

## 宇宙からの広範囲の太陽光発電量推定技術の実利用に向けた 国際地上検証システムに糸口

### ポイント

- 家庭・地域を越えた形のエネルギー管理システム (EMS) 実現のために、宇宙からの地表面日射量推定の精度評価に欠かせない地上検証システムの高精度化や国際標準化が重要です。
- 地上検証システムの高精度化や国際標準化のために、日射を弱める大気中の微粒子 (エアロゾル) の測定の検定方法が鍵であることを明確にしました。
- 本研究成果は、地球科学に基づく太陽光発電量推定技術の高精度化や国際標準化の観点から、家庭・地域だけでなく国をも越えた形でのエネルギー管理への発展が期待されます。

当チーム研究者である千葉大学環境リモートセンシング研究センターのカトリ・プラディーブ特任助教らは、宇宙からの広範囲の太陽光発電量推定技術の実利用に向け、その検証に有効な地上システムの高精度化・国際展開のためには、日射を弱める大気中の微粒子 (エアロゾル<sup>1)</sup>) 測定の検定方法が鍵であることを明確にしました。

家庭や地域を越えたエネルギー管理への重要なインプットとして広範囲の太陽光発電量を把握するために、宇宙から静止気象衛星<sup>2)</sup>を利用した地表面日射量の推定は、現在、唯一の方法です。しかしながら、最近の研究により、大気中に存在するエアロゾルが日射を弱める効果が推定値の精度に影響を及ぼすことが、両成分を同時に多地点で計測可能な地上システムである、国際地上観測ネットワークSKYNET (スカイネット)<sup>3)</sup>により分かってきました。

本研究グループは、SKYNETと米国NASA主導のAERONET (エアロネット)<sup>4)</sup>の主力機器によるエアロゾル観測を多地点で同時に行ったところ、エアロゾル測定値の有意な差は両機器の検定方法の違いが原因であることを明らかにしました。これにより、国際連携を強化しつつ、エアロゾル測定値を高精度化させるためには検定方法が鍵であることが明確になりました。

本研究成果は、宇宙からの衛星観測技術などによる日射量やそれに基づく太陽光発電量推定値の誤差評価の高精度化に資するだけでなく、関連する地上システムの国際標準化を進めることで、地球科学の観点からのエネルギー問題に関わる国際的取り組みの構築・強化、さらには国を越えた形でのエネルギー管理への発展が期待されます。

本研究成果は、2016年3月7日発行のアメリカ地球物理学連合誌「Journal of Geophysical Research-Atmospheres」に掲載されます。

本成果は、以下の事業・研究領域・研究課題によって得られました。

JST 戦略的創造研究推進事業 チーム型研究 (CREST)

研究領域: 「エネルギー管理システム (EMS)」

(研究総括: 藤田 政之 東京工業大学大学院理工学研究科 教授)

研究課題名: 「分散協調型EMSにおける地球科学情報の可用性向上とエネルギー需要モデルの開発」

研究代表者: 中島孝 (東海大学情報技術センター 教授)

研究期間: 平成27年4月~平成32年3月

JSTはこの領域で、再生可能エネルギーをはじめとした多様なエネルギー源と様々な利用者をつなぐエネルギー管理システムにおいて、エネルギー需給を最適制御するための理論、数理モデル及び基盤技術の創出を目的としています。上記研究課題では、地球情報、そしてエネルギー需要の状態や変動をそれぞれ理論で説明できる科学要素として捉え、これらの学理基盤の確立を通じてエネルギーマネジメントシステム (EMS) に貢献することを目的としています。

## 研究の背景と経緯

現代のエネルギー需要に対応する低炭素社会の実現には、自然の恵みから生まれる太陽光発電量を最大限利用したエネルギー管理システム（EMS）の実現が望まれます。近年のリモートセンシング技術の進歩に応じて可能となってきた宇宙からの静止気象衛星を活用した地上日射量の面的な推定は、それに基づいた太陽光発電量の推定を通じて、家庭・地域を越えた形のEMSの実現に重要なインプットをもたらすと考えられます。しかしながら、現在の静止気象衛星を活用した面的な地上日射量の推定アルゴリズムには大気中の微粒子（エアロゾル）の影響が全く考慮されていないため、推定日射量が過大評価していることが指摘されています。このことは、最近になって、地上日射量とエアロゾルを同時に多地点で計測可能な地上システムである、国際地上観測ネットワークSKYNET（スカイネット）により明らかになりました（図1）。SKYNETから得られる情報は、地上日射量に及ぼすエアロゾルの影響の定量的理解につながり、ひいてはそこから解明される物理メカニズムを推定アルゴリズムに導入することなどにより、衛星からの推定精度の向上に役立ちます。しかしながら、地上システムから測定されるエアロゾル情報（エアロゾル光学的厚さ<sup>5)</sup>、単一散乱アルベド<sup>6)</sup>など）の定量的検証は限られています。

## 研究の内容

米国NASAが運営するAERONET（エアロネット）は、エアロゾル観測に特化する国際地上観測ネットワークです。本研究では、SKYNETとAERONETの主力機器によるエアロゾル観測を多地点で同時に行い、これまでにないロバストな両観測手法の精度評価を実施しました。両者によるエアロゾル測定値を比較した結果、エアロゾルの量に相当する光学的厚さは良く一致したことが分かりました。他方、エアロゾルによる散乱のしやすさを表す単一散乱アルベドには有意な差が認められました（図2）。

SKYNETとAERONETでは、観測機器の検定方法だけでなく、データ解析アルゴリズムも異なります。また、AERONETのデータ解析アルゴリズムは非公開なために、両者の間に生じるエアロゾル測定値の差の原因の特定は困難でした。この問題に取り組むために、SKYNETの解析アルゴリズムをAERONETに適用できるシステムを構築してエアロゾルの値を求め、AERONETの解析アルゴリズムで求めた値と比較しました。結果、両者の間に有意な差が認められなかったことが分かり、解析アルゴリズムの違いが原因である可能性を明確に排除することができました。次に、AERONET観測データを基準にして、SKYNETのエアロゾル測定値に影響を与える様々な外部要因（検定値、地面反射率等）の影響を調べました。結果、エアロゾル測定値の差は、両機器の検定方法の違いに起因して散乱光強度の生測定値が異なることが原因であることが明らかになりました。さらなる証拠を得るために、数値実験を用いて、SKYNETとAERONETで同じ検定方法に基づく検定値を採用したところ、両機器のエアロゾル測定値の差が大幅に抑えられたことが確認されました（図3）。これらの結果により、国際地上検証システムであるSKYNETの高精度化・国際連携強化のために、観測機器の検定方法が鍵であることが明確になりました。

## 今後の展開

本研究成果は、宇宙からの衛星観測技術などによる日射量やそれに基づく太陽光発電量の推定値の誤差評価を高精度化させ、また、推定値自身の高精度化にも役立ちます。また、関連する地上検証システムの国際標準化を進めることで、地球科学の観点からのエネルギー問題に関わる国際的取り組みの構築・強化を推進するとともに、家庭・地域を飛び越え、国を越えた形でのエネルギー管理へ発展させる際の地球科学からの切り口としての役割を担うことが期待されます。

## 参考図

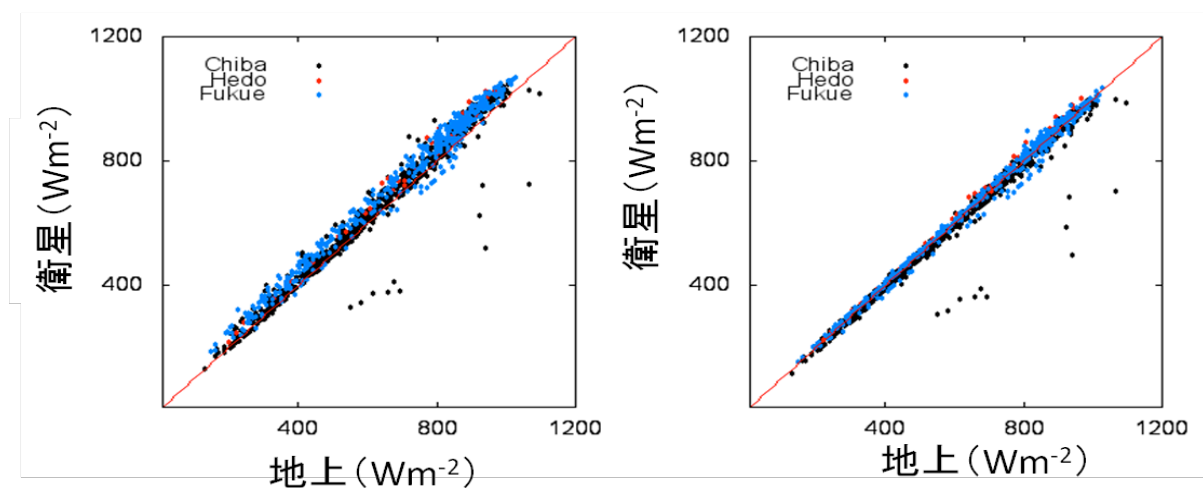


図1 (左) 2014年における国際地上観測ネットワークSKYNET(スカイネット)の地上日射量と静止気象衛星「ひまわり7号」の推定値の相関プロット。千葉、沖縄辺戸岬、福江島における比較がそれぞれ黒、赤、青で示されている。静止気象衛星の推定日射量が過大評価する傾向が認められます。(右)SKYNET観測のエアロゾルのデータを用いて、推定日射量にエアロゾルの効果を補正した後の結果が示されています。エアロゾルの補正を施すと、SKYNETの値との系統的な差は解消され、さらにはバラつきも小さくなったことが分かります。このように、エアロゾルは静止気象衛星から地上日射量を推定する際の主な誤差要因であることが分かります。

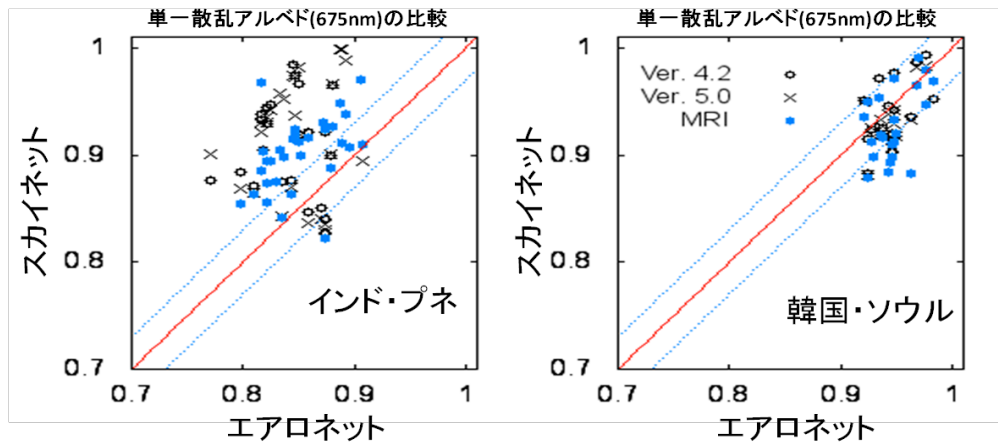


図2 インド・プネと韓国・ソウルにおけるスカイネット（SKYNET）とエアロネット（AERONET）によるエアロゾル情報（単一散乱アルベド）の相関プロット。3つの異なるデータ解析アルゴリズム（Ver. 4.2、Ver. 5.0、MRI）で得られたSKYNETの値が異なる色で示されています。1:1の関係が赤い線で、 $\pm 0.03$ の範囲が青い線で示されています。プネにおいて、SKYNETの値はいずれの解析アルゴリズムを用いてもAERONETの値を過大評価する傾向があることが分かります。他方、韓国・ソウルでは比較的良好に一致していることが分かります。

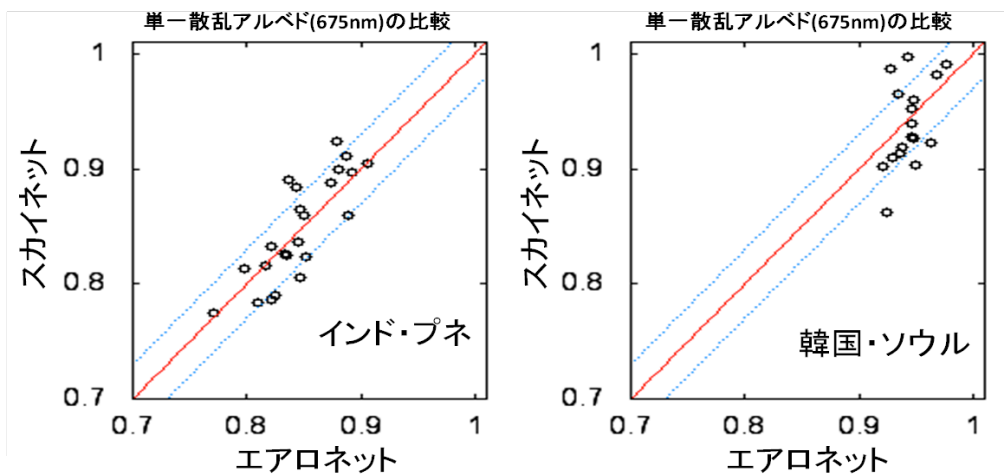


図3 図2と同様だが、SKYNETの値はAERONETのデータから求めた検定定数を用いて計算。Ver. 5.0の解析アルゴリズムが用いられました。AERONETのデータから求めた検定定数を用いてSKYNETのデータを解析すると、ほとんどのケースにおいて差が $\pm 0.03$ 以内に収まるということが分かります。0.03はAERONETの値の誤差に相当します。検定定数の差が比較的大きいプネにおいて、一致が大きく改善されたことが分かります。この結果から、SKYNETのエアロゾル測定値を高精度化させるためには検定方法が鍵であることが明確になりました。

## 用語解説

### 注1) エアロゾル

空気中に浮遊している粒子のこと。太陽の可視光線を効率的に散乱または吸収するため、視程の悪化を引き起こし、また、地表に到達するエネルギー量も変化させる。粒径2.5マイクロメートル以下の微小粒子をPM<sub>2.5</sub>と呼ぶ。

### 注2) 静止気象衛星

赤道上空の高度約3万6千キロメートルで地球の自転周期と同じ周期で地球を周回する気象衛星。地球から常に同じ場所に静止しているように見える。

### 注3) SKYNET (スカイネット)

千葉大学が中核となっているエアロゾル・雲・放射の国際地上観測ネットワーク。  
<http://atmos2.cr.chiba-u.jp/skynet/>

### 注4) AERONET (エアロネット)

米国NASA運営のエアロゾル地上観測ネットワーク。<http://aeronet.gsfc.nasa.gov/>

### 注5) エアロゾルの光学的厚さ

光を散乱・吸収する物質の大気気柱内に含まれる総量を示す値で、入射した光が1/eにまで減衰する時に1とする。計算上は、消散係数(散乱係数と吸収係数の和)を高度について積分した値(無次元)。

### 注6) 単一散乱アルベド

光子がエアロゾルなどに衝突したときに散乱される確率。単一次散乱アルベドが1の場合、全ての光子が散乱することを、0の場合は全ての光子が吸収されることを意味する。

## 論文情報

論文名 : Factors for inconsistent aerosol single scattering albedo between SKYNET and AERONET (SKYNET と AERONET によるエアロゾル単一散乱アルベドの差の要因)

ジャーナル名 : Journal of Geophysical Research-Atmospheres

著者名 : P. Khatri, T. Takamura, T. Nakajima, V. Estellés, H. Irie, H. Kuze, M. Campanelli, A. Sinyuk, S. -M. Lee, B. J. Sohn, G. Padhithurai, S. -W. Kim, S. C. Yoon, J. A. M. Lozano, M. Hashimoto, P. C. S. Devara, and N. Manago

## お問い合わせ先

カトリ・プラディーブ (特任助教 : [pradeep★restaff.chiba-u.jp](mailto:pradeep★restaff.chiba-u.jp)) ★を@に変えて下さい

入江 仁士 (准教授 : [hitoshi.irie★chiba-u.jp](mailto:hitoshi.irie★chiba-u.jp)) ★を@に変えて下さい

千葉大学環境リモートセンシング研究センター

〒263-8522 千葉県千葉市稲毛区弥生町 1-33

Tel : 043-290-3869 Fax : 043-290-3857