

II-409

AMeDAS日照時間データを用いた時間的に連続な日射量推定手法

パスコ システム技術センター 正員 島崎彦人
 長岡技術科学大学 正員 陸 旻皎
 長岡技術科学大学 正員 早川典生

1 はじめに

融雪や蒸発散などに伴う水・熱フラックスを時間的に連続にリアルタイムで表現するためには、その主たるエネルギー源である日射についてのデータを、時間的に連続にリアルタイムで得る必要がある。しかしながら、現在、我が国における日射量についての観測密度は低く、日本全国にわたる詳細な日射量分布を把握するためにはデータ量が不十分である。そのため、高密度に全国展開されているAMeDAS（地域気象観測システム）の日照時間データから日射量を推定する手法が、多くの研究者によって提案されてきた。

これまでに提案されてきた推定手法のほとんどは、月単位あるいは日単位の日射量を推定するものであり、時間単位の日射量については、推定された日単位の日射量をあらためて時間配分することにより算出している。この方法では、リアルタイムで融雪や蒸発散などの日周変動を表現することは困難である。

以上のような背景のもと、本研究では、AMeDASの日照時間データを用いて、時間的に連続にリアルタイムで日射量を推定する手法の開発を目指した。本論文では、本研究で開発した、日射量推定式の導出方法とその適合性について述べる。

2 日射量推定式の導出方法

推定式の導出にあたっては、全国12地点ののサンプル地点（根室、札幌、土浦、輪島、松本、米子、足摺、潮岬、福岡、鹿児島、那覇、石垣島）において、1991年1年間にわたって観測された全天日射量、直達日射量、散乱日射量および日照時間のデータを使用した。ここで、AMeDAS日照時間データとは、1時間内に直達日射量が 120 W/m^2 以上となる割合を、0～10で表したものである。

(1) 直達日射量推定式

本研究では、雲のない清澄な標準気圧の大気を通して後の直達日射量を最大直達日射量 $I_{\max}$ と定義し、これを任意の時刻に地表面に入射する直達日射量 I の指標とする。最大直達日射量 $I_{\max}$ は、大気を通過する間に日射が受ける減衰を表現したBeer-Bouguer-Lambertの法則に基づき、次式で表す。

$$I_{\max} = I_{\infty} \cdot \left(\frac{d_0}{d} \right)^2 \cdot \exp(-K_0 \cdot \tau_0 \cdot m) \quad (1)$$

$$\left(\frac{d}{d_0} \right) = 1.0 + 0.017 \cdot \cos \left[\frac{2\pi}{365} (186 - D) \right]$$

$$K_0 = 0.128 - 0.054 \cdot \log_{10} m$$

$$m = \frac{1}{\sin \alpha + 0.1500 (\alpha + 3.885)^{-1.253}}$$

$$\sin \alpha = \sin \phi \cdot \sin \delta + \cos \phi \cdot \cos \delta \cdot \cos \omega$$

ここで、 I_{∞} は太陽定数（瞬間値では 1367 W/m^2 、1時間積分値では 4.921 MJ/m^2 ）である。 d 、 d_0 は地球・太陽間距離とその年平均値である。 D は、1月1日を第1日として12月31日を第365日（あるいは第366日）とした日数である。 K_0 は標準気圧の空気分子の消散係数であり、標準気圧のレイリー大気の光学的厚さを表す。 τ_0 はFeussner・Duboisの混濁因子である。この因子は、Linkeの混濁因子（任意の大気の光学的厚さがレイリー大気の光学的厚さの何倍であるかを表す。）を標準気圧に更正したものである。 τ_0 の値には、理科年表から得られる各サンプル地点の月最小混濁度のうち、各地の年最小値について12地点で平均した値 $\tau_0 = 2.25$ を代入した。 m は大気路程、 α は太陽高度角、 ϕ は緯度、 σ は太陽の赤緯、 ω は時角である。

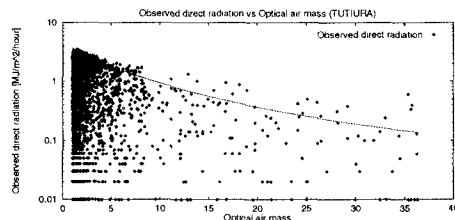


Fig.1 Relation between optical air mass and direct solar radiation

図1は、1991年、土浦において観測された直達日射量 $(d/d_0)^2 \cdot I$ （直達日射量 I に地球・太陽間距離の変化を考慮するための距離補正係数 $(d/d_0)^2$ を乗じた値）と大気路程 m との関係を示している。図中の曲線は式（1）の両辺に $(d/d_0)^2$ を乗じたものである。この曲線が観測値に対して上限値となっていることから、最大直達日射量 $I_{\max}$ が直達日射量 I の指標として妥当であることが確認できる。他のサンプル地点においても同様のことが言える。

次に、直達日射量と日照時間の関係を調べるために、各サンプル地点のデータについて、直達日射比 $I/I_{\max}$ を縦軸にとり、現在および1時間前の日照時間 N_c および N_p を横軸にとり、それぞれの値をプロットし、双線形式で曲面回帰した。双線形式は、各サンプル地点の係数の平均値を用いて、次式で表される。

$$\frac{I}{I_{\max}} = 0.0011N_p + 0.0482N_c + 0.0021N_c \cdot N_p \quad (2)$$

式(2)と1991年の土浦のデータについてのプロットを図2に示す。

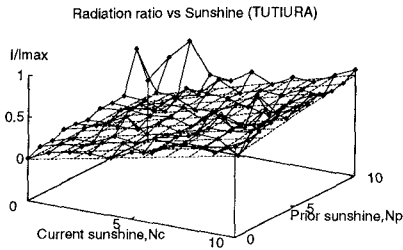


Fig.2 Relation between sunshine duration and direct radiation ratio

(2) 散乱日射量推定式

散乱日射に対して、直達日射の場合と同様なアプローチを行い、散乱日射の観測値 $(d/d_0)^2 \cdot S$ （散乱日射量 S に地球・太陽間距離の変化を考慮するための距離補正係数 $(d/d_0)^2$ を乗じた値）と大気路程 m との関係をプロットし、散乱日射量 S の上限値、最大散乱日射量 S_{max} を表す次式を得る。

$$S_{max} = 2.5 \cdot \left(\frac{d_0}{d} \right)^2 \cdot m^{-1.0} \quad (3)$$

参考として、土浦のデータについてプロットし、式(3)で表される直線を重ね描き、図3に示す。

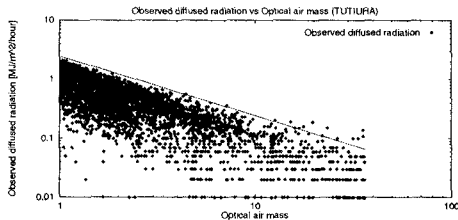


Fig.3 Relation between optical air mass and direct solar radiation

次に、散乱日射比と日照時間の関係を調べるために、各サンプル地点のデータについて、各日照時間における散乱日射比 S/S_{max} の平均値と標準偏差を求めた。さらに、各日照時間における散乱日射比 S/S_{max} の全国平均値とその標準偏差をプロットし、回帰曲線を描いた(図4)。なお、回帰曲線を求める際に日照時間 $N_c=0$ および10のデータは省いている。

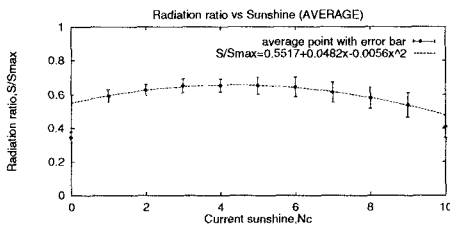


Fig.4 Relation between sunshine duration and diffused radiation ratio
図4より、散乱日射比 S/S_{max} と現在の日照時間 N_c について、次の関係式を得る。

$$\frac{S}{S_{max}} = 0.5517 + 0.0482N_c - 0.0056N_c^2 \quad (4)$$

(3) 全天日射量推定式

全天日射量 H は、式(2)および式(4)から推定された直達日射量 I および散乱日射量 S を用いて、次の関係により求められる。

$$H = I \cdot \sin \alpha + S \quad (5)$$

3 推定精度の検討と考察

上記の式(1)～(5)を用いて、1991年のサンプル12地点の日射量を推定した。その一例を時系列表示し、図5に示す。図中で、観測値は点で、推定値は破線で示されている。図5より、推定値はある程度の誤差があるものの、観測値をほぼ再現していると言える。

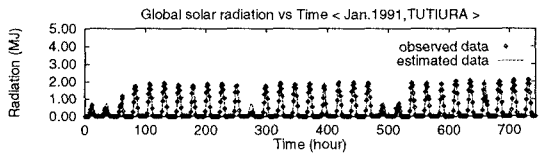


Fig.5 Time series (1991,JAN,at TUTUURA)

また、推定精度をRMSE (root mean square error) で時間別に求めた。その一例を図6に示す。

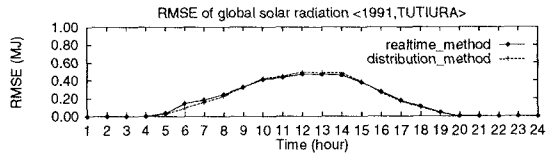


Fig.6 RMSE (1991,at TUTUURA)

図6の中で、タイトルがrealtime methodの曲線が本推定手法のRMSEであり、distribution-methodの曲線が過去に提案された推定手法¹⁾（日単位の日射量を推定した後、これを時間配分して時間単位の日射量を算出する手法）のRMSEである。図6より、本研究で開発した日射量推定手法は、リアルタイムで日射量を推定しているにも関わらず、過去に提案されたリアルタイムでない日射量推定手法と比較して、同程度かそれ以上の推定精度を有していることがわかる。

4 結論

本研究により、時間的連続なAMeDASの日照時間データを入力値とした、時間的連続な日射量推定手法が開発された。

本推定手法は、全国にわたって妥当な適合性を有しており、高密度に全国展開されているAMeDASの日照時間データを用いて、リアルタイムで全国の日射量を推定することが可能である。

<参考文献> 1) 小池俊雄ら、1991：AMeDAS日照時間による日射量推定の総合化、水文・水資源学会1991年研究発表会要旨集、pp26-29