

**CG を用いた「はやぶさ 2」地球スイングバイの  
再現と光度変化推定**

**三浦昭、山本幸生、吉川真  
宇宙航空研究開発機構  
宇宙科学研究所**

# 「はやぶさ2」地球スイングバイ

- 平成27(2015)年12月3日(木)
- 夕方～夜(日本時間)
- 最接近: 19:08(日本時間)
- 日本上空の通過: 18:00～19:00頃

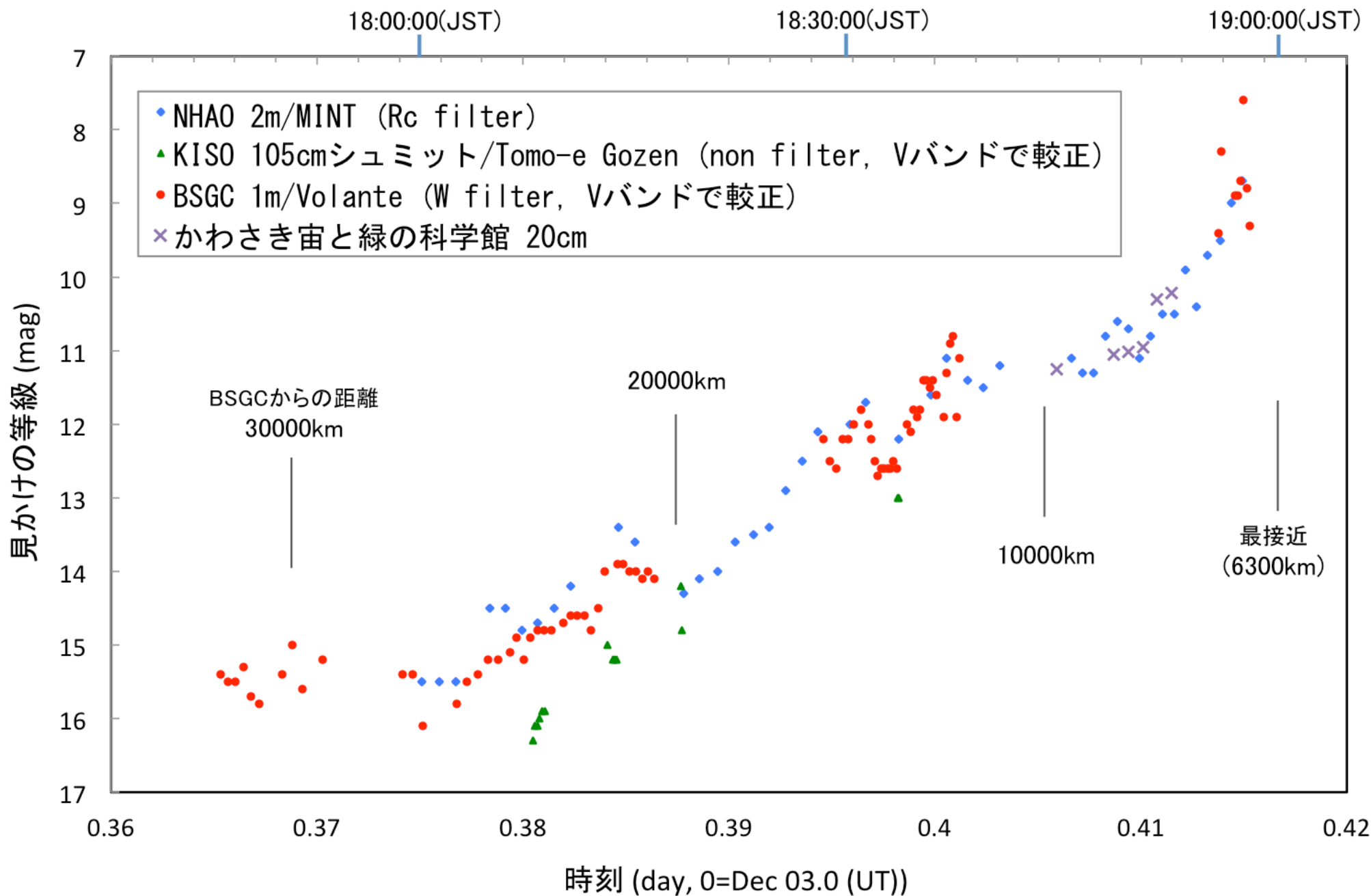
# 「はやぶさ2」地球スイングバイの観測

- **兵庫県立大学西はりま天文台 (NHAO)**
  - なゆた望遠鏡 / 可視多波長撮像装置MINT
  - 「なゆた望遠鏡による地球スイングバイ中のはやぶさ2の撮影(まとめ)」
    - <http://www.nhao.jp/research/news/news151204.html>
- **東京大学木曾観測所**
  - 105cmシュミット望遠鏡 / Tomo-e Gozen
  - 「『はやぶさ2』地球スイングバイ観測プロジェクト」
    - <http://www.ioa.s.u-tokyo.ac.jp/kisohp/NEWS/hayabusa2/hayabusa2.html>

# 「はやぶさ2」地球スイングバイの観測

- **美星スペースガードセンター**
  - 1m望遠鏡 / Volante
  - 日本スペースガード協会 **はやぶさ2観測速報(2015年12月3日)**
    - <http://www.spaceguard.or.jp/RSGC/haya2.html>
- **かわさき宙と緑の科学館**
  - 20cm望遠鏡
  - 「かわさき宙と緑の科学館で捉えた『はやぶさ2地球スイングバイ』」
    - 佐藤幹哉 et al., 日本天文学会2016年春季年会
  - - <http://meteor.kaicho.net/hayabusa2kawasaki/kawasaki-1851.mp4>

# 「はやぶさ2」みかけの等級の変化



# この様子を、CGで再現する

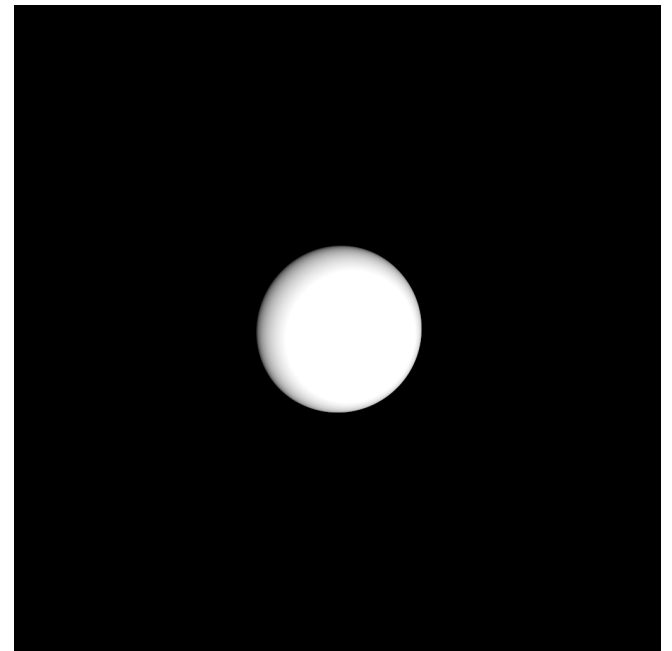
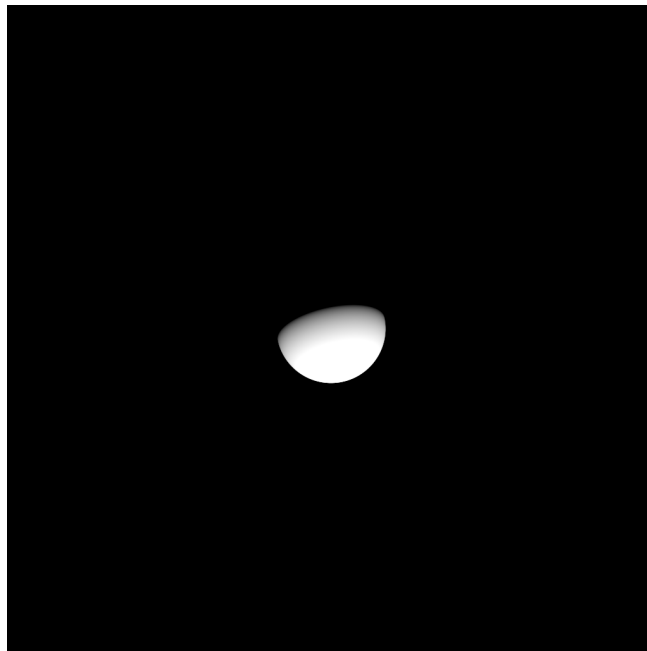
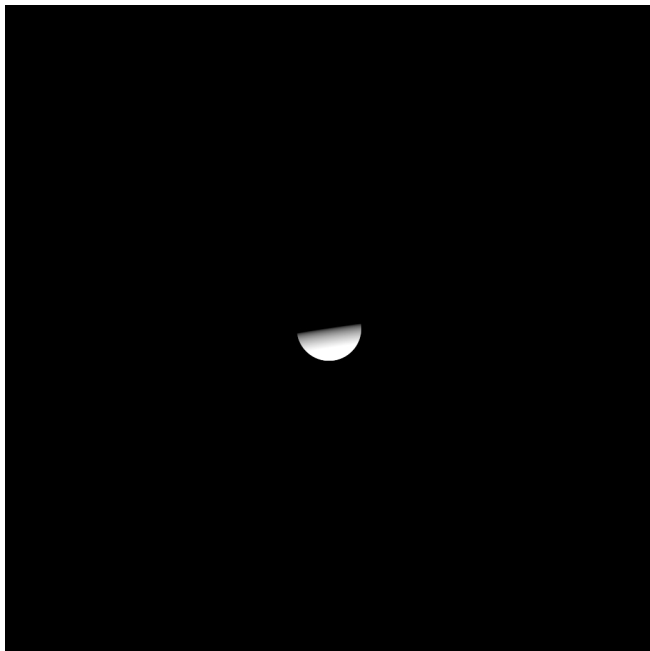
- **想定する観測地点**
  - 美星スペースガードセンター
- **観測地点における「はやぶさ2」の見え方を再現**
- **用いるCGソフトウェア: POV-Ray**
  - スクリプト式のレイトレーシングソフトウェア

# SPICEカーネルの利用

- 「はやぶさ2」の位置・姿勢:
  - [http://darts.jaxa.jp/pub/hayabusa2/spice\\_bundle](http://darts.jaxa.jp/pub/hayabusa2/spice_bundle)
  - 2015/12/3の位置・姿勢データを抽出
  - 位置データ:
    - `hyb2_20151123-20151213_0001m_final_ver1.oem.bsp`
  - 姿勢データ:
    - HKデータ: `hyb2_hk_2015_v01.bc`
      - ~9:00[UTC]
    - AOCSデータ: `hyb2_aocsc_2015_v01.bc`
      - 9:00[UTC]~
- 太陽・地球の諸元も、同様にSPICEカーネルから

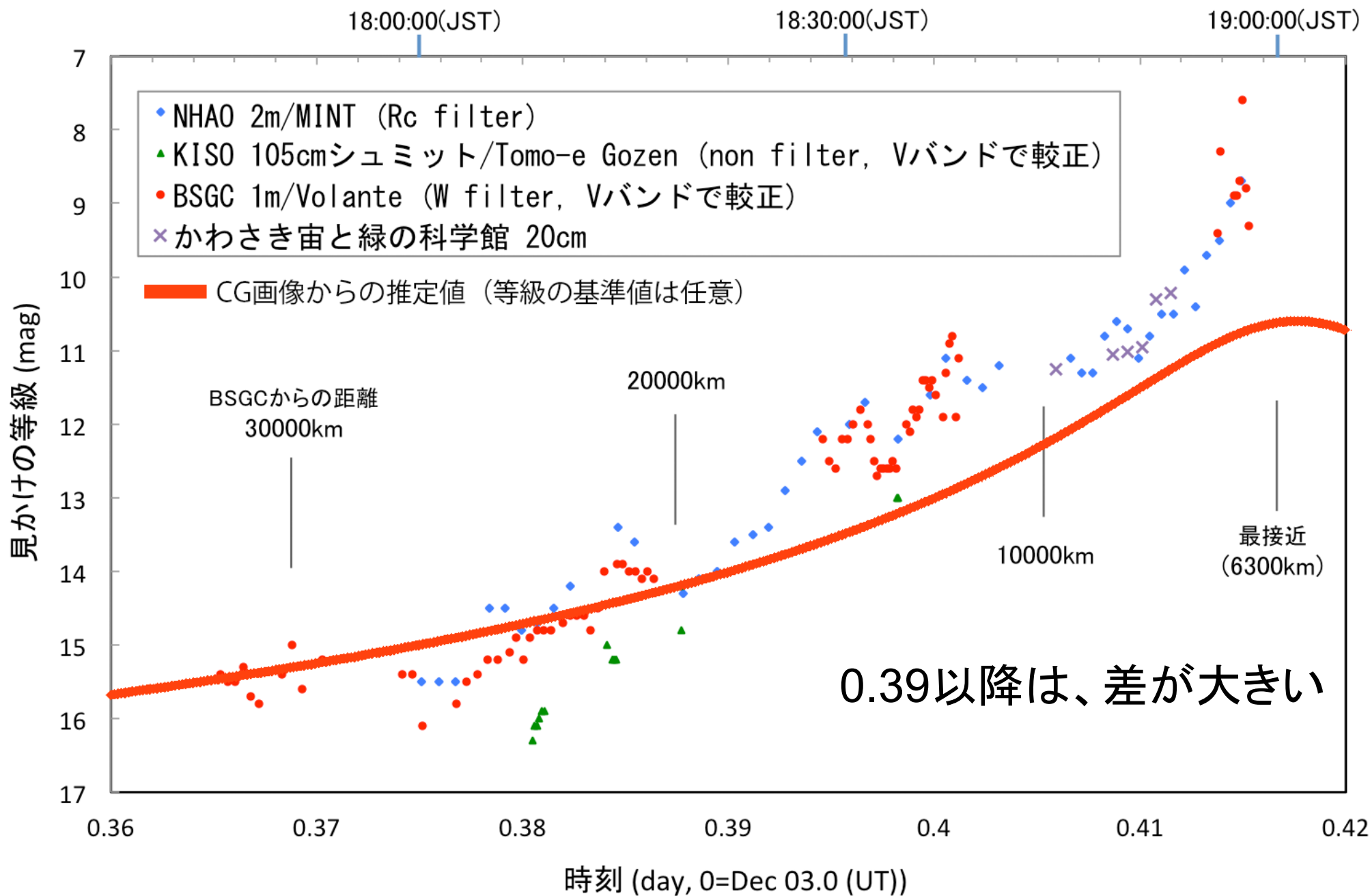
# はやぶさの形状近似: 球、ランバート反射

- 視点(美星)と太陽方向の位置関係により満ち欠けする。



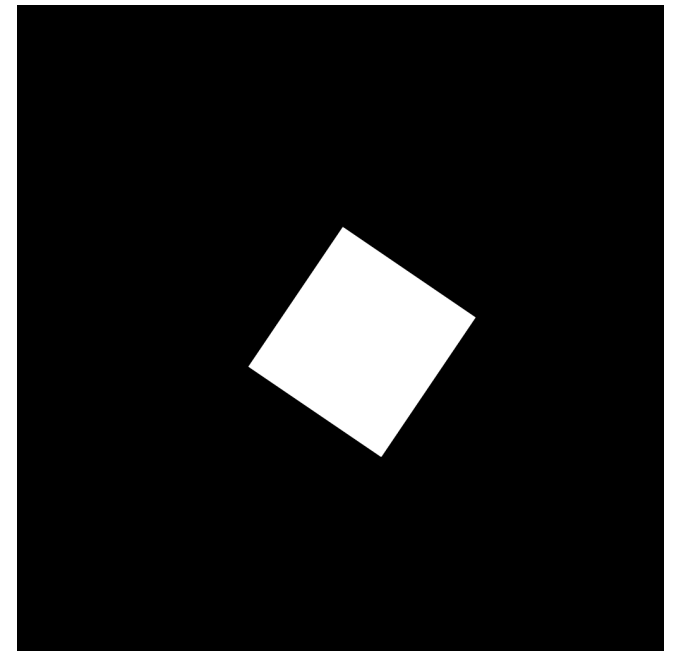
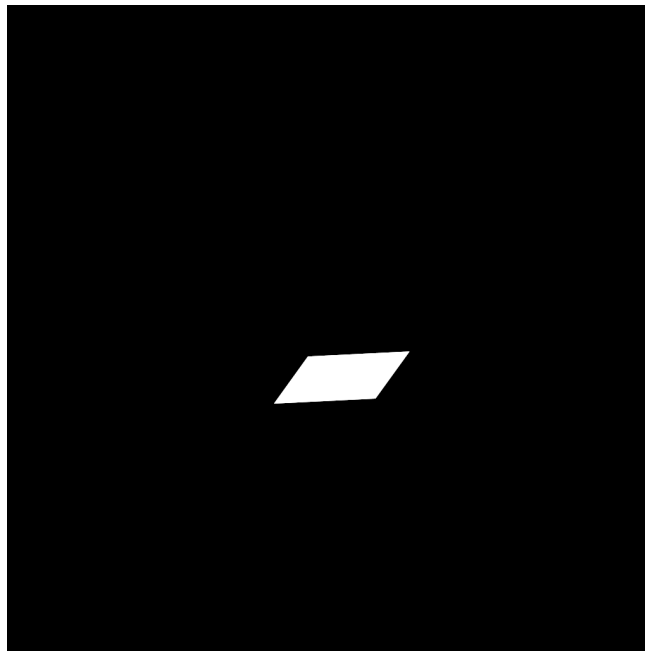
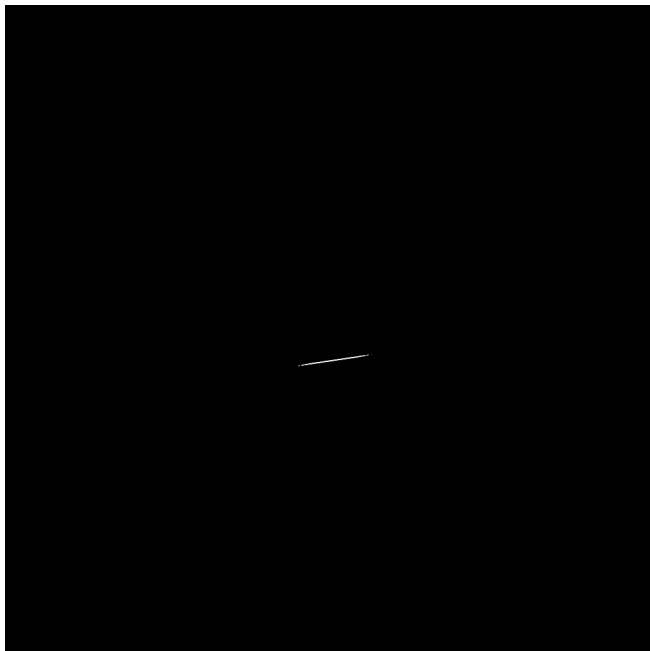


# はやぶさの形状近似: 球、ランバート反射

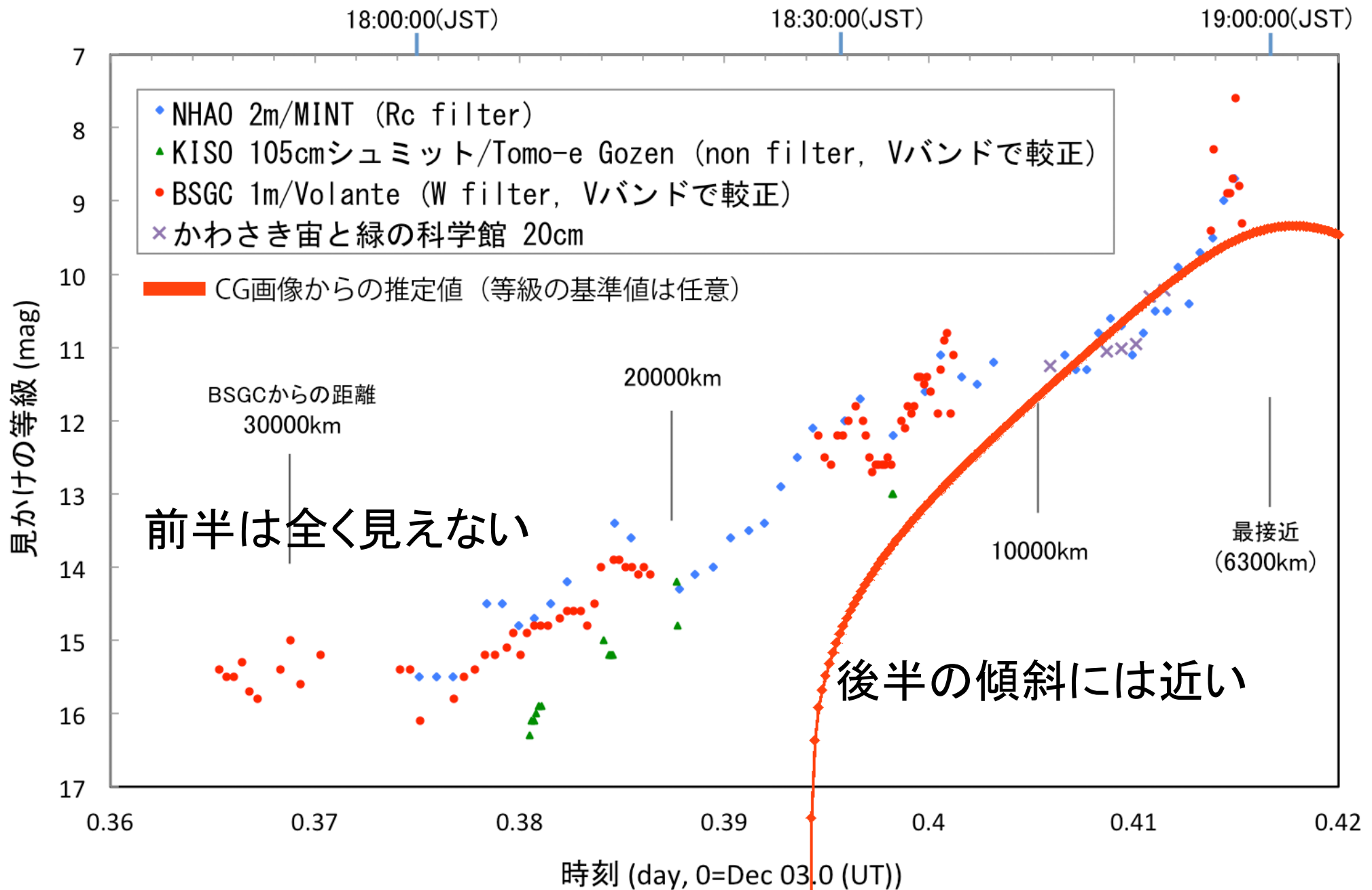


# はやぶさの形状近似: 立方体、ランバート反射

- 「はやぶさ2」の上面(+Z方向)が常に太陽方向に向いていたため、レンダリング結果は単色
- +Z面以外は、すべて影となっている
  - 特に観測期間の前半は、真っ暗になる

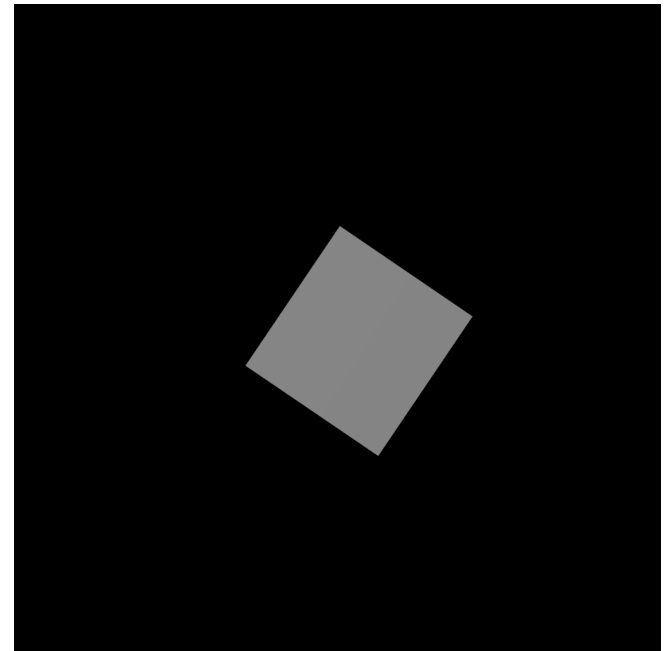
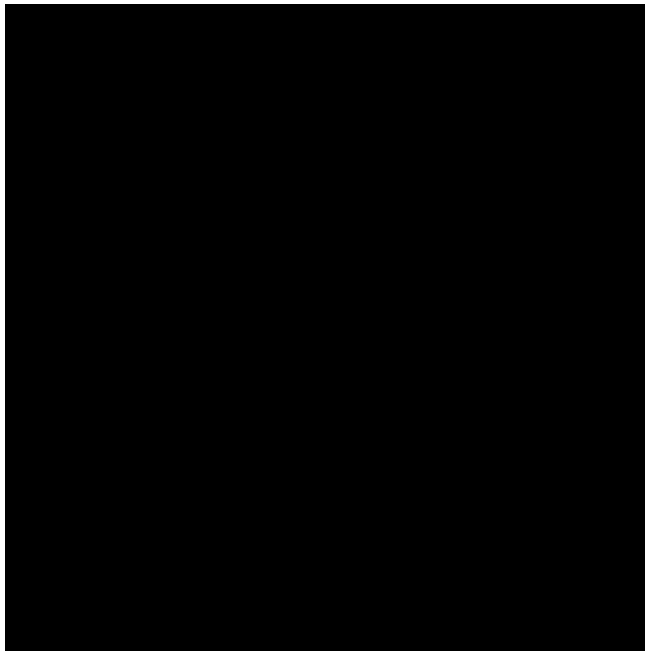
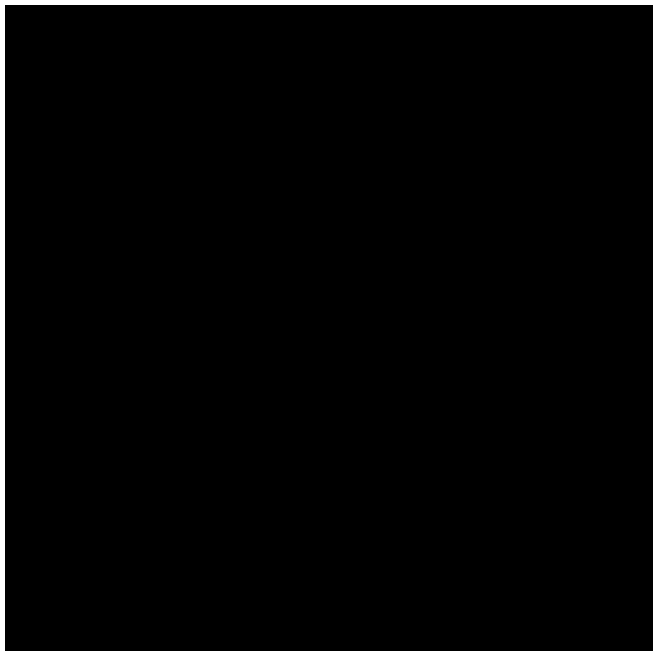


# はやぶさの形状近似: 立方体、ランバート反射

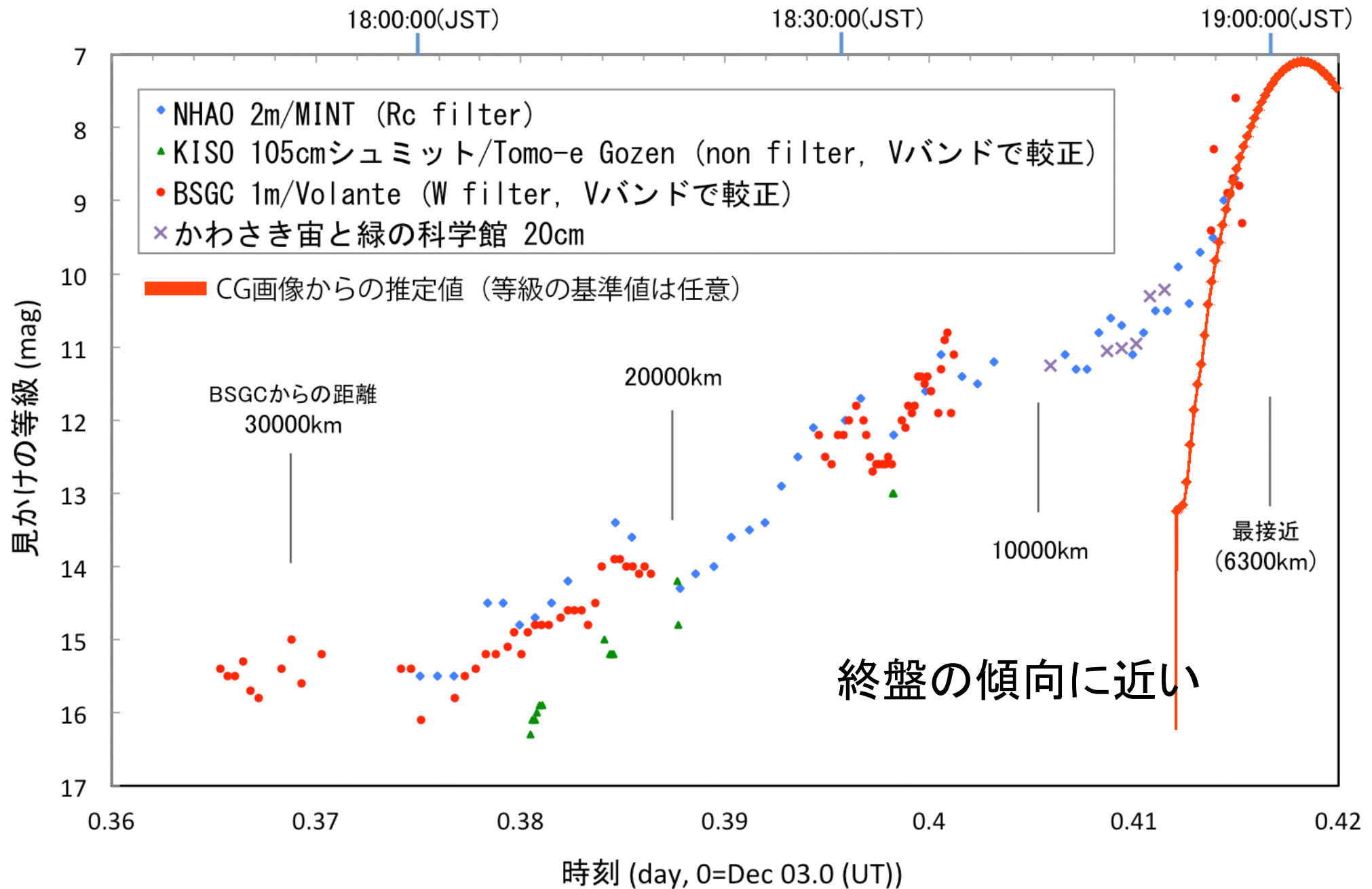


# はやぶさの形状近似: 立方体、粗い鏡面反射

- POV-Rayのパラメータとして
  - specular albedo 0.2
  - roughness 0.01



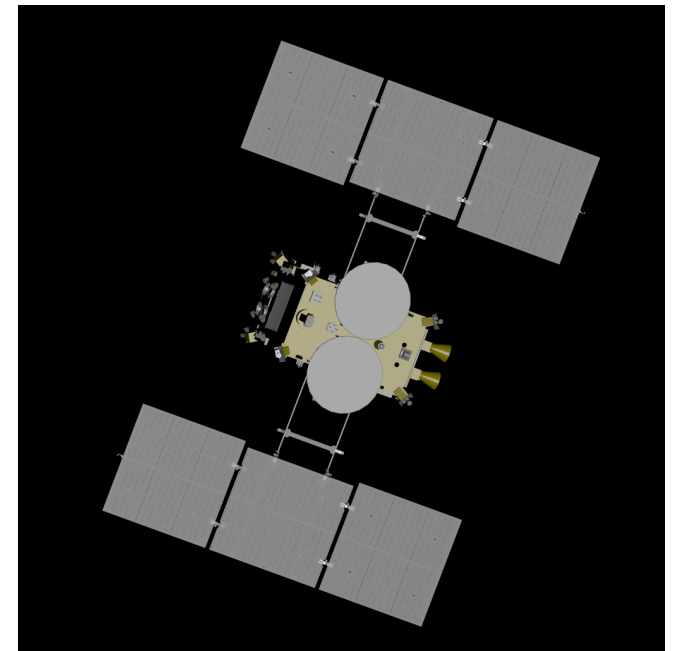
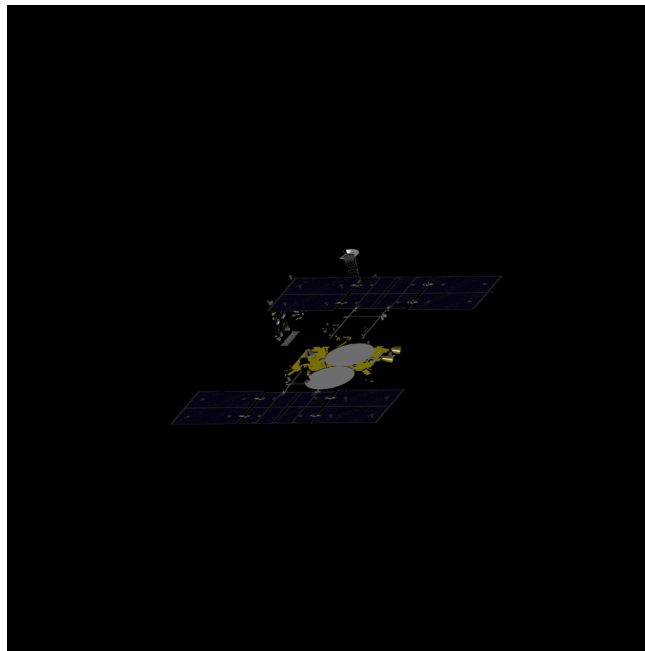
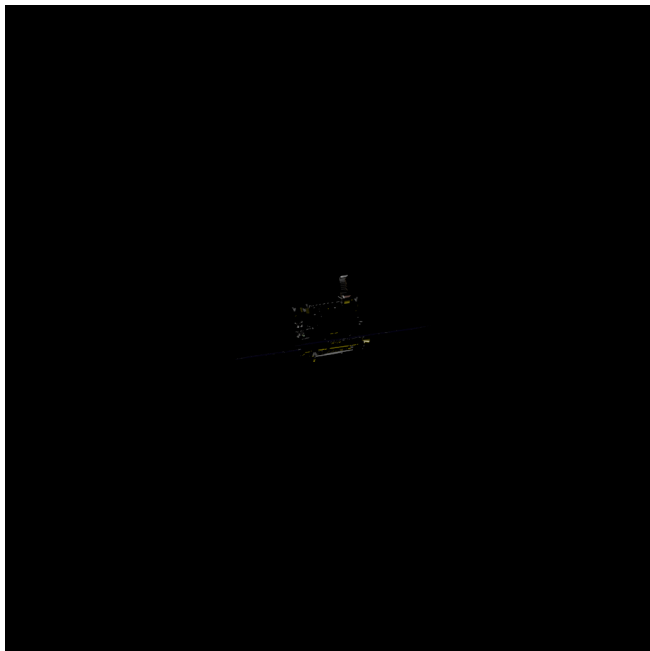
# はやぶさの形状近似: 立方体、粗い鏡面反射



- シンプルなモデルで光度変化を表すのは困難
- 部分的には一致していると思われるモデルがある

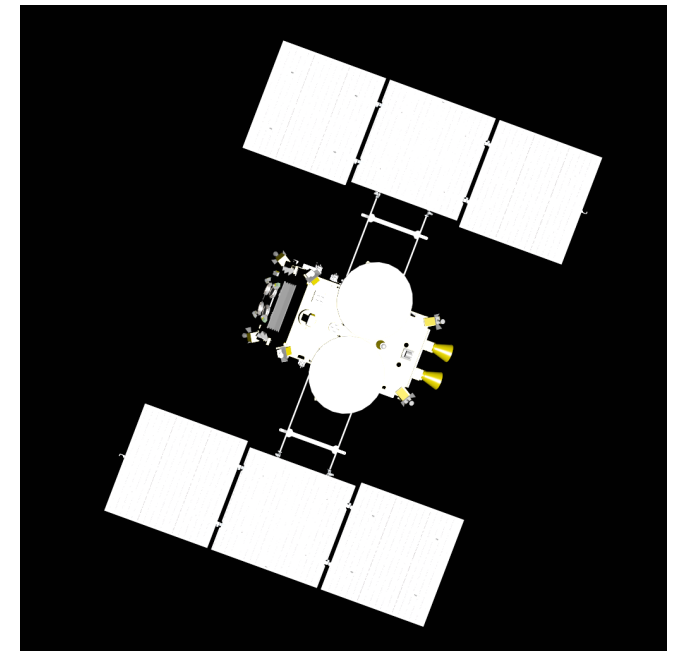
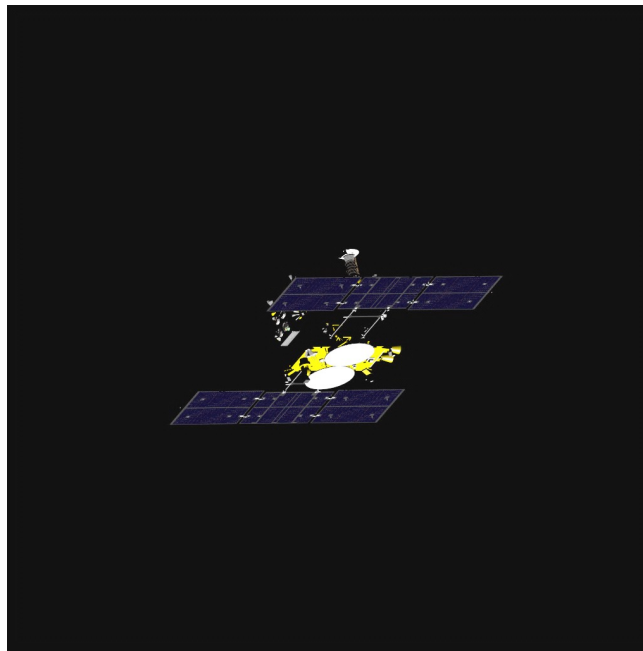
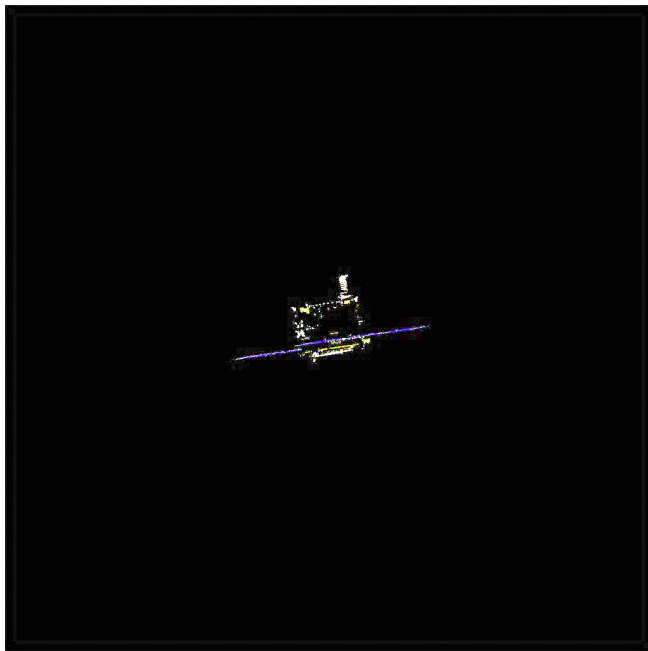
# はやぶさの形状近似: 形状モデル(1)

- CG用の形状モデル
  - ランバート反射: 粗い鏡面反射=4:1
  - 太陽パネルは暗色



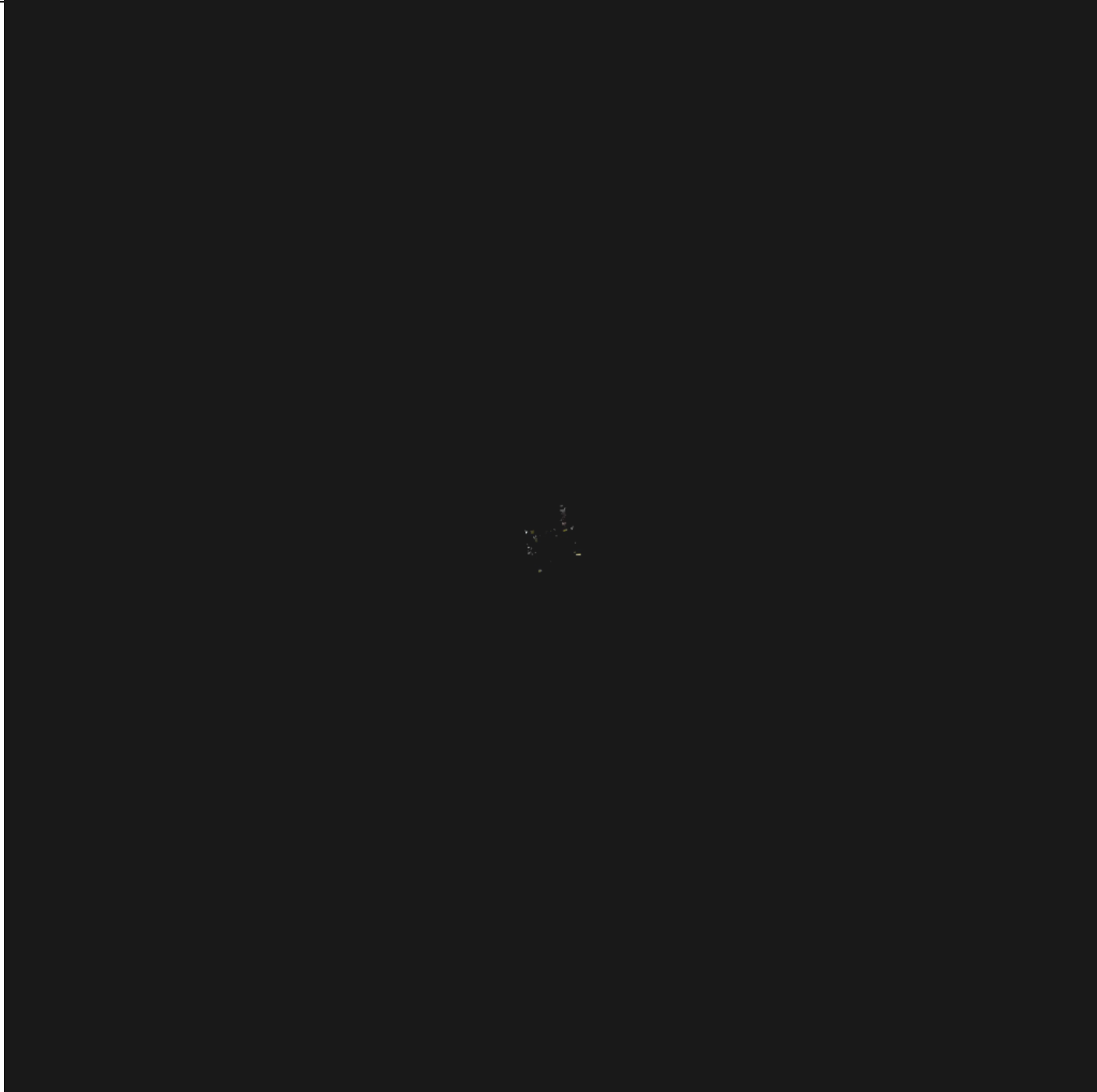
# はやぶさの形状近似: 形状モデル(1)

- 前半は、美星側に裏面(−Z面)が向いている
  - 僅かに漏れた光が見える(立方体モデルとの相違)
- 太陽側(+Z面)が見え始めて、急激に明るくなる
- 最接近付近は+Z面が美星を向いている
  - 近距離であることと、鏡面反射的要素の相乗

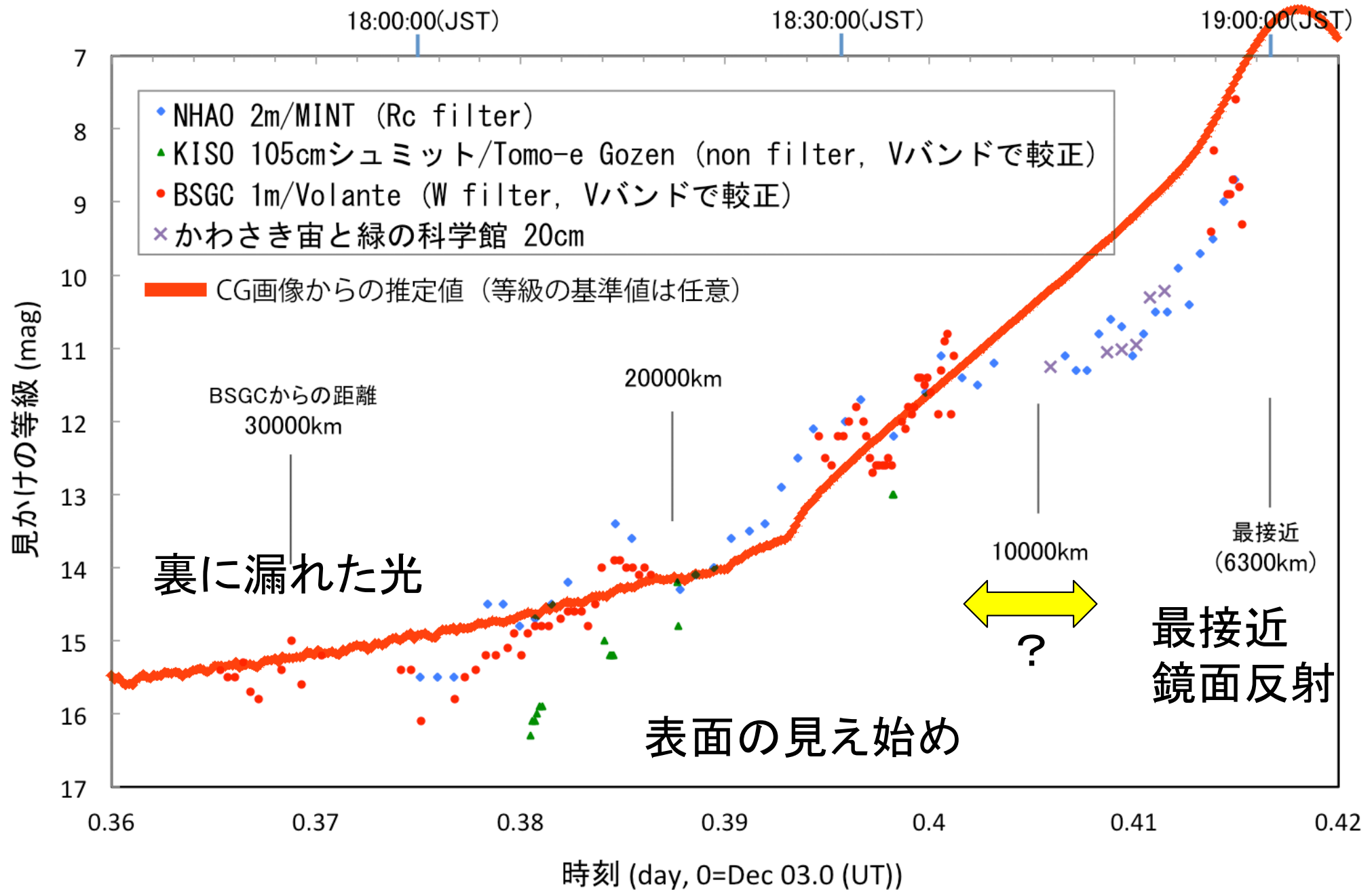




# CG合成例: トラッキング



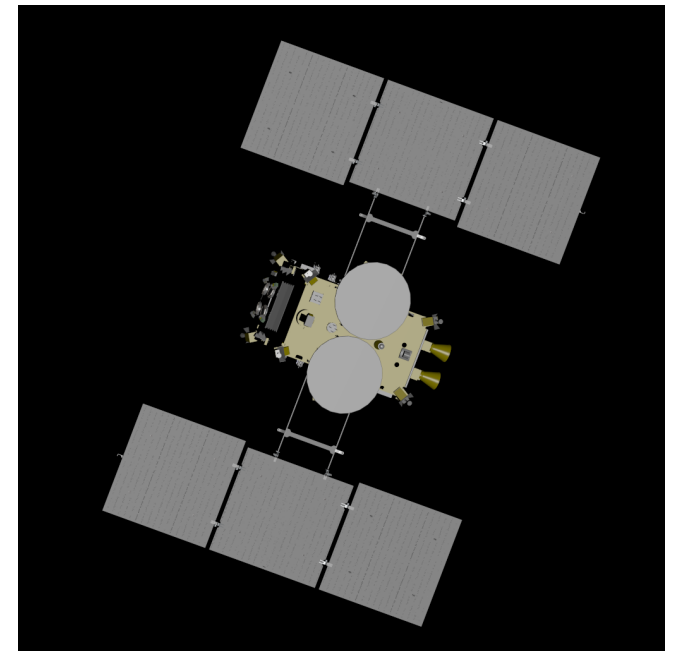
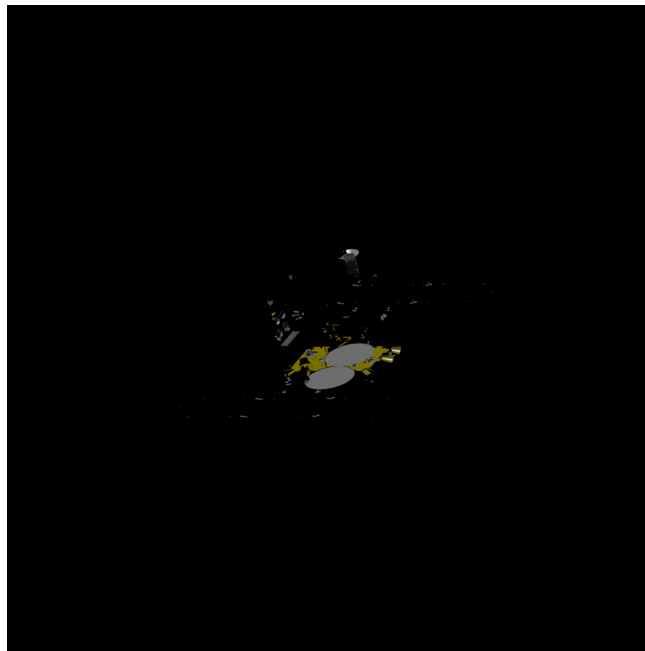
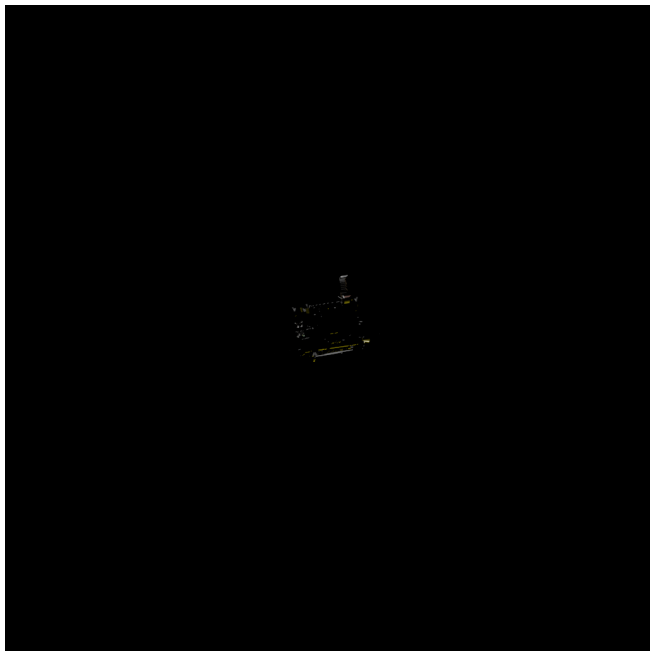
# はやぶさの形状近似: 形状モデル(1)



# はやぶさの形状近似: 形状モデル(2)

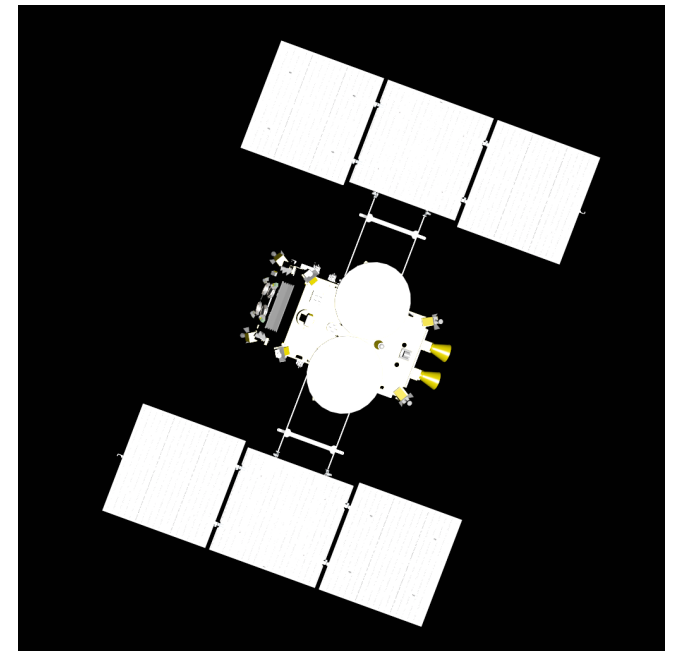
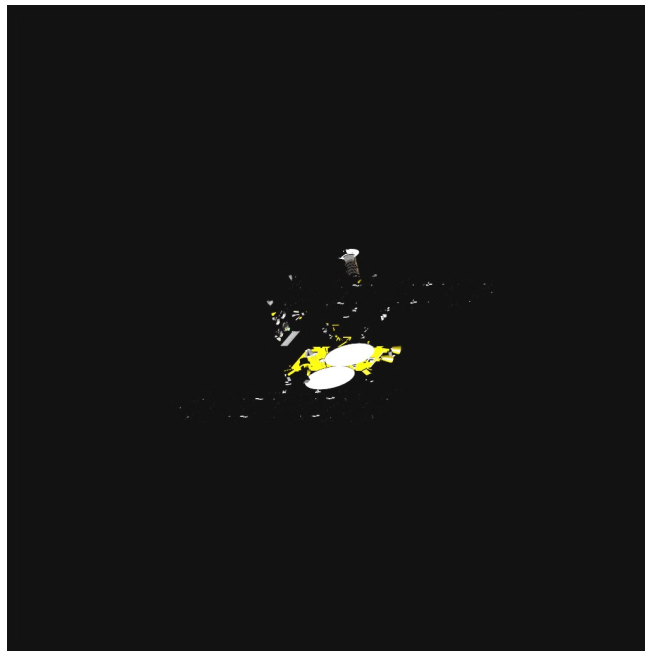
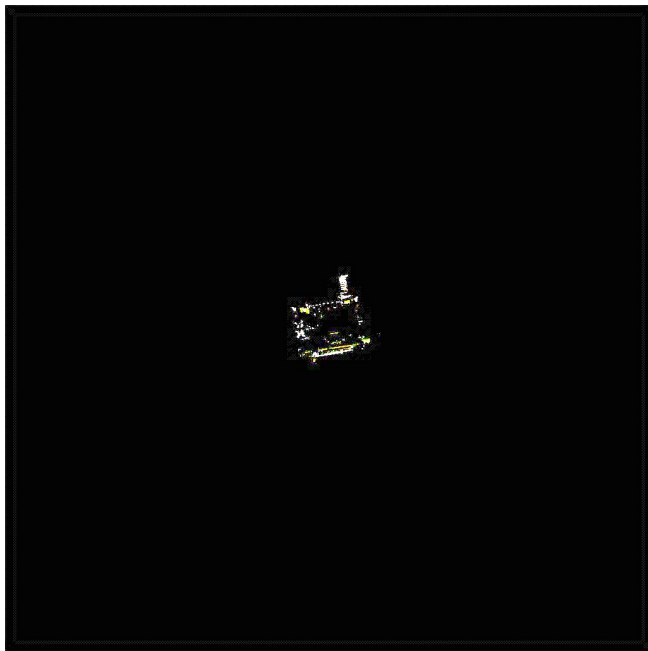
- CG用の形状モデル

- ランバート反射: 粗い鏡面反射=4:1
- 太陽パネルは黒色+粗い鏡面反射

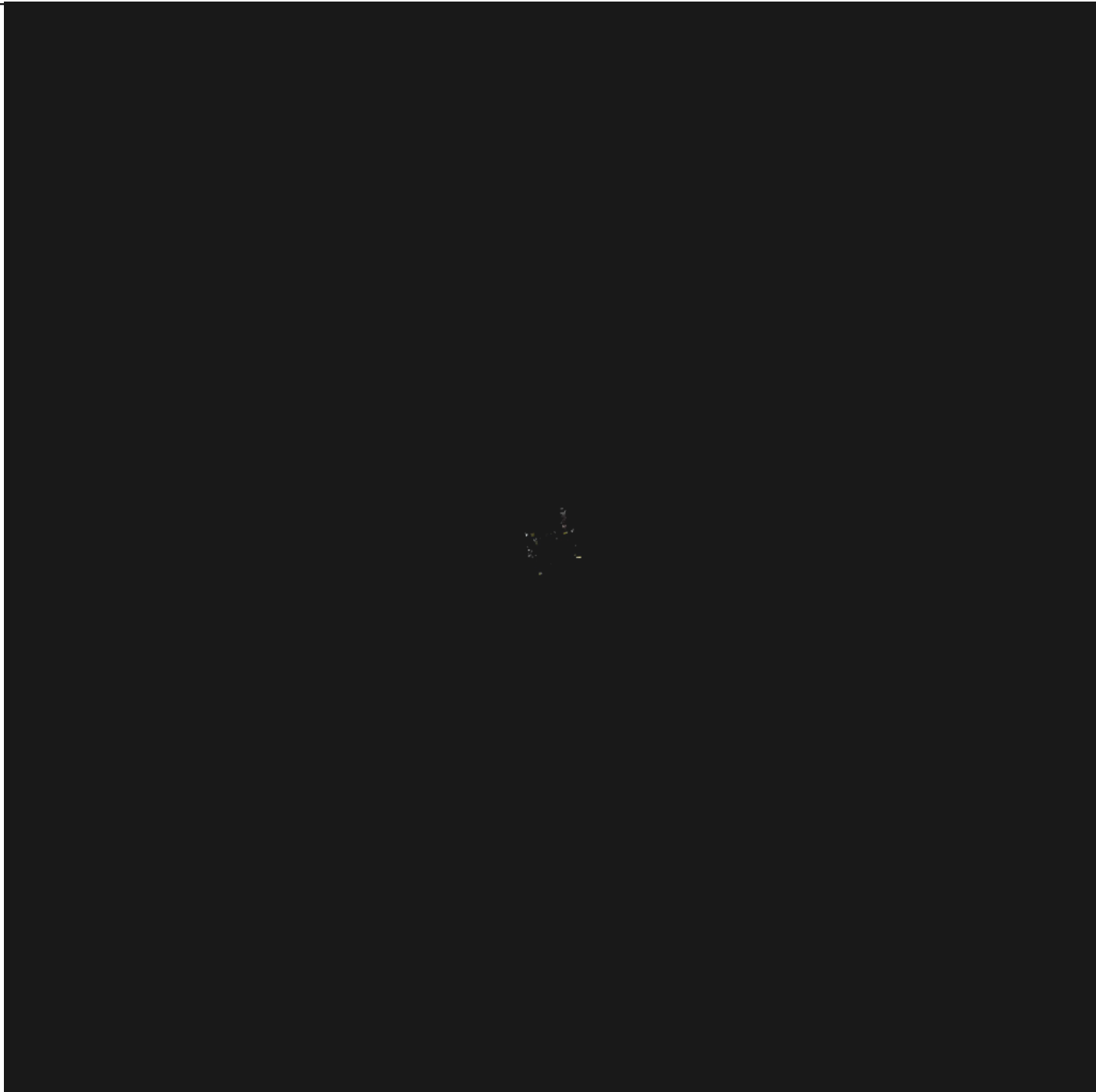


# はやぶさの形状近似: 形状モデル(2)

- CG用の形状モデル
  - ランバート反射: 粗い鏡面反射=4:1
  - 太陽パネルは黒色+粗い鏡面反射



# CG合成例: トラッキング

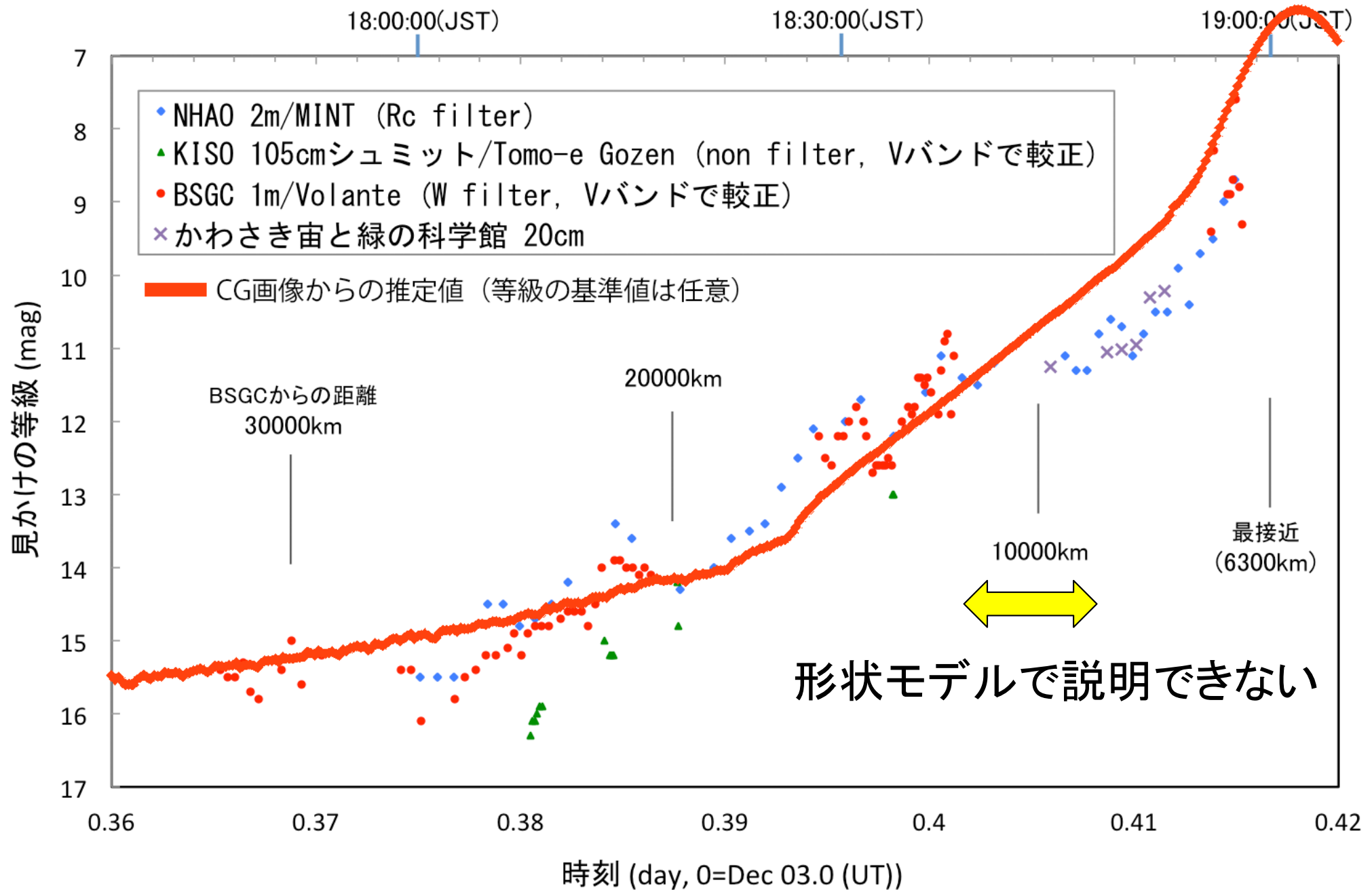


# CG合成例: 北天の様子

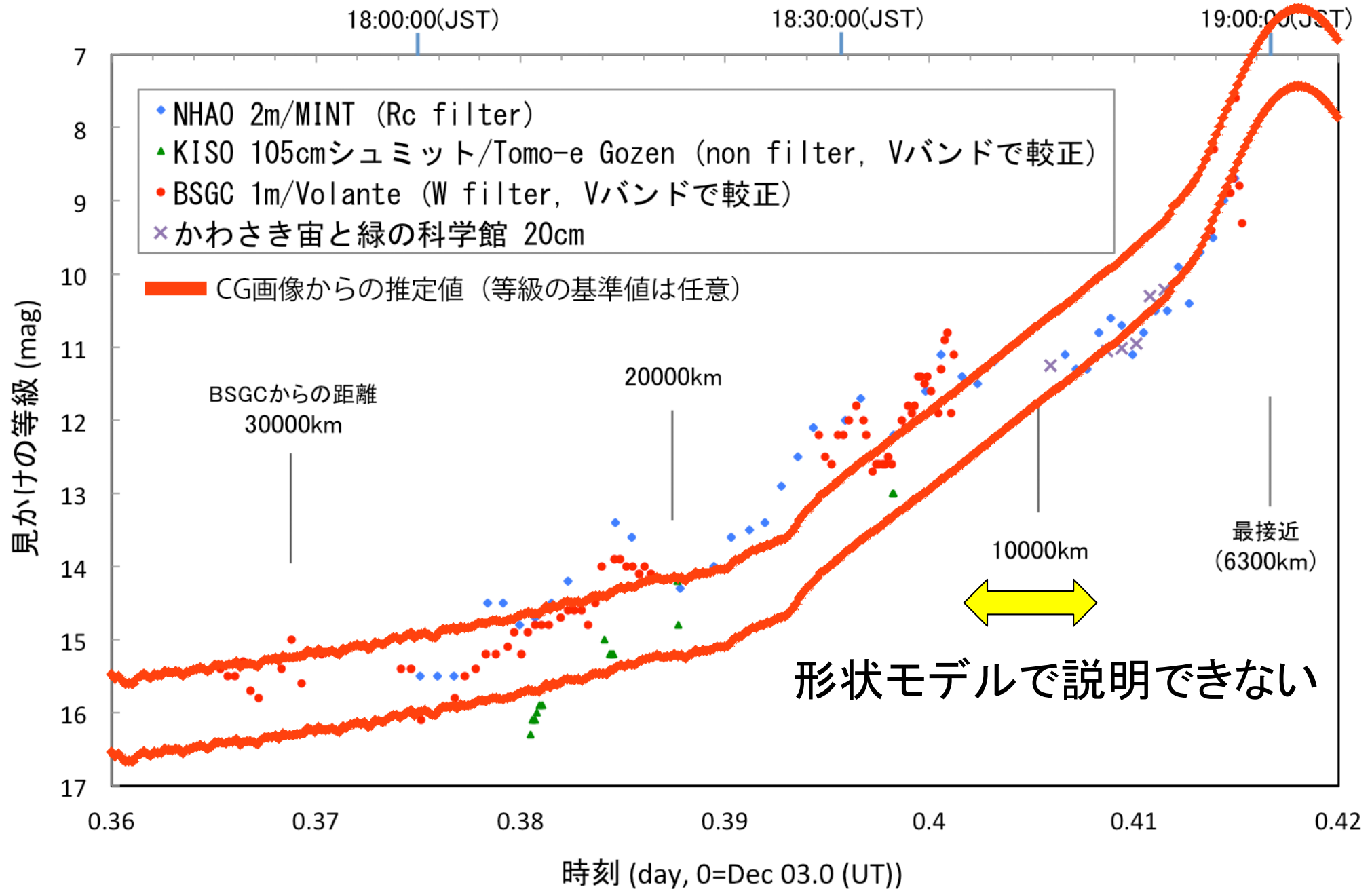
- はやぶさ2は、容易に視認できる色・サイズに調整

Hayabusa 2: Earth swingby  
2015-12-03

# はやぶさの形状近似: 形状モデル(2)

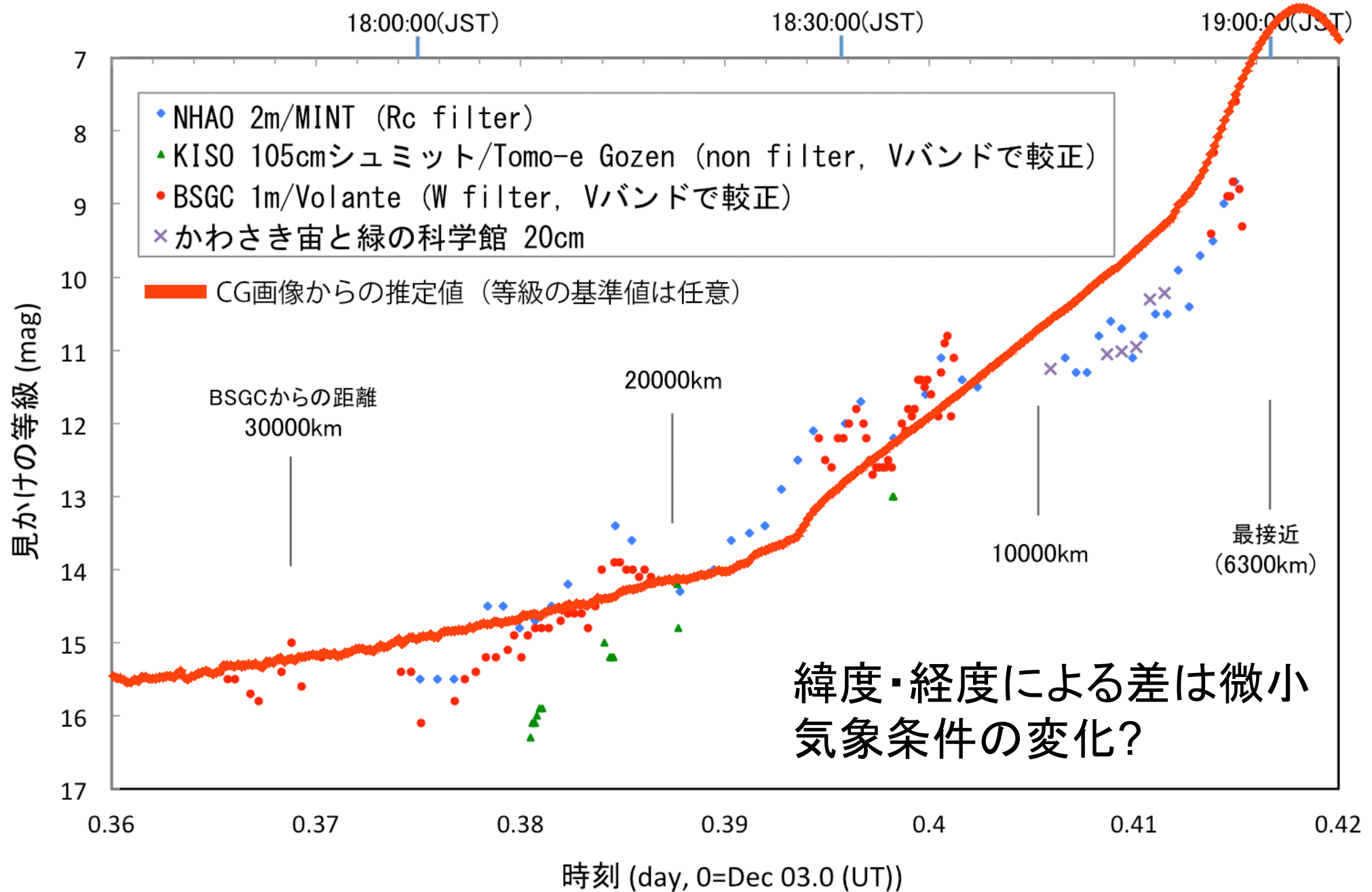


# はやぶさの形状近似: 形状モデル(2)





# 西はりま天文台の緯度・経度を模擬した場合



# まとめ

- **CGを用いた、「はやぶさ2」地球スイングバイ時の光度変化推定**
  - 単純なモデルでの説明は困難
  - CG用の「はやぶさ2」形状モデルを用いて推定
  - 観測時間帯の多くのフェーズで光度変化の推定が可能となった
- **課題**
  - 0.4~0.41付近の光度変化(変化しない?時間帯)
    - CGにより推定される変化は、実際の光度変化よりも大きい
    - 他の要素を含めた考察が必要
  - CG用形状モデルはパラメータ設定が複雑
    - 体系化されたパラメータ設定を考慮する必要あり