

海洋形成条件(レビュー)

はしもとじょーじ (岡山大学)

1. ハビタブルとは？
2. 海洋形成条件とその問題
水の存在量、惑星アルベド、雲、
大気組成、軌道要素

1. ハビタブルとは？

生存可能であるとはどういうことか？

万人が納得する定義はない
(そもそも生命自体が定義されていない)

古典的な定義 (Dole 1964; Hart 1978)

惑星表面で液体の水が安定に存在できること

- 地球外生命は液体の水を必要とするのか？
- 地下の水でも生命は維持できる？

I Want to Meet Jabba the Hut !



<http://zknight.fc2web.com/se4.htm>

2. 海洋形成条件

水は十分にたくさん存在しているとすると、
熱すぎず、寒すぎず、ちょうどよい温度のとき
海洋が形成される



735 K

288 K

218 K

未解決問題 1 : 水の存在量

惑星表層の水の量はどのように決まるのか？

– 惑星材料物質

いつ、どんな組成、どのように

– 惑星表面での化学反応

酸素の分配 : C, Fe, etc.

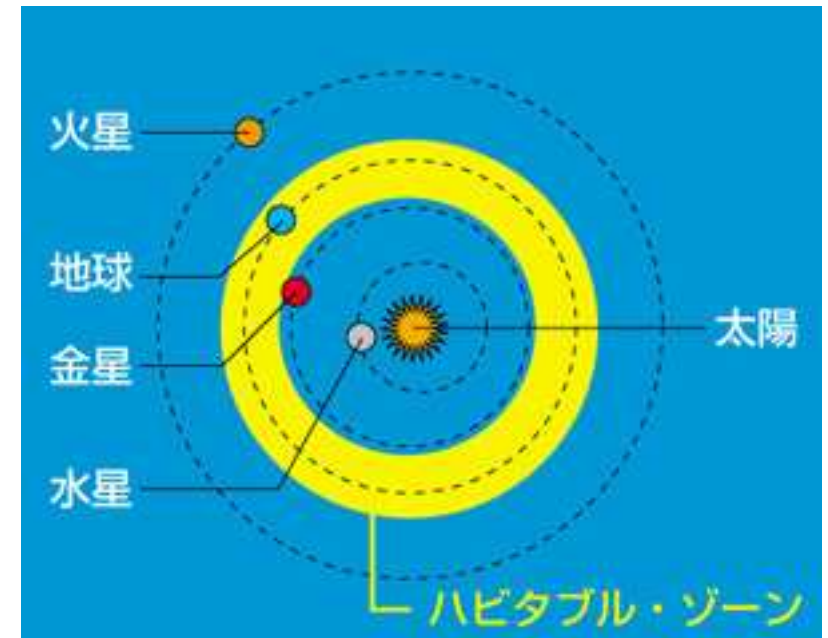
– 宇宙空間への流失・惑星内部への吸い込み

巨大衝突、テクトニクス、惑星内部温度

Habitable Zone

Kasting et al. (1993, 2003)

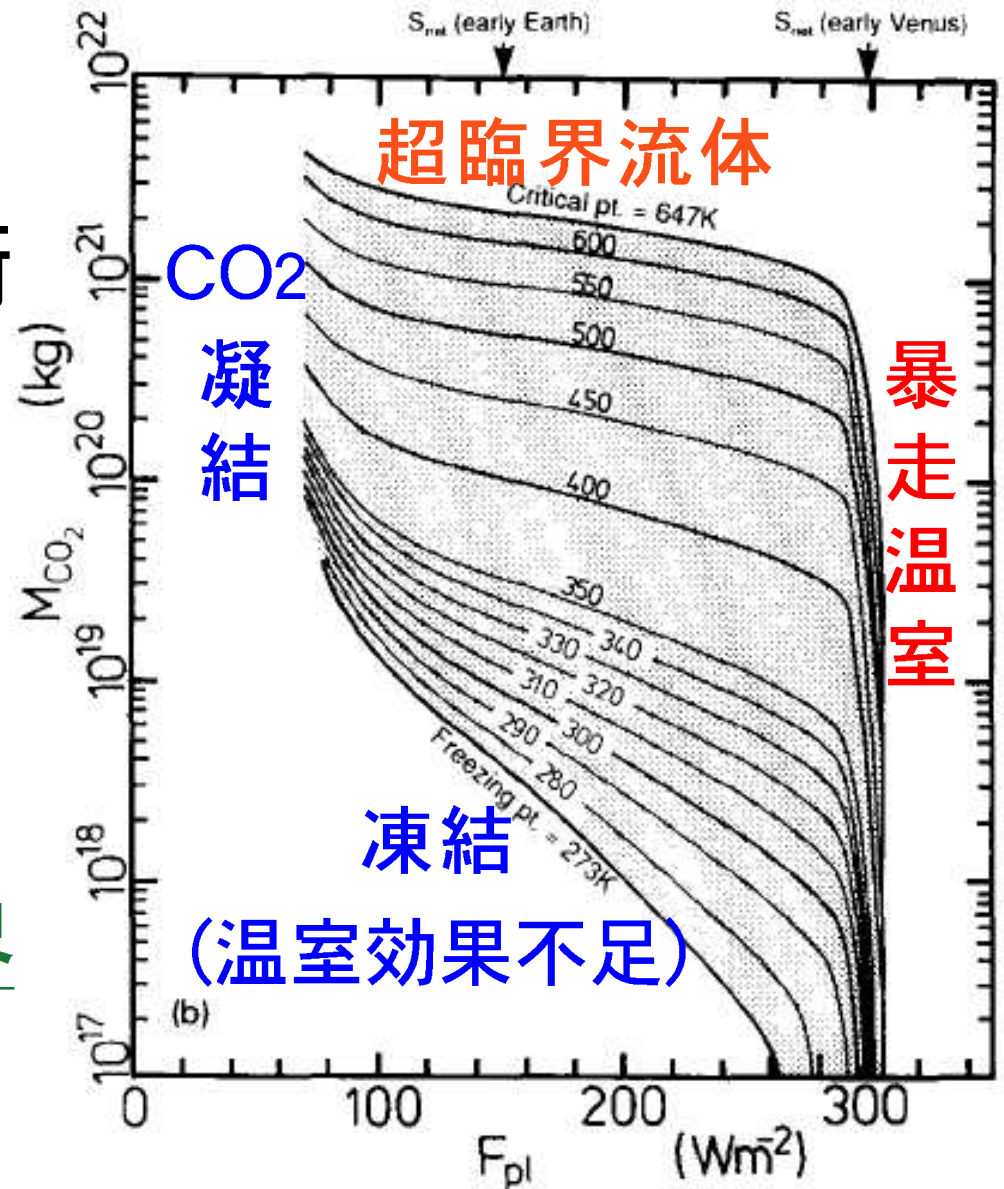
- For Earth-like planets with CO₂/H₂O/N₂ atmosphere, HZ is estimated between 0.84 and 1.37 AU.
- Warming provided by other gases (e.g., CH₄) may extend the outer edge as far as 2.4 AU.



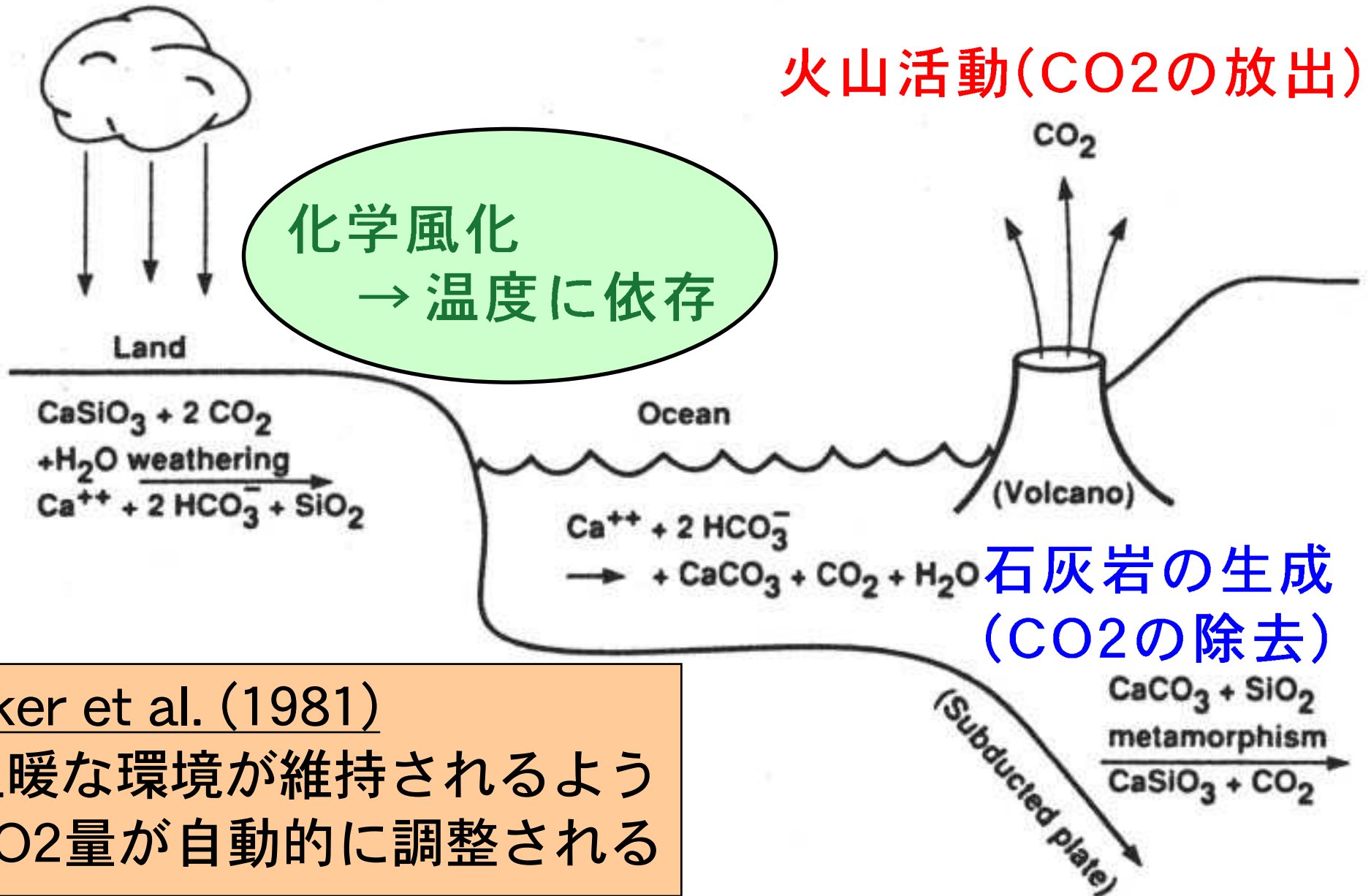
海洋形成条件 Abe (1993)

CO₂-H₂O 大気
鉛直 1 次元放射対流平衡

鉛直 1 次元モデルの限界
雲を予言できない



気候の安定化 (Carbonate-Silicate Cycle)



火山活動(CO2の放出)

化学風化
→ 温度に依存

石灰岩の生成
(CO2の除去)

Walker et al. (1981)

温暖な環境が維持されるよう
CO2量が自動的に調整される

暴走温室 (e.g., Nakajima et al. 1992)

射出限界：湿潤な大気の冷却率には上限がある

高温な大気～水蒸気大気

→ 飽和蒸気圧曲線で決まる大気構造

→ 光学的厚さ 1 の場所の温度が決まる

暴走温室

射出限界($\sim 340 \text{ W/m}^2$)を上回る加熱があると海洋は全蒸発する

乾燥した大気の射出限界は大きい！

未解決問題 2 : 惑星アルベド

惑星の加熱率 $F = \frac{S(1-A)}{4}$

S 太陽放射定数 ← 太陽からの距離

A 惑星アルベド ← 惑星自身が決める

	雲量(%)	A
金星	100	0.77
地球	50	0.30
火星	~0	0.15

雲が惑星アルベド
を決めている

でも雲はどう決まる？

現在の金星は暴走温室ではない

	金星	地球	火星
軌道半径 (AU)	0.72	1.00	1.52
太陽放射 (W/m ²)	2640	1370	590
惑星アルベド	0.77	0.30	0.15
平均太陽放射加熱	150	240	130
平均地表温度 (K)	735	288	230
地表圧力 (bar)	92	1	0.006
大気主成分	CO ₂ , N ₂	N ₂ , O ₂	CO ₂ , N ₂

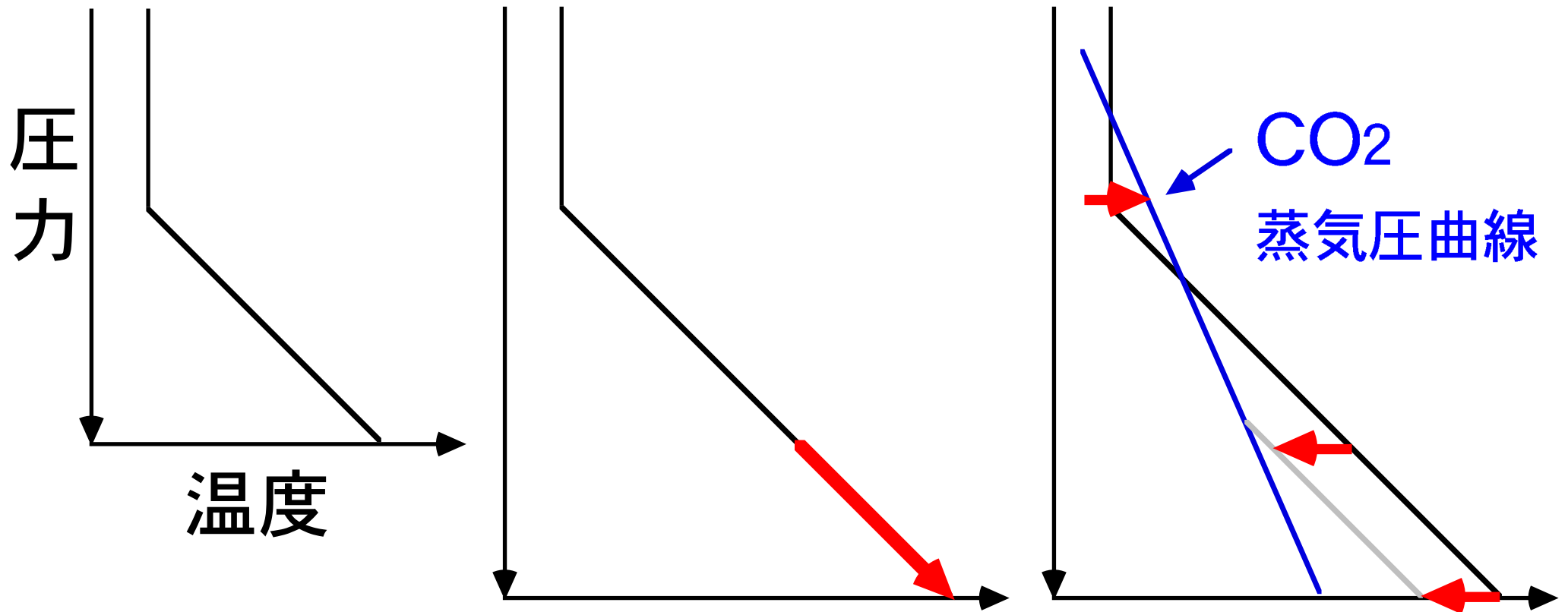
凍結限界

加熱が弱くても温室効果が十分に強ければ
温暖な環境を維持することができる

もっともありそうな温室効果気体 CO_2
温暖な火星の計算 (e.g., Pollack et al., 1987)

加熱が弱すぎると、
 CO_2 の温室効果だけでは十分に暖まらない
← CO_2 凝結 (Kasting, 1991)

CO₂ 凝結 (Kasting, 1991)



上層の温度は加熱の強さで決まる(放射平衡)
凝結が生じると地表温度が下がる

未解決問題 3 : 雲の温室効果

雲の持つ 2 つの効果

冷却 太陽放射を反射(惑星アルベド)
加熱 温室効果

雲は冷却に働くのか？ 加熱に働くのか？

いつ、どこに、どんな種類の雲ができるか？

← 3次元大気大循環モデル

雲微物理

大気化学 (←火星大気のSO₂?)

未解決問題 4 : 大気組成

惑星大気の組成はどのように決まるのか？

- CO₂ 以外の温室効果気体の可能性
- 光化学反応と大気組成
- 惑星内部との物質交換
 - 脱ガスと固定
 - ← 惑星サイズの効果？
- 大気微量成分と光化学スモッグ
 - 白い物でも黒い物でも上層に粒子をばらまけば地表は寒冷化する

未解決問題 5 : 軌道要素、 自転軸傾斜

ひしゃげた軌道の惑星

あんまりひしゃげると都合が悪い？
全球凍結からの回復？

惑星の自転速度

ゆっくり自転すると都合が悪い/良い？

惑星の自転軸傾斜角

ちょうどよい範囲がある？
ハビタブル惑星には衛星が必要なのか？

