

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

松浦 宏昭* 大河内 康正**

A Numerical Model Analysis on Temperature Reduction Effect by a Castle Park in Urban Heat Island

Hiroaki Matsuura*, Yasumasa Okochi**

In recent years, we obtained a comfortable environment as our living standards rose. On contrary, the amount of waste heat and the emission of CO₂ increased. In urban areas, the average temperature nowadays is rising by the heat island effect. In this study, using a three dimensional atmospheric numerical model, we analyzed the change of wind and temperature fields around the site of Yatsushiro Castle Park located in the central Yatsushiro. The results show that the temperature around the site of Yatsushiro Castle tends to be lower than the adjacent urban areas. We can expect the Yatsushiro Castle Park area to reduce the heat island effect as a cool island or a cool spot.

キーワード：ヒート・アイランド，八代城址公園，気温低減効果，数値解析

Keywords：Urban Heat Island, Yatsushiro Castle Park, Temperature Reduction Effect, Numerical Simulation Analysis

1. 研究目的・背景

近年人類は、モータリゼーションや空調設備など人々の生活レベルが向上するにつれ、快適な生活環境を手に入れた。しかしその反面、エネルギー多消費社会となった。石油などの化石燃料の燃焼により大気中に二酸化炭素を大量に放出し、世界的に「地球温暖化」が問題になっている。人間活動が集積した都市では、排熱などにより局所的に気温が高くなる「ヒートアイランド現象」¹⁾が顕著になっている。それは東京・大阪などの大都市圏だけに見られる現象ではなく、熊本県八代市のような比較的規模の小さな都市でも確認されている²⁾。

本研究では、Yamada が開発した乱流クロージャーマデル (A2Cflow)³⁾を利用して局地気象モデルシミュレーションを行う。対象都市は人口 13.5 万人を抱える熊本県第 2 の都市八代市とし、多くの観光客が訪れ、古くから八代市民に親しまれている「八代城跡」⁴⁾に焦点を当てる。八代城は 1672 年に落雷により天守・櫓など建物の多くを焼失した。その後、天守・櫓は再建されることはなく、明治 3 年 (1870) に廃城に

なり、現在は石垣群のみが現存する。また八代城跡を取り囲むように内堀が張り巡らされ、内堀内は水が充填しているため、気化熱による大気への冷却効果が期待できる。したがって本研究では、八代城跡により周辺環境 (八代市中心市街地) に与える温度場や風の流れへの影響を解析し、八代城跡によるヒートアイランド現象の緩和効果 (気温低減効果) を検証する。

2. ヒートアイランド現象

ヒートアイランド現象とは、都市の気温が周囲 (郊外) よりも高い状態のことを指しており、一般に気温分布図を描くと都市を取り囲む等温線の様子地形図でいう島型になることからこのように呼ばれる⁵⁾。都市の規模が大きくなればなるほどヒートアイランドの影響も大きい傾向にある。ヒートアイランド現象の原因は大きく人工排熱の増加、人工被覆面の増加 (蒸発量の減少)、建物の効果 (熱容量の変化) がある。対策として①人工排熱の低減②土地・建物表面の高温化抑制がある。

①人工排熱の低減：交通分野の人工排熱抑制の手段として、自動車・航空機などの輸送機器の燃費を向上 (低燃費車の普及) させ、円滑な交通流対策や物流の効率化、公共交通機関への移行により無駄な燃料消費を抑え排熱を減らす。また交通需要管理 (TDM) などの施策も有効と考えられている。

②土地・建物表面の高温化抑制：緑化事業と高反射率素材が

* (株) 東洋新薬
〒841-0005 佐賀県鳥栖市弥生が丘 7-28
Toyo Shinyaku Co. Ltd.,

7-28 Yayoigaoka Tosu-shi Saga, 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

挙げられる。緑化事業で植生は、日射の遮断や蒸発散作用等により気温の上昇を抑える機能があり大規模な緑地では、クールアイランド⁴⁾とよばれる冷涼な空気のかたまりを形成することで気温を低減させる効果がある。現在、緑化の手法としては屋上緑化や壁面緑化が主流となっている。高反射率素材・塗料は、太陽光中の近赤外線領域を効率的に反射し、昼間の遮熱効果をもたらすとともに建築物の蓄熱を抑制して夜間の大気への放熱を緩和することで熱負荷を軽減する効果がある。

3. 大気モデルシミュレーション

本研究では、Yamadaが開発したYSA社製A2Cflow³⁾：局地気象モデル(メソスケールモデル)を利用した。このモデルの特徴は①運動方程式②温位輸送方程式③水蒸気輸送方程式を格子点に離散化し連立して時間積分する。乱流輸送モデルについてMellor-Yamada⁶⁾のLevel2.5のクロージャーモデルを用いている。気圧については静水圧近似又は非静水圧を現象のスケールにより選択的に用いる。MYモデルは浮力に関する計算式が不十分で、温位輸送モデルの再現精度が低いという指摘があり改善が図られている。国土数値情報の土地利用データから粗度、アルベド、湿潤度、人工排熱量等のパラメータを用いて実際の土地表面状態をよりリアルに再現することができる。乱流モデルを採用し、鉛直方向の格子間隔を、低層では密に細かく細分し、高層になるほど格子間隔を広くすることで接地層付近における摩擦力による複雑な風速の変動の影響を考慮し、高い精度で大気流動を計算し表現することができる。

本研究ではA2Cflowを用いて八代城跡周辺のシミュレーションを行う。ここでは、示さないが別計算で八代市広域を解析して温度場や風の流れのパターンから夏季(8月)の各時間帯(朝・昼・晩)における八代地域特有の海陸風として知られる局地循環(気流変化)の特徴を求めた。次に計算領域を狭くした八代城跡周辺のシミュレーションを行い、八代城跡が周辺(八代市中心市街地)環境に与える温度場や風の流れへの影響を解析し、八代城跡によるヒートアイランド現象緩和効果(気温低減効果)の検証を行う。

(1) 八代城跡概要

八代城は、熊本県八代市に存在した城である。築城時は、本丸の北西隅に4層5階の大天守と2層2階の小天守、7棟の櫓をはじめとする建物があつた。

現在、城跡には当時の建物は一切残っていないが築城当時の美しい石垣群や内堀が残されており、多くの市民が行きかう憩いのスポットとなっている。近年では八代市立博物館で寛政9年(1797年)以後の史料に基づいて八代城の模型の復元

作業が進められ、寛文12年(1672年)焼失後再建されなかった天守も復元している。

(2) 対象地域：八代城周辺領域

計算対象領域を図1に示す。計算領域を段階的に細かくするネスティング方式を採用しており、3段階で対象地域を狭くすることで、より重点的に八代城周辺の気流および温度変化を解析する。初めに、八代市中心部(図1:Grid1)を対象とした大領域である第1メッシュの計算を行う。次にメッシュをさらに細分化した八代城跡周辺領域(図1:Grid2)を対象とした中領域である第2メッシュの計算を行う。最後に八代城跡周辺(図1:Grid3)における風や温度場の計算を重点的に行うため、さらに第2メッシュよりも細分化された八代城跡(八代城跡を中心)を対象とした小領域(東西240m×南北240m、格子間隔5m)の計算を行う。格子データの概要を表1に示す。

(3) 計算対象日時

夏季における八代城跡周辺の風・温度場を計算するために、八代市広域シミュレーションと同様に8月中旬(8月15日)を対象日時として設定した。広域シミュレーションの結果で見られた海陸風による風・温度場への影響を考慮するため、計算開始時間は8月15日午前3時から同日午後9時までとして、連続計算時間は18時間とする。計算時間間隔(Time Step)を数秒ごととする。このシミュレーション結果から7時間ごとに①早朝(7:00am)②昼間(2:00pm)③夜間(9:00pm)の3つに分けて、それぞれの時間帯における気流ベクトルおよび温度分布を解析する。

(4) 一般風の風速と風向

ヒートアイランド現象による気温上昇への寄与効果もともと大きい気象条件は晴れた日の無風状態であると考えられるため、今回のシミュレーションでは背景となる一般風速を0m/s、風向なしで計算を行う。

(5) 初期設定条件

海面温位および水温は八代市広域シミュレーションにおける初期値と同様に、気象庁観測データ⁷⁾を用いて、それぞれ海面温位は28℃、水温は27℃とした。海拔0mの気圧は1000hPa、高度1000m以上初期温位勾配値は中緯度の平均的温位勾配である0.003K/mとし高度1000m未満は0.001K/mとして計算を行う。初期設定条件をまとめた表2の初期条件のもとで数値シミュレーションを開始する。

(6) シミュレーションモデル作成

A2Cflowでは建物の簡易モデルを作成し、モデル周辺部の気流の流れや温度を数値計算することができるという利点を生かし、八代城跡の簡易モデルを作成した(図2参照)。モデル作成に当たり、石垣のみが現存する八代城跡をベースと

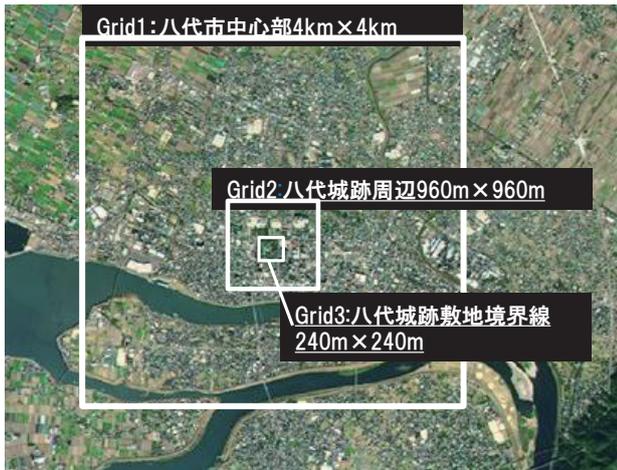


図1 計算対象領域⁷⁾

表1 格子データ概要

Grid	格子間隔	対象範囲	対象地域	格子数	
				東西	南北
1	80m	4km×4km	八代市中心部	50	50
2	20m	960m×960m	八代城跡周辺	48	48
3	5m	240m×240m	八代城跡敷地境界線	48	48

表2 初期設定条件

対象日時	8月15日	
海面温位	301 K (28℃)	
水温	300 K (27℃)	
海面気圧	1000 hPa	
計算時間	18時間(3:00am~9:00pm)	
初期風(一般風)	風速	0 m/s
	風向	-
初期温位勾配	高度 1000m 未満	0.001 K/m
	高度 1000m 未満	0.003 K/m

して、Yahoo 航空地図⁷⁾による位置情報により八代城跡の場所をA2Cflow内で表示されるマップと適合させ、敷地境界線を確定した。なお図2には内堀内に貯留する水は表示されていないように見えるが、実際A2Cflow内の計算では、モデルの位置と地形情報国土数値情報の土地利用データが対応しており、内堀内に水が充填した状態と見なして計算を行っている。八代城跡内に設置されている城内案内図⁸⁾を用いて現地調査を行い地図上の石垣の位置と目視による石垣の位置から総合的に判断して簡易モデルを作成した。モデル内に現存する石垣(図2)を再現した。石垣の高さは八代城跡内設置の案内板の値を用いて、大天守跡の部分は高さ12m、八代城跡を周回する石垣群を高さ10mとした。簡易モデル作成のため石垣独特の反りや城内へ通じる三か所の栈橋はモデル

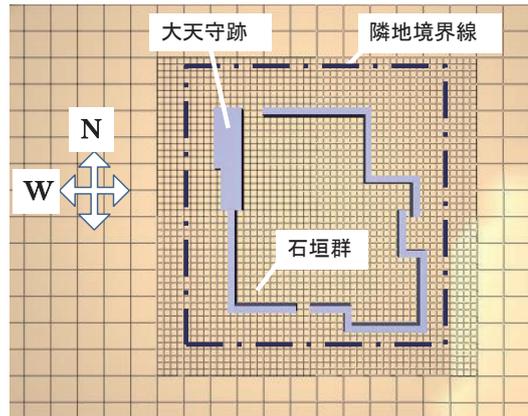


図2 八代城簡易モデル(平面配置図)

では考慮しなかった。

4. 計算結果および解析

(1) 八代城跡周辺気流および温度分布図

図3, 4(a)~(c)に八代城跡周辺における各時間帯の風ベクトルおよび温度分布の変化を時系列で示す。図3, 4に表示されている領域はすべて南北880m×東西960mである。また気流および温度分布図は鉛直高さ方向の3層目(高さ8m)を基準とし、八代城跡を図の中心位置に配置した。

図4の左上部に付属するカラースケールバーは最低気温26℃以下をスケールバー下部の青色で、最高気温30℃以上を上部の赤色で表現する。26~30℃の中間温度は水色、緑、黄色の順に温度が上昇することを示している。次に時系列を追って説明する。

①7:00am

図3(a)に7:00amにおける風ベクトル分布の変化を示す。風向に関して周辺部では全体的に南方から風速1m/s程度の微弱な風が吹いている。八代城跡周辺部では気流変化が見られ、八代城跡域の南側及び北側では同じく南方向から風が吹いているが、風速は弱まり約0.5m/sとなった。東および西側では八代城を中心として放射状に発散するように風が吹いており、そこに南からの風が吹き込むことで西側では北西方向、東側では北東方向に風が吹いている。こちらも南側、北側と同様に風速は0.5m/s程度となった。図4(a)に同じく7:00amにおける温度分布を示す。八代城跡域は周辺部と比べて温度が低くなっている。また、八代城跡を中心として城内から城外の中心市街地に行くほど等温線の温度分布が徐々に高温化していることがわかる。詳しく見ると、八代城跡中心部から半径30m以内の領域では温度は27℃となり、八代城石垣から敷地境界線(水堀り)にかける半径100m以内

の領域は 26℃，敷地境界線から市街地にかける半径 130m 以内の領域では 27℃となった。以後，周辺部では 28℃，29℃と気温が上昇し，半径 150m 以上の領域では最も気温の高い 29℃の領域が続いている。

②2:00pm

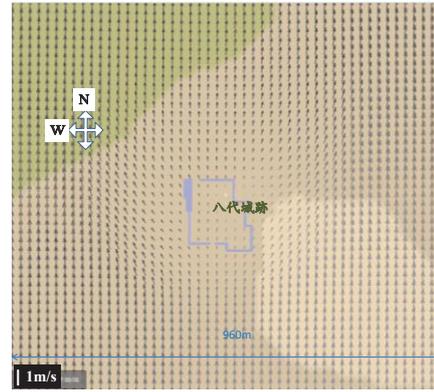
図 3(b)に 2:00pm における風速ベクトルの気流変化を示す。最高気温のピークを迎える 2:00pm の段階では，早朝 7:00am に領域全体で見られた南方向からの気流分布に関しては変わっていないが，風速および八代城域の風向に変化が見られた。風速に関しては 2:00pm では 3m/s となり 7:00am の 1m/s よりも 2m/s ほど風速が強くなる傾向にある。八代城域では，北側および南側では 7:00am と同様に南方向から風が吹いていた。それに対して東側及び西側では，城内から城外に向けて発散していた気流分布が南方向からの風に置き換わっている。2:00pm では八代城域と周辺部，全領域で南方向から一様に風が吹く結果となり，風速も増加する傾向がある。図 4(b)の温度分布図から 7:00am で見られた等温線分布が 2:00pm でも見られ，7:00am 同様に八代城域は周辺部と比べて気温が低いことがわかる。八代城跡中心部から半径 30m 以内の領域では 7:00am と同様になった。同様に八代城石垣から敷地境界線(水堀り)にかける半径 100m 以内の領域は 26℃を保っていた。以後，周辺部では 28℃，29℃，30℃と気温が上昇し，半径 150m 以上の領域で 30℃以上の高温域を形成している。また 7:00am と比べて温度の低い領域の面積が減少している。

③9:00pm

図 3(c)に 9:00pm における風速ベクトルの気流変化を示す。9:00pm における風ベクトルの風向は 2:00pm と同様に南方向から一様に風が吹いている。しかし，風速は 2m/s となり，2:00pm の 3m/s から 1m/s 減少した。図 4(c)に 9:00pm における温度分布図を示す。温度分布は 2:00pm と比べて大きな変化が見られた。日も沈み徐々に気温が下がり始めたことで，領域全体で気温が下がり，最も気温が高いところで八代城南側の領域で 28℃となった。また，26，27℃の低温域が八代城域北側に延びている。7:00am，2:00pm に八代城域から半径 200m 以内で見られた等温線分布は見られなくなり，八代城全域で一様に 26℃となった。

(2) 風速ベクトルおよび温度分布の鉛直構造

図 3(a) (7:00am) の風速ベクトル変化の解析結果から，八代城跡域では八代城域西側および東側面では城内から城外へ向けて放射状に風が発散していることがわかった。この発散の鉛直構造見ることによって断面位置の風ベクトルから上昇気



(a) 7:00am



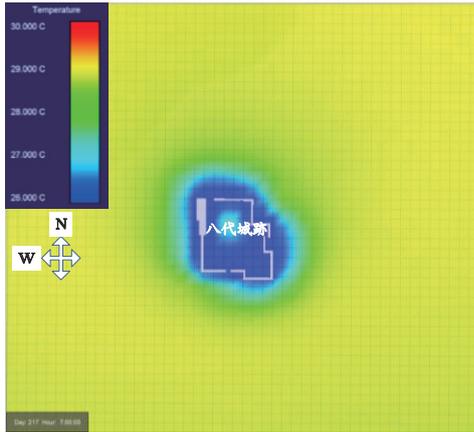
(b) 2:00pm



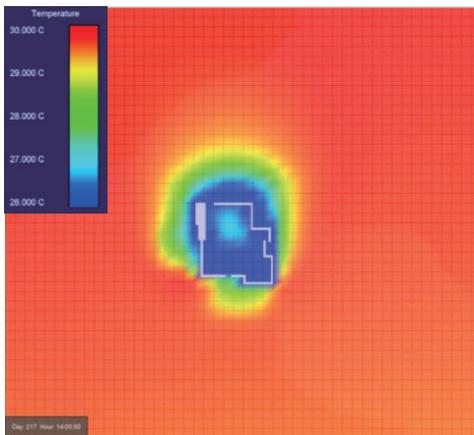
(c) 9:00pm

図 3 風ベクトル図(八代城跡周辺)

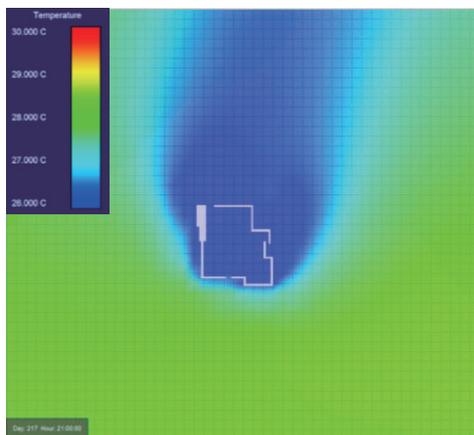
流および下降気流の鉛直方向の変化がわかる。11:00am における八代城周辺の発散的気流変化をもたらす気流構造や鉛直方向の温度分布変化を解析する。X 軸(東西)および Y 軸(南北)の設定に関しては図 5 の XY 断面図切断位置詳細図を参照。Y 軸設定に関しては，図 6(a) : Y 断面図 Y1 は八代城跡中心部(Y 軸断面図 Y2)から北へ 200m の位置を切断面とする。基準線となる図 6(b) : Y 断面図 Y2 は八代城跡中心部を，図 6(c) : Y 断面図 Y3 は八代城跡中心部から南へ 200m の位置で切断する。X 軸に関しては，図 7(a) : X 断面図 X1 は Y 軸



(a) 7:00am



(b) 2:00pm



(c) 9:00pm

図4 温度分布図(八代城跡周辺)

と同様にして八代城跡中心部(X軸断面図 X2)から西へ200mの位置を、図7(b): X断面図 X2は中心部、図7(c): X断面図 X3は中心部から東へ200mの位置で切断する。なお図6から図7における鉛直方向の目盛り線は一目盛り100mごとに目盛りが付けられている。

①Y軸断面図 — 気流変化

初めにY軸断面図に関する気流変化から見る。図6では

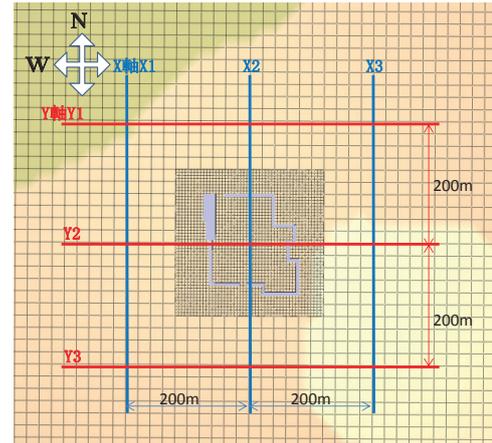
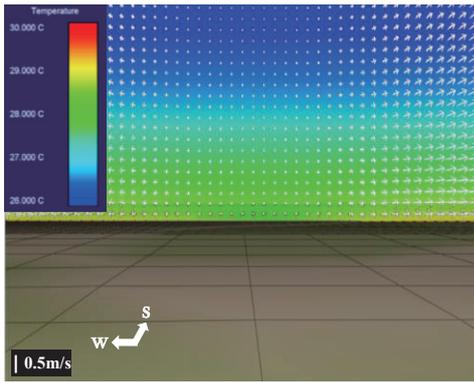


図5 X軸及びY軸切断位置

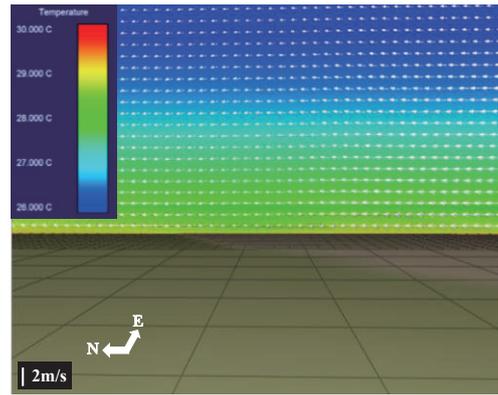
北側から南方向を見たY軸断面図Y1(図6(a)), Y2(図6(b)), Y3(図6(c))を示す。まず、八代城域中心部を東西に分断する。Y2の気流変化は、八代城域上空から周辺部へ向けて放射状に風が発散し、下降気流が発生している。八代城西側面からは西方向に、東側面では東方向に風が0.5m/s程度の強さで吹いている。この気流変化は7:00amにおける水平方向の気流分布図(図3(a))でも同様に、東面では東方向に、西面では西方向に風が吹いており、鉛直方向の気流変化から、この変化には下降気流が伴うことがわかる。八代城中心部から200m離れたY1, Y3では、ほとんど風ベクトルが無いように見えるが、Y1, Y3は東西方向の断面図のため、南方向および北方向から上昇気流および下降気流を伴わなければベクトルは線としてではなく点として表示される。Y1およびY3の微弱な風ベクトルは南方向からの風を表し、これは水平方向の気流変化でも見られた八代城南側および北側方向の南方向から吹く風を表しており、上昇気流および下降気流変化を伴わない水平方向流であることがわかる。

②X軸断面図 — 気流変化

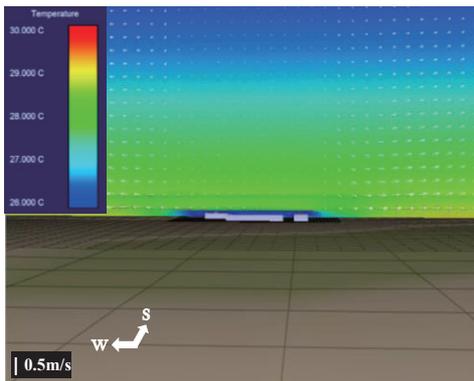
次に、X軸断面図に関する気流変化を見る。図7では西側から東方向を見たX軸断面図X1(図7(a)), X2(図7(b)), X3(図7(c))を示す。X軸X1~X3に共通している気流変化としては、南から北に向けて風が吹いており、風速は1m/s程度である。八代城中心から東西方向に200m離れたX1, X3は風向および風速はほぼ同じで、水平方向に一樣に南風が吹いており、上昇気流および下降気流変化は見られなかった。しかし、八代城域中心部を南北に分断するX2の気流変化は、八代城南側石垣の方で上昇気流が見られ、北側石垣の方では逆に下降気流が発生している。また、八代城域上空では風ベクトル変化が微小でほとんど点として表示されている。X軸断面図は南北方向の断面図のため、西および東方向に微風が吹いていることがわかる。この気流分布はY軸Y2で見られた、八代城東面および西面から周辺部へ向けて東西方向へ吹いていた風を表しており、X軸X2の気流変化から周辺部(八



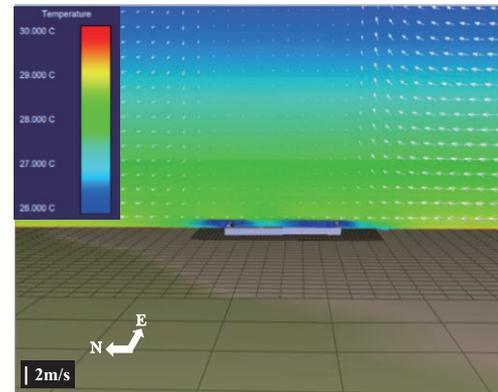
(a) Y 軸断面図 Y1



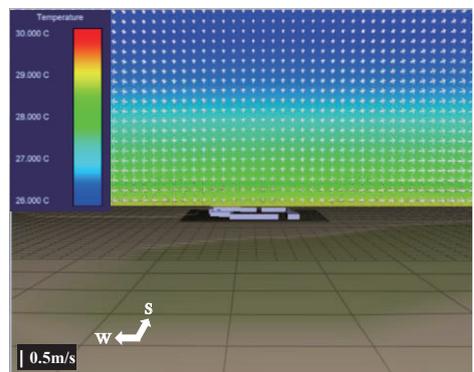
(a) X 軸断面図 X1



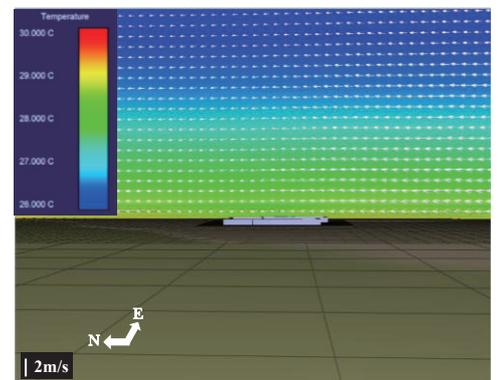
(b) Y 軸断面図 Y2



(b) X 軸断面図 X2



(c) Y 軸断面図 Y3



(c) X 軸断面図 X3

図 6 Y 軸断面図 (11:00am)

図 7 X 軸断面図 (11:00am)

代城北側・南側)では南風が、八代城上空では東西方向に微風が吹いていることがわかる。

③鉛直方向における温度分布変化

Y 軸および X 軸の鉛直方向の温度分布に関しては八代城跡とその周辺部では図 6 (b) Y2 および図 7 (b) X2 の八代城中心断面図より地表面から高さ 15m の範囲内で温度変化が見られ、八代城上空域は周辺部と比べて気温が低い傾向にあることがわかる。八代城中心部上空の気温は 27℃であり、半径 60 - 100m の範囲では 26℃、半径 100 - 150m の範囲では 28℃となった。150m 以上の領域では 29℃程度となり、7:00am (図

3(a))の水平方向における温度分布と同一の気温分布が鉛直方向にも現れ、城内から周辺部へ行くほど気温が上昇する様子がわかる。早朝 7:00am において城内と周辺部では最高で 3℃近い気温差が発生している。八代城域は八代城中心部よりも石垣から敷地境界線にかけて水堀がある部分の方が 1℃近く温度が低くなり、水堀の方が城内中心部の緑地と比べて気温低減効果が高いことがわかる。図 6(a)Y1, (c)Y3, 図 7(a)X1, (c)X3 より八代城中心部から 200m 離れた領域(断面)では、Y 軸 Y2, X 軸 X2 で見られた八代城上空部(地表面から 15m の高さ)での温度低下は見られず、鉛直方向の気温

変化がほぼ同様である。朝から昼にかける時間帯において鉛直方向および水平方向の気温低減効果は八代城跡中心部から半径 200m 範囲内かつ地表面から高さ 20m 以内の局所的効果であることが確認された。

5. 考察

①7:00am~9:00pm における気流変化

初期設定条件としてヒートアイランド現象による気温上昇効果が顕著に現れる無風状態(0m/s)とした。これにより一般風による気流変化は微弱となり、海陸風や湖陸風等の「水辺」と「陸地」が関連した対象地域独自の局地循環の流れが顕著に現れると考えた。7:00am において八代城域西面および東面で発生した発散的気流分布を起こした原因と、7:00am~9:00pm にかけて八代城域および周辺部の南方向からの気流に関して考察を行う。

初めに、早朝 7:00am において八代城域の南側及び北側では南方向から風が吹いているのに対して、石垣東面および西面では八代城を中心として放射状に発散するように風が吹いた。この朝方の時間帯における発散的気流変化をもたらした原因として「海陸風」と同様のメカニズムを考えた。海陸風とは沿岸域において海と陸地との温度差が原因となり気圧変化が生じ、日中(昼間)は海から陸へ海風が、逆に夜は陸から海に陸風が一日周期で吹く現象のことである⁹⁾。「川風」についても同様のメカニズムで、陸地と河川の気温差から上空で気圧変化が生じ、昼間は河川から陸地へ、逆に夜間は陸地から河川に向けて風が吹く現象である。川風の場合は川幅にもよるが一般的に海陸風の方が、風速が強くなる傾向にある。この「海風」のメカニズムを当てはめると、太陽による日射量が増す朝方になると、八代城跡周辺部(陸上)にある空気は八代城域(内堀内の水を海と仮定して)にある空気よりも早く暖められ、密度が低くなり上昇気流を生じ低気圧になる。逆に八代城域(海上)は周辺部(陸上)よりも気温が低く、密度が高くなることで高気圧を形成する。したがって八代城域上空の高気圧から周辺部の低気圧へ向けて下降気流が発生する。この下降気流変化は先ほど解析した Y 軸 Y2: 八代城域上空の鉛直方向の気流変化(図 6(b))に類似しており、この時間帯は「海風」の特徴がよく表れている。発散的気流変化を表す水平方向(図 3(a))と下降気流を表す垂直方向の気流変化(図 6(b))から海風と同等の効果が八代城域で発生していると言える。

次に、7:00am~9:00pm 全時間帯において見られた南方向からの気流分布に関して考察を行う。こちらの場合も前述した「海陸風」が関係していると考えられる。今回、シミュレーションを行うにあたり対象領域の範囲を決定する中で、八代城跡を中心として 4km 四方が計算領域内に入る。この領域内には八代城跡から南方向に 500m ほど下ったところに球磨

川が存在する。こちらの球磨川の場合にも八代城域で発生していた発散的気流変化を起こしたと考えられる海風のメカニズムに当てはめると、太陽が昇り日射の増加に伴って八代城跡周辺部にある空気は球磨川上空にある空気よりも早く暖められ、密度が低くなり上昇気流を生じ低気圧になる。反対に球磨川上空では八代城周辺部よりも気温が低く、密度が高くなることで高気圧を形成する。よって球磨川上空の高気圧から八代城周辺部の低気圧へ向けて風が吹くと考えられる。朝方 7:00am において南風の風速は 1m/s 程度であったが、時間経過と共に日射量が増すことによって球磨川と八代城周辺部との間で気温差が大きくなり、2:00pm の段階では風速は 3m/s に増加した。球磨川は川幅が 50m 近くある比較的大規模な河川であるため、八代城内堀に貯留する水量と比べて、格段に流量も多いため球磨川による気流への寄与効果が高い。そのため、南風の風速が弱い 7:00am の段階では、八代城内堀内に貯留する水によって八代城内から周辺領域へ向けて放射状に風が吹いていたが、2:00pm になると気温の上昇と共に球磨川による南風の風速が強くなり、八代城域の発散的気流変化が南風に置き換わる形で、7:00am 以降領域全体で一様に南風が吹いたと考えられる。また、夜間の 9:00pm の段階では南方向から風が吹いていたが、2:00pm と比べて風速が弱まる傾向にあり、この場合「海陸風」は昼間の「海風」から、夜間の「陸風」へとシフトする転換期であると考えられる。

②八代城跡による気温低減効果

水平方向温度分布では 7:00am から 2:00pm までの間に気温が上昇する様子が見てわかる。7:00am の最高気温は 29℃だったのに対して、2:00pm には最高気温が 30℃となり、1℃上昇した。この間も八代城周辺部では時間経過と共に徐々に等温線の温度の低い領域面積(26-28℃)は減少傾向にあったが、八代城域では温度を 26℃に保ち続けており周辺部と比べて気温は低かった。Y 軸および X 軸に垂直な面における温度分布に関しても、八代城跡とその周辺部では地表面から高さ 15m の範囲内で温度変化が見られ八代城は周辺部と比べて気温が低い傾向にある。しかし八代城跡内でも気温分布は八代城石垣から敷地境界線を結ぶ内堀内と八代城内(八代城跡中心部)では気温分布に変化が見られ、前者(内堀内)の方が気温低減効果が高いことが分かった。理由としては内堀内の水温が外気温と比べ低く、水が気化する際に熱を奪う気化熱の効果が大きい。時間が経つにつれ城内と城外で気温差が大きくなった理由も、外気温上昇により水の気化量が増大し気温低減効果がさらに大きくなったことによって、周辺部よりも気温が低くなったと考えられる。また、仲座(2010)¹⁾が行った先の研究では GPS 温度計による八代市中心部を対象とした都市温熱環境測定が行われた。その結果、2008 年 9 月 4 日昼の時間帯において八代市街地の領域では

おおむね 31°C以上の高温域を形成していたが、八代城跡周辺部では 30.5°C程度となり、市街地周辺領域と比べ約 0.5°Cの温度低下が見られている。シミュレーション結果と同様に八代城跡による気温低減効果が確認された。しかしシミュレーション結果では約 3°C程度の温度差が見られたのに対し、GPS 観測データでは 0.5°C程度と、気温差が低い。実測データの観測日の路上での観測条件や気象条件等にもよるが、実測では差が出にくく、シミュレーションによる解析では、静穏な気象条件のため気温低減効果がやや強調されている可能性もある。

6. 結論

7:00am~2:00pm において太陽高度が上昇すると共に日射量が増大し、気温が上昇する早朝-昼間の時間帯においては最高気温のピークを迎える 2:00pm の段階で八代城中心部から半径 200m 以内の領域の方が周辺部と比べて気温が低くなる傾向にあることがわかった。また、時間経過 (7:00am-2:00pm) とともに周辺部 (八代市街地) と比べて八代城跡周辺部の温度が低い領域 (26-29°C) が徐々に狭くなっていった。しかし、いずれにせよ八代城跡がクールスポット化していることがわかり、日中に冷気が染み出すことにより局所的にヒートアイランド現象を緩和する効果が期待できることがシミュレーション結果から推測できる。今後のヒートアイランド対策として、既存の都市空間の中に積極的に緑地や水辺空間を取り入れた環境型都市計画を提案する。

今回のシミュレーション上からは八代城跡周辺部で気温低減効果が確認された。しかしシミュレーション結果の妥当性を検証するために、八代市内にある気象庁アメダス観測所の実測データと比較する場合、アメダスが設置されている高田地区は山と海に隣接した地域であるため、同じ八代市内でも本研究の対象地域である八代城周辺とは異なる環境にある。よって地形条件・周辺環境が異なるため、単純にシミュレーション結果とアメダスデータによる比較は難しいと考えられる。したがって実際のデータ (計測データ) と比較するためには、実際に八代城内および周辺で温度測定や風速測定を行う必要がある。得られた実測データと比較してみてもシミュレーション結果の有効性が確認できる。また、GPS 温度計による計測では観測例が少なく (観測ルートの取り方により温度分布が異なる可能性がある)、気温の時間補正などの精度には限界がある。計測値 (実測値) とシミュレーション値の比較は今後の課題としたい。

謝 辞

本研究を遂行するに当たり、YSA 社の山田哲司先生には、シミュレーションソフトの操作方法および疑問点など多くのご指導ならびに質問メールに対して丁寧にお返事いただ

きました。厚く御礼申し上げます。

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」の援助を受けて行われました。研究代表者の熊本高専斉藤郁雄教授には、沢山の有意義なご指摘をいただきました。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)

参考文献

- 1) 気象庁：ヒートアイランド監視報告 (平成 20 年—東海地方) (<http://www.data.kishou.go.jp/climate/cpdinfo/himr/2009/himr2009.pdf>)
- 2) 仲座芳和：GPS 機能を搭載した温度計による都市熱環境の調査と分析，専攻科特別研究報告集，熊本高専 (八代)，14，pp134-143，2010.
- 3) Yamada Science & Art Corporation：A2Cflow/A2Ct&d 9.8 User Manual (<http://www.ysasoft.com>)
- 4) 八代市役所ホームページ：観光情報，八代城跡，2005 年 7 月更新 (<http://www.city.yatsushiro.kumamoto.jp/>)
- 5) 山口隆子：ヒートアイランドと都市緑化 [初版]，成山堂，pp112，2009.
- 6) Mellor, G.L. and T. Yamada, A Hierarchy of Turbulence-Closure Models for Planetary Boundary Layers. *J. Atmos. Sci.*, 31, pp1791-1806.
- 7) yahoo, ZENRIN：yahoo japan 航空地図，熊本県八代市松江城町 (<http://map.yahoo.co.jp/pl?p=lat=32.50704878&lon=130.60049575&ei=utf-8&v=2&sc=3&datum=wgs&g ov=43202.127>)
- 8) 八代市教育委員会：八代城跡常設案内板，熊本県八代市松江城町 7-34，2010.
- 9) 小倉義光：一般気象学 [第 2 版]，東京大学出版会，pp242-247，2003.