



金星 の話

北海道大学 理学部 三年
尾形 太一

目次

- 0,金星とは
- 1,金星の大気
- 2,金星の表面

0,金星とは



0,金星とは

- 惑星の定義(IAU 2006)

A "planet"¹ is a celestial body that (a) is in orbit around the Sun, (b) has sufficient mass for its self-gravity to overcome rigid body forces so that it assumes a hydrostatic equilibrium (nearly round) shape, and (c) has cleared the neighbourhood around its orbit.

つまり、

「惑星」は

(a)太陽の周りを公転

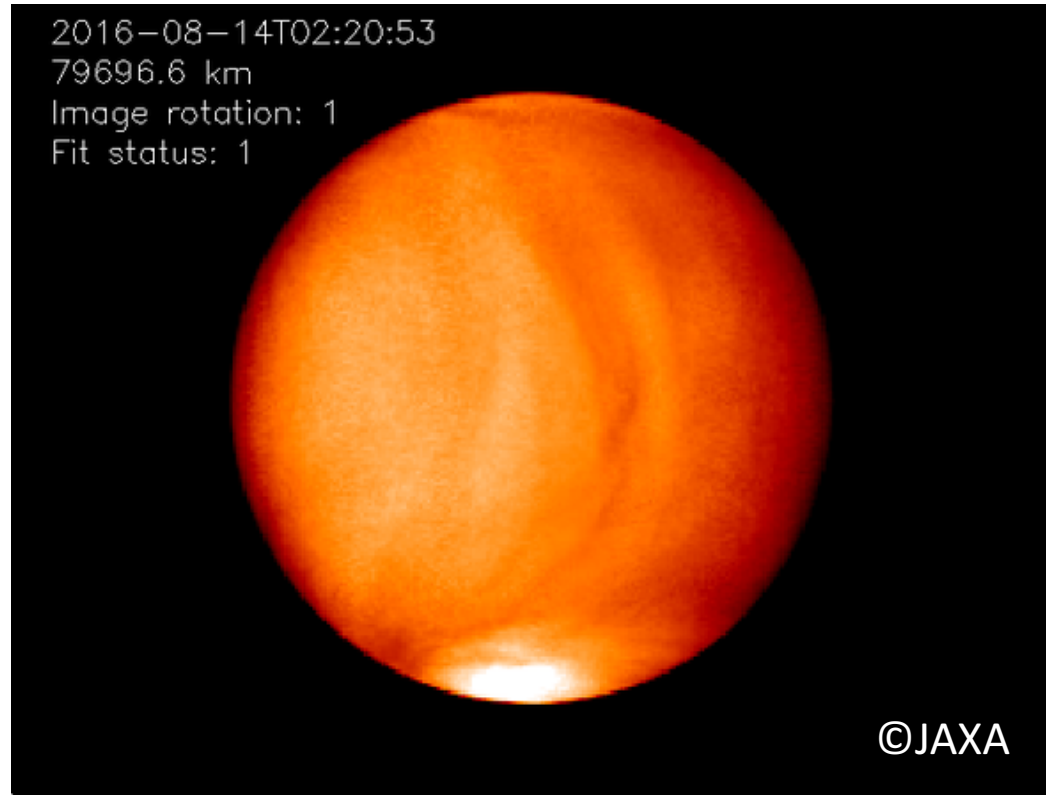
(b)ほぼ球形

(c)軌道上からほかの天体を排除

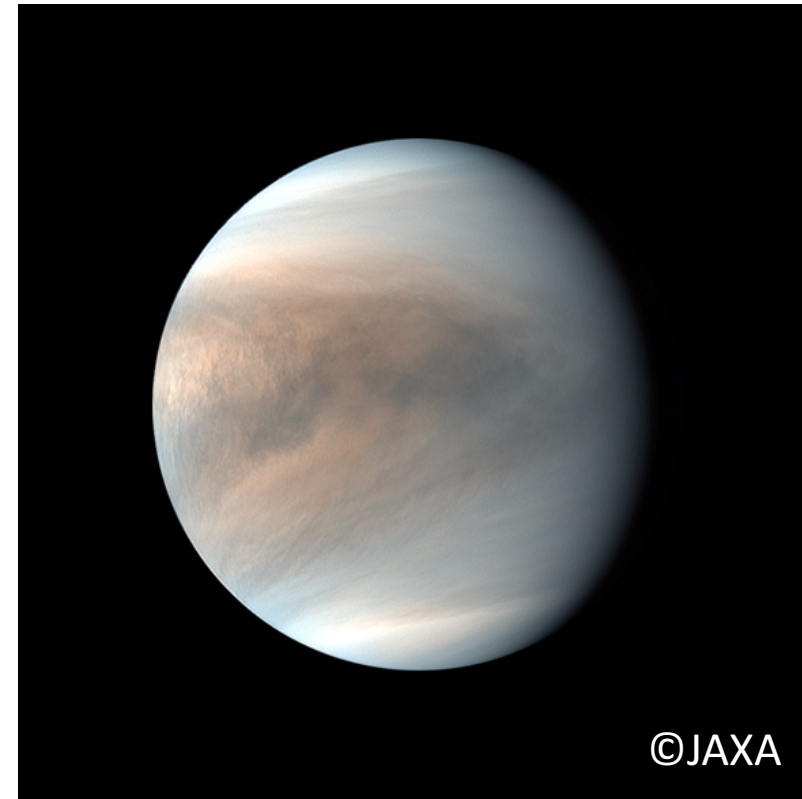
1,金星の大気

大気構造と運動

イントロ：衛星で見る金星大気



LIRによる雲頂輝度温度分布 テキストを入力



UVIで撮影した金星昼面合成擬似カラー画像

左は <https://akatsuki.isas.jaxa.jp/gallery/data/000845.html> より引用

右は <https://akatsuki.isas.jaxa.jp/gallery/data/001166.html> より引用

金星の大気：目次

- 金星の平衡温度と温室効果
- 金星大気の構造
- 金星の大気循環

金星の表面温度：アルベド

- アルベド...入射してきたエネルギーに対して反射されるエネルギーの比率
- 金星のアルベド 0.76

反射能¹⁾

0.08

0.76

0.30

太陽、惑星および月定数表

	太陽より 受ける 輻射量 (地球=1)	視半径 (地球より 平均最近 距離にて)	赤道 半径	扁平率	力学的 形状係数 J_2	赤道 重力 (地球=1)	体積 (地球=1)	衛星 数
太陽	—	15 59.64	696 000 ^{km}	0	0	28.01	1304000	—
水星	6.67	5.49	2 439.4	0	0.050×10^{-3}	0.38	0.056	0
金星	1.91	30.16	6 051.8	0	0.004×10^{-3}	0.91	0.857	0
地球	1.00	—	6 378.1	0.00335	1.083×10^{-3}	1.00	1.000	1 (1)
火星	0.43	8.94	3 396.2	0.00589	1.956×10^{-3}	0.38	0.151	2 (2)
木星	0.037	23.46	71 492	0.06487	14.70×10^{-3}	2.37	1321	72 (79)
土星	0.011	9.71	60 268	0.09796	16.32×10^{-3}	0.93	764	53 (85)
天王星	0.0027	1.93	25 559	0.02293	3.51×10^{-3}	0.89	63	27 (27)
海王星	0.0011	1.17	24 764	0.01708	3.54×10^{-3}	1.11	58	14 (14)
月	1.00	15 32.28	1 737.4	3 軸不等	0.202×10^{-3}	0.17	0.0203	—

質 量		密度	脱 出 速度	自 転 周期	赤 道 傾斜角	反射能 ¹⁾	極 大 等級	
(太陽=1)	(地球=1)							
1.000	332 946	$1.41 \times 10^3 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$	617.5	25.3800	7.25°	—	-26.8	Sun
1.6601×10^{-7}	0.05527	5.43	4.25	58.6461	0.03°	0.08	-2.5	Mercury
2.4478×10^{-6}	0.8150	5.24	10.36	243.0185	177.36°	0.76	-4.9	Venus
3.0404×10^{-6}	1.0000	5.51	11.18	0.9973	23.44°	0.30	—	Earth
3.2272×10^{-7}	0.1074	3.93	5.02	1.0260	25.19°	0.25	-2.9	Mars
9.5479×10^{-4}	317.83	1.33	59.53	0.4135	3.12°	0.34	-2.9	Jupiter
2.8589×10^{-4}	95.16	0.69	35.48	0.4440	26.73°	0.34	-0.5	Saturn
4.3662×10^{-5}	14.54	1.27	21.29	0.7183	97.77°	0.30	+5.3	Uranus
5.1514×10^{-5}	17.15	1.64	23.50	0.6653	28.35°	0.29	+7.8	Neptune
3.6943×10^{-8}	0.012300	3.34	2.38	27.3217	6.70°	0.11	-12.9	Moon

1) ボンドアルベド (Bond albedo) : 各惑星について、入射全エネルギーに対する反射全エネルギーの割合

(国立天文台 2020)

金星の表面温度：エネルギー収支(1) ◀

- 物質はその温度に依存する大きさの(単位時間当たりの)放射エネルギーの放射する
- Stefan-Blotzmannの法則
- $I = \sigma T^4$
 - I...単位時間当たりの放射エネルギー
 - T...絶対温度
 - σ ...Stefan-Blotzmann係数
- 黒体...入射した光をすべて吸収
- 金星を黒体と近似する

金星の表面温度：エネルギー収支(2)

受け取るエネルギー=放射するエネルギー （単位時間当たり）

$$(1-A_v) S_v \pi R^2 = \sigma T_{eq}^4 4\pi R^2$$

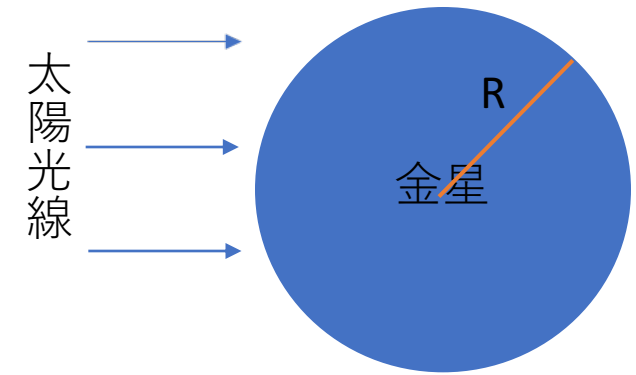
※ $S_v(W/m^2)$:単位面積、単位時間当たりの受け取るエネルギー(太陽定数)

T_{eq} について整理すると

$$T_{eq} = (((1-A_v) S_v) / 4\sigma)^{1/4}$$

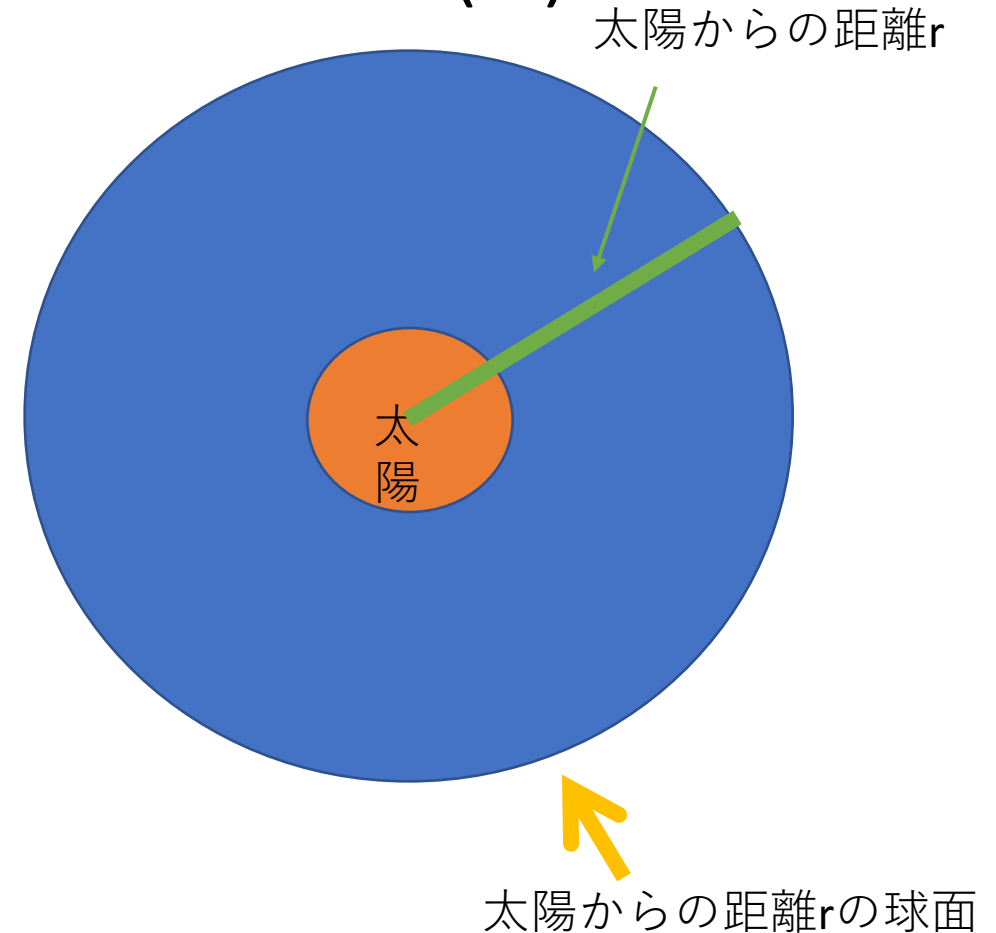
と金星表面温度を求めることができる。

この時の温度 T_{eq} を平衡温度という



金星の表面温度：エネルギー収支(3)

- 金星における太陽定数 S_v を決める
- 金星の太陽からの距離は約0.72AU
- 太陽放射の単位面積当たりのエネルギーは太陽からの距離の二乗に反比例
- よって金星の太陽定数は地球のの太陽定数の $1/\{(0.72)^2\}$
- $S_v = 1/\{(0.72)^2\} * S_e$
- $= 1/0.5184 * 1370 \text{ W m}^{-2} = 2643 \text{ W m}^{-2}$



金星の表面温度：エネルギー収支(4)

- $T_{eq} = (((1 - A_v) S_v) / \sigma)^{1/4}$
- $S_v = 2643 \text{ W m}^{-2}$
- $A_v = 0.76$
- $\sigma = 5.67 \times 10^{-8}$
- より
- $T_{eq} = 230 \text{ K} = -43^\circ \text{C}$
- 金星表面温度735Kより非常に小さい
- 原因：温室効果、金星内部の熱源(放射性同位体)

↑原子力発電で起きているように、原子核の崩壊によって周囲に熱を放出します

金星表面の化学組成

表 1. 19 金星の玄武岩の化学組成 (Vinogradov *et al.*, 1973; Surkov *et al.*, 1976, 1984, 1986; Barsukov *et al.*, 1986; Barsukov, 1992).

(a)

酸化物	ヴェネラ13	ヴェネラ14	ベガ 2
SiO ₂	45.1±3.0	48.7±3.6	45.6±3.2
TiO ₂	1.59±0.45	1.25±0.41	0.2±0.1
Al ₂ O ₃	15.8±3.0	17.9±2.6	16.0±1.8
FeO	9.3±2.2	8.8±1.8	7.74±1.1
MnO	0.2±0.1	0.16±0.08	0.14±0.12
MgO	11.4±6.2	8.1±3.3	11.5±3.7
CaO	7.1±0.96	10.3±1.2	7.5±0.7
K ₂ O	4.0±0.63	0.2±0.07	0.1±0.08
S	0.65±0.4	0.35±0.31	1.9±0.6
Cl	<0.3	<0.4	<0.3

(b)

	ヴェネラ 8	ヴェネラ 9	ヴェネラ10	ベガ 1	ベガ 2
K (%)	4.0±1.2	0.5±0.1	0.3±0.2	0.45±0.22	0.40±0.20
U (ppm)	2.2±0.7	0.6±0.2	0.5±0.3	0.64±0.47	0.68±0.38
Th (ppm)	6.5±0.2	3.7±0.4	0.7±0.3	1.5±1.2	2.0±1.0

(松井ほか 2011)

旧ソ連の探査機

venera series, vega program

手法:XRF解析

場所:7か所での分析

金星の表面温度：化学組成

- 二酸化炭素が主成分
- 二酸化炭素と水蒸気の温室効果により高温に

表 4.5 地球型惑星の大気組成. 主な気体成分を示す. Fegley (1995) を簡略化.

気体	地球 ^[1]	金星	火星
N ₂ (%)	78.084	3.5 ± 0.8	2.7
O ₂ (%)	20.946		0.13%
H ₂ O	< 4% ^[2]	20–150 ppm ^[3]	~210 ppm ^[2]
Ar	9340 ppm	70 ± 25 ppm	1.6%
CO ₂	350 ppm ^[4]	96.5 ± 0.8%	95.32%
Ne (ppm)	18.18	7 ± 3	2.5
⁴ He (ppm)	5.24	12 ⁺²⁴ ₋₈	
CH ₄ (ppm)	1.7 ^[5]		
Kr	1.14 ppm	25 ppb	0.3 ppm
H ₂ (ppm)	0.55		
N ₂ O (ppb)	~320		
CO	125 ppb	16–55 ppm ^[6]	0.08%
Xe	87 ppb	~1.9 ppb	0.08 ppm
O ₃	~10–100 ppb		~(0.04–0.2) ppm ^[2]
HCl		0.4–0.5%	

(松井ほか 2011)

金星大気の層構造

- 特徴
- 雲層以下：乾燥断熱減率 (よりやや安定)
- 雲層：全球を覆う硫酸の雲
- 成層圏に欠ける

※地球だと成層圏にオゾン層があって温度の山がある

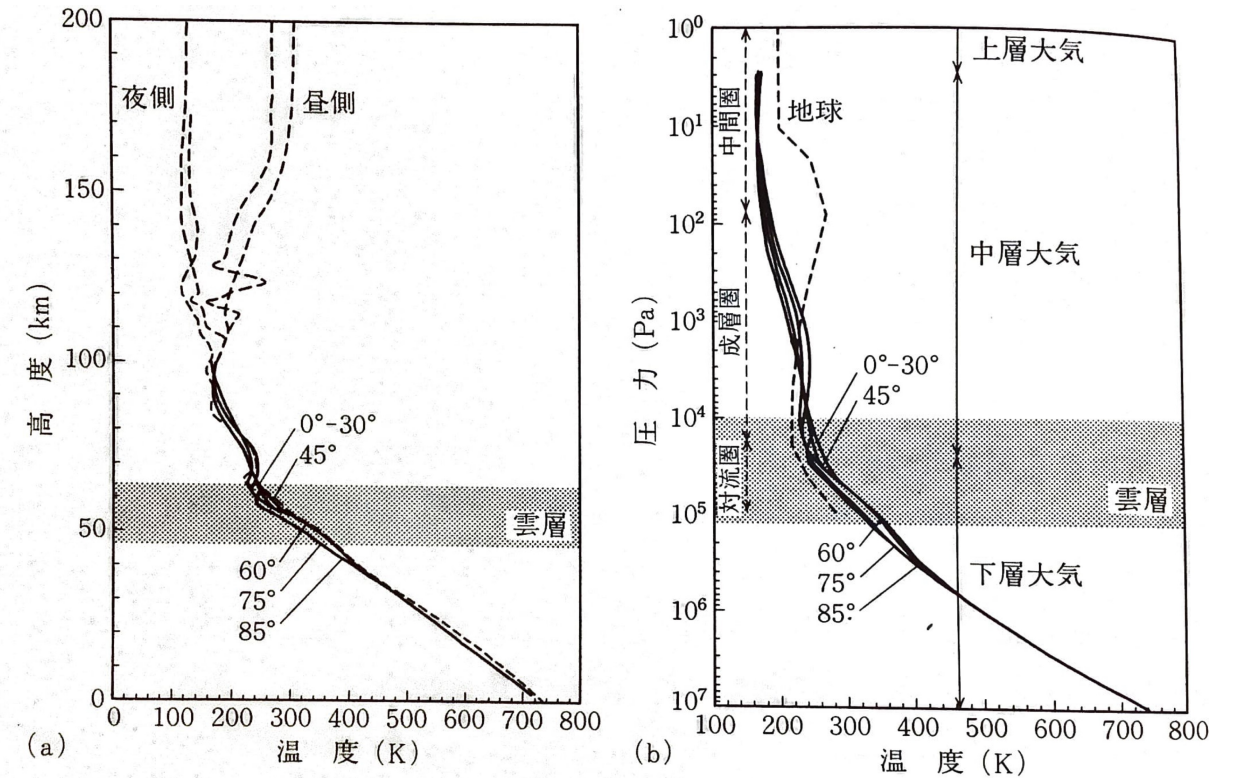


図 4.9 金星大気構造. (a) 高度と温度の関係を示す. 破線はパイオニアヴィーナス探査機の計測にもとづく大気構造で, 実線はさまざまな探査の結果を総合して得られた金星標準大気を示す. 雲層のレベルでは緯度ごとに温度は違うが, その差は小さい. 高度 100 km より上の大気は夜側と昼側で約 200 K の温度差がある. (b) 圧力と温度の関係を示す. 破線は地球大気温度分布 (米国標準大気) である. 雲層レベルの温度・圧力が地球表層のそれと似ていることがわかる. 地球の成層圏に対応する温度のピークはないことがわかる.

(松井ほか 2011)

金星の風速の構造

スーパーローテーション（4日循環）：

- 高高度ほど高速の東風（自転速度の**60倍!!**）

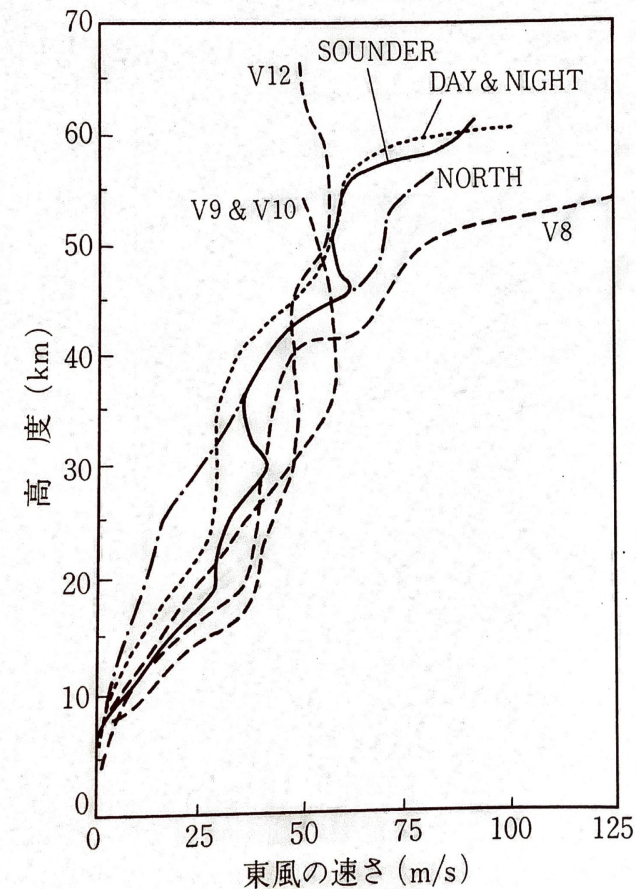
※地球だと**24分**に一周!!

※金星の自転周期は約**243日**

- 原因はわかっていない

※地表付近はデータが少なく不明

※風は探査機の追跡や模様の追跡によって求める。



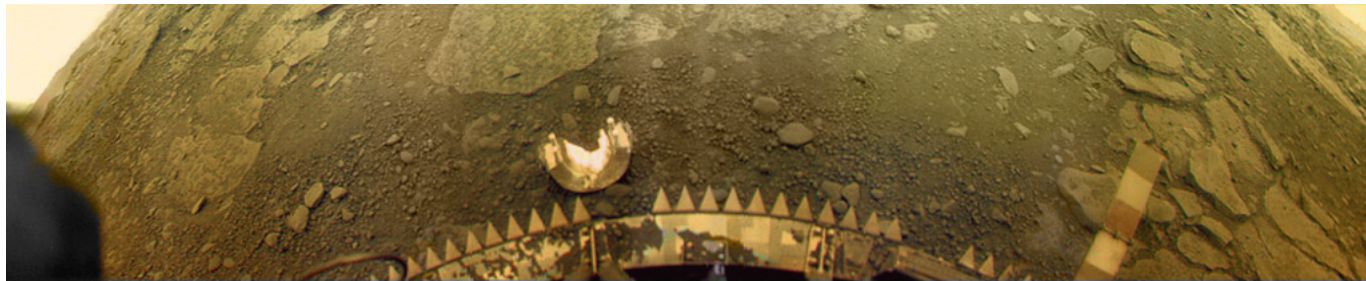
(松井ほか 2011)

2,金星の表面

地形とテクトニクス

イントロ：金星表面の写真

- Venera 13,14の画像
- オレンジ色なのは、大気による青色光の散乱が原因



←venera13号で撮影した金星表面写真

→venera14号で撮影した金星表面写真

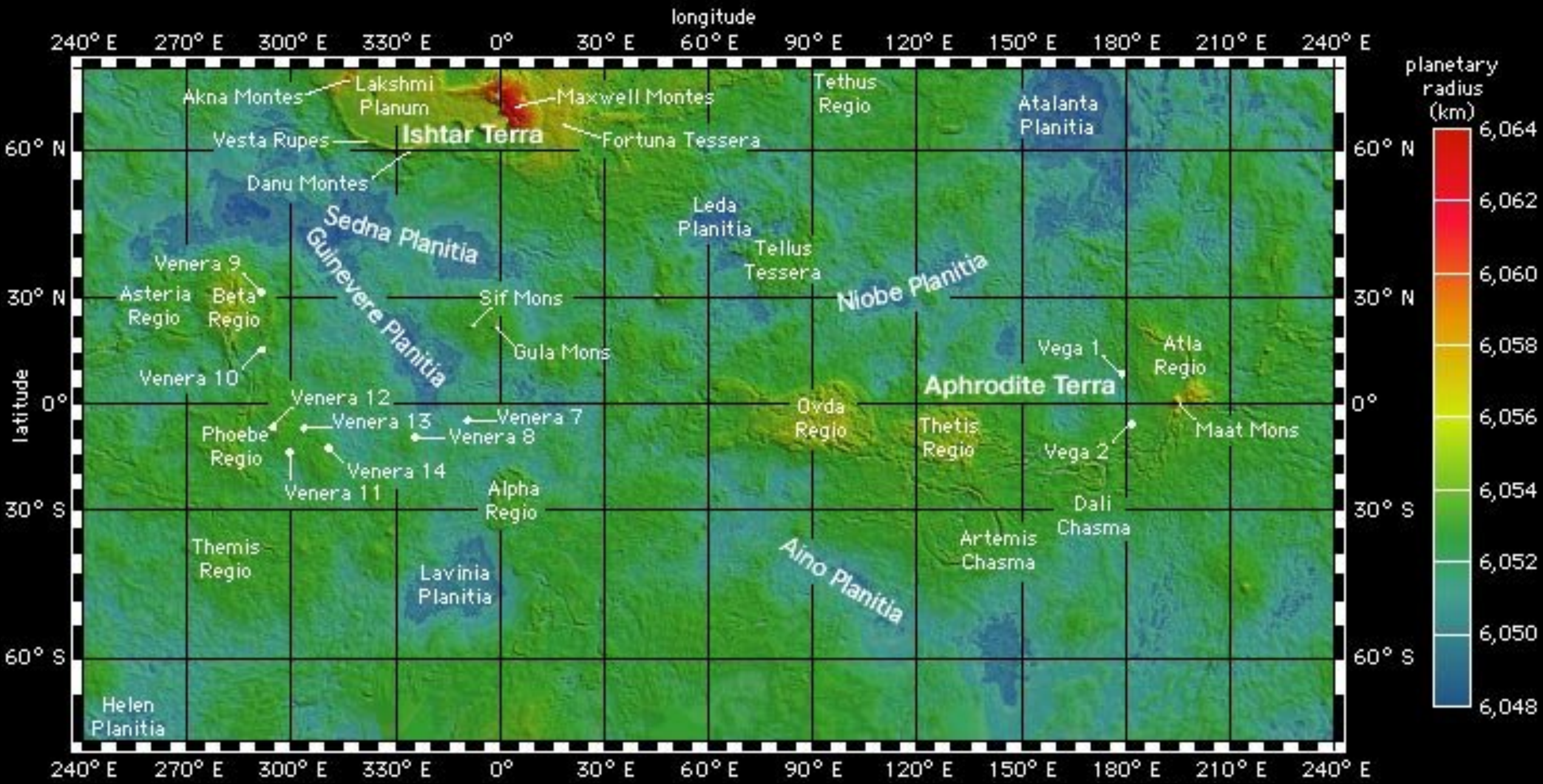


金星の表面：目次

- 金星地形の概観:金星の地形図
- 金星表面の化学組成
- 金星の代表的地形
- 金星のテクトニクス

金星地形の概観・金星の地形図

<https://www.britannica.com/place/Venus-planet/Surface-composition> より引用



金星表面の化学組成

表 1. 19 金星の玄武岩の化学組成 (Vinogradov *et al.*, 1973; Surkov *et al.*, 1976, 1984, 1986; Barsukov *et al.*, 1986; Barsukov, 1992).

(a)

酸化物	ヴェネラ13	ヴェネラ14	ベガ 2
SiO ₂	45.1±3.0	48.7±3.6	45.6±3.2
TiO ₂	1.59±0.45	1.25±0.41	0.2±0.1
Al ₂ O ₃	15.8±3.0	17.9±2.6	16.0±1.8
FeO	9.3±2.2	8.8±1.8	7.74±1.1
MnO	0.2±0.1	0.16±0.08	0.14±0.12
MgO	11.4±6.2	8.1±3.3	11.5±3.7
CaO	7.1±0.96	10.3±1.2	7.5±0.7
K ₂ O	4.0±0.63	0.2±0.07	0.1±0.08
S	0.65±0.4	0.35±0.31	1.9±0.6
Cl	<0.3	<0.4	<0.3

(b)

	ヴェネラ 8	ヴェネラ 9	ヴェネラ10	ベガ 1	ベガ 2
K (%)	4.0±1.2	0.5±0.1	0.3±0.2	0.45±0.22	0.40±0.20
U (ppm)	2.2±0.7	0.6±0.2	0.5±0.3	0.64±0.47	0.68±0.38
Th (ppm)	6.5±0.2	3.7±0.4	0.7±0.3	1.5±1.2	2.0±1.0

(松井ほか 2011)

旧ソ連の探査機

venera series, vega program

手法:XRF解析

場所:7か所での分析

金星表面の化学組成

表 1.19 金星の玄武岩の化学組成 (Vinogradov *et al.*, 1973; Surkov *et al.*, 1976, 1984, 1986; Barsukov *et al.*, 1986; Barsukov, 1992).

(a)

酸化物	ヴェネラ13	ヴェネラ14	ベガ 2
SiO ₂	45.1±3.0	48.7±3.6	45.6±3.2
TiO ₂	1.59±0.45	1.25±0.41	0.2±0.1
Al ₂ O ₃	15.8±3.0	17.9±2.6	16.0±1.8
FeO	9.3±2.2	8.8±1.8	7.74±1.1
MnO	0.2±0.1	0.16±0.08	0.14±0.12
MgO	11.4±6.2	8.1±3.3	11.5±3.7
CaO	7.1±0.96	10.3±1.2	7.5±0.7
K ₂ O	4.0±0.63	0.2±0.07	0.1±0.08
S	0.65±0.4	0.35±0.31	1.9±0.6
Cl	<0.3	<0.4	<0.3

(b)

	ヴェネラ 8	ヴェネラ 9	ヴェネラ10	ベガ 1	ベガ 2
K (%)	4.0±1.2	0.5±0.1	0.3±0.2	0.45±0.22	0.40±0.20
U (ppm)	2.2±0.7	0.6±0.2	0.5±0.3	0.64±0.47	0.68±0.38
Th (ppm)	6.5±0.2	3.7±0.4	0.7±0.3	1.5±1.2	2.0±1.0

(松井ほか 2011)

結果:6か所が玄武岩質

Beta Regio付近(venera9,10)

Phoebe Regio(venera14)

Aphrodite Terra(vega1,2)

→ソレアイト質玄武岩と類似

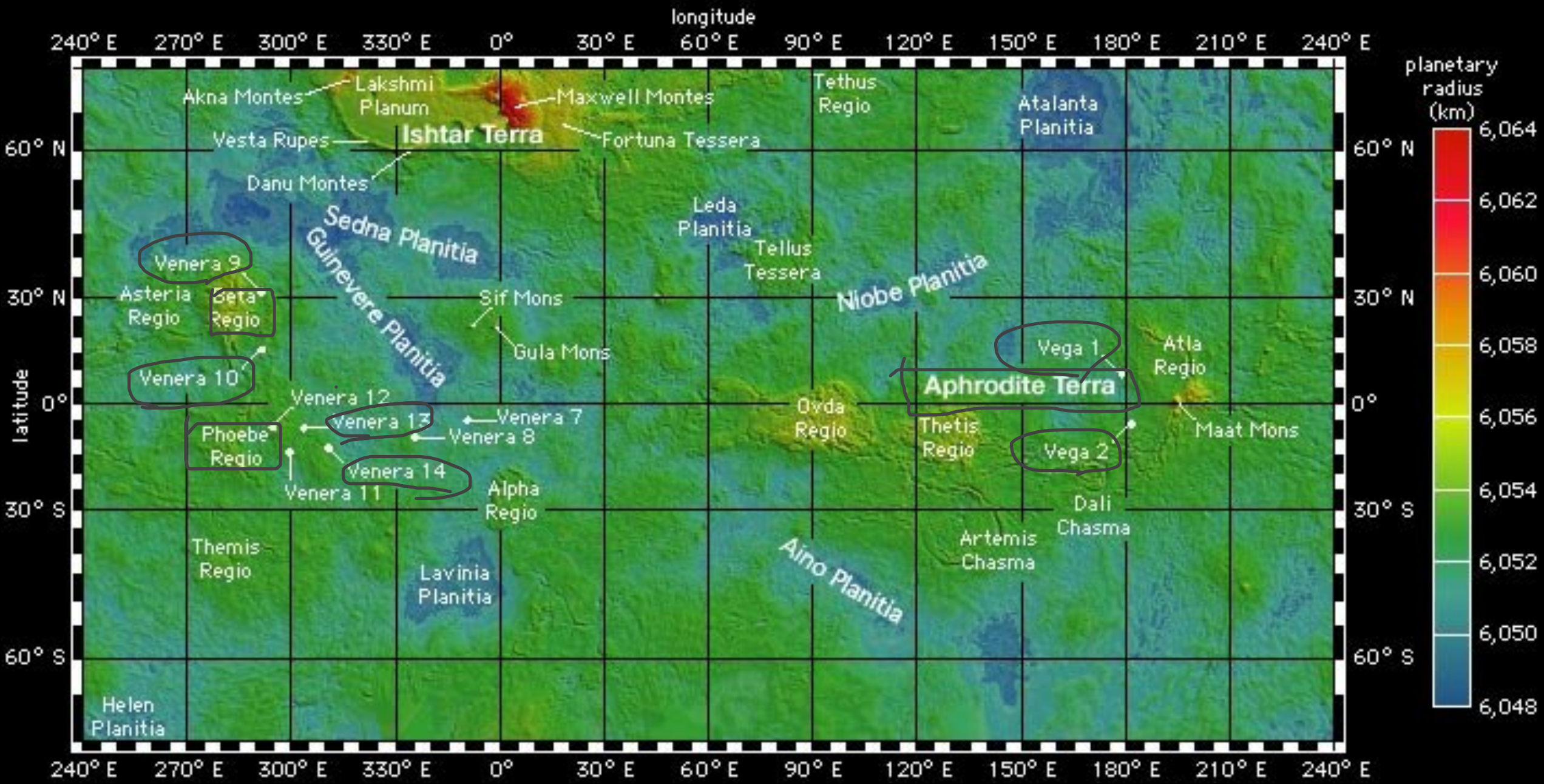
Phoebe Regio(venera13)

→Kに富むアルカリ玄武岩

⇒金星表面には玄武岩が多い

金星表面の化学組成：採取場所

<https://www.britannica.com/place/Venus-planet/Surface-composition> より引用



金星の代表的地形:火成地形

- 楕状火山原...直径**20km**以下の楕状火山が**4-10個/10³ km²**
- 中規模火山...直径**20-100km**の放射状の溶岩流
- 大規模火山...直径**100km**以上の放射状の溶岩流
- カルデラ...火山体を伴わない円形-楕円形の陥没地形
- コロナ...同心円状の峰、裂け目 火山活動あり
- 火成平原...溶岩によってできた平原
- 溶岩チャネル...低粘性の溶岩の流れ跡

Fotla Corona

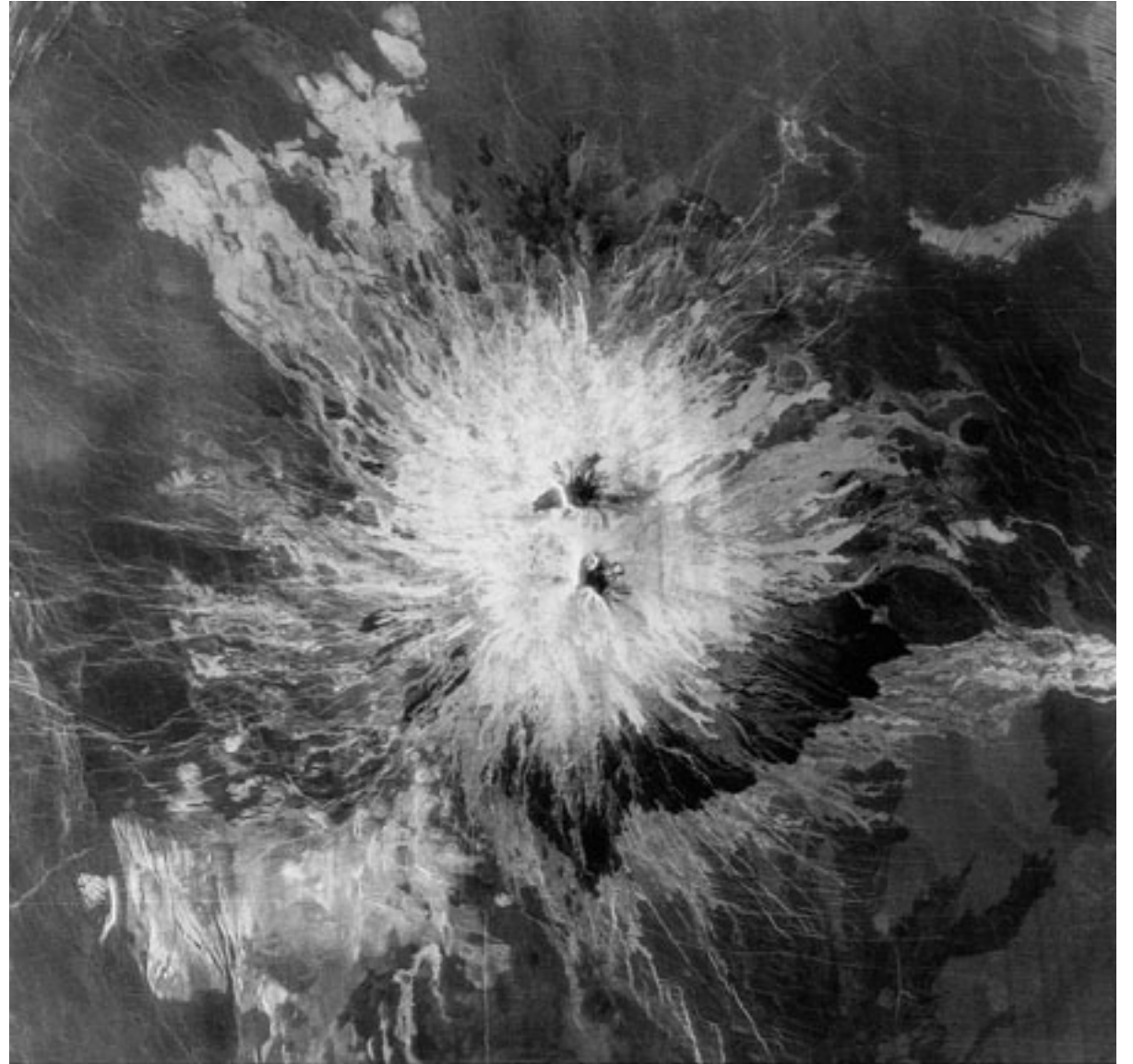
- コロナ
- 直径200km
- Aphrodite terra



Copyright 2010, Professor Kenneth R. Lang, Tufts University
https://ase.tufts.edu/cosmos/view_picture.asp?id=1120 より引用

サパ火山

- 大型の盾状火山
- 直径400km
- 高さ1.5km
- 沢山の溶岩流



Copyright 2010, Professor Kenneth R. Lang, Tufts University
https://ase.tufts.edu/cosmos/view_picture.asp?id=1115 より引用

金星の代表的地形:構造地形ほか

- **構造地形**

- 皺状峰...
- マントル対流の沈み込みによる地殻の圧縮
- 表層の冷却による体積変化の差による力によってできることも(多角形構造)

- **その他**

- テッセラ(地殻台地)...台地。表面に多くの構造地形がある。
- 風紋...風成作用(風による土砂の輸送)によってできた地形
- クレーター

皺状峰(左)と多角形構造(右)

両方とも(宮本ほか 2008)

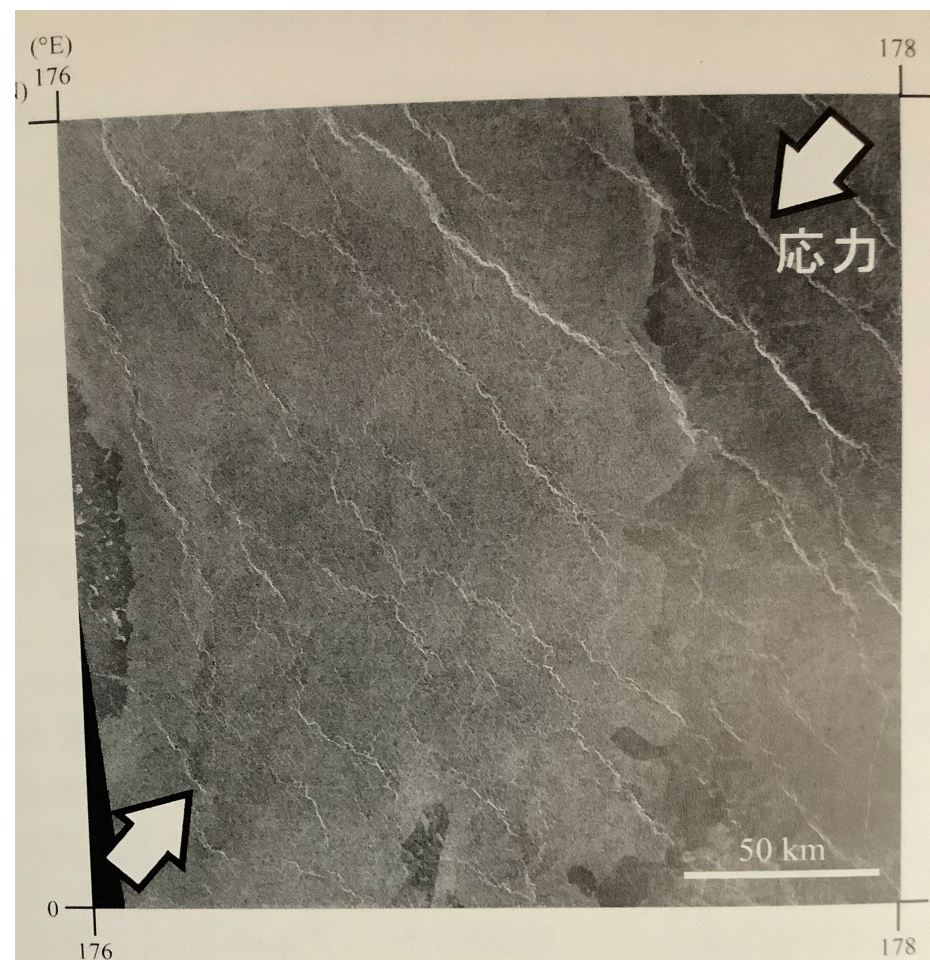
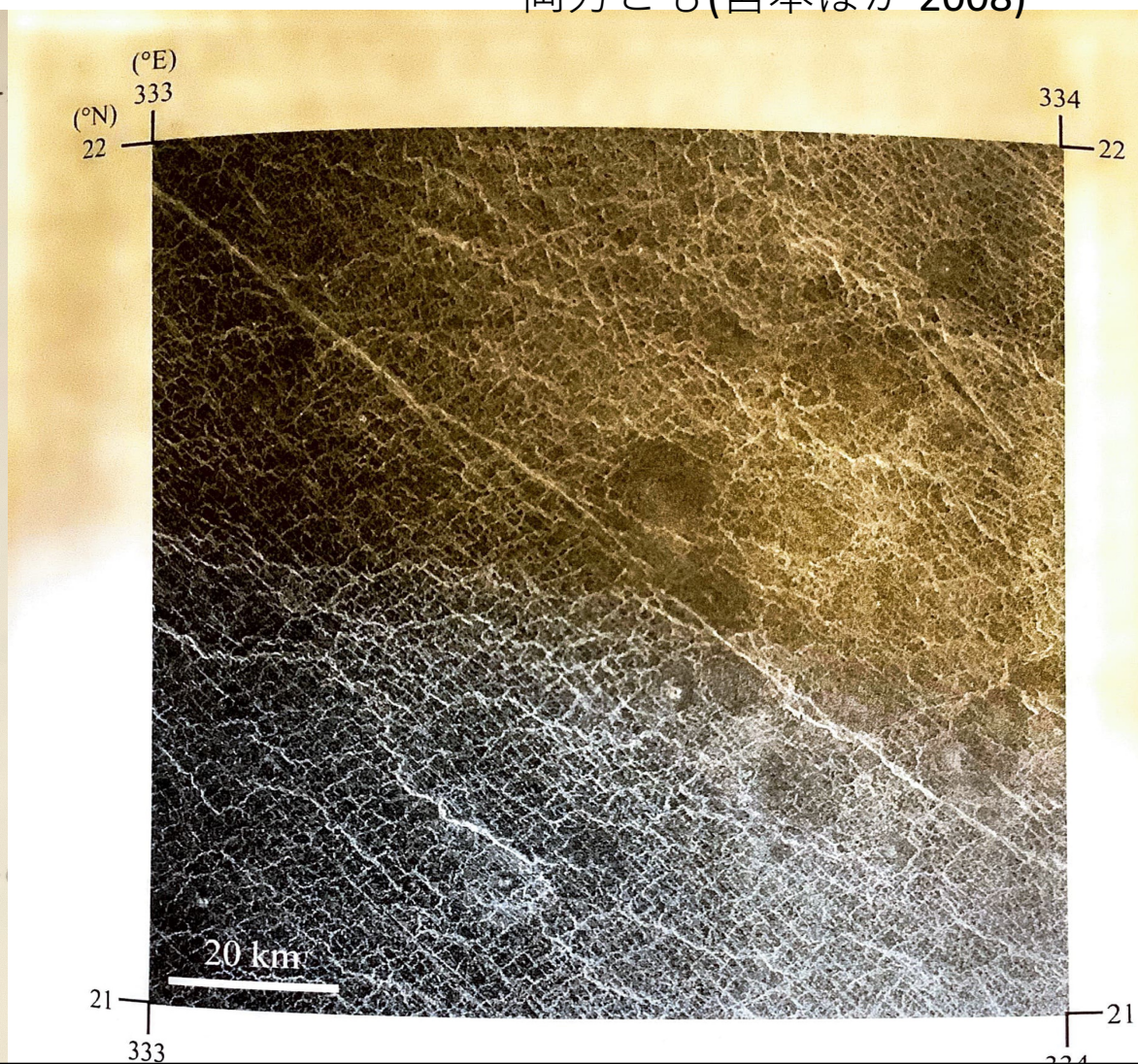
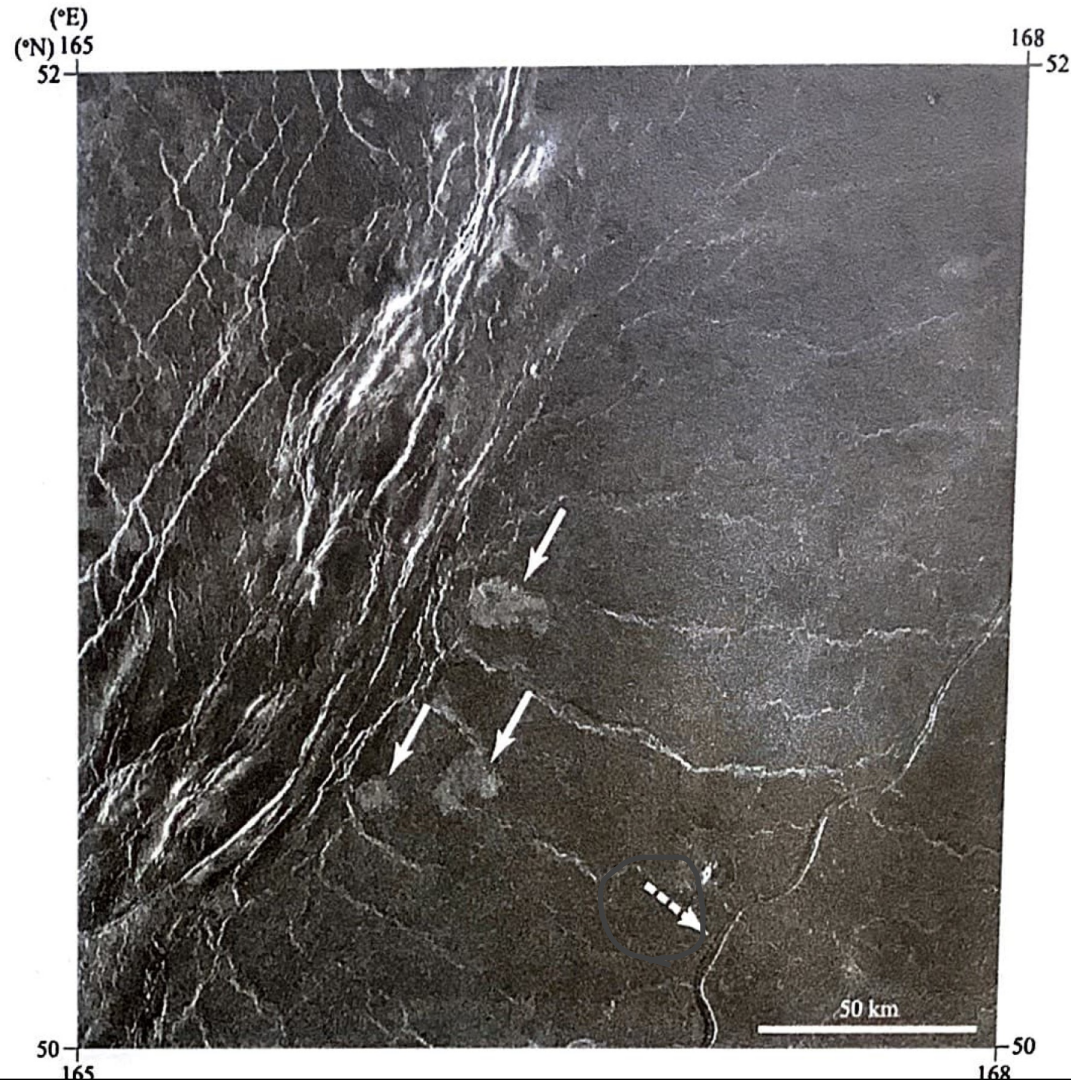


図 2-2-11 ルサルカ平原にみられる典型的な皺状峰.

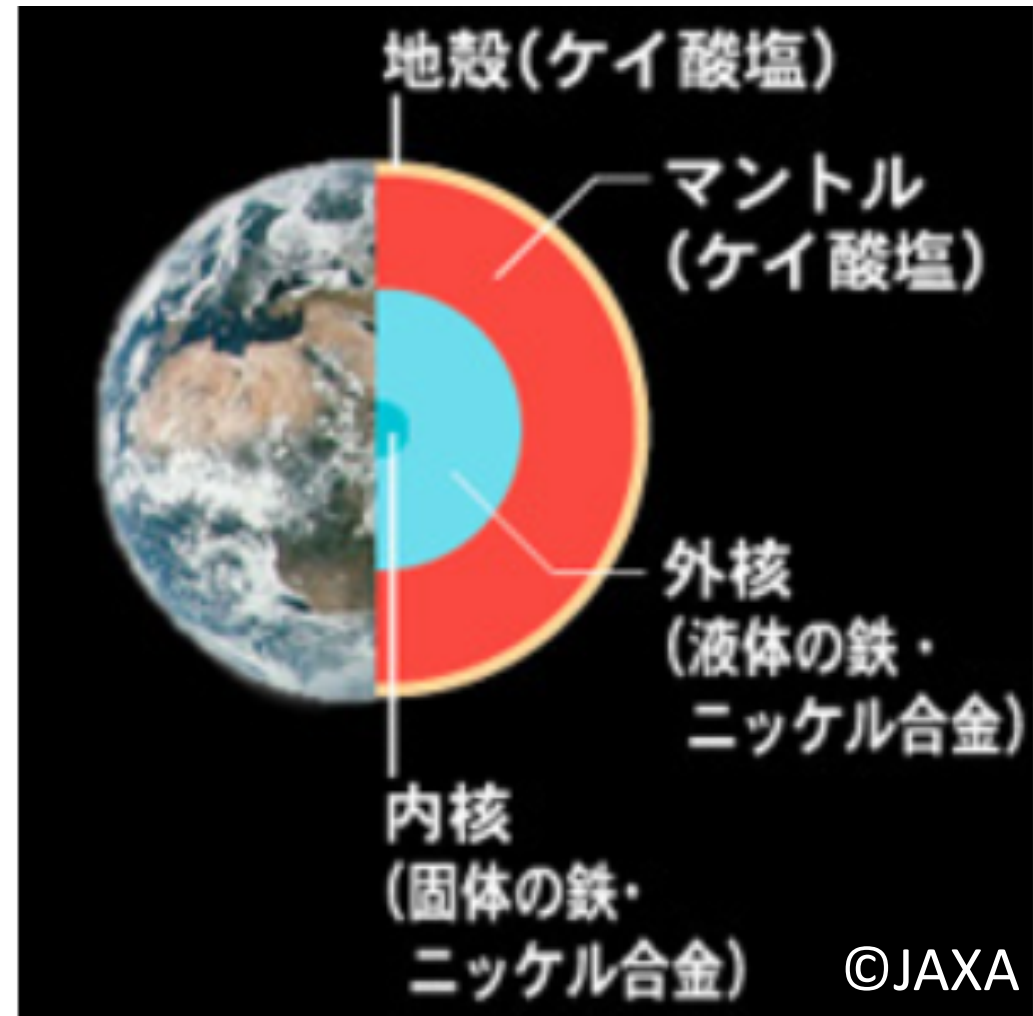
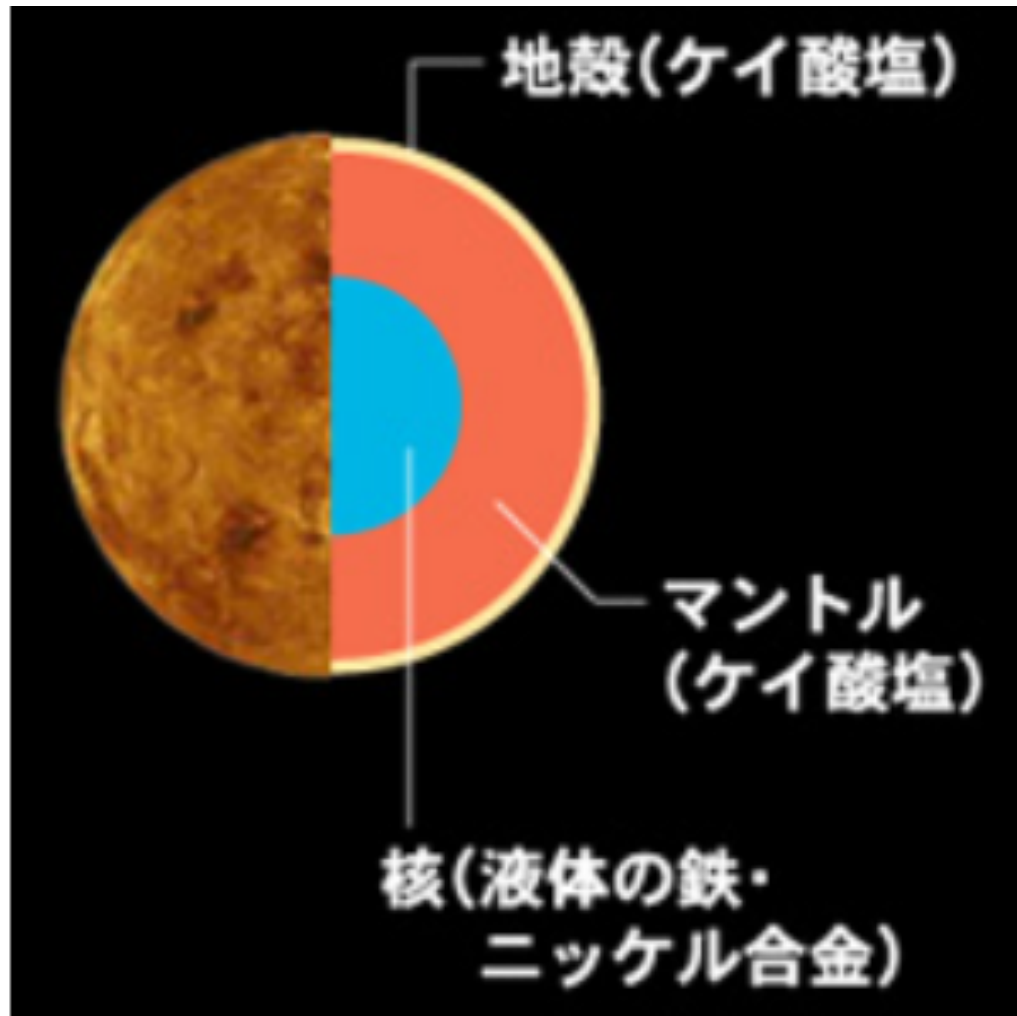


溶岩チャネル

両方とも(宮本ほか 2008)



金星のテクトニクス：層構造



金星のテクトニクス

- 金星にはプレートテクトニクスは存在しない
- 金星のリソスフェア(表面の硬い層、岩石圏とも)
- スタグナント・リッド(一枚のプレート)として振る舞う
- 表面環境の差に原因？
- 海がないこと...プレート境界の摩擦の緩和に水が必要
- 高い表面温度とする説も

金星のテクトニクス:大規模一斉更新説

- 衝突クレーターの地表分布がランダム
- 1,クレーターの生成消滅速度が同じ
- →消滅がランダム分布？
- 2,大規模一斉更新説

金星のテクトニクス:大規模一斉更新説

- 説1
 - 金星表層はやわらいたためマントル対流に巻き込まれる
- 説2
 - 厚いリソスフェアが惑星内部の温度を上げ激しいマントル対流を生み出す

引用・参考文献

- IAU, <https://www.iau.org/news/pressreleases/detail/iau0602/>, 2006/08/24,(2021/07/21閲覧)
- IAU, <https://www.iau.org/public/themes/pluto/>, (2021/07/20閲覧)
- 松井孝典・永原裕子・藤原顕・渡邊誠一郎・井田茂・阿部豊・中村正人・小松吾郎・山本哲生「新装版 地球惑星科学 1 2 比較惑星学」, 2011, 岩波書店, 488pp
- 宮本英明・橘省吾・平田成・杉田精司「惑星地質学」, 2008, 東大出版, 260pp
- 佐々木晶・土山明・笠羽康正・大竹真紀子「現代地球化学入門シリーズ 1 太陽・惑星系と地球」, 2019, 共立出版, 372pp
- 松井孝典・永原裕子・藤原顕・渡邊誠一郎・井田茂・阿部豊・中村正人・小松吾郎・山本哲生「新装版 地球惑星科学 1 2 比較惑星学」, 2011, 岩波書店, 488pp
- 松田佳久「惑星気象学」, 2000, 東大出版, 204pp
- Peter Cattermole(1994)VENUS The geological story, UCL Press, 250pp
- “Surface composition | Britannica”, <https://www.britannica.com/place/Venus-planet/Surface-composition>, (2021/07/23閲覧)
- NASA, https://appel.nasa.gov/2012/07/30/5-7_venus_engineering-html/, (2021/07/23閲覧)

引用・参考文献

- JAXA, JAXA|金星の概要, https://www.jaxa.jp/countdown/f17/overview/venus_j.html, (2021/07/24閲覧)
- NASA's Cosmos, https://ase.tufts.edu/cosmos/view_picture.asp?id=1120, (2021/07/24閲覧)
- NASA's Cosmos, https://ase.tufts.edu/cosmos/view_picture.asp?id=1115, (2021/07/24閲覧)
- 惑星の定義 – 国立天文台暦計算室, <https://eco.mtk.nao.ac.jp/koyomi/topics/html/topics2008.html>, (2021/07/24閲覧)
- 暦wiki/惑星の形状 – 国立天文台暦計算室, <https://eco.mtk.nao.ac.jp/koyomi/wiki/C5B7C2CEA4CEB7C1BEF5.html>, (2021/07/24閲覧)
- UVIで撮影した金星昼面合成疑似カラー画像 (2018/03/30) その1|ギャラリー|金星探査機「あかつき」, <https://akatsuki.isas.jaxa.jp/gallery/data/001166.html>, (2021/07/24閲覧)
- LIRによる雲頂輝度温度分布|ギャラリー|金星探査機「あかつき」, <https://akatsuki.isas.jaxa.jp/gallery/data/000845.html>, (2021/07/24閲覧)
- 蛍光X線分析：原理解説：日立ハイテクサイエンス, <https://www.hitachi-hightech.com/hhs/products/tech/ana/xrf/descriptions.html>, (2021/07/24閲覧)
- 風成作用, <http://www.ha.shotoku.ac.jp/~kawa/KYO/CHISITSU/kaze/index.html>, (2021/07/24閲覧)
- シュテファン・ボルツマンの法則|天文学辞典 <https://astro-dic.jp/stefan-boltzmann-law/>, (2021/07/24閲覧)
- ソレアイトとは – コトバンク <https://kotobank.jp/word/ソレアイト-315453>, (2021/07/24閲覧)

ご清聴ありがとうございました。