

2021年度プラネタリーディフェンス・シンポジウム（第31回スペースガード研究会）
2022.2.14

プラネタリーディフェンスの概要説明



（イラスト 池下章裕氏）

吉川真（JAXA）

プラネタリーディフェンス検討チーム

安部 正真、池永 敏憲、岩城 陽大、岡田 達
明、菊地 耕一、黒崎 裕久、黒田 信介、佐
伯 孝尚、鳶生 有理、津田 雄一、西山 和
孝、三桝 裕也、柳沢 俊史、吉川真

本講演についての問い合わせ先：yoshikawa.makoto@jaxa.jp

本シンポジウムについて

- JAXAにはプラネタリーディフェンス(PD)を公式に扱うセクション・グループが無い！
- NASAやESAでは、PDに対して積極的に活動



まずはボランティアで「**プラネタリーディフェンス検討チーム**」を結成
(最初の会合:2021年10月20日)



検討チームのメンバー

吉川 真、柳沢 俊史、安部 正真、池永 敏憲、岩城 陽大、
岡田 達明、菊地 耕一、黒崎 裕久、黒田 信介、佐伯 孝尚、
鳶生 有理、津田 雄一、西山 和孝、三桝 裕也

本シンポジウムの開催(2022年2月14-15日)

地球への天体衝突

小惑星や彗星のような天体が地球に衝突すると大きな自然災害となる。

■2013年2月15日：ロシア・チェリャビンスク隕石



■1908年6月30日：ツングースカ大爆発



■ 6550万年前：恐竜を含む生物の大絶滅



このような災害を事前に防ぎたい

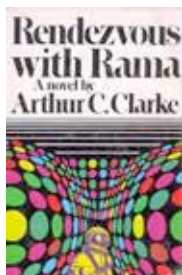
⇒ プラネタリー・ディフェンス（スペースガード）

プラネタリーディフェンスとは

- 小惑星や彗星の地球衝突問題を扱う活動：スペースガードとして開始
- “究極の自然災害”に対して、科学的・技術的に対応
- 1990年代初めから活動が本格化
- 日本では、1996年に日本スペースガード協会が設立（故磯部琇三氏による）→2001年美星スペースガードセンター完成
- 2000年頃からは国連でも議論が始まり、「プラネタリー・ディフェンス（Planetary Defense）」として国際的な活動となる

「Spaceguard」という言葉

アーサー・C・クラークの
“Rendezvous with Rama”
（「宇宙のランデブー」：早川書房）で
初めて使われる。1973年刊。



Arthur C. Clarke
(1917-2008)



日本スペースガード協会の
マーク

プラネタリー・ディフェンスで何をするか

天体の地球衝突は起こる

- まずは小惑星を発見
- 追跡観測を行い軌道を正確に推定
- 計算により衝突の可能性を確認
- 衝突の可能性があれば、さらに観測を継続
- 物理観測（衝突回避や被害の最小化のため）

現在進行中

- 衝突の回避
- 被害の最小化
- 法的な整備
- 人々への対応（情報公開）

議論が活発化

プラネタリー・ディフェンスで何をするか

天体の地球衝突は起こる

- まずは小惑星を発見
 - 追跡観測を行い軌道を正確に推定
 - 計算により衝突の可能性を確認
 - 衝突の可能性があれば、さらに観測を継続
 - 物理観測（衝突回避や被害の最小化のため）
-
- 衝突の回避
 - 被害の最小化
 - 法的な整備
 - 人々への対応（情報公開）

本シンポジウムでの講演

セッション2

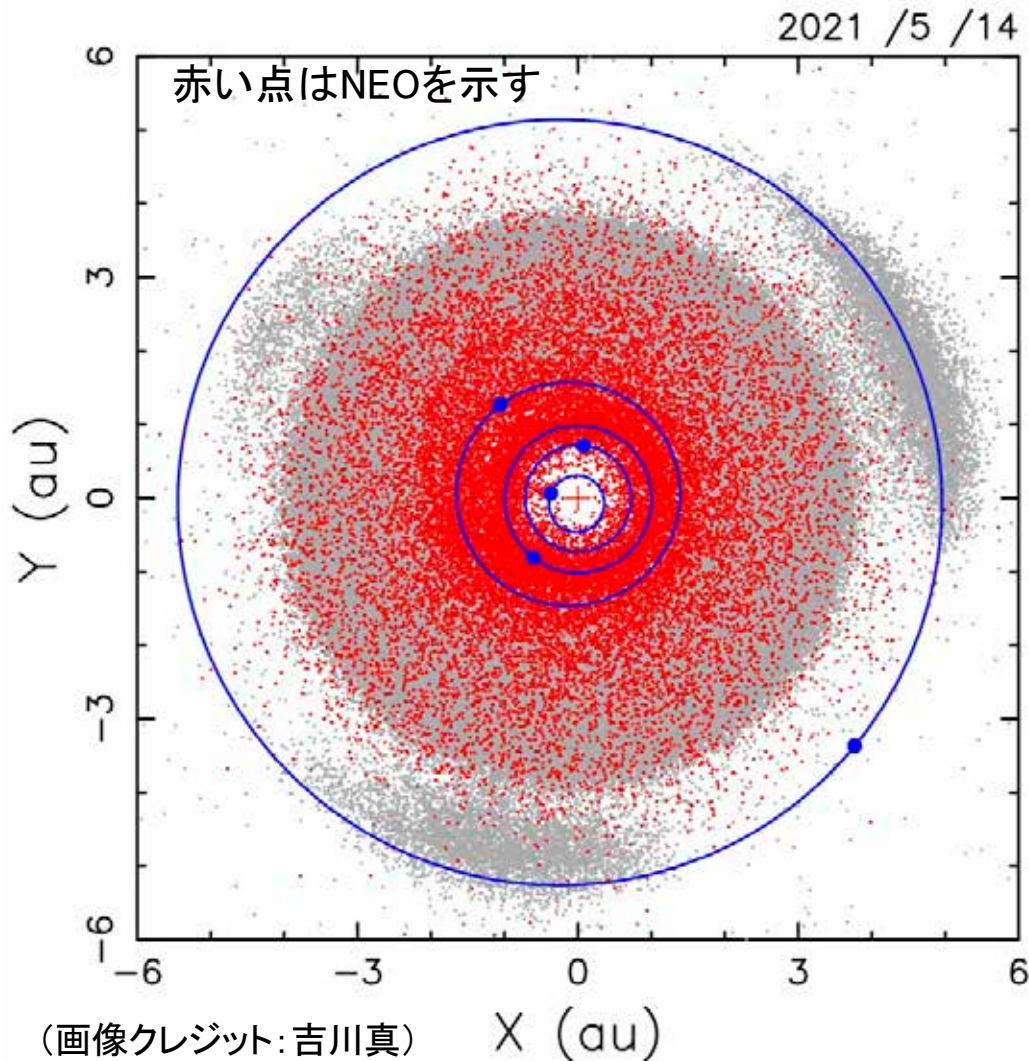
セッション2, 3

セッション4

セッション1

基本的な事項

太陽系小天体の個数



現在(2022年2月13日)、発見され軌道が
求められている小天体:

1,170,548個(うち彗星 4391個)

確定番号付き小惑星:

612,011個

NEO: Near Earth Object

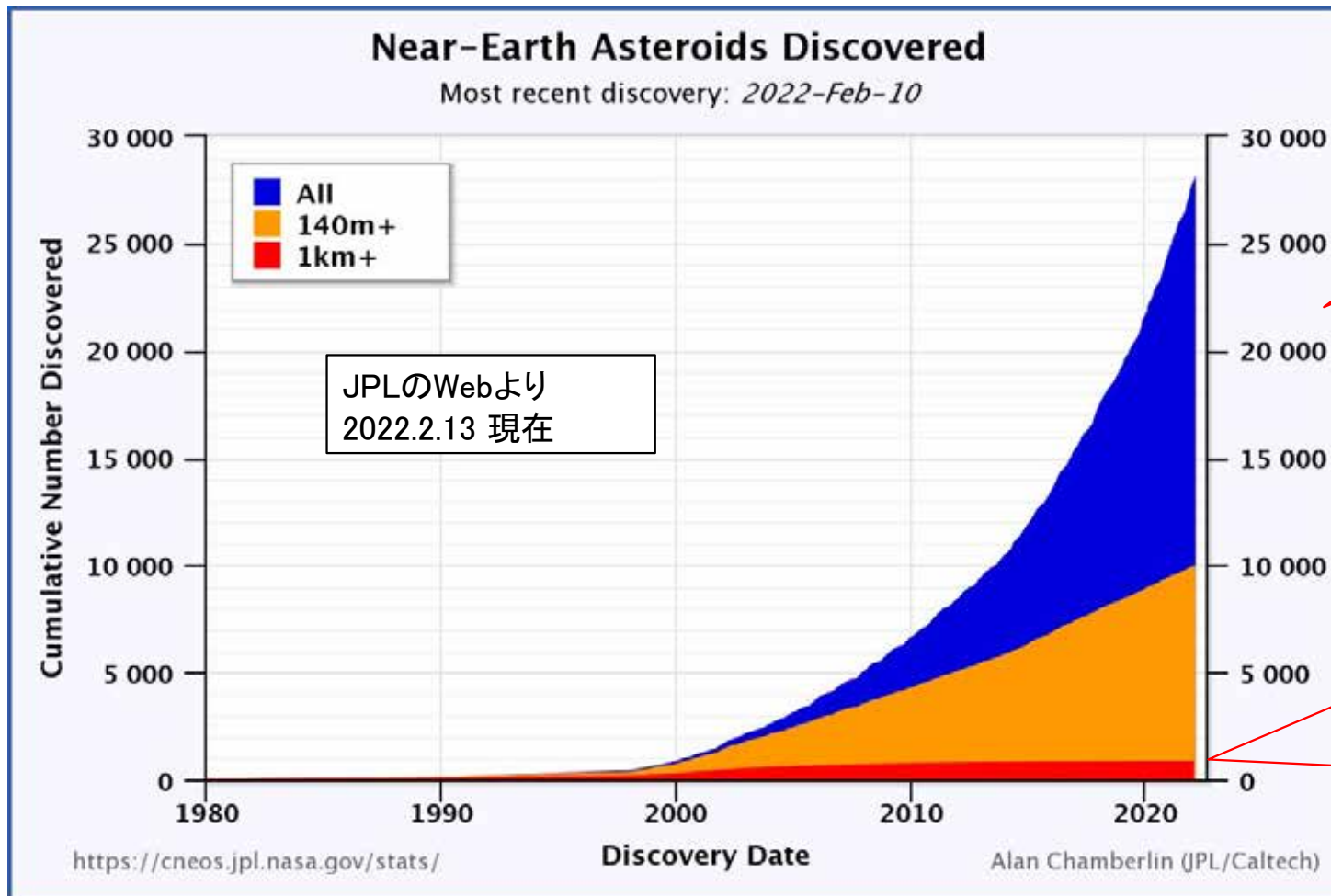
(地球接近天体):

小惑星: 28,255個

彗星 : 110個

国際天文学連合 マイナープラネットセンターのWebより
<https://minorplanetcenter.net/mpc/summary>

NEOの発見数（累積）



2000年以降、
NEOの発見個数
が急速に増大

大きいもの（直径1km
以上）の個数は余り増
大していない

↓
ほぼすべて発見された

<https://cneos.jpl.nasa.gov/stats/totals.html> より

天体の地球衝突について

- 天体の地球衝突の事例
- 地球接近天体の観測
- 天体の地球衝突による被害
- 天体衝突の回避方法

参考:

防衛省 南関東防衛局・北関東防衛局 合同防衛問題セミナー
『日本の宇宙開発 ～宇宙領域の安定的な利用のために～』

小惑星探査とPlanetary Defense 吉川真

https://youtu.be/olsSjs8G_EA



プラネタリーディフェンス に関する活動

プラネタリーディフェンスに対する世界の動き

→この後の黒田氏の講演

国連

COPUOS (宇宙空間平和利用委員会)
UNOOSA (国際連合宇宙局)

IAWN : International Asteroid Warning Network
SMPAG : Space Mission Planning Advisory Group

国際的なアウト
リーチ活動



6月30日

国際会議

PDC : Planetary Defense Conference

小天体探査
ミッション

NASA : Planetary Defense Coordination Office (PDCO)

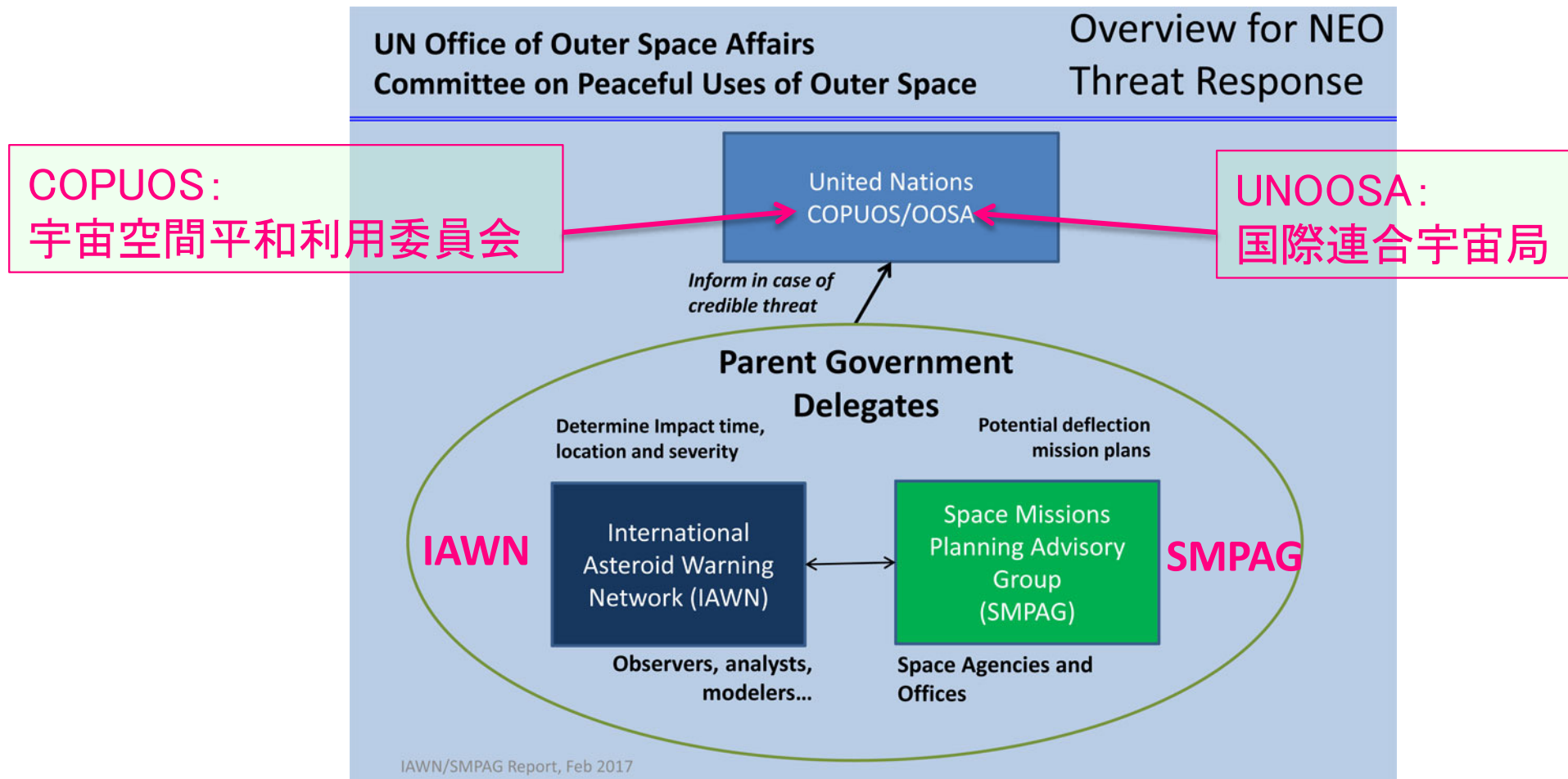
ESA : Near-Earth Object Coordination Center

天体衝突に関する国連の動き

- 1999年：UNISPACE III → NEOについて議論をすべし
- 2001年：国連宇宙空間平和利用委員会（COPUOS：Committee on the Peaceful Uses of Outer Space）の科学技術小委員会（STSC：Scientific and Technical Subcommittee）にアクションチームを設置する。
- 2007年：NEOのWorking Groupが設立。
- 2013年は2月11日～22日（←ロシア隕石は2/15）、および、6月17-18日の会合で議論。
- NEOについては、小天体衝突問題に対応する国際的な枠組みについて議論がなされ、次の2つの組織を設立することを提言。
 - IAWN：International Asteroid Warning Network
 - SMPAG：Space Mission Planning Advisory Group
- 2013年12月：国連総会で了承（2014年から活動開始）

IAWN と SPMAG

IAWN/SMPAG report in COPUOS Feb 2017 より



IAWN と SPMAG

IAWN : International Asteroid Warning Network

- 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
- 天文台など天体を観測できる機関が中心
- <https://iawn.net>



SMPAG : Space Mission Planning Advisory Group

- 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
- 各国の宇宙機関がメンバー
- <http://www.cosmos.esa.int/web/smpag>



直近のSMPAG会合より (2022.2.9-10)



Mandate of SMPAG



- ❑ **SMPAG was officially established in February 2014**
- ❑ **SMPAG Terms of Reference were finalized in June 2014**
- ❑ **SMPAG has established a work plan in November 2015, which is a living document**
- ❑ **The most recent SMPAG meetings:**
 - **Meeting #14 (Feb 2020) – in Vienna, Austria**
 - **Meeting #15 (Sep 2020) - virtual**
 - **Meeting #16 (Mar 2021) – virtual**
 - **Meeting #17 (Oct 2021) - virtual**

直近のSMPAG会合より (2022.2.9-10)



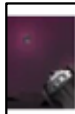
Mandate of SMPAG

☐ **Official members with nominated delegations:**

AEM (Mexico)	ISA (Israel)
ASI (Italy)	JAXA (Japan)
Belspo (Belgium)	KASI (South Korea)
CNES (France)	NASA (USA)
CNSA (China)	
Czech Republic	ROSA (Romania)
DLR (Germany)	ROSCOSMOS (Russian Federation)
ESA	SSAU (Ukraine)
FFG (Austria)	SUPARCO (Pakistan)
IAWN (ex officio)	UKSA (UK)

 **Permanent Observers: ASE, IAA, IAU, UNOOSA, ESO, COSPAR**

直近のSMPAG会合より (2022.2.9-10)



SMPAG work status



- ❑ Task 1 – Criteria and thresholds for threat response (NASA) – **Done, see SMPAG-RP-003**
- ❑ Task 2 – Mitigation mission types + technologies (UKSA) - **ongoing**
- ❑ Task 3 – Mapping of threat scenarios to mission types (ESA) - **unchanged**
- ❑ Task 4 – Reference missions (ASI) - **ongoing**
- ❑ Task 5 – SMPAG action in case of credible threat (NASA/ASI) – **see exercise**
- ❑ Task 6 – Communication guidelines (NASA) - **ongoing**
- ❑ Task 7 – Road map for future work (DLR) - **ongoing**
- ❑ Task 8 – Consequences of mitigation missions (ESA/FFG) - **ongoing**
- ❑ Task 9 – Criteria for deflection targeting (ROSA) - **ongoing**
- ❑ Task 10 – The nuclear device option – literature - **ongoing**
- ❑ Task 11 –Toolbox for characterisation payload (CNES) – **ongoing**

PDC : Planetary Defense Conference

天体の地球衝突問題について、多角的な方面から議論をする国際会議

■これまでの会議

- 2004年：米国・アナハイム
- 2007年：米国・ワシントンDC
- 2009年：1st @スペイン・グラナダ
- 2011年：2nd @ルーマニア・ブカレスト
- 2013年：3rd @米国・フラッグスタッフ
- 2015年：4th @イタリア・フラスカティ
- **2017年：5th @日本・東京 (5/15-19@未来館)**
- 2019年：6th @米国・ワシントンDC
- 2021年：7th @オーストリア・ウィーン（オンライン）



PDC@東京2017

2023年のPDCについての議論がまもなく開始！

Asteroid Day : アステロイド・デイ

国際的アウトリーチ活動

<http://asteroidday.org>



ツングースカの日である6月30日を記念して、天体衝突について考える

- ・2014年に発足
- ・2016年からは国連によって認定

- ・恐怖をあおるようなことはしない
- ・天体の地球衝突問題について、正しい知識をひろめる
- ・対応策を検討する

Asteroid Day Co-Founder



Grig Richters

Rusty Schweickart



Danica Remy



Brian May

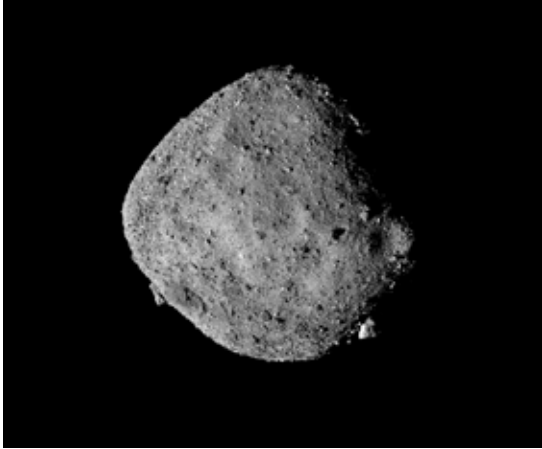


2016年



2017年

オサイリス・レックス (OSIRIS-REx)



小惑星ベヌー (Bennu) からの
サンプルリターン

- 打ち上げ : 2016年9月8日
- ベヌー到着 : 2018年12月3日
- ベヌータッチダウン : 2020年10月20日
- 地球帰還 : 2023年9月24日 (予定)

(オサイリス・レックスチームより提供)

O : 小惑星の起源 (Origins)

汚染を受けていない炭素質小惑星のレゴリス試料を回収し分析する

SI : 分光データの解釈 (Spectral Interpretation)

地上観測により得られた小惑星の分布についての観測結果を解釈するための確かなデータ点を与える

RI : 物質の特定 (Resource Identification)

始原的炭素質小惑星の元素や鉱物をマッピングする

S : 危険予測 (Security)

地球に衝突する危険のある小惑星のヤーコフスキ効果を計測する

REx : レゴリス探査 (Regolith Explorer)

試料採取地点のレゴリスをミリメートルスケールまで記録する

AIDA(アイーダ) : DART(ダート) + Hera(ヘラ)

米国・欧州のミッション

小惑星の軌道を変える実験を行い、軌道の変化や小惑星の状態を詳細に観測する。

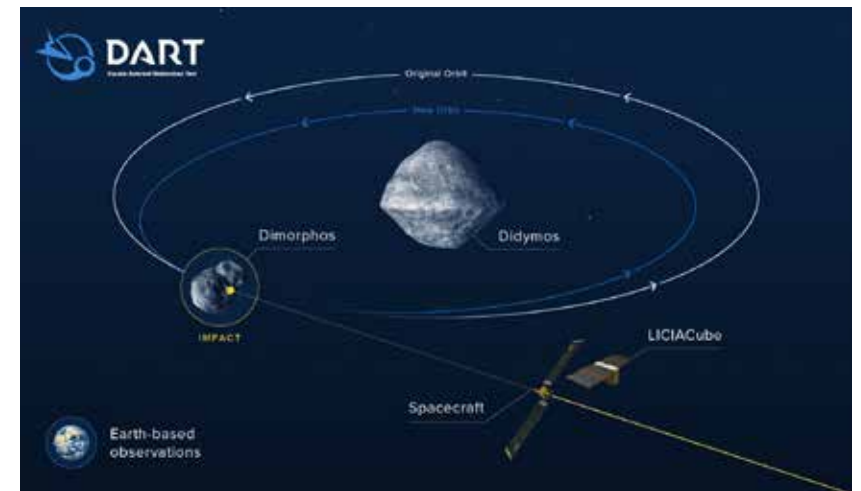
AIDA (Asteroid Impact & Deflection Assessment)

- **DART** (Double Asteroid Redirection Test)

打ち上げ: 2021年11月24日

衝突 : 2022年9月(予定)

重さ約500kgのダートを秒速約6kmでディモルフォスに衝突させ、軌道変化を調べる



(DARTミッションより)

- **AIM** (Asteroid Impact Mission) → **Hera**

打ち上げ: 2024年(予定)

小惑星到着: 2026年(予定)

詳しい探査を行う。JAXAも参加。

ディディモス(Didymos) 直径約780m

ディモルフォス(Dimorphos) 直径160m

DARTの衝突によりディモルフォスの公転周期が数分～10分変化?

NASA : NEO Surveillance Mission

Near-Earth Object Surveyor

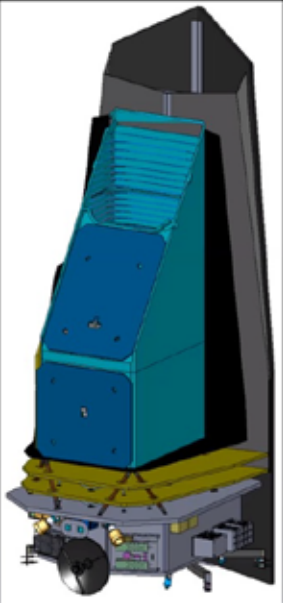


NEO Surveillance Mission

Objectives:

- Find 65% of undiscovered Potentially Hazardous Asteroids (PHAs) >140 m in 5 years (goal: >90% in 10 years)
- Estimate sizes directly from IR signatures
- Compute cumulative chance of impact over next century for PHAs >50 m and for comets
- Deliver new tracklet data daily to the Minor Planet Center
- **On track for PDR and KDP-C “Confirmation” Fall 2022**
- **President’s Budget Request for FY22, if enacted, would fully fund the Phase B project development**
- **Planned Launch Readiness Date in early 2026**

NEO Surveyor
Space-based IR
Observatory

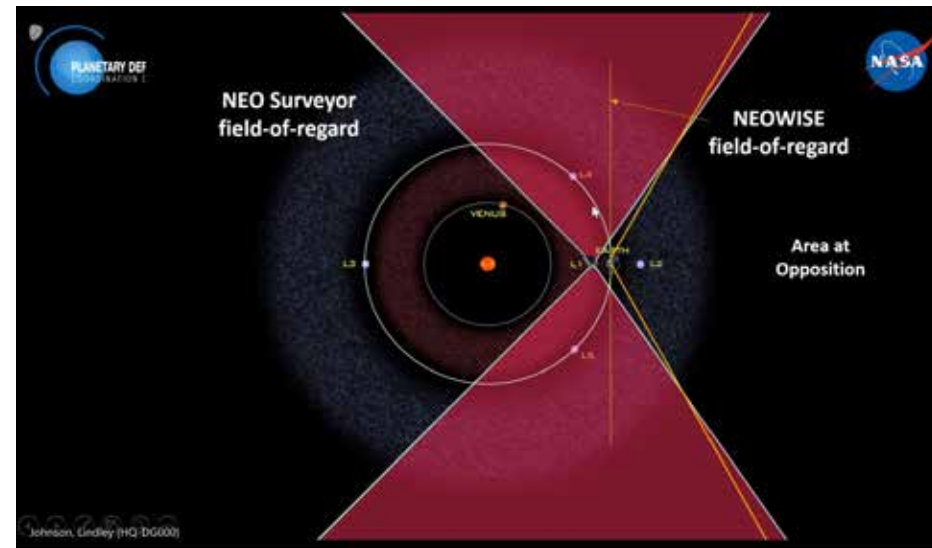
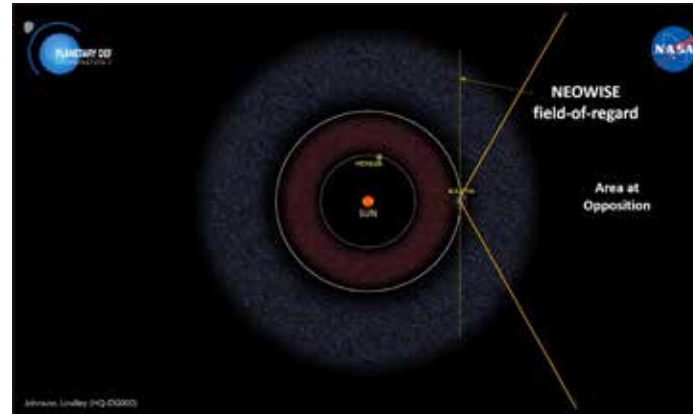
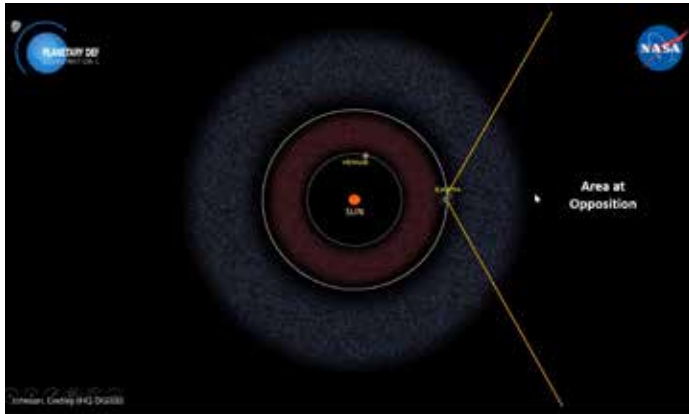


Johnson, Lindley (HQ-DG000) nasa.gov/planetarydefense

SMPAG
NASA資料より

NASA : NEO Surveillance Mission

Near-Earth Object Surveyor



SMPAG
NASA資料より

プラネタリーディフェンスに関するJAXAの活動

■観測

- 重ね合わせ法による高速移動天体の発見観測
- 美星スペースガードセンター（BSGC）におけるNEO観測
- APAON（Asia-Pacific Asteroid Observation Network）

■ミッション

- 「はやぶさ」「はやぶさ2」「はやぶさ2拡張ミッション」
- Heraミッションへの参加
- 小惑星軌道変更：「はやぶさ2」の初期検討において
- NEO観測衛星の検討

■国際対応

- SMPAG、IAWN、PDC、Asteroid Day

プラネタリーディフェンスに関するJAXAの活動

本シンポジウムでの講演

■観測

- 重ね合わせ法による高速移動天体の発見観測
- 美星スペースガードセンター（BSGC）におけるNEO観測
- APAON（Asia-Pacific Asteroid Observation Network）

■ミッション

- 「はやぶさ」「はやぶさ2」「はやぶさ2拡張ミッション」
- Heraミッションへの参加
- 小惑星軌道変更：「はやぶさ2」の初期検討において
- NEO観測衛星の検討

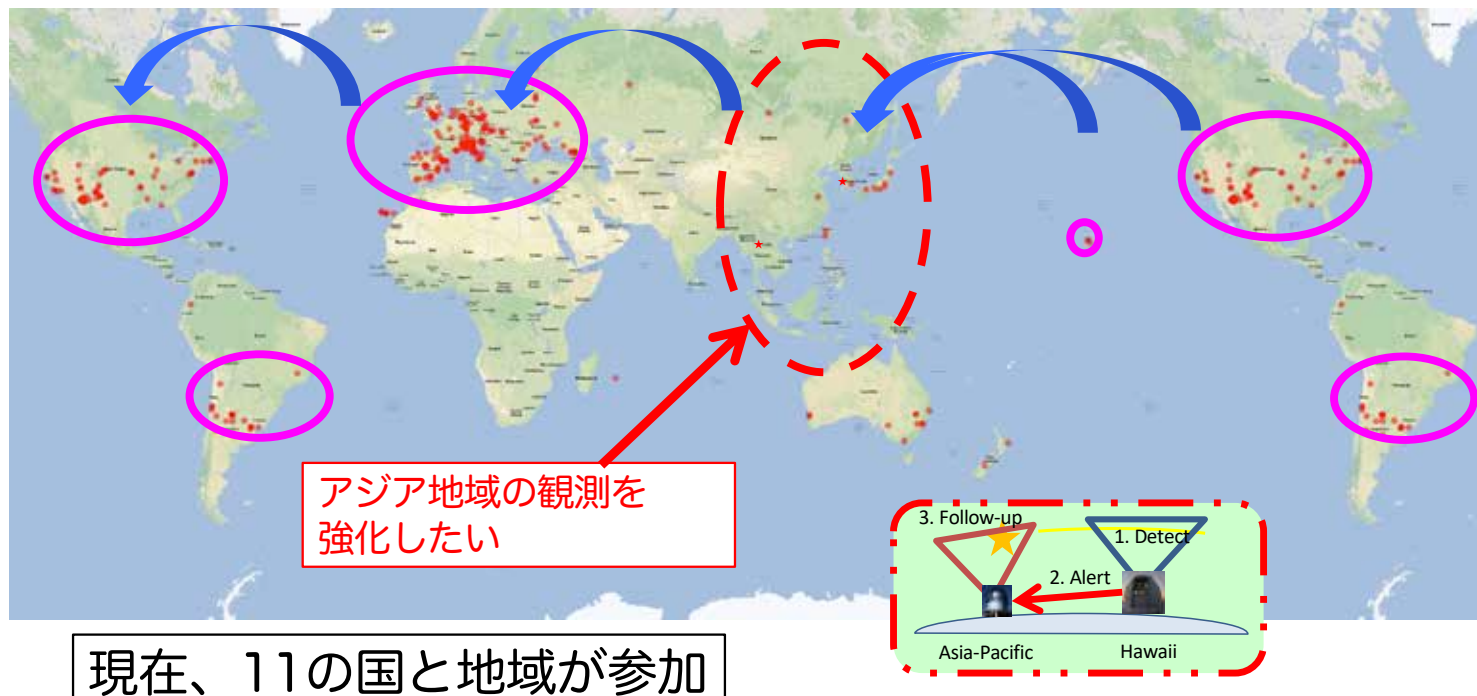
■国際対応

- SMPAG、IAWN、PDC、Asteroid Day

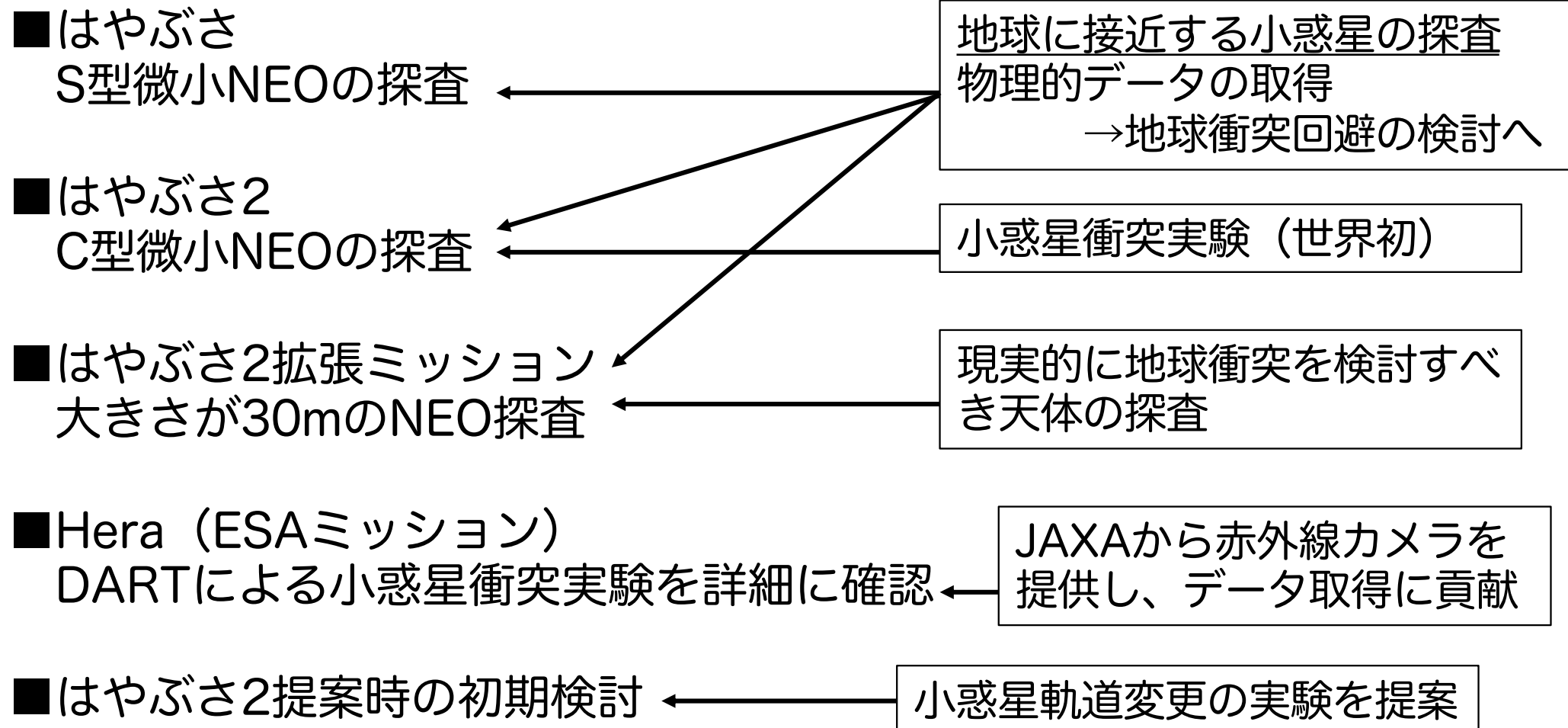
アジア太平洋小惑星観測ネットワーク

Asia-Pacific Asteroid Observation Network (APAON)

目的: アジア・太平洋地域にある望遠鏡を有効活用し、プラネタリー・ディフェンスに貢献する

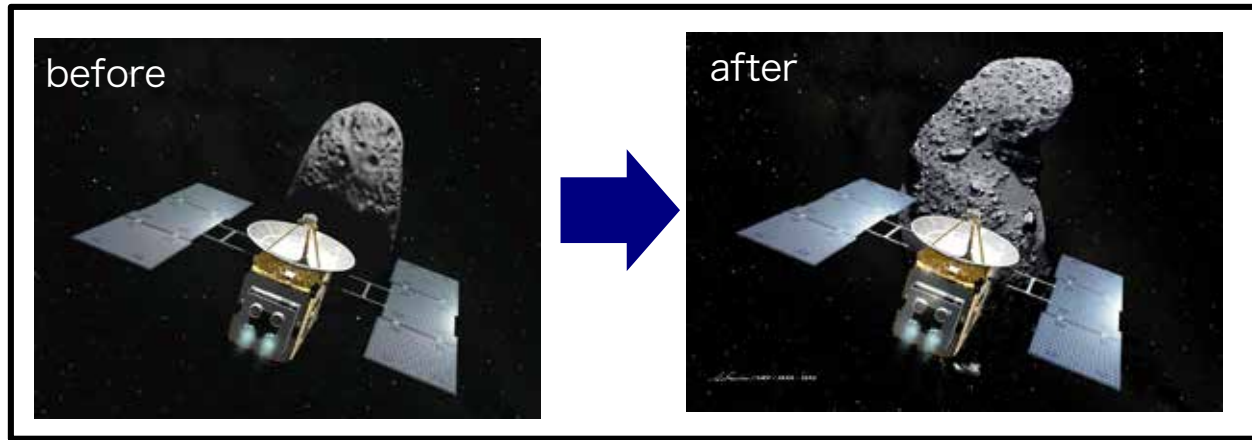


小惑星ミッション



「はやぶさ」の成果

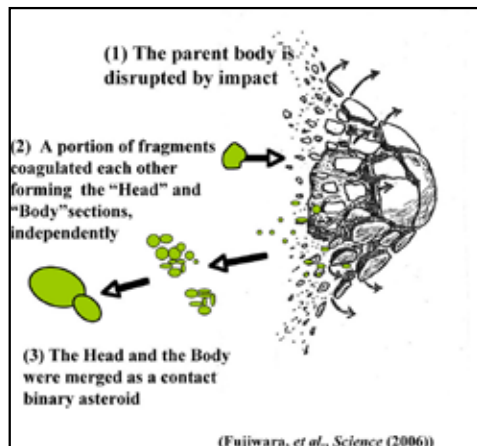
微小NEO（地球接近小惑星）の概念が変わった！



小惑星イトカワ



S型の微小NEO

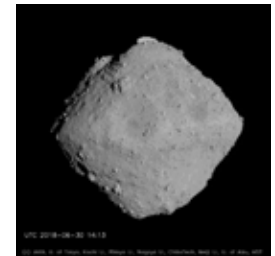


イトカワは“がれき”の集まり
=“Rubble Pile”

プラネタリーディフェンス
からも注目される。

「はやぶさ2」の探査

C型の微小NEOで
あるリュウグウ
もRubble Pile

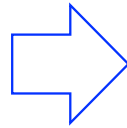
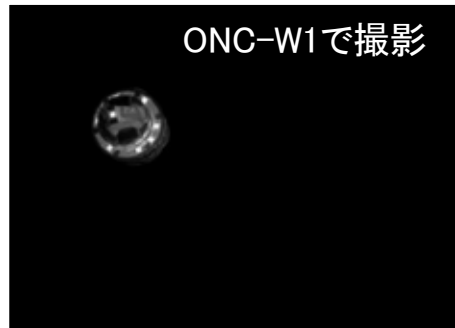


赤道直径約1000m

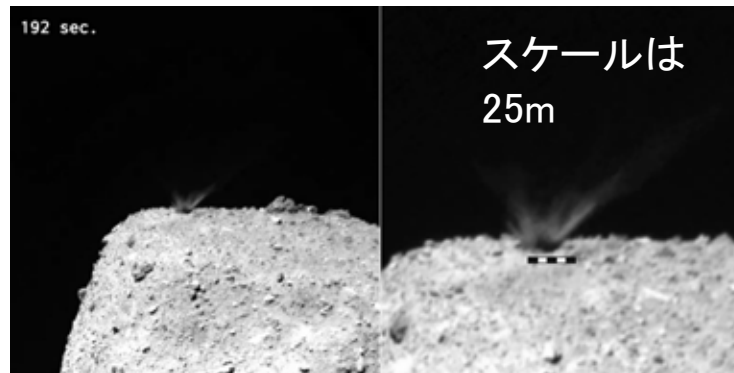
「はやぶさ2」：人工クレーター生成

2019年4月5日

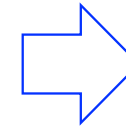
分離された衝突装置 (SCI)



リュウグウ表面からのイジェクタ



©Arakawa et al., Science 2020

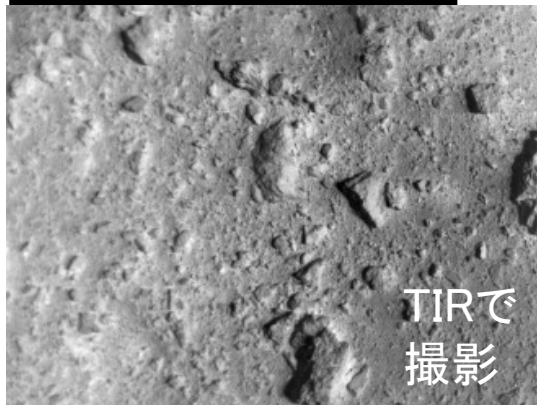


人工クレーター



2019年4月25日に確認

- ・直径約15m
- ・深さ約2m



(画像クレジット: ONCチーム／TIRチーム)

「はやぶさ2」 初期の頃の検討

打ち上げ

2014年7月

着陸帰還機と衝突機（インパクタ）は同時に打ち上げられるが、打ち上げ直後から別々の探査機として運用される。



着陸帰還機が先に到着し、小惑星の観測、ローバ（ランダ）の投下、サンプリングを行う。

2018年6月

小惑星への衝突実験を提案した

サンプル分析

地球帰還

2020年12月



2019年8月

衝突機が小惑星に衝突する。



さらなる探査を行う。

2019年12月

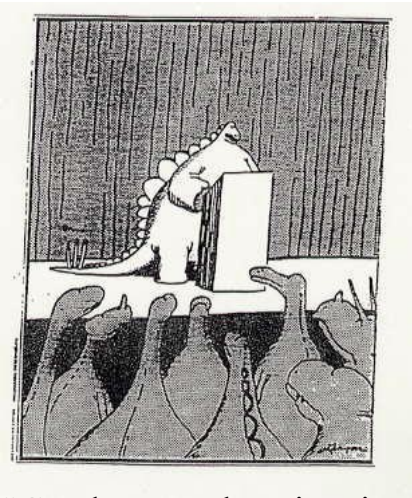
追加されたミッション

まとめ

プラネタリー・ディフェンスの推移

約20年前

人類としての危機管理



"Gentlemen, the situation is critical...the climate has changed, mammals are pressing us, and we have a too little brain for these big problems" (1993)

The SGF – ACM'96
– July 8, 1996



1999年11月24日
朝日新聞社説

現在(2022年)

- NEOの発見個数の増大
数百個→約3万個
- 小天体（NEO）探査の進展
NEO 8天体
- 科学研究の進展
- 天体衝突問題の認識の拡大

巨大災害は起こる
・ 気象災害
・ 地震・津波
・ 新型コロナウイルス
・ トンガ海底火山
...

これからどうする？

日本としての活動を！

参考

スペースガードについて の検討

スペースガード研究会の開催

- 第1回 2008年3月22日・23日 東京・日野（明星大学）
（天体力学N体力学研究会とジョイント開催）
- 第2回 2009年12月21日・22日 札幌（北海道大学）
（1m級望遠鏡による天体観測研究会とジョイント開催）
- 第3回 2010年12月16日・17日 東京・調布（JAXA・調布）
（第4回 スペースデブリワークショップとジョイント開催）
- 第4回 2011年12月17日 福岡（九州大学）
（「時間変動の観測に関するone day meeting」とジョイント開催）
- 第5回 2012年11月25日 神奈川・相模原（JAXA・宇宙研）
（始原天体研究会・はやぶさ2プロジェクトとの合同により
「太陽系小天体への再挑戦」研究会とジョイント開催）
- 第6回 2014年3月14・15日 東京・三鷹（国立天文台）
（「地球衝突関連天体研究会～ロシア・チェラビンスク隕石落下1周年記念～」と
ジョイント開催）
- 第7回 2014年11月6-7日 東京・三鷹（国立天文台）
（始原天体研究会との合同開催）
- 第8回 2015年11月17-18日 岡山・倉敷（倉敷物語館）
（後援 公益財団法人 岡山工学振興会）
- 第9回 2017年2月27-28日 東京（一橋大学一橋講堂）
（「アジア太平洋地域小惑星観測ネットワークシンポジウム」
JAXA宇宙科学研究所とジョイント開催）
- 第10回 2017年10月1日 東京（一橋大学一橋講堂）
（「アジア太平洋地域小惑星観測ネットワークシンポジウム」
JAXA宇宙科学研究所とジョイント開催、協力：日本惑星協会、星空公園）
- 第11回 2018年11月3日 東京（千葉工業大学東京スカイツリータウン®キャンパス）
（千葉工業大学惑星探査研究センター、神戸大学惑星科学研究センターとジョイント開催、
協力：日本惑星協会）
- （第12回 2020年2月29日 埼玉・和光（理化学研究所））
（→新型コロナウイルスの感染拡大防止のため開催延期）
- 第12回 2021年3月10-12日（オンライン）
（日本惑星科学会 衝突研究会と共催）
- 第13回 2022年2月14-15日（オンライン）
（2021年度JAXAプラネタリーディフェンス・シンポジウムと共催）

SDGs

UNOOSA (国際連合宇宙局): 天体の地球衝突問題への対応を SDGsのGoal 11と位置づけている

SDGs (Sustainable Development Goals):
持続可能な開発目標

目標 11[持続可能な都市]
包摂的で安全かつ強靱(レジリエント)で
持続可能な都市及び人間居住を実現する



<https://www.unoosa.org/oosa/en/ourwork/space4sdgs/sdg11.html>

Sustainable Development Goal 11: Sustainable Cities and Communities 2022/02/15 5:48

 UNITED NATIONS
Office for Outer Space Affairs
(<http://www.unoosa.org/oosa/index.html>)

Space4SDGs (<http://www.unoosa.org/oosa/en/ourwork/space4sdgs/index.html>) > SDG 11: Sustainable Cities & Communities (<http://www.unoosa.org/oosa/en/ourwork/space4sdgs/sdg11.html>)

Sustainable Development Goal 11: Sustainable Cities and Communities



Sustainable Development Goal 11 is focused on cities, as more than half of the world's population lives in them. Cities are hubs for ideas, commerce, culture, science, productivity, social development and much more; they have enabled people to advance socially and economically. However, many challenges exist to maintaining cities in a way that continues to create jobs and prosperity without straining land and resources.

Space technologies are utilised for:

- Urban planning, to pinpoint structures and reference points for cadastral and urban planning purposes.
- Smart Cities, through the application of Global Navigation Satellite Systems, Earth Observation and Satellite Telecommunications
- Improvement of city services, such as smart waste management systems
- Air quality monitoring
- Disaster management
- Infrastructure monitoring
- Search and rescue operations

INTERNATIONAL ASTEROID WARNING NETWORK AND SPACE MISSION PLANNING ADVISORY GROUP



Earth Observation and GNSS data support urban mapping and infrastructure monitoring to help plan and manage city services and structures. EO and GNSS-based services create smarter, sustainable cities by optimizing traffic management, reducing energy consumption, and improving urban mobility, and monitoring air pollution. To reduce the human and economic cost of disasters, space-based data enhances the full disaster management cycle by supporting an understanding of disaster risk, preparations to reduce risk, and measures to improve resilience, response and capacity to recover.

UNOOSA is the Secretariat to the International Asteroid Warning Network (IAWN (<http://www.iawn.net/>)), an association of institutions involved in detecting, tracking, and characterizing Near Earth Objects (NEOs), and to the Space Mission Planning Advisory Group (SMPAG).

UN-SPIDER TECHNICAL ADVISORY MISSIONS



Satellite data helps to support, plan and monitor migration and mobility of people, either in the case of human migration between different areas of the world, or mobility within urban centres, and assist disaster planning and emergency response.

Through the United Nations Platform for Space-based Information for Disaster Management and Emergency Response (UN-SPIDER (<http://www.unospider.org/>)), UNOOSA conducts technical advisory missions to discuss the use of space-based information for risk and disaster management and make recommendations on improvements. This helps developing countries in particular to build sustainable and resilient infrastructure that can better tackle challenges related to environmental and other disasters and at the same time, making cities more sustainable.

Space4SDGs (<http://www.unoosa.org/oosa/en/ourwork/space4sdgs/index.html>)

SDG 1: No Poverty (<http://www.unoosa.org/oosa/en/ourwork/space4sdgs/sdg1.html>)

SDG 2: Zero Hunger (<http://www.unoosa.org/oosa/en/ourwork/space4sdgs/sdg2.html>)

SDG 3: Good Health & Well-being (<http://www.unoosa.org/oosa/en/ourwork/space4sdgs/sdg3.html>)

SDG 4: Quality Education (<http://www.unoosa.org/oosa/en/ourwork/space4sdgs/sdg4.html>)

SDG 5: Gender Equality (<http://www.unoosa.org/oosa/en/ourwork/space4sdgs/sdg5.html>)

SDG 6: Clean Water & Sanitation (<http://www.unoosa.org/oosa/en/ourwork/space4sdgs/sdg6.html>)

SDG 7: Affordable and Clean Energy (<http://www.unoosa.org/oosa/en/ourwork/space4sdgs/sdg7.html>)

SDG 8: Decent Work & Economic Growth (<http://www.unoosa.org/oosa/en/ourwork/space4sdgs/sdg8.html>)

SDG 9: Industry, Innovation & Infrastructure (<http://www.unoosa.org/oosa/en/ourwork/space4sdgs/sdg9.html>)

SDG 10: Reduced Inequalities (<http://www.unoosa.org/oosa/en/ourwork/space4sdgs/sdg10.html>)

SDG 11: Sustainable Cities and Communities (<http://www.unoosa.org/oosa/en/ourwork/space4sdgs/sdg11.html>)

SDG 12: Responsible Consumption & Production (<http://www.unoosa.org/oosa/en/ourwork/space4sdgs/sdg12.html>)

SDG 13: Climate Action (<http://www.unoosa.org/oosa/en/ourwork/space4sdgs/sdg13.html>)

SDG 14: Life Below Water (<http://www.unoosa.org/oosa/en/ourwork/space4sdgs/sdg14.html>)

SDG 15: Life on Land (<http://www.unoosa.org/oosa/en/ourwork/space4sdgs/sdg15.html>)

SDG 16: Peace, Justice & Strong Institutions (<http://www.unoosa.org/oosa/en/ourwork/space4sdgs/sdg16.html>)

SDG 17: Partnerships for the Goals (<http://www.unoosa.org/oosa/en/ourwork/space4sdgs/sdg17.html>)

<http://www.unoosa.org/oosa/en/ourwork/space4sdgs/sdg11.html> 1 / 2 ページ