

## 科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 27 年 6 月 12 日現在

機関番号：82111

研究種目：基盤研究(C)

研究期間：2012～2014

課題番号：24580376

研究課題名(和文) 数値気象モデルによる柑橘園地の局所蒸発散量推定法の開発

研究課題名(英文) Developing of estimation method of precise evapotranspiration using a numerical weather model at citrus orchards

研究代表者

植山 秀紀 (Ueyama, Hideki)

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傾斜地園芸研究領域・主任研究員

研究者番号：50370630

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,500,000円

研究成果の概要(和文)：柑橘の水分ストレス管理に重要な情報となる、園地からの蒸発散量を精密に推定する手法を開発した。

手法の開発に際し、土壌水分との関係を検証した結果、カンキツからの蒸散は、かなり土壌が乾燥した場合(PF2.0以上)まで変化しないことを明らかにし、糖度上昇のために強度の水分ストレスを与える時期までは、樹からの蒸散を推定する上で土壌水分は無視できると考えられた。また、FAOのガイドラインに示される作物係数を検証した結果、気象条件に応じて係数を大きく変える必要がないことが示唆された。

以上の結果に基づき、数値気象モデルを用いて、大三島を対象に、20年間の10m解像度の日蒸発散量データを作成した。

研究成果の概要(英文)：It has been developed a method to estimate precise evapotranspiration at citrus orchards; the information is an essential information to manage a water stress of citrus trees regarding a production of high quality fruits.

In this study, it has been clear that transpiration rates of citrus trees are stable until soil moisture reaches an intense dry condition, over PF2.0. This result indicates that soil moisture in prediction of transpiration rate of citrus trees is able to ignore. Then it has been suggested that crop coefficients in FAO-56: FAO Irrigation and Drainage Paper No. 56 are stable even if meteorological conditions vary. Finally grid data of daily evapotranspiration with 10m resolution for twenty years (1995 - 2014) have been developed using numerical weather prediction model, TERC-RAMS in Ohmishima island.

研究分野：農業気象

キーワード：蒸発散 数値気象モデル カンキツ 高解像メッシュ 精密気象情報 水分ストレス

## 1. 研究開始当初の背景

将来の気候変動にともなう必要水量の変化や気象変動による水不足への対応策を検討する上で、農耕地からの蒸発散量を正確に評価することは、今後ますます重要となる。特に柑橘は、地中海沿岸部や西日本の半乾燥地域の重要な農作物であり、柑橘園地からの水収支は、世界的な関心事である。

世界的に広く用いられている、園地からの蒸発散量推定手法として、FAO の推奨する、FAO-56 法があるが、日本の柑橘園地にこの手法を適用するには、2 つの問題がある。まず1 つ目は、急傾斜地等の多様な地形に存在する園地の気象は、わずかな距離でも大きく異なる場合があり、園地の気象を正確に評価することが困難であること。そして2 つ目は、基準蒸発散量に作物係数を乗じる手法である FAO-56 法は、樹の状態及び気象条件を考慮することなしに、一定の作物係数を使用するが、それが妥当か不明なことである。特にウンシュウミカン等の栽培では、ある時期に強度の水分ストレスを付与して、糖度を上昇させる必要があり、多様な気象条件下にある樹の状態は、大きく異なる可能性がある。

このため、多様な樹の状態及び気象環境に対応可能で、傾斜地のような多様な地形に存在する柑橘園地で適用できる、蒸発散量推定技術の開発が必要である。

## 2. 研究の目的

本研究では、数値気象モデルを用いた、簡便で精度の高い局所蒸発散量推定法を開発するため、2 つの研究を実施した。1 つ目は、アメダス等の近隣にある既存の気象観測値網を利用して、柑橘園地の気象を推定する手法の開発である。そして2 つ目は、基準蒸発散量から実蒸発散量を求めるために必要な作物係数が、カンキツ樹周辺の気象環境、土壌環境、及び水分ストレスとどのような関係にあるかを解明することである。

## 3. 研究の方法

### (1) 柑橘園地の気象値推定法の開発

蒸発散量の計算に必要な気温データは、2 点間の気温地点間差を放射冷却強度指標 (RCS) を変数とする 1 次式でモデル化する、Ueyama(2013)の手法を応用して開発する。本手法の妥当性は、広島県尾道市瀬戸田町高根 (高根島) の 20 地点で、10 か月間気温観測を実施し、実証を行った。また日射量は、Ueyama(2005)の手法によりアメダス観測値から推定される、直達、散乱日射量から計算するが、Ueyama(2005)の手法は、日照時間がゼロとなる曇天日などでは精度が悪くなるという欠点がある。そこで、この欠点を克服する新しい日射量推定法を開発する。

FAO のガイドラインにおいて、基準蒸発散量の推定法として推奨されているペンマンモンティース法 (PM 法) は、風速データを必要とする。しかし、任意地点の風速データの

取得には数値気象モデルによる高解像シミュレーションが必要であり、現実的ではない。そこで、風速を必要としない、プライスリーテイル法 (PT 法) による基準蒸発散量計算の可能性を、風速データの得られるアメダスポイント (生口島) において検証した。この時のデータは、蒸発散量の多い夏 (7~9 月) の 4 年間 (2009~2012) の観測値を用いた。

### (2) 作物係数と土壌水分及び水分ストレスとの関係解明

大気環境が同じ条件に保たれた人工気象室内 (気温 28、相対湿度 50%) において、樹液流を測定 (3 年生宮川早生) した。そして、水分ストレスと樹液流との関係から、作物係数と、土壌水分及び水分ストレスとの関係について検証した。このとき、蒸散量は樹液流量に等しいと仮定し、樹液流計 (DYNAMAX, FLOW32-1K) で求めた。また、水分ストレスは、プレッシャーチャンバー法で測定した最大水ポテンシャル (max) を指標とした。

### (3) 作物係数と気象変化との関係解明

作物係数と気象条件との関係を明らかにするため、2013 年 8 月から 1 年間、農研機構四国研究センター内において、露地のウンシュウミカン樹 (青島) の蒸散量および気象の観測を行った。蒸散量は、樹液流量計 (SFM, ICT) で測定し、気象観測項目は、気温、湿度、放射収支、及び風向・風速とした。

### (4) 基準蒸発散量の高解像メッシュデータの作成

開発した技術の実用性を検証するため、愛媛県今治市の大三島において、20 年間 (1995-2014) における基準蒸発散量の 10m メッシュデータを作成した。このときの基準蒸発散量は、PT 法を用いて計算した。PT 法の計算に必要な純放射量は、FAO のガイドラインに従い計算した。ただし、気温及び日射量については、Ueyama(2005, 2013)による手法を用いて計算した。

気温は、現地観測と RCS 値とから作成した、アメダスポイント (大三島) との気温地点間差推定モデルで計算された、22 地点の気温を地形因子解析法によりメッシュ化することで求めた。このとき、日最高・最低気温の推定に必要な RCS 値は、数値気象モデル (TERC-RAMS) の計算値から取得した。このモデル計算では、NCEP/NCAR の再解析データ及び NOAA の海面温度データを初期値とする、5 km グリッドのダウンスケール計算を実施した。また日射量は、アメダス観測値から推定された、直達、散乱日射量の特別値から求めた。そして、気温及び日射量のメッシュ化に必要な 10m 解像度の地形データは、国土地理院の基盤数値情報を用いた。

#### 4. 研究成果

##### (1) 柑橘園地の気象値推定法の開発

高根島の近隣アメダスポイント（生口島）における RCS 値を気象庁のメソ数値予報モデルを用いて決定し、RCS 値を変数とするアメダスポイントとの気温地点間差推定モデルを作成した。そして、各観測地点における日平均気温及び日最低気温の推定値と観測値を比較したところ、表 1 のように、推定誤差（RMSE: Root Mean Square Error）は、1 以下、そして平均誤差（ME: Mean Error）は、ほぼゼロとなり、本手法は有効と考えられた。また、基準蒸発散量の計算には水蒸気圧データが必要であるが、本研究では、FAO のガイドラインに則り、日最低気温における飽和水蒸気圧を日水蒸気圧データとして扱っている。そしてその妥当性を農研機構四国研究センターにおける、2012 年 8 月の気象観測データで検証したところ、図 1 のように、最低気温による水蒸気圧推定値は有効であると考えられた。

表 1 . 日平均気温及び日最低気温の推定誤差

	RMSE(K)	ME(K)
日平均気温	0.42	0.0047
日最低気温	0.98	-0.0045

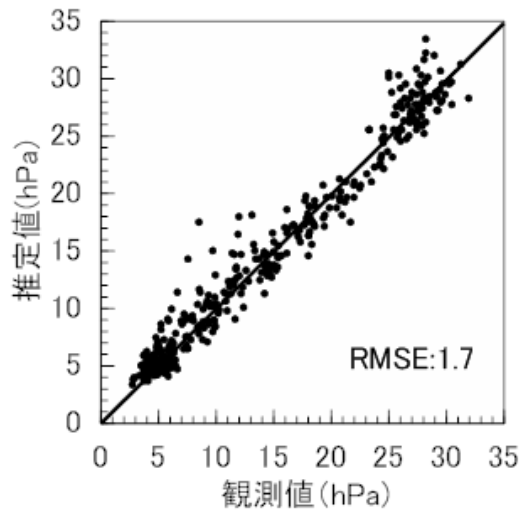


図 1. 日水蒸気圧の観測値と推定値

Ueyama(2005)の手法による直達・散乱日射量時別値推定法は、日照時間がゼロの日に散乱日射量が過大に推定されることから、日照時間がゼロの時は、散乱日射量を直接推定するモデル式（式 1）を用いて推定することとした。モデルの各係数と定数は、潮岬気象台の観測値(1997～2006年)から、最小二乗法を用いて算出した。

式 1 .

散乱日射量の無次元指標（ $K_s$ ）において、

$$K_s = A \cdot R + B \cdot \sin h + C \cdot Ro + D$$

ここで、 $R$ : 降水量、 $h$ : 太陽高度角、 $Ro$ : 大気外日射量である。

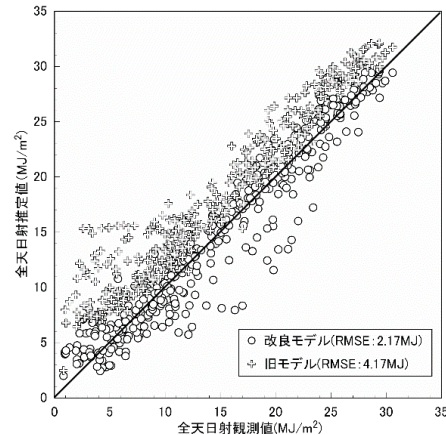


図 2 . 蒸散量及び基準蒸発散量

新たに開発した日射量推定法は、従来の手法と比較して、日積算日射量の推定精度を改善した。（図 2）

アメダスポイントにおいて、PT 法と PM 法による基準蒸発散量を検証した結果、図 3 のような結果が得られた。4 年間の誤差（RMSE）は、蒸発散量が多い日ほど大きくなり、10% 程度の誤差が生じた。しかしながら、傾向が大きく異なってはいないこと、また、PT 法と PM 法がほぼ同様であったとの報告（Ellen et al. 2009）もあることから、作物係数を再検討する必要はあるが、実用性に問題はないと考えられた。

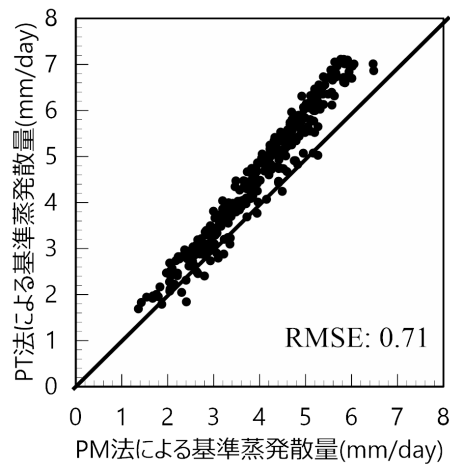


図 3 . PT 法と PM 法による基準蒸発散量

##### (2) 作物係数と土壌水分及び水分ストレスとの関係解明

人工気象室における調査の結果、糖の上昇に有効な水分ストレス（ $\max 0.6$ ）に達するまでは、大きな蒸散低下はみられなかった（図 3）。このことから、糖蓄積期までは、樹の生理要因による蒸散の変化については

考慮する必要がないと考えられた。

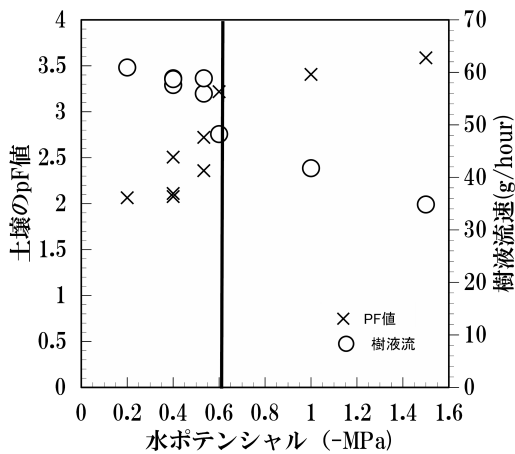


図3．水分ストレスと樹液流速との関係

(3) 作物係数と気象変化との関係解明

基準蒸発散量と実蒸発散量の年間の変化を見ると、図4のように、ウンシュウミカン樹の蒸散は、開花期となる5月頃より活発になった。また、実蒸散量を決定するための作物係数( $K_{cb}$ )は、飽差との関係が認めらるが、乾燥状態が緩和されて以降はほぼ一定となった(図5)。飽差は基準蒸発散量と密接な関係があることから、作物係数を一定としても蒸散量の推定は可能考えられた。

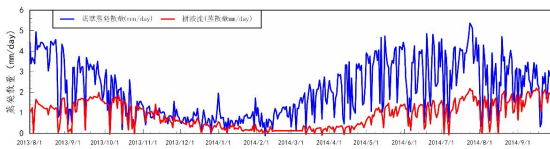


図4．蒸散量及び基準蒸発散量

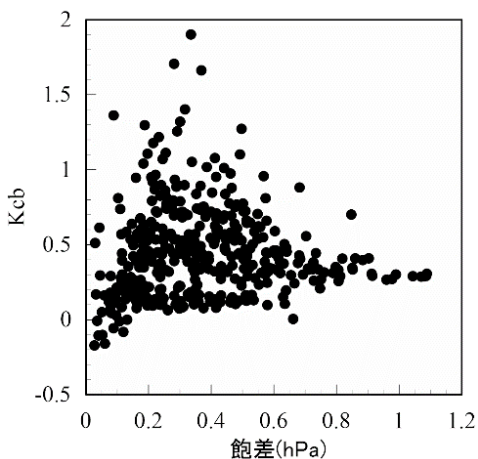


図5．飽差と作物係数 ( $K_{cb}$ ) との関係

(4) 基準蒸発散量の高解像メッシュデータの作成

愛媛県今治市大三島における 22 地点の

現地気温観測値とアメダス観測値(大三島)とから、日最高気温、日最低気温、日水蒸気圧、日積算日射量を推定し、FAO のガイドラインに則って、20 年間における 10m 解像度の基準蒸発散量データを開発した。一例として、2014 年においてもっとも気温の高かった、7 月 25 日の基準蒸発散量データを示す(図6)。

2014年7月25日の基準蒸発散量  
(アメダス最高気温34°C)

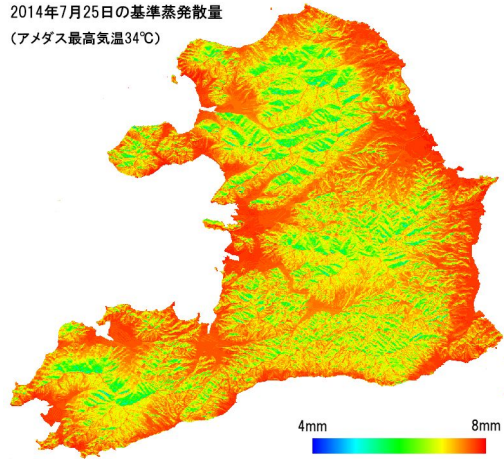


図6．10mメッシュ基準蒸発散量図

<引用文献>

Ellen M. Douglas, Jennifer M. Jacobs, David M. Summer, Ram L. Ray, A comparison of models for estimating potential evapotranspiration for Florida land cover types. J Hyrology 373, 2009, 366-376.

Ueyama H, Estimating Hourly Direct and Diffuse Solar Radiation for the Compilation of Solar Radiation Distribution Maps. J Agric Meteorol 61(4), 2005, 207-216.

Ueyama H, Classification of recent studies by method type for surface air temperature map development and estimation of daily temperature using radiative cooling scale. J Agric Meteorol 69(3), 2013, 215-227.

5．主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文](計0件)

[学会発表](計5件)

H.Ueyama, N.Hoshi, H.Nesumi, Advanced support system based on precise meteorological data for citrus orchards, Int. conf. Agriculture and Climate Change Adapting Crops to increased Uncertainty, 2015年2月16-17日、NH

Grand Hotel Krasnapolsky ( Amsterdam  
(Netherlands) )

植山秀紀、星典宏、根角博久、アメダスによる直達・散乱日射量時別値の改良、2013年度日本農業気象学会中国四国支部大会、2014年12月5日、山口大学(山口県山口市)

植山秀紀、星典宏、根角博久、灌水自動化を目的とした精密気象情報に基づくミカン樹の蒸散量推定、日本農業気象学会2014年全国大会、2014年3月20日、北海道大学(北海道札幌市)

星典宏、植山秀紀、根角博久、吸湿素材を用いた葉の蒸散量の検討-従来の測定機器との比較-、日本農業気象学会2014年全国大会、2014年3月20日、北海道大学(北海道札幌市)

植山秀紀、星典宏、井上久義、根角博久、気象庁数値予報モデルによる傾斜果樹園地の気温予測、日本農業気象学会2013年全国大会、2013年3月29日、石川県立大学(石川県野々市市)

〔図書〕(計0件)

〔産業財産権〕

出願状況(計0件)

名称：  
発明者：  
権利者：  
種類：  
番号：  
出願年月日：  
国内外の別：

取得状況(計0件)

名称：  
発明者：  
権利者：  
種類：  
番号：  
出願年月日：  
取得年月日：  
国内外の別：

〔その他〕

ホームページ等

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

植山 秀紀 (UEYAMA, Hideki)

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・傾斜地園芸研究領域・主任研究員

研究者番号：50370630

### (2) 研究分担者

### (3) 連携研究者

星 典宏 (HOSHI, Norihiro)

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・傾斜地園芸研究領域・主任研究員

研究者番号：70414787