

～ヒートアイランド現象の緩和をめざして～  
**緑による建築・街区空間の熱環境改善効果について**

平成17年8月12日（金）

国土交通省 都市・地域整備局 公園緑地課 緑地環境推進室

企画専門官：古澤、課長補佐：加藤（内線 32-972）

## 1.はじめに

近年、都市においてはヒートアイランド現象の進行が見られるなど熱環境が著しく悪化しています。例えば東京においては、過去100年間で平均気温が約3℃上昇しています。ヒートアイランド現象は、都心部の気温が郊外よりも島状に高くなる現象で、「熱の島」の更なる高温化や範囲の拡大が問題になっています。

緑はその蒸散作用、遮蔽作用などにより、夏季の気温低減に効果を発揮することがわかっています。一例として、国土交通省が実施したシミュレーション調査（平成15年6月発表）では、東京都心の10km四方の緑被率を約10%上げることにより、日最高・最低・平均気温が0.3℃低下することなどが明らかになっています。

本調査は、私たちの日常生活空間に近い建築・街区スケールの都市空間を緑化することによる夏季の熱環境改善効果を、3次元シミュレーションを用いて定量的に把握したものです。

## 2. 調査の概要（要約）

### （1）調査方法

本調査においては、東京工業大学の梅干野研究室が開発した熱環境の数値シミュレーションを用いて、東京都心部の建築・街区空間（モデル設定地区：東京都港区の南青山地区）を3次元CADで再現し、現況と緑化を進めた場合の熱環境の変化を、暑さの体感指標「平均放射温度（MRT）<sup>※1</sup>」及び当該街区が大気に与える熱環境負荷（顕熱負荷）を示す「HIP<sup>※2</sup>（ヒートアイランドポテンシャル）」の指標を用いて比較しました。

※1 MRT（平均放射温度）：

暑さ感を示す体感指標の一つで、周囲の全方向から受ける熱放射を平均化して温度表示したもの。

※2 HIP（ヒートアイランドポテンシャル）：

建物や地面がヒートアイランド現象を起こしうる度合いを評価するために開発された指標で、建物や地面などすべての表面から発生する顕熱の街区面積に対する割合。

プラスであると都市を暖める方向の効果、マイナスであると都市を冷やす方向の効果を発揮。

## (2) 結果 (要約)

シミュレーションの結果、以下のような緑化の効果が確認されました。

### A. 「街路沿いの街並み」(緑化に配慮した街並みの再整備を行った場合)

緑被率：【現況】 10% → 【CASE2】 54%

OMRTが気温以下の区域が**現況の約1/4 (23%)**から、**約1/2 (49%)**に**拡大**。

OHIPは現況と比べて**最大で約7°C低減**。

### B. 「倉庫・駐車場敷地」(立体公園制度を活用した上部空間の緑化)

緑被率：【現況】 3% → 【CASE2】 82%

OMRTが気温以下の区域の割合が、**現況の3%から、約9割(88%)**に**大幅に拡大**。

OHIPは現況と比べて**最大で約12°C低減**。夜間はHIPが**最低で-1.6°C**と、**都市を冷やす効果を発揮**。

### C. 「商業・業務街区(中高層)」(建築物の敷地内緑化)

緑被率：【現況】 11% → 【CASE1】 31%

OMRTが気温以下の区域が現況の**5%から、9%に倍増**。

OHIPは、現況と比べて**全般的に2~3°C低減**。

### D. 「集合住宅街区(中低層)」(敷地内緑化) 緑被率：【現況】 6% → 【CASE1】 52%

OMRTが気温以下の区域が、**現況の約3倍(12%→33%)**に**増加**。

OHIPは現況と比べて**最大で約10%低減**。特に**気温の上昇する昼間の低減量が大**。

## 3. 調査の内容と結果 (詳細)

### (1) 調査の内容

- 表-1のA~Dの異なるタイプの4つの街区について、現況及び緑化ケースを設定して3次元シミュレーション上で再現し、それぞれについて、暑さの体感指標(MRT)、及び当該街区が大気に与える熱環境負荷(顕熱負荷)(HIP)を計算しました。

#### <シミュレーションにおける気温等の設定条件>

- ・MRT、HIPとも、夏季の標準気象データ(8月5日)を設定。
- ・MRTについては全て、8月5日の高温化が顕著な正午12時、気温32.5°Cでの状況を示す。また、測定地点は、大人が歩く時に暑さを感じる高さの代表値として地上から1.5mに設定した。

街区のタイプ	設定したケース ( )内は緑被率			計算内容	
	【現況】	【CASE1】	【CASE2】	MRT	HIP
A. 街路沿いの街並み	○ (10%)	緑化を進めた場合 (43%)	緑化に配慮した街並みの再整備を行った場合(54%)	○	○
B. 倉庫・駐車場敷地	○ (3%)	緑化を進めた場合 (52%)	上部を立体公園とした場合(82%)	○	○
C. 商業・業務街区(中高層)	○ (11%)	緑化を進めた場合 (31%)		○	○
D. 集合住宅街区(中低層)	○ (6%)	緑化を進めた場合 (52%)		○	○

表-1 シミュレーションを行った街区のタイプと設定ケース

## (2) 計算結果

### A. 「街路沿いの街並み」(緑化に配慮した街並みの再整備を行った場合)

#### <ケース設定の内容>

【現況】現況の街並み(緑被率10%)

【CASE1】現況の街並みに対し、街路樹による緑化と建築物の一部の屋上・壁面緑化を行った場合(被率43%)

【CASE2】緑化に配慮して建築形態を見直すなど街並みを再整備し、街路樹を3列に、屋上・壁面についても可能な限り緑化を進めた場合(緑被率54%)

#### <シミュレーション結果>

【CASE1】現況の街並みを緑化して緑被率を43%まで向上した場合

○MRTが気温以下の区域が、現況の23%から、非建ぺい区域の43%に倍増

○HIPも現況と比べて最大4℃程度低下

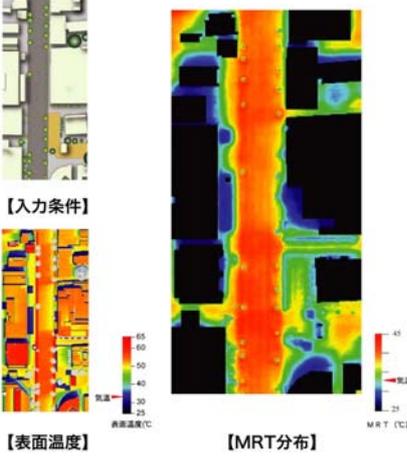
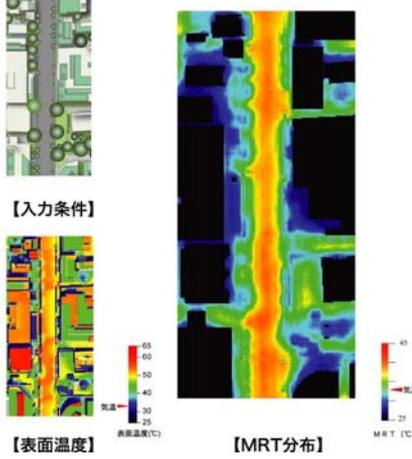
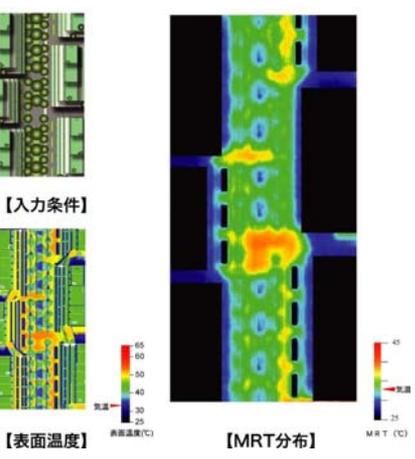
【CASE2】緑化に配慮した街並みの再整備を行い、緑被率を54%まで向上した場合

○MRTが気温以下の区域が、現況の23%から、非建ぺい区域の約1/2(49%)に拡大。

○MRTが気温+5℃を上回る区域は、現況の39%から3%へと、現況の1/13に低下。

○都市全体を暖める影響(HIP)は、現況と比べて最大7℃程度改善。

## MRTの比較 (日中12時(正午)、気温32.5℃)

<b>【現況】</b> 現況の街並み (緑被率10%)	<b>【CASE1】</b> 現況の街並みに対し、 街路樹による緑化と建築物の 一部の屋上・壁面緑化を行った 場合 (緑被率43%)	<b>【CASE2】</b> 緑化に配慮して建築 形態を見直すなど街並みを再 整備し、街路樹を3列に、屋 上・壁面についても可能な限り 緑化を進めた場合(緑被率54%)
 <p>【入力条件】</p> <p>【表面温度】</p> <p>【MRT分布】</p>	 <p>【入力条件】</p> <p>【表面温度】</p> <p>【MRT分布】</p>	 <p>【入力条件】</p> <p>【表面温度】</p> <p>【MRT分布】</p>
MRTの値の分布(非建ぺい地) 気温以下: 23% 気温超~+5℃未満: 38% 気温+5℃以上: 39%	MRTの値の分布(非建ぺい地) 気温以下: 43% 気温超~+5℃未満: 43% 気温+5℃以上: 15%	MRTの値の分布(非建ぺい地) 気温以下: 49% 気温超~+5℃未満: 48% 気温+5℃以上: 3%

## HIPの比較

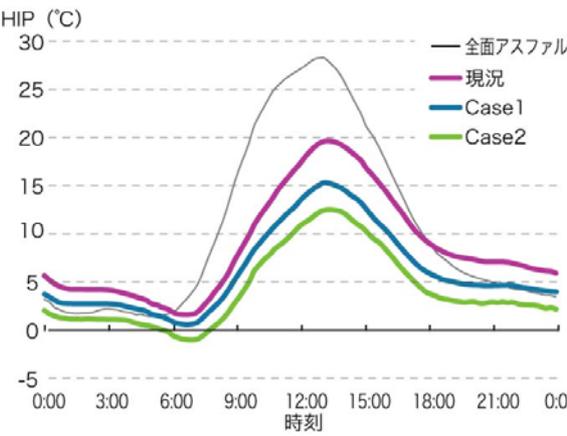
	<b>【現況】</b> (緑被率10%)	<b>【緑化ケース1】</b> (緑被率43%)	<b>【緑化ケース2】</b> (緑被率54%)
 <p>HIP (°C)</p> <p>— 全面アスファルト — 現況 — Case1 — Case2</p> <p>時刻</p>	最高値 19.8℃(13:00) 最低値 1.7℃(6:30)  昼間の日射が建築物や舗装面に蓄熱されており、高いHIPが夜間にも継続している。	最高値 15.4℃(13:00) 最低値 0.7℃(6:45)  現況と比べて最大で4℃程度HIPが改善。	最高値 12.7℃(13:15) 最低値 -0.9℃(6:45)  現況と比べてHIPが最大で約7℃改善。

図-1 A. 「街路沿いの街並み」におけるシミュレーション結果

## B. 「倉庫・駐車場敷地」(立体公園制度を活用した上部空間の緑化)

### <ケース設定の内容>

【現況】現況の街区（緑被率3%）

【CASE1】現況の街区で、中高木植栽など緑化を進めた場合（緑被率52%）

【CASE2】倉庫・駐車場の上部を緑豊かな立体公園としたケース（緑被率82%）

※ 立体公園制度（参考3）の活用を想定

### <シミュレーション結果>

【CASE1】現況の敷地を緑化して緑被率を52%まで向上した場合

○ MRTが気温以下の区域が、現況の3%から、非建ぺい区域の22%と約7倍に増加。

○ HIPは、現況と比べて最大6℃程度改善。

【CASE2】倉庫・駐車場の上部を緑豊かな立体公園とした場合

○ MRTが気温以下の区域が、現況の3%から、非建ぺい区域の約9割（88%）に拡大。

○ MRTが気温+5℃を上回る区域が、現況の68%から1%と約1/70に低下。

○ HIPは、現況と比べて最大12%程度改善。

○ 夜間はHIPが最低で-1.6℃と、都市を冷やす効果を発揮。

**MRTの比較** (日中12時(正午)、気温32.5℃)

【現況】現況の街区 (緑被率3%)	【CASE1】現況の街区で、中高木植栽など緑化を進めた場合 (緑被率52%)	【CASE2】倉庫・駐車場の上部を緑豊かな立体公園としたケース (緑被率82%)
<p>【入力条件】</p> <p>【表面温度】</p> <p>【MRT分布】</p>	<p>【入力条件】</p> <p>【表面温度】</p> <p>【MRT分布】</p>	<p>【入力条件】</p> <p>【表面温度】</p> <p>【MRT分布】</p>
<p>MRTの値の分布(非建ぺい地)</p> <p>気温以下: 3%</p> <p>気温超~+5℃未満: 29%</p> <p>気温+5℃以上: 68%</p>	<p>MRTの値の分布(非建ぺい地)</p> <p>気温以下: 22%</p> <p>気温超~+5℃未満: 56%</p> <p>気温+5℃以上: 22%</p>	<p>MRTの値の分布(非建ぺい地)</p> <p>気温以下: 88%</p> <p>気温超~+5℃未満: 11%</p> <p>気温+5℃以上: 1%</p>

**HIPの比較**

	【現況】 (緑被率3%)	【緑化ケース1】 (緑被率52%)	【緑化ケース2】 (緑被率82%)
<p>HIP (°C)</p> <p>時刻</p> <p>— 全面アスファルト</p> <p>— 現況</p> <p>— Case1</p> <p>— Case2</p>	<p>最高値 23.0℃(13:00)</p> <p>最低値 1.6℃(6:30)</p> <p>昼間の日射が建築物や舗装面に蓄熱されており、高いHIPが夜間にも継続している。</p>	<p>最高値 17.4℃(13:00)</p> <p>最低値 0.7℃(6:45)</p> <p>現況と比べて最大で6℃程度HIPが改善。</p>	<p>最高値 11.3℃(13:15)</p> <p>最低値 -1.6℃(6:45)</p> <p>現況と比べてHIPが最大で約12℃程度改善。さらに夜間はHIPが最低で-1.6℃と、都市を冷やす効果を発揮</p>

図-2 B. 「倉庫・駐車場敷地」(立体公園制度を活用した上部空間の緑化)のシミュレーション結果

## C. 「商業・業務街区（中高層）」（建築物の敷地内緑化）

### <ケース設定の内容>

【現況】現況の商業・業務街区（中高層）（緑被率 11%）

【CASE1】現況の街区において建築敷地内の緑化を進め、中高木を配置した場合  
（緑被率 31%）

※緑化地域制度（参考3）や、緑化施設整備計画認定制度（参考4）  
を活用した場合の建築敷地内緑化を想定

### <シミュレーション結果>

【CASE1】現況の敷地を緑化して緑被率を 31% まで向上した場合

OMRT が気温以下の区域が、現況の 5% から、非建ぺい区域の 9% と倍増。  
OHIP は、現況と比べて全般的に 2~3℃ 改善（低減）。

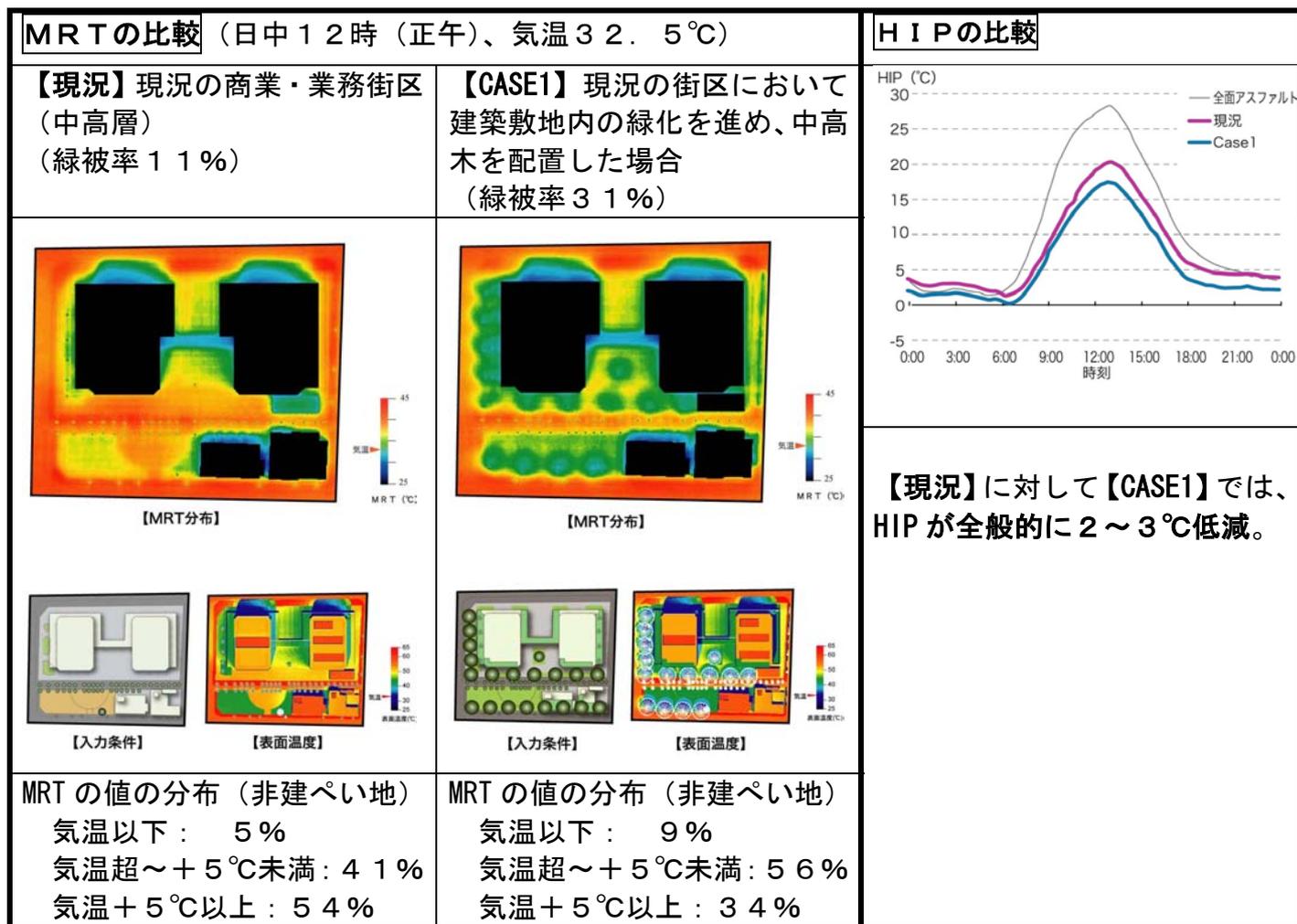


図-3 「商業・業務街区（中高層）」のシミュレーション結果

## D. 「集合住宅街区（中低層）」（敷地内緑化）

### <ケース設定の内容>

【現況】 現況の集合住宅街区（中低層）（緑被率6%）

【CASE1】 現況の街区において中高木植栽などの敷地内緑化を進めた場合  
（緑被率52%）

### <シミュレーション結果>

【CASE1】 現況の街区において敷地内緑化を進めた場合（緑被率52%）

○MRTが気温以下の区域が、現況の約3倍（12%→33%）に増加。

MRTが気温を超える区域が、現況の約9割（88%）から、7割以下（67%）に低下。  
気温+5℃以上の区域は、現況の5%から0%へと減少。

○HIPは、現況と比べて最大で10℃程度改善（低減）。特に気温の上昇する昼間における低減量大きい。

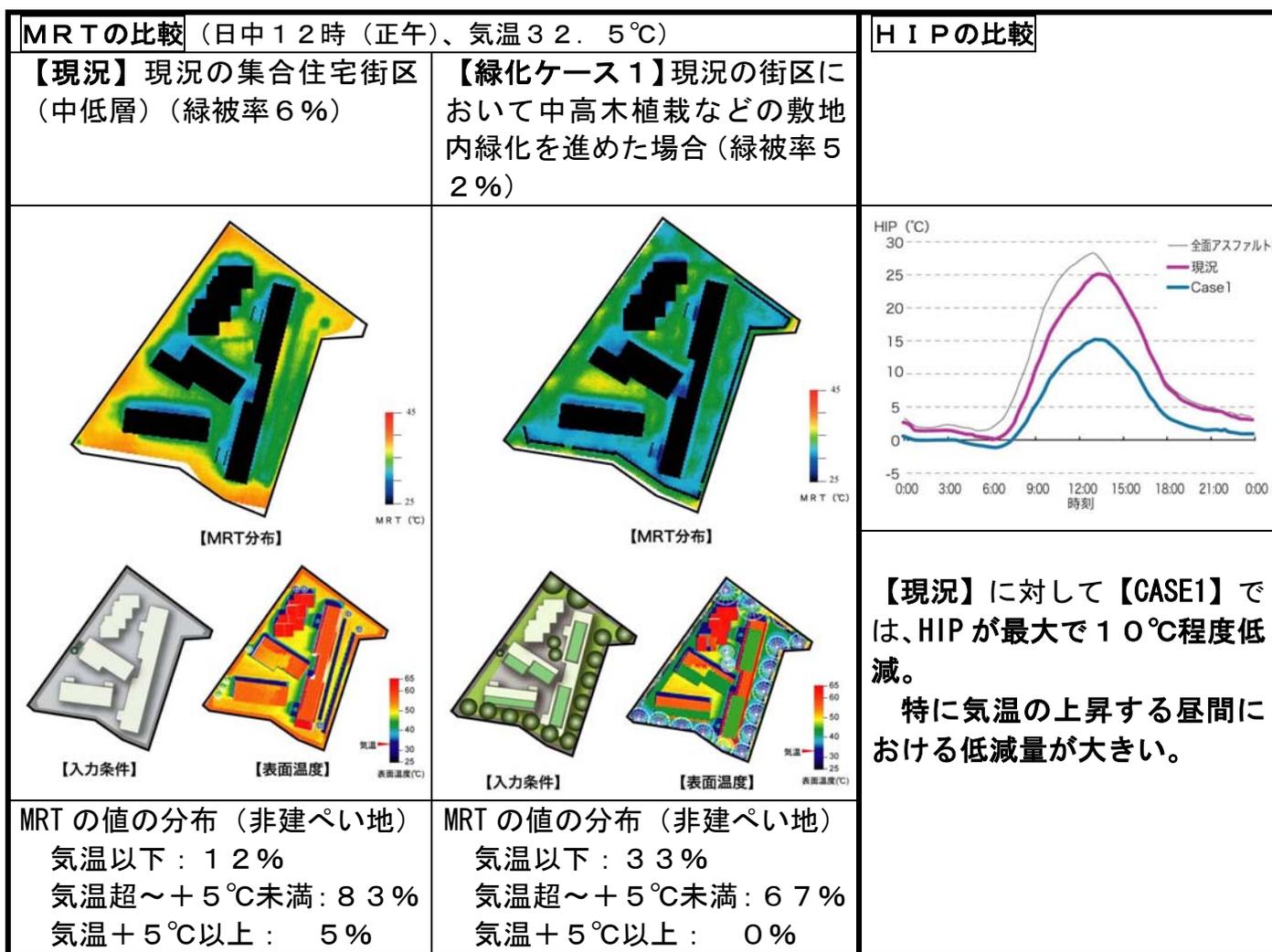


図-4 「集合住宅街区（中低層）」のシミュレーション結果

### 【参考1】MRTとは

夏場に建物の外部空間において人々が暑さを感じるのは気温ばかりでなく、周囲に存在する地物からの熱放射が大きく影響しています。建物や地面からの熱放射は、その表面温度に依存し、都市の構成要素（建物、植栽、地表面等）の形状とその構成材料により直接的に規定されるため、緑化手法等の対策効果が計りやすい要素といえます。平均放射温度（MRT）は、周囲の全方向から受ける熱放射を平均化して温度表示したものです。

$$MRT = \sqrt[4]{F_1 \times T_{s1}^4 + F_2 \times T_{s2}^4 \dots F_3 \times T_{s3}^4} - 273.2$$

$F_n$  : ある位置からの微少面への形態係数

$T_{sn}$  : 微少面の表面温度 (K)

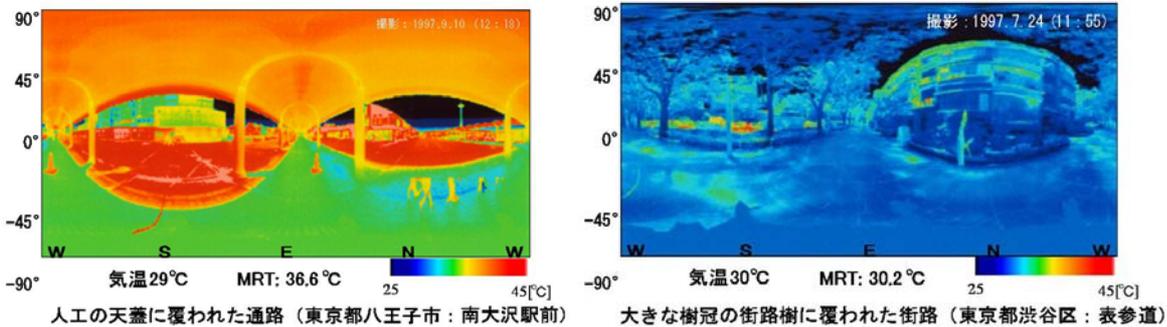


図-5 MRTの計測例

(人工の天蓋に覆われた通路 気温 29°C, MRT 36.6°C、大きな樹冠の街路樹に覆われた通路 気温 30°C, MRT 30.2°C)

### 【参考2】HIPとは

建物や地表等の表面では、表面温度と気温の差に起因した顕熱の移動（対流熱伝達）が行われており、表面温度が気温より高ければ高いほど、顕熱が大気に多く放出されています。

HIP（ヒートアイランドポテンシャル）は、一定の区域がヒートアイランドを起こし得る度合いを評価する為に東京工業大学の梅干野教授らが提案した指標であり、敷地や街区が平坦であると仮定したときに、その面が気温より何度上昇するのに相当するかを示すものです。HIPが大きいほど表面と気温の温度差が大きく、ヒートアイランド現象の原因となる大気への顕熱負荷が大きいことを示します。

$T_s$  : 街区内の微小面の表面温度 (°C)

$T_a$  : 気温 (°C)

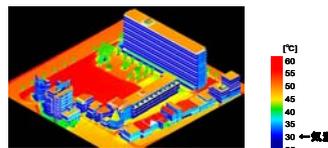
$A$  : 街区の水平面投影面積

$dS$  : 微小面積 (m<sup>2</sup>)

$$HIP [^{\circ}C] = \frac{\int_{all\ surfaces} (T_s - T_a) dS}{A}$$

#### 大気顕熱負荷

- = ①全表面からの顕熱(HIP)
- + ②屋内から換気で放出される顕熱
- + ③室外機から大気へ直接出る顕熱
- + ④熱源機器からの排熱
- + ⑤自動車等の排熱



20°C (HIP) + 30°C (気温)

= 50°C (表面温度)

凸凹のある街区を平面と考えた場合、その面の平均的な表面温度が気温より20°C高いことを示す（例：気温；30°C→表面温度；50°C）

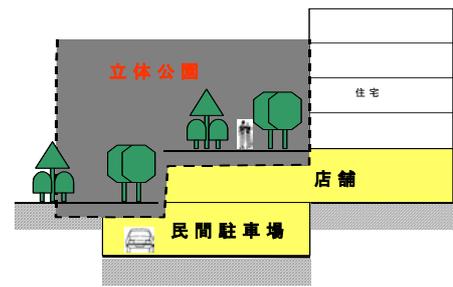


### 【参考3】立体公園制度（都市公園法第20条）

都市公園の区域を立体的に定めることにより、土地の有効利用を図り、緑の少ない市街地に効率的に公園緑地を創出する制度。

新設、既設の公園や建物のいずれにも適用可能であり、人工地盤の上部に都市公園を設置するなど、他の施設と都市公園を一体的に整備することができる。

立体公園制度のイメージ



### 【参考4】緑化地域制度（都市緑地法第34条）

良好な都市環境の形成に必要な緑が不足している市街地において早期に緑を創出するために、市町村が、都市計画の地域地区として「緑化地域」を指定することにより、敷地面積が一定規模以上の建築物の新築・増築に対し、敷地面積の一定割合以上の緑化を義務づけることができる制度。



緑化地域のイメージ

### 【参考5】緑化施設整備計画認定制度（都市緑地法第60条）

市町村が緑の基本計画に定める「重点的に緑地の保全に配慮を加えるべき地区（「緑化重点地区」）」や都市計画に定める「緑化地域」等において、建築物の屋上、空地など敷地内を緑化する計画を市町村が認定することで、事業者が緑化施設の整備に関して固定資産税の課税標準の特例措置を受けることができる制度。既存の建築における緑化施設の整備も対象となる。

写真：緑化施設整備計画認定制度の適用例



## 4. まとめ

緑が日射をさえぎり、また蒸散作用により、都市の気温の上昇を抑える効果があることはこれまでの研究でも示されてきましたが、今回、実在する建築・街区をモデルとした3次元空間をシミュレーションで再現することにより、建築・街区空間を緑化することによる体感温度の改善、当該建築・街区空間が大気に及ぼす熱的影響の低減などの効果が定量的に明らかとなりました。

### 【備考】

本調査の実施にあたっては、「ヒートアイランド現象の緩和に資する緑化ビジョン計画及び効果予測に関する検討委員会」（委員長：丸田頼一 千葉大学名誉教授）を設置し検討を行いました。

また、シミュレーションの実施については東京工業大学梅干野<sup>ほやの</sup>晃教授の指導・協力をいただきました。