

二重小惑星探査計画Hera

岡田達明¹ & Hera JP / TIRIチーム

¹JAXA/ISAS

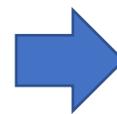




Hera~プラネタリ・ディフェンスへの先駆け



天文・惑星科学の知識、宇宙探査の技術を活用して人類社会の潜在的危機に対処



応用科学（防災科学）

NASA/ESA共同のPlanetary Defense計画AIDA (=DART + Hera)

- ・ Heraへの熱赤外カメラTIRIの提供、
 - ・ 科学検討（熱物性、衝突科学、地質学、軌道）で貢献
- 戦略的海外共同計画（所内プロジェクト）

プラネタリ・ディフェンス：

- ・ 地球接近小惑星の検知
- ・ 小惑星の素性の理解
- ・ 小惑星の地球衝突回避（軌道修正）の技術
- ・ 小惑星の地球衝突による影響の評価
- ・ プラネタリ・ディフェンスに関する法整備

TD1 (2019/02/20-22)



Hayabusa2/TIR



-185 sec.

Hayabusa2/SCI&DCAM3

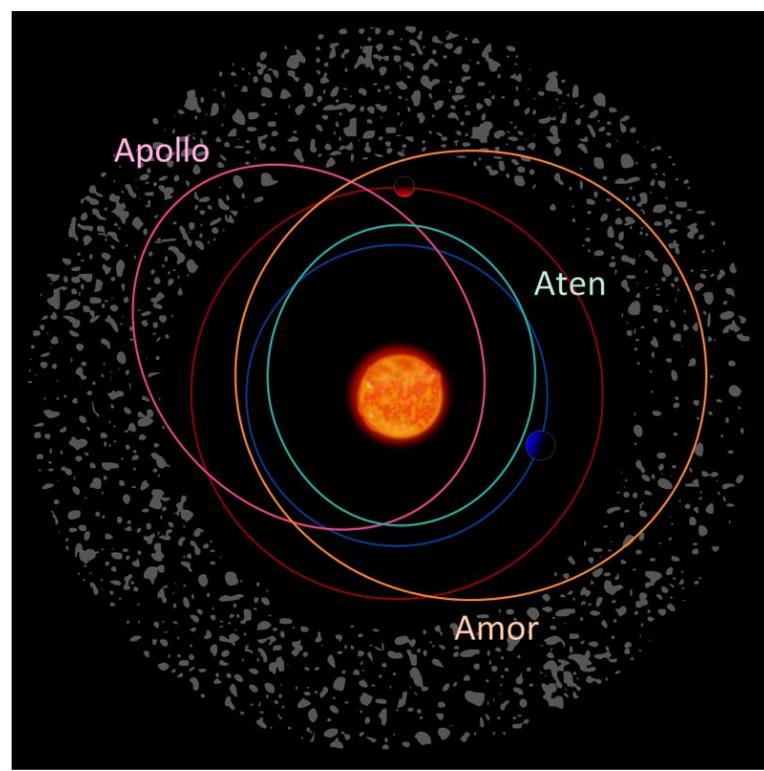
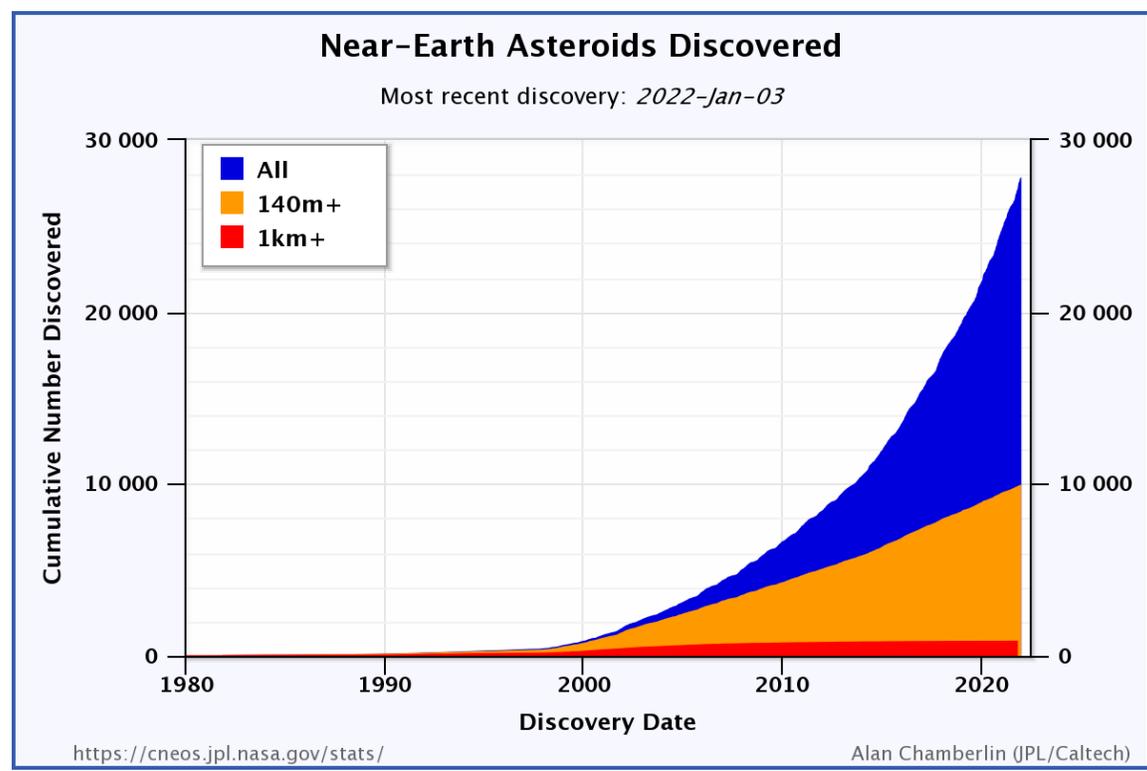


地球に衝突する潜在的脅威となる小惑星 Potentially Hazardous Asteroid (PHA)



- 地球近傍小惑星 (NEA = Near-Earth Asteroids):
 - ◆27,844 天体 (2022/1/3現在)
 - ◆2,224 (PHAs: $H \leq 22$ ($D \geq 140m$), 最接近距離 $L \leq 0.05$ au)
- 次の100年で衝突の可能性のある小惑星：18 天体

- アポロ: 15,142 (55.4%)★
- アモール: 9,963 (36.4%)
- アテン: 2,107 (7.7%)★
- 彗星: 117 (0.4%)
- アッティラ: 26 (0.1%)





小天体の地球衝突イベント



■衝突クレーター（過去の衝突イベント）

- ◆チチュルブ(KTイベント)
- ◆ベリンジャー(鉄隕石)

■火球（最近の衝突イベント）

- ◆1994~2013年の小天体による地球大気突入
- ◆サイズ1~20 m級

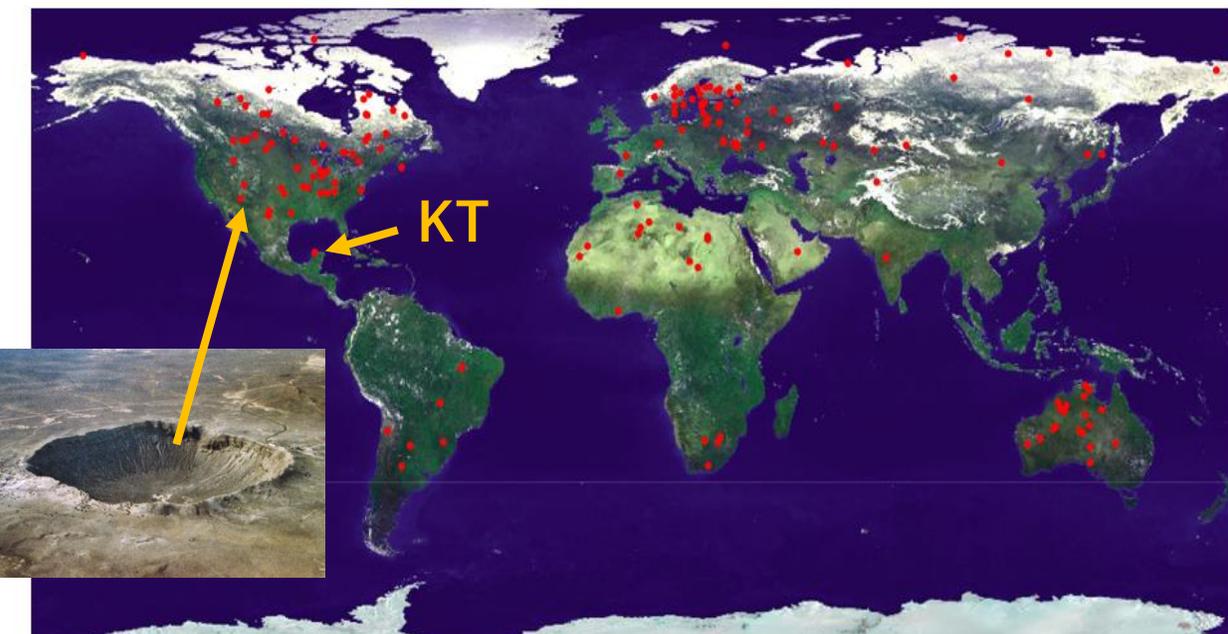
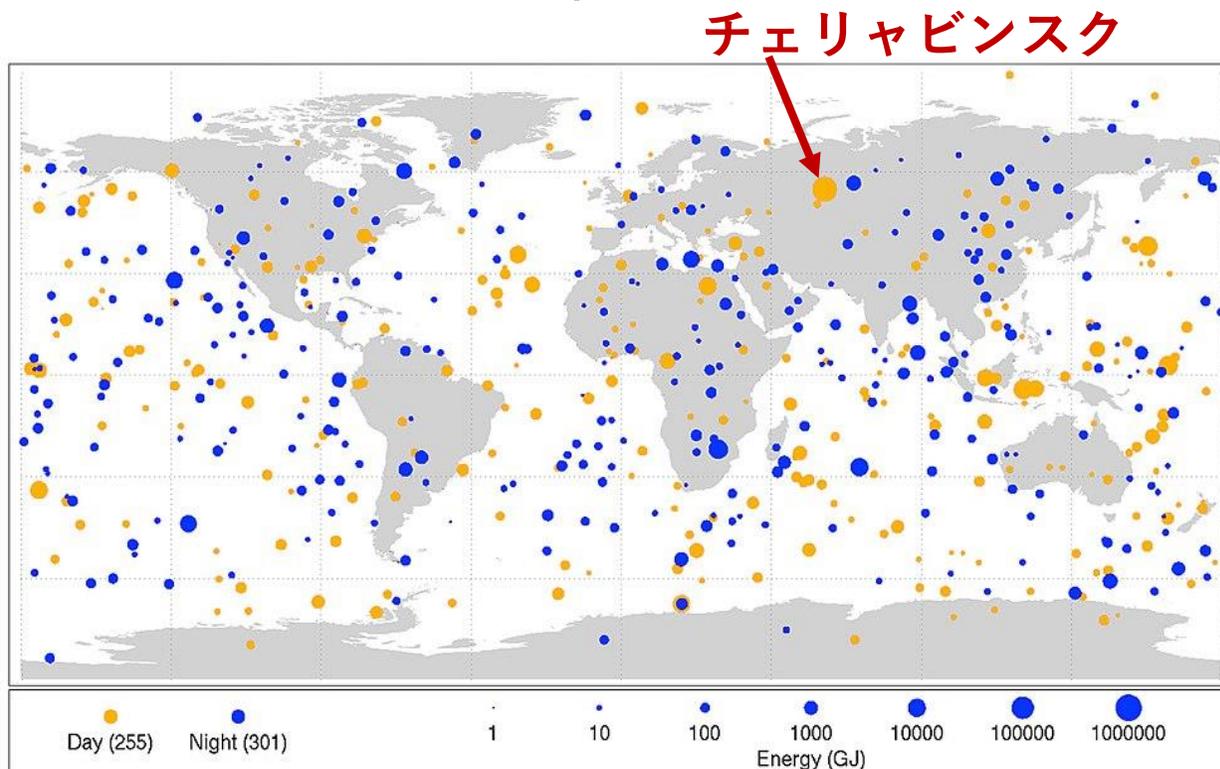


Fig. 1.3. The locations of terrestrial impact craters (Lunar and Planetary Laboratory, University of Arizona).





過去の小惑星による地球衝突イベント

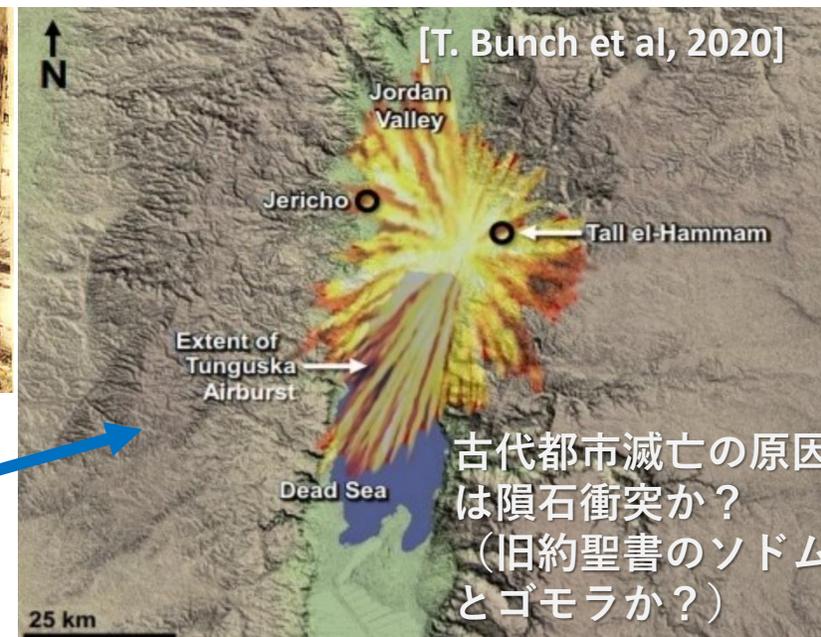


■ K-T 隕石衝突 (6600万年前)

- ◆ 10~20km級
- ◆ 大量絶滅、地球規模の大災害
- ◆ 数1000万年に1回

■ ツングースカ大爆発 (AD1908)

- ◆ ~50m級 (C-type?), 5~10 MT,
- ◆ 2000 km² のタイガの森林が爆風で倒壊
 - 巨大都市消滅・亡国の危機
- ◆ 数100-1000年に1回、
- ◆ 3600年前の都市消滅の原因も爆風?



■ チェリャビンスク隕石 (AD2013)

- ◆ ~10m級 (C-type?), 0.5 MT (x30 Hiroshima)
- ◆ Airburstによる爆風
- ◆ 爆風で1491人ケガ、7200件以上の建物損傷
- ◆ 数10年に1回、





過去の小惑星による地球衝突イベント



■ K-T 隕石衝突 (6600万年前)

- ◆ 10~20km級
- ◆ 大量絶滅、地球規模の大災害
- ◆ 数1000万年に1回

■ ツングースカ大爆発 (AD1908)

- ◆ ~50m級 (C-type?), 5~10 MT,
- ◆ 2000 km² のタイガの森林が爆風で倒壊
 - 巨大都市消滅・亡国の危機
- ◆ 数100-1000年に1回、
- ◆ 3600年前の都市消滅の原因も爆風?

■ チェリャビンスク隕石 (AD2013)

- ◆ ~10m級 (C-type?), 0.5 MT (x30 Hiroshima)
- ◆ Airburstによる爆風
- ◆ 爆風で1491人ケガ、7200件以上の建物損傷
- ◆ 数10年に1回、

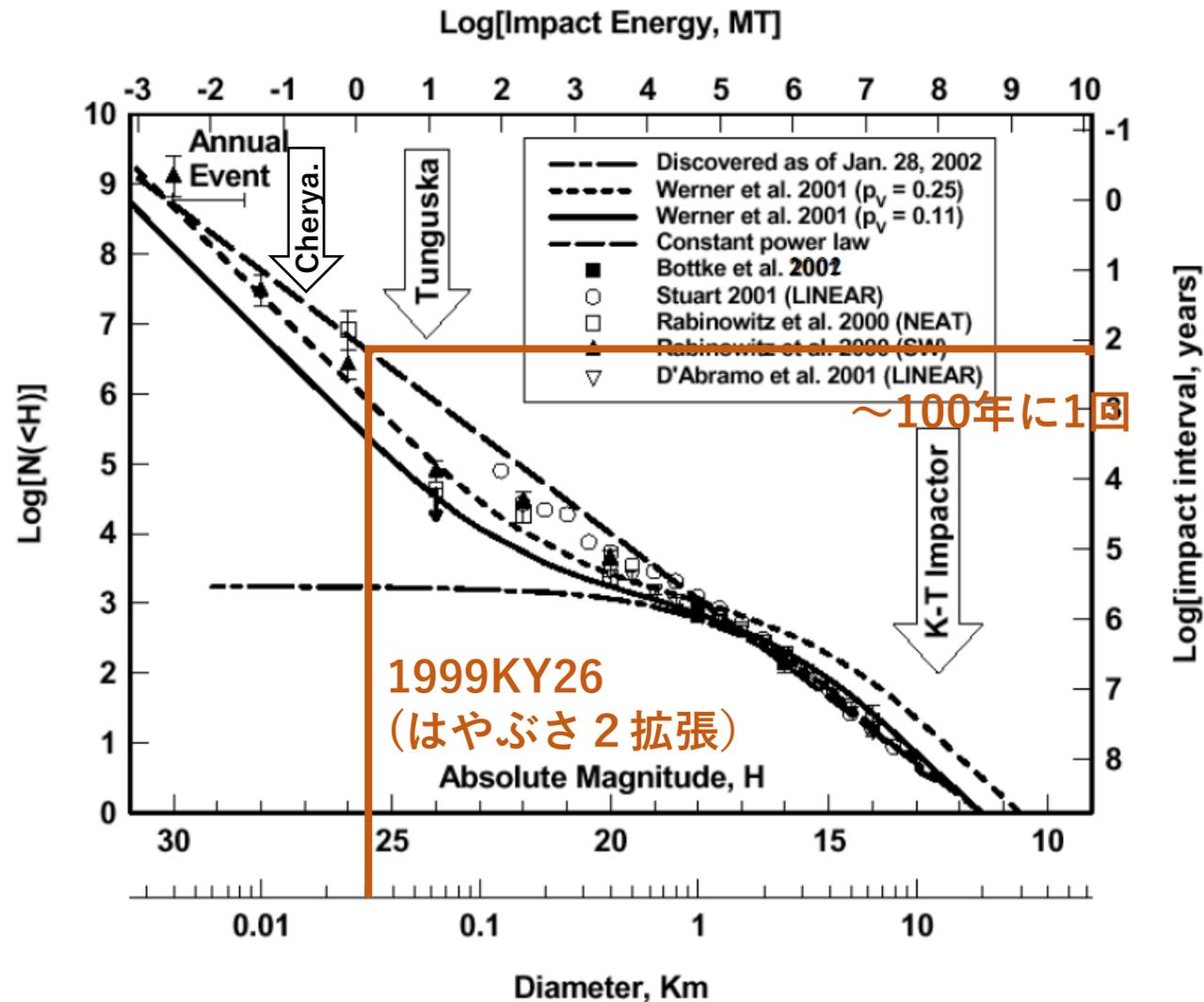


Fig. 1.1. Cumulative population of near-Earth asteroids versus absolute magnitude with equivalent scales for diameter, impact energy and expected impact interval. The straight line is a simple power law "worst case" approximation to the data (Morrison et al, 2002).



AIDA – プラネタリ・ディフェンスミッション



■ ESA-NASA共同のAIDA計画：小惑星軌道修正の実証が主目的

- ◆ NASA DART = 小惑星への探査機衝突実証 + 小惑星の軌道修正の検知(地上観測)
- ◆ ESA Hera = 探査機による事後の現地調査による軌道修正の検証





Hera – プラネタリ・ディフェンスミッション



■Hera～AIDAのESA貢献:

- ◆2019年11月にESA閣僚級会議にて正式採択。
- ◆ESAのPDO(Planetary Defense Office)主催の初のミッション
- ◆JAXAにも協力要請
 - 熱赤外カメラの提供と観測運用
 - 小惑星サイエンス (衝突科学、物性科学、小天体地形・地質学、ダイナミクス)





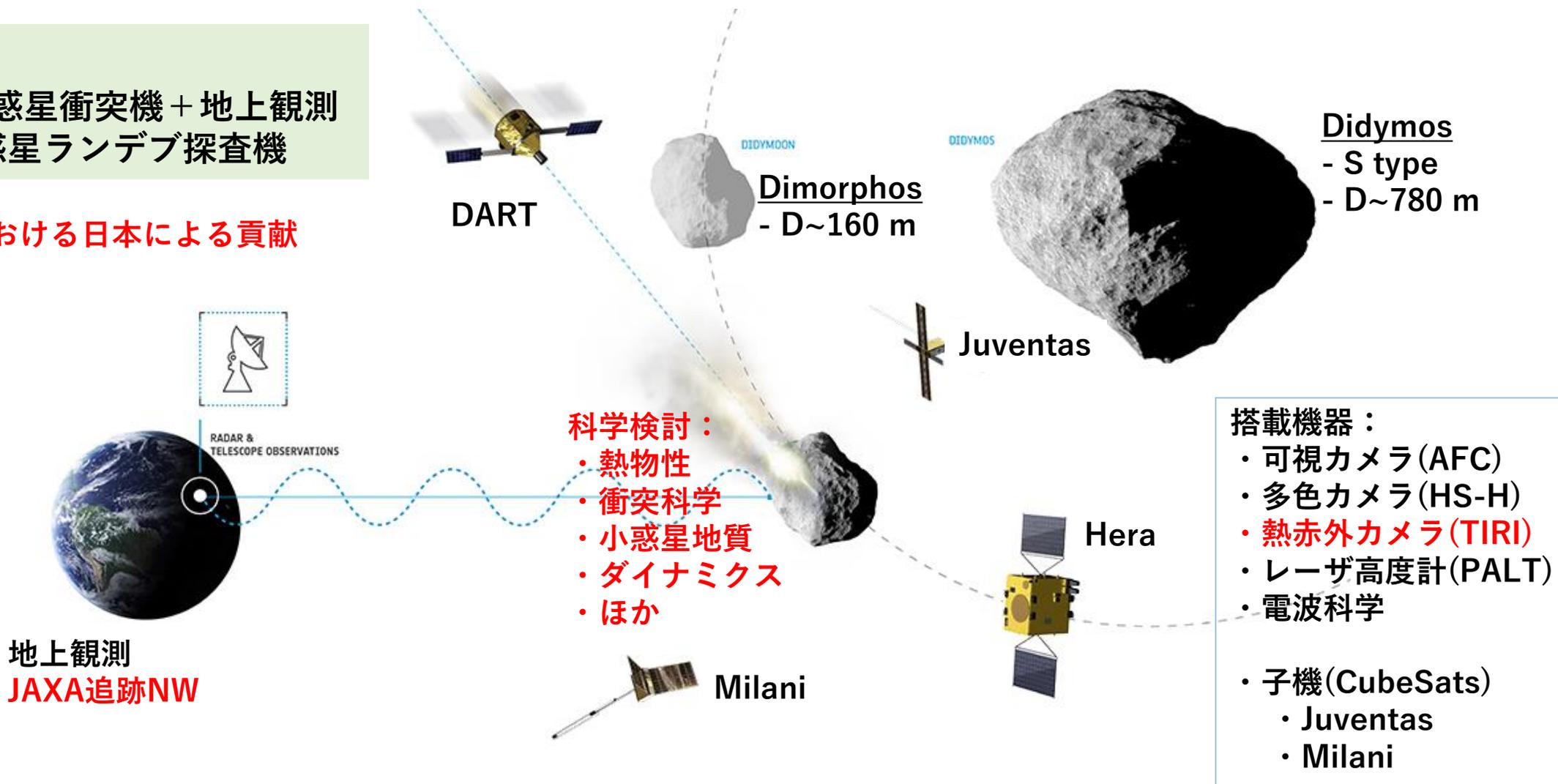
史上初の国際共同プラネタリディフェンス計画AIDAへの参画 (Asteroid Impact and Deflection Assessment)



AIDA:

- DART: 小惑星衝突機 + 地上観測
- Hera: 小惑星ランデブ探査機

赤字: Heraにおける日本による貢献

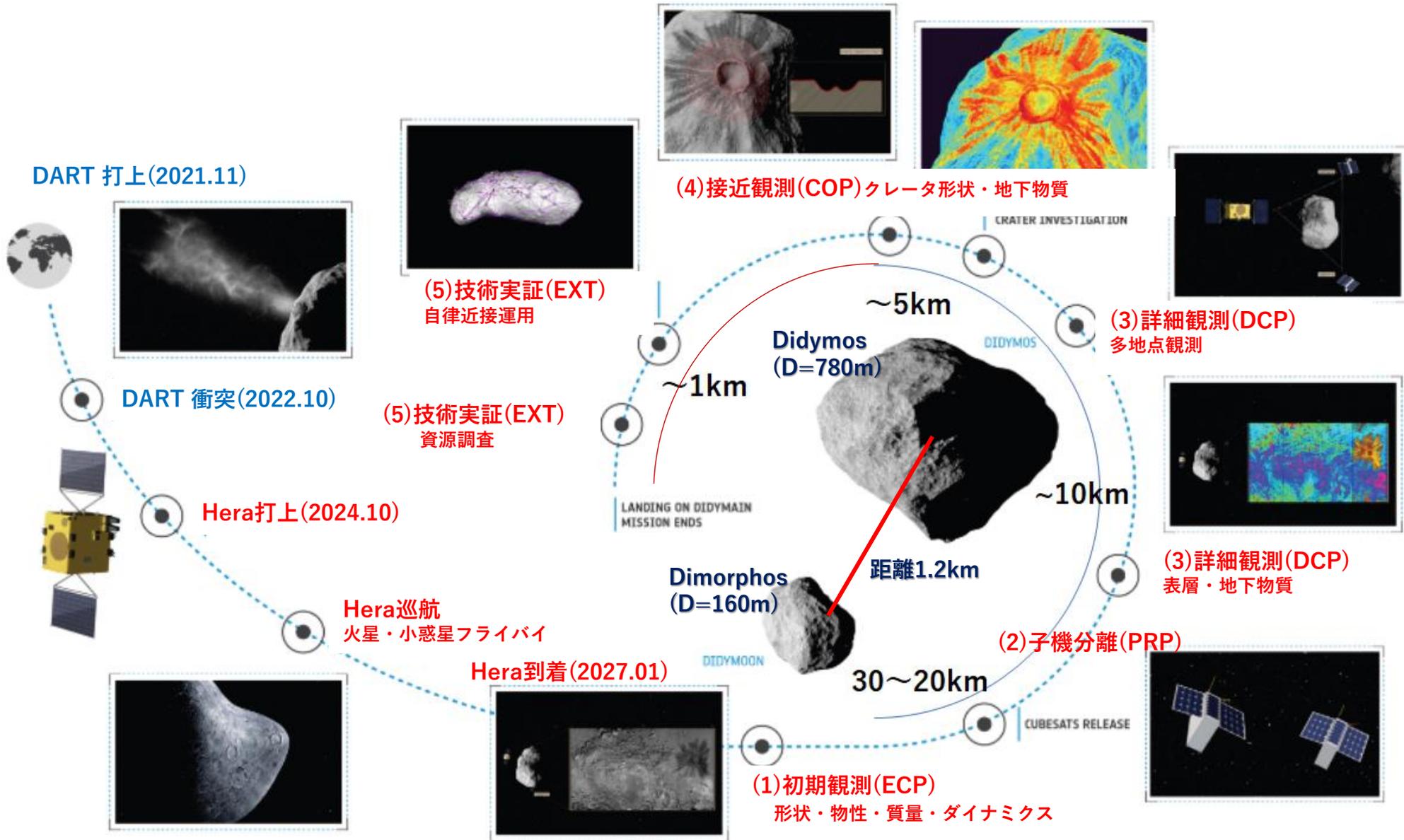


- 科学検討:
- 熱物性
 - 衝突科学
 - 小惑星地質
 - ダイナミクス
 - ほか

- 搭載機器:
- 可視カメラ(AFC)
 - 多色カメラ(HS-H)
 - 熱赤外カメラ(TIRI)
 - レーザ高度計(PALT)
 - 電波科学
- 子機(CubeSats)
- Juventas
 - Milani



Hera (+ DART) ミッション概要

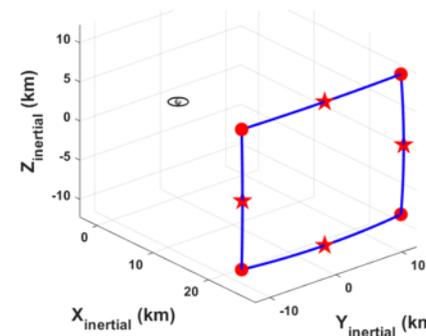




Hera – 小惑星近傍フェーズ

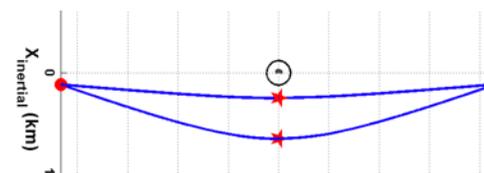
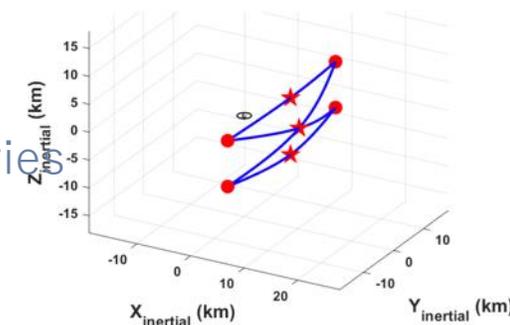


Phase	Duration	Approximate distance range	Objectives & Constraints	GNC aspects
ECP	6 weeks	20 - 30 km	Initial physical and dynamical characterization. Didymos and Dimorphos in FOV of camera.	Commissioning.
PDP	4 weeks	As ECP	CubeSats released and commissioned.	As ECP (no science requirements).
DCP	4 weeks	8 - 20 km	Accurate characterisation of Dimorphos mass and density, and medium-resolution imaging. Different latitudes and longitudes at different local times and different viewing angles. Didymos fits in FOV of camera.	Didymos LOS navigation. Semi-autonomous or autonomous attitude guidance.
COP	6 weeks	4 - 22 km	Dimorphos high-resolution imaging and full characterization of DART's impact crater. Different latitudes and longitudes at different local times and different viewing angles.	Didymos and/or Dimorphos LOS navigation. PALT operational. Didymos feature tracking (TBC). Autonomous attitude guidance.
EXP	6 weeks	1 - TBD km	Very high-resolution images of DART impact crater. Different local times and viewing angles.	Didymos and/or Dimorphos LOS navigation. PALT + feature tracking. Autonomous attitude guidance. Trajectory guidance.
Total	26 weeks			

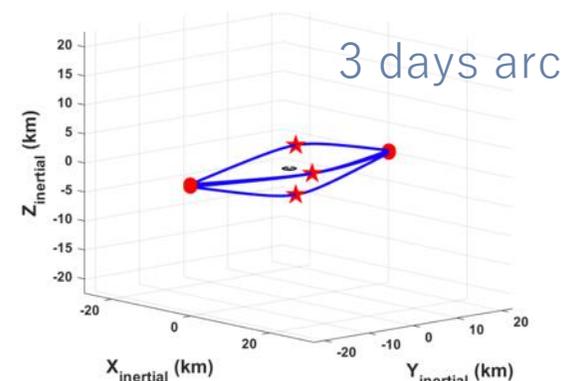
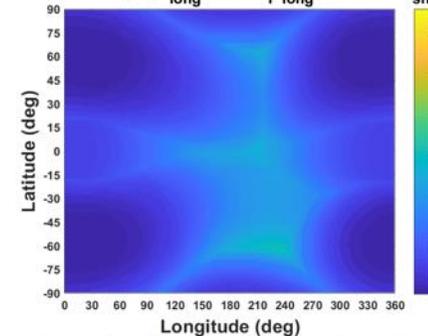


3-4-3-4 day trajectories
ECP

3-4-3-4 day trajectories
DCP



moon coverage ($C_{long}=0.4$; $R_{P long}=5.9$ km; $C_{short}=0.6$)



3 days arc



Hera Mission Payloads(All in +Z directions)



小型モニタカメラ

SMC: Small Monitoring Camera
Opportunity payload, mounted canted on payload deck to monitor CubeSat deployment.
FOV: $\pm 48.3^\circ$

レーザ高度計

PALT: Planetary ALTimeter
Ranging lidar to determine distance to asteroid

JUVENTAS CUBESAT

- Low-frequency radar
- Gravimeter
- Radioscience

MILANI CUBESAT

- Multispectral imager
- Retroreflectors
- Dust analyzer
- Radioscience

連続分光カメラ

Hyperscout
5x5 Multispectral snapshot imager (VNIR), FOV: $15.5^\circ \times 8.3^\circ$

熱赤外カメラ

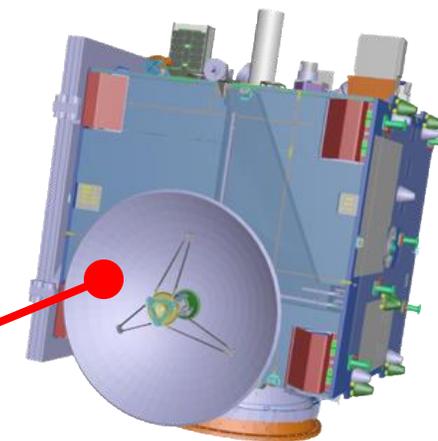
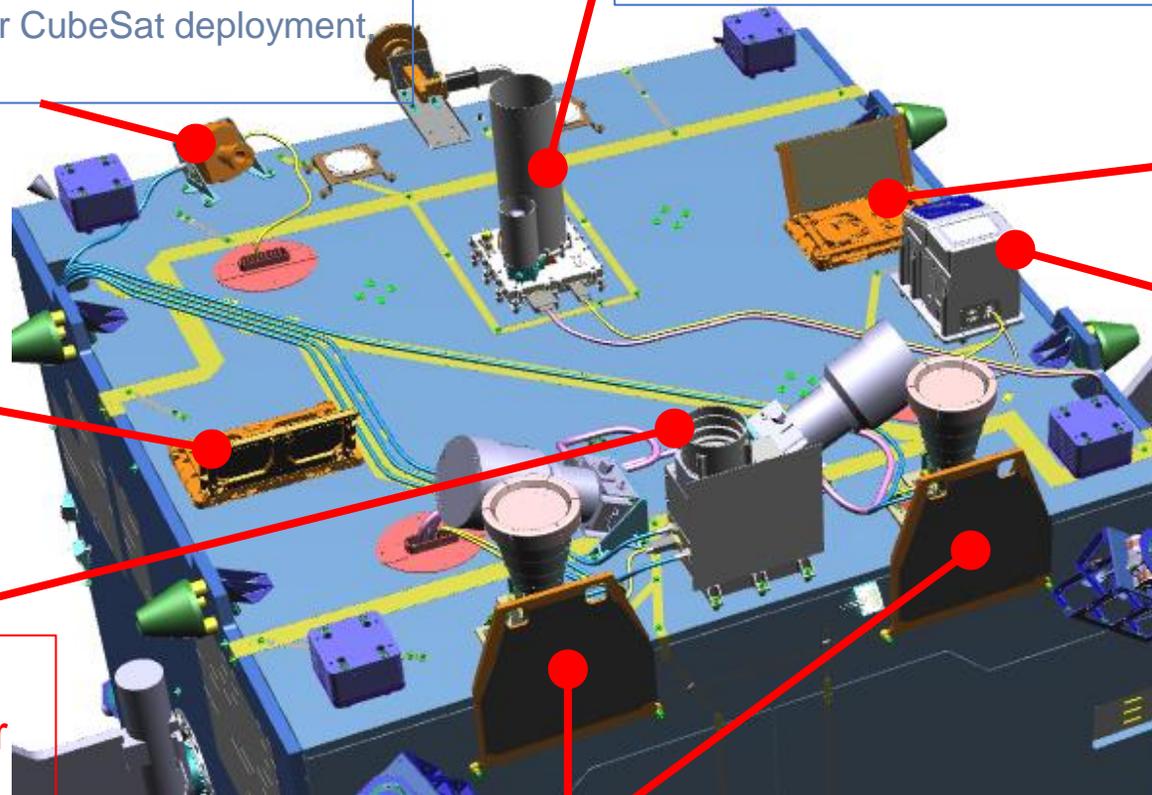
TIRI: Thermal InfraRed Imager
Thermal imager (8-14 μm), with filter wheel,
FOV: $13.3^\circ \times 10.0^\circ$

光学カメラ (x2)

AFC: Asteroid Framing Camera(s)
Redundant visible cameras used for both GNC and science purposes, FOV: $5.5^\circ \times 5.5^\circ$

電波科学

RADIO SCIENCE (X-DST)





Hera目的



■プラネタリ・ディフェンス:

- ◆2019年11月にESA閣僚級会議にて正式採択。
- ◆ESAのPDO(Planetary Defense Office)主催の初のミッション。
- ◆ESA-NASA共同のAIDA計画：で小惑星軌道修正の実証が主目的
 - NASA DART = 小惑星への探査機衝突実証 + 小惑星の軌道修正の検知(地上観測)
 - ESA Hera = 探査機による事後の現地調査による軌道修正の検証

■惑星科学(Bonus):

- ◆初のS型小惑星(Didymos)の物性探査：C型小惑星Ryuguとの比較
- ◆観測史上最小の天体探査(Dimorphos、~160m級)：Didymosとの比較
- ◆初の二重小惑星探査：ダイナミクス
- ◆衝突科学
- ◆物質と宇宙風化

はや2拡張ミッションでは
30m級の超小惑星1998KY26
を探査予定

■新規技術(主にESAが実施):

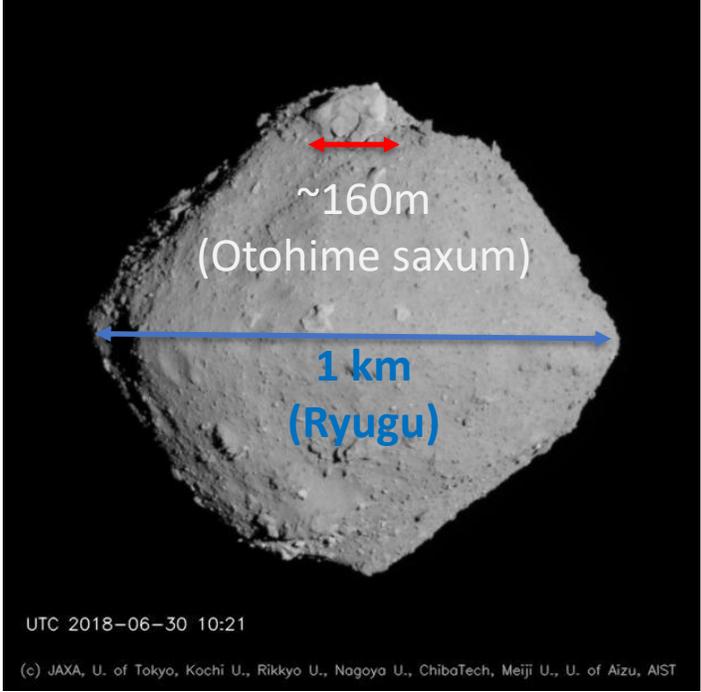
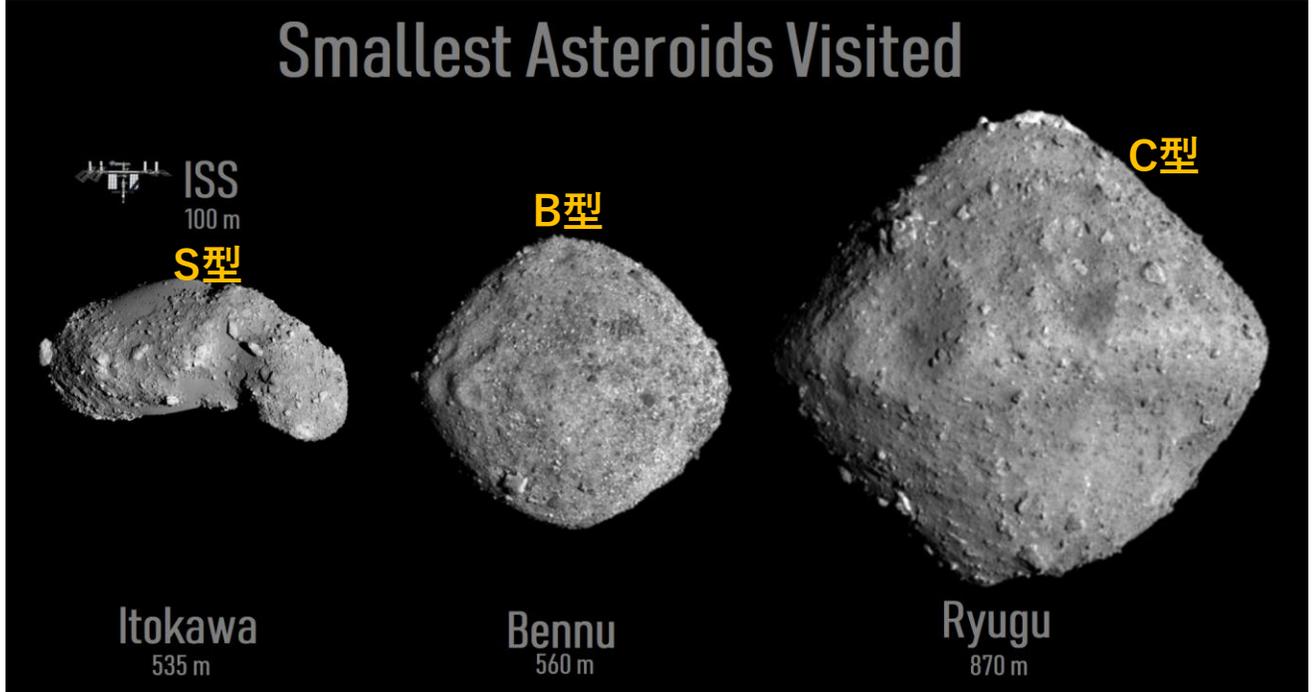
- ◆CubeSatsによる観測(小型 & 自律 & 通信リンク)
- ◆光学(&赤外)画像航法(自律)



Hera – 小惑星の素性



◆ 物性的特徴の小惑星のサイズ依存性 / スペクトル型依存性

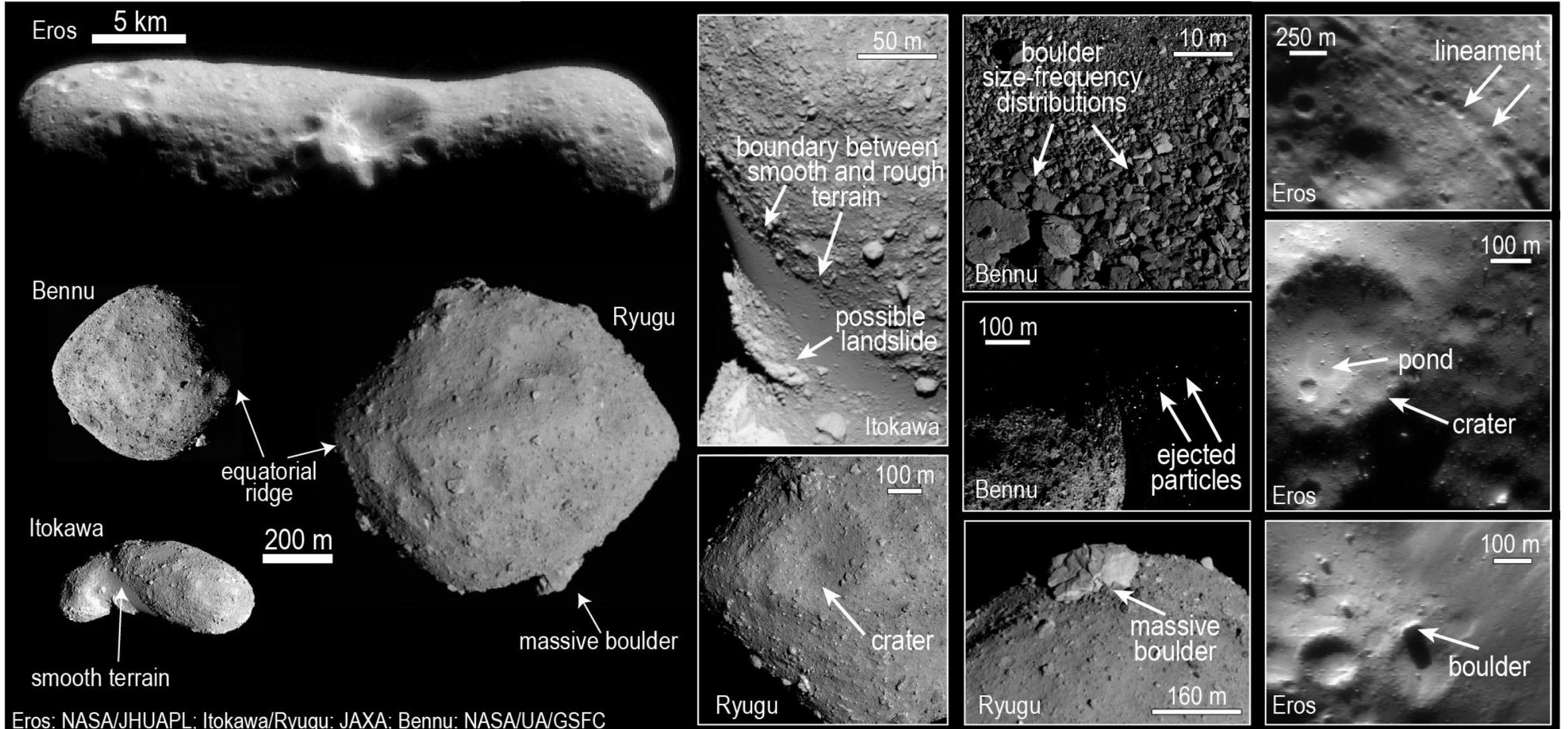




Hera – 微小重力下の地質学



◆ 地質・物性・組成の多様性



Eros: NASA/JHUAPL; Itokawa/Ryugu: JAXA; Bennu: NASA/UA/GSFC

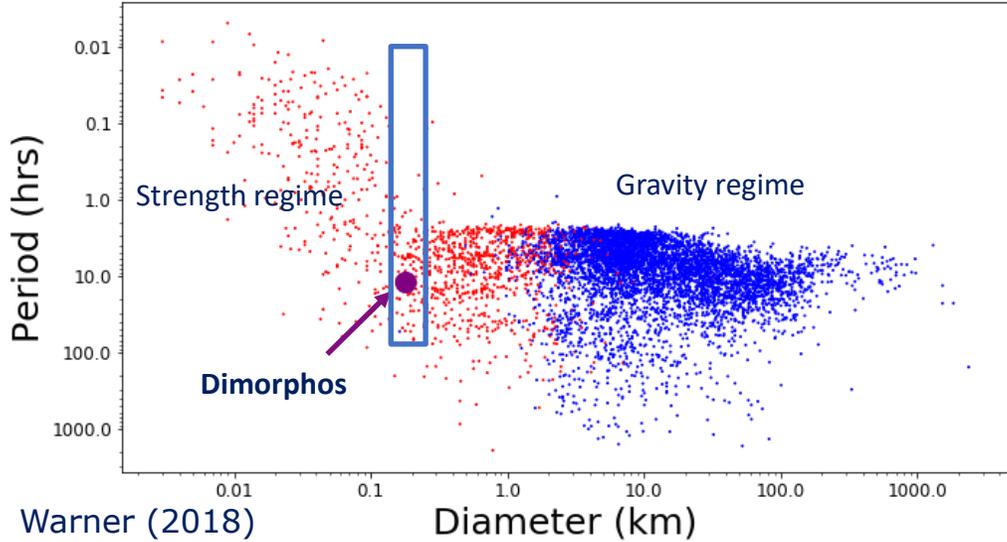


Hera – 衝突現象

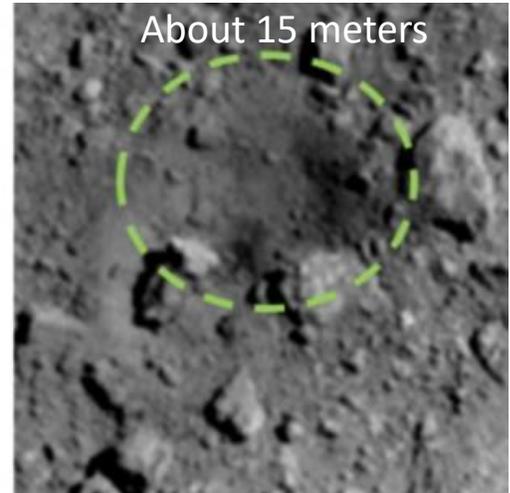
◆ DART : 500kg, 6km/s



◆ HY2/SCI : 2kg, 2km/s



[Arakawa et al. 2020, Science]

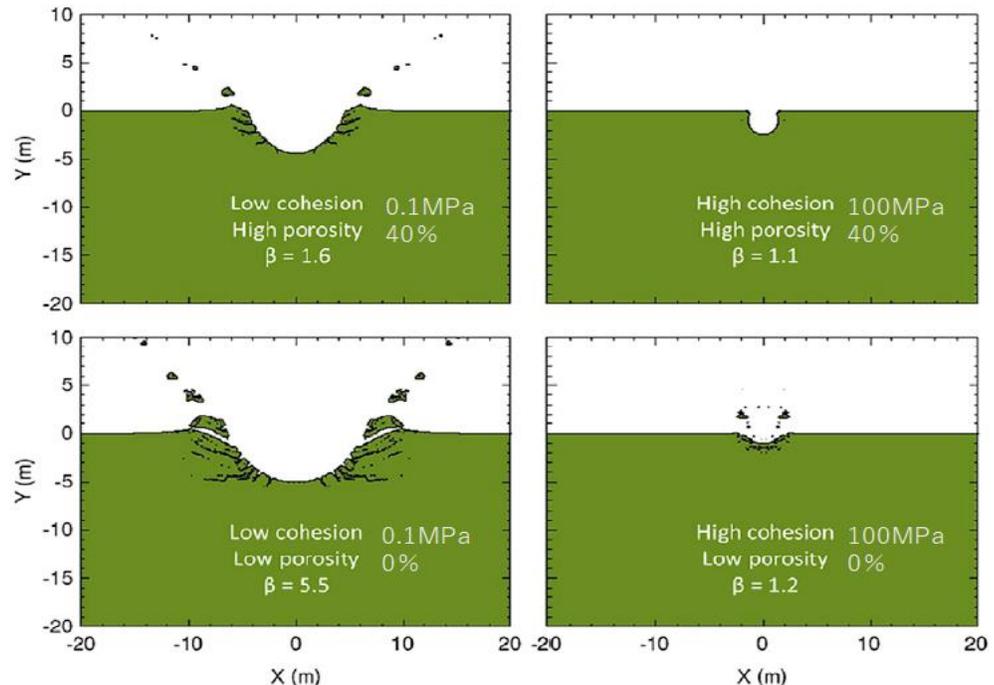
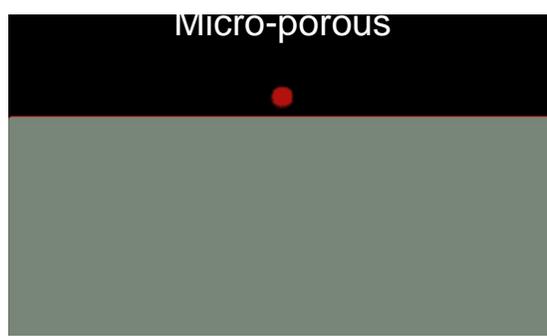
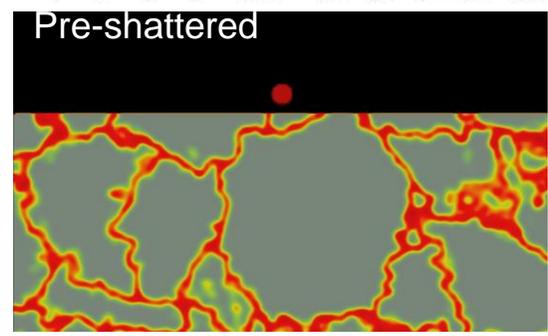
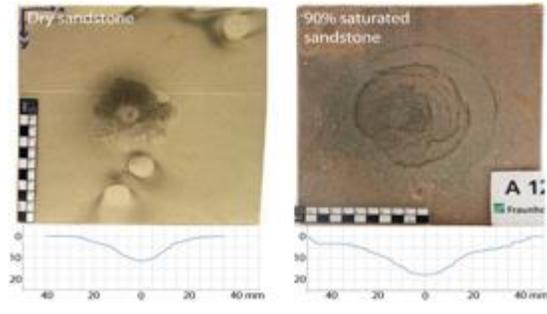
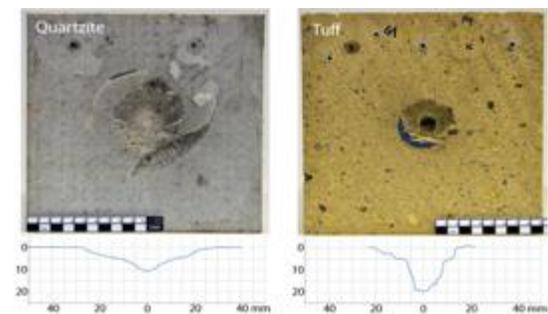
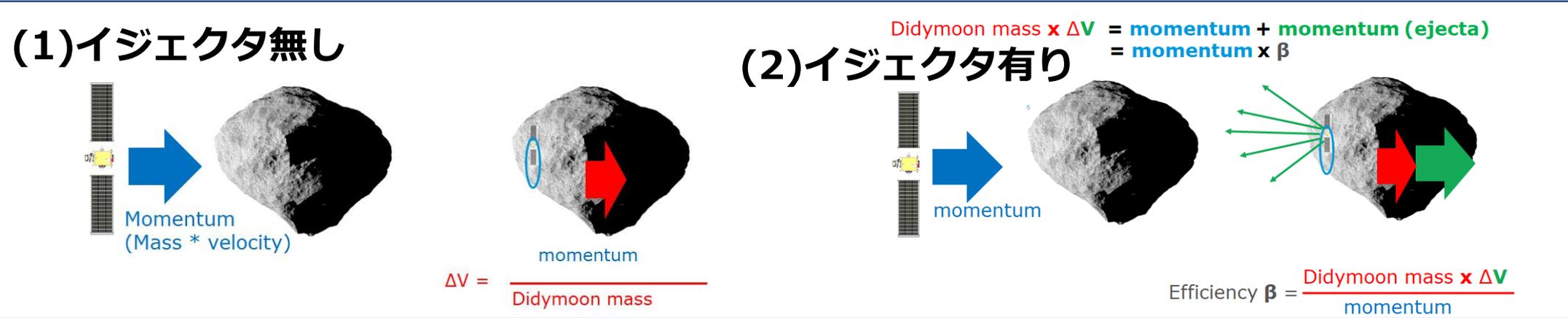




Hera – 衝突とダイナミクス



◆ 変成状態、クレータ形状、イジェクタの飛散の物性依存性





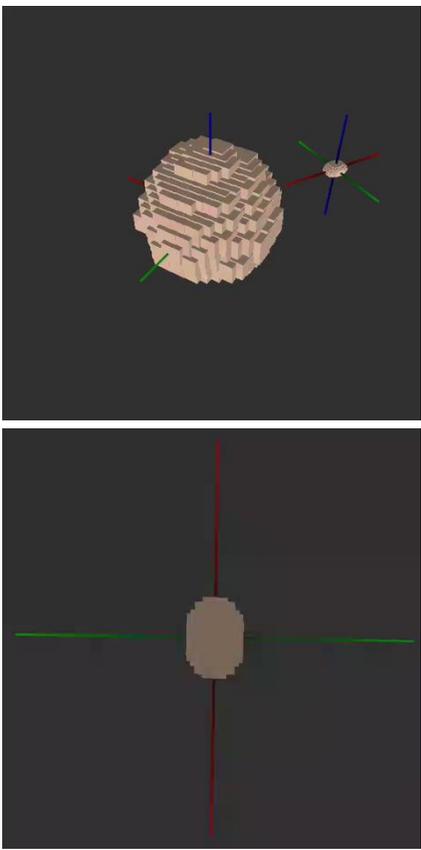
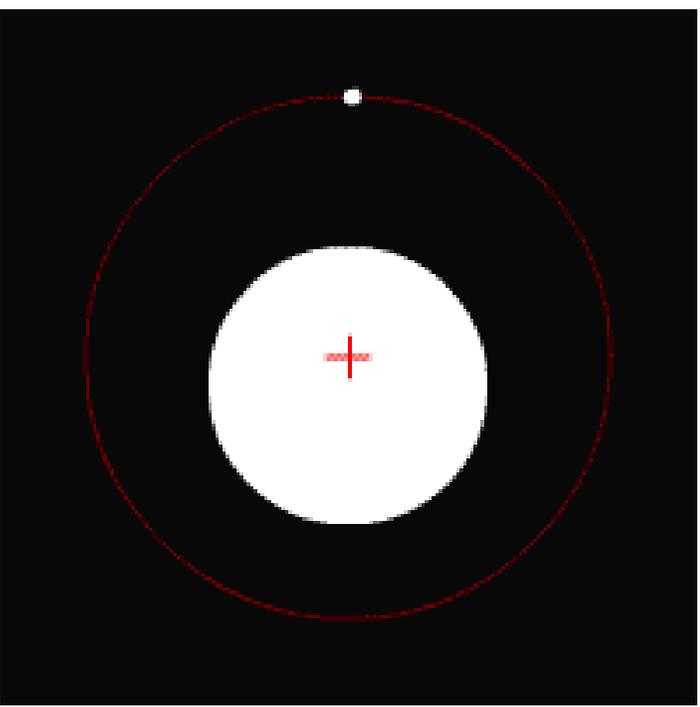
Hera – ダイナミクス、イジェクタ飛散



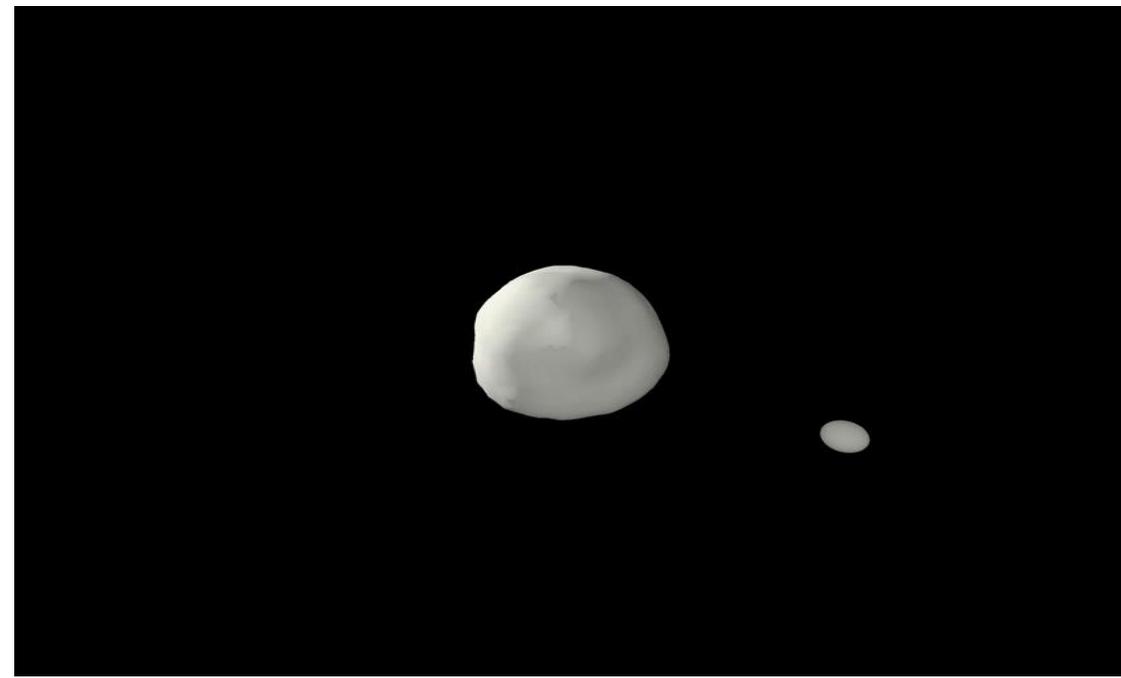
◆ 軌道の変化

- ・ 質量分布 / 内部構造 (岩盤? ラブルパイル?)、平均密度 (= 正確な形状モデル)
- ・ 非重力効果 (熱モデル) : Yarkovsky / YORP, B-YORP

◆ 公転周期、自転軸の変化



◆ イジェクタの飛散と堆積





熱赤外撮像の目的



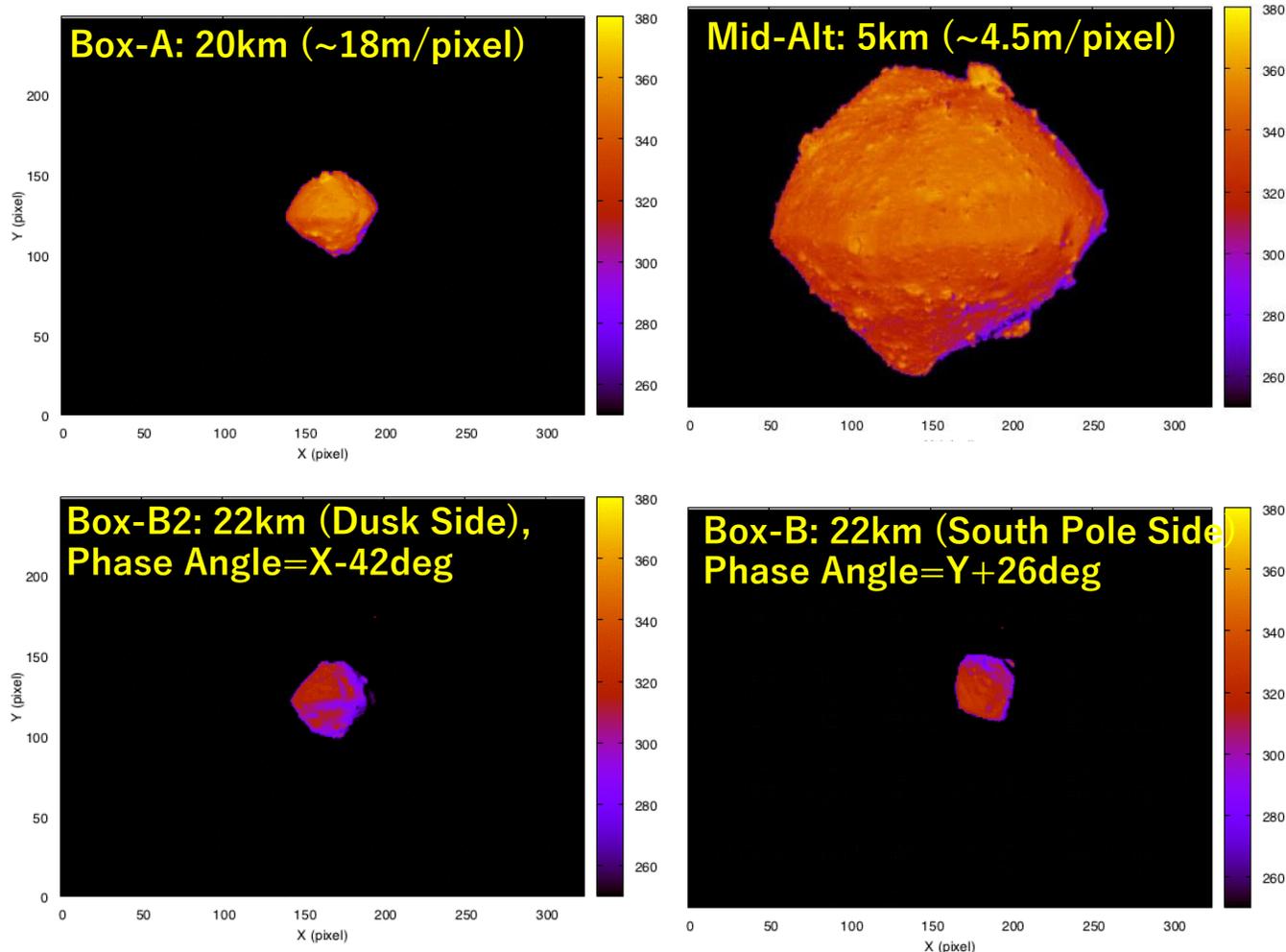
Hayabusa2 TIR の熱撮像 (1 自転)

■ プラネタリ・ディフェンスの目的:

- DART標的小惑星の空隙率や強度
- 連星系のダイナミクスと衝突による異常な状態
- DART衝突クレータの形状・寸法と物質
- DART衝突イジェクタのDidymosへの体積状態
- 熱赤外画像を用いた光学自律航法への貢献

■ 惑星科学の目的:

- S型小惑星の熱物性の調査
- 100m級小惑星の熱物性の調査と二重小惑星の形成過程の解明
- 連星系のダイナミクスと熱的影響 (BYORP)
- DART 衝突実験の痕跡と影響、スケーリング則
- 宇宙風化の表層粒径の影響





熱赤外カメラ: Hayabusa2 → Hera

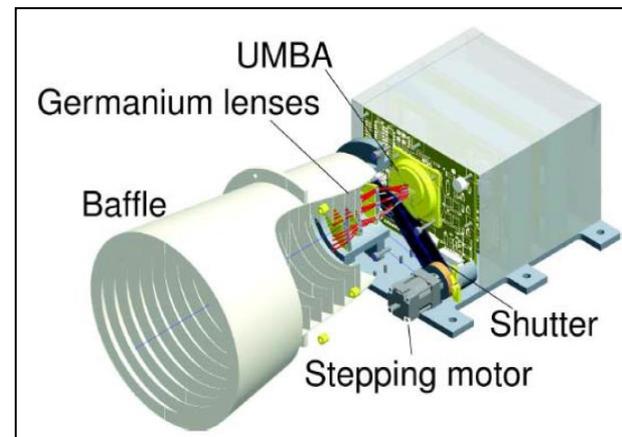


◆ 感度・解像度の向上、多波長分光の追加

■ 熱撮像

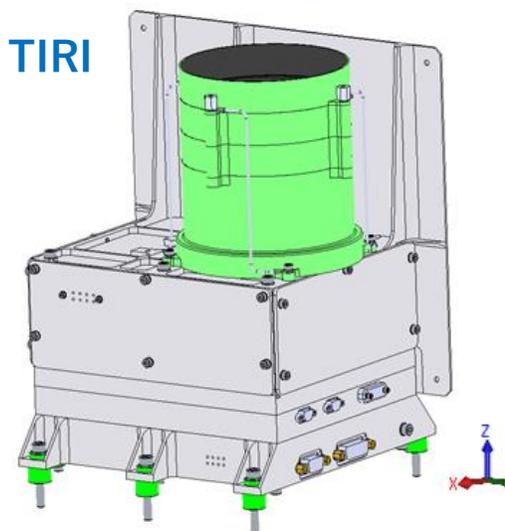
- 始原天体の表層物理状態(空隙率など)は天体衝突時の強度や衝撃伝搬・破壊現象に影響する重要項目
 - 惑星形成過程 (惑星科学)
 - 小惑星軌道修正 (プラネタリ・ディフェンス)
- 「はやぶさ2」 TIRによる観測
 - C型小惑星リュウグウの表層が低熱慣性(おそらく高空隙)な岩塊で覆われることを発見
[Okada+2020, Nature; Shimaki+2020, Icarus]
- 「Hera」熱赤外カメラTIRIが開発中
 - 熱撮像 → 熱物性情報 (+赤外画像航法)
 - 多色分光撮像 (6バンド) → 組成情報
- 熱赤外撮像は将来の惑星探査に有用な手段である。

Hayabusa2 TIR



Detector	NEC-320A
Wavelength	8-12 [μm]
Pixels	328x248
FOV	16 x 12 [deg]
IFOV	0.05 [deg]
Temperature	150-400 [K]
NETD(@300K)	~0.3K
ADC	14 [bit]

Hera TIRI



Detector	Lynred PICO1024
Wavelength	7-14 [μm], with 6 narrow bands
Pixels	1024x768
FOV	13.3x10.0 [deg]
IFOV	0.013 [deg]
Temperature	150-400 [K]
NETD(@300K)	<0.1 K
ADC	14 [bit]



小惑星の熱撮像



Hayabusa2 TIR

23 June 2019, at Box-A: 20.2 km (~17.8 m/pixel):
Solar distance: 1.14 au, SPE angle (~phase angle) = 35.5°

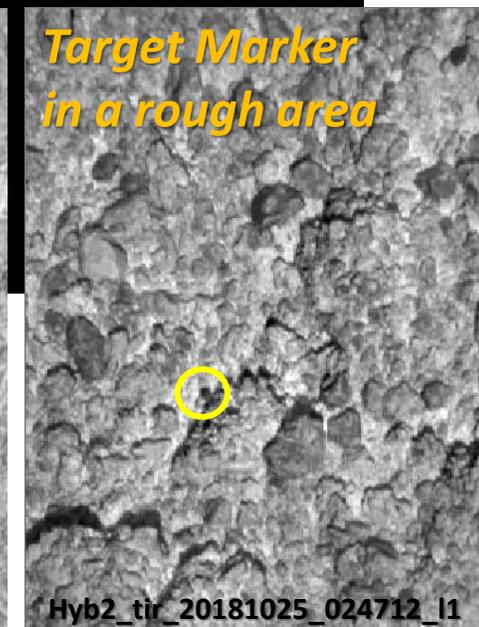
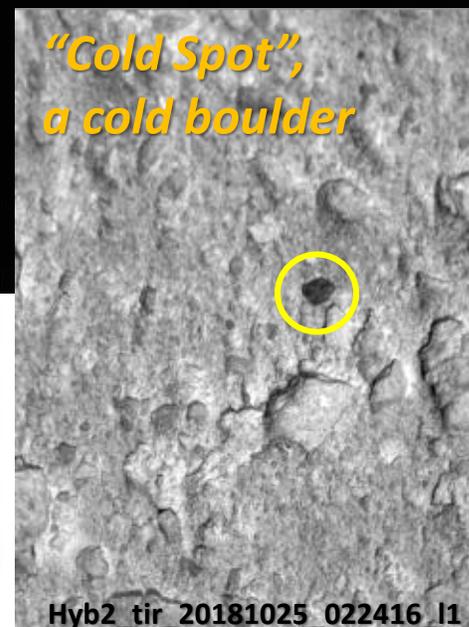
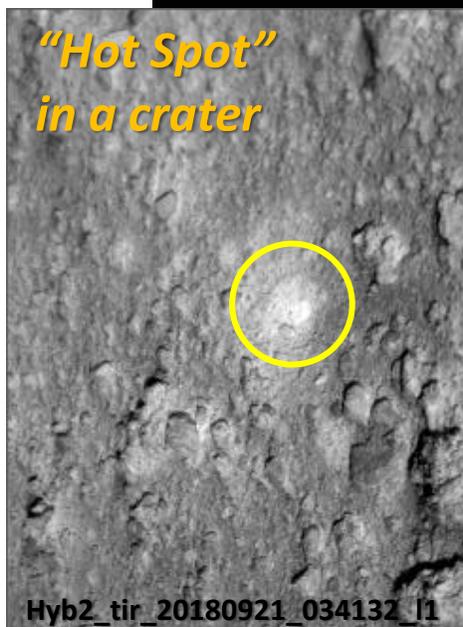


■ 全球熱撮像

- ◆ 温度日変化：着陸地点の選定
- ◆ 熱慣性マップ：低熱慣性の岩塊で覆われ、高空隙な物質であることを示唆
[Okada+, Nature 2020]
- ◆ 夜側の撮像: 完全な形状モデル作成

■ 局所熱撮像

- ◆ 個別の岩片と岩塊の熱物性
- ◆ 低温・高温のスポット発見
[Okada+, Nature 2020;
Sakatani+, Nature Astron. 2021]
- ◆ 表層の特徴的な地形の検知、
例：10cm大のターゲットマーカ





熱撮像の観測原理

- ◆ TIRIは惑星探査ミッション初の熱撮像、小惑星表面の物理状態を調査
- ◆ TIRIは小惑星表面温度の日変化を調査する。温度変化幅、最低温度などから熱慣性やラフネスの推定、時刻の正確な把握・調整などを実施する
- ◆ 温度日変化は細粒の土壌や多孔質の物質（低熱慣性）では大きい傾向にあり、逆に稠密な岩石（高熱慣性）では小さく、最高温度の時刻が遅れる傾向にある。

➤ 熱慣性(TI)

- ◆ 表面物理特性(空隙率、粒径、粒子サイズ分布)
- ◆ 熱慣性 (TI, $J m^{-2} K^{-1} s^{-0.5}$):

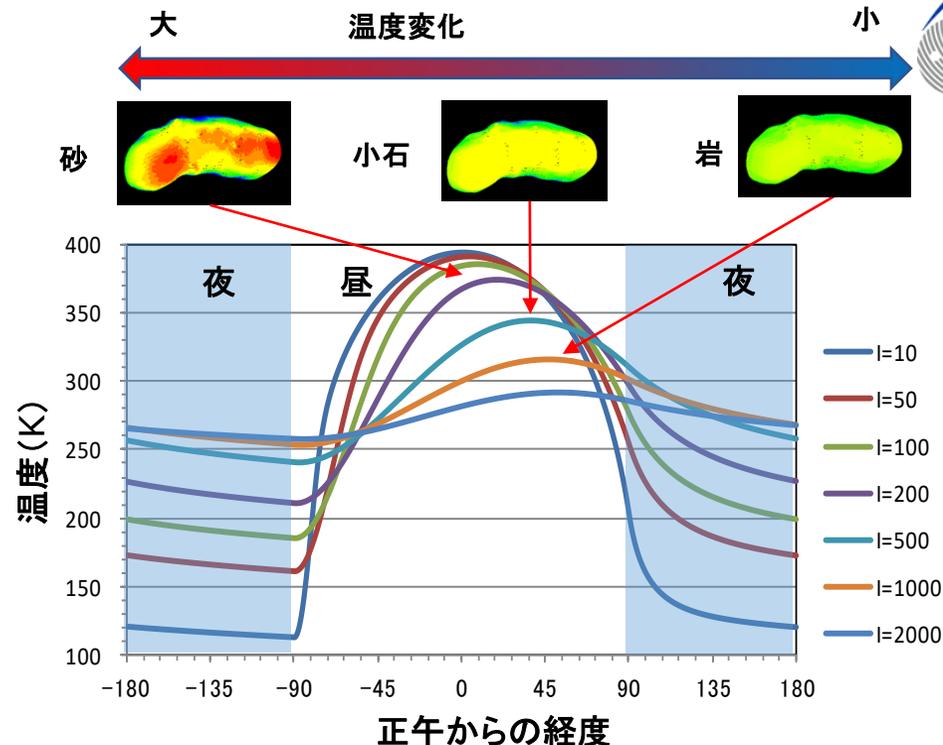
$$\Gamma = \sqrt{\kappa \rho c_p}$$

κ : 熱伝導率

ρ : 密度

c_p : 定圧比熱

[Okada+, 2014]



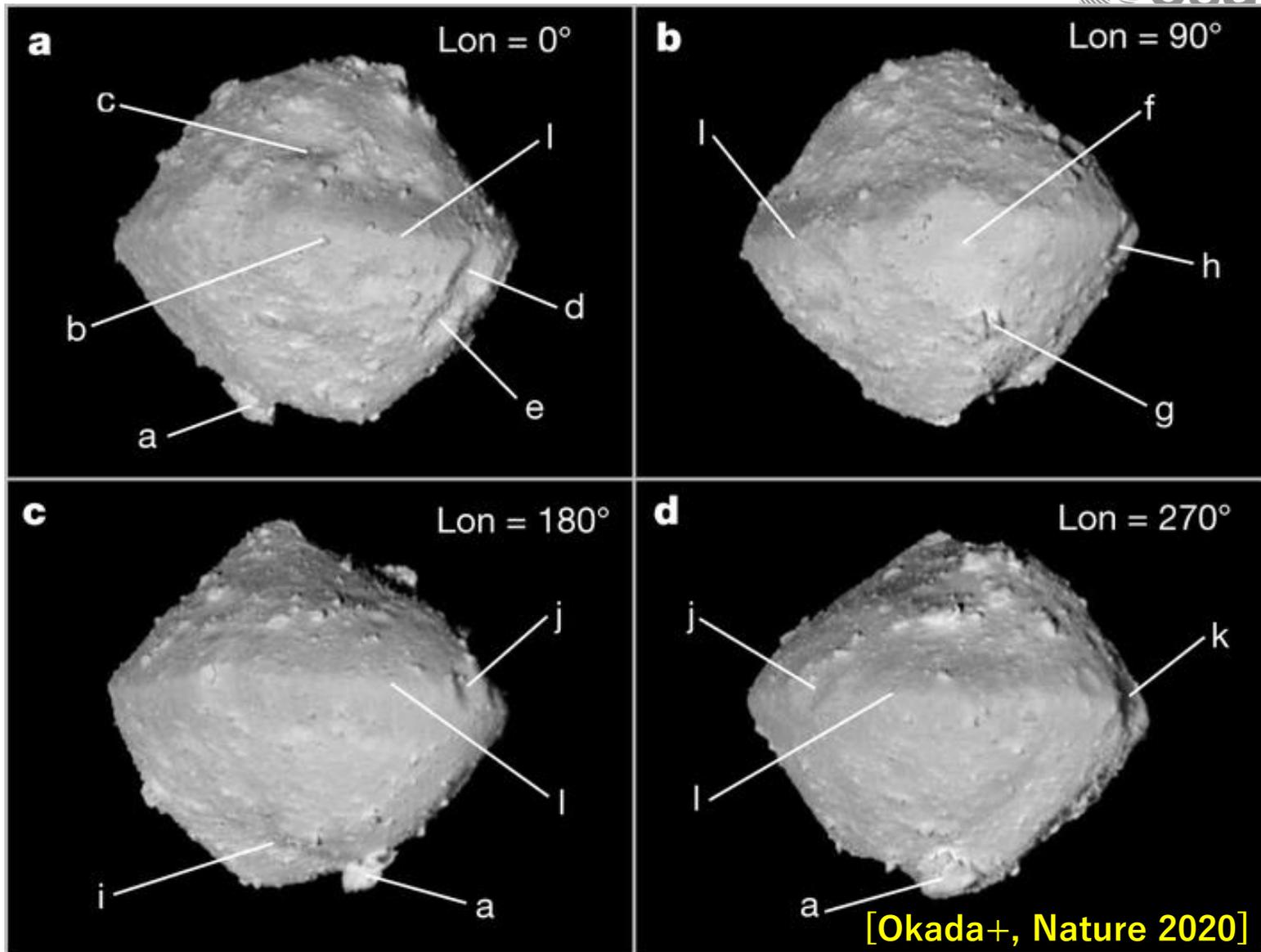
25143 Itokawa	433 Eros	The moon	1 Ceres
$\Gamma = 600$	$\Gamma = 150$	$\Gamma = 50$	$\Gamma = 10$
Coarse regolith and boulders	Finer and thicker regolith	Mature and fine regolith	Very fine regolith ??



例：TIRによる全球熱画像：形状および地形



- ◆ 全ての主要な地形や地質構造は熱画像で検知が可能
- ◆ 全球形状モデルと比較が可能 (昼夜問わず観測が可能)
- ◆ 季節変動の検知が可能 (南半球が夏期のため高温)



小惑星リュウグウのTIRによる熱画像。
 a)オトヒメ (乙姫：岩塊)，
 b)カタフォ (岩塊)，
 c)サンドリヨン[英：シンデレラ] (クレータ)，
 d)モモタロウ (桃太郎：クレータ)，
 e)キビダンゴ(黍団子：クレータ)，
 f) ウラシマ(浦島：クレータ)，
 g)エジマ (江島：岩塊)，
 h)キンタロウ (金太郎：クレータ)，
 i)トコヨ (常世：地溝帯)，
 j)ブラボ (クレータ)，
 k)コロボク (クレータ)，
 l)リュウジン (竜神：地壘) (=赤道リッジ)

[Okada+, Nature 2020]



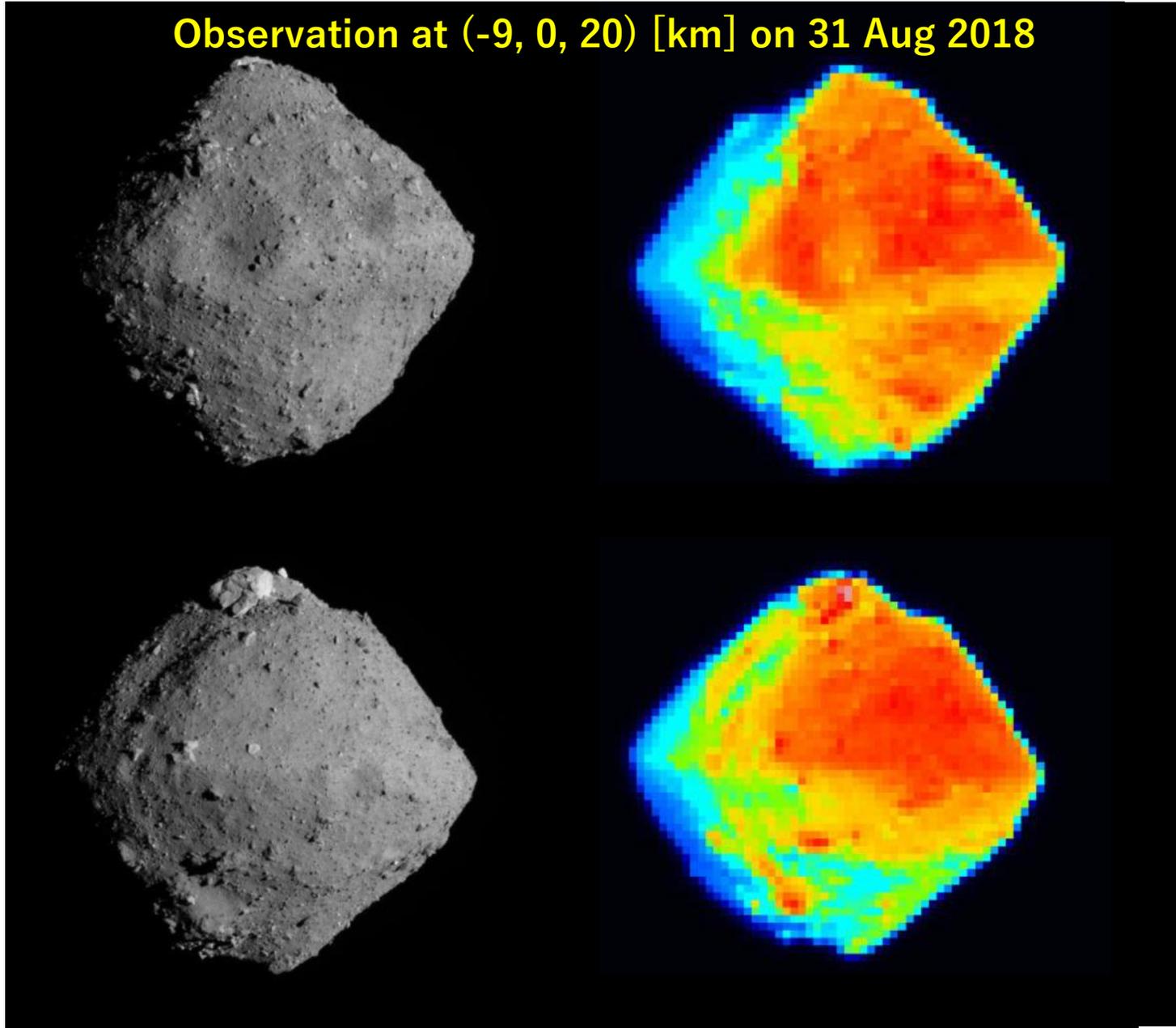
Ryugu Images at Box-B (Dusk side)



Observation at (-9, 0, 20) [km] on 31 Aug 2018

ONC(W-band)
可視画像

Credit:
JAXA, Utokyo, Kochi U,
Rikkyo U. Nagoya U.,
Chiba IT, Meiji U., U
Aizu, AIST



TIR熱画像

Credit:
JAXA, Ashikaga U.,
Rikkyo U, Chiba IT,
U Aizu, Hokkyodai,
Kitami Hokuto HS,
AIST, NIES, UTokyo,
DLR, MP-E, U Stirling



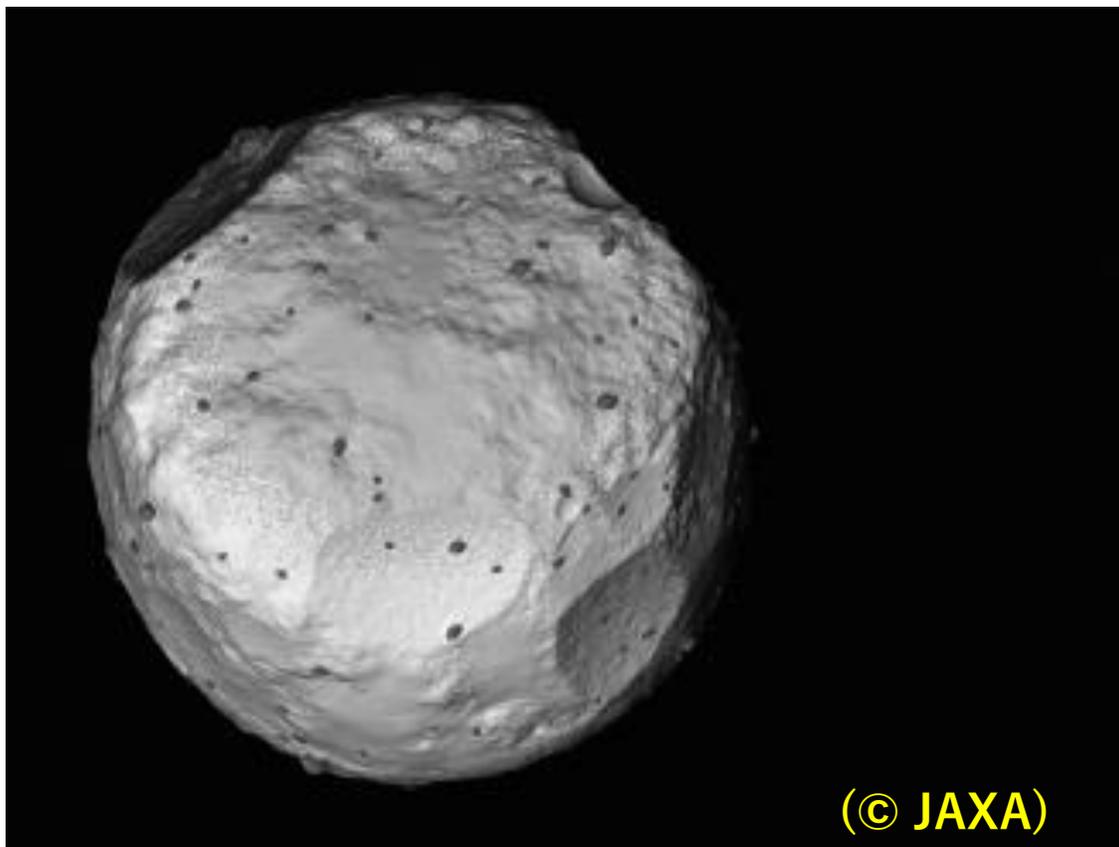
岩塊は想定外に低い熱慣性



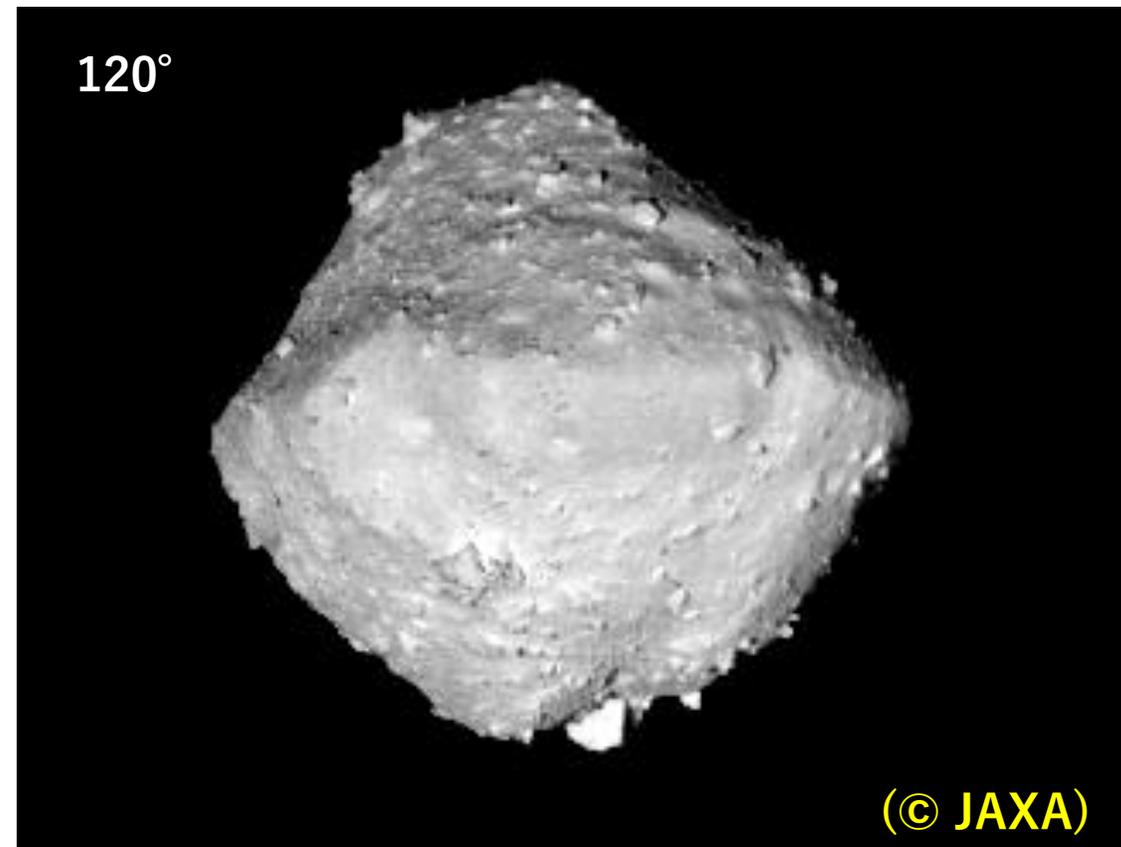
◆ 岩塊は周囲の土壌と同じ温度 → 想定外に低い熱慣性 → 高空隙率

Ryugoid (参照モデル小惑星)@Mid-Alt
(到着前の訓練画像)
TI (仮定): 岩塊: 1600tiu, レゴリス: 300tiu

Ryugu (観測値) @Mid-Alt
(観測結果: LT= 120° longitude)
TI (導出): 岩塊 & 周辺土壌: ~300tiu



(© JAXA)



(© JAXA)



熱慣性分布: 非常に凹凸が激しく 「超」 高空隙!?



◆ 温度変化が一定に近い.

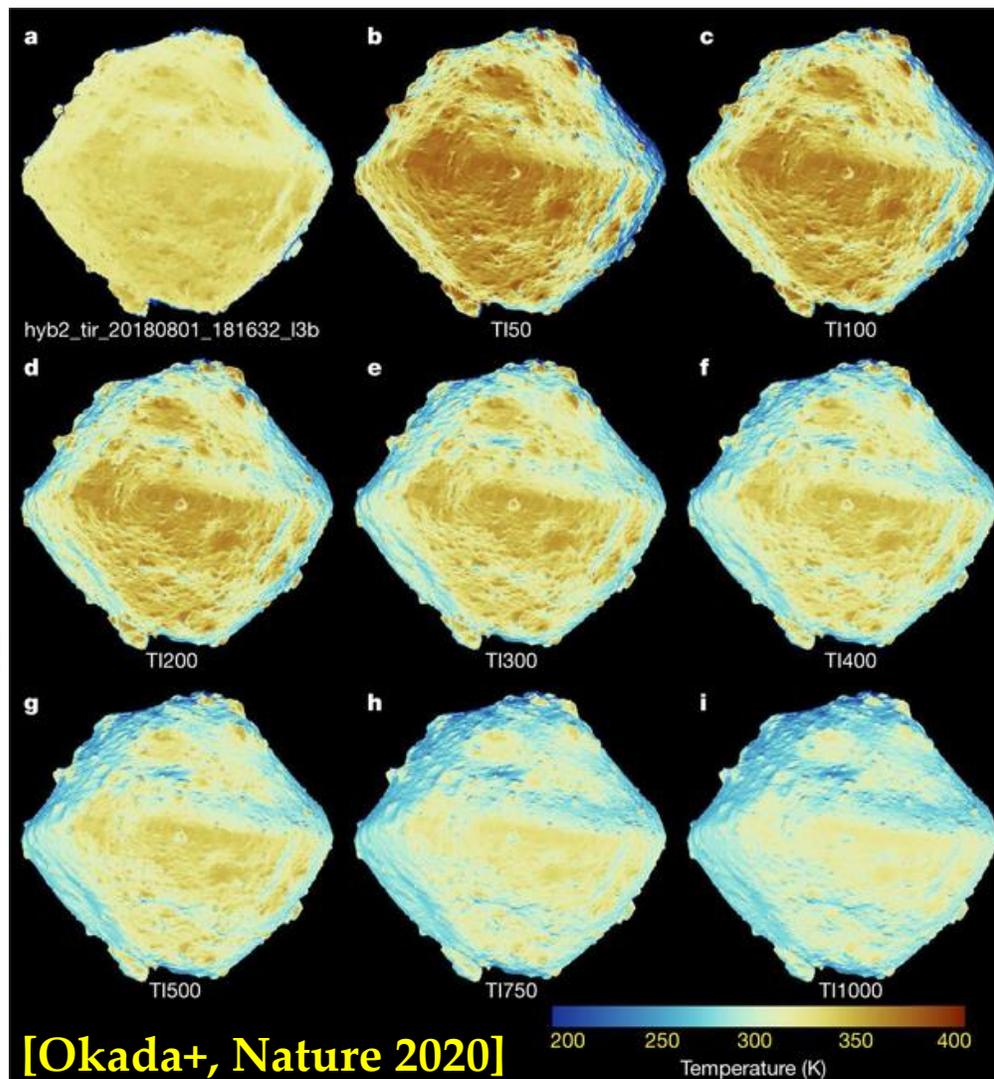
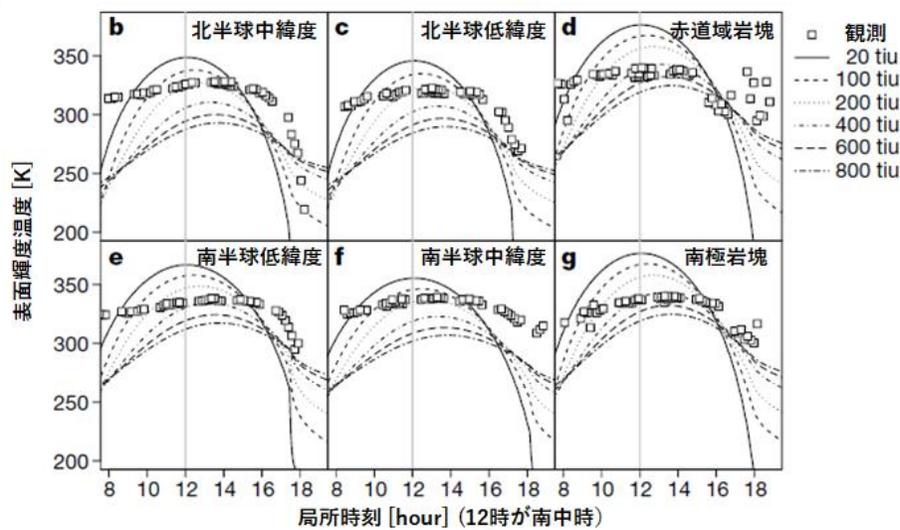
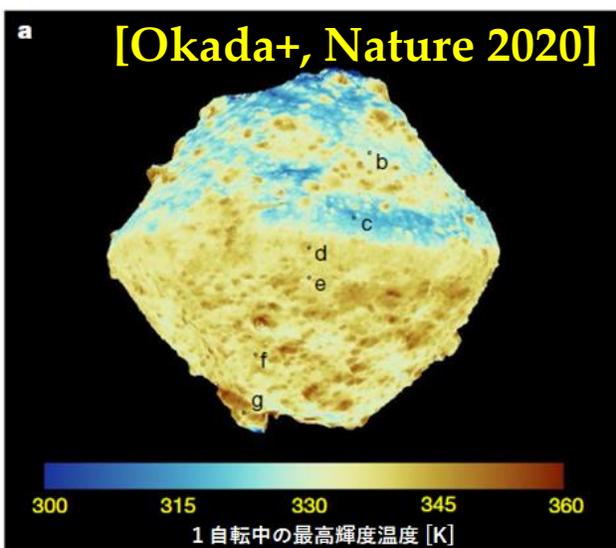
➢ 非常にラフな表面

◆ 岩塊と周辺がほぼ同じ温度

➢ 岩塊も周辺も高空隙な物質: $TI = 300 \pm 100$ tiu, (Cf. 通常の炭素質隕石: $TI = 600-1000$ tiu)

➢ MASCOT/MARAの岩塊観測: $TI = 282^{+93}_{-35}$ tiu [Grott+, 2019]

➢ 地上観測: $TI = 150-300$ tiu, [Mueller+, 2017]



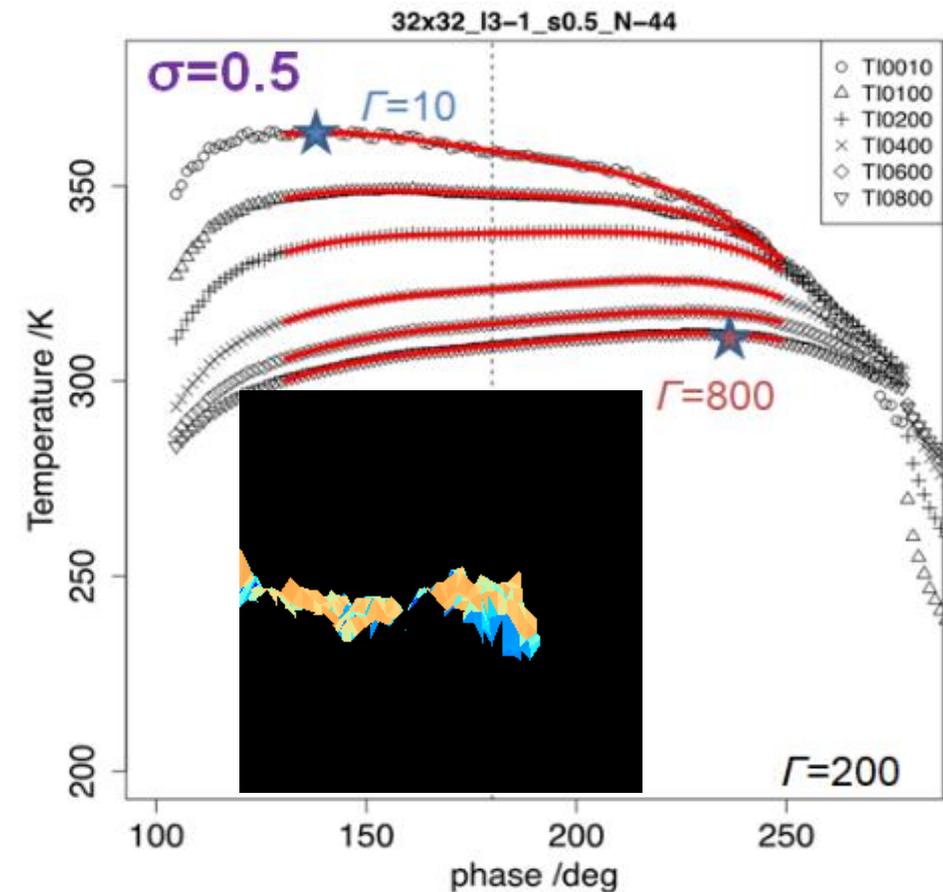
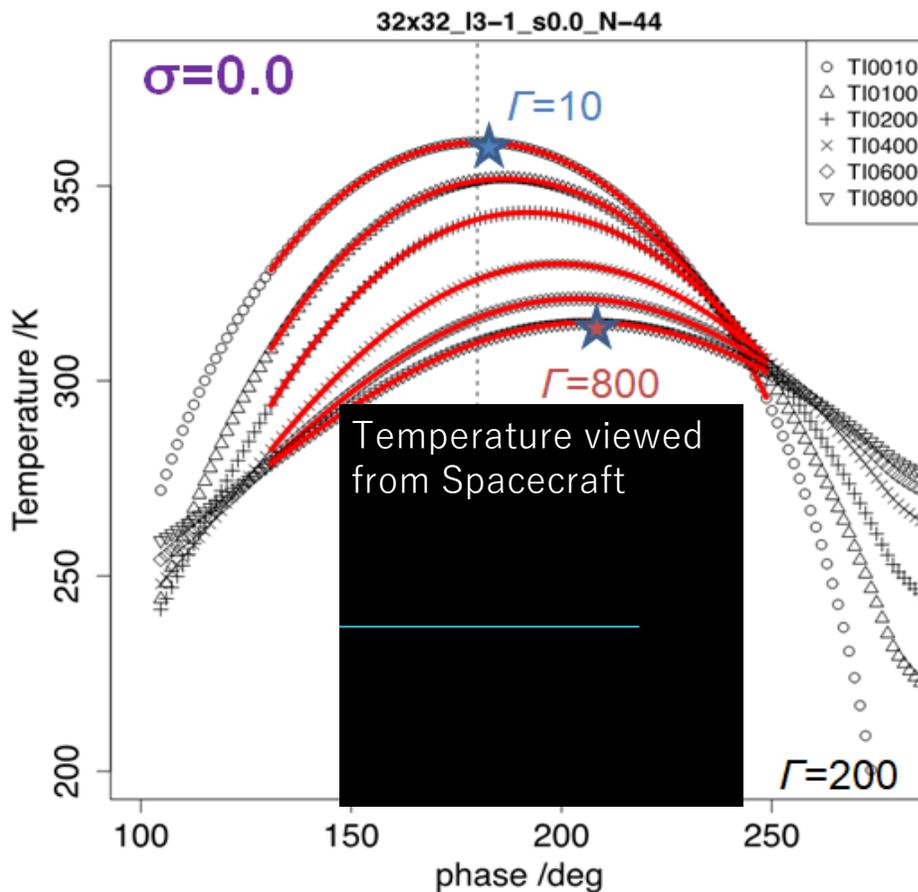
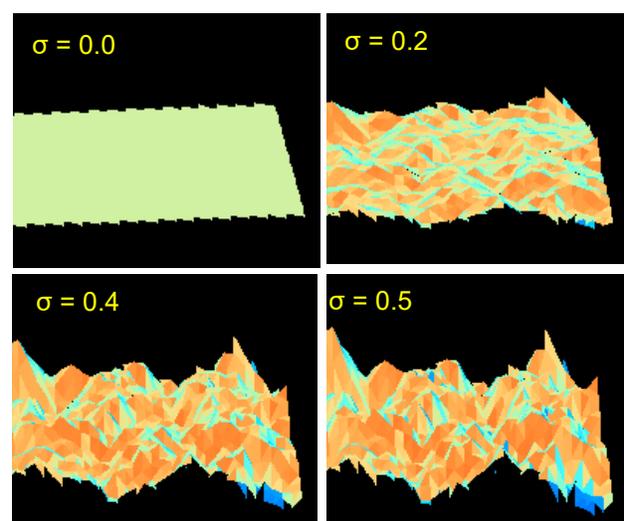


ラフネスを考慮した表層熱物理モデル



熱慣性とラフネスを考慮した場合の温度変動 → 温度プロファイルを導出!!

[Senshu+, in prep]



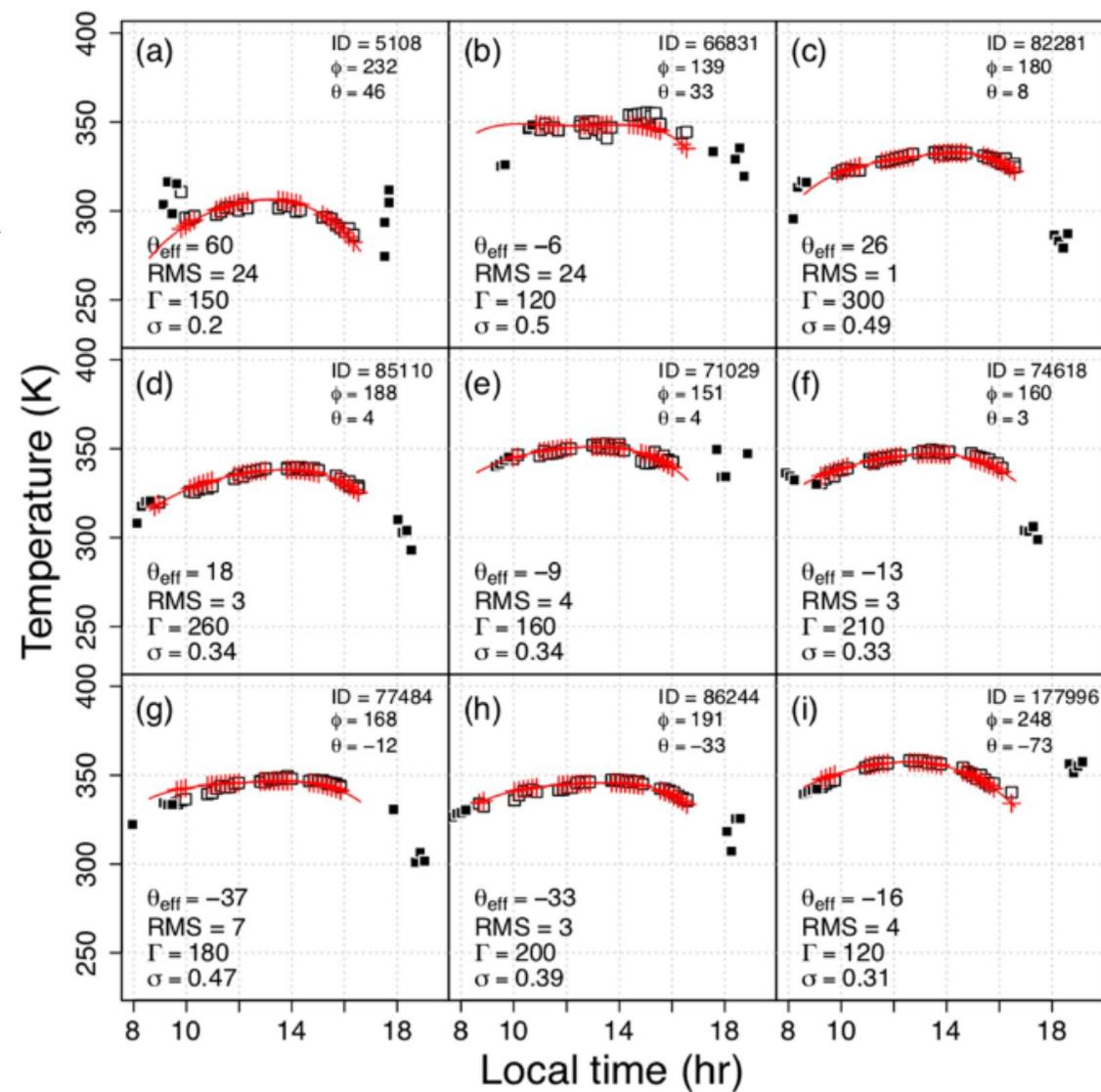
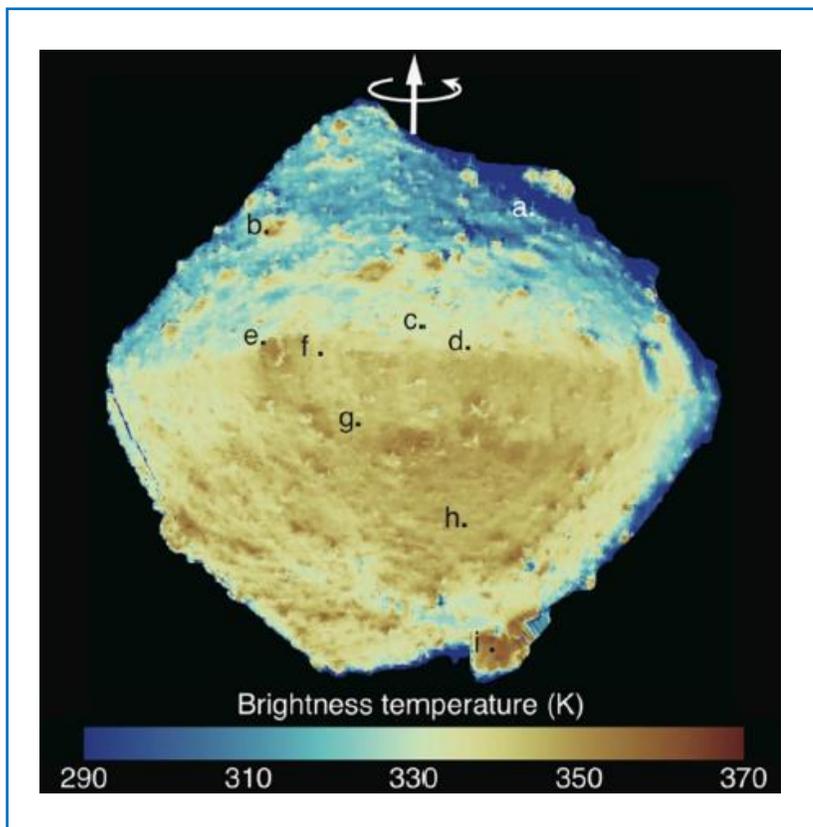


ラフネス考慮した熱モデル計算



Shimaki+ Icarus (2020)

■ 各ノード毎の計算

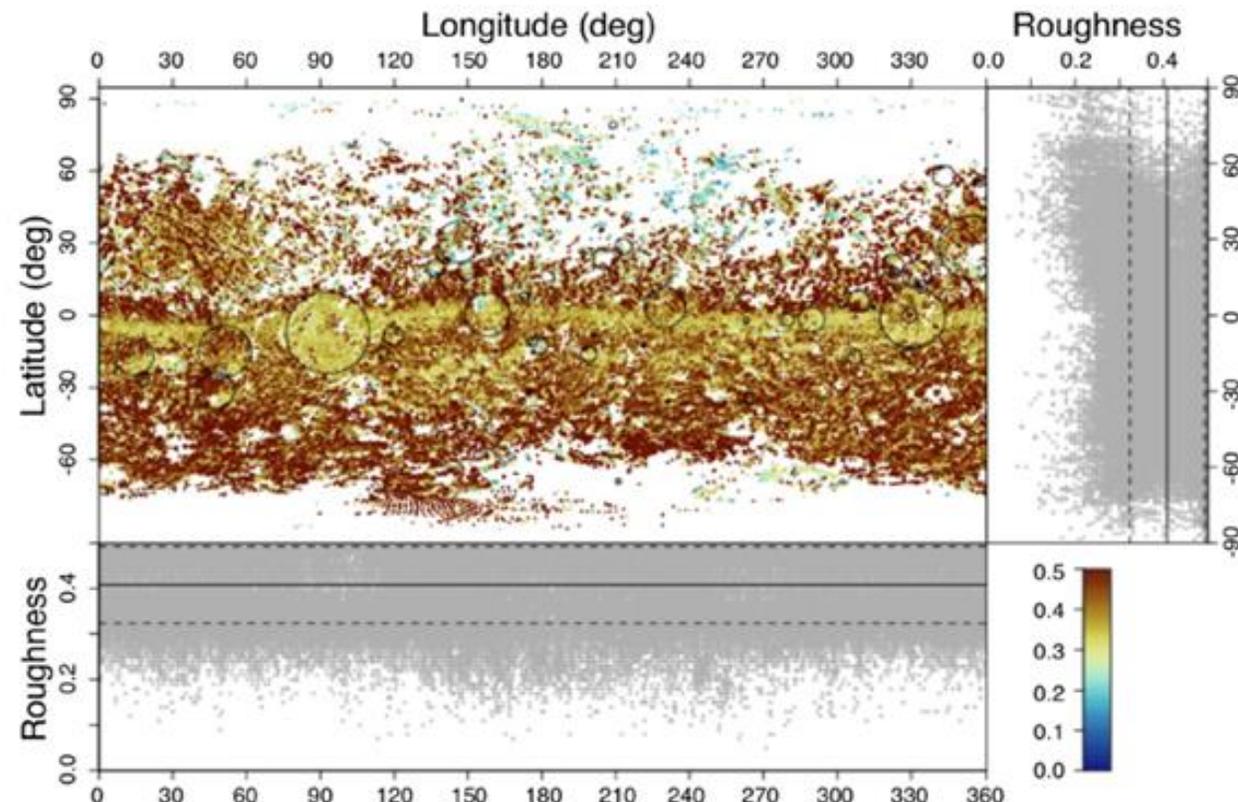
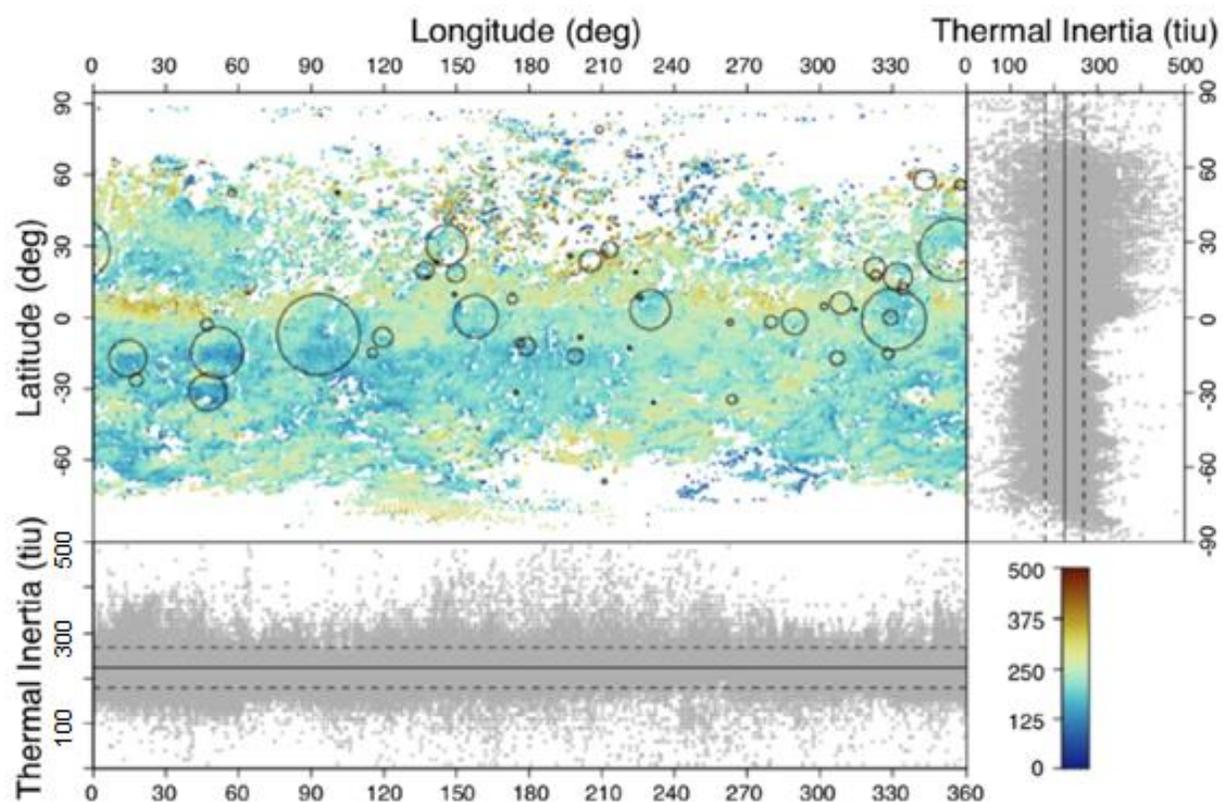




リュウグウの熱&ラフネス・モデル



熱慣性とラフネスを考慮した場合の温度変動 → 温度プロファイルを再現!!
別の太陽角、太陽距離での結果については今後行う。。。



[Shimaki+, Icarus 2020]

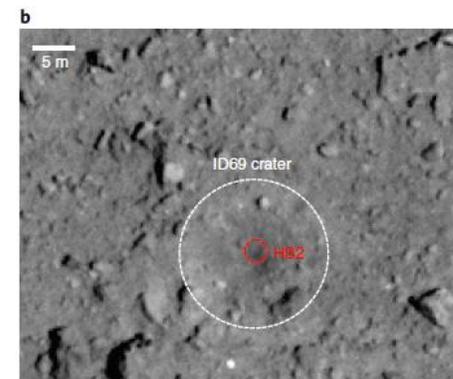
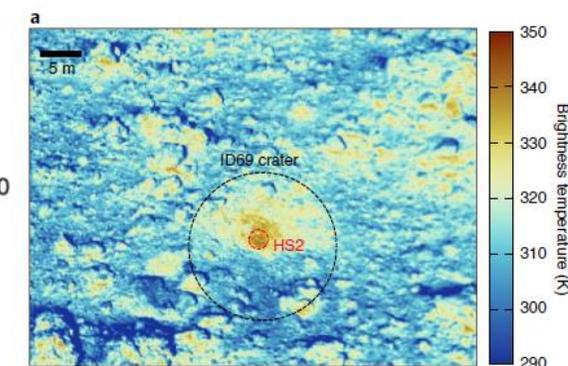
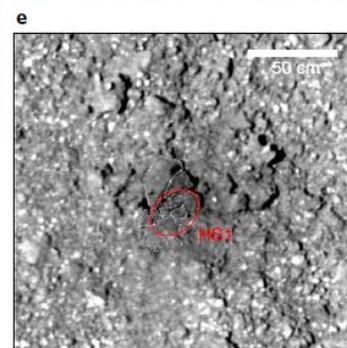
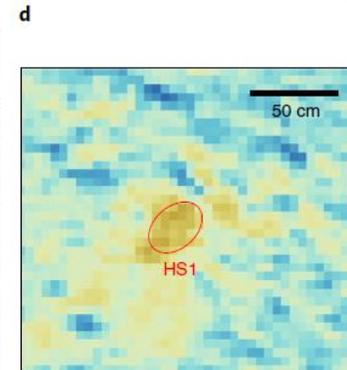
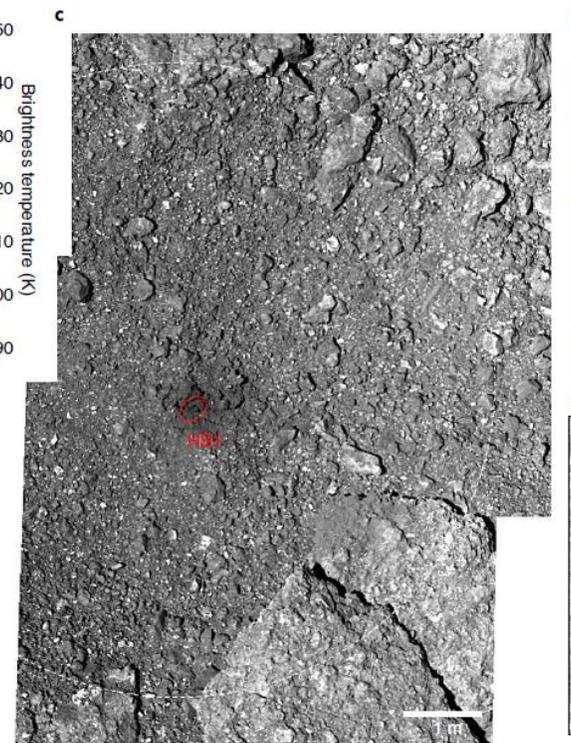
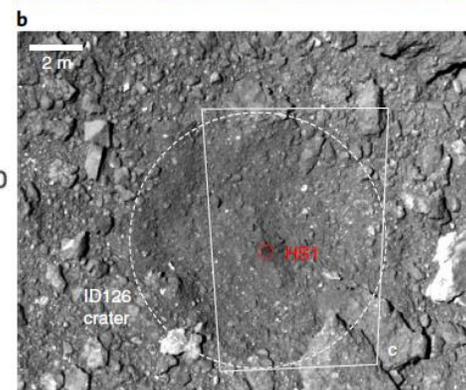
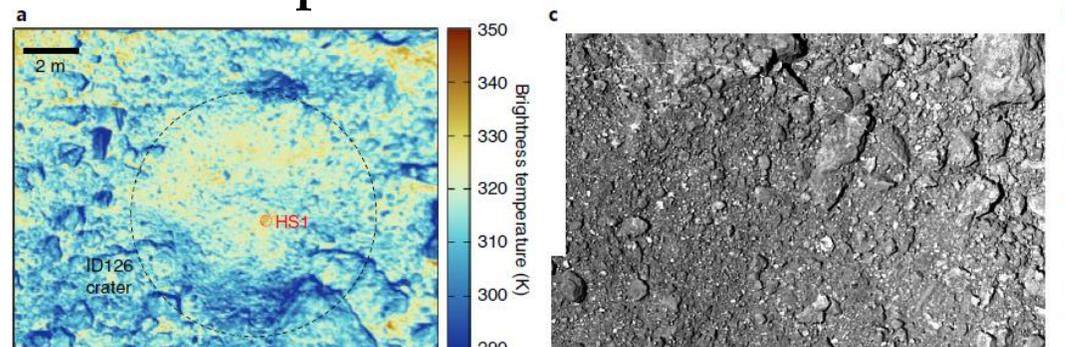
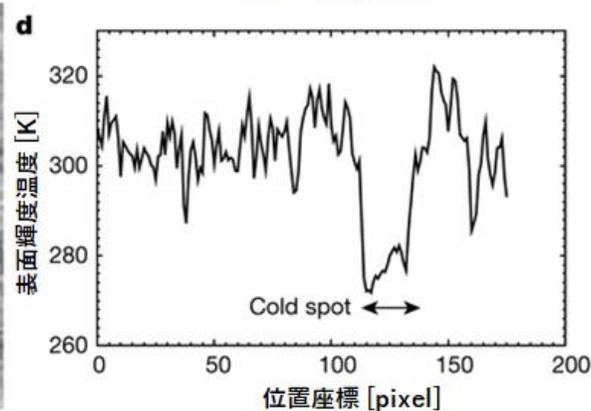
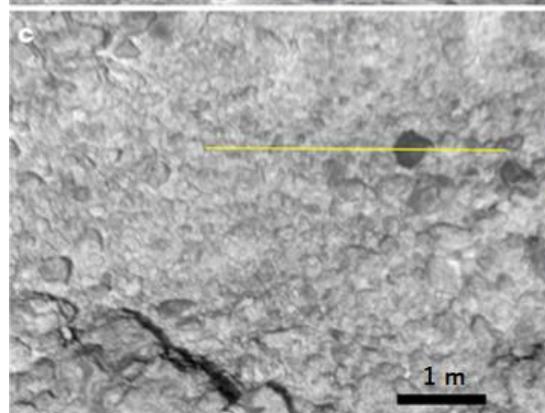
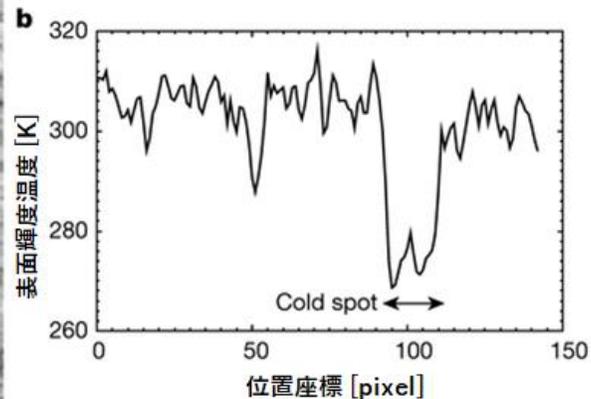
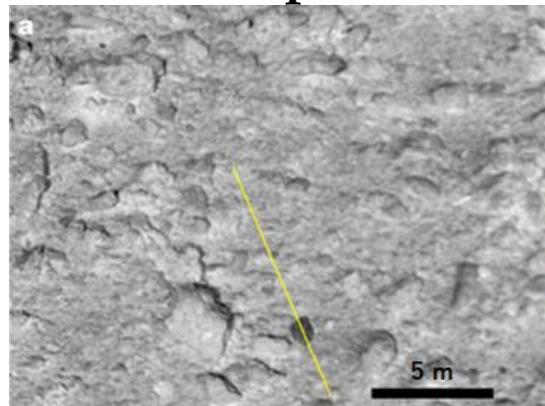


降下運用：“Cold Spot” & “Hot Spot”



◆ Hot Spots [Sakatani+, Nat.Astron. 2021]

◆ Cold Spots [Okada+, Nature 2020]

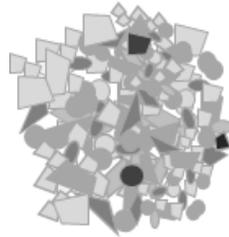
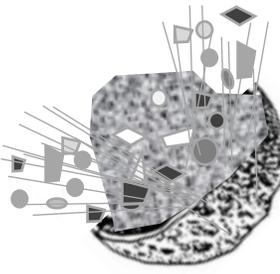
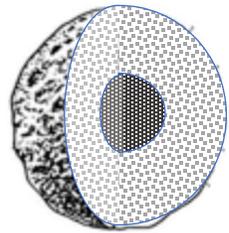
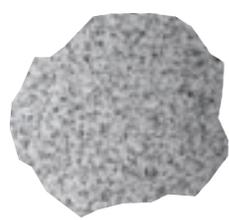
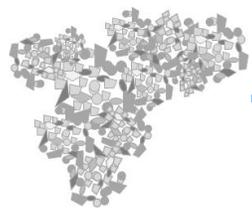




リュウグウ形成シナリオ ～ 高空隙な微惑星仮説～



(1) 塵
微細な鉱物、水、
有機物の集まり



(2) 微惑星
高空隙率

(3) リュウグウ母天体
依然として高空隙率
中心付近はやや圧密されて密度増大？

(4) 衝突破壊

(5) 再集積
大部分は高空隙率の岩塊や岩片
一部は圧密された岩塊

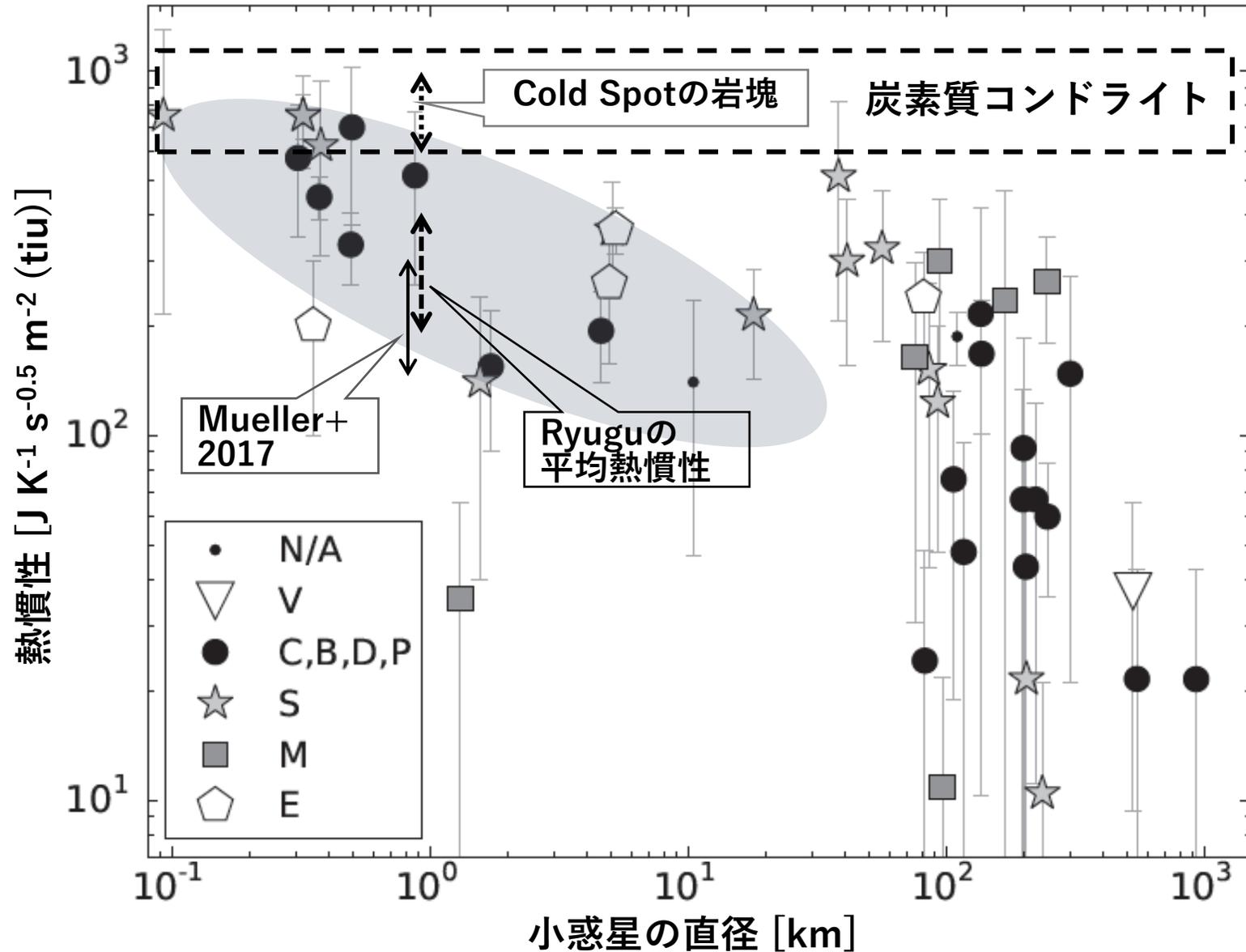
[Okada+, Nature 2020]

(6) 現在のリュウグウ
コマ型のラブルパイル

多孔質な母天体からのリュウグウ形成シナリオ：(1) 原始太陽系円盤内で高空隙な塵が集まり始める。(2) 小さな塵や小石サイズの塊が集積してゆき、高空隙な微惑星が形成される。(3) やがてリュウグウの母天体が形成されたが、低重力下で圧密が効かないため大部分は高空隙のままであった。重力荷重で内部ほど圧密されていた可能性はある（図ほど明確な境界があるとは限らない）。(4) 母天体が天体衝突によって破壊された。母天体内部の破砕物が、現在のリュウグウ表面の岩塊であろう。(5) 破片が集まって現在のリュウグウが形成された。表面の岩塊や岩石小片の大部分は高空隙なままであるが、一部の稠密な岩塊は母天体の中心付近で圧密されたものかもしれない。(6) 自転や自転速度の変化に伴って現在の形状（コマ型）に変形した。



小惑星のサイズと熱慣性



[Modified from Delbo+, 2014]

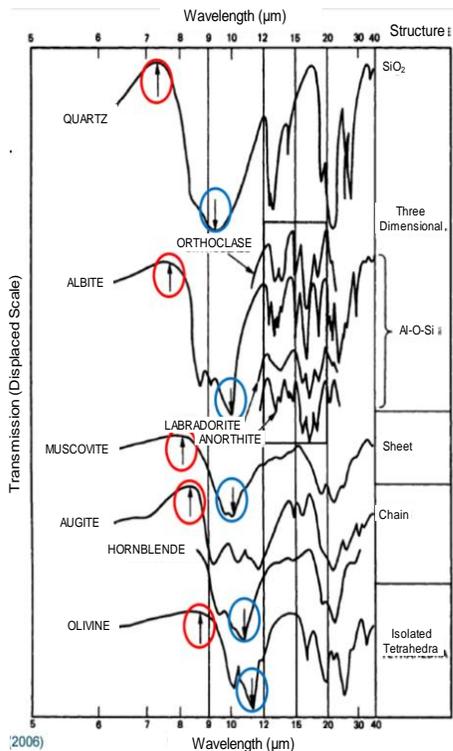
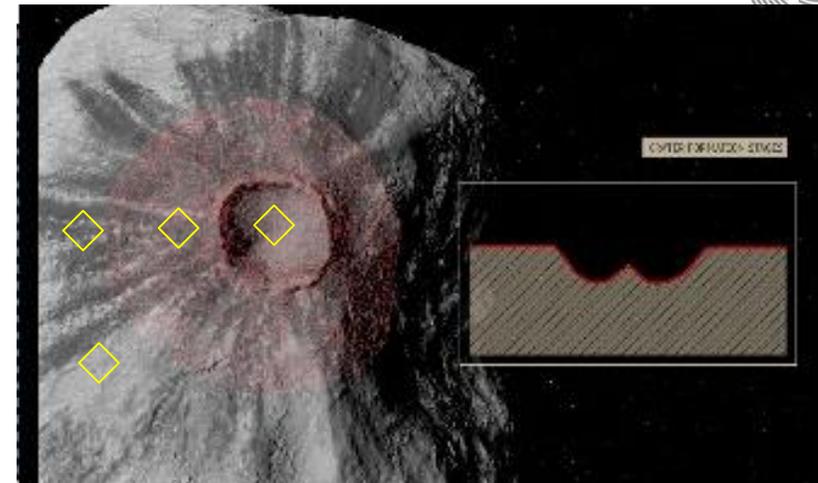


小惑星の多色熱撮像

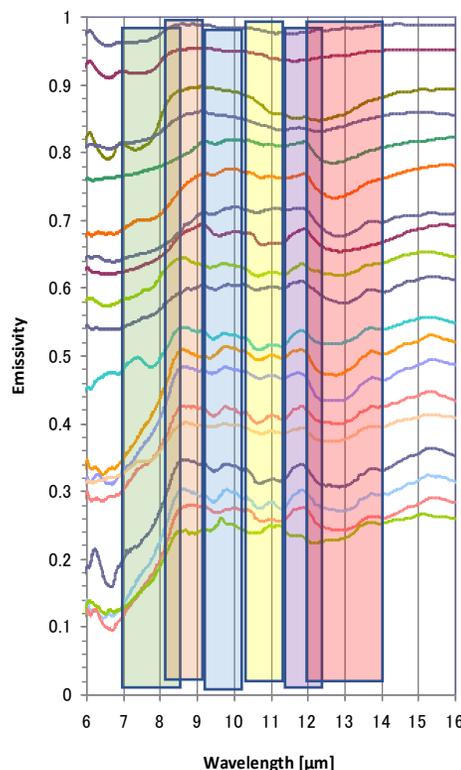


■場所による差異

- ◆ Didymos / Dimorphos
- ◆ DART クレータの内部/イジェクタ/外部
- ◆ 平坦地(堆積物)と岩塊



[Hunt+, 2015]



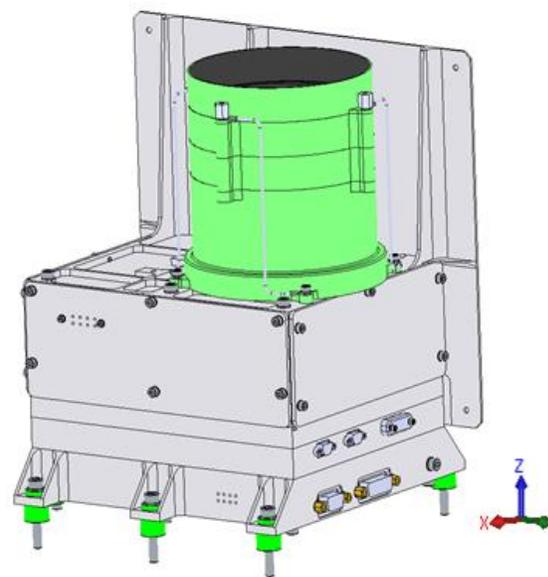
Band	Center [μm]	Width [μm]
A	7.8	1.8
B	8.6	1.0
C	9.6	0.8
D	10.6	0.8
E	11.6	0.8
F	13.0	2.0
G(Wide)	8.0 – 14.0	6.0
Close	Shutter and temp. reference	



Hera搭載熱赤外カメラTIRI：開発の現状



- 2021.01 MDR/SRR
- 2021.07 SDR
- 2021.09 PDR(メーカー)
- 2021.10(~12) ESAによるI/F確認
- < 現在EMの製作 & PFM部品調達中 >
- 2022.06 EM 搬入
- 2022.06(~08) CDR
- 2022.11 PFM搬入
- 2023-'24 AIT/AIV
- 2024.10 打上
- 2027.01 到着(観測開始)



Items	Performance
Detector	Lynred PICO1024 Gen2
Pixels	1024 x 768 pixels
Detection area	17.4 x 13.1 mm
Wavelength	8 -14 μm (Wide band)
Filter bands	7.8, 8.6, 9.6, 10.6, 11.6, 13.0 μm
Frame rate	30 Hz
NETD	< 0.1 K @300K
Absolute Temp	< 3 K @300K
Optics	F/1.0, f=75mm, AR coat
MTF	> 0.3 (effectively > 0.4)
FOV	13.3 x 10.0 deg (16.7°)
IFOV	0.23 mrad (0.013 deg/pixel)
Sun-Avoidance	45°
Integration	2 ^N , N=0, 1, 2, ..., 7
Consecutive	128 images (max 2sec/image)
Filter exchange	10 sec
Total mass	4.0 \pm 0.4 kg (max \leq 5.5kg)
Total Power	17 \pm 3 W (max: \leq 30W)



Hera – 日本の参加と意義

→ISASの戦略的海外共同計画



- 日本(JAXA)が世界を先導する分野の発展・進展に資するミッション
 - ◆「はやぶさ」「はやぶさ2」で先導する小惑星探査と小惑星科学
- 世界から評価された技術・知識の提供による貢献
 - ◆「はやぶさ2」での熱赤外カメラTIRによる熱物性観測 → 熱赤外カメラ提供の依頼
 - ◆「はやぶさ2」での小惑星地質学、衝突科学、熱物性、ダイナミクスでの参画依頼
- 日本単独での実現が困難
 - ◆DART + Heraの合計で700億円相当 → 実質1観測機器の開発費のみで参加(~1%)
- 国際協力の推進
 - ◆Hera (AIDA) への参画 = 日欧米の連携
 - ◆長期にわたる欧州とのミッション検討協力の継承
- 人類社会への貢献
 - ◆プラネタリ・ディフェンス = 小惑星衝突による潜在的危機の回避 (防災科学)



まとめ



- HeraはESAの小惑星探査計画であり、二重小惑星DidymosとDimorphosのランデブ探査を実施する。NASAのDARTと連携して史上初の国際共同プラネタリ・ディフェンスミッションAIDAを構成する。
- Heraの主目的はDARTによる小惑星軌道修正の効果の現地詳細計測であり、小惑星の物性・物質、クレータ形状、ダイナミクス、表面地形・地質の調査を実施する（＝副産物としての科学観測）
- Heraには日本から熱赤外カメラTIRIの提供と科学検討で参画する。今後の国内のプラネタリ・ディフェンス活動を推進する一つの柱として貢献する。
- TIRIによる熱撮像によって、プラネタリ・ディフェンスと惑星科学の両面で貢献する。