

# 西アフリカ乾燥域におけるAMSR-E土壌水分 プロダクトと陸面過程モデル解析値の比較

Comparison of Soil Moisture Derived from AMSR-E and Land Surface Model  
in West African Arid Regions

小槻峻司<sup>1</sup>、田中賢治<sup>2</sup>  
Shunji KOTSUKI<sup>1</sup> and Kenji TANAKA<sup>2</sup>

<sup>1</sup> 京都大学大学院工学研究科 (〒615-8530 京都府西京区京都大学桂)

<sup>2</sup> 京都大学防災研究所 (〒611-0011 京都府宇治市五ヶ庄)

## Abstract

AMMA Land surface Model Intercomparison Project second phase (ALMIP2) has been launched to reveal which processes are missing or not adequately modeled by the present generation of land surface models in the region. The authors have conducted land surface analysis with SiBUC using meteorological forcings and land surface parameters provided by the ALMIP2. Simulated soil moisture was compared to soil moisture product derived from AMSR-E in three meso-scale domains: Benin, Niger, and Mali. On the Niger and Mali domains, seasonal soil moisture from simulation agreed to AMSR-E derived soil moisture. On the other hand, AMSR-E may underestimate soil moisture during rainy season in Benin domain because of interruptions of dense vegetations.

**Key Words :** soil moisture, AMSR-E, land surface model, Western Africa, arid region

## 1. タイトルページ

西アフリカ・モンスーン域の季節変動・年変動の理解に向け、The African Monsoon Multidisciplinary Analysis (AMMA) projectが組織されている。その中で、陸面過程に関連する活動は、AMMA Land surface Model Intercomparison Project (ALMIP)により主導されている。この地域は、大気-陸面間の相互作用が非常に重要であると指摘されており、ALMIPの重要な課題は、陸面プロセスの時空間変動が、大気循環・陸水循環に与える影響を明らかにすることである。2012年からは、ALMIPのセカンドフェイズ(ALMIP2)が開始された。ALMIP2には、20を超える陸面過程モデル・水文モデルが参加しており、プロジェクトから提供される気象強制力・地上物理パラメータを用いて、二次元解析であるmeso-scale runと、地点解析であるlocal runが実行されている。ALMIP2の主要な目的の1つは、様々なモデル出力の相互比較を通じて、現状のモデルが乾燥域で十分に表現できていないプロセスを明らかにすることである。2013年12月時点の進行状況は、各参加モデルが出力を検証する観測情報無しに解析を行うブラインド・ランを行っている状況である。これは、キャリブ

レーションやモデルの調整無しに、現状のモデルがどこまでの再現性を持つかを計るための解析である。今後、プロジェクトの進行に合わせて、参加グループには地表面フラックスや土壌水分量等の観測情報が提供される予定である。

我々の研究グループは、陸面過程モデルSiBUC (Simple Biosphere model including Urban Canopy)<sup>2)</sup>を用いてALMIP2プロジェクトに参加している。著者自身のモチベーションは、SiBUCを用いた乾燥域の水収支解析精度の向上にある。これまで、SiBUCを用いた河川流量解析では、乾燥域において河川流量解析の過大評価が報告されてきた(e.g. 小槻ら<sup>3)</sup>、峠ら<sup>4)</sup>)。こういった乾燥域における河川流量の過大評価は、他の研究グループによっても報告されている(e.g. Pokhrel *et al.*<sup>5)</sup>)。乾燥域における河川流量過大の解決には、大きく2つの問題を解決する必要がある。一方は入力となる降水量の不確実性であり、他方は陸面過程モデル中のプロセスが十分に乾燥域に対応できていない点である。乾燥域に位置する諸国は発展途上国であることが多く、予算を十分に気象観測に回すことが出来ないのが現状である。この点は、GPCC (Global Precipitation Climatology Center)<sup>6)</sup>やAPHRODITE<sup>7)</sup>等の降水量プロダクトが公開してい

Table 1 Summary of the three meso-scale domains.

| Square | Area                                       | Resolution | Period      | Annual precipitation |
|--------|--|------------|-------------|----------------------|
| Benin  | 1.55 °E to 3.15 °E, 12.85 °N to 14.15 °N   | 0.05°      | 2005 - 2008 | 1170 mm              |
| Niger  | 1.45 °E to 2.85 °E, 8.95 °N to 10.20 °N    |            | 2005 - 2008 | 540 mm               |
| Mali   | -1.90 °E to -1.20 °E, 15.00 °N to 15.70 °N |            | 2006 - 2008 | 350 mm               |

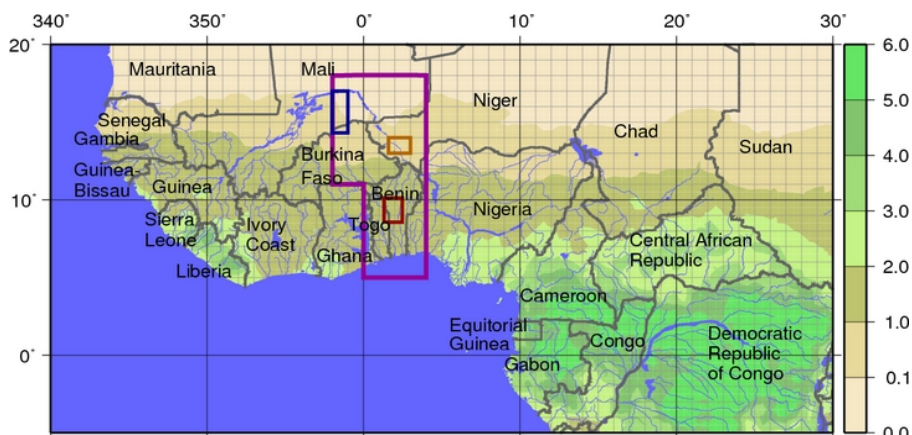


Fig.1 The ALMIP2 meso-scale domains is shown. The ECOCLIMAP annual average LAI (m<sup>2</sup>/m<sup>2</sup>) is contoured. The figure is referred by Boone *et al.* (2013)<sup>1)</sup>

る、使用した降水量観測地点の分布からも見て取れる。加えて、多くの陸面過程・水文モデルが非乾燥域で開発・発展されてきたことから、乾燥域における陸面プロセスが、未だ十分にモデル化されていないこと、パラメータが適切に設定されていない事も指摘されている。

観測情報が不十分な点やモデルパラメータのキャリブレーションは、衛星観測情報を用いた同化やフィルタリングにより改善できる可能性がある。本研究では、衛星が観測する地表面水文量の一つである土壌水分に着目する。AMSR-Eによる土壌水分量推定値と陸面過程モデルの算出値の比較を通じて、衛星観測土壌水分量の利用可能性を検討する。

## 2. 解析

### (1) 計算領域

ALMIP2のmeso-scale runでは、参加モデルに3つの領域における解析を課している。いずれも西アフリカに位置し、南から順にBenin, Niger, Maliである (Fig.1, Table 1)。解析領域は西アフリカ・モンスーン域に位置し、3領域共に雨季と乾季に分かれる気候を持つ (Fig.1, Table 1)。赤道にかけて南ほど降水量が多い地域であり、北部は乾燥域となっている。それに伴い、LAIも南から北へ低くなっていることが見て取れる。計算・比較期間は、ALMIP2の実験期間に併せて設定した。

### (2) 陸面過程解析

陸面過程解析は、Simple Biosphere model 2 (SiB2)<sup>8)</sup>をベースに開発された、SiBUC<sup>2)</sup>を用いて行った。SiBUCは地表面状態を緑地・都市・水体の3つのカテゴリーに分類し、各グリッドにそれらの混在を認めるモザイクスキームを採用している。各グリッド

における潜熱フラックスや顕熱フラックス等の地表面フラックスは、サブモデル毎に算出され、その加重平均を求めることで得られる。

モデルの入力となる気象強制力は、ALMIP2より提供されているデータを用いた。地表面・土壌パラメータとして提供されるデータは、Ecoclimapと呼ばれるフランス気象庁の開発してきたプロダクトである。

ALMIP2では、強制力として必要とするモデルに向けて、アルベドも提供している。ALMIP2が提供するアルベドは、植生や地面からの反射をすべて反映させたアルベドである。一方SiB2では、植生タイプごとの葉や土壌にアルベドを与え、モデル内で放射伝達・収支を解く結果としてアルベドが算出される。元々のSiB2では、土壌のアルベドは、可視域で0.11、近赤外域で0.225と固定しており、SiBUCもその値を採用していた。しかし、解析を進める中で、SiBUCの算出する裸地域の地表面温度が高いことが分かってきたので、Ecoclimapの算出式を参考にして、砂の比率 (*sand*) からアルベドを設定した。

$$\alpha_{vis,dry} = 0.10 + \max(0.30 \cdot sand, 0.10) \quad (1)$$

$$\alpha_{nir,dry} = \alpha_{vis,dry} + 0.10 \quad (2)$$

ここで、 $\alpha$ は裸地のアルベドを表し、添字の*vis*, *nir*, *dry*はそれぞれ、可視域、近赤外域、乾燥状態を表す。Ecoclimapの中では、湿潤状態の裸地アルベドは乾燥状態の0.5倍とされている。解析中のアルベドは、乾燥・湿潤状態のアルベドを用いて、土壌水分に応じて設定される。本論文では、裸地のアルベドを固定した場合の解析結果をSiBUC v1とし、砂の比率を基にアルベドを設定した解析結果をSiBUC v2とする。特に言及しない場合の解析結果は、SiBUC v2である。

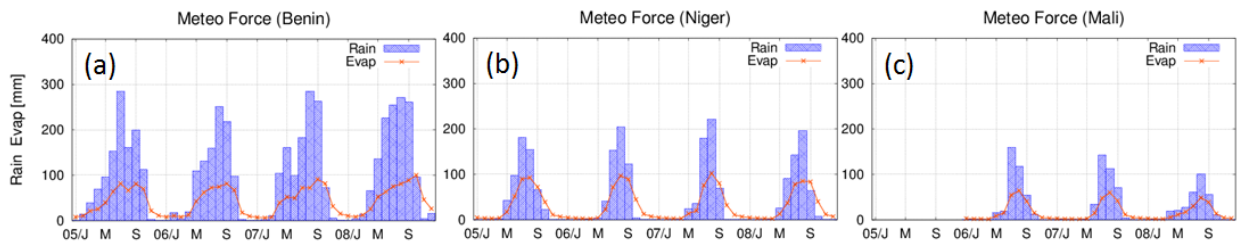


Fig.2 Monthly precipitation and evapotranspiration in (a) Benin, (b) Niger, and (c) Mali domains. Blue boxes and orange lines represent precipitation and evapotranspiration, respectively.

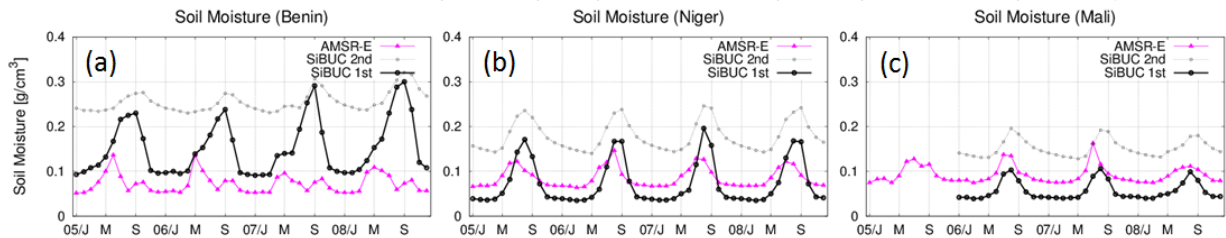


Fig.3 Seasonal soil moisture in (a) Benin, (b) Niger, and (c) Mali domains. Purple, black, and gray lines represent soil moistures of the AMSR-E level 3 product, simulated surface soil moisture, and simulated 2<sup>nd</sup> layer soil moisture. Simulated results were obtained from SiBUC.

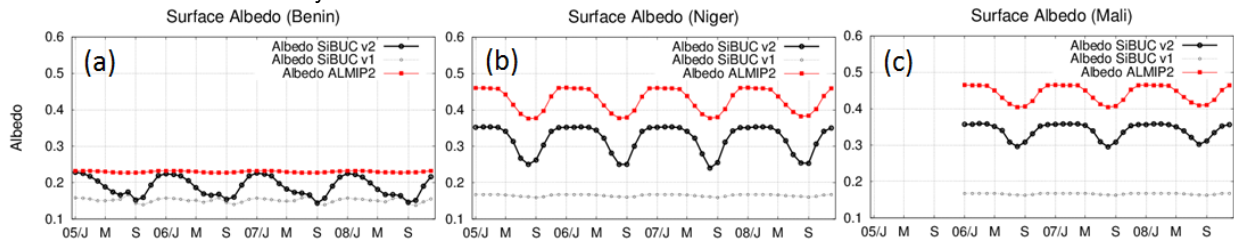


Fig.4 Seasonal albedos in (a) Benin, (b) Niger, and (c) Mali domains. Red, Black, and gray lines represent albedos provided by ALMIP2, simulated by SiBUC v2 and simulated by SiBUC v1.

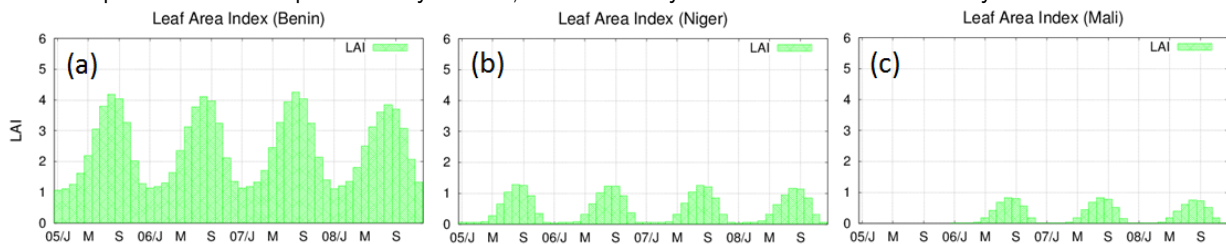


Fig.5 Seasonal Leaf area Indexes (LAIs) in (a) Benin, (b) Niger, and (c) Mali domains. The LAI data sets were obtained from ALMIP2.

### (3) AMSR-E土壤水分量

宇宙航空研究開発機構(JAXA)の提供している、AMSR-Eレベル3土壤水分標準プロダクト<sup>9)</sup>を用いた。SiBUCの出力する土壤水分量は、AMSR-Eプロダクトに合わせて、体積含水率( $\text{g}/\text{cm}^3$ )に変換して用いた。

## 3. 結果と考察

3章では、解析領域毎に結果を議論する。それぞれの領域における降水量と蒸発散量 (Fig. 2) の月積算値、及び、土壤水分量 (Fig. 3)、アルベド (Fig. 4)、LAI (Fig. 5) を月平均値算出した。

### (1) Benin

Beninは、3領域の中では降雨量の多い領域であり (Fig. 2)、地表面被覆は落葉広葉樹林や草原が支配的である。雨季のLAIは3-4程度に達する (Fig. 5)。土壤水分量を比較すると (Fig. 3)、

SiBUCの算出値 (黒線) がAMSR-E (紫線) を、年間を通じて上回っている。AMSR-Eの土壤水分量が雨季の途中である7月付近から落ち込むのは、植生が発達してくるため、センサが土壤水分を計測できていない為だと考えられる。それに伴い、SiBUCとAMSR-Eの土壤水分季節変動は大きく異なっている。AMSR-Eのプロダクトは、森林域において推定精度が低いことから、密な森林域にマスキング処理を実施している。Beninが該当する密でない森林域における推定精度については、更に検証が必要とされている。

アルベド (Fig. 4) の比較では、SiBUCの算出する乾季のアルベドは、アルベド設定の変更によりALMIP2の提供値に近くなっている (灰線はSiBUC v1, 黒線はSiBUC v2, 赤線はALMIP2提供値)。一方で、植生の発達する雨季は、土壤まで到達する放射量が少なくなるため、変更の効果が見られない。雨季は、SiBUCの算出するアルベドがALMIP2の提

供値を下回っているため、雨季の地表面温度が高くなっている可能性がある。

## (2) Niger

Nigerは、3領域の中では降雨量が中程度の領域であり (Fig. 2) , 地表面被覆は草原と裸地が支配的である。雨季のLAIは最大で1を超える程度である (Fig. 5) 。 土壌水分量を比較すると (Fig. 3) , SiBUCの算出値がAMSR-Eを、乾季には下回り、雨季には上回っているが、季節的な変動は一致している。

アルベド (Fig. 4) を見ると、SiBUCの算出する乾季のアルベドが、アルベド設定の変更によりALMIP2の提供値に近くなっているが、依然として大きく下回っている。そのため、SiBUCでは年間を通じて、地表面温度が高いと考えられる。

## (3) Mali

Maliは3領域の中では降雨量が最も少ない領域であり (Fig. 2) , 地表面被覆は草原と裸地が支配的である。雨季のLAIは最大でも1に達しない (Fig. 5) 。 土壌水分量を比較すると (Fig. 3) , SiBUCの算出値がAMSR-Eを、年間を通じて下回っている。

アルベド (Fig. 4) を見ると、SiBUCの算出する乾季のアルベドが、アルベド設定の変更によりALMIP2の提供値に近くなっているが、依然として大きく下回っている。そのため、SiBUCでは、雨季の地表面温度が高く算出されている可能性が高い。

## (4) 3領域の結果からの考察

今回アルベドの設定を変更することで、3領域のアルベド算出値をALMIP2提供値に近づけることが出来た。しかし、裸地のアルベドは土壌特性よりも岩石特徴により決定されるべきである。今後、衛星観測値を用いてアルベドを適切に設定していく必要がある。同時に、地表面温度を用いて検証していく事も重要である。地表面温度は、地表の蒸発だけではなく、気孔開度を通じて蒸散にも寄与する。乾燥域において河川流量解析が課題となる原因の一つとして、蒸散量が少ない事も指摘されているため、今後地表面アルベドの設定に対しても改善を計る必要がある。

土壌水分量についての詳しい検討は、今後提供予定の現地観測値を待つ必要がある。ただ、Beninの様に密でない森林領域では、植生の発達する時期に適切に土壌水分量を推定できない可能性が指摘された。最終的に同化システムとして組み込む際は、衛星観測土壌水分量を利用可能な被覆状態について、考察を進める必要がある。

## 4. まとめ

本研究では、ALMIP2を通じて行ったSiBUCによる土壌水分量解析値を、AMSR-Eのレベル3プロダ

クトと比較した。現状では現地観測情報が提供されていない状況であるが、解析結果の比較を通じて現状のモデリングの課題を述べた。今後の課題は、SiBUC及びAMSR-Eにより推定された土壌水分を、ALMIP2より今後提供される観測値と比較・検証する事である。検証を通じてモデルのプロセスを改良すると共に、AMSR-Eの利用方法について考察を進めていく必要がある。

加えて、裸地のアルベド情報を衛星観測地を用いて推定すること、及び、衛星観測地表面温度との比較が必要となる。

**謝辞** : 本研究を進めるに当たり、京都大学大学院工学研究科の峠嘉哉さんからAMSR-Eのデータ処理をサポートして頂きました。本研究は、日本学術振興会「特別研究員奨励費」の支援を受け実施されました。記して謝意を示します。

## 参考文献

- 1) Boone, A. and Coauthors (2012): ALMIP2: White paper. [http://www.cnrm.meteo.fr/ammamoana/amma\\_surf/almip2/exp.html](http://www.cnrm.meteo.fr/ammamoana/amma_surf/almip2/exp.html), Last access December 3, 2013.
- 2) Tanaka, K. (2004): Development of the New Land Surface Scheme SiBUC Commonly Applicable to Basin Water Management and Numerical Weather Prediction Model. Doctoral Dissertation, Graduate School of Engineering, Kyoto University, 289.
- 3) 小槻峻司, 田中賢治, 小尻利治, 浜口俊雄 (2012): 衛星データから作成した農事暦を活用した全球陸域水循環解析, 水文・水資源学会誌 **25-6**, 373-388.
- 4) 峠嘉哉, 田中賢治, 中北英一, 小尻利治 (2012): 陸面解析による灌漑取水とアラル海の消長に関する応答分析～アラル海流域の持続可能性向上へ向けて～, 土木学会論文集G(環境) **68(5)**, 147-152.
- 5) Pokhrel, Y., Hanasaki, N., Yeh, P. J. F., Yamada, J. T., Kanae, S., Oki T. (2012): Model estimates of sea-level change due to anthropogenic impacts on terrestrial water storage, *Nature Geoscience* **5**, 389-391.
- 6) Rudolf, B., Andreas, B., Udo, S., Anja, M. C., Markus, Z. (2010): GPCC status Report December. <http://gpcc.dwd.de>, Last access March 20, 2013.
- 7) Yatagai, A., Kamiguchi, K., Arakawa, O., Hamada, A., Yasutomi, N., Kitoh, A. (2012): APHRODITE: Constructing a Long-term Daily Gridded Precipitation Dataset for Asia based on a Dense Network of Rain Gauges. *Bulletin of American Meteorological Society* **93**: 1401-1415.
- 8) Sellers, P. J., Tucker, C. J. and Collatz G. J. (1996): A Revised Land Surface Parameterization (SiB2) for Atmospheric GCMS. Part II: The Generation of Global Fields of Terrestrial Biophysical Parameters from Satellite Data. *Journal of Climate* **9(4)**: 706-737.
- 9) 小池俊雄, 中村佳照, 開発一郎, Gombo Davaa, 松浦直人, 玉川勝徳, 藤井秀幸(2004): 改良型高性能マイクロ波放射計(AMSR-E)による土壌水分・植生水分観測手法の開発, 水工学論文集 **48(2)**: 217-222.

(2013. 12. 4 受理)