



# 地球型惑星の水量と表層環境

中山陽史，阿部豊(東大・地惑)

## - Introduction -

### - 地球型惑星が持つ水量 -

太陽系の地球型惑星の中で地球だけが惑星表面に少量(0.023 wt%)の水を持っている

#### 供給源

- ・ 微惑星からの供給
- ・ 円盤ガス

#### 時期

- ・ 惑星形成と同時
- ・ 惑星形成後

水量の多い(~10wt%)地球型惑星が多く形成

[Raymond et al. 2007]

系外の地球型惑星を考える上で地球よりも表面水量の多い惑星(**海惑星**)も多く存在していると考えられる

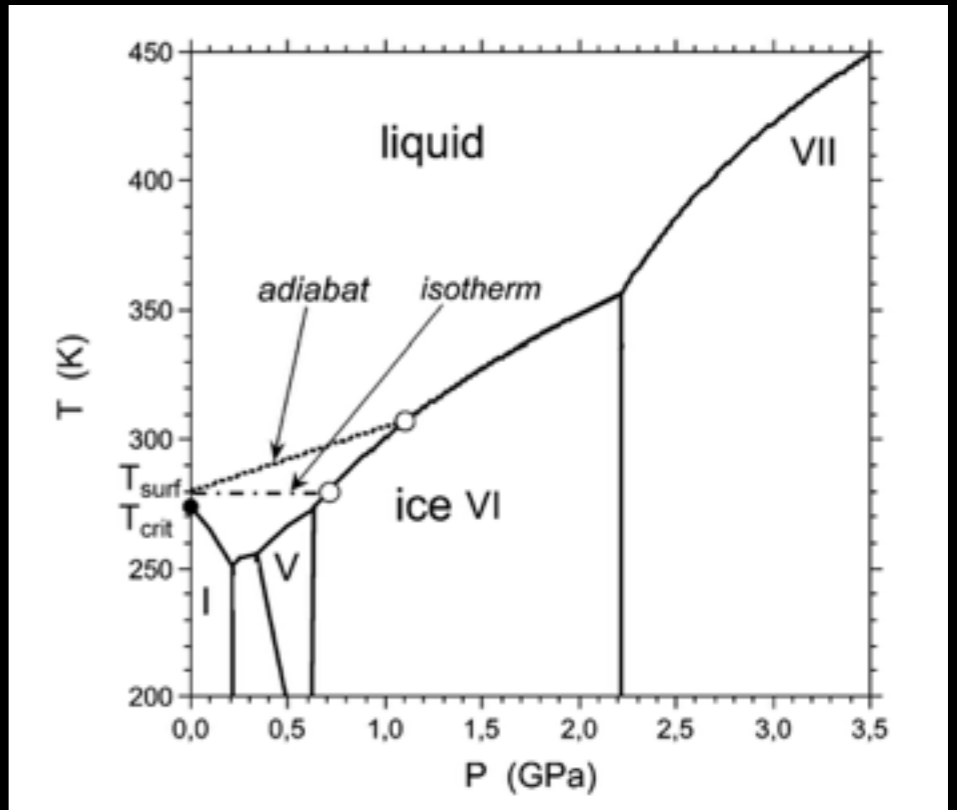
# - Introduction -

## - 水量とH<sub>2</sub>O層の構造 -

水の相図から惑星表面に

多くの水が存在すると**高压氷**が形成

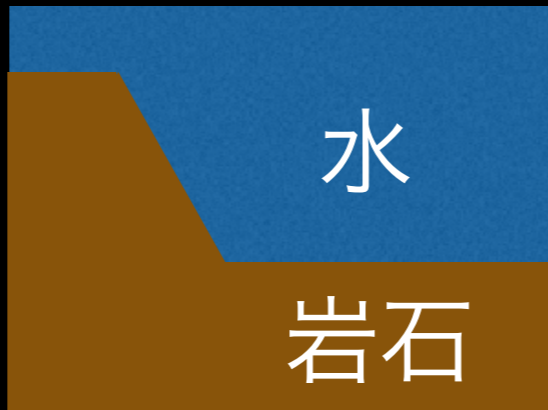
**水量の増加によってH<sub>2</sub>O層の構造は変化**



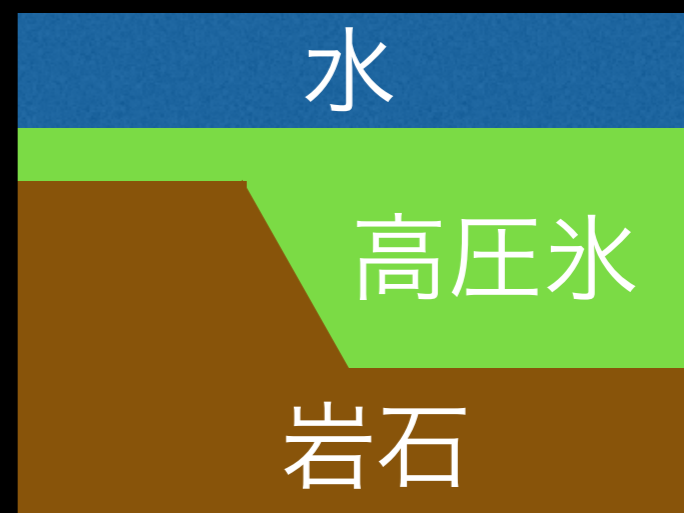
Leger et al. 2004



地球



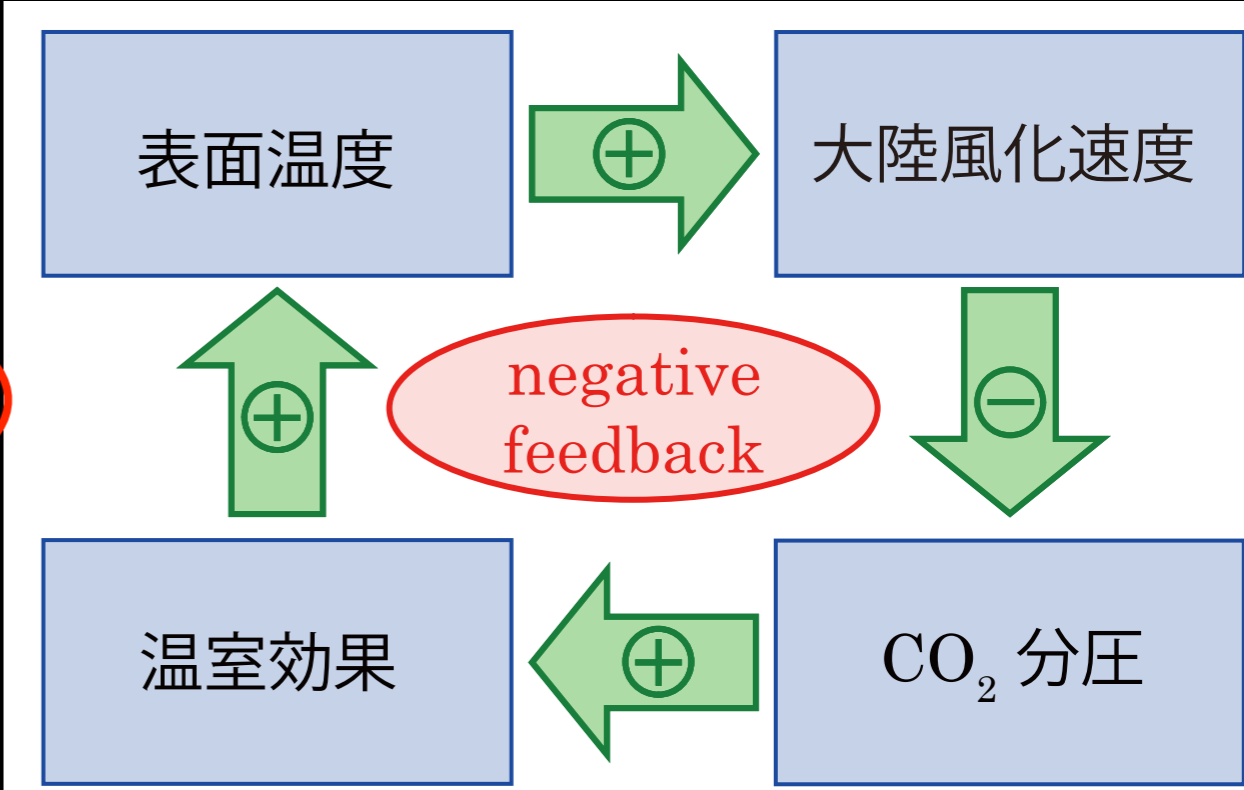
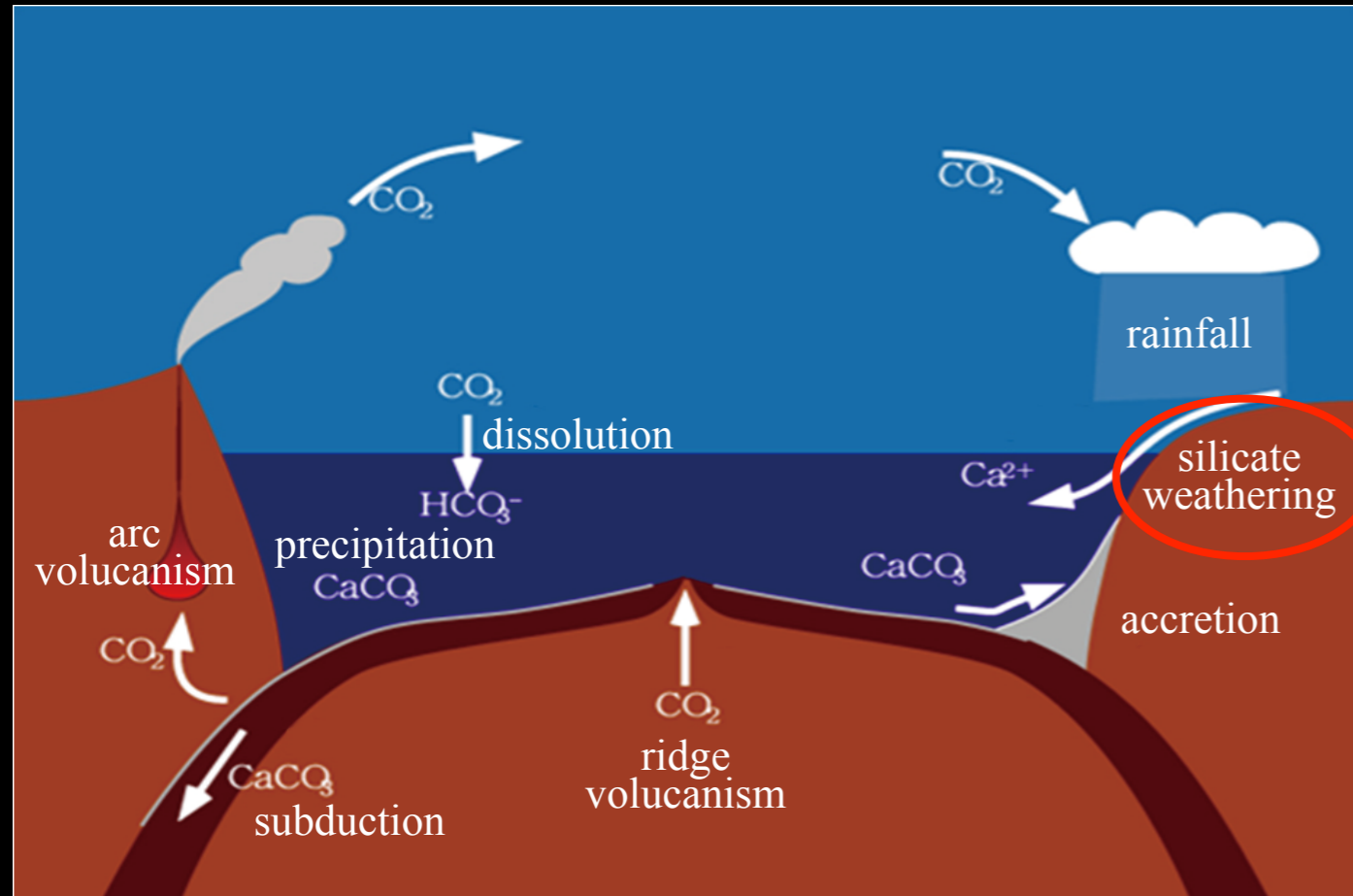
全球が海に覆われる



高压氷形成

- Introduction -

- 部分海惑星(地球)の炭素循環 -



Walker feedback(walker et al. 1981)

**大陸風化速度**は正の温度依存性を持つため、表面温度が増加すると大気CO<sub>2</sub>量は減少

→ **大陸風化**による気候調節メカニズムが働いている

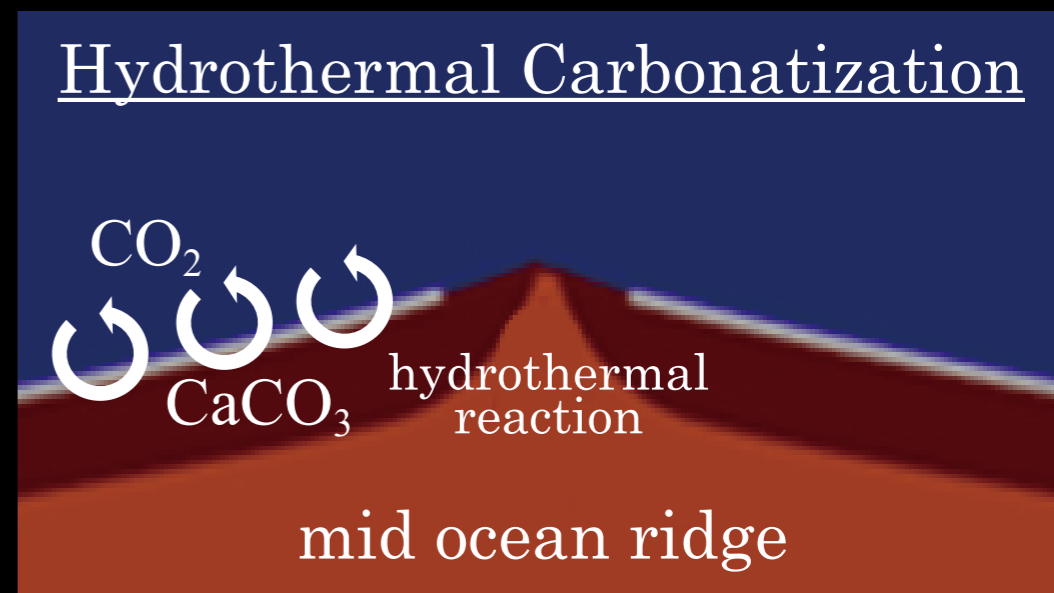
# - Introduction -

## - 海洋底風化 -

海惑星では大陸風化が働かない

→ 熱水循環による海洋底風化が  
重要な役割を担うと予測される

[Sleep and Zhanle 2001]



熱水循環による海洋底風化の速度についてはよく分かっていない

海洋底風化は温度依存性がある

[田近, 2011, フロンティアセミナー]

水量の増加は

海底の温度増加に相当

水量と海洋底風化の関係について検討する必要がある  
海洋底風化効率によって大気 $\text{CO}_2$ 量は変化するのか

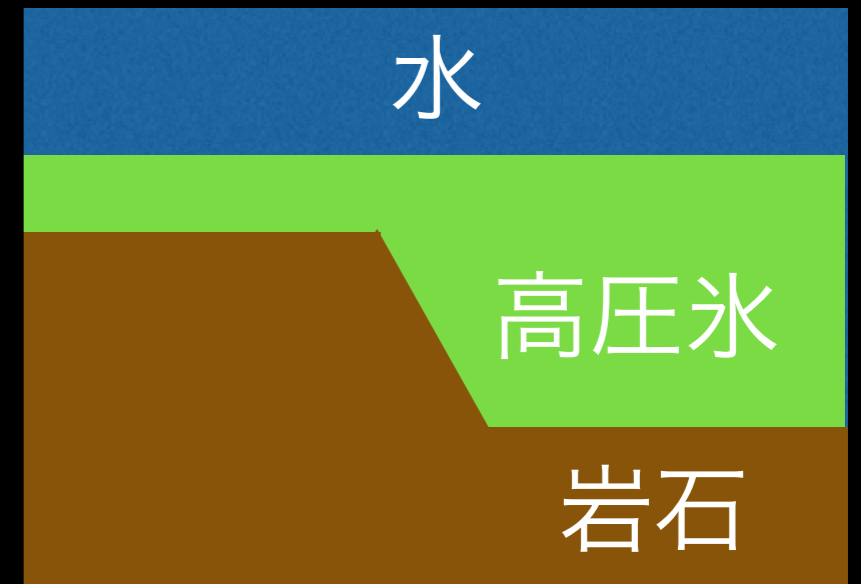
# - Introduction -

## - 高圧氷が炭素循環に与える影響-

高圧氷形成によって  
水-岩石相互作用が失われる

[Leger et al. 2004]

→ **海洋底風化さえも遮断される**



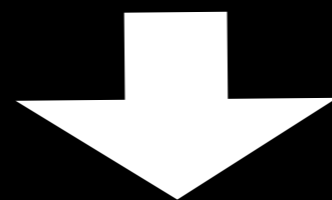
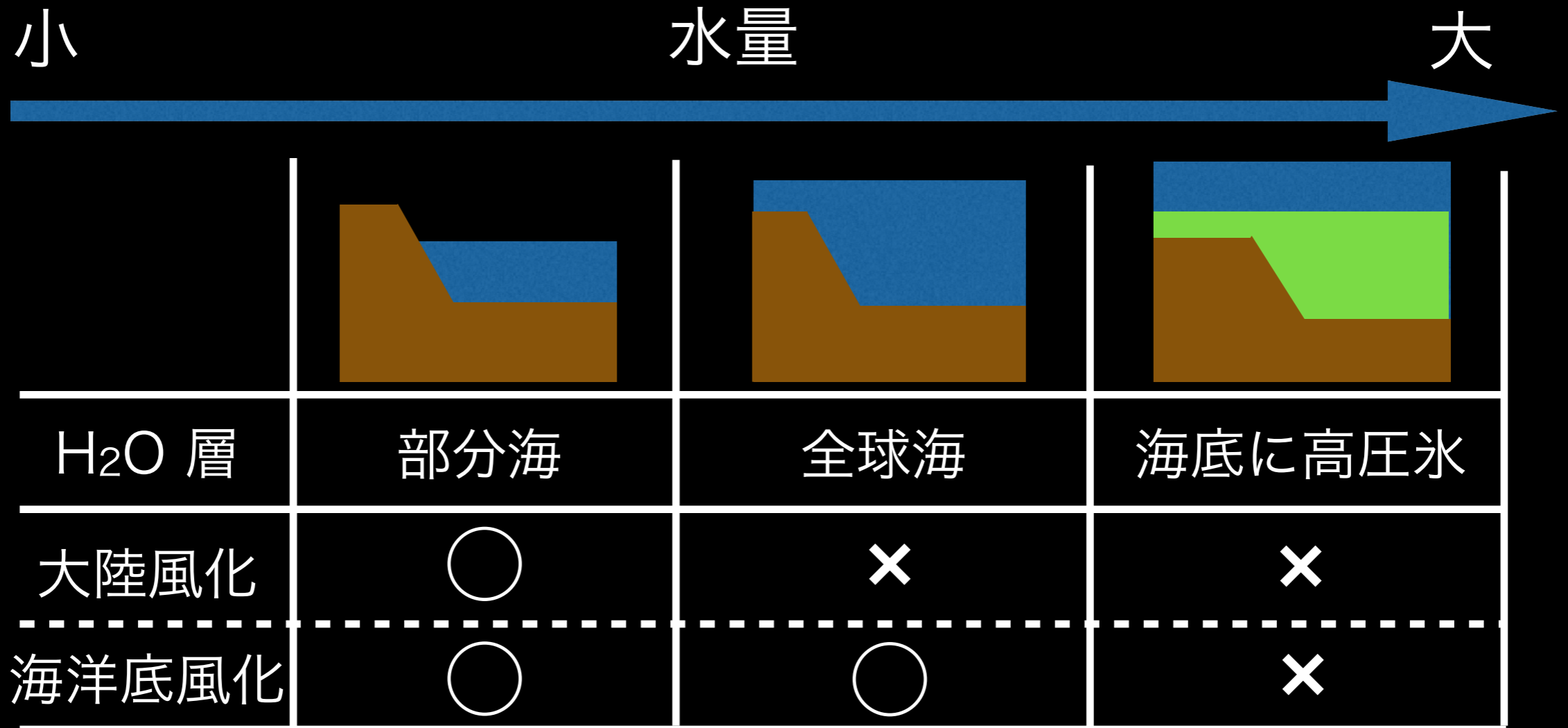
水量の増加によって炭素循環の描像は変化する

→ 水量増大によって大気CO<sub>2</sub>量は増加すると予測される

# - Introduction -

## ここまでのまとめ

- 地球型惑星の水量はばらつきがある
- 海洋底風化の速度は水量と関係がありそう



**表面水量が表層環境を大きく変える可能性がある**

- Introduction -

## 研究目的

地球型惑星について

**水量が表層環境に与える影響**を理解したい

- ・ 海惑星での炭素循環の理解
  - ・ 水量と大気CO<sub>2</sub>量との関係について考察する

## 本発表

**海惑星**の炭素循環を調べる

- ・ 海洋底風化効率をパラメータとして、  
大気CO<sub>2</sub>量がどの程度変化するか検討する

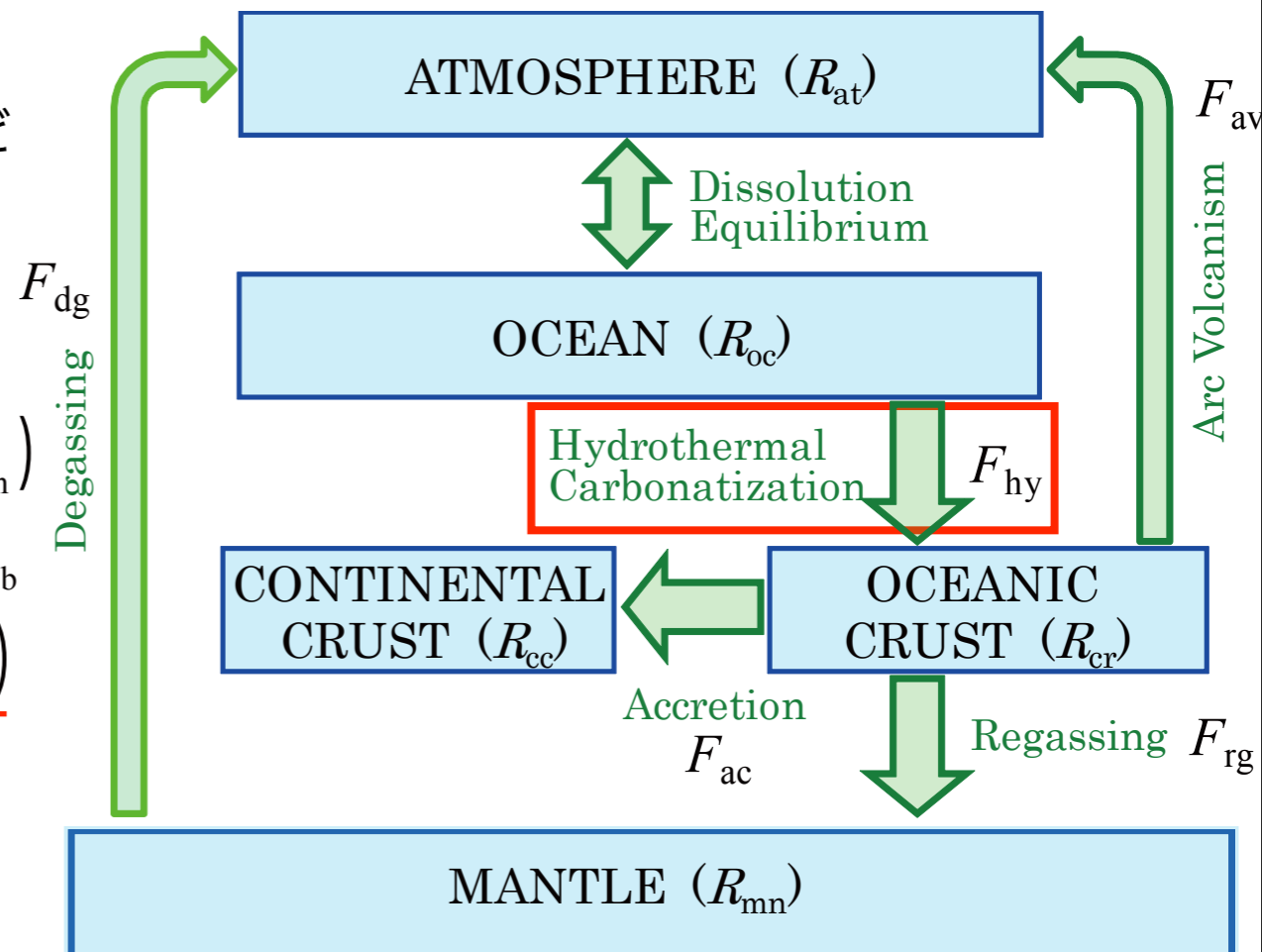


# - Model -

## ボックスモデル

Tajika and Matsui 1992, Sleep and Zhanle 2001 など

$$\left\{ \begin{array}{l} \frac{d(R_{at} + R_{oc})}{dt} = F_{dg} + F_{av} - F_{hy} \\ \frac{dR_{mn}}{dt} = F_{rg} - F_{dg} \\ \frac{dR_{cr}}{dt} = F_{hy} - F_{sb} \\ \frac{dR_{cc}}{dt} = F_{ac} \end{array} \right. \left\{ \begin{array}{l} F_{dg} = F_{dg}^* \times q \times (R_{mn} / R_{mn}^*) \\ F_{av} = (1 - A_{av})(1 - A_{ac})F_{sb} \\ F_{hy} = F_{hy}^* \times q \times (C_{oc} / C_{oc}^*) \\ F_{rg} = A_{av}(1 - A_{ac})F_{sb} \\ F_{sb} = q \times (R_{cr} / \tau^*) \\ F_{ac} = A_{ac}F_{sb} \end{array} \right.$$



・ 海洋底風化は海水中の炭素濃度に依存

パラメータ

海洋底風化効率  $F_{hy}^*$  :  $1.6 \times 10^{11} - 1.6 \times 10^{12}$

- Model -

- 条件設定 -

## 仮定

- 全炭素量などのパラメータは地球と等しい
- 太陽定数, 地殻熱流量は現在の地球で一定
- 初期条件として, 大気・海洋に炭素濃集

## 表面温度

CO<sub>2</sub> とH<sub>2</sub>Oの温室効果を加味したフィッティング

(walker et al. 1981)

$$T_s = T_{\text{eff}} + T_{g, \text{H}_2\text{O}}(T_s) + T_{g, \text{CO}_2}(P_{\text{CO}_2})$$

$T_{g, \text{H}_2\text{O}}$  : 水による温室効果

$T_{g, \text{CO}_2}$  : 二酸化炭素による温室効果

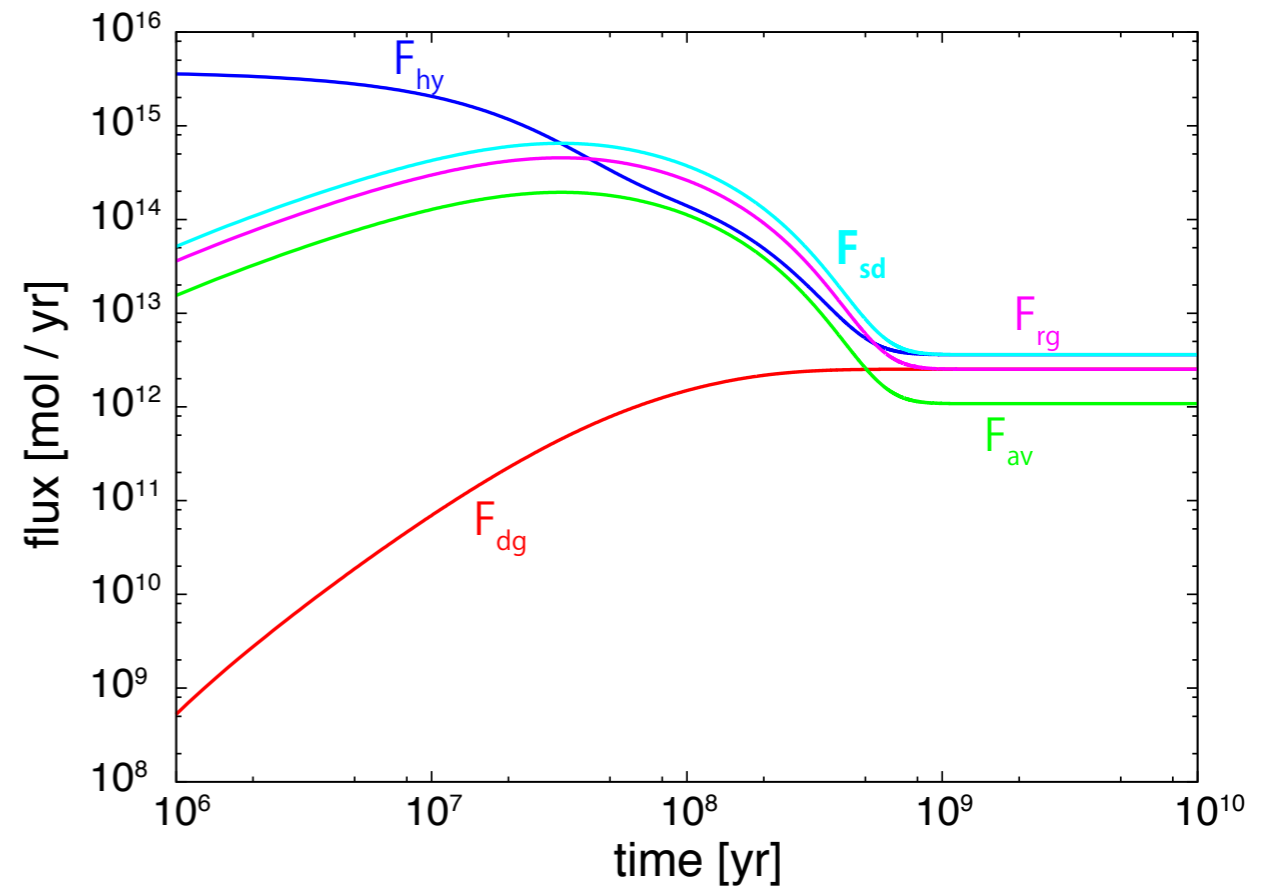
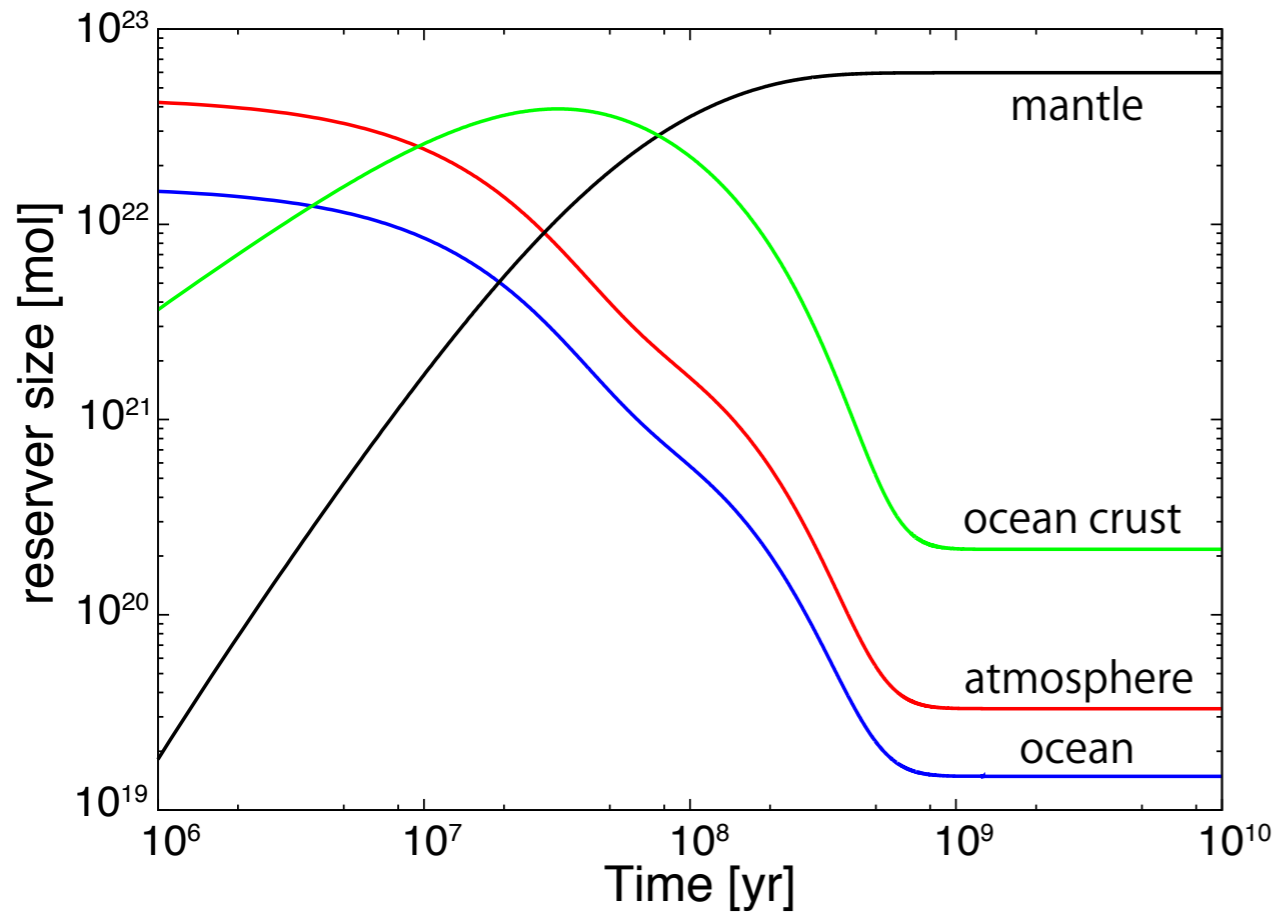
適用範囲

$0.0003 < P_{\text{CO}_2} < 0.3$  [bar]

- Result -

- フラックス -

1 海洋水量, 大陸地殻なし,  $F_{hy}^* = 8.0 \times 10^{11}$



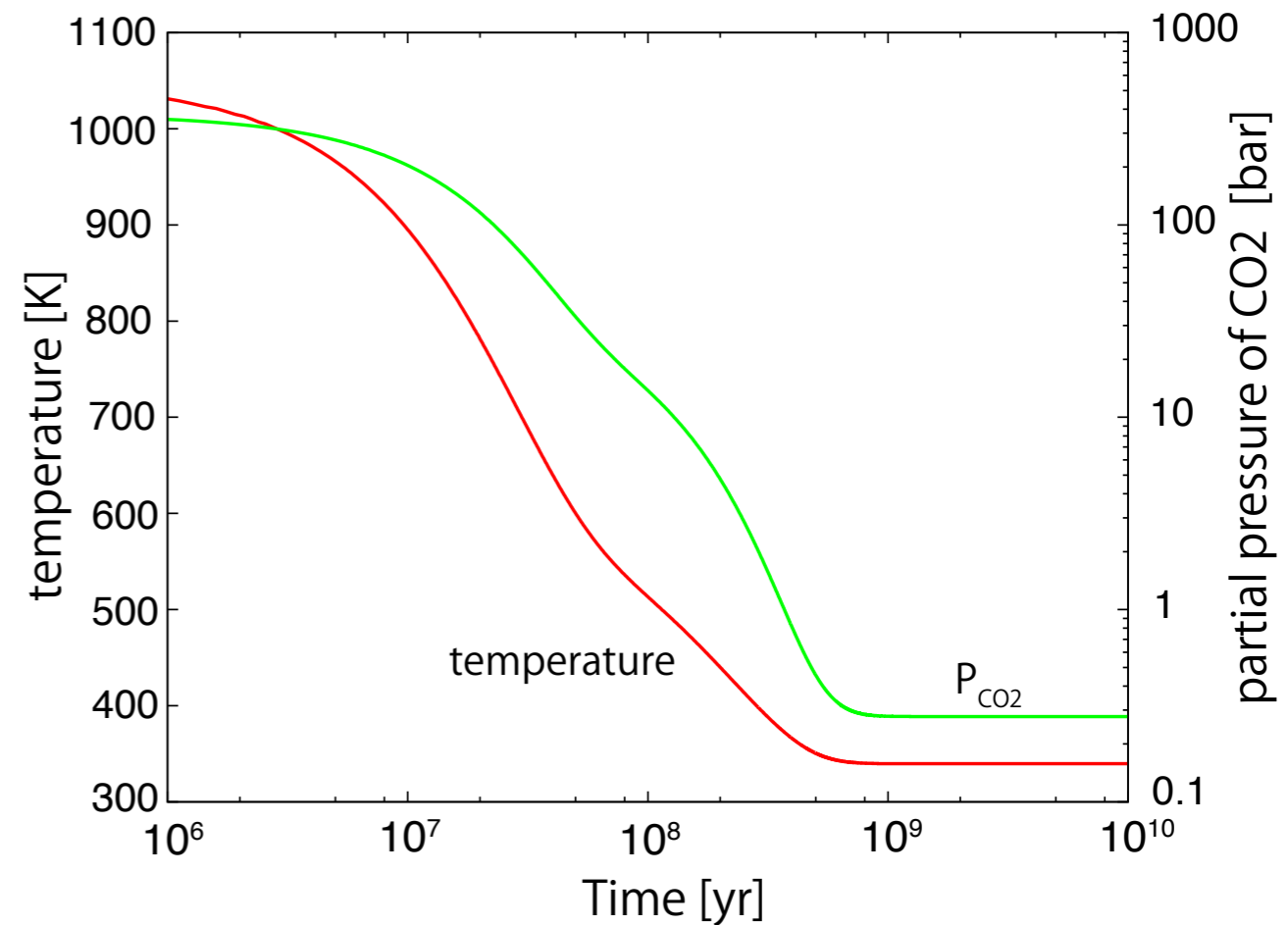
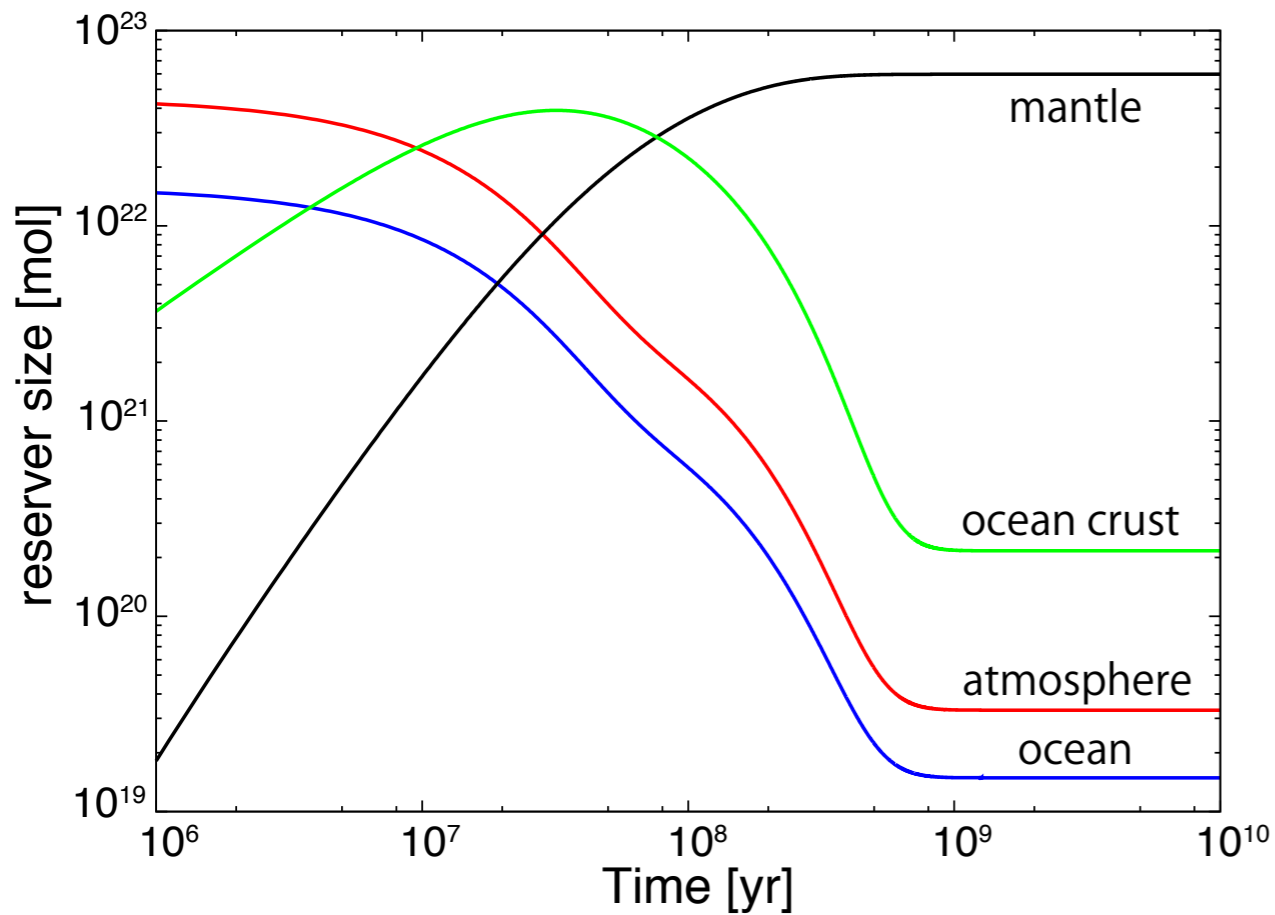
初期条件として, 大気・海洋に炭素を濃集させているが,  
海洋底風化が効率的に働き, 大部分の炭素はマントルへ

10 億年程度で平衡状態に達する

- Result -

-  $P_{CO_2}$  と表面温度 -

1 海洋水量, 大陸地殻なし,  $F_{hy}^* = 8.0 \times 10^{11}$



海洋底風化が効率的に働き,  
 $P_{CO_2}$  はある程度小さい値に

地球に比べ温暖な環境が実現される

平衡状態

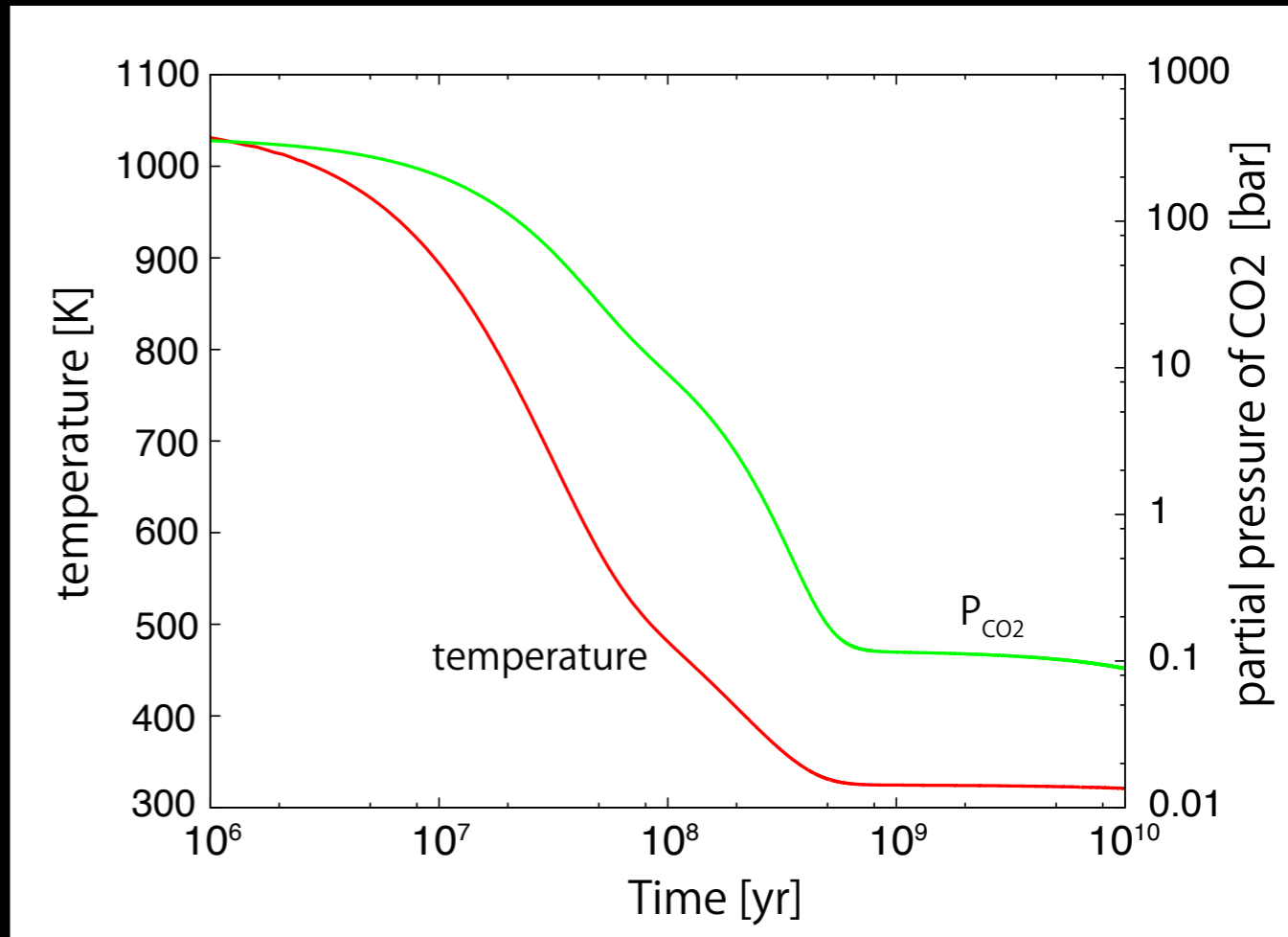
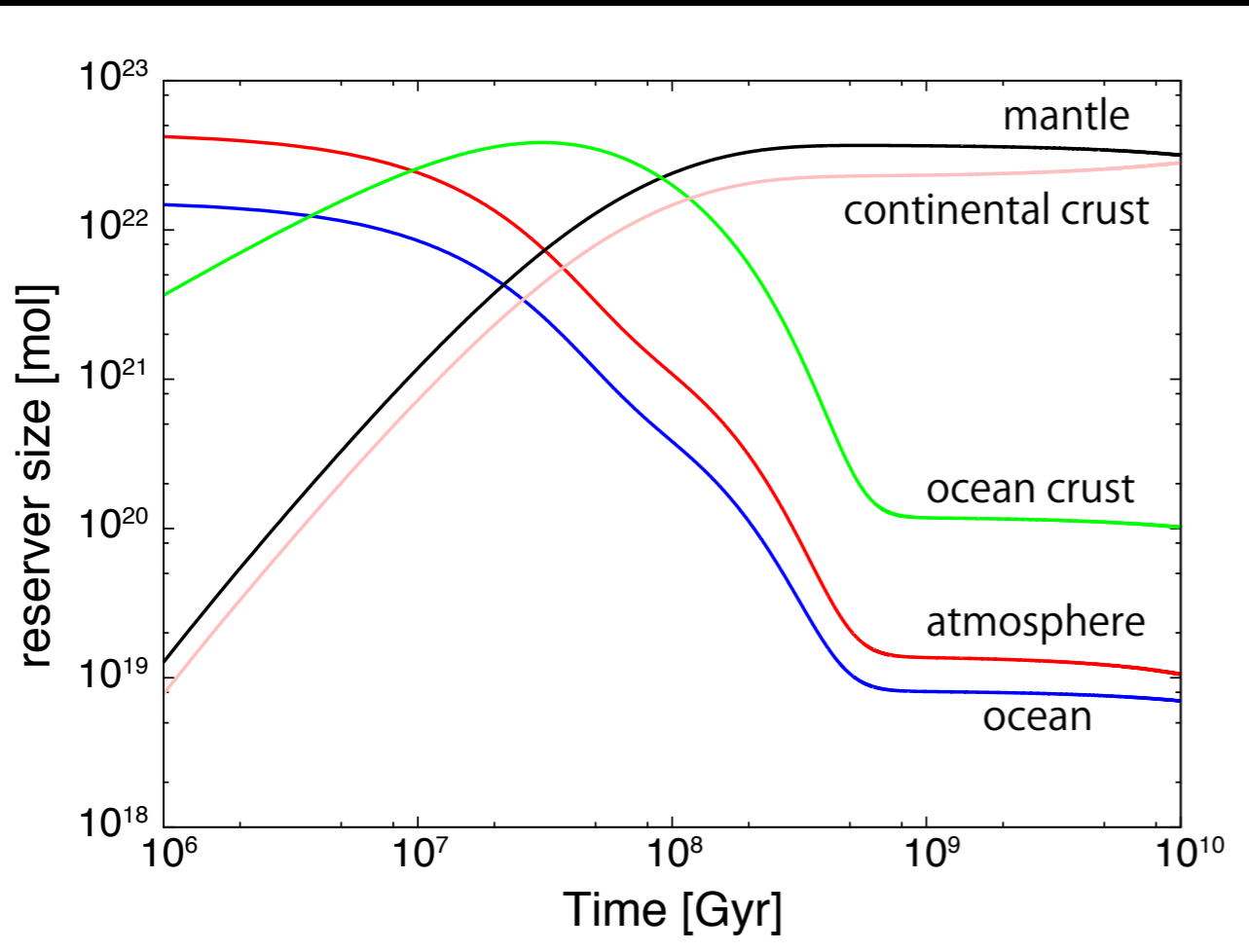
$P_{CO_2}$  : 0.28 bar

$T_s$  : 339 K

- Result -

-  $P_{CO_2}$  と表面温度 -

1 海洋水量, 大陸地殻あり,  $F_{hy}^* = 8.0 \times 10^{11}$



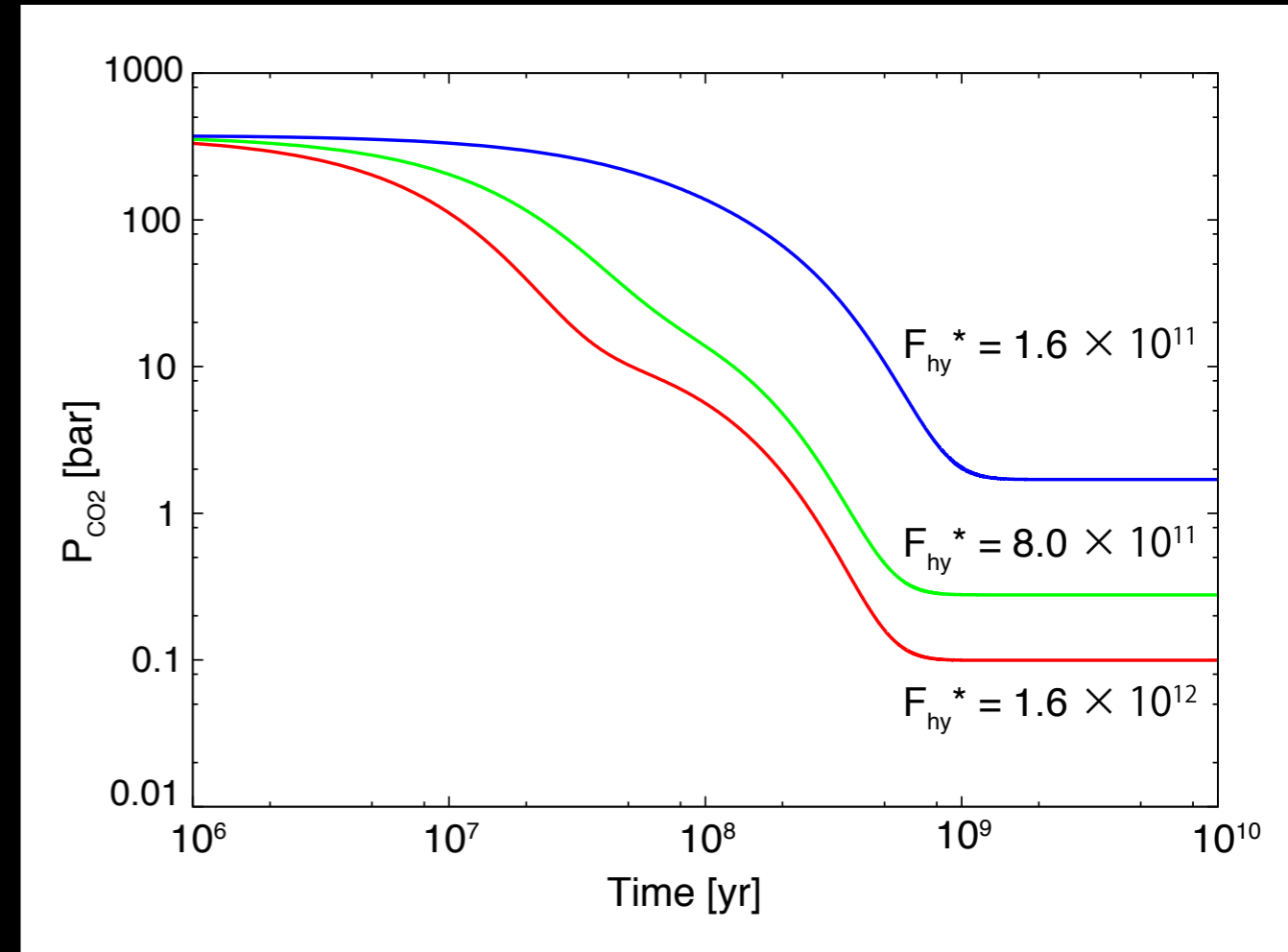
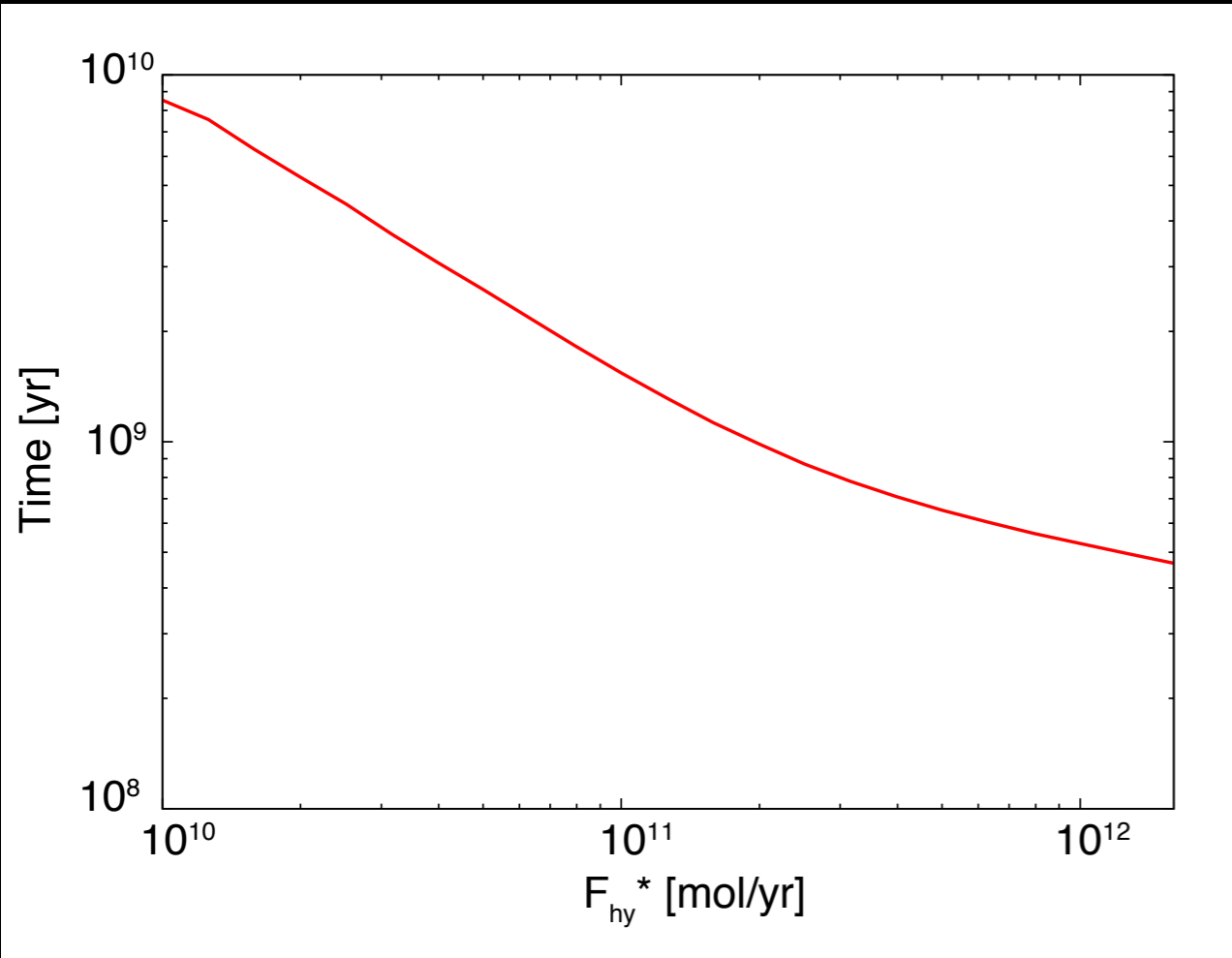
大陸地殻が存在するため,  
 $P_{CO_2}$  は大陸地殻なしよりも小さい値  
大陸地殻の存在は温暖な環境を緩和

平衡状態  
 $P_{CO_2}$  : 0.09 bar  
 $T_s$  : 321 K

- Result -

- 海洋底風化効率依存性 -

1 海洋水量, 大陸地殻なし



平衡状態に到達する時間

海洋底風化効率  $F_{hy}^*$  によって

平衡状態に到達する時間,  $P_{CO_2}$  は大きく異なる

→ 海洋底風化の温度依存性を考慮する必要がある

# まとめ

- 海惑星の炭素循環について議論した
- 惑星表面が海に覆われているため、大陸風化が働かず、熱水循環による海洋底風化が炭素循環を担う
- 10億年程度で平衡状態に到達し、温暖な環境になる(60° C程度)
- 大陸地殻が存在すると、 $P_{CO_2}$  は大きく緩和
- 平衡状態に到達する時間、 $P_{CO_2}$  は海洋底風化の効率によって変化

# 課題

- 水量をパラメータとして組み込む
- 海洋底風化の温度依存性の定式化
- 大気モデルの構築