

シンポジウム「天体の地球衝突問題にどう取り組むか2」 今後に向けた提言

平成29年10月1日

黒田 信介

チームJAXA NEO Survey Systemsの取り組み

JAXA NEO SURVEY SYSTEMS : 柳沢俊史、吉川 真、黒崎裕久、池永敏憲、
河津 要、杉本洋平、

内容

1. JAXA NEO SURVEYチーム(Janess)が提案するミッションの概要

世界の観測プロジェクトとその成果

Janes Systemの実力、検出能力分析

科学的価値

被害評価

2. 活動状況と最新報告

地上観測の状況、速報

国際連携にむけた調整状況

ほか

▶ 注：資料中



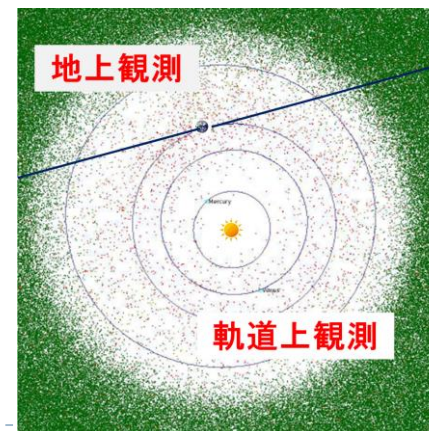
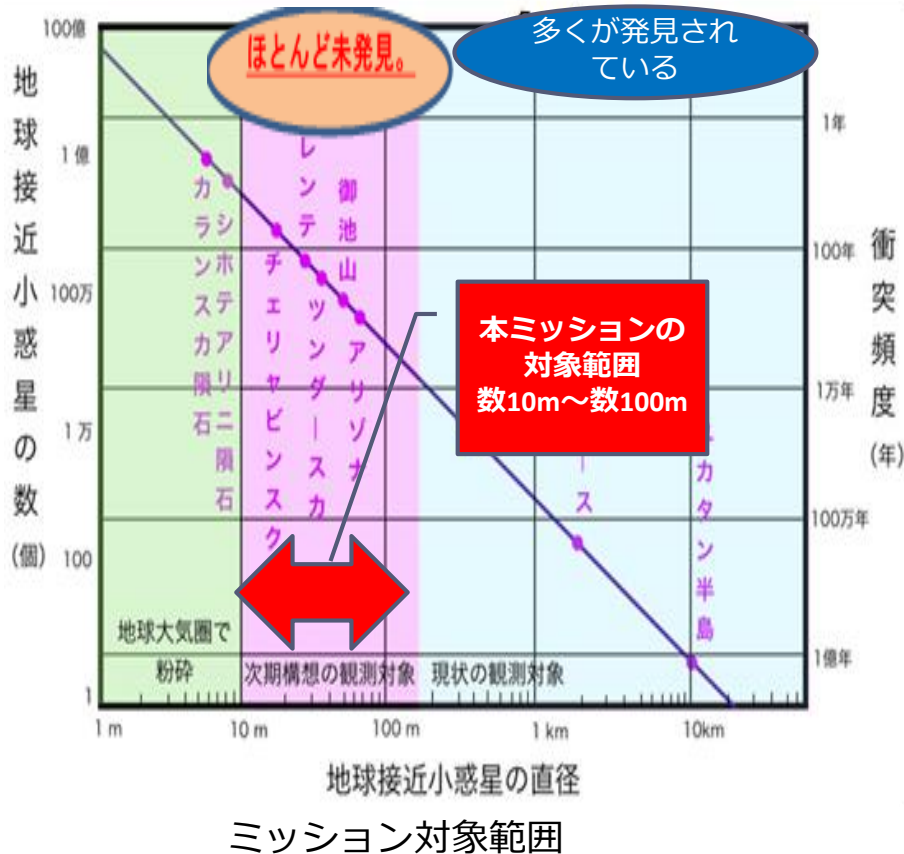
マークはとりとめのない、しかし大事なトピック

1. ミッション定義

- ▶ 地球近傍天体（NEO）には**将来地球に衝突するものが存在している。**

天体の地球衝突の確率とその影響

大きさ	過去のイベント	被害	頻度	数（推定）
20 m	チェリャビンスク（2013）	1500名以上負傷	100年に一度	300万個
50 m	ツングースカ（1908）	2000km ²	1000年に一度	30万個
10 km	KTImpactor(6500万年前)	恐竜絶滅	1億年に一度	30個



地上、軌道上双方の観測が必要

NEO分布

NEO落下事例



a) Chelyabinsk: 20 m (2013/02/15)



b) Tunguska: 30-50 m (1908/06/30)



c) Barringer Crater: 40 m
Crater size: 1.2 km (50,000 years old)



恐竜の大量絶滅を
引き起こした。

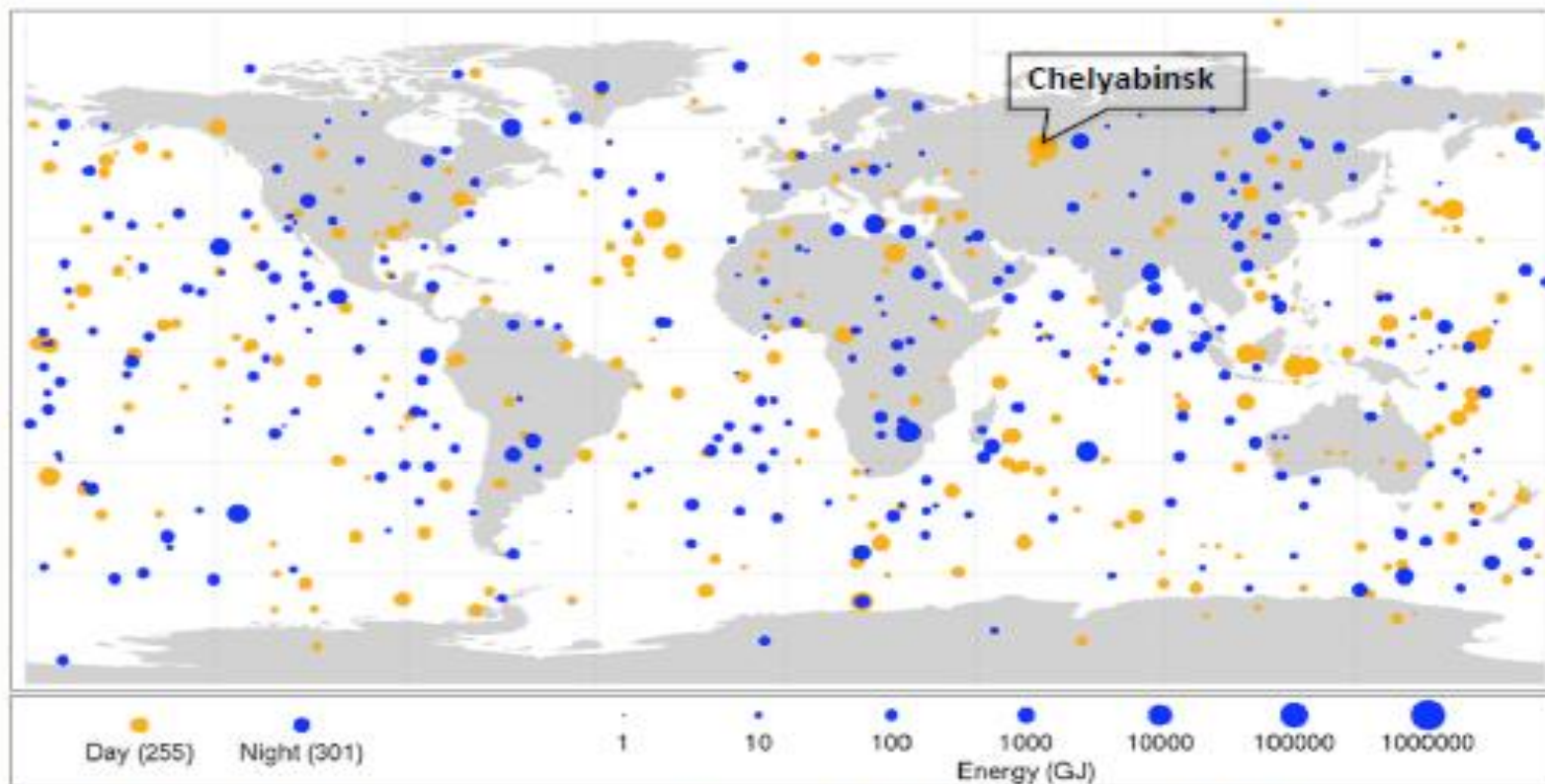
d) **Chicxulub crater: 10-15 km**
Crater size: 160 km (6.5 million years old)

隕石落下（火球クラス）の実態



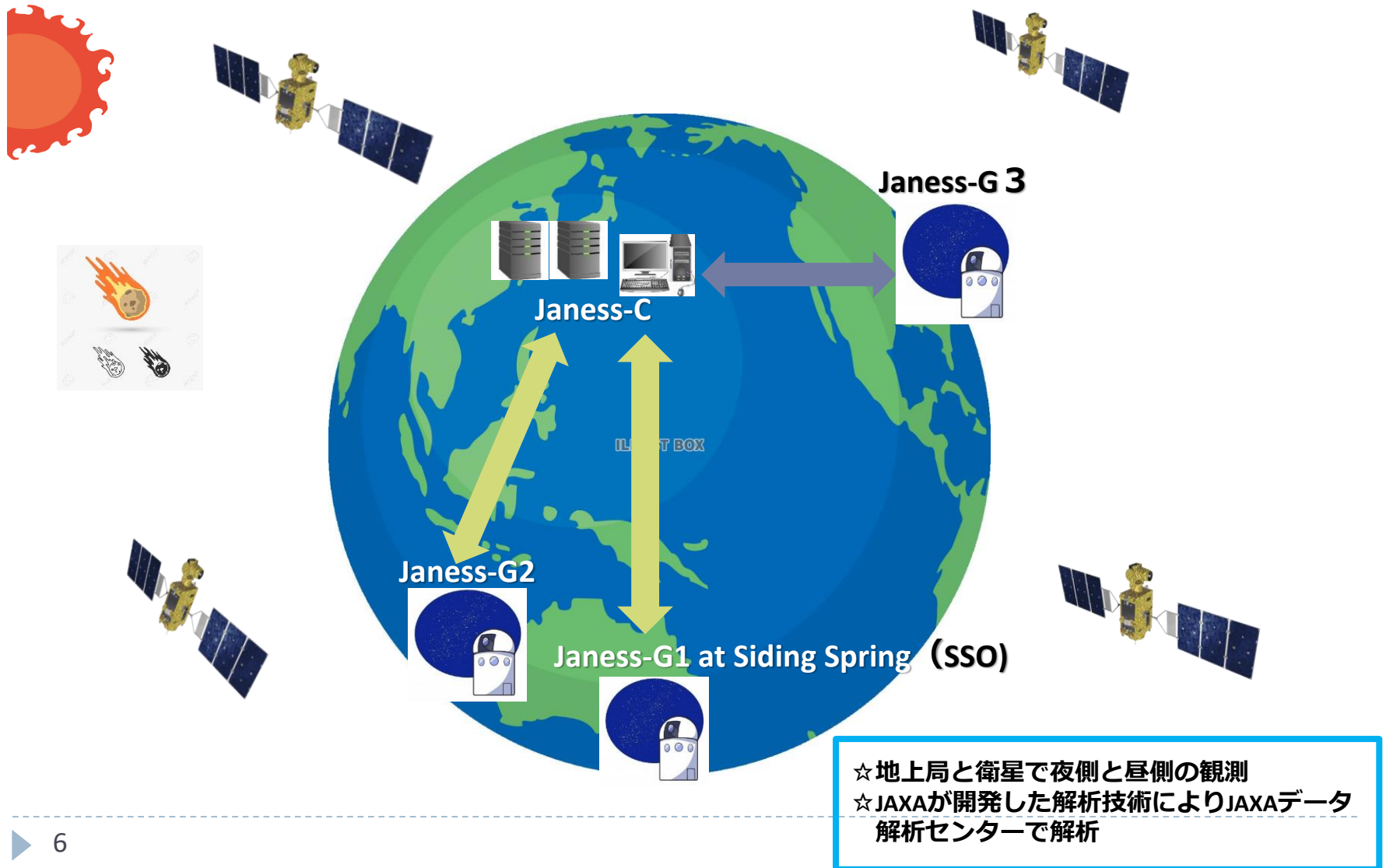
Bolide Events 1994 – 2013

Small Asteroids that Disintegrated in Earth's Atmosphere



This diagram maps the data gathered from 1994-2013 on small asteroids impacting Earth's atmosphere and disintegrating to create very bright meteors, technically called "bolides" and commonly referred to as "fireballs". Sizes of orange dots (daytime impacts) and blue dots (nighttime impacts) are proportional to the optical radiated energy of impacts measured in billions of Joules (GJ) of energy, and show the location of impacts from objects about 1 meter (3 feet) to almost 20 meters (60 feet) in size.

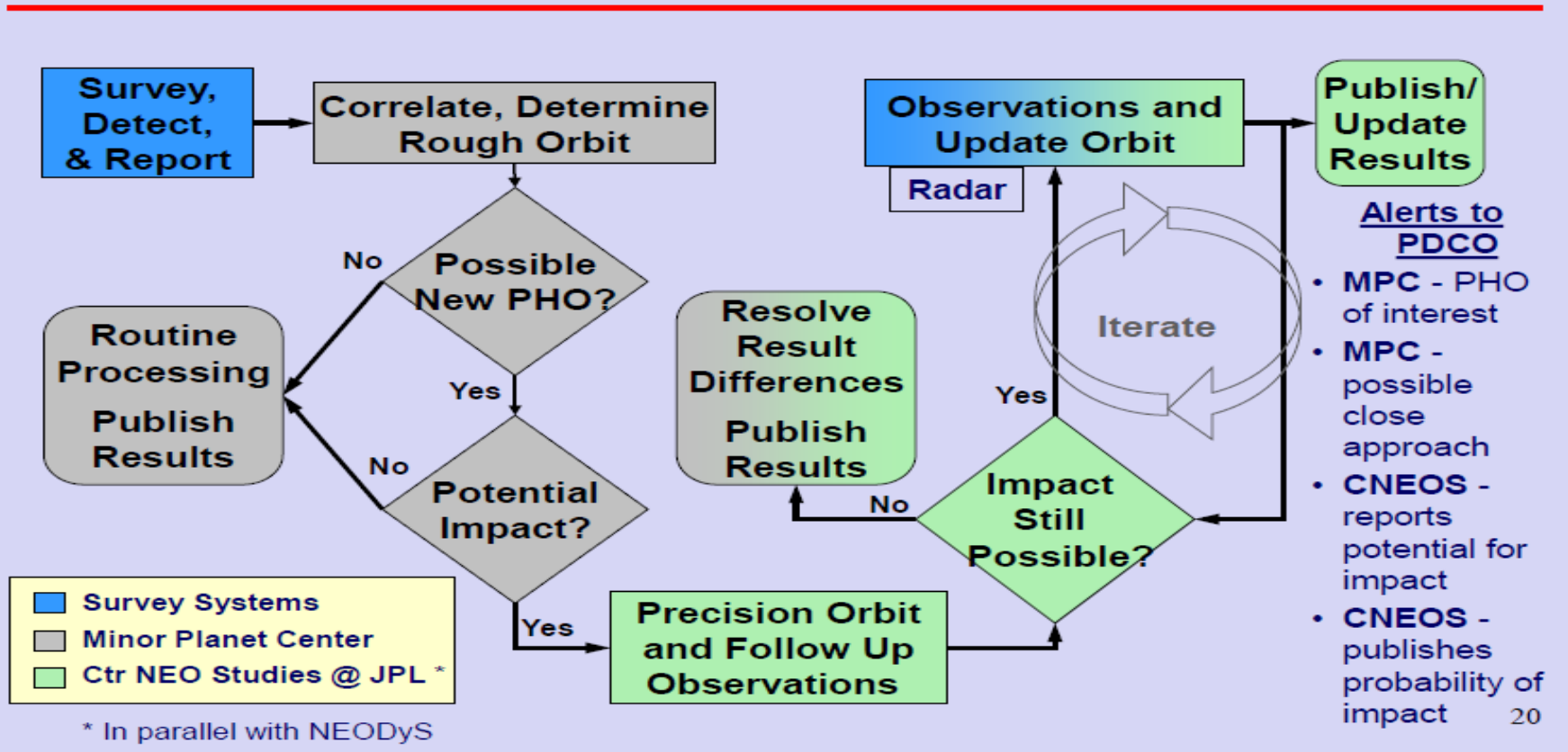
JAXA NEO Survey System *Ground&Space Network*



衝突危険天体の一般への周知手順



NEOO Survey and Alert Process



1.1 現状分析-1 世界の動向・日本のステータス

実施機関	目標	状況・備考
NASA	約30-50m以上で、0.05AU内でのPHO(Potentially Hazardous Objects)の早期検出	NASA HQにPlanetary Defence Coordination Officeを2016年設立
esa	NEO Coordination Centre, etc.	
Russia	大きさ10m以上、大気圏突入4時間前に確認	2017年より開始 衛星利用も検討
Japan(日本スペースガード協会)	“地球に衝突する可能性のある小惑星、彗星をはじめとする地球近傍小天体の発見と監視を行い、またこれらの天体に関する広範囲な研究の促進とその啓蒙”	NPOとして精力的に活動中 国際目標：2030年までに140m-1kmの90%発見
IAWN	補足資料⑨参照 IAWN:International Asteroid Warning Network,	参加国のゆるい連携、ボランティアベース JAXAも加盟準備中
SMPAG*	補足資料参照	
APAON**	JAXA主導の観測ネットワーク	アジア太平洋域のNetwork

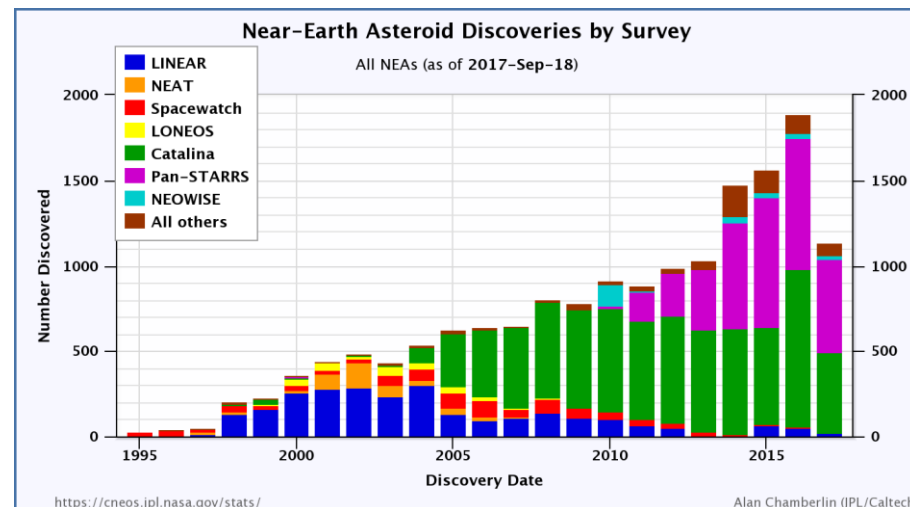
* : SMPAG: Space Mission Planning Advisory Group

** : APAON:Asia-Pacific Asteroid Observation Network

1.1 現状分析-2 世界のプロジェクトの状況

表2：主な観測プロジェクト

プロジェクト名	場所	口径
Spacewatch	アメリカ アリゾナ	0.9 m
		1.8 m
LINEAR/GEODSS	アメリカ ニューメキシコ	1 m×2
		CSS
CSS	アメリカ アリゾナ	68 cm
	アメリカ アリゾナ	1.5 m
	オーストラリア ニューサウスウェールズ	1.0 m
Pan-STARRS(PS1)	アメリカ ハワイ	1.8 m
ADAS	イタリア アシアゴ	67 cm
LSSS	スペイン ラサグラ	45 cm×3
TOTAS	スペイン テネリフェ島	1 m
KLENOT	チェコ Klet'	1.1 m
YSTAR,NEOPAT	韓国	50 cmなど



▶ 過去1年におけるNEO発見プロジェクト

(2016.9.15~2017.9.14)

プロジェクト名	サイトコード	場所	口径	NEO年間発見数	開発運営	資金提供
CSS(Catalina Sky Survey)	G96 Mt. Lemmon Survey 703 Catalina Sky Survey	アメリカ アリゾナ	1.5m	791	アリゾナ大学	NASA
		アメリカ アリゾナ	0.68m	79		
Pan-STARRS	F51 Pan-STARRS 1	アメリカ ハワイ ハレアカラ	1.8m	663	ハワイ大学、MIT他	米空軍
LINEAR	G45 Space Surveillance Telescope	アメリカ ニューメキシコ	3.6m	39	MITリンカーン研究所	NASA、米空軍
ATLAS	T05 ATLAS-HKO T08 ATLAS-MLO	アメリカ ハワイ ハレアカラ	0.5m	29	ハワイ大学	NASA
		アメリカ ハワイ マウナロア	0.5m	25		
NEOWISE	C51 WISE	軌道上(LEO)	0.4m	31	NASA探査機ミッション	NASA

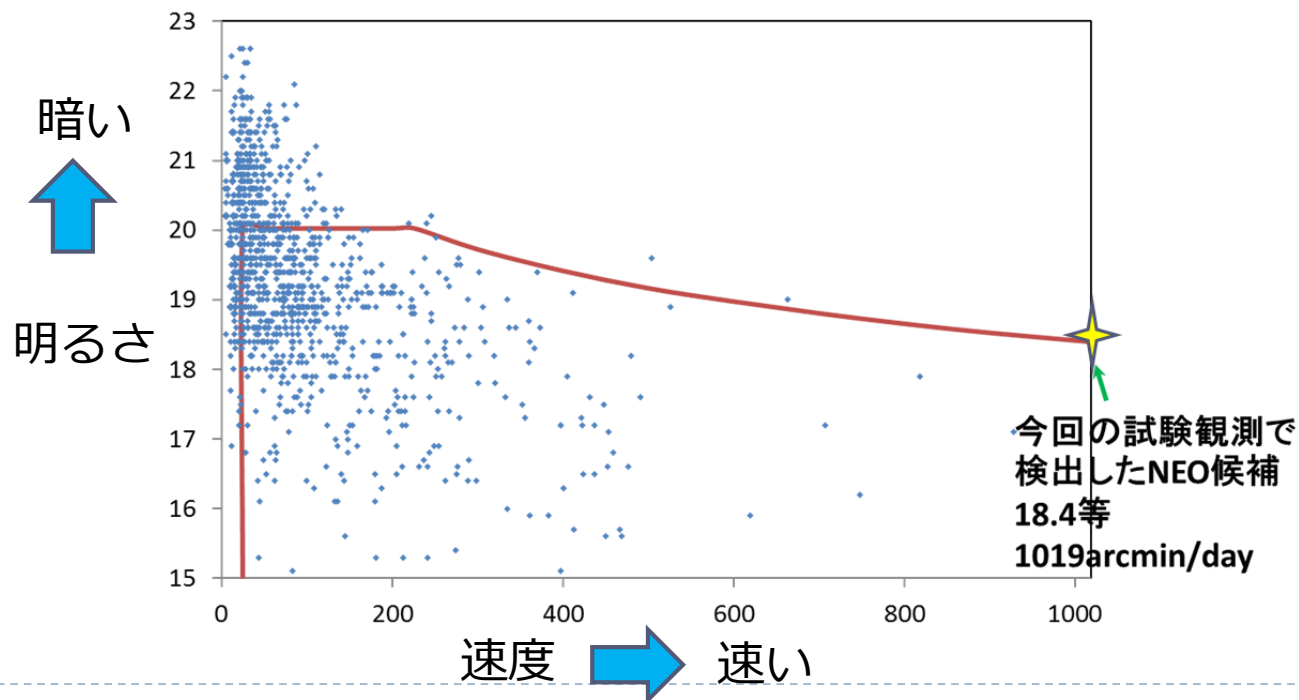
1.1 現状分析-2 Janes Systemの実力と能力分析

Potentially Hazardous Objects(PhO)の発見時の実視等級—速度分布

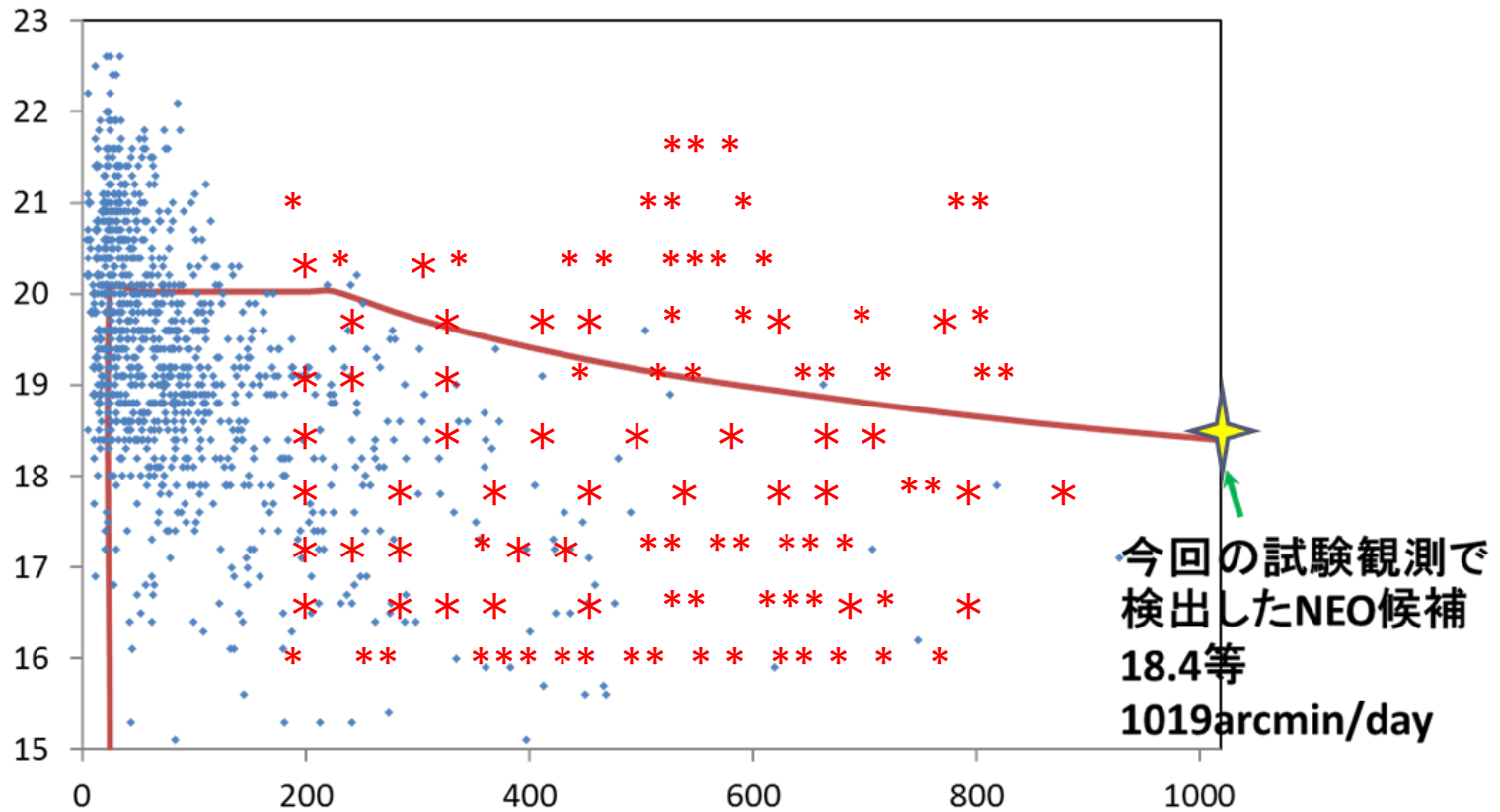
観測日数: 22日
観測領域: 2917領域
トータル掃天視野: 14585平方度
発見PHO*: 2個 (2017 ED4(3/3), 2017FE1(3/18))
推定発見NEO: 18個**

*: Potentially Hazardous Objects (潜在的に危険な天体)

** : 現在発見されているNEOの数16364個に対しPHAはそのうち1830個で約9倍



本当のPHO分布？

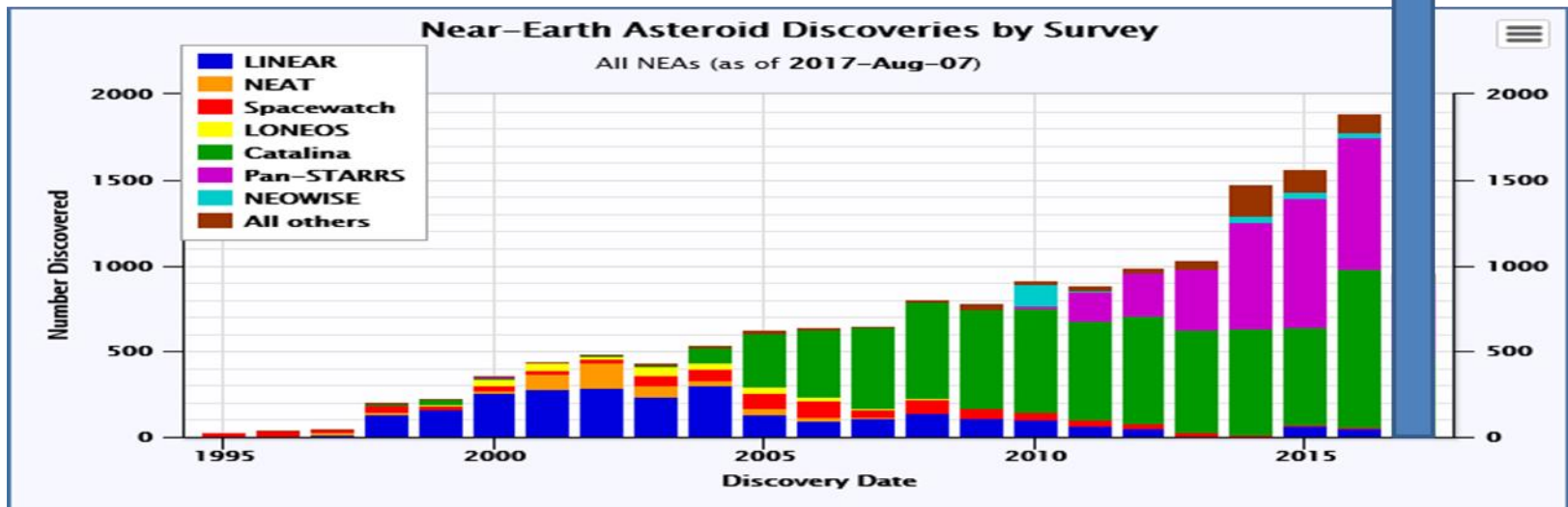


Janes Systemの能力

地上、軌道上すべてを整備すれば年間7000個が検出できる。そのうち、仮に他のサーベイが2000個先に見つけたとしてJanesは5000個になる。いずれにせよ新規発見NEOの大半をJanesが占めることになる。一方、チェリヤビンスク級のNEOは300万個は存在するため、全てをみつけたすのは400年以上かかることになる。

今回の推定では1日1台の望遠鏡で1個弱NEOを発見できることになる。試験観測結果からあながち間違った推定ではないといえる。

JanesSystemによる検出数 →



1.2 科学的価値

1. 微小NEOのサイエンスへの貢献：

- i. 小惑星はそもそも惑星の起源解明の情報を持っているので、いろいろな種類の小惑星が発見されれば太陽系の起源の解明に迫ることができる。
- ii. 多数のNEOの発見→NEO分布の力学モデル(Bottke/Granvikら)と詳細な比較可能→発生源や輸送機構への制約がより強く与えられる
- iii. 近地球領域で分裂した天体例の発見→NEO群の物性などに制約を与えられる
- iv. 月や地球型惑星のクレーター記録との照合がより精密に可能→過去と現在のNEOフラックスの比較がより定量的に行える
- v. 多種多様な軌道の天体→更なる物理観測や理論研究の動機付け



1.3 被害評価

I. NEO被害評価

隕石サイズ、衝突確率（あるいは衝突頻度）、落下地点、さらに隕石の材質のデータが必要
材質が重要なのは、チェリャビンスク隕石のように鉄隕石でない場合は空中で爆発し、サイズに
依存するが地上に到達しない場合がある。

衝突エネルギーの原爆との比較から、100年に一度の25mクラスの隕石衝突が鉄隕石（全体の
1/10)が確率1/100で人口密集地に落下すると仮定した場合の死亡者数は平均約1万人という
試算がある。東日本大震災の約2万人に匹敵する災害である。

また、頻度と面積の関係から日本への影響は小さい！？という指摘もある。
一方、海洋へ落下した場合の津波のリスクは高まる！

重要なのは、

- ☆ 本質的には**国際的な問題として**とらえること
- ☆ 隕石衝突は、地震や火山噴火とは異なり、**正確な予測が可能**であること



II. 地上観測サイト及び小型光学望遠鏡衛星コスト概算

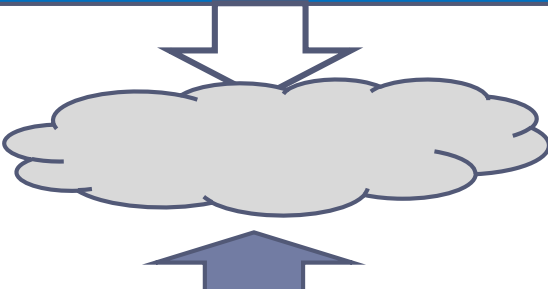
必用コストの積み上げによる地上観測サイト、光学望遠鏡衛星のコストの推計も行っている。
衛星について大きな開発要素は無い。

ミッション目標とアウトカム 及び達成の為のマイルストーン

以上の分析検討により、もっとも意義ある成果を見いだせるミッション目標として以下を設定した。

大きさ数10m～数100mのNEOを、地上及び軌道上観測により出来るだけ早く確実に検出する24時間全方位の観測システムを構築し、地球衝突危険天体に関する事前情報を提供する。

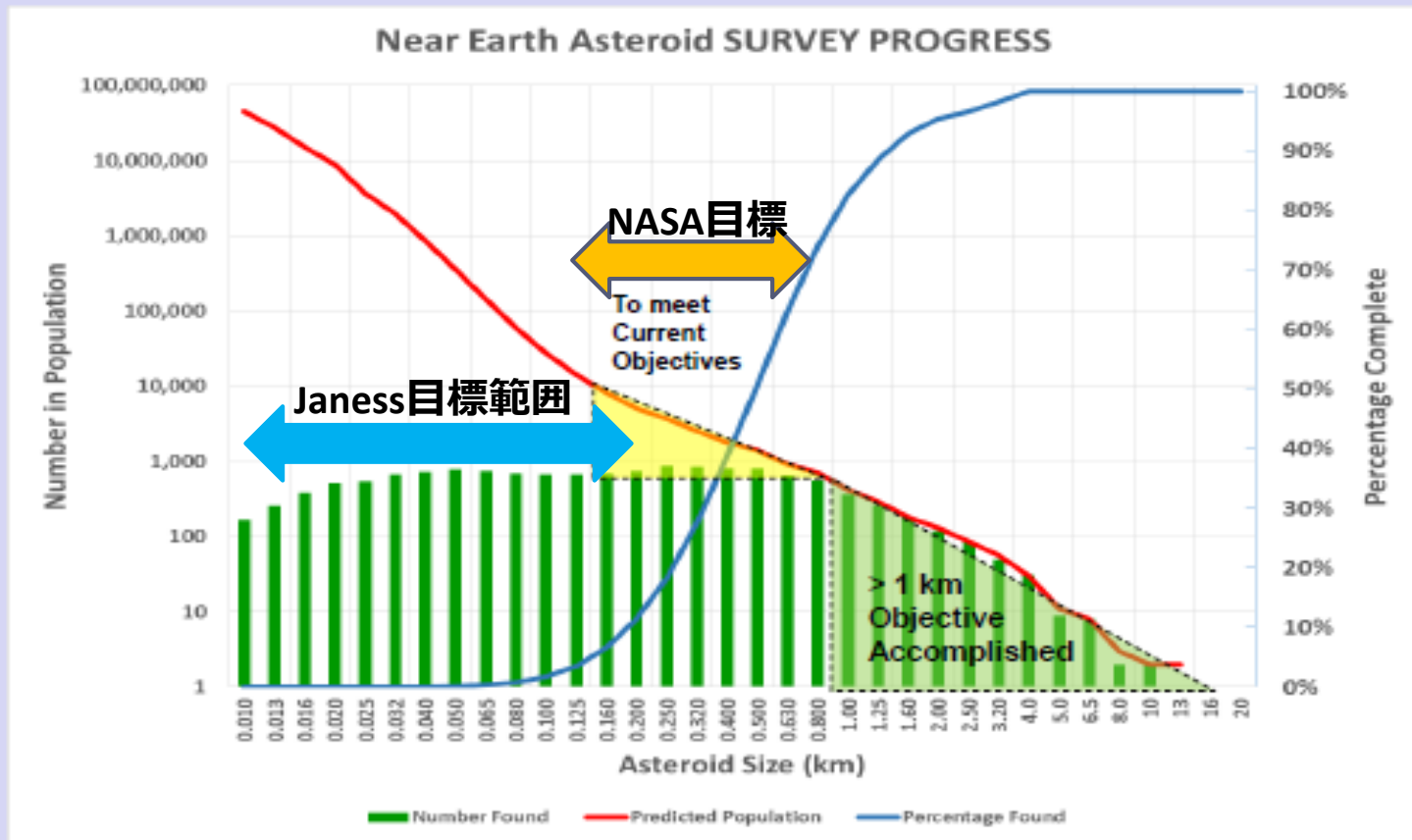
どのように？

- 
1. フォローアップ観測協力サイトの拡充
 2. 地上観測ネットワーク構築
 - 2-1 人員増強と観測計画整備
 - 2-2 解析センター整備
 - 2-3 第2, 3, 4観測サイト増設
 3. 豪州FTN, NASA協力合意
 4. 衛星設計、製造、打上げ
 5. 統合運用

参考：NASA PDCO目標との整合性



Near Earth Asteroid Survey Status



2. 作業紹介

1. NEO分布モデルの作成

esa専門家開発の最新ツールを使いより現実的なNEO分布モデルの作成を実施中。これにより、観測効率の向上が見込まれる。

2. 地上観測

Siding Spring観測所を使った掃天観測を継続実施中。
25cm望遠鏡の移設、赤道儀の購入→12月から2台体制へ
データ転送等各種作業自動化を検討中。
解析処理の効率化、エラー防止のための作業。
天文台コード申請中。

3. 国際協力・調整

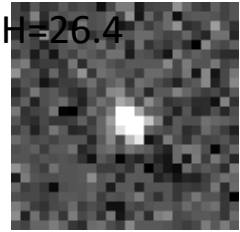
オーストラリアグループと協力関係調整中
IAWNへのJAXA正式加盟準備
NASA PDC Officeとの調整開始。

4. その他

IAC (International Astronautical Congress) Adelaide, Australia Sep.25-29参加、豪州グループと調整会議
2018 IEEE Aerospace Conference, Montana, March 3-10
シンポジウム「天体の地球衝突問題にどう取り組むか2」10月1日、東京（吉川、柳沢、黒田）
外部資金調達検討中

7月24日の豪州SSOでのNEOサーベイ観測結果 (170724)

1. 170724-neoS013-0-1 10.3度/日 18.4等



X: -74 Y: -27

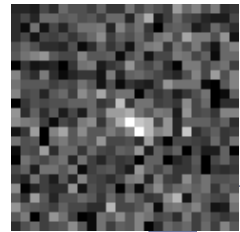


ステラハンターで既知天体は表示されず。
MPChekerでは近くにNEOがあるので、観測日時で正確に計算すると、若干の位置ずれがあるが移動量、方向が同じであると判断。この2017 OE7は、同じ日にハワイで2時間先に観測され報告されたもの。

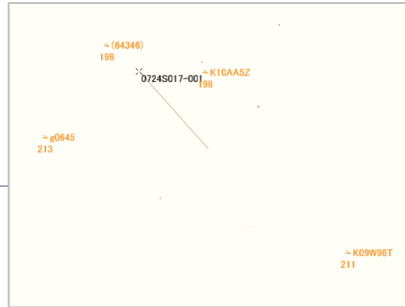
2017 07 24.48536 21 14 03.78 -22 44 15.0 17.9 o T08 - ATLAS-MLO, Mauna Loa
2017 07 24.49551 21 14 27.60 -22 42 04.8 17.8 o T08 - ATLAS-MLO, Mauna Loa

2. 170724-neoS017-0-1 11.8度/日 19.6等

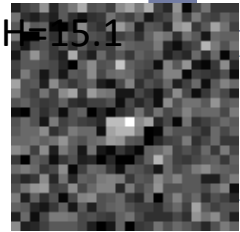
近くに既知天体はなく、他の方法でも見当たらないで**新発見**



X: -61 Y: -66



3. 170724-neoS019-0-1 0.8度/日 18.0等

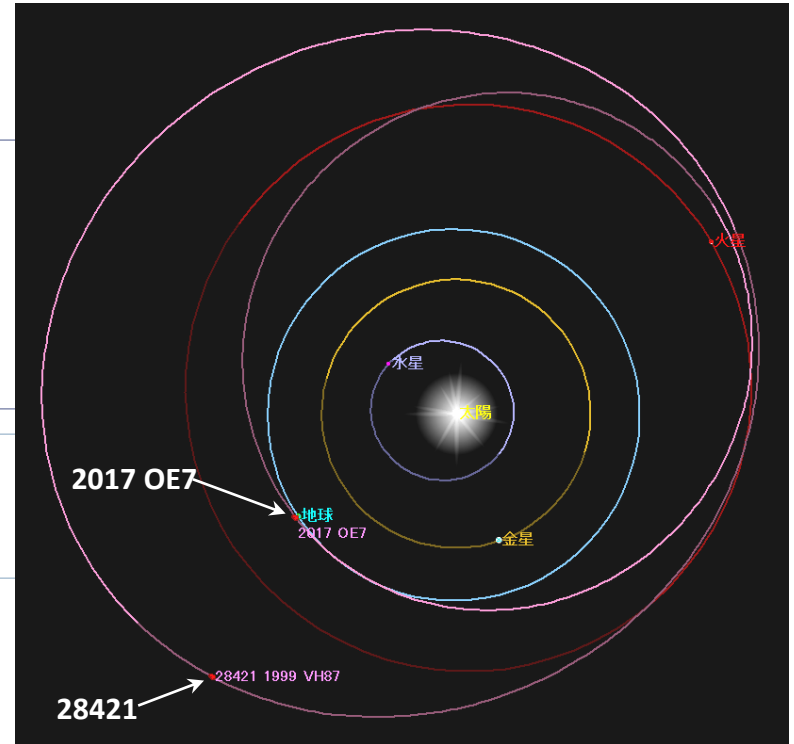


X: -1 Y: 6



(28421) 1999 VH87

ハンガリア族：メインベルトの最も内側、軌道傾斜が20度程度



既知天体2つの軌道

速報：7月-9月の試験観測結果

	観測日	観測領域	検出件数
1	7/24	37	1
2	8/21	42	0
3	8/22	23	0
4	8/23	38	0
5	8/25	30	1
6	9/14	11	0
7	9/15	37	0
8	9/16	35	0
9	9/17	13	1
10	9/18	38	0
11	9/21	37	0
-	—	341	3



☆ 11日間の観測で3個の新NEO検出するも正式登録されず。

☆ 平均3.7日、**約4日に1個の割合**で新NEO検出。

☆ 望遠鏡2台（12月運用開始）で2日に1個の割合で検出されることが予想される。

☆ 一方、本格観測に向けて課題も顕在化し、現在対応中

☆ 天文台コード申請中
コード取得の為9月20日から既知NEOの精密観測実施

平均観測時間：7.8時間/日

国際連携に関する調整

目的：NEO検出後のフォローアップ観測拠点の確立と次期観測サイト設立

背景と必要性：発見後の軌道決定や確実なカタログ化の為に追跡観測が不可欠である。また、SSOとの位置関係からSiding Spring以西の、晴天率の高い観測所が条件となる。また、国際協力によるNEOサーベイ、回避プロジェクトに向けて実績作りが不可欠。

1. **APAON** (Asia-Pacific Asteroid Observation Network) JAXAが主導し観測協力体制を促進中。

2. Australia FTNとの調整状況

- ☆ Falcon Telescope Network関係者と観測協力について調整中。
- ☆ IAC(International Astronautical Congress)@Adelaide9/25-29での会議提案があり、現地時間9月28日13時より実施。
- ☆ test運用“try-out”の提案があり、詳細調整中。

3. NASA

- ☆ NASA HQのPlanetary Defense Coordination Office(PDCO)との調整開始。
(現在Australia FTNとの調整を優先)



9月22日、TKSC訪問中のScience Mission Directorate (PDCOの上位組織)のDirector、Jim Green と遭遇。NEOミッションは国際協力プログラム、サーベイに衛星(複数)が不可欠と意気投合。今後検出状況等連絡することで同意。

NEOにおけるJAXA-NASA協力（案）



AIDA



Asteroid Impact & Deflection Assessment (AIDA)

- The AIDA is a mission concept to demonstrate asteroid impact hazard mitigation with a kinetic impact spacecraft to deflect an asteroid
- AIDA would be a joint US and European mission:
 - European rendezvous spacecraft, the Asteroid Impact Mission (AIM) mission
 - US kinetic impactor, the Double Asteroid Redirection Test (DART) mission
- NASA has agreed with ESA to enter parallel formulation concept studies in 2016
- **NASA has agreed with JAXA to enter characterization and hazard mitigation studies for city destructive level NEOs in 2017.**

October, 2022



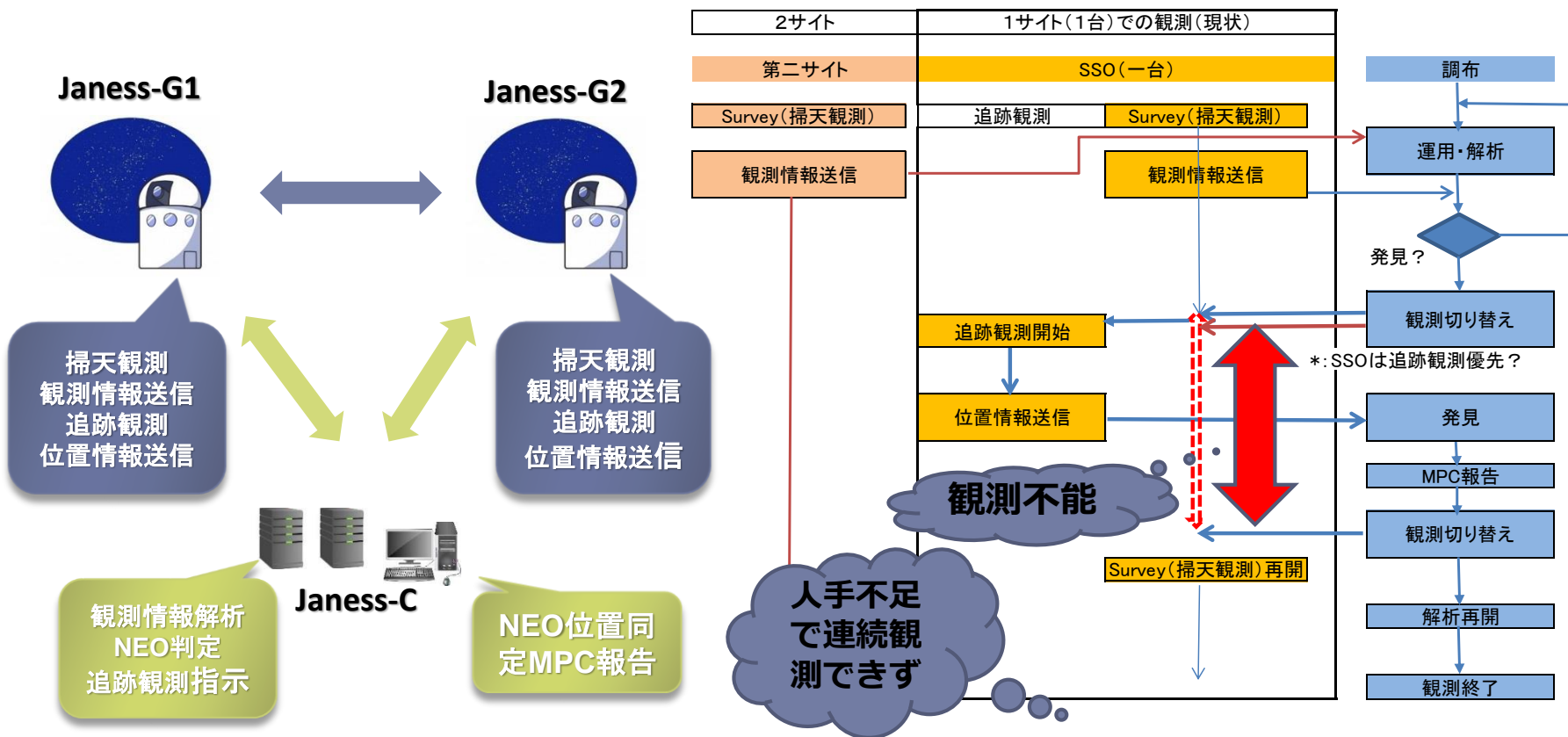
AIDA = AIM+DART

May 12, 2014

39

NEO地上観測システムに対する“運用シナリオ視点”でのリスク分析

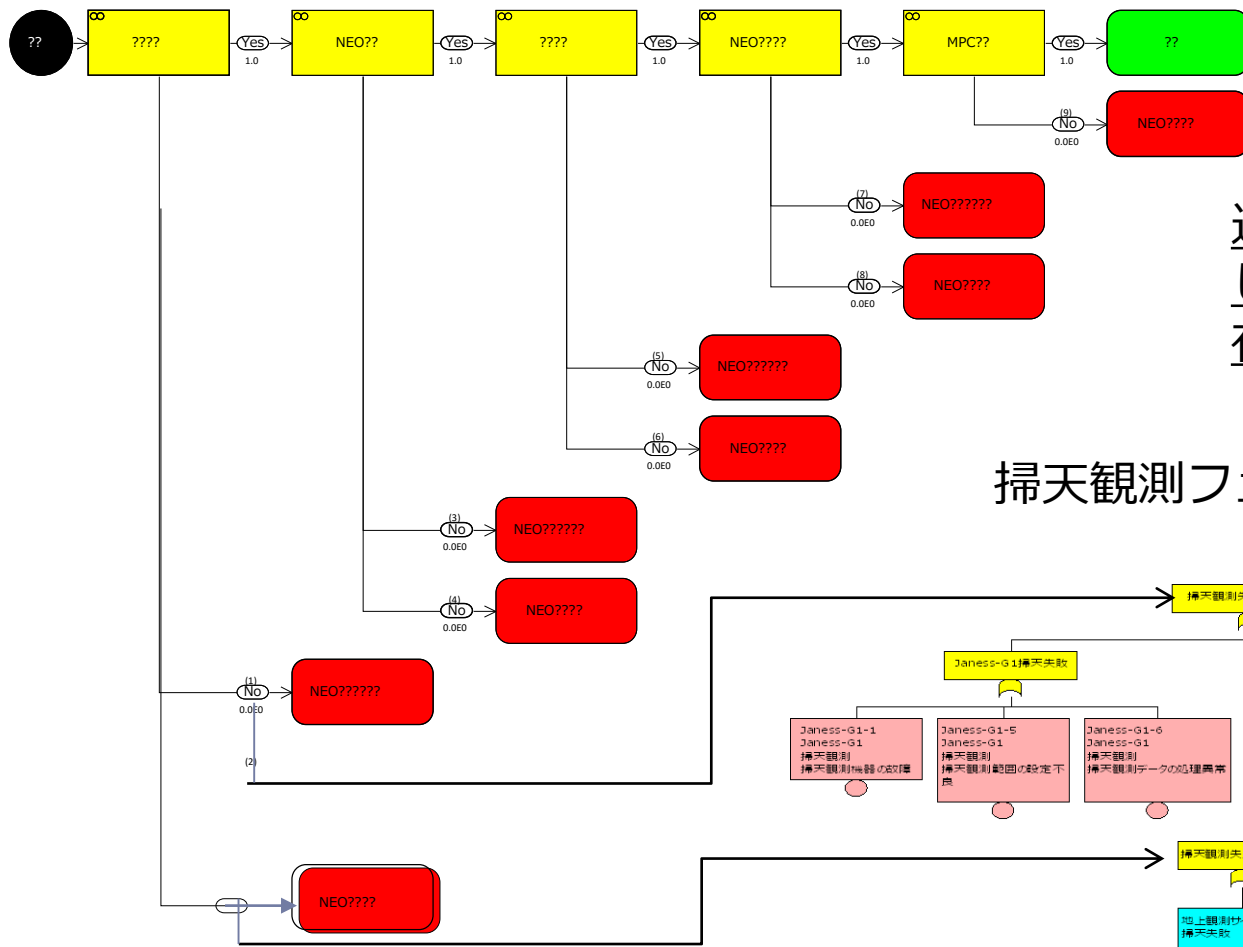
▶ NEO地上観測システムの運用シナリオ（システム構成要素の機能／運用フロー）



→上記の運用シナリオをESD（Event Sequence Diagram）により“フェーズ”単位で整理し、各フェーズ毎のリスク要因をFTA（Fault Tree Analysis）によって識別する。

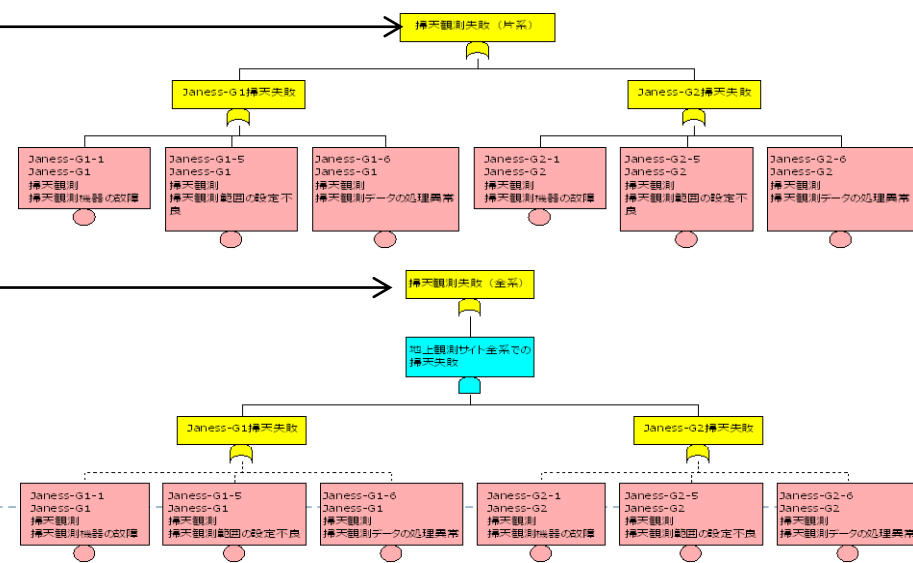
地上観測システムに対する“運用シナリオ視点”での初期リスク分析例

- KITE不具合を教訓に



運用シナリオも考慮した不具合要因の顕在化の一環として

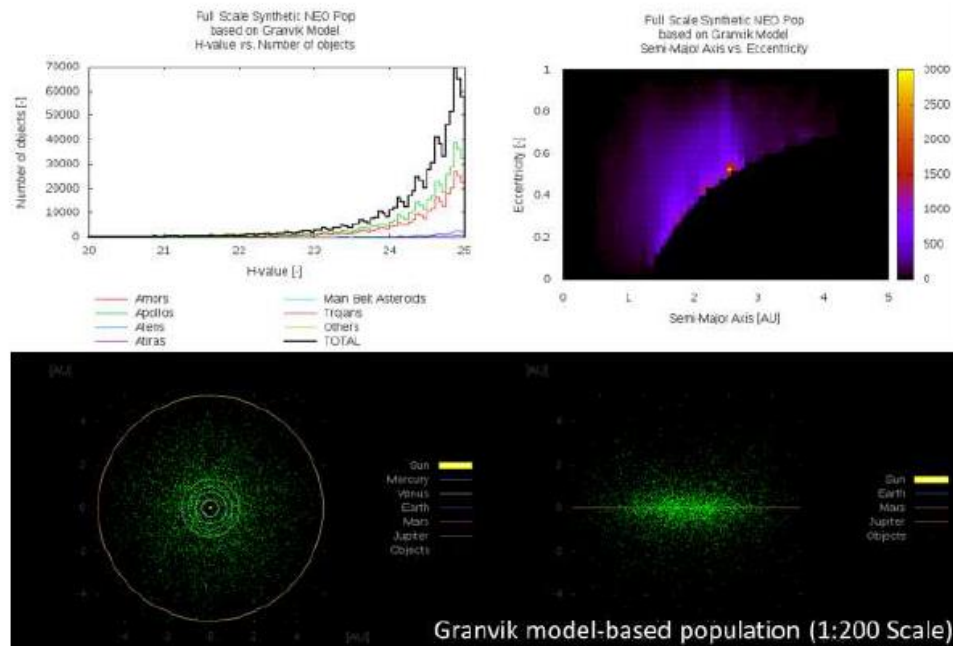
掃天観測フェーズのFTA



検出能力分析

現実的なNEO分布モデルの構築

より正確な検出期待数を計算するためにこれまで考慮されていなかった絶対等級の分布を考慮したモデルの構築を開始。



Bottke/Granvik Modelで絶対等級15-25 (i.e. 25m-25km) のNEOを80万個生成。

ご清聴ありがとうございました。

NEOサーベイミッションにご興味のある方は
kuroda.shinsuke@jaxa.jpまでご連絡下さい。

Oshimai

