

現地気象観測データを用いた最低気温予測方法とその精度

—インターネットを利用した最低気温予報システムの改良—

上田悠生* 三島拓也** 三浦健志* 諸泉利嗣*

Method for predicting minimum air temperature in the next morning using local meteorological observation data

- Improvement on minimum air temperature forecasting system utilizing the Internet -

Yu UEDA*, Takuya MISHIMA**, Takeshi MIURA* and Toshitsugu MOROIZUMI*

We have developed a minimum air temperature forecasting system using local meteorological observation data in order to prevent or mitigate the frost damage. In this paper, the correlation between the meteorological factors and the decrease in air temperature during the night was shown. Then minimum air temperature was predicted by the multiple regression equation that uses air temperature and humidity at 18:00 as explanatory variables. As the result, the root mean square error (RMSE) was 2.8°C. When the difference of air temperature between 17:00 and 18:00 was used for the prediction instead of humidity, the RMSE was 3.5°C. Next, the prediction was carried out only in clear nights, then the equation that use air temperature and humidity at 18:00 showed that the RMSE was 1.3°C. Although the predictive accuracy of the equations for clear nights is low on cloudy or rainy nights, we can forecast safely on frosty nights by using those equations in combination with the equations for all nights.

Key words: Minimum air temperature, prediction, frost damage, IT, multiple regression analysis

1 はじめに

研究対象地域の新見市では、ぶどう園がカルスト台地上に点在しており、立地上、凍霜害に高い危険性がある。夕方の時点で翌朝の最低気温を予測できれば、その対策を講じる時間的余裕が生まれる。現在インターネット等 IT 技術の発展は目覚ましく、農業分野においても必要不可欠な存在になりつつある。さらにスマートフォンの普及により、現場に必要な情報を、現場で入手することが可能となった。気象観測機器においても、安価ながら無線 LAN や携帯電話通信網を利用できる機種が登場している。

そこで筆者らは、現地気象観測データをもとに翌朝の最低気温を推定し、予測結果をインターネット上で配信するシステムを構築して試験運用を開始している（三島ら、2015）。上田ら（2016）は、代表地点での予測結果に地点間の標高差から求めた気温差を加え、地域内任意地点の最低

気温を推定する方法を示したが、代表地点での予測で生じる誤差が任意地点における推定精度を低下させており、代表地点での予測精度向上が重要課題となっている。

そこで、代表地点での最低気温予測方法の見直しの端緒として、本論文では夕方の気象要素と夜間の気温低下量との相関関係を調べ、異なる説明変数を重回帰式に用いて予測精度を比較した。その上で、予測対象を降霜の危険性の高い晴天日に絞って精度を改善する試みを行った。

なお、本研究はこれまでに行われてきた冷気湖・冷気流に関する研究（たとえば今岡、1965；鈴木ら、1982）や最低気温の予測に関する研究（たとえば近藤ら、1982）から得られた知見を、農業生産の現場に還元しようとするものである。

2 研究方法

2.1 調査対象地域

対象地域は岡山県新見市豊永赤馬にあり、特産のピーオーネを中心としたブドウ栽培が盛んである。ドリーネ地形と

* 岡山大学大学院環境生命科学研究科

** エイト日本技術開発株式会社

なっており、ドリーネ最深部の標高は430m弱で、ドリーネ外縁部の標高は450~500m程度である。標高が470m程度までの斜面上に果樹園が広がっている。

なお、対象地域は岡山県宮備北地区畑地帯総合土地改良事業で整備された大佐ダムの受益地にある。

2.2 気象観測の方法

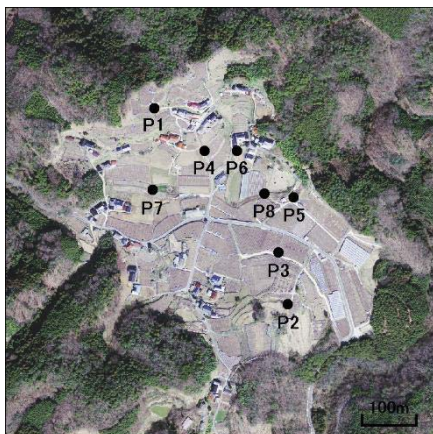
図-1に測定地点(P1~P8)の位置と標高を示す。図中のP5地点に総合気象観測装置を設置し、主観測点とした。この地点は茅場となっており、夏季には茅が生い茂るが、晩霜の時期は茅の生長前である。測定項目は気温、相対湿度、純放射量(4要素)、風向風速、降水量である。使用機器は、温湿度計(設置高さ1.5m, Vaisala HMP60)、自然通風シェルター(Young 41003)、4成分純放射計(設置高さ1.2m, Hukseflux NR01)、風向風速計(設置高さ2.0m, Young 03002)、雨量計(Texas Electronics TR-525M)、データロガー(Campbell CR1000)である。主観測点の他、周辺に日記温度計(T&D RTR-501, 2015年以前はRTR-51AとRTR-53A)を自作の日除けとともに1.5m高さに設置し、気温を測定した。これらの測定地点の多くは、ぶどう園周辺の植生地や法面に位置している。

なお本論文において、最低気温は夕方から翌朝(18時~6時)にかけて記録された値とし、断りなく気温低下量と述べた場合、18時気温から最低気温までの気温の低下量を指している。

2.3 最低気温予報システムの概要

現地での観測から、ホームページ用サーバーまでのデータの流れは図-2のようになる。

①現地で気象観測を実施する。②携帯電話通信を利用し、測定データを外部サーバーに転送する。③研究室のパソコンでExcelマクロにより、外部サーバーからデータをダウンロードし、④最低気温を予測して、予測結果を表示するページを作成、HTMLファイルとして保存する。⑤このフ



P1:463m P2:457m P3:442m P4:440m
P5:434m P6:430m P7:429m P8:427m

図-1 調査対象地域

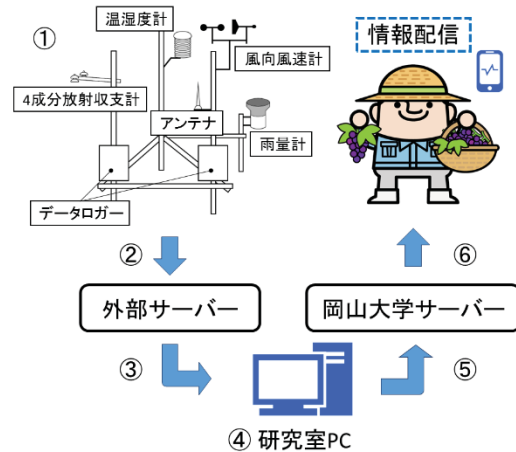


図-2 最低気温予報システムの概要

ファイルを岡山大学ホスティングサーバーへアップロードすることで、⑥インターネットを通じて予測・観測情報が閲覧できるようになる。マクロは1時間に1回自動起動させ、データのダウンロードには観測機器設置会社より提供された専用ソフトを、アップロードにはフリーソフトであるWinSCPのミラーリングアップロード機能を利用して自動処理している。

3 結果と考察

3.1 夜間気温低下量と夕方の気象要素との相関関係

晩霜期である4月(2015年と2016年)において、P5地点での気温低下量と18時における各気象要素との相関を調べ、相関係数を表-1にまとめた。気温低下量に対して湿度、下向き短波放射量、有効放射量強い相関を示している。また、表-2には気象要素間の相関係数をまとめた。湿度、下向き短波放射量、有効放射量は互いに強い相関を持っていることが分かる。これらの要素は夕方の晴れ方を具現化した値と言える。また、気温と上向き長波放射量の間や、湿度と下向き長波放射量との間にも強い相関関係が認められる。

なお、調査対象地域では夜間、冷気がドリーネの底に滞留し、低所ほど気温が低くなる逆転層が形成されるが(図

表-1 夜間の気温低下量と各気象要素の18時測定値との相関係数

| 18時測定値 | 夜間気温低下量との相関係数 |
|------------------------------|---------------|
| 気温(°C) | 0.49 |
| 湿度(%) | -0.78 |
| 風速(m/s) | 0.05 |
| 雨量(mm/h) | -0.26 |
| 下向短波放射量(W/m ²) | 0.76 |
| 上向短波放射量(W/m ²) | 0.68 |
| 下向長波放射量(W/m ²) | -0.57 |
| 上向長波放射量(W/m ²) | 0.34 |
| 有効放射量(上向)(W/m ²) | 0.78 |

表-2 各気象要素（18時測定値）間の相関係数

| | 気温 | 湿度 | 風速 | 雨量 | 下向短波放射量 | 上向短波放射量 | 下向長波放射量 | 上向長波放射量 | 有効放射量(上向) |
|-----------|-------|-------|-------|-------|---------|---------|---------|---------|-----------|
| 気温 | — | -0.42 | -0.15 | -0.18 | 0.42 | 0.26 | 0.17 | 0.96 | 0.30 |
| 湿度 | -0.42 | — | -0.07 | 0.40 | -0.72 | -0.62 | 0.72 | -0.21 | -0.89 |
| 風速 | -0.15 | -0.07 | — | 0.00 | 0.16 | 0.27 | -0.19 | -0.12 | 0.15 |
| 雨量 | -0.18 | 0.40 | 0.00 | — | -0.34 | -0.25 | 0.30 | -0.11 | -0.38 |
| 下向短波放射量 | 0.42 | -0.72 | 0.16 | -0.34 | — | 0.94 | -0.60 | 0.33 | 0.81 |
| 上向短波放射量 | 0.26 | -0.62 | 0.27 | -0.25 | 0.94 | — | -0.61 | 0.18 | 0.74 |
| 下向長波放射量 | 0.17 | 0.72 | -0.19 | 0.30 | -0.60 | -0.61 | — | 0.38 | -0.88 |
| 上向長波放射量 | 0.96 | -0.21 | -0.12 | -0.11 | 0.33 | 0.18 | 0.38 | — | 0.10 |
| 有効放射量(上向) | 0.30 | -0.89 | 0.15 | -0.38 | 0.81 | 0.74 | -0.88 | 0.10 | — |

単位は表-1と同じ

一3), 風が吹けば上層空気との混合が進み逆転の程度は弱くなる(図-4)(上田ら, 2015)。最低気温の予測にあたり, 夜間の風の強さを加味すれば精度向上につながると考えられるが, 夕方時点の風速と気温低下量との間にはほとんど相関関係が見られなかった。

3.2 最低気温予測の方法と精度

現在, 最低気温の予測には, その時点から最低気温までの気温低下量を推定し予測時の気温から差し引くという方法をとっている。気温低下量の推定には過去のデータより定めた重回帰式を用いる。運用中のシステムでは夕方から翌朝まで1時間ごとに, 最新の測定データを用いて, 予測値を更新している。また季節により気温低下状況も変わることが予想されるので, 重回帰式は月ごと, 時刻ごとに定めている。ここでは, 2011年から2015年までの4月の測定データを用いて重回帰式を定め, 2016年4月のデータに当てはめて予測精度を確かめる。予測時刻は18時とした。

まず, 気温低下量と強い相関を持つ気温と湿度を説明変数として重回帰式を求め, (1)式を得た。

$$\Delta T = 0.18 T_{18} - 0.12 RH_{18} + 13.5 \quad (1)$$

ただし, ΔT : 予測気温低下量(°C), T_{18} , RH_{18} : 18時の気温(°C)と相対湿度(%)

この式を用いて最低気温を予測すると, 結果は図-5のようになる。二乗平均平方根誤差(RMSE)は2.78°Cとなった。

また, 17時から18時までの1時間気温低下量は, 表-3に示すように湿度や有効放射量との相関関係があり, その時の晴れ方, 放射冷却の強さを反映していると考えられる。そこで湿度の代わりに1時間気温低下量を説明変数に用いると, (2)式が得られる。

$$\Delta T = 0.36 T_{18} - 2.19 \Delta T_{17-18} + 1.08 \quad (2)$$

ただし, ΔT_{17-18} : 17時から18時までの1時間気温低下量(°C), その他の記号は前出のものと同じ。

この式を用いた時の最低気温予測値と実測値を図-6に示す。RMSEは3.50°Cとなり, (1)式より予測精度は低下した。

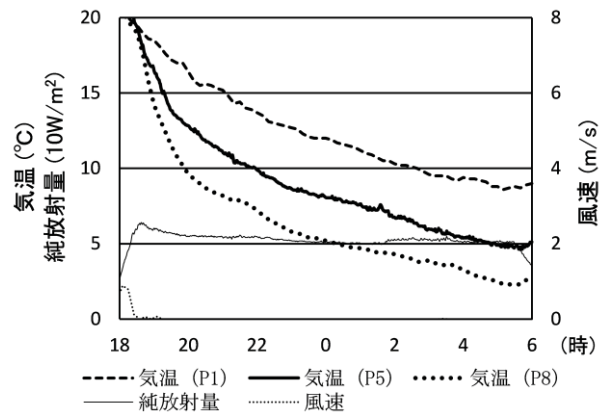


図-3 夜間の気温, 風速, 純放射量の推移
2015年4月26日~27日の夜間
(純放射量は上向きを正とする)

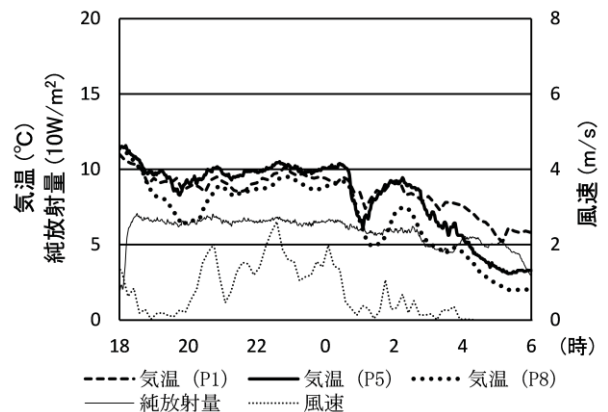


図-4 夜間の気温, 風速, 純放射量の推移
2015年4月15日~16日の夜間
(純放射量は上向きを正とする)

3.3 晴天日における夜間気温低下量と夕方の気象要素との相関関係

気温が低下しやすく, 降霜の危険性が高いと考えられる晴天日(18時から6時までの積算上向き純放射量が2MJ/m²以上の日)を対象を絞り, 夜間の気温低下量と夕方の気象要素との相関を調べ, 結果を表-4に示した。また, 表-5には気象要素間の相関係数を示している。ただし, 雨量

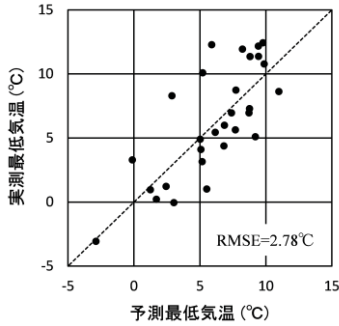


図-5 2016年4月の最低気温予測値と実測値の比較
気温と湿度を用いた (1) 式で予測した場合
($\Delta T = 0.18 T_{18} - 0.12 RH_{18} + 13.5$)

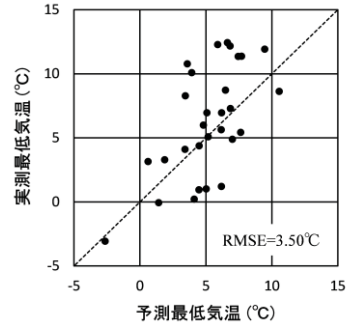


図-6 2016年4月の最低気温予測値と実測値の比較
気温と1時間気温低下量を用いた (2) 式で
予測した場合 ($\Delta T = 0.36 T_{18} - 2.19 \Delta T_{17-18} + 1.08$)

表-3 17時から18時までの1時間気温低下量と
夜間気温低下量および各気象要素との相関係数

| | | 1時間気温低下量 との相関係数 |
|-----------|---------|--------------------|
| 夜間気温低下量 | | 0.57 |
| 気温 | | 0.28 |
| 湿度 | | -0.62 |
| 18時測定値 | 風速 | 0.26 |
| | 雨量 | -0.28 |
| | 下向短波放射量 | 0.44 |
| | 上向短波放射量 | 0.36 |
| | 下向長波放射量 | -0.52 |
| 上向長波放射量 | | 0.17 |
| 有効放射量(上向) | | 0.64 |

単位は表-1と同じ

は全データで 0mm のため省略した。夜間の気温低下量に対して気温や上向き長波放射量が強相関を示している。また、全日を対象とした場合と比べ、夜間の気温低下量と湿度との相関はやや弱くなり、1時間気温低下量との相関は大きく低下した。気象要素間の関係では、気温と下向き長波放射量との相関が強くなっている。

3.4 晴天日を対象としたときの予測精度

晴天日のデータのみを重回帰分析に用い、気温と湿度、気温と1時間気温低下量を説明変数として重回帰式を導くと (3) (4) 式のようになる。データ期間は (1) (2) 式と同じである。

$$\Delta T = 0.43 T_{18} - 0.02 RH_{18} + 7.62 \quad (3)$$

$$\Delta T = 0.45 T_{18} - 0.43 \Delta T_{17-18} + 5.45 \quad (4)$$

ただし、記号は前出のものと同じ。

これらの式を用いたときの最低気温の予測値と実測値を比較して図-7、図-8 に結果を示す。2016年4月の晴天日における RMSE は (3) 式で 1.26°C、(4) 式で 1.43°C であり、予測対象を晴天日に限定すると精度は向上した。予測値よりも最低気温が低くなる危険予測が減り、とくに、全日を対象とした (1) (2) 式を用いた場合は最低気温が 0°C 近くまで下がる夜間に危険予測となりやすかったが (図-5, 図-6), 晴天日を対象とした式を用いることで改

善した (図-7, 図-8)。

さらに、晴天日を対象として、気温のみを説明変数とした (5) 式を導いた。

$$\Delta T = 0.47 T_{18} + 6.08 \quad (5)$$

ただし、記号は前出のものと同じ。

この式による予測の結果を図-9 に示している。RMSE は 1.41°C となり、気温と1時間気温低下量を用いる (4) 式と同水準の精度を示した。晴天日は夜間気温低下量と夕方の気温との相関が強く、非常に簡便に翌朝の最低気温を予測し得る。

このように、晴天日に限定した予測式を用いれば、凍霜害防止の観点からは安全側の予測ができる。しかし晴天日以外では過剰な予測となっており、実際の運用に当たっては晴天日向けの式と全日向けの式を併用するなど、取り扱いに工夫が必要である。

4 おわりに

夜間の気温低下量と夕方の気象要素との相関関係を調べ、18時の気温と湿度を説明変数とした重回帰式を導いた。この式で予測を行ったところ、RMSE=2.78°Cの予測精度が示された。また、湿度を17時から18時までの1時間気温低下量に置き換えて重回帰式を定め予測を行うと、RMSE=3.50°Cとなった。

つぎに、対象を晴天日に限って重回帰式を定め予測精度

表-4 晴天日における各気象要素の18時測定値と
夜間の気温低下量との相関係数

| 18時測定値 | 夜間気温低下量 との相関係数 |
|-----------|-------------------|
| 気温 | 0.77 |
| 湿度 | -0.68 |
| 風速 | -0.48 |
| 下向短波放射量 | 0.25 |
| 上向短波放射量 | 0.07 |
| 下向長波放射量 | 0.45 |
| 上向長波放射量 | 0.74 |
| 有効放射量(上向) | 0.05 |
| 1時間気温低下量 | 0.16 |

単位は表-1と同じ

表-5 晴天日における各気象要素（18時測定値）間の相関係数

| | 気温 | 湿度 | 風速 | 下向短波放射量 | 上向短波放射量 | 下向長波放射量 | 上向長波放射量 | 有効放射量(上向) |
|-----------|-------|-------|-------|---------|---------|---------|---------|-----------|
| 気温 | — | -0.39 | -0.48 | 0.02 | -0.22 | 0.72 | 0.97 | -0.15 |
| 湿度 | -0.39 | — | 0.36 | -0.30 | -0.16 | 0.01 | -0.29 | -0.32 |
| 風速 | -0.48 | 0.36 | — | 0.37 | 0.51 | -0.41 | -0.41 | 0.23 |
| 下向短波放射量 | 0.02 | -0.30 | 0.37 | — | 0.87 | -0.27 | 0.05 | 0.49 |
| 上向短波放射量 | -0.22 | -0.16 | 0.51 | 0.87 | — | -0.45 | -0.20 | 0.53 |
| 下向長波放射量 | 0.72 | 0.01 | -0.41 | -0.27 | -0.45 | — | 0.81 | -0.79 |
| 上向長波放射量 | 0.97 | -0.29 | -0.41 | 0.05 | -0.20 | 0.81 | — | -0.27 |
| 有効放射量(上向) | -0.15 | -0.32 | 0.23 | 0.49 | 0.53 | -0.79 | -0.27 | — |

単位は表-1と同じ

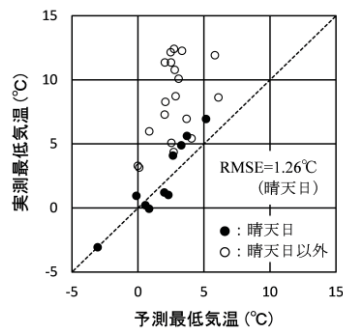


図-7 2016年4月の最低気温予測値と実測値の比較
 気温と湿度を用い、晴天日のデータから求めた(3)式で予測した場合
 ($\Delta T = 0.43 T_{18} - 0.02 RH_{18} + 7.62$)

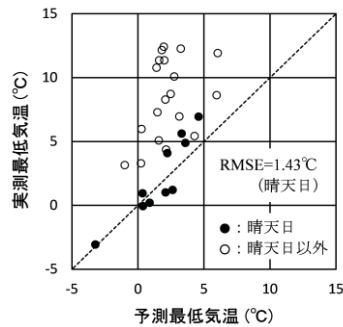


図-8 2016年4月の最低気温予測値と実測値の比較
 気温と1時間気温低下量を用い、晴天日のデータから求めた(4)式で予測した場合
 ($\Delta T = 0.45 T_{18} - 0.43 \Delta T_{17-18} + 5.45$)

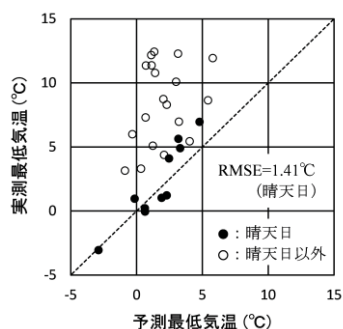


図-9 2016年4月の最低気温予測値と実測値の比較
 気温のみを用い、晴天日のデータから求めた(5)式で予測した場合 ($\Delta T = 0.47 T_{18} + 6.08$)

を確かめると、気温と湿度を用いた式で $RMSE=1.26^{\circ}C$ 、気温と1時間気温低下量を用いた式では $RMSE=1.43^{\circ}C$ となった。また、晴天日には18時気温と夜間気温低下量の相関が強く、気温のみを説明変数としても $RMSE=1.41^{\circ}C$ を示した。晴天日に限定した予測式は降霜の危険性の高い日に精度よく予測を行えるが、曇天や雨天の夜間には過剰な予測となりやすい。全日向けの式を用いると晴天日に過小予測となり、防霜の観点からは危険側の予測と言えるので、晴天日限定の式と併用し安全性を高めた。

今後、晴天日向け予測式の運用方法について検討を加えるとともに、晴天日以外の日においても精度よく予測を行えるよう、予測方法の改善を進めたい。

謝辞：現地での観測には新見市豊永の田中邦男氏をはじめ岡山県、新見市ならびに地区の方々にお世話になった。また水土里ネット岡山からは地図情報の提供を受けた。なお本研究の一部は文部科学省科学研究費補助金(基盤研究(C)一般、課題番号26450343、研究代表者三浦健志)の一部を利用して実施した。ここに記して関係各位にお礼申し上げる。

参考文献

今岡円七(1965):晴夜における小丘状地形上の冷気層と降霜分布, 農業気象, **20** (3), pp.113-118.
 近藤純正・森洋介(1982):アメダス(地域気象観測所)データを用いた夜間冷却量の解析と最低気温予報式(1), 天気, **29** (12), pp.57-69.
 三島拓也・三浦健志・諸泉利嗣(2015):インターネットを利用した最低気温予報システムの構築—予報ウェブページの設計—, 岡山大学環境理工学部研究報告, **20** (1), pp.35-40.
 鈴木義則・佐藤正一・川尻佳合(1982):暖地の凍霜害・寒害と地形気象(1)宇部小野茶園における最低気温分布, 農業気象, **37** (4), pp.289-295.
 上田悠生・三浦健志・諸泉利嗣(2015):翌朝の最低気温予測方法の検討—夜間の気温低下量と気象要素との関係—, 中国・四国の農業気象, **28**, pp.43-44.
 上田悠生・三浦健志・諸泉利嗣(2016):現場気象観測データを用いた翌朝の最低気温予測—傾斜地内任意地点の最低気温予測方法の検討—, 中国・四国の農業気象, **29**, pp.2-8.

