

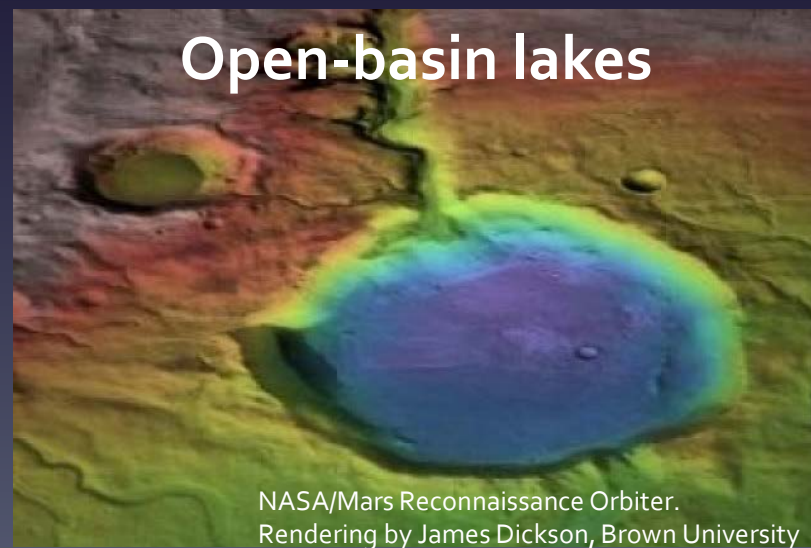
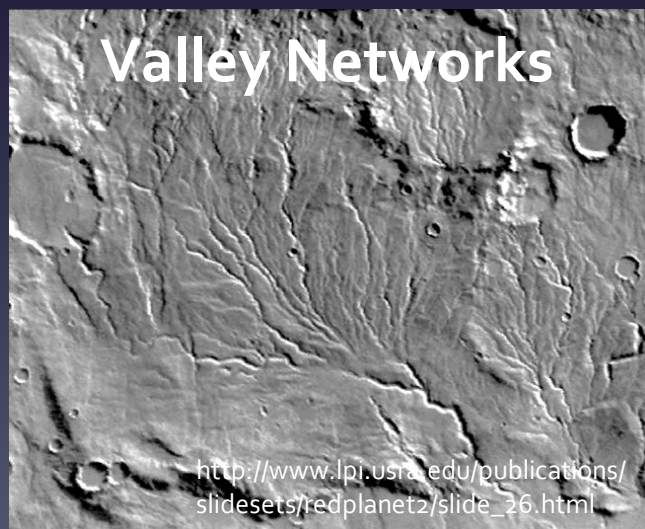


Halevy and Head (2014)
“Episodic warming of early Mars by
punctuated volcanism” のレビュー

齊藤 大晶 (北大理)

火星は水にあふれていた？

- 大量の水が存在したことを示唆する地質学的証拠が多数
 - Valley Networks, Open-basin lakes など
 - 約38億年前に形成 (e.g. Fassett and Head, 2008)
- 温室効果により温暖になった可能性
 - 太陽光度は現在と比べて 75% ほど



今までに提唱された 火星温暖化メカニズム

- 火山ガスによる温室効果が有力視
 - 約38億年前火山活動が活発 (e.g. Carr and Head, 2010)
- H₂O, CO₂ ガス
 - CO₂ 凝結による散乱効果により十分温まらない (e.g. Kasting, 1991)
- H₂O, CO₂ + SO₂ ガス
 - SO₂: 1~100 ppm で 273K 超える可能性 (Johnson et al., 2008)
 - 硫酸エアロゾルによる散乱効果を考慮すると温まらない (Tian et al., 2010)

火星を温暖にするメカニズムはよくわかっていない

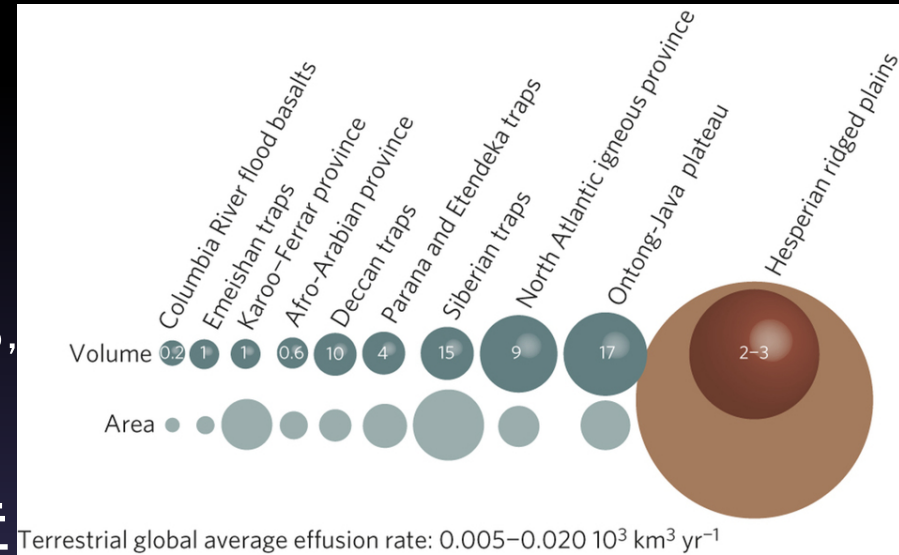
Halevy and Head (2014) の“見どころ”

- 火山ガスの温室効果により古火星気候は温暖実現可能か
検討
- 断続的で強力な火山噴火が大気構造に与える影響を考察
 - 噴火前, 噴火中, 噴火後の 3 段階
- 大気中のダストがエアロゾル散乱に与える影響の考察
 - $\text{H}_2\text{SO}_4\text{-H}_2\text{O}$ に加え $\text{H}_2\text{SO}_4\text{-Dust}$ の散乱効果を考慮

なぜ火星火山の噴火が強力で断続的だったと言えるか

- 強力な火山噴火

- 噴出率: $10^5 \sim 10^6 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$
- 総体積: $3.3 \times 10^7 \text{ km}^3$
- 全形成期間 (100~200 Myr) のうち、噴火期間はわずか 0.01%
- 地球の長期平均噴出率の数百倍

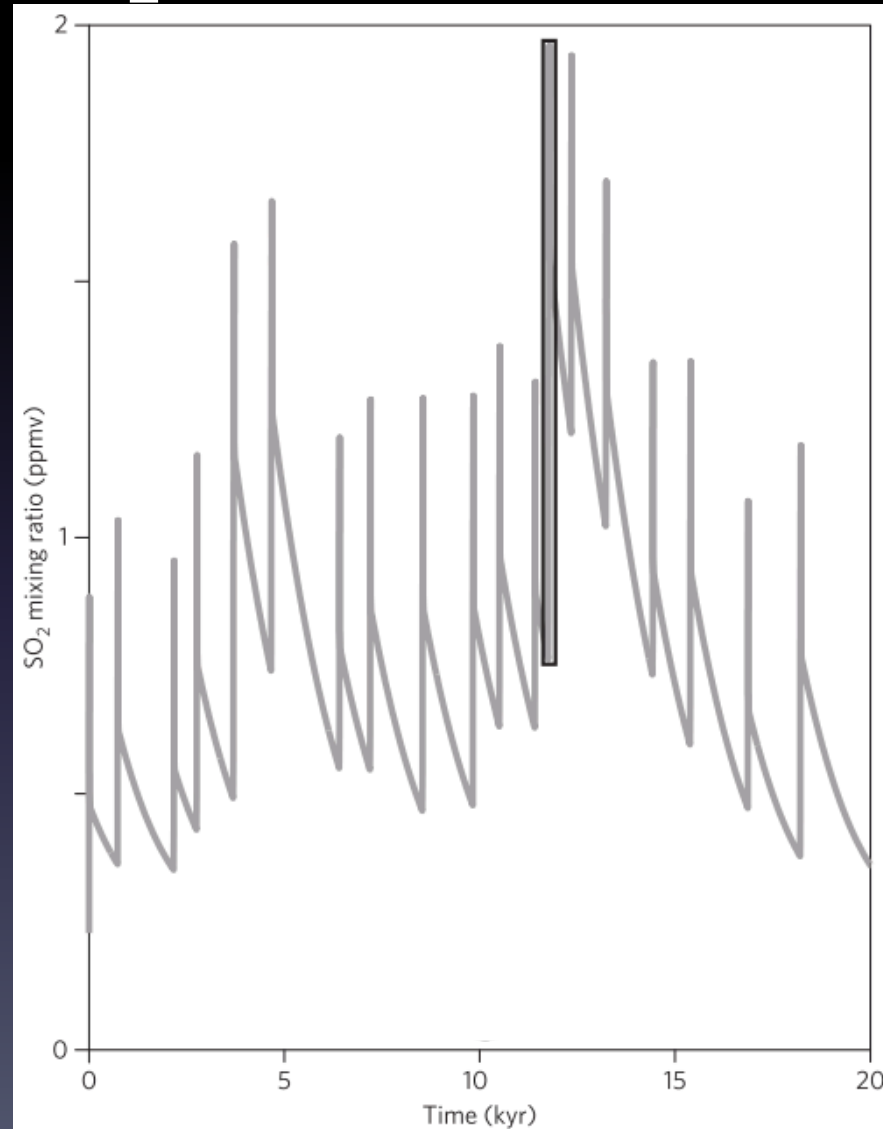


- 断続的な火山活動

- 地球の洪水玄武岩台地と形状的な類似点 (e.g. Columbia River Flood Basalt, Deccan Trap 等)
- 噴火期間: $\sim 10 \text{ yr}$, 休止期間: $\sim 10^4 \text{ yr}$
- 火星の洪水玄武岩台地も噴火と休止を繰り返したと考えられる

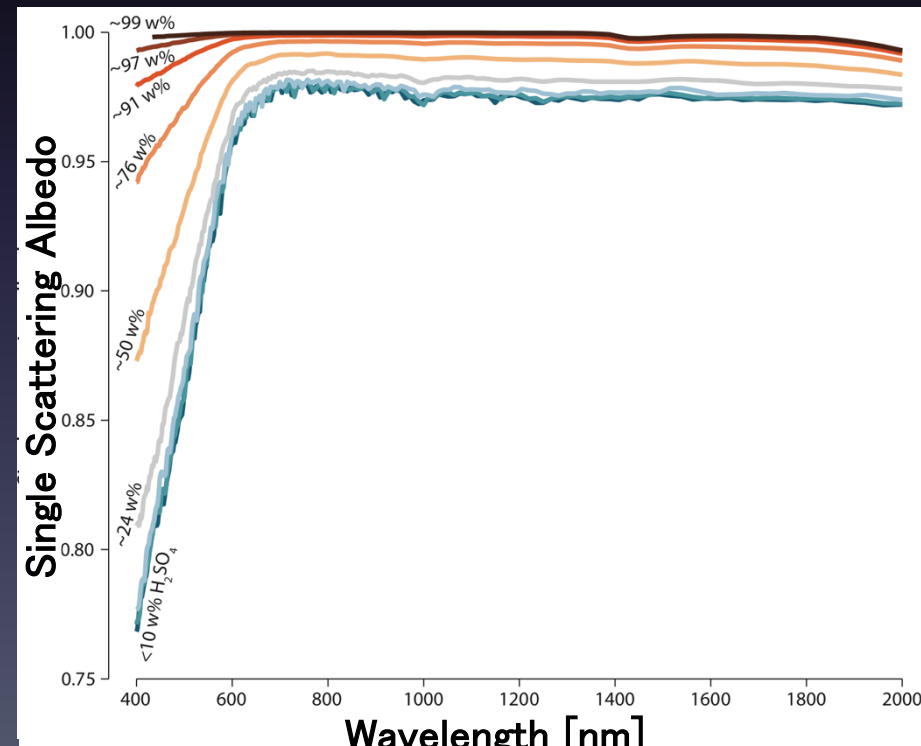
断続的で強力な噴火が もたらす高 SO₂ 濃度

- 数千年に一度の割合の噴火によりSO₂濃度は ppm オーダーにまで上昇
- 断続的な火山活動により, 高濃度維持可能
 - 長期間継続するような噴火の場合
 - SO₂ は光化学反応により H₂SO₄ に変化 (e-folding: 10² ~ 10³ yr)



Dusty な火星大気と 硫酸塩エアロゾルによる冷却効果

- 大気中のダストの寄与
 - 噴火前からダストは存在
 - 噴火→光化学反応により形成した H_2SO_4 がダストに付着
 - H_2SO_4 - H_2O エアロゾルに比べて散乱効果が弱いダスト+ H_2SO_4 エアロゾル形成
 - 純粋な H_2SO_4 - H_2O に比べ, 散乱効果が弱い



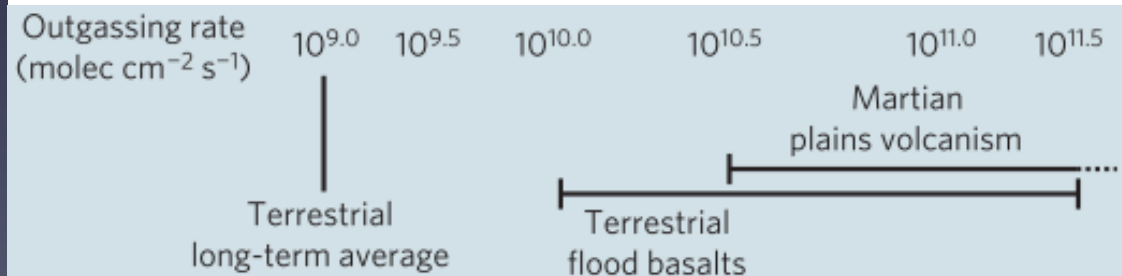
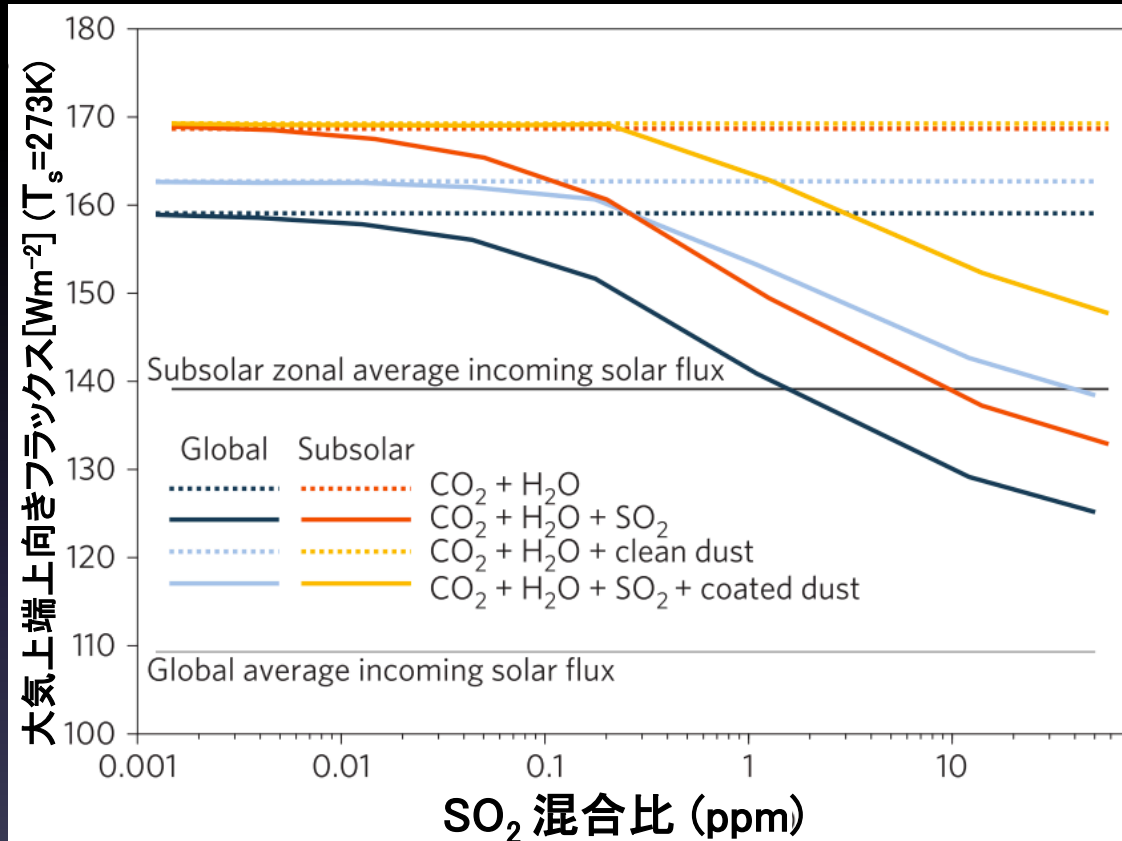
モデル概要

- 1次元エアロゾルモデル
 - 硫酸塩エアロゾルの渦拡散
 - 成長・消滅・凝固・堆積・雨滴洗浄・輸送
 - 光化学反応過程考慮
 - SO_2 から H_2SO_4 生成
- 1次元放射対流平衡モデル
 - H_2O , CO_2 , SO_2 による吸収
 - エアロゾル・ダストによる散乱
 - 雲なし
 - LBL計算

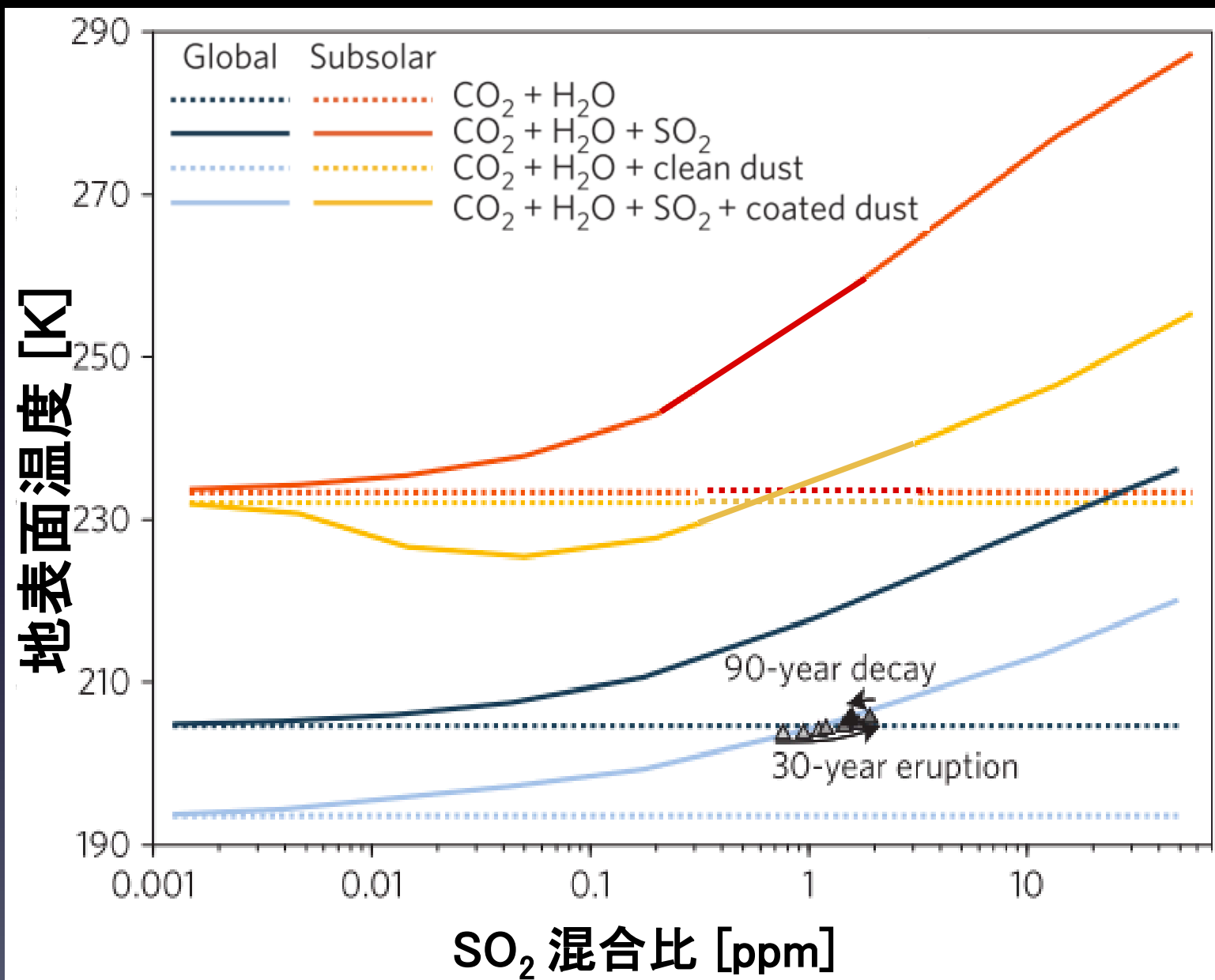
計算結果

エアロゾルを考慮した場合の 温室効果のSO₂混合比依存性

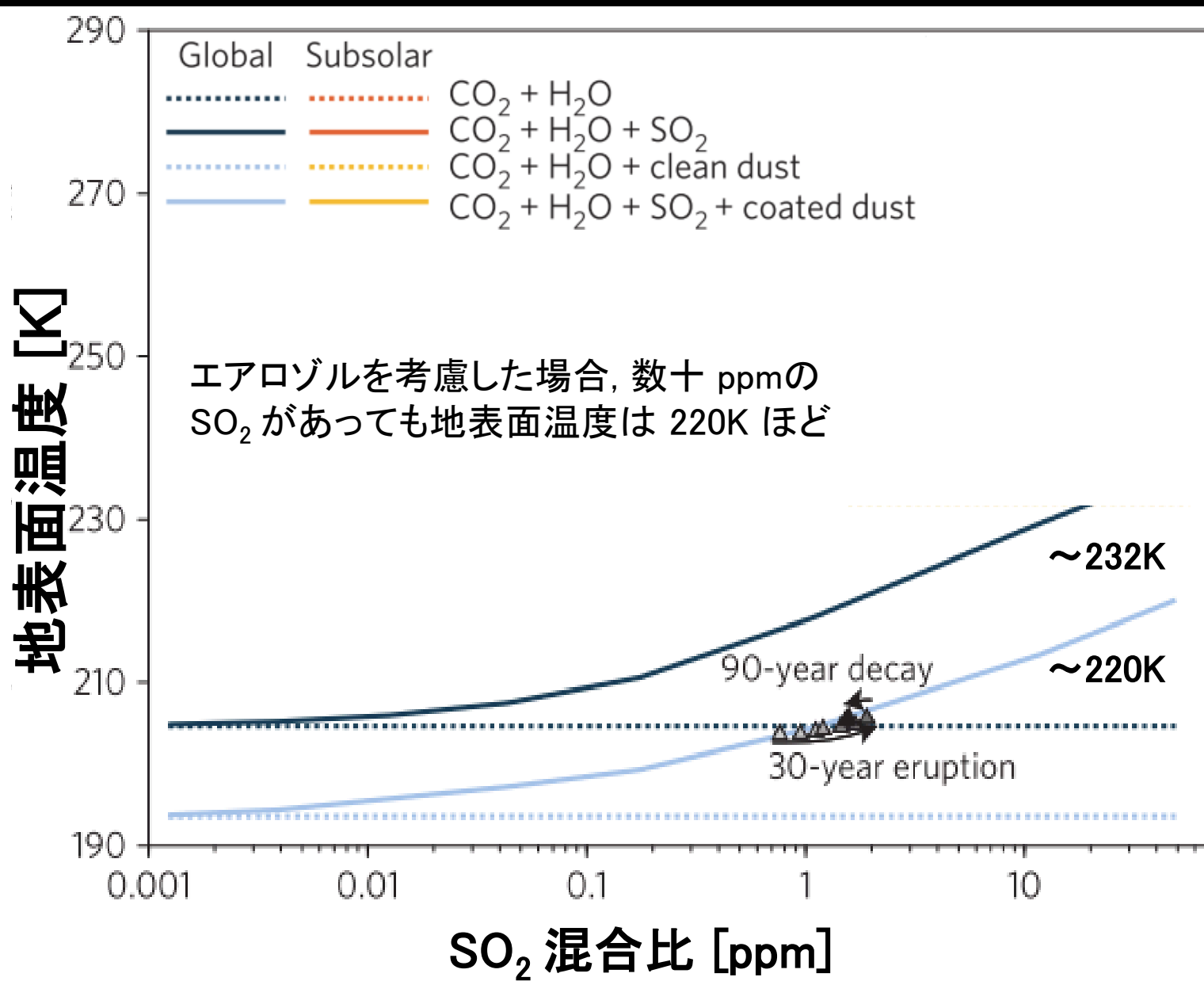
- SO₂ 混合比が高い時
 - エアロゾルがあっても温室効果強まる (~ 27 Wm⁻²)
 - ダストにエアロゾルが付着することで散乱効果が弱まる



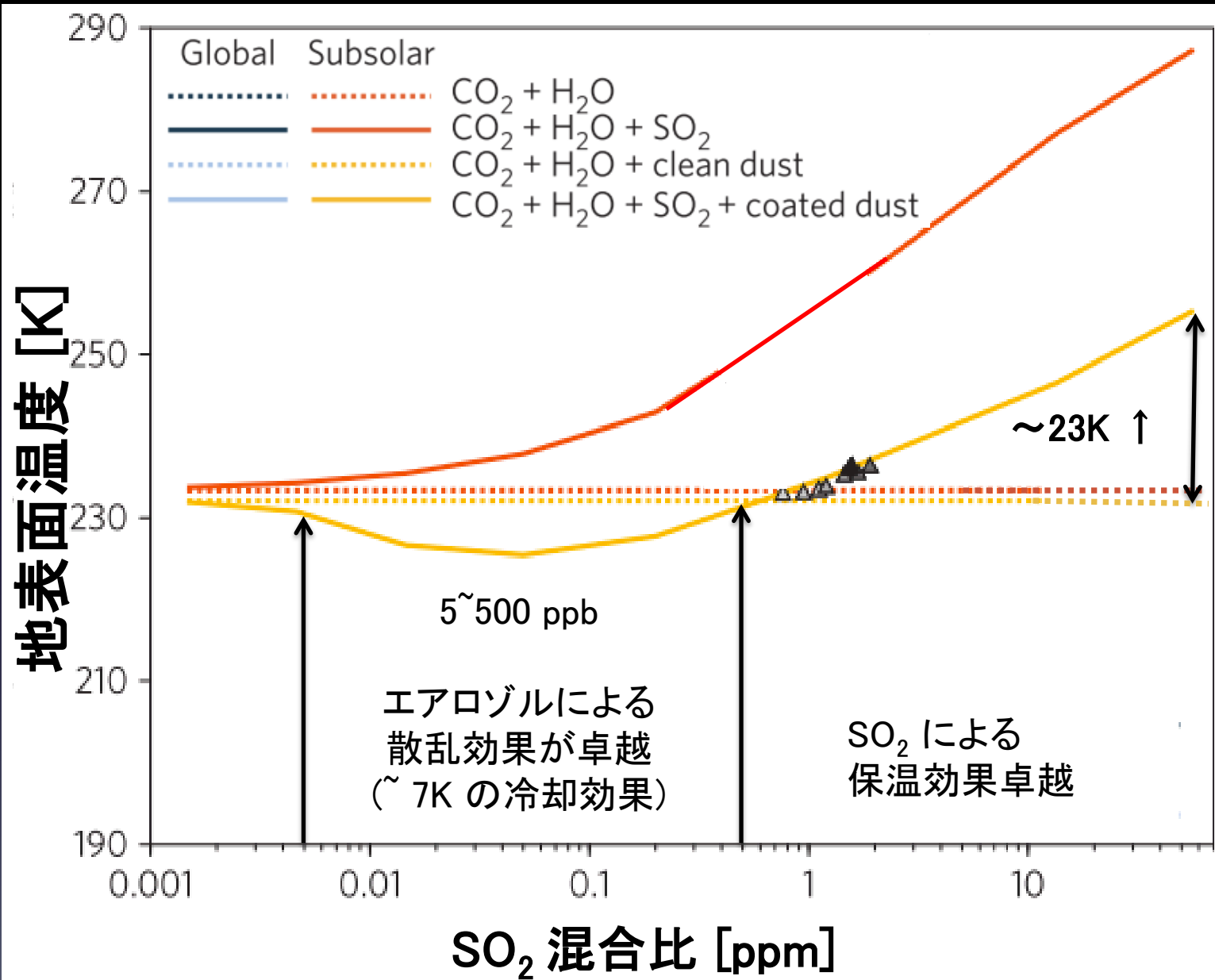
地表面温度とSO₂混合比の関係



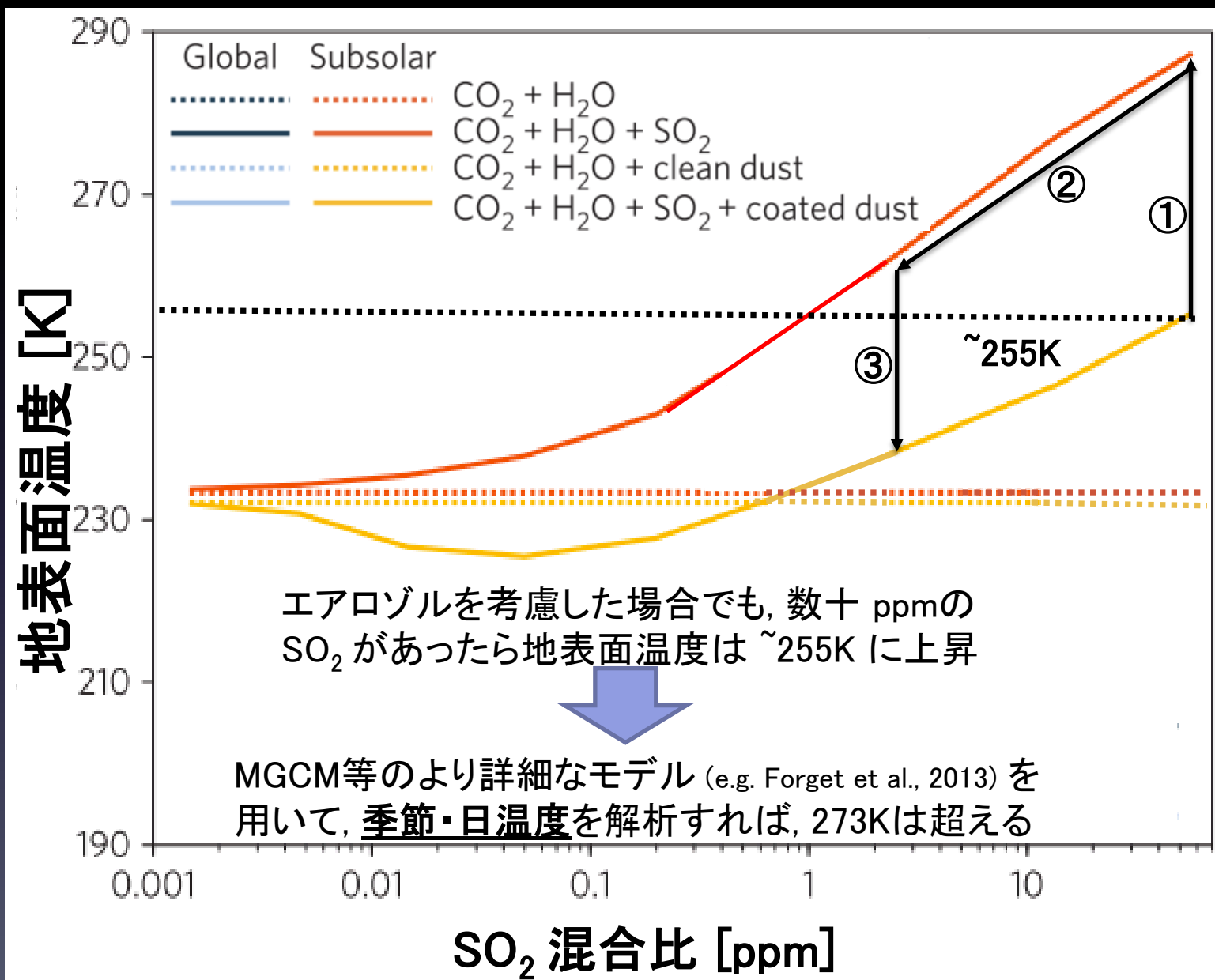
全球平均：地表面温度とSO₂混合比



赤道付近：地表面温度とSO₂混合比



低緯度：地表面温度とSO₂混合比



エアロゾルを考慮した場合でも, 数十 ppmの SO₂ があったら地表面温度は ~255K に上昇



MGCM等のより詳細なモデル (e.g. Forget et al., 2013) を用いて, 季節・日温度を解析すれば, 273Kは超える

火星気候循環

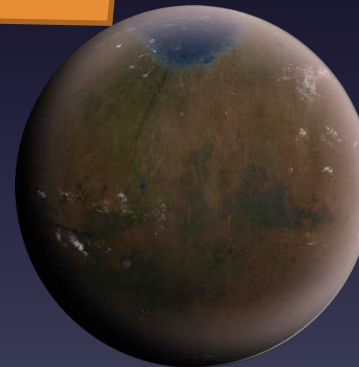
① 水循環

- 地表面の流水作用
 - 数百年続く可能性
- 降雨等による, 大気中のエアロゾル・ダストの除去



② SO₂の光化学分解

- H₂SO₄が徐々に増え
散乱効果により冷却
- 乾燥



③ ダスト巻き上げ

Image credits: Daein Ballard

火山活動期の間, 温暖・寒冷な気候を繰り返し経験した可能性

Halevy and Head (2014) まとめ

- 火山ガスの温室効果により古火星気候は温暖実現可能か検討
- 地球の洪水玄武岩台地との形状の比較等から火星火山噴火の頻度・噴出率を推定
- 断続的で強力な火山噴火により, 高SO₂濃度が実現可能
- エアロゾルによる散乱効果を考慮しても 273K 以上になる可能性
 - ただし, 低緯度に限り季節や日気温に依存
- 火山活動の活発, 不活発な時期に応じ, 温暖・寒冷の気候を繰り返し経験した可能性

所感

- 従前の研究では詳細に研究されていなかった火山噴火の強さ・期間を考慮することで、 SO_2 濃度を高く維持できる可能性について論じた点が興味深い