



惑星探査と野外調査

これからの宇宙飛行士に必要なこと

2015.7.19

知識工学部 自然科学科
(地球科学)

萩谷 宏

目次

- アポロ計画：有人月面探査の成果
- 惑星科学の進展 例：小惑星探査（はやぶさ）
- 岩石や鉱物の証拠
- 惑星探査で何をするのか ー火星での期待
- 野外調査と地球史





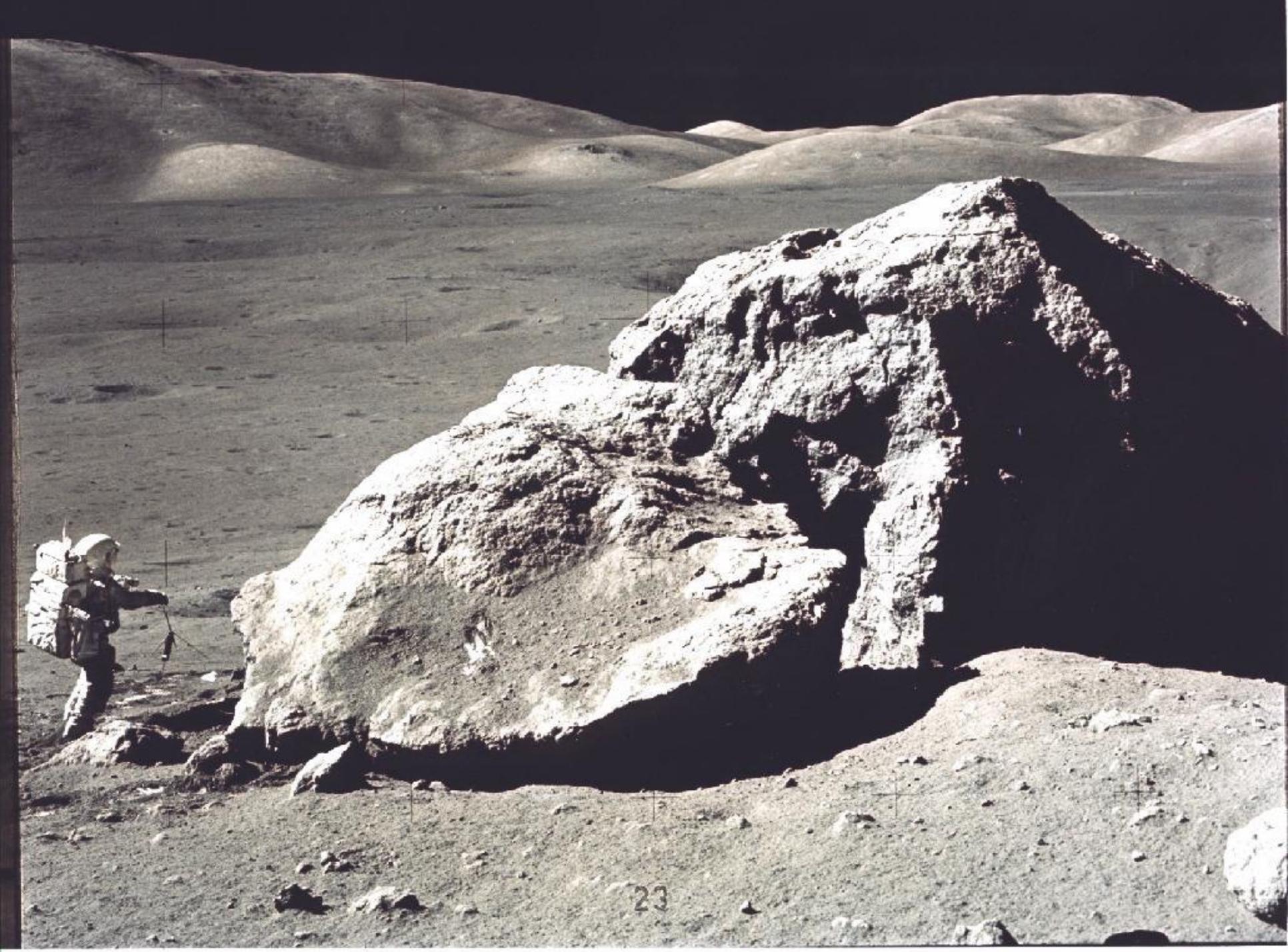
アポロ15号着陸船ファルコンと月面車

アポロ計画での月面探査

- 1969-1972 Apollo 11 – 17 (13号を除く)
合計6回の有人月面探査
- テストパイロット出身の宇宙飛行士
- 17号で唯一の科学者(地質学者)が探査







23



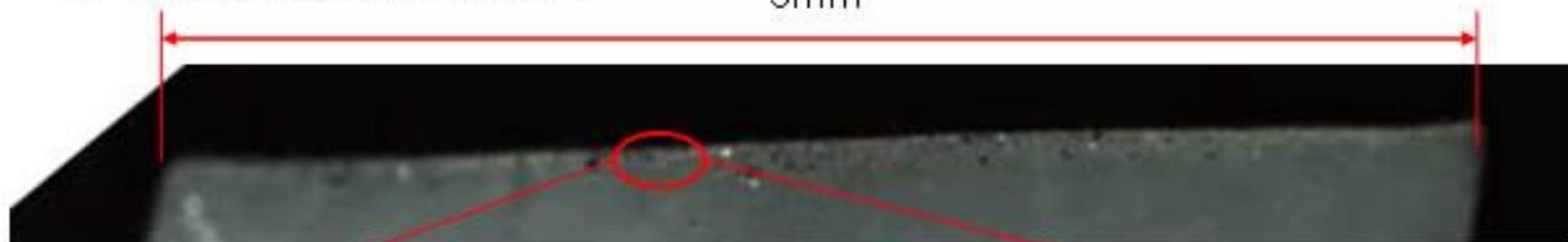
Release 051101-2 ISAS/JAXA

小惑星イトカワ

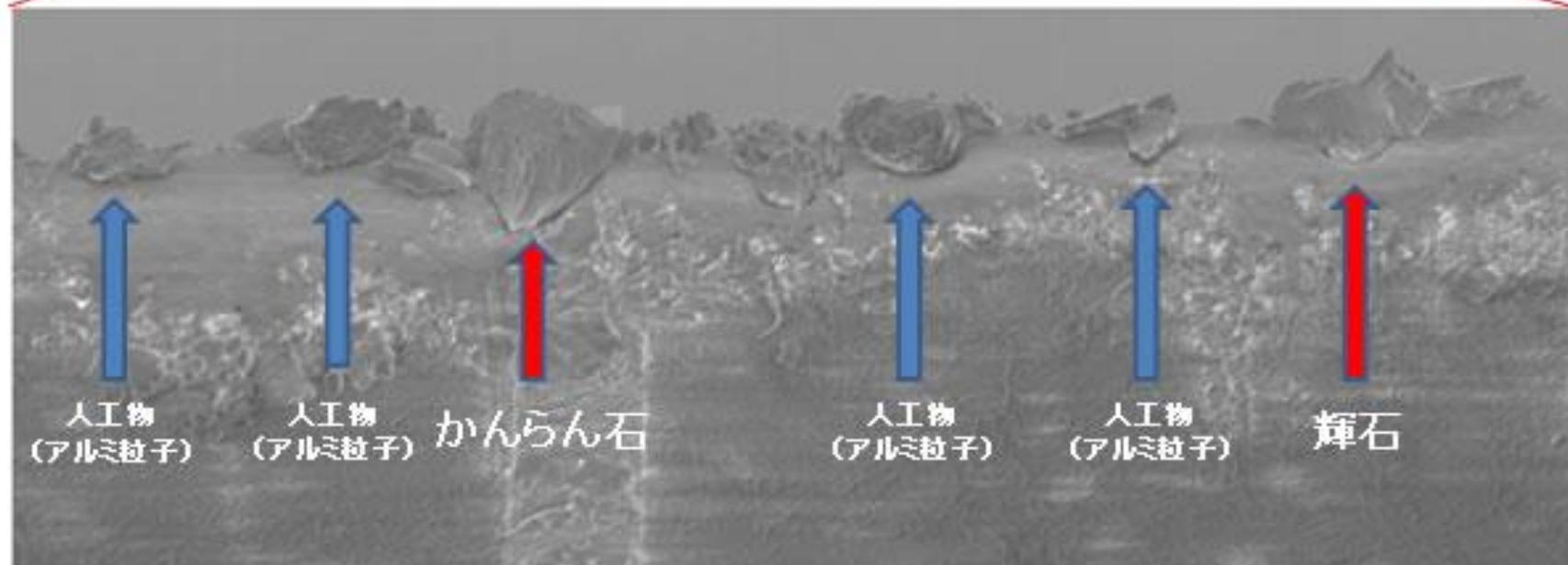
掻き出しへらの電子顕微鏡写真

1. ヘラ先端部の光学顕微鏡写真

5mm

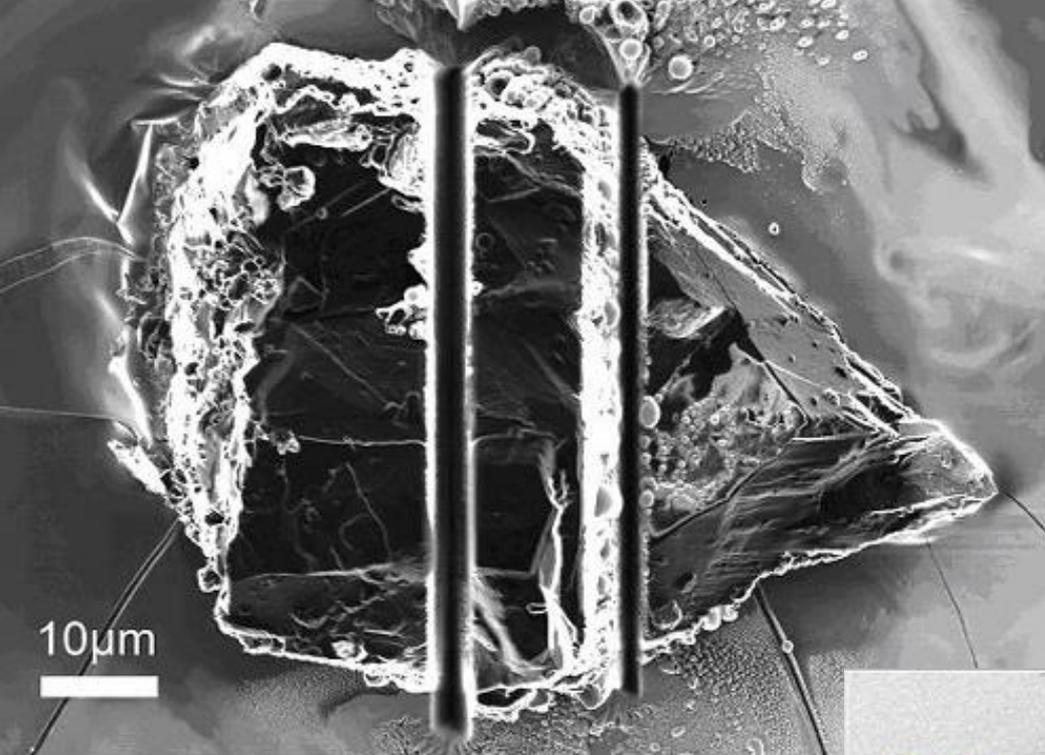


2. 赤で囲んだ部分の電子顕微鏡での拡大写真

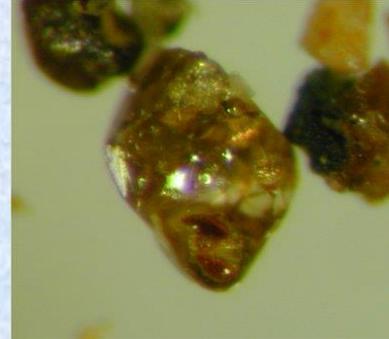


50μm

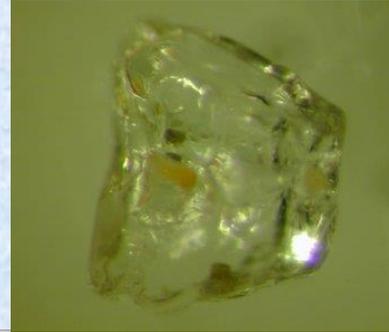
出典: JAXAプレスリリース



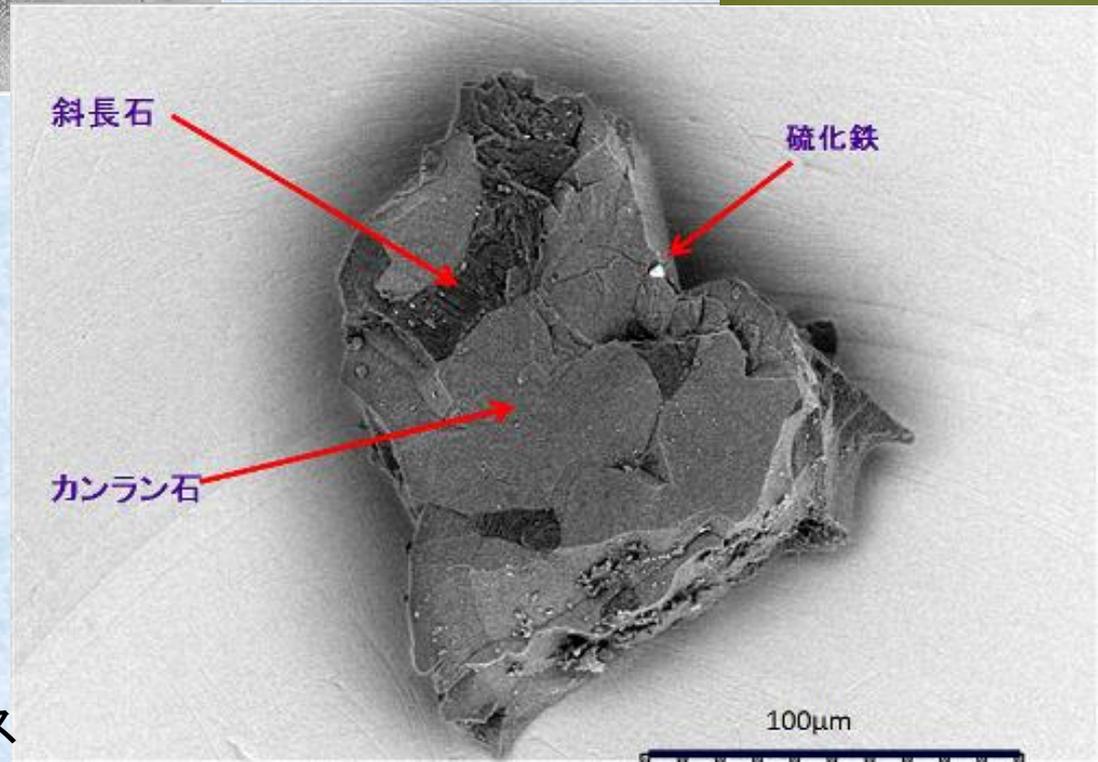
火山灰中の
かんらん石



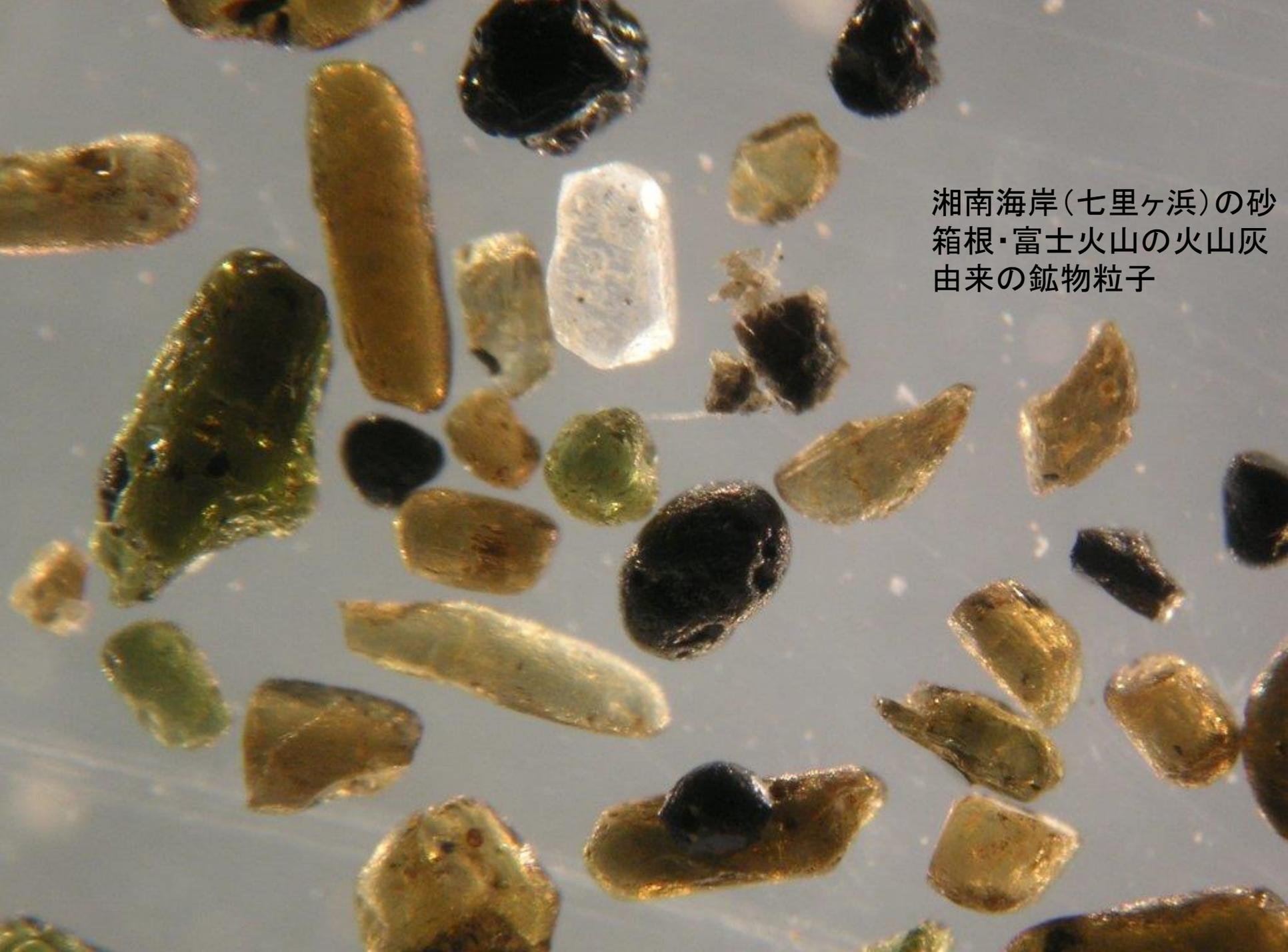
斜長石



「はやぶさ」が持ち帰った
小惑星イトカワの微粒子



モノクロ画像：JAXAプレスリリース



湘南海岸(七里ヶ浜)の砂
箱根・富士火山の火山灰
由来の鉱物粒子

火星探査で期待されること(例)

A)過去に“海”の存在 → 生命誕生の可能性

- 堆積岩／石灰岩や熱水沈殿物の探索
- バクテリアなどの微化石の探索
- 炭素同位体比で生物活動の痕跡を探す

B)地球と異なる惑星・火星の進化を探る

- 火山岩や深成岩などから、地殻の進化を読む
- 地表風化の状況から、大気変遷を推測する

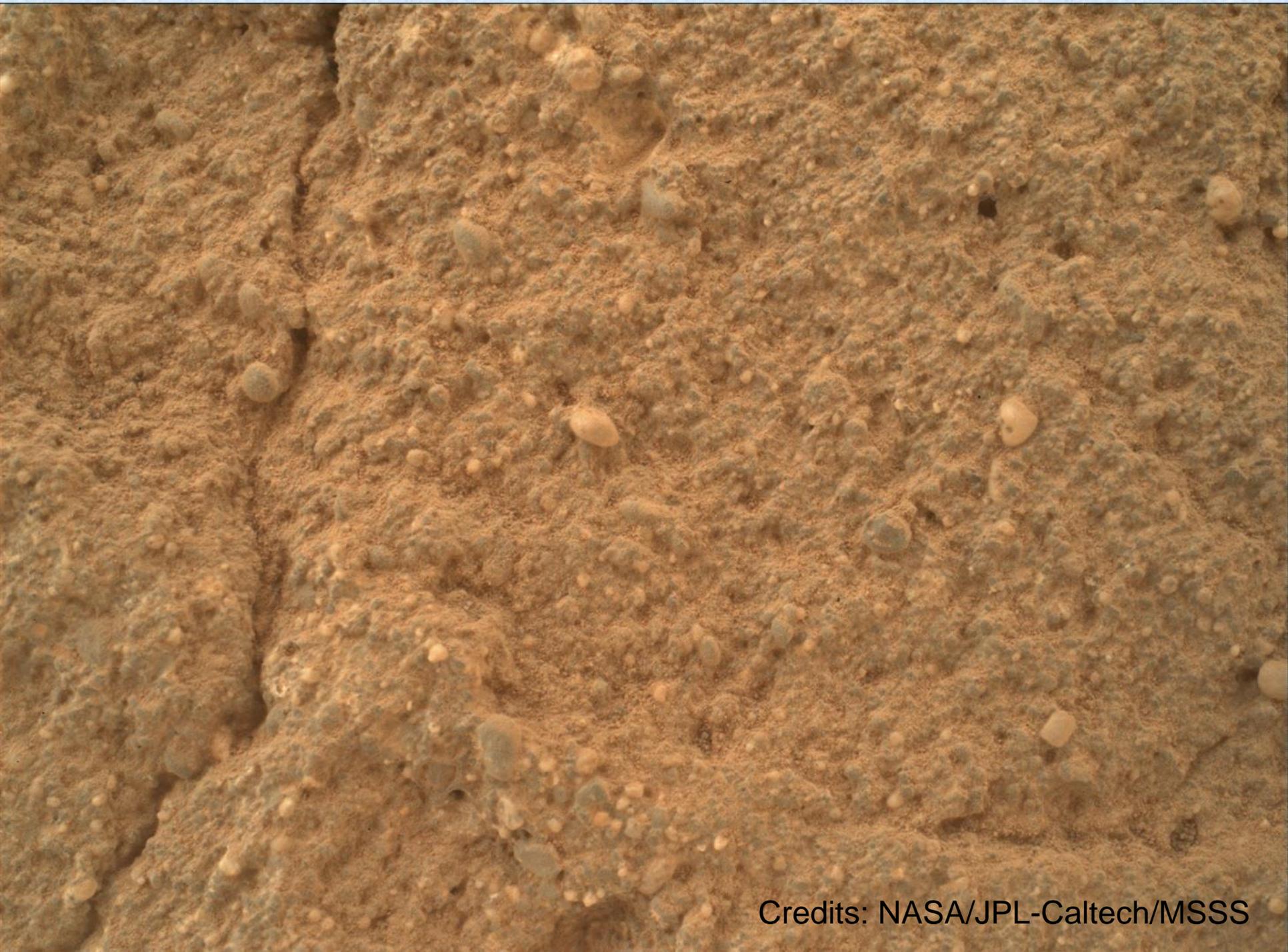


Credits: NASA/JPL-Caltech/MSSS



NASA's Curiosity Mars Rover Studies
Rock-Layer Contact Zone

Credits: NASA/JPL-Caltech/MSSS



Credits: NASA/JPL-Caltech/MSSS



スコットランド・アイラ島北端 6億年前の石灰岩の地層



6億年前のストロマトライト(光合成細菌が作った層状構造)



6億年前のストロマトライト(光合成バクテリアが作った層状構造)

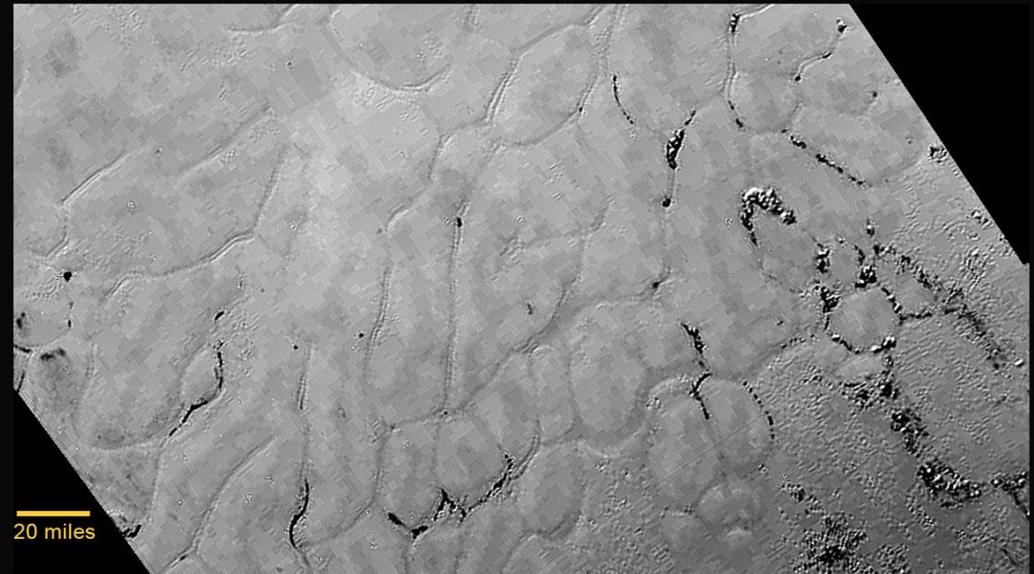
惑星探査で求められるもの

- 何を記録すればいいのか？
ロボットではできない観察を求められる
- 何を採取すればいいのか？
持ち帰るべきサンプルを選ぶ能力・・・基礎知識が必要
- どのように採取すればいいのか？
得られるデータを予測して、それに合った採取方法をとる
- 限られた時間で最大限の成果を
知識、判断力、推理力、体力、自制心、・・・

惑星探査のために

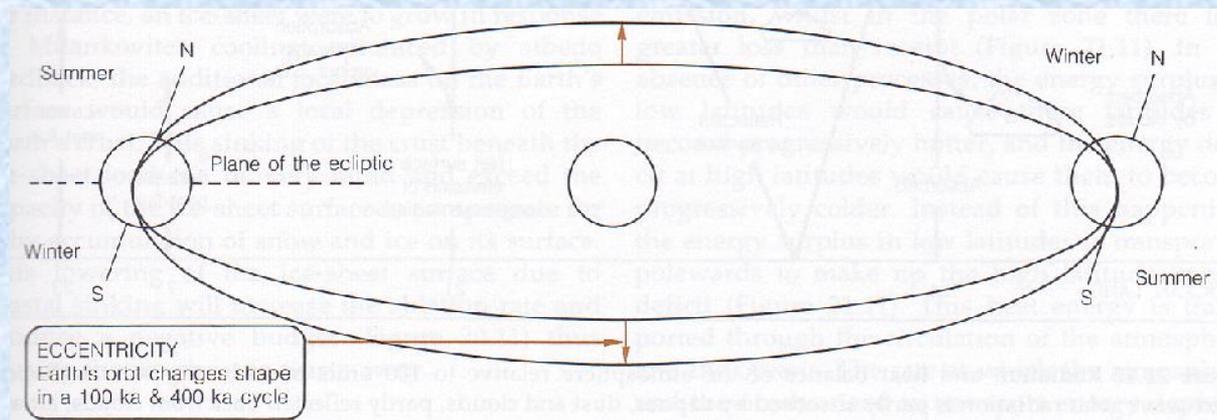
- 地球の岩石と鉱物の知識が基礎
氷も岩石であり、地層をつくる
- 過去の地球の姿を知ることが重要なヒント

画像: NASA/JHUAPL/SWRI



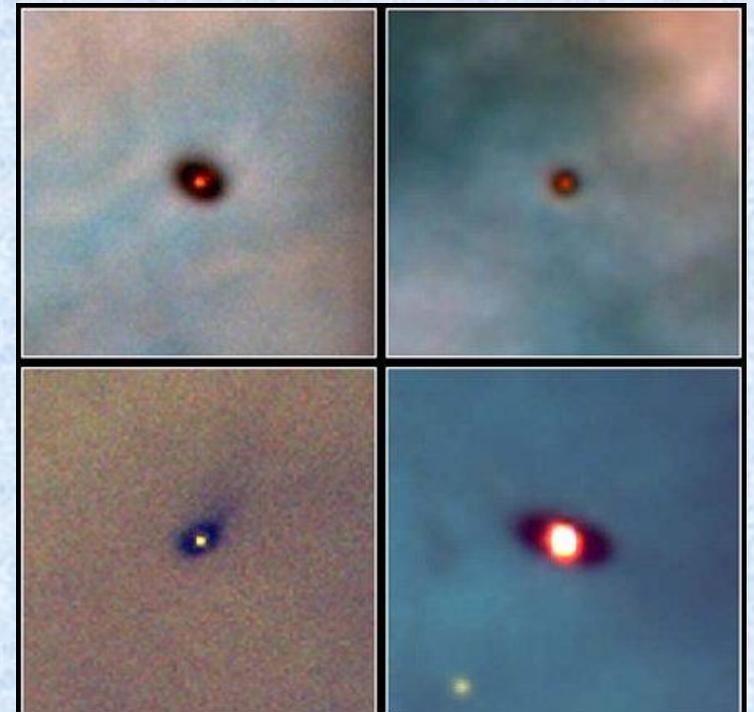
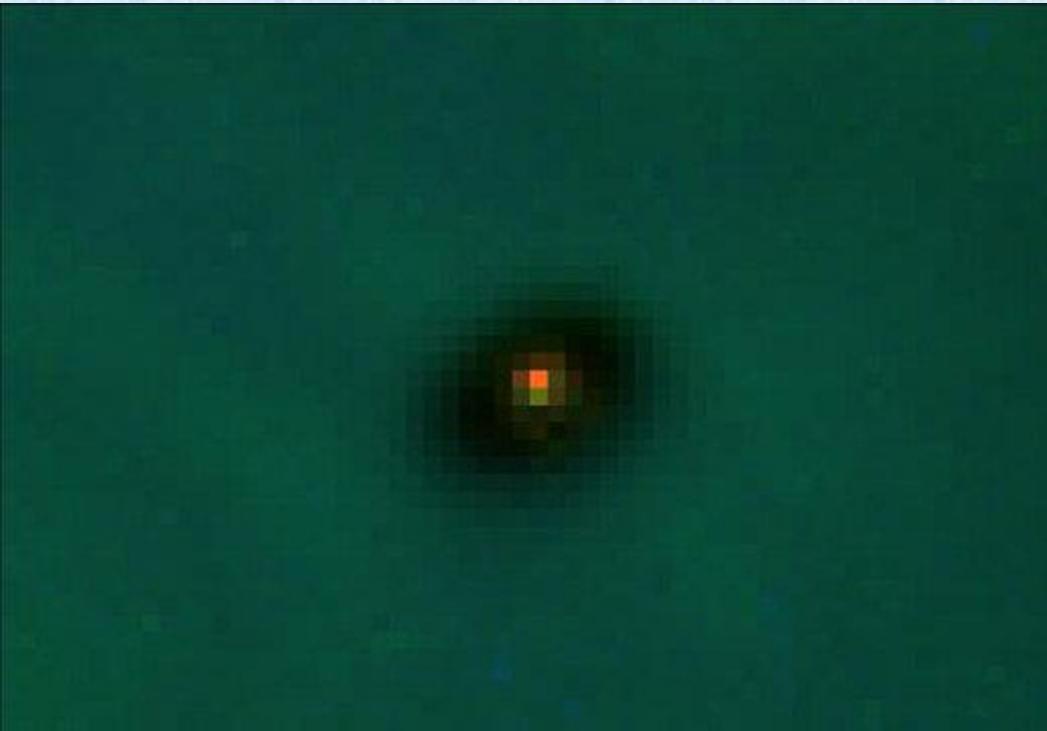
地球史46億年

- 誰が46億回も地球が太陽のまわりを回る数を数えたのか？



原始惑星系円盤

オリオン大星雲で見つかった惑星系形成の様子



Protoplanetary Disks
Orion Nebula

HST · WFPC2

PRC95-45b · ST ScI OPO · November 20, 1995
M. J. McCaughrean (MPIA), C. R. O'Dell (Rice University), NASA

46億年前の太陽系もこんな姿だった？
(ハッブル宇宙望遠鏡)

アエンデ隕石



- 1969年メキシコに落下した小惑星の破片
- 白い部分(CAI)が太陽系最古の物質
→45.66億年前
全体は45.58億年前
- 生命材料の炭素や水を含む隕石

惑星・地球の調査

＜岩石（鉱物）を調べて何がわかるのか？＞

- 地球史の事件が記録されている
- 鉱物が形成されてからの時間がわかる
(微量の放射性同位体の利用)
- ・ ・ ・ 地球史に時間の物差しを入れる
- 大陸の起源、大陸移動の記録
- マントルの進化、プレートの変化、生物進化
- 大気や海洋の記録は岩石に残る

地球史46億年

- 地球は特殊な惑星なのか？



世界最古の地層

- グリーンランド南西部の氷河地帯・イスア地域に露出。38億年前の地層。
- 38億年前に、すでに地球に海が存在していたことがわかる。
- 化石は見つかっていないが、生物起源のものと思われる炭素は発見されている。
- …火星でもこの段階の記録は残っているか？



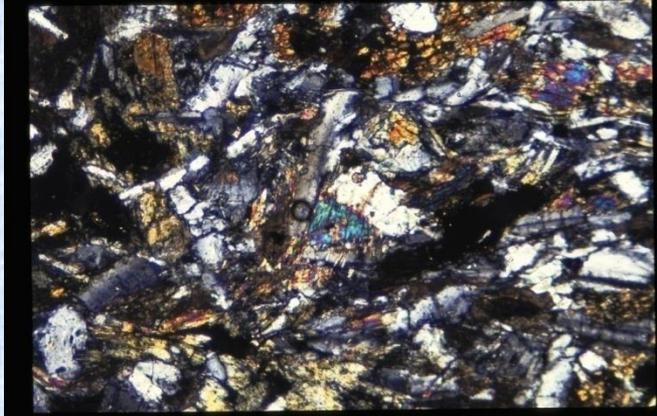
チャート—縞状鉄鉱
の地層に貫入した
玄武岩質マグマ

38億年前の石灰質岩
海洋が二酸化炭素を
吸収していた証拠

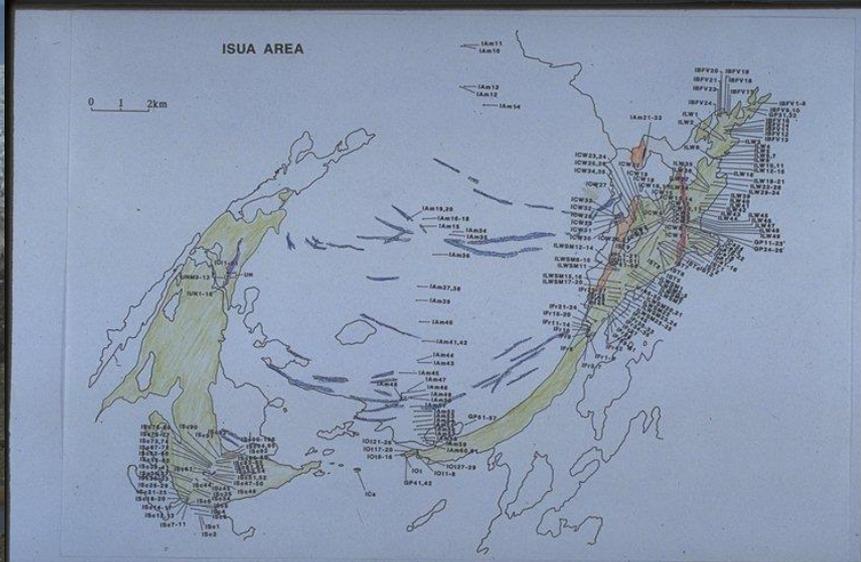


“枕状熔岩”

顯微鏡写真

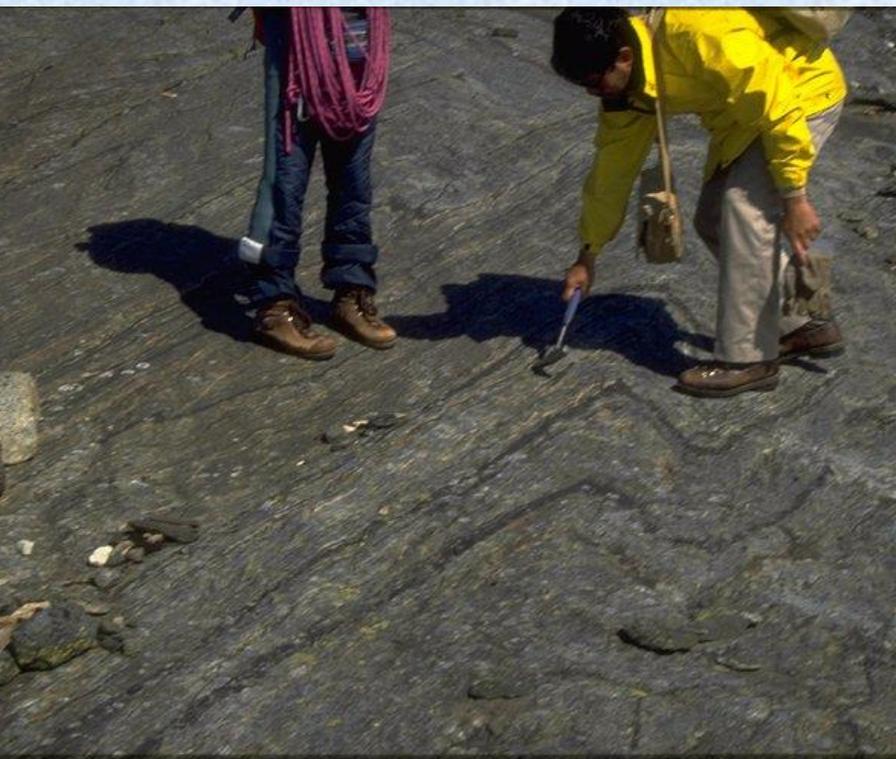


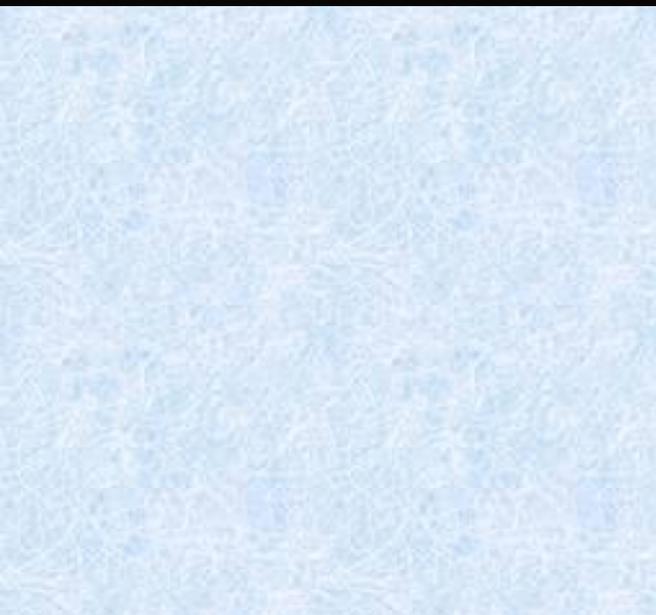
“礫岩”

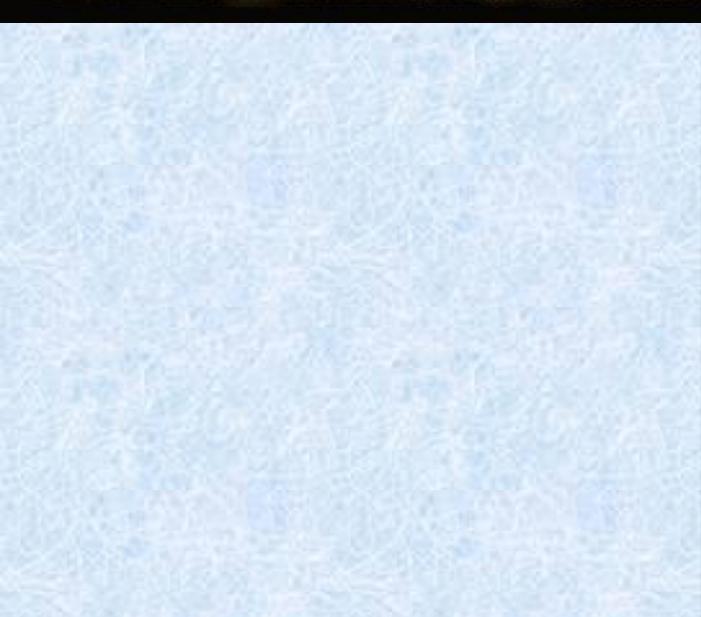


38億年前の縞状鉄鉱層

- ・生物起源の可能性のある炭素を含む地層
- ・誰かが海中に酸素を供給した証拠









35億年前の大陸分裂の痕跡 ・・アメリカク岩脈群



28億年前の大陸衝突の境界
—黒い岩石が“大陸”にはさまれた海洋地殻

グリーンランド・イスアの地層

- 38億年前に、すでに地球に海が存在していたことがわかる。
 - …れき岩、枕状熔岩、石灰岩など
- 酸素を出す光合成生物がいた??
- 当時、現在と同じような大陸と海洋の地殻ができていたことがわかる。
- プレート運動もあった…変成岩として保存
- 37-35億年前には大陸が存在、衝突合体

地質学：地球の過去を探る →未来への手がかり

- 地球科学(地質学)

地層や岩石、氷から、過去の地球の様子を読み取る

- 地球の大気や海洋、表層環境の変化、大陸の動き、生物の進化がわかる
- 現在のわれわれの置かれた状況を知る
どうしたらよいのか？ヒントを過去に探る

生物がつくる地球環境

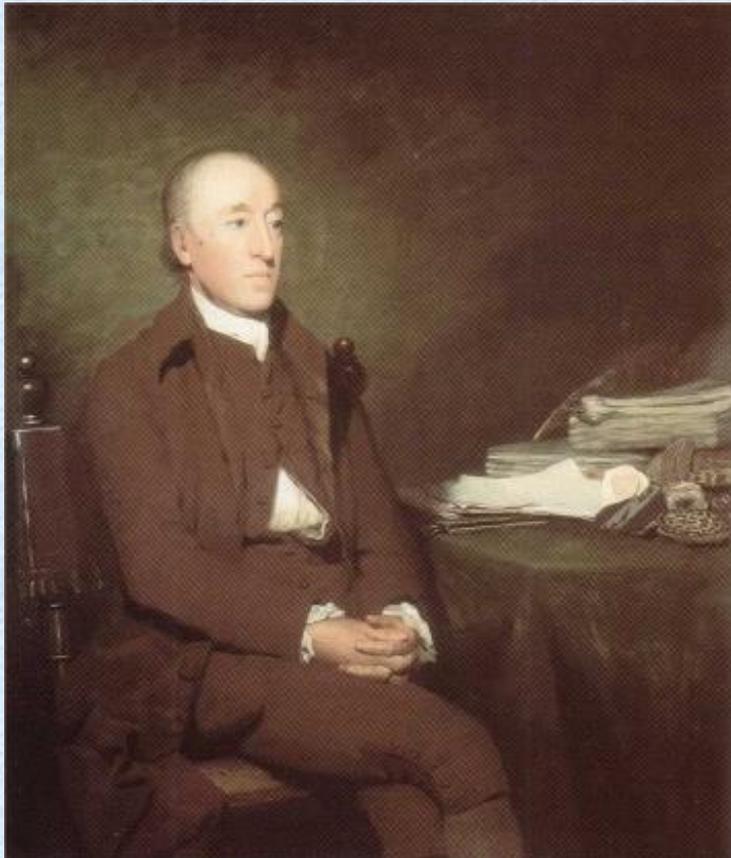
- 地球の歴史の最近10%は、生物活動で表層の条件がコントロールされてきた
- 石炭も石油も石灰岩も、酸素の多い大気も、みな生物の産物

…地球が他の惑星と異なる最大の特徴

地質学発祥の地：スコットランド



“地質学の父” ジェームズ・ハットン (1726-1797)



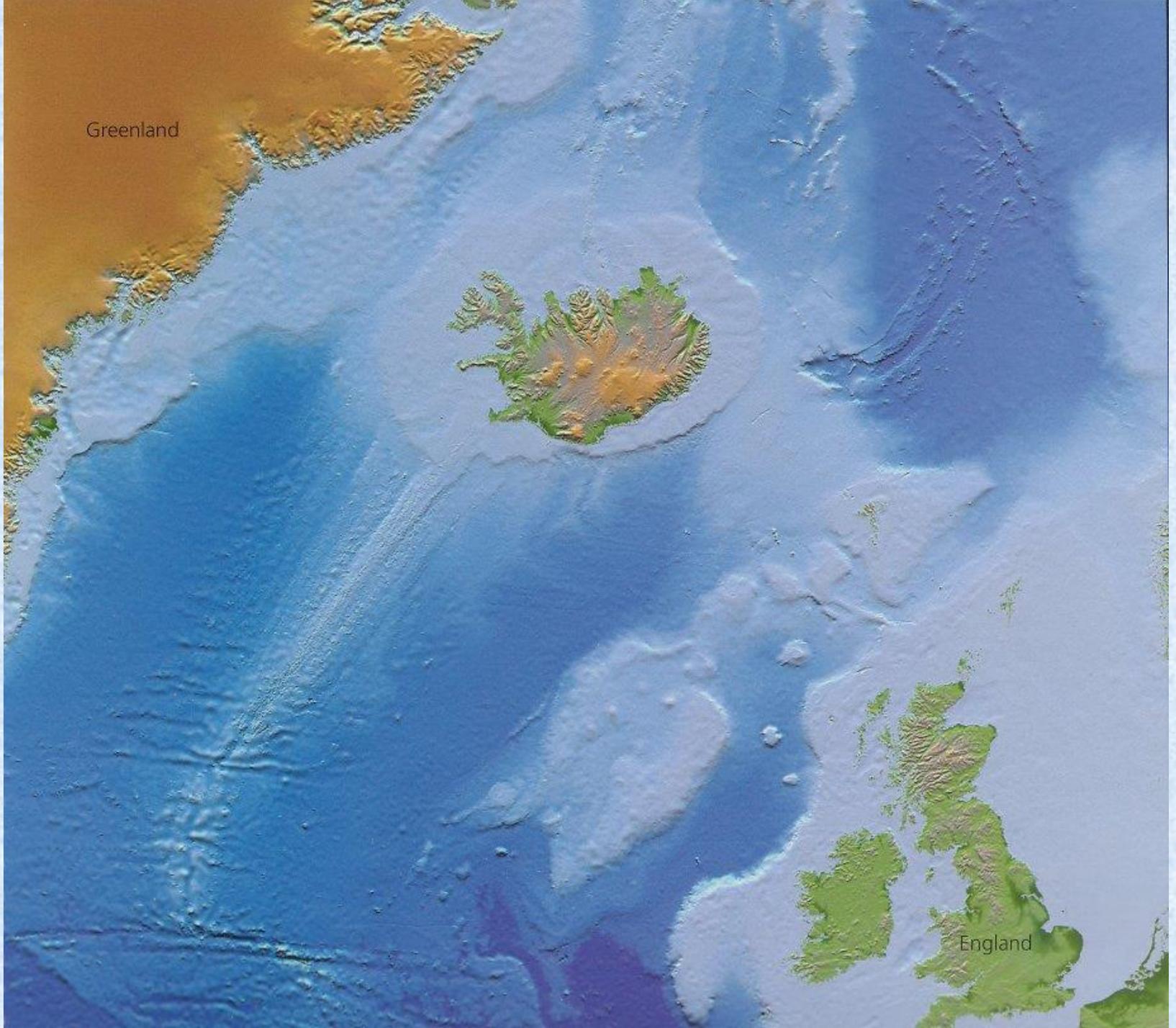
著書: Theory of the Earth

聖書が絶対の権威を持っていた時代に、地球の歴史は聖書にある6000年ではなく、はるかに長い時間をかけてつくられていることを、地層や岩石の証拠から論証した

(斉一説の提唱)

Greenland

England







植物の陸上進出の意味

地球の大気の約20%は酸素

・・・この酸素は誰がつくったのか？

- 現在の生物量：熱帯林で70kg/m²
- 現在の酸素量：大気圧から2000kg/m²

→全ての生物を燃やしても、酸素は1%くらいしか減らない（CO₂は数倍に増えるが）



石炭紀(3.2億年前)の石炭と植物化石





Evolution

412

Giant horsetail

An ancient fern ally and a tale of familiar weeds

Equisetum myriochaetum









Arthropleura Hunterian Museum, Univ. Glasgow

石灰岩の役割

・・・二酸化炭素の貯蔵庫

- 地殻に存在する石灰岩をすべて分解すると、40気圧分の二酸化炭素が発生する
 - 石灰岩がつくられる量と、風化により分解する量のつりあい
 - マントル内部に持ち込まれる量と、火山ガスで放出される量のつりあい
- このバランスが変化すると、気候に影響

小笠原諸島

- 「東洋のガラパゴス」
- 固有の動植物、特殊な地質、岩石
…世界自然遺産認定
- 移入動植物の問題
 - 固有の生態系保全の必要性
- 海洋に孤立した生態系と進化のしくみ

(2011.3, 2012.9, 2013.9に実施。参加20名)





小笠原諸島一南島 約4000万年前の石灰岩

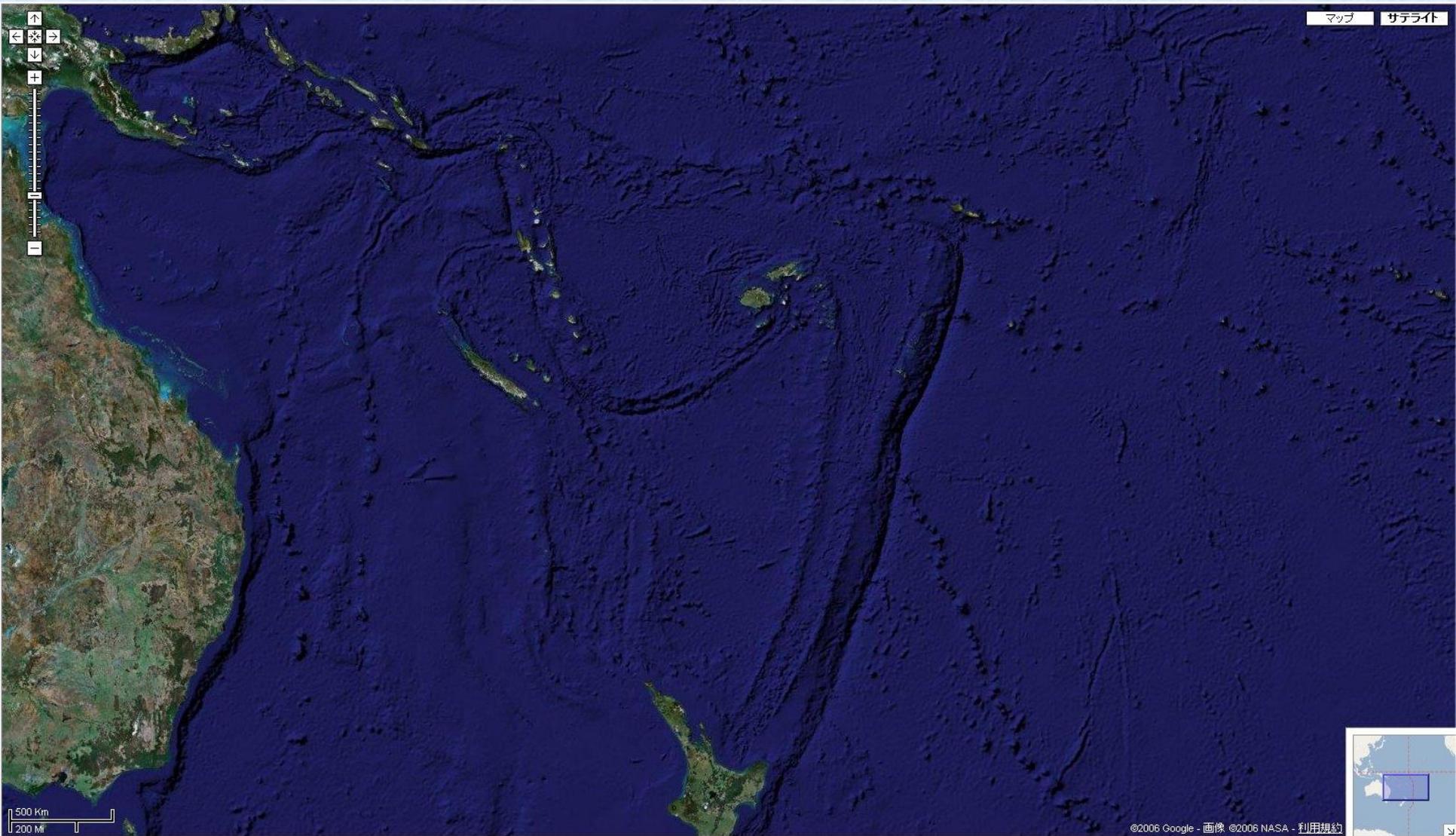




フィジー諸島

・・・サンゴ礁の役割を学ぶ

- 南太平洋の島国。メラネシア。
- 熱帯、雨季と乾季の変化がある。
- 1000m級の山脈。330の島。
- 4000万年前からの地層が露出。
- 島弧の火山活動と島弧の衝突で形成。
 - ・ ・ 日本に似た構造、地質。



マップ

サテライト

500 Km
200 Mi

©2006 Google - 画像 ©2006 NASA - 利用規約



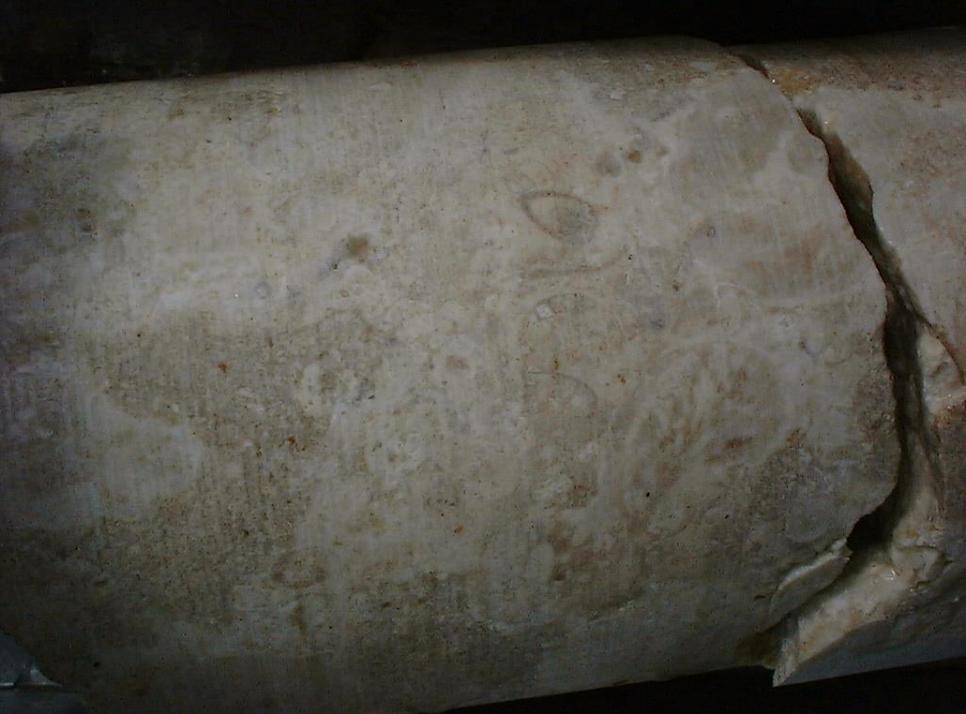
1800万年前のサンゴ礁

- フィジー諸島最大のビチレブ島内陸に露出

石灰岩からわかること

- 造礁生物の出現(約5.3億年前)が、新しい生態系をつくる
- 大気中の二酸化炭素を固定する役割
…生物活動が気候に影響を与える









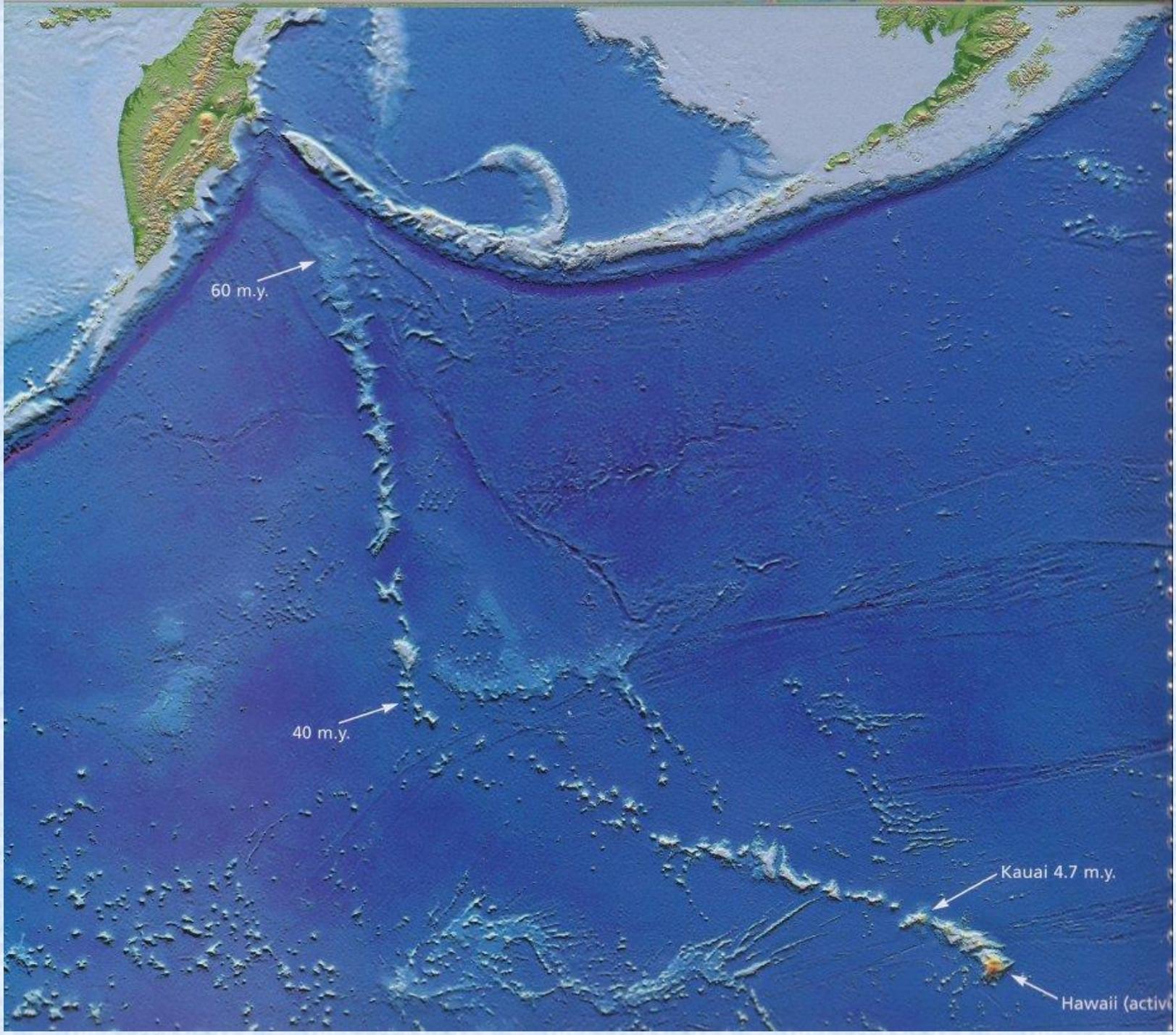


生きている惑星・地球

…つくられつつある大地



Hawaii島 Kilauea火山 Halemaumau火口

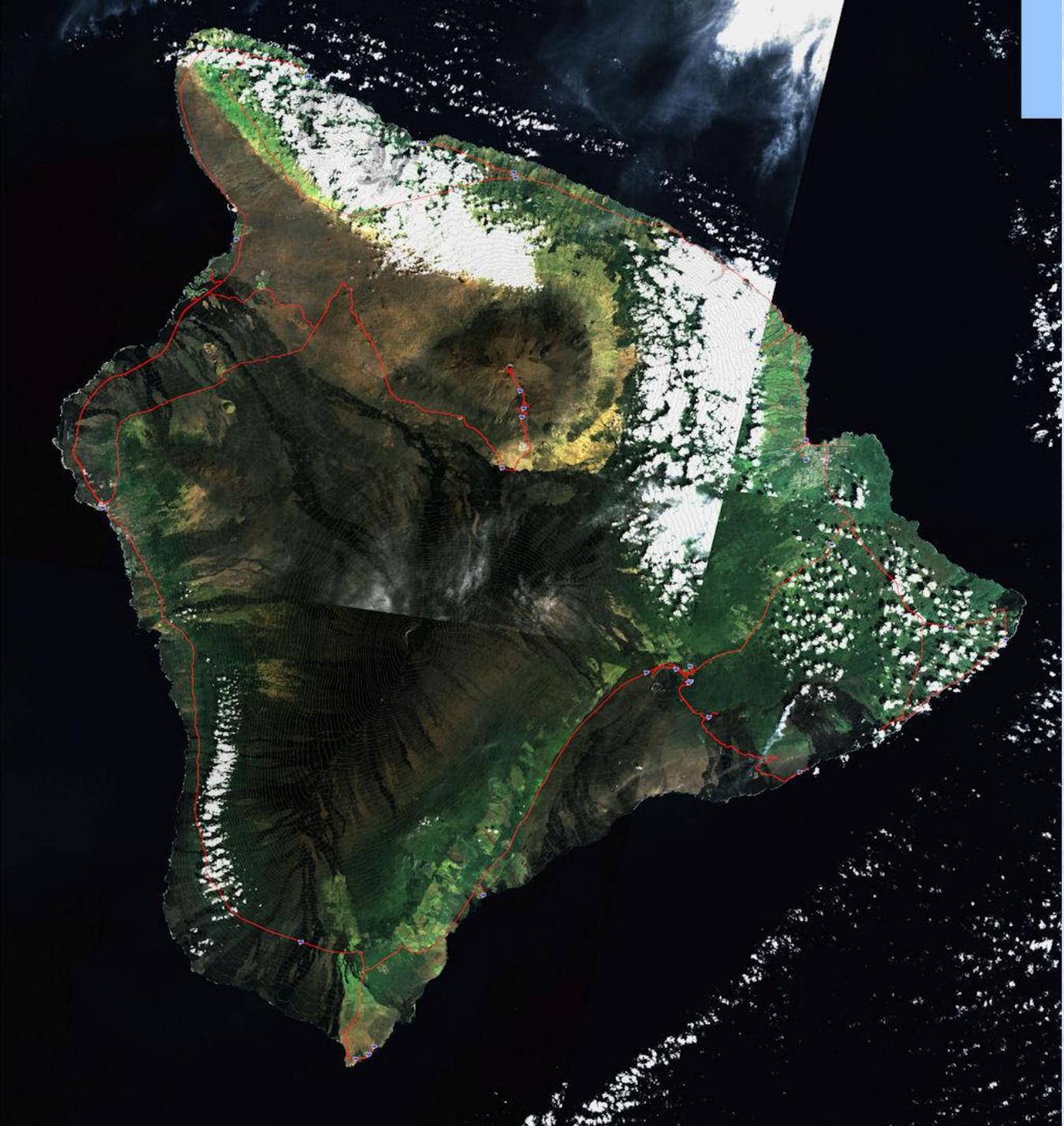


60 m.y.

40 m.y.

Kauai 4.7 m.y.

Hawaii (active)









地球はいまも変化し続けている

Hawaii島 Kilauea火山

野外調査の意義

- 地球の歴史46億年の90%の期間にあたる、約40億年の記録が地球の岩石に残っている
- 地球という惑星の解析が惑星科学の基礎
- 理論的推定と、地質学的証拠の両方が重要
- ただサンプルを取ってくればいいのではなく、どのような状態で存在しているのか、周囲との関係はどうなっているのか、記録が必要。
- 採取する価値があるものを判断する能力

