

第 1 章

Abbot et al. (2012) における全球凍結状態に対する GCM を用いた研究

1.1 目的

雲は宇宙へ向かう赤外放射を減少させ惑星を暖め、太陽放射を反射し惑星を冷却する。高い表面アルベドが太陽放射を反射する雲の冷却効果を減少させるので、雲がスノーボールアース上の雪や氷を温めると予想される。放射対流モデルを用いた初期の研究では、雲がスノーボールの氷解に必要な CO_2 の閾値をかなり減少させ得ることを証明した (Pierrehumbert, 2002)。しかし、スノーボールの氷解に対する大気大循環モデル *FOAM* を用いた研究によると、確かに雲はわずかな温度上昇をもたらしたが (Pierrehumbert, 2004, 2005), $\text{CO}_2 = 0.2$ で氷解できなかった。Abbot et al. (2012) 以前の研究によると、地質学的なデータやモデルの計算では、6 ~ 8 億年前の CO_2 の体積混合比は 0.01–0.1 であったことがわかっている。一方で、シミュレーション間の多くの違いによって、気候変化を考えるのを難しくなっているが、多様な気候と雲の振る舞いは *FOAM* の先駆的な研究に始まり、それに続く GCM の研究で見つかった。そこで、共通の設定の下で高度な雲スキームを持ついくつかの GCM を用いてシミュレーションを実行し結果の比較を行うことを目的とする。

1.2 使用したモデルと設定

使用したモデルは FOAM (Jacob, 1997), CAM (Collins et al., 2004), ECHAM (Stevens et al., 2012), LMDz (Hourdin et al., 2006), GENESIS (Thompson and Pollard, 1997; Alder et al., 2011), SP-CAM (Khairoutdinov and Randall, 2001; Khairoutdinov et al., 2008) である。力学過程はプリミティブ方程式系を用いる。温室効果効果ガスは CO_2 , H_2O のみを考える。これらは最新の雲分量と予測的な雲凝縮パラメタリゼーションを含む。表面アルベドは 0.6 を用いる。各モデルの解像度は次の通りである。FOAM は水平解像度 $7.5^\circ \times 4.5^\circ$, 鉛直層数 18, CAM は水平解像度 $2.81^\circ \times 2.81^\circ$, 鉛直層数 30, ECHAM は水平解像度 $1.88^\circ \times 1.88^\circ$, 鉛直層数 47, LMDz は水平解像度 $5^\circ \times 3.83^\circ$, 鉛直層数 19, GENESIS は水平解像度 $3.75^\circ \times 3.75^\circ$, 鉛直層数 18, SP-CAM は水平解像度 $2.81^\circ \times 2.81^\circ$, 鉛直層数 30 である。太陽定数は 1285 W m^{-2} を用いる。

1.3 結果

図 1.1 はモデルにおける熱帯の年平均表面温度 (TS) と大気上端の雲の放射強制力 (CRF) の間の関係の散布図である。図 1.1 によると、雲の放射強制力はモデル間でばらつきがあることがわかる。また、雲の放射強制力は正の相関があることがわかる。また、FOAM 以外の GCM はすべて FAM より高い雲の放射強制力と表面温度を生じる。このことは雲凝結スキームの違いによると考えられる。例えば、CAM において雲の放射強制力をゼロとした結果、FOAM と同じような表面温度になった。そのことから、雲の放射強制力が表面温度の差を引き起こすことが示された。

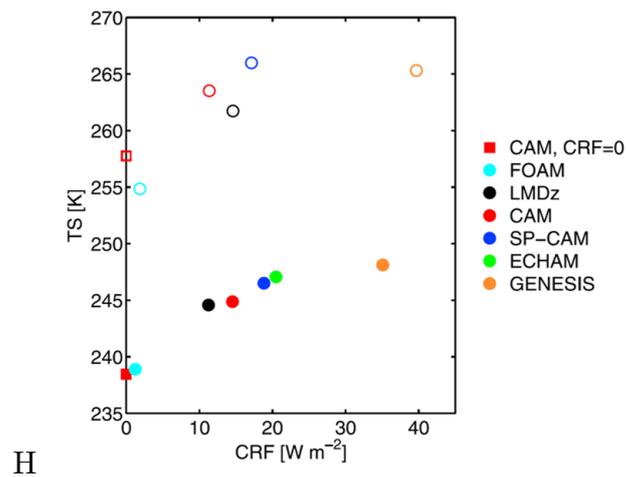


図 1.1: モデルにおける熱帯の年平均表面温度 (TS) と大気上端の雲の放射強制力 (CRF) 間の関係の散布図. CRF を人為的にゼロとした CAM も含む. 塗りつぶされた点は $\text{CO}_2 = 10^{-4}$, 白抜きの点は $\text{CO}_2 = 10^{-1}$ を表す.