

小惑星探査機「はやぶさ2」の 運用状況

2018年9月5日

JAXA はやぶさ2プロジェクト



本日の内容



「はやぶさ2」に関連して、

- ・ミッションの現状
- ・アストロダイナミクス
- ・ MINERVA-II

について紹介する。



目次



0. 「はやぶさ2」概要・ミッションの流れ概要
1. プロジェクトの現状と全体スケジュール
2. Box-B運用状況
3. 小型モニタカメラ(CAM-H)
4. アstroダイナミクス
5. MINERVA-II
6. 今後の運用スケジュール
7. 今後の予定



「はやぶさ2」概要



目的

「はやぶさ」が探査したS型小惑星イトカワよりも始原的なタイプであるC型小惑星リュウグウの探査及びサンプルリターンを行い、原始太陽系における鉱物・水・有機物の相互作用の解明することで、地球・海・生命の起源と進化に迫るとともに、「はやぶさ」で実証した深宇宙往復探査技術を維持・発展させて、本分野で世界を牽引する。

期待される成果と効果

- ・水や有機物に富むC型小惑星の探査により、地球・海・生命の原材料間の相互作用と進化を解明し、太陽系科学を発展させる。
- ・衝突装置によって生成されるクレーター付近からのサンプル採取という新たな挑戦も行うことで、日本がこの分野において、さらに世界をリードする。
- ・太陽系天体往復探査の安定した技術を確立する。

特色:

- ・世界初のC型微小地球接近小惑星のサンプルリターンである。
- ・小惑星にランデブーしながら衝突装置を衝突させて、その前後を観測するという世界初の試みを行う。
- ・「はやぶさ」の探査成果と合わせることで、太陽系内の物質分布や起源と進化過程について、より深く知ることができる。

国際的位置づけ:

- ・日本が先頭に立った始原天体探査の分野で、C型小惑星という新たな地点へ到達させる。
- ・「はやぶさ」探査機によって得た独自性と優位性を発揮し、日本の惑星科学及び太陽系探査技術の進展を図るとともに、始原天体探査のフロンティアを拓く。
- ・NASAにおいても、小惑星サンプルリターンミッションOSIRIS-REx（打上げ：平成28年、小惑星到着：平成30年、地球帰還：平成35年）が実施されており、サンプルの交換が取り決められていることに加えて科学者の相互交流が行われており、両者の成果を比較・検証することによる科学的成果も期待されている。



(イラスト 池下章裕氏)

はやぶさ2 主要緒元

質量	約 609kg
打上げ	平成26年(2014年)12月3日
軌道	小惑星往復
小惑星到着	平成30年(2018年)
地球帰還	平成32年(2020年)
小惑星滞在期間	約18ヶ月
探査対象天体	地球接近小惑星 Ryugu(リュウグウ)

主要搭載機器

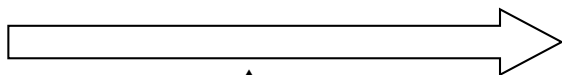
サンプリング機構、地球帰還カプセル、光学カメラ、レーザー測距計、科学観測機器(近赤外、中間赤外)、衝突装置、小型ローバ



ミッションの流れ概要

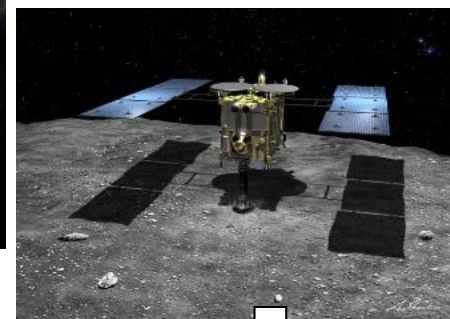


打上げ
2014年12月3日



小惑星到着
2018年6月27日

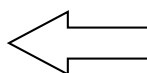
▲
地球スイングバイ
2015年12月3日



リモートセンシング観測によって、小惑星を調べる。その後、小型ローバや小型着陸機を切り離す。さらに表面からサンプルを取得する。



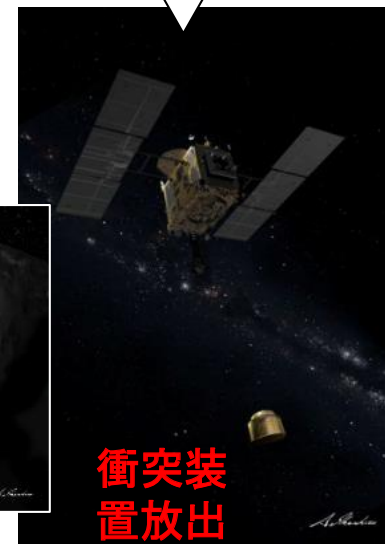
地球帰還
2020年末ごろ



小惑星出発
2019年11-12月



人工クレーター
の生成



衝突装置
放出

安全を確認後、クレーターにタッチダウンを行い、地下物質を採取する。

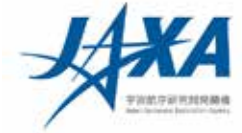
衝突装置によって、小惑星表面に人工的なクレーターを作る。

サンプル分析

(イラスト 池下章裕氏)



座標系の注意点

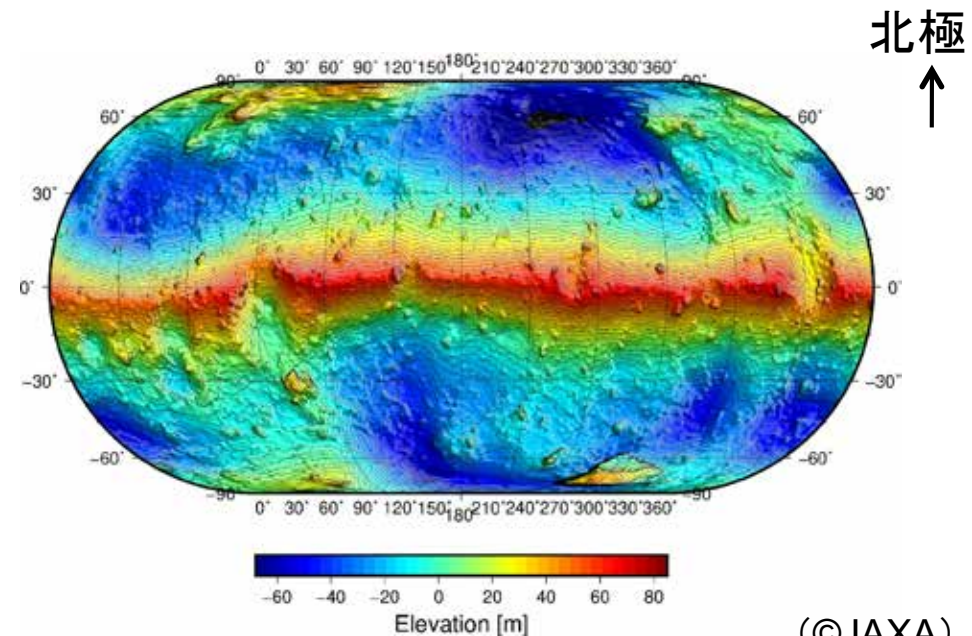


小惑星の向きに注意！

今後は原則、リュウグウの北極を上で表示します。



(©JAXA、会津大など)

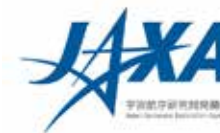


(©JAXA)

リュウグウの“地図”の例



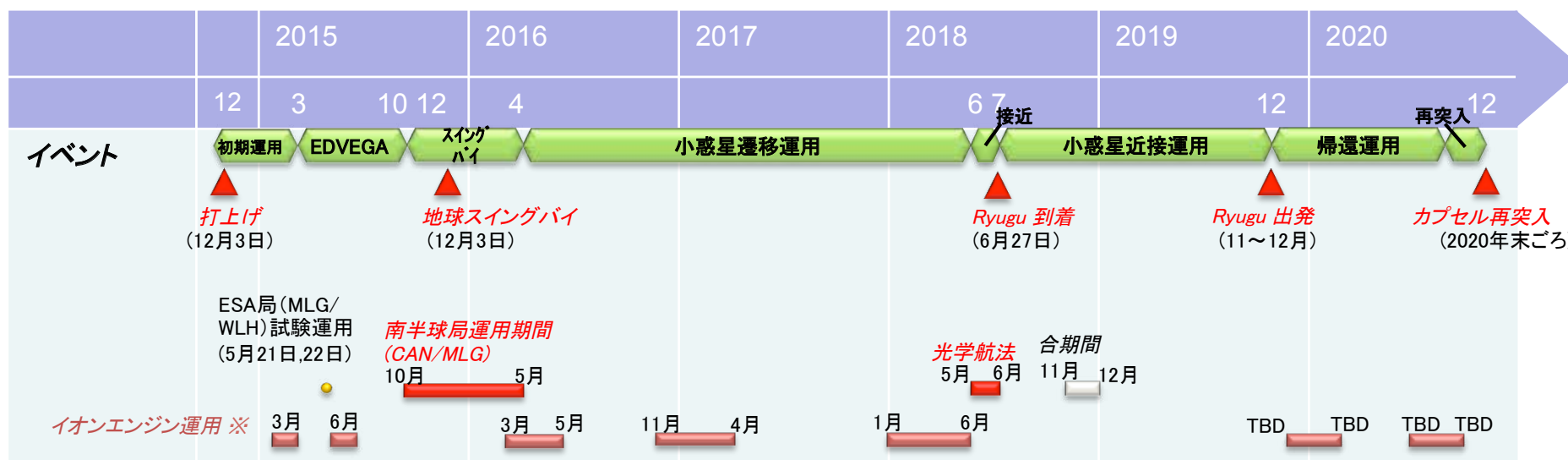
1. プロジェクトの現状と全体スケジュール



現状:

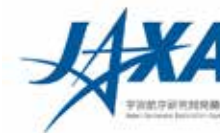
- 8月18日からBox-B運用を開始した。8月24日には+y方向に9kmの位置に達し、その後、8月31日には-x方向に9kmの位置に達した。リュウグウの南極周辺および夕方側の撮影が目的。
- 9月、10月に行う接近運用についての準備を行っている。
- タッチダウン運用リハーサル1は、9月11日から12日に行う予定。

全体スケジュール:

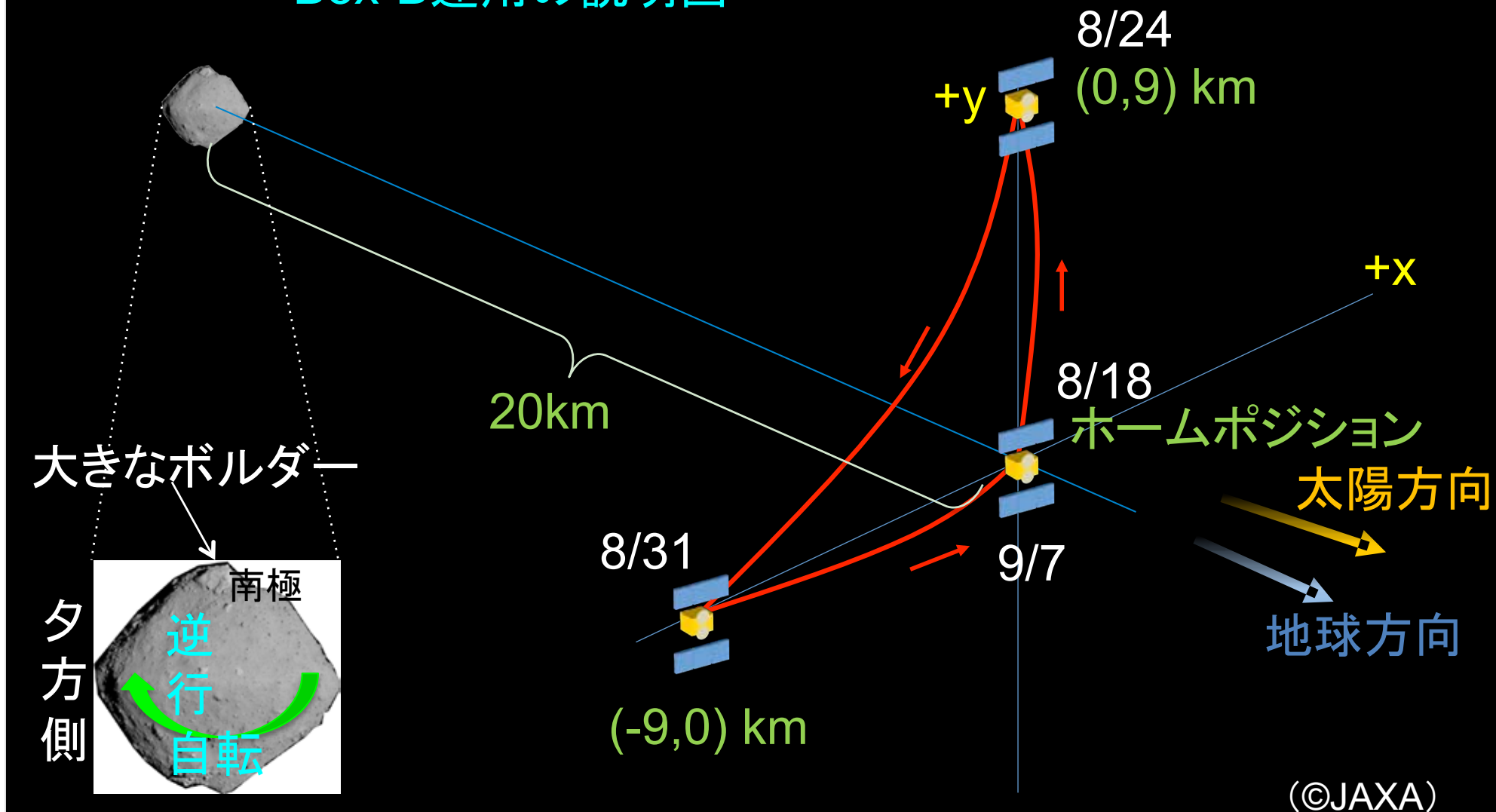


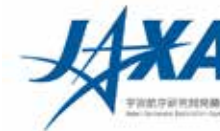


2. Box-B運用状況



Box-B運用の説明図





2. Box-B運用状況

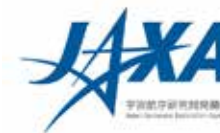
Box-B運用で撮影したリュウグウ



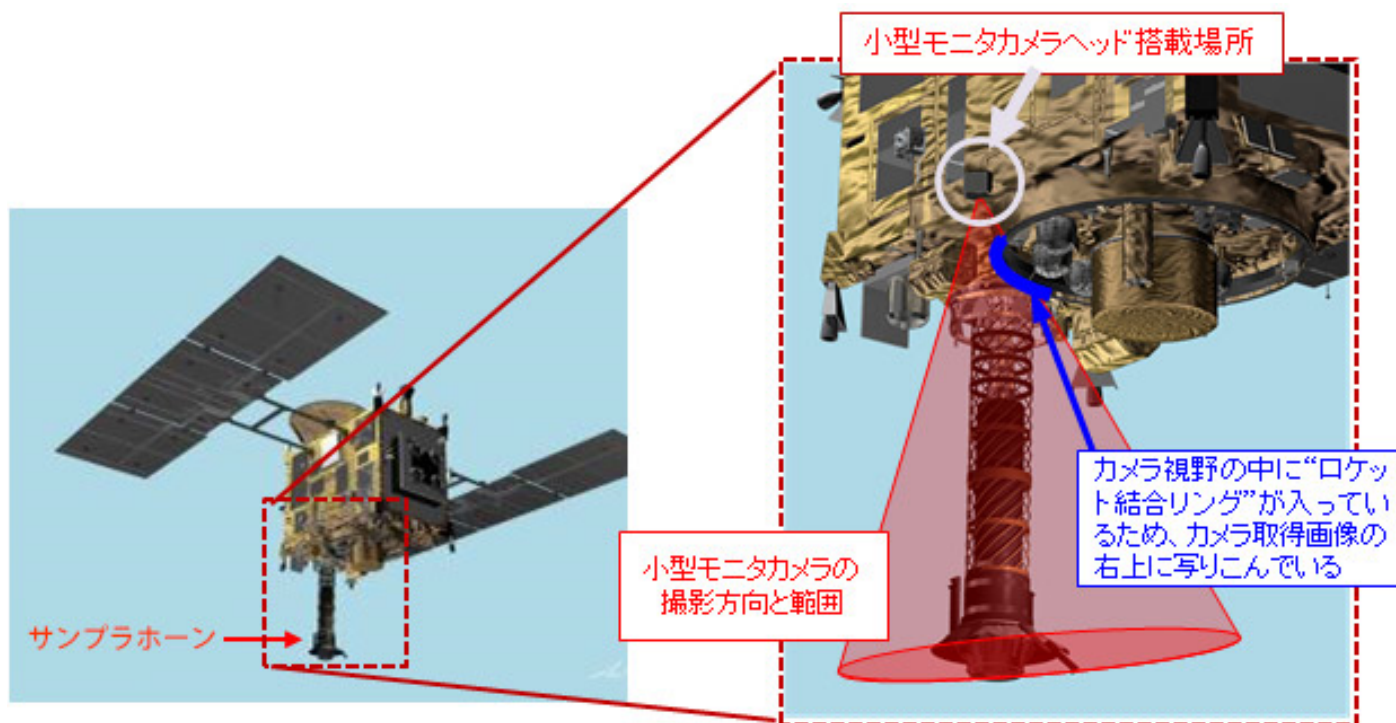
2018年8月24日、17時頃(日本時間)に望遠の光学航法カメラ(ONC-T)によって撮影。 $+y=9\text{km}$ 付近からの撮影となる。リュウグウまでの距離は約22km。
画像クレジット: JAXA, 東京大, 高知大, 立教大, 名古屋大, 千葉工大, 明治大, 会津大, 産総研



3. 小型モニタカメラ(CAM-H)



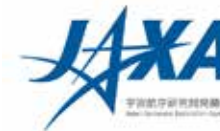
- 寄附金により製作・搭載されたカメラ
- サンプラホーンを撮影



(©JAXA)



3. 小型モニタカメラ(CAM-H)



直近のサンプルホーンの様子



2018年8月14日に小型モニタカメラ(CAM-H)によって撮影されたサンプルホーン

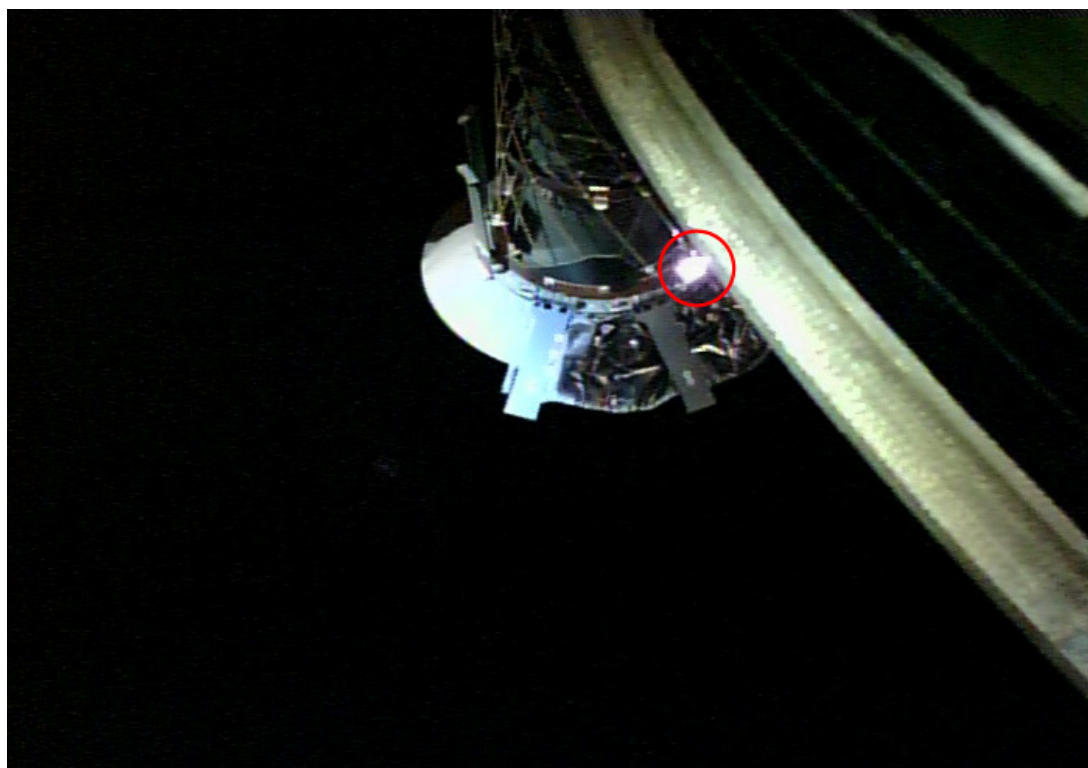
(©JAXA)



3. 小型モニタカメラ(CAM-H)



参考



2018年4月16日に小型モニタカメラ(CAM-H)によって試験撮影されたサンプルホーン。赤丸の中の光っている部分がLRF-S2のレーザが照射されているサンプルホーンのターゲット板である。



2014年12月5日に小型モニタカメラ(CAM-H)によって試験撮影されたサンプルホーン

(©JAXA)



4. アstroダイナミクス

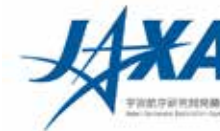


- アstroダイナミクスとは？
 - 宇宙工学上で扱われる飛行力学全般
 - 軌道運動、姿勢運動、航法・誘導・制御など
- はやぶさ2 Astroダイナミクスチームの活動
 - はやぶさ2探査機および小惑星 Ryugu の軌道推定
 - 小惑星 Ryugu の重力場モデルの作成および評価
 - 小惑星近傍での軌道運動評価
 - 探査機運用に用いる小惑星パラメータの推定および実運用システムへの反映
- これまでの観測でわかったこと
 - 小惑星の重力(質量)
 - 小惑星近傍の力学環境
 - 小惑星の軌道

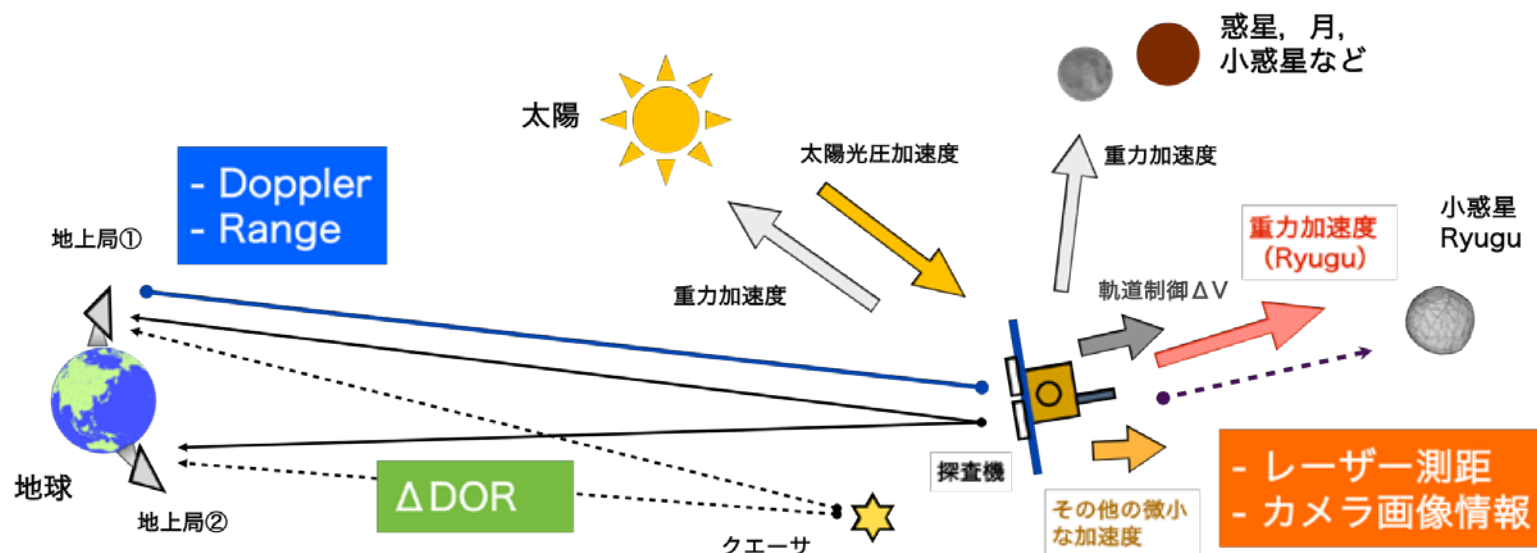
本日説明する項目



4. 小惑星の重力推定



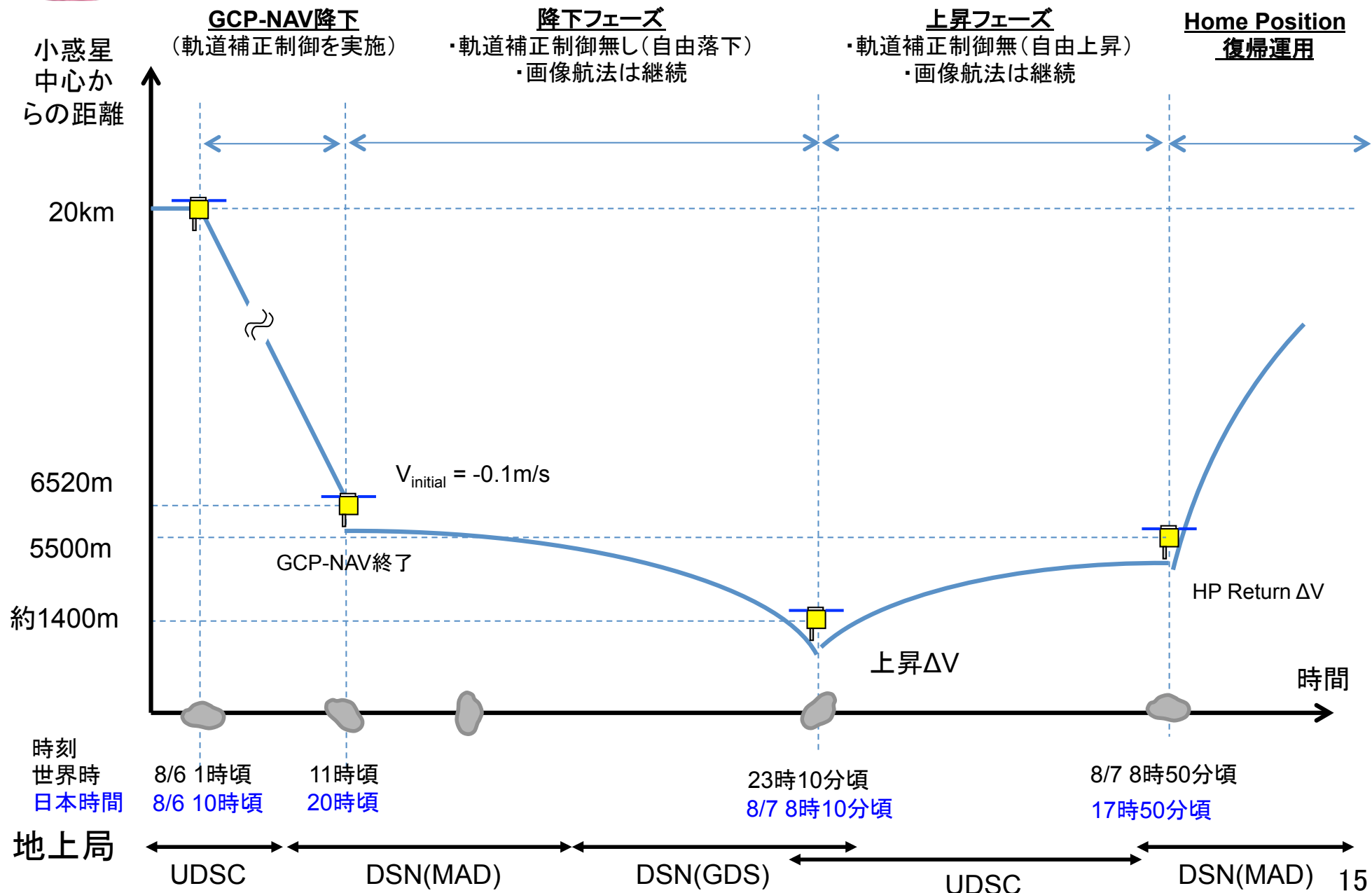
- 解析方法
 - 地上局で取得する探査機の電波追跡データ(レンジ、レンジレートなど)、探査機がオンボードで取得する小惑星の相対観測データ(レーザ高度計、カメラ画像)を用いて、探査機の精密な軌道を求めると同時に、小惑星Ryuguによる重力加速度を推定する。
 - 重力計測降下運用(8/6-7に実施)にて取得したデータを用いて、小惑星Ryuguの重力推定を実施。形状モデルから算出した体積情報と組み合わせることで、小惑星のバルク密度を計算することができる。
 - 推定した重力情報を用いて、小惑星Ryugu近傍の力学環境を評価。



探査機の精密軌道推定のイメージ

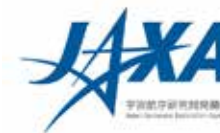


4. 重力計測降下運用



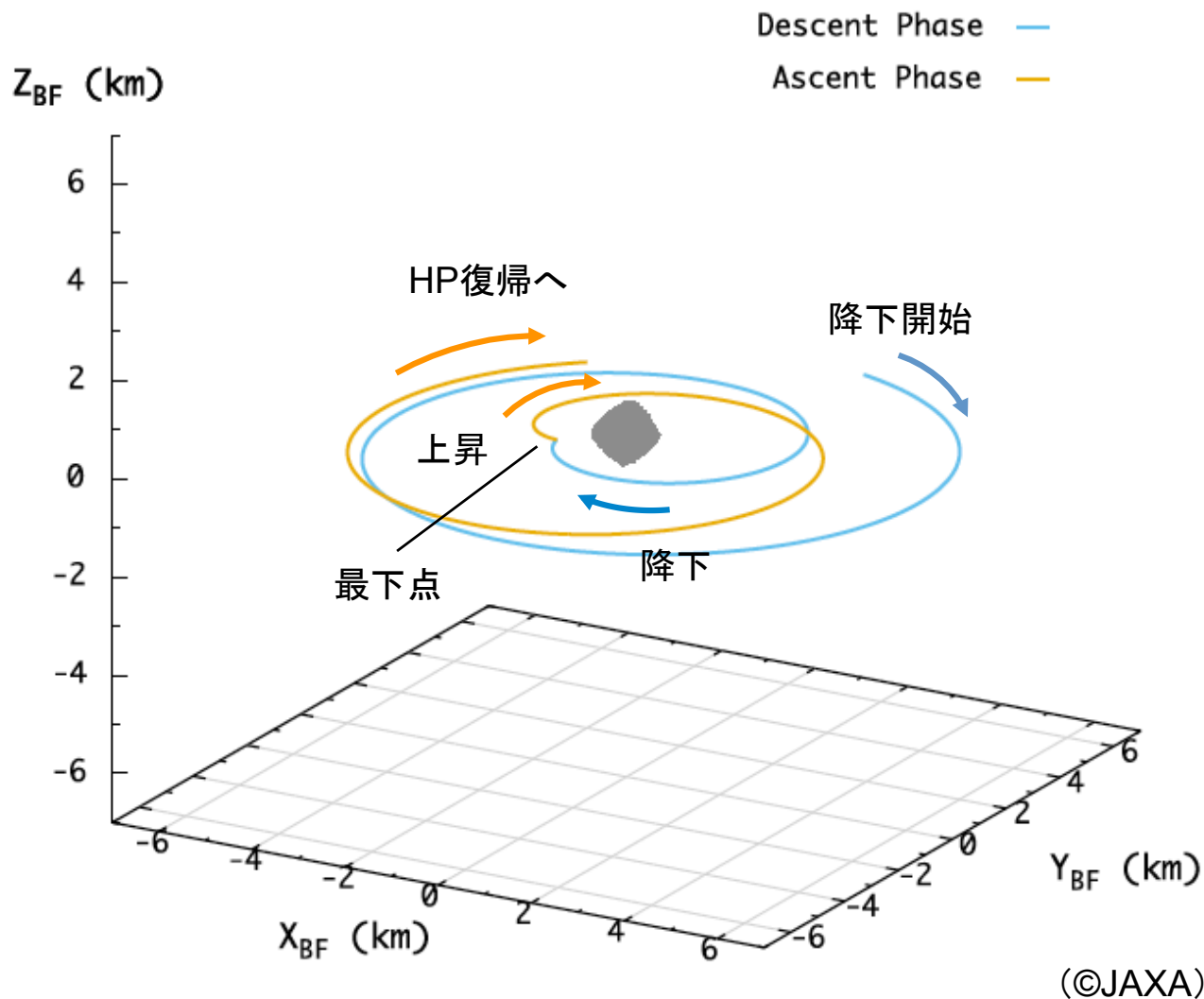


4. 重力計測降下運用



- 高度約6,500mから降下フェーズ開始、約12時間程度の自由落下運動を継続。
- 最下点(高度約850m)で軌道制御 ΔV を実施して、上昇フェーズに移行。
- 小惑星の自転軸の向きの関係で、小惑星固定座標系でみると、小惑星の赤道面(XY平面)で接近、上昇する軌道となる。
- 重力推定運用で求めたGM(G:重力定数、M:質量)は以下のとおり。

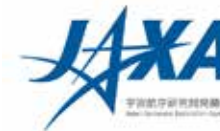
GM=約30 (m^3/s^2)
→ 質量:約4.5億ton



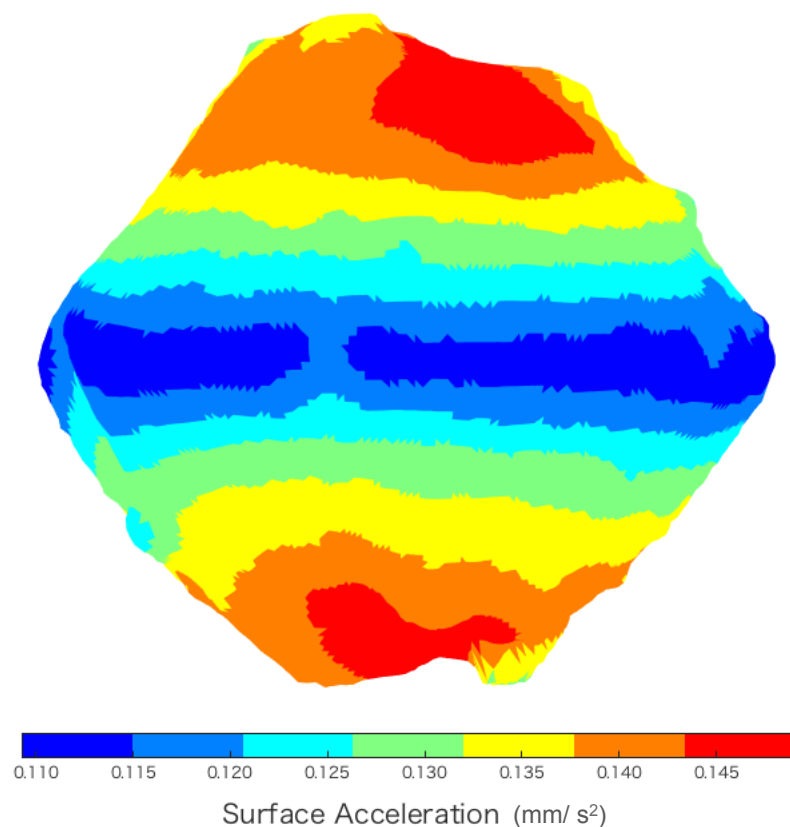
小惑星固定座標系における探査機軌道



4. 小惑星近傍の力学環境



- 推定した重力情報から小惑星表面の加速度環境を評価
- 小惑星近傍での加速度情報は今後のタッチダウン運用などに使用予定。

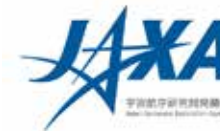


- ✓ 表面加速度は0.11～0.15 [mm/s²]程度に分布
- ✓ 極付近の加速度が大きく、赤道付近が小さい。
- ✓ 赤道での重力は
 - 地球の約8万分の1程度
 - イトカワの数倍程度

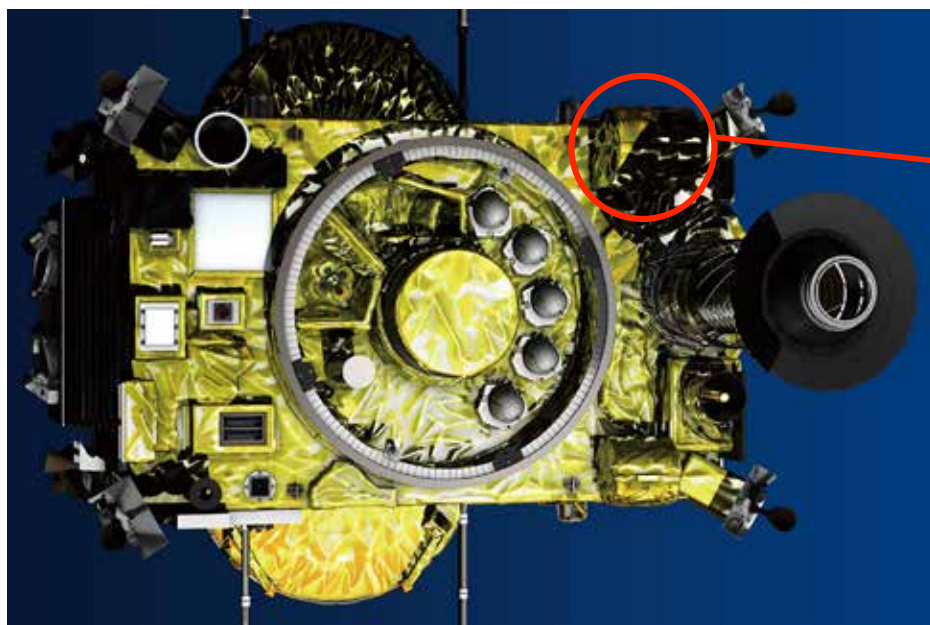
小惑星Ryugu表面における加速度分布 (©JAXA)



5. MINERVA-II

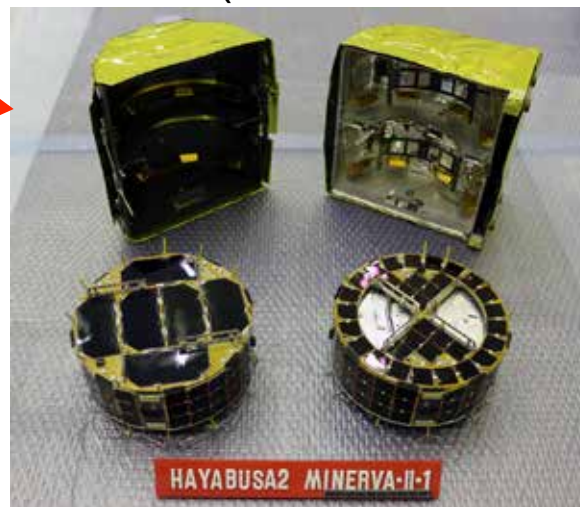


MINERVA-IIは、「はやぶさ」に搭載したMINERVAの後継機



(©JAXA)

MINERVA-II1(Rover-1A, Rover-1B)



HAYABUSA2 MINERVA-II-1

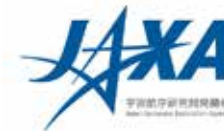
JAXA製作

<協力メーカー、大学、団体など>
愛知工科大学、会津大学、アドニクス、
アンテナ技研、エルナー、セシアテクノ、
東京大学、東京電機大学、デジタルスパイス、
日東光学、マクソンジャパン、DLR、ZARM

- 分離機構を含む総質
MINERVA-II1 : 2.5kg
- MINERVA-II1には2
つの探査ローバを搭載



5. MINERVA-II-1



小惑星探査ロボット「ミネルバ2」

Micro Nano Experimental Robot Vehicle for Asteroid
the Second Generation

- ホッピングメカニズム
- 未知環境適応能力
- 小型・軽量・低消費電力
- 自律探査行動
- 科学観測（表面ステレオ画像・温度計測）



(©JAXA)



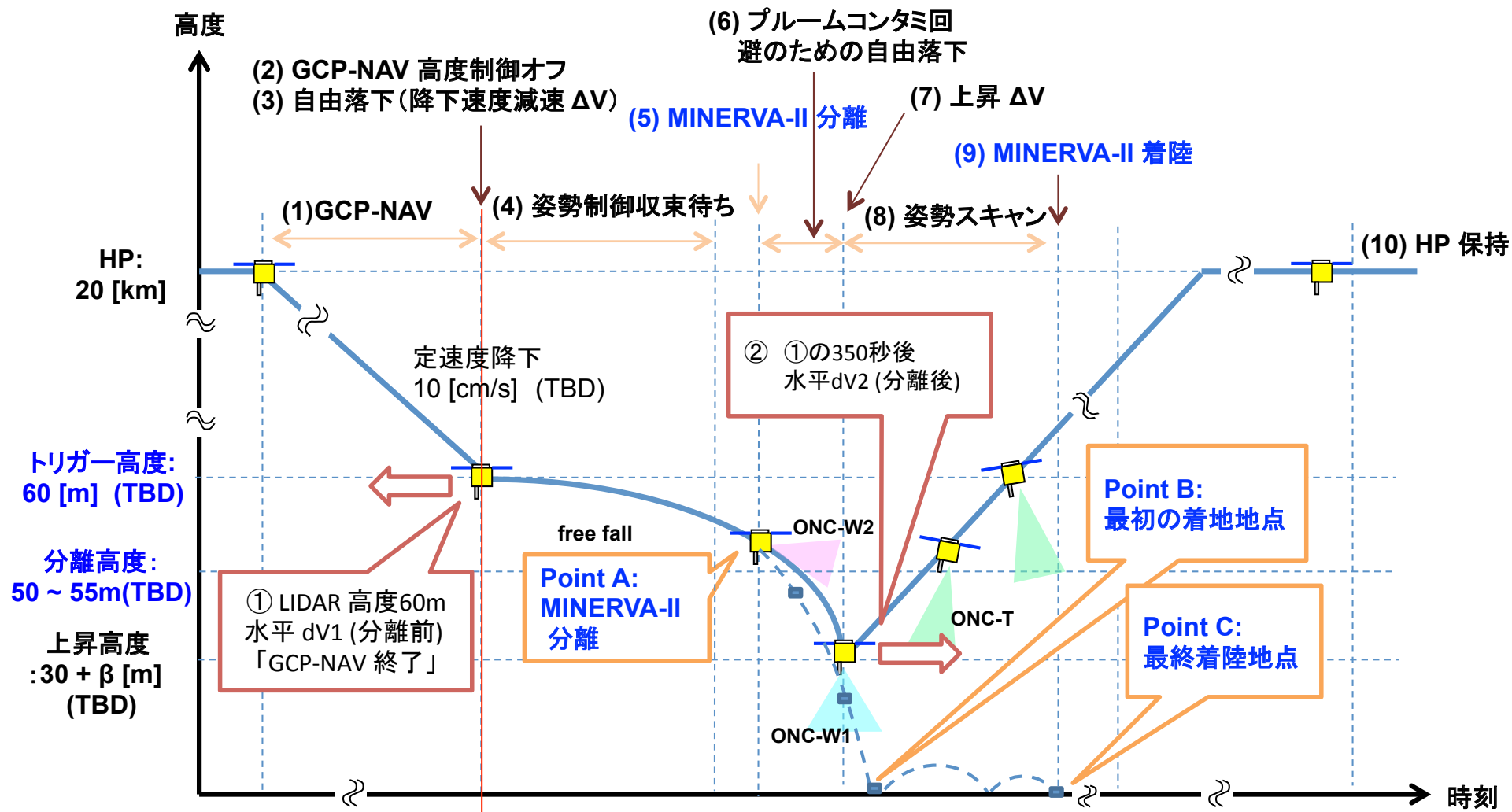
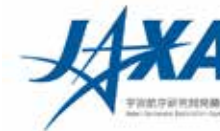
5. MINERVA-II1 Rover



大きさ	正十六角柱 直径: f180[mm] 高さ: 70[mm]
重量	1A:1,151[g], 1B:1,129[g]
駆動部	直流モータ 1個
搭載センサ	カメラ4個(1A), カメラ3個(1B) 光センサ, 加速度計, 温度計, ジャイロ
通信速度	32k[bps] (max)



5. 分離運用シーケンス



HP: ホームポジション(小惑星中心からの距離20km)



6. 今後の運用スケジュール



運用予定日

タッチダウン1 リハーサル1: 9月11日～12日
(最下点到達:9月12日)

MINERVA-II1運用 : 9月20日～21日
(MINERVA-II1分離:9月21日)

MASCOT運用 : 10月2日～4日
(MASCOT分離:10月3日)

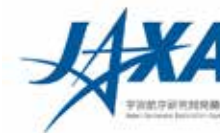
タッチダウン1 リハーサル2: 10月中旬

タッチダウン1 : 10月下旬

注意:運用の日は変更になる場合があります。

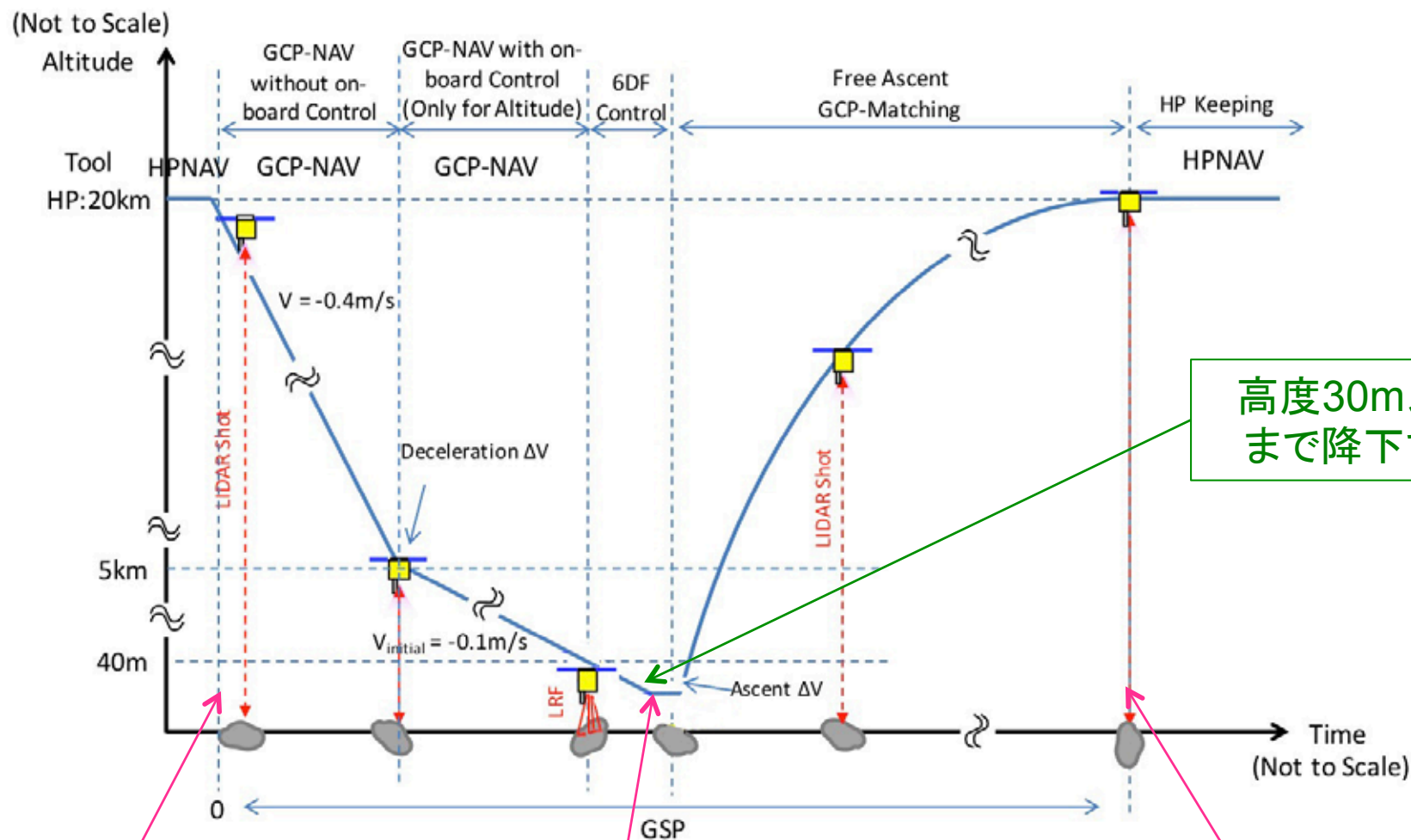


6. タッチダウン1 リハーサル1



運用概要

新計画に基づき、情報収集含めた着陸試行運用(アボートも戦略の1つ)



高度30m以下
まで降下する

降下開始: 9月11日16時頃

最下点: 9月12日14時頃

HP復帰: 9月13日



7. 今後の予定



■記者説明会の予定（時刻は日本時間）

- 9月27日（木） 15:30～16:30
- 10月11日（木） 15:30～16:30 (TBD)

■プレスセンタ開設（相模原・宇宙科学探査交流棟）

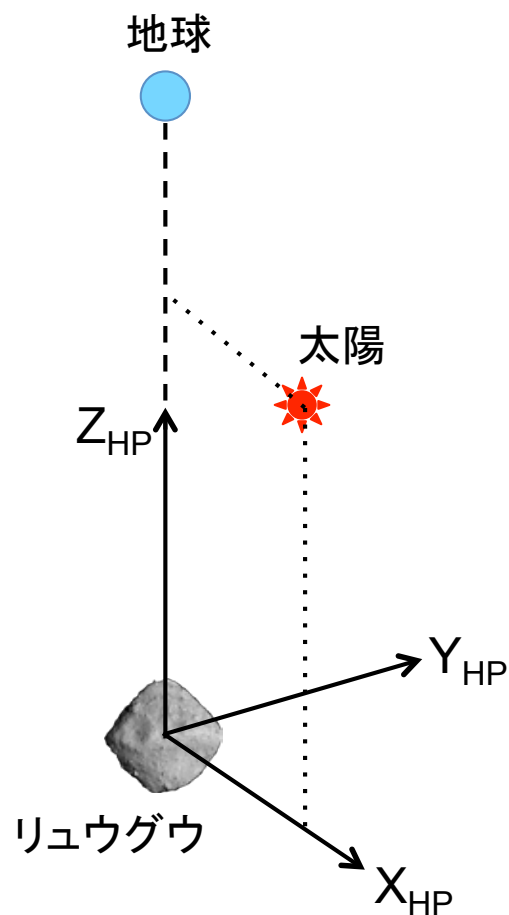
- 9月21日（金） MINERVA-II-1運用
- 10月3日（水） MASCOT運用



参考資料

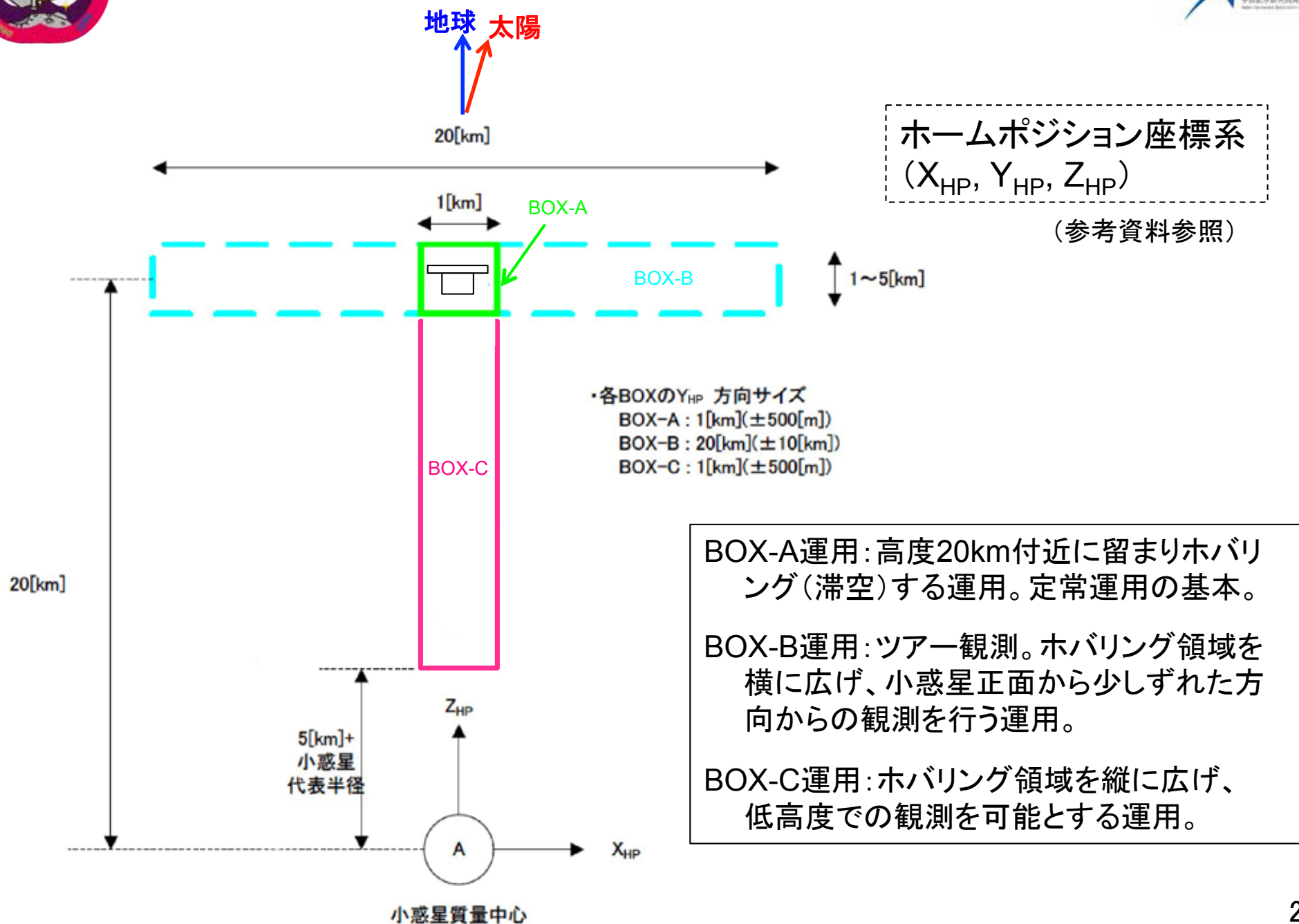
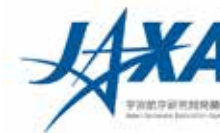


ホームポジション座標系



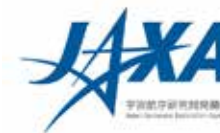


BOXの定義





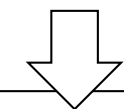
MINERVA-IIの着地候補地点選定



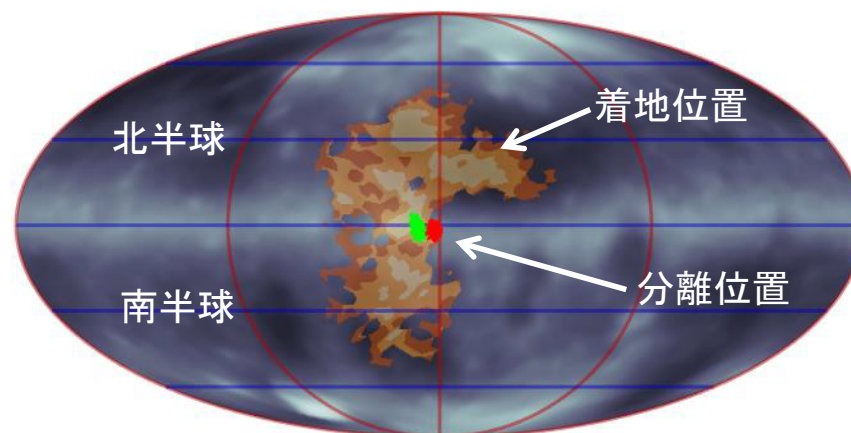
MINERVA-IIの着地点選定の条件:

- 着地する場所がタッチダウン予定地と重ならないこと
- 着地する場所がMASCOTの着地予定地と重ならないこと
- 分離後の探査機高度が30mより低くならないこと
- 地上局との通信が確保できること
- 「はやぶさ2」探査機との通信が確保できること
- 温度が高くない領域で、陰となる領域が少ないこと

- ・赤道付近はリッジ(尾根)となっているため、赤道付近に分離すると着地点が南北に大きく広がってしまう。
- ・南半球に分離した場合、探査機高度が30mより低くなる可能性がある。



- ・赤道から北半球側に100m以上離れたところに分離する

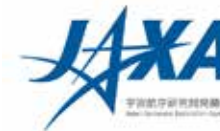


(©JAXA)

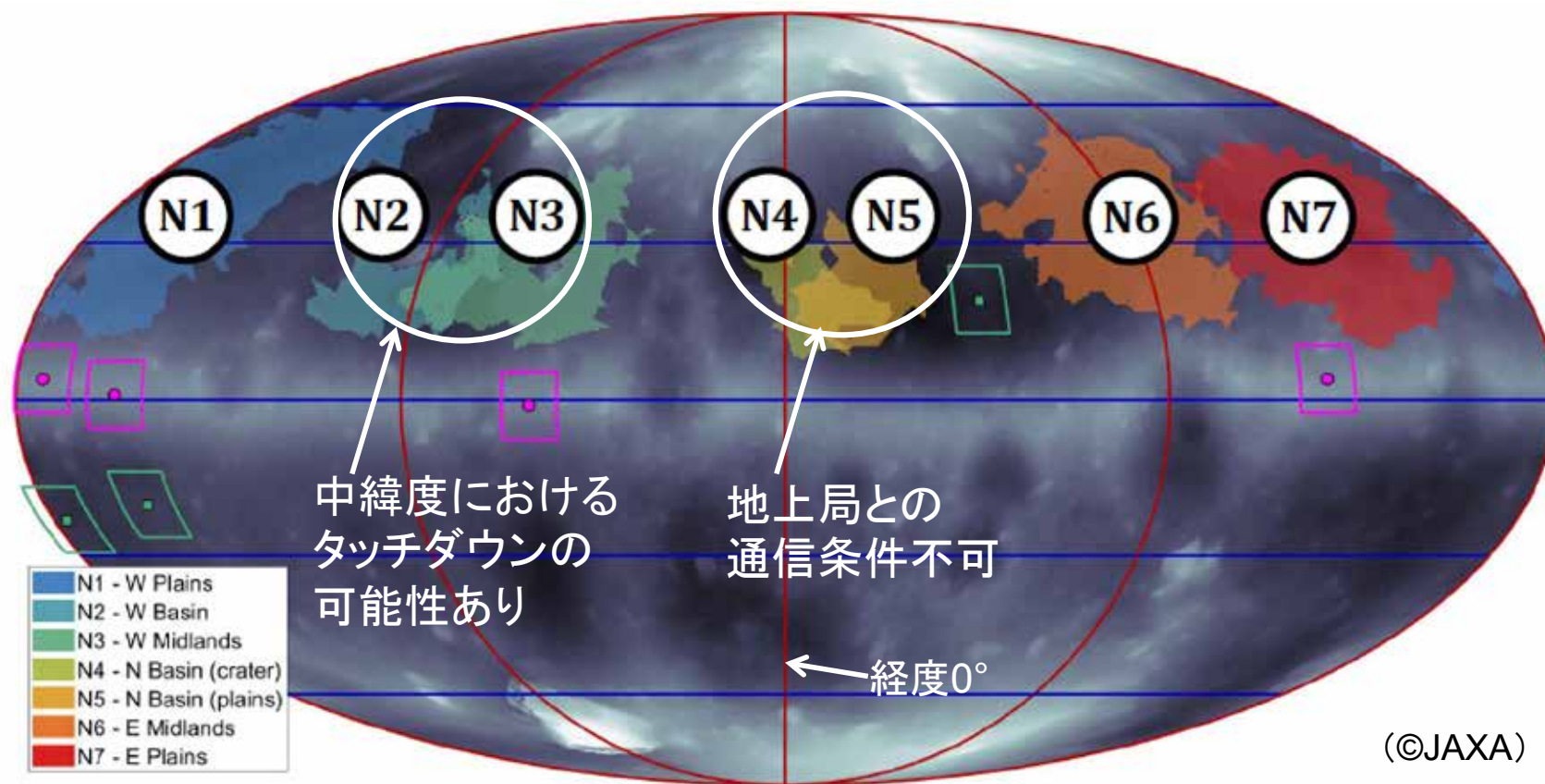
赤道付近に分離すると、着地位置が南北に広がってしまう



MINERVA-IIの着地候補地点選定



MINERVA-IIの着地点候補：北半球で検討



- ・タッチダウン・MASCOTの着地点と重ならないことを確認
- ・ONC-Tによる観測可能性等も考慮

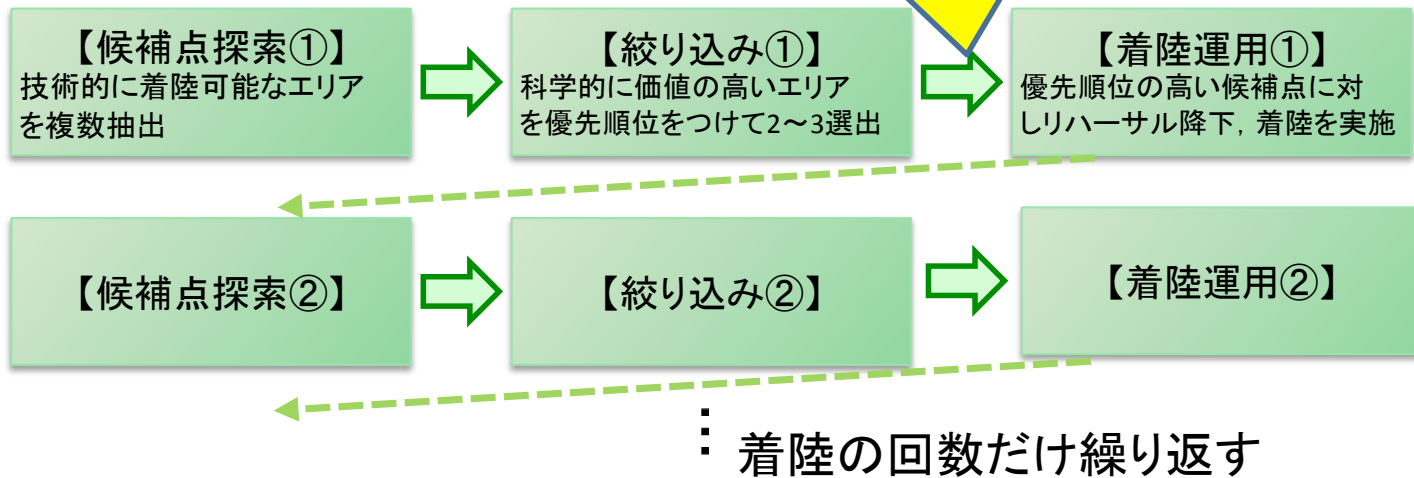
候補地：N6 > N1 > N7



着陸実現に向けた戦略



◆当初計画



◆新計画

