



## 研究背景

月の明部と地球照の明るさの比から地球のポンドアルベドが算出可能であることが知られている。

### 地球照

- 月の陰側が見える天文現象(図1)
- 地球による太陽光反射によって起こる(図2)
- 月が細い時ほど明るく見られる

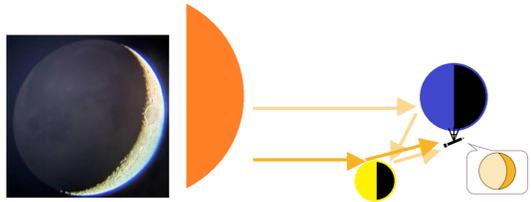


図1 地球照(山内愛結氏提供) 図2 地球照の原理

### ポンドアルベド

- 天体が光を反射・散乱し宇宙に放射する割合
- 天体のエネルギー収支を左右するため気候とも密接に関係

Danjon  
(20C前半)

Qiu +  
(2003)

Goode  
(2021)

独自の手法で地球照を観測  
⇒値を0.36程度と見積もる  
(現在の計測値は約0.30)

ビッグベア太陽観測所の望遠鏡で観測を実施  
⇒±1%程度の精度でのアルベドの測定に成功

地球照を20年間にわたって観測  
⇒地球温暖化との関係を示唆

かつてこの手法は人工衛星にとってかわられたが、近年再注目を集めており、研究施設の望遠鏡を使うことにより、人工衛星を用いた方法と同程度の精度で値を求めることが可能となった。

## 目的

- 小型観測装置(一眼レフカメラ)を使った観測手法の確立⇒市民の観測への参加(シチズンサイエンス・プロジェクト)を可能にする
- サンプル数を大幅増加  
⇒観測地による天候の問題の解消  
⇒世界的なネットワーク構築⇒24時間の観測体制

## 方法

Qiu et al. 2003 及び Palle et al. 2003 に基づき、以下の手順でポンドアルベドの算出を行った。

### 1. 撮影

観測回数: 38回  
(2025年4-12月)  
使用機材(図3):  
Canon EOS Kiss X7i  
+望遠レンズ(F4-5.6 IS STM)



図3 使用機材

月の明部および地球照を、それぞれがはっきり映るように異なる露光時間(明部:約1/80秒, 地球照:約4秒)で撮影する(図4)。(光度差が激しいため)

その後、一次処理(ダーク/フラット補正)でカメラのバイアス等を取り除く。(一次処理により測定値の分散が小さくなることを確認済み)

### 2. 測光

1. で得た画像から、明部と地球照それぞれ縁近くの月面の高地部分の測光を行う。その際、月の縁外側も同時に測光を行い、差をとることで散乱光や空の明るさの影響を抑える。(図4)

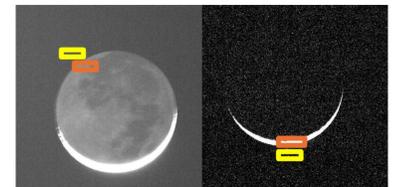


図4 月面の光度測定部(橙)とスカイ部分(黄)の選択箇所(おおよその場所)

### 3. 大気補正

大気減光後の光度  $I$  は、減光前の光度  $I_0$ 、エアマスコ  $h$  (高度に依存)、定数  $\alpha$  を用いて以下のように表されるので、異なる高度で得た観測データをこの式にフィッティングし、定数  $\alpha$  を求め、減光前の光度をそれぞれ求める。

$$I = I_0 e^{-\alpha h}$$

(地球照は時間により光度が変化してしまうことから、明部の係数との線形関係より算出)

### 5. ポンドアルベドの算出

以下の式の、 $\theta$  との関係を3次関数にフィッティングし、 $\theta$  について積分することでポンドアルベドを求める。

$$A = \frac{2}{3} \int_{-\pi}^{\pi} d\theta p^*(\theta) f_L(\theta) \sin \theta$$

### 4. 見かけのアルベドの算出

光度比  $I_a / I_b$  ( $I_a, I_b$  はそれぞれ地球照・明部の光度(大気補正済み)) を次の式に代入し、観測日毎に見かけのアルベド  $p^*$  を算出する。

$$p^* = \frac{3}{2f_L(\beta)} \frac{I_a}{I_b} f_b(\theta) \left[ \frac{R_{EM}}{R_E} \right]^2$$

$f_L(\beta), f_b(\theta)$  はそれぞれランベルト球体・月の位相補正(角度は図5を参照)、 $R_{EM}$  は地球-月の距離、 $R_E$  は地球の直径を意味する。

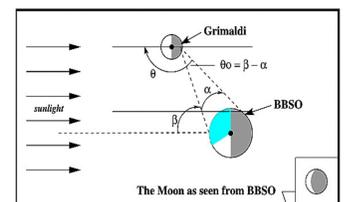


図5  $p^*$  の式における角度 (Palle et al. 2003)

## 結果・考察

### 3. 大気補正

### 4. 見かけのアルベド

3. の手順により月の明部の減光係数を求めた結果、 $\alpha=0.469$  となり、先行研究の値(0.10) よりかなり大きな値となったが、この補正により値の傾向が先行研究により近づくことが確認された。(図6)

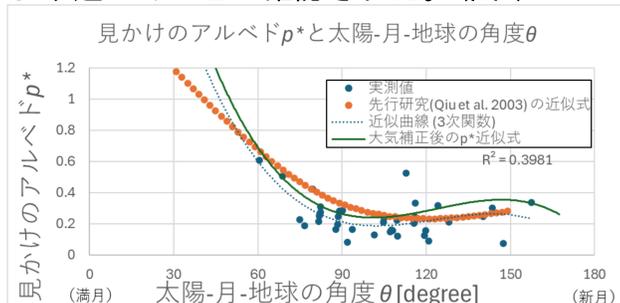


図6  $\theta$  の変化による  $p^*$  の変化

### 5. ポンドアルベド

$A=0.30 \pm 0.06$   
(95%)

実際の目安値 0.30 と一致した。また、仮にサンプル数を  $n$  倍にした際の誤差が  $1/\sqrt{n}$  倍になるとすると、サンプル数を100倍にすることで、先行研究に匹敵する精度となることがわかる。

## 今後の展望

- 大気補正の効果の検証が不十分  
⇒データを増やしたうえで検証を行いたい
- 測光を手動から自動に  
⇒処理をより容易・定量的に
- シチズンサイエンス・プロジェクトの実施
- スマートフォン等のカメラ機能を利用した観測

## 参考文献

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