

〔農工研技報 212〕
43 ~ 52, 2012〕

農村工学研究所内における総合気象観測システムの構築とそのデータ品質管理

吉田武郎*・増本隆夫**・堀川直紀*

目次

I 緒言	43	3 蒸発散量の算出とその検証	48
II 総合気象観測・公開システム	43	IV 観測データの品質評価	48
1 システムの全体構成	43	1 近傍観測値との比較結果	48
2 観測項目および方法	44	2 各種推定値を用いた観測値の検証結果	49
3 データの統計処理法	46	3 蒸発散量データの評価結果	50
4 データ公開システム	46	V 結言	50
III 観測データの品質管理手法	46	引用文献	51
1 近傍の気象観測地点との比較	48	Summary	52
2 気象推定値の算定手法と観測値の検証	48		

I 緒言

地表面付近における農業水文環境の研究には気象の長期観測データは必要不可欠なものであり、また、圃場実験やその解析のための基礎資料としても重要である。農村工学研究所（以下農工研）では所内の観測露場における気象観測を、前身の農業土木試験場（平塚）では1950年から1977年まで、つくば移転後は1978年から現在まで継続して行ってきた（上村，1975；1978）。観測システムの10～15年ごとの更新の際には観測項目の見直しとともに、観測の機械化、自動化を図っており、2010年4月の更新の際にはこれまでの気象観測要素に加え、地表面付近の水・エネルギー移動の解明に必要な短波・長波放射量（上下各2成分）、顕熱フラックス、地温、土壌水分量の常時観測を新たに追加し、さらにデータ閲覧・データベース公開機能を強化した点の特徴となっている。

新たなシステム構築に当たっては、長期間継続して観測を安定的に行うことを念頭に、気象の専門家でない者が観測を担当しても観測・管理が可能なよう、堅固であると同時にシンプルで透明性が高く、管理作業を容易に行えるシステムとした。また、障害時のデータ欠測が

少なく早期復旧できるように、センサと記録計を直結し、システム全体をプログラムで管理する構成とすることで、長期間の気象観測を日常業務への負担やトラブルが無く安定的に精度良く測定できる。また、約10年間の気象データが蓄積されると気候値が定まり、毎年の気象条件との比較が容易になることから、気象データの利活用が格段に広まるとともに（宮田，1992；渡来ら，2006）、この積み重ねが気候変動研究で活用できる長期観測資料の蓄積につながる（Sameshima *et al.*, 2007）。さらに、長期間の地表面付近の気象および水・熱収支のデータを利用し、広域の陸面水・熱収支を推定するモデルの構築等が期待できる。

本技術報告では更新した総合気象観測・公開システムの全体像と各気象観測の項目・方法についてまとめる。さらに、観測データの品質評価のための検討方法とともに、これまで1年半の観測データにそれらの方法を適用した結果を示す。なお、本システム構築の基本的指針については農研機構北海道研究センター生産環境研究領域の廣田知良上席研究員に貴重な助言をいただいた。ここに記して感謝の意を表す。

II 総合気象観測・公開システム

1 システムの全体構成

本気象観測システムは農工研内の雨量水分浸透観測露場（以下観測露場、北緯36°01′，東経140°05′，標高26m）に位置する（Fig.1）。観測露場の広さは43×56mであり、地表面は芝生で定期的に刈り込みを行っている。

* 水利工学研究領域 水文水利担当

** 資源循環工学研究領域 水資源工学担当 兼、水利工学研究領域 水文水利担当

平成24年12月14日受理

キーワード：総合気象観測，品質管理，データ公開

観測露場内の観測機器の構成および位置関係を Fig.2 に示す。観測機器は露場内に設けられた計測盤を中心とし、アルミ製観測タワー、放射量観測台、地中観測ピット、降雨量・蒸発量観測装置の4つのシステムに分けられる。

アルミ製観測タワーはトリポット型で高さは10mであり、風向風速計、気温・湿度センサ、日照計、超音波風向風速計が取り付けられている。

放射量観測台では地上1.5mの高さにおいて、短波・長波放射量をそれぞれ上向き、下向きで観測する。

地中観測ピットには深さ5cm, 10cm, 30cm, 50cm, 100cmに土壌水分計、地温計を設置したほか、地表面付近での地中熱流量を観測する。

総合気象観測システムの各センサからの出力データは全て計測盤内にあるデータロガーに一時保存され、合計、平均、最大、最小といった日統計値の演算はロガー内部で行われる。また、データロガー内部には2週間程度の10秒データを保存できるバックアップの機能がある。次に、処理されたデータを観測露場内のPCに回収し、旬、月平均等の長期統計処理や公開用データ作成等の処理を

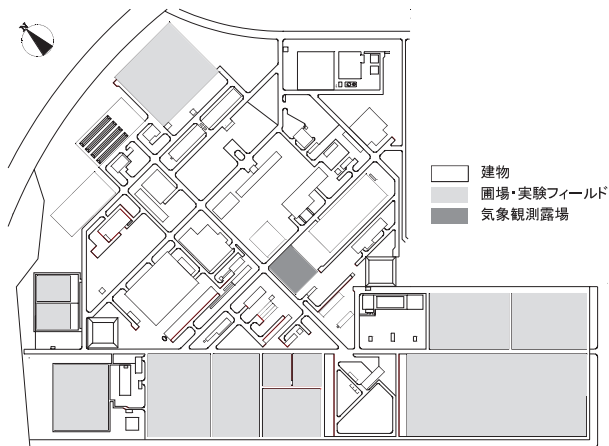


Fig.1 農工研内における観測露場の位置

Location of meteorological observation site in the Institute for Rural Engineering (IRE)

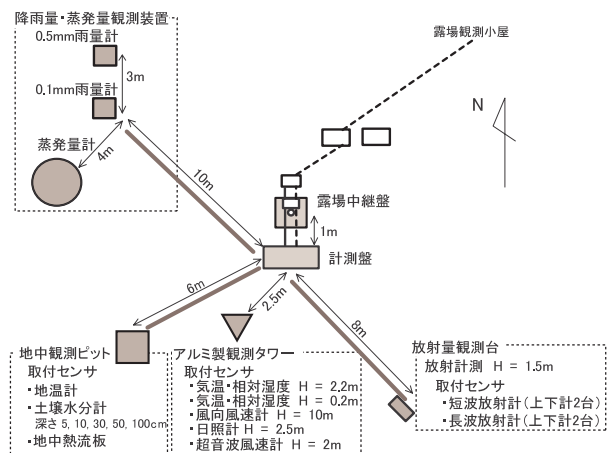


Fig.2 観測露場内における観測機器の位置関係

Overview of the integrated weather observation system

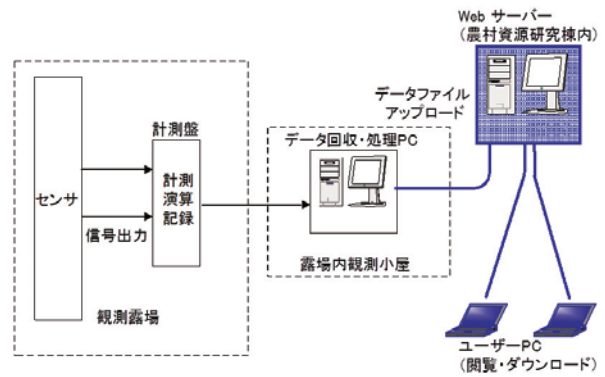


Fig.3 観測データ処理および公開の流れ

Process flow diagram of data processing and exposure

行う。最後に、それらのデータを農工研内のウェブサーバ（農村資源研究棟内に設置）にアップロードし、データ公開を行う (Fig.3)。

これらの観測、データ処理はプログラムにより制御されており、計器の交換・変更は、プログラムやプログラム中の係数を変えるだけで対応できる。また、将来的にはリモートでデータのチェック、プログラムの変更といったリモートメンテナンス等への拡張が可能である。

さらに、長期観測を安定的に行うためには停電時や電圧低下時の対応が必要となる。システム全体は外部から取り入れる交流電源を用いているが、計測部はバッテリーを介して電力を供給し停電時に1週間程度の電力供給を保証している。また、データ処理用PCおよびウェブサーバは無停電電源装置によって停電後5分間以上電源がバックアップされ、非常電源装置に切り替わって3分以内にサーバはシャットダウンする。復旧後は自動起動し、電源が切断していた期間にデータロガーに蓄積されたデータを受信して、それらに対する処理を行う。

2 観測項目および方法

a 風向・風速

風向・風速観測には飛行機型風向風速計 (R.M.Young社製, モデル 5103, 気象庁検定付) を用い、同センサは露場中央に設置されたアルミ製観測タワーの地上10mの高さに設置されている。風向および風速を10秒間隔で測定する。風速の測定範囲および精度は $0 \sim 60\text{ms}^{-1}$, 0.3ms^{-1} である。

日平均風向は1日の単位ベクトル平均風向 ($^{\circ}$), 日平均風速は観測値の算術平均, 日最大瞬間風速は観測最大値, 日最大風速は10分平均風速の最大値としてそれぞれ 0.1ms^{-1} 単位で算出する。また、日最大風速および日最大瞬間風速の発生時刻, そのときの風向も記録する。

b 気温・湿度

気温, 相対湿度は、観測タワーの地上2.2m, 0.2mの高さにある強制通風筒内に白金抵抗温度計, 温湿度計をそれぞれ一体ずつ設置して計測する (Fig.4)。温度セン



Fig.4 観測用タワー

Meteorological observation tower

サ (クリマテック社製, C-HPT, 気象庁検定付) は, 計測単位 0.1°C , 測定範囲 $-80 \sim +60^{\circ}\text{C}$, 20°C における精度は 0.13°C である。また, 温湿度センサ (Vaisala 社製, HMP-155D, 気象庁検定付) は, 計測単位 $1\% \text{ RH}$, 測定範囲 $0.8 \sim 100\%$, 測定精度は $0 \sim 90\%$ において $\pm 1\%$, $90 \sim 100\%$ において $\pm 1.7\%$ となっている。サンプル間隔は気温, 湿度ともに 10 秒である。

さらに, 観測した気温 T_a ($^{\circ}\text{C}$) および相対湿度 RH ($\%$) から Tetens の近似式 (式(1)) で飽和水蒸気圧 e_s (hPa) を求め, 式(2)により水蒸気圧 e_a (hPa) を算出する。

$$e_s = 6.1078 \times 10^{7.5T_a / (237.3 + T_a)} \dots\dots\dots (1)$$

$$e_a = e_s \times RH / 100 \dots\dots\dots (2)$$

c 日照時間

日照時間は太陽電池式日照計 (石川産業社製, S-162) を用い, 受光量が 0.12 kWm^{-2} 以上の時間を 0.1 時間単位で測定する。観測データは 1 時間ごとに積算し, 日照時間として算出する。

d 降水量

露場地表面上に受水面が高さ 0.5m となるように転倒マス式雨量計を設置し, 降水量の観測を行う。雨量計は一転倒 0.5mm (クリマテック社製, CTK-15PC, 気象庁検定付き) および 0.1mm (クリマテック社製, CTK-11PC) のものを設置し, 前者を降水量の算出用として, 後者はより短時間の降雨強度資料として利用する。なお, 両者とも風よけ, ヒーター等の付帯設備は有していない。

一転倒 0.5mm の雨量計の測定精度時間雨量 20mm 以下で $\pm 0.5\text{mm}$, 20mm を超える時で $\pm 3\%$ である。他方, 一転倒 0.1mm の雨量計の測定精度は時間雨量 20mm 以下の時は \pm 約 0.5mm , 20mm を超える時に $\pm 5 \sim 10\%$ と若干大きくなる。

データは 1 分間隔で一転倒 0.5mm の雨量計の転倒マ

スの転倒回数を記録し, 1 日の合計値を日雨量とする。また 60 分移動積算した合計値の最大値を最大 1 時間降水量とし, 降雨強度は前 1 時間降雨強度を 10 分ごとに出す。

e 蒸発量

パン蒸発量は, 直径 120cm の蒸発パンの水位を磁歪式フロート水位センサ (クリマテック社製, CMT-RH-M-20) により 10 分間隔で 0.1mm 単位の測定を行い, 水位減少量の日単位の合計を日蒸発量とする。なお, 降水量の影響を除くため水位が上昇した時の変化量は積算しない。また, 温度補正は行っていない。

f 現地気圧

気圧計 (Vaisala 社製, PTB210, 気象庁検定付) は, 計測盤を収納したボックスに設置されている。使用温度範囲は $-40 \sim 60^{\circ}\text{C}$, 測定範囲は $800 \sim 1060\text{hPa}$, 精度 ($+20^{\circ}\text{C}$ において) $\pm 0.30\text{hPa}$ となっている。測定間隔は 10 秒で, 0.1hPa 単位で出力する。

g 地中熱流量

地中熱流量は 1m 四方の地中観測ピットの地表面付近に設置された熱伝堆式熱流板 (Hukseflux 社製, HFP-01) により 10 分間隔で測定する (Fig.5)。測定精度は $\pm 5\%$, 温度範囲 $-30 \sim +70^{\circ}\text{C}$, 測定範囲は $2 \sim -2 \text{ kWm}^{-2}$ である。

h 地温

地温は, 深さ 5cm , 10cm , 30cm , 50cm , 100cm の深さに埋設した白金測温抵抗体温度計 (クリマテック社製, C-PTG) により測定を行う (Fig.5)。測定温度範囲 $-100 \sim 100^{\circ}\text{C}$, 使用可能温度範囲は $-40 \sim 100^{\circ}\text{C}$ となっている。 10 分ごとに出力値を観測する。



Fig.5 地中観測ピットへの機器埋設状況

Installation of devices to subsurface observation pit

i 土壌水分量

地温と同地点、同深度に埋設した5本のTDR式土壌水分センサ(Campbell Scientific社製, CS-616)により10分間隔で体積含水率を観測する(Fig.5)。測定分解能は0.1%, 測定精度は±2.5%である。

j 短波・長波放射量

短波・長波放射量は、1.5mの高さの観測台の上下面それぞれに日射計、赤外放射計を設置し、上向き、下向きの短波放射量 S^{\uparrow} 、 S^{\downarrow} および長波放射量 L^{\uparrow} 、 L^{\downarrow} の4成分を独立して測定する(Fig.6)。なお、下向きの放射量測定機器は機器の温度上昇を防ぐためのファン付きである。

短波放射量は日射計(Kipp and Zonen社製, CMP21, WMO Secondary standard)により波長305~2800nmの範囲の放射量を10秒間隔で測定する。感度は約7~14 $\mu\text{V}/(\text{Wm}^2)$ である。長波放射量は赤外放射計(Kipp and Zonen社製, CGR4)により測定する。波長範囲4.5~42 μm 、感度5~7 $\mu\text{V}/\text{Wm}^2$ となっている。全ての機器の測定間隔は10秒であるが、1日の積算量を0.01MJm²単位で出力する。

k 顕熱フラックス

地表面からの顕熱フラックス H は、気温および鉛直風の変動値の共分散に比例し、次式(1)により表される。

$$H = c_p \rho w' T' \dots\dots\dots (3)$$

ここで、 c_p は空気の体積熱容量(JK⁻¹m³)、 w' は鉛直風速の乱流変動成分(ms⁻¹)、 T' は気温の乱流変動成分(K)である。渦相関法は、これらの w' 、 T' といった変動成分の瞬間値を高速に計測することにより、地表面から大気への顕熱輸送量を直接観測して求める手法である(詳細は例えば塚本ら, 2001)。

鉛直風速および気温の乱流変動成分は超音波風向風速温度計(ソニック社製, SAT540)を用い、測定間隔

1/10秒で測定する。風速の測定範囲は0~60ms⁻¹、風速分解能0.01ms⁻¹である。これらの観測値を10分毎に平均化して顕熱フラックスの計算値を出力する。さらに、後述するように有効放射量との差をとり潜熱フラックスを算出する。ただし、これらのフラックス量に関しては統計データを作成せず、10分毎データのみ保存する。

3 データの統計処理法

データの統計処理は10分値、1時間値、日平均値についてはデータロガー内で処理を行い、それ以上の期間については日平均値、日合計値からデータ処理部で計算する。統計期間は、日、半月、月、年とし、半月統計は1ヶ月を5日ごとにわけ、最後の半月は各月の日数に応じて与える。また、旬統計は各月を1~10日、11~20日、21日~月末に分けたもの、月統計は1日から月の末日まで、年統計は1月1日から12月31日までを統計期間とする。降水量、日照時間、放射量、蒸発量については該当期間(日、半月、旬、月、年)の合計値を、風速、気温、湿度、気圧、地温、土壌水分、降雨強度については該当期間内の平均値を統計量とする。なお、風向については単位ベクトルの平均を取る。

4 データ公開システム

上記の方法により処理したデータは、以下に示したサイト「農村工学研究所 Web 気象台」(<http://150.26.59.72/>)において閲覧、データのダウンロードができる。また、同サイトは農工研ホームページの「お役立ち情報」および農研機構が運用する農業研究気象観測ポータル(<http://www.affrc.go.jp/ja/info/scs/ndb/agriresmet/index.html>)からも参照できる。

メイン画面であるリアルタイムモニターは、観測全データを1分間隔の準リアルタイムで更新して表示する(Fig.7)。また、任意日付グラフ表示では、放射量4成分、顕熱・潜熱フラックスと地温・土壌水分量の2種類のグラフの期間を指定して表示できる(Fig.8)。また、半月ごとの平均偏差グラフを表示できる。

さらに、データ公開サイトでは観測全データ帳票、データファイルを表形式で閲覧、ダウンロードできる。表示する数値の種類は、任意日付の10分値、1時間値、任意日付の日報(当日分も含む)、任意月の月報、任意年の年報となっている。また、帳票については期間を指定して印刷できる。

III 観測データの品質管理手法

気象観測データの蓄積を長期に渡って行い、信頼できるデータセットを構築するには、機器の点検およびデータの品質管理が重要である。機器の点検には日常的なメンテナンスと定期的に行う精密保守点検がある。日常的なメンテナンスは主に目視による異常確認、通風ファン



Fig.6 短波・長波放射量観測の状況
Observation of short- and long-wave radiations

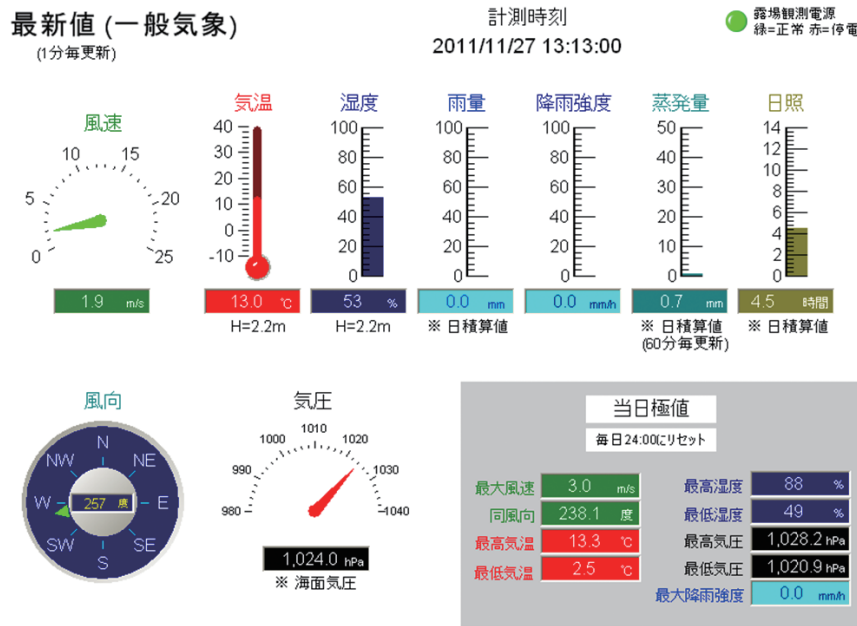


Fig.7 リアルタイムモニター画面
User interface of real time monitoring system

最新7日間 (放射・熱)

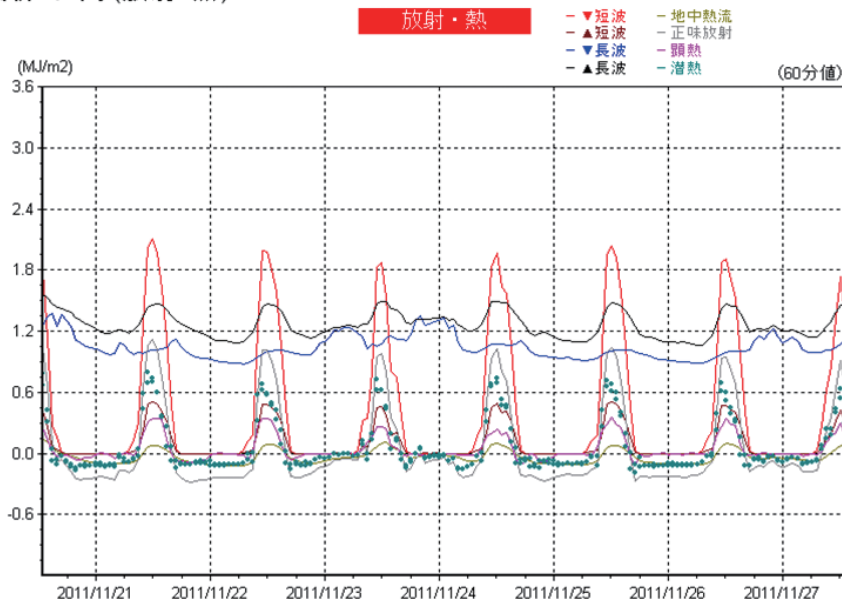


Fig.8 任意期間のグラフ表示画面
Graphic display of meteorological data for the period of interest

の動作確認、放射量観測ドームの清掃等を1週間に一度程度の頻度で行い、これに加えて台風等荒天の後には機器の点検を行うものである。さらに、各気象観測要素の値を観察して体感する値とかけ離れていないか、气象台やアメダスの観測値や各種の推定値と比較して大きく異なる値を示していないかを定期的に点検することも日常的なメンテナンスに含まれる。他方、精密保守点検は1年に一度～数度の頻度で各機器の出力値のチェック、係数の校正、気象庁検定等を行い、経年的な観測値の増加・減少傾向があればそれを補正するものである。

日常的なメンテナンスで各気象観測値の異常値を早期に検出するためには、正常に観測が行われているときの

観測値が近傍の観測値や各種推定値に対して有する誤差を評価し、それを参考値として記録しておくに役立つ。そこでここでは、観測露場におけるこれまで1年半の観測値を近傍の観測値や各種推定値と比較し、その偏差やばらつきを評価する。さらに、観測データから算出した潜熱フラックス(蒸発散量)を基準蒸発散量、パン蒸発量と比較することで、観測データの整合性を評価する。

なお、現在ルーチン観測開始後の全データについて公開しているが、データの品質については最低限の日常的な点検にとどまっており、利用の際には注意が必要である。

1 近傍の気象観測地点との比較

観測露場における気象観測データの基本的な評価のため、農工研内における実測データと近傍の気象官署における観測値を比較し、その検証を行う。近傍の気象官署として、観測露場から北東約5km(北緯36°03′, 東経140°08′)に位置する気象庁高層気象台(以下館野とする)を選択し、気温、降水量、気圧、水蒸気圧、全天日射量(下向き短波放射量)の日統計値について比較検証を行う。

2 気象推定値の算定手法と観測値の検証

短波・長波放射量は地表面、植生からの蒸発散や地表面の熱収支に寄与する重要な気象要素であるが、体感値との比較が困難であることや、比較検証するための観測データが限られることからその品質評価は容易ではなく、各種推定値を用いたデータの検証が必要となる。ここではAllen(2008)の方法に従い、全天日射量と長波放射収支データの品質評価する方法を記す。

まず、全天日射量については観測値を晴天日の理論値と比較することにより、実測値の品質管理を行う。晴天日の全天日射量の理論値 S_{df} (MJm⁻²day⁻¹)は、大気上端における水平面日射量 S_{0d} (MJm⁻²day⁻¹)に対する比として次式(4)により求める(近藤, 1994)。

$$\frac{S_{df}}{S_{0d}} = (C_1 + 0.7 \times 10^{-m_d F_1})(1 - i_3)(1 + j_1) \dots (4)$$

$$i_3 = 0.014(m_d + 7 + 2 \log_{10} w) \log_{10} w \dots (5)$$

$$\log_{10} w = 0.0312 T_d - 0.0963 \dots (6)$$

$$m_d = k_3 m_{noon} \dots (7)$$

$$m_{noon} = (p / p_0) \sec(\phi - \delta) \dots (8)$$

$$k_3 = 1.402 - 0.06 \log_{10} (\beta_{DUST} + 0.02) - 0.1(m_{noon} - 0.91)^{1/2} \dots (9)$$

$$j_1 = [0.066 + 0.34(\beta_{DUST})^{1/2}](ref - 0.15) \dots (10)$$

$$F_1 = 0.056 + 0.16(\beta_{DUST})^{1/2} \dots (11)$$

ここで w は可降水量(cm), T_d は露点温度(°C), ϕ は緯度(rad), δ は赤緯(rad), m_{noon} は日平均的な光路長, p および p_0 は地上気圧および標準気圧(kPa)である。また, β は大気の混濁係数でここでは0.03(大都市から離れた空は青く澄んだ状態), ref はアルベドで0.23とした。

他方、大気上端の水平面日射量は以下により理論的に得られる。

$$S_{0d} \downarrow = \frac{I_{00}}{\pi} \left(\frac{d_0}{d}\right)^2 (H \sin \phi \sin \delta + \cos \phi \cos \delta \sin H) \dots (12)$$

$$H = \cos^{-1}(-\tan \phi \tan \delta) \dots (13)$$

$$\left(\frac{d_0}{d}\right)^2 = 1.00011 + 0.034221 \cos \eta + 0.00128 \sin \eta + 0.000719 \cos 2\eta + 0.000077 \sin 2\eta \dots (14)$$

$$\delta = \sin^{-1}(0.398 \times \sin a_2) \dots (15)$$

$$a_2 = 4.871 + \eta + 0.033 \sin \eta \dots (16)$$

$$\eta = (2\pi / 365) i \dots (17)$$

$$i \approx 30.36(M - 1) + DAY \dots (18)$$

ここで, I_{00} は太陽定数(1365Wm⁻²), d, d_0 は太陽・地球間の距離とその平均値, H は日の出から南中までの時角(rad), M は月数, DAY は各月の日である。

次に、長波放射収支 R_{nl} の推定値は、次式を用いて算出する(Allen et al., 1998)。

$$R_{nl} = \sigma \left(\frac{T_{max}^4 + T_{min}^4}{2}\right) (0.34 - 0.14\sqrt{e}) \left(1.35 \frac{S_{obs}}{S_{df}} - 0.35\right) \dots (19)$$

ここで, σ はStefan-Boltzmann定数(4.903×10^{-9} MJK⁻⁴ m⁻²day⁻¹), T_{max}, T_{min} はそれぞれ日最高・最低気温(K), e は日平均水蒸気圧(kPa), S_{obs} は全天日射量観測値(MJm⁻²day⁻¹)である。

3 蒸発散量の算出とその検証

正味放射量 $R_n (=S^{\downarrow} - S^{\uparrow} + L^{\downarrow} - L^{\uparrow})$, 顕熱フラックス H , 地中熱流量 G の観測値を熱収支式(20)に代入し、その残差から潜熱フラックス ιE を算出する。

$$\iota E = R_n - G - H \dots (20)$$

ここで, ι は蒸発潜熱(Jkg⁻¹)である。ただし、渦相関法による顕熱フラックスの測定が出来ない降雨日のデータは除外する。

次に、蒸発散量の比較対象である基準蒸発散量 ET_0 の算出法を示す。基準蒸発散量は土壤中に水分が充分ある草地からの蒸発散量で、修正Penman-Monteith式で定義される(Allen et al., 1998)。

$$ET_0 = 0.408 \frac{\Delta(R_n - G) + 900\gamma u(e_s - e_a)/(T + 273)}{\Delta + \gamma(1 + 0.34u)} \dots (21)$$

ここで, ET_0 は基準蒸発散量(mm day⁻¹), γ は乾湿球定数(kPa°C⁻¹), Δ は飽和比湿の温度に対する変化率(kPa°C⁻¹), T は日平均気温(°C), u は高度2mにおける風速(ms⁻¹), e_s は飽和水蒸気圧(kPa), e_a は水蒸気圧(kPa), Δ は水蒸気圧曲線の勾配である。

IV 観測データの品質評価

1 近傍観測値との比較結果

まず、観測露場と館野の観測データ比較の一例として、日平均気温の比較を示す(Fig.9)。回帰直線を描くと両者の間にはバイアスはみられず、非常に良く一致し、相関係数は0.999、標準偏差は(0.52°C)となった。

この他の各データも両者が高い精度で一致することが

分り、日最高気温（相関係数 0.998, 標準偏差 0.64℃）、日最低気温（同 0.997, 0.81℃）、水蒸気圧（同 0.998, 0.66hPa）、気圧（同 0.999, 0.38hPa）の結果が得られた。

次に、観測露場と館野の日降水量の比較を示す（Fig.10）。一部に 40mm day⁻¹ ほど過大、過小となっているデータもあり、必ずしも両者はよく一致するわけではない。ただし、回帰直線を描いたところ直線の傾きは 0.959 とほぼ 1 に近い値となったことから、観測露場における大多数のデータは概ね館野の値と一致し、系統的な誤差は小さいといえる。なお、相関係数は 0.954, 標準偏差は 1.81mm day⁻¹ であった。

最後に、観測露場と館野の全天日射量の観測値を比較した（Fig.11）。両者の回帰直線を描くと、1対1によく対応していた。また、両者の標準偏差は 1.19 MJm⁻²day⁻¹ であった。

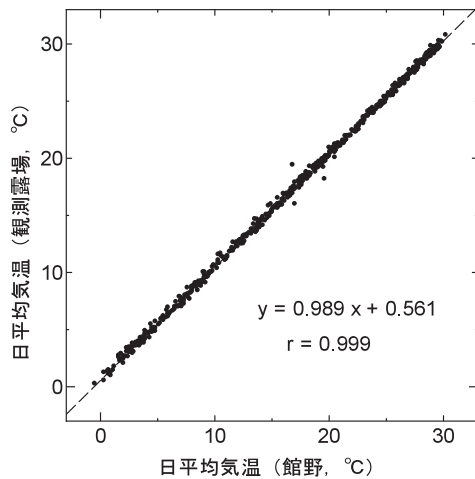


Fig.9 館野と観測露場における日平均気温の比較
Comparison of daily averaged air temperature between Tateno and observation site in IRE

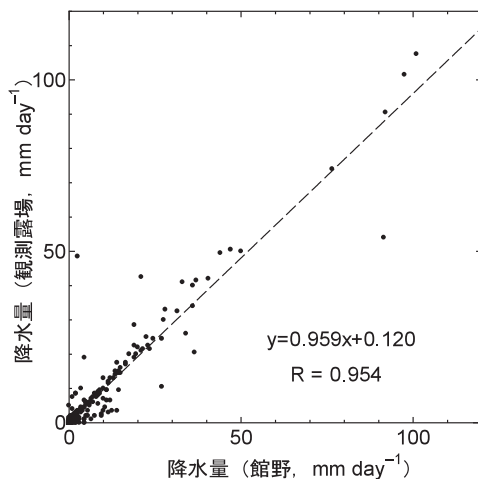


Fig.10 館野と観測露場における日降水量の比較
Comparison of daily rainfall between Tateno and observation site in IRE

2 各種推定値を用いた観測値の検証結果

まず、全天日射量の観測値を晴天日の全天日射量の理論値と比較すると、観測値は晴天日の理論値を上限とする領域内に分布していることが見て取れた（Fig.12）。観測値が晴天時の理論値を大幅に上回ったり下回ったりすることがあれば、観測ドームの汚れや傷、観測台が水平であるか等を確認する必要があるが、現在のところそのような傾向は観察されていない。

さらに、Fig.13 に長波放射収支の推定値と観測値の比較を示した。長波放射収支の観測値は推定値より若干過大となることを見て取れた。なお、推定値と観測値の標準偏差は 0.947MJm⁻²day⁻¹ であった。

ただし、Allen (2008) が指摘するとおり、これらの推定値との比較は正確に両者が一致することを期待するのではなく、観測値が大きく推定値から外れたことを検出するために用いる。そのため、上述した方法により得られた推定値の誤差の程度は、機器、観測の異常を早期発見するための参考値として今後有用になると考える。

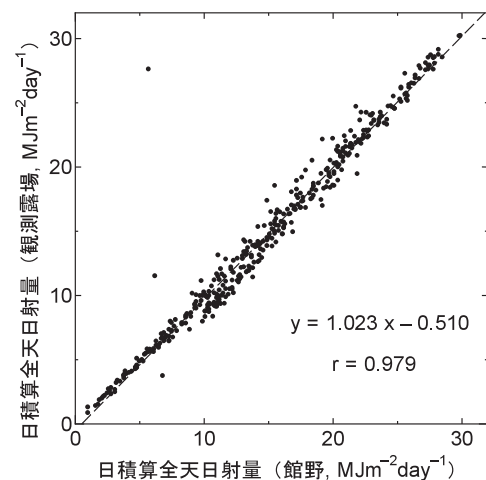


Fig.11 館野と観測露場における全天日射量の比較
Comparison of global radiation between Tateno and observation site in IRE

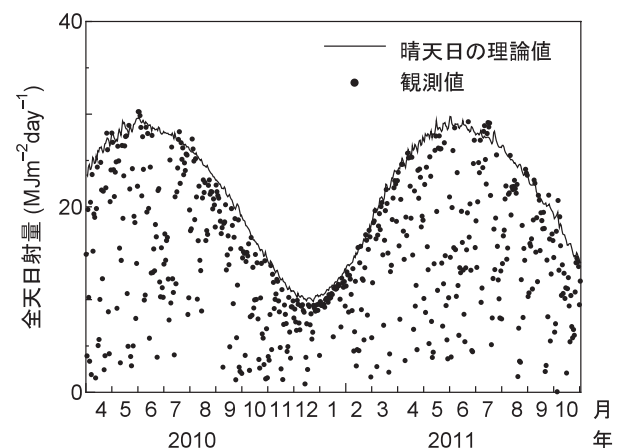


Fig.12 全天日射量の観測値と晴天日の理論値の比較
Comparison between observed global radiation and its estimated values for clear days

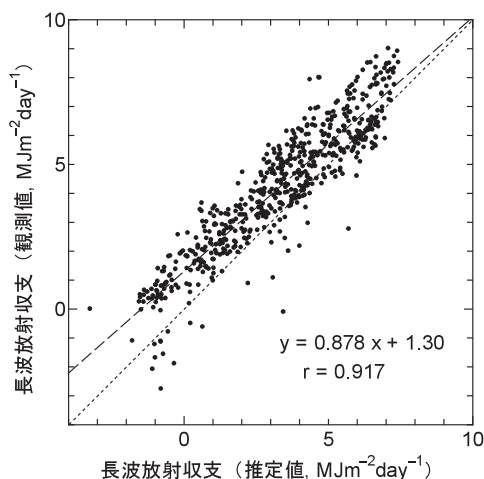


Fig.13 長波放射収支の推定値・観測値の比較

Comparison between observed and estimated values of net long-wave radiation

3 蒸発散量データの評価結果

有効放射量および顕熱フラックスの残差から熱収支式により算出した蒸発散量を、露場における基準蒸発散量、パン蒸発量と比較した。

まず、熱収支式により算定した蒸発散量の時系列を示す (Fig.14)。日蒸発散量は夏期に最大で6mm、冬期に1mmで明瞭な季節変化を示した。また、2010年4月1日から2011年3月31日までの降雨日を除いた熱収支式により算定した蒸発散量の合計値は824mmとなり、日本における平均的な値と比較して妥当な値を示した。

次に、熱収支式により算定した蒸発散量を修正Penman-Monteith式による基準蒸発散量 ET_0 (Allen *et al.*, 1998) およびパン蒸発量と比較した (Fig.15)。基準蒸発散量は熱収支式により算定した蒸発散量と同等か若干大きな値を示した。基準蒸発散量は土壌水分が充分ある条件下において、熱収支と気象条件から推定される蒸発散量であり、両者の差は観測露場の土壌水分状態を反映したものと判断できる。他方、パン蒸発量は浅い水面からの蒸発量であり、熱収支式により算定した蒸発散量より大きい値となった。蒸発散量の評価としてはこの他にもボーエン比法、傾度法による算定値と比較する方法や、土壌水分も含めた水収支を検討する方法などがあり、今後データの蓄積を行うとともにこれらの方法も含めた評価が必要となると考えられる。

V 結 言

本技術報告では、2010年4月から観測を開始した総合気象観測・公開システムの全体像と各気象観測の項目・方法についてまとめ、観測データの品質管理のための検討方法を示すとともに、これまで1年半の観測データにそれらの方法を適用した結果をまとめた。本報の内容は以下のようにまとめられる。

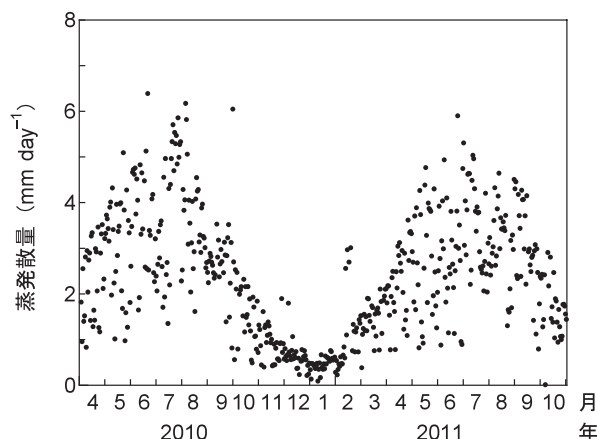


Fig.14 熱収支式により算定した蒸発散量の時系列変化
Time series of daily evapotranspiration estimated from heat balance equation

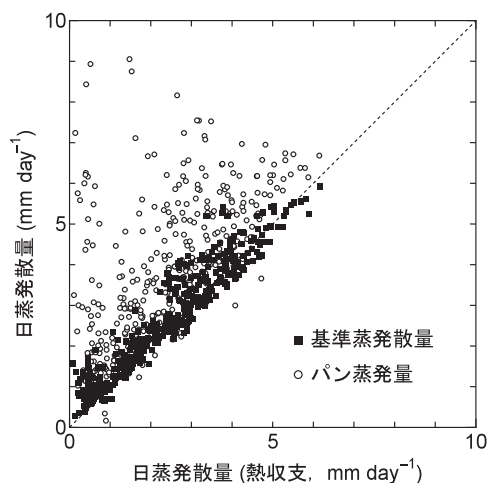


Fig.15 熱収支式により算定した蒸発散量と基準蒸発散量・パン蒸発量の比較
Comparison of estimated daily evaporation to reference evapotranspiration and pan evaporation

- 1) 構築した総合気象観測システムは、長期間継続して観測を安定的に行うことを念頭に、堅固であると同時にシンプルで透明性が高く、管理作業を容易に行えるシステムである。さらに、これまでの気象観測要素に加え、地表面付近の水・エネルギー移動の解明に必要な短波・長波放射量 (上下各2成分)、顕熱フラックス、地温、土壌水分量の常時観測を新たに追加し、さらにデータ閲覧・公開機能を強化したものである。
- 2) 気象観測データの蓄積を長期に渡って行い、信頼できるデータセットを構築するためのデータ品質管理として、近傍気象観測地点の観測値や各種推定値と観測値を比較する方法を示した。これらの比較により得られた誤差は、機器、観測の異常を早期発見するための参考値として今後有用になる。
- 3) 熱収支観測から算出した日蒸発散量、年蒸発散量

は、日本における平均的な値と比較して妥当な値を示した。また、基準蒸発散量との整合性もとれており、現在のところ安定的に観測が行えていると判断できる。今後はデータの蓄積を行うとともに、他の推定法や水収支からの検討を進める必要がある。

引用文献

- 1) Allen, R.G., L.S.Pereira, D. Raes and M.Smith (1998): Crop Evapotranspiration-Guidelines for computing crop water requirements-, FAO, Irrigation and Drainage Paper, **56**, 52
- 2) Allen, R. (2008): Quality assessment of weather data and micrometeorological flux –Impacts on evapotranspiration calculation, *J. Agric. Meteorol.*, **64**(4), 191-204
- 3) 上村春美 (1975)：平塚における 20 ヶ年平均気象の資料とその解析，農業土木試験場技報 A12, 1-85
- 4) 上村春美 (1978)：平塚における 24 ヶ年の気象の解析，農業土木試験場技報 A17, 1-39
- 5) 近藤純正編著 (1994)：水環境の気象学，朝倉書店
- 6) 宮田明 (1992)：羊ヶ丘の気象－北海道農業試験場気象観測資料 (1966-1990)－，北海道農業試験場研究資料, 44, 1-219
- 7) Sameshima, R., T. Hirota, T. Hamasaki and S. Suzuki (2007): Temperature trends at the National Agricultural Research Center for Hokkaido Region in the 40 years from 1966 to 2005, *J. Agric. Meteorol.*, **63**(2), 95-102
- 8) 塚本修・文字信貴編著 (2001)：地表面フラックス測定法，気象研究ノート, 199, 日本気象学会
- 9) 渡来靖・藪崎志穂，山中勤 (2006)：TERC 熱収支・水収支観測データベース図表集，筑波大学陸域環境研究センター報告, 第 7 号別冊

Configuration of Integrated Weather Observation System and Quality Assessment of Observed Data

YOSHIDA Takeo, MASUMOTO Takao and HORIKAWA Naoki

Summary

This paper outlines an automated weather observation system, which was thoroughly remodeled in April 2010 at the Institute for Rural Engineering, Tsukuba, Japan. The system was configured to carry out stable long-term meteorological observations with simple and robust settings and to be technically easy to maintain. In addition to primary variables such as temperature, precipitation, and wind speed, the system was enhanced with the observations of short- and long-wave radiation, sensible heat flux, soil temperature and moisture to clarify water and energy flows in the surface boundary layer. Because data can sometimes be impacted by measurement biases caused by sensor malfunction, sensor aging and sensor miscalibration, the observed data should be regularly checked and corrected. Therefore, we introduced some simple measures to evaluate the integrity and consistency of the observed values by comparing them with those of neighboring weather observation station and/or estimated values. Simple visual methods are able to screen and correct biased data. We obtained some reference values for checking anomalous data by using data from 18 months of observations.

keywords: automated weather station, data quality assessment, data exposure