

中規模都市におけるヒートアイランド現象の数値モデル解析

湯ノ口 洋平* 大河内 康正**

A Numerical Model Analysis on the Heat Island in Medium-Sized City

Yohei Yunokuchi*, Yasumasa Okochi**

Nowadays, it is confirmed that the heat island is formed even in the small city. In this study, we performed simulation for Yatsushiro city that is a middle-scale city in Japan with a population of about 130,000 people. We performed the numerical model simulation that is considered to buildings and land usage. The temperature distribution of urban heat island is affected by winds, its turbulence energies causing from buildings and land use. One of the features is confirmed that the temperature of central part of city becomes higher than the surround since the hot wind converges the center. However, the water around the site of castle park in the center of a city is effective as the cool spot.

キーワード：ヒートアイランド，海陸風，乱流クロージャーモデル，建物の効果

Keywords：Heat Island, Land and Sea Breezes, Turbulent Closure Model, Building Effect

1. はじめに

地球全体の平均気温は徐々に上昇してきており，地球温暖化が世界的に問題となっている。これは人間の活動によって排出された二酸化炭素などの温室効果ガスの蓄積が主な原因であると考えられている。さらに，人間の活動によるエネルギー消費もローカルな温暖化を生じさせている。気候変動に関する政府間パネル(IPCC)は，2007年の第4次報告書¹⁾の中で，「地球温暖化は疑う余地がない」というほど顕在化している。国や企業による温室効果ガス削減の取り組みが行われている一方で，BRICsをはじめとする新興国や発展途上国の急激な経済発展に伴い，そこから排出される二酸化炭素の量も大きくなっている。2008年のデータ²⁾によると中国はアメリカを抜き，二酸化炭素排出量が1位となった。先進国である日本の二酸化炭素排出量は世界の4%を占め第5位であるが，近年減少傾向にある。

大都市では，地球温暖化に加え，ヒートアイランド現象も広範囲に見られるようになってきている³⁾。ヒートアイランド現象は熱帯夜による睡眠障害や健康問題を生じさせ，熱中症の発生にも影響を与えている。厚生労働省は，2010年の熱中症による死亡者が1718人に達した⁴⁾と発表し，温暖化は命に係わる問題となってきている。ヒートアイランド現象は東京や大阪などの超過密都市だけでなく，小さな都市にも現れることが確認されている。熊本県の第二都市である八代市

も例外ではない。仲座⁵⁾が八代市の実測調査を行っている。本研究では，八代市の実測調査結果を参考に数値モデルによるシミュレーション解析を行う。

本研究では，ヒートアイランド現象の原因を考察するため，YSA社が開発した乱流クロージャーモデル(A2Cf1ow)⁶⁾⁻⁸⁾を使用して局地気象モデルシミュレーションを行う。対象領域は熊本県八代市とし，八代城跡や中心商店街がある中心部と，市街地の一部で周囲を球磨川が流れる麦島にスポットを当てて。対象日時は年間最高気温のピーク時である7月20日とする。シミュレーション結果から，風と温度についての特徴を読み取り，八代市におけるヒートアイランド現象の構造を明確にする。また，単純な大規模建物を配置して計算を行い，建物によって風・温度・乱流エネルギーがどのように変化し，どのような特徴があるのかを検証する。

2. ヒートアイランド現象とは

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現象である。都市の気温に等温線を書き入れると，都市の気温は中心部になるほど周辺部より高くなっている。その等温線を描くと都心部が島状になることから，ヒートアイランド(熱の島)と呼ばれる⁹⁾。ヒートアイランド現象の問題は，郊外よりも気温が高くなるために都心部では上昇気流が発生し，郊外や都市部の大気が収束し大気汚染物質が濃縮される。その上昇気流により，積乱雲の種ができやすくなり，都心部に集中豪雨をもたらす可能性もある。また，夏場は一日を通して比較的気温が高く，熱帯夜の日数が増加する。そのため，冷房の使用がさらに拡大することによりエネルギー消費量が増え，地球温暖化へと繋がるということも大きな問題である。

* 九州旅客鉄道(株)
〒812-8566 福岡市博多区博多駅前3丁目25-21
Kyushu Railway Company Ltd.
3-25-21 Hakata-Ekimae, Hakata-ku Fukuoka, Japan 812-8566

** 建築社会デザイン工学科
〒866-8501 熊本県八代市平山新町2627
Dept. of Civil and Architectural Engineering, 2627 Hirayama-shinmachi, Yatsushiro-shi, Kumamoto, Japan 866-8501

地球温暖化とヒートアイランド現象における高温化の仕組みの違いは、人間活動が原因であるという点では類似しているが、地球温暖化は、大気中に二酸化炭素などの温室効果ガスが増えることにより大気と宇宙空間との放射収支の均衡が変化し、大気により多く地球放射が吸収され、大気がさらに地表に多く再放射するため地表付近の気温が上がってしまう現象である。一方、ヒートアイランド現象(都市温暖化)は、植生等の減少による蒸発散量や保水量の減少による潜熱放出量の減少、コンクリートやアスファルト等の人工建造物による蓄熱量の増加、空調設備や生活に伴うエネルギー消費増加による廃熱により都市が高温化する現象である。ヒートアイランド現象は、都市の規模によって違いが出るのはもちろんのこと、天候、季節によっても違いが出る³⁾。

ヒートアイランド現象の出現原因¹⁰⁾を詳細に考えてみる。土地利用の影響は、主に昼間のヒートアイランド現象の要因となり、緑地等の減少及び人工被覆面の増大による蒸発散作用の減少により気温上昇を招く。アスファルトやコンクリートおよび建築物群の影響は主に夜間のヒートアイランド現象の要因となり、建築物による風速の弱化によって地表付近の熱が運ばれにくくなること、および建築物の蓄熱効果により気温低下を抑制する。人工排熱やエネルギー消費の影響は、人口が密集する地域を局所的な高温域にする要因となる。

3. 大気モデルシミュレーション

本研究で用いる数値モデルは、YSA社製のYamadaが開発した乱流クロージャーモデル(A2CFlow)⁶⁾⁻⁸⁾を使用する。

流体力学変数の風ベクトルを例にとると、時間的にも空間的にもゆっくりと変化する平均流 U とそれからの乱れ(乱流) u に分けられる。すなわち一般の流れは $U+u$ と表現できる。実際に風として観測上意味ある量は U である。したがって、空間時間平均(短時間・狭い空間平均)をとると U だけが残る。なぜなら乱流は平均をとると打ち消しあうので $\bar{u} = 0$ となる。このように、変数を平均量+乱れの形として、風ベクトルの3成分を $(U+u, V+v, W+w)$ と表す。同様に温位については $\theta + \theta'$ 、混合比については $Q_v + q_v$ と表現する。

時間発展を表す偏微分方程式は、偏微分方程式自身を平均すると平均量についての方程式になるので、平均量についての時間発展方程式になる。しかし、流体力学の運動を表現しているナビエーストークスの方程式は、慣性項 $\mathbf{u} \cdot \nabla \mathbf{u}$ の形の項を含む非線形方程式であるため、方程式の平均 $\overline{\mathbf{u} \cdot \nabla \mathbf{u}}$ には、乱流について2次の項が現れる。2次の乱流についてナビエーストークス方程式を求めると、その時間発展が記述できるが、その方程式には、より高次の乱流項が出現する。

乱流クロージャーモデルは、ある次数の乱流量で切断し、さらに高次の乱流項を風洞実験値などの経験式で補い、閉じた方程式系を作ったものである。沢山の提案方程式があるが、

もっともよく用いられているものの一つが Mellor and Yamada (1982)¹¹⁾のクロージャーモデルである。ここでは、レベル2.5のモデルである。

(1) 支配方程式

大気の運動の時間発展を求めるには、以下に示す運動方程式、熱輸送方程式、水蒸気輸送方程式を3次元格子点に離散化し連立方程式として時間積分する。運動方程式では、コリオリ力の項、気圧傾度力の項、渦拡散の項、平均流と乱流輸送の項を含む方程式から平均流の時間発展を計算する。熱輸送方程式は、熱拡散の項、乱流による熱輸送の項から温位の時間発展を計算し、水蒸気輸送方程式では、拡散の項、乱流による水蒸気輸送の項から水蒸気の時間発展を計算する。

①風ベクトル場 $\mathbf{U}=(U, V, W^*)$ についての方程式

$$\frac{DU}{Dt} = f(V - V_g) + g \frac{\bar{H} - z^*}{\bar{H}} \left(1 - \frac{\theta}{\theta_v}\right) \frac{\partial z_g}{\partial x} + \frac{\partial}{\partial x} \left(K_x \frac{\partial U}{\partial x}\right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(K_y \frac{\partial U}{\partial y}\right) + \frac{\bar{H}}{H - z_g} \frac{\partial}{\partial z^*} (-\overline{uw}) \quad (1)$$

$$\frac{DV}{Dt} = f(U - U_g) + g \frac{\bar{H} - z^*}{\bar{H}} \left(1 - \frac{\theta}{\theta_v}\right) \frac{\partial z_g}{\partial y} + \frac{\partial}{\partial x} \left(K_{xy} \frac{\partial V}{\partial x}\right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(K_y \frac{\partial V}{\partial y}\right) + \frac{\bar{H}}{H - z_g} \frac{\partial}{\partial z^*} (-\overline{vw}) \quad (2)$$

ここで座標系は、地形座標系で変化する層の厚みにかかわらず、格子点数は同じ数だけ取っており、鉛直方向の座標は実際の高さと異なっている。そのため変数に $*$ をつけて表す。軸方向は x :東向き、 y :北向き、 z^* :鉛直上向きにとる。また、 $\frac{D}{Dt} = \frac{\partial}{\partial t} + \mathbf{u} \cdot \nabla$ は実質微分を表す。

地形座標上の鉛直流 W^* については、通常は次の連続の式より求める(静水圧近似)。

$$W^* = \frac{\bar{H}}{H - z_g} W + \frac{z^* - \bar{H}}{H - z_g} \left(U \frac{\partial z_g}{\partial x} + V \frac{\partial z_g}{\partial y}\right) \quad (3)$$

②温位 θ についての方程式

$$\frac{D\theta}{Dt} = \frac{\partial}{\partial x} \left[K_x \frac{\partial \theta}{\partial x}\right] + \frac{\partial}{\partial y} \left[K_y \frac{\partial \theta}{\partial y}\right] + \frac{\bar{H}}{H - z_g} \frac{\partial}{\partial z^*} (-\overline{w\theta}) \quad (4)$$

③水蒸気 Q_v 輸送方程式

$$\frac{DQ_v}{Dt} = \frac{\partial}{\partial x} \left[K_x \frac{\partial Q_v}{\partial x}\right] + \frac{\partial}{\partial y} \left[K_y \frac{\partial Q_v}{\partial y}\right] + \frac{\bar{H}}{H - z_g} \frac{\partial}{\partial z^*} (-\overline{wq_v}) \quad (5)$$

ここで、

記号: $\mathbf{u}=(U+u, V+v, W+w)$:風速の x, y, z 成分、 $\theta + \theta'$:温位(平均)、 $Q_v + q_v$:混合比、 $H, (\bar{H})$:流体層(平均)の厚さ、 z_g :地表高度分布、 K_x, K_y : x, y 方向の渦拡散係数

これらの式で、 $\overline{uw}, \overline{vw}, \overline{w\theta}, \overline{wq_v}$ が乱流輸送項であり、これらの時間発展および乱流エネルギーなども運動方程式により計算するが、詳細は文献[12]を参照のこと。

(2) 初期条件及び計算条件

初期条件をまとめると、対象日時：7月20日、海面温位：300K、海面気圧：1000hPa、初期温位勾配：1000m未满是1.0K/km、1000m以上は3.0K/km、上部境界で一定風速 $U=U_0$ 。太陽日射量を太陽高度の関数として与える。八代市広域の格子間隔は800m、200m、50m、の三段階で計算を行う。建物を置いた場合の格子間隔は10mとする。

シミュレーションにおける土地利用形態には、田畑・農地・果樹園・森・荒地・都市・都市郊外・鉄道・空地・湖・川・河川敷・海岸線・海洋として分類されている。利用形態に応じて一定の粗度・反射率・湿り気・人工排熱・熱伝導・比熱・密度が、あらかじめ与えられている。

4. 気温と風の日変化についての解析

八代市の気温と風速の解析を行った。図1に八代市と周辺域の航空写真を示す。解析対象日時は夏季における気温・風速を計算するために、7月20日とした。気温の日変化を図2に、風速の日変化を図3に示す。図2は八代市中心部、図1中のA地点において、地上0mから地上17mまでの気温の日変化を表している。地表面の温度は正午が最も高く、40°C近くまで達している。最も低い午前5時との温度差は12°Cに達する。地表面とその上の気温差は大きく、地上2mでは最高気温のピークは32°Cで、時間も13時近くである。昼間は太陽放射の吸収により気温が高くなり、夜間は放射冷却により低くなる。18時から19時にかけて2mと7mの気温が急激に下がっている。同様に図3は、各高度での同地点の風速変化を表している。八代地域では、夜間は陸から海への陸風に加え山からの山風が吹き、昼間は海からの海風が吹く。9時頃の風速を見ると、一旦弱まりまた強まっている。この弱まりは、陸風から海風に変化する時間で風にあたる。18時から21時も同様に海風から陸風に変化している。地上2mでは夜間と昼間の最大風速はあまり差がないが、高度が上がるにつれて夜間のほうが昼間よりも風速が強い。観測例¹⁴⁾は少ないが、八代付近の地上風で、晴天時、昼間の風速に比べて夜間の方が強いという観測例はなく、このモデルでは、山風が強く出る傾向があるようである。

次に図4の(a)～(c)は八代市広域の高度7mにおける風ベクトルの日変化を表す。最大風速は1.5m/s程度である。9時頃(図4(a))になると内陸へ向かう海風および山岳では平野部から山岳へ谷風が発達し始める。19時頃(図4(b))までは海風だけの風になるが、20時頃になると山風と陸風が侵入して混ざりあう。21時(図4(c))以降には完全に陸風に変わる。夜間は山から平野部への山風又は陸から海へ陸風が吹く。このように、快晴時の八代域では海陸風が卓越する。

さらに、八代市広域における土地利用形態も考慮した場合の計算を行い、温度分布および風ベクトルの日変化の様子を見つめる。図5の(a)～(c)は、八代市広域における温度分布と風ベクトル分布を表している。9時頃になると周りの温度

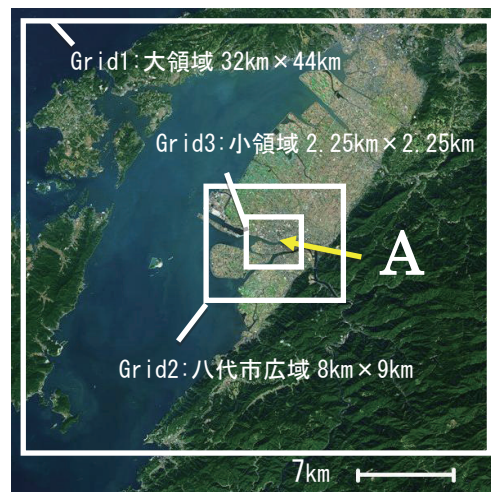


図1 対象領域A(八代市)¹³⁾

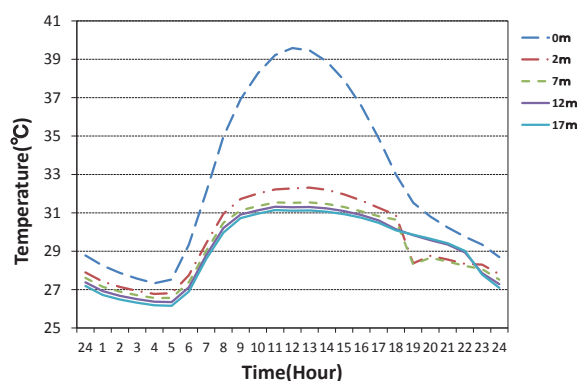


図2 高度別気温の日変化

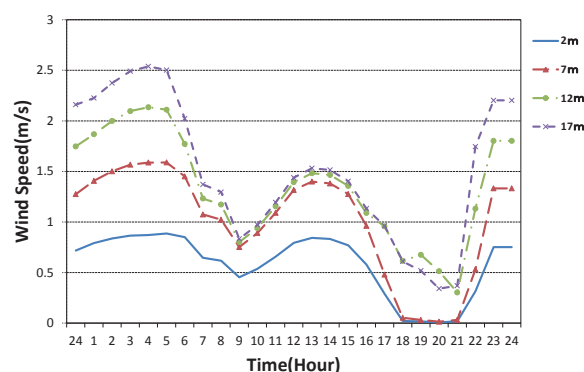
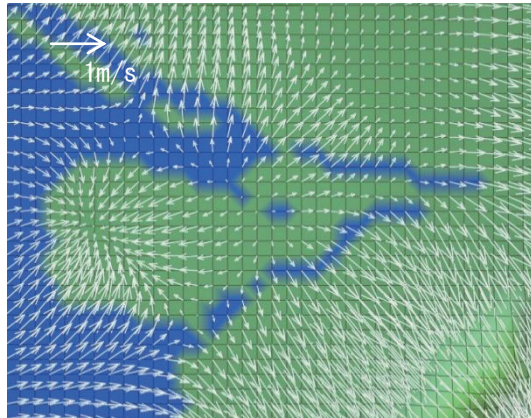
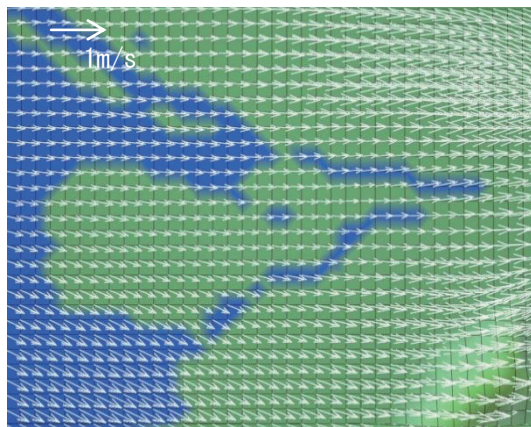


図3 高度別風速の日変化

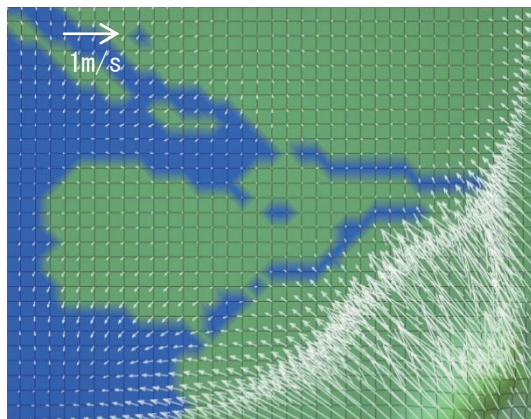
よりも高い地点(X)が現れる(図5(a))。それまでの風ベクトルは直線的にこの高温(低圧)部の地点(X)に収束していたのに対し、中心に向かって渦巻くように集まり始める。この後も地点(X)の温度は上昇し続け35°Cを超える分布を示すようになる。次に、13時頃(図5(b))には、35°C以上を示す気温の範囲が広がり、風ベクトルは地点(X)を中心として中心部付近に収束している。地点(X)付近で上昇気流を形成して



(a) 9:00



(b) 19:00

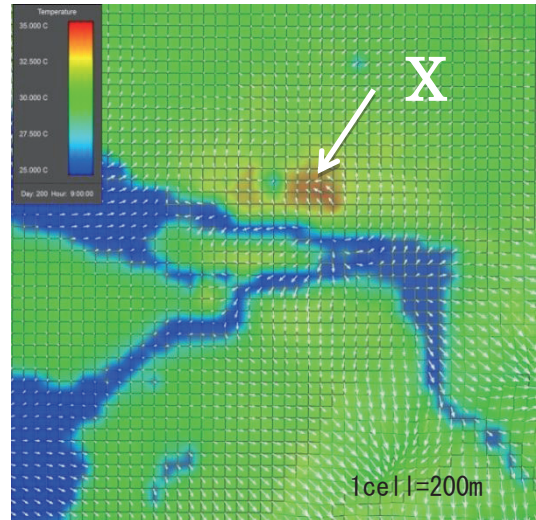


(c) 21:00

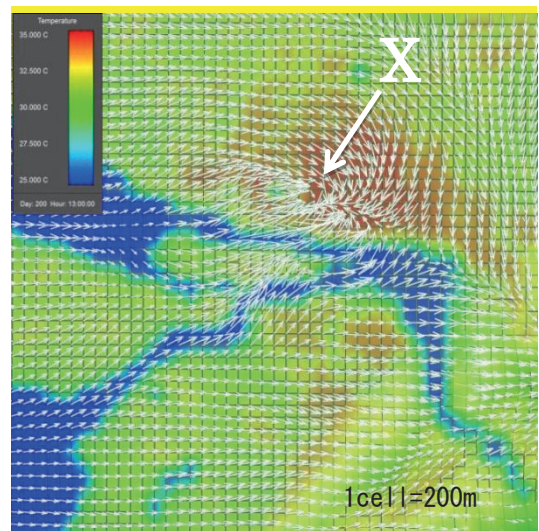
図4 八代市広域の風ベクトル分布

いる。17 時頃 (図 5(c)) になると、 35°C 以上の気温領域はなくなる。今まで地点(X)を中心に収束していた風ベクトルは弱まり、これ以降は内陸に向かう一様な海風が卓越する。

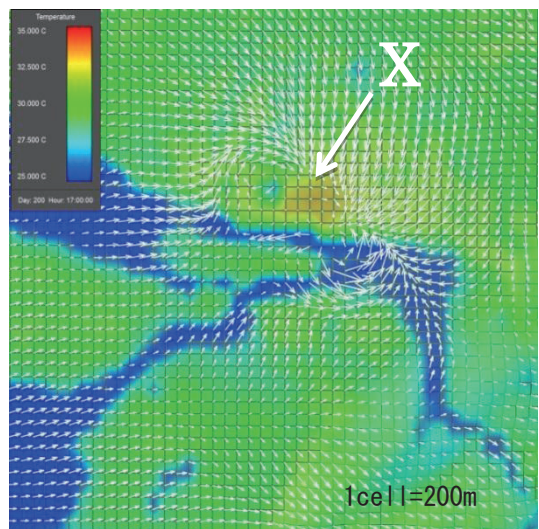
地点(X)は八代の中心市街地付近である。人工熱の影響と建物の影響(土地利用形態の違い)により温度が上昇し、この温度上昇に伴い風が地点(X)周辺部に集まり上昇気流を生み出している。地点(X)が周りよりも高温度を示すのは、人工熱により温度が高くなることに加え、収束により周りの熱



(a) 9:00



(b) 13:00



(c) 17:00

図5 八代市広域における温度分布と風ベクトル分布

気が集まることにもよる。ヒートアイランドの中心部はさらに温度が高くなる構造になっている。

次に、八代市中心部におけるヒートアイランドの様子を詳しく見てみる。図6に八代市広域における15時の風ベクトル分布と温度分布の様子を示す。この時海風は最も発達しており、一般的には海から内陸に向かい風が吹く。さらに海風は、粗度が小さく低温の川に沿って内陸まで浸透する。図のYの範囲は周辺よりも高い温度を示しており、これはヒートアイランド現象であるといえる。温度が高いのに加え、風ベクトルも本来の海風の方向とは異なり、都市の影響が見られ、Yの範囲を中心として大きく渦巻いている。河川域が低温域を形成している他、Yの範囲の中には、一部だけ温度が低い地点(Z)がある。この地点(Z)には八代城跡があり、周りは水堀りで囲まれている。この水堀りは温度低減効果があり、高温域の一部だけ低温度を示している。つまり、八代城跡はクールスポットであるといえる。このことは、すでに松浦ら¹⁵⁾が指摘している。

このシミュレーション結果により、八代市のヒートアイランド現象は、海や河川さらには八代城跡の水堀の影響が見られるが、都市の中心部は風が収束しやすいため、特に高温を示すという構造がある。八代市の温度分布については、実測調査の結果⁵⁾にも類似した観測例が報告されている。

一方、八代市のような中規模都市は大都市に比べ、都市の影響による昇温の程度とヒートアイランド現象の広がりも小さいと考えられる。高温域は、土地利用形態で人工被覆率の高い地域に限られるようである。

5. 建物の影響についての解析

本節では建物の影響を調べる。八代市の図7中のB地点(麦島)に建物を置き、気温と建物表面温度、風についてのシミュレーションを行った。建物は高さ30m、横幅80mの正方形の平面を持ち、鉄筋コンクリート造を仮定した。対象日時は前節と同じく夏季の代表として7月20日とし、一般風は西風2.0m/sである。

本モデルでは、太陽日射の角度を考慮しているため、建物の壁面に対しても日変化し、早朝には東側壁面に、夕刻には西側壁面の温度が上昇する。しかし、日変化の時間を追ってみると、建物の昇温が遅れる効果が効き10時には周囲の温度よりも建物周辺が低い温度を示し、建物の周りで下降流が発生する。風上側では建物を乗り越える上昇流と建物壁面にそって下降流ができ、上流に向かい逆流を形成する。一方、風下側では建物を乗り越えた風が下降流となって地表面にそって吹く。地表面の温度は、風下側が低い。この時間の建物屋上の温度は44℃となる。12時には風上側の下降流に伴う逆流はさらに大きくなる。しかし、建物の周囲領域の温度が上がり、風下側の低温域は小さくなる。建物屋上の温度は48℃で、4℃上昇する。

図8に(a)14時、(b)18時の様子を示す。14時には風下側

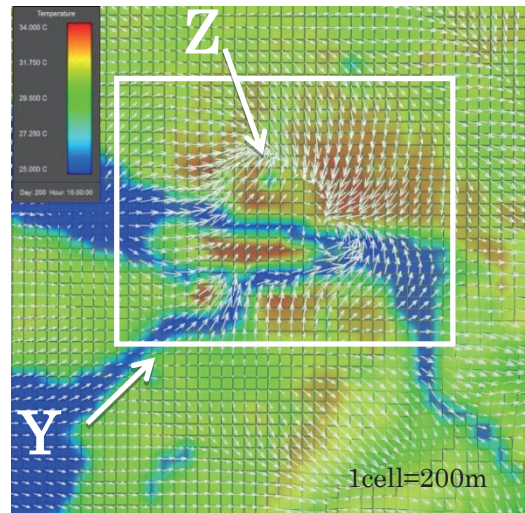


図6 八代市広域における15時のヒートアイランドの様子と風ベクトル分布

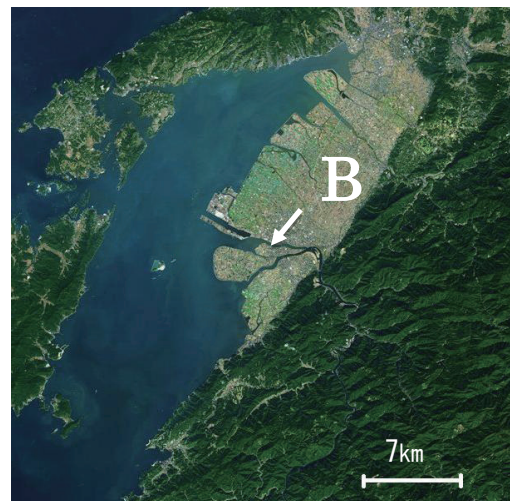
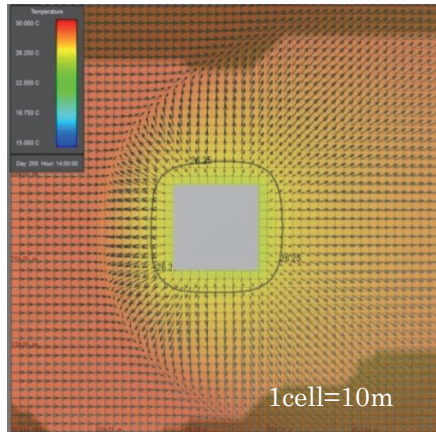


図7 解析地点B (八代市)¹³⁾

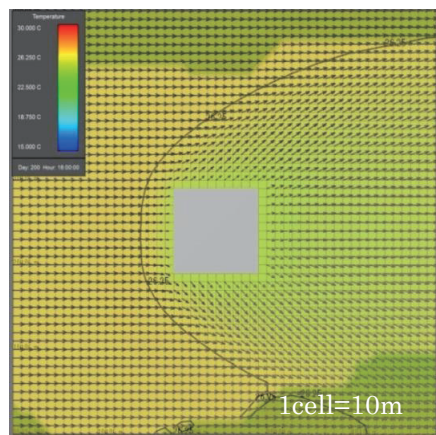
の下降流の範囲は12時と変わらないが、風上側の下降流に伴う逆流の範囲は狭くなっている。建物屋上温度は46℃で2℃下がった。18時には、全体の気温が下がり周囲と建物周辺との温度差は小さいが、風下側ではこの時間でも気温が低くなっている。建物屋上温度は28℃となり、周囲との気温差は小さくなった。

次に、流れと気温について鉛直断面の時間変化を見てみる。流れ方向の断面(東西断面)と、流れと垂直な断面(南北断面)について比較する。9時の東西断面には、建物を乗り越えるような風上側の上昇流と右側風下側の下降流は見られるが、風上側の下降流に伴う逆流はまだ見られない。建物周辺の地表面温度を見てみると、風上側壁面前方10m地点が38℃、風下側壁面後方10m地点では37℃となっており風上側が1℃高い。

図9に12時における流れ方向の断面((a)東西断面)と、

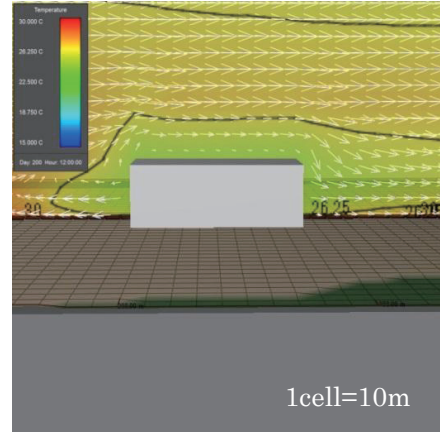


(a) 14:00

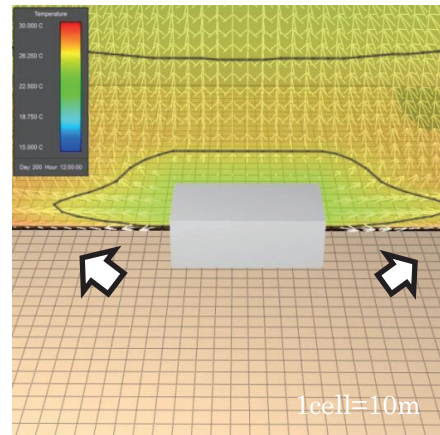


(b) 18:00

図8 建物 x-y 平面周りの流れの日変化 高度 10m



(a) 東西断面



(b) 南北断面

図9 12時における建物鉛直断面周りの流れ

流れと垂直な断面((b)南北断面)で風上側から見た断面について比較する。12時では、建物表面温度が低いため建物周辺で下降流ができています。建物から離れるにつれて地表面温度は高くなっています。図9(b)は建物を避けるように風ベクトルが両側に分かれて流れ、紙面手前から奥方向に流れている様子を示している。14時には、熱輸送や運動量輸送に大きな役割を持つ乱流が発達し、渦拡散も大きくなるため気温と流れへの影響範囲は大きくなる。

次に建物の色について考えてみる。本モデルでは、地表や物体表面温度は、太陽放射や大気放射などの放射収支および顕熱や潜熱の収支によって決定される。建物は、鉄筋コンクリート造を仮定している。本モデルでは、建物の色の設定も可能であるが、色によって太陽放射の吸収率が異なる。

建物の色は、白、黒、緑の3種類を考えた。12時における建物屋上表面の温度を見比べると、白、緑では48℃と共と同じ値を示したが、黒の場合は51℃と白、緑に比べて3℃高い値を示した。放射吸収の大きい黒のほうが温度は高くなるのがわかる。白と緑では他の時間帯の温度も同じ値を示した。10時では白・緑が44℃、黒が46℃。14時では白・緑が46℃、

黒が48℃。18時では白・緑が28℃、黒が29℃の値を示した。本モデルでは、白と緑の吸収率の違いは大きな影響を与えない。屋上緑化をイメージして緑色の建物を作ったが、植生による日射の遮断や水分の蒸発散作用により表面温度が下がる効果は大きいと思われるが、建物の色だけではあまり効果が見られなかった。また、風ベクトルに関しては、3色の建物回りの流れとも違いはほとんど見られなかった。

このように、一つの建物を置くことで、局所的には、建物の周りには、建物を避けるような流れが生じ、周りの気温や流れに大きな影響を与えることがわかる。

6 建物により発生する乱流

ヒートアイランド形成に建物の周りに発生する乱流が、昼間は地表の高温の空気を上部に輸送し夜間は逆に上部の高温の空気を下部に輸送する混合の効果や熱気を滞留させる効果として働くことが考えられる。そこで、ここでは、複数の建物を配置して、乱流の構造を見ることにする。

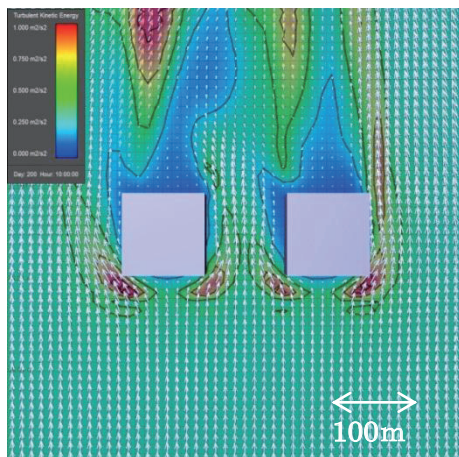
ここでは、一定の風を考えるが、建物は太陽日射を受けて日変化し、建物の周りの風は時間とともに変化する。建物に

より乱流が発生し、時間と共にその乱流エネルギーは絶えず変化する。

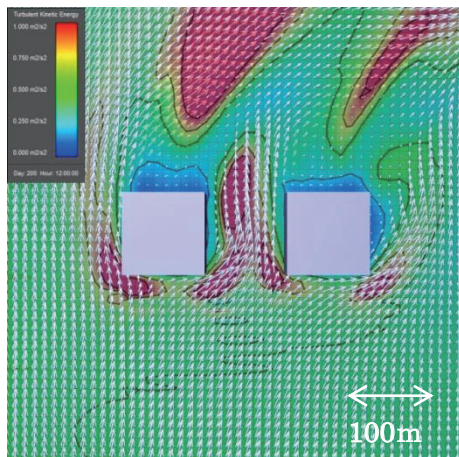
建物周りの風の乱れを調べるために2つの建物を配置してその周りの乱流エネルギーの変化を計算する。南風、風速 5 m/s とし、建物は東西に2棟配置している。建物は高さ 30 m、横幅 80mの正方形の平面を持ち、建物間は 80m離れて配置されている。

建物回りに発生する乱流エネルギーの発達の様子を図 10 に示す。赤色が乱流の強い部分を示している。10時(a)には建物の角の部分に強い乱流が発生し始め、風に流されて斜め後方にも強い乱流の塊がみられる。建物のすぐ後方では弱いことがわかる。12時(b)には風が強くなりそれに伴い乱流も強くなっている。乱流の範囲も大きくなり、建物後方の離れた場所にも発生している。10時に比べて建物後方の弱い範囲が小さくなった。建物間にも強い乱流が発生しているのがわかる。また、乱れは左右に振動するが、この時間は東側に大きく流された形になっている。強い乱流は建物上部の角に見られ、後方に向かって大きく広がっている。建物間では2つの建物により発生した乱流が合わさり、大きな乱流が発生していると考えられる。14時には12時に比べて建物間にあつ

た強い乱流がなくなる。18時には強い乱流が発生している箇所は少なくなるが、今まで建物前方にあった乱流は小さくなり、200mほど後方に残る。風向きの違いにより建物と乱れとの関係を調べるために図 10 と同様の設定で風向きを変化させてシミュレーションを行った。図 11(a), (b)に一般風を南西風、西風とした場合に発生する乱流の様子を示した。南風(図 10(b))と南西風は類似した発生の仕方をしているが、西風の場合は風下側の建物周辺に強い乱流が発達していることがわかる。南・南西風は、各建物の角で発生した乱流が合わさり、建物間に侵入しているが、南風の方が建物間に強い乱流が見られる。南・南西風の乱流発生の仕方は、まず風を受ける建物の角の部分で発生して後方に流れ、建物後方で強い乱流の塊ができるように発生している。西風の場合は、風上側の建物で発生する乱流の分布の様子は南・南西風と同じだが、風下側の建物の乱流発生の仕方は、建物を乱流領域が取り囲むように発生しており、南・南西風のような建物後方に広がるように発生するのは異なる。一般風が南・西風の方が、南西風に比べると、強い乱流が発生している範囲が大きい。南西風の場合は風が建物の角に向かって吹いており、風が正面から当たる建物表面積が小さいために他の2つに比

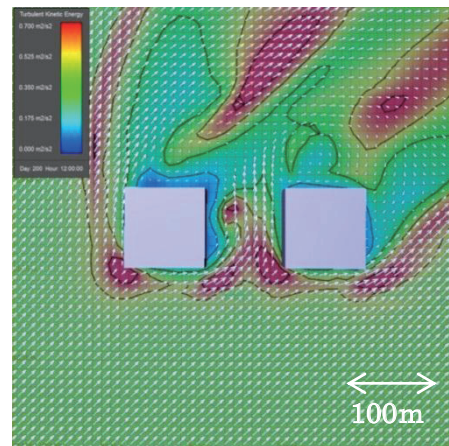


(a) 南 10:00

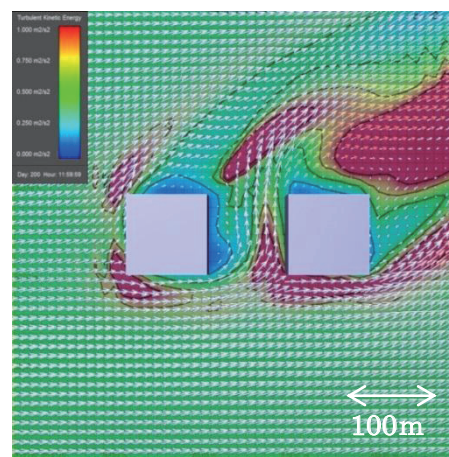


(b) 南 12:00

図 10 乱流エネルギーおよび風ベクトル分布



(a) 南西 12:00



(b) 西 12:00

図 11 風向きの違いによる乱流エネルギーの分布

参考文献

べて強い乱流を発生していないと考えられる。強い乱流は、流れが複雑であるため、上下の混合を促進し暖められた空気が建物回りに滞留し、広範囲に高温部を作る。乱流が強いと大気の循環の妨げになり、ヒートアイランド現象を助長する。シミュレーション結果では、乱流は流れを大きく変化させるが、その強い部分で気温が高いというわけではない。しかし、これらの結果は、建物の影響が乱流を通して広い範囲に及ぶことを示している。

7. 結論

夏季を代表する7月20日のシミュレーション結果から、以下の知見が得られた。

- (1) 八代市の海陸風の日変化がモデルにより再現された。
都市中心地で、地表面の最高温度は正午に40℃近くまで達したが、地上2mでの最高気温は13時の32℃であった。同地点の海風の最大風速は、地表付近で1.5m/s程度であった。風は9時頃と20時頃に陸風と海風が入れ替わるために風速が弱まる風が見られる。
- (2) 八代市の中心市街地の温度分布は9時になると温度の高い地点が現れはじめ、日射が強くなるにつれてさらに温度が高くなり、12時になると35℃を超えるようになる。風ベクトルも温度が高くなるにつれて都市中心部に向かう流れが見られる。
- (3) 昼間の八代市の気温分布では、中心市街地と麦島が高温を示す。また、中心市街地には周囲を水掘りで囲まれている八代城跡公園は、高温度のヒートアイランドの中で低温度を示す。つまり八代城跡公園は、クールスポットの効果があるといえる。
- (4) 建物の色の効果では、建物屋上表面温度は、黒が最も高く、正午には51℃を示した。また、白と緑の建物色には、表面温度に違いがなかった。屋上緑化の表面温度低下効果は植生の別の効果によるものと考えられる。
- (5) 建物の周りで発生する乱流については、風を受ける建物の角部分と建物後方に強い乱流が確認でき、建物壁面に垂直に風を受ける方が強い乱流が発生しやすい。また、乱流が発達するほど建物の影響範囲は広がり、流れと温度分布に影響を与える。

謝辞

本研究は、文部科学省科学研究費基盤研究(c)「ヒートアイランドの解明に向けたGPS温度計の開発とその応用」の研究の一環として行われました。研究代表者の熊本高専齊藤郁雄教授には、沢山の有意義なご指摘並びにご支援をいただきました。心より感謝申し上げます。

(平成24年9月25日受付)

(平成24年10月25日受理)

- 1) 気象庁：IPCC第4次評価報告書第1作業部会報告書政策決定者向け要約，(2007)
<http://www.data.kishou.go.jp/climate/cpdinfo/ipcc/ar4/>
- 2) 全国地球温暖化防止活動推進センター：世界の二酸化炭素排出量-国別排出割合-，(2008)
<http://www.jccca.org/chart>
- 3) 福岡義隆：都市の風水土 都市環境学入門，朝倉書店，pp10-16，(1995)
- 4) 厚生労働省：平成22年の熱中症による死亡者数について，<http://www.mhlw.go.jp/stf/houdou>
- 5) 仲座芳和：専攻科特別研究報告集，熊本高等専門学校(八代キャンパス)，第14号，pp134-143，(2010)
- 6) Yamada, T.: Mechanical and Thermal Effects of Buildings on the Air Flows Simulated by a Multiscale Atmospheric Model, American Meteorological Society, Vancouver, Canada, J3.5 1-9, (2004)
- 7) Yamada, T.: Merging CFD and Atmospheric Modeling Capabilities to Simulate Airflows and Dispersion in Urban Areas. Computational Fluid Dynamics Journal, 13(2):47, 329-341. (2004)
- 8) Yamada, T.: Numerical Simulations of Air Flows in and around a City in a Coastal Region, American Meteorological Society Annual Conference, San Diego, California, (2005)
- 9) 気象庁：ヒートアイランド現象の原因，
http://www.data.kishou.go.jp/climate/cpdinfo/himr_faq/07/qa.html
- 10) 山口隆子：ヒートアイランドと都市緑化，成山堂，pp1-3，pp42-88，pp107-110，(2009)
- 11) Mellor, G.L. and T. Yamada: A Hierarchy of Turbulence-Closure Models for Planetary Boundary Layers. J. Atmos. Sci., 31, pp1791-1806.
- 12) 山田哲二，3次元大気乱流拡散モデル，白垂書房，大気環境シミュレーション—大気の流れと拡散(編集：横山長之)，pp134-202，(1994)
- 13) Yahoo! ロコ - 地図，(2011)
<http://maps.loco.yahoo.co.jp/>
- 14) 大河内康正ほか：八代における局地循環の一立体観測，天気，34，pp375-382，1987.
- 15) 松浦宏昭，大河内康正，城跡公園によるヒートアイランド低減効果の数値モデル解析，熊本高等専門学校研究紀要，4号，57-64 (2012).