

## 日本に適した快晴時の下向き長波放射量を推定する Brunt 式の係数 Coefficients in the Brunt equation for estimating clear-sky downward longwave radiation in Japan

○松井 宏之\*

MATSUI Hiroyuki

### 1. はじめに

蒸発散量を推定する Penman 式や Penman-Monteith 式を利用する際、精度よく上向きおよび下向きの長波放射量を測定することは困難であるため、黒体放射量に気象条件に応じた射出率を乗じる形の推定式で日平均有効長波放射量を推定する。Penman 式 (Penman, 1948) や FAO Penman-Monteith 式 (Allen *et al.*, 1998) は、上向きの射出率から快晴時の下向きの射出率を差し引いた値に雲の射出率を乗じる形で射出率を求める式形を採用している。蒸発散量を推定する代表的な式である両式において、快晴時の下向き長波の射出率  $\epsilon_a$  は蒸気圧  $e_a$  の平方根を変数とする一次式である Brunt 式 ( $\epsilon_a = a + b\sqrt{e_a}$  ( $a, b$ : 係数)) により推定されている。文献調査から、Penman 式中の Brunt 式の係数は海洋上での測定値、FAO Penman-Monteith 式中の係数は米国 California 州 Davis での観測値に基づき同定されている可能性が高い。

そこで本研究においては BSRN (Baseline Satellite Radiation Network, Driemel *et al.* (2018)) 観測点に登録されている札幌、館野、福岡、石垣島の国内 4 地点における下向き長波放射量の観測値に基づき、既存の蒸発散量推定式で用いられる Brunt 式の係数の同定・評価、日本に適した Brunt 式の係数を提案することとした。

### 2. 研究方法

対象期間は札幌および石垣島で 2011~2020 年、館野で 2006~2011 年、福岡で 2012~2020 年とした。快晴日の係数、快晴時の係数ともに、係数の同定は下向き長波放射量の観測値と推定値の RMSE ( $W m^{-2}$ ) を最小化するように同定した。なお、いずれの地点においても降雪ないし積雪のあるときは対象外とした。

(1) 快晴日の係数の同定 快晴日の全天日射量に対する実際の全天日射量の割合が一定値以上の以上の日を快晴日とした。データ数を確保するため、館野、福岡では 0.95 以上、札幌では 0.94 以上、石垣島では 0.91 以上の日を快晴日とした。なお、各地点における快晴日の日数は、札幌で 34 日、館野で 107 日、福岡で 93 日、石垣島で 34 日であった。

(2) 快晴時の係数の同定 雲量が 0 あるいは 0+であったときを快晴時とした。それぞれの地点における快晴時のデータ数は、札幌で 1921、館野で 861、福岡で 2953、石垣島で 535 であった。なお、雲量の観測は、札幌、福岡、石垣島では、3、9、12、15、18、21 時の 1 日 6 日、館野は 9、15 時の 1 日 2 回の観測となっている。

### 3. 結果と考察

(1) 快晴日の係数 対象とした 4 地点における同定された係数と推定値の RMSE ( $W m^{-2}$ ) を Table 1 に示す。RMSE は札幌および石垣島が同程度で低く、順に福岡、館野と大きくなっている。4 地点の係数  $a$  と係数  $b$  の値の関係を Fig.1 に示す。参考として、Penman 式および FAO Penman-Monteith

\* 宇都宮大学農学部 School of Agriculture, Utsunomiya University

キーワード：長波放射量、BSRN 観測所、蒸発散、Penman 式、FAO Penman-Monteith 式

式で使用・推奨されている係数を加筆した。日本の4地点における係数 $b$ の値が直線上に分布していることがわかる。回帰式の決定係数を求めると0.98となり、ほぼ一直線上に分布している。Fig.1中に示したPenman式中の係数と比較すると、係数 $a$ 、 $b$ ともに日本の4地点と離れた領域に分布していることが分かる。同様にFAO Penman-Monteith式中の係数はPenman式中の値と比較すると日本の4地点に近い領域にあるものの、乖離していることがわかる。

(2) 快晴時の変数 対象とした4地点における同定された係数と推定値のRMSE ( $\text{W m}^{-2}$ )をTable 2, 係数 $a$ および $b$ の値の関係をFig. 2に示す。Table 1に示した日平均のRMSEと比較すると、札幌では4.6→8.1, 館野では10.4→5.0, 福岡では7.3→9.3, 石垣島では4.9→7.5と館野以外ではRMSEが低下しているものの、4地点間でRMSEの値に4  $\text{W m}^{-2}$ 程度の差はあるものの、4地点の係数がほぼ等しい値となっていることがわかる。4地点それぞれにおけるデータ数が異なることを考慮し、4地点の係数の値を平均すると $a$ の値は0.589,  $b$ の値は0.161となる。大きく離れた日本の4地点でほぼ等しい値が得られたことから、平均した値が日本の広範囲に共通する値と考え、Table 1に示す係数は、本来の射出率のみならず、地点間の条件の違いを反映させたフィッティングパラメータとして機能している可能性がある。

#### 4. おわりに

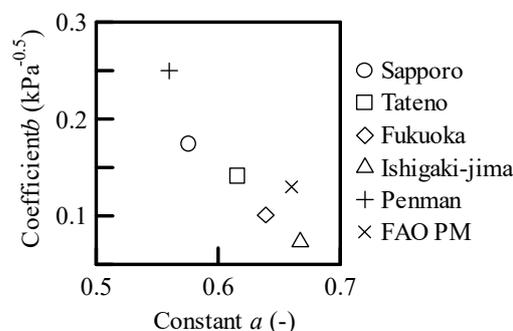
日本において、Brunt式の係数 $a$ を0.589, 同じく $b$ を0.161とすると、広範囲に下向き長波放射量を推定できることを示した。今後は有効長波放射量の推定に向けて、雲の射出率の推定に関わる係数について検討していく。

#### 引用文献

- 1) Allen RG, Pereira LS, Raes D, Smith M (1998) : Crop evapotranspiration —guidelines for computing crop water requirements. Irrigation and drainage paper 56, FAO, Roma.
- 2) Driemel A, et al. (2018) : Baseline Surface Radiation Network (BSRN): structure and data description (1992–2017), Earth Syst Sci Data 10:1491–1501.
- 3) Penman (1948) : Natural evaporation from open water, bare soil and grass, Natural Evaporation from Open Water, Bare Soil and Grass. Proc R Soc Lond 193:120-145.

**Table 1** 日平均下向き長波放射量を推定する Brunt 式の係数および RMSE

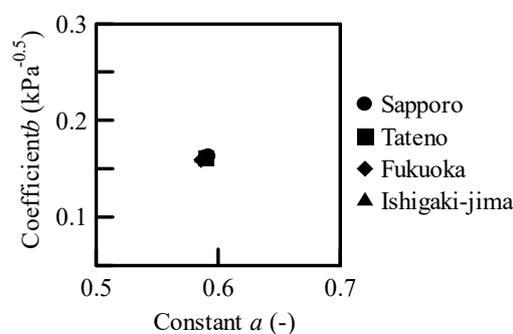
	Brunt		RMSE
	$a$	$b$	( $\text{W m}^{-2}$ )
Sapporo	0.576	0.174	4.6
Tateno	0.667	0.073	10.4
Fukuoka	0.640	0.101	7.3
Ishigaki-jima	0.616	0.141	4.9



**Fig.1** 日平均下向き長波放射量を推定する Brunt 式の係数の関係

**Table 2** 下向き長波放射量 (瞬時値) を推定する Brunt 式の係数および RMSE

	Brunt		RMSE
	$a$	$b$	( $\text{W m}^{-2}$ )
Sapporo	0.592	0.163	8.1
Tateno	0.587	0.161	5.0
Fukuoka	0.586	0.159	9.3
Ishigaki-jima	0.590	0.161	7.5



**Fig.2** 下向き長波放射量 (瞬時値) を推定する Brunt 式の係数の関係