

# JASMINE ミッション検討に向けた観測シミュレータの開発



## Development of the JASMINE observation simulator

上塚貴史<sup>1</sup>、山田良透<sup>2</sup>、河田大介<sup>3</sup>、大澤亮<sup>1</sup>、河原創<sup>1</sup>、大宮正士<sup>4</sup>、平野照幸<sup>4</sup>、片ざ宏一<sup>5</sup>、立川崇之<sup>6</sup>、服部公平<sup>7</sup>、福井暁彦<sup>1</sup>、吉岡諭<sup>8</sup>、Löffler Wolfgang<sup>9</sup>、臼井文彦<sup>5</sup>、泉浦秀行<sup>10</sup>、三好真<sup>10</sup>、矢野太平<sup>10</sup>、郷田直輝<sup>10</sup>、JASMINE データ解析ワーキンググループ  
1: 東京大学; 2: 京都大学; 3: University College London; 4: アストロバイオロジーセンター; 5: 宇宙航空研究開発機構; 6: 高知工業高等専門学校; 7: 統計数理研究所; 8: 東京海洋大学; 9: University of Heidelberg; 10: 国立天文台

### 0. 概要

JASMINE ミッションでは25マイクロ秒角という超高精度の天体位置測定を銀河中心方向で実現する。この位置天文観測の確実な実現には、様々な観測阻害要因を考慮した観測戦略の検討が重要である。その観測戦略の立案、および観測実現性の検討のため、衛星の姿勢擾乱・望遠鏡光学系の光学歪み・検出器の動作特性など、多様な要素を模擬した観測シミュレータ jasmine-imagesim を開発している。本講演ではこの開発の現状について講演する。

### 1. JASMINE の観測要求

JASMINE ミッションでは銀河中心方向を撮像し、画像中に写った天体の位置を精密に測定する。多数回観測により位置決定精度を向上させるが、もとななる一回の撮像においても4ミリ秒角という非常に高い位置決定精度が求められる(図1)。

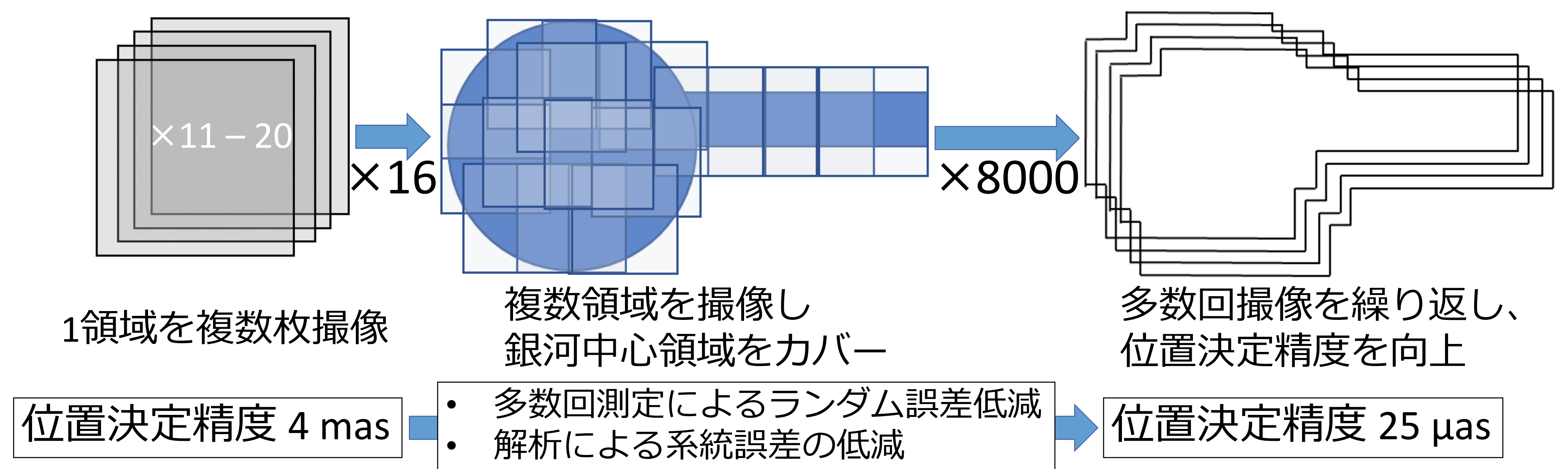


図1: JASMINEの観測戦略と求められる天体の位置決定精度。精度要求は12.5等級より明るい天体とする。

### 2. 天体位置決定の困難

天体光は望遠鏡光学系で焦点面センサに結像され、デジタル画像として記録される。記録された星像の輝度分布をもとに天体の位置を決定するが、4ミリ秒角の精度要求は1/100ピクセル相当の微小量であり、星像形状に影響する様々な要素により達成が難しくなる(図2)。

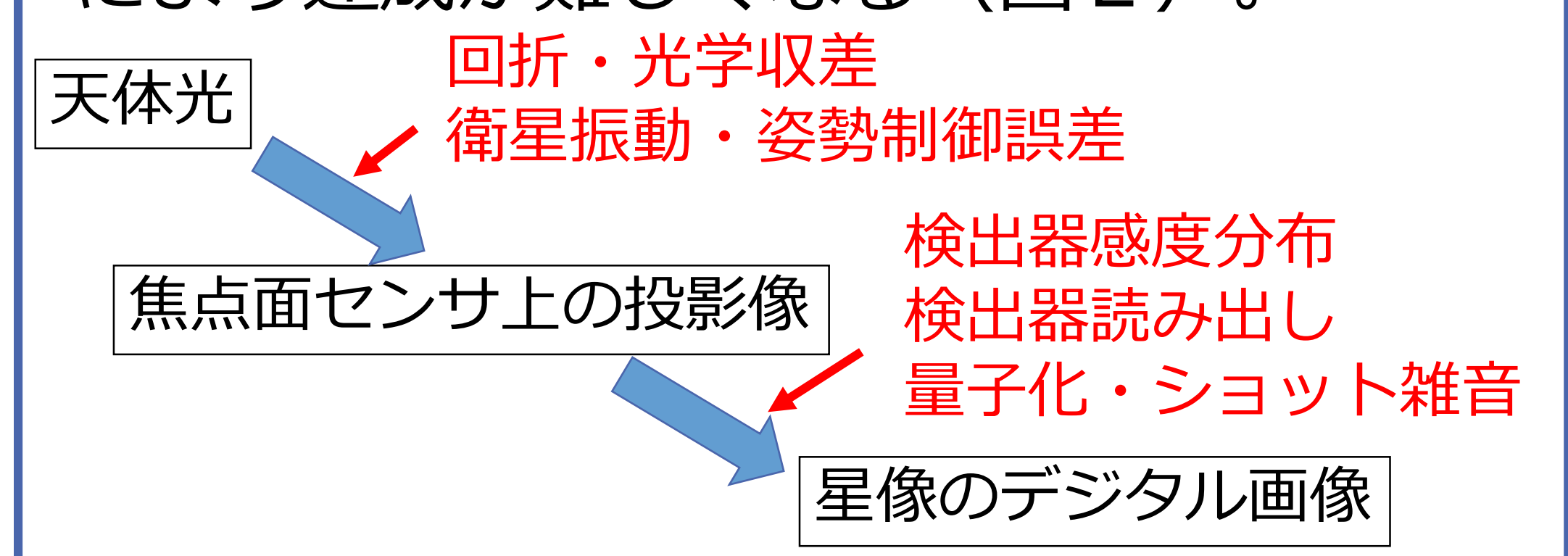


図2: 星像画像にいたる過程で星像形状に影響する多様な要素(赤字)。

### 3. JASMINE 観測シミュレータ jasmine-imagesim

要求される天体位置決定精度の達成実現性や観測戦略を検討するため、図2のような誤差要因を考慮してJASMINEの観測データを模擬する観測シミュレータ jasmine-imagesim (jis) を開発している。jis は github にて管理・公開し、複数人での分担開発や広いユーザーによる JASMINE 観測シミュレーションを可能にしている (github リンク: <https://github.com/JASMINE-Mission/jasmine-imagesim>)。コードは python で記載されており、python3 ≥ 3.7, numpy ≥ 1.17, cuda ≥ 7.5 等を満たす環境で動作する。現在は以下のような計算により観測シミュレーションが可能である。

#### a. 星像計算

回折・光学収差を考慮した星像を、開口形状・波面誤差データをもとに計算。

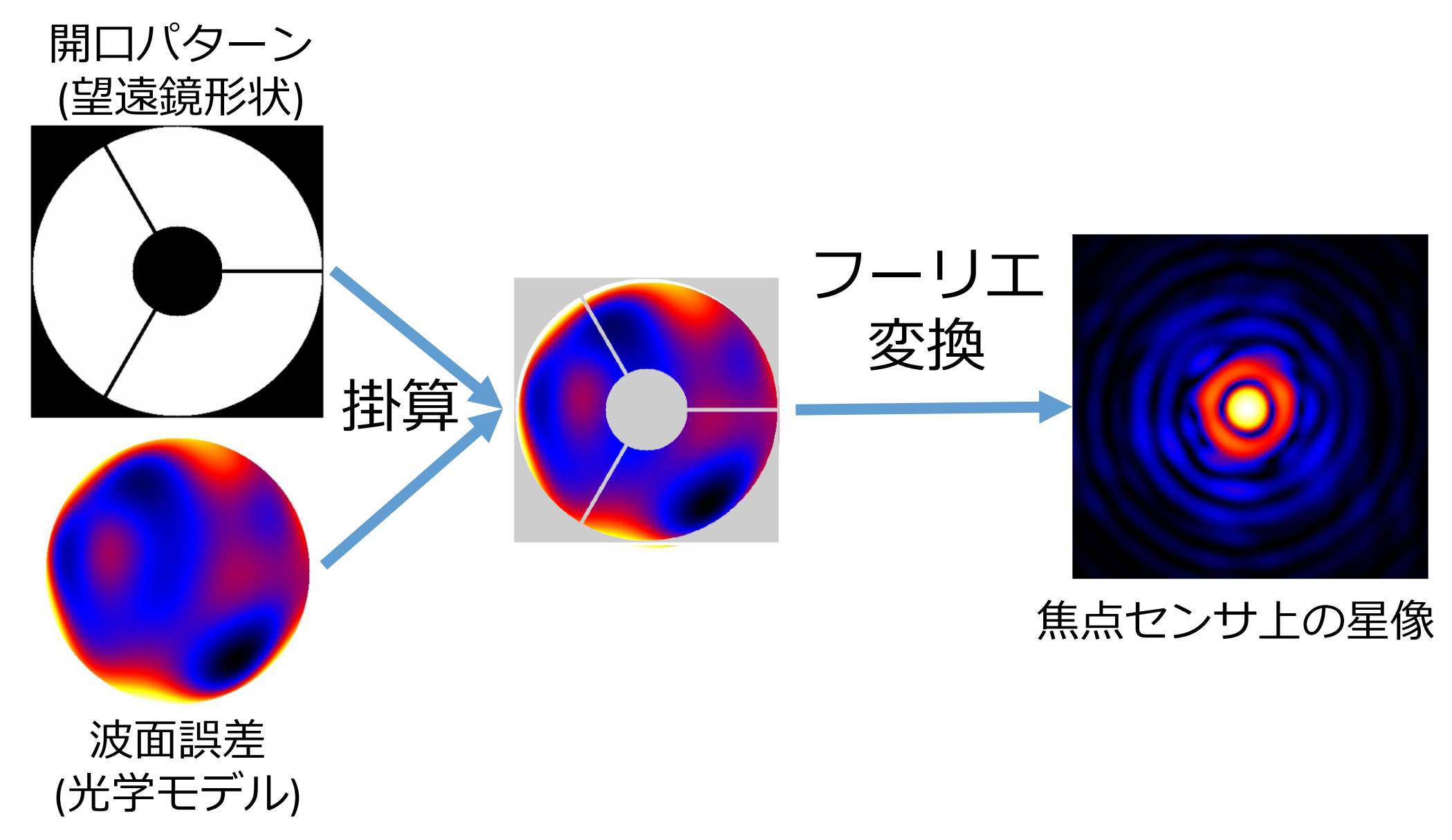


図3: 焦点センサ上の星像計算の過程。

#### b. 衛星振動・姿勢制御誤差計算

衛星の振動・姿勢制御誤差に因る焦点面上の星像移動を計算。

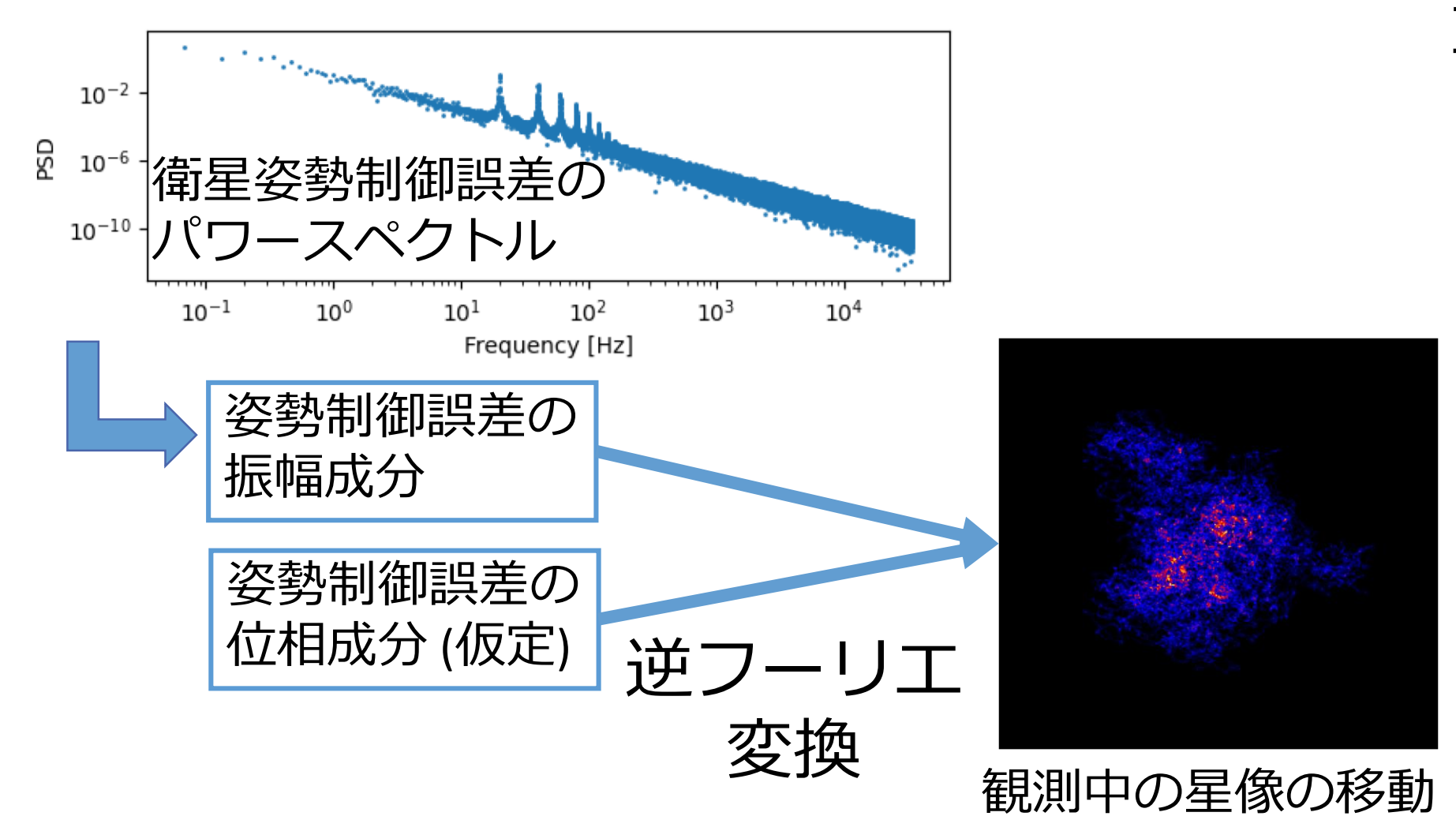


図4: 衛星の振動・姿勢誤差による星像移動シミュレーションの過程。

#### c. 観測画像の生成

a. の星像を b. の星像移動に従い移動させ、検出器特性・雑音を考慮して積分し、量子化して観測されるデジタル画像を生成。

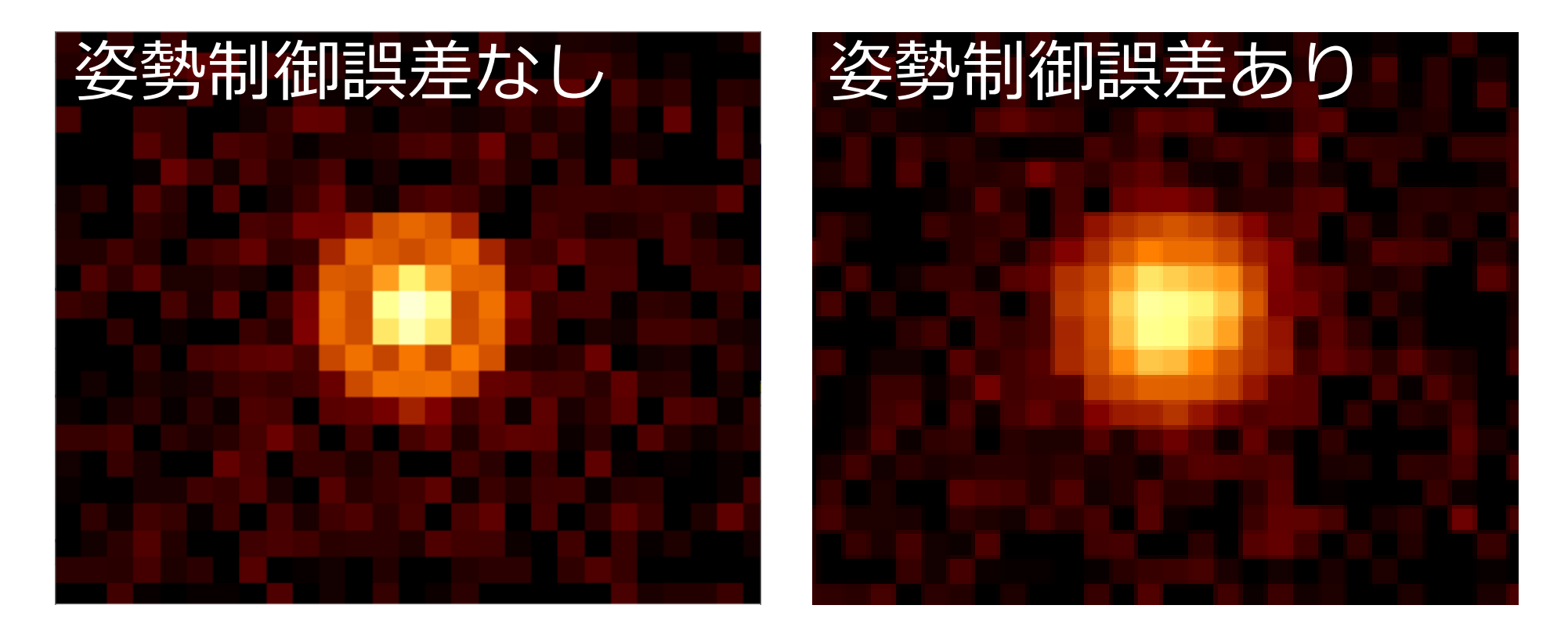


図5: 衛星の振動・姿勢制御誤差を考慮しない時(左)と考慮したとき(右)の観測シミュレーション画像。姿勢制御誤差により星像ににじみや非対称性が現れ、天体の位置決定精度に影響が出る。

### 4. 位置決定精度検討の例

jis では各誤差要因の有無や大きさを自由に設定できる。これを利用し、JASMINEの現観測条件仕様における各誤差要因の影響の大きさを、表1の条件でシミュレーションして調査した。結果、観測要求である「12.5等級の天体で1回撮像の位置決定精度要求4ミリ秒角」を達成できること、明るい天体では検出器の感度ムラ、暗い天体では姿勢制御誤差による影響が大きいことがわかった(図7)。

表1: 計算した各モデルの条件。

モデル名	FLT	ACE	WFE
N	×	×	×
F	○	×	×
FA	○	○	×
W	×	×	○
FAW	○	○	○

×: 考慮しない; ○: 考慮する  
FLT: 検出器のピクセル感度ムラ (1% RMS)  
ACE: 姿勢制御誤差 (276 ミリ秒角 RMS)  
WFE: 2枚鏡設計の波面誤差

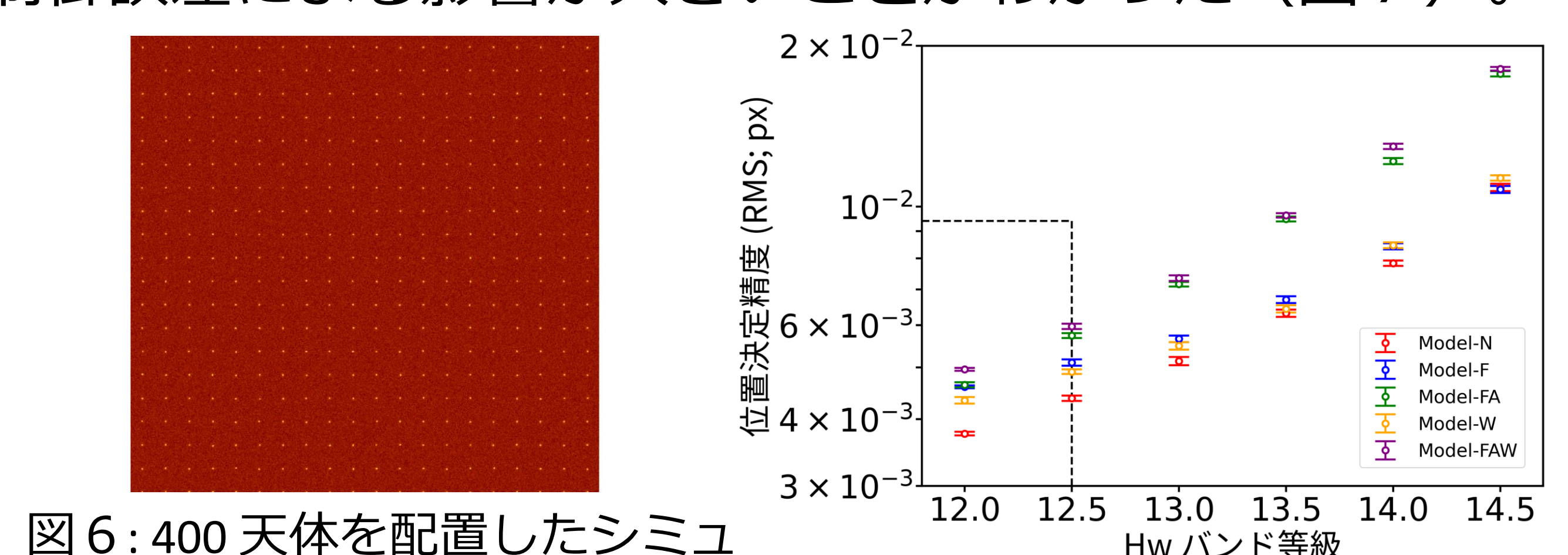


図7: 位置決定精度の観測等級依存性。

図6: 400天体を配置したシミュレーション画像。各天体位置を解析し、正しい位置とのずれから位置決定精度を評価。

### 5. まとめと今後の課題

JASMINE 観測のシミュレータ jasmine-imagesim (jis) を開発し、回折・光学収差・衛星姿勢制御誤差・検出器感度分布・ショット雑音・量子化を考慮した観測シミュレーションが可能となった。これを利用し、ミッションのかなめとなる「1回撮像の位置決定精度要求4ミリ秒角」の成立性を確認した。

ただし、背景光ムラ・検出器読み出しなど、現状考慮できていない誤差要因を盛り込んだ詳細調査が今後の課題である。複数回観測による精度向上の検証、測光モニタリング観測の精度検証なども jis を利用しながら実施していく予定である。