

連載講座「栽培環境における気温の観測技法と利用」

(3) 農耕地の気温はアメダス (AMeDAS) の気温とどう違うのか

桑形恒男*・福岡峰彦**,*

(*農研機構 農業環境変動研究センター
**農研機構 広報部)

The difference in air temperature between an AMeDAS station and its nearby farmland

Tsuneo KUWAGATA* and Minehiko FUKUOKA **,*

(*Institute for Agro-Environmental Sciences, NARO
**Department of Public Relations, NARO)

1. はじめに

農耕地の気象環境は作物の生育や品質に大きな影響を与え、とりわけ気温は最も重要な要素である。だが、日本国内に気象庁が設置する気象観測所（本稿では、気象台等も含めて「アメダス地点」と呼ぶ）はその多くが市街地に偏在し、農耕地に所在する地点は少ない。たとえば村上ら（2011）は、全国のアメダス地点のうち 775 地点を対象として、その周辺環境を 2006 年度の土地利用データに基づき評価し、都市化率が 5.0% 未満で都市化があまり進んでいないと考えられる地点の割合は北日本で 51.0%、東日本で 28.4%、西日本で 41.0% であり、また農耕地率が 70.0% 以上の地点の割合は北日本で 11.3%、東日本で 7.6%、西日本で 5.0% であったと報告している。

そこで本稿では、国内屈指の夏季高温地帯となる関東平野内陸部を対象とした、市街地のアメダス地点と近隣の水田との間の気温環境の違いに関する調査・研究事例を紹介し、農耕地において実際に気温観測を行うことの重要性を示す。

2. 猛暑年（2007 年 8 月）の気象解析からわかったこと（館林における観測例）

2007 年 8 月中旬の関東・東海地方は記録的な猛暑となり、熊谷地方気象台（埼玉県）では 2007 年 8 月 16 日に当時の国内歴代一位となる日最高気温 40.9℃ を記録した。また同日には群馬県館林市のアメダス地点である館林地域気象観測所でも 40.3℃ の日最高気温となった。これは開花期にあるイネに高温不稔被害（稔実率の低下）が発生するレベルの高温であるため、著者が所属するグループは、関東・東海地方においてイネの高温不稔発生の実態調査を実施した。

調査の一環として、館林市郊外の水田地帯に所在する群馬県農業技術センター（市街地にあるアメダス地点から約 3.5 km）の気温観測データを入手して確認したところ、わ

ずか 3.5 km の距離にも関わらず、郊外の水田地帯における気温は市街地のアメダス地点に比べて常に 1～2℃ 低いことがわかった。日最低および日最高気温ともアメダス地点の方が高く、その差は月平均値（2007 年 8 月）でそれぞれ 1.0 および 1.8℃ にも達していた（桑形ら、2008）。

温度傾斜型の人工気象チャンバー（温度勾配チャンバー）を用いた実験では、イネの稔実率は開花期の日最高気温が 34℃ を超えると低下し始め、40℃ 以上ではほぼゼロとなる（金ら、1996）。一方、著者らによる前記の調査においては、調査対象サンプル全体の約 2 割で出穂期間の日最高気温（5 日間平均）が 37～40℃ に達したと推定されたものの、不稔率は通常よりやや多い程度の 3～23% の範囲にとどまった（Hasegawa *et al.*, 2011）。なお、全サンプルの不稔率の平均値は 7.5% であった。このような差異が生じた原因としては、人工気象チャンバー内では野外に比べて、気温が同一でも作物体温が高めになりやすいこと（Kimball *et al.*, 1997; Hamasaki and Okada, 2000）に加え、調査対象水田の近隣にあるアメダス地点の気温を稔実率と関連付けて解析を行ったため、解析に使用した気温が実際の水田よりも高めであったことが可能性の一つとして考えられる。

なおこの調査では、高温不稔の正確な評価のためには開花時刻における穂の温度を把握する必要性についても明らかとなった（Ku wagata *et al.*, 2011; Yoshimoto *et al.*, 2011）。イネの穂の温度の決定機構や気象データに基づく評価方法については、本連載講座において「植物体の体温はどのように決まるのか」として稿を改めて取り扱う。

3. 農耕地における気象環境は市街地のそれとどう異なるのか（熊谷における観測例）

3.1 調査の概要

前節で説明したような背景から著者らの研究グループは、市街地と農耕地との間の気温環境の違いを明らかにすることを目的に、国内屈指の夏季高温地帯である熊谷市を対象として、市街地（熊谷地方気象台）と郊外の水田（埼玉県農業技術センター、熊谷地方気象台との水平距離 3.5 km）との間の気温環境の違いを 2010 年から 2012 年ま

での3年間にわたって調査した。調査の結果は Kuwagata *et al.* (2014) にまとめられているが、ここでは概要を紹介する。

熊谷市は関東平野の中央部に位置し、東西ならび南北とも30 km以上にわたって比較的平坦な地形が続いている。熊谷の市街地は差渡し5 kmほどの平面的な広がりを持ち、その周囲には水田地帯が広がっている(図1)。この地域の水田では主として二毛作が行われ、夏季はイネ、冬季は主としてムギ類(コムギとオオムギで前者の割合が多い)がそれぞれ栽培されている。田植えと稲刈りの最盛期はそれぞれ6月下旬と9月末である。著者らのグループは埼玉県農業技術センターの試験水田圃場の隣接地に総合気象観測装置を設置し、現地において気温と日射量を継続的に観測した(図2)。

3.2 市街地と水田の気温差(月平均値)の季節変化

水田の気温は市街地より年間を通して低かった。特にイネ栽培期間(7~9月)は日最高気温(月平均)が市街地に比べて1.2~1.6℃低く、日平均気温で見ても0.6~0.9℃低くなっていた(図3a,b)。4月から8月にかけて、月平均の日射量には大きな差が見られないが(図3c)、4~6月における市街地と水田の日中の気温差(日最高気温の差の月平均)は7~9月の半分程度しかなく、イネ栽培期間中

の水田が日中の気温上昇を抑制していることが確認された。

3.3 市街地と水田の気温差の日々変化

市街地と水田の間の日々の日最高気温の差は、いずれの季節においても日射量(日積算値)にほぼ比例して増加していた(5月と7月の例を図4に示す)。ただし両地点の日最高気温の差の日射量に対する増加率は、ムギ類の栽培期間(5月)に比べてイネ栽培期間(7月)の方が大きかった(図4)。このためイネ栽培期間の7~8月の晴天日には、水田における日最高気温は市街地より2~3℃低かった。厚い雲に覆われて日射が弱い状況では、両地点における日最高気温の差は、7~8月においても0.5℃以下であった。一方、市街地と水田の日々の日最低気温の差は、当日の日射量(すなわち当日の天気)とは無関係であった(図4)。

3.4 猛暑日や熱帯夜の日数の違い

市街地と水田の気温差は、両地点における猛暑日(日最高気温が35℃以上の日)や熱帯夜(日最低気温が25℃以上の日)の日数に違いをもたらす。市街地における猛暑日の日数は2010~2012年の3年間で99日であったのに対し、水田においてはそのわずか36%の36日しかなかった(図5)。また熱帯夜の日数は市街地においては60日であったが、水田においてはその62%の37日であった(図5)。一方、

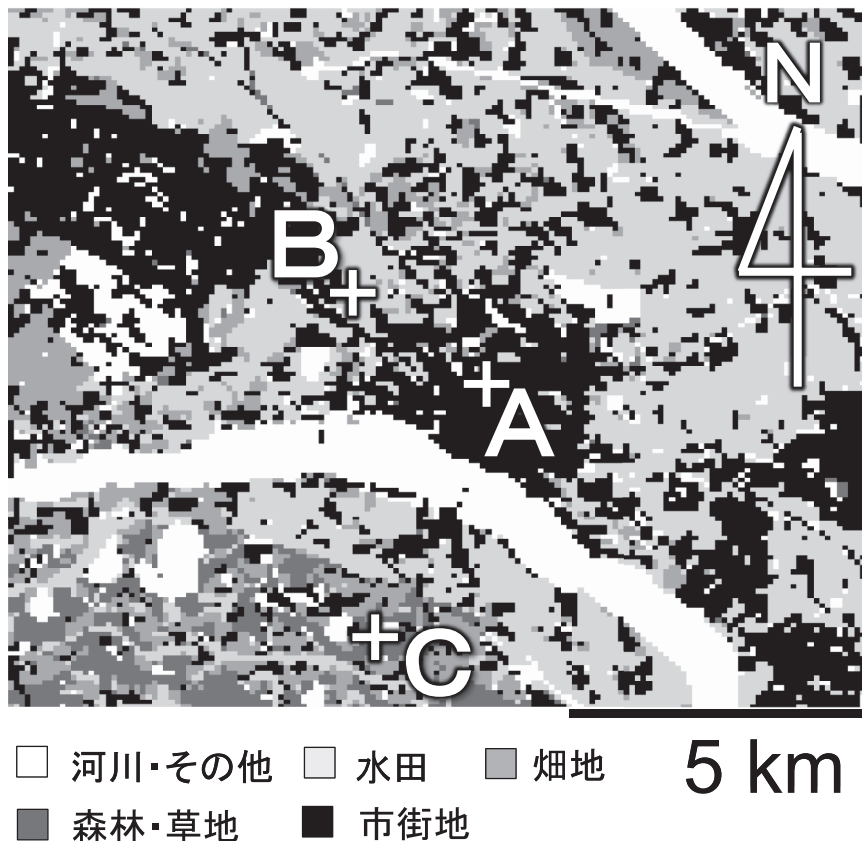


図1. 熊谷市周辺の土地利用

A: 熊谷地方気象台

B: 埼玉県農業技術センター

C: 立正大学

Kuwagata *et al.* (2014) の Fig.1 を改変

冬日（日最低気温が0℃以下の日）の日数には猛暑日や熱帯夜の日数ほどの大きな差はなく、市街地の157日に対して水田では189日（市街地の120%）であった（図5）。熊谷市は日本でも有数の猛暑地帯であるが、郊外の水田と市街地では猛暑日の日数に大きな違いがあることが確認された。

4. 局地的な土地利用の違いが気温に与える影響

局地的な土地利用の違いが気温に与える影響を明らかにするために、前節で調査対象となった熊谷市の水田地帯と同じ郊外にある立正大学と、市街地との間の気温の地点間差についても調査した（福岡ら, 2004; Kuwagata *et al.*, 2014）。立正大学の気象観測地点は市街地の観測地点（熊谷地方気象台）から南南西5 kmの位置にあり、周囲を林地に囲まれている（図1）。立正大学では年間を通して市街地より低温となっているものの、図3で示した水田の場合とは異なり、日中の最高気温（日最高気温）よりも朝の最低気温（日最低気温）の方が市街地との間の差が大きかった。日最高気温の地点間差（月平均）は0.2～0.6℃であるが、日最低気温の地点間差はいずれの季節にも0.7℃以上となり、12月から3月までの寒候期には1.7～1.9℃に達した（図6）。

当初、郊外の水田でも立正大学の場合と同様に、寒候期の朝の最低気温に市街地との大きな地点間差があると予想

していたが、実際には水田と市街地との日最低気温の地点間差は年間を通して比較的小さく、むしろ暖候期（7～9月のイネ栽培期間）の日最高気温の地点間差が大きかった（図3）。このように、同じ郊外の地点でも、局地的な土地利用（ここでは水田と林地）が異なると、市街地との気温差の傾向に大きな違いが生じることが明らかとなった。なお、同じ水田地帯であっても作期や冬季の土地利用が異なると、近隣の市街地との気温差の季節変化の特徴に違いが生じることもある（Kuwagata *et al.*, 2018）。

これまで見てきた結果は取りも直さず、アメダス地点の気温もその周辺の土地利用の影響を、農耕地や林地の場合と同様に受けているということを示している。熊谷市と同様に関東平野の猛暑地点として知られる館林市のアメダス地点が2018年6月13日に市街地から郊外へ移動し、以前の地点に比べて夏季の日最高気温が0.5℃程度低下した（気象庁, 2018）。また、日本を代表する観測地点である東京（東京管区気象台）の観測露場も、2014年12月2日に気象庁庁舎（千代田区大手町）の脇から北の丸公園に移設され、日平均・日最高・日最低気温の年平均値がそれぞれ0.9・0.2・1.4℃低くなった（気象庁観測部, 2016; 気象庁観測部・東京管区気象台, 2016）。さらに、アメダス地点周辺の土地利用は都市化の進展などによって変化しており、それが各



図2. 気象観測装置の設置状況
熊谷地方気象台（上）
埼玉県農業技術センター（下）

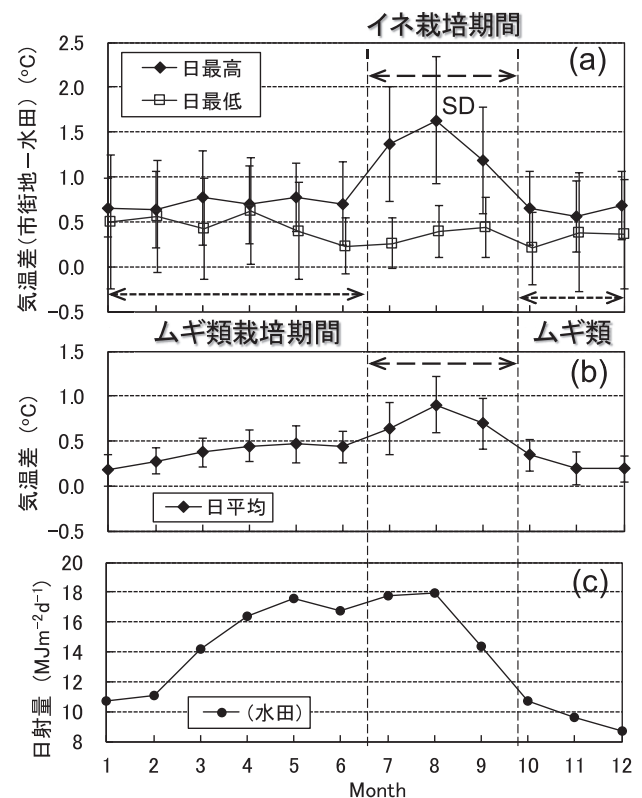


図3. 市街地と近隣の水田との間の気温差（月平均）と水田における日射量（月平均）の季節変化（2010-2012年の平均）

(a) 日最高 / 日最低気温の差

(b) 日平均気温の差

(c) 日射量

SD は日々のデータに対する標準偏差

Kuwagata *et al.* (2014) からの引用

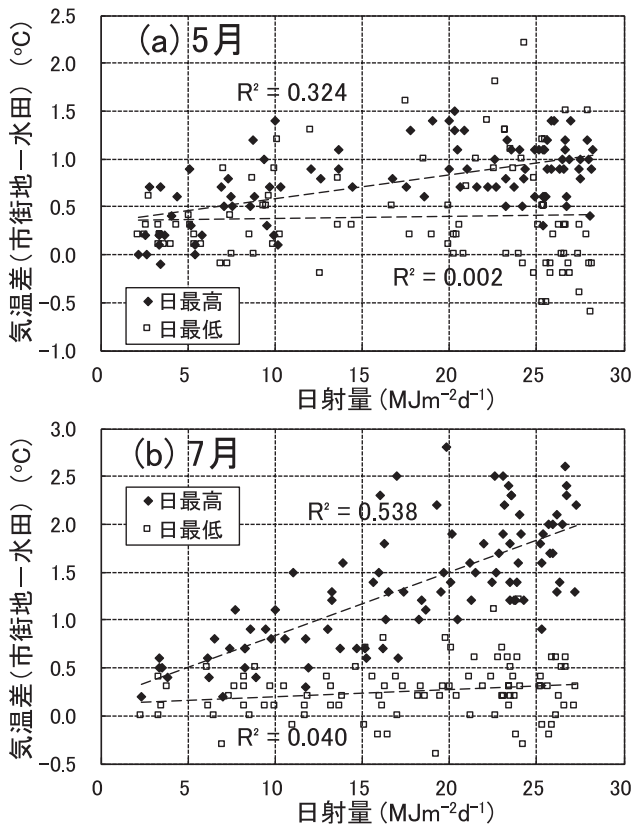


図4. 市街地と近隣の水田との間の日々の気温差（日最高および日最低気温）と日積算日射量との関係（2010–2012年）

(a) 5月（ムギ類栽培期間）

(b) 7月（イネ栽培期間）

R^2 は気温差と日射の関係に関する決定係数

Kuwagata *et al.* (2014) からの引用

アメダス地点における長期的な気温変化に影響を与えていることが示されている（藤部, 2012; 近藤, 2012）。

5. 標高差が気温に与える影響

地表付近における気温は、一般には標高が高くなるに従って低下する。標高による気温の低下程度を表す気温減率は地域や季節、高度によって異なり、また特定の1地点においても日変化を示す（吉野, 1978）。日本の6つの山岳における実測例によると（吉野, 1978）、気温減率の年平均値は標高100 mあたり0.36～0.62℃となり、季節変化を加えるとその幅は標高100 mあたり0.30～0.70℃に拡大する。このように気温減率には幅があり、実際に栽培を行う現地とアメダス地点との間に標高差がある場合には、たとえ近隣といえども季節や時刻に依存した気温差が生じることに注意が必要である。なお、アメダス地点の標高は、気象庁が公表している「地域気象観測所一覧」に記載されている。

6. おわりに — 気象観測点のデータを利用する際の注意点と農耕地で実際に気温観測を行うことの重要性

気象庁が設置する気象観測所（アメダス地点）では、30

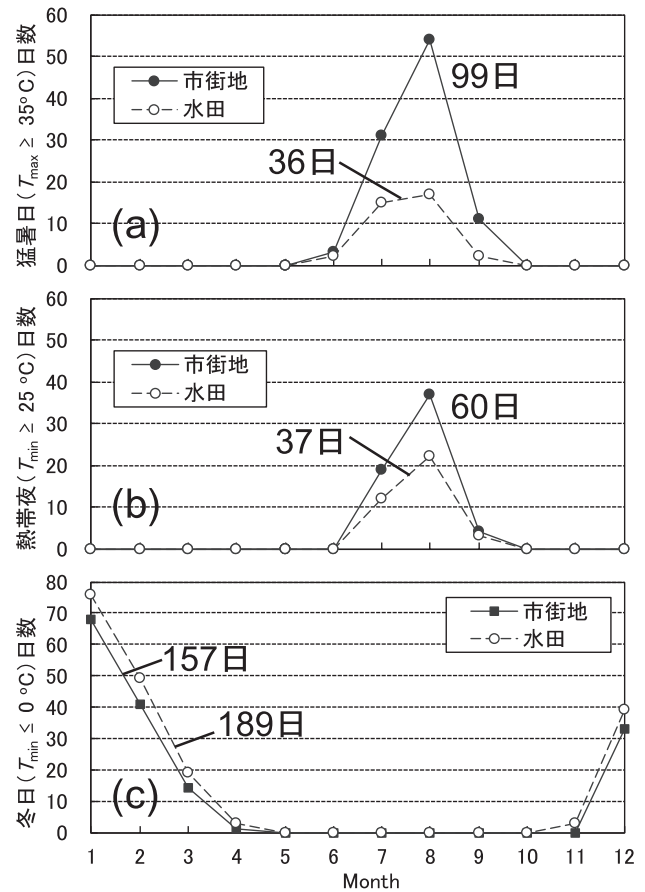


図5. 市街地および水田における

(a) 猛暑日（日最高気温 $\geq 35^{\circ}\text{C}$ ）

(b) 熱帯夜（日最低気温 $\geq 25^{\circ}\text{C}$ ）

(c) 冬日（日最低気温 $\leq 0^{\circ}\text{C}$ ）

の各日数の季節変化（2010–2012年の3年間）

Kuwagata *et al.* (2014) からの引用

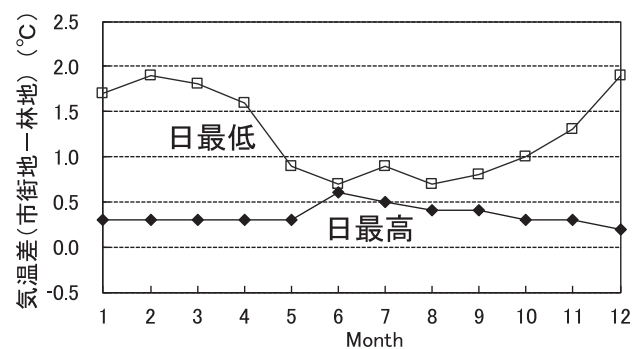


図6. 市街地と近隣の林地との間の気温の差（月平均）の季節変化（2000–2002年の平均）

Kuwagata *et al.* (2014) からの引用

年以上の長期間にわたり全国レベルで比較的均質な気象データが蓄積され、インターネットなどを通してリアルタイムで発信されている。近年の情報通信技術の進歩は著しく、これらアメダス地点で観測された気温を含む気象観測データや、観測データを空間補完して推定された1 km メッシュ気象データ（清野, 1993; 大野ら, 2016）は、農耕地の

気象環境の把握などの目的で、多くのユーザに利用されるようになった。しかし、本稿で示したように、アメダス地点で取得された気象データはそれぞれの観測点に固有の局地的な土地利用の影響を受けており、対象とする近隣の農耕地の気象環境と比較してそれぞれに程度の異なる偏り（バイアス）が存在する可能性がある。そのため、複数の栽培地点における気温を比較しようとする場合に、もしそれぞれの栽培地点の最寄りのアメダス地点の気温を参照すると、バイアスの大きさが地点間で異なる可能性があるため、公平な比較にはならない恐れがある。また 1 km メッシュの気温データは、このようなバイアスが存在するアメダス地点データを空間補完して作成されているため、実際の農耕地の気温とは異なる可能性がある。

以上のことから、栽培試験の解析や栽培管理のために高精度の気温データが必要な場合は、実際に栽培を行う現地における気象観測の実施が必須である。継続的な気象観測が難しい場合には、現地における観測を一定期間実施して近隣のアメダス地点の観測値と比較し、気温の地点間差の傾向を事前に把握してアメダス地点の観測値を補正し、より現地の実態に近い推定値を得ることが次善の策となる。

引用文献

- 大野宏之・佐々木華織・大原源二・中園 江, 2016: 実況値と数値予報, 平年値を組み合わせたメッシュ気温・降水量データの作成. 生物と気象 **16**, 71-79.
- 藤部文明, 2012: 観測データから見た日本の都市気候. 都市の気象と気候 (神田 学 編). 気象研究ノート 第 224 号, 日本気象学会, pp. 1-23.
- 福岡義隆・新井 正・丸本美紀, 2004: 熊谷市の都心と郊外の気候特性 (第 1 報) 極値気候の比較考察. 地球環境研究 **6**, 117-124.
- Hamasaki T, Okada M, 2000: Thermal radiation load on temperature regimes in plant growth chambers. *BIOTRONICS* **29**, 57-69.
- Hasegawa T, Ishimaru T, Kondo M, Kuwagata T, Yoshimoto M, Fukuoka M, 2011: Spikelet sterility of rice observed in the record hot summer of 2007 and the factors associated with its variation. *Journal of Agricultural Meteorology* **67**, 225-232.
- 金漢龍・堀江 武・中川博視・和田晋征, 1996: 高温・高 CO₂ 濃度環境が水稻の生育・収量に及ぼす影響: 第 2 報 収量および収量構成要素について. 日本作物学会紀事 **65**, 644-651.
- Kimball BA, Pinter Jr. PJ, Wall Gerard W, Garcia RL, LaMorte RL, Patrick MC Jak, Arnoud Frumau KF, Vughts Hans F, 1997: Comparisons of responses of vegetation to elevated carbon dioxide in free-air and open-top chamber facilities. In *Advances in Carbon Dioxide Effects Research* (ed. by Allen Jr. LH, Kirkham MB, Olszyk DM, Whitman CE). ASA Special Publication Number 61, Madison, pp. 113-130.
- 気象庁, 2018: 館林地域気象観測所の移設に伴う今夏季期間における最高気温の公表について. <http://www.jma.go.jp/jma/press/1806/11a/tatebayashi20180611.html> (アクセス日: 2018/08/19).
- 気象庁観測部, 2016: 地上気象観測点「東京」の露場移転について (その 2 平年値の更新について). 測候時報 **83**, 7-32.
- 気象庁観測部・東京管区气象台, 2016: 地上気象観測点「東京」の露場移転について (その 1 移転までの経緯について). 測候時報 **83**, 1-6.
- Kuwagata T, Haginoya S, Ono K, Ishigooka Y, Miyata A, 2018: Influence of local land cover on meteorological conditions in farmland: Case study of a rice paddy field near Tsukuba City, Japan. *Journal of Agricultural Meteorology* **74**, 140-153.
- Kuwagata T, Ishigooka Y, Fukuoka M, Yoshimoto M, Hasegawa T, Usui Y, Sekiguchi T, 2014: Temperature difference between meteorological station and nearby farmland —Case study for Kumagaya city in Japan—. *SOLA* **10**, 45-49.
- Kuwagata T, Yoshimoto M, Ishigooka Y, Hasegawa T, Utsumi M, Nishimori M, Masaki Y, Saito O, 2011: MeteoCrop DB: an agro-meteorological database coupled with crop models for studying climate change impacts on rice in Japan. *Journal of Agricultural Meteorology* **67**, 297-306.
- 桑形恒男・吉本真由美・石郷岡康史・内海美砂子, 2008: 2007 年夏季の異常高温イベントにおける水田微気象の特徴. 平成 19 年度 (2007 年度) 気象環境研究会, (独) 農業環境技術研究所, pp. 67-71.
- 近藤純正, 2012: 日本の都市における熱汚染量の経年変化. 都市の気象と気候 (神田 学 編). 気象研究ノート 第 224 号, 日本気象学会, pp. 25-56.
- 村上雅則・桑形恒男・石郷岡康史・西森基貴, 2011: 農耕地モニタリング地点の選定とその気温変化傾向に関する地域的な特性. 生物と気象 **11**, 41-50.
- 清野 裕, 1993: アメダスデータのメッシュ化について. 農業気象 **48**, 379-383.
- Yoshimoto M, Fukuoka M, Hasegawa T, Utsumi M, Ishigooka Y, Kuwagata T, 2011: Integrated micrometeorology model for panicle and canopy temperature (IM²PACT) for rice heat stress studies under climate change. *Journal of Agricultural Meteorology* **67**, 233-247.
- 吉野正敏, 1978: 気候学. 大明堂, 東京, pp. 195-201.