

太陽活動変動の 地球気候への影響

国立環境研究所地球環境研究センター
/名古屋大学大学院環境学研究科

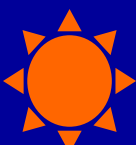
野沢 徹

アウトライン

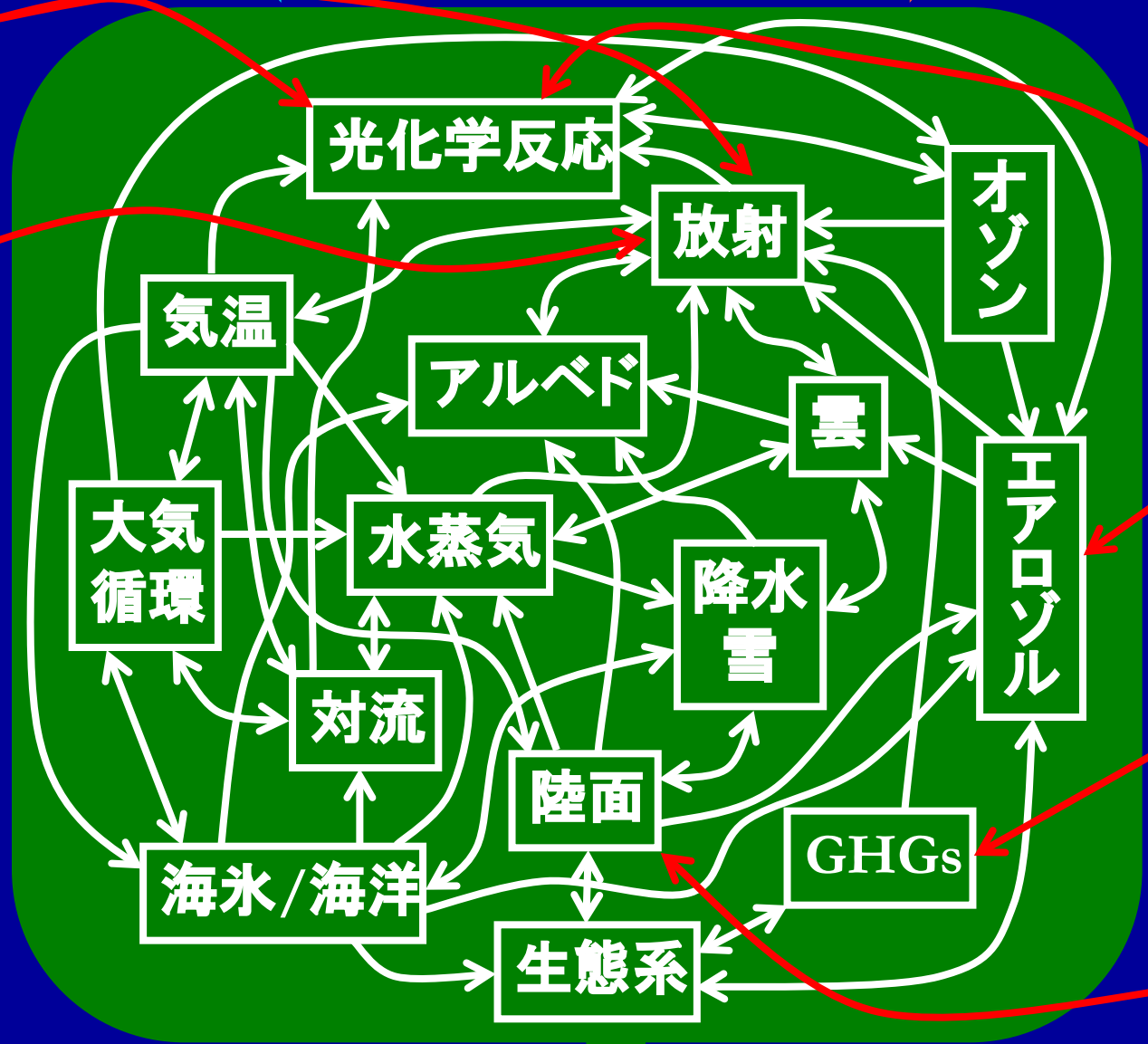
1. 地球の気候に影響を与える要因の整理
2. 太陽活動が地球の気候に影響を与えるメカニズム
3. 気候学から見た太陽活動の地球の気候への影響

← 気候システム →

気候変動 (Variability)



自然起源



CFCs
NO_x

SO₂
BC
OC

CO₂
CH₄
N₂O

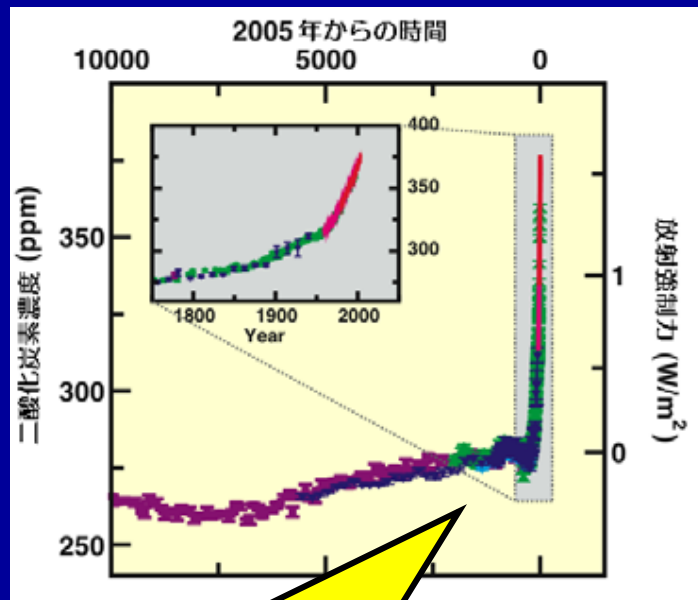
土地利用

人為起源

気候変化 (Change)

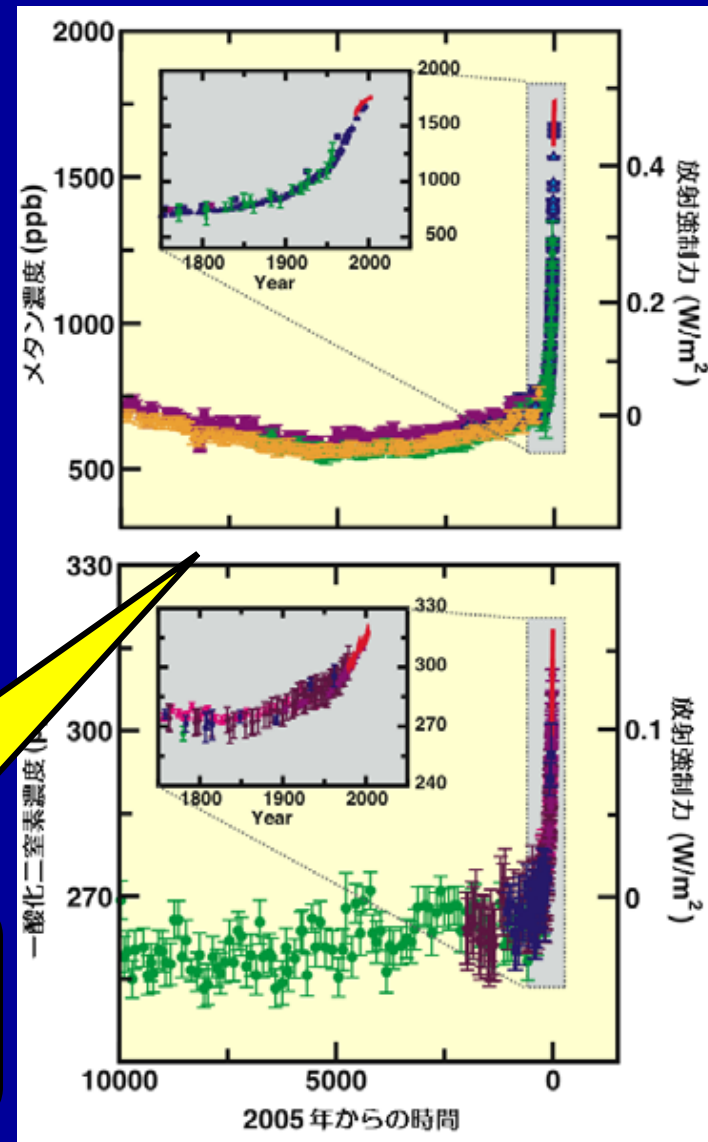
(環境研 永島氏 作成)

温室効果ガス濃度の変化



CO₂増加の原因は
化石燃料の利用

CH₄、N₂O増加の
原因は農業活動



(IPCC WG1 第4次評価報告書政策決定者向け要約(気象庁訳)(2007)より引用)

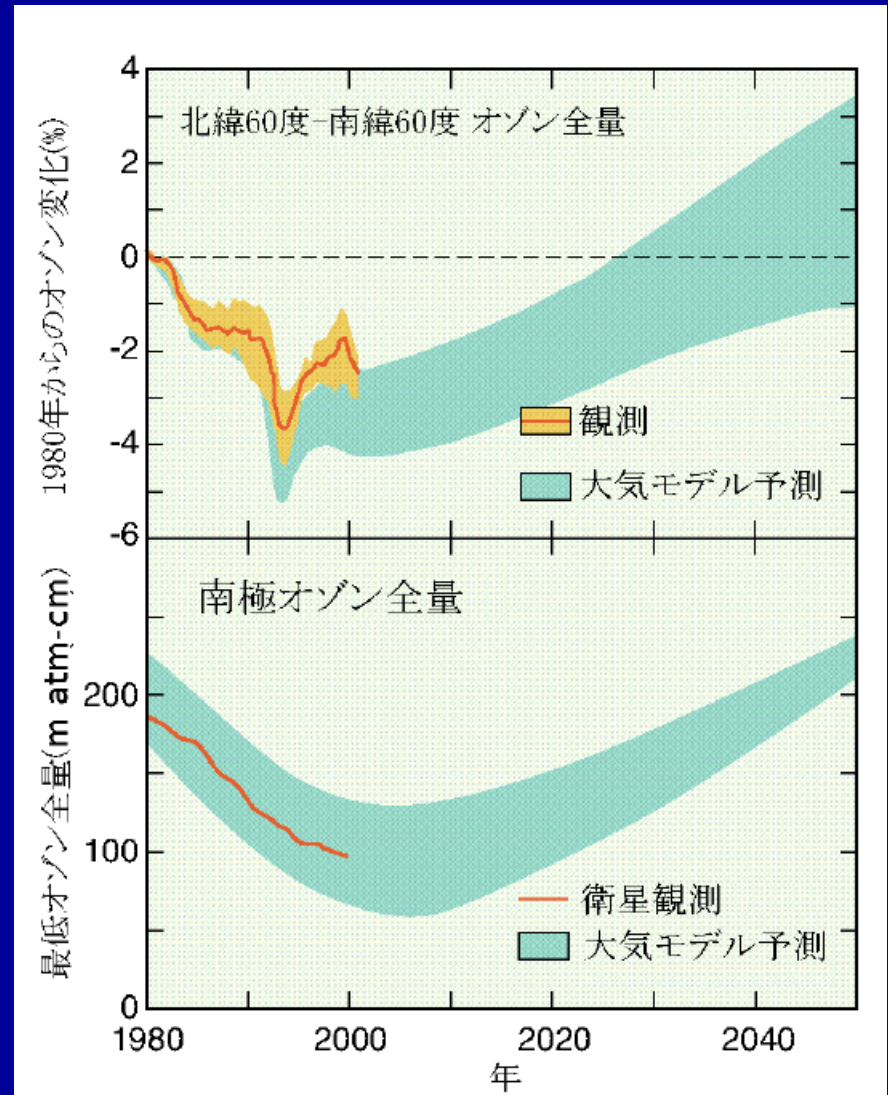
オゾン濃度の変化

➤ 成層圏オゾン

- ✓ 1975年以降減少
- ✓ 地表面を冷やす傾向

➤ 対流圏オゾン

- ✓ 大気汚染物質の増加に伴い増加
- ✓ 地表面を暖める傾向



(異常気象レポート2005より引用)

エアロゾル(大気浮遊微粒子)

- 化石燃料の使用だけでなく、バイオマス燃焼も主な排出源
- 太陽からの日射を吸収・散乱することにより気温を変化させる
- 雲の凝結核となって雲のアルベド(日射の反射率)を変化させる
- 雲の寿命や降水も変化させる

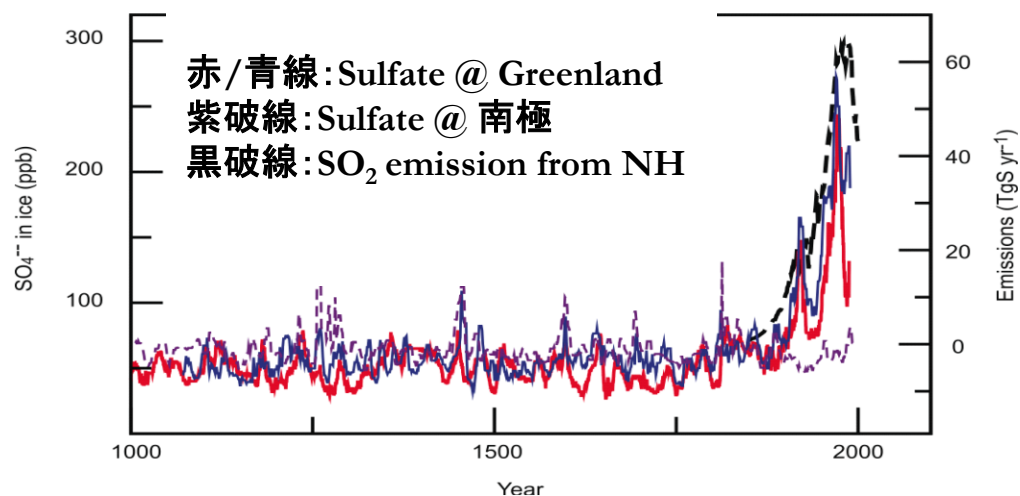


Figure 6.15

硫酸エアロゾル/人為起源SO₂排出量の経年変化↑
衛星観測によるエアロゾル光学的厚さの地理分布→

(IPCC WG1 第4次評価報告書(2007)より引用)

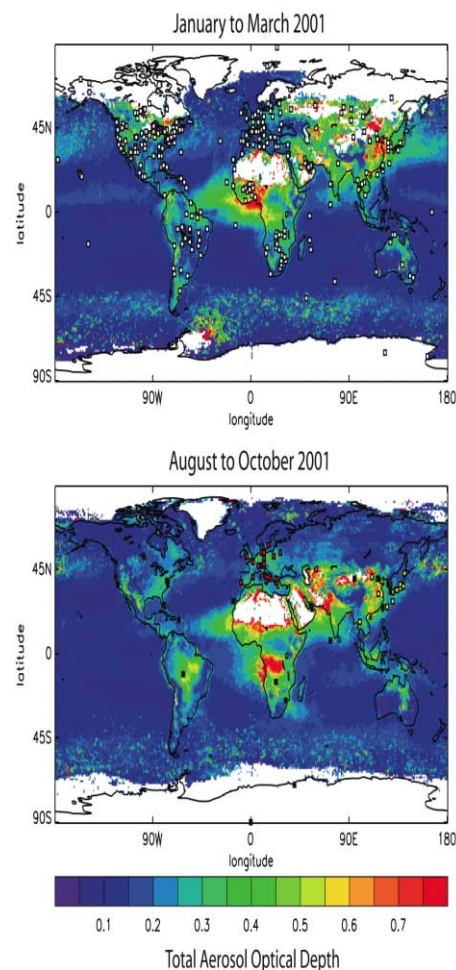
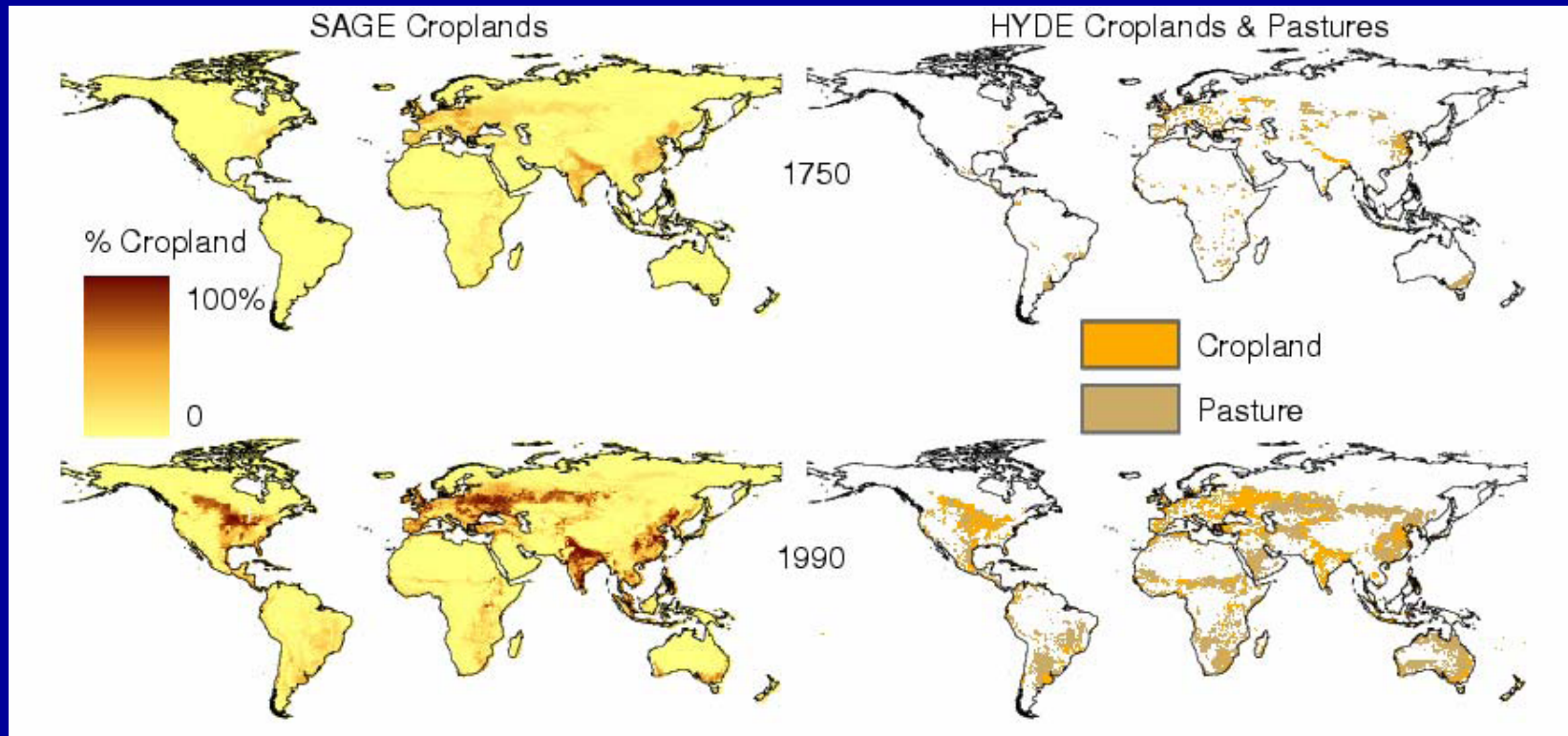


Figure 2.11

土地利用(地表面状態)の変化



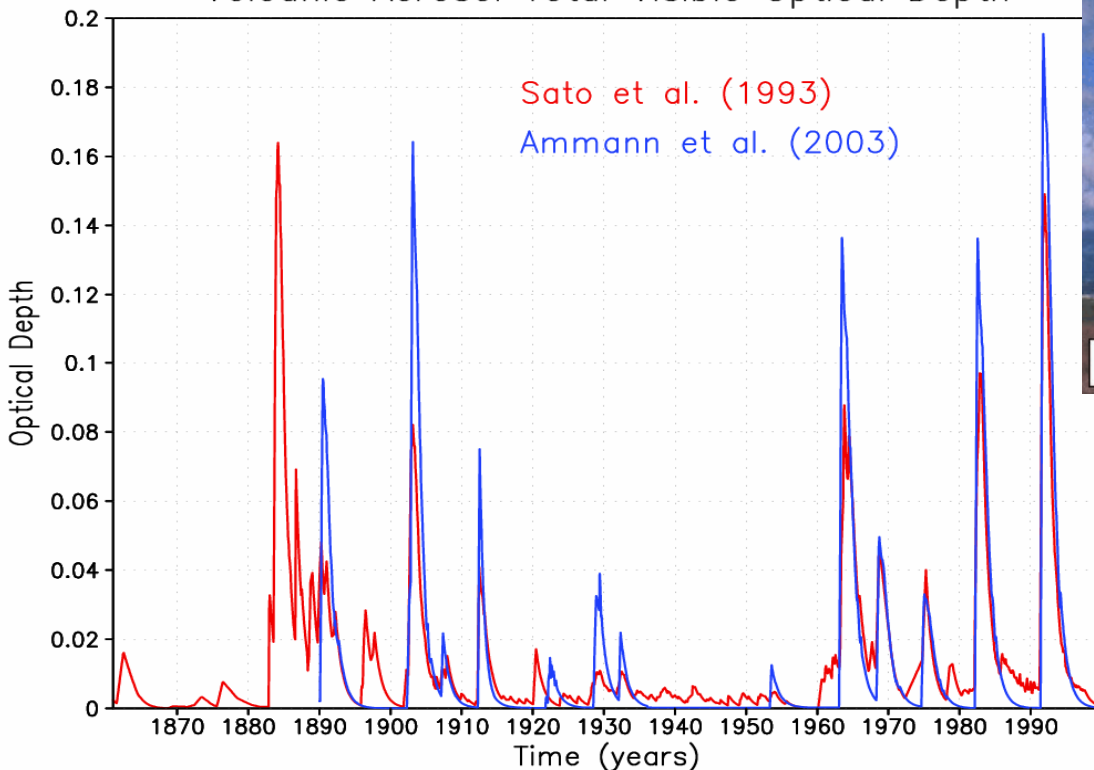
(IPCC WG1 第4次評価報告書(2007)より引用)

- 森林が伐採されて耕作地に転換されるなどして地表面のアルベド(日射の反射率)や蒸発散が変化し、気温を変化させる
- 雪氷面に黒色炭素(すす)などの吸収性エアロゾルが付着して地表面のアルベドが変化し、気温を変化させる
- 都市化/ヒートアイランドの影響は限定的(局所的)

大規模火山噴火

気候に及ぼす影響は一時的
(数年～10年程度)

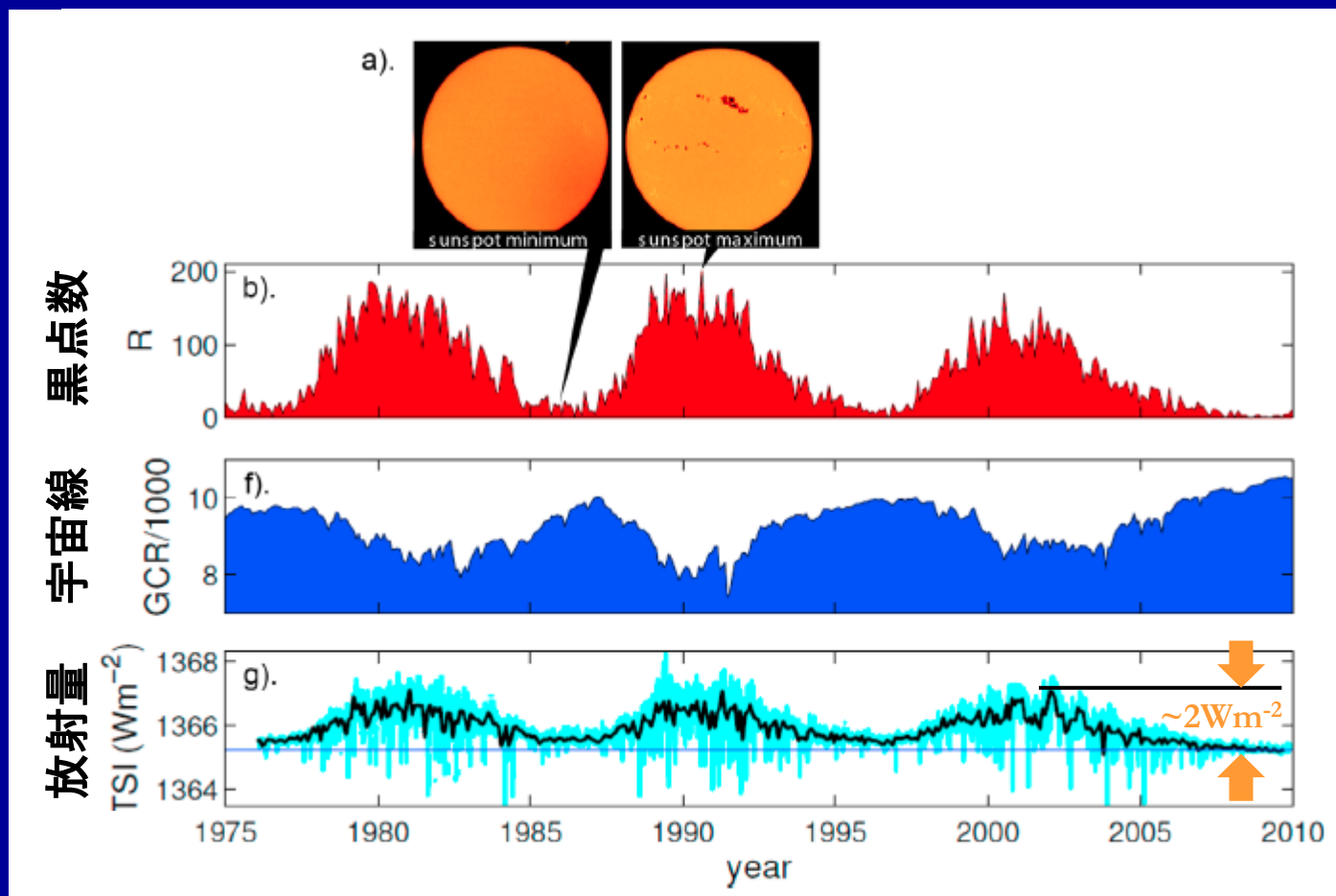
Volcanic Aerosol Total Visible Optical Depth



ピナツボ火山の噴火
(米国地質調査所より引用)

(IPCC WG1 第4次評価報告書(2007)
より引用)

太陽活動の変化

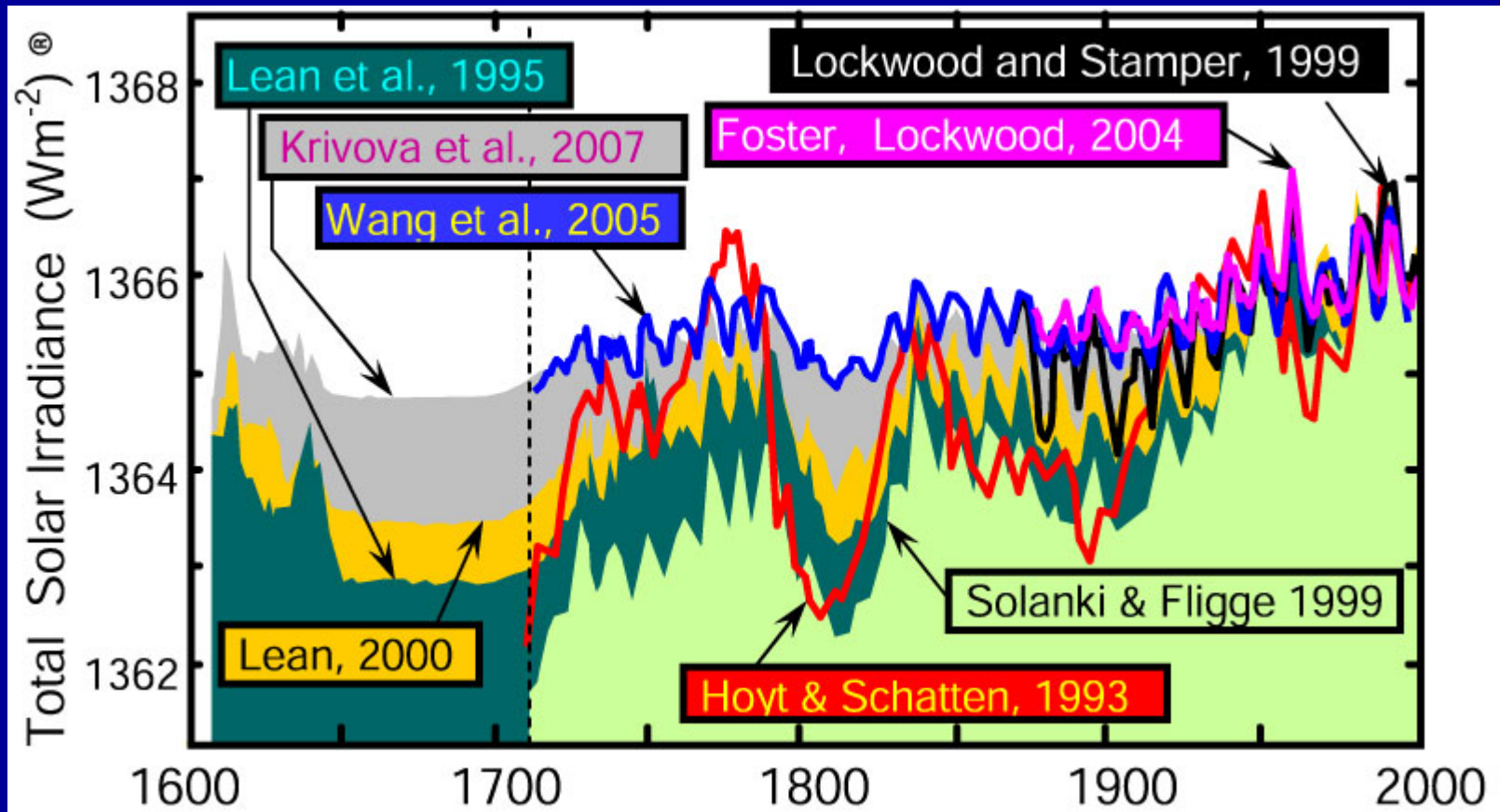


(Gray et al. (2010) より引用)

- 太陽活動が活発化→太陽磁場の影響大→宇宙線減少
- 太陽活動が活発化→黒点 & 白斑が増加→太陽放射量増加

太陽活動の変化

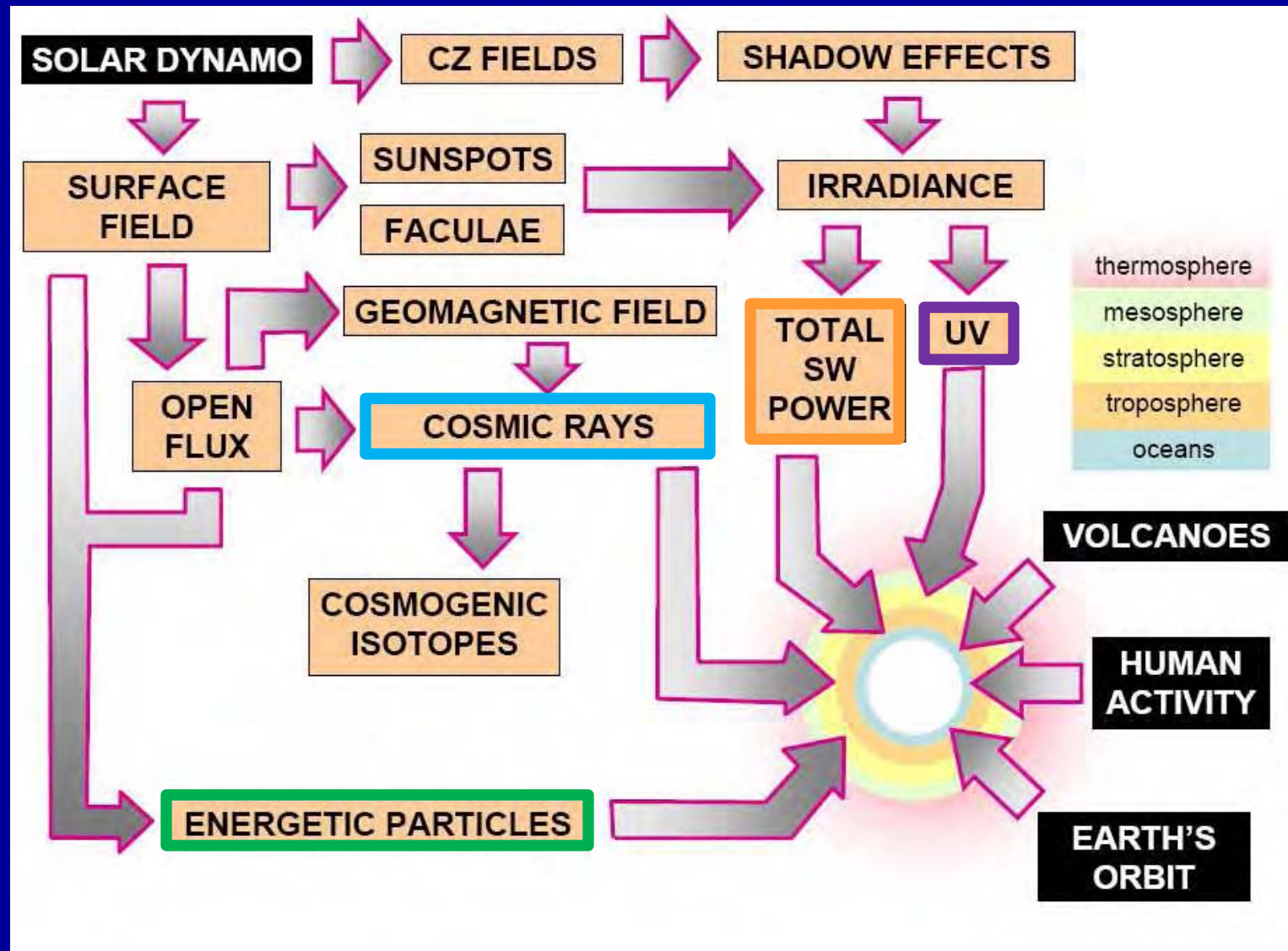
代替指標により再構築した太陽放射の長期変動



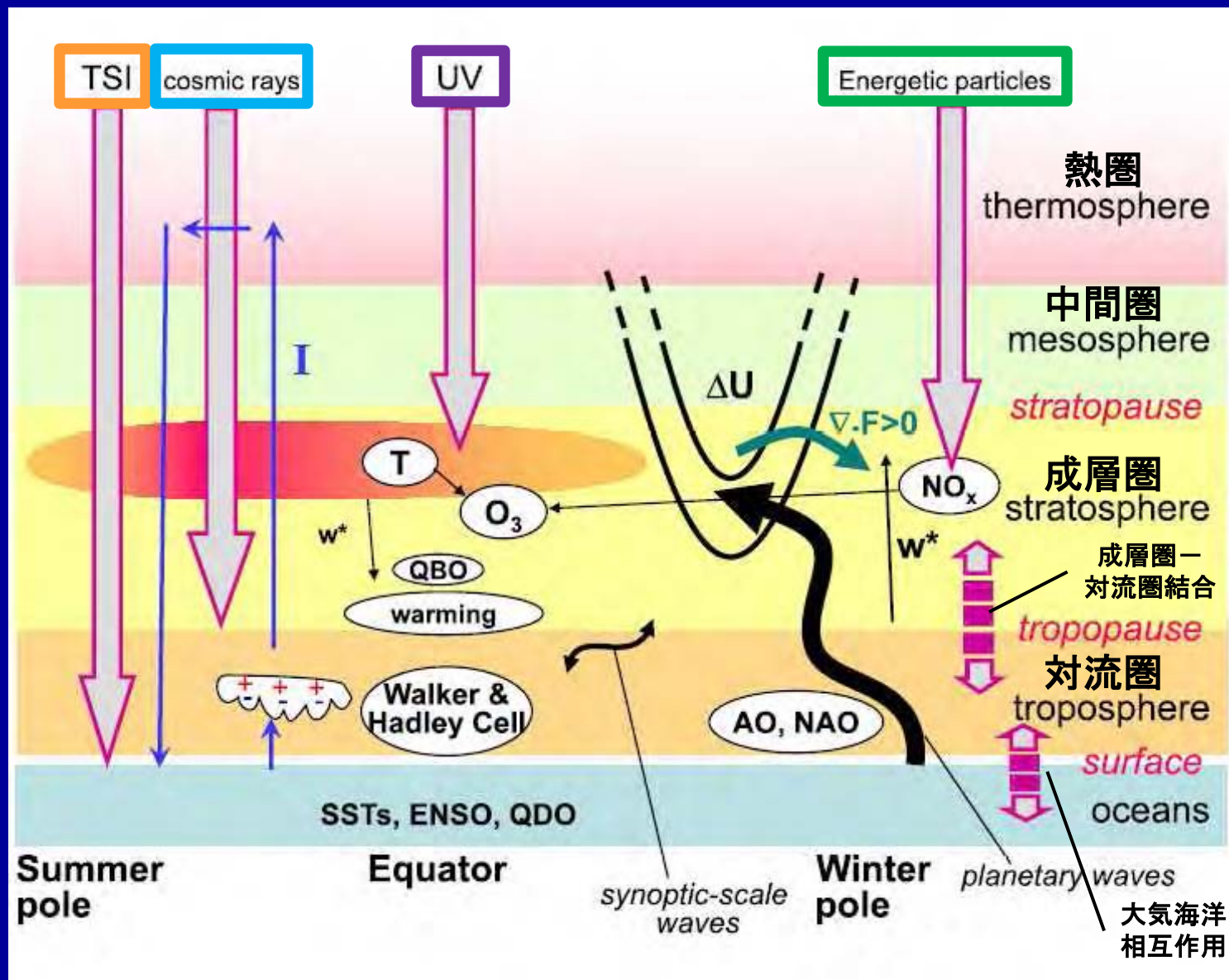
(Gray et al. (2010) より引用)

- マウンダー極小期以降の長期的な太陽放射量の変化はあまり大きくない？

太陽活動の気候影響の模式図



太陽活動の気候影響の模式図



(Gray et al. (2010) より引用)

太陽放射の変化に伴う気候影響

✓ 短波放射($\approx$ TSI)の気候影響

$$4\sigma T_e^4 = S(1 - A)$$

$$\Delta T_e / T_e = (1/4)(\Delta S / S)$$

- TSIが 2W/m^2 変化→放射平衡温度は約 0.1K 変化
- 全球平均気温への直接的な影響は軽微
- 海面温度、大気循環等の変化を介して影響が波及

✓ 紫外線量(UV)の気候影響

- 高度 20km 付近より上層の成層圏の気温に影響
- 大気波動、成層圏—対流圏結合を介して影響が波及
- 内部変動の影響により、シグナルの検出は難しい

宇宙線、高エネルギー粒子の 変化に伴う気候影響

✓ 宇宙線の気候影響

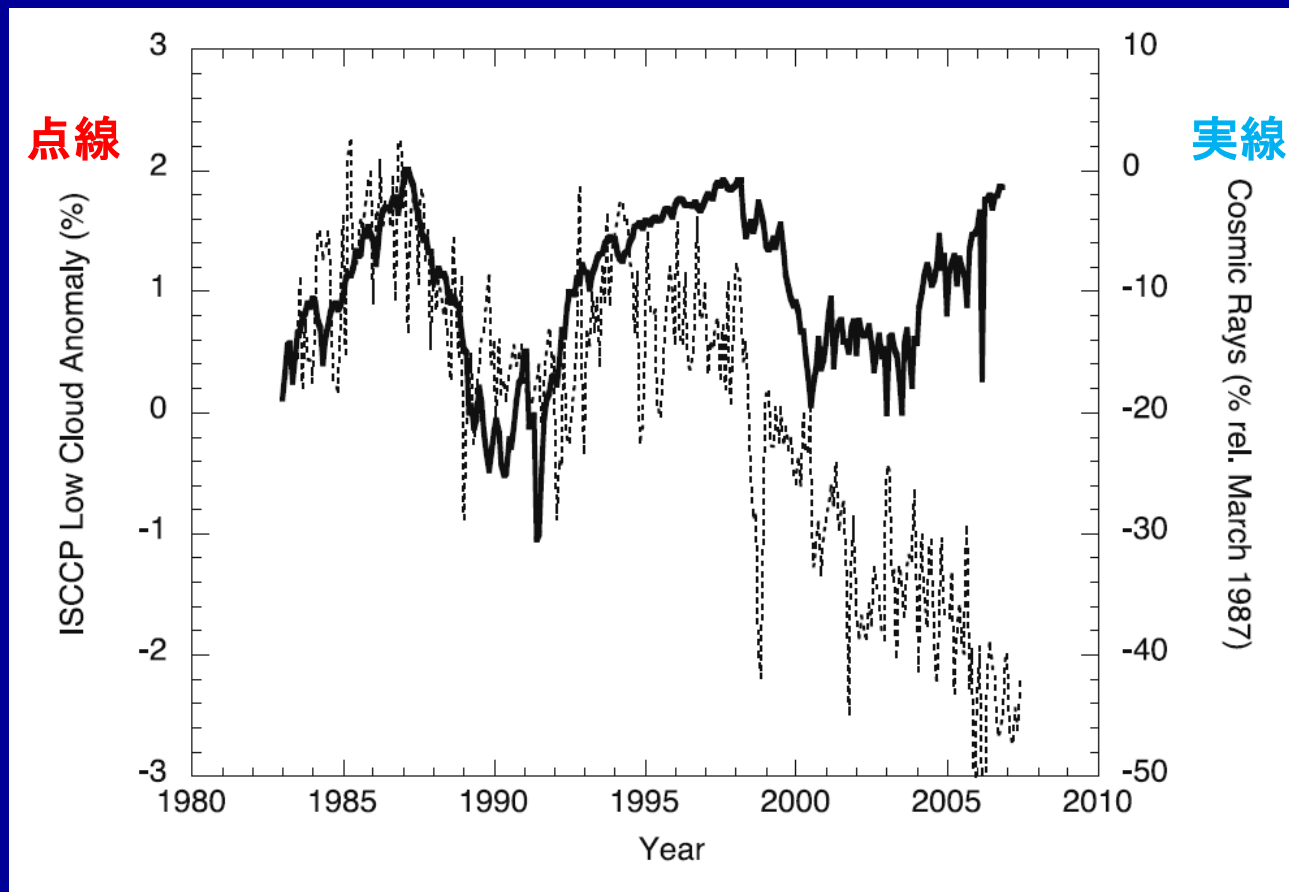
太陽磁場の弱化 → 地球に到達する宇宙線量が増加
→ 大気中に生成されるイオンが増加
→ イオンを核として下層の雲量が増加
→ 地球の気温低下

- 物理的には十分考えられるメカニズム
- 根拠として用いられている雲のデータに問題アリ
- 雲凝結核となる物質は他にもたくさん存在する
- 現段階では信憑性の高くない可能性のひとつ

✓ 高エネルギー粒子の気候影響

- 高緯度域の上部成層圏より上層で化学物質に影響
- 極渦内に限定→気候への影響は小さい

宇宙線と下層雲量の相関関係



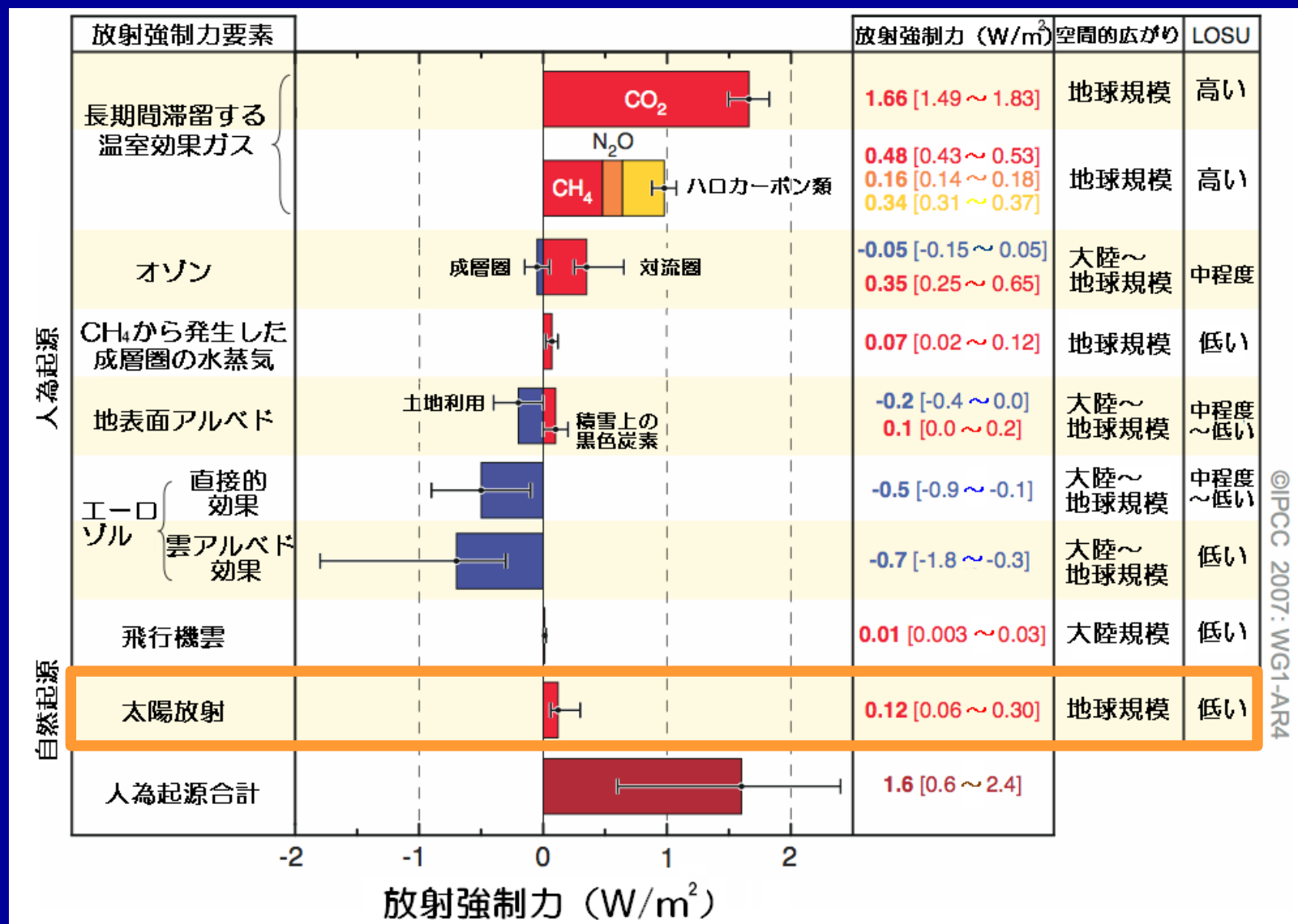
(Gray et al. (2010) より引用)

- ISCCPの雲量データは長期トレンド解析には適さない
- 少なくとも2000年以降は正の相関関係が破れている

放射強制力

- ✓ 様々な温室効果ガスやエアロゾルなどが変化することにより、地球に出入りするエネルギーのバランスを変化させる影響力のこと
- ✓ 正の放射強制力は地表面を暖め、負の放射強制力は地表面を冷やす傾向がある
- ✓ 地球全体としては、産業革命以降のさまざまな人間活動が温暖化の効果をもたらしている

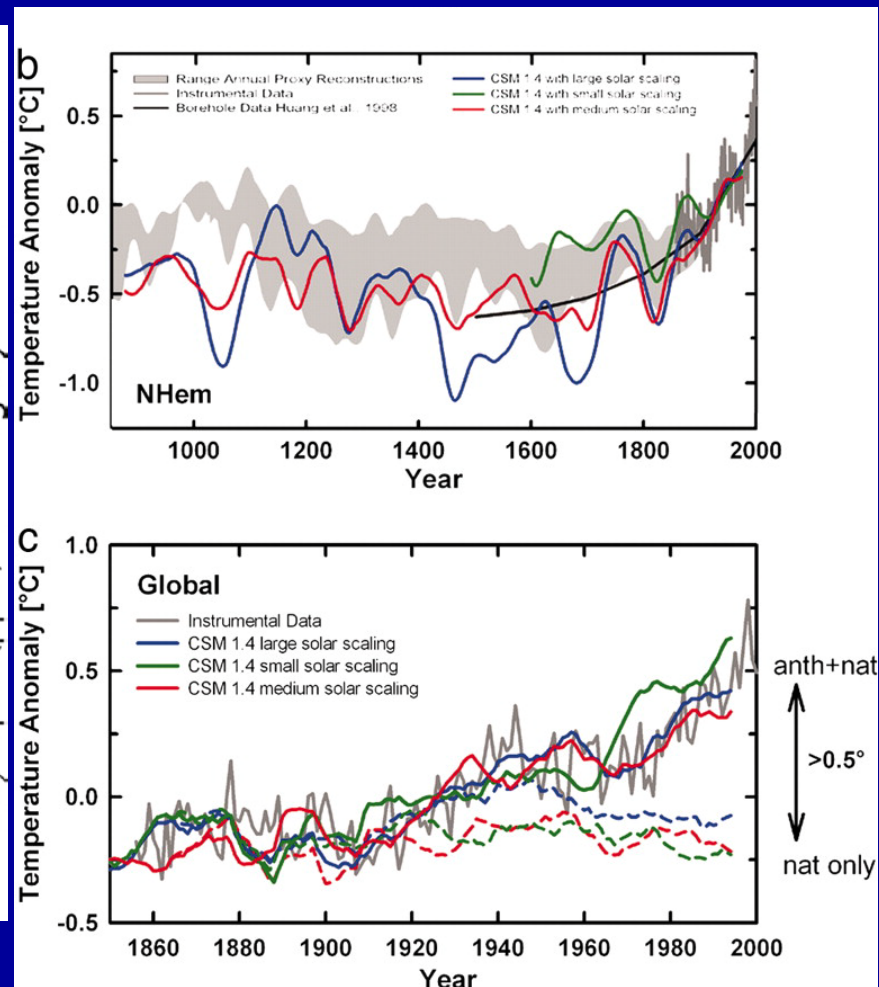
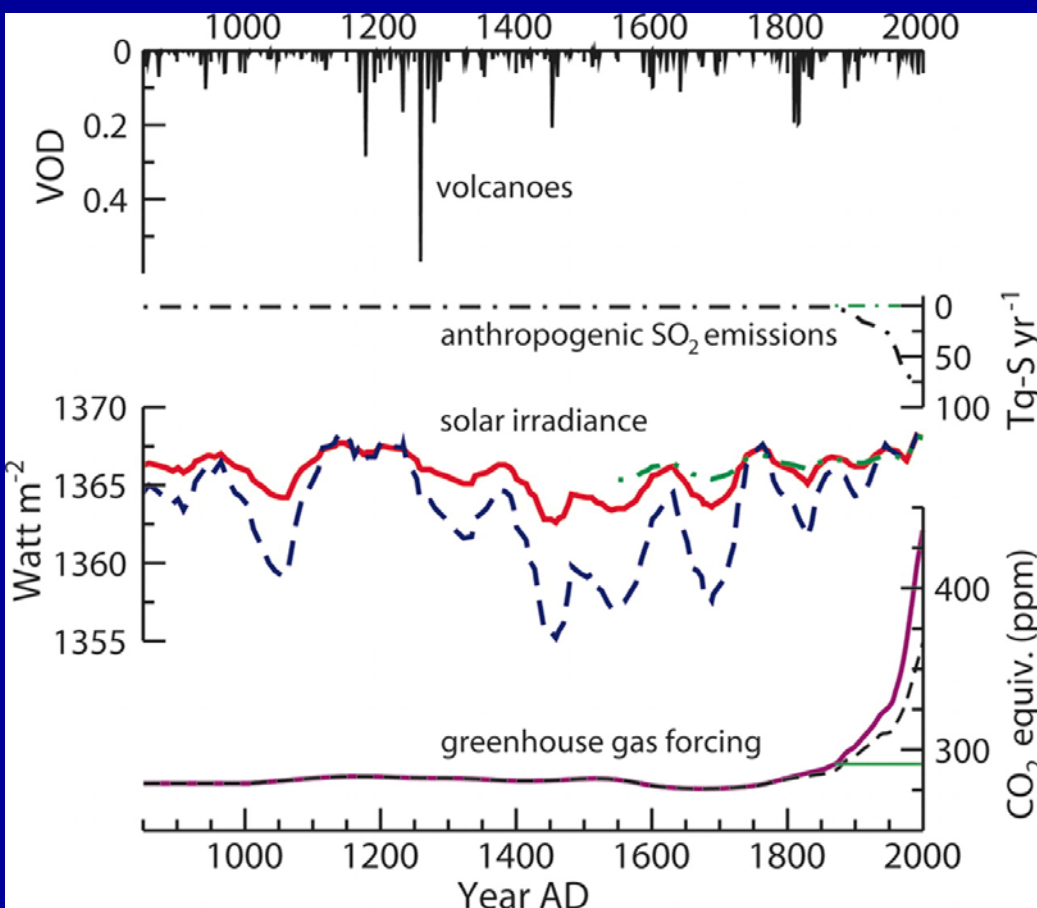
産業革命前～現在の放射強制力



(IPCC WG1 第4次評価報告書政策決定者向け要約(気象庁訳)(2007)より引用)

過去1000年の気候再現実験

19世紀以前の気温変動は太陽変動と火山噴火で説明可能



(Ammann et al., 2007)

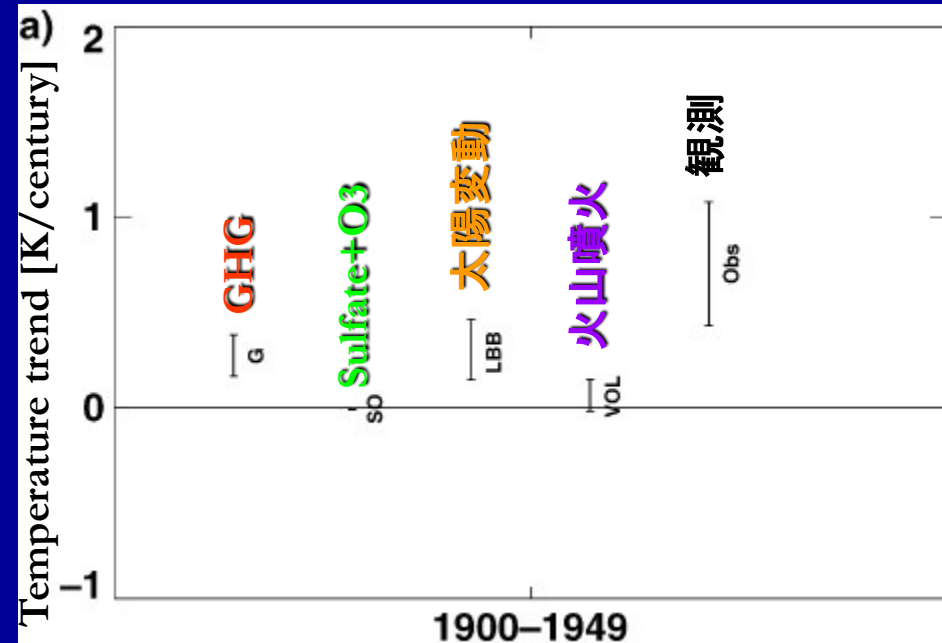
20世紀前半の温暖化と太陽変動

➤ Stott et al. (2003)

✓ HadCM3による

20世紀再現実験

✓ 20世紀前半の温暖化は
GHG+太陽変動

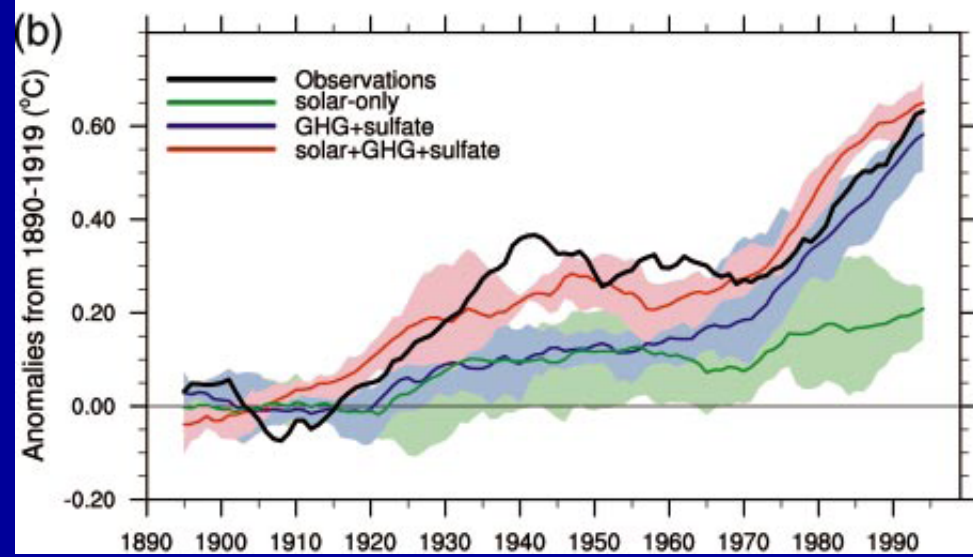


➤ Meehl et al. (2003)

✓ NCAR-PCMによる

20世紀再現実験

✓ 20世紀前半の温暖化は
GHG+太陽変動



まとめ

✓ 気候を変化させる外的な要因(気候変動要因)

➤ 太陽活動の変化

自然起源の気候変動要因

➤ 大規模火山噴火

➤ 温室効果ガス濃度の変化

➤ 対流圏エアロゾル濃度の変化

人為起源の気候変動要因

➤ 成層圏・対流圏オゾン濃度の変化

➤ 土地利用(地表面状態)の変化

✓ 太陽活動変動の地球気候への影響(可能性)

➤ 短波放射による地表面加熱・冷却および循環等の変化



➤ 紫外線による成層圏加熱・冷却および対流圏との相互作用



➤ 宇宙線に起因する下層雲を介した気温変化



➤ 高エネルギー粒子に起因する成層圏化学を介した変化



まとめ

- ✓ 19世紀までは、太陽活動変動は(火山噴火と並んで)長期気候変動をもたらす重要な要因の一つ
- ✓ 20世紀前半の温暖化には、太陽活動変動とともに温室効果ガスや火山噴火(からの回復)などが複合的に影響していた可能性が高い
- ✓ ただし、太陽活動の長期変動データ、気候モデル等に不確実性が大きく、まだまだ注意が必要
- ✓ 20世紀後半における温暖化は主に人為起源の温室効果ガスによりもたらされており、太陽変動はほとんど影響を与えていない