

～ヒートアイランド現象の緩和をめざして～  
緑による熱環境改善効果に関する調査について

平成16年8月13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：新田(内線 32-912)

**発表の主旨**

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、その「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。とりわけ今年は猛暑が続き、多数の熱中症患者が出るなど、都市の熱環境の悪化は社会に大きな影響を及ぼしています。

このような状況を改善するひとつの手段として、緑化の推進や緑地の保全が注目されています。緑は日射を遮り、地表面の被覆を改善する等により気温の上昇を抑えるなど熱環境を改善する機能をそなえているからです。そのため、平成16年3月に定められた「ヒートアイランド対策大綱」にも緑化の推進と緑地の保全は重要な課題として挙げられています。

こうした背景から、国土交通省では、都市における緑の政策に活かすべく、緑の効果を把握するための各種の調査を行っています。今回、最近行った調査結果の一部を速報として報告いたします。

**調査の内容**

調査の内容は以下のとおりです。

**【調査1】都市の緑に係る熱環境計測**

緑による熱環境改善効果を熱画像カメラ等で実際に計測しました。

手法：熱画像カメラでの表面温度の計測等

調査対象エリア：六本木六丁目再開発地区(六本木ヒルズ)(東京都港区)

**【調査2】緑化効果の3次元シミュレーション**

実在する街区をモデル的に緑化した場合の効果について、3次元モデルによるシミュレーションを行いました。




手法：現状及び緑化した街並みの3次元モデル作成と、体感指標による熱環境のシミュレーション

モデル設定エリア：南青山地区(東京都港区)

## 調査結果の概要（要約）

### 【調査1】都市の緑に係る熱環境計測（熱画像カメラでの把握）

平成16年7月22日(木)午後2時(14時)の現地実測の結果は以下のとおりでした。

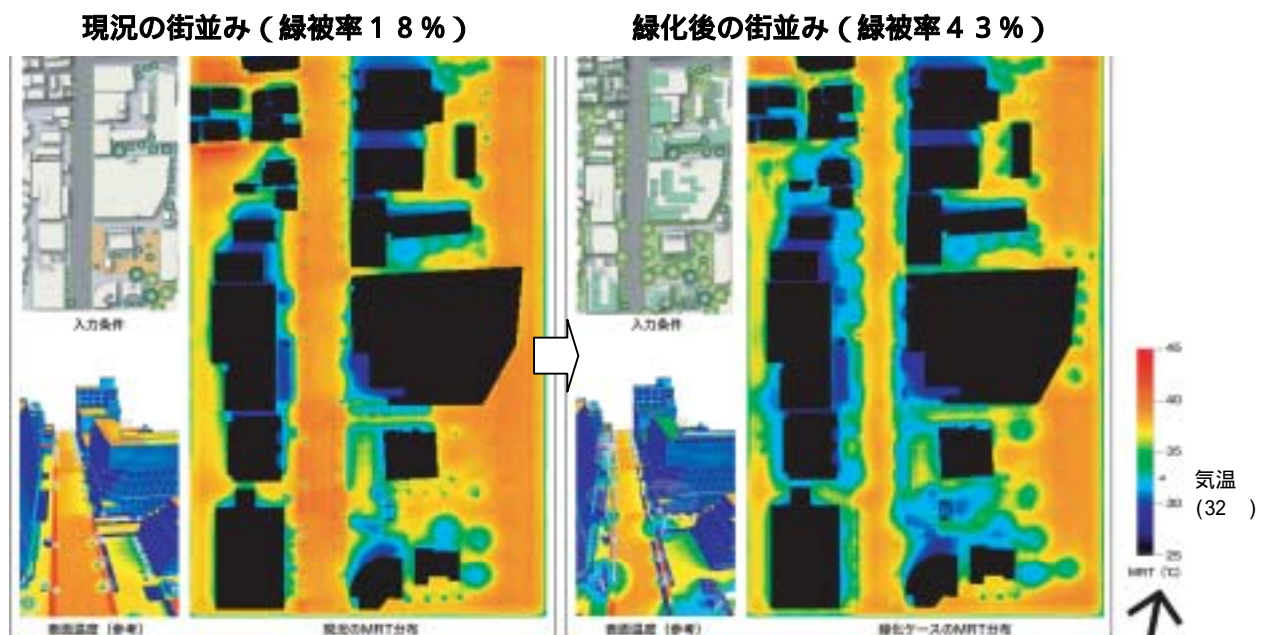
	<p><b>けやき坂エリア</b>                      アスファルト舗装の表面温度：40～45（最も高い部分で48.6）                      道路沿いのケヤキの表面温度：約35                      上記の差：約5～10</p>
	<p><b>毛利庭園エリア</b>                      エリアに隣接するアスファルト舗装の表面温度：約45                      緑化された場所の表面温度：約30                      上記の差：約15</p>
	<p><b>66プラザ・エリア</b>                      石舗装の表面温度：約40                      植栽部分の表面温度：約30                      上記の差：約10</p>

### 【調査2】緑化効果の3次元シミュレーション

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、3次元CADで再現した「**現況の街並み**」(緑被率18%)と「**緑化後の街並み**」(緑被率43%)における暑さの体感指標「平均放射温度(MRT)」を比較しました。

暑さが問題になる日中12時において、**街路樹の植栽や壁面緑化などを行った「緑化後の街並み」では、地上1.5m(人の歩く高さ)におけるMRTが気温相当となっている分布域が10%から20%へと倍増し、特に歩道部分を中心に快適性が向上することがわかりました。【下図】**

平均放射温度(MRT)：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。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。



【図】MRT（地上1.5m）の分布（12:00）

## 調査の内容及び結果

### 【調査1】都市の緑に係る熱環境計測（熱画像カメラでの把握）

都市の緑に係る実際の熱環境を明らかにするため、最近整備された都市空間の実例として六本木六丁目再開発地区（六本木ヒルズ）（東京都港区）を対象に、熱画像カメラにより、日中15分ごとに連続して表面温度を計測しました。

#### ○計測の諸元

日 時：平成16年7月22日（木）




午前10時から午後6時にかけて15分間隔で計測

天 候：晴れ時々薄曇り、最高気温31.7、平均風速3.5m/s【参考資料1】

計測場所：六本木ヒルズ（東京都港区） 下記の計3地点【図1】

けやき坂エリア、 毛利庭園エリア、 66プラザ・エリア

#### ○計測場所の概況

<p><b>けやき坂エリア</b></p> <ul style="list-style-type: none"><li>・道路沿いに樹高約11mのケヤキが植えられている。</li><li>・住宅棟（レジデンスA）の屋上庭園には、芝生、中木や草本などが植えられている。</li></ul>	
<p><b>毛利庭園エリア</b></p> <ul style="list-style-type: none"><li>・旧日本庭園の既存池を保存し、周辺整備を行った回遊式庭園。</li><li>・既存の高木の保全をはじめ、高木、中木、低木、草本などが植えられている。</li></ul>	
<p><b>66プラザ・エリア</b></p> <ul style="list-style-type: none"><li>・人工地盤のプラザ空間。</li><li>・高木と、地表を覆う草本が植えられている。</li></ul>	

#### ○結果

このうち、午後2時（14時）における計測結果は、【表1】のとおりです。

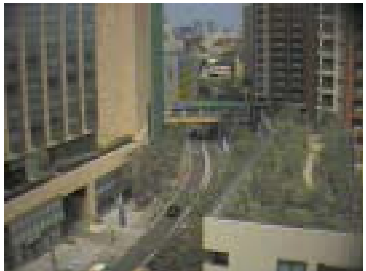
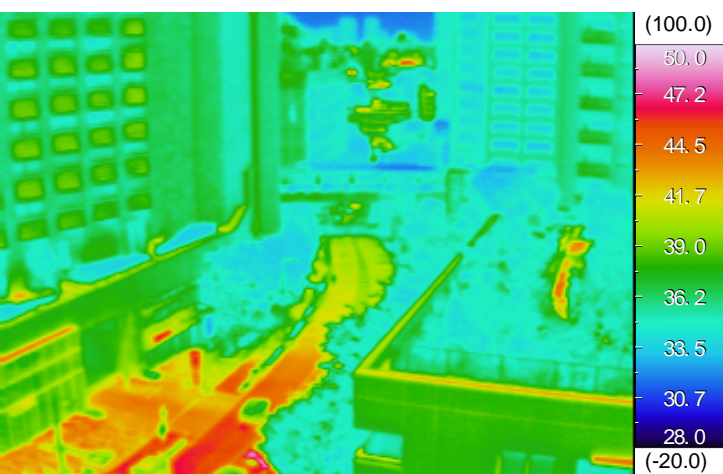

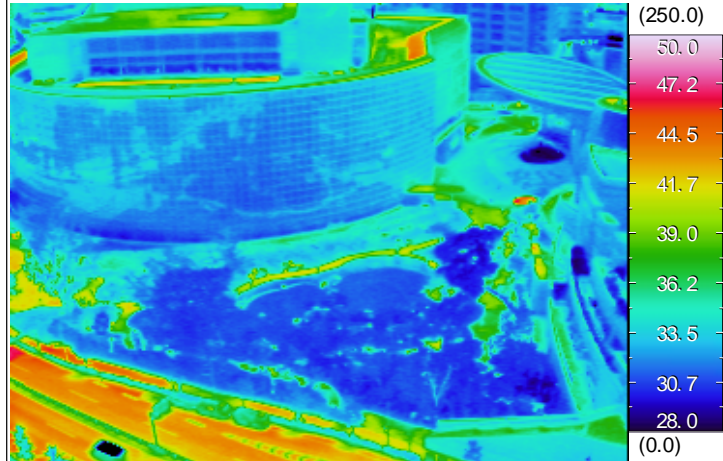

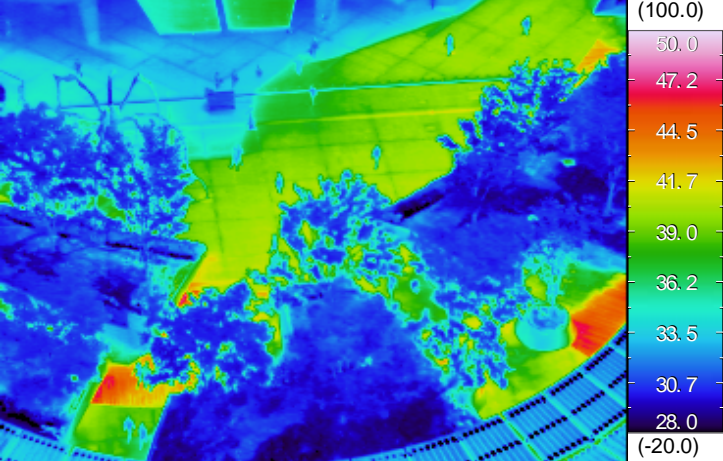
#### ○考察

緑が存在している場所においては、表面温度が低減するなど熱環境が改善されていることがわかります。

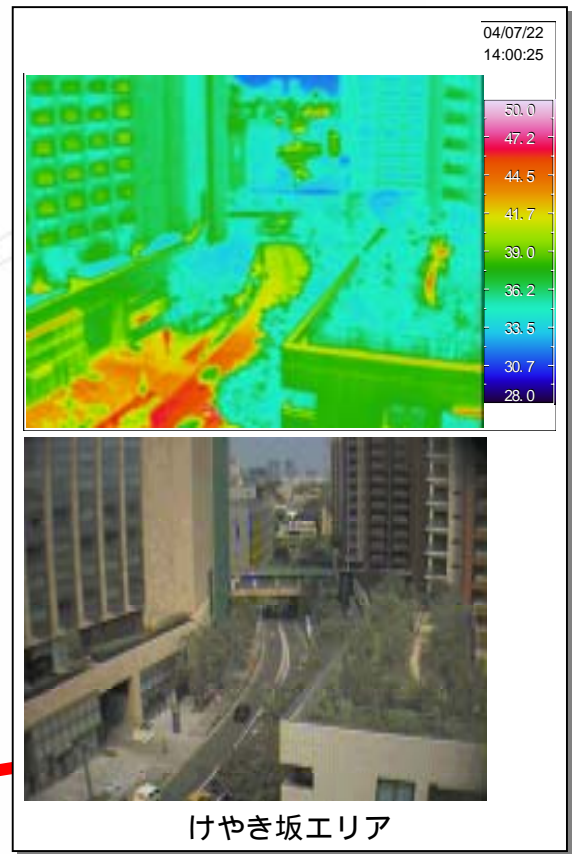
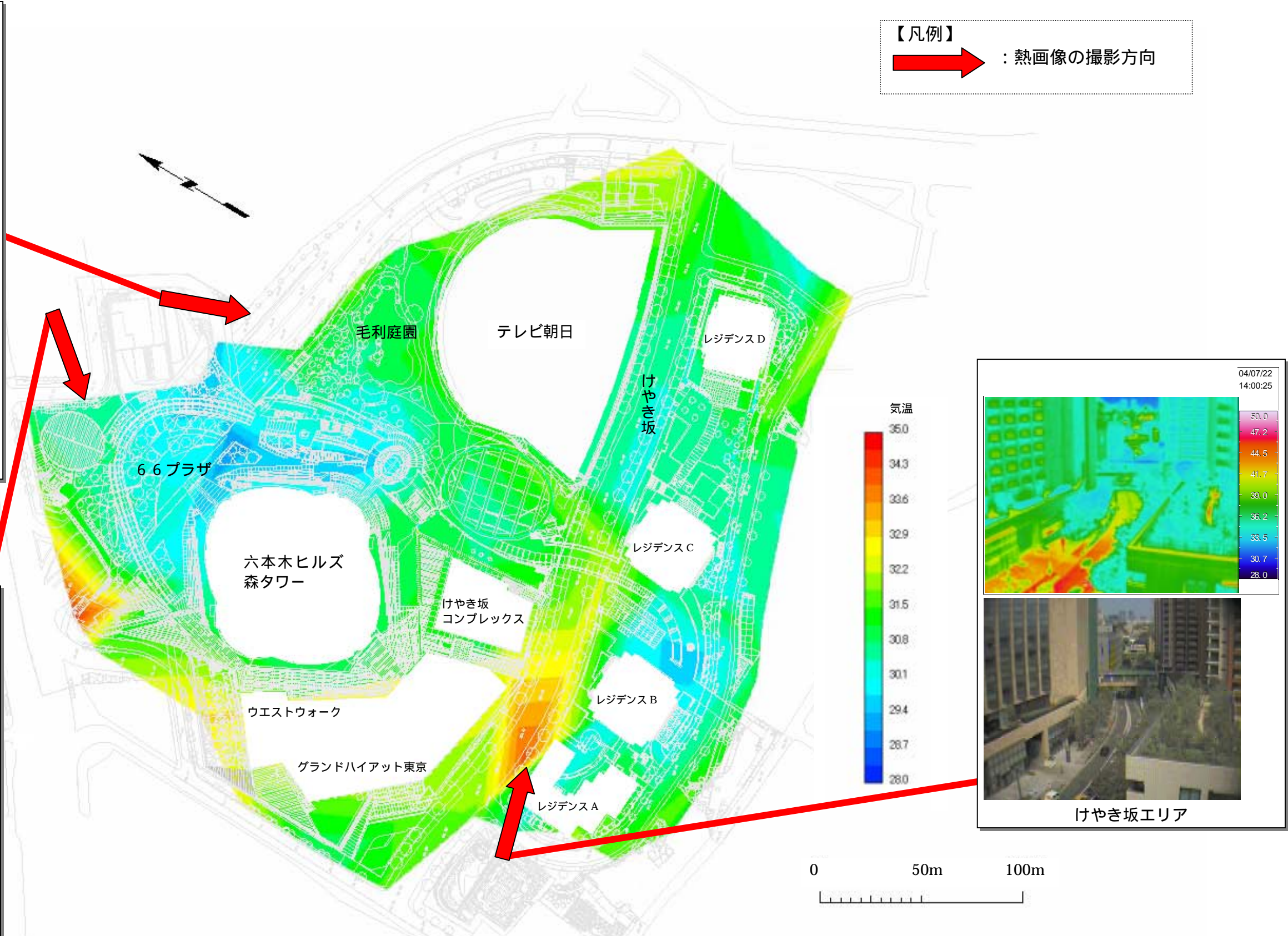
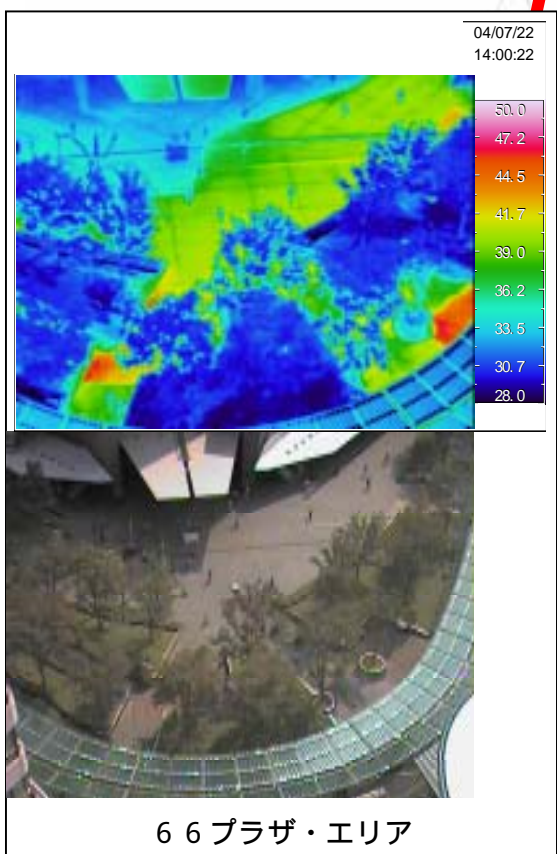
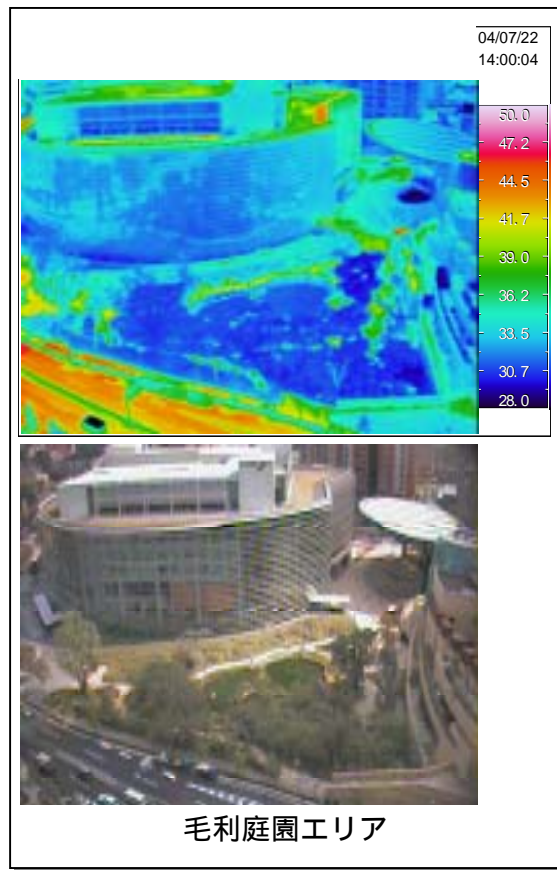
また、熱画像から、特に連続して緑が配置された箇所や、まとまった緑の存在する空間は利用者にとって涼しい空間になっているのではないかと推察されます。

さらに、計測当日（7月22日）午後0時（12時）に今回の調査対象エリア（六本木ヒルズ）を含む周辺1km<sup>2</sup>を航空機から撮影した熱画像からも、今回調査対象地をはじめ、**緑化された空間は、表面温度が低くなっている**ことがわかります【参考資料2】。

【表1】 各計測場所における表面温度の熱画像写真と表面温度の計測結果

<p><b>けやき坂エリア</b></p>  <p>アスファルト舗装の表面温度： 40～45 (最も高い部分で 48.6 ) 道路沿いのケヤキの 表面温度：約 35 上記の差：<u>約 5～10</u></p>	<p>RG: 1 ε: 1.00 SC: Σ8 EL: HV 04/07/22 14:00:25</p>  <p>(100.0) 50.0 47.2 44.5 41.7 39.0 36.2 33.5 30.7 28.0 (-20.0)</p>
<p><b>毛利庭園エリア</b></p>  <p>エリアに隣接する アスファルト舗装の 表面温度：約 45 緑化された場所の 表面温度：約 30 上記の差：<u>約 15</u></p>	<p>RG: 2 ε: 0.99 SC: Σ8 EL: HV A Min:27.4 04/07/22 14:00:04</p>  <p>(250.0) 50.0 47.2 44.5 41.7 39.0 36.2 33.5 30.7 28.0 (0.0)</p>
<p><b>6 6 プラザ・エリア</b></p>  <p>石舗装の表面温度：約 40 植栽部分の表面温度：約 30 上記の差：<u>約 10</u></p>	<p>RG: 1 ε: 0.98 SC: Σ8 04/07/22 14:00:22</p>  <p>(100.0) 50.0 47.2 44.5 41.7 39.0 36.2 33.5 30.7 28.0 (-20.0)</p>





【図1】熱画像の計測場所

【注記】  
 ・平面図は、敷地内の気温分布（7月22日14時）を示しています。  
 ・気温分布は、地上高さ約1.5mの「気温」の分布を示しています。  
 ・熱画像は、「表面温度」の分布を示しています。

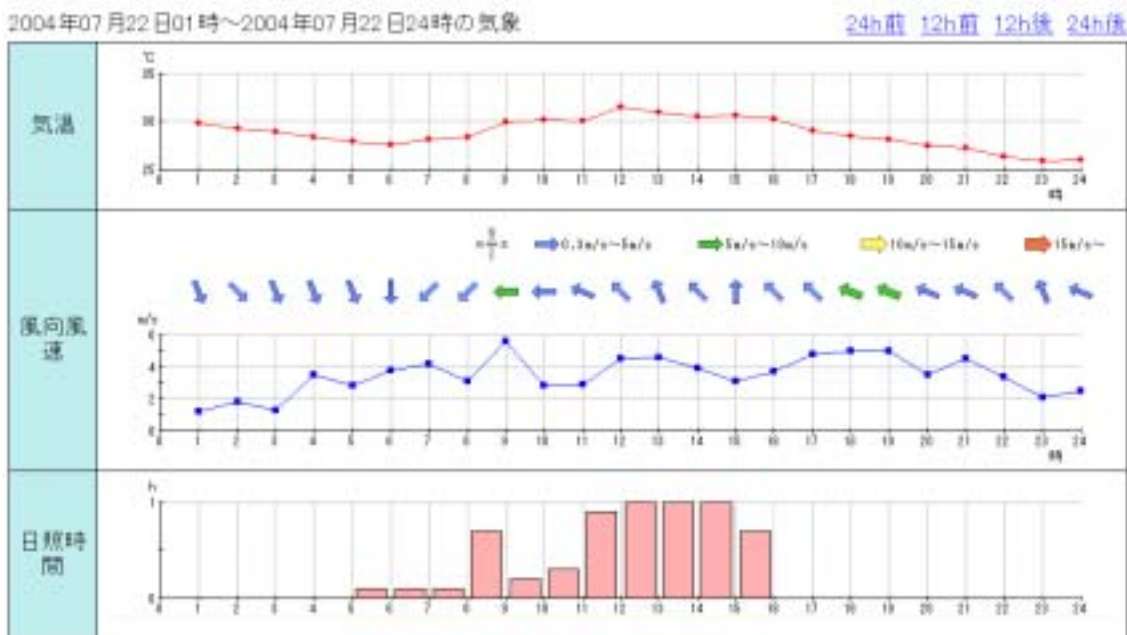


【参考資料 1】

計測日（平成 16 年 7 月 22 日）の気象情報

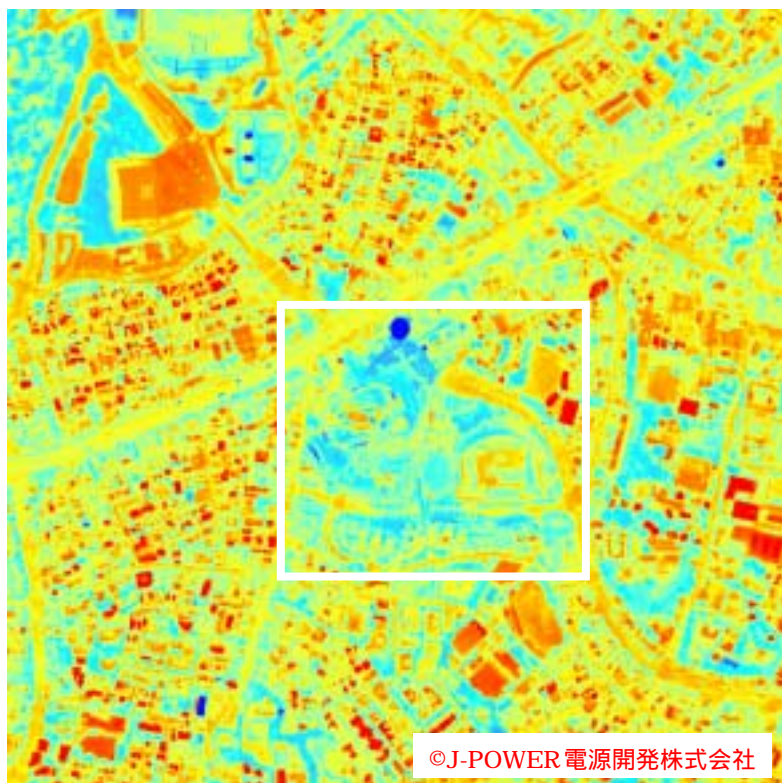
（出典：気象庁ホームページ）

・観測地  
 東京（東京都）  
 緯度：北緯 35 度 41.4 分 / 経度：東経 139 度 45.6 分  
 ・気象台・測候所 1 日の毎時の値



平均気温	最高気温	最低気温	平均相対湿度 %	平均風速 m/s	日照時間 時間	天気概況 (昼)	天気概況 (夜)
28.8	31.7	25.7	58	3.5	6.1	晴時々薄曇	曇後一時晴

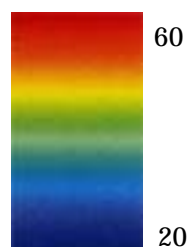
【参考資料2】六本木六丁目再開発地区（六本木ヒルズ・エリア）を含む  
周辺 1km<sup>2</sup>の熱画像と実写真（7月22日 12時撮影）



熱画像 諸元

- ・ 撮影高度：610m
- ・ 画像解像度：1.7m
- ・ 撮影時刻：12:09 から  
12:21

注：写真中央等の濃い青色は、金属  
屋根の高反射等によるエラー  
部分



実写真 諸元

- ・ 撮影高度：1,640m
- ・ 画像解像度：0.2m
- ・ 撮影時刻：12:15



(資料協力：J-POWER 電源開発株式会社)

白枠内が、六本木ヒルズ・エリアであることを示します。

## 【調査2】緑化効果の3次元シミュレーション

- 暑さの体感指標：MRT（平均放射温度）を用いた熱環境の把握 -

実際に計測することが難しい都市の温度環境について、「都市生活で実際に感じる暑さが緑によってどう変わるか」を探るために、現状の街並みと緑化した街並みを3次元CADで再現し、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、都市空間の「**表面温度分布**」を3次元空間で視覚的・総合的に表現するとともに、暑さの体感指標となる「**平均放射温度（MRT）**」の計算及び視覚的な表現を試みました。

### ○対象地区

東京都港区南青山地区内の2.3haの区域（左図の中央オレンジ部分）をモデル地区に設定し、シミュレーションを実施しました。

対象地区の気象条件は、真夏の晴天時を想定し、大手町の東京管区气象台のデータを使用しました。



### ○現状と緑化後の街並み3次元モデルの設定

東京都の都市計画GIS、港区みどりの実態調査等の行政資料と詳細な現地調査により、建物や樹木の形状、材質等を反映した「**A：現況の街並みの3次元モデル**」を作成しました。

また、対象地区の土地利用や市街地の形態は現況と変えずに、可能な範囲で総合的に緑化を進めた場合を「**B：緑化後の街並みの3次元モデル**」として想定しました。

#### 【図2】

なお、この際の緑化については、緑化による熱環境改善効果の考え方（【表2】）に基づく総合的な緑化（中高木植栽、人工土地被覆の自然化、屋上・壁面緑化等）を設定しました。

**A：現況の街並みの3次元モデル**  
（緑被率18%）

**B：緑化後の街並みの3次元モデル**  
（緑被率43%）



【図2】現況の街並み及び緑化後の街並みの3次元モデルの概要図



【表2】緑化による熱環境改善効果の考え方

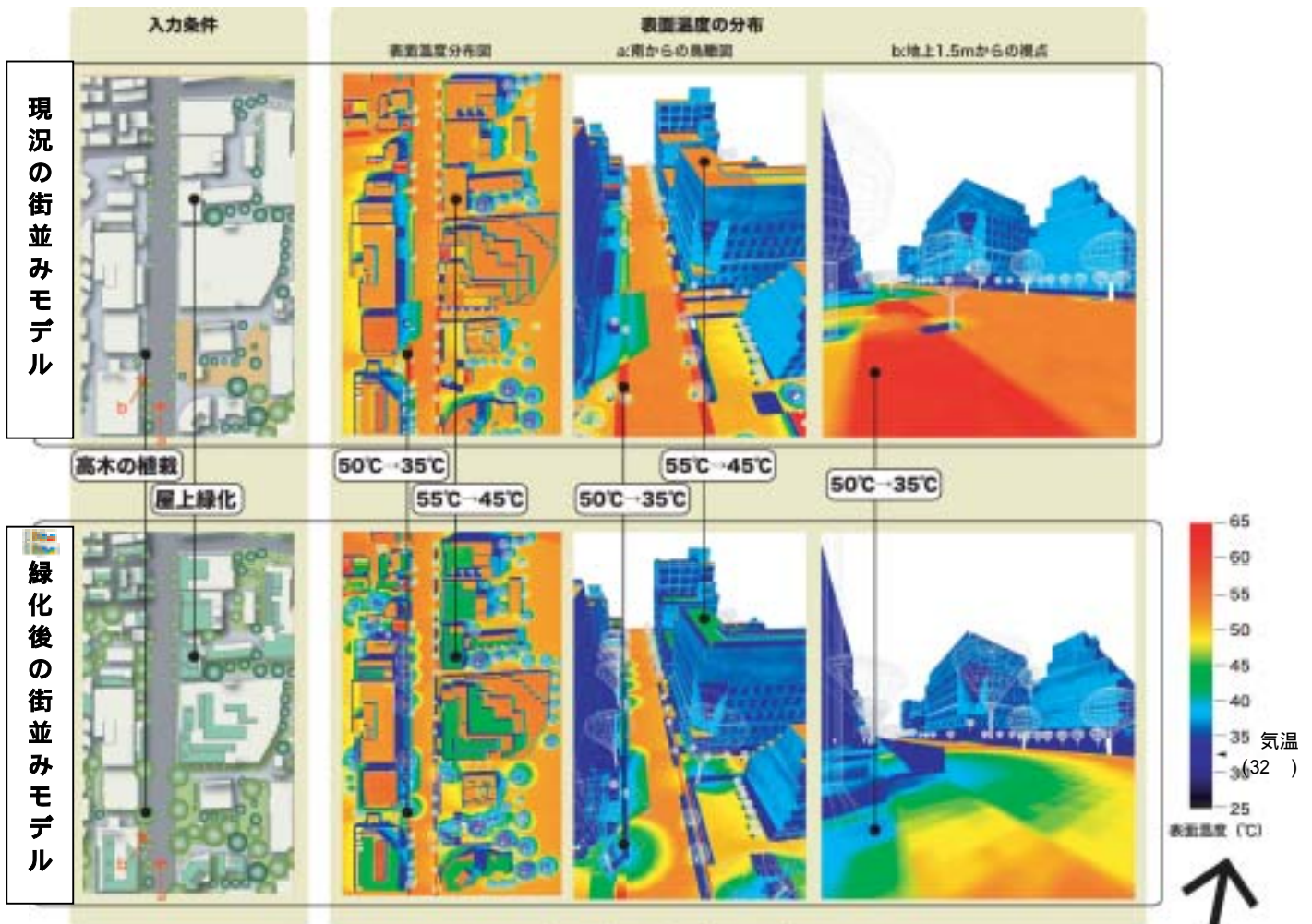
日中の蓄熱の軽減	中高木を植栽して緑陰を確保するとともに、土地被覆を芝生や裸地とすることで、地中への蓄熱を軽減する。また、屋上・壁面緑化を行い、建築構造物への熱の環流を抑制する。
夜間の放射冷却効果	土地被覆を芝生や裸地とすることで、夜間の放射冷却効果を期待する。
緑陰の形成等による 昼間の快適性の向上	中高木の植栽を施し緑陰を形成することにより、そこにいる人が体感する温度を改善する。

○結果

都市の表面温度（3次元モデルの表面温度分布）

3次元モデルの表面温度シミュレーションにより、コンクリート面・アスファルト面の緑化及び裸地化、中高木植栽、屋上・壁面緑化による緑化をすすめることにより、人工構造物に覆われた都市空間の表面温度が広い範囲で大幅に下がることが、3次元空間で視覚的・総合的に表現されました。【図3】

また、このような方法を適用することにより、都市整備や緑化等の計画において、計画段階からあらかじめ、整備後の熱環境や緑化等の効果を3次元空間の情報として把握することが可能となると考えられます。



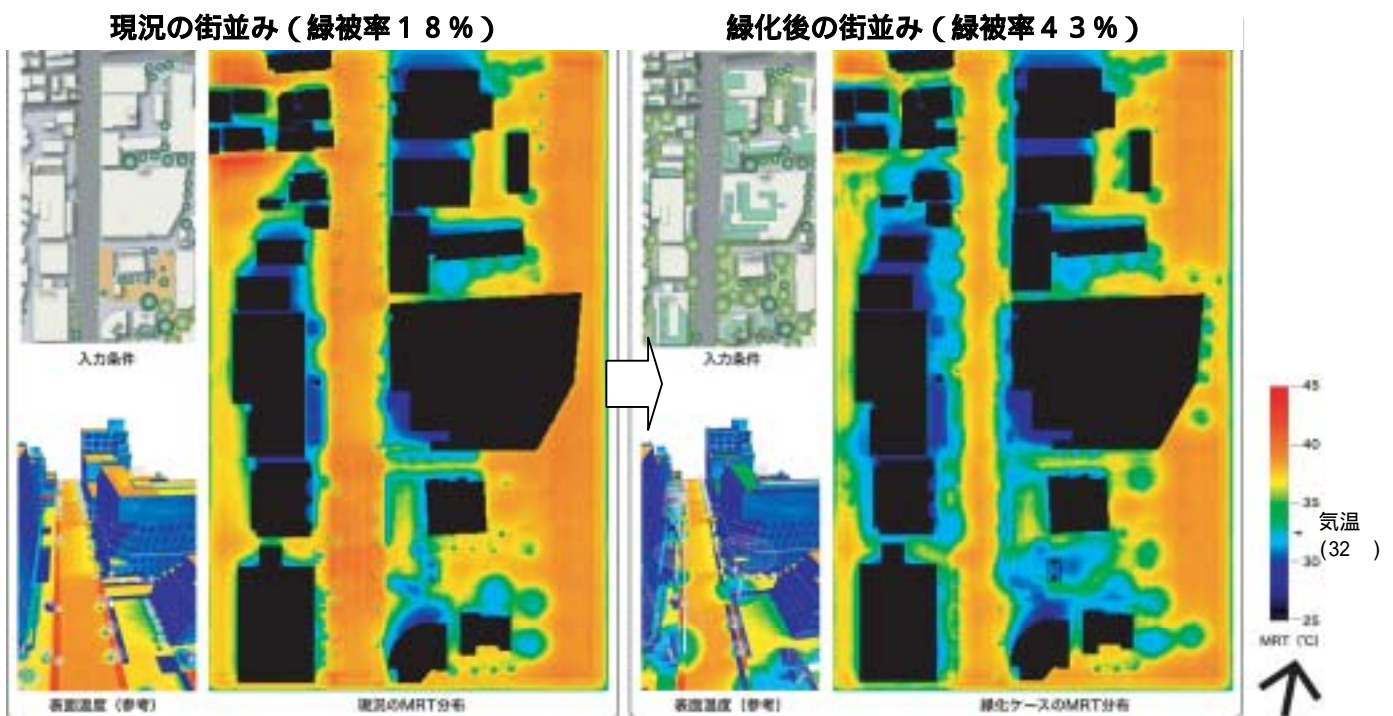
【図3】 「現況」と「緑化ケース」による表面温度の分布の違い(13:00)

体感する温度の改善（地上1.5mにおける平均放射温度（MRT））

次に、 の表面温度情報をもとに、都市の暑さ感を表す指標として、地上1.5mにおける平均放射温度（MRT）の値を計算しました。

平均放射温度（MRT）は、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です。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ます。

今回の3次元シミュレーションでは、暑さが問題になる12時には、**街路樹の植栽や壁面緑化を行うなどの緑化を行うことにより、気温相当となっているMRTの分布域が10%から20%へと倍増**するなど、**特に歩道部分を中心に快適性が向上**しています。【図4】



【図4】MRT（地上1.5m）の分布（12：00）

【参考】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）



## ○考察

緑には、日射をさえぎり、吸収し、また蒸散作用により、都市の表面温度が上昇することを防ぎ、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、実在する街並みをモデルとした3次元空間に可能な限り緑を配置することで、緑による生活空間の快適性の向上について、体感温度の改善の観点から、街の快適空間がどのように広がることになるかが、明らかとなりました。

## まとめ

【調査1】における実際の測定（熱画像カメラによる表面温度）、【調査2】における3次元シミュレーション（体感指標MRT）の両方で、緑による熱環境の改善効果が確認されました。

なお、調査1については、同日に一般通行者への暑さ感や緑に対する感想のアンケートも行っており、これについては、詳細な分析後、別途ご報告する予定です。

## 【備考】

- ・ 調査1（都市の緑に係る熱環境計測）の実施にあたっては、和歌山大学山田宏之助教授の指導・協力をいただきました。
- ・ 調査2（緑化効果の3次元シミュレーション）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晁教授の指導・協力をいただきました。