

DESTINY⁺搭載カメラ TCAP と MCAP の地上光学校正計画

○岡本 尚也¹, 石橋 高¹, 山田 学¹, 洪 鵬¹, 吉田 二美^{1,2}, 荒井 朋子¹, 石丸 貴博³,
太田 方行³, 宮原 剛³, 高島 健³

¹千葉工業大学 惑星探査研究センター, ²産業医科大学 医学部 医科物理学,

³宇宙航空研究開発機構 宇宙科学研究所,

深宇宙探査技術実証機 DESTINY⁺ (Demonstration and Experiment of Space Technology for INterplanetary voYage with Phaethon fLyby and dUst Science)は 2024 年度に打ち上げが計画され, 小惑星 (3200) Phaethon を高速フライバイする予定である [1]. 搭載される小惑星追尾望遠モノクロカメラ TCAP とマルチバンドカメラ MCAP の 2 台のカメラで, 以下の 4 つの科学目標を達成することを目指す; (1) Phaethon のグローバル形状の解明: ライトカーブ観測と輪郭観測, (2) Phaethon のセミグローバル形状の解明: Phaethon の 3 次元形状, (3) Phaethon 表層のローカル地形の解明: Phaethon 表層の詳細な地形観測, (4) Phaethon 表層の物質分布の解明 [2].

一般的にカメラで撮像した生画像には, 光学系や撮像素子に由来する画像の歪みや減光, 不要な光, ノイズ等が含まれている. また, 得られた画素情報から適切な物理量を取り出すには撮像素子の特性を把握し, 画素が持つカウント値と物理量との対応関係を知っておく必要がある. すなわち, カメラが得る生画像から科学的に意味のあるデータへと焼き直す校正作業が必須である. 本発表では, TCAP, MCAP 両カメラの地上光学校正計画の検討状況について報告を行った.

科学目標(1)-(4)を達成するために TCAP, MCAP で必要な光学校正は, 大きく分けると(a)撮像素子の特性を把握するための素子の性能評価, (b)カメラが測定したカウント値を理学的に意味のある値に変換するための感度校正, (c)カメラが撮像した測定点の位置を画像上に正しく配置させるための幾何学校正の 3 つから構成される. 現在計画している光学校正の概要として, 光学校正の主な性能評価・校正項目, 測定条件・評価方法, 実施フェーズ, 測定装置等を, 表にまとめている(17 枚目の補助スライド). 性能評価や校正データ取得はカメラ組み上げ後に実施するのが望ましいが, カメラ全体の温度調整はコスト, 試験の準備・工程の面で困難である. そこで, 光学系の影響が重要となる感度校正と幾何学校正は光学系取り付け後に実施するが, 撮像素子の性能評価は光学系取り付け前のフェーズに実施し, 恒温槽を用いて広い範囲での温度依存性についての評価を行う. 撮像素子の評価試験では, ダーク環境下で, ダーク画像の取得, 暗電流, ダークショットノイズ, 読み出しノイズ, ホットピクセルの調査を行う一方, ライト環境下で, デッドピクセルの調査, 固定パターンノイズ, リニアリティ, コンバージョンゲイン, 飽和電荷量の評価を行う予定である. ライト環境では恒温槽内の撮像素子に, 時間変動のない安定した入射光子フラックスが既知の光を照射する必要がある. 光源を恒温槽内あるいは槽外に設置するかは現在検討中である. 光源を槽内に設置する場合は, 光源の温度依存性の評価が必要となる. また恒温槽内での反射や散乱による迷光対策を防ぐ必要がある.

感度校正では, フラットフィールド画像の取得, 感度特性(面光源, 点光源特性), 迷光の評価を行い, 幾何学校正では点像分布関数, 歪曲, 視野角・角度解像度の評価を行う. 同一の試験セットアップで評価可能なものは同一の試験セットアップで行う; 面光源を利用した試

験:フラットフィールド画像の取得, 面光源の感度特性 ; 点光源を利用した試験: 迷光, 点像分布関数, 歪曲, 視野角・角度解像度, 点光源の感度特性.

面光源は, 筑波宇宙センター(JAXA/EORC)の硫酸バリウム積分球が使用候補である. 面光源を用いた試験では, 室温, 大気圧下で測定する. また TCAP では駆動鏡の角度, 設置姿勢を変えて撮像し, 鏡の回転角依存性や駆動部に対する重力が測定結果に影響を与えていないことを確認する検討を行っている. 点光源は, コリメータを利用し, TCAP と MCAP を方位角方向と仰角方向に振れる二軸のジンバルに設置して, 供試体に対する光の入射角度を変えることで, 撮像素子の様々な位置(画角)でデータの取得を行う. 基本的には室温, 大気圧下で測定し, これに加えて, 空調による室温調整で温度を振りその傾向を把握し, シミュレーションと合わせて広い温度範囲での温度依存性の評価を行うことを検討中である. この試験でも, TCAP 駆動鏡の回転角依存性や駆動部に対する重力が測定結果に影響を与えていないことを確認するための方法を検討している.

特に本カメラ校正において考慮すべき点が 2 点ある. 1 つは, 面光源・点光源による感度特性の違いである. 過去の宇宙探査機で行われたカメラ観測から, 面光源と点光源で感度特性が異なる可能性が指摘されている. この違いがどういった原因で起こっているかを調査し, 必要であれば, 地上光学校正試験において面光源と点光源でそれぞれ感度特性を評価することが重要となる. もう 1 つは, 積分球で取得するデータの適用方法である. 積分球で取得するデータをそのまま使用して Phaethon 観測データの感度校正を行うと, 観測バンドによっては, 補正誤差が 20%ほど生じる可能性があるという結果が得られた. これは積分球と Phaethon のスペクトル形状(色温度)が大きく異なることに起因する. そのため積分球で取得するデータをそのまま用いるのではなく適切な補正が必要であり, その方法を検討する必要がある.

また, TCAP と MCAP の EM, FM の校正をスムーズに実施するために, 我々は本番を想定した模擬校正を事前に行い, 問題点の洗い出しや解析方法の検討を行う予定で準備を進めている. ピンホール, レンズ, レンズチューブ, 望遠鏡などを用いて, カメラの撮像素子上に画素サイズ以下のピンホール像を投影できるコリメータを製作した. ゴニオステージ 2 台(仰角, 方位角方向に移動可)を組み合わせた 2 軸のジンバルに DESTINY⁺搭載カメラに相当する模擬カメラを設置し, 点像を素子上の様々な位置で撮像して点像分布関数, 視野内迷光, 歪曲, 視野角・角度分解能の模擬データを取得する. またフラットフィールド画像の取得や面光源の感度特性の評価模擬のために, LED フラットパネルを面光源として利用した模擬データ取得も計画している. このように, 本番を想定した模擬校正を行い, 実際の校正試験における問題点の洗い出しや解析方法の検討, 解析ツールの作成を行って準備を進めてゆく.

[スライドは公開可能な範囲に編集いたしました. ご容赦願います]

参考文献: [1] Arai, T. et al., (2021), LPSC 52, Abstract #1896. [2] Ishibashi, K. et al., (2021), LPSC 52, Abstract #1405.