

有田地方における50mメッシュ気温図の作成とその活用

鯨 幸和・池田晴佳

和歌山県果樹試験場

Creating and Practical Using of 50m Grid Climate Map of Air Temperature at Arida Area

Yukikazu Kujira and Haruka Ikeda

Wakayama Fruits Tree Experiment Station

緒 言

和歌山県下のウンシュウミカン園は、有田地方に代表されるように河川の流域とそれを挟む急傾斜地に高密度で立地している。そのため、個々の園地の標高や傾斜、ならびに周辺の地形との関係性は多種多様であり、近接した園地であっても異なる気象経過を辿る場合がある。このことは生育や病害虫発生の変異にもつながっているため、生産者からは「自園の気象経過を把握して栽培管理の適正化に役立てたい」という要望が寄せられる。

地域の気象状況を把握する手法としては、気象を面的に表示するメッシュ気象図が有効とされ、様々な作物で研究や活用が進んでいる（日塔ら，1992；高山ら，2002；柴田ら，2004；他多数）。ただ、その多くが1km²以上のメッシュサイズであり、和歌山県下のウンシュウミカン産地のように地形が複雑な中山間地域において気象を把握するには、50m程度のメッシュサイズが適当であると考えられる（植山，2008a）。植山はアメダスポイントの観測気温に連動して50mメッシュ気温を推定する手法を提唱している（植山，2008b）。これを活用して生産支援に役立てている事例としては、加藤ら（2013）が開発した水稻移植適期予測システムがあるが、果樹では事例がない。

そこで本研究では、(独)農研機構近畿中国四国農業研究センターの知見（植山，2008b；Ueyama，2013）を生かし、複雑な地形条件の下でも活用できる精細な気温情報を発信することを目的として、「近隣アメダス観測値に連動する有田地方50mメッシュ気温推定図」や、利用者が独自で任意のメッシュを選択し、該当メッシュの気温データを取り出せるファイルを作成した。また、50mメッシュ気温推定技術を活用することで生育予測情報等を面的に発信することを目的として、気温経過のみで簡易に予測した開花始期等をメッシュ表示させることを試みた。

なお本研究については、独立行政法人農業・食品産業技術総合研究機構近畿中国四国農業研究センターと研究協定を締結し、平成24年度和歌山県農林水産業競争力アップ技術開発事業で実施した。

材料および方法

以下に記述する手法は、全般にわたり植山が提唱した手法（植山，2008b；Ueyama，2013）に準じる。まず、有田地方に設置した20箇所の定点と有田地方に近接する気象庁アメダスポイントの間

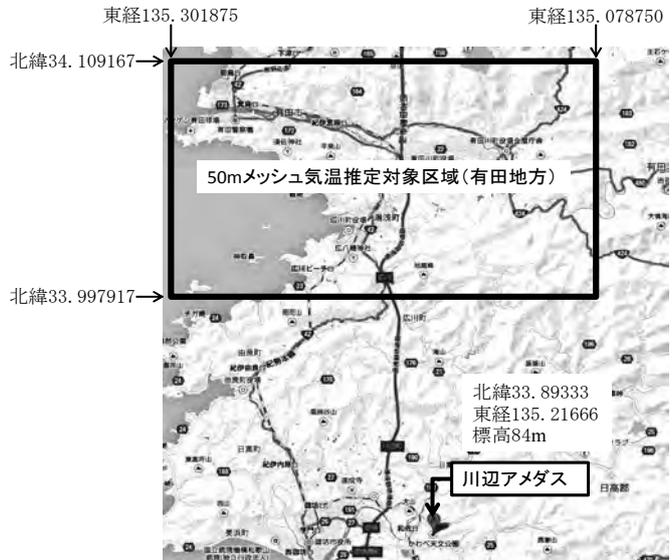
の気温差を、標高による気温減率の影響を取り除くために「温位差」に変換する。そして、この「温位差」を各定点の特定の地形因子で説明する重回帰式を作成し、この式をもって有田地方における任意の50mメッシュの気温を推定しようとするものである。

1 重回帰式の目的変数とする、定点の「推定地点要素 (Tesc)」の算出

1) 有田地方の定点における気温観測

50mメッシュ気温図作成の対象区域は北緯33.997917~34.109167 (南北約12.4km), 東経135.078750~135.301875 (東西約20.6km), 海, 河川, 池沼含む約255km²の範囲とした (第1図)。そして、この範囲内において様々な地理的条件の園地を20箇所選び、そこで気温の推移を定点観測した (第1表)。

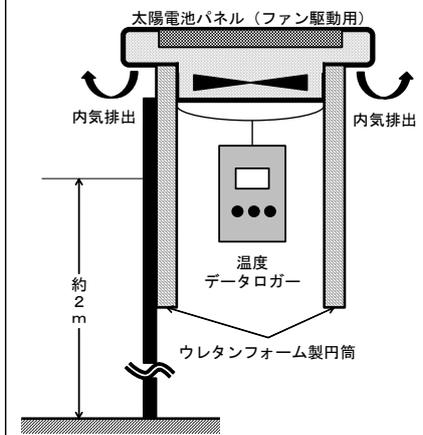
気温計測用装置として、天井部に太陽電池で駆動する排気ファンを設置したウレタンフォーム製の円筒内に温度データロガー (T&D製RTR502) をつり下げた装置を作成した。各定点において、この装置を地上から約2mの気温を計測できるよう支柱に固定し、2013年3月1日~2014年1月27日の気温を観測した (第2図)。



第1図 50mメッシュ気温図作成対象区域と川辺アメダスの位置関係

第1表 温度データロガー設置園地の概況

番号	地点	標高 (m)	園地の向き	緯度 (北緯)	経度 (東経)
(1)	有田市初島	5	平坦	34.098323	135.117118
(2)	有田市星尾	9	平坦	34.073458	135.154983
(3)	広川町西広	9	平坦	34.006016	135.153993
(4)	有田市糸我	10	平坦	34.068057	135.179603
(5)	湯浅町青木	15	平坦	34.030431	135.186342
(6)	湯浅町吉川	19	平坦	34.048748	135.183793
(7)	有田市宮原町	19	南向き傾斜	34.084580	135.166289
(8)	有田川町野田	20	平坦	34.066791	135.208362
(9)	有田川町庄	31	平坦	34.069575	135.235787
(10)	有田川町奥	38	南向き傾斜	34.046847	135.207203
(11)	有田市千田東	47	西向き傾斜	34.065363	135.156075
(12)	有田市山地	77	南向き傾斜	34.067932	135.124619
(13)	有田川町市場	86	西向き傾斜	34.072880	135.250042
(14)	有田川町徳田	96	南向き傾斜	34.043272	135.239336
(15)	広川町柳瀬	101	西向き傾斜	34.018350	135.196550
(16)	有田川町長谷川	108	南向き傾斜	34.053762	135.270353
(17)	有田市新堂	163	南向き傾斜	34.090645	135.128980
(18)	湯浅町田	175	北西向き傾斜	34.056030	135.166487
(19)	有田川町船坂	185	西向き傾斜	34.084861	135.229640
(20)	有田川町中	280	西向き傾斜	34.102678	135.293112



第2図 温度データロガーの設置状況

2) 日別平均気温データの「温位」への変換

定点20箇所毎に観測データから日別平均気温を求めた後、これを①式により温位に変換した。なお①式に含まれる気圧 P は②式で観測地点の標高から求められる仮想標準気圧（標準大気における仮想の気圧）を用いた。

$$\text{温位 } \theta \text{ (K)} = (T + 273.15) \cdot (1000/P)^{\{R/(m \cdot C_p)\}} \dots \text{①}$$

$$\text{気圧 } P \text{ (hPa)} = P_0 \cdot \{T_b / (T_b + \lambda \cdot z)\}^{\{(m \cdot g) / (\lambda \cdot R)\}} \dots \text{②}$$

T : 観測気温 (°C) R : 気体定数 (8.3143 J·mol⁻¹·K⁻¹) m : 乾燥空気の分子量 (0.02897 kg·mol⁻¹)

C_p : 定圧比熱 (1005 Jkg⁻¹·K⁻¹) P₀ : 海面気圧 (1013.25 hPa) T_b : 仮想海面高度気温 (288.15 K)

λ : 仮想気温減率 (-0.0065 K·m⁻¹) z : 観測地点の標高 (m) g : 重力加速度 (9.80665 m·s⁻²)

3) 重回帰式の目的変数とする推定地点要素 (Tesc) の算出

有田地方に近接し地理的条件の類似した気象庁アメダスポイントとして、日高郡日高川町和佐にある川辺観測所（以下川辺アメダスと表記）を選び（第1図）、観測期間中の川辺アメダスの日平均気温を①式により温位に変換した。そして、日々の「各定点の日平均温位－川辺アメダスの日平均温位」を求め、これを Δθ とした。

なお、同一の気象条件下であっても地形の特徴が異なれば気温も異なるため、Δθ を「基準地点要素 (Standard Site Component : 以下 Tssc と表記)」と「推定地点要素 (Estimation Site Component : 以下 Tesc と表記)」に分離した (③式)。なお、Tssc については各定点の Δθ の平均値を用い、③式に則って各定点の Tesc を日毎に算出した。

$$\Delta \theta = \text{Tesc} + \text{Tssc} \quad (\text{なお, Tssc} = \text{全定点の } \Delta \theta \text{ の平均})$$

$$\therefore \text{各定点の Tesc} = \text{各定点の } \Delta \theta - \text{全定点の } \Delta \theta \text{ 平均} \dots \text{③}$$

2 RCS (放射冷却強度) による Tesc のグループ分け

1) 川辺アメダスにおける RCS の算出

各メッシュの特定の地形因子を説明変数とした重回帰式を作成する際、空の曇り具合や風速といった天候状況によって説明変数に採択される地形因子は異なると考えられる。このため、日々の放射冷却強度指標 (Radiative Cooling Scale : 以下 RCS と記述) を④式で求め、この程度別に各定点の Tesc を3つの Group に分け、Group 毎に重回帰式を作成することとした。

なお、RCS 算出に必要な川辺アメダス975hPa面の温位については第3図の手順で推定した。

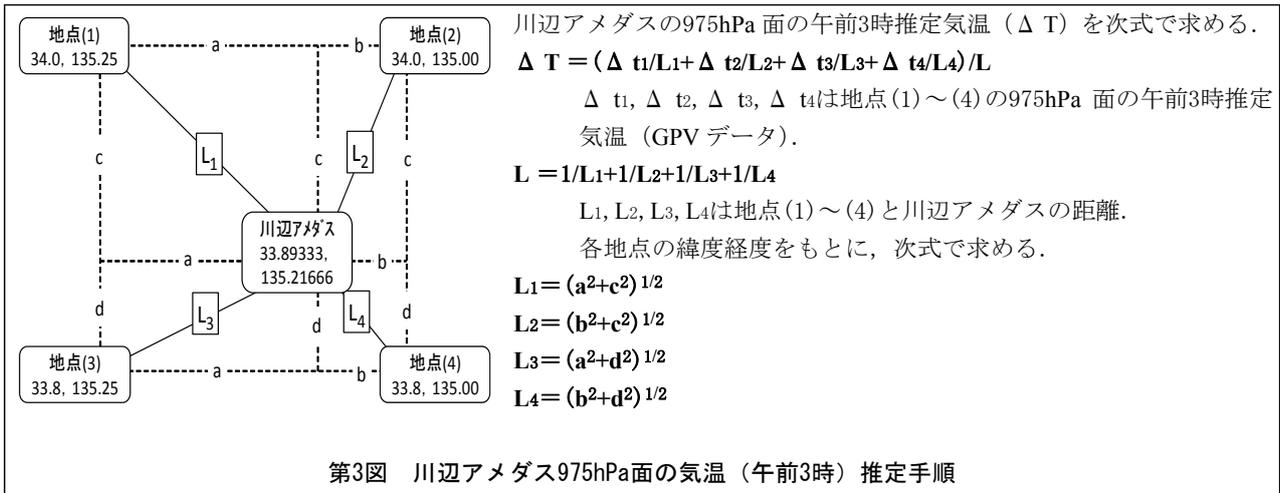
$$\text{RCS} = \theta_{975\text{hPa}} - \theta_G \dots \text{④}$$

θ_{975hPa} : 午前3時の川辺アメダス975hPa面 (約500m上空) の推定温位

θ_G : 午前3時の川辺アメダス地上の温位

∴ RCS は地表面の放射冷却が強まる気象条件 (晴天で風が弱い状態) で数値が大きくなる。

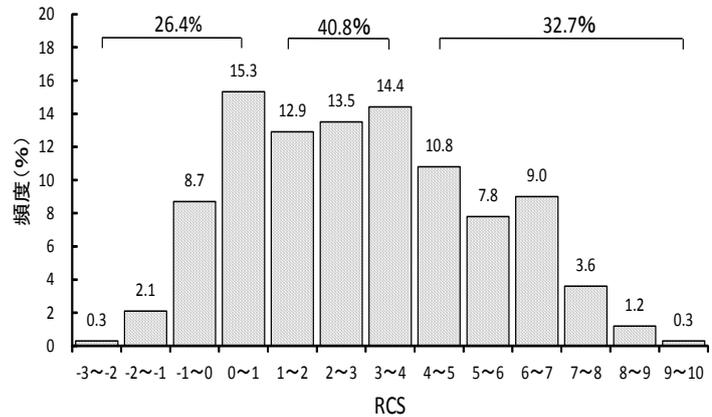
まず、農林水産省農林水産技術会議の農林水産基礎数値データベースから、川辺アメダスを囲む近傍4地点の975hPa面午前3時推定気温 (全球数値予報モデル GPV (GSM)) をダウンロードした。そして、近傍4地点それぞれと川辺アメダスとの距離に基づき、川辺アメダス975hPa面の気温 (午前3時) を推定した後、温位に変換した。



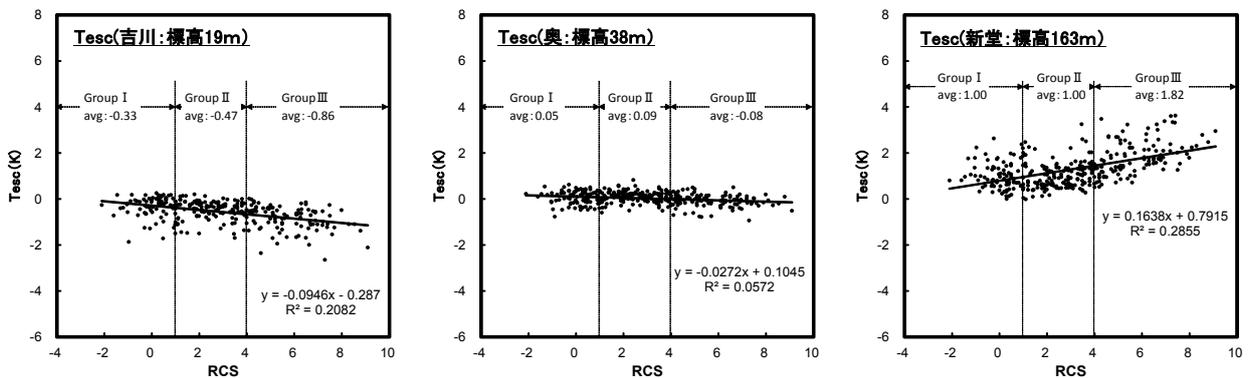
第3図 川辺アメダス975hPa面の気温 (午前3時) 推定手順

2) RCSの高低によるTescのグループ分け

観測期間中の RCS は-2.1～9.1の間で推移していた。そこで、RCSの高低による頻度分布を確認したうえで、全日のグループ分けを行った。RCS < 1の日は全日数の26.4%、1 ≤ RCS < 4の日は40.8%、4 ≤ RCSの日は32.7%であった(第4図)ことから、RCS:1とRCS:4を境界とし、RCS < 1の日を [Group I]、1 ≤ RCS < 4の日を [Group II]、4 ≤ RCSの日を [Group III] と定めた。これら Group 毎に各定点の Tesc の平均をとり、これを重回帰分析の目的変数とした (第5図)。



第4図 観測期間中のRCS頻度分布



第5図 定点によるRCSとTescの関係 (全20定点のうち、3定点を抜粋して掲載)

※近似直線の傾きは、各定点の温位が放射冷却の影響をどのように受けているかを反映する。

上の例では放射冷却が強まる (RCS が大きくなる) ほど吉川では温位が低く、逆に標高が逆転層に相当する新堂では温位が高まる傾向がある。しかし、仮に標高が同程度であっても地形の特徴によって放射冷却の影響を受ける度合いは異なるため、実際には近似直線の傾きは定点によって多様となる。

3 重回帰式の説明変数とする、各定点の地形因子の算出

メッシュ気温を推定するための説明変数候補となる地形因子群については、今回は栗原・村上(1982)の計算手順に従い、平均標高や平均傾斜、開放度等を算出することとした(第2表)。

まず、国土地理院が発行している「数値地図50mメッシュ(標高)CD-ROM」からフリーソフトを活用して有田地方の標高データをcsvファイルで切り出した後、実際の位置関係に整合するようExcelのワークシート上に配列した。そして、Excelの関数機能を活用して全定点の地形因子群(1定点につき603個)を算出した。なお、計算範囲(R)は高山ら(1999)に準じて1~60とした。

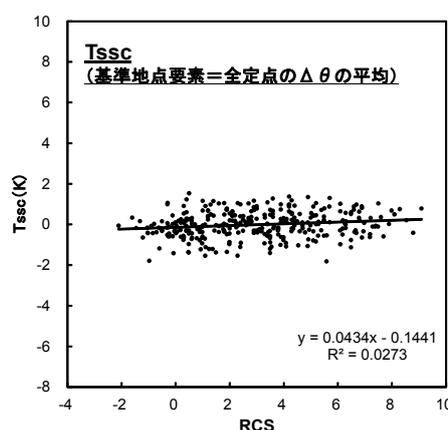
第2表 ステップワイズ重回帰分析に用いた地形因子群(説明変数候補)

地形因子群	説明(求め方)
標高 H	国土地理院数値地図50mメッシュ標高データから引用した。
緯度 X	各定点セルの行番号。
経度 Y	各定点セルの列番号。
平均標高 ME(R)	定点を中心に置き、東西南北にR個のメッシュをとった正方形内の平均標高。
標高差 DE(R)	東西南北にR個のメッシュをとった正方形内の中心メッシュと最大標高との差。
開放度 EX ΔH(R)	東西南北にR個のメッシュをとった正方形の周辺メッシュで、中心メッシュよりもΔHm以上高くないメッシュ数の割合。 ΔH = -30~+30m (10m間隔)
平均傾斜 SL(R)	定点を中心に置き、東西南北にR個先の標高をZE, ZW, ZS, ZNと定め、 {(ZN - ZS) ² + (ZE - ZW) ² } ^{1/2} ÷ 2R で求めた。

4 重回帰式の作成と各定点の推定日別平均気温算出

各定点のTesc計算値(前述のGroup I~III毎)と地形因子群をそれぞれ目的変数、説明変数に置き、農林水産省農林水産技術会議が提供する科学技術計算システム(SAS)を利用してステップワイズ重回帰分析を行うことにより、Group毎に重回帰式を導き出した。この際、ステップワイズ重回帰分析の「第1種の誤りの確率調整機能」を活用し、決定係数が0.7以上で、かつ妥当と思われる説明変数が3個以内で採択される重回帰式を気温推定式として採用した。そしてこの式に各定点の地形因子を代入し、各定点の日々のTesc推定値を算出した。

一方Tsscの推定については、まず日々のTssc計算値(各定点のΔθの平均値)とRCSの関係をプロットし、RCSでTsscを説明する単回帰式(Tssc=0.0434・RCS-0.1441)を求めた(第6図)後、この式に日々のRCSを代入してTssc推定値を算出した。そして③式(Δθ=Tssc+Tesc)に則って各定点のΔθ推定値を求め、これに川辺アメダスの温位を加えることにより各定点の温位を推定した。さらに⑤式により温位を気温に戻すことで、各定点の推定日別平均気温を算出した。



第6図 RCSとTsscの関係

$$\text{気温 } T(^{\circ}\text{C}) = \theta / \{ (1000/P)^{R/(m \cdot Cp)} \} - 273.15 \quad \dots \textcircled{5}$$

θ : 温位(K) P : 気圧(②式)

R : 気体定数(8.3143J・mol⁻¹・K⁻¹) m : 乾燥空気の分子量(0.02897kg・mol⁻¹)

Cp : 定圧比熱(1005Jkg⁻¹・K⁻¹) Po : 海面気圧(1013.25hPa) Tb : 仮想海面高度気温(288.15K)

λ : 仮想気温減率(-0.0065K・m⁻¹) z : 観測地点の標高(m) g : 重力加速度(9.80665m・s⁻²)

結果及び考察

1 50mメッシュ日別平均気温推定とその精度検証

1) Tesc推定重回帰式とTssc推定単回帰式

ステップワイズ重回帰分析により、任意メッシュの Tesc を推定する重回帰式が得られた(第3表)。最も強く寄与する地形因子は、Group I では開放度[EX Δ-30(11)]、Group II, IIIでは[EX Δ-30(9)]であった。今回採択された開放度は、一辺約1kmの正方形の中心に置いた任意メッシュの外周メッシュに対する突出程度を示す指標である。得られた3つの重回帰式について開放度にかかる係数を Group 毎に見ると、Group I から IIIにかけて0.89728, 1.03875, 1.94226と高まっている。このことは、開放度の高い地点では RCS が高い日、すなわち放射冷却の程度が強い日ほど、川辺アメダスに対する温位差がよりプラスに傾くことを示している。

また、いずれの Group においても係数は低いものの緯度[X]が選ばれた。これは、本研究で対象とした有田地方では、北に行くほど川辺アメダスとの温位差がプラスに傾くことを示している。この原因としては、有田地方の地理的傾向を広範囲に見た場合、北部は有田川を挟んで比較的急峻な山地が多い(対象地域の北半分の平均標高: 138.9m)のに対し、南部は湯浅町や広川町など、放射冷却の起きやすい平野部が多い(同南半分: 116.4m)ことが作用した可能性がある。

第3表 ステップワイズ重回帰分析によって得られたTesc推定重回帰式(日別平均気温)

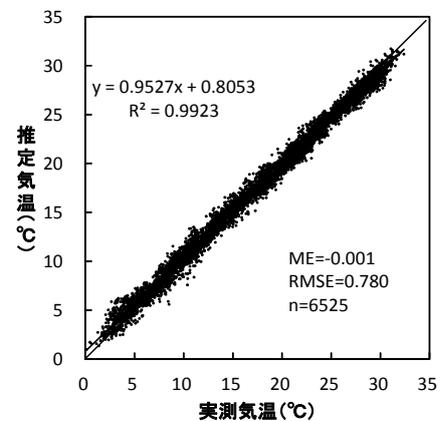
RCSのGroup	重回帰式	説明変数毎の決定係数(R ²)	重回帰式全体の決定係数(R ²)
Group I (RCS < 1)	Tesc = 0.00283 · [X] + 0.89728 · [EX Δ-30(11)] - 0.81067	[X]: 0.2316 [EX Δ-30(11)]: 0.5947	0.8263
Group II (1 ≤ RCS < 4)	Tesc = 0.00305 · [X] + 0.06023 · [SL(39)] + 1.03875 · [EX Δ-30(9)] - 1.03821	[X]: 0.2681 [SL(39)]: 0.0440 [EX Δ-30(9)]: 0.6418	0.9539
Group III (4 ≤ RCS)	Tesc = 0.00522 · [X] + 1.94226 · [EX Δ-30(9)] - 1.58473	[X]: 0.1921 [EX Δ-30(9)]: 0.6986	0.8907

一方、Tssc と RCS の関係をプロットしたところ、Tssc は RCS の多少に関わらず0に近く、単相関係数も低かった(第6図)。植山(2008a)によると、Tssc は基準地点(今回は有田地方全体)に及ぼす気象や RCS の影響により決まる値であり、RCS による変動が大きければ相関係数は高まるとされていることから、有田地方を広く見た場合、RCS の影響をあまり強く受けない地域であることが示唆された。

2) 推定精度の検証

地形因子を説明変数とする Tesc 推定重回帰式(第3表)で各定点の Tesc を、また、RCS を説明変数とする Tssc 推定単回帰式(第6図)で Tssc を推定した。そして、これらを③式に代入して日々の Δθ を求め、各定点の日別平均気温を推定した。

全定点を含めて実測値と推定値をプロットしたところ、決定



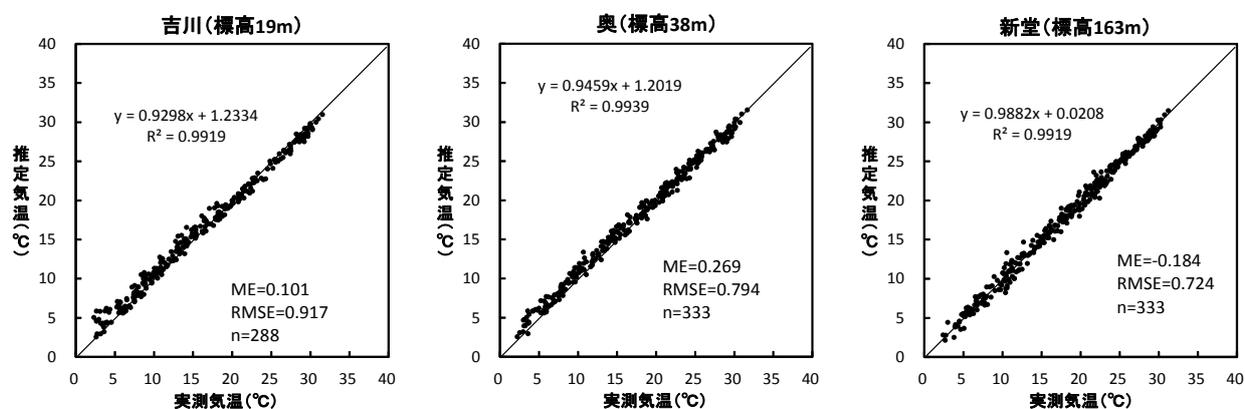
第7図 全定点を含めた場合の日別平均気温推定精度

係数は0.9923であり、気象庁の予報値検証方法（第4表）に倣い、実測値と推定値との差について平均誤差（Mean Error：以下ME）と2乗平均平方根誤差（Root Mean Square Error：以下RMSE）を求めたところ、それぞれ-0.001、0.780であった（第7図）。また、各定点毎に同様に検証したところ、決定係数は0.987～0.995、MEは-0.184～0.269、RMSEは0.603～1.025であった（第8図に3定点を抜粋）。

なお、本研究では定点でのみ精度を検証しているが、植山（2008a, b）によると、放射冷却の強い時期と弱い時期を含む半年程度の現地観測データがあれば推定モデルは開発でき、観測地点数が統計的に適切であれば50mメッシュ気温図の作成が可能であるとされている。このようなことから、第3表に示した重回帰式等を用いる気温推定手法は有田地方においては当てはまりが良く、RMSEから判断するとほぼ±1℃以内の誤差で推定できると思われた。

第4表 平均誤差と2乗平均平方根誤差について（気象庁HPより抜粋）

項目	説明
平均誤差 (Mean Error : ME)	$ME = \sum (F(i) - A(i)) \div N$ (F(i)は予報値, A(i)は実況値, Nは予報回数) 個々の予報の誤差をそのまま期間平均したもので、予報の系統的な偏りを示す指数。 0のとき、平均的にみて予報は正にも負にも偏っておらず、正(負)のときは予報が実況よりも高かった(低かった)ことを示す。
2乗平均平方根誤差 (Root Mean Square Error : RMSE)	$RMSE = \{\sum (F(i) - A(i))^2 \div N\}^{1/2}$ (F(i)は予報値, A(i)は実況値, Nは予報回数) 個々の予報の誤差を2乗してから期間平均して、平方根をとったもの。 予報誤差の標準的な大きさを示す指数で、0に近いほど予報精度が高いことを示す。 個々の予報の誤差の60%～70%は、±(2乗平均平方根誤差)の間に収まる。



第8図 定点による日別平均気温推定精度（全20定点のうち、3定点を抜粋して掲載）

※吉川は機器不調により45日間欠測

3) 推定気温の補正

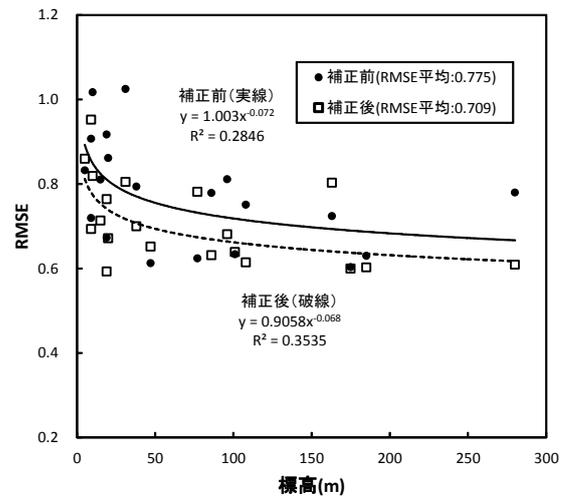
全定点を含めて実測値と推定値をプロットした場合の近似直線の傾きは0.9527となっており、特に10℃以下の低温域でやや高温よりに推定する傾向がみられた（第7図、第8図）。仮に、第7図に示した近似直線の式に[実測気温=0℃]を代入した場合、[推定気温=0.8053℃]を返すことになる。また、各定点毎に傾向をみた場合、標高の低い定点ほど低温域で高めに推定し、結果としてRMSEも高まる傾向を示した（第9図のうち補正前データ）。本手法の生産現場での活用を想定すると、低温期に冷え込みやすい平坦地で気温を高めに推定してしまうことは問題になると考えた。

そこで各定点の推定気温について、第7図に示した近似直線 [(推定気温)=0.9527・(実測気温)+

0.8053] の係数を用い, [(補正推定気温) = {(当初の推定気温) - 0.8053} / 0.9527] により補正を試みた. その結果, 決定係数は変わりなく, 定点による程度の差はあるものの RMSE の平均値は0.066減少し, 精度が向上した (第9図のうち補正後データ). 後に記述する50m メッシュ推定気温表示ファイル等については, この手法を用いて補正することとした.

4) 日別最高気温, 日別最低気温の推定

日別最高気温, 日別最低気温についても同様の手法で推定を行った. Tesc 重回帰式に採択された地形因子等に関する考察は割愛するが, いずれも日平均気温よりはやや精度が劣るものの, RMSE の分布状況から ±1.5℃以内の精度で推定できるものと思われた (第5表, 第6表, 第10図, 第11図).



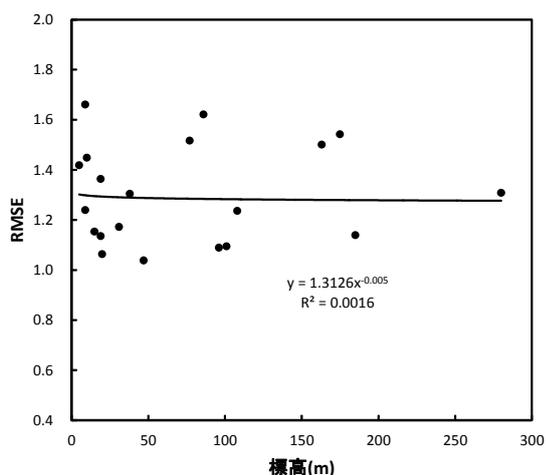
第9図 補正の有無による標高とRMSEの関係 (日別平均気温)

第5表 ステップワイズ重回帰分析によって得られたTesc重回帰式 (日別最高気温)

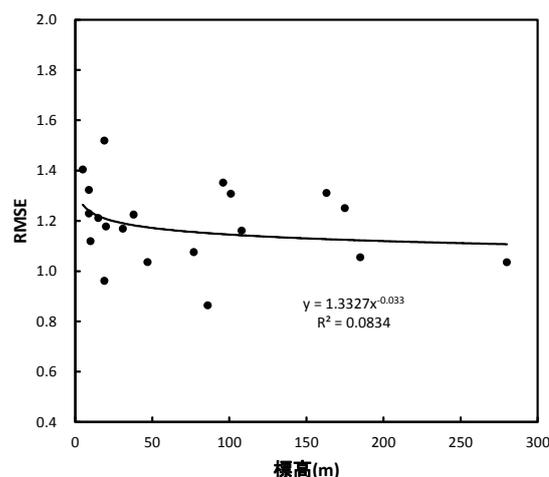
RCS の Group	重回帰式	説明変数毎の決定係数 (R ²)	重回帰式全体の決定係数 (R ²)
Group I (RCS < 1)	Tesc = 2.73537 · [EX Δ-0(9)]	[EX Δ-0(9)]: 0.4818	0.7383
	+ 5.69710 · [EX Δ+30(1)]	[EX Δ+30(1)]: 0.2565	
	- 6.84379		
Group II (1 ≤ RCS < 4)	Tesc = 2.77446 · [EX Δ-0(9)]	[EX Δ-0(9)]: 0.4286	0.7406
	- 2.16806 · [EX Δ+10(23)]	[EX Δ+10(23)]: 0.3121	
	- 0.08037		
Group III (4 ≤ RCS)	Tesc = 3.56049 · [EX Δ-0(9)]	[EX Δ-0(9)]: 0.4685	0.7338
	- 2.55130 · [EX Δ+10(23)]	[EX Δ+10(23)]: 0.2653	
	- 0.23694		

第6表 ステップワイズ重回帰分析によって得られたTesc重回帰式 (日別最低気温)

RCS の Group	重回帰式	説明変数毎の決定係数 (R ²)	重回帰式全体の決定係数 (R ²)
Group I (RCS < 1)	Tesc = 0.00589 · [X]	[X]: 0.1803	0.8318
	- 0.00369 · [Y]	[Y]: 0.1231	
	+ 0.07078 · [SL(1)]	[SL(1)]: 0.5283	
	- 1.0360		
Group II (1 ≤ RCS < 4)	Tesc = 0.00494 · [X]	[X]: 0.1444	0.7880
	+ 1.82937 · [EX Δ-20(60)]	[EX Δ-20(60)]: 0.6436	
	- 1.62044		
Group III (4 ≤ RCS)	Tesc = 0.00692 · [X]	[X]: 0.0857	0.8174
	+ 3.60728 · [EX Δ-20(60)]	[EX Δ-20(60)]: 0.7317	
	- 2.56778		



第10図 標高とRMSEの関係（日別最高気温）
※補正後



第11図 標高とRMSEの関係（日別最低気温）
※補正後

2 50mメッシュ推定気温表示ファイルの作成

前述の推定手法を用いることにより、任意の年月日の推定気温分布や任意のメッシュの推定気温経過を簡単に閲覧できるよう、汎用性の高いMicrosoft Excel2010で複数のファイルを作成した（第7表）。RCSの算出基礎となる全球数値予報モデルGPV(GSM)データは2009年3月2日以降のみ公開されているため、以下に紹介するファイル群における推定気温表示期間も同年月日以降である。

なお、主なファイルについては、2013年10月より富士通株と共同で試験的に公開しているブルークラウドサイトβ版²からダウンロードできるようにした。

² ウンシュウミカン果実品質予測、ヤノネカイガラムシ初発予測などのコンテンツから成る生産者参加型の実験的ホームページ（公開期限2015年3月31日）で、2014年12月現在、地域の生産者を中心に約80名が利用している。

第7表 作成した50mメッシュ推定気温表示ファイル

ファイルの使用目的	分類項目	内容
指定した日の推定気温をマップ表示させるファイル [計4ファイル]	表示する気温	日別平均気温 日別最高気温 日別最低気温 日気温較差
任意で選択したメッシュの推定気温（年間推移） を閲覧するファイル [計16ファイル]	表示する気温	日別平均気温 日別最高気温 日別最低気温 日気温較差
	メッシュ選択方法	航空写真や地図から選択 緯度経度入力により選択
	メッシュ選択数	1メッシュ複数年比較 10メッシュ単年比較

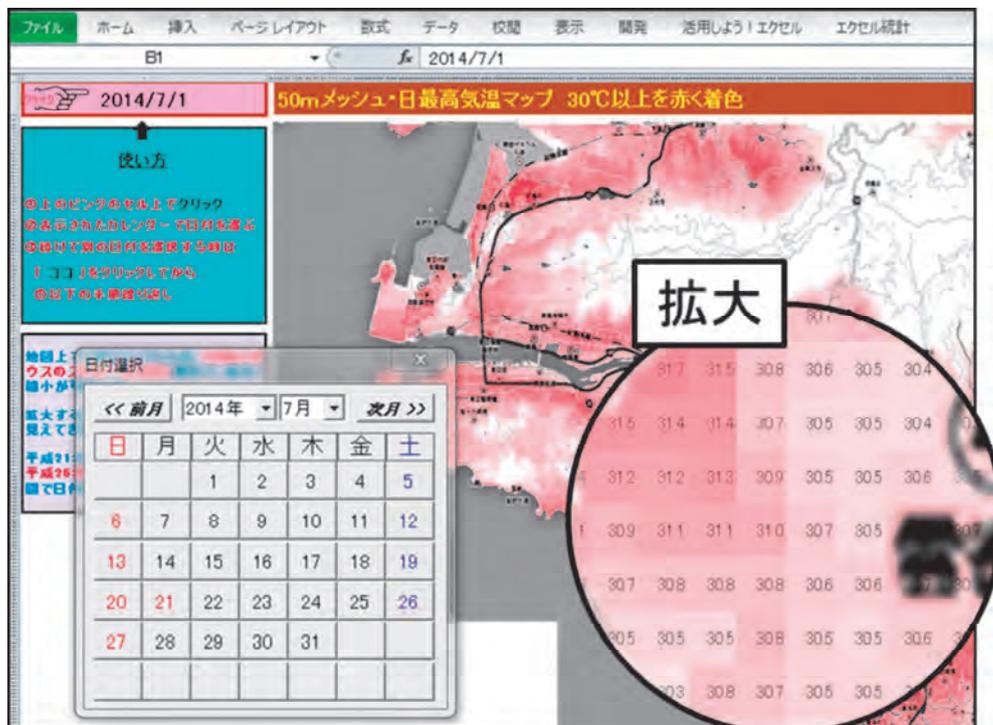
1) マップ表示ファイル（推定気温の「見える化」を成すファイル）

有田地方約96,000個の全メッシュについて、Tesc 推定に必要な地形因子や重回帰式等で算出された推定気温の計算結果を整理し、ワークシート上に縦一列に配列した（第8表）。そして、全メッシュの推定気温を Excel の関数機能を使って実際の位置関係に配列した後、Excel の条件付き書式機能で色分け表示させた。さらに、有田地方の航空写真を白黒化・透過処理した画像をワークシートに貼り付けた後、水準点や駅等のランドマークを目安にしつつ、画像・セルのサイズを調整することで正確に位置合わせを行った。

このようにして作成したファイルは約15MB で、調べたい日付をカレンダーから選択するだけでその日の50m メッシュ推定気温がマップ表示される（第12図）。

第8表 マップ表示ファイルの算出基礎データ（日別平均気温）

項目	説明
全メッシュの位置情報	行番号, 列番号, 気圧 (標高から求められる仮想標準気圧)
全メッシュの Tesc 推定に用いる地形因子	緯度[X], 傾斜度[SL(39)], 開放度 [EX Δ-30(11)] [EX Δ-30(9)]
川辺アメダスの日別平均温位	2009年3月2日以降のデータを時系列に並べた.
川辺アメダスの RCS	2009年3月2日以降のデータを時系列に並べた.
全メッシュの推定 Tssc	$Tssc = 0.0434 \cdot RCS - 0.1441$ で求めた.
全メッシュの推定 Tesc	第3表の重回帰式で求めた.
全メッシュの推定 $\Delta \theta$	$\Delta \theta = Tssc + Tesc$ で求めた.
全メッシュの推定温位	川辺アメダスの日別平均温位 + $\Delta \theta$ で求めた.
全メッシュの推定気温	全メッシュの推定温位を標準気圧で気温に変換した後, 補正した.



第12図 50mメッシュ気温表示ファイルの例（日別最高気温）

2009年3月～直近について、カレンダーで選択した日の推定気温がメッシュで表示される。

2) 任意メッシュ推定気温閲覧ファイル（推定気温の「使える化」を成すファイル）

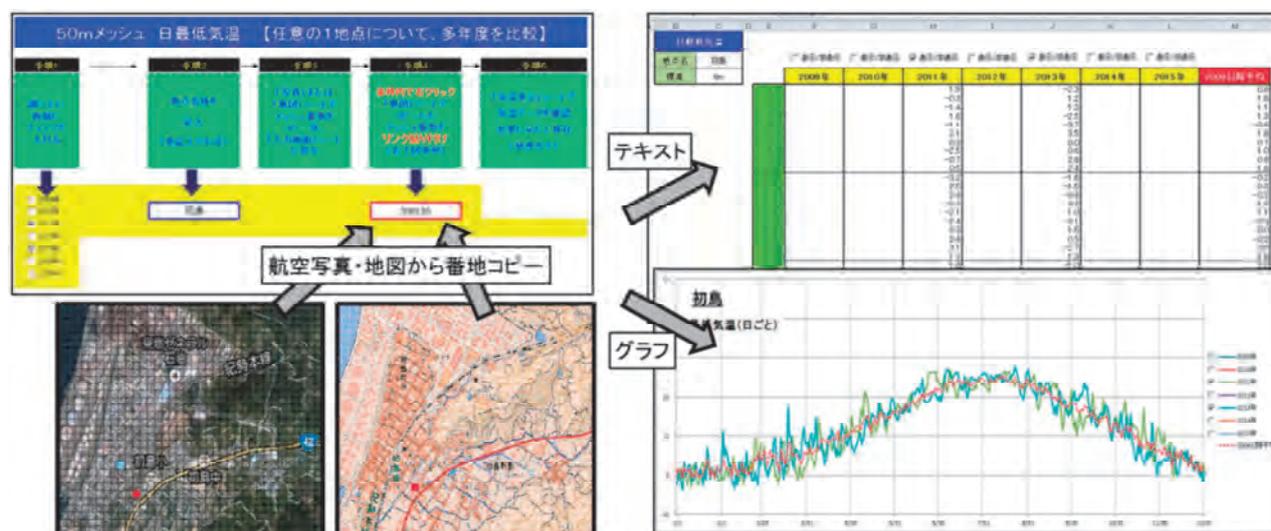
任意で選択したメッシュの気温経過を閲覧できるファイルを作成した。なお、推定気温の計算手順は先述のマップ表示ファイルに準じるため解説を割愛し、任意メッシュ選択機能やデータ表示機能に関連する事項のみ記述する。

ファイルは入力画面シート、メッシュを選択する写真シート・地図シート、推定気温をテキストで表示するシート、グラフで表示するシート等で構成される。このうち、写真シート・地図シートには有田地方の航空写真、あるいは地図を背景画像として取り込み、各セルが50m四方となるようにセルおよび背景画像のサイズを調整した。また、全てのセルにメッシュ番号をリンクさせた。

操作者はまず、入力シート上で調べたい西暦（2009年～2014年の間）をチェックボックスで選び、調べたい地点の名称を指定のセルに入力する。そして、写真シート、または地図シートでメッシュを選んでコピー操作を行うことにより、パソコンのクリップボードにメッシュ番号を記憶させ、再び入力シートに戻って指定されたセルにメッシュ番号を貼り付ける。

以上の操作の後、気温表示シートやグラフ表示シートを開くと、選択したメッシュの標高や年間の推定気温経過、および2009～2014年の平均推定気温が表示される。また、日別表示だけでなく旬別で表示するシートも作成した（第13図）。

なお、任意メッシュ推定気温閲覧ファイルとしてはこの他に、10地点まで任意でメッシュを選択し、場所による気温経過の違いを比較できるファイルや、緯度・経度を直接入力することでメッシュを選択できるファイルも作成した。地図や写真からメッシュを選択するファイルの場合、ファイルサイズは約30MBになるが、緯度・経度から選択するタイプでは約8MBに収まった。



第13図 任意メッシュ推定気温閲覧ファイルの例（日別最低気温）

メッシュの番地を「地図・航空写真シート」から「入力シート」にコピーペーストすると、「表示シート」に該当メッシュの推定気温がテキストやグラフで表示される。上図は日別表示だが、月旬別に表示させることもできる。

また、緯度・経度を入力してメッシュを選択できるファイルや、複数メッシュ（10メッシュまで）を同時に選択し、推定気温を比較できるファイルも作成した。

3 本技術の利用（現状と可能性）

1) 最低気温出現率マップ

推定最低気温マップ表示ファイルの派生型として、指定の気温以下に下がった日数が、任意で選んだ月旬の何%であったのかをマップ表示させるファイルを作成した。「いつ頃、どの地域で、どれくらい冷え込んだのか」を視覚で捉えることができるので、複数年のデータを蓄積することにより、凍霜害危険度の地域による傾向把握や、低温が生育阻害要因となる作物の適・不適地判定等に役立てられる可能性がある。

2) 開花日予測マップ

ウンシュウミカンの開花日を気温など気象経過から予測する手法については、金野・杉原（1986）が提唱した温度変換日数法を活用した研究成果が多く報告されている（矢羽田ら，1995；小野，1997；林田ら，1998；緒方ら，2001；緒方ら，2006）。このような手法では比較的高精度で予測できるものの、計算には特殊なプログラムを要する。

一方、鯨ら（2013）は和歌山県果樹試験場における過去の生育調査結果と気象観測データから、特定期間の日別平均気温の旬別平均値と開花始期・開花盛期との間に相関があることを確認している（第9表）。和歌山県果樹試験場は有田地方のほぼ中央に位置していることから、今回のように対象が有田地方に限定されているのであれば、第9表の重回帰式を使って50m メッシュ推定技術との組み合わせを速やかに検証できると判断した。

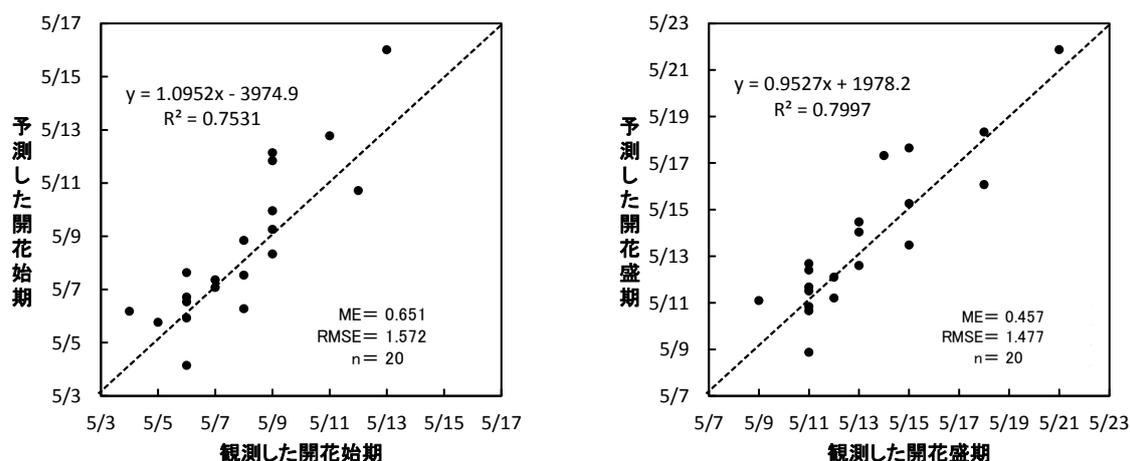
第9表 ‘興津早生’ における冬～春の気温経過と開花始期の関係（和果試1985～2013）

開花始期(1/1を1とした日数) を目的変数(Y)とした重回帰式	説明変数	単相関係数	標準偏回帰係数	有意性 (%)
$Y = -0.6798 \cdot [X_1]$	[X ₁]:2月下旬の平均気温	-0.362	-0.324	**
$-1.3746 \cdot [X_2]$	[X ₂]:3月下旬の平均気温	-0.426	-0.380	**
$-1.9869 \cdot [X_3]$	[X ₃]:4月上旬の平均気温	-0.663	-0.515	**
$-0.9529 \cdot [X_4]$	[X ₄]:4月中旬の平均気温	-0.550	-0.342	**
+185.2928				
(決定係数 $R^2=0.809$)				
有意性 $p<0.01$				

※開花盛期も同様の説明変数が選ばれ、決定係数は0.734 ($p<0.01$) であった。

全メッシュの推定日別平均気温を使って、2014年4月20日時点で予測した開花始期・開花盛期をマップ表示するファイルを作成し、先述のフルツクラウドサイトβ版で試験的に公開した。また、第1表に示した定点において実際に開花始期・開花盛期を観測し、予測精度を検証したところ、概ね誤差±2日以内で予測できていた（第14図）。

およその地域傾向をマップ表示することが目的であればこの手法が簡便であるが、より高精度でピンポイントの情報を発信するには誤差の年次変動等について検証が不足している。これまでに報告されている他の予測手法との組み合わせも含め、検証を継続する必要がある。



第14図 50mメッシュ推定気温に基づく開花始期および開花盛期予測の精度 (2014)

3) 今後望まれる利用拡大

気象経過から種々の予測を行う場合、気温に加えて湿度や降水量といった気象要因を含めることで精度良く予測できるケースも多く存在する。今後、生理障害・病害・虫害の発生危険度予測や成熟期予測という風に活用の幅を広げていくには、独立行政法人農業・食品産業技術総合研究機構中央農業総合研究センターが公表している1kmメッシュ農業気象データ（大野，2014）との組合せについても検討する必要がある。

また、ウンシュウミカンに限らず、他の果樹や作物でも気象経過から生育を予測するための手法が数多く研究されている。果樹では、リンゴ（及川・菊地，1997）、ニホングリ（門脇ら，2011）、モモ・ブドウ（永井ら，2010）、カキ（伊藤ら，2007）、ニホンナシ（伊藤・市ノ木山，2005；戸谷・川瀬，2013）といった多くの樹種で気温と生育の関係が深いことが報告されている。果樹以外でも、水稻（市原ら，2013）、ダイズ（大江ら，2007）、コムギ（大江ら，2006）、トマト（鈴木ら，2011）、チャ（近藤，2004）等で報告例があり、すでに水稻では50mメッシュ推定日別平均気温をもとにして、‘山田錦’の移植期をピンポイントで推定・表示する対話型システムが開発されている（加藤ら，2013）。したがって、今後様々な作物の精細な生育予測情報の発信に向けて、50mメッシュ気温推定技術が貢献できる可能性は十分にある。

摘 要

- 1 近隣アメダスポイントの観測気温に連動して50mメッシュ気温を推定する手法（植山，2008a, b；Ueyama，2013）の、和歌山県有田地方への適用性を実証した。
- 2 定点（20箇所）の地形因子と観測気温（約11ヶ月間）、川辺アメダス気温、川辺アメダス975hPa面推定気温等をもとに、推定地点要素（Tesc）を特定の地形因子で説明する重回帰式を放射冷却強度（RCS）別に作成した。なお、植山（2008a, b）によると、放射冷却の強い時期と弱い時期を含む半年程度の現地観測データがあれば推定モデルは開発でき、観測地点数が統計的に適切であれば50mメッシュ気温図の作成が可能であるとされている。
- 3 得られた重回帰式により定点（20箇所）の地形因子から求めた推定気温と観測気温との差を検証した。2乗平均平方根誤差（RMSE）から判断すると、有田地方においては日別平均気温で約 $\pm 1^{\circ}\text{C}$

以内、日別最高気温と日別最低気温で約±1.5°C以内の誤差で推定できるものと思われた。

4 この推定技術を活用し、汎用性の高い Microsoft Excel2010を使って「近隣アメダス観測値に連動する有田地方50m メッシュ気温推定図」や、利用者が独自で任意のメッシュを選択し、該当メッシュの気温データを取り出せるファイルを作成した。

5 いつ頃、どの地域でどれくらい冷え込んだのかを視覚で確認できるように、最低気温が指定した気温以下であった日数が、任意で選んだ月旬の何%であったのかをマップ表示させるファイルを作成した。

6 和歌山県果樹試験場における過去の生育調査結果と気象観測データをもとに、特定期間の日別平均気温の旬別平均値で開花始期・開花盛期を予測する重回帰式を求めた。この式に50m メッシュ推定気温を代入することにより、開花始期・開花盛期の予測日を50m メッシュで表示させた。なお、2014年に定点（20箇所）で確認した予測精度は±2日以内であった。

謝 辞

本研究を実施するにあたり、現地ほ場での気温観測については20名のウンシュウミカン生産者の方々にお世話になるとともに、観測装置の設置では和歌山県有田振興局農業振興課（当時）の岡本功一氏にお手伝いいただいた。また、研究手法については（独）農研機構近畿中国四国農業研究センターの植山秀紀氏よりご指導いただき、マップ表示ファイル等のWeb公開に際しては富士通㈱の川井大輔氏、長田由美子氏に共同研究を通じてご尽力いただいた。皆様に深く感謝の意を表す。

なお、重回帰分析は農林水産省農林水産技術会議が提供する科学技術計算システム（SAS）により実施するとともに、GPV データは農林水産省農林水産技術会議の農林水産基礎数値データベースより取得した。

引用文献

- 林田誠剛・岸野 功・森田 昭. 1998. ウンシュウミカンの生育予測システムの開発. 長崎果樹試験報. 5 : 1-9.
- Hideki Ueyama. 2013. Classification of recent studies by method type for surface air temperature map development and estimation of daily temperature using a radiative cooling scale. J. Agric. Meteorol. 69 (3) : 215-227.
- 市原泰博・舩場 貢・古賀潤弥・土井謙児・大脇淳一. 2013. 長崎県下の水稲作期策定に関する研究（第8報）温暖化に対応した主要品種の DVR 生育予測式. 日作九支報. 79 : 4-7.
- 伊藤 寿・市ノ木山浩道. 2005. ニホンナシ ‘幸水’の生育相および果実品質の年次変動と気象要因との関係. 園学研. 4 (3) : 329-333.
- 伊藤 寿・西川 豊・前川哲男・輪田健二. 2007. ハウスおよび露地で生育したカキ ‘前川次郎’の果実肥大と気温との関係. 園学研. 6 (1) : 71-76.
- 門脇伸幸・多比良和生・杉浦俊彦. 2011. ニホングリにおける雌花開花後の気温が果実の成熟に及ぼす影響と収穫始期予測法について. 園学研. 10 (4) : 513-519.
- 加藤雅宣・川向 肇・須藤健一・植山秀紀・小河拓也・池上 勝・藤本啓之・宮脇武弘・矢野義昭

- ・平川嘉一郎・土田利一・佐之瀬敏章. 2013. 水稻移植期予測システムの開発と酒米産地での情報活用. 農業情報学会シンポジウム講演要旨. 110-111.
- 近藤知義. 2004. チャ主要品種‘やぶきた’における一番茶新芽の生育と積算気温との関係. 茶業研報. 97 : 39-47.
- 金野隆光・杉原 進. 1986. 土壌生物活性への温度影響の指標化と土壌有機物分解への応用. 農環研報. 1 : 51-68.
- 鯨 幸和・池田晴佳. 2014. 日別平均気温の積算に基づくウンシュウミカンの開花期予測. 園学研 13別1 : 257.
- 栗原弘一・村上律雄. 1982. 広島県メッシュ気候図 (1) 1km²メッシュ平均気温の推定. 研究時報. 34 (1) : 17-28.
- 永井真弓・安井淑彦・藤井雄一郎・倉藤祐輝・尾頃敦郎・平松竜一・岸 弘明. 2010. 岡山県赤磐市における気温の年次変化とモモ・ブドウの生育との関係. 近中四農研報. 16 : 75-80.
- 日塔明広・高橋正道・佐々木 俊彦. 1992. 1km メッシュ単位の日別推定気温を利用した生育モデルによる水稻出穂期予測. 東北農研. 45 : 43-44.
- 大江和泉・齋藤邦行・黒田俊郎. 2006. 気温上昇がコムギの生育収量, 乾物生産におよぼす影響. 岡山大農学報. 95 : 57-62.
- 大江和泉・上郷玲子・城さやか・倉橋崇之・齋藤邦行・黒田俊郎. 2007. 気温上昇がダイズの開花結莢, 乾物生産と子実収量におよぼす影響. 日作学紀事. 76 (3) : 433-444.
- 緒方達志・高原利雄・藤澤弘幸. 2001. ウンシュウミカンの開花期予測における温度反応特性の評価. 九農研. 63 : 203.
- 緒方達志・高原利雄・村松 昇・藤澤弘幸. 2006. ウンシュウミカンの発芽・開花における感温特性の実験による評価. 果樹研報. 5 : 71-78.
- 大野宏之. 2014. メッシュ農業気象データ利用マニュアル. 中央農研研究資料. 9 : 1-77.
- 及川克徳・菊地秀喜. 1997. 日射量と気温によるリンゴの開花予測. 東北農研. 50 : 139-140.
- 小野祐幸. 1998. 温度変換日数法によるウンシュウミカンの広域的開花予測. 九農研. 60 : 205.
- 柴田 智・金 和裕・田口淳一. 2004. 秋田県におけるメッシュ気象情報を利用した水稻発育ステージの予測精度. 東北農研. 57 : 45-46.
- 鈴木克己・佐々木英和・安場健一郎・河崎 靖・高市益行. 2011. 生育温度が心止まり性トマト‘にたきこま’の収穫期間に及ぼす影響. 野茶研報. 10 : 115-122.
- 高山 成・早川誠而・河村宏明. 1999. 霜害発生予察のための50m メッシュ地形情報を用いた局地的冷却現象. 農業気象. 55 (3) : 235-246.
- 高山 成・早川誠而・小野本敏・辻 多聞. 2002. 九州における冬季の夜間最低気温の1km メッシュ推定値と実測値の関係. 農業気象. 58 (2) : 79-92.
- 戸谷智明・川瀬信三. 2013. 生育予測モデルに基づくニホンナシ開花予測システムの開発. 千葉農林総研報. 5 : 11-17.
- 植山秀紀. 2008a. 中山間地域農業におけるメッシュ気象図の利用. 近中四農研報. 7 : 145-207.
- 植山秀紀. 2008b. アメダスに準じた50m メッシュ月平均気温平年値図の作成法とその利用. システム農学. 24 (3) : 191-198.
- 矢羽田二郎・大庭義材・桑原 実. 1995. 温度変換日数法 (DTS) 法によるウンシュウミカンの満開期予測と精度. 福岡農総試研報. 14 : 125-128.