

冬季晴天日における兵庫県神戸市の気温分布

—小学校の百葉箱を活用した観測事例—*

瀧 本 家 康**

1. はじめに

都市域でみられる特徴的な気象として、都市部の大気が郊外に比べて高温になるヒートアイランド現象が挙げられる。ヒートアイランド現象の解明は、都市熱環境保全という観点からも極めて重要な課題であり、近年多くの研究者がその実態解明に取り組んでいる。特にヒートアイランド現象が顕著な東京や関東平野を対象とした研究には河村 (1977)、Fujibe (1988)、小林 (1990)、山添・一ノ瀬 (1994)、横山ほか (2005)、亀野ほか (2008) など数多くの研究が存在し、気象庁によるヒートアイランド監視報告 (<http://www.data.kishou.go.jp/climate/cpinfo/himr/index.html> 2014.4.14閲覧) も毎年公表されている。一方、長野県小布施町を対象とした榊原 (1999) や広島市を対象とした清田ほか (2007) など大都市以外を対象とした研究も多数ある。

ヒートアイランド現象は、地形や風系の影響を強く受け、都市の規模や建物の密集度など都市構造の違いのほかに、都市周辺の郊外の環境によっても特徴が大きく異なる。そのため都市固有の特性を有する場合も少なくないと考えられ、都市それぞれの特性を解析することが理想的である。しかしながら、都市域内で気温データを入手できる場所としては、気象官署や自治体による大気汚染常時監視測定局などの公的機関によって運営されている観測点に限られる。また、既存の観測点が必ずしもヒートアイランド研究に都合のよい場所にあるとは限らない。加えて、測定器の設置場

所の地覆状態や周辺環境が不統一であり、データを解析するうえでは無視できない問題となり得る。これらの課題を解決するためには、できるかぎり観測条件をそろえた多地点での細密な気象観測を実施することが有効である (たとえば、三上 2004; 酒井ほか 2007)。

本研究の対象である兵庫県神戸市においては、宮崎 (2005) が、2004年夏季に神戸市内31の小学校の百葉箱に温度計を設置し、25°Cを超えた延べ時間数は臨海部で高い分布を示し、また30°Cを超えた延べ時間数は中央区以東臨海都市街地で高い分布を示すことを指摘している。しかし、一般にヒートアイランド現象は大気成層の安定度が強まる冬季晴天日の夜間に明瞭となるとされている (榊原 1994; 久田ほか 2005)。

そこで本研究では、冬季における兵庫県神戸市の気温分布の実態を調べることを目的とする。調査にあたっては高等学校総合的学習の時間を利用して、第1学年の生徒5名とともに12の神戸市立小学校に固定観測点を設置することとした。以下、観測の概要とデータ解析の結果について報告する。

2. 観測概要

2.1 観測対象地域の概要

本研究の対象地域である神戸市は、2013年12月1日現在人口154万人を超え、近畿地方の拠点都市のひとつとして発展を続けている。都心の市街地は北方の六甲山 (標高931 m) を含んだ六甲山地と南方の大阪湾に挟まれた東西方向に伸びた狭い領域に展開している (第1図)。六甲山地の北側にはニュータウンが拡大しつつあり、大阪湾にはポートアイランドや六甲アイランドといった海上都市が建設されている。

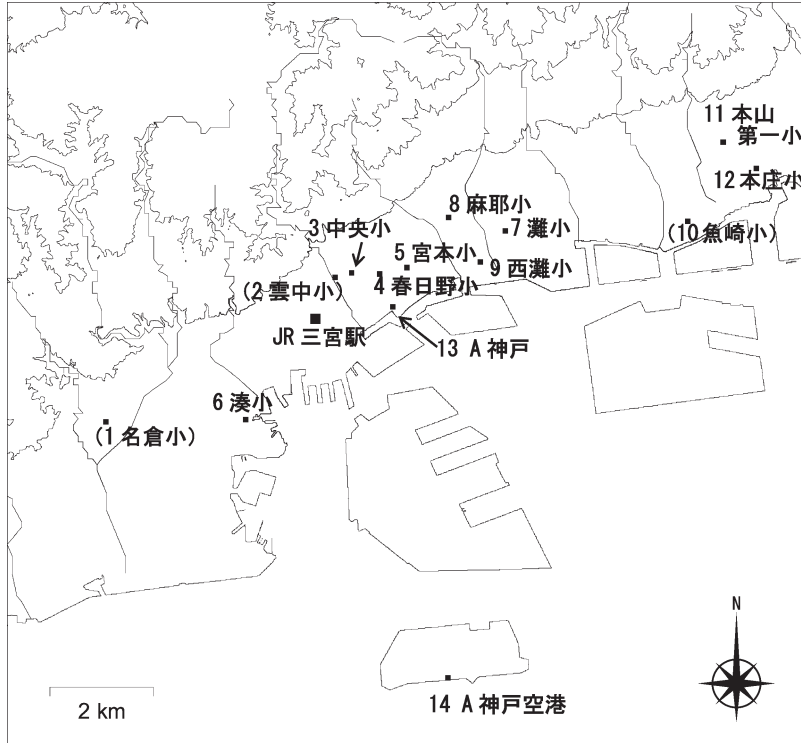
2.2 観測日と測定方法

観測は2012年12月26日から2013年1月27日まで1か月間行った。第1図に観測地点を示す。神戸市域の気

* Distribution of Air Temperature in Kobe City in Winter—Case Study of Utilizing Instruments Screens at Elementary Schools—

** Ieyasu TAKIMOTO, 神戸大学附属中等教育学校。
ieyasu@port.kobe-u.ac.jp

© 2014 日本気象学会



第1図 神戸市の地形および気温観測点の分布。図中の数字等は第1表と対応、等高線は100 m, 300 m, 500 mのみ示す。括弧内は解析から除外した観測点 (A:アメダス)。

温分布を把握するため、神戸市内の小学校12カ所に気温の固定観測点を設けた。観測点直下の地面状態については、校庭の裸地または草地が主である。しかし、山口(2006)が百葉箱は樹木や建物の影響で測定条件を必ずしも満たさないと指摘しているように、百葉箱の周囲の環境については学校によりさまざまであった(第1表)。そこで、百葉箱の周囲の環境が測定に影響を及ぼす可能性があると考えられた名倉、雲中、魚崎の3地点は今回の解析から除外することとした。

気温の測定には、データロガー付きのサーミスタ温度計(おんどとり Jr.TR-52i; T&D社)を用いた。温度計の測定精度は $\pm 0.3^{\circ}\text{C}$ ($-20\sim 80^{\circ}\text{C}$)、測定分解能

第1表 各気温観測点の地点情報。

	地点番号	地点名	標高(m)	高度補正	地面状態	風通し	観測点周囲の環境
長田区	1	名倉小	59	0.3835	裸地	×	百葉箱は周囲を建物に覆われている。日陰になりやすい環境
中央区	2	雲中小	49	0.3185	裸地	△	西側・南側に校舎、壁あり
	3	中央小	27	0.1755	裸地	○	北側に校舎
	4	春日野小	27	0.1755	草地	△	東側に校舎
	5	宮本小	44	0.286	裸地	○	北側に民家
	6	湊小	0	0	草地	○	北側に高層ビル
灘区	7	灘小	27	0.1755	草地	○	良好
	8	摩耶小	59	0.3835	裸地	○	良好
	9	西灘小	20	0.13	草地	○	良好
東灘区	10	魚崎小	10	0.065	草地	×	校舎西側すぐ横に位置。木、屋根に覆われている。日陰になりやすい環境
	11	本山第一小	26	0.169	草地	○	北側に校舎
	12	本庄小	2	0.013	裸地	○	東に住宅
アメダス	13	神戸	5	0.0325			
	14	神戸空港	7	0.0455			

は0.1°Cである。記録間隔は10分に設定し、解析には00分から50分までのデータから60分平均値を算出し用いた。温度計はすべて自然通風式の百葉箱内に設置した。各観測点の標高が一樣でないため気温の高度補正が必要である。本研究においては高度補正前後の両方の気温を示すこととした。また、各測定器がもつ器差を確認するため、定点観測実施に際し室内検定を実施している。その結果、器差は±0.2°Cの範囲内におさまった。

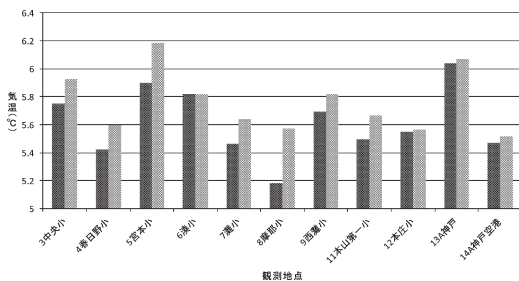
本研究においては、上記の観測点に加えアメダス神戸およびアメダス神戸空港の観測値も用いて解析を行った。計測器や観測条件が異なるため単純な比較はできないが、海岸直近に位置するアメダス神戸と海に囲まれたアメダス神戸空港の両観測値は気温分布を考察する際に有用であると考えられるため用いることにした。

3. 観測結果と考察

ヒートアイランド現象と局地風系が発達するのは、どちらも総観場の気象条件が静穏な場合である(Landsberg 1981; Thompson 1998)。そこで、神戸市の気温分布を検討するに際し、土田・吉門(1995)を参考に、アメダス神戸での日積算日照時間が6.0時間以上の日を晴天日として抽出した。また天気図を用いて強い冬型の気圧配置日と日本周辺に低気圧等の総観規模擾乱が存在する日を除き、最終的な対象日は7日間(2012年12月27, 29日, 2013年1月7, 8, 11, 16, 24日)となった。対象日平均のアメダス神戸における日照時間は8.3時間、風速は2.6 m/sであった。

3.1 気温分布

第2図に対象日平均の各地点の気温を示す。神戸市



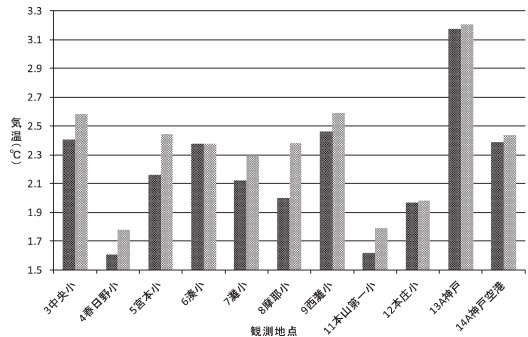
第2図 全対象日平均の各地点の気温。左が高度非補正值、右が高度補正值。

においては、JR三宮駅周辺(以下、中心部)が市街の中心で高層建築物が密集しており、人為的な排熱はこの中心部ほど大きいと想定される。しかし、今回の観測による対象日平均の気温では、中心部に近い観測地点ほど気温が高いという傾向は見られず、中心部からやや離れた宮本やアメダス神戸で気温が高かった。

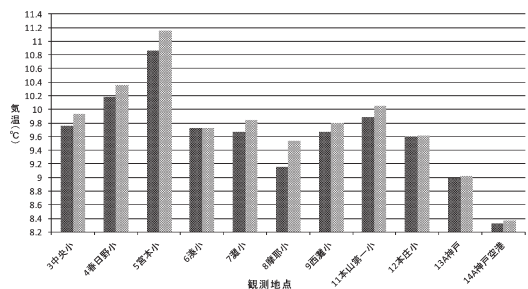
そこでより詳細に気温の実態を明らかにするため、日最低気温を示しやすい日の出前の05時と日最高気温を示しやすい14時の気温を調査した。

第3図に対象日平均の05時の各地点の気温を示す。関口(1970)は、多くの都市で日の出前後にヒートアイランド強度が最大になると報告している。しかし、対象日平均の気温と同様に中心部に近いほど気温が高いという傾向は見られない。中心部からやや東方の海岸近くに位置するアメダス神戸が最も高い気温を示しているが、そこから1 kmほどしか離れていない春日野や、東部の本山では最も低い気温を示している。

第4図に対象日平均の14時の各地点の気温を示す。14時では、05時とは異なり春日野、宮本で他地点より



第3図 対象日05時の各地点の気温。左が高度非補正值、右が高度補正值。



第4図 対象日14時の各地点の気温。左が高度非補正值、右が高度補正值。

も気温が高い傾向が見られる。そしてそれらより以東の地点における気温に大きな違いは見られない。またアメダス神戸やアメダス神戸空港の気温が他地点に比べて低いことも特徴的である。

以上の結果から、神戸市における気温分布の特徴としては、冬季晴天静穏日においては夜間から明け方にかけて中心部における高温領域は生じていない。一方、日中においては、中心部付近に高温領域が形成されている可能性が示唆された。

榊原(1994)は、越谷市のヒートアイランド強度について調査し、当該都市を研究対象とした理由について隣接した場所に典型的な郊外といえる地域を持つためと説明している。しかし、本研究で対象とした神戸市域は、越谷市とは異なりそのほとんどの領域が市街地的な様相を呈している。そのため、山下(1986)が一般に日本の都市はスプロール化が進んで典型的な郊外を見つけにくいと指摘しているように、本研究における観測地点の中で典型的な郊外と呼べるような地点がないため、中心部ほど高温となるような典型的な気温分布が見られなかったと推察される。また、久田ほか(2005)は、福岡都市圏を対象に冬季の平均気温分布を調査し、夜間においてはどの時間帯においても全体的に等温線がほぼ海岸線と平行に並び、気温は海岸に近い地域ほど高いことを指摘している。そして、海岸に近い地域では海陸風の、山地に近い郊外では山からの冷気流の影響を受けている可能性に言及している。神戸市街地も福岡都市圏と同様に海と山に挟まれているため、海岸線と平行に等温となる分布であった可能性がある。

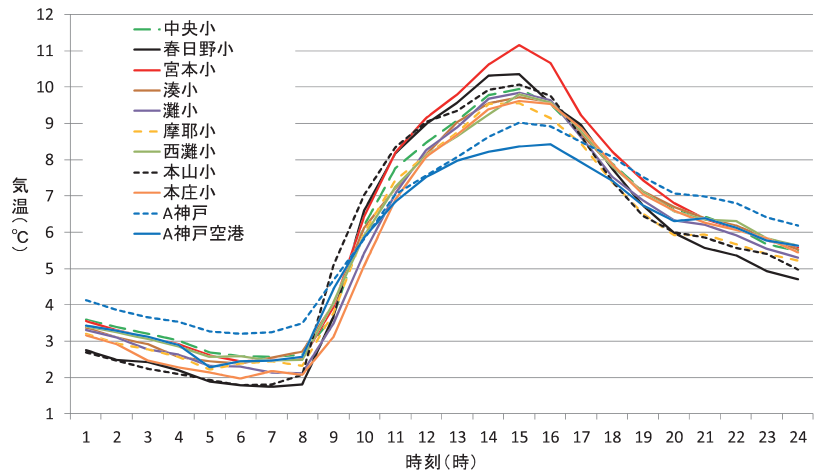
3.2 気温の日変化

次に、各観測点の対象日平均の気温日変化を高度補正値を用いて解析した(第5図)。これを見ると夜間の地点間の気温差が 1°C 程度であるのに対して、日中の地点間の気温差は 3°C 程度であり大きいことがわかる。日中に地点間の気温差が大きくなる原因として日の出後の気温の上昇のしかたが地点によって異なることが挙げられる。たとえば宮本、春日野、本山では日

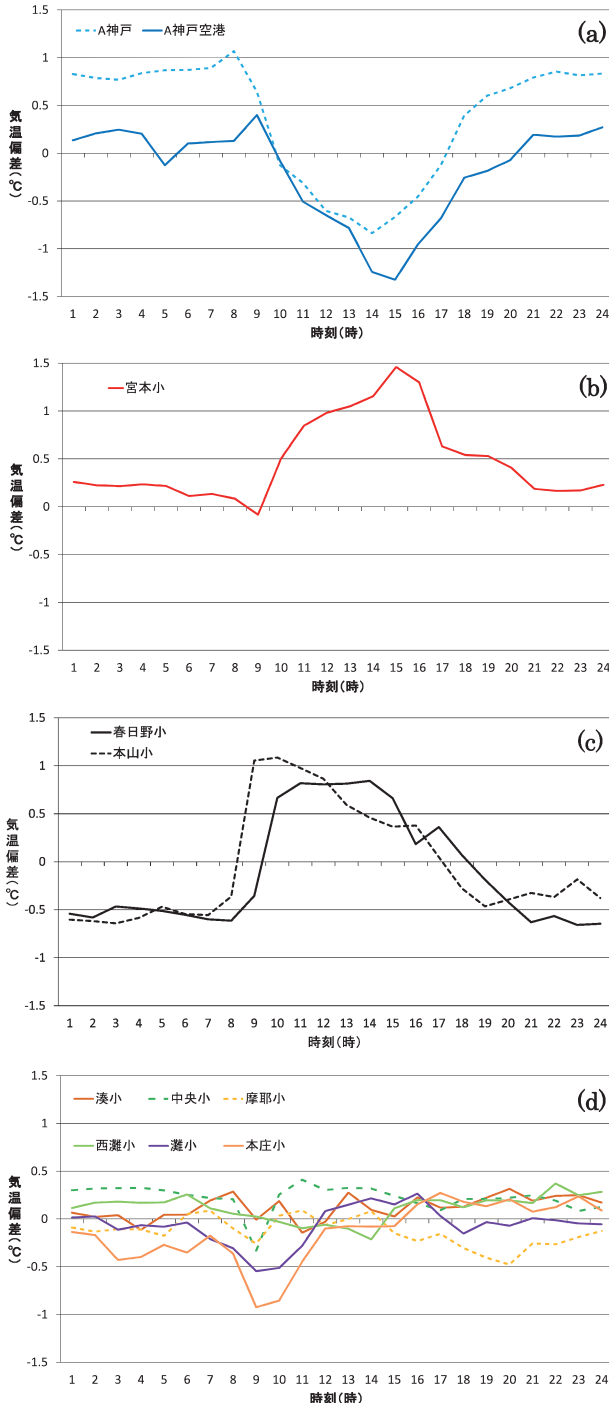
の出後の08時から11時にかけて気温変化率が他地点よりも大きい。そのためこれらの地点では日中は他地点よりも気温が高い。一方、アメダス神戸は夜間を通して他地点よりも高温であるが、日の出後の気温上昇が宮本、春日野、本山に比べ緩やかである。特に10時以降はさらに気温上昇の割合が低下するため、最高気温は他地点よりも低い。また午後の気温低下も他地点よりも緩やかである。アメダス神戸空港は、夜間においては宮本と同程度の気温を示しているが、10時以降はアメダス神戸以上に気温上昇が緩やかとなるため最高気温は観測地点の中で最も低い。その他の地点は日変化の傾向が概ね似ており最高気温や最低気温もほぼ同程度を示している。

以上の結果から、地点により気温の日変化に特徴がある可能性が示唆された。そこでさらに詳しく気温の日変化特性を調査するために全観測地点平均気温からの偏差について日変化を解析した(第6図)。

その結果、気温偏差の日変化パターンから、地点を4つのグループに分けることができた。①日中に気温偏差が負となるアメダス神戸、アメダス神戸空港(第6図a)、②日中の正の気温偏差が大きい宮本(第6図b)、③夜間に負の気温偏差を示すが日中には正の気温偏差となる春日野、本山(第6図c)、④1日を通してほぼ気温偏差が生じにくい湊、中央、摩耶、西灘、灘、本庄(第6図d)である。第5図において日の出後の気温変化率が小さかったアメダス神戸やアメダス神戸空港では08時以降に急激に気温偏差が低下している(第6図a)。この2地点は、熱容量の大きな



第5図 地点毎の全対象日平均気温の日変化(高度補正値)。



第6図 地点毎の全観測地点平均からの気温偏差の日変化(全対象日平均, 高度補正值)。 (a) 日中に気温偏差が負となる地点, (b) 日中に正の気温偏差が大きい地点, (c) 夜間に負, 日中に正の気温偏差を示す地点, (d) 平均的な日変化を示す地点。

海の影響を強く受けている可能性がある。加えて、これら以外の百葉箱での気温観測では一般に気温が日中高め、夜間低めに出る傾向があり (山口 2006)、その影響も重畳している可能性もある。

一方、宮本は夜間において0.2°C程度の正偏差を示し、さらに09時以降気温偏差が14時まで上昇している。その結果日中において他地点よりも高温となっている (第6図b)。春日野、本山の夜間においては-0.5°C程度の負偏差を示すが07時から10時くらいにかけて急激に気温偏差が上昇しその後は気温偏差が徐々に低下している (第6図c)。第6図bとcの地点については、周囲の都市熱環境や百葉箱の設置環境に関する他の小学校観測点との違いが大きかった可能性がある。

4. まとめ

冬季晴天静穏日の神戸市の気温分布を調査するために、2012年12月26日から2013年1月27日まで計12台の温度計を設置した。主な結果は以下の4点である。

- (1) 対象日平均の05時の気温において、神戸市中心部東方の沿岸部に位置するアメダス神戸が最も高温であった。市内9つの小学校で得られた観測結果からは、市の中心部 (JR三宮駅周辺) ほど高温となるような気温分布は得られなかった。この傾向は対象日全平均の気温分布でも同様であった。
- (2) 対象日平均の14時の気温において、春日野、宮本の2地点が他地点に比して高温であった。またアメダス神戸やアメダス神戸空港の気温が低いことが特徴的である。
- (3) 気温の日変化の比較から、夜間に比して日中の地点間の気温差が大きいことが明らかとなった。そしてその日中の気温差は日の出後の気温上昇のしかたが地点によって異なることに起因している可能性が示唆された。
- (4) 全地点平均気温からの偏差の日変化の比較から、気温偏差の日変化のしかたによって地点を①日中に負の気温偏差を示す地点、②日中の正の気温偏差が大きい地点、③夜間は負の気温偏差を示すが日中には正

の気温偏差となる地点、④1日を通してほぼ気温偏差が生じにくい地点、の4つのグループに分類することができた。

本研究の結果から、日の出後の気温変化率に地点間で大きな違いが見られた。特に海に近いアメダス神戸やアメダス神戸空港では熱容量の大きな海の影響で気温上昇率が他地点に比して小さい可能性がある。

神戸市周辺は広く大阪湾に面しているので晴天静穏日には熱的局地循環である海陸風が発達すると考えられる。そのためアメダス神戸やアメダス神戸空港では、東京、大阪、仙台などで観測されている海風侵入による気温上昇の抑制・冷却効果(三上 1996; 境田ほか 2011; 大和ほか 2011など)を受けていると考えられる。また、神戸市は山地との距離も近いこと、久田ほか(2005)が指摘しているように気温分布が山谷風の影響を大きく受けている可能性も高い。今後はさらに長期間かつ細密な観測点による気温分布等の調査を行い、海陸風や山谷風と気温分布の関係をより詳細に明らかにしたい。

謝 辞

本稿をまとめるにあたり、気温観測にご協力いただいた神戸市内の市立小学校の皆様にご感謝いたします。

参 考 文 献

- Fujibe, F., 1988: Weekday-weekend differences of urban climates Part 3: Temperature and wind fields around Tokyo and Osaka. *J. Meteor. Soc. Japan*, **66**, 373-376.
- 久田由紀子, 松永信博, 安東 聡, 2005: 福岡都市圏における夏季と冬季のヒートアイランド構造の違い. *環境システム研究論文集*, **33**, 171-178.
- 亀野勝彦, 永谷 結, 柄澤孝和, 梅木 清, 本條 毅, 三上岳彦, 2008: 広域 METROS による首都圏のヒートアイランドの解析. *環境情報科学論文集*, **22**, 197-202.
- 河村 武, 1977: 都市気候の分布の実態. *気象研究ノート*, (133), 26-47.
- 清田忠志, 谷口 明, 清田誠良, 中村安弘, 2007: 都市域におけるヒートアイランド現象の緩和対策に関する研究 その2 広島市の夏季の都市気温と土地被覆との関係に対する重回帰分析. *日本建築学会環境系論文集*, (614), 57-63.
- 小林 守, 1990: 関東平野の諸都市の都市規模と都市ヒートアイランド強度. 都市化の進展に伴う都市気候の変化に関する研究(西沢利栄編). 昭和61年度~平成元年度科学研究費補助金(一般研究(A))研究成果報告書, 55-61.
- Landsberg, H. E., 1981: *The Urban Climate*. Academic Press, New York, 275pp.
- 三上岳彦, 1996: 東京におけるヒートアイランドの時空間構造とその長期変動. *総合都市研究*, **60**, 77-85.
- 三上岳彦, 2004: ヒートアイランド研究の今後と政策へのかかわり. *天気*, **51**, 118-122.
- 宮崎ひろ志, 2005: 神戸地域における都市ヒートアイランド実態調査: 小学校百葉箱を利用した夏季気温測定. *日本建築学会学術講演梗概集*, D-1, 711-712.
- 酒井 敏, 飯澤 功, 梅谷和弘, 伊藤 文, 矢島 新, 小野耕作, 大西将徳, 飴村尚起, 2007: 夜間のヒートアイランド強度とヒートアイランド循環. *日本気象学会2007年度春季大会講演予稿集*, 163.
- 境田清隆, 江越 新, 倉持真之, 2011: 仙台のヒートアイランドと海風の影響. *地学雑誌*, **120**, 382-391.
- 榊原保志, 1994: 越谷市に見られるヒートアイランド強度—郊外が水田の場合—. *天気*, **41**, 515-523.
- 榊原保志, 1999: 長野県小布施町におけるヒートアイランド強度と郊外の土地被覆との関係. *天気*, **46**, 567-575.
- 関口 武, 1970: 都市気候学. *天気*, **17**, 89-96.
- Thompson, R. D., 1998: *Atmospheric Processes and Systems*. Routledge, London, 194pp.
- 土田 誠, 吉門 洋, 1995: 東京湾岸の冬季の海風. *天気*, **42**, 283-292.
- 山口隆子, 2006: 日本における百葉箱の歴史と現状について. *天気*, **53**, 265-275.
- 山下脩二, 1986: 日本におけるヒートアイランドの特徴とその形成要因について. *日本生気象学会雑誌*, **23**, 11-18.
- 大和広明, 三上岳彦, 高橋日出男, 2011: 夏季日中における首都圏のヒートアイランド現象に海風が与える影響. *地学雑誌*, **120**, 325-340.
- 山添 謙, 一ノ瀬俊明, 1994: 東京およびその周辺地域における秋季夜間の晴天時と曇天時のヒートアイランド. *地理学評論*, **67A**, 551-560.
- 横山 仁, 安藤晴夫, 山口隆子, 市野美夏, 秋山祐佳里, 石井康一郎, 三上岳彦, 2005: 夏期における東京都区部のヒートアイランドの実態について—2002年~2004年における METROS 観測結果—. *東京都環境科学研究所年報*, 3-9.