

北大-大垣東高校間双方向遠隔授業プロジェクト 2016 (Nov. 01, 2016)

地球の材料を探し出せ

北大理学部 地球惑星科学科 4年
新井 総馬 / Arai Soma

北大理学院 宇宙理学専攻 修士課程1年
松岡 亮 / Matsuoka Ryo

今から約6年前の2010年6月13日



はやぶさが 帰ってきた日

Hayabusa / MEF / JAXA · ISAS

<http://spaceinfo.jaxa.jp/hayabusa/photo/llust12.html>

はやぶさ2のミッションは.....？



「はやぶさ」と同じく
サンプルリターンミッションを行う

別にまた行かなくてもいいのでは...



新しい装備
人工クレーター作成装置

そもそも何で小惑星に？

太陽系の材料と昔の様子を知るため

- 小惑星は古い情報を持っている

小惑星がほしい！

問. どうやれば簡単に手に入る？(はやぶさはとても高い)

A. 落ちてきたのを拾う

地上で手に入る「小惑星」

隕石の多くは元小惑星である

- 色(反射スペクトル)
- 落下軌道

隕石を知れば地球の材料が分かる

- キーワードはコンドライト

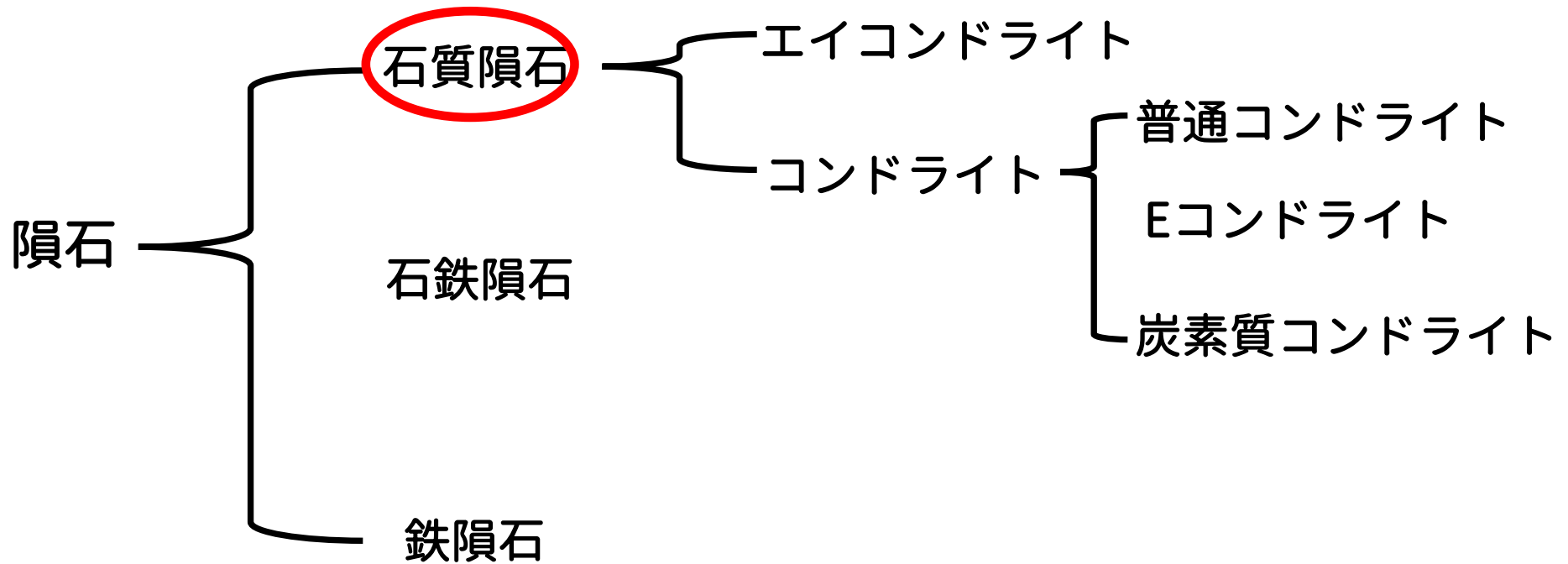
隕石は右？左？



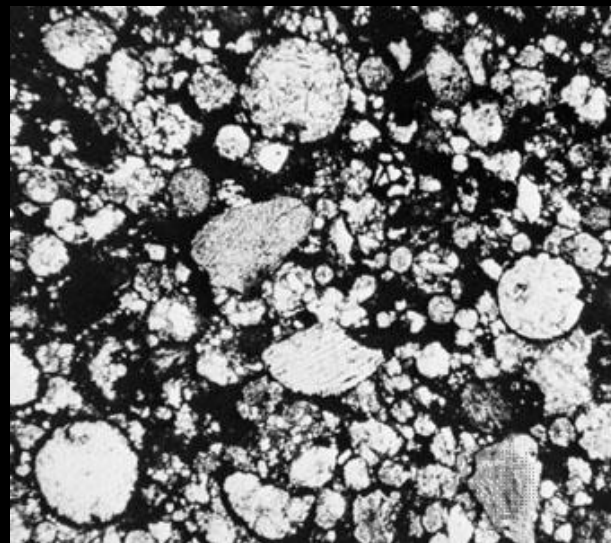
<https://oaklandgeology.files.wordpress.com/2016/03/museumtalk-2.jpg>

http://www.mjsastro.com/uploads/2/5/2/5/25253922/6063932_orig.jpg?281

隕石の分類

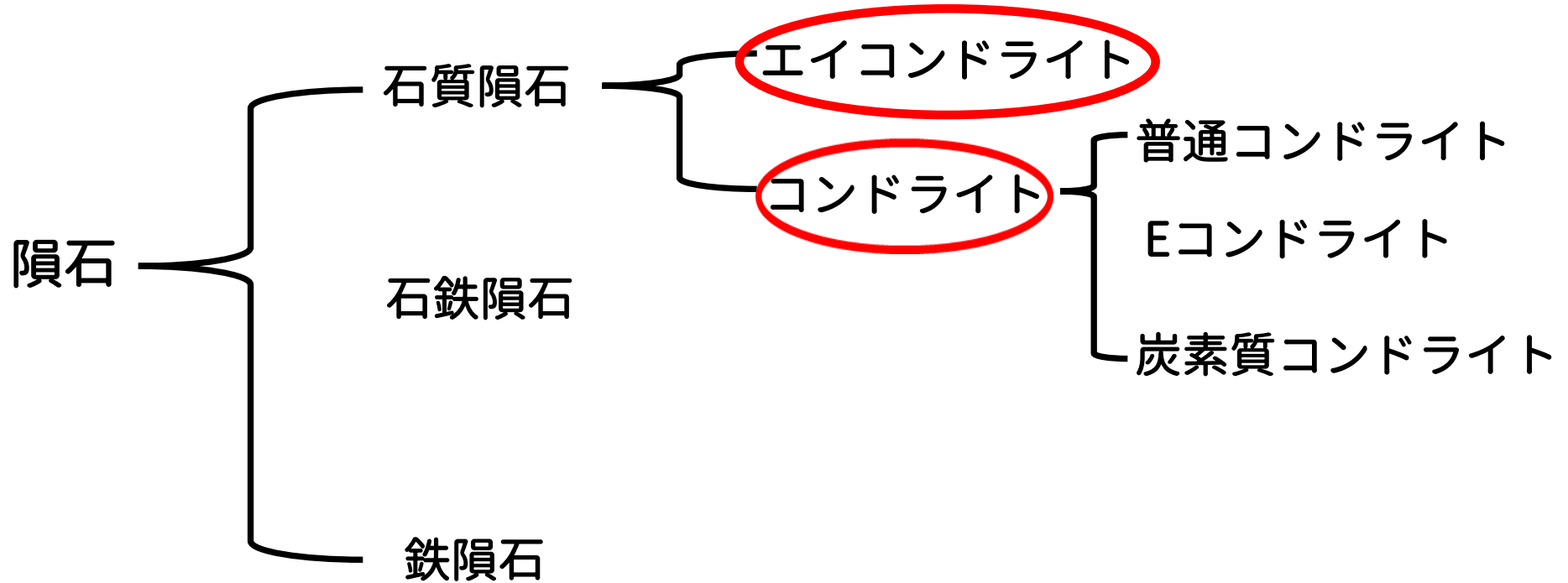


石質隕石



・ケイ酸塩で出来ている。

隕石の分類



コンドライトとエイコンドライト

石質隕石は更にコンドリュール(球粒)を含むか含まないかで区別される

- コンドリュールを含む物を「コンドライト」
- 含まないものを「エイコンドライト」と呼ぶ

コンドリュール



宇宙空間で融けた岩石や金属の液滴が急速に冷えて固化してできる

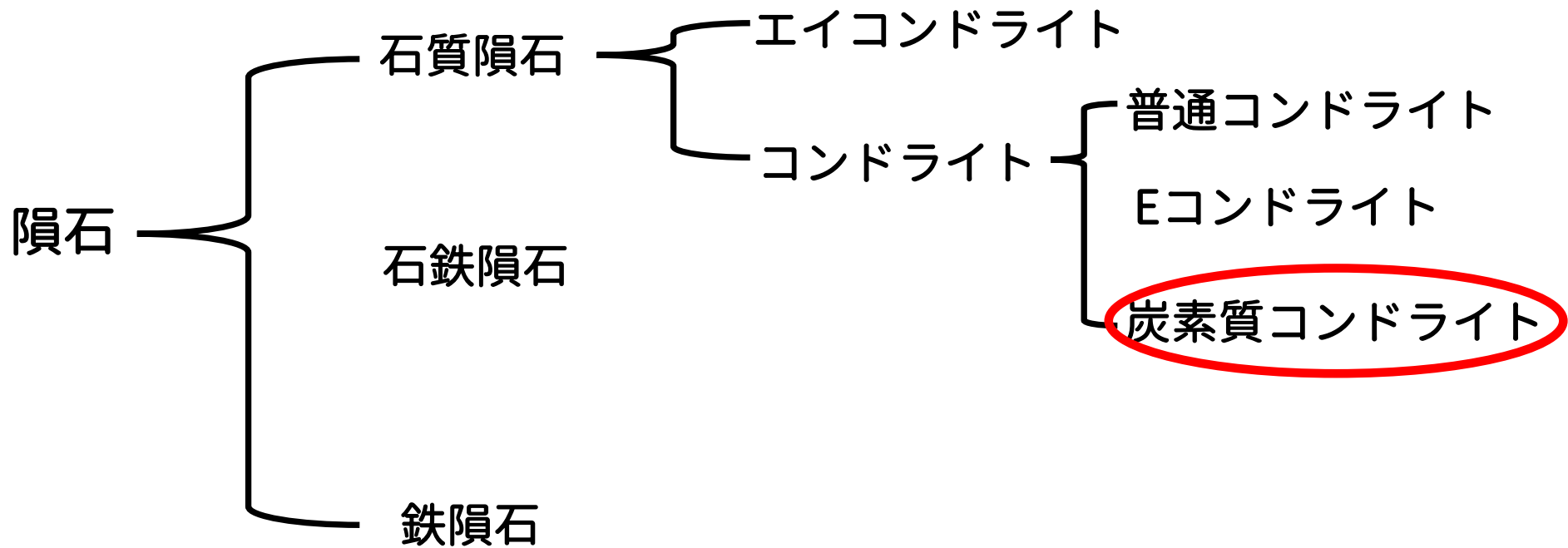
宇宙で出来るので融けた物質が丸くなり、そのまま固まっている

コンドライト隕石の形成

冷え固まったコンドリュールが、
塵などと集まってコンドライト
隕石を作る

- コンドリュールを含むのは、形成
以来融けてない証拠

隕石の分類



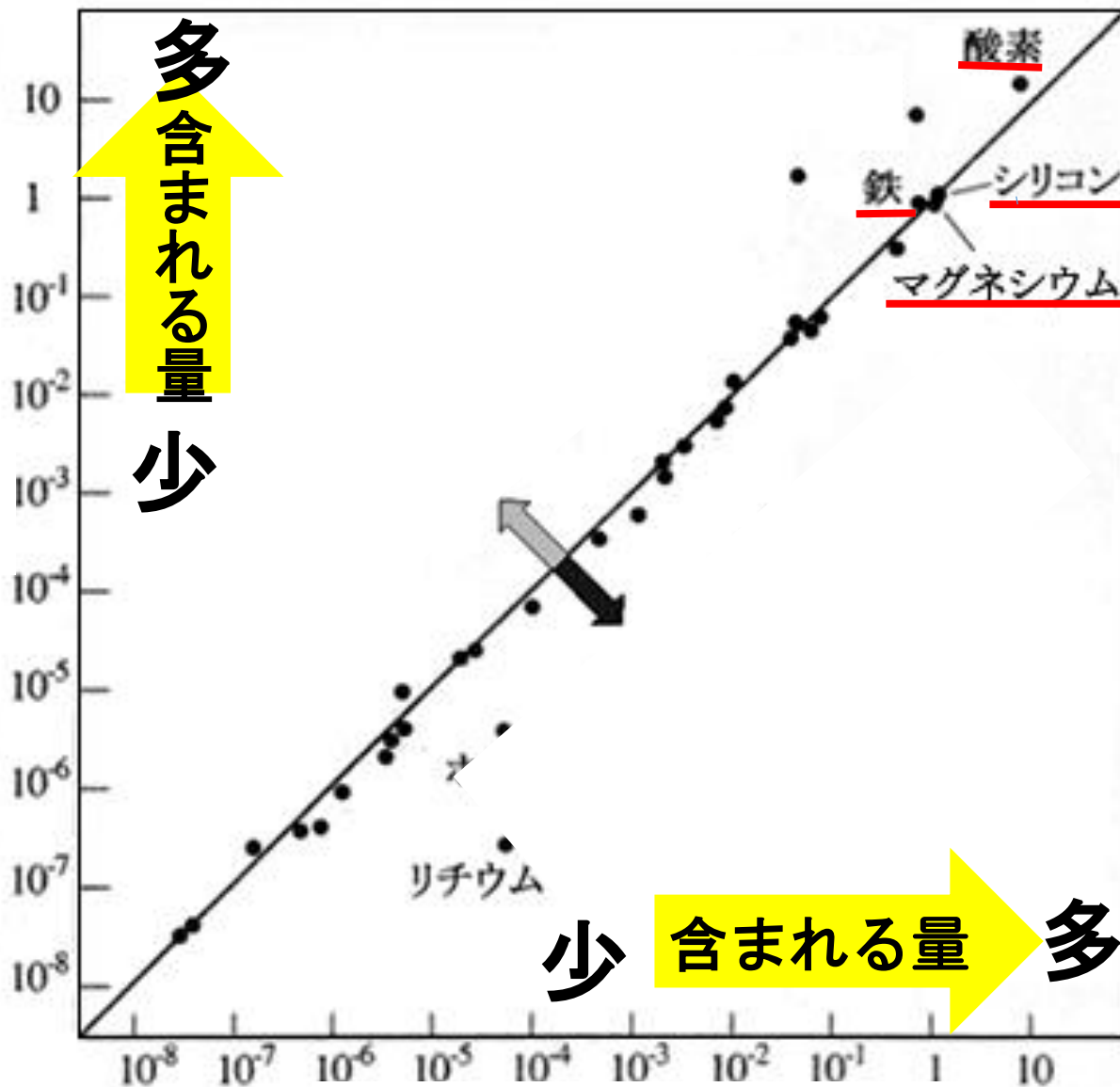
炭素質コンドライト



炭素や水といった生命に関わる物質を豊富に含む

太陽組成と炭素質(C1)コンドライト

太陽



炭素質コンドライト

太陽は太陽系全質量の99.85%

太陽組成
⇨
太陽系組成
⇨
地球材料の組成

<https://www.manabinoba.com/science/8190.html>

コンドライト隕石ができたのはいつ？



約45～46億年前、太陽
周囲の空間の塵が集
まってできた天体が起
源

- 地球の年齢も

45～46億年

<http://chigaku.ed.gifu-u.ac.jp/chigakuhp/html/kyo/chisitsu/inse/cr2/01.html>

コンドライト隕石は地球の材料

1. 地球を作る元素を多く含む
2. 地球の材料とコンドライト隕石の材料は同じ年代に存在した
3. コンドリュールを含む
 - 形成されてから融けていない



コンドライト隕石は地球を作った物質を、約45～46億年前の姿のまま保存している

参考文献

<http://spaceinfo.jaxa.jp/hayabusa/about/>

「小惑星探査『はやぶさ』物語」

<http://www.hayabusa2.jaxa.jp/about/project/>

「はやぶさ2プロジェクト」

小島秀康 「南極で隕石を探す」成山堂書店 2011

松田准一 「隕石でわかる宇宙惑星科学」

大阪大学出版会 2015

藤井旭 「隕石の見かた・調べかたがわかる本」

誠文堂新光社 2010

惑星の作り方

ダスト
数 μm -
数 m

微惑星
数百 m -
数百 km

原始
惑星
数千 km

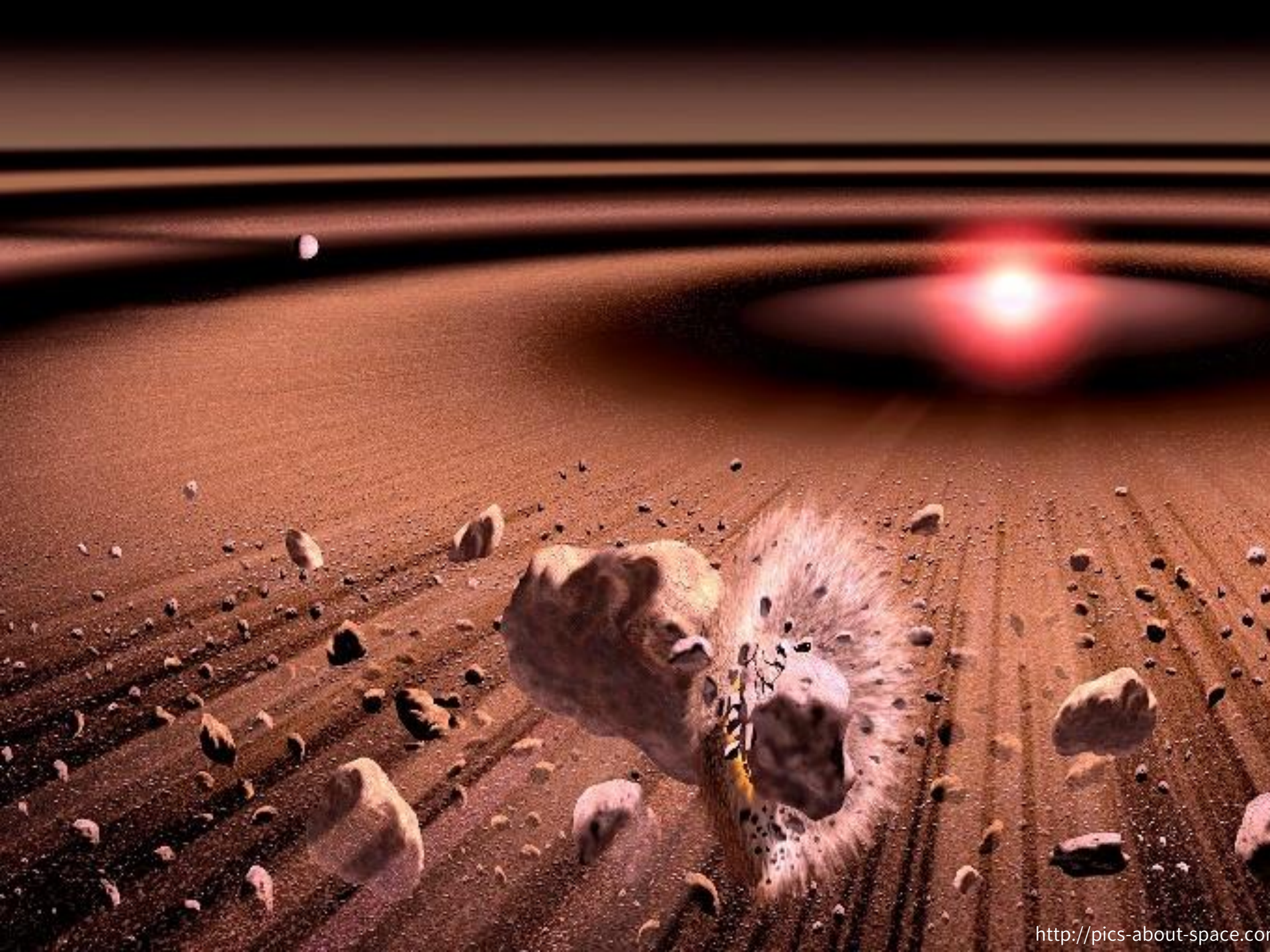
惑星

コンドリュールなど

コンドライト隕石

隕石は微惑星と対応している？

微惑星は小惑星・彗星という形で現存



惑星の作り方

ダスト
数 μm -
数 m

微惑星
数百 m -
数百 km

原始
惑星
数千 km

惑星

コンドリュールなど

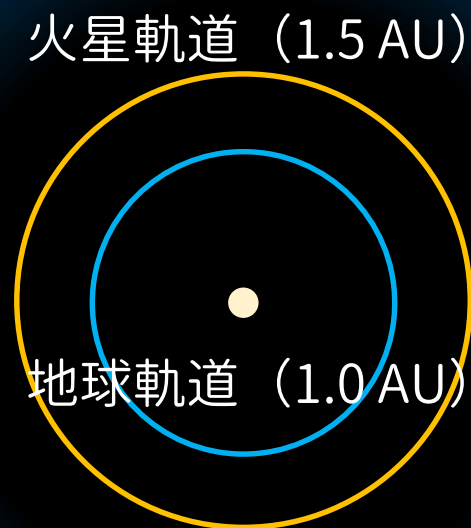
コンドライト隕石

隕石は微惑星と対応している？

微惑星は小惑星・彗星という形で現存

小惑星

- 火星/木星の軌道間に多い 木星軌道 (5.2 AU)
- 地球近くにくるものも
(地球近傍小惑星)





Phobos (Mars)
26.8 x 22.4 x 18.4 km
Mariner 9, 1971



Deimos (Mars)
15 x 12.2 x 10.4 km
Mariner 9, 1971



253 Mathilde
66 x 48 x 44 km
NEAR, 1997



951 Gaspra
18.2 x 10.5 x 8.9 km
Galileo, 1991



5535 Annefrank
6.6 x 5.0 x 3.4 km
Stardust, 2002



2867 Steins
5.9 x 4.0 km
Rosetta, 2008



25143 Itokawa
0.5 x 0.3 x 0.2 km
Hayabusa, 2005



9969 Braille
2.1 x 1 x 1 km
Deep Space 1, 1999

ISS (Earth)
.07 x .09 x .03 km
International Space
Station, 1998+

10 kilometers



4 Vesta



21 Lutetia



253 Mathilde



243 Ida / 1 Dactyl



433 Eros



951 Gaspra



2867 Šteins



5535 Anefrank

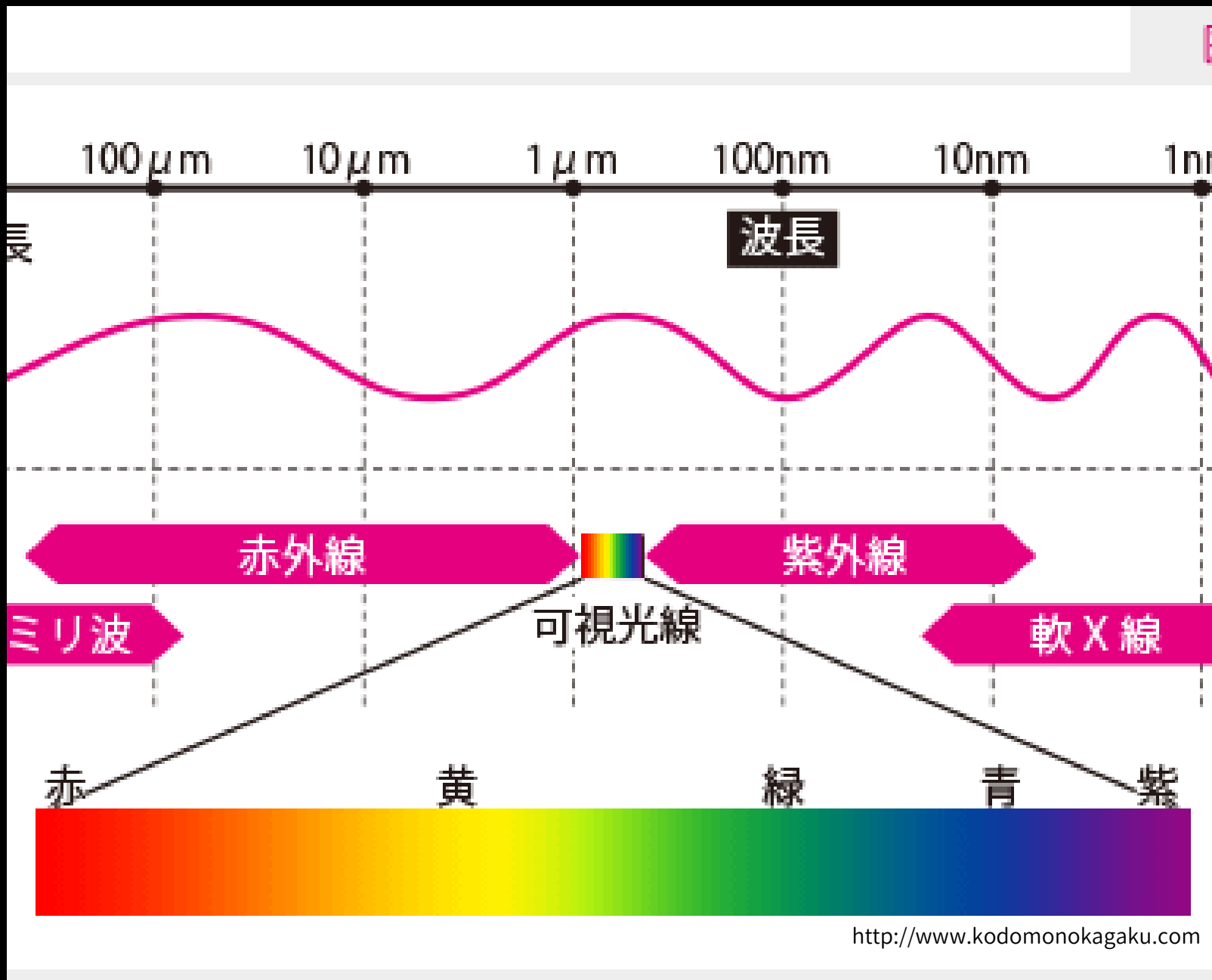


25143 Itokawa

光を見る



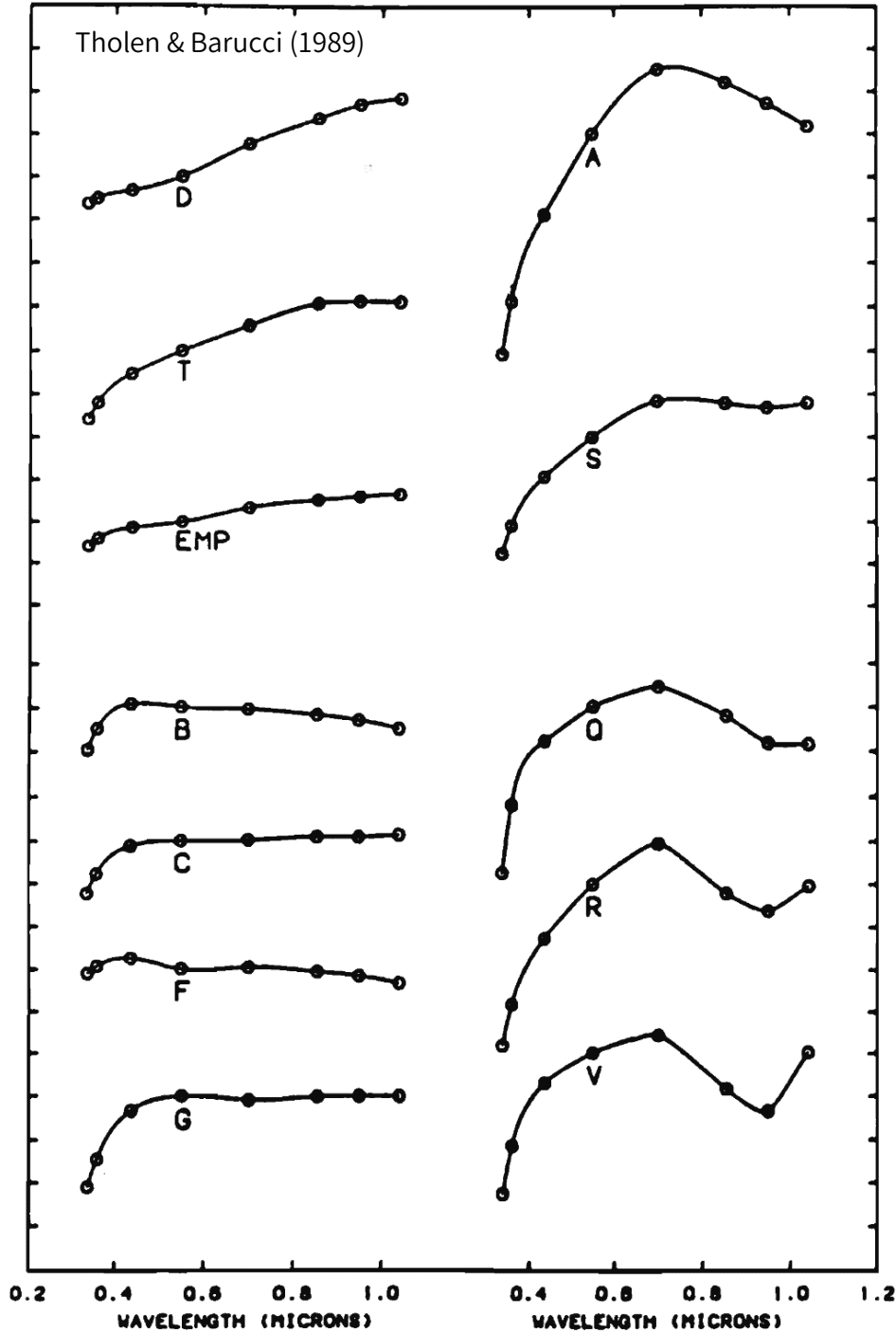
<http://blog.goo.ne.jp/kiyotakeyokohari/e/a9ae009f0e05ef7476270ff9230938e1>





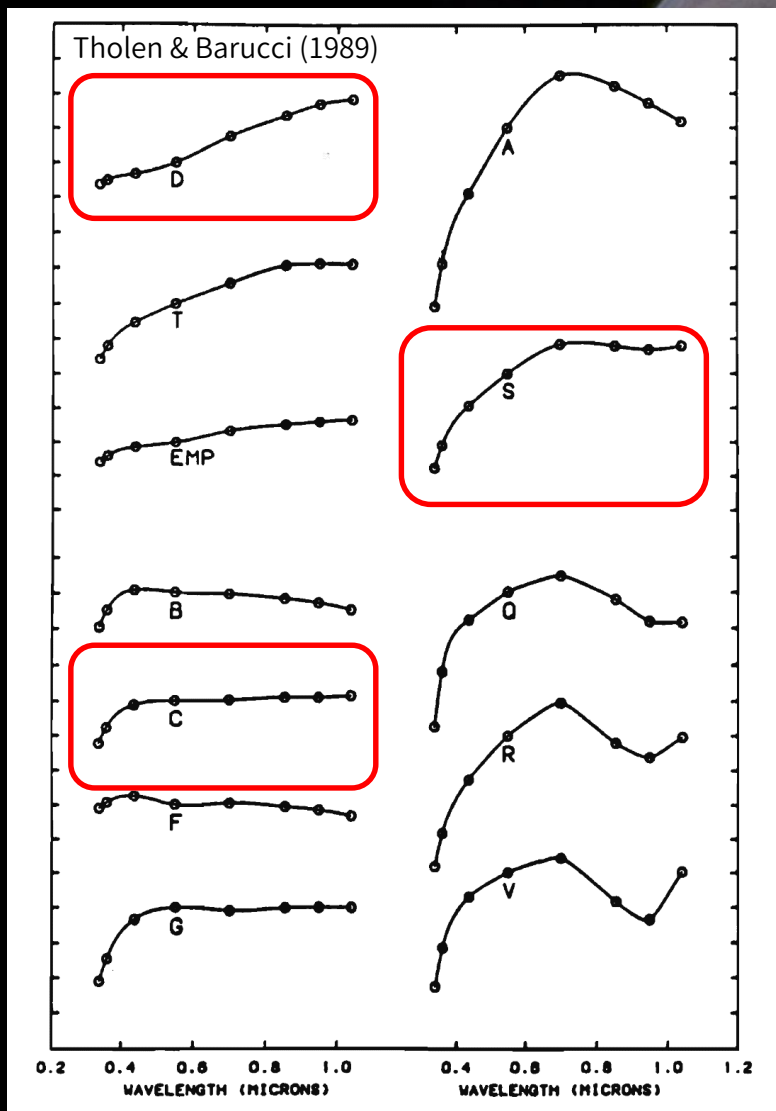
反射スペクトル
どの色の光をどの
くらい反射するか
を見る

Tholen & Barucci (1989)



横軸：波長
縦軸：明るさ

小惑星のスペクトル分類



S型 (全体の2割)

メインベルト内側

C型 (全体の8割)

メインベルト外側

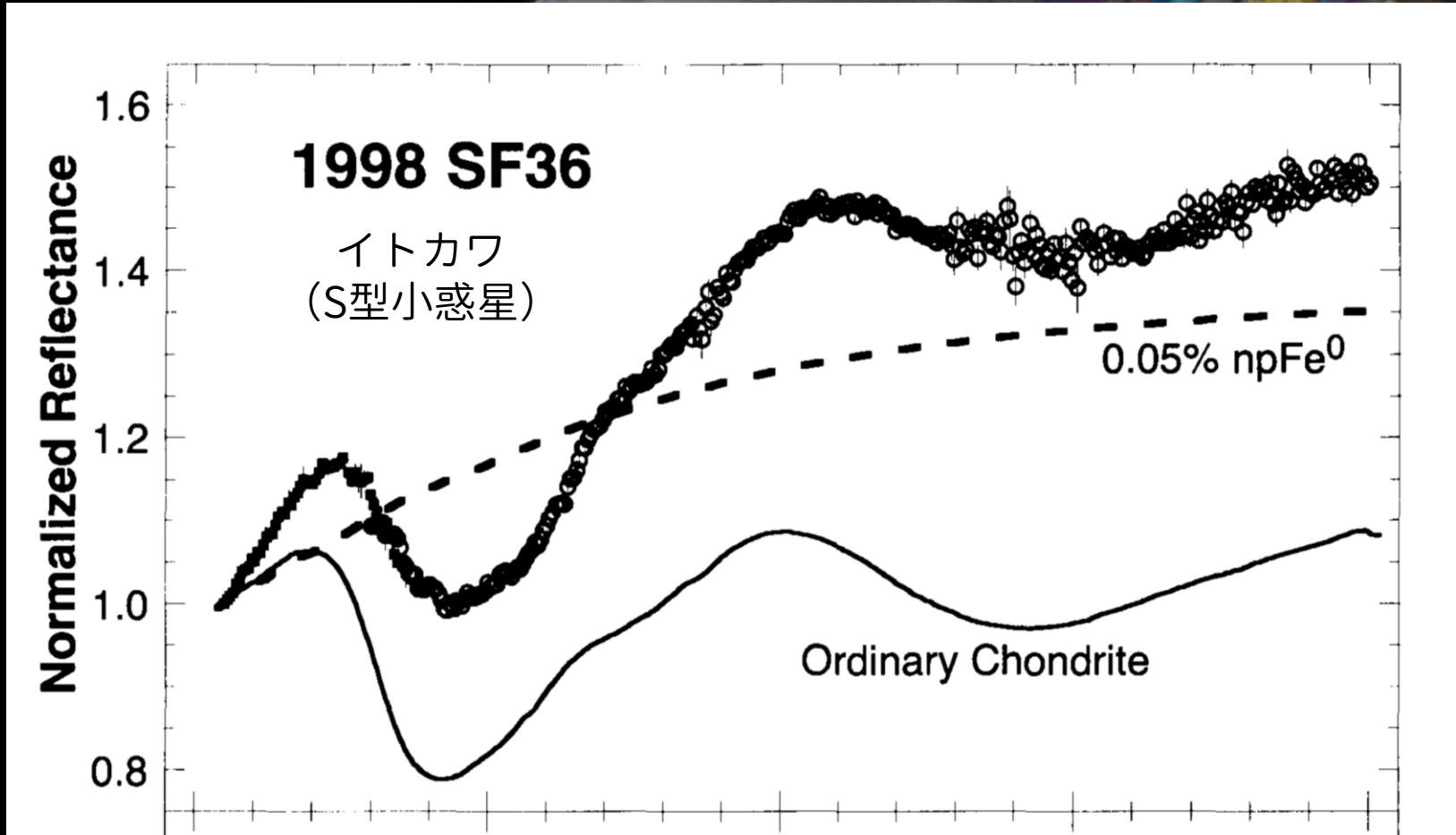
D型

C型よりも遠い所

横軸：波長

縦軸：明るさ

普通コンドライトと比較



Biznel et al. (2001)

普通コンドライトと比較



Biznel et al. (2001)

普通コンドライトと比較



Biznel et al. (2001)

0型小惑星（珍しいグループ）に似る！

普通コンドライト問題

普通コンドライトはどこから来た？

可能性1

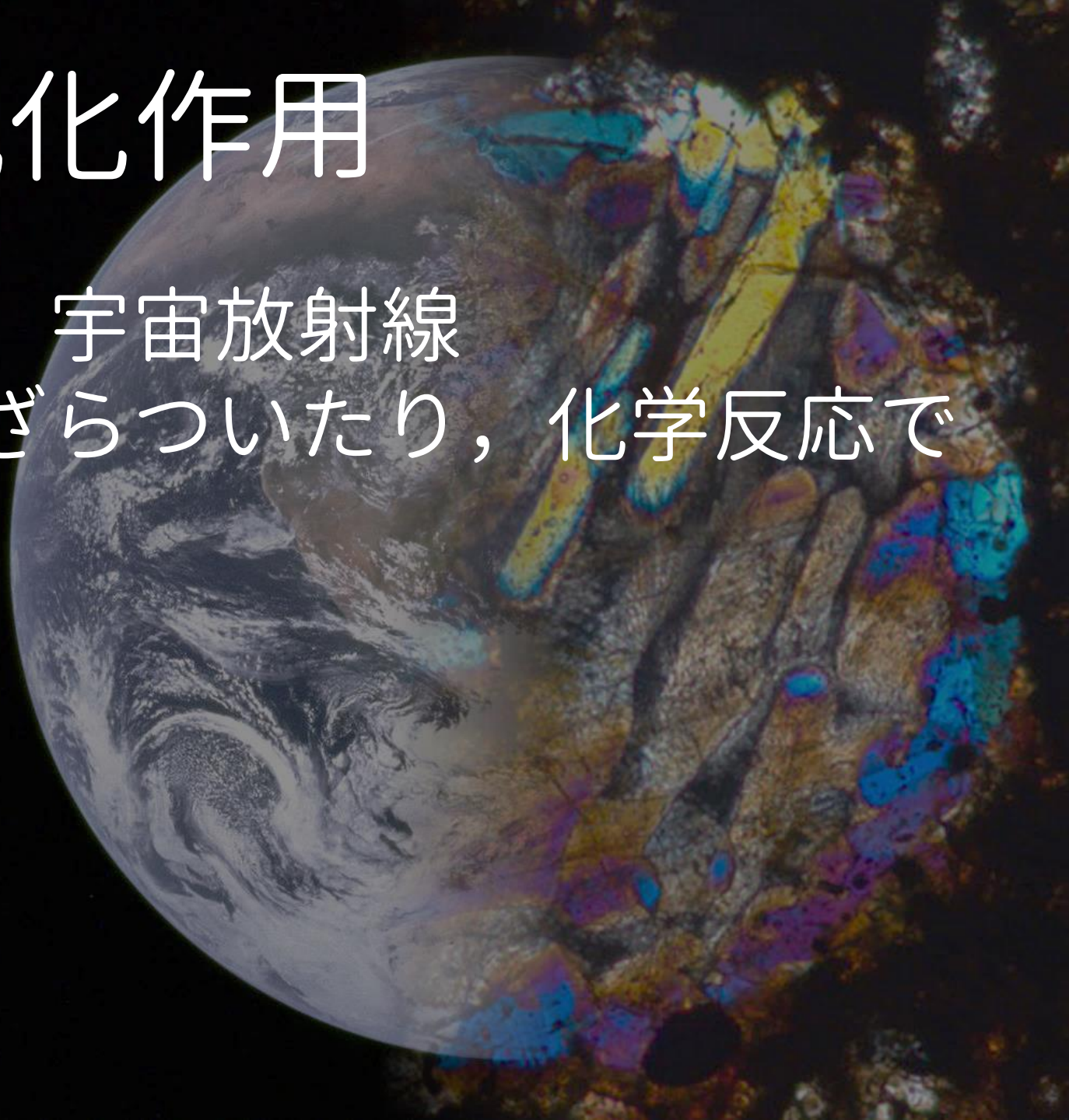
普通コンドライトは珍しい小惑星から来た

可能性2

S型小惑星から来た。S型小惑星は表面が変質しているだけ。

宇宙風化作用

微小隕石，宇宙放射線
→表面がざらついたり，化学反応で
色が変化



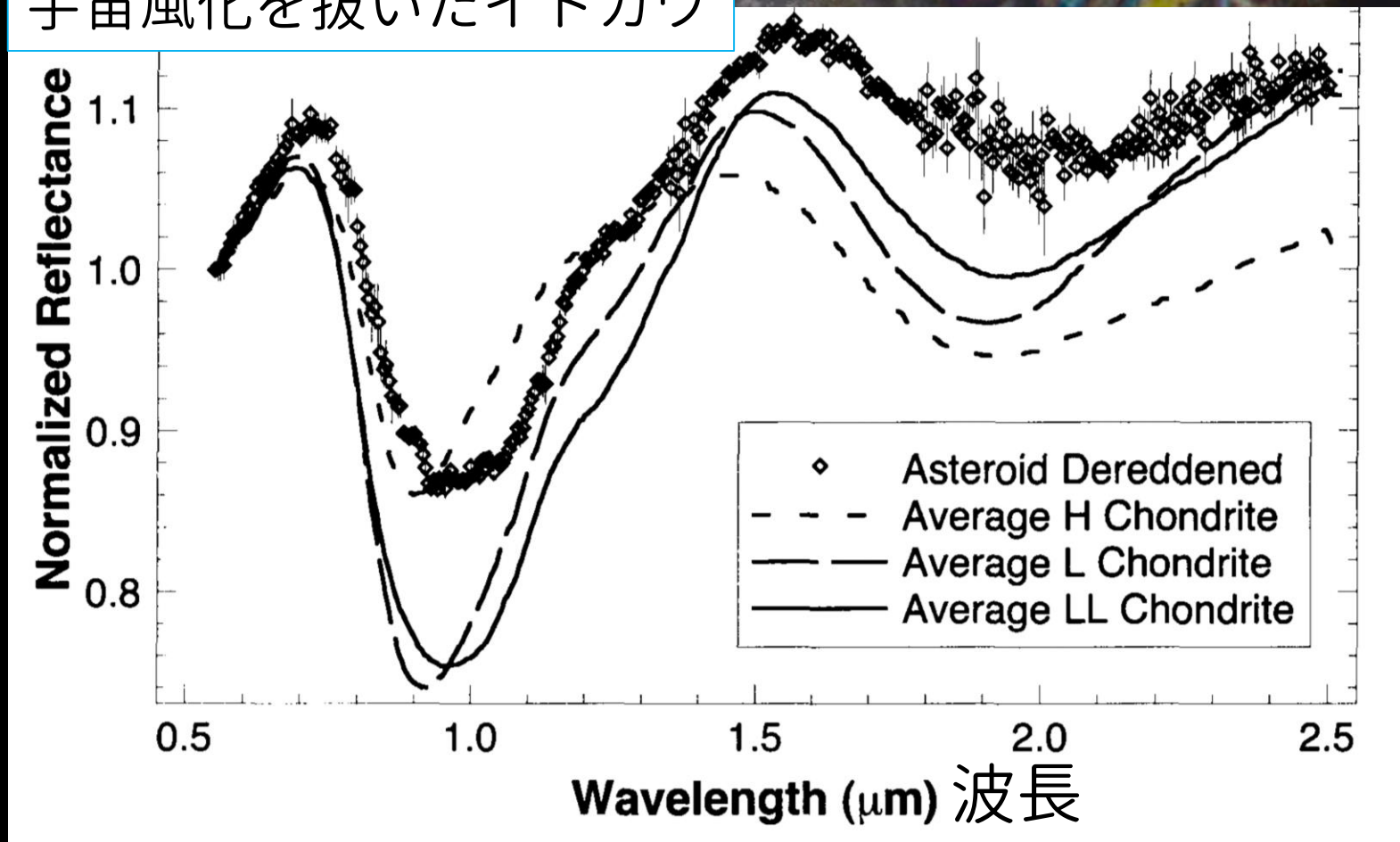
身近な？宇宙風化作用

粉にすると白くなる



宇宙風化が正しい？

宇宙風化を抜いたイトカワ



Biznel et al. (2001)

S型小惑星から宇宙風化を取り除く

小惑星の姿



NASA



NASA

小惑星イダ・ガリレオ探査機，1993年
普通コンドライトに近いスペクトルの
場所

どっち？





やっぱり，採りに行
かないとわからない
よね

// //
(• x •)



JAXA



JAXA

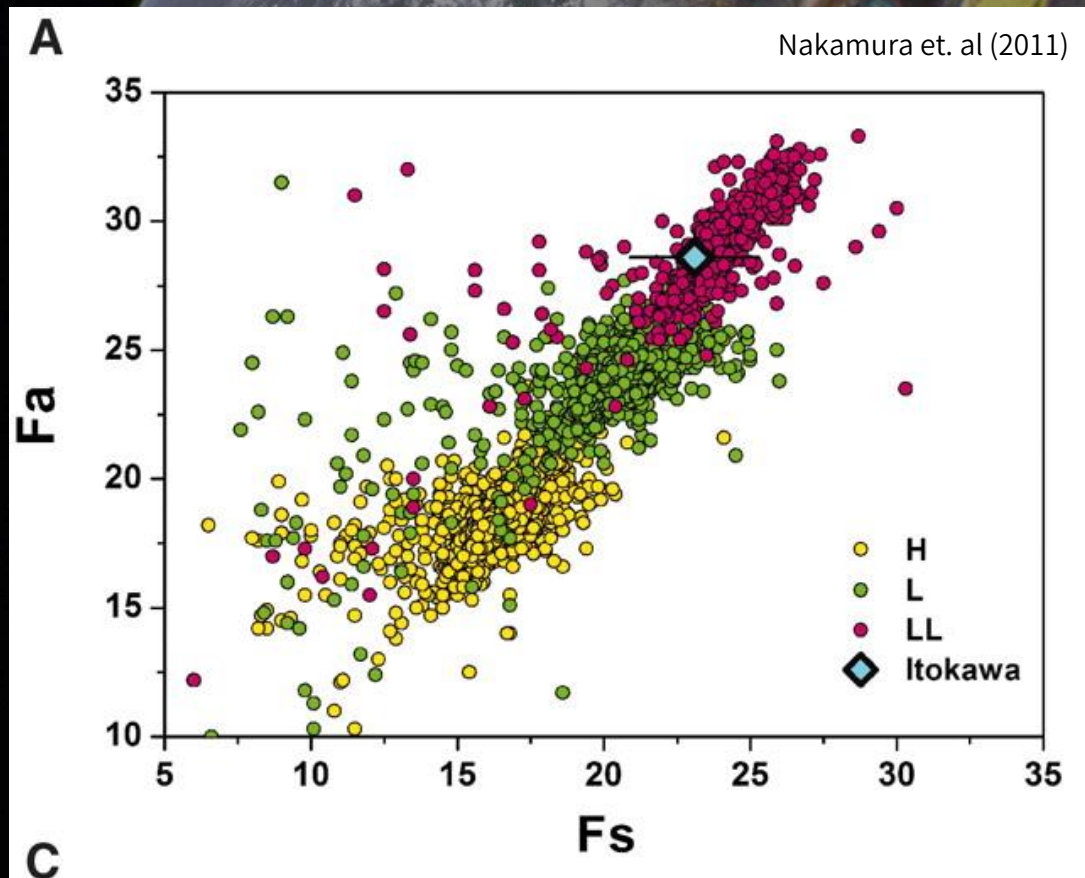
S. Saito



リターンサンプル分析

鉱物の鉄量の分析

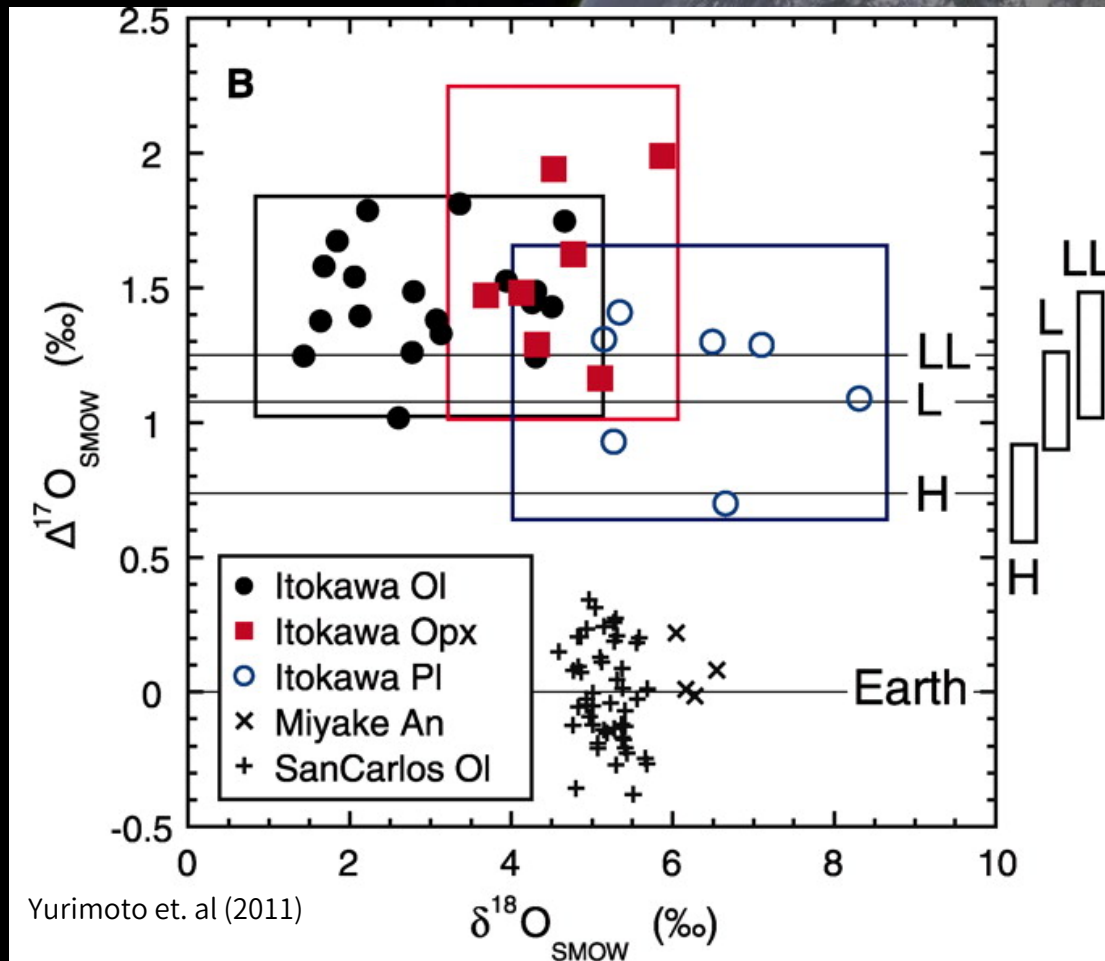
かんらん石中の鉄量



輝石中の鉄量

リターンサンプル分析

酸素同位体比の分析



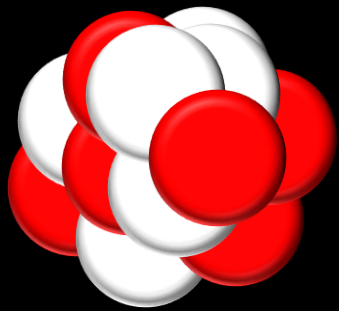
Yurimoto et. al (2011)

横軸
酸素18の量

縦軸
酸素17の量

同位体

同位体の割合は
環境でそれぞれ異なる。



酸素16

(p^+8 個・ n_0^08 個)



酸素17

(p^+8 個・ n_0^09 個)

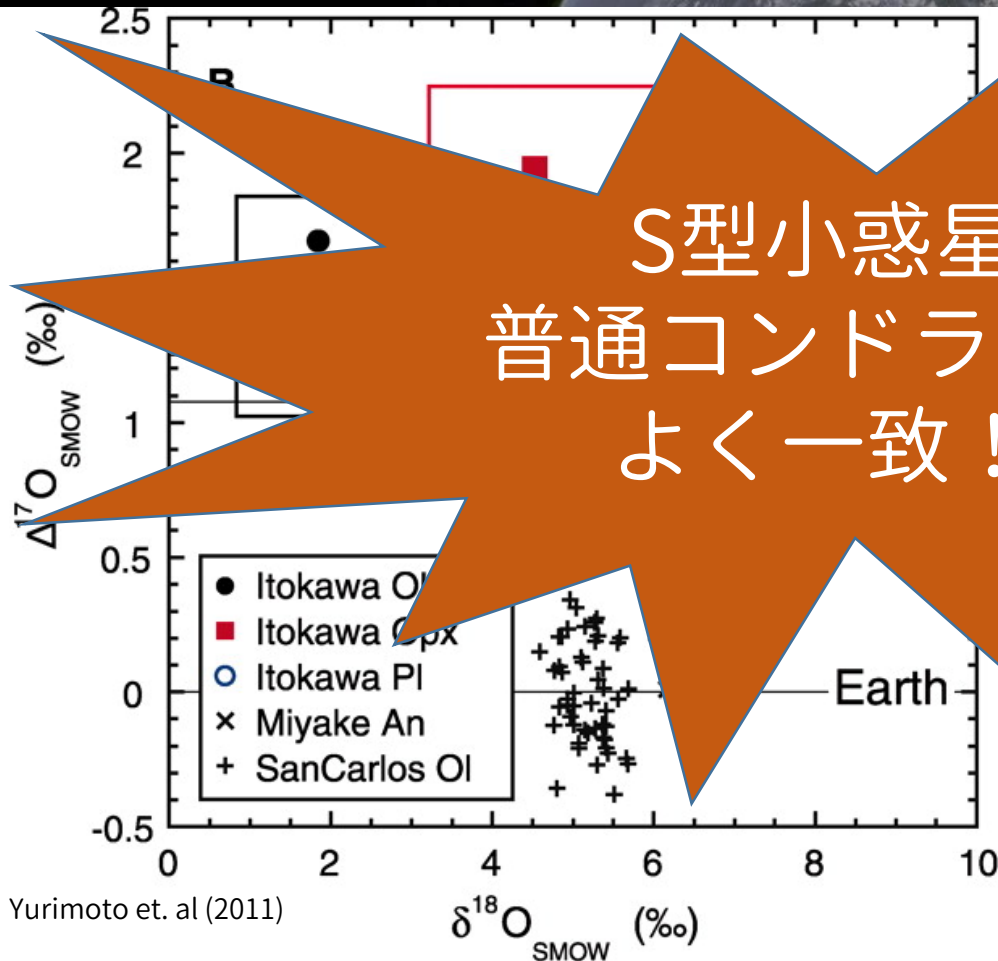


酸素18

(p^+8 個・ n_0^010 個)

リターンサンプル分析

酸素同位体比の分析



Yurimoto et. al (2011)

横軸
酸素¹⁸の量

S型小惑星と
普通コンドライトは
よく一致！！

量



地圈 · 水圈 · 大氣圈 · 生命圈



始原的隕石との対応

隕石タイプ	小惑星タイプ
普通コンドライト	S型小惑星
炭素質コンドライト	C型小惑星
タギシュ・レイク隕石 (特殊な炭素質コンド ライト)	D型小惑星

始原的隕石との対応

隕石タイプ	小惑星タイプ
普通コンドライト	S型小惑星
炭素質コンドライト	C型小惑星
タギシュ・レイク隕石 (特殊な炭素質コンド ライト)	D型小惑星

地圈 · 水圈 · 大氣圈 · 生命圈



生命の起源を探る



はやぶさ2
「リュウグウ」を目指す
2020年末帰還予定

OSIRIS-Rex
「ベンヌ」を目指す
2023年09月帰還予定

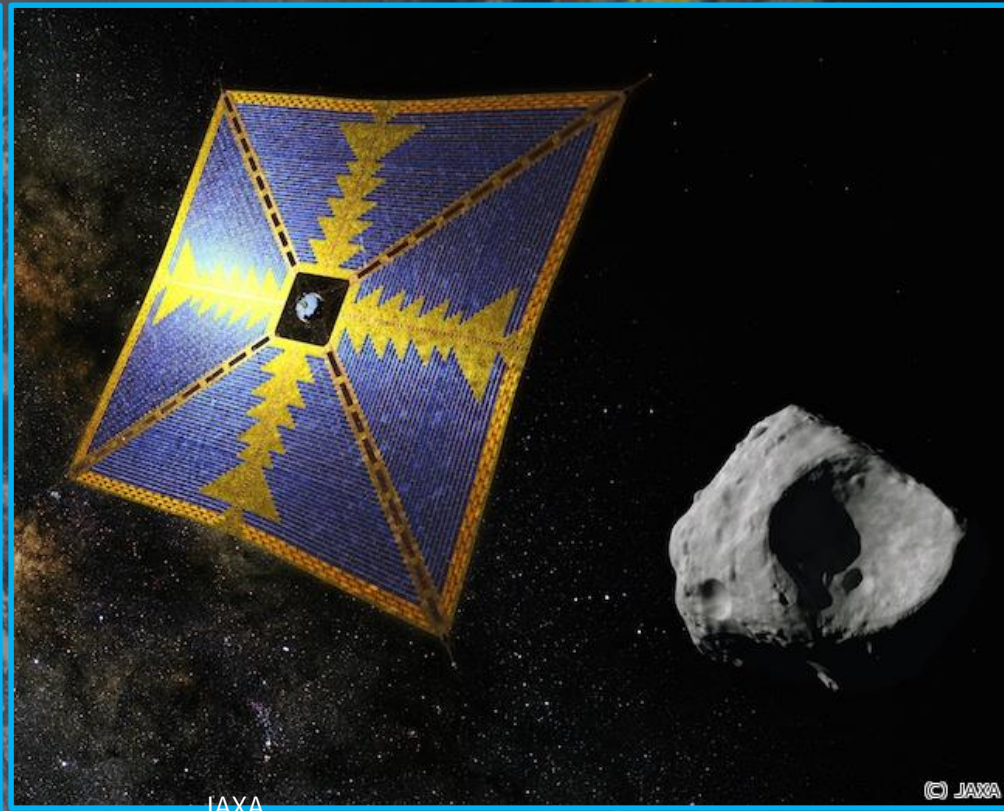
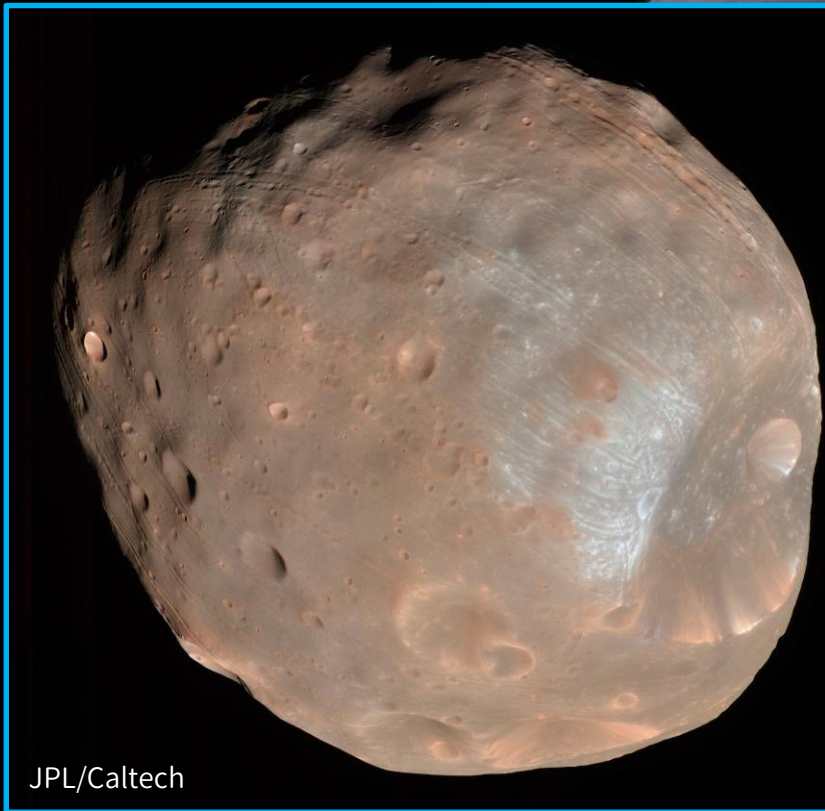
始原的隕石との対応

隕石タイプ	小惑星タイプ
普通コンドライト	S型小惑星
炭素質コンドライト	C型小惑星
タギシュ・レイク隕石 (特殊な炭素質コンド ライト)	D型小惑星

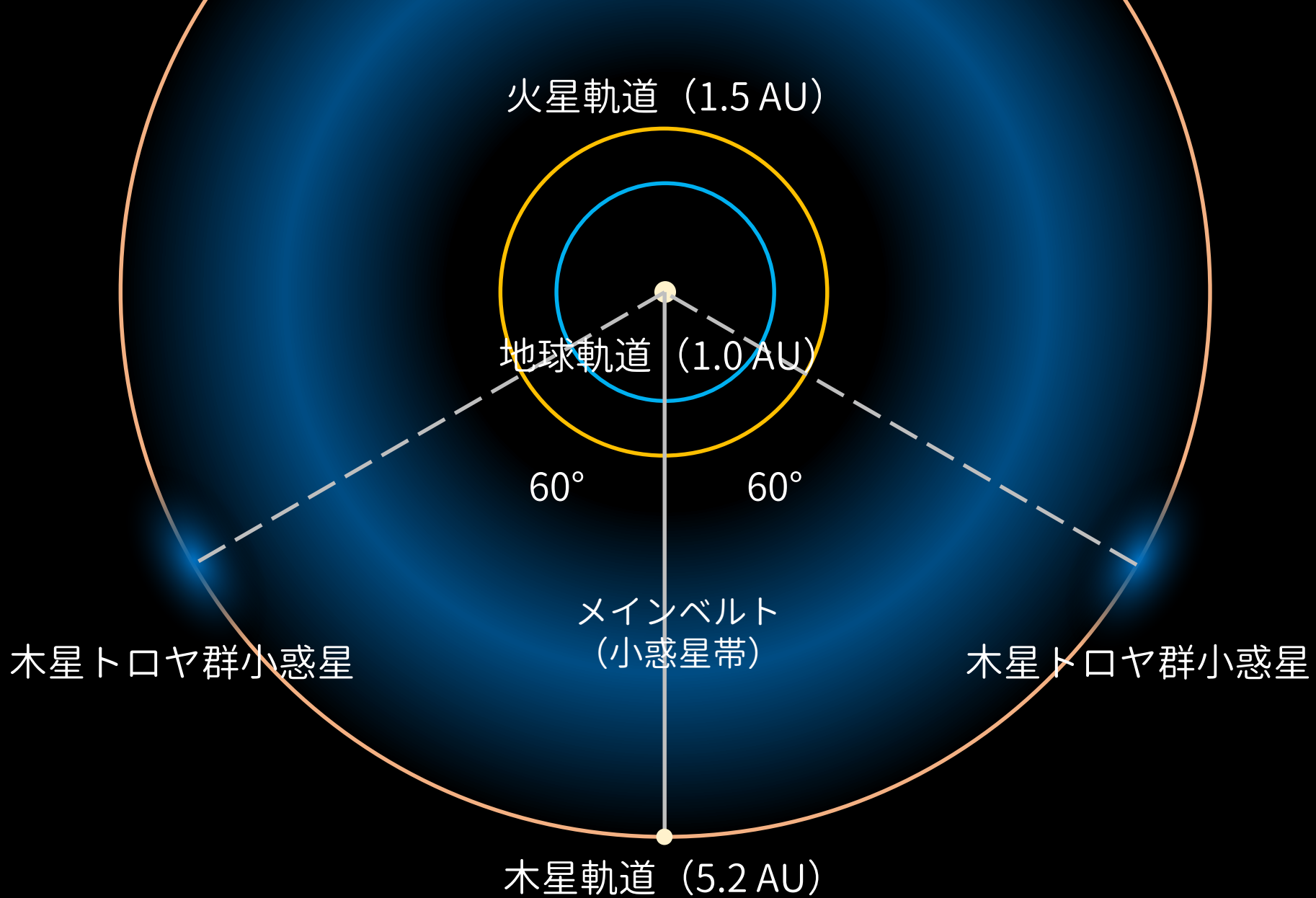
地圈 · 水圈 · 大氣圈 · 生命圈



外太陽系を探る



火星衛星探査 (MMX) 木星トロヤ群小惑星探査
2020年代打ち上げ予定 2020年代の打ち上げ検討



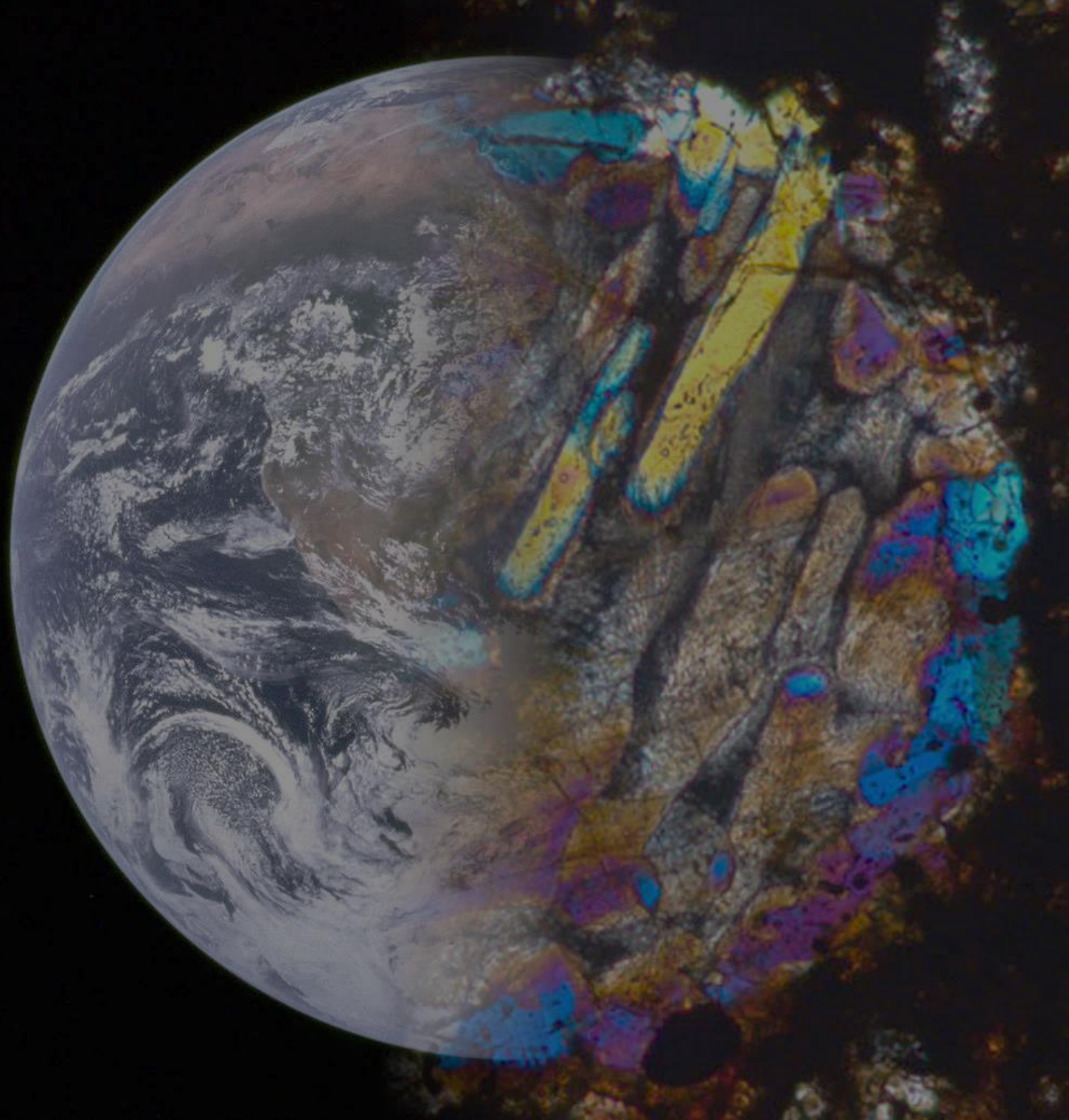
太陽系大変動の記憶



NASA/JPL-Caltech

外太陽系からの有機物移動
(後期重爆撃) はあったのか？

まとめ



参考文献

The background of the slide features a composite image. On the left, a portion of the Earth is visible, showing blue oceans and white clouds. On the right, a detailed, colorful image of an asteroid surface is shown, with various mineralogical features in shades of blue, yellow, and purple.

Binzel *et al.* (1996), “Spectral properties of near-Earth asteroids: evidence for sources of ordinary chondritic meteorites”, *Science*, Vol. 273, No. 5277 (Aug. 16, 1996), pp. 946-948.

Binzel *et al.* (2001), “MUSES-C target asteroid (25143) 1998 SF36: A reddened ordinary chondrite”, *Meteoritics & Planetary Science* 36, pp. 1167-1172.

Bus & Binzel (2002), “Phase II of the small main-belt asteroid spectroscopic survey”, *Icarus* 158, pp. 146–177.

Nakamura *et al.* (2011), “Itokawa dust particles: a direct link between S-type asteroids and ordinary chondrites”, *Science*, Vol. 333, No. 6046 (Aug. 26, 2011), pp. 1113-1116.

Nelson *et al.* (1993), “Review of asteroid compositions” in Lewis, Matthews & Guerrieri, “*Resources of near Earth space*”, University of Arizona Press, Tucson, pp. 493-522.

参考文献



Sasaki (2001),
“Production of iron nanoparticles by laser irradiation in a simulation of lunar-like space weathering”
Nature 410, pp. 555-557 (29 March 2001).

Tholen & Barucci (1989), “Asteroid taxonomy” in Binzel, Gehrels & Matthews,
“*Asteroids II*”,
University of Arizona Press, Tucson, pp. 298-315.

Yurimoto *et al.* (2011),
“Oxygen isotopic compositions of asteroidal materials returned from Itokawa by the Hayabusa mission”,
Science, Vol. 333, No. 6046 (Aug. 26, 2011), pp. 1116-1119.

佐々木 晶 (2002), 「実験で解明した宇宙風化作用：月・小惑星の『色』の変化」,
惑星地質ニュース 2002年 3月号.

廣井 孝弘, 杉田 精司 (2010), 「C型小惑星の探査における可視・近赤外分光の役割」,
日本惑星科学会誌 Vol. 19, No. 1.

参考文献

マイナビニュース, 「この宇宙に帆を広げて - JAXAの『宇宙帆船』が赴くは木星トロヤ群小惑星」

http://news.mynavi.jp/series/solar_power_sail/001/

2016/10/13 閲覧

