地球を知るための火星学

本日のメニュー

- 0：自己紹介
- 1：大気現象の比較、類似点と相違点
- 2：火星への興味、生命の存在
- 3：過去の火星の姿、水の存在
- 4：表層環境の変動
- 5：探査計画と問題点
- 6：おまけ（キッチン地球科学）

栗田敬＠kitchen wanderer
（東京工業大学・地球生命研究所）

自己紹介

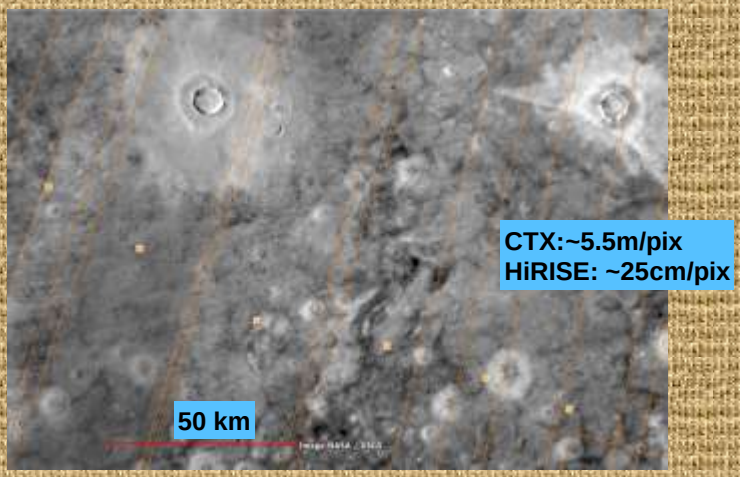
- 大学：東京大学理学部地球物理学科
- 職歴
  - 東京大学地球物理
  - 筑波大学地球科学
  - 東京大学地球惑星物理
  - 東京大学地震研究所
  - 自由研究者 kitchen wanderer
  - 東京工業大学地球生命研究所
- 専門･興味　惑星科学、火山学、Soft Matter Physics
- 自己認識　研究者としては失格、研究を楽しむ人
- キッチン地球科学

Google Earth

地球：超高解像度画像、しかし全ての場所ではない

地球データ：人が住んでいるところは詳細に分かっている
住んでいない所は粗い
陸地は良いが海洋はデータが希薄
データの質は均質ではない

Google Earth (Mars)



火星：5 m程度の解像度でほぼ全球データ
均質なデータ

6

知りたいという興味

趣味は？

兄妹は？

好きなスイーツは？

サッカーは何処を応援？

本人について深く知りたい！

一つのことに深く集中して調べる

どんな友だち？

グループの中の役割？

家族関係？

仕事での役割？

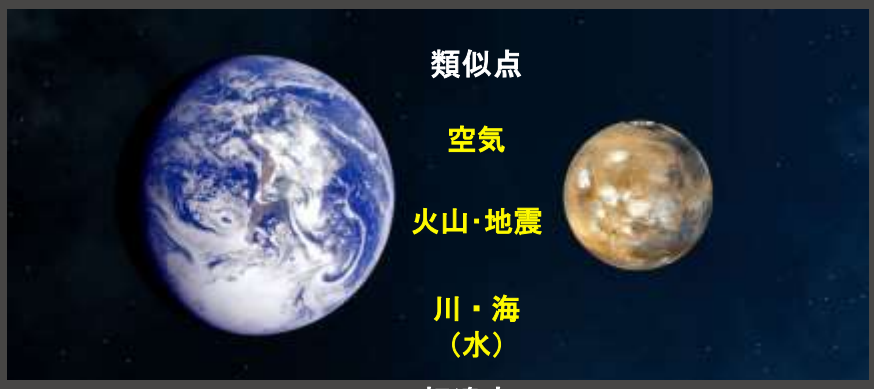
「関係性」の知識

全体の中で考える

https://www.irasutoya.com/2014/07/blog-post_2301.html

7

地球と火星：相違点と類似点



類似点

空気

火山･地震

川・海
（水）

相違点

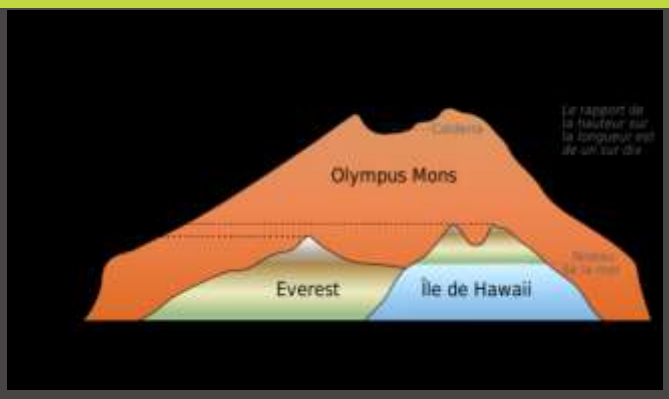
6371km	サイズ	3390km
	磁場	
	大気の組成	

In Landscapes of Mars, a visual tour G.Voght,Springer P26

8

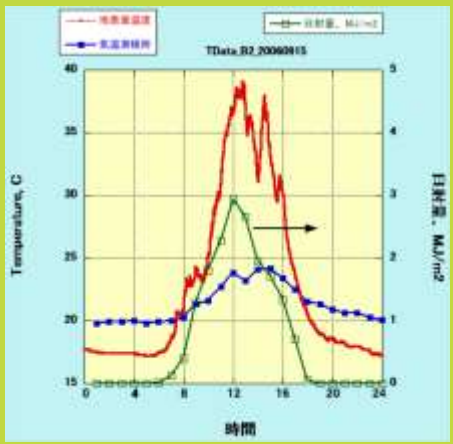
地球と火星：大気現象の比較

似て非なる気象現象



9

気温の日変化：地球

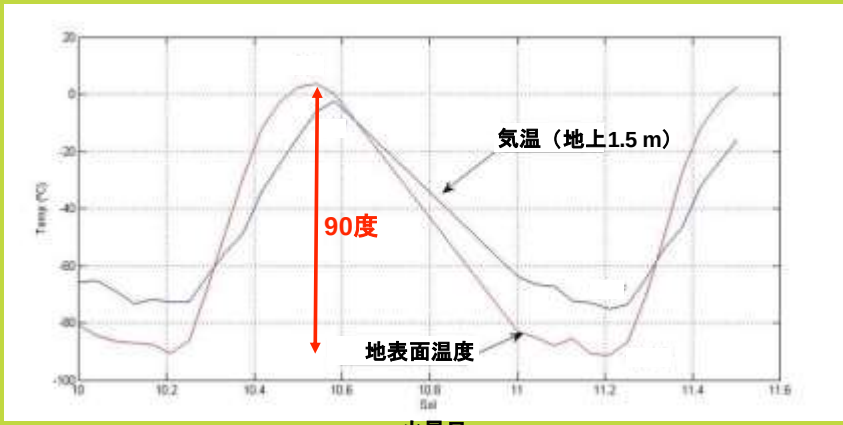


https://www.blossom39.com/babycar/cybex/cybe2015.html

10

気温の日変化：火星

NASA 着陸探査機Curiosity が計測した表層温度



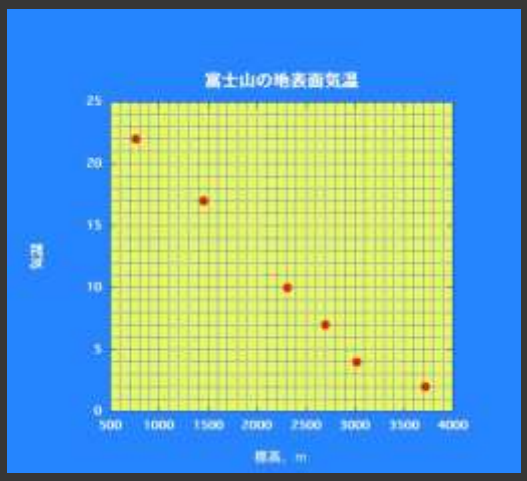
火星日

NASA PIA16081

Curiosity landing site:4.59S,137.44E,Gale Crater

11

地球の気温の高度変化



乾燥断熱減率：g/C_p

9.8 度/km

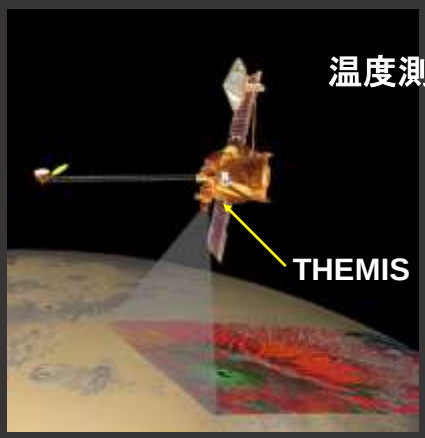
湿潤断熱減率

~ 5 度/km

20C/2.5 km=8 度/km

12

火星の地表面温度：Mars Odyssey Orbiter



http://www.thermography.or.jp/utilization/utilization05.html

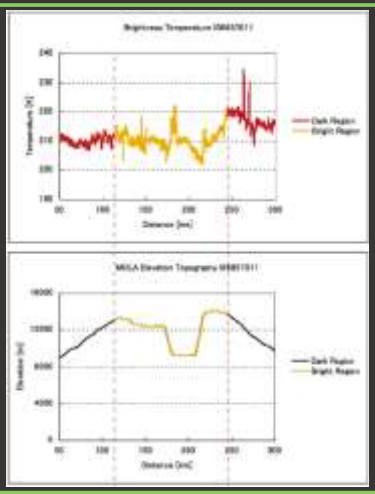
赤外線サーモグラフィー

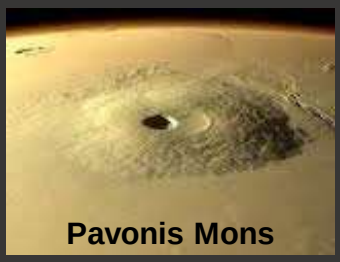
dimension:
2.6mx2.2mx1.7m
weight:
725kg

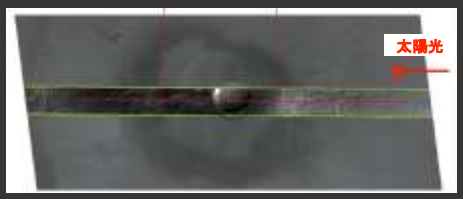
http://www.fourth-millennium.net/mission-artwork/mars-odyssey-themis-instrument.html

13

火星の地表面温度の高度変化

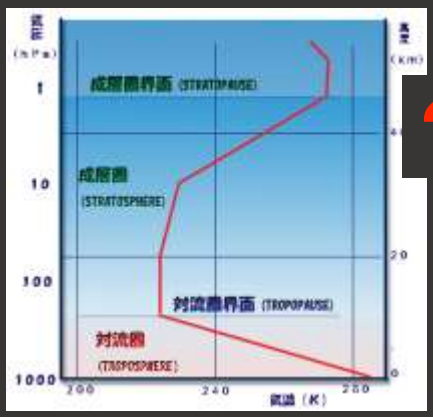






14

地球・火星の大気温度の高度変化



?

d T/dZ = 55 K/10 km = 5 K/km　　d T/dZ = 80 K/40 km = 2 K/km

15

地球・火星の大気温度の高度変化

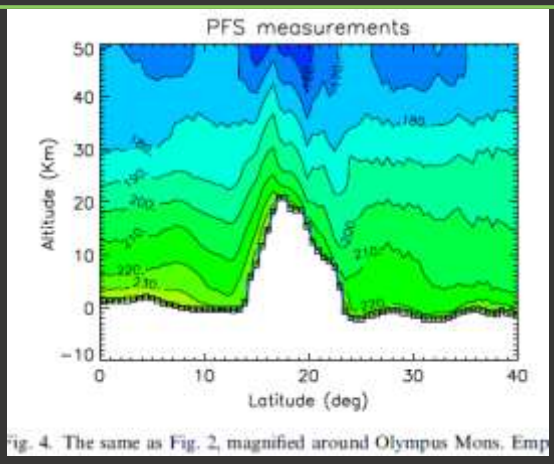


Fig. 4. The same as Fig. 2, magnified around Olympus Mons. Emp

Icarus 207, 110 (2010) Wolkenberg et al

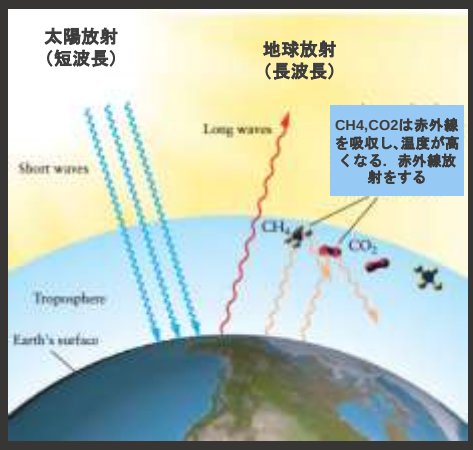
オリンポス山周辺

Local time:13.9,Ls=337

温度構造は地表面と平行：地球と全く異なる

16

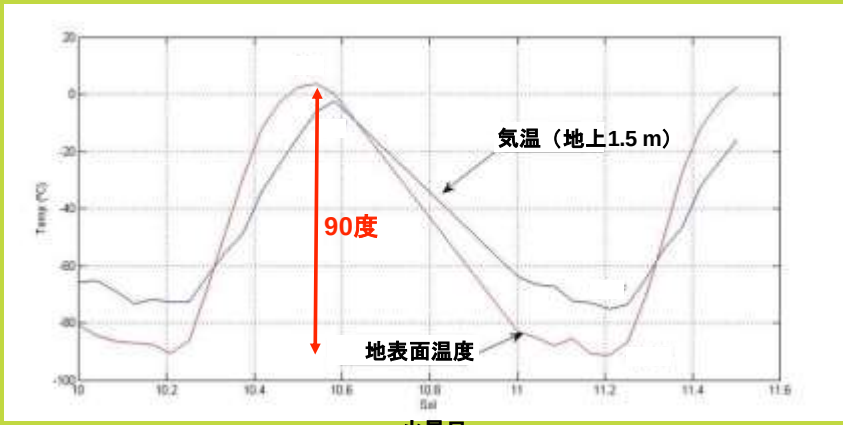
大気の役割の違い：厚い大気　薄い大気



17

気温の日変化：火星

NASA 着陸探査機Curiosity が計測した表層温度

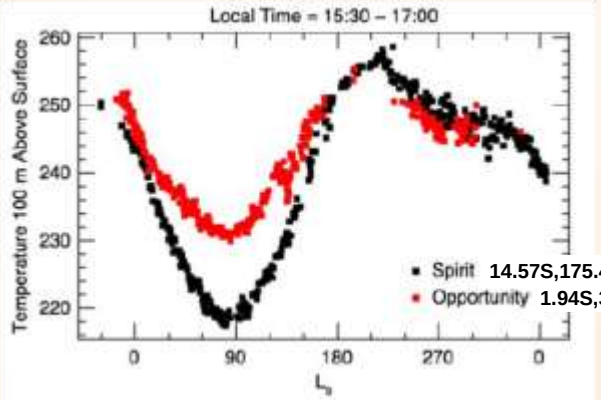


NASA PIA16081

Curiosity landing site:4.59S,137.44E,Gale Crater

火星の気象：気温の年変化

四季の存在



なぜか？

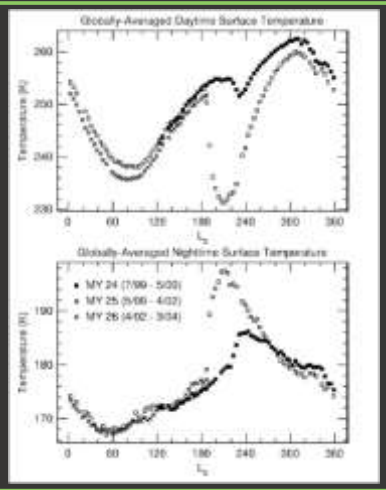
自転軸の傾き

地球：23.4度
火星：25度

火星の一年は地球の約2年に相当．1火星年を360度で表示

19

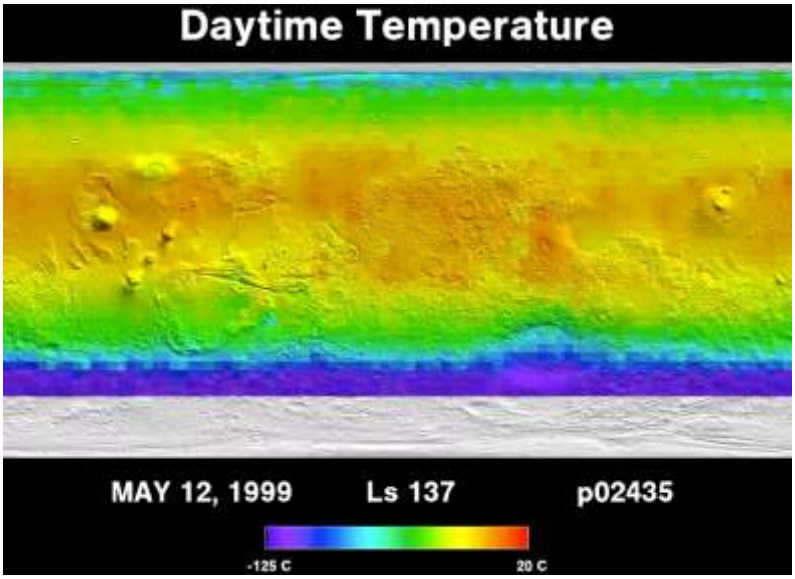
全球平均温度（年変化）



昼全球平均温度

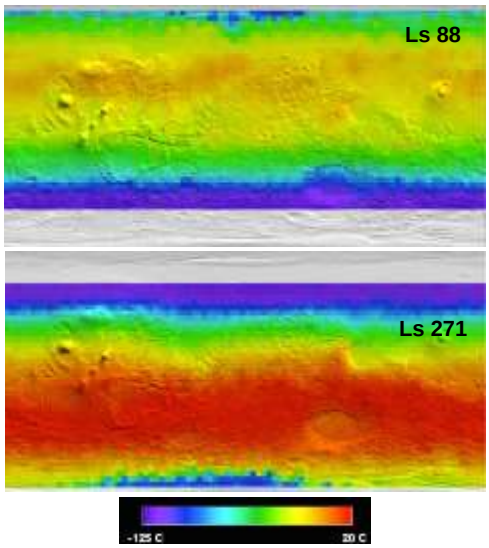
南半球・北半球平均化したのに
何故季節変化があるのか？

夜全球平均温度



20

火星の昼間の地表面温度

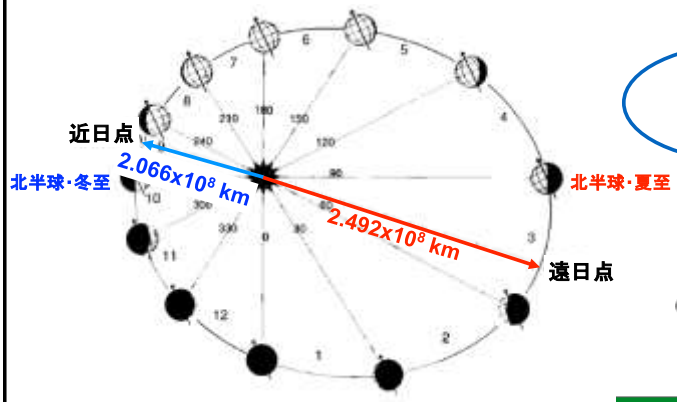


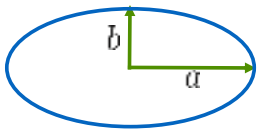
遠日点付近
北半球の夏
あまり暑くない

近日点付近
南半球の夏
高温の所が多い

21 http://photojournal.jpl.nasa.gov/catalog/PIA04298

火星の公転軌道





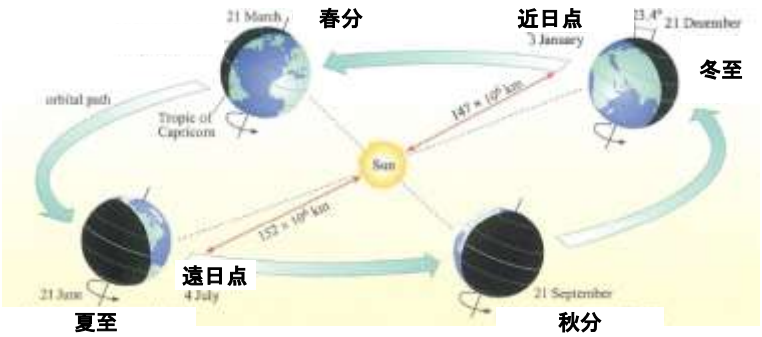
軌道離心率

$$e = \frac{\sqrt{a^2 - b^2}}{a}$$

遠日点 Ls=70
近日点 Ls=250

	火星	地球
離心率	0.09339	0.01671
近日点	1.381	0.9833
遠日点	1.666	1.017
$(P/A)^2$	0.687	0.935

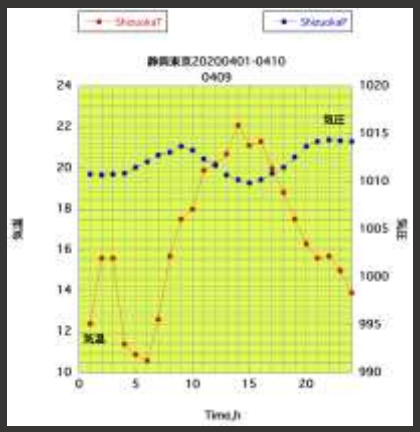
地球の公転軌道

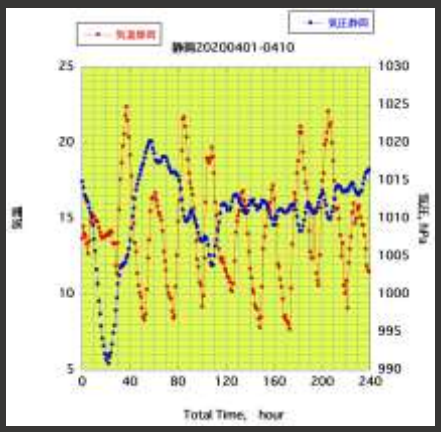


	火星	地球
離心率	0.09339	0.01671
近日点	1.381	0.9833
遠日点	1.666	1.017
$(P/A)^2$	0.687	0.935

24

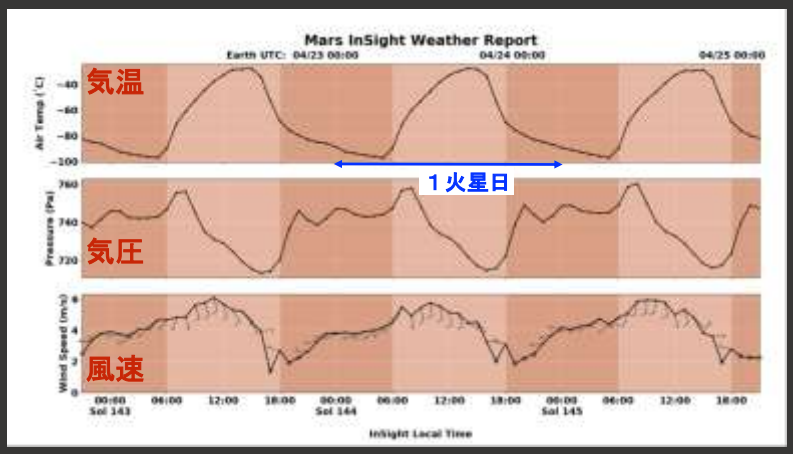
地球の気象：気圧の日変化





25

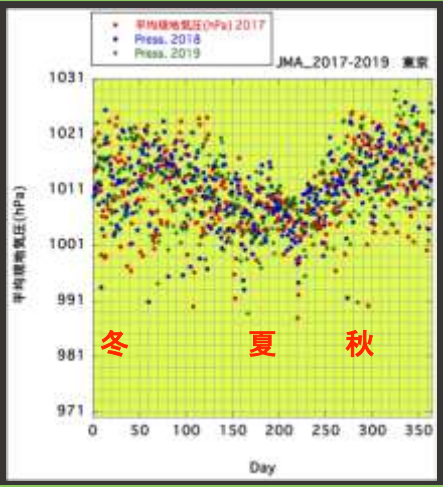
InSight が測定した気温・気圧の日変化



https://atmos.nmsu.edu/data_and_services/atmospheres_data/INSIGHT/images/insight_pic_2.png

26

地球の気圧：年変動



圧力変動

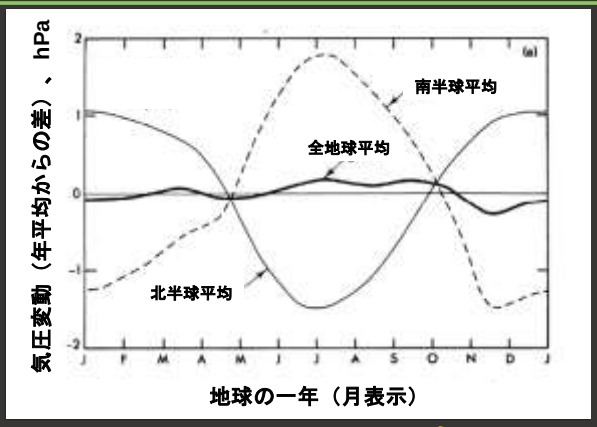
1010±7 hPa

冬：高気圧
夏：低気圧

夏の台風～950 hPa
冬の高気圧～1035 hPa

27

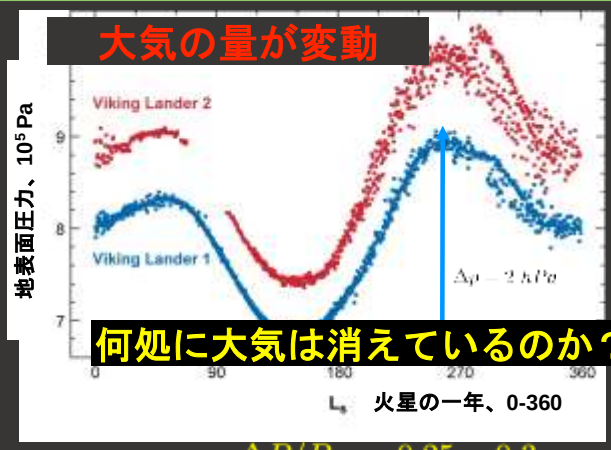
大気圧の年変動：地球



$$\Delta P/P_0 \sim 10^{-4}$$

28

大気圧の年変動：火星



Viking-1
22.27N 312.05E

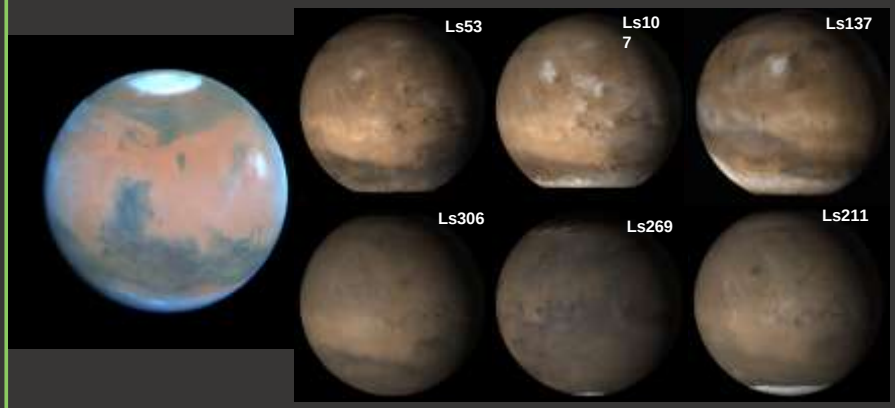
Viking-2
47.64N 225.71W

$$\Delta P/P_0 \sim 0.25 - 0.3$$

http://mepag.jpl.nasa.gov/topten/6/viking_atmo_pressure.jpg

29

火星：極冠

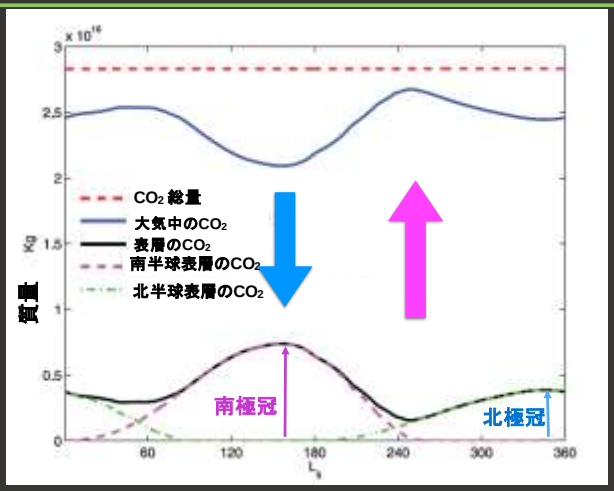


ハッブル望遠鏡がみた火星　　NASA Photojournalより

http://mepag.jpl.nasa.gov/topten/6/viking_atmo_pressure.jpg

30

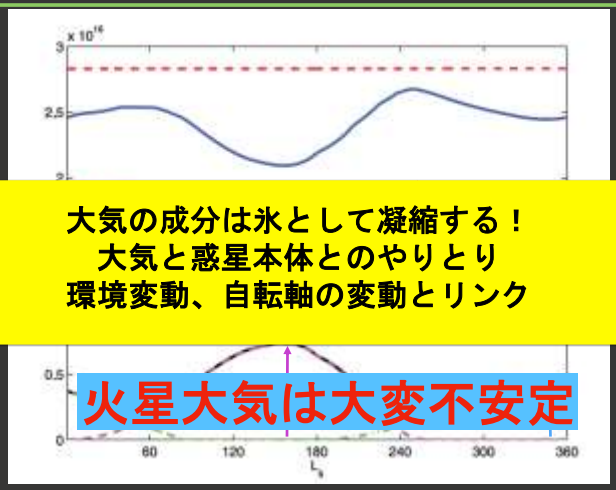
火星：地表面と大気のやりとり



Guo, X., Lawson, W. G., Richardson, M. I., & Toigo, A. (2009). Fitting the Viking lander surface pressure cycle with a Mars General Circulation Model. Journal of Geophysical Research, 114(E7), 1–19. http://doi.org/10.1029/2008JE003302

31

火星：地表面と大気のやりとり



大気の成分は氷として凝縮する！
大気と惑星本体とのやりとり
環境変動、自転軸の変動とリンク

火星大気は大変不安定

Guo, X., Lawson, W. G., Richardson, M. I., & Toigo, A. (2009). Fitting the Viking lander surface pressure cycle with a Mars General Circulation Model. Journal of Geophysical Research, 114(E7), 1–19. http://doi.org/10.1029/2008JE003302

32

地球の気象・火星の気象

類似点/共通点
- 温度の日変化、昼と夜
- 温度の年変化、季節の存在
- 温度の緯度変化

地球と火星に共通の原理
太陽の光量に支配

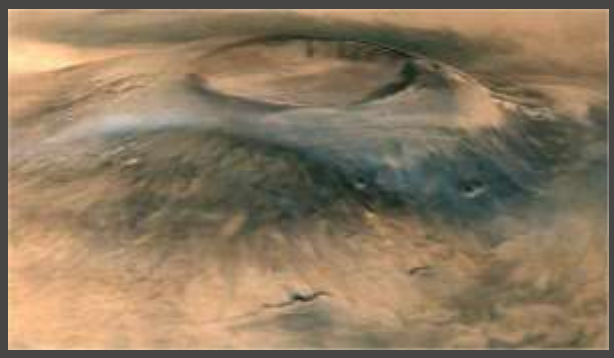
相違点
- 温度の高度変化
- 温度変化の幅
- 気圧の年変化

地球と火星のどこが違うのか？

33

地球と火星：生命の存在？

火星への興味：生命はいるのか？



Arsia Mons

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

34

生命生存の条件

- 液体の水
- 空気、酸素？
- 太陽の光？
- 圧力､大気圧？
- 地表面温度？
- 重力？
- 自転？
- 磁場の存在？
- 海と陸？
- 月の存在？

35

極域の低温地帯　　凍結・液体水の消失

砂漠地帯　　蒸発・液体水の消失

細胞の構成物質

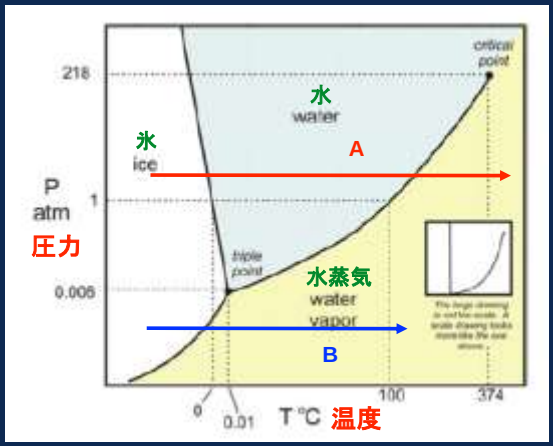
成分	ハツカネズミ（肝臓）	ウニ（卵）	トウモロコシ（植物全体）	大腸菌（菌全体）	ヒト
水	68.0	77.6	69.5	70	66
タンパク質	21	15.5	3.8	15	16
脂質	5.6	4.9	2.1	3	13
炭水化物	3.3	1.5	23.6	4	0.4
無機物	0.4	0.4	0.7	1	4.4
核酸	1.2	0.04	0.03	7	微量

水溶液：イオンの存在

1：https://www.suntory.co.jp/eco/teigen/jiten/science/09/
2：啓林館　高校化学II 生命と物質

36

水の３態・存在条件



相図

高圧：氷・水・水蒸気

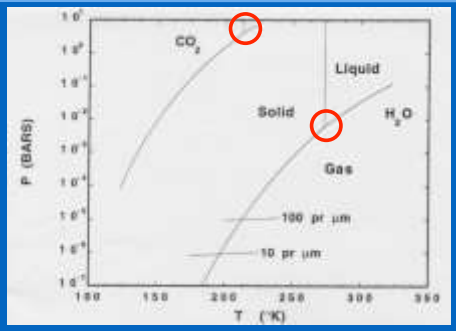
低圧：氷・水蒸気

Water in universe P16

低圧下では液体の水は存在しない！

https://www.youtube.com/watch?v=9q5gEZGoBnk

水の存在領域



現在の火星の環境
圧力：5.6 mbar
温度(赤道）：160-180 k　夜
260-280 k　昼
215 k　平均

水の３重点、273 K,　611 Pa
二酸化炭素：217 K,　0.51 MPa

現在の火星では液体水は存在できない！

39

太陽の光は植物の光合成に必要なのでは？

深海底：光・酸素を必要としない生物群

生命は海底火山の周辺で誕生した

熱水噴出孔生物群＠沖縄近海

https://www.jamstec.go.jp/j/museum/30th/part5/page4.html

40

火星では？

- 現在の火星表面は生命生存不可
  - 温度･圧力条件から水は存在出来ない
  - 強い紫外線強度
- 地下ならば？
- 過去の火星ならば？

41

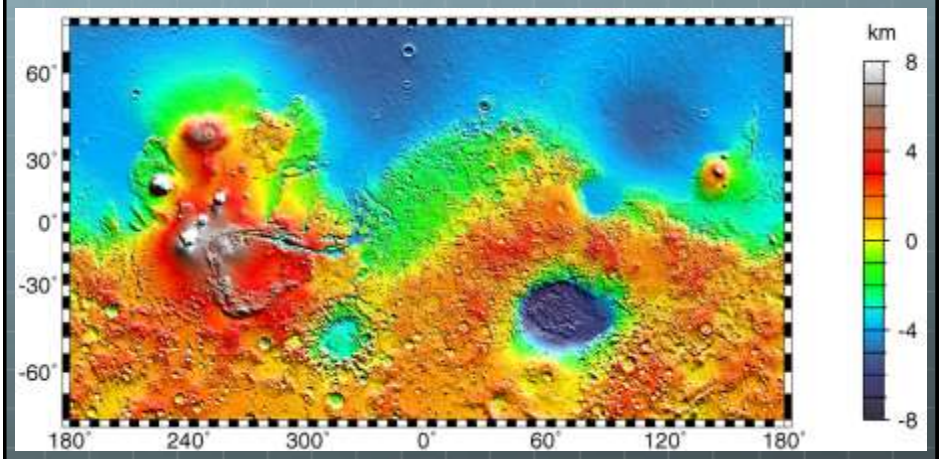
地球と火星：水の存在、過去の火星

Dust Devil Tracks

https://www.jpl.nasa.gov/images/pia04502-martian-dust-devil-tracks

https://www.lpi.usra.edu/planetary_news/2022/05/10/dust-devils-observed-by-the-perseverance-rover-on-mars/

火星の地形図

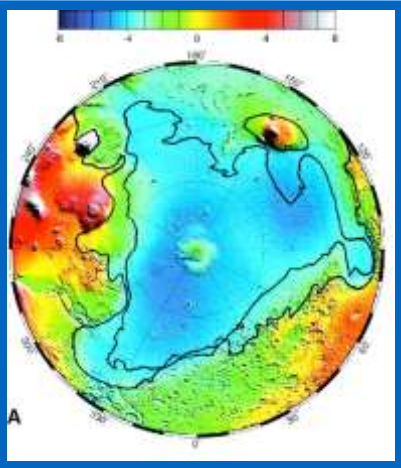


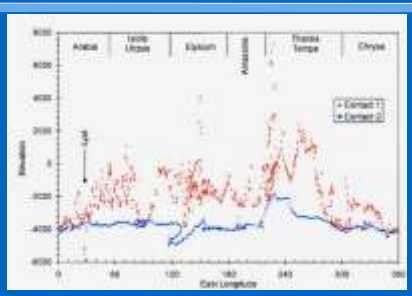
https://attic.gsfc.nasa.gov/mola/images/mercat_med.jpg

42

海洋の存在

過去に海の存在？



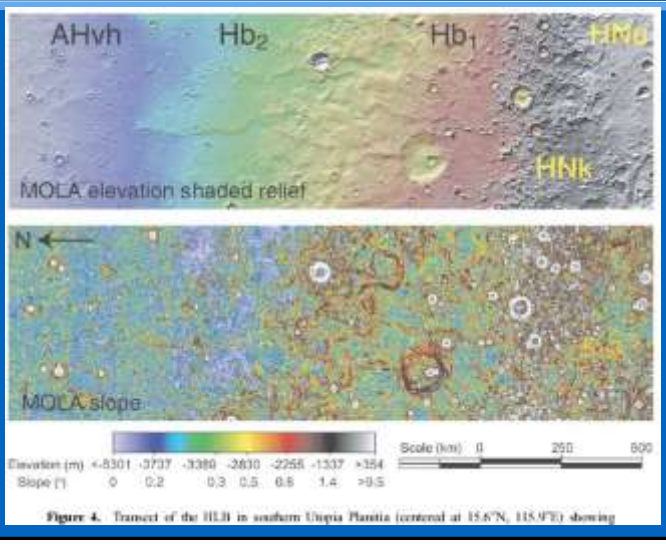


Total volume:1-6.5x10^7 km^3

Equivalent water layer:450-70m

Head,J. et al, Science 286,2134,1999

境界部分：北・低地側　スムースな地形は海底で形成



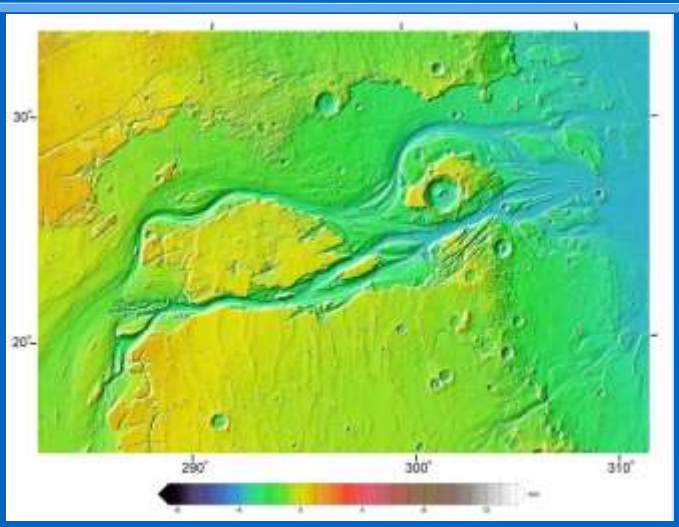
Tanaka et al. JGR

Valley Network

Valley Network:継続的な水循環・浸食作用

過去には水循環システムの存在

45

Out Flow Channel: Kasei Valles

激しい浸食、突発的な洪水