

# 衛星リモートセンシングを用いた蒸発散量調査

(株)エイト日本技術開発 トシ リミン

## 1. はじめに

近年では世界的な気候変動により日本の渇水年の水資源賦存量は減少傾向にあり、水収支の把握、水源確保が重要になっている。

蒸発散量が水収支の把握や農業における水管理にとって重要であるが、実際の量の推定が難しい水文要素であるため、以前から世界的にいろんな手法で研究が行われてきた。モデル計算と渦相関法に基づいたフラックスタワーでの計測以外に、衛星技術の発展や衛星データのクラウド保存・処理技術の進歩により、リモートセンシング技術を使った蒸発散量の推定が可能になった。

本稿は宮古島市白川田地下水流域界について、蒸発散量を面的かつ連続的に把握するために衛星リモートセンシング技術を用いて行った蒸発散量調査の結果を報告するものである。

## 2. 調査方法

蒸発散量は、MODIS 及び LANDSAT8 の観測データを用いて、白川田地下水流域界について、2013 年 1 月～2022 年 12 月における蒸発散量の推定を行った。MODIS はアメリカの地球観測衛星である Terra と Aqua に搭載されている可視・赤外域の放射計である。LANDSAT はアメリカの地球観測衛星であり、1972 年の 1 号機運用開始以降継続して打ち上げられて、2025 年現在で 9 号機まで打ちあがっている。本稿では、MODIS により収集された MOD16A2.061 データセットを Google Earth Engine プラットフォームで推定した。また、LANDSAT8 の観測データを用いて、地表面エネルギー収支モデル (SEBALI) 手法で蒸発散量を求め、MODIS で求めた蒸発散量との比較を行った。

### (1) MOD16 アルゴリズム

MOD16 データプロダクトのアルゴリズムフローチャートを図-1 に示す。実蒸発散量の推定は熱収支に基づいたペンマン-モンテイス法が使われている。MOD16A2.061 データセット (NASA 提供) の解像度が 500m である。

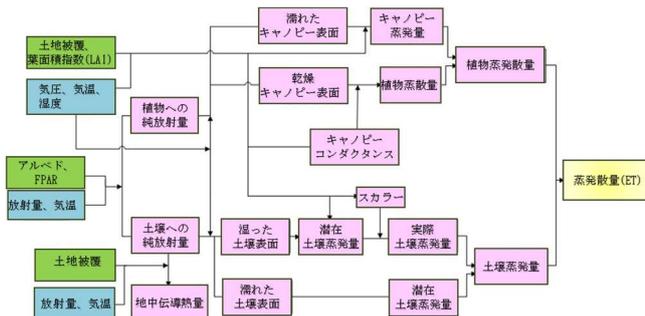


図-1 MOD16アルゴリズムのフローチャート

### (2) 地表面エネルギー収支モデル (SEBALI)

SEBALI は対象地区の可視、近赤外、中間赤外、熱赤外の各波長域に対するマルチスペクトル画像と気象観測データに基づいて、以下の計算を順次行う：①地表パラメータ (アルベド、植生指標、地表面温度) の計算 ②熱収支項目 (純放射量、地中熱フラックス、顕熱フラックス、潜熱フラックス) の計算 ③蒸発比に基づく日蒸発散量の計算。SEBALI は以下のエネルギー収支式を使う<sup>1)</sup>。

$$\lambda E = R_n - G - H \quad (1)$$

上の式の  $\lambda E$  は蒸発散の潜熱フラックスであり、 $R_n$  は純放射量、 $G$  は地中熱フラックス、そして  $H$  は顕熱フラックスである。

アルベド (反射率) の計算には以下の式を使う。

$$\alpha = 0.130b_1 + 0.115b_2 + 0.143b_3 + 0.180b_4 + 0.281b_5 + 0.108b_6 + 0.042b_7 \quad (2)$$

上の式の  $b_1$ - $b_7$  は Blue バンド、Green バンド、短波長赤外バンドなどである。

## 3. 調査結果

### (1) MOD16より推定された蒸発散量

MOD16A2.061 より、白川田地下水流域界について、2013 年 1 月～2022 年 12 月における 10 年間の蒸発散量の推定を行った結果を図-2、表-1 に示す。年間蒸発散量の 10 年平均値が 1041.57mm であり、気象庁データの年間降雨量の 2317mm に対し、蒸発散量が 48% を占めた。同期間の蒸発散量の年間日平均値は 2.84mm であった。

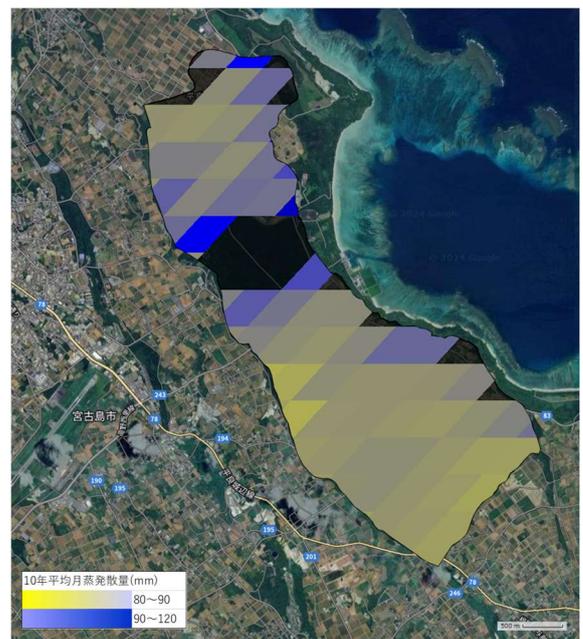


図-2 白川田地下水流域における 10 年間 (2013-2022 年) 平均月蒸発散量分布図

表-1 白川田地下水流域における蒸発散量 (MOD16)

	年間降水量 (気象庁_平良) (mm)	年間蒸発 散量 (mm)	年間日平均 蒸発散量 (mm/day)	7-9月の平均 日蒸発散量 (mm/day)	8日平均日蒸 発散量最大値 (mm/day)	蒸発散/降 雨比率
2013年	1593.5	1032.99	2.81	3.66	4.59	65%
2014年	1722	989.03	2.70	3.64	4.45	57%
2015年	2057	1084.62	2.95	3.64	4.69	53%
2016年	2675	1098.10	2.99	3.86	4.92	41%
2017年	1847	992.06	2.70	3.52	4.45	54%
2018年	2635.5	1090.95	2.97	4.00	5.35	41%
2019年	2699	1046.01	2.85	3.54	4.51	39%
2020年	2504.5	1021.94	2.78	3.30	4.49	41%
2021年	1669.5	1065.24	2.90	3.73	5.00	64%
2022年	3768	994.71	2.70	3.52	4.07	26%
10年平均	2317.1	1041.57	2.84	3.64	4.65	48%

(2) SEBALI より推定された蒸発散量

SEBALI アルゴリズムを用いて、白川田地下水流域界について、2013年1月～2022年12月における10年間の蒸発散量の推定を行った結果を表-2に示す。年間蒸発散量の10年平均値が1100.71mmであり、気象庁データの年間降雨量の2317mmに対し、蒸発散量が51%を占めた。

表-2 白川田地下水流域における蒸発散量 (SEBALI)

	年間降水量 (気象 庁_平良) (mm)	年間蒸発散量 (mm)	蒸発散/降雨比率
2013年	1593.5	1044.93	66%
2014年	1722	1036.18	60%
2015年	2057	1116.41	54%
2016年	2675	1119.31	42%
2017年	1847	1072.74	58%
2018年	2635.5	1153.10	44%
2019年	2699	1132.36	42%
2020年	2504.5	1159.99	46%
2021年	1669.5	1062.82	64%
2022年	3768	1109.30	29%
10年平均	2317.1	1100.71	51%

4. 考察

衛星リモートセンシングを用いて蒸発散量の推定を行った結果、MOD16A2データセットより収集した蒸発散量の10年平均値が1042mmに対し、地表面エネルギー収支モデル (SEBALI) より求めた値が1101mmであり、二つの手法で近い結果が得られた。

表-3は沖縄県における地域別、時期別の年蒸発散量、平均値及びピーク時値等の文献値である。比屋根ら(2004)<sup>2)</sup>が宮古島における夏植サトウキビ畑の微気象観測の結果から熱収支をもとにボーエン比法で蒸発散量を測定した結果、日蒸発散量の年間平均値は2.86mm/dayであり、7-9月の平均値は3.27mm/dayであると報告している。田中(1981)<sup>3)</sup>、比屋根(2008)<sup>4)</sup>が示した蒸発散量の日平均値は2.9mm/dayであった。これに対し、本稿で推定された白川田地下水流域界における2013年から

2022年の日蒸発散量の年間平均値は2.84mm/dayであり、7-9月の日蒸発散量が3.30~4mm/day、その10年平均は3.64mm/dayであり、文献値とほぼ同じ結果であった。蒸発散量の年間合計値が文献では1030~1180mmである<sup>5)6)</sup>のに対し、本業務では10年間平均値が1042~1101mmであり、近い結果であった。

表-3 沖縄県における地域別、時期別の年蒸発散量、平均値及びピーク時値等の文献値

出典	観測地	観測期間	手法	年合計 (mm/年)	平均値 (mm/day)	7-9月平 均値 (mm/day)
山城 (1968、 1990)	那覇市	1967~1971年、 1983~1984年	ライシメータ	1180	3.3	6.4
田中 (1981)	宮古島	-	- (一般に使 われている 値)	1060	2.9	4.7
比屋根 (2004)	平良市	2000年1月~12月	熱収支ボー エン比法	1030	2.86	3.27
比屋根 (2008)	南風原 町新川	2002年8月~200 2年11月	熱収支ボー エン比法	-	2.91	-

《引用・参考文献》

- 1) Y.G. Mekonnen et al., (2024) Tailoring the surface energy balance algorithm for land-improved (SEBALI) model using high-resolution land/use landcover for monitoring actual evapotranspiration, Agricultural Water Management 303(2024)109058
- 2) 比屋根真一・大場和彦・丸山篤志・黒瀬義孝・河野伸二・伊志嶺正人 (2004) 宮古島における夏植サトウキビ畑の蒸発散特性、熱帯農業 48(2): 94-100
- 3) 田中宏平・四ヶ所四男美 (1981) 宮古島の地下水予測に関するシステム理論的研究、九州大学農学部学藝雑誌、35巻3/4号:97-103
- 4) 比屋根真一 (2008) 沖縄本島南部地域の夏季における春植サトウキビの蒸発散、沖縄県農業研究センター研究報告 1:68-73
- 5) 山城三郎 (1968) 沖縄における甘蔗の蒸発散量 第1報、琉大農学報 15:193-198.
- 6) 山城三郎 (1990) 沖縄におけるサトウキビの蒸発散量 第6報 サトウキビの作物係数について、琉大農学報 37:171-1