

大分市街地におけるヒートアイランド対策

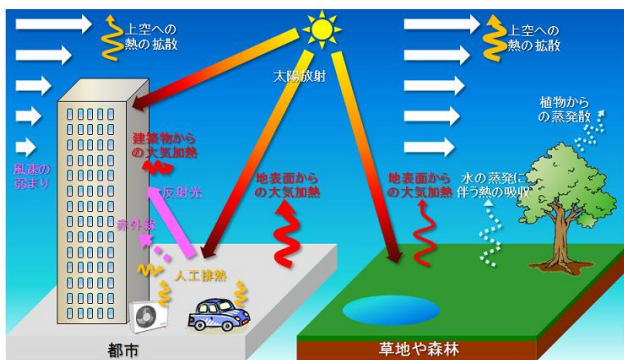
大分県立大分舞鶴高等学校 科学部地学班 2年 赤峰恭太郎 宮永将喜 徳丸里歩

概要

近年、日本ではヒートアイランド現象が懸念されるようになった。そこで私たちは、第一段階として、地面の素材と気温変化、気流と気温という2つの実験を通して、身近な私たちの高校である大分舞鶴高校でヒートアイランドが観測されるかどうかを研究した。その結果、地面の素材と気流の2つの観点から考えたとき、生徒昇降口前が最もヒートアイランドの影響を受けやすいという結論に達した。次に、大分市街地へとエリアを拡大してヒートアイランドが大分市街地でどれほどの影響を及ぼしているのかを実際に観測し、過去から現在の大分市の気温の変化とともに考察した。さらに大分市街地のヒートアイランドへの解決策を提示した。

1. 動機

ヒートアイランド (heat island=熱の島) 現象とは、都市の気温が周囲よりも高くなる現象のこと。気温の分布図を描くと、高温域が都市を中心に島のような形状に分布することから、このように呼ばれるようになった。ヒートアイランド現象は「都市がなかったと仮定した場合に観測されるであろう気温に比べ、都市の気温が高い状態」と言い換えることができる。都市部において見られることが多く、都市化の進展に伴って、ヒートアイランド現象は顕著になりつつあり、熱中症等の健康への被害や、感染症を媒介する蚊の越冬といった生態系の変化も懸念されている。



このことから、大分市街地でも近年の建物の増加や人工排熱により、ヒートアイランドが発生しているのかどうか、どのようなことが引き金になっているのかということに興味を持った。

2. 目的

大分市街地ではヒートアイランド現象が起きているのかを調べ、原因を考える。さらに、その結果から解決策を提示する。

3. 活動内容

(1) 見学

日時：平成27年12月14日(月)

場所：大分地方気象台

見学の目的：

- ・大分市の過去の気温のデータを得る。
- ・ヒートアイランドについての気象庁の報告書を得る。
- ・大分地方気象台の設備についての質問をする。
- ・研究を進めるにあたっての質問をする。



図1：大分地方気象台

(2) その他の活動

① 日時：平成27年8月10日14時

～8月11日14時

場所：大分舞鶴高校屋上

内容：大分舞鶴高校屋上での地表面の素材の違いにおける気温の変化についての実験



図2：実験装置

②日時：平成28年1月16日（土）

場所：大分駅周辺，中央通り

内容：各地点での気温の計測



図3：大分市街地

4. 研究の成果

(1)中間報告までの研究

中間報告までの研究では、私たちの高校である大分舞鶴高校に焦点を当てて研究を行った。行った実験は主に2つある。実験Ⅰとして、地表面の素材による気温の違いを実際に観測した。実験Ⅱとして、シミュレーションソフトを用いて、大分舞鶴高校の敷地内での気流の変化について考察した。

【実験Ⅰ】

・仮説

地表面の素材により気温が変わると考え、実験には芝生、セメント、アスファルトを用いた。日中にはアスファルトとセメントが芝生よりも気温が高くなり、夜間には芝生の気温がアスファルトとセメントよりも低くなると私たちは考えた。つまり、芝生は日中と夜間において最も気温が低くなると予想した。

・方法



図4：実験装置 左からセメント,アスファルト,芝生

まず同じ大きさのプラスチック容器を3個用意し、それぞれセメント、アスファルト、芝生を敷き詰め、センサー1（セメント）、センサー2（アスファルト）、センサー3（芝生）を使って気温を測定した。（図4参照）次に、24時間、気温の変化を測定して、コンピュータでグラフを作成した。これには自動で気温をはかりグラフをつくってくれるデータロガーを用いた。（図5参照）



図5：データロガー



図6：実験の様子

実験は図6のように行った。データロガーは段ボールで覆い、装置が直射日光に当たって故障しないように工夫をした。

なお、実験を行ったのは8月10日14時～11日14時、場所は大分舞鶴高校屋上、その日の天気は快晴だった。

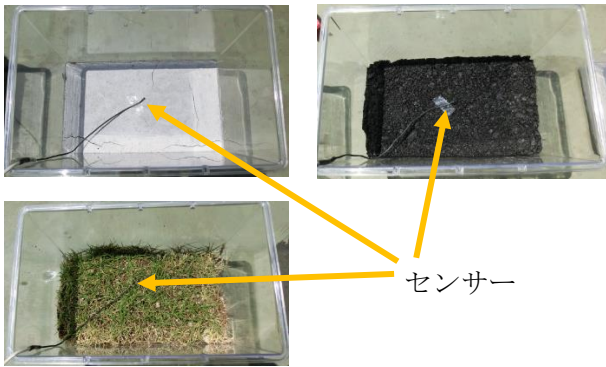
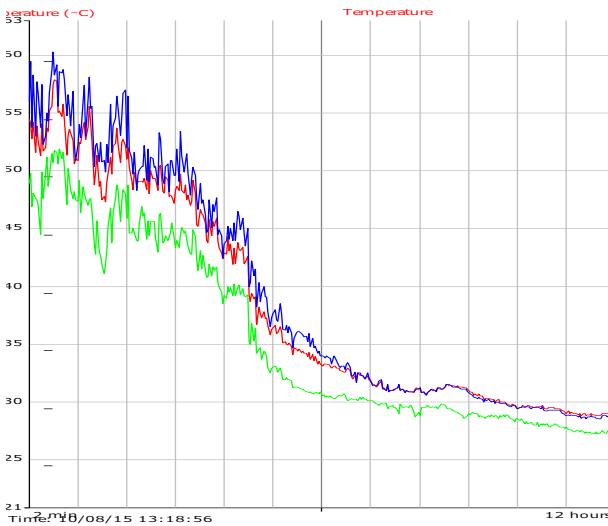


図7：各素材が日光に当たる様子

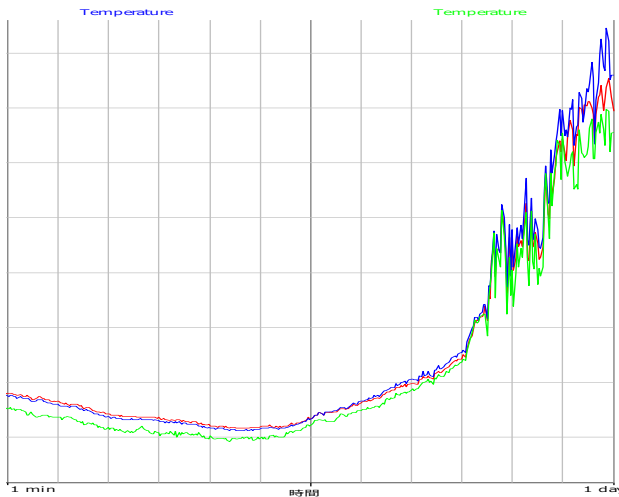
人間が感じるヒートアイランドの不快さとは体感温度によるものであり、体感温度には気流が影響する。この実験でも気流の影響を考慮して、各素材についているセンサーを、それぞれ地表から0.5cmほど浮かせた。

・結果

— セメント — アスファルト — 芝生



グラフ1：8月10日14時～8月11日2時



グラフ2：8月11日2時～8月11日14時

- ①各素材間で昼間は気温の差が大きいのにに対して、夜間は気温の差が小さい。
- ②各素材間で昼間では気温の時間による変動が大きいのにに対して、夜間は気温の時間による変動が小さい。
- ③各実験装置の24時間の気温の平均を比べると、高い順にアスファルト、セメント、芝生という結果になった。

・考察

実験Ⅰから、私たちは素材による気温の違いを観察できた。各素材間で気温の違いはあるものの、気温の変動のグラフの形はどの素材でも同じようなものであるため、太陽が出ている昼間の方が気流と熱の循環が盛んであったと考えられる。さらに、各素材間での気温の違いは各素材が光に当たったときの熱の変換効率に違いによるものだと考えられる。

【実験Ⅱ】

実験Ⅰから、各素材の温度変化が分かった。しかし、実際の気温は気流による影響を受けるため、そのことも考慮する必要がある。そこで、私たちは流体力学のフリーソフト「Flow square」を用いて、大分舞鶴高校周辺の気流についても実験を行った。

・方法

まず、Flow square を用いて、大分舞鶴高校周辺の昼間の気流を調べた。次に、気流が速い場所と遅い場所を特定し、それぞれの地点の地面の素材を調べた。

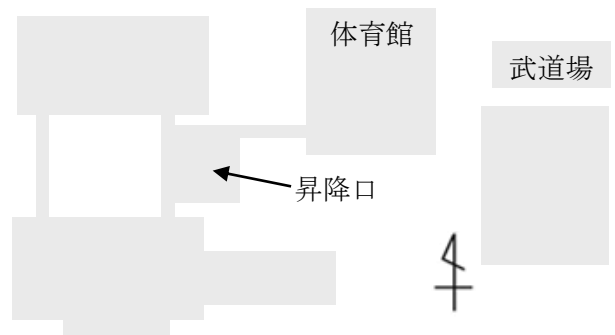


図8：大分舞鶴高校の校舎

シミュレーションを行うにあたって、私たちは図8のような大分舞鶴高校の校舎図を作成した。そして、大分舞鶴高校周辺では西側に川があるので、日中においては川から風が吹くために日中は西から東への気流という仮定のもとにシミュレーションを行った。

・ Flow square とは

2次元非定常、非反応/反応性、完全圧縮性/非圧縮性流体シミュレーションソフトウェア。

シミュレーションを実行すると、4000タイムステップでシミュレーションは終了する。また、赤色が気流の強いところ、青色が気流の弱いところを指している。

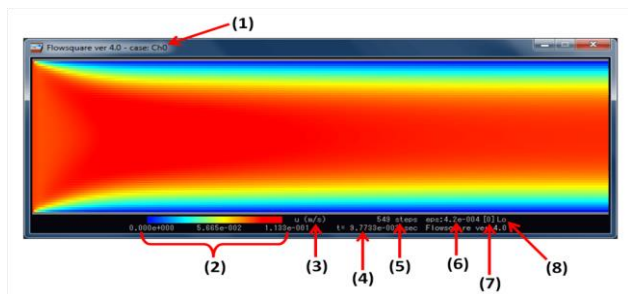


図9：Flow square の各表示

- (1) 現在のケース名
- (2) 現在使用中のカラーバー。左、中、右の数字は表示されているフィールドのそれぞれ最小、中、最大値。
- (3) 表示されているフィールドの物理量の名前
※今回は u (m/s)：x-方向（横方向）速度成分を用いる
- (4) 物理時間(秒)
- (5) 現在のタイムステップ
- (6) ポワソン方程式の為の収束計算終了時の収束値
- (7) 現在のシミュレーションモード ※今回は [0]：非反応性・非圧縮性流体モードを用いる
- (8) 使用中の計算手法 ※今回は Lo：2次精度中心差分+オイラー法（1次精度）を用いる

・ 仮説

周りが建物で囲まれているため中庭が最も気流が遅くなり、そのほかの場所では気流はほぼ一定となる。

・ 結果

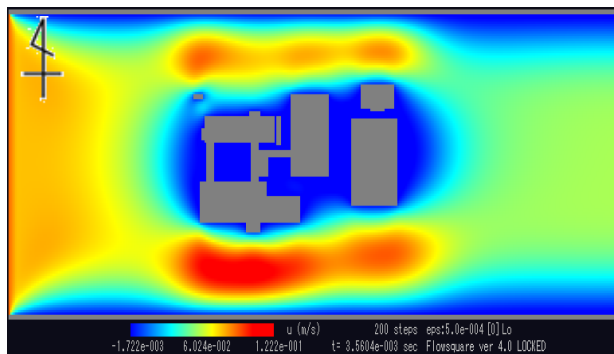


図10：大分舞鶴高校周辺の気流（200 タイムステップ）

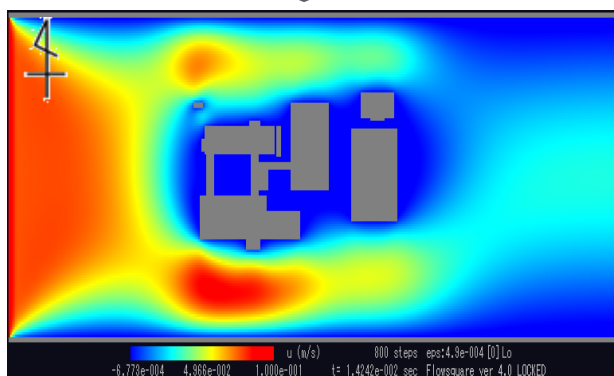


図11：大分舞鶴高校周辺の気流（800 タイムステップ）

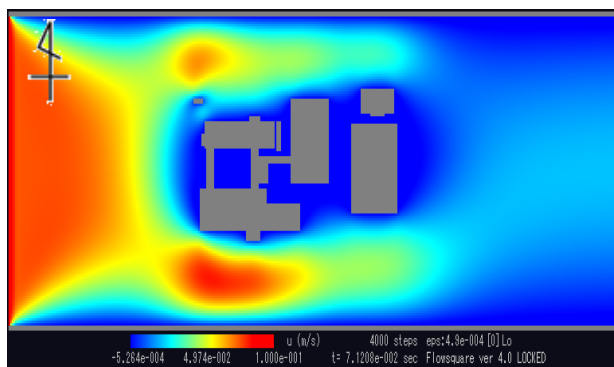


図12：大分舞鶴高校周辺の気流（4000 タイムステップ）

図10より、校舎の北側と南側の気流が強い。特にこの時間では南側の気流が強い。また校舎付近は全体的に気流が弱い。

図11より、200タイムステップに比べて北側の気流が弱くなっている。東側の気流も弱くなった。

図12より、東側の気流の流れがほとんどなくなった。

・考察

ここでは一定の速さ、同じ方角から吹く気流のもと実験を行なったが、時間が経過するうちに大きく気流が変わるところとあまり変わらないところがあり、校舎付近では気流が弱く、校舎から離れたところでは気流は強いことがわかった。これにより建物があるかないかで気流が大きく変わることもわかった。また校舎付近の気流の流れが弱いことより、建物がたくさん建っていると気流による熱の循環が途絶えてしまい、ヒートアイランドを加速させると考えられる。

・結論

私たちが今回行った2つの実験から、最もヒートアイランド現象が起こりやすいところは「**アスファルトの路面+気流が弱い**」ところであることが予想される。

よって私たちは大分舞鶴高校でその条件にあてはまる、次図に示す生徒昇降口前が最もヒートアイランド現象が起こるとい結論に至った。

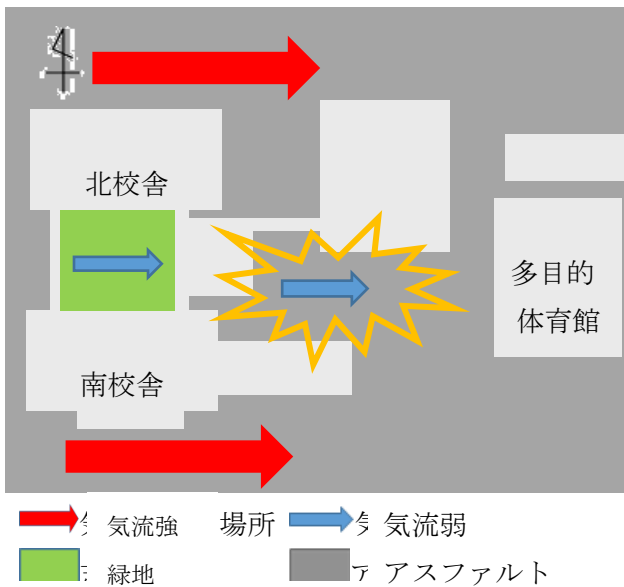


図 13 : 大分舞鶴高校の路面と気流の簡易図

(2)中間報告後の研究

今度は大分市街地へと調査エリアを拡大し、実測調査（「大分駅周辺ヒートアイランド強度調査」平成 28 年 1 月 16 日）を行った。また、大分市の気温の経年変化をグラフに表して、考察をした。

【大分駅周辺ヒートアイランド強度調査】

この調査では「熱中症暑さ指数計」（佐藤計量器製：SK-150GT 8310-00）を用いて大分市街地における気温、黒球温度、湿度、WBGT 指数を測定した。

・方法

まず、図 14 に示すように観測地点を 16 地点定めた。測定するときには、地表から約 1.0m の高さに測定器を設置し、気温、黒球温度*、湿度、WBGT 指数**、観測時刻を記録した。全ての地点でデータを得られた後、気温を補正***した。

*黒球温度…黒色に塗装された薄い銅板の球（中は空洞、直径約 15cm）の中心に温度計を入れて観測する。黒球の表面はほとんど反射しない塗料が塗られている。この黒球温度は、直射日光にさらされた状態での球の中の平衡温度を観測しており、弱風時に日なたにおける体感温度と良い相関がある。

** WBGT 指数…暑さ指数 (WBGT) は、Wet-Bulb Globe Temperature (湿球黒球温度) の略称。値が高くなるほど熱中症の危険度は高くなる。今回は屋外で実験を行ったので、計算式は次のようになる。

$$WBGT(^{\circ}C) = 0.7 \times \text{湿球温度} + 0.2 \times \text{黒球温度} + 0.1 \times \text{乾球温度}$$

***補正…観測地点を移動する間に時間が過ぎて、気温が変化していく。その際に、気温が変化するため、次地点で測る気温は(求めたい温度)+(温度変化)となる。

時刻 t に地点 α を測定し、時刻 t' に地点 β を測定した場合

$$Q = \chi_{\beta} - (X_{t'} - X_t)$$

Q : 補正後の気温(°C)

χ_{β} : 地点 β における測定値(°C)

$X_{t'}$: 時刻 t' における、大分地方気象台が発表している観測値(°C)

X_t : 時刻 t における、大分地方気象台が発表している観測値(°C)

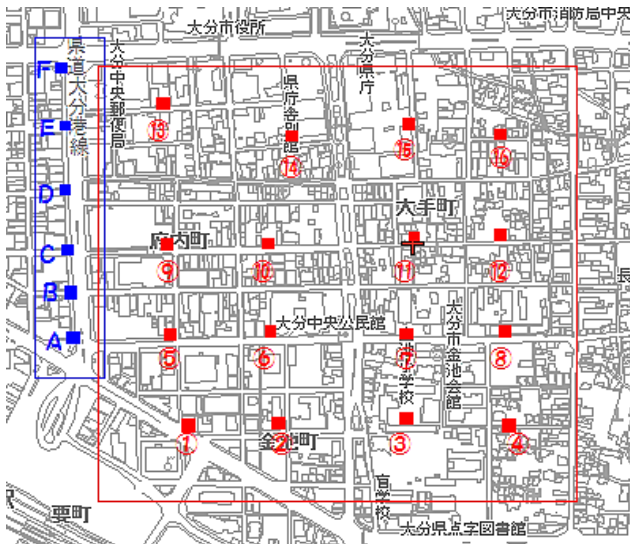


図 14：観測地点



図 15：大分市中央通り付近(地点 A~F)



図 16：大分市金池町(地点②付近)



図 17：大分市大手町(地点④付近)

※観測地点③は大分県立盲学校の敷地内であることから観測を行わなかった。

※①~⑯は大分駅周辺を格子点状に区切って観測した点，A~F は中央通り上の点を表している。

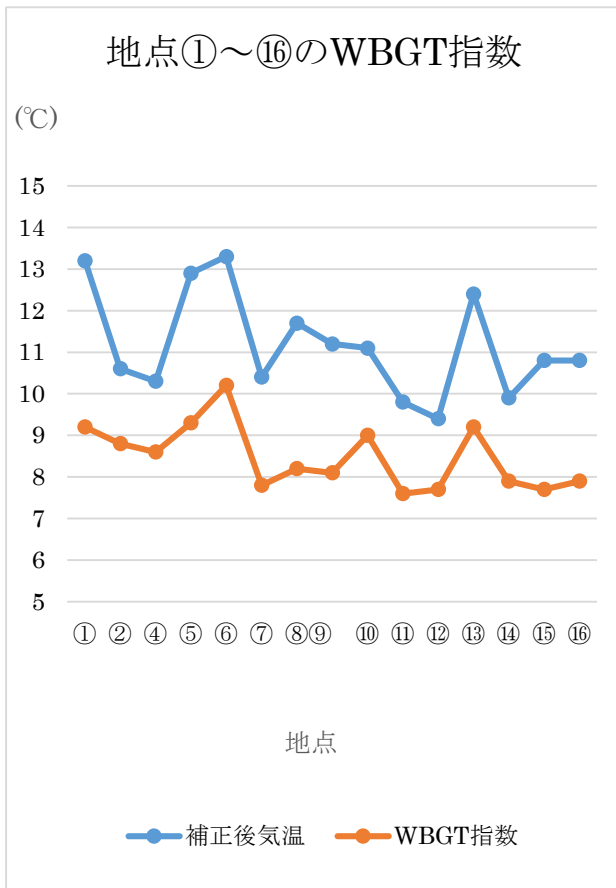


図 18：観測の様子

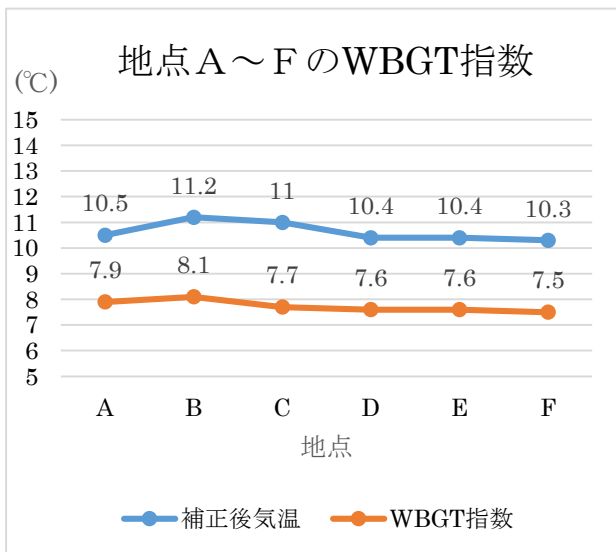
・結果

観測地点	観測時刻 (H28 1月16日)	気温 (°C)	黒球温度 *(°C)	湿度 (%)	WB GT 指数 ** (°C)	補正後*** (°C)
①	13:20	13.2	14.6	43.2	9.2	13.2
②	15:00	11.1	14.1	46.4	8.8	10.6
③	—	—	—	—	—	—
④	14:43	10.8	15.6	43.5	8.6	10.3
⑤	13:25	12.3	13.7	43.2	9.3	12.9
⑥	13:34	13.7	14.2	43.0	10.2	13.3
⑦	14:34	11.1	11.9	47.5	7.8	10.4
⑧	14:37	12.2	11.8	42.9	8.2	11.7
⑨	13:45	11.7	13.8	50.8	8.1	11.2
⑩	13:38	11.8	15.8	41.7	9.0	11.1
⑪	14:23	10.6	12.1	47.5	7.6	9.8
⑫	14:20	10.2	12.4	45.3	7.7	9.4
⑬	13:52	12.6	13.8	47.3	9.2	12.4
⑭	14:00	10.8	11.7	50.4	7.9	9.9
⑮	14:10	11.2	11.4	45.5	7.7	10.8
⑯	14:15	11.4	11.8	44.9	7.9	10.8
A	15:14	10.8	12.7	44.9	7.9	10.5
B	15:15	11.4	11.8	49.1	8.1	11.2
C	15:17	11.2	11.4	48.4	7.7	11.0
D	15:20	10.6	11.3	49.8	7.6	10.4
E	15:23	10.6	11.0	50.7	7.6	10.4
F	15:25	10.6	10.9	50.8	7.5	10.3

表 1：観測結果



グラフ 3 : ①～⑯の WBGT 指数



グラフ 4 : A～Fの WBGT 指数

これらの表から、地点①⑤⑥⑬では比較的 WBGT 指数が高く、地点⑨～⑫では WBGT 指数が低い傾向にあることが分かる。

【考察】

①⑥で気温及び WBGT 指数が高くなっている要因は、交通量が関係していると考えられる。

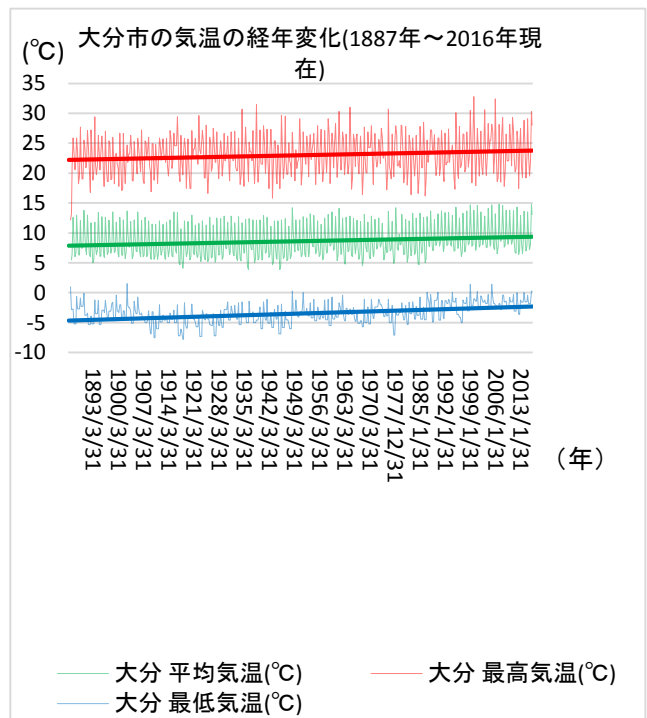
①⑥は幅の広い道路付近にあるため、気流は大きいですが、車の交通量が多く路面舗装が進んでいるため、WBGT 指数が高い値を示したと考えられる。

また、⑨～⑫では緑地がわずかに見られ、なおかつ交通量が少ないため、WBGT が比較的低い値を示したと考えられる。

⑮で気温が低い値に、WBGT 指数が高い値になっている要因としては、⑮はコンクリートでできた壁が存在したため、壁から放射される熱の影響を受けたことが考えられる。

【大分市の気温の経年変化】

大分の過去（1887年～2016年現在）の気温のデータをグラフにして、気温の経年変化について考察を行った。なお、下図の太線で表されている線は近似線を表している。



グラフ 5 : 大分市の気温の経年変化

グラフ 5 から読み取れることとして、平均気温、最高気温、最低気温のすべての項目において、上昇が見られる。このことから大分市では年々気温が上昇しているということがわかる。

しかし、現在地球規模で起こっている地球温暖化の影響も考えなければならない。

日本において、地球温暖化の影響を受けて上昇している気温は 100 年あたり +1.15°C の変化率と

なっている。(気象庁地球温暖化予測情報第8巻より)

このことを考慮すると、

$$\begin{aligned} & \text{(大分市におけるヒートアイランドの影響)} \\ & = \text{(大分市の気温変化率)} - \\ & \quad \text{(日本の地球温暖化における変化率=1.15)} \end{aligned}$$

と考えることができる。

<大分市の平均気温におけるヒートアイランド現象の影響>

$$\text{(変化率)} = (9.375 - 7.875) - 1.15 = +0.35 \text{ (}^\circ\text{C)}$$

<大分市の最高気温におけるヒートアイランド現象の影響>

$$\text{(変化率)} = (23.76 - 22.25) - 1.15 = +0.36 \text{ (}^\circ\text{C)}$$

<大分市の最低気温におけるヒートアイランド現象の影響>

$$\text{(変化率)} = \{-2.20 - (-4.875)\} - 1.15 = +1.53 \text{ (}^\circ\text{C)}$$

計算結果より大分市は少なからずとも都市化の進展に伴うヒートアイランド現象の影響を受けているだろうと予想できる。さらに、最低気温のとき、つまり冬には最も顕著にヒートアイランドが観測されるということもわかった。

5. 研究成果の発表

(1)大分県高等学校文化連盟主催

第56回科学クラブ研究発表大会

日時：平成27年10月25日(日)

発表題目：「大分舞鶴高校におけるヒートアイランド現象について」

発表形態：ポスター発表

発表者名：赤峰恭太郎(2年)、徳丸里歩(2年)



図：発表の様子

(2)大分スーパーサイエンスコンソーシアム

成果発表会

日時：平成28年1月30日(土)

発表題目：「Heat Island Phenomenon at Oita Maizuru High School」

発表形態：プレゼンテーション(英語)

発表者名：赤峰恭太郎(2年)、徳丸里歩(2年)

6. 「環境安全とリスク」に関する意見と感想

- 自分たちで主体的に見学の申し込みや実験・発表をすることを通して、具体的に行動にうつすことの大切さや、長期的な研究の見通しや計画性が大切であるかがわかった。
- 研究がいかに地道な努力の積み重ねが大切であるかを実感すると共に、仲間とともに研究に打ち込むことでの楽しみも発見することができた。
- ヒートアイランド現象に限らず、環境に関する問題解決は絶対に必要であり、これらの問題には境界がないので、世界全体で研究を進めると共に成果を共有することが大切だと感じた。

7. 今後の課題

- 今回調査した大分市街地について、さらにデータを集めて、より正確な考察ができるようにしたい。
- 大分市のヒートアイランドのパターンを特定したい。
- 大分市において、ヒートアイランドの影響を軽減する方法や目標を具体的な数字を出して考えていきたい。
- 将来的には、ヒートアイランドを軽減できるような建物表面の素材の開発を行いたい。

○日本の他の都市と大分市を比較して、ヒートアイランドと人工排熱や建物の影響などの関係性をつかみ、日本全国でできるヒートアイランドへの対策を考えていきたい。

8. まとめ

今回のすべての実験より、大分市においてヒートアイランドが起きていると考えたときに、解決策として私たちは次の二点に特に注目をした。

●熱負荷増加型

ヒートアイランドにおいては、大気熱負荷は重要なキーワードである。大気熱負荷とは、日射と都市で使われたエネルギーの廃熱、すなわち人工的に作られた熱の間で大気に移っていくのが大気熱負荷だ。大気熱負荷には潜熱と顕熱の両者がある。顕熱は温度として見える熱のことをさし、潜熱は蒸発に使われた熱をいう。

●建物増加型

建物が高くなり、一定面積あたり建物が占める割合が高くなっていくと、気流の滞りによって熱が逃げなくなってしまう。

私たちは今回大分市がどちらのパターンであるかということ特定できなかったが、それぞれのパターンで次のような対策が考えられる。

熱負荷増加型



省エネ、建物表面の改善、緑化などが挙げられるが、いずれも継続が必要不可欠である。

建物増加型



風が通りやすい道を作る、建物の配置を改善などが挙げられるが、いずれも都市計画的な長期的対応が必要である。

9. 参考文献

●気象庁

- ・ヒートアイランド監視報告（平成 21 年）～九州北部地方（山口県を含む）の都市におけるヒートアイランド現象の特徴を調査～

<http://www.jma.go.jp/jma/press/1006/24a/heatisland2010.html>

- ・ヒートアイランド監視報告 2014

<http://www.data.jma.go.jp/cpdinfo/himr/h27/>

- ・ヒートアイランド現象に関する知識

http://www.data.jma.go.jp/cpdinfo/himr_faq/index.html

- ・地球温暖化予測情報 第 8 巻

IPCC 温室効果ガス排出ガス A1B を用いた非静力学地域機構モデルによる日本の気候変化予測

<http://www.data.jma.go.jp/cpdinfo/GWP/Vol8/pdf/all.pdf>

●Flow square

無料で使えて手軽な流体シミュレーションソフトウェア

<http://flowsquare.com/jp/>

●環境省

熱中症予防情報サイト

http://www.wbgt.env.go.jp/doc_observation.php

●大阪環境産業振興センター

ヒートアイランド対策推進の課題とシナリオ

http://www.ecoplaza.gr.jp/seminar/report_back/230701/index.html

●参考図書

「ヒートアイランド対策(都市平熱化計画の考え方・進め方)」空気調和・衛生工学会編(2009年4月)

●Google Earth より写真を引用