

プラネタリーディフェンス に関する報告

2025年8月6日

宇宙航空研究開発機構
プラネタリーディフェンスチーム



第62回宇宙科学・探査小委員会(2024年7月29日)「プラネタリーディフェンスの取組みとアポフィス観測について」からの国際動向含む状況を報告する

1. JAXAにおけるプラネタリーディフェンス関連の取組み状況
2. 国連(IAWN・SMPAG)活動報告
3. 2024 YR4について
4. Apophisについて
5. JAXAにおけるプラネタリーディフェンス関連の取組み状況
6. まとめ

1. JAXAにおけるプラネタリーディフェンス関連の取組み状況

■ JAXAプラネタリーディフェンスに関する活動

①はやぶさ2拡張ミッション

はやぶさ2の宇宙アセットを有効活用し、新たな技術と科学を創出するミッション。ミッション意義は① 太陽系長期航行技術の進展②高速自転小型小惑星探査の実現③ Planetary Defenseに資する科学と技術の獲得が目的。

2026年7月に小惑星2001 CC21(TORIFUNE)のフライバイ探査を行うべく、5月27日にイオンエンジン運用を実施。



©JAXA

②赤外線センサ(TIRI)/Hera

ESA(欧州宇宙機関)が実施するS型小惑星Didymosとその衛星Dimorphosにランデブする探査計画。NASAのDARTの衝突後の状態を現地観測することで、史上初の本格的プラネタリーディフェンスの実証を行うとともに、惑星の形成・進化の過程の理解に迫ることを目指す。JAXAははやぶさ2以降強みとする赤外線カメラ(TIRI)を提供。

2025年3月12日21:50(JST)に火星スイングバイを実施し、TIRIは火星および衛星Deimos、続いて衛星Phobosの観測に成功。2026年12月到着に向けて運用中。



©ESA

③DESTINY+

2028年H3ロケットで打ち上げ予定。地球への生命起源物質の供給源と考えられている地球飛来ダストの輸送経路を知るため、惑星間塵及び流星群ダストの分布と「Phaethon」周辺におけるダストの物理化学組成や「Phaethon」の実態を明らかにすることが目的。

打上げ時期延期に伴う付加価値整理の一環として、Phaethonフライバイリハーサルも兼ね、2029年地球に最接近として近年注目され始めている小惑星Apophisをはじめ、複数天体へのフライバイの検討(2024/10/9同小委報告)も実施中。



©JAXA

2. 国連 (IAWN・SMPAG) 活動報告

- 天体の地球衝突問題を扱うスペースガードの活動は 1990 年代から本格化し、2000 年前後からは国連でも本格的な議論が始まりPDとして国際的な活動に発展してきている。
- 国連において2029年は「小惑星認識と惑星防衛の国際年」と設定。
- 国連宇宙空間平和利用委員会の決定に基づきUNOOSA(国連宇宙部)が事務局を務める① IAWN (International Asteroid Warning Network)② SMPAG (Space Mission Planning Advisory Group) の会合が2025年2月に開催された。

<2025年2月会合の主な議論>

IAWN:地球に接近・衝突する天体を発見そして軌道を確定し、さらに地球に衝突する場合にはその予測をすることが主目的とし、天文台など天体を観測できる機関を中心に構成

- ✓ 2024 YR4をきっかけにIAWNで初めて衝突の可能性について公表した事例で世界中が注目
- ✓ 地球に衝突する可能性がある2024 YR4の特性・観測計画及び衝突確率の議論を実施

SMPAG:地球に衝突する天体が発見された場合、どのように衝突回避をするか、被害を最小限にするかを検討することが主目的とし、各国の宇宙機関がメンバーで構成

- ✓ 2024 YR4について、IAWNの公表を受けて対応策を議論。地球衝突の確率の推移に応じて議論がなされたが、2024 YR4については具体的なアクションには移るには時期尚早という結論のまま議論が終結。
- ✓ 2029年に地球に接近する小惑星Apophisについては、多くの探査機・衛星が探査を行う可能性があるため、ミッション間の調整を行う新しい仕組みを提案。

2024 YR4の発見により、地球に衝突する可能性のある小惑星の早期発見、正確な軌道推定を行うことが非常に重要であることが改めて国際的に確認された

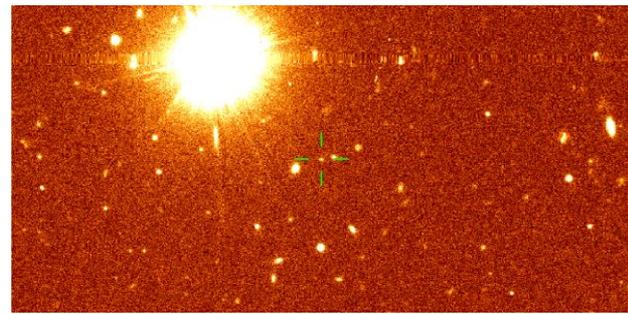
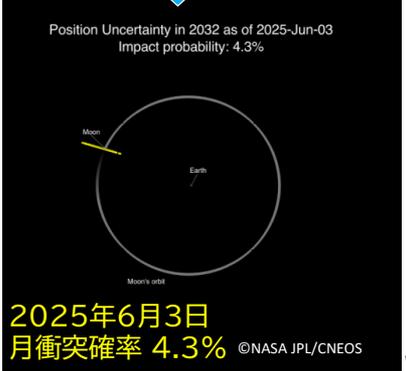
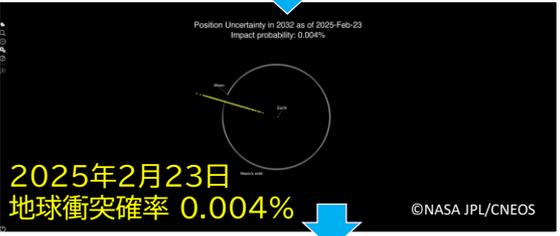
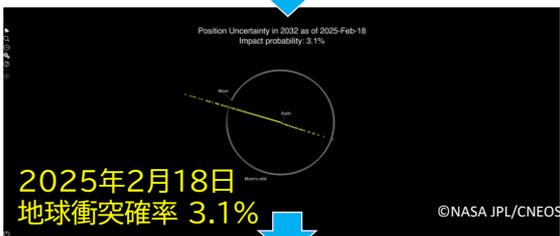
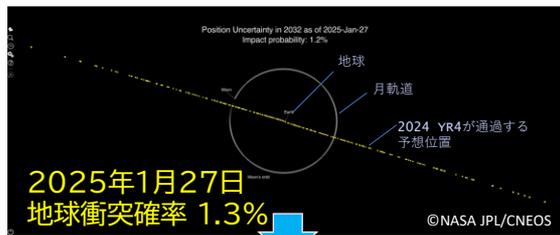
3. 2024 YR4について

2024年12月27日:ATLAS(Asteroid Terrestrial-impact Last Alert System)により発見。すぐに地球に接近・衝突の可能性があると判明し、多くの観測が行われた。サイズは40-90mと推定。次回の観測機会は2028年後半からとなる。

- 2025年
- 1月29日 IAWNが2032年12月22日に地球に衝突する確率1.3%と公表
- 1月31日 SMPAGがstatementを発表
- 2月18日 NASAは衝突確率が3.1%となったことを公表
- 2月20日 国立天文台・すばる望遠鏡で観測し、軌道精度の向上に大きく貢献
- 2月24日 IAWNから衝突確率0.004%で衝突する可能性が潜在的にない旨の最終通知。ただし、月への衝突確率は1.7%
- 3月26日 JWSTによる観測で、直径が60±7mと推定
- 4月 2日 NASAが月への衝突確率が3.8%と発表
- 6月 3日 NASAが月への衝突確率を4.3%と改訂

JAXAの対応

- ✓ IAWNおよびSMPAGにおける議論に参加
- ✓ 国立天文台ハワイ観測所との連携により、2024 YR4の観測の実現議論に参加
- ✓ JAXA/ISASの探査機軌道計算ソフトウェアに新しい機能を追加。2024 YR4の地球衝突確率を独立に計算し、JPLやESAの結果と矛盾のない値を算出



すばる望遠鏡が撮影した画像から、小惑星 2024 YR₄ (緑十字でマーク)を中心に南北1分角、東西2分角の領域を切り出したもの。rバンド(波長 550-700 ナノメートル)で 120 秒間の露出で撮影。観測は 2025年 2月20日20時40分から21時00分(ハワイ現地時)に、快晴(0.5 秒角のシーイング)の天候の下で行われた。(クレジット:NAOJ)

すばる望遠鏡による2024 YR4の撮影画像

引用元:<https://www.nao.ac.jp/news/topics/2025/20250225-subaru.html>

4. 小惑星Apophisについて

- 2004年12月に再発見されたときから、2029年4月の地球接近(地球衝突の可能性)が注目された。(発見は、2004年6月。2004年3月にも撮影されていた。仮符号 2004 MN4)
- 2029年4月13日(金) 21:46UTCに、地心から0.00025auまで接近(地表から約32,000km)。直径が340mもの天体が静止軌道よりも近い距離を通過するのは観測史上初
- 地球に衝突すると大災害となる300m級サイズであり、現在の技術で回避できる最大サイズであることからも注目
- 各宇宙機関・民間企業・大学においてもアポフィス探査をめぐるミッション等の検討が活発化

宇宙機関におけるミッション例

機関名/ミッション名	技術活動種別	活動状況	主要機器/技術	活動内容
NASA/OSIRIS-APEX	接近観測/探査	継続中	低重力空間での長期探査技術	アポフィスへの接近観測を約18か月実施予定。OSIRIS-RExで使用された撮像装置、分光計、レーザー高度計などの機器を使用して 潮汐力の影響 を分析。また、小惑星の表面にスラスタを噴射することで表面の岩石や塵をかき混ぜ、より詳細な化学組成を調査する予定。
ESA/RAMSES	接近観測/探査	計画中	高解像度解析	アポフィスへの接近観測を実施予定。 地球の接近前後の地球の潮汐力の影響を分析 することにより、小惑星の組成や構造などの物理的特性把握を調査する。高解像度カメラをはじめ、機器はHeraに搭載されたものを最大限活用することで実装効率を向上させ、探査機の開発や深宇宙での運用における高速開発と低コストミッションの実現を進展を目指す。
NASA・CNES/DROID	接近観測/探査	計画中	分散型レーダー内部分布観測(DROID)	NASA JPLとCNESが連携し、 アポフィスの内部構造を調査 する探査ミッション。CNESはキューブサット、広角カメラなどを提供。地球最接近前にアポフィスとランデブーし、観測。DROIDの測定により、内部の構造と特性、天体の形状、形態、回転が判明し、解決可能な変化があれば観測。OSIRIS-APEXによって収集されたデータを補完および強化する役割を果たす。

大学・民間におけるミッション例

ミッション名/機関名	技術活動種別	活動状況	主要機器/技術	活動内容
ApophisExL/ALE, 東京大学	ランデブー観測/衝突	計画中	ALEが「低エネルギーマルチインパクト実験」装置提供	小型人工物体をアポフィス表面に衝突させ、その際のクレーター形成やレゴリスの挙動を観測。
Project Apophis/ロフトワーク・FabCafe・千葉工大	接近観測	計画中	検討中	アポフィスの詳細な観測を行うための探査衛星を打ち上げるとともに、宇宙・非宇宙産業の共創を促進し、広範な分野でのコラボレーションを推進する。観測情報の発信やイベントの開催を通じて、研究成果を広く共有する。
APOPHIS INTERCEPTOR	フライバイ観測	計画中	アポフィスの画像情報アポフィスに向かう軌道の環境観測	2つの16U小型衛星を高度楕円軌道に配置し、アポフィスの近接観測を実施。ドイツのヴュルツブルク大学などによるNEAlightプロジェクト内でコンセプト提案。
Blue Origin	多段階観測	提案	検討中	Blue OriginのBlue Ring宇宙機を用いて、アポフィスの地球最接近前、最接近中、最接近後の詳細な調査を可能にすることを提案。

4. 小惑星Apophisについて

国際的な科学成果への期待(Apophis T-4 Years)

- 2025年4月9日-10日に東京大学にプラネタリーディフェンスの国際的メンバーが終結しワークショップを実施
- 議論結果のサマリーに、DESTINY+、RAMSES、OSIRIS-APEXがアポフィス探査において必要不可欠であることが言及されており、国際的にも重要な探査機と位置付けられている。

SUMMARY COMMUNIQUE 【抜粋】

4. With a collective international voice, we endorse as essential Apophis science investigations the stated mission objectives and complementarity of the flyby by DESTINY+ and the successive rendezvous missions RAMSES and OSIRIS-APEX. These are the highest priority missions for Apophis and should be fully funded and supported to ensure successful achievement of their science objectives. We strongly encourage additional partners supporting these cornerstone investigations.

(和訳)国際的な共同の声をもって、我々はDESTINY+によるフライバイ、そしてそれに続くランデブーミッションであるRAMSESとOSIRIS-APEXの、表明されたミッション目的と相補性を、アポフィス科学調査に不可欠なものとして支持します。これらはアポフィスにとって最優先のミッションであり、その科学的目標の成功を確実にするために、十分な資金提供と支援がなされるべきです。我々は、これらの礎となる調査を支援する追加のパートナーを強く奨励します。

Apophis T-4 Workshop Science Organizing Committee

Richard Binzel, Co-Chair
Massachusetts Institute
of Technology

Patrick Michel, Co-Chair
Centre National de la
Recherche Scientifique

Seiji Sugita, Co-Chair
University of Tokyo

Brent Barbee
NASA Goddard Space Flight Center

Naomi Murdoch
Institut Supérieur de l'Aéronautique
et de l'Espace-SUPAERO

Julia de Leon
Instituto de Astrofísica de Canarias

Mike Nolan
University of Arizona

Michael Küppers
European Space Astronomy Centre

Cristina Thomas
Northern Arizona University

Monica Lazzarin
University of Padova



5. JAXAにおけるRAMSES協力に向けた状況



- ESA Strategy2040「Protect our Planet and Climate」でPlanetary Defenseが重要と位置付け
- 宇宙基本計画でのプラネタリーディフェンス活動の明記及びJAXA-ESA将来大型協力に関する共同声明を受け、ESAのRAMSESへの協力検討を加速
- 協力アイテムとして、日本の強みを活かす熱赤外カメラと太陽電池パドルの提供及び可能な打上げ機会の提供可能性を検討中

『宇宙基本計画工程表(令和6年度改訂)(案)』(12月9日宇宙政策委員会資料より抜粋)への新たな記載

【太陽系科学】

- 地球接近天体(NEO: Near Earth Object)からの脅威に備えるための国際的なプラネタリーディフェンス活動への貢献も見据え、**国連国際惑星防護年である2029年に地球に最接近する小惑星アポフィス(Apophis)に対し、我が国として希少な観測機会を確保し成果を創出するため、国際協力による探査計画に向けた検討、調整を進める。**

【国際宇宙協力の強化】

- 地球接近天体(NEO)からの脅威に備えるための国際的なプラネタリーディフェンスの活動として、COPUOSの下に設置された国際小惑星警報ネットワーク(IAWN:: International Asteroid Warning Network)や宇宙ミッション計画アドバイザリーグループ(SMPAG:: Space Mission Planning Advisory Group)に参加し、地球接近天体の発見や追跡観測、軌道推定により、地球に衝突する可能性がある天体の把握及び天体の地球衝突回避・被害の最小化などの検討を国際協力により推進する。

『JAXA-ESA 将来大型協力に関する共同声明』(2024年11月20日) (和訳抜粋)

(将来大型協力)

両機関長は、JAXA-ESAの機関間協力の継続及び拡大の重要性を認識し、さらにより社会の実現に貢献するであろう将来大型協力ミッションを模索する必要性について共通の認識を共有した。両機関は、1年間にわたり大型協力ミッションの可能性について議論及び検討を行ってきた。

今回の会合において、両機関長は、次の通り、これらの大型協力ミッションを築き上げるための両機関間の今後の道筋を確認した。

I. 両機関は、2029年が国連の「小惑星認識と惑星防衛の国際年」に指定されていることを考慮し、地球近傍天体による潜在的な脅威への備えに貢献する**地球防衛**のための活動を国際的に推進する意義を認識した。JAXAが協力している、地球防衛と科学目的の二重小惑星探査ミッションであるESAのHeraは、2024年10月に打ち上げられ、2026年に目標の小惑星に到達する計画である。**両機関は、2029年4月13日に地球に最接近する小惑星アポフィスを探査することを目的としたESAのRapid Apophis Mission for Space Safety (RAMSES)のための協力可能性の検討を加速することに合意した。**これには、**熱赤外カメラと太陽電池パドルの提供及び可能な打上げ機会等**が含まれる。(以降、II~IV省略)

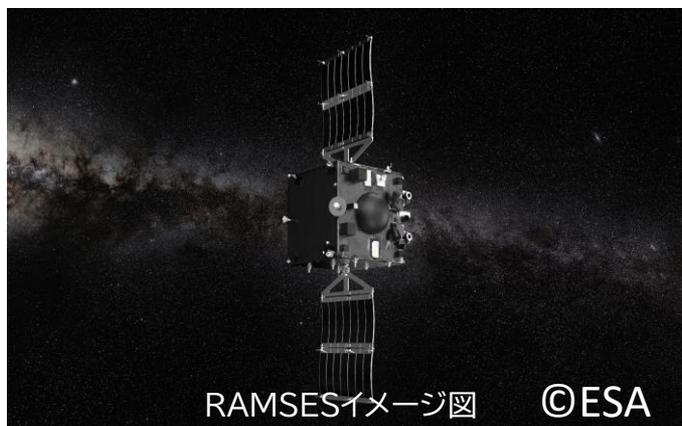


JAXA 理事長 山川 宏
ESA 長官 ジョゼフ・アッシュバッカー

5. JAXAにおけるRAMSES協力に向けた状況

- 熱赤外カメラと太陽電池パドルの提供及び可能な打上げ機会についての提供については技術的観点含め検討を進めている。
- 提供における日本の強み及び提供した場合におけるの日本への波及効果は下記のとおり。日本としてもメリットがあると考える。

アイテム	日本の強み	提供による日本への波及効果
TIRI	<ul style="list-style-type: none"> ✓ はやぶさ2搭載から始まり、JAXAが世界に先駆けて実施した実績あり(世界最先端) 	<ul style="list-style-type: none"> ✓ 科学成果の創出、知見の蓄積【学】 ✓ 「はやぶさ2」搭載中間赤外カメラ(TIR)に続いてJAXAが世界に先駆けて実施した実績による国際標準(スタンダード)の獲得【官】
SAP	<ul style="list-style-type: none"> ✓ DESTINY+で開発しているSAPの設計を活用 ✓ Heraで搭載していたものより、高効率で、薄く且つ柔軟性のある太陽電池セルを利用した太陽電池パドルであり、RAMSESの質量削減に寄与 	<ul style="list-style-type: none"> ✓ 宇宙実証実績の獲得【官】 ✓ 産業振興(国内企業の国際競争力の向上、海外からの信頼獲得)【産】
可能な打上げ機会	<ul style="list-style-type: none"> ✓ 自国で輸送技術を保有 ✓ 相乗り打上げ対応の実績多数あり 	<p>国内外のロケットでJAXA衛星の相乗りを想定した場合：</p> <ul style="list-style-type: none"> ✓ JAXA衛星の打上げコスト低減可能性【官】 <p>国内ロケット活用を想定した場合：</p> <ul style="list-style-type: none"> ✓ 日本のロケットの国際的認知度の向上【官】 ✓ 産業振興(国内企業の国際競争力向上、海外からの信頼獲得)【産】



2028年打ち上げ予定
目的: 短期間での開発のために、HeraやComet Interceptorと同じバス、同じ搭載機器が基本とし、Apophisにランデブー実施
サイズ等: 質量: 1.3ton以下、電力1kw以下
搭載されている装置(予定も含む)
 カメラ(可視光・赤外・多色分光)、レーザー高度計、レーダー(小惑星の内部構造)、電波科学(質量・重力場の推定、高精度軌道決定)、磁力計・プラズマ分光計(地球磁気圏からの影響)、ラジオメーター(熱的性質、表面物性)、メスバウアー分光計(表明組成)、小型分離探査機、着陸機

6. まとめ

- Apophisの接近時期が近づいており機会をとらえたミッションを宇宙機関・民間企業が以前に加えて更に立ち上がり始めている。また、「はやぶさ2」「OSIRIS-REx」によってC型小惑星における水資源価値が明らかとなり、米国を中心に小天体活動を推進する民間企業の動きが加速しており、技術実証フェーズではあるものの、2機以上の衛星・探査機を打ち上げた企業もあり、今後の世間的な関心と相まって、民間主導の小天体活動が更に加速することが予想される。
- 2024 YR4の衝突の可能性の国連による公表により国内外の国民の地球防衛への関心が非常に高まった。今後、Apophisの接近が近づくにつれ更に関心が高くなることが想定される。(地球防衛に関する記事等も急増)
- Apophis及び2024 YR4により、JAXAのプラネタリーディフェンスへの貢献・参画への国民の関心が高まっていると実感
- 宇宙基本計画工程表の方針に沿い、JAXAとして地球防衛に対する国際的貢献を実現し、Apophisの接近機会へのプラネタリーディフェンスにおける国際連携を強化できること、日本の技術的強みを持って国際競争力を示せること、のメリットを踏まえ、RAMSES協力について加速して検討を進めることとしたい。