

原著論文

岡山地方気象台の露場移転が観測される気温に及ぼす影響について

三浦 悠¹・大橋唯太¹Influences of the relocations of the Okayama Local Meteorological Observatory
on the measured air-temperatureHaruka MIURA¹ and Yukitaka OHASHI¹

Abstract: We investigated a statistical cutting and data heterogeneity of the temperature measured at the Okayama observational site, which moved from the former downtown area to the present suburban area in March, 2015. The observatory has moved twice in the past: the first move in 1982 from the suburban Okayama University area to the downtown area, and the second move to the present location in 2015. Both relocations strongly affected the temperature measured nighttime. The number of the “Nettaiya” (tropical night) day was 4.6 days in average for the period before the first move, whereas that significantly increased to 31.4 days in average for the downtown observatory period. On the other hand, the number of the “Fuyubi” (typical winter) day decreased from 70.0 days to 23.2 days for the same periods. Discontinuities in data of both Nettaiya and Fuyubi days due to the site moving were statistically distinct. Also, the downtown-to-suburban site moving in 2015 induced discontinuities in the number of Nettaiya and Fuyubi days. However, the daytime temperature and the “Manatsubi” (typical summer) day did not suffered significant from moving the site.

I. はじめに

岡山市郊外の岡山大学敷地内で1949年4月16日以降に気象観測を行っていた岡山地方気象台は、1982年10月1日にそこから約3km南の岡山市街地中心部へ移設された(岡山地方気象台 1991)。しかし2013年には、その気象台の近傍に大型商業施設が建設されるなど、気象台の観測露場は都市化の影響を強く受けるようになったため、露場のみを2015年3月5日に岡山大学敷地内へと戻すことになった(<http://www.jma-net.go.jp/okayama/intro/syoukai.html>, 岡山地方気象台 2016年7月12日確認)。図1に、観測露場の移転変遷の位置関係を示した。

佐橋(2004)と近藤(<http://www.asahi-net.or.jp/~rk7j-kn-du/kenkyu/ke42.html>, 近藤純正 2016年7月12日確認)

は、岡山地方気象台の露場で観測された気温に1982年10月以降急上昇がみられることを、移転による影響だと指摘している。その一方で重田・大橋(2009)は、岡山平野の広域気象観測によって、市街地中心部から周辺の郊外にかけて広がるヒートアイランド現象の存在を確認している。この観測からは、市街地中心部と郊外のあいだで夏季夜間に3~4℃、冬季夜間に4~5℃の気温差が示された。

以上から、これまでの岡山地方気象台の観測露場の移転はヒートアイランドの気温分布の影響を受け続けてきたことが容易に想像でき、観測される長期気温の解析や空間代表性には十分な注意が必要となってくる。そこで本研究では、1949年4月16日~1982年9月30日の岡山大学敷地内(郊外①)の期

1. 〒700-0005 岡山県岡山市北区理大町1-1 岡山理科大学生物地球学部生物地球学科 Department of Biosphere-Geosphere Science, Faculty of Biosphere-Geosphere Science, Okayama University of Science, 1-1 Ridai-cho, Kita-ku, Okayama-shi, Okayama-ken 700-0005, Japan.

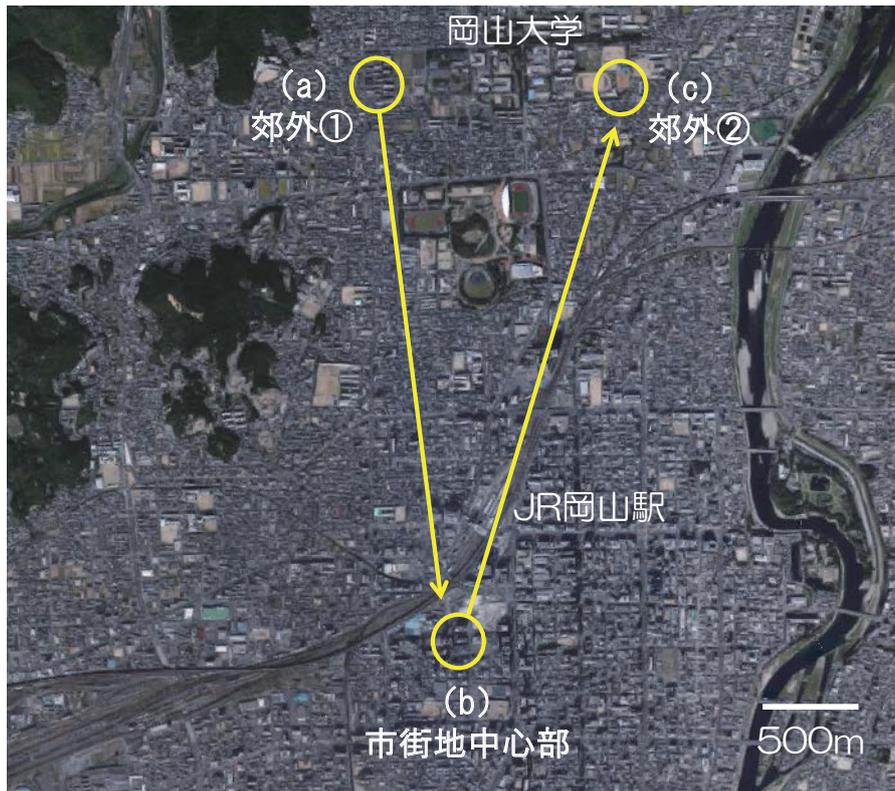


図1. 岡山地方気象台の観測露場移転の変遷。(a)郊外①(1949年4月16日～1982年9月30日), (b)市街地中心部(1982年10月1日～2015年3月4日), (c)郊外②(2015年3月5日以降)の3期にわたる。

間、1982年10月1日～2015年3月4日の市街地中心部の期間、2015年3月5日以降の岡山大学敷地内(郊外②)の期間に観測された気温をそれぞれ比較することで、露場移転に伴う気温データの不連続性を調べた。特に一年を通した気象統計値の変化を明らかにする。この解析によって半世紀以上にわたる都市化進行の気温への影響とヒートアイランド強度の経年変化を定量的に把握でき、岡山地方気象台の長期気温を用いた研究や観測露場再移転の検討への将来的な指針になり得ると期待される。

II. 方法

解析には、国土交通省気象庁がWeb公開する気温データを用いた(<http://www.jma.go.jp/jma/menu/menureport.html>)。岡山地方気象台の観測露場で1949年から2016年までに観測された気温をもとに、夏季の気象統計値として日最高気温 30.0°C 以上が記録された真夏日、夜間最低気温 25.0°C 以上が記録された熱帯夜の日数を調べた。また冬季の気象統計値として

は、日最低気温が 0.0°C 未満の冬日の日数を同じく調べてみた。いずれの項目も年度(同年4月から翌年3月まで)で区切って、1年間の集計をおこなった。

この岡山地方気象台で観測された露場気温の長期変化の原因を知るために、同じ岡山県内にある笠岡アメダス(笠岡市)と倉敷アメダス(倉敷市)で観測された気温についても同様の解析をおこなった。両方の観測所とも途中に移転がなく、特に笠岡アメダスは1979年の開設以来、周辺の土地利用状況もほとんど変化していない場所である。笠岡アメダスの観測露場は「かさおか太陽の広場」内にあり、周辺には裸地や植生が広がった環境である。一方、倉敷アメダスの観測露場は岡山大学資源植物科学研究所の敷地内にあり、試験圃場に囲まれた環境である。これ以降、岡山地方気象の観測露場を単に岡山、笠岡アメダスを笠岡、倉敷アメダスを倉敷と呼称していくことにする。

本研究では、統計解析として次の2つの手法を適用した。

(a) 市街地中心部



(b) 郊外②



図2. (a)市街地中心部と(b)郊外②における観測露場近傍の天空写真. ただし、いずれも2015年4月27日に撮影.

・ Wilcoxonの順位和検定(Wilcoxon 1945) : ノンパラメトリックな統計学的検定手法のひとつであり、2群の有意差検定として用いられる. Mann-WhitneyのU検定と同じである. 本研究では、真夏日など気象統計値の経年変化に不連続性が認められないかを統計的に調べるために用いた.

・ Mann-Kendall検定(Mann 1945, Kendall 1975) : ノンパラメトリックな統計学的検定手法のひとつであり、連続データの上昇または下降トレンドの有無を検出するために用いられる. 本研究では、真夏日など気象統計値の経年変化に長期トレンドが認められないかを統計的に調べるために用いた.

III. 結果と考察

1. 岡山地方気象台の観測露場

1982年まで郊外①(岡山市北区津島桑の木町)に観測露場があった頃の写真が、岡山地方気象台(1991)によって紹介されている. その写真からは、周囲に高い建物も存在せず、よく開けた露場であった様子が読みとれる. またこの頃は現在のファン付きステンレス製通風筒と異なり、百葉箱を用いて気温を観測していた.

1983年以降は市街地中心部(岡山市北区桑田町)に移転したが、このときの観測露場は気象台が入居した5階建て建物に隣接する形で設置されている. 郊外①の時期に比べて露場面積は明らかに小さく、常時交通のみられる道路や建物と接近するため、これ

らの影響を無視できない環境だと予想される. 2015年4月27日に現地で天空写真を撮影した画像を図2aに示す. この画像から算出された天空率は、0.52であった.

現在の郊外②(岡山市北区津島中)へは2015年に観測露場だけが移転し、気象台自体は市街地中心部に現在も残っている. 露場環境は郊外①の頃に近く、周辺に高い建物も存在していない. 2015年4月27日に現地で撮影した天空写真からは(図2b)、天空率が0.81と推定された. この数値からもわかるように、市街地中心部に比べて天空の開放度が高く、おそらく郊外①の頃に近い開放環境ではないかと考える. 郊外①と郊外②のあいだの距離は東西に約1 km離れているが、岡山大学の敷地と周辺の住宅地という土地利用形態は郊外①の時代から大きく変化していない.

2. 郊外①から市街地中心部への移転の影響

(a) 真夏日日数

過去68年間にわたって岡山中で観測された真夏日日数(日最高気温 30.0°C 以上)の経年変化を図3に示す. 郊外①から市街地中心部への移転前後の1982年と1983年を境として真夏日日数に不連続が統計的に確認できるか、Wilcoxonの順位和検定をおこなった. その結果、有意水準1%で観測露場の移転に伴う真夏日日数の変化に有意差がみられた. 郊外①の期間1949~1982年は平均で年間55.2日の真夏日日数

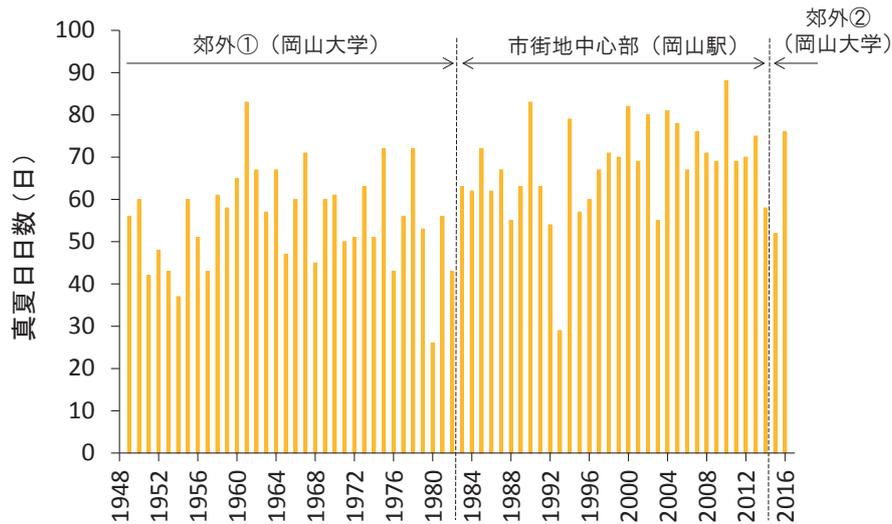


図3. 1949年から2016年の過去68年間にわたって岡山で観測された真夏日日数(日最高気温30.0℃以上)の経年変化.

であった一方、市街地へ移転後の期間1983～2014年には平均で年間67.2日まで増加している。したがって、12日も年間の真夏日が増えた計算となる。日最高気温35.0℃以上で定義される猛暑日についても、同様に日数の増加がみられた。

次にMann-Kendall検定によって、移転前後それぞれの期間における真夏日日数のトレンド分析をおこなった。その結果、郊外①の期間内、市街地中心部の期間内とも統計的に有意なトレンドは確認できなかった(猛暑日についても同様の結果であった)。特に、市街地中心部に観測露場が移転して33年のあいだでも都市化が進行しているにもかかわらず、真夏日日数が明確に増加していない点は、興味深いといえる。

(b) 熱帯夜日数

過去68年間にわたって岡山で観測された熱帯夜日数(夜間の最低気温25.0℃以上)の経年変化を図4に示す。真夏日のときよりも1982年と1983年を境とした日数の不連続性が、はっきりわかる。郊外①の期間は平均で年間4.6日の熱帯夜日数であったが、市街地中心部へ移転後の期間には平均で年間31.4日まで極端に増加した。これは、毎年1か月は熱帯夜が発生している数字に相当する。一方、郊外①と市街地中心部の各期間内の日数トレンドは、市街地中心部の期間で有意水準1%の有意な増加傾向

が、Mann-Kendall検定によって示された。これは真夏日日数には認められなかった特徴であり、都市化進行の気象への影響は日中よりも夜間に現れやすいことを意味している。夜間のほうが日中に比べて大気は熱的に安定で、地物を含む地表面から大気への顕熱輸送の影響が地上付近で表れやすくなるためと考えられる。

(c) 冬日日数

過去67年間にわたって岡山で観測された冬日日数(日最低気温が0.0℃未満)の経年変化を図5に示す。この冬日はおもに夜間に記録することから、熱帯夜日数と同様に郊外①と市街地中心部の移転前後で明瞭な不連続が認められる。郊外①の期間は平均で年間70.0日の冬日日数であったのに対し、市街地中心部の期間には年間23.2日まで大きく減少していた。一方、それぞれの期間内で冬日日数の長期トレンドが統計的に示されるか、Mann-Kendall検定によって検定をおこなったところ、両期間とも有意性は得られなかった。

(d) 都市化の影響

以上の統計分析の結果をまとめると、表1のようになる。真夏日・熱帯夜・冬日いずれの日数に対しても露場移転の影響が現れたといえる。一方、移転前34年間・移転後32年間それぞれにおける各項目の経年変化トレンドは、統計的にはっきりしなかつ

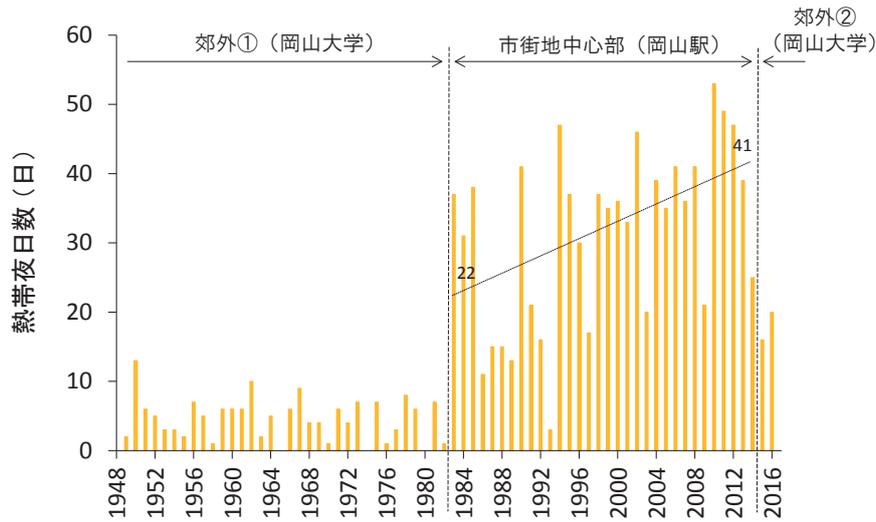


図4. 1949年から2016年の過去68年間にわたって岡山中で観測された熱帯夜日数(夜間の最低気温25.0°C以上)の経年変化. 市街地中心部の期間に対しては統計的に有意な漸増が認められたため, その回帰直線を描いてある.

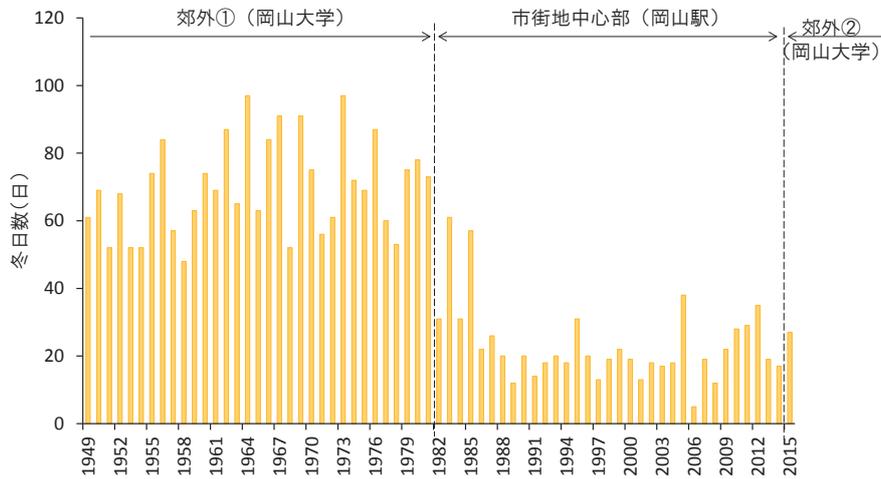


図5. 1949年から2015年の過去67年間にわたって岡山中で観測された冬日日数(日最低気温0.0°C未満)の経年変化.

表1. 岡山の観測気温に対する統計分析の結果. 郊外①と市街地中心部の各期間における長期トレンドの有意性(Mann-Kendall検定), 両期間境界の不連続性の有意性(Wilcoxon検定)の検定結果.

		郊外① 1949～1982年度	市街地中心部 1983～2014年度
真夏日日数	トレンド	n.s.	n.s.
	不連続性		$p < 0.01$
熱帯夜日数	トレンド	n.s.	$p < 0.01$
	不連続性		$p < 0.01$
冬日日数	トレンド	n.s.	n.s.
	不連続性		$p < 0.01$

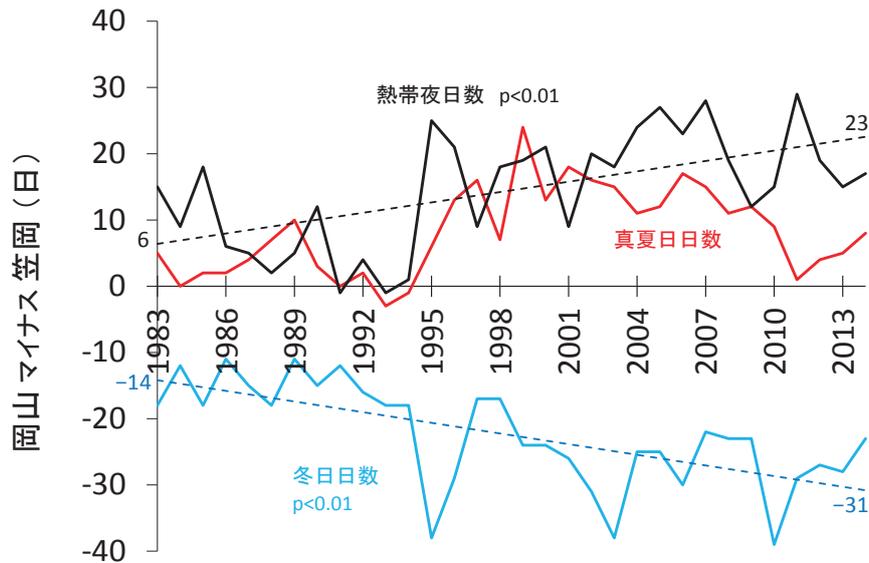


図6. 市街地中心部に露場のあった期間(1983~2014年)における岡山と笠岡の真夏日・熱帯夜・冬日日数差(岡山から笠岡を引いた値)の経年変化.

た. しかしこの長期変化には, 地球規模と都市規模の気候変化という両方の影響を含んでいることが考えられる. そこで市街地中心部に露場があった期間について, 長期にわたり都市化の影響を受けていない笠岡の観測結果と比較してみた(図6). 笠岡で観測された気温は地球規模の気候変化の影響のみを受けていると考えれば, 岡山と笠岡の日数差(図6では岡山から笠岡を引いた値)の経年変化は岡山での都市化効果を抽出しているとみなせる. そして, この経年変化に対してMann-Kendall検定をおこなったところ, 熱帯夜日数だけでなく冬日日数も有意水準1%で有意となる結果が得られた. つまり, 市街地中心部に露場のあった32年間で, 都市化進行に伴う大気の高温の促進が特に夜間発生する熱帯夜と冬日の日数を増加させたといえる.

3. 市街地中心部から郊外②への移転の影響

(a) 移転前後の気温変化

2015年3月5日に, 市街地中心部から郊外②の岡山大学へ観測露場が再び移転することになったが, このときの気温への影響を調べてみた. ここで, 岡山から西に17kmほど離れた同じ平野内で, 海岸からの距離も岡山と類似する倉敷で観測された気温と比較した結果を, 図7に示す. 移転日の

2015年3月5日を含む29日間, 2月19日~3月19日における気温の経日変化であり, 図の下段には同期間の岡山から倉敷の気温を引いた値(図7b)と, 1年前2014年の同時期におけるその値(図7c)を示してある. まだ観測露場が市街地中心部にあった2014年の2月19日から3月19日まで多くの日で特に夜間, 岡山のほうが倉敷よりも気温が高く, 2014年2月19日~3月5日の期間, 2014年3月5日~3月19日の期間ともに「岡山マイナス倉敷」の平均値は+0.7℃であった. 一方, 翌年2015年の移転直前2月19日~3月5日は期間平均で「岡山マイナス倉敷」の値が+0.8℃と前年並みであったが, 郊外②に移転直後の3月5日~3月19日には「岡山マイナス倉敷」の平均値が+0.3℃にまで小さくなった. この様子は上段の図7(a)に示された岡山と倉敷の気温の経日変化を比較してもわかり, 郊外②へ移転後は岡山の夜間気温が倉敷と変わらない程度にまで下がっている. これを夜間に記録する日最低気温でみると, 岡山と倉敷の値の差からは移転によって(前後期間の平均で)1.3℃も岡山の最低気温が下がっていた. 市街地中心部に観測露場が存在したときは都市化に伴うヒートアイランド現象の影響を受けていたが, 移転した郊外②の地域では夜間の放射冷却現象を強く受けるようになり, 気温が移

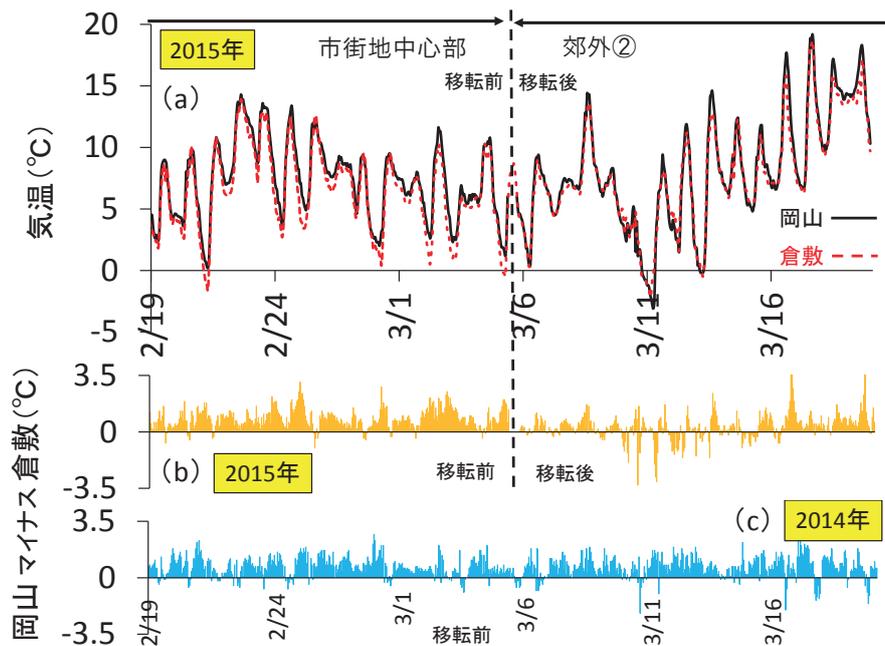


図7. 市街地中心部から郊外②への移転日2015年3月5日を含む29日間(2015年2月19日～3月19日)における(a)岡山と倉敷の気温と(b)その差(岡山から倉敷を引いた値)の経日変化. (c)には、移転前2014年の同時期における岡山と倉敷の気温差(岡山から倉敷を引いた値)を示している。

転前よりも低く観測されるようになったためだと考えられる。

(b)真夏日・熱帯夜・冬日の変化

2015年3月に観測露場が郊外②へ移転したあと、2015年度以降の夏季と冬季に記録された真夏日・熱帯夜・冬日の各日数がどの程度変化したか、考察してみた。これらの統計値は年による気候の違いの影響を受けるため、III-2節と同様に笠岡との日数差を2000年度以降について図8で示した。日中の真夏日日数(図8 a)は、岡山のほうが笠岡よりも例年多くなっている。2015年度以降の真夏日日数も同様に岡山のほうが笠岡に比べて多いものの、移転に伴う明らかな日数の不連続な増減は認められない。一方、夜間の熱帯夜日数(図8 b)も例年、岡山のほうが笠岡よりも多く記録している。郊外②への移転後2015年度の日数も岡山が多かったものの、その差はたった2日で2000年度以降にはみられない縮小となった。また2016年度の夏には岡山のほうが笠岡よりも熱帯夜日数が1日少ないという、過去にない記録がされた。この経年変化の不連続は明瞭であり、

市街地中心部から郊外②へ移転した影響が現れた結果と考えられる。

冬季夜間に記録する冬日の日数(図8 c)は、岡山よりも笠岡のほうが例年多い。2000年度以降では20～30日台で岡山のほうが冬日日数は少なかったが、観測露場が郊外②に移転した2015年度はその差がたった4日にまで縮まった。この経年変化の不連続性も熱帯夜と同様に明らかであることから、露場の移転に起因する変化だといえる。以上のように、市街地中心部にあった観測露場が郊外②に移転したことによる観測気温への影響は夜間に大きく現れており、長期解析の際には注意しなければならない。一方で日中の気温についてはその影響が不明瞭であるため、目的によっては移転に伴うデータ切断を気にせず長期解析に用いることができる可能性がある。ただし、今後の変化を引き続き注視していく必要性もあるだろう。

IV. まとめ

本研究では、最近に気象観測露場が移転した岡山地方気象台を対象に、これまで観測されてきた気

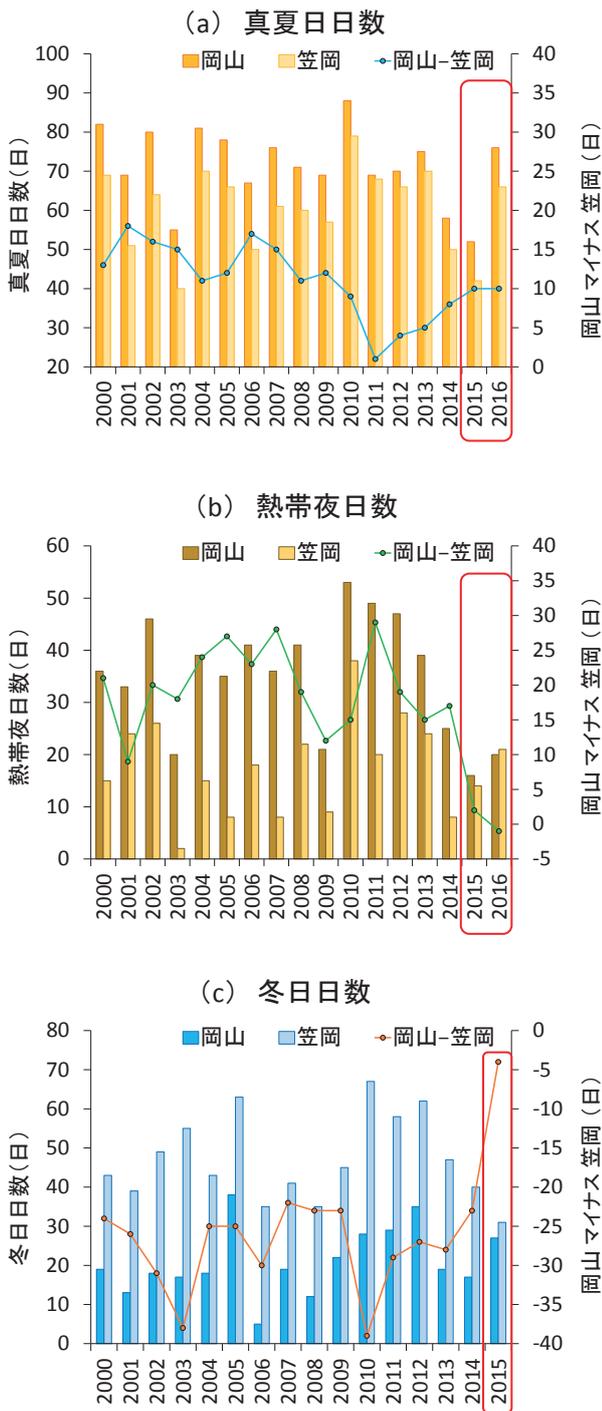


図8. 2000年以降に観測された岡山と新潟の(a)真夏日・(b)熱帯夜・(c)冬日の各日数とその差(岡山から新潟を引いた値)の経年変化。2015~2016年は、岡山の観測露場が郊外②に移動した後の結果を示している。

気温の統計切断と不均質性について分析した。1982年の岡山大学(郊外①)から市街地中心部への露場移転、2015年の市街地中心部から岡山大学(郊外②)への再びの移転が、観測される気温にどの程度の影響がみられたか、特に真夏日や冬日といった気象統計

値の変化に着目した。

郊外①から市街地中心部に移転する前後の1982年と1983年を境として、真夏日と熱帯夜の日数に不連続な変化が統計学的に確認できるか調べた。その結果、両方の日数とも観測露場の移転に起因する変化がWilcoxonの順位検定で有意に認められた。郊外①の期間1949~1982年は平均で年間55.2日の真夏日日数と年間4.6日の熱帯夜日数であったが、市街地へ移転後の期間1983~2014年にはそれぞれ67.2日と31.4日にまで増加していた。さらにMann-Kendall検定によって、移転前後それぞれの期間に対して真夏日日数と熱帯夜日数のトレンド分析をおこなった。その結果、熱帯夜日数には市街地中心部の期間で統計的に有意な増加トレンドが認められた。これは日中に記録する真夏日の日数には認められなかった特徴であり、都市化進行の気候への熱的な影響が日中よりも夜間に現れやすいことを意味している。

熱帯夜と同様、おもに夜間に記録する冬日も、郊外①から市街地中心部への移転前後で日数に明瞭な不連続が認められた。郊外①の期間は平均で年間70.0日の冬日日数であったのに対し、市街地中心部の期間には年間23.2日まで大きく減少していた。この両期間に対して冬日日数の長期トレンドが統計的に示されるか、Mann-Kendall検定をおこなったところ、いずれも有意性はみられなかった。しかし、長期にわたり都市化の影響を受けていない新潟で観測された日数との差に対して同様の検定をおこなうと、市街地中心部に露場があった期間は熱帯夜日数だけでなく冬日日数のトレンドにも統計的に有意となる結果が得られた。これは、岡山の都市化による高温の促進が、特に夜間発生する熱帯夜と冬日の日数を増加させているといえる。

次に、2015年3月5日に市街地中心部から郊外②の岡山大学に観測露場が再び移転した際の、観測気温への影響を調べた。その結果、気象統計値のうち日中記録する真夏日は移転の影響が不明瞭であったが、夜間に記録する熱帯夜や冬日の日数には明らかな影響が認められた。したがって観測露場の移転とともに気温の変化は、特に夜間の観測値に対して

無視できないといえる。

長年にわたり繰り返された岡山地方気象台の観測露場の移転は、都市部と郊外のあいだで行われてきたため、結果として都市化の気候への熱的影響を捉えた貴重な観測データになっている。本来、地球温暖化や長期気候変動を把握する目的からすれば、観測地点の移動は露場の周辺環境が変化するため適切ではなく、データの補正が強いられる(例えば、大野ほか 2011, 気象庁 http://www.data.jma.go.jp/obd/stas/data/kaisetu/shishin/shishin_all.pdf, 2016年7月12日 確認)。しかし本研究の岡山地方気象台を対象にした解析からは、日中の気温を用いた気象統計値には、単一都市域内であれば観測地点の移動の影響が無視できる可能性が示唆された。ただし、今後は他の類似ケースでの検証も必要である。一方で夜間の気温については、観測地点の移動の影響が強く表れることがあるため、そのまま均質な気温データとして扱うのは難しいであろう。

謝辞

天空率の計算には、CanopOn 2 (<http://takenaka-akio.cool.ne.jp/etc/canopon2/>) を使用させていただきました。岡山地方気象台の気象データは、気象庁より提供していただきました。この場をお借りして、心より御礼申し上げます。

引用文献

- Kendall, M.G. (1975). Rank correction methods. 4th edition, Charles Griffin, London.
- Mann, H.B. (1945). Non-parametric tests against trend. *Econometrica* 13: 163-171.
- 大野浩史・吉松和義・小林健二・和歌山郁生・諸岡浩子・及川義教典・平原翔二・池田友紀子・齋

藤仁美(2011). 気温の時系列データから気象官署の移転にともなう影響を補正する手法について. 測候時報 78, 1-2: 31-41.

岡山地方気象台(1991). 岡山地方気象台創立100周年記念 岡山県の気象. 163. 日本気象協会関西支部

佐橋 謙(2004). 岡山の自然と環境問題(第2章). 228. 大学教育出版.

重田祥範・大橋唯太(2009). 岡山市を対象とした高密度な気象観測によるヒートアイランド強度の解析. 天気 56-6: 37-48.

Wilcoxon, F. (1945). Individual comparisons by ranking methods. *Biometrics Bulletin* 1: 80-83.

要旨

本研究では、最近2015年3月に気象観測露場が移転した岡山地方気象台を対象に、観測された気温の統計切断と不均質性について、過去の移転時も含めて分析した。1982年の岡山大学(郊外①)から市街地中心部への露場移転、2015年の市街地中心部から岡山大学(郊外②)への露場再移転が行われている。解析の結果、移転の気温への影響は、特に夜間の観測値に強く表れていた。郊外①から市街地中心部への露場移転時には、移転前の期間平均で4.6日だった熱帯夜日数が移転後に平均31.4日まで大きく増加、冬日日数は期間平均70.0日から23.2日へと大きく減少していた。いずれも移転前後の気温と、その統計値の不連続性は明瞭であった。一方、2015年の市街地中心部から郊外②への再移転の影響も夜間の気温に強く表れ、観測値の不連続が明瞭に出現している。反対に、日中の気温やその統計値に対しては観測地点の移動の影響が小さいことも明らかとなった。

(2016年10月19日受理)