



後期重爆撃 -月に残された太陽系の記憶-

北海道大学

理学部

地球惑星科学科

惑星宇宙グループ

本日の目次

1. 後期重爆撃とは(伊藤)
2. 後期重爆撃の発見・証拠(伊藤)
3. 後期重爆撃はなぜ起こったか(松岡)
4. 後期重爆撃で太陽系に何が起こったのか?(松岡)

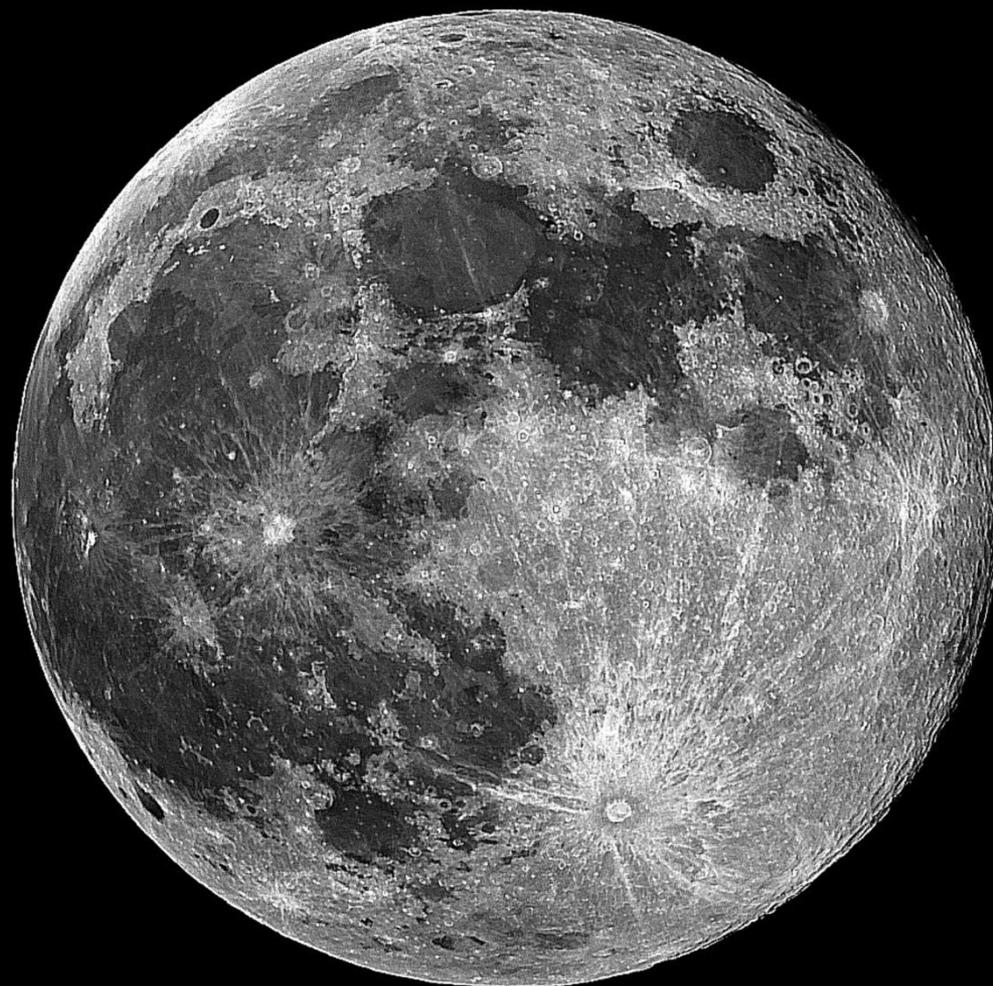
キーワード: 後期重爆撃, アポロ計画, 月隕石,
年代測定法, Nice model, 生命の起源

これは何でしょう？



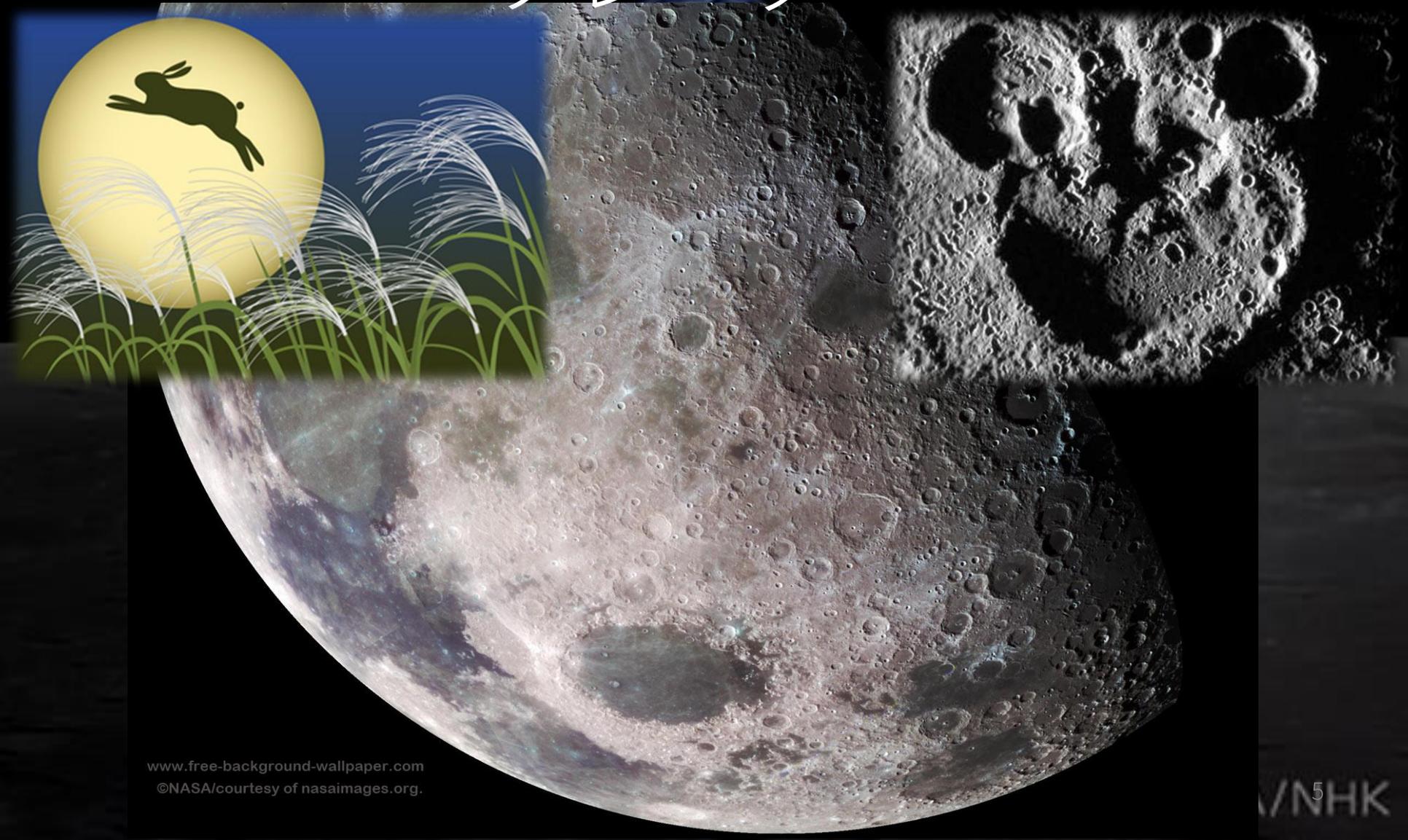
水星

これは何でしょう？



月

水星や月に特徴的な地形と言えば クレーター



月のクレーターの成因は？

1. 火山

2. 天体衝突



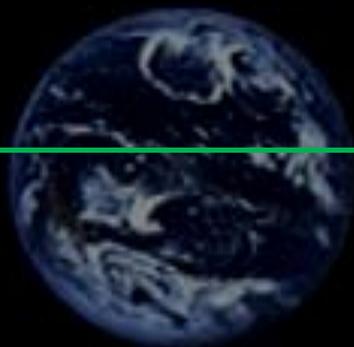
正解は…

1. 火山

2. 天体衝突



衝突クレーター形成



動画

それでは、月のクレーターが一番多く作られたのはいつでしょうか？

1. 46億年前
2. 40億年前
3. 6500万年前
4. 7400年前



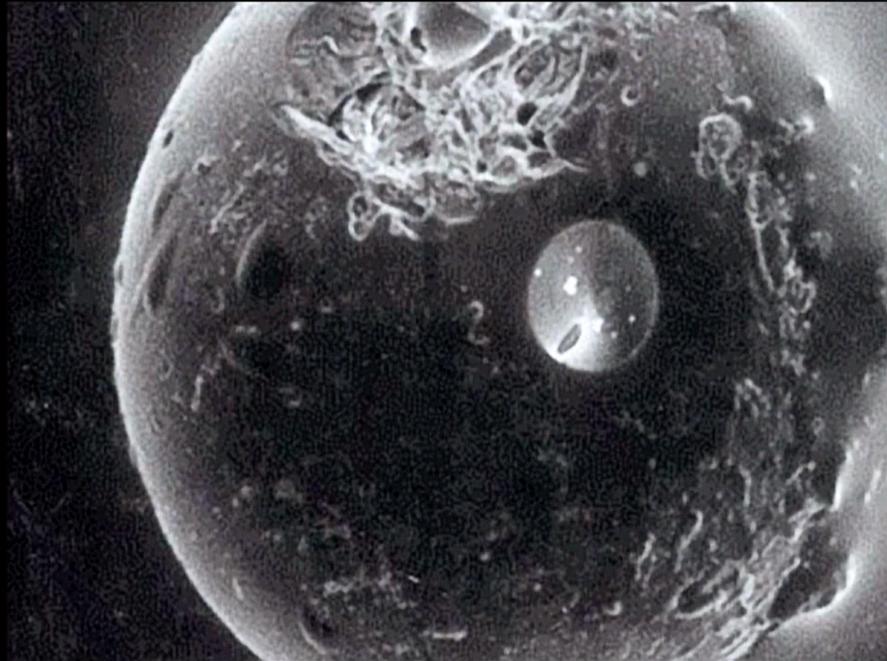
正解は…

1. 46億年前
2. 40億年前
3. 6500万年前
4. 7400年前



証拠1：アポロ計画

月の砂



①天体衝突による
ガラスの形成年代
が38-41億年前に集
中

②40億年より前の
ガラスが少ない

年代測定法

この石はいつできたのだろうか？

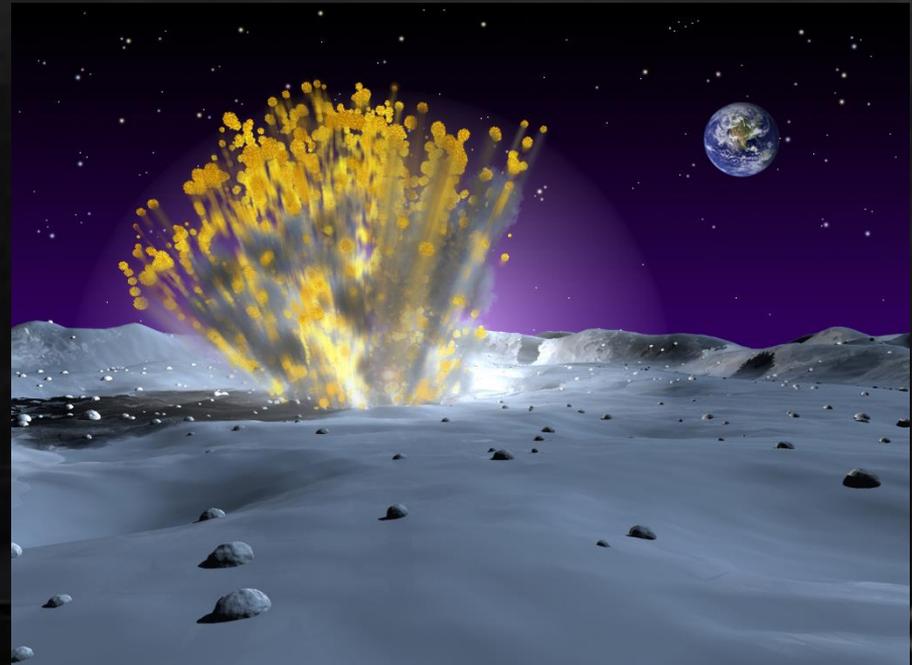
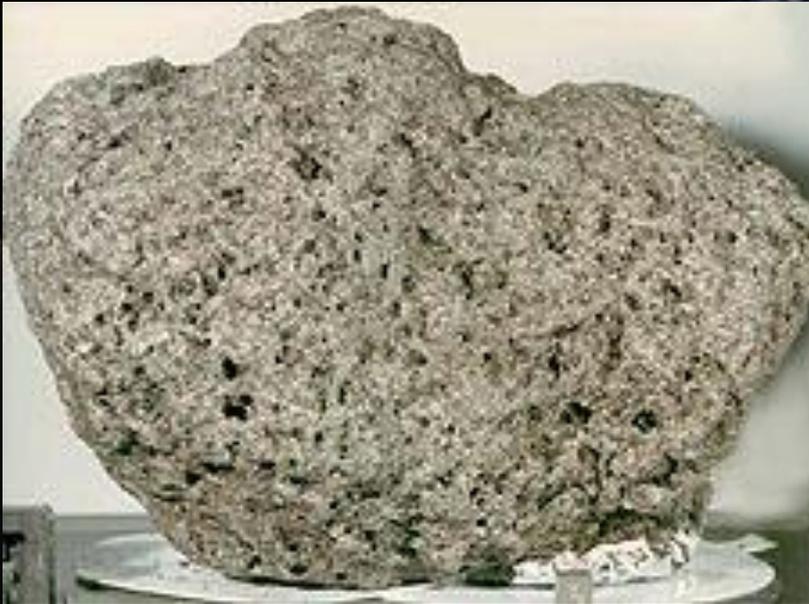


放射壊変によって生成する元素と元の元素の
質量比から年代測定が可能

証拠2：月隕石

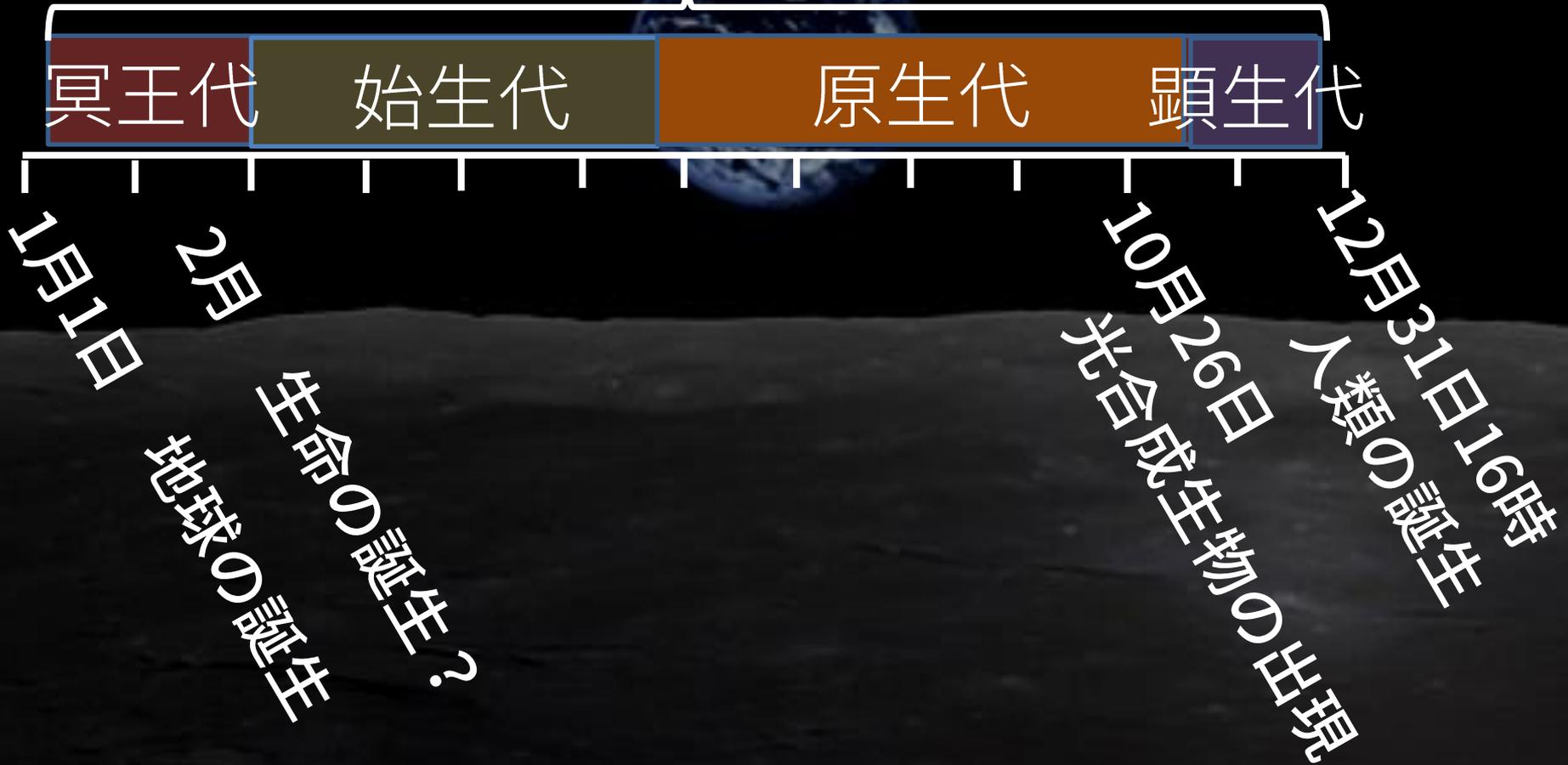
月表面のランダムすなわち
全球的な衝突履歴が分かる

40億年より前の
溶融物が少ない



地球の歴史(地球史)

45億年





月に小天体のシャワー

後期重爆撃

(Late Heavy Bombardment:
LHB)



月の進化史

- NASA : Evolution of the Moon

動画

参考文献 1

- 惑星地質学 宮本英昭他 東京大学出版会 2008年 pp260
- 以下, 使用写真のURL
- 表紙:
https://solarsystem.nasa.gov/multimedia/gallery/solar_system_Cover_rev_40-3.jpg
- 2頁目:
http://www.nasa.gov/centers/langley/images/content/371244main_road2apollo-23_full.jpg
- 3頁目:
http://apod.nasa.gov/apod/image/0803/mercurycolor_messenger_big.jpg
- 4頁目: <http://abqhhh.com/wp-content/uploads/2011/07/moon.jpg>
- 5頁目:
<http://pic.prepics-cdn.com/nana1005/15698954.jpeg>
- <http://www.free-background-wallpaper.com/images/wallpapers/1600x1200/space-backgrounds/moon-crater-space-wallpaper.jpg>
- http://www.i-nekko.jp/Fotolia_16824901_XS.jpg
- 6頁目:
http://www.worldairsafaris.net/images/Ngorongoro_map_crater.jpg
- http://www.nasa.gov/pdf/546140main_ESS5_impactcraters_C1.pdf

参考文献 2

- 9頁目: https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/9/9c/Aldrin_Apollo_11.jpg
- 11頁目: http://static.bbc.co.uk/earthscience/images/ic/640x360/earth_timeline/late_heavy_bombardment.jpg
[https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/7/70/It's_Raining_Cometes_\(Eta_Corvi\).jpg](https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/7/70/It's_Raining_Cometes_(Eta_Corvi).jpg)
<http://terranchurch.org/wp-content/uploads/2015/06/Late-Heavy-Bombardment.jpg>
<http://news.sciencemag.org/sites/default/files/sn-bombardment.jpg>
- 12頁目: <http://blog-imgs-54-origin.fc2.com/m/e/t/metamorphoseislands/2014012904270671a.gif>
- 13頁目: <http://livedoor.blogimg.jp/ihayato/imgs/d/0/d05b0a00.jpg>
- 14頁目: http://www.nasa.gov/images/content/315435main_lunarrock2-226.jpg
- http://www.nasa.gov/sites/default/files/thumbnails/image/139983main_impact_1600x1200.jpg
- 15頁目: <http://www.manabi.pref.gunma.jp/sizen/image/data/data37.jpg>
- 16頁目: <https://www.youtube.com/watch?v=UIKmSQqp8wY>

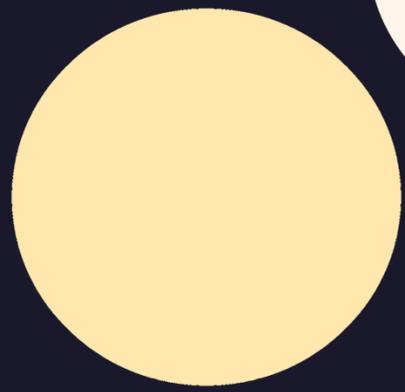


後期重爆撃はなぜ起こったか

太陽系天体おさらい



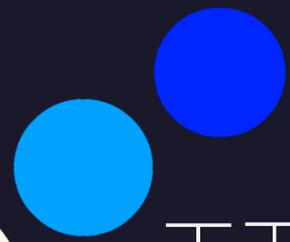
地球型惑星
水・金・地・火



木星型惑星
木・土



天王星型惑星
天・海



後期重爆撃の原因

なぜ、太陽系形成後しばらくたってから
天体爆撃が起こったのか？

1. 惑星の大移動（ニースモデルなど）

—木星や土星の大移動で小天体が散乱された

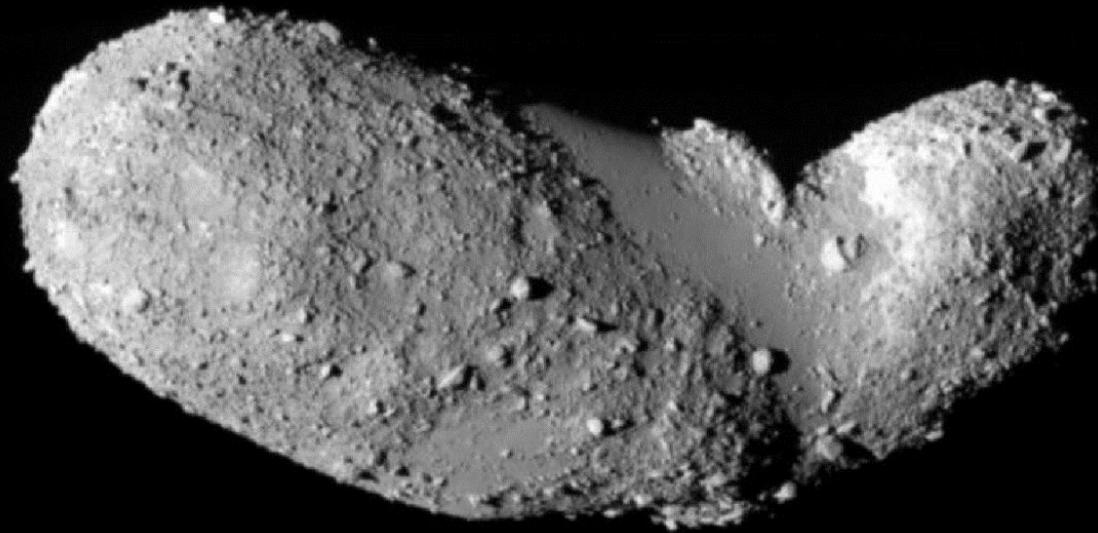
2. 「第五惑星」仮説

—木星と火星の間にかつて存在した「第五惑星」
が小天体を散乱した

3. 天王星型惑星が原因とする説

—天王星と海王星の形成時期が遅いことによる

小惑星

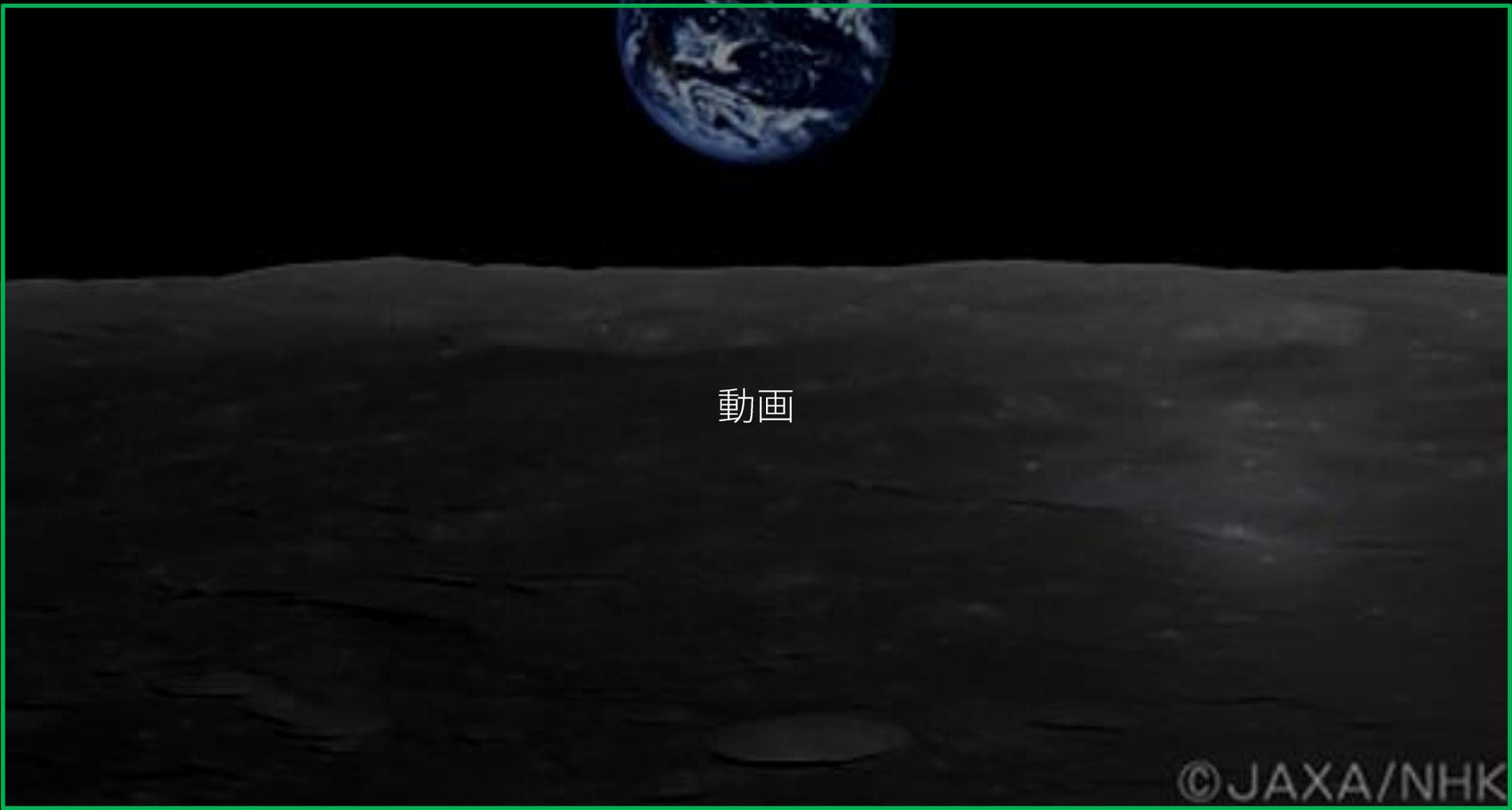


<http://spaceinfo.jaxa.jp/hayabusa/photo/itokawa04.html>

木星と火星の間に多数存在

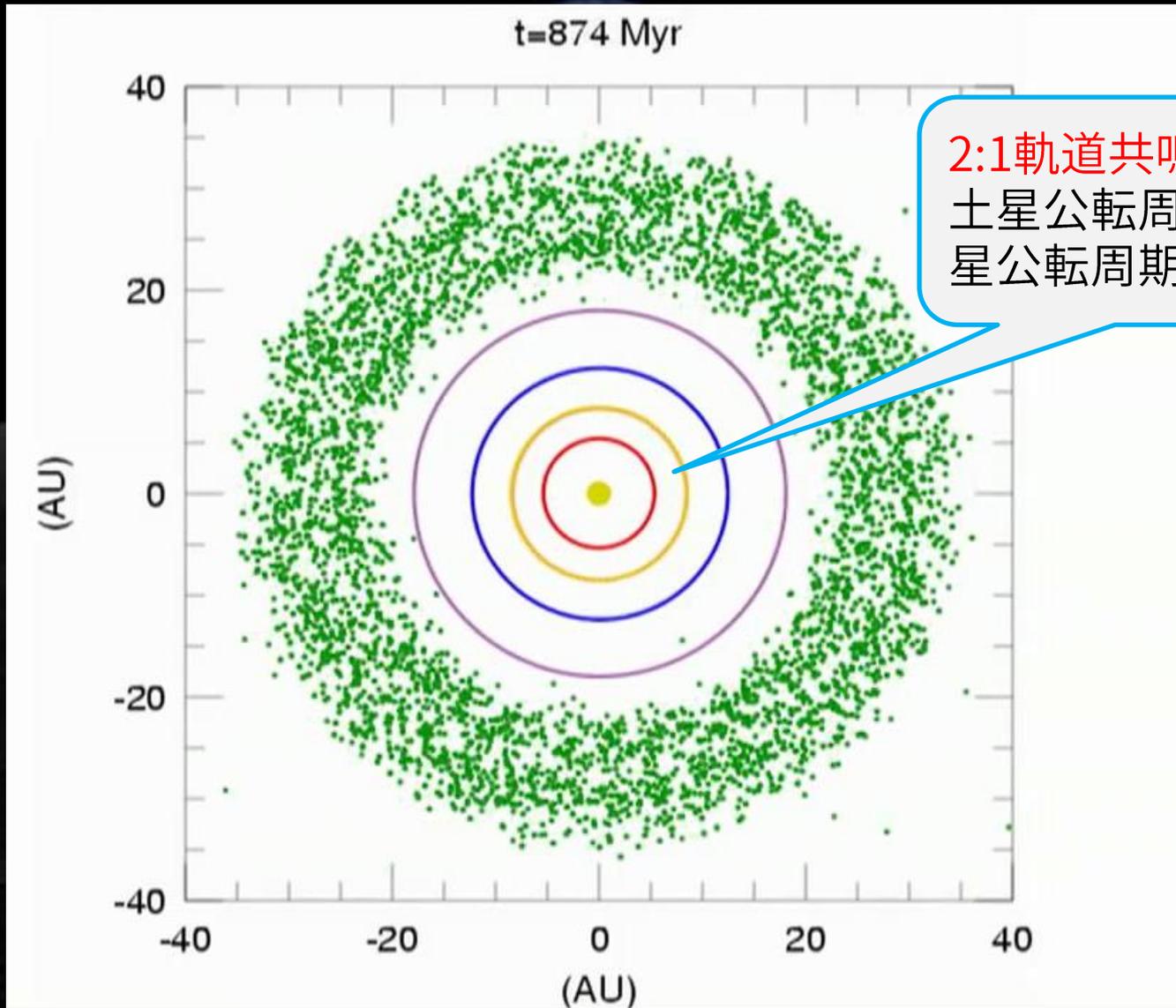
ニースモデル

過去の太陽系における巨大惑星の大移動

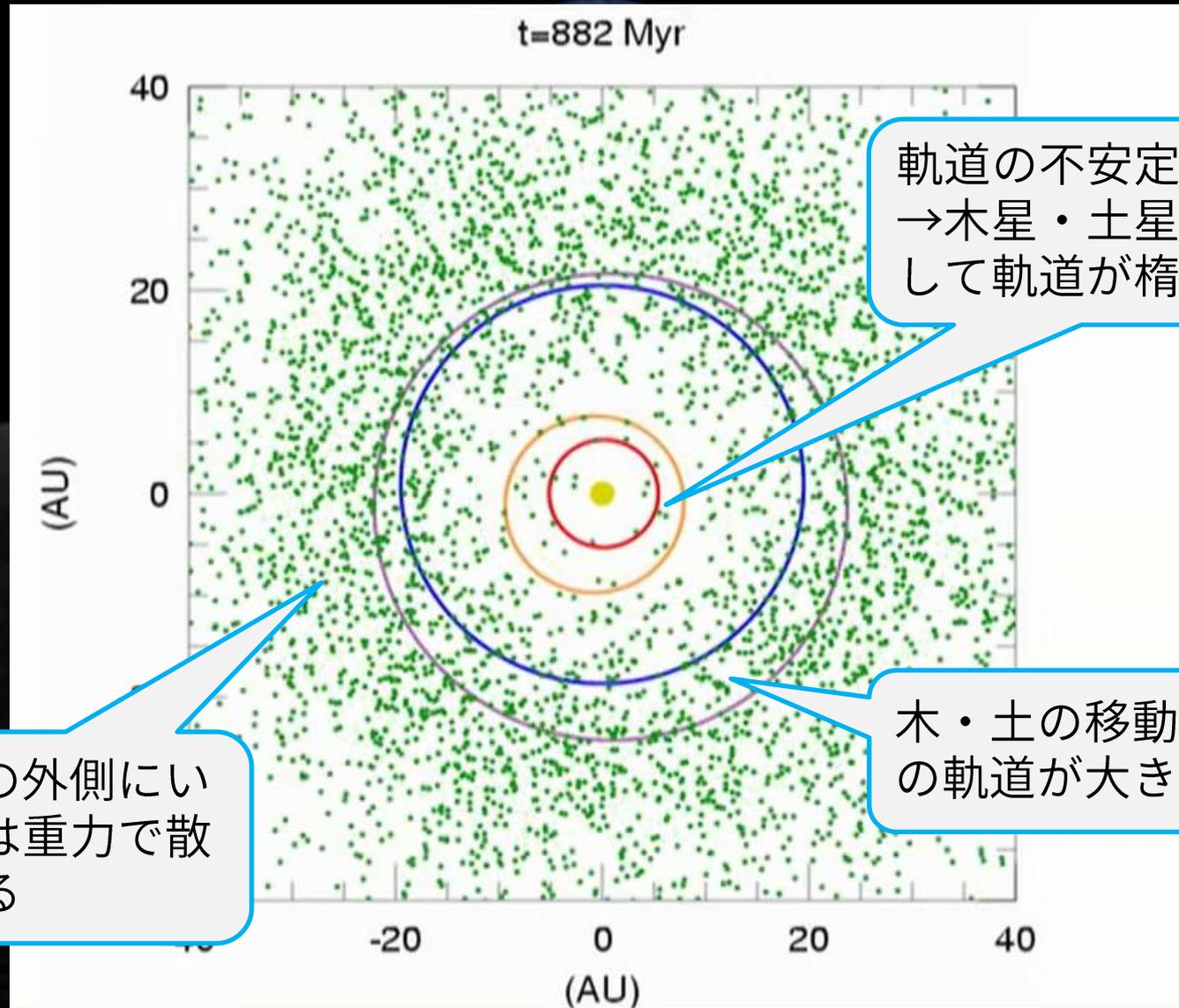


動画

ニースモデル：シミュレーション



ニースモデル：シミュレーション

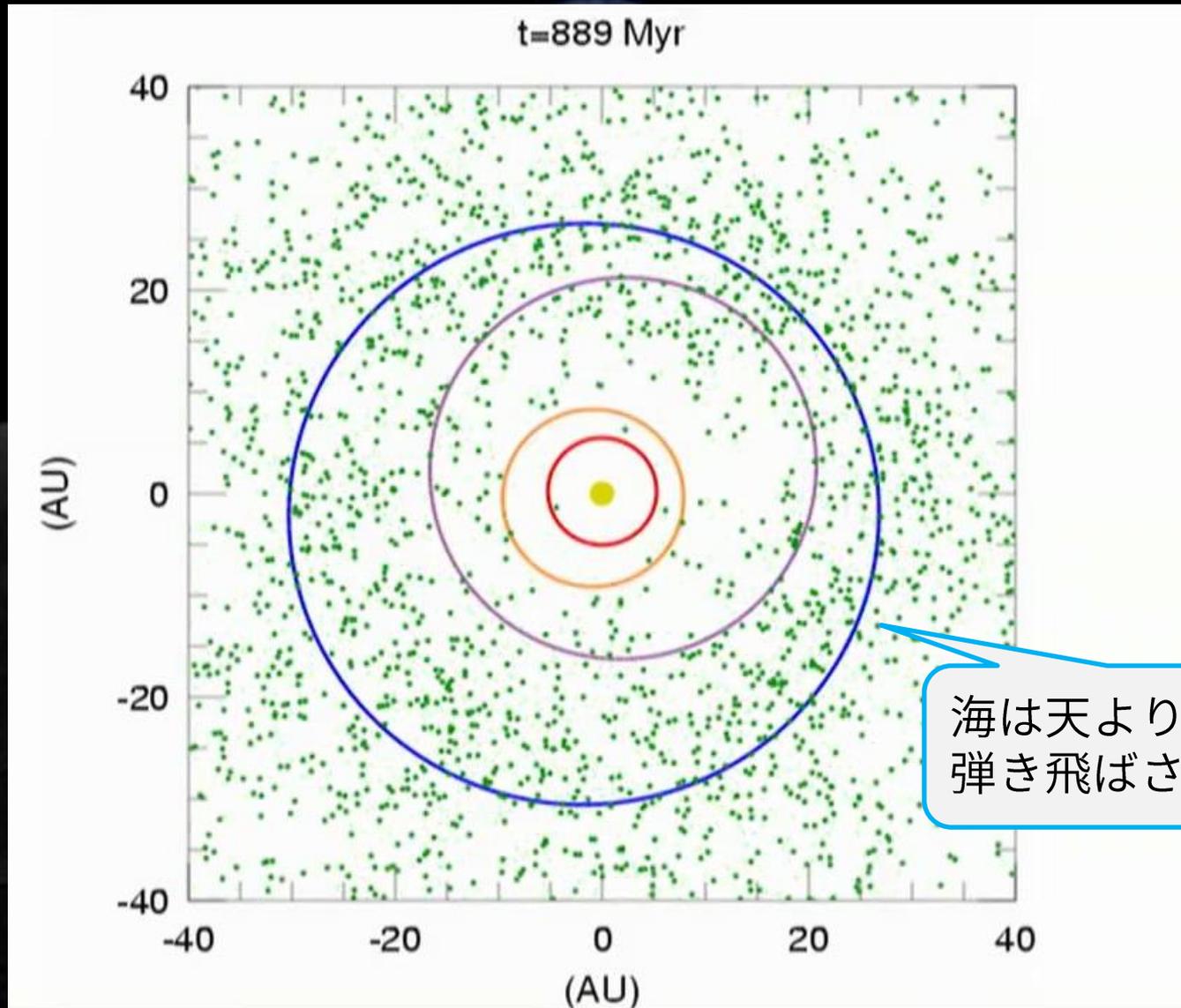


海王星の外側にいた天体は重力で散らされる

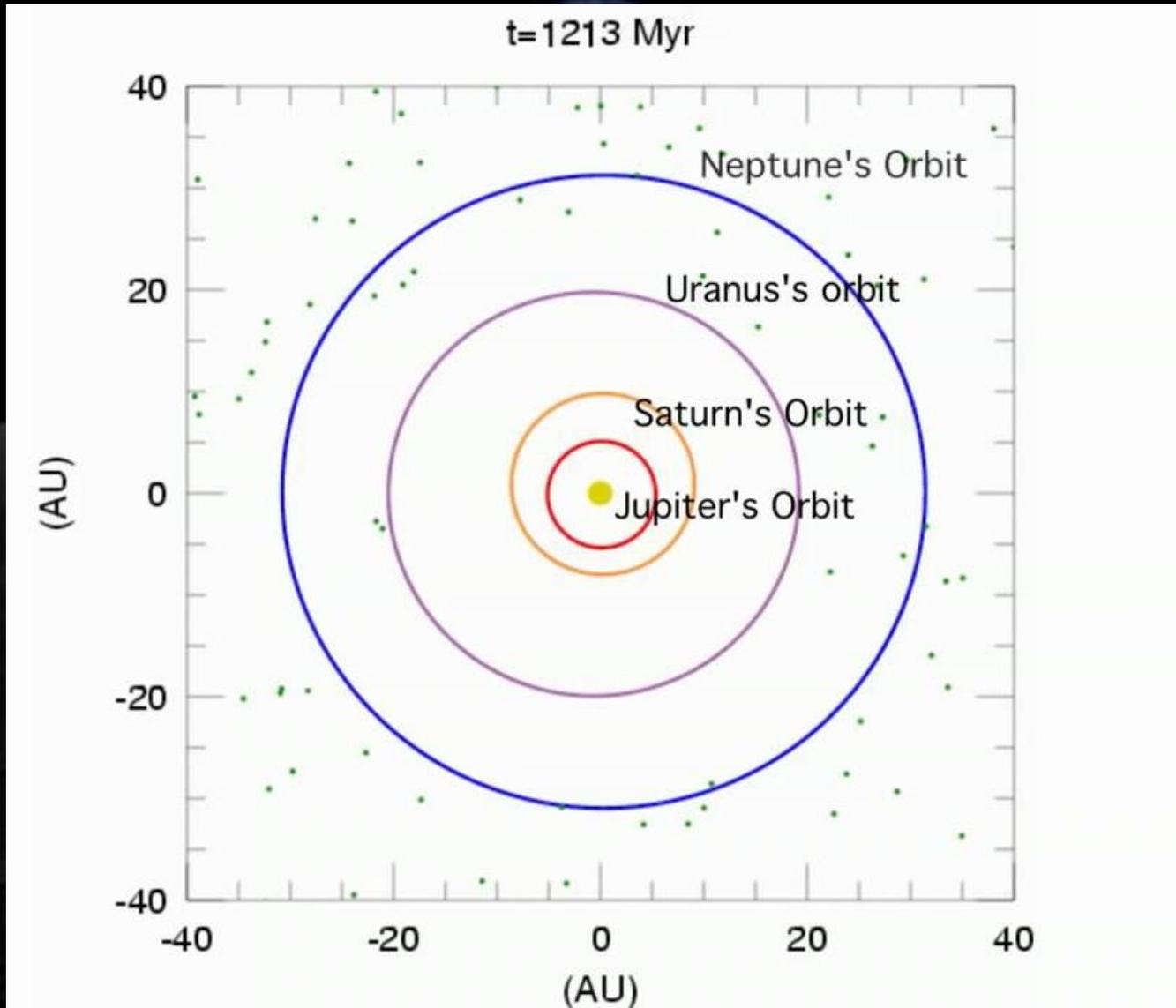
軌道の不安定化
→木星・土星が移動して軌道が楕円に

木・土の移動で天・海の軌道が大きく変化

ニースモデル：シミュレーション



ニースモデル：シミュレーション



ニースモデルと後期重爆撃

ニースモデルで説明可能かもしれないこと

- ・ 海王星の質量が天王星よりも大きい理由
- ・ カイパーベルト天体の起源
- ・ 後期重爆撃期

大惑星が
小天体を散乱

内側に散乱された天体たちは地球型惑星領域へ！！



後期重爆撃

ニースモデル：海王星移動の痕跡

カイパーベルト天体

海王星軌道を帯状に取り巻く天体

冥王星族天体(3:2共鳴)は海王星移動の証拠の可能性

名前	公転周期	海王星比
冥王星	247.5	1.498
イクシオン	247.5	1.498
オルクス	247.9	1.500
フヤ	248.1	1.502
1999TC ₃₆	247.3	1.497
1994JR ₁	246.1	1.489
2003AZ ₈₄	249.9	1.512



地球型惑星と後期重爆撃期

地球への大衝突？

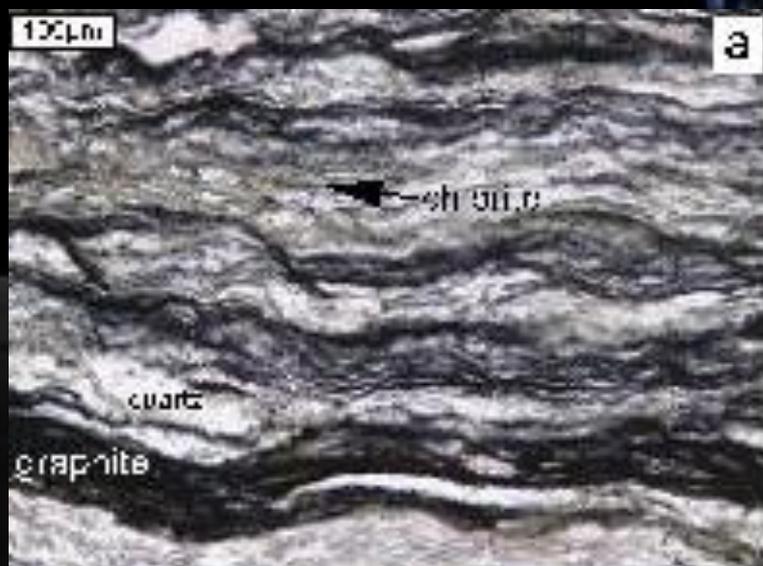


動画

地球生命と後期重爆撃

地球生命の誕生時期

→後期重爆撃の前か後かはわからない



38億年前の生命の痕跡
(グリーンランド・イスア地域)

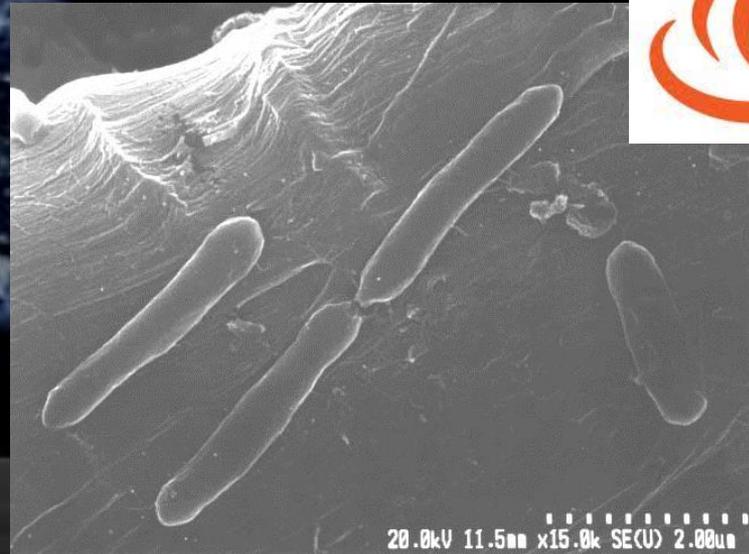
<http://www.sci.tohoku.ac.jp/news/20131209-2632.html>

https://www.atta-v.com/products/detail.php?product_id=2167

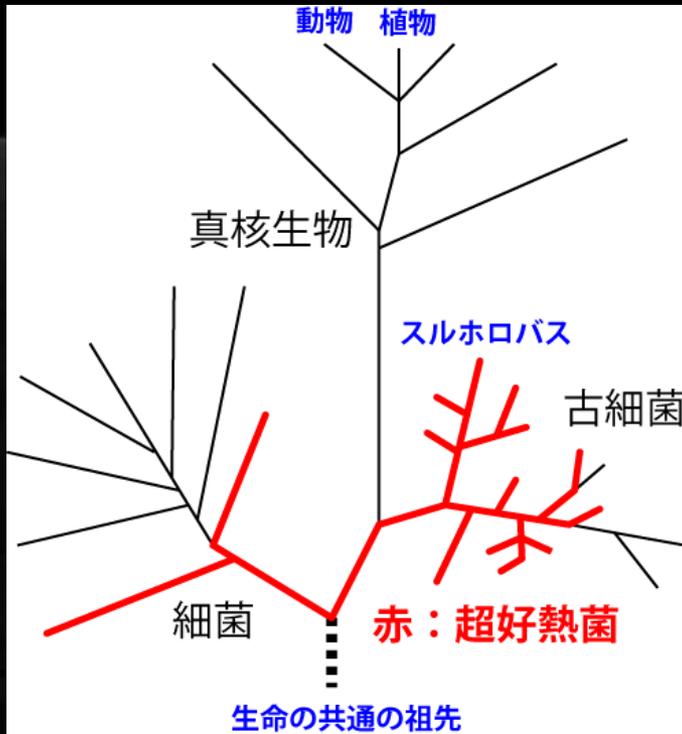


生命の起源

地球生命の共通祖先は
好熱菌だと考えられて
いる



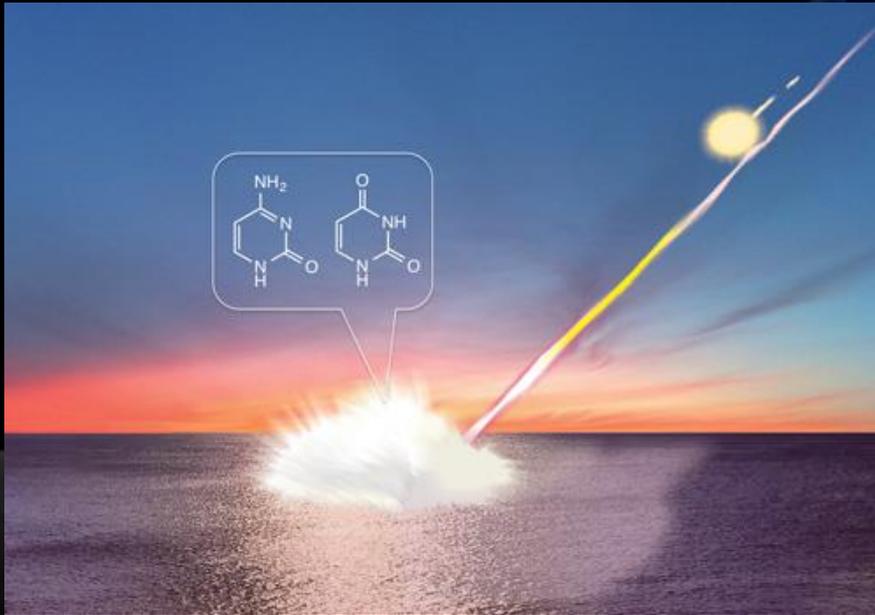
http://www.mls.eng.osaka-u.ac.jp/~bio_ext/kenkyu/hyperthermo.html



https://www.kek.jp/ja/NewsRoom/Highlights/2011/10/19/image_01.png

なぜ好熱菌か？
—LHBを生き延びた可能性
好熱菌だけが生き残り、
現生生物へつながった？

生命の起源



隕石衝突場
→高温・高圧・鉄・水
模擬実験で**核酸塩基**、
アミノ酸の生成を確認

<http://www.sci.tohoku.ac.jp/news/20150818-3651.html>

生命の基となる有機物は
後期重爆撃でやってきた
(**有機分子ビッグバン仮説**)



<http://gendai.ismedia.jp/articles/-/39261>



まとめ



参考文献

宮本 英昭, 平田 成, 杉田 精司, 橘 省吾 「惑星地質学」

科学雑誌 「Newton」 2014年7月号

隕石衝突でDNA構成分子が生成 ～生命誕生前の核酸塩基の新たな生成過程～

<http://www.tohoku.ac.jp/japanese/2015/08/press20150818-03.html>

Solar-System Evolution: The Nice Model (キャプチャ画像)

https://www.youtube.com/watch?v=6LzQfR-T5_A