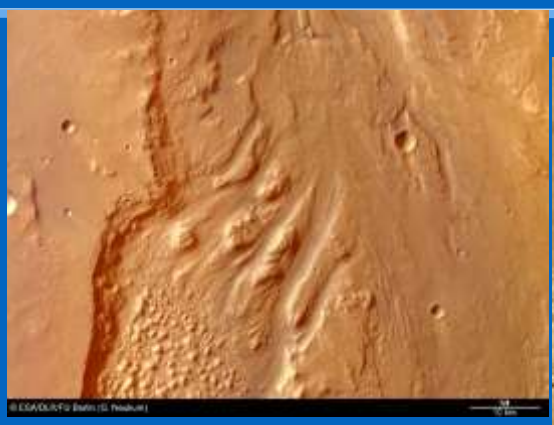
OutFlow Channel・Chaos

Out Flow Channelの源流部

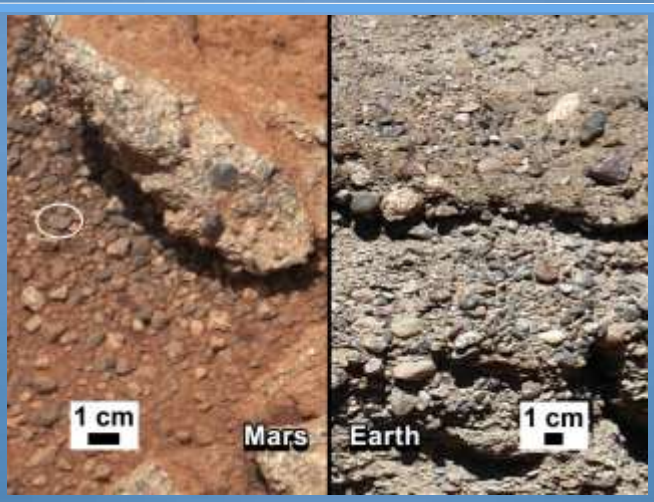
流水の源が地下からの湧水であることの証拠



水が地下から突発的に噴出した

地下には多量の水が存在・隠されている。

火星の礫岩
円礫の存在：水成岩



In Water on Mars, *Galaxies* 2020, *8*, 40; doi:10.3390/galaxies8020040

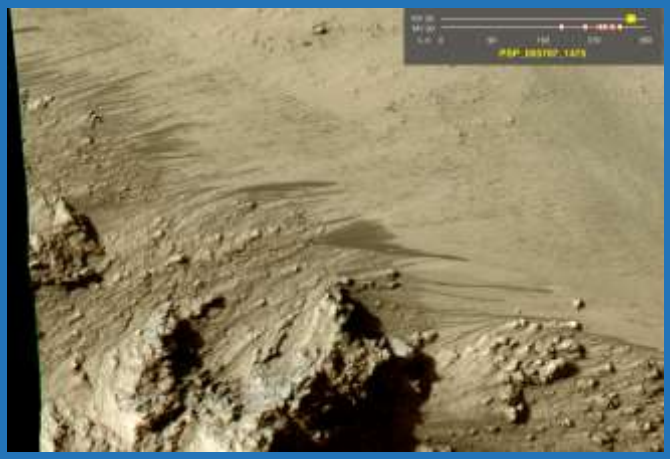
堆積岩の層構造:浅い水中で形成

3

http://photojournal.jpl.nasa.gov/catalog/PIA07110

現在も何かが流れ出ている！

4

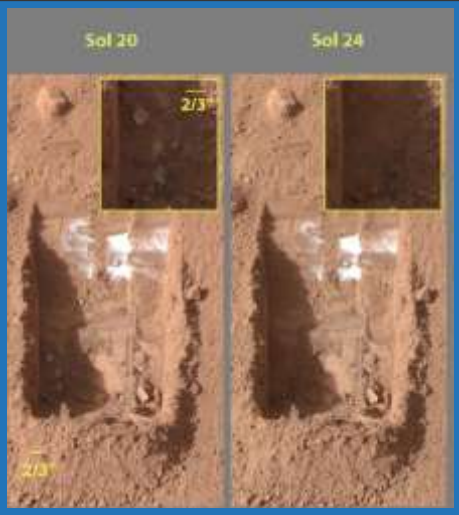


季節性斜面流

https://www.uahirise.org/sim/images/science_aug/Horowitz_IRB_A.ORTHO-cropA_leg.gif

Phoenixが撮影した表面直下の氷層

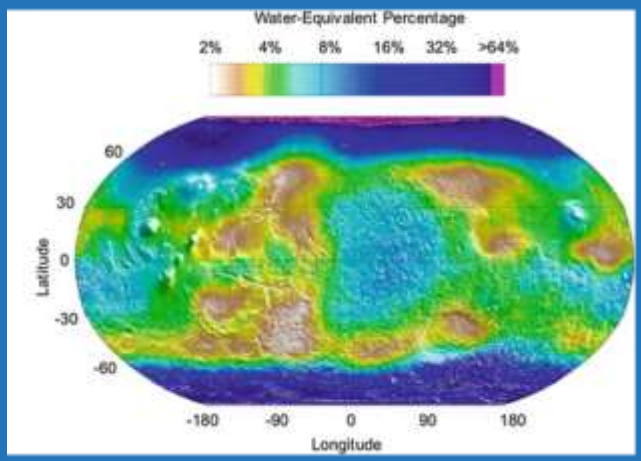
5



Mysteries of Mars,F.De Blasio (2018)P121

中性子線強度から推定したH_2O

6



地下1mまでの平均値

Human Missions to Mars, P524 D.Rapp 2016
Original; Feldman et al 2004

7

火星探査で何が分かったのか？　（1）

- 現在は表面には水は存在していない
- 過去には表面に水が存在していた
  - 水が存在出来る条件：温度･圧力
    - 地球と似た環境があった
- 水の一部は現在も地下に存在

大規模な表層環境変動

液体水の存在のためには大量のCO2大気が必要
- 温室効果のための高温
- 三重点以上の高圧：液体水の存在

過去に存在していた大気はある時点で、どこかに消え去った

火星表層環境は高圧・高温・湿潤状態から
低圧・低温・乾燥状態へ大きく変移した

8

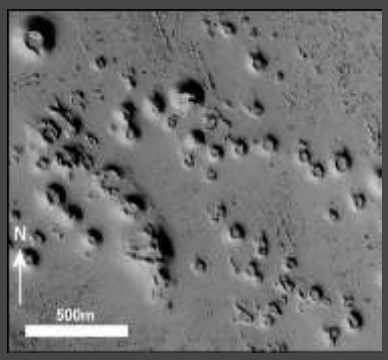
9

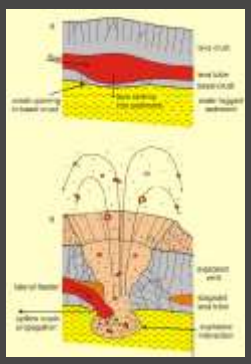
幾つかの疑問

- なぜ火星は初期の環境を維持できなかったのか？
  - 大気が消失したから
  - 消失した大気･水はどこへ消えたのか？
    - どこへ？、いつ？
    - なぜ？
- 地球ではこのような環境変動は起きないのか？
  - 地球と火星は何がちがうのか？

10

地球と火星：表層環境の変動





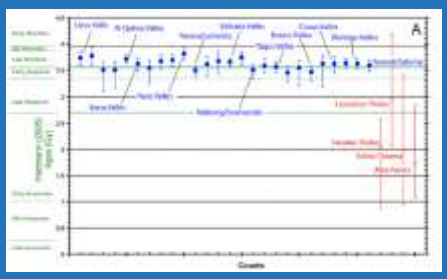
Bruno et al, Spatial Analysis of Rootless Cone Groups on Iceland and Mars
JGR E (2004)

火星の水の歴史

11

Valley Networkの活動時期

南半球高地：35億年前後（Noachian-Hesperian 境界）
北半球山：15億年前まで（Amazonian)

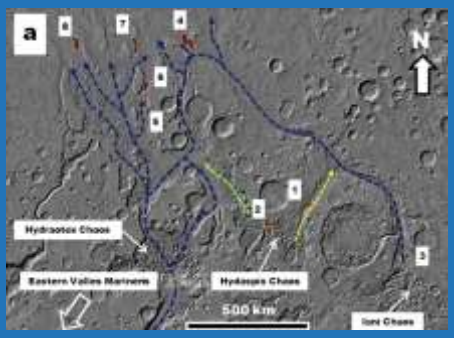


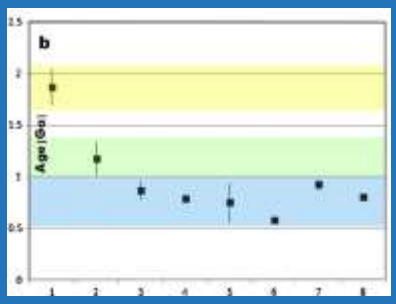
Hartman scaleに基づく

Fassett & Head (2008), Icarus 195,61-89 The timing of martian valley network activity

Outflow channelの形成時代

12





5~10億年前に多くは形成

Rodriguez, J. A. P., Platz, T., Gulick, V., Baker, V. R., Fairén, A. G., Kargel, J., et al. (2015). Did the martian outflow channels mostly form during the Amazonian Period? Icarus, 257, 387–395.

火星表層の水環境の歴史

13

45億年前　35億年　現在

海の存在
VNの形成

OCの形成
（断続的）

温暖湿潤　寒冷乾燥、時々温暖

厚い大気　減少していく大気　薄い大気

何がおきたのか？　何か？

14

探査で分かったこと （2） ：大気の散逸

・かって大量に存在していた火星の大気はどこに？

・宇宙空間に逃散

・火星といえども重力があるので簡単には逃げない

・内部に保存

・水より低温の3重点、どうやって地下に？

・クラスレートを形成、水・CO_2を一緒に地下に

MAVEN の観測結果

Mars Atmosphere and Volatile evoluioN、2014年から観測

15

MAVEN

Mars Atmosphere and Volatile EvolutioN

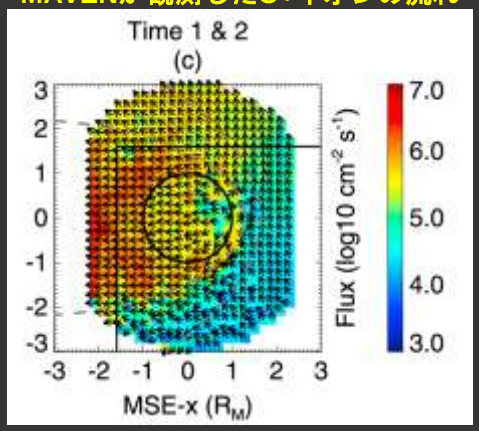
2013年11月：打ち上げ
2014年9月：火星到着

Jakosky, B. M., Lin, R. P., Grebowsky, J. M., Luhmann, J. G., Mitchell, D. F., Beutelschies, G., et al. (2015). The Mars Atmosphere and Volatile Evolution (MAVEN) Mission. Space Science Reviews, 195(1-4), 3–48.

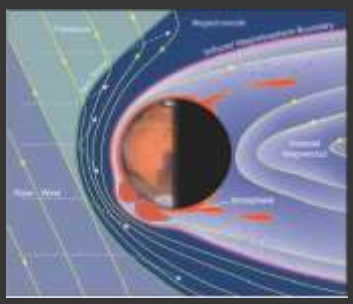
16

太陽風による大気の剥ぎ取り

MAVENが観測したO+イオンの流れ



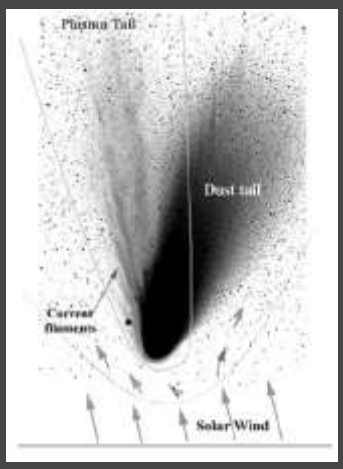
模式図

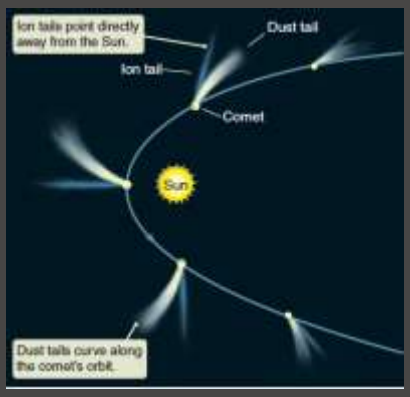


Lillis et al,Space Science Rev.,195(2015)

Dong, Y., Fang, X., of, D. B. J., 2017. (2017). Seasonal variability of Martian ion escape through the plume and tail from MAVEN observations. Journal of Geophysical Research: Space Physics, 122, 4009–4022.

太陽風の存在　彗星の尾





21st Century Astronomy,
L.Kay,S.Palen & G.Blumenthal
Norton (2016),P341

Lundin, R., Lammer, H., & Ribas, I. (2007). Planetary Magnetic Fields and Solar Forcing: Implications for Atmospheric Evolution. Space Science Reviews, 129(1-3), 245–278.

強いフレアー活動：地球への影響

“Space Weather（宇宙天気）”

「磁気嵐」

荷電粒子

~400 km/sで噴出

4~5日で地球に到着

強いフレアー活動

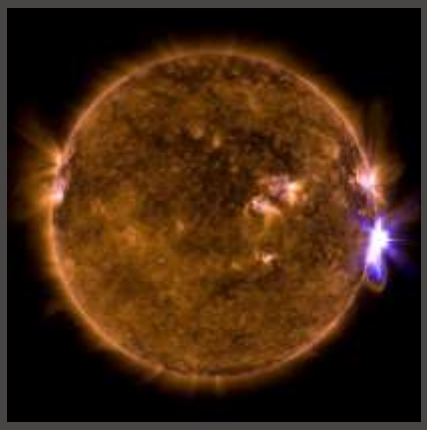
表面の爆発現象

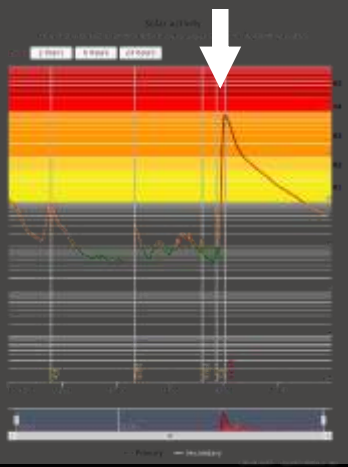
2010/3/30 Flare

in extreme UV

https://www.nasa.gov/mission_pages/sunearth/spaceweather/index.html

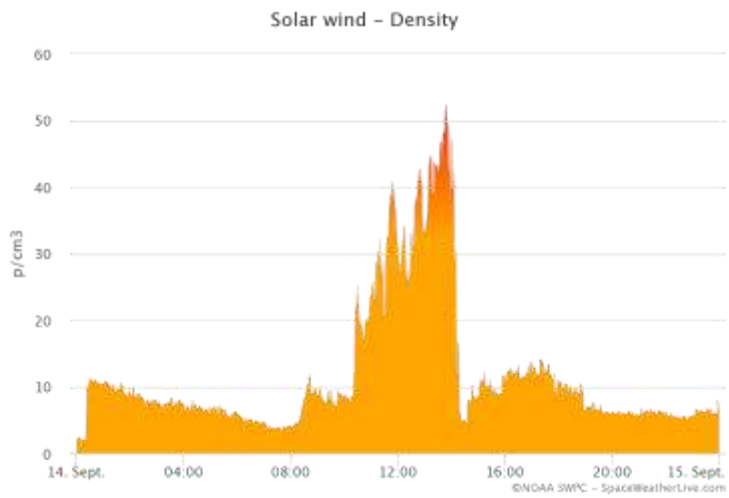
2017/9/10 ~16:00 large flare by NASA Solar Dynamic Observatory





https://www.nasa.gov/feature/goddard/2017/active-region-on-sun-continues-to-emit-solar-flares

2017/09/10→2017/09/14　4日の時間差

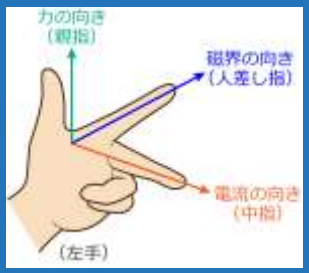


https://www.spaceweatherlive.com/en/archive/2017/09/14/aurora

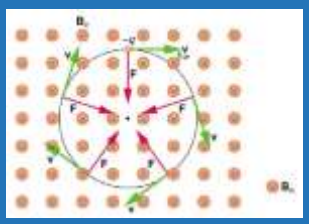
磁場の中の荷電粒子の運動

22

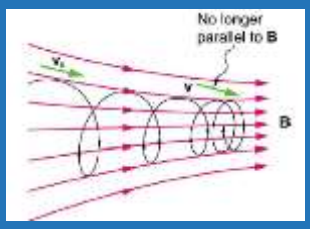
A



B



C



ローレンツ力

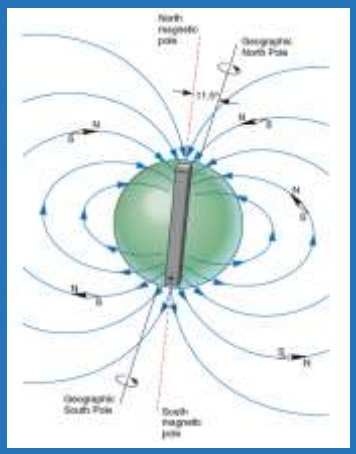
$$\vec{F} = q(\vec{E} + \vec{v} \times \vec{B})$$

College Physics, OpenStax,Rice University 2017 P986.P989

磁場をもった地球

23

太陽風粒子：電荷をもつ
（水素原子核主体）

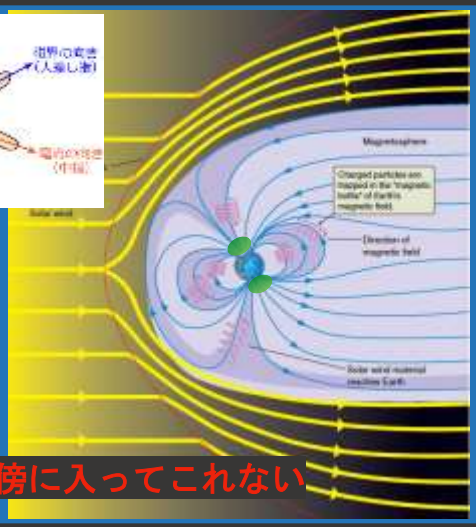


Physical Geology, Plummer (2016), P424

地球周辺の磁場

24

太陽風



太陽風は地球近傍に入ってこれない

21st Century Astronomy, L.Kay,S.Palen & G.Blumenthal Norton (2016),P248

25

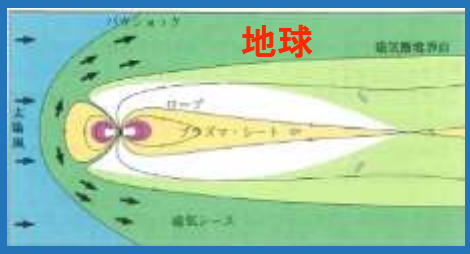
オーロラ

2017/09/14 aurora at Yellowknife taken by Yuichi Takasaka

https://twitter.com/ytakasaka/status/908659236258799616

磁場の有無の影響

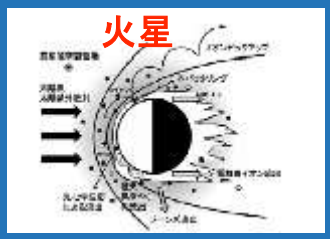
26



強い磁場の存在

電離層高度に太陽風侵入できず

磁場の遮蔽効果



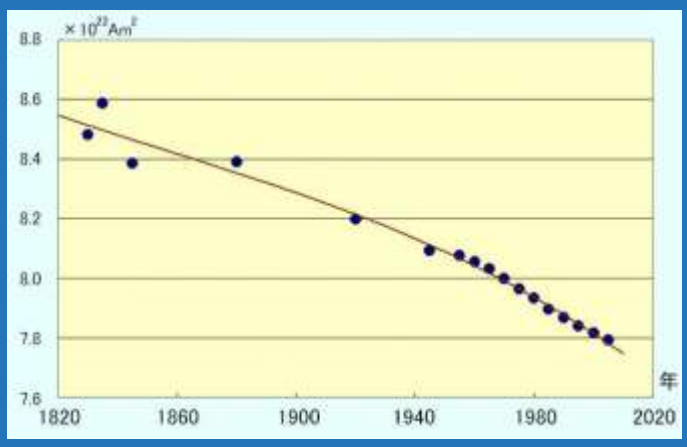
磁場が存在しない場合

電離層高度に太陽風侵入、イオンを引き離す

大気が失われている！

地球磁場は消えないのか？

27



地心双極子の減少
最近200年間減少を続けており、このまま続けば1000年後にはほぼゼロになる速さです。

https://www.kakioka-jma.go.jp/knowledge/qanda.html#10

火星表層:強い磁場の存在

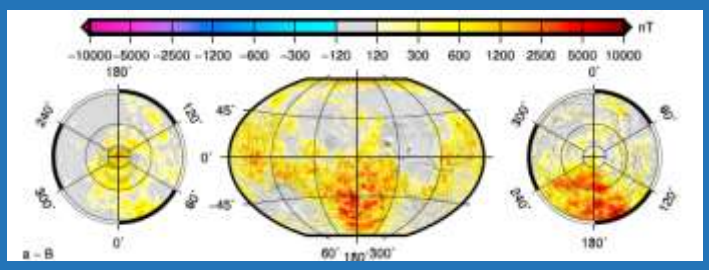
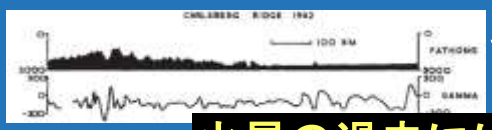


Figure 6. Maps of the Martian magnetic field at the surface, as predicted by the spherical harmonic model up to n, m = 134. (a) B_r (b) B_θ, (c) B_ϕ, (d) B_ϕ, and (e) field difference between the Spherical Harmonics model of Morschhauser et al. (2014) and the one presented in this study.



比較：地球

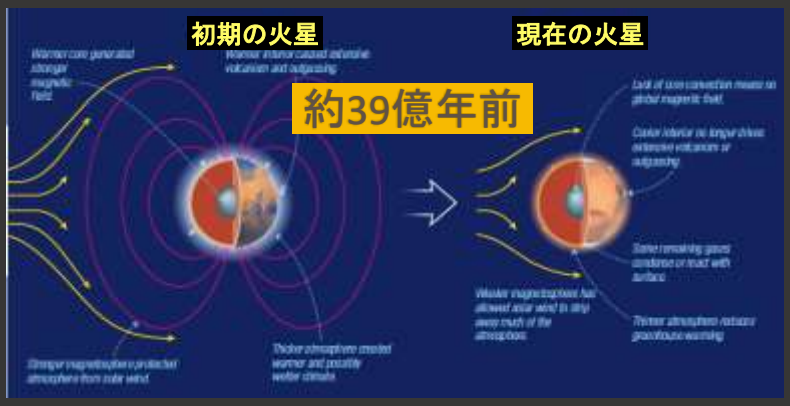
Vine & Matthews,Nature (1963)

火星の過去には強い磁場の存在

Langlais, B., Thébault, E., Houliez, A., Purucker, M. E., & Lillis, R. J. (2019). A New Model of the Crustal Magnetic Field of Mars Using MGS and MAVEN. Journal of Geophysical Research-Planets, 22(1), 769–28.

29

初期の火星と現在の火星



The Essential Cosmic Perspective,6th ed. P212

火星表層環境の変遷

30

45億年前　35億年前　現在

冷却・内部温度の低下

活発なダイナモ運動　ダイナモ運動の不活発化

磁場の存在　磁場消失・磁場遮蔽効果なし

厚い大気の存在　大気の散逸　薄い大気

○温室効果　X温室効果

温暖湿潤な気候・海の存在　寒冷化　地表面から水の消失

比較

31

火星　磁場の消失　大気・海の消失　環境変動

天体サイズの違い

$$\frac{\text{表面から逃げる熱}}{\text{全熱エネルギー}} = \frac{4\pi R^2}{\frac{4}{3}\pi R^3} = c/R$$

地球　磁場の存続　大気・海洋の維持　環境の維持

火星は地球にとってどのような存在か？

32

地球：過去40億年　安定した表層環境

今後この表層環境は維持出来るのか？

様々な環境負荷にどこまで耐えきれるのか？

→ 地球のことを詳細に研究する？

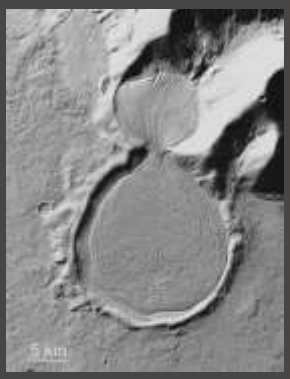
火星：初期の表層環境の維持に失敗

失敗した例を見て初めて限界が理解出来る

33

地球と火星：生命の探索の危険性

Planetary Protection/Planetary Ethics



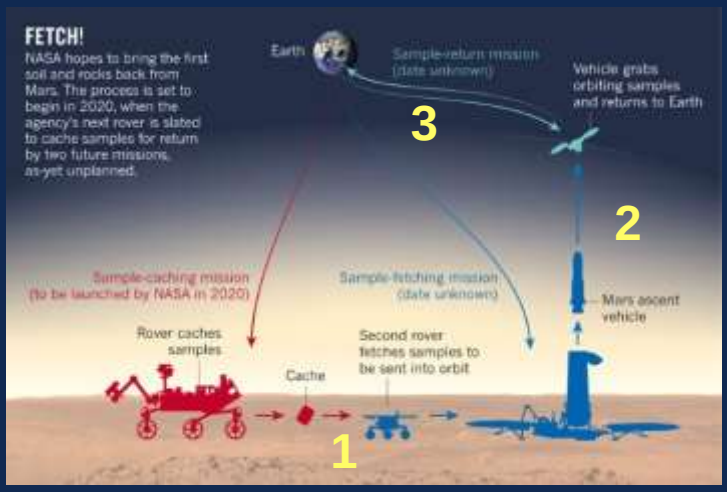
氷河の存在

流動している岩石氷河（ヘラス盆地近傍）

In Lakes on Mars, N.Cabrol & E.Grin Elsevier 2010　P55

34

NASAの火星サンプルリターン計画



Nature 509,272 (2014)

35

日本の火星サンプルリターン計画：MMX

重力の小さな衛星に着陸・サンプル取得・帰還

http://www.mmx.jaxa.jp/gallery/

36

アンドロメダ病原体

- M.クライトン　作　1969年
  - ハヤカワ文庫
- R.ワイズ　監督　1971年
  - The Andromeda Starain DVD/BluRay

https://www.imdb.com/title/tt0066769/

37

宇宙からの生命体の持ち込みの危険性　　地球保護

宇宙への地球生命体の持ち込みの危険性　　惑星保護

生命体の存在する可能性のある惑星において
「科学的興味」の探査はゆるされるのか？

「宇宙倫理学」の議論を！

38

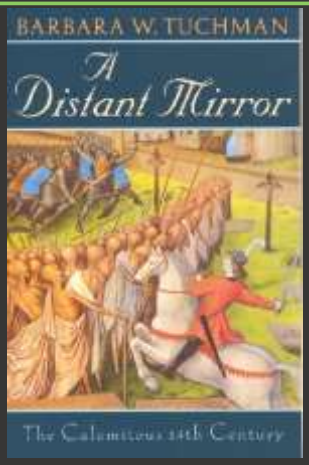
多様性の中で地球を相対視する

- 1.4×10^6 km 太陽
- 1.4×10^5 km 木星
- 1.3×10^4 km 地球
- 1.4×10^3 km イアペトス
- 1.4×10^2 km ミネルヴァ

39

A Distant Mirror, B.Tuchman 1978

https://www.amazon.co.jp/Distant-Mirror-Calamitous-14th-Century/dp/0345349571



遠い鏡（日本語訳）朝日出版

遠くにいると見えること

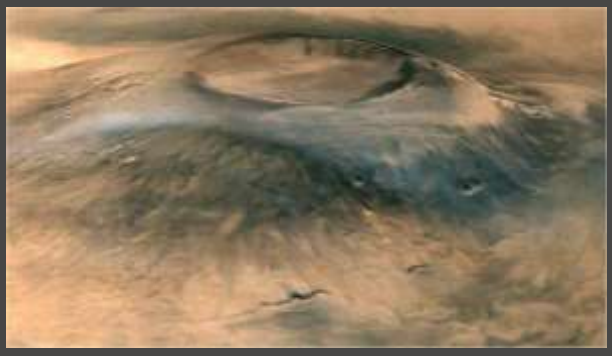
客観視・相対的視座
全体像の視野

The Deer Hunter (1978)

M.チミノ監督
R.デニーロ、M.ストリープ

40

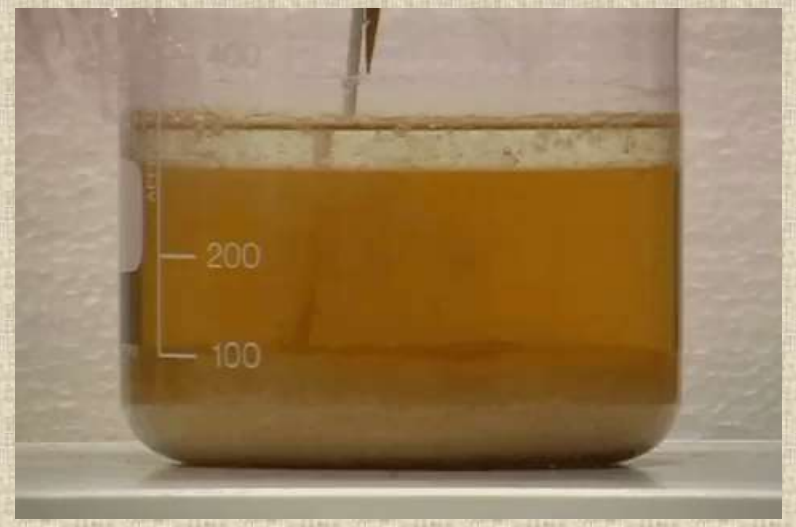
付録：



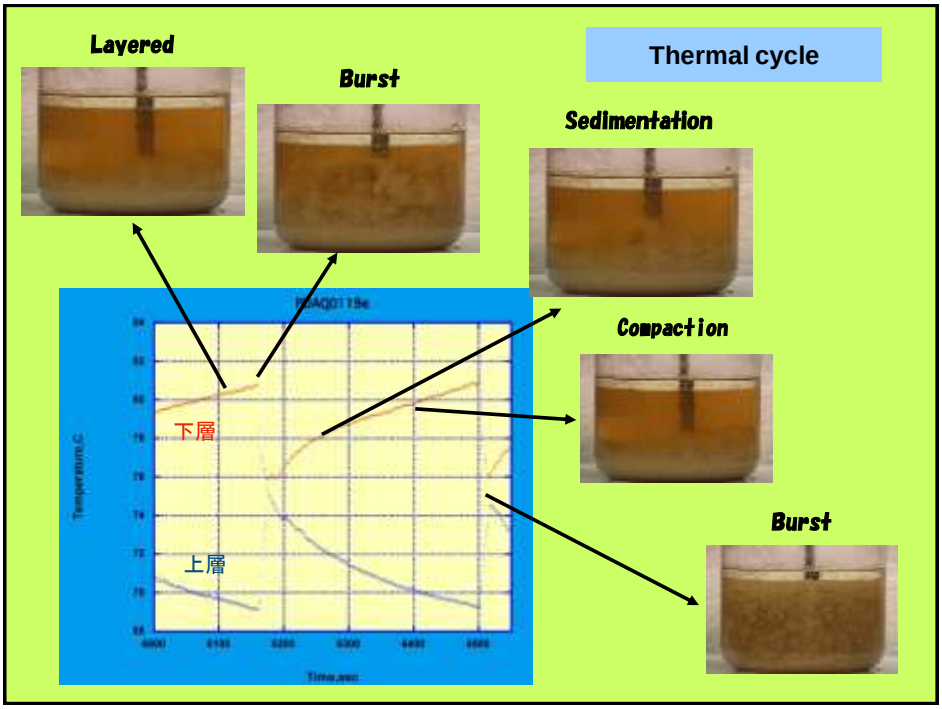
Arsia Mons

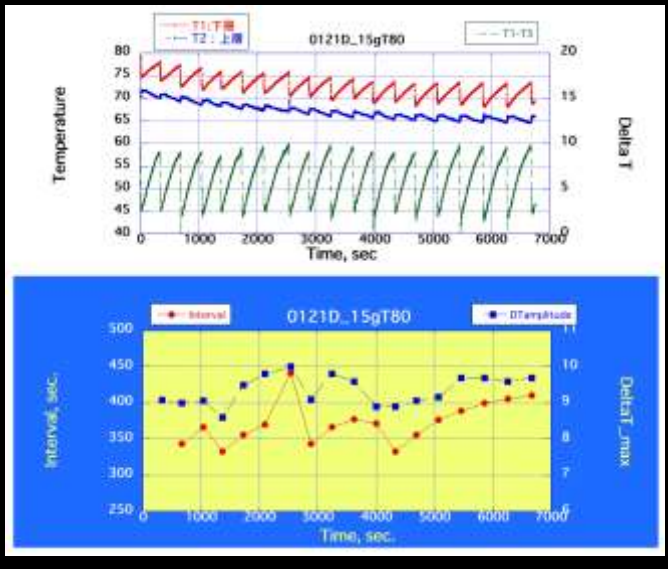
https://planetary.s3.amazonaws.com/web/assets/pictures/20150304_arisamons3dportrayal.jpg
Bruce Marray Space Image Library

「キッチン地球科学」の取り組み



41





御静聴ありがとうございました
又何処かでお目にかかる機会があれば、
お気軽に声をかけて下さい