

温度成層を考慮したヒートアイランド現象のシミュレーション

赤池 環 (指導教員: 河村 哲也)

1 はじめに

近年, 地球温暖化が大きな問題になっており, 世界の年間平均気温は過去 100 年間で約 0.6 上昇したといわれている. しかし, 東京都の年間の平均気温は過去 100 年間に約 3 上昇している. これには地球温暖化だけではなくヒートアイランド現象の影響が顕著に現れていると考えられる.

ヒートアイランド現象とは都市の中心部の気温が郊外に比べて高くなる状態のことをいい, 主な原因として, オフィスや自動車からの人口排熱の増加, 都市がコンクリート・アスファルト化したことによる放射熱の増加, 緑地・水面の減少による気温上昇抑制効果の減少などが挙げられる. 気温の上昇や熱帯夜の増加によって生活上の不快感の増大や熱中症等の健康への被害が生じており, 光化学オキシダント生成の助長や都市型集中豪雨との関連も懸念されている. また, ヒートアイランド現象によって生じた都心部の熱は海風によって内陸部へ運ばれ, 練馬区や埼玉県などの午後の気温の上昇の一因になってると考えられる.

本研究では仮想的な都市を考え, 風の有無を比較し, 都心部の熱や雲に風がどう影響するかを検証する. また, ヒートアイランド緩和策として挙げられる屋上緑化と壁面緑化を緑化を施さない場合と比較し, どの程度の効果が得られるか検証する.

2 モデル化

xy 平面を地表面, z 方向を高さとする直方体領域を考え, 中心にビル 17 棟で表現した仮想的な都市部を設置した. 都市部は約 $0.8\text{km} \times 0.8\text{km}$, 高さは中央のビルが約 200m とし, 格子全体は約 $4\text{km} \times 3\text{km} \times 1.5\text{km}$ とする. yz 平面に垂直に海風が流入するとし, 都市部の風下側に内陸部があるとする.

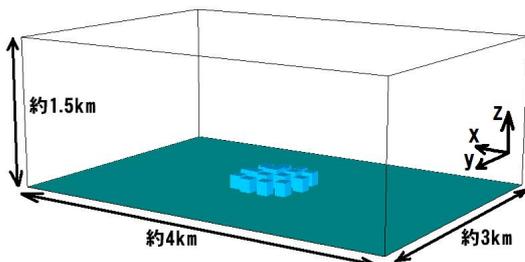


図 1: 都市のモデル化

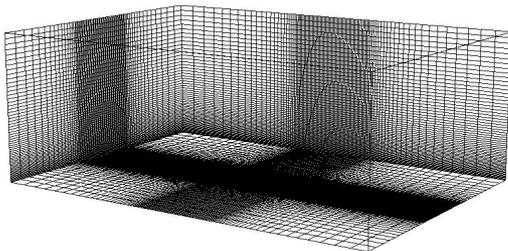


図 2: 計算格子

3 格子生成

x 方向に 100, y 方向に 80, z 方向に 60 の 3 次元不
等間隔格子を用いた. 都市部の熱の流れを良く見るため, 都市部に近いほど格子が細くなるようにした.

4 計算方法

大気の流れは非圧縮性流体とみなせるので, 連続の式-(1) と非圧縮性 Navier-Stokes 方程式-(2) を支配方程式として解くことができる. また, 熱や水蒸気量も取り扱うため, 熱に関する方程式-(3) と水蒸気量に関する方程式-(4) も用いた. これらの式は無次元化されている. 数値解法としてはフラクショナル・ステップ法を用いた.

$$\nabla \cdot \mathbf{v} = 0 \quad (1)$$

$$\frac{\partial \mathbf{v}}{\partial t} + (\mathbf{v} \cdot \nabla) \mathbf{v} = -\nabla p + \frac{1}{Re} \nabla^2 \mathbf{v} + \alpha T \quad (2)$$

$$\frac{\partial T}{\partial t} + (\mathbf{v} \cdot \nabla) T = \frac{1}{Re \cdot Pr} \nabla^2 T + Q \quad (3)$$

$$\frac{\partial H}{\partial t} + (\mathbf{v} \cdot \nabla) H = \beta \nabla^2 H \quad (4)$$

\mathbf{v} : 速度ベクトル, t : 時間, p : 圧力,
 T : 温度偏差, α : 浮力に關係する定数,
 Re : レイノルズ数, Pr : プラントル数, Q : 熱源項,
 H : 水蒸気量, β : 水蒸気の拡散に關係する定数

T は T_a を実際の温度, T_o を地表温度, γ を乾燥断熱減率としたときの乾燥断熱変化からの温度偏差であり, 以下の式で表される.

$$T = T_a - (T_o - \gamma Z)$$

また, 飽和水蒸気量は

$$H_s = \frac{217E(T_a)}{T_a + 273.15}$$

(ただし, $E(T_a) = 6.11 \times 10^{\frac{7.5T_a}{T_a+237.3}}$ とする.) と定義し, $H - H_s$ が正になった時に雲ができたと判断して, 潜熱 Q を発生させるとともに, 水蒸気量を過飽和の分だけ減らす.

本研究では, 時間間隔は $\Delta t = 0.0005$, 計算ステップ数は 10000, プラントル数は $Pr = 0.71$, 乱流の効果を考慮してレイノルズ数は $Re = 2000$ とした.

5 計算条件

夏の昼間を想定して, 気温は地表面が 30°C , 上空が 15°C (乾燥断熱減率は $10^\circ\text{C}/\text{km}$), 都市部のビルとコンクリート舗装道路は 50°C に設定した. 緑化を行った場合は緑化面のみ 35°C になるようにした. 初期条件の風の速度は 0 とした. 風が吹いている場合は yz 面から x 方向に 5m/s の風を流した.

6 計算結果

都市部断面の同時刻における温度分布を表示する.

6.1 風の有無

風がない場合と風がある場合を比較する．図4は右から5m/sの風が流れている．それぞれにおけるxz断面の温度分布と発生した雲(白で表示)を表示した．

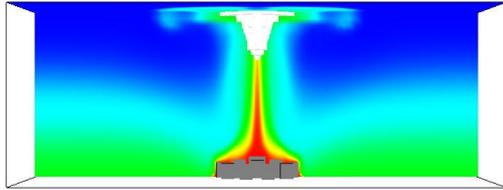


図 3: 風なし

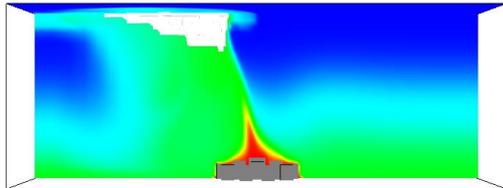


図 4: 風あり

6.2 緑化

緑化をしていない場合(case0)と3パターンの緑化をした場合を比較する．屋上緑化(case1)はビルの屋上部分，壁面緑化1(case2)はビルの風上側の壁面，壁面緑化2(case3)はビルの風下側の壁面を緑化面とした．どの場合も，xz断面図では右から，yz断面図では左から5m/sの風が流れている．

xz断面図

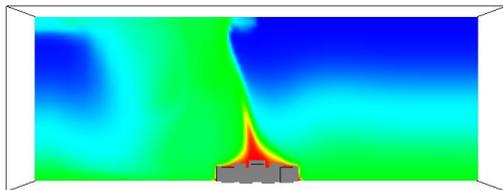


図 5: 緑化なし (case0)

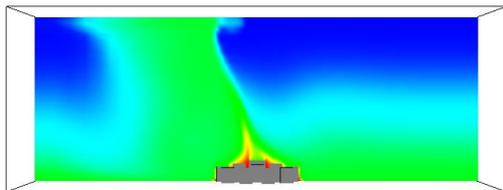


図 6: 屋上緑化 (case1)

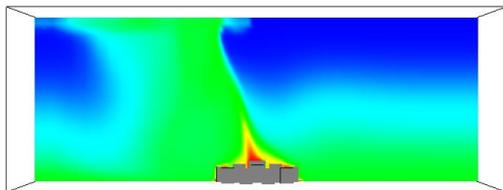


図 7: 壁面緑化 1(case2)

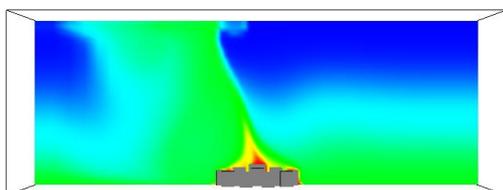


図 8: 壁面緑化 2(case3)

yz断面図

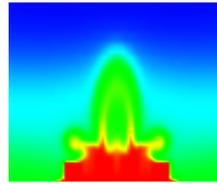


図 9: 緑化なし (case0)

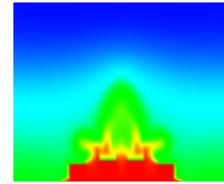


図 10: 屋上緑化 (case1)

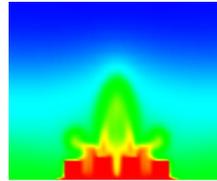


図 11: 壁面緑化 1(case2)

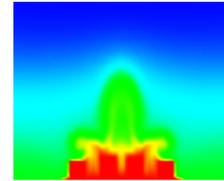


図 12: 壁面緑化 2(case3)

7 考察

7.1 風の有無

風がない場合では都市部の上空にしか熱は広がっていなかったが，図4から風がある場合は風下側に流されていること，雲も同様に風下側に発生していることが確認された．このことから，都市部の熱や発生する雲は風によって内陸部に運ばれていると考えられる．

7.2 緑化

図5-8から，case1,2,3はcase0に比べて高温を示す部分が減少していること，case1,case3,case2の順に内陸部への熱の移動が抑えられていることがわかる．

図9-12から，case1,2,3では上空への熱の移動が抑えられること，case2,3では都市内部の気温上昇が抑えられることがわかる．

ビルの風上側は風を直接受けるので熱は上空よりも都市内部へと流れるが，風下側は回り込んだ風と周りから吹き込む風がぶつかるために熱は都市内部よりも上空へ流れている．そしてこのとき屋上からの熱も一緒に上空へと流れる．

したがって，case1では都市内部はcase0と変わらないが，屋上の緑化面によって上空への熱の移動が抑えられ，case2では風上側の緑化面によって都市内部の気温上昇が抑制されるが，上空への熱の移動は抑えられず，case3では風下側の緑化面によって上空への熱の移動が抑えられると考えられる．

8 まとめと今後の課題

本研究では，仮想的な都市における温度成層を考慮したヒートアイランド現象によって発生した熱や雲が風によって内陸部へと運ばれること，ヒートアイランド緩和策の緑化の効果を調べた．今後は，緑化以外のヒートアイランド緩和策について検証したり，仮想的な都市ではなく，実際の都市の形状や熱収支を考慮してより現実的なシミュレーションを行いたい．

参考文献

- [1] 河村哲也，"数値シミュレーション入門"，ISBN4-7819-1134-X，サイエンス社，2006
- [2] 河村哲也，"流体解析I"，ISBN4-254-11402-8，朝倉書店，1996