

# 一眼レフカメラを使用した地球照観測による地球のボンドアルベドの測定

井口 智晴 (高2) 【兵庫県立明石北高等学校】

## 要 旨

地球の気候に大きな影響を与える地球の反射率 (ボンドアルベド) を測定する方法として、近年、地球照を用いた手法が再注目されている。本研究では、広く普及している一眼レフカメラを用いてボンドアルベドの測定を行い、本手法のシズンサイエンス的視点での発展を目指す。

### 1. 研究背景・目的

地球の気候を左右するボンドアルベド (天体に入射した太陽光の総量に対して、あらゆる方向に反射・散乱された光の総量の割合) は通常、人工衛星による観測で求められるが、近年、月の陰側が光って見える地球照という天文現象 (図1左) を用いた方法が再注目を集めている。本現象は地球の反射光が月を照らす (図2) ことによって発生するため、月の明部との明るさの比から、地球のボンドアルベドを求めることが可能である。この方法は、20世紀初頭にフランスの天文学者、アンドレ・ダンジョンによって確立されたものであるが、近年は研究施設の大望遠鏡を用いた研究 (参考文献 1, 2, 3) も行われている。

本研究では、小型の観測装置、具体的には一眼レフカメラを用いた測定方法を確立することで、一般市民による地球照観測体制を構築することも目指す。この手法により、サンプル数を大幅に増やすことが可能となるため、観測地点による天気の問題や (世界的なネットワークの構築により) 観測時間の制約を解消し、さらには市民の気候変動への関心を高めるきっかけにもなり得ると考えている。

### 2. 方法

先行研究 (参考文献 2, 3 / 以下、先行研究) に基づき以下の検証を行った。

- さまざまな月位相における、幾何学アルベド ( $p^*$ ) の測定
  - 月の明部と地球照部分、それぞれが明瞭に映る露光時間の異なる2枚の月の写真を撮影し、明部と地球照、それぞれの明るさを測定する。また、月面の外側の空の明るさもそれぞれ測定し、バックグラウンドとして明部・地球照の測定値から引いたうえで (図1)、測定した値を露光時間で割ることで、1秒当たりの光量とする。
  - 先行研究の式に、得られた光量比の値および月の位相に基づく補正値を代入し、 $p^*$ の値を算出する。
  - さまざまな位相角  $\theta$  (太陽・月・地球の角度 / 図1) で幾何学アルベドを算出する (最終的にこれらの値からボンドアルベドを算出する)。
  - 先行研究のデータと比較する。
- 画像の一次処理 (ダーク補正・フラット補正) の必要性の検討  
同日の一次処理実施前後の画像、各5セットから光量の比を算出し、t検定および代表値の吟味を行った。
- 大気補正の必要性・手法の検討  
月の明部と地球照で光の波長分布が異なり大気による減光量が異なるため、それぞれに対して大気補正が必要であることが先行研究で示されている。
  - 同日の異なる時間に撮影した画像のセットから、先行研究に基づき大気減光係数を決定し、減光前の明るさを算出する。
  - (1)の手順より大気補正を行った値と、補正前の値、それぞれからアルベドを算出し、t検定により有意差があるかを判断する。
  - 複数日の観測から、大気減光係数の観測日による変化を調べる。

### 3. 結果・考察

- 位相角  $\theta$  と  $p^*$  値について、先行研究と同様の傾向が確認できたが、値がやや低くなった (図3)。大気減光による影響と思われる。
- 一次処理前後の光量比についてt検定を行ったが、有意差は見られない ( $p \geq 5\%$ ) という結果になった。しかし、処理により  $p^*$  値の分散が小さくなることが確認されたため、一次処理の必要性が認められた。
- 日によっては大気減光係数が負となる (高度低下に伴い増光している) ケースもあり、値が不安定であったが、全データを同日に撮影したものととして扱い算出したところ、0.469という値が得られた。これを適用した結果、 $p^*$ の値がより先行研究に近づくことが確認された (図3)。

### 4. まとめ・今後の展望

先行研究と同様の手順を踏むことで一眼レフカメラのような小型観測装置を用いた観測においても、系統誤差を軽減できることが分かった。引き続きデータの収集・分析を進めボンドアルベドの算出に取り組みたい。手法確立後はより手軽なスマートフォン等の観測機器の利用も試み、シズンサイエンス的プロジェクトに発展させたい。

### 5. 謝辞

研究について指導・助言いただいた高橋隼先生 (兵庫県立大学西はりま天文台)、伊藤真之先生 (神戸大学) に感謝します。本研究はJST次世代科学技術チャレンジプログラムの支援を受けROOTプログラムの枠組みで実施しています。

### 参考文献

- [1] P. R. Goode, et al. Geophysical Research. 2021, Volume 48, Issue 17
- [2] J. Qiu, et al. Journal of Geophysical Research: Atmospheres. 2003, Volume 108, Issue D22
- [3] Pallé, E. et al. Journal of Geophysical Research: Atmospheres. 2003, Volume 108 Issue D22



図1 明部、地球照、空の明るさ測定位置のイメージ

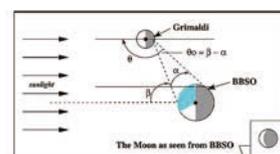


図2 地球照の原理 (参考文献2より)

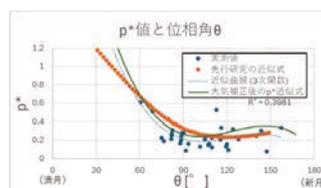


図3  $p^*$ 値と位相角 $\theta$ の関係