

平成 26 年 5 月 28 日現在

機関番号：12201

研究種目：挑戦的萌芽研究

研究期間：2012～2013

課題番号：24658198

研究課題名(和文) 蒸発散量の推定精度向上のための有効長波放射量の観測および推定式の検討

研究課題名(英文) Observation and estimate of net longwave radiation for improving evapotranspiration estimates

研究代表者

松井 宏之 (Hiroyuki, MATSUI)

宇都宮大学・農学部・教授

研究者番号：30292577

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,000,000円、(間接経費) 900,000円

研究成果の概要(和文)：蒸発散量を精度よく推定することを目指して、灌漑草地において有効長波放射量を観測し、傾向を明らかにするとともに、有効長波放射量推定式について検討した。その結果、以下のことを明らかにした。(1) 有効長波放射量は冬期に50 W/m²前後、夏期に20 W/m²前後となり、季節的に変動した。(2) 日平均地表面温度は夏期に日平均気温より高くなり、冬期に気温より低くなり、日平均気温と同値とはならないことを確認した。(3) 既存の有効長波放射量推定式に含まれる係数に気候依存性があることを示すとともに、観測結果に基づく係数の再同定が重要であることを示した。

研究成果の概要(英文)：I measured net longwave radiation on the well-irrigated grassland, reference surface, and showed the tendency of the radiation at Utsunomiya, Tochigi, JAPAN. In Addition, I examined the coefficients of net longwave radiation equation for improving the estimation accuracy of the reference evapotranspiration. As the result, I revealed the following: (1) net longwave radiation shows seasonal variation with higher radiation in winter and lower radiation in summer; (2) the well-known assumption that the daily surface temperature is equal to the daily air temperature was hard to apply throughout the year. The daily mean surface temperature of the reference surface is higher than the daily mean air temperature in summer and lower than the daily mean surface temperature in winter; (3) the coefficients of well-known net longwave radiation equations tends to be the climate dependent variables and are required to re-calibrate coefficients based on the observation data.

研究分野：農学

科研費の分科・細目：農業工学・農業土木学・農村計画学

キーワード：長波放射 蒸発散量 灌漑計画 熱収支

1. 研究開始当初の背景

広域の蒸発散量を推定するとき、わが国の畑地灌漑計画では Penman が 1948 年に提示した Penman 式が採用され、多くの国の灌漑計画では FAO が提示した Penman-Monteith 式が採用されている。これらの Penman 型蒸発散量推定式のなかで、純放射量は有効短波放射量から有効長波放射量を差し引く形で求められる。このうち、有効短波放射量については、下向き短波放射量(全天日射量)が多くの気象官署で観測され、上向き短波放射量の割合を表すアルベドがほぼ定数となることから、両者の収支より算出することができる。一方、有効長波放射量については、まず下向き長波放射量の観測地点が気象官署レベルでは館野(つくば市)のみである。さらに上向き長波放射量に関して、Penman 型蒸発散量推定式では「湿潤な土壤に刈り揃えられた植生がある状態」(地表面条件)での観測が前提となっており、この条件を常時満たす観測点は国内および周辺国にはない。このため、有効長波放射量の推定には、ほぼ同一の式形で係数が異なる既存式(代表的な式として 3 つの式がある)に依拠せざるを得ない。

既存式の係数が気候条件に影響されず、世界中に適用可能であれば既存式で十分である。しかし、研究代表者は下向き長波放射量推定式の係数の検討を通じて、既存式の係数に気候依存性があることを明らかにしつつあり、気候依存性が明確になれば、既存式を利用した灌漑計画、水資源計画の一部を見直す必要がある。

2. 研究の目的

本研究では、まず前述の地表面条件を満たす露場を整備し、(1)基礎データとなる上向き・下向き長波放射量を観測し、有効長波放射量の観測データの蓄積を図る。次に、観測結果に基づき、既存式を対象として(2)最適な係数を導出するとともに、(3)係数の気候依存性について検討する。これと並行して、既存式の式形を前提とせず、(4)高精度で実用的な有効長波放射量推定式について検討する。

3. 研究の方法

(1)放射フラックスの観測

灌漑あり・植生あり(露場1)、灌漑なし・植生なし(露場2)、灌漑なし・植生あり(露場3)の計3露場を整備し、Penman 型蒸発散量推定式で前提となっている「湿潤な土壤に刈り揃えられた植生がある状態」(地表面条件)での上向き長波放射量を観測する。

この露場1では、上述の地表面条件を満たすため、多孔管を用いた灌漑を中断なく行い、ミレット(暖候期)およびエンバク(寒候期)を栽培する。その直上に、高精度の赤外放射計を設置し、データロガーを用いて上向き長波放射量を連続観測する。同時に、露場2および3に赤外放射計を設置し、下向き長波放

射量を連続観測する。

(2)既存式の係数の再同定

FAO や Penman により提案された既存の代表的な有効長波放射量推定式はいずれも式(1)で表される。

$$R_{nl} = \sigma \cdot T^4 \cdot (\varepsilon_{ac} - \varepsilon_s) \cdot f_{cld} \quad \text{式(1)}$$

σ : ステファンボルツマン定数, T : 気温, ε_{ac} : 大気の射出率, ε_s : 地表面の射出率, f_{cld} : 雲の影響

地表面条件が整った露場では、地表面の射出率 ε_s はほぼ定数となることを踏まえ、検討すべき係数は大気の射出率 ε_{ac} および雲の影響 f_{cld} に関わる係数とした。

係数の検討では、FAO, ASCE の係数同定法に則り、まず蒸気圧から快晴日の大気の射出率を算出する式(Brunst 式)の係数を検討する。快晴日は日照率が 90% 以下の日とし、観測結果が十分に蓄積された後に式(2)の係数 a, b を決定する。実測値に基づき係数を決定することにより、観測地点の気候条件を反映させた係数値を得ることができる。

$$\varepsilon_{ac} = a + b \sqrt{e_a} = \frac{R_{ldc}}{\sigma \cdot T^4} \quad \text{式(2)}$$

R_{ldc} : 快晴日の下向き長波放射量, a, b : 係数(パラメータ), e_a : 蒸気圧

次に、曇天日の観測データを含めて、雲の影響を表す項の係数について検討する。本研究では、雲の影響を表す項は(快晴状態の全天日射量に対する当該日の全天日射量の割合)の一次式で表すこととし、式(3)の係数 c を決定する。

$$f_{cld} = c + (1 - c) \frac{R_s}{R_{so}} \quad \text{式(3)}$$

R_s : 全天日射量, R_{so} : 快晴日の全天日射量

(3)係数の気候依存性の検討

世界中の高精度で観測された長波放射量データを収集、公開している BSRN (Baseline Surface Radiation Network) を利用し、Brunst 式の係数 a, b の気候依存性について検討する。気候依存性があれば、気候依存性を規定している気象要素について検討し、地域ごとの気候条件の違いを反映できる統一的な係数の算出法について検討する。

(4)高精度で実用的な有効長波放射量推定式の検討

既存の有効長波放射量推定式は、地表面温度と気温が同一温度であるとの前提で成立している。しかし、上向き長波放射の項では気温の 4 乗に雲の影響を表す項を乗じることによって地表面温度の補正を行っており、その前提を一貫させていない。このため、地表面温度と気温の関係を実用的な式で表し、上向き長波放射量および下向き長波放射量を現象に即した形で推定し、両者の差し引きにより有効長波放射量を推定する式の導出を試みる。

4. 研究成果

(1) 放射フラックス

観測結果

露場1において、2013年に観測した下向き・上向き長波放射量と有効長波放射量を図1に示す。7月中旬から8月上旬は植生を刈り取ったため、欠測扱いとした。

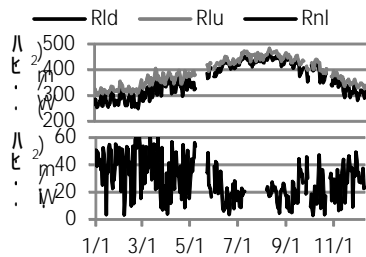


図1 下向き/上向き長波放射量(上図)と有効長波放射量(下図)

有効長波放射量は多少のばらつきはあるものの、冬期に 50 W/m^2 前後、夏期に 20 W/m^2 前後となり、季節的に変動する傾向が確認された。

地表面温度と気温の関係

露場1の観測結果から算出した日平均地表面温度 T_s を算出し、日平均気温 T_a を比較したものを図2に示す。

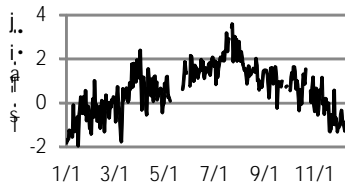


図2 気温と地表面温度の比較

地表面温度は気温と比較すると夏季には高くなり、冬季には低くなった。これは、夏期については日射による植生面の昇温が大きかったためと考えられるものの、冬期については十分な考察を得るには至らなかった。しかし、この結果は既往の有効長波放射量推定式が地表面温度を気温と同値と仮定していることに対して、再検討の余地があることを示している。

植生/灌漑が上向き長波放射量に与える影響

植生および灌漑の影響を検討するため、2013年9月~12月の露場1と露場2の上向き長波放射量の差、植生の影響を検討するため、同期間の露場2と露場3の上向き長波放射量の差を図3に示す。

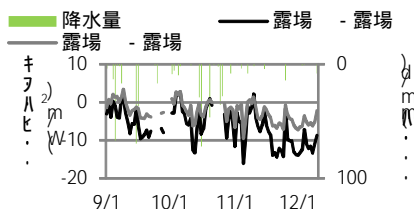


図3 上向き長波放射量の比較

上向き長波放射量は植生があると植生がない場合と比較して、9月上旬と10月上旬に

は植生の存在が上向き長波放射量が大きくすることがあるものの、他の時期には上向き長波放射量を小さくする傾向があり、灌漑が加わると上向き長波放射量をさらに小さくする傾向が認められた。また、降雨日には植生および灌漑の影響がほぼなくなることがわかった。これは地表面の違いによる影響よりも降雨の影響が大きく、降雨の温度が支配的になったためと考えられる。

(2) 既存式の係数の再同定

観測値から有効長波放射量を求め、頻用されることの多い Penman 式、FAO24 式、FAO56 式で有効長波放射量を推定すると、Penman 式では(決定係数、RMSE) = (0.78, 55 W/m^2)、FAO24 式では(0.74, 26 W/m^2)、FAO56 式では(0.83, 24 W/m^2)となった。Penman 式と FAO24 式は式の構造は同一であることから、FAO24 式と FAO56 式を対象として係数の再同定を行ったところ、FAO24 式では(決定係数、RMSE) = (0.82, 6 W/m^2)、FAO56 式では(0.88, 5 W/m^2)となった。この結果から、係数の再同定の有用性が確認することができた。

(3) 係数の気候依存性

Brunt 式の係数

快晴時の大気の射出率を表す Brunt 式の2つの係数について、観測所間で係数の関係を検討したところ、両者は相関係数-0.98となる高い相関関係があることがわかった。さらに、Brunt 式の係数は、年平均蒸気圧と相関係数-0.61の相関関係にあり、気候依存性があることが認められた。

下向き長波放射量の係数

下向き長波放射量推定式において、雲の効果を快晴時の全天日射量と実際の全天日射量の比を変数とする一次式で表すとき、その係数は年平均蒸気圧および年平均気温と相関係数 0.8 強の相関関係があり、気候依存性が認められた。

有効長波放射量推定式の係数

頻用されることが多い Penman 式や FAO56 式の有効長波放射量推定式における雲の効果を現す係数は、下向き長波放射量に雲の効果を算入する本来の機能とともに、地表面温度と気温との差を調整する機能を担っていると考えられ、物理的意味を持たないフィッティングのための係数となっていることがわかった。

(4) 実用的な有効長波放射量推定式

近藤らにより提案された下向き長波放射量推定式の係数の再同定を行うとともに、日平均気温を変数とする一次式から地表面気温を求め、その地表面温度をもとに上向き長波放射量を算出する放射収支に基づく構造とし、観測結果に対する再現性を検討した。その結果、既存の推定式の再現性を下回る結果となった。この原因としては、放射収支に基づく構造では上向き長波放射量および下向き長波放射量それぞれについて同定するのに対し、既往の有効長波放射量推定式では

有効長波放射量そのものに対して同定することができるためと考えられた。

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3件)

松井宏之, 勝元修平: Penman 式で用いられる有効長波放射量推定式の係数に関する考察, 農業農村工学会論文集, 283: 75-80, 2013

松井宏之, 大澤和敏: 地表面温度推定値を用いた関東地方における有効長波放射量推定式の比較, 応用水文, 25: 15-24, 2013

松井宏之, 大澤和敏: BSRN データを用いた下向き長波放射量推定式の検証, 土木学会論文集 B1 (水工学), 58: I_337-I_342, 2014

〔学会発表〕(計3件)

松井宏之・大澤和敏: 地表面温度推定値を用いた関東地方における有効長波放射量推定式の比較, 農業農村工学会水文水環境研究部会シンポジウム, 2012年12月

真木拓也, 松井宏之: 宇都宮における有効長波放射量の観測および推定式の検討, 農業農村工学会全国大会, 2013年9月

松井宏之, 大澤和敏: BSRN データを用いた下向き長波放射量推定式の検証, 土木学会水工学講演会, 2014年3月

〔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:

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

松井 宏之 (MATSUI Hiroyuki)

宇都宮大学・農学部・教授

研究者番号: 30292577

(2) 研究分担者

()

研究者番号:

(3) 連携研究者

()

研究者番号: