統計解析及び現地微気象観測に基づく四万十市での 国内最高気温発生要因の検討

STATISTICAL AND OBSERVATIONAL INVESTIGATION FOR THE
MECHANISM OF RECORD-BREAKING HIGHEST TEMPERATURE IN
SHIMANTO

伊藤淳史¹・仲吉信人²・山城拓登³・小川憲人⁴・高根雄也⁵・日下博幸⁶

Atsushi ITO, Makoto NAKAYOSHI, Takuto YAMASHIRO, Kento OGAWA,
Yuya TAKANE, and Hiroyuki KUSAKA

¹学生会員 学(工) 東京理科大学大学院 理工学研究科土木工学専攻修士課程
(〒278-8510 千葉県野田市山崎2641)

²正会員 博(工) 東京理科大学講師 理工学部土木工学科(同上)

³非会員 学(工) 東京工業大学大学院 社会理工学群社会工学専攻修士課程
(〒152-8550 東京都目黒区大岡山2丁目12-1)

⁴非会員 東京理科大学 理工学部土木工学科(〒278-8510 千葉県野田市山崎2641)

⁵非会員 博(理) 国立研究開発法人産業技術総合研究所 エネルギー・環境領域 環境管理研究部門
大気環境動態評価研究グループ(〒305-8569 茨城県つくば市小野川16-1 産総研つくばセンター西事業所)

⁶非会員 博(理) 筑波大学 生命環境科学研究科(〒305-0006 茨城県つくば市天王台1丁目1-1)

To clarify the mechanism of the recent record-breaking high temperature at Ekawasaki AMeDAS, we conducted statistical analyses using 35-years AMeDAS data since 1988 and the field observation around Ekawasaki in 2015. From the statistical analyses, the following results were obtained; (1) the overlaying the warm air mass around Shimanto region contributed to high temperature there; (2) daily maximum temperature increased with the number of the consecutive preceding sunny days; (3) the southeasterly and northwesterly wind possibly contributed to higher temperature at Ekawasaki; (4) though Ekawasaki was not the hottest area in Japan climatologically, the record breaking event occurred due to the combination of the several factors mentioned above. Also, the field observation showed the sea breeze from the Pacific Ocean (southeasterly wind) can cool Ekawasaki.

Key Words: Shimanto, High temperature, Micro climate, Sea breeze

1. 序論

近年, 日本の都市部や地方において夏季の気温は上昇を続けている¹⁾。東京における8月の日平均気温の平均値は2010年には過去最高の29.6度を記録している¹⁾。夏季の平均気温が上昇している日本において, 高温現象の原因を解明することは, 熱中症等の健康被害の低減や冷房使用によるエネルギー消費問題解決への糸口になると言えるだろう。岡田ら²⁾は2007年当時の国内最高気温40.9℃が記録された岐阜県多治見市において, 2010年8月に夏季の気温分布調査を行った。多治見市並びに愛知県春日井市の学校, 公園内に計15台の気温計を設置し気象観測した結果, 市街地に近いほど日最高気温, 最低気温が高く, 猛暑日数・熱帯夜数も多かった。したがって多治見市

の高温化にはヒートアイランド現象³⁾が少なからず影響していると結論づけた。また, Takane et al.⁴⁾は, 日本の首都圏を対象に22年間の気象庁データ統計解析を実施した。日最高気温が37.2℃以上となる日を極高温日として定義し(原論文の中ではExtreme High Temperature days: EHT), その発生メカニズムを総観スケールとメソスケールの要因より解析した。解析の結果, 極高温日は“鯨の尾型(Whale)”と呼ばれる特異的気圧配置が41.3%を占めていた。また熊谷では, 極高温日に山脈側からである北西風が多く発生しており, 南～東方向の海風よりもフェーン現象を含む北西風の侵入が確認されたときに極めて高い気温が観測されていることが分かった。

このような状況の中, 2013年8月12日には, 高知県四万十市のアメダス江川崎観測所(図-1)で, 国内観測史上

図-1 アメダス江川崎観測所

最高となる 41.0℃の気温を記録した。これまで四万十市は熊谷市や多治見市などと違い高温地域として認知されていなかった。江川崎の高温現象の要因として、1)総観スケールとして太平洋高気圧とチベット高気圧が重なったことによる全国的な猛暑の影響、2)メソスケールとして江川崎の連続快晴日や日照時間からの影響、谷筋地形特有の気候が高気温に影響した可能性などが考えられている。また、3)ミクロスケールとして観測所の周辺のアスファルトで被覆された駐車場の熱により局所的・瞬間的に高い気温が記録され、41.0℃という記録には地域代表性が無いのではないかという懸念もある。しかし上記仮説の検証を含め、江川崎周辺地域での詳細な高温要因検討は十分に行われていない。

著者らは、全国 965 か所、過去 35 年間に及ぶアメダスデータの統計解析を行い、江川崎の気候を把握し、2013 年の最高気温発生を要因を検証した。さらには現地での微気象観測から、江川崎の地形の特徴が周辺気候に及ぼす影響を調査した。本論文では、統計解析と地上気象観測から明らかになったことを報告する。

2. 研究方法

(1) 35 年間のアメダスデータからの統計解析

江川崎の高温原因を解明するに当たり、過去のアメダスデータから江川崎観測所及び全国の観測所の平年的な傾向、及び特異月である 2013 年 8 月の傾向を把握するための統計解析を行った。

a) 使用データ

本研究で使用したデータは以下の 3 項目である。

- ①全国のアメダスデータから降雨量、気温、風向・風速、日照時間（1980～2014 年）
- ②潮岬の高層の気温データ（1988～2014 年）
- ③地上天気図（1980～2014 年）

対象期間は、全国的にアメダスのデータ収集が始まった 1980 年から 2014 年までの 35 年、対象月は夏季の 6～8 月とした。また、風向・風速は 1 時間毎の風向・風速をベクトル量（ u , v 成分）に変換し、1 日の平均ベクトルから風向・風速に再変換した値を 1 日の代表風向、代表風速

表-1 江川崎の高温地としての位置づけ

No.	ランキングの種類	江川崎 の値	全国順位
①	晴天日の日最高気温	32.5℃	13位/671地点
②	全日の日最高気温	30.0℃	42位/804地点
③	猛暑日率（全年）	6.9%	53位/828地点
④	猛暑日率（2013年）	39.1%	2位/926地点

図-2 広域観測サイトと局所観測サイトの位置関係

として扱った。②については、総観場スケールの気団の影響を調べるために対流圏下層を代表する 850hPa のデータを使用した。ここで、江川崎の直上において高層データの観測は行われていないため、欠測データが一番少なく江川崎に近い潮岬のデータを使用した。江川崎と潮岬の直線距離は約 280km であり、総観場スケールの影響下である。また②の高層（850hPa）の気温と③地上天気図は共に 9 時のデータを使用した。

b) 高温地域としての江川崎の位置づけ

高温地としての江川崎の全国的な位置付けを表-1 に示す。高温地を判別する要素は対象期間（1980～2014 年、6～8 月）の①晴天日の日最高気温、②全日の日最高気温、全日に対する猛暑日の発生日数（猛暑日率）のうち全年の結果を③、2013 年の結果を④とした。表-1 から、江川崎は比較的高温地に分類されうるが、最も暑い地域とは言い難い。④の 2013 年のみに着目した猛暑日率に限っては 926 地点中 2 位であることから、最高気温を記録した 2013 年夏季の現象が特異的なものだったことは明白である。

図-3 測器設置状況（松野中学校）

c) 統計解析による江川崎高温現象の検討

高温現象を引き起こすと考えられる①高層（850hPa）の温位、②天気図型、③風向・風速、④連続晴天日、⑤日照時間の5項目において、対象期間の全日及び猛暑日の地上気温（日平均、日最高、日最低）との相関を調べた。

(2) 地上気象観測概要

本研究では猛暑日が連続した2015年8月1日から8月10日まで高知県四万十市と隣接する愛媛県松野町、鬼北町においての地上気象観測の結果を報告する。観測の詳細を以下に記述する。

a) 観測サイトと測定項目

本研究の地上観測では、目的別に図-2に示す2つの観測サイトを設けた。1つは、江川崎アメダスの地域代表性の検証及び観測所周辺の土地利用による気温への影響調査を目的とした局所観測サイトであり、江川崎地区内で、アメダス横草地（L1）、アメダス横アスファルト地（L2）、四万十川河川敷（L3）、江川崎駅（L4）、道路沿い（L5）の5地点を選定した。この5地点の高低差は30m以内であり標高影響は無い。局所観測での測定項目は気温のみである。

もう一方は、江川崎のメソスケールでの風系と気温の関係を検証するための広域観測サイトである。後述する風向・風速の統計解析をもとに四万十川と支流の広見川に沿った四万十楽舎（W1）、江川崎アメダス（W2）、松野中学校（W3）、近永アメダス（W4）の4地点を選定した。広域観測での測定項目は気温（通風気温）、絶対湿度、風向風速である。ここで、江川崎アメダス（W2）と近永アメダス（W4）の気温、風向風速は気象庁アメダスの公表値を利用する。アメダス地点の湿度の測定では、アメダス観測所に隣接する土地において、通風シェルターに湿度センサを設置して観測を行った。

これらの観測地点は周りの建物や植生によって風の流れや日射が阻害されないことを条件とし、開けた平坦な土地を選定したが、四万十楽舎のみ用地の都合上、学校屋上（地上から約8.0m）に機器を設置した。

図-4 日最高気温と高層温位の関係

図-5 全日の日最高気温と連続晴天日の関係

b) 使用測器と設置方法

本研究で使用した測器とその設置について記述する。気温測定には、局所、広域観測全地点においてデータロガー付きサーミスタ TR-52i（T&D社製）を、絶対湿度の測定には RTR-53（T&D社製）を用い、これらを近藤式4重強制通風筒の中に設置した。気温・湿度センサの測器ごとの器差は事前に校正を行っている。また風向風速測定には、セバレート式風向・風速計 CYG-3001と CYG-3002（ともに YOUNG 社製）をデータロガー CR-200X と CR-1000（ともに Campbell Scientific 社製）に接続して用いた。

これらの測器のうち気温と湿度を測定する強制通風筒はアメダス観測と同じ条件の地上から1.5mの位置とし、風向風速計は地上から2.0mの位置に三脚とポールを用いて設置した。また各測器の測定間隔は気温、湿度は1分間隔、風向風速は1Hzに設定した。測器設置の様子を図-3に示す。

3. 結果と考察

(1) 統計解析からの高温要因

統計解析によって特に高気温との相関が見られた以下のa)～c)の解析結果を考察する。

図-6 日最高気温毎の風向風速分布（全日）

表-2 局所観測結果

No.	地点名	8日間平均気温[°C]			相関係数
		日平均	日最高	最大気温差	
	アメダスデータ	28.5	36.4	—	1.00
L1	江川崎草地	28.4	36.0	—	0.992
L2	江川崎アスファルト	28.6	35.7	-1.4	0.991
L3	河原	28.4	35.8	2.6	0.969
L4	江川崎駅※	28.3	35.2	-3.3	0.952
L5	郵便局横道路	28.7	35.7	-2.0	0.987

a) 高層の温位と日最高気温

日最高気温と高層温位の相関図を図-4に示す。グラフ上の赤いプロットが猛暑日、青いプロットが猛暑日以外の日を表している。これより、全日、猛暑日ともに日最高気温と高層温位は強い相関が見られ、全日での相関係数は0.689である。値が大きくなる程ばらつきが小さくなる。また、上層温位が地上気温よりも高くなる日が多くあり、天気図解析から四万十市が高気圧に覆われている時に高温日が発生しがちであったことから（図略）、高層温位が高温現象に与える影響は大きいと言える。

b) 先行連続晴天日と日最高気温

各日の前日までに晴天日が何日間連続したか（先行連続晴天日）を解析し、全日での先行連続晴天日と日最高気温の関係を図-5に示す。図中の数字は度数を示している。先行連続晴天日が多いほど日最高気温が高くなる傾向があると言える。しかし先行連続晴天日数が多くなる程、度数は小さくなっていて、また先行連続晴天日が0日でも猛暑日は発生していることより（図略）、猛暑日が形成されるための必要十分条件ではないと言える。

c) 風向風速と日最高気温

全日の代表風向風速を東西（u）成分、南北（v）成分に変換し、その瞬間の気温別にプロットしたものを、図-6に

図-7 局所観測5地点の8月9日における気温の時系列

図-8 四万十楽舎(W1)の風向風速分布

図-9 松野中学校(W3)の風向風速分布

示す。ここではv成分の正方向が北、負方向が南、u成分の正方向が東、負方向が西を表している。この図から、江川崎には四万十川下流方向の南東風と広見川上流方向の北西風が大部分を占めており、谷筋に沿った風の流れが見られる。気温との関係に着目すると、風向に関わらず、弱風の日に日最高気温が高温を記録し、強風の日に低温を記録していることがわかる。そして、日最高気温が40°Cを超えるような極高温は南寄りの風が観測されていない日に発生している。ここで、南寄りの風は夜間には観測されず日中に侵入してくること（図略）、比較的風速が大きいことから、太平洋から四万十川を遡上する冷却効果

図-10 2015年8月5日の四万十楽舎(a), (b)と江川崎アメダス(c), (d)の時系列

図-11 2015年8月8日の四万十楽舎(a), (b)と江川崎アメダス(c), (d)の時系列

のある海風が含まれている可能性も考えられる。そのため、南東の風が阻害されている時、極めて高い気温が発生しやすくなった可能性が示唆される。これについては、3-(3)の観測結果で詳しく説明する。

(2) アメダス江川崎観測所の地域代表性

局所観測 5 地点と江川崎アメダスデータにおいての各気温を表-2 に示す。日平均気温、日最高気温、は、2015 年 8 月 2 日から 8 月 10 日までの 8 日間の平均値を算出している。また江川崎アメダスデータと各観測地点の相関係数も記載する。L4 の江川崎駅に関しては、8 月 5 日の時点で測器の不具合があり、再設置したため 8 月 6 日からの平均値を記載し、地域代表性の議論では対象外とする。ここで、表中の最大気温差とは江川崎アメダス横草地 (W1) の気温からそれぞれの地点の気温を引いた値の最大値である。アメダス測器と本研究使用の測器の間の器差は調整されていないため、最もアメダス条件に近いア

メダス横草地 (W1) を江川崎の代表値とした。表-2 から、各地点の日平均気温は一般的なアメダスの空間代表精度 $\pm 0.5 \sim 1.0^{\circ}\text{C}$ の範囲内である。また、表-2 から図-7 からアメダス横草地 (L1) が他の地点よりも突出して高い気温を記録することは無く、今回の局所観測からは江川崎アメダス観測地点の地域代表性はあったと言える。また、アメダス横アスファルト方向 (南東) からの風が吹くときに、草地の気温が高くなる傾向も見られなかったこと (図略) から、アスファルトで被覆された駐車場が高温記録に影響した可能性も低いと考えられる。

(3) 江川崎周辺での風系と気温の関係

広域観測によって得られたデータから、四万十楽舎 (W1) と松野中学校 (W3) の日中 (9 時～18 時) の風向風速をベクトル表示したものを図-8 と図-9 に示す。グラフの黄色いプロットは気温が 35°C 以上を記録したときの風向風速を、青いプロットは気温がそれ以外のときの風

向風速を表している。図-8のグラフを見ると、四万十楽舎(W1)では南～南東風が非常に多く観測されたことがわかる。ここで、南西方向の風が観測されていないのは、機器設置の制約により南西側に遮蔽物がある場所に測器を設置したためである。統計解析結果でも言及したように、南～南東方向は四万十川の流下方向であり太平洋からの海風が多く侵入している可能性が考えられる。一方図-9のグラフを見ると、松野中学校(W3)では北寄りの風が広く分布しており、南東風は少ない。これらの結果からは、四万十楽舎(W1)と松野中学校(W3)の中間地点に位置する江川崎付近を境界に南東風、北西風と、異なる卓越風向が存在することが示唆される。

次に海風の侵入と気温の関係を解明するために、広域観測4地点での気温、風向風速、混合比の関係に着目する。観測期間中に江川崎にて南東風が観測された6日間のうち、南東風による冷却効果が確認される8月5日の結果を図-10に、冷却効果が見られなかった8月8日の結果を図-11に示す。図-10の(a), (c)より、5日は13時頃に四万十楽舎、14時頃に江川崎アメダスにおいて赤い点線で示した部分で南東風向の安定、風速の上昇が見られた。またこのとき(b), (d)より両地点で気温の低下、混合比の上昇も確認できる。これら4つの現象は海風特有のシグナルである⁹⁾。太平洋からの冷涼な風が四万十川を遡上し江川崎を冷却していることが示唆される。一方、図-11では南東風向の安定、風速の上昇は見られるものの、江川崎での気温の低下、混合比の上昇は見られず谷風であったことが伺える。

4. 結論

本研究で得られた主な結論は以下のとおりである。

- 1) 江川崎地区内で5地点の気温を測定し、江川崎アメダス観測地点に地域代表性があることが示された。
- 2) 過去35年間の江川崎アメダスのデータを統計解析したところ、高層の温位が高い日、先行連続晴天日が多く続く日に江川崎が高温化する傾向が確認された。
- 3) 統計解析から江川崎には南東、北西の二つの卓越風が明らかになり、日最高気温40℃以上の日には南東風が発生しておらず、冷却効果のある海風とみられる南東風の侵入が阻害されたときに極高温が発生することが示唆された。
- 4) 江川崎周辺4地点で気温、風向風速、湿度を測定し、海風侵入の有無を検証した。日中、江川崎に南東風が吹く日は少なくなく、太平洋から四万十川を遡上する海風により江川崎の気温が緩和されることが確認された。

謝辞：本研究は、JSPS 科研費 26889057 の金銭的支援を受けた。ここに謝意を表す。気象庁からデータを得る際は、

「アメダスデータ自動ダウンローダーME. LO. O. N」(2012, 堀駿ら, <http://epa.desc.okayama-u.ac.jp/~lolishun/meloon/>)を適宜修正して使用した。また本観測を遂行するに当たり、四万十市西土佐支所の中平支所長、松野町役場の皆さま、松野中学校の浅野校長先生、北宇和高校の皆さま、そして東京理科大学水理研究室の学生諸氏には、多大なご協力を頂いた。ここに記して深甚なる謝意を表す。

参考文献

- 1) 藤部文昭：日本における近年の著しい夏季高温の発生状況、地理学評論, 77, 119-132. 2004.
- 2) 気象庁 HP : <http://www.jma.go.jp/jma/index.html>. (閲覧日：2015年9月1日)
- 3) 岡田牧, 日下博幸, 高木美彩, 阿部紫織, 高根雄也, 富士友紀乃, 永井徹：夏季における岐阜県多治見市の気温分布調査, 天気, 109: 304 (ヒートアイランド; 地上気象観測), 2014.
- 4) 日下博幸, 学んでみると気候学はおもしろい, ベレ出版, pp.186-193, 2013.
- 5) Takane, Y., H. Kusaka, and H. Kondo, 2014: Climatological study on mesoscale extreme high temperature events in the inland of the Tokyo Metropolitan Area, Japan, during the past 22 years. International Journal of Climatology, doi: 10.1002/joc.3951.
- 6) 日下博幸, 学んでみると気候学はおもしろい, ベレ出版, pp.92-97, 2013.
- 7) 近藤純正 HP, 研究の指針, K92.省電力通風筒: <http://www.asahi-net.or.jp/~rk7j-kndu/kenkyu/ke92.html>. (閲覧日: 2015年9月12日)
- 8) 近藤純正 HP, 研究の指針, K80.地域を代表する気温の分布: <http://www.asahi-net.or.jp/~rk7j-kndu/kenkyu/ke80.html>. (閲覧日: 2015年9月17日)
- 9) 仲吉信人, 大久保洸平, Alvin C.G.Varquez, 神田学, 藤原忠誠：東京―練馬―埼玉ラインに見られる海風よどみ領域, 水工学論文集, Vol.69 No.4 pp.11741-11746. 2013.

(2015. 9. 30受付)