

5. 遮熱性舗装の気温低減効果に関する数値シミュレーション解析

Numerical Simulation of Air Temperature above Solar Heat-blocking Pavement

技術支援課 小作好明

1. はじめに

ヒートアイランド現象は、都市化の進展に伴い、人工排熱の増加や建物の凹凸による風の通りにくさに加えて、舗装やコンクリートで地表面が被覆されたことが原因の一つといわれている。東京都ではヒートアイランド対策を重点事業の一つとして位置づけており、建設局ではヒートアイランド現象を抑制する取り組みとして、近赤外領域の波長の日射を反射して舗装温度の上昇を抑制する遮熱性舗装を施工している。しかし、遮熱性舗装を施工した場合の気象への効果については、必ずしも明確になっていないのが現状である。そこで、本報告では、都心地域において全ての道路を遮熱性舗装にしたと仮定した場合に夏期の気温がどの程度低下するのかを数値シミュレーションによって解析したので、その結果を報告する。

2. 解析の方法

(1) 解析対象の地域

解析の対象とした範囲を図-1 に示す。解析範囲は、東京 23 区のうち、千代田区、中央区、港区、品川区、目黒区、渋谷区、新宿区、豊島区、墨田区、江東区、文京区、台東区、荒川区の 13 区を含むセンターコアエリアを中心とした約 24.9km 四方の範囲とした。ただし、数値計算上、境界条件の緩衝領域を設定しているため、実際の計算では、約 28.2km 四方で数値計算を行っている。

(2) 解析メッシュ

解析メッシュの作成にあたり、約 24.9km 四方の解析範囲における水平格子数は 151 とし、格子水平方向

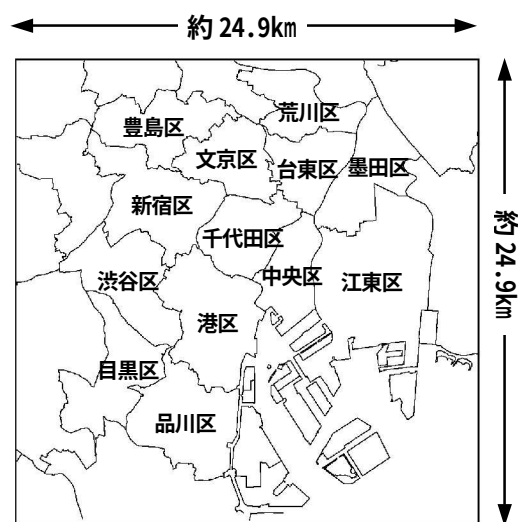


図-1 解析範囲

の 1 メッシュを約 165m 間隔とした。ただし、周囲 10 メッシュを境界条件の緩和領域として設定するため、計算範囲の水平格子数は 171 メッシュとなる。なお、これ以降の図における表示範囲は、緩和領域を含まない 151 メッシュであり、約 24.9km 四方である。鉛直方向のメッシュは、最下層 10m、最上層 5,500m までの不等間隔とし、15 層を設定した。図-2 に鉛直方向のメッシュ図を示す。したがって、3 次元でのメッシュ数は、東西・南北・鉛直方向でのメッシュ数は、 $171 \times 171 \times 15 = 438,615$ となる。これらの各メッシュに対して、解析に必要な各種条件を設定し、データ入力を行っている。また、計算上の時間ステップは 1 秒とし、解析対象日前日の 21 時から翌日 9 時までの 36 時間について数値計算を行った。

(3) 解析日

遮熱性舗装は、その原理上、近赤外領域の波長の日射を反射して舗装温度の上昇を抑制する。そこで、日

射量が多い場合と、それより少ない場合で、気温に差があるのかどうかを検討するため、日射量が多い 1 日(解析日 A)と日射量が解析日 A より少ない 1 日(解析日 B)の両日を解析日とした。日射量が多い解析日 A として 2007 年 8 月 12 日を選び、日射量がやや少ない解析日 B として天候が薄曇である 2007 年 8 月 27 日を選んだ。ただし、両日も夏期における真夏日(最高気温 30℃以上)と熱帯夜(最低気温 25℃以上)である。

(4) 解析ケースの設定

解析ケースとして表-1 に示す 6 ケースを設定した。解析日 A では、道路の全てを密粒度舗装としたケース①(現況 A)、全ての道路を遮熱性舗装としたケース③(遮熱 A)、全ての道路を保水性舗装としたケース④(保水 A)を設定した。また、都市化の影響が全くない場合を想定し、建物や道路が全くなく、水面以外の陸地をすべて緑地としたケース②(原野 A)も設定した。解析日 B では、道路の全てを密粒度舗装としたケース⑤(現況 B)、全ての道路を遮熱性舗装としたケース⑥(遮熱 B)を設定した。

(5) 解析手法

本解析では、伊藤忠テクノソリューションズ(株)の開発した局地気象評価予測モデルである LOCALS(Local Circulation Assessment and Prediction System)に(独)建築研究所が開発した都市気候予測システムである UCSS(Urban Climate Simulation System)を組み込んだモデルを使用した。本モデルは気象庁 RSM-GPV データ(RSM-GPV: Regional Spectral Model, Grid Point Value)や初期値データを入力値として、4 次元的に大気の変化をシミュレートするものである。

気象庁が数値予報で用いる一般的な気象モデル(全級モデル、日本域モデル)では、対象とする水平方向の範囲と比較して鉛直方向の高さは小さい。このため水平方向の大気の流れに対して鉛直方向の流れが無視できるほど小さいので、静力学平衡を仮定している。一方、今回の解析対象範囲のように、水平方向が 25km 程度のモデルの場合、水平方向のメッシュ間隔が 165m なので鉛直方向の大気の流れを十分に考慮する必要がある。

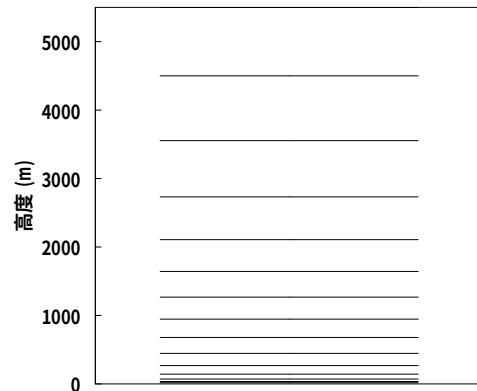


図-2 鉛直方向のメッシュ図

表-1 解析ケース

番号	略称	舗装種別	解析日	備考
①	現況A	密粒度舗装	A 日射 強	
②	原野A	原野	A 日射 強	水面以外の陸地は全て緑地扱い
③	遮熱A	遮熱性舗装	A 日射 強	道路は全て遮熱性舗装
④	保水A	保水性舗装	A 日射 強	道路は全て保水性舗装
⑤	現況B	密粒度舗装	B 日射 中	
⑥	遮熱B	遮熱性舗装	B 日射 中	道路は全て遮熱性舗装

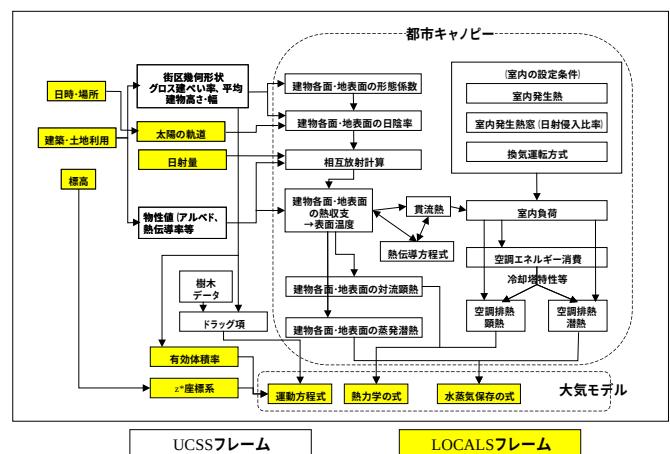


図-3 LOCALS と UCSS の接続形態

ある。そこで、静力学平衡を仮定しない非静力学モデルとして鉛直方向の運動方程式を使っている。建物の取扱いは、LOCALS 単独と LOCALS-UCSS では大きく異なる。LOCALS では、建物を平面に置き換えるので、建物と大気との接触面積を小さく見積り、放出される熱量が過小評価されやすく、実際の建物空間において気温が過小評価されることになる。そこで、LOCALS-UCSS では、建物の効果を 3 次元的に表現することができるため、より現実に即したシミュレーションが可能とな

っている。UCSS では、実際の建物配置を正方形の建物配置に置き換え、建物の高さや太陽高度の関係からそれぞれ東西南北面の壁面にかかる日陰率をもとめ、日向日陰の影響を考慮している。日陰率から面にあたる日射量（短波放射）を算出し、面同士の形態係数とそれぞれの面で反射される日射量を繰り返し計算することで、散乱日射を考慮することができる。また、建物壁面、屋上面、地表面、天空との間で交換される長波放射も、各面の温度と放射率からそれぞれの面同士における長波による熱量の計算を行っている。

(6) 標高データの作成

標高データの作成には、国土地理院の数値地図 50m メッシュ(標高)を利用した。本データのメッシュは約 165m 間隔であるため、今回の解析で用いる間隔のメッシュに合わせるために、メッシュ毎の領域平均を行い、標高データを作成した。標高図を図-4 に示す。

(7) 土地利用データの作成

土地利用データの作成にあたっては、東京都土木技術支援・人材育成センターが所有する土地利用データを利用した。この土地利用データは、東京都土地利用現況調査結果(H8 年度)をもとに 1.2m ピクセルにデジタルデータ化したものである。本データは、土地利用現況と階層別構造別建物データにより構成されている。ただし、本データの一部には現状と異なる土地利用箇所があるため、土地利用データを作成する際に修正を行っている。

階層別構造別建物データの階層データから各メッシュについて平均階層を算出し、建物(耐火)については 1 階あたりの高さを 3.75m とし、建物(準耐火・防火・木造)については 1 階あたりの高さを 3.0m として建物の高さを各メッシュに与えた。建物高さを図-5 に示す。

土地利用に関しては、表-2 に示すように、9 通りに分類し、各メッシュで各分類の比率を与えた。図-6 に各土地利用の比率を示す。

(8) 土地利用パラメータの設定

解析で用いたアルベド（日射反射率）、熱容量、熱伝導率、蒸発効率、粗度のパラメータを土地利用別に

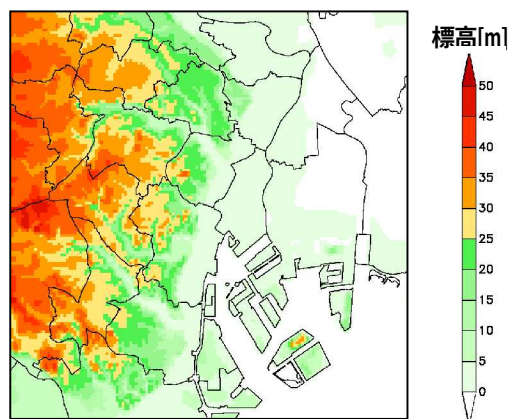


図-4 解析範囲の標高図

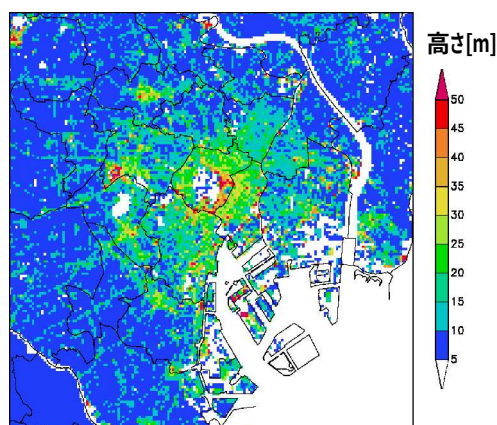


図-5 建物高さ(メッシュ平均)

表-2 土地分類

約1.2mピクセル 土地利用データの分類	解析に用いた分類
建物(耐火)	建物(耐火)
建物(準耐火・防火・木造)	建物(準耐火～木造)
公共用地・商業用地・住宅用地	屋外利用地
工業用地・農業用地・仮設建物	
屋外利用地	公園・緑地
農用地・公園・運動場等	
林野	林野
道路	道路
鉄道・港湾等	鉄道・港湾
水面・河川・水路	水面
上記以外	その他

表-3 土地利用パラメータ

土地利用 分類		アルベド	熱容量 ×10 ⁶ J・m ⁻³ ・K ⁻¹ 伝熱過程 計算	熱伝導率 W・m ⁻¹ ・K ⁻¹ 伝熱過程 計算	蒸発効率	粗度 m
建物		0.2			0	抗力で計算
道路	密粒度	0.05	2	1.6	0	0.01
	遮熱性	0.3	1.76	1.3	0	0.01
	保水性	0.06	1.76	1.4	0.1	0.01
公園・緑地		0.17	1.3	0.5	0.3	0.1
林野		0.17	1.3	1.3	0.3	0.5
鉄道・港湾		0.05	2.1	0.5	0	0.01
屋外利用地		0.05	2	1.6	0	0.1
水面		—	4.2	水温27℃ 固定	1	0.0001
その他		0.05	2	1.6	0	0.05

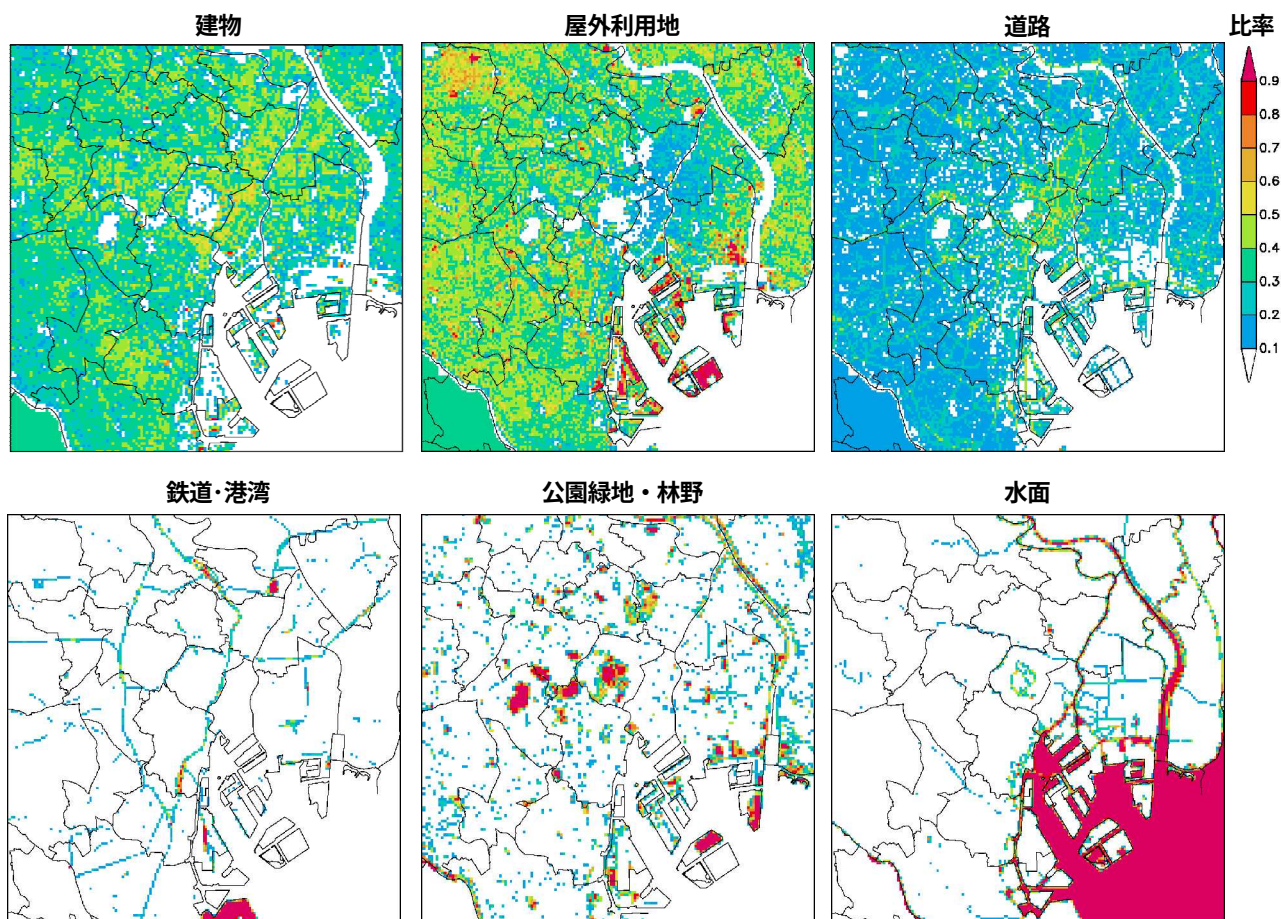


図-6 土地利用の比率

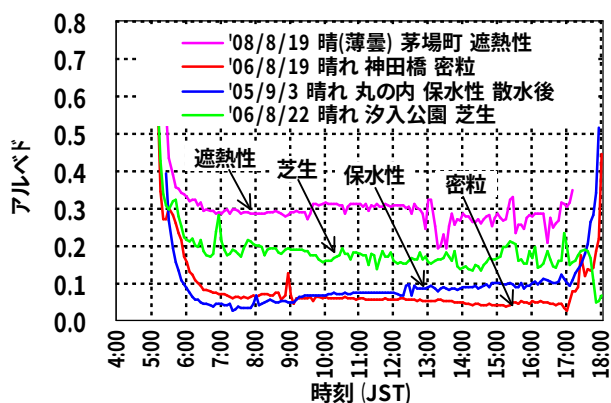


図-7 アルベド観測値の一例

表-3 に示す。道路のアルベドは、実際の道路において長短波放射計によって観測している。このうち、アルベド観測値の一例を図-7 に示しておく。

アルベドの観測値を参考に本解析ではアルベドの値を設定している。密粒度舗装のアルベドは観測値では概ね 0.05 程度なので 0.05 とした。遮熱性舗装は観測値が 0.2~0.3 程度なので平均値に近い 0.3 を設定した。保水性舗装は施工場所や保水量によって、観測値 0.03~0.1 程度と値が変わるので、ある程度水分を含

んだ場合を想定し 0.06 とした。公園・緑地・林野については、芝生で観測した値が平均で 0.165 だったので 0.17 を設定した。

建物については、建物によってアルベドの値が異なると考えられ、根拠となる値が見つからなかったのでモデル上の値である 0.2 を使用した。屋外利用地、鉄道・港湾、その他については、アスファルト等で被覆されていると想定して密粒度舗装と同じ 0.05 を設定した。

道路の熱容量は、密度と比熱の試験値¹⁾を参考に設定している。密粒度舗装の熱容量は、密度と比熱の試験値から $2 \times 10^6 \text{ J} \cdot \text{m}^{-3} \cdot \text{K}^{-1}$ を設定した。遮熱性舗装と保水性舗装は、母材が低騒音舗装と同じなので、低騒音舗装の試験結果から $1.76 \times 10^6 \text{ J} \cdot \text{m}^{-3} \cdot \text{K}^{-1}$ を設定した。公園・緑地・林野については、機械工学便覧 A6 熱力学(2001)で粘土質の密度と比熱の値を参考にして $1.3 \times 10^6 \text{ J} \cdot \text{m}^{-3} \cdot \text{K}^{-1}$ を設定した。鉄道・港湾については、被覆状況がアスファルト、コンクリート、砕石と特定ができない。そこで、コンクリート標準示方書設計編で

は、コンクリートの密度の一般値が $2.4 \text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$ 、比熱が $1.05 \text{ J}\cdot\text{g}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$ であり、熱容量が $2.5\times 10^6 \text{ J}\cdot\text{m}^{-3}\cdot\text{K}^{-1}$ 程度となることと、機械工学便覧 A6 熱工学(2001)では、花崗岩の比熱が $0.8 \text{ J}\cdot\text{g}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$ と小さい値であることを考慮して、鉄道・港湾では密粒度舗装よりは大きくコンクリートよりも小さい値である $2.1\times 10^6 \text{ J}\cdot\text{m}^{-3}\cdot\text{K}^{-1}$ を設定した。屋外利用地とその他については、アスファルト等で被覆されていると想定して密粒度舗装と同じ $2\times 10^6 \text{ J}\cdot\text{m}^{-3}\cdot\text{K}^{-1}$ を設定した。

道路の熱伝導率も、熱伝導率の試験値¹⁾を参考に設定している。密粒度舗装の熱伝導率は、試験値から $1.6 \text{ W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$ を設定した。遮熱性舗装は、母材が低騒音舗装と同じなので、低騒音舗装の試験値から $1.3 \text{ W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$ とした。保水性舗装の試験値は、水分を含まず乾燥している場合と水分を含んでいる場合で $1.00\sim 1.53 \text{ W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$ と幅があるので、ある程度水分を含んでいる場合を想定して $1.4 \text{ W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$ を設定した。

公園・緑地については、機械工学便覧 A6 熱工学(2001)で土壌の値を参考にして $0.5 \text{ W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$ 、林野については、粘土質の値を参考に $1.3 \text{ W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$ を設定した。鉄道・港湾については、碎石であることも考慮して $0.5 \text{ W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$ を設定した。屋外利用地とその他については、アスファルト等で被覆されていると想定して密粒度舗装と同じ $1.6 \text{ W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$ を設定した。水面については、水温の日変動が気温の変動に比べて小さいため、熱伝導率は設定せず、 27°C 固定とした。

蒸発効率は、水面を 1 とし、芝生と保水性舗装での潜熱の観測値²⁾より、両者の比率が 3:1 程度であったため、公園・緑地、林野を 0.3 とし、保水性舗装を 0.1 とした。

粗度は、水面では障害物がほとんどないので 0.0001、道路、鉄道・港湾は平らなため 0.01m とし、公園・緑地、屋外利用地は植栽などがあることを考慮して 0.1m、林野は高木が多いことを想定して 0.5m、その他は 0.05m とした。

(9) 電気、ガス、自動車の排熱データの作成

電気排熱データは、2002 年 4 月 17 日の千代田区、港区、中央区の 3 区合計の電力使用量をもとに、土地利用データを使って建物比率と建物の階数を考慮し、

1 階あたり単位建物面積あたりの電気排熱量を算出した。さらに、計算範囲の建物用地の比率と階数の重みをつけてメッシュ毎に配分し、各メッシュにおける時間毎の電気排熱データとした。1 階あたり、単位建物面積あたりの電気の排熱量を図-8 に示す。一例として図-9 に 14 時の電気の排熱量分布図を示す。

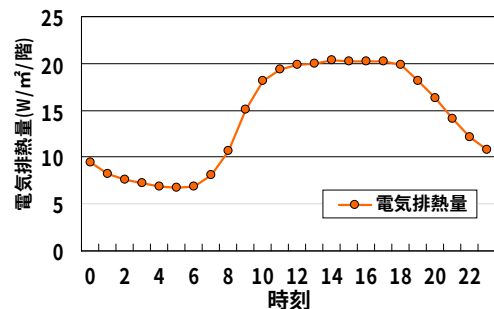


図-8 単位建物面積・1 階あたりの電気排熱量

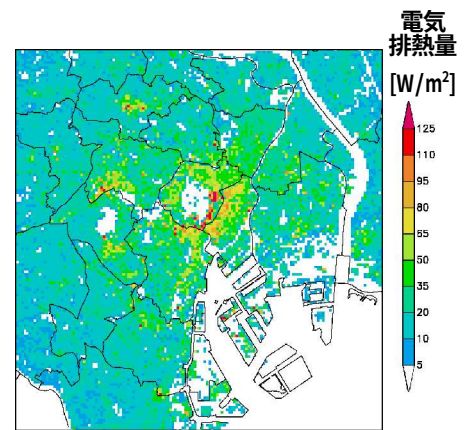


図-9 電気の排熱量分布(14:00)

ガス排熱データは、2003 年 8 月 24 日における時間あたりのガス供給量を元にした。ガス供給量データは広範囲の供給範囲であるため、大口需要分を削除し、全体供給件数のうち、千代田区、港区、中央区の 3 区合計の供給件数を比例配分して時間当たりガス供給量とした。電気排熱と同様に 1 階あたり単位建物面積あたりのガス排熱量を算出し、各メッシュにおける時間毎のガス排熱データとした。1 階あたり、単位建物面積あたりの電気とガスの排熱量を図-10 に示す。一例として図-11 に 14 時のガスの排熱量分布図を示す。

自動車排熱データは、単位道路面積あたり 1 日あたりの自動車総排熱量を $3929\text{kJ}/\text{day}^3$ と設定した。時間によって交通量が異なることから、汐留地区の平成 15 年度の交通量調査を参考に時間ごとに熱量の配分を行った。このようにして求めた単位道路面積あたりの時間毎自動車排熱量を図-12 に示す。さらに、各メッ

ユの道路の比率から各メッシュの道路面積を求めて単位道路面積あたりの自動車排熱量に乗じて各メッシュの自動車排熱量を算定した。一例として14時の自動車排熱量分布図を図-13に示す。

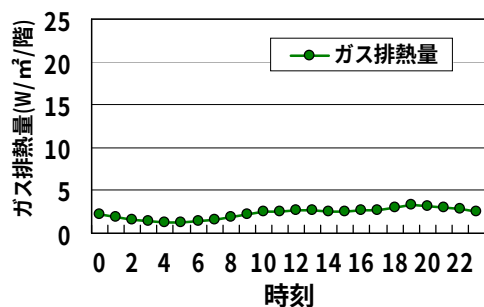


図-10 単位建物面積・1階あたりのガスの排熱量

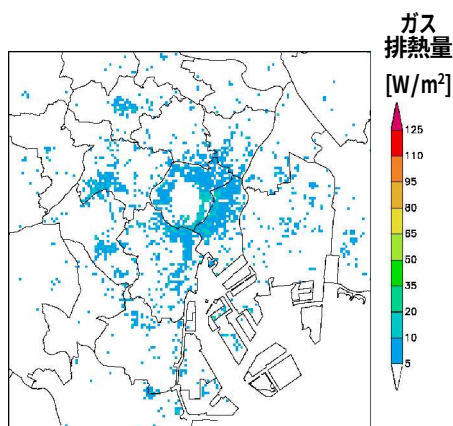


図-11 ガスの排熱量分布(14:00)

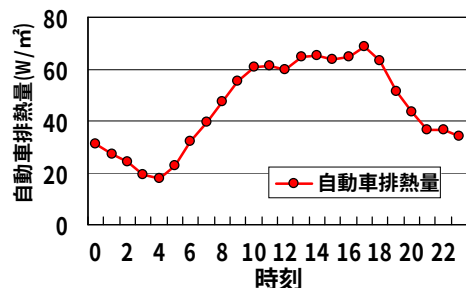


図-12 単位道路面積あたりの自動車排熱量

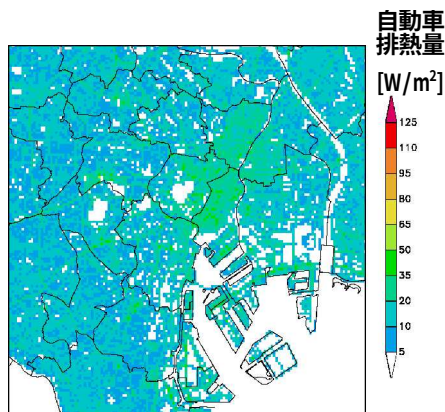


図-13 自動車の排熱量分布(14:00)

(10) 境界条件

境界条件は、解析日 A と解析日 B における1時間毎の気象庁の GPV データを用いている。一例として東京湾上の位置にあたる計算範囲南西端における風向風速の境界条件を図-14 から図-17 に3時間毎に示す。

解析日 A では、昼間は各高度でほぼ南東の風向で、夜間は高度 10m~475m までは南の風向、1275m 以上の高度でほぼ南東の風向となっている。風速は、午後から高度 450m~675m で少し山があるが、概ね高度 1275m 以上は高度が大きくなるにつれて風速が大きくなっている。

一方、解析日 B においては、地表面付近では南の風向で高度が大きくなるにつれて南西または西南西の風向になっている。風速は、高度 475m で山があり、概ね高度 2100m 以上は高度が大きくなるにつれて風速が大きくなっている。

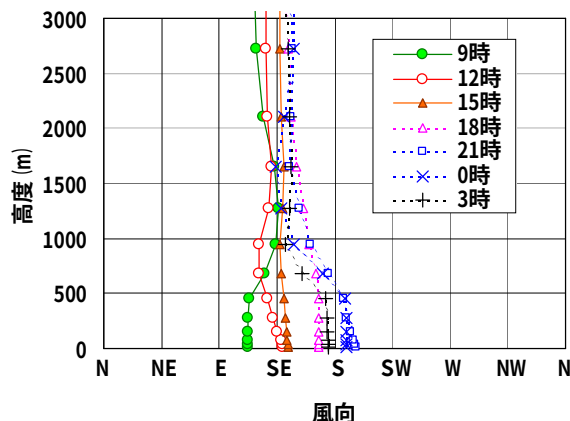


図-14 境界条件の風向鉛直分布(解析日 A)

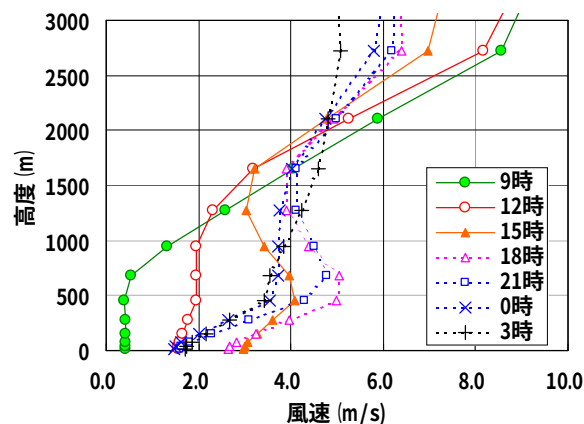


図-15 境界条件の風速鉛直分布(解析日 A)

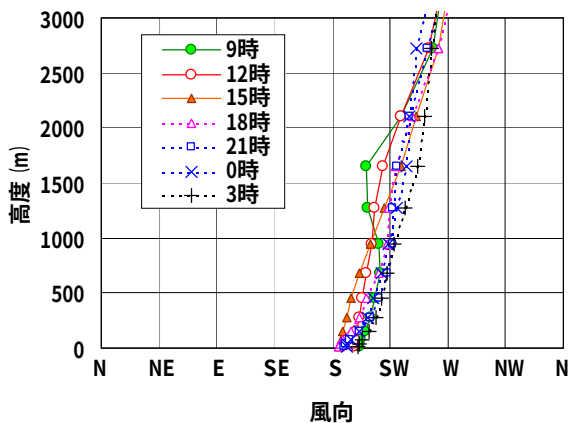


図-16 境界条件の風向鉛直分布(解析日 B)

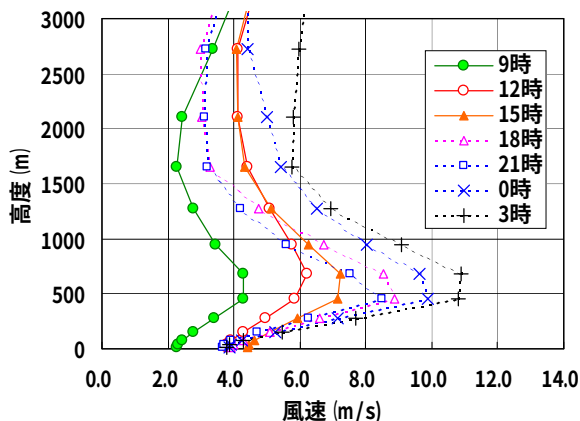


図-17 境界条件の風速鉛直分布(解析日 B)

3. 解析結果

(1) データの抽出箇所

①～⑥の各ケースにおいて 10 分毎にすべての解析メッシュで計算結果を得ている。このうち、観測値がある神保町、神田、丸の内、四谷四丁目、日比谷公園についてデータを抽出した。抽出箇所は、複数のメッシュで構成されるため、計算結果は各メッシュの平均値で示す。抽出箇所の位置について道路率を背景にして図-18 に示す。



図-18 データ抽出箇所

(2) 観測値との比較

解析日 A(2007 年 8 月 12 日)における日射量と気温について、観測値と計算値を図-19 と図-20 に示す。日射量の観測値は、東京都土木技術支援・人材育成センター屋上で観測した値である。気温の観測値は地上 1.5m の高さに設置した気温計による観測値を用いている。ただし、丸の内 12 地点、四谷四丁目 7 地点、神田 12 地点、神保町 7 地点、日比谷公園 1 地点で観測しているため、同時刻の値を観測地区ごとに平均化している。

計算値は、ケース①の現状計算(現況 A)の結果である。計算上の地上第 1 層の高さは 10m であり、観測値との比較のため、地上 1.5m の気温に変換している。変換に際しては、大気安定度が安定の場合は、湿潤断熱減率($0.006^{\circ}\text{C}/\text{m}$)、それ以外の場合には温位一様を仮定している。

図-19 をみると、日射量の計算値と観測値とほぼ一致しており、日積算値も観測値が $26.6 \text{ MJ}/\text{m}^2$ 、計算値が $27.3 \text{ MJ}/\text{m}^2$ なので再現性がよい。気温については 18 時頃までは計算値と観測値が近い値となって再現性

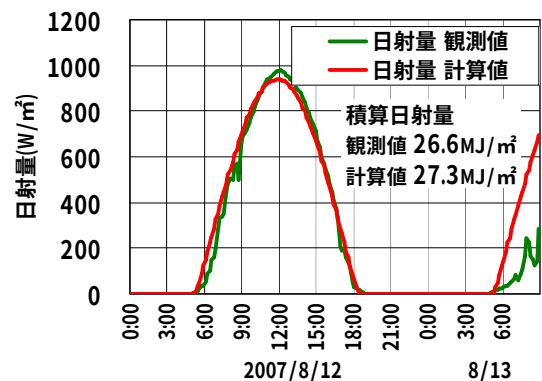


図-19 日射量の観測値と計算値(解析日 A)

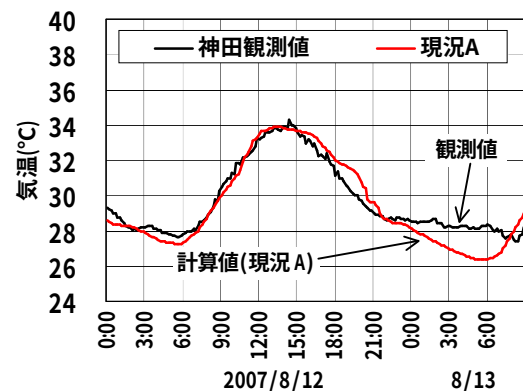


図-20 気温の観測値と計算値(解析日 A)

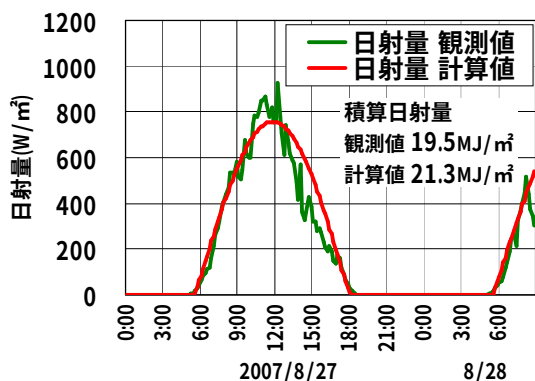


図-21 日射量の観測値と計算値(解析日 B)

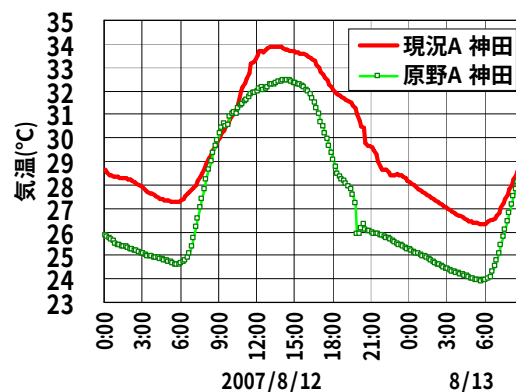


図-23 ケース②(原野 A)の気温時刻変化

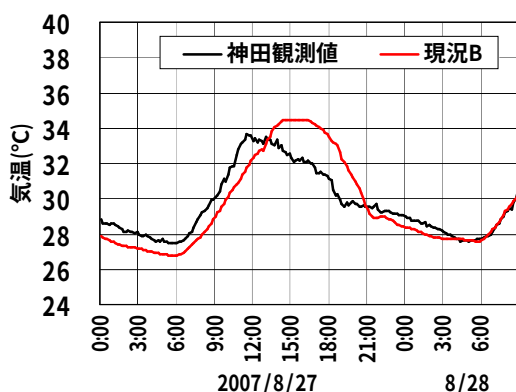


図-22 気温の観測値と計算値(解析日 B)

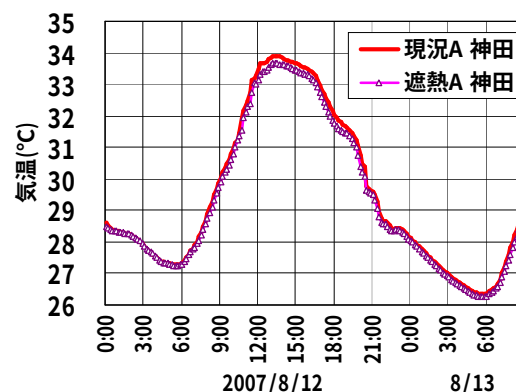


図-24 ケース③(遮熱 A)の気温時刻変化

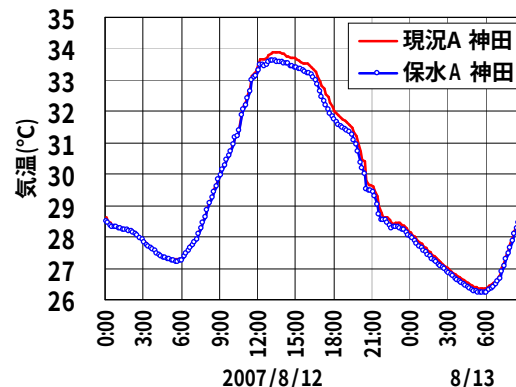


図-25 ケース④(保水 A)の気温時刻変化

がよいが、それ以降は、気温の値に隔たりがあり、再現性がよくない。

次に解析日 B(2007 年 8 月 27 日)における日射量と気温について、観測値と計算値を図-21 と図-22 に示す。日射量は時刻によって差があり、日積算値も観測値が 19.5 MJ/m^2 、計算値が 21.3 MJ/m^2 である。昼間の気温については、値に観測値と計算値に隔たりがあるが、夜間からは、再現性がよくなっている。

(3)各ケースの気温

原野を想定したケース②(原野 A)、道路の全てを遮熱性舗装にしたケース③(遮熱 A)、道路の全てを保水性舗装にしたケース④(保水 A)について、神田のデータ抽出箇所における気温の時刻変化図-23 から図-25 に示す。道路の全てを密粒度舗装にしたケース①(現況 A)が基本ケースとなることから、比較のために併記した。図-24、図-25 では、差が見にくいので、気温低減効果を見やすくするため、各ケースの気温計算結果から現況のケース①(現況 A)の気温を差し引いた気温の差を図-26 から図-28 に示す。

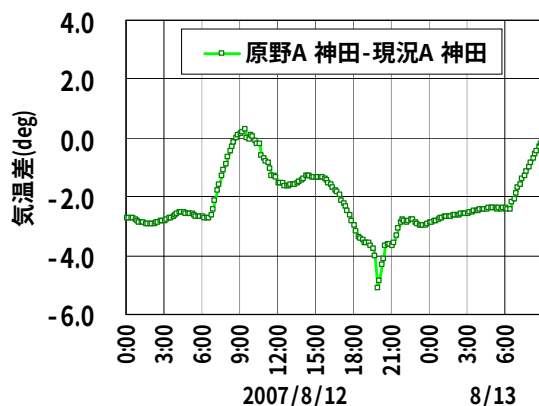


図-26 気温差の時刻変化
ケース②(原野 A)－ケース①(現況 A)

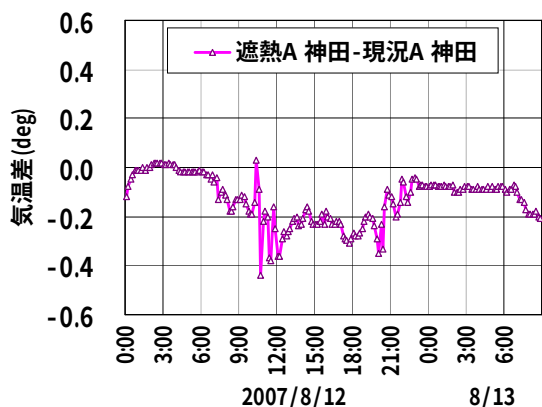


図-27 気温差の時刻変化
ケース③(遮熱 A)－ケース①(現況 A)



図-28 気温差の時刻変化
ケース④(保水 A)－ケース①(現況 A)

計算領域がすべて原野とした場合の気温（ケース②原野 A）は、都市化の影響を全く受けていない状態の気温を想定しており、これ以上気温が下がらない限界の場合の気温である。つまり、現況の場合と原野の場合の気温差が都市化による気温上昇分になる。

図-24、図-25 に示す道路の全てを遮熱性舗装にした場合と保水性舗装にした場合では、現況（道路は密粒度舗装）の場合に比べ気温が低下していることが分かる。しかし、気温の値の差がそれほど大きくないので図-27 と図-28 の気温差の時刻変化を見ると、時刻によって変動がある。そこで、昼間として 9:00 から 18:00 までと夜間として 18:00 から翌 6:00 までについて平均化を行った。表-4、表-5 に各ケースの気温低減量の平均値を示す。

都市化による気温上昇分は原野の場合の計算結果から 1～1.5 度程度である。この値に対して、道路に遮熱性舗装を施工すると平均として昼間では 0.2 度程度気温上昇を抑制できるという結果になった。表-6 に示

表-4 気温低減量(解析日 A 昼間)

解析日A 9時～18時平均	丸の内	神田	神保町	四谷 四丁目	日比谷 公園
原野A	-1.06	-1.29	-1.43	-1.55	-1.14
遮熱A	-0.20	-0.22	-0.22	-0.24	-0.16
保水A	-0.14	-0.21	-0.20	-0.21	-0.12

表-5 気温低減量(解析日 A 夜間)

解析日A 18時～翌6時平均	丸の内	神田	神保町	四谷 四丁目	日比谷 公園
原野A	-2.78	-2.97	-2.89	-3.12	-2.59
遮熱A	-0.13	-0.12	-0.17	-0.14	-0.10
保水A	-0.13	-0.17	-0.20	-0.23	-0.11

表-6 抽出メッシュ箇所の道路比率

抽出メッシュ箇所	丸の内	神田	神保町	四谷 四丁目	日比谷 公園
道路比率 (%)	34.7	41.6	40.2	34.1	1.5

すように道路の面積は全面積の 3～4 割程度なので、0.2 度程度の気温低減量でも大きな値である。しかし、夜間では、3 度程度の都市化による気温上昇分に対して 0.14 度程度の気温上昇抑制となった。保水性舗装の場合も昼間、夜間ともに 0.2 度程度の気温低減量なので、遮熱性舗装と同程度の効果となっている。なお、日比谷公園の抽出箇所における道路の比率が 1.5%とほとんど道路がないにもかかわらず、遮熱性舗装や保水性舗装を施工すると日比谷公園でも気温が下がっている。これは、道路を含む周囲のメッシュからの大気の流れによる効果と考えられる。

(4) 異なる日射量での遮熱性舗装の気温への効果

遮熱性舗装は、その原理上、近赤外領域の波長の日射を反射して舗装温度の上昇を抑制することが期待されている。日射量が多い場合とそれより少ない場合で、気温に差があるのかどうかを検討するため、日射量がやや少ない日について、道路の全てを密粒度舗装にしたケース⑤（現況 A）と道路の全てを遮熱性舗装にしたケース⑥（遮熱 B）について数値計算を行った。図-29 に神田のデータ抽出箇所における気温の時刻変化を示す。また、遮熱性舗装にしたケース⑥（遮熱 B）の気温から密粒度舗装のケース⑤（現況 B）の気温を差し引いた気温の差を図-30 に示す。

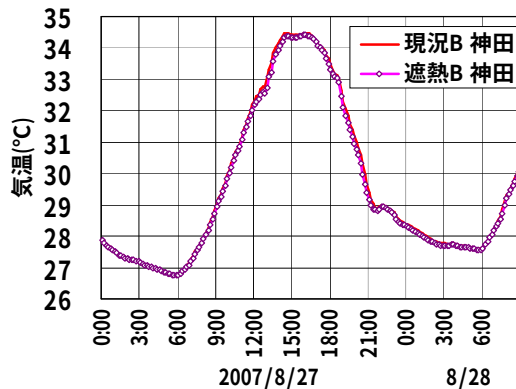


図-29 ケース⑤(現況 B)と⑥(遮熱 B)の
気温時刻変化

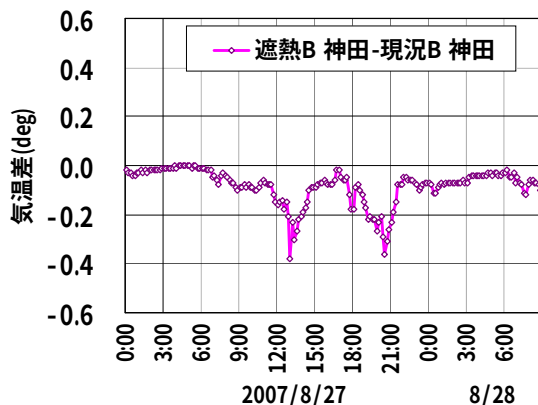


図-30 気温差の時刻変化
ケース⑥(遮熱 B)－ケース⑤(現況 B)

図-30 の気温差の時刻変化を見ると、解析日 A の場合と同じように日射量が少ない解析日 B でも遮熱性舗装の気温が低くなっている。解析日 A と同様に、9:00 から 18:00 までの昼間と 18:00 から翌 6:00 までの夜間について平均化を行った。表-7 と表-8 に遮熱性舗装にした場合の気温低減量の平均値を示す。日射量が多い解析日 A とそれより少ない解析日 B では、気温低減量は、解析日 B の場合の方が少なくなった。これは、日射量が少なくなったため、大気を直接温める顕熱の値自体が減ったためである。表-9 に 9 時から 18 時の顕熱の積算値を示す。例えば神田の場合、現況 A での顕熱積算値が $1.55 \text{ MJ} \cdot \text{m}^{-2}$ 、遮熱 A では $1.15 \text{ MJ} \cdot \text{m}^{-2}$ 、現況 B での顕熱積算値が $0.52 \text{ MJ} \cdot \text{m}^{-2}$ 、遮熱 B では、 $0.29 \text{ MJ} \cdot \text{m}^{-2}$ であり、いずれも半分以下である。そのため、遮熱性舗装にした場合、解析日 A の方が顕熱の削減率が小さいにもかかわらず、削減量が多いので、大気を加熱する熱量を減らしたため気温に差がついた。解析日 B の場合は、削減量が少ないので、気温低減量

表-7 気温低減量(解析日 B 昼間)

解析日A 9時～18時平均	丸の内	神田	神保町	四谷 四丁目	日比谷 公園
遮熱A	-0.20	-0.22	-0.22	-0.24	-0.16
遮熱B	-0.12	-0.12	-0.15	-0.19	-0.08

表-8 気温低減量(解析日 B 夜間)

18時～翌6時平均	丸の内	神田	神保町	四谷 四丁目	日比谷 公園
遮熱A	-0.13	-0.12	-0.17	-0.14	-0.10
遮熱B	-0.11	-0.10	-0.09	-0.08	-0.08

表-9 顕熱の積算値

9時～18時積算 顕熱 (MJ / m^2)	丸の内	神田	神保町	四谷 四丁目	日比谷 公園
現況A	1.20	1.55	1.63	3.01	3.40
遮熱A	0.58	1.15	1.18	2.40	3.40
削減量	0.62	0.39	0.45	0.61	0.00
削減率	52%	25%	28%	20%	0%
現況B	0.55	0.52	0.46	1.29	2.22
遮熱B	0.14	0.29	0.22	0.94	2.23
削減量	0.41	0.23	0.24	0.34	-0.01
削減率	75%	44%	53%	27%	-0.5%

が少なくなったと考えられる。つまり、日射量が多く、顕熱が多くなる日には遮熱性舗装の効果は発揮しやすく、日射量が少ない日には効果が発揮しにくいと考えられる。なお、日比谷公園の場合、抽出メッシュにおける道路の比率が 1.5% であり、道路が少ないので、顕熱の値にほとんど差がなかった。

(5) 気温偏差の分布図

①～⑥の各ケースにおいて数値計算を行った結果、1 時間ごとに気温の分布図を得ている。このうち、昼間の例として 14 時と、夜間の場合として 21 時の気温分布をケース③(遮熱 A)、ケース⑥(遮熱 B)、ケース②(原野 A)について図-31 に示す。分布の状況を見やすくするため、計算領域平均値からの偏差で示した。ここでの気温は、計算上の地上第 1 層の高さである 10m の値である。なお、ケース①(現況 A)、ケース④(保水 A)の気温分布は、ケース③(遮熱 A)と類似しているため割愛し、ケース⑤(現況 B)は、

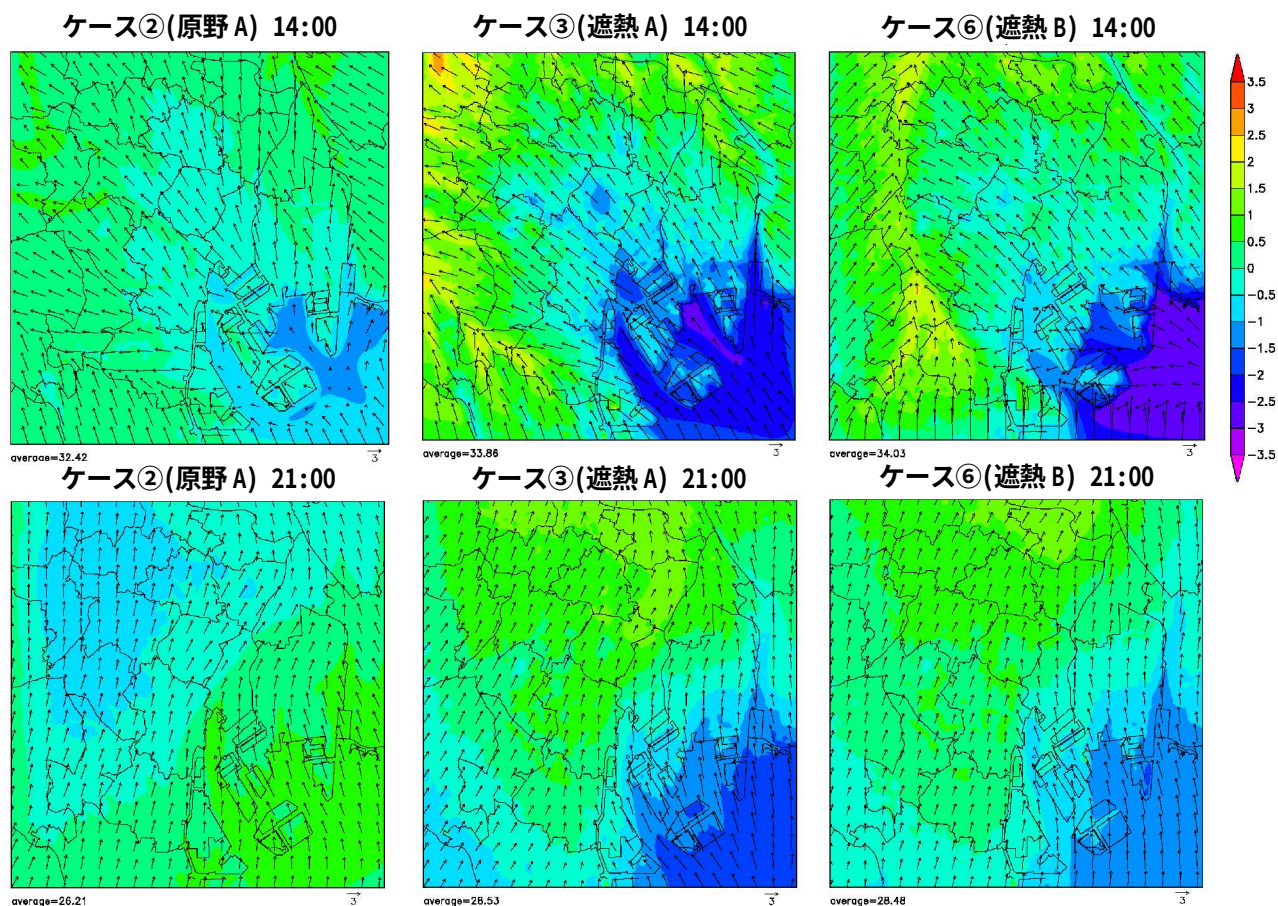


図-31 気温偏差の分布図

ケース⑥（遮熱 B）と類似しているの
で割愛した。

昼間の 14:00 の気温偏差分布図を見ると、原野 A、遮熱 A、遮熱 B いずれのケースでも、東京湾から北西に向かう風があり、陸上で加熱され、内陸にいくほど気温が上昇していく様子がわかる。特に遮熱 A と遮熱 B では解析日が異なるにもかかわらず、全体的には同じような気温の分布状況になっている。ただし、内陸部を細かく比較すると気温が高くなる収束域の位置が異なっており、計算条件によって高温域が変わることが予想される。一方、夜間 21:00 の気温偏差分布図を見ると、原野 A、遮熱 A、遮熱 B いずれのケースでも気温が低い東京湾から北西に向かう風よりも南から北に向かう風の方が支配的であり、そのため、遮熱 A、遮熱 B のケ

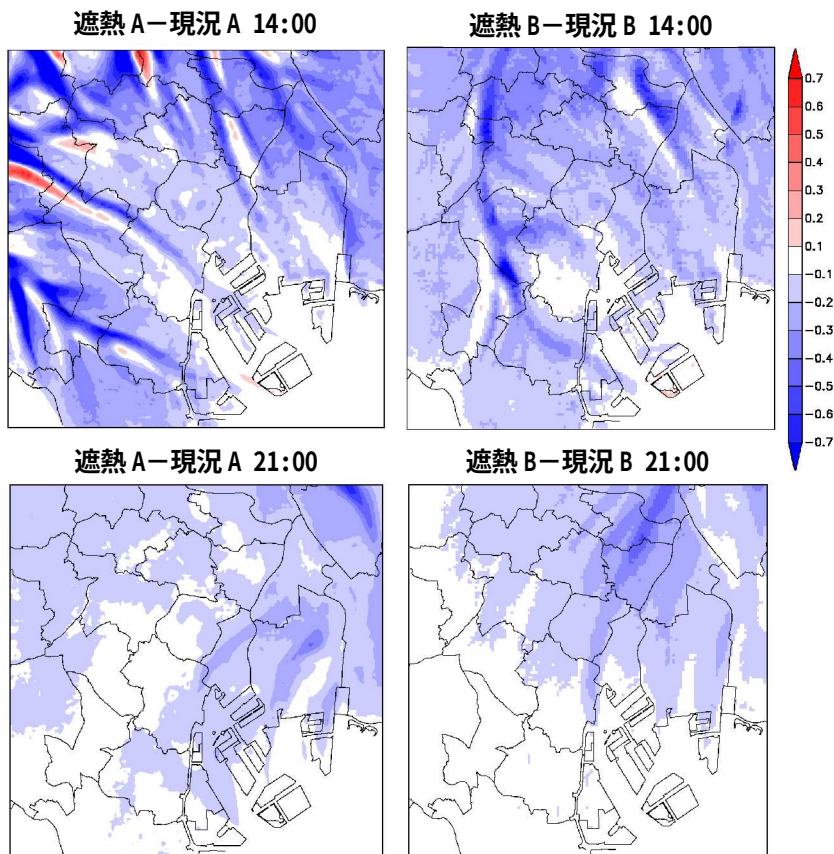


図-32 気温差の分布図

ースでは解析領域北部で気温が高くなっている。しかし、原野 A の場合は、都市化の影響が全くないので、内陸部から気温が下がっている。

次に遮熱性舗装を施工した場合の気温への効果を広域的に検討するため、遮熱性舗装にしたケース③(遮熱 A)の気温から密粒度舗装のケース①(現況 A)の気温を差し引いた気温の差の分布図と、遮熱性舗装にしたケース⑥(遮熱 B)の気温から密粒度舗装のケース⑤(現況 B)の気温を差し引いた気温の差の分布図を図-32 に示す。解析日 A(遮熱 A-現況 A)、解析日 B(遮熱 B-現況 B)のいずれの場合でも、全ての道路が遮熱性舗装を施工すると広域的に気温が低減することがわかる。特に内陸部では、沿岸部から少しずつ大気への加熱が抑制されるので、気温の低減量が大きくなっている。なお、解析日 A(遮熱 A-現況 A) 14:00 の場合で一部の内陸地域で現況 A のケースよりも遮熱 A のケースで気温が高くなる地域がある。これは、計算条件を一部変更すると気温が高くなる収束域の位置が変わるためと考えられる。

4. まとめ

- 1) 東京 23 区のうち、13 区を含む約 24.9km 四方の範囲を解析の対象範囲として数値シミュレーションを行った。本解析のモデルは、局地気象評価予測モデル (LOCALS) に建築研究所が開発した UCSS モデルを組み込んだモデルを使用した。本モデルは、建物を平面に置き換えるのではなく、実際の建物配置を正方形の建物配置に置き換えているので、日向日陰の影響を考慮でき、それぞれの壁面で反射される日射や長波放射を考慮することができる。
- 2) 解析にあたって標高データ、土地利用データ、電

気排熱データ、ガス排熱データ、自動車排熱データを入力条件として使用した。境界条件は、1 時間毎の気象庁の RSM-GPV データを使用した。土地利用パラメータのうち、密粒度舗装、遮熱性舗装、保水性舗装について、アルベドは観測値から設定し、熱容量と熱伝導は試験値から設定した。

3) 解析ケースとして、6 ケースを設定した。日射量が多い解析日 A と、それより少ない解析日 B を設定し、解析日 A では、道路の全てを密粒度舗装としたケース①(現況 A)、水面以外の陸地をすべて緑地としたケース②(原野 A)、全ての道路を遮熱性舗装としたケース③(遮熱 A)、全ての道路を保水性舗装としたケース④(保水 A)を設定した。日射量がやや少ない解析日 B では、道路の全てを密粒度舗装としたケース⑤(現況 B)、全ての道路を遮熱性舗装としたケース⑥(遮熱 B)を設定した。

4) 道路がすべて遮熱性舗装になった場合、時刻や場所によって変動があるので平均化すると、昼間で 0.2 度程度、夜間でも 0.14 度程度、気温上昇を抑制できるという結果になった。保水性舗装の場合も昼間、夜間ともに平均として 0.2 度程度の気温低減量なので、遮熱性舗装と同程度の効果となった。

5) 日射量が多い解析日 A と、それより少ない解析日 B で遮熱性舗装による気温低減量を比較すると、日射量が少ない解析日 B の場合の方が気温低減量は少なくなった。

6) 日射量が多い解析日 A と、それより少ない解析日 B のいずれの場合でも、道路がすべて遮熱性舗装になった場合、広域的に気温が低減していた。特に内陸部では、沿岸部から少しずつ大気への加熱が抑制されるので、気温の低減量が大きくなった。

参 考 文 献

- 1) 小作好明、廣島 実、峰岸順一 (2006)、保水性舗装の比熱・熱伝導率・放湿性の測定、土木学会 61 回年次学術講演会概要集
- 2) 小作好明、春日井哲夫、橋本一郎、古賀 睦、(2007)、散水した保水性舗装における渦相関法による顕熱・潜熱の現地観測、土木学会 62 回年次学術講演会概要集
- 3) 一ノ瀬俊明、花木啓祐、松尾友矩 (1994)、細密地理情報に基づく都市人口排熱の時空間分布の構造解析、環境工学研究論文集、第 31 巻、263-273
- 4) 土木学会 (2007)、コンクリート標準示方書 設計編、土木学会、44-45
- 5) 日本機械学会 (2001)、機械工学便覧 A6 熱工学、丸善、177