静穏気流、湿度 50%の時の気温で表現するものである。快適範囲は椅座位で着衣量 0.8~1.0clo で示し、室温 22.9~25.2、相対湿度 20~60%の範囲である。しかしながら任意の代謝量、着衣量に対して定義されているので、ET\*のみで、その環境が温熱的に快適かどうかを判断するのは、難しいといえる。

**(オ) SET\* (Standard New Effective Temperature) 標準新有効温度/ 屋内体感指標**

SET\*は、PMVで表す寒い暑いという指標に、その周辺を取り巻く温熱環境との間の熱平衡式に基づいて定義されるET\*を基にして異なった条件の温熱環境を比較できるように標準化した体感指標である。

SET\*では、着衣量を代謝量によって修正することによって、様々な代謝量における温冷感や快適感評価を可能にしている。

以上のように、温熱環境と体感を対応させるための定量的指標はいくつかあるが、本検討会で対象としているような屋外熱環境に特化して開発された指標はまだない。そこで、熱環境の改善方法を検討する上では、で示した温熱環境要素のうち気温、湿度、風(気流)、熱放射に焦点を当てることとする。

### 3.2 地域の熱環境改善プロセス

現在の都市形態は緑地で発生する冷気が建築物あるいは道路等の構造物で分断されるため、周辺地域の住民や企業はそのメリットの多くを享受できていない。そこで、地域の熱環境は次のようなプロセスで改善されると仮定した。

#### 冷気を活用する

まずは、現状でも緑地からの冷気を感じることもできる領域において、個々の住宅・ビルの敷地内や建物の緑化や改修などを行うことで、その冷気の活用を促す。それと並行し、道路や学校など公共施設において、行政による街路樹の整備などを進める。これらがその領域における熱環境を示す要素の改善を図り、ひいては当該領域に暮らす個人の体感としての熱環境改善を図ることができると考えられる。

#### 冷気を拡張する

これら個人と行政での取組みが空間的に連続性を持つことで、その領域全体で人工排熱や地表面からの熱放射が削減され、熱環境が改善されることで、冷気の活用可能な領域の拡張を図ることができると考えられる。

それら取組みを通じて得られる熱環境改善効果を情報として提供することで、地域内における更なる取組みを促進するとともに地域外の住民や企業の自発的な取組みを促していく。これらの繰り返しにより、冷気可能な範囲が徐々に拡大し、地域全体の面的な環境改善を図る。

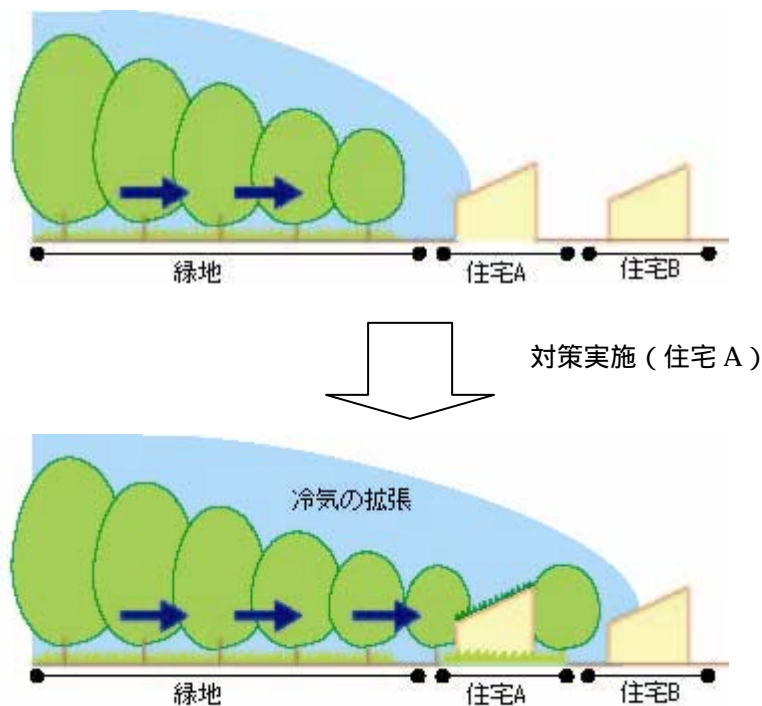


図3-1 地域の熱環境改善（イメージ図）

### 3.3 地域の熱環境改善の方向性

地域の熱環境改善の第一段階は、『冷気を活用する』ことから始まる。これは、緑地からの冷気による気温低減効果の認められる場所での実施である。しかしながら、都市においては、冷気を活用する上で阻害要因が多く存在するので、まずはこれらを取り除くことが求められる。

ここでは、1) 地表面被覆の改善、2) 自然環境活用型建築への改善、3) 都市形態の改善、4) 人工排熱の抑制の4つを「冷気を活用する」ための検討項目として位置づけ、その課題を抽出した。

また、「冷気を拡張する」段階では、促進要因を都市部に増やしていくことが必要となる。そこで、5) 緑のネットワークの形成、6) 水の活用・ネットワークの形成を「冷気を拡張する」ための検討項目として位置づけた。

#### 【研究・調査事例】

##### 1) 地表面被覆の改善

図3-2は新宿御苑における、樹林地内外での気温差と周囲平均放射温度(MRT)を比較したものである。樹林地(樹冠下)とアスファルト舗装(日向)面、芝生(日向)面との気温差は、最大でも1に満たない。一方、周囲の平均放射温度を表すMRTの測定結果では、日向と日陰では40近い温度差があり、緑陰で体感する涼しさは、主に周囲から受ける「放射」による受熱量の差に起因している部分が多い。

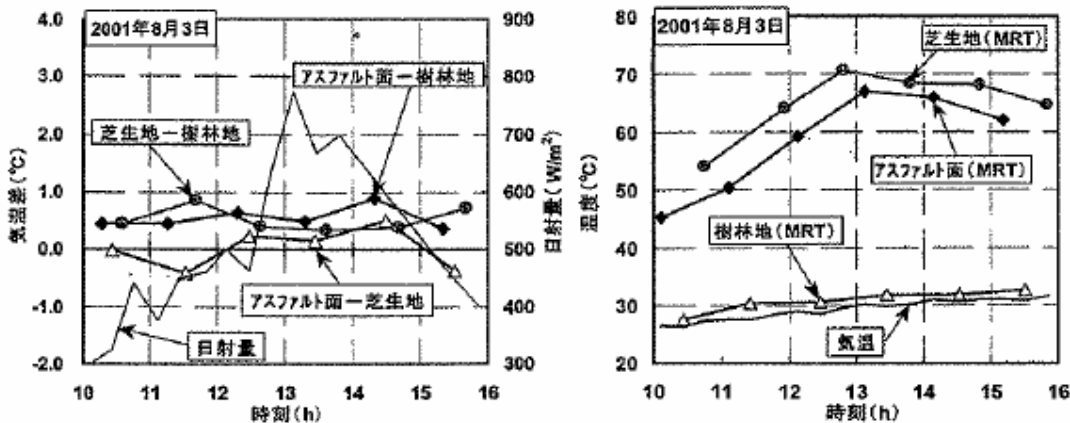


図3-2 樹林地内外での気温差と平均放射温度(MRT)の比較 - 新宿御苑の例<sup>7</sup>

また、樹木は地表面温度を低く保つだけでなく、日当たり側と日陰側では、図3-3のような空気の温度分布が生まれる。これに従うように、樹木の周りに冷気流が発生(図3-4)し、弱風時には、このように生成された冷気流を活用することも居住空間の熱環境改善に有効である。

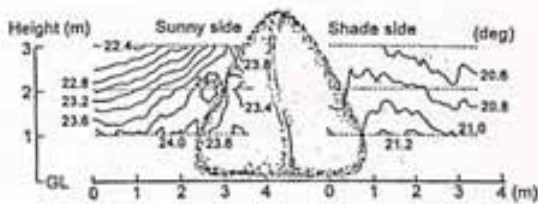


図3-3 樹木周辺の空気温度分布<sup>8</sup>

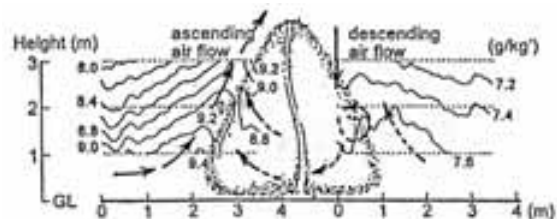


図3-4 樹木周辺の水蒸気圧分布

<sup>7</sup> 成田健一：ヒートアイランド対策としての緑地の機能 - 緑地での冷気生成・分布と都市気候への影響, 「緑の読本」シリーズ6 6別刷, pp.26-31, 2003

<sup>8</sup> 地球問題を考える会編：「樹木がつくる小さな気候」地球環境 - 北からの提言 -, No.3, 1994

右図は、密粒度舗装（通常の舗装）と保水性舗装について、各々5箇所の路面温度の温度測定平均値とシミュレーション結果を示したものである<sup>9</sup>。測定平均値の時間変化をみると、両者の温度差は降雨後の8月5日に最大7℃、それ以降、快晴の3日間も5℃程度の温度差が生じていたことが明らかになった。なお、夜間についても温度差は小さいが、保水性舗装が密粒度舗装より高くなることはなかった。

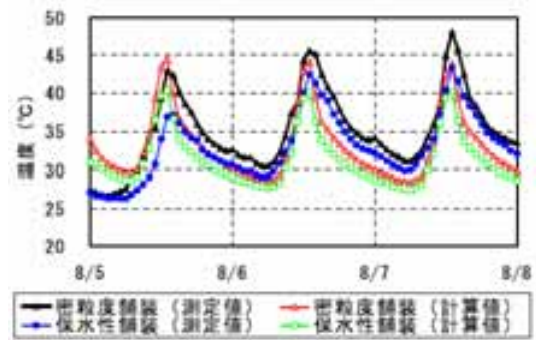


図3-5 測定値とシミュレーションの比較

## 2) 自然環境活用型建築への改善

下図は、練馬区の日射遮蔽と輻射熱対策が行われているマンションの住戸において、夏の室温変化を測定したグラフである<sup>10</sup>。図3-6は、一日中窓を開け放して生活した場合の温度変化が示されている。この場合は、外気温と室温がほぼ同じように移行していることがわかる。一方、図3-7では、夜の冷気を活かすために、夜は窓を開放し、日中窓を閉めて生活した場合の温度変化を示している。この場合、外気温が36℃を超えるときにも、室内の温度は28℃程度に保たれている。

このように、日射遮蔽と十分な輻射熱対策が行われていれば、都会においても、夜間の冷気を充分に室内に取り入れることで、快適な住環境を確保できると考えられる。

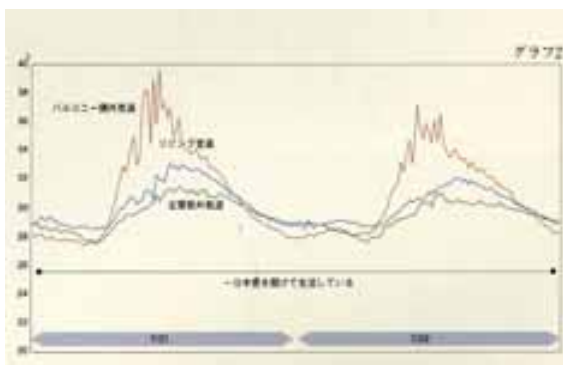


図3-6 夏期、一日中窓を開けた場合の温度変化

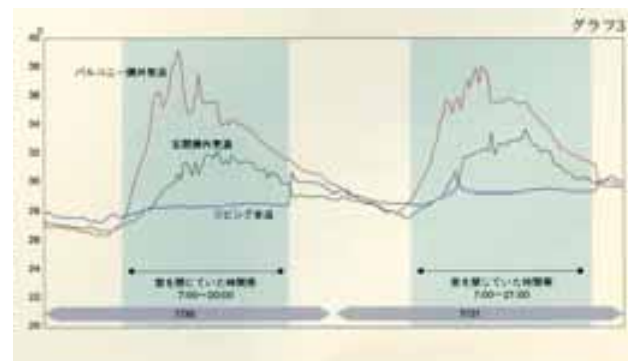


図3-7 夏期、日中窓を閉めた場合の温度変化

## 3) 都市形態の改善

図3-8は、地表面被覆の表面温度を求めるシミュレーションを行い、その結果からヒートアイランドポテンシャル（HIP：気温と全表面温度の平均的な差）を求めたものである<sup>11</sup>。

現状を緑化した場合よりもさらに建築形状も含めた対策を行うことでヒートアイランドポテンシャルが下がることが示されている。このことから、街並みとしての建築形状の変更は熱環境の改善に

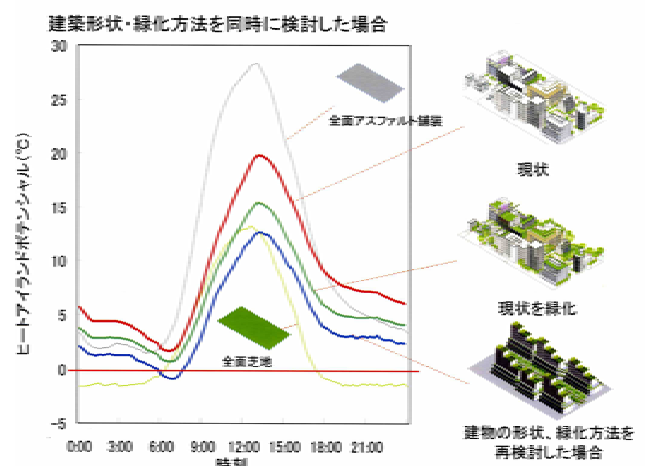


図3-8 各ケースにおけるHIPの日変化

<sup>9</sup> 根岸順一・小林一雄・近江淳一：保水性舗装の温度低減効果の評価，第25回日本道路会議論文集，平成15年11月

<sup>10</sup> 株式会社リプラン：ECOMIX通信，autumn vol.1，2002

<sup>11</sup> 梅干野研究室：3D-CAD対応型全面熱収支シミュレーションによる屋上熱環境の設計支援ツール，2004

有効であると考えられる。

成田ら(2001)<sup>12</sup>は、風洞実験により物質熱伝導率(風速との相関関係がある)、建物間隔(L)、建築の高さ(H)の関係について分析している。風向と平行な街路においては、建物間隔(街路幅)と建物高さの比率の違いによって風の強さはさほど変わらない。一方、風向と直交する街路においては、L/Hが1よりも小さい(街路幅より建築高さ大きい)ときに風の強さは極端に下がることが分かる。

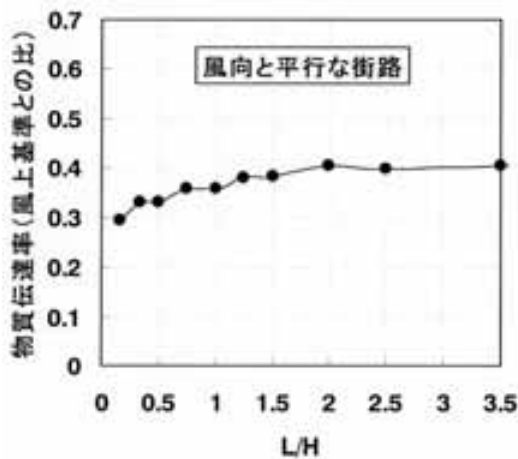
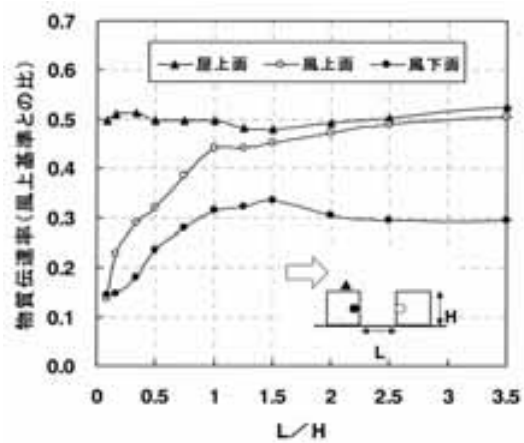


図3-9 風向と平行な街路の物質伝達率 図



3-10 風向と直行な街路における物質伝達率

### 5) 緑のネットワークの形成

図3-10に示される観測結果からは、樹冠下の気温が外気温に比べて低温である。また、温度・比容積(数値が大きいほど軽い)分布とともに樹木の近くで等数値線が密になっており、方向性のある空気流れがあると読み取ることができる。

緑のネットワークの代表例のひとつである並木道は、その気流と木陰の低温輻射と相互作用して、歩行者空間の快適性に重要な役割を果たしていると考えられるとともに、冷気の通り道としての役割が期待できる。

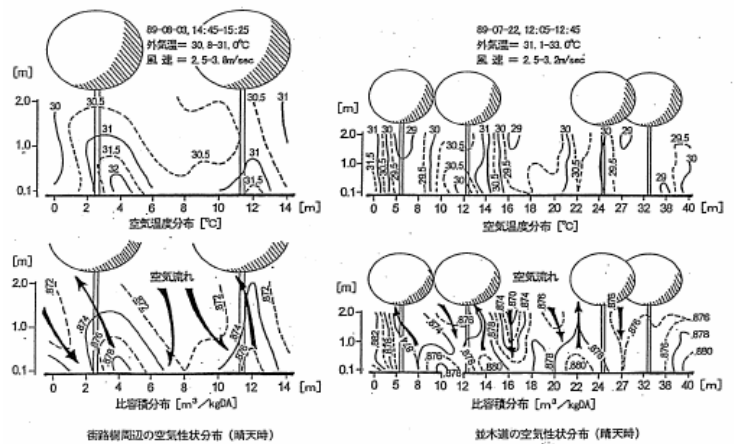


図3-11 晴れた日の並木周りの気温分布と空気流れ<sup>8</sup>

<sup>12</sup>成田健一・野々村善民・小笠頭：都市表面における対流物質伝達率に関する風洞実験・都市域における建物外表面対流熱伝達率に関する実験的研究(その2) - , 日本建築学会計画系論文集 第527号, pp.69-76, 2000

6) 水の活用・ネットワークの形成

成田ら<sup>13</sup>が1999年に隅田川で計測した例では、街路内の風に対して河川の風下である西側エリアでは、温度低下と絶対湿度の上昇が300~400mに程度に及んでおり(温度比1.0以下)、水のネットワーク形成が地域の熱環境改善に寄与することが明らかにされている(図3-12)。

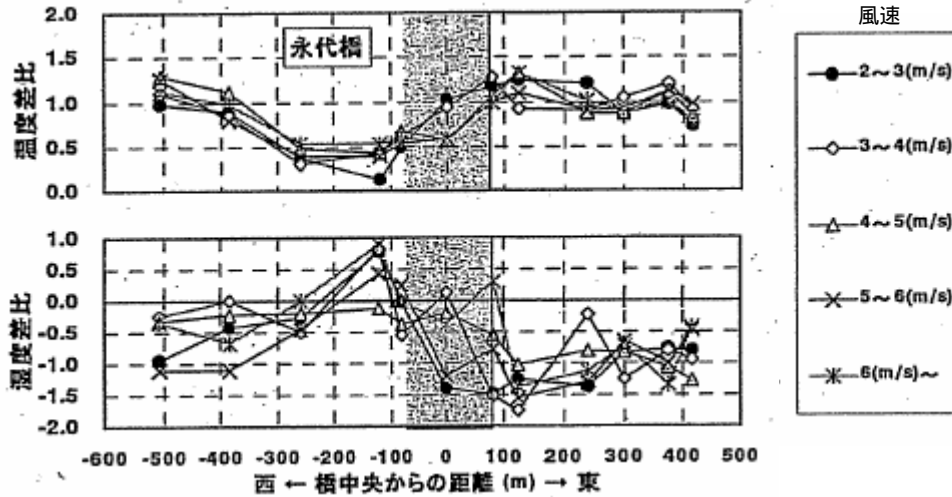


図3-12 風速別の温度差比・湿度差比分布

また、正味放射量 ( $R_n$ ) に対する貯熱量 ( $G$ ) の比率 ( $G/R_n$ ) が日中を通してほぼ0.9以上であり、河川面での熱収支においては蒸発散による潜熱が大きい植被面とは異なり、河川の水そのものの貯熱量が大きいことが明らかにされている(図3-13)。また、このような大きな貯熱は静止本体における熱伝導だけでは説明できず、河川の水自体の対流混合が大きく寄与しているとされている。

これらのことから、ヒートアイランド対策として水面を確保する場合、ネットワークさせて水の流れること及びある程度の水深を確保することで、貯熱量を大きくでき、水面の温度を低く保つことができると考えられる。

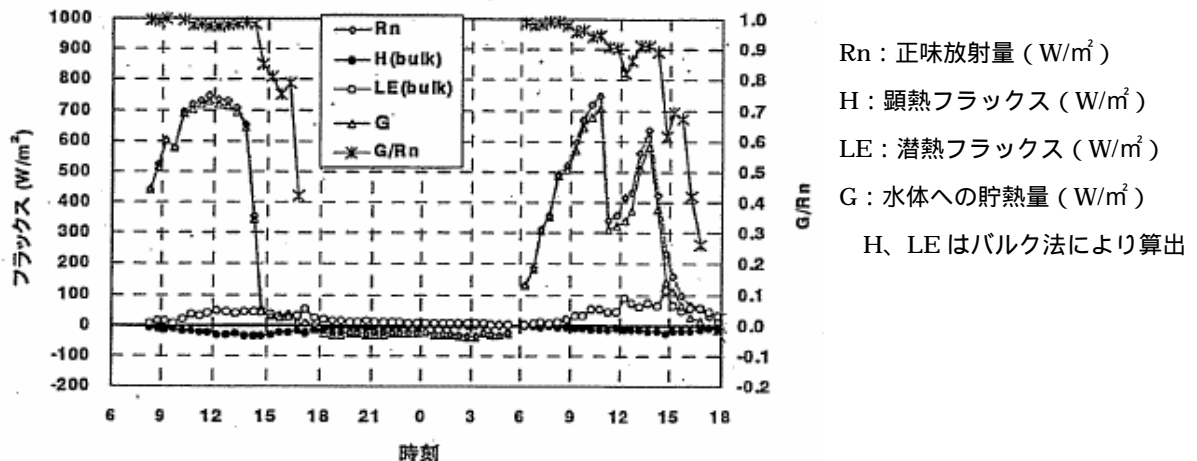


図3-13 水面における熱収支フラックスの時間変化

上記の6つの項目に対応して調査・研究事例と改善の方向性を整理した。

<sup>13</sup>成田健一・植村明子・三坂育正：都市気候に及ぼす河川水の熱的影響に関する実測研究，日本建築学会計画系論文集 第545号，pp.71-78，2001



表 3 - 2 地域の熱環境改善の方向性

	検討項目	調査・研究事例	改善の方向性
【阻害要因を減らしていく】 冷気を活用する	1) 地表面被覆の改善	樹冠下は MRT で陽のあたる芝生面と比べ最大 40 近く低い (図 3 - 2) 保水性舗装は密粒度舗装と比べて降雨後 3 日間 5 程度表面温度を低く保つことができる (図 3 - 5)	樹木等で地表面被覆を覆うことにより、地表からの熱放射を減らす 舗装面を保水性舗装や遮熱性舗装などに変更する
	2) 自然環境活用型建築への改善	日射遮蔽と輻射熱対策を実施した住戸においては、外気温が 36 を超えるときにも室内温度を 28 程度に保つことが可能 (図 3-7)。	環境活用型の工夫を取り入れ、気温、熱放射、風をコントロールし、体感温度として快適な環境をつくる。
	3) 都市形態の改善	現状を緑化した場合よりもさらに建築形状も含めた対策を行うことで HIP を下げることができる (図 3 - 8) 風向と直交する街路においては、街路幅より建築高さが大きい時に風の強さが極端に下がる (図 3 - 10)	熱放射を抑制するため、建物緑化と併せて建築物形態へも配慮する。 建物高さや街路幅の関係に配慮し、街路幅や街路に接するオープンスペースを確保する
	4) 人工排熱の抑制	例えば、高効率照明機器の導入により 7.2% の排熱低減、高性能熱線反射ガラスの導入により 15.2% の排熱低減効果が見込まれる <sup>14</sup> 。	高効率機器の導入などによりエネルギーの消費を減らすことや排出される顕熱を潜熱化することで、排出される顕熱量を減らす。
【促進要因を増やしていく】 冷気を拡張する	5) 緑のネットワークの形成	樹木周りの気流と木陰の低温放射との相互作用により、並木道は周辺の熱環境の改善に重要な役割を果たす (図 3 - 11)。 同面積の緑地であれば緑地を複数に分散させることで気温低下させる範囲が大きくなる (図 2 - 6)。	緑と緑をつなげるように配置することで緑地からの冷気を地域に広げることができると考えられる。
	6) 水の活用・ネットワーク形成	隅田川では数百 m の範囲で温度低下の効果がみられる (図 3 - 12)。	流れを作ることで水面の表面温度を低く保ち、周囲に温度低下を及ぼすことができるため、水のネットワークを形成する。 降雨後と同様の効果を得よう 中水を道路散水等に利用する。

<sup>14</sup> 国土交通省・環境省：平成 15 年度都市における人工排熱抑制によるヒートアイランド対策調査報告書，2003