

火星におけるダスト拡大地域マップ作成に向けて

CO₂凝結過程がダストの拡大に与える影響

○小郷原一智（京大院理）、里村雄彦（京大院理）

1. Introduction

よく知られているように、地球と異なり火星においては大気主成分であるCO₂が凝結する。その量は大気の1/3にもなげり、それゆえ以前から火星の大循環モデル（GCM）にはCO₂の昇華凝結過程が組み込まれてきた。一方、Lewis and Read (2003)によれば、極冠においてCO₂が相変化することによって引き起こされる南北風は、実際の平均的な南北風の値に比べて1オーダー小さく、したがって大気大循環にはほとんど影響しないと言われている。ただ、彼らの見積もった値は、極におけるCO₂の相変化による潜熱と放射冷却がつりあっていると仮定して、経度時間平均した大体の値である。また、Haberle et al. (1993)も condensation flowは極冠の淵のごくごく近傍でしか影響しないと言っているが、その根拠は示されていない。したがって、先行研究によって、ダストや水蒸気の輸送に対するCO₂の相変化過程の影響が小さいとは言い切れない。

また、GCMによるシミュレーションにおけるCO₂の相変化過程の利用には、次のような肯定的、否定的理由があげられる。

肯定的理由

- ・ 実在するものなので当然
- ・ 極冠を通じて、温度構造、風速分布に影響する

否定的理由

- ・ 鉛直方向にU,V,Tを混合する必要
- ・ 現象の切り分けが難しい
- ・ 雲物理がわからない

したがって、もしCO₂の相変化過程がダストや水蒸気の輸送に対してあまり影響しないなら、それを使わずにより簡単な設定で数値シミュレーションを行ったほうがよい。

本研究では、CO₂の相変化による大気質量の変

表1 主な実験設定

Resolution	T21L34
Time step	10min
season	Perpetual Ls=90
albedo	0.25(regolith), 0.60(ice)
Thermal inertia	200(regolith), 400(ice)

化を考慮したスキームと、温度だけを昇華点温度に補正するスキームの両方を用いて、それらの風速分布を比較することで、CO₂の相変化が物質の輸送にどれほどの影響を及ぼすかを見積もってみたい。

2. Model and Experiments

GCMはDennou AGCM(SWAMP Pro. 1998)を基本とし、我々が火星用に改変したものである。そのうち放射過程は、deepconv-mars(Odaka et al. 2001)のものを用いた。詳しい設定は表1を参照のこと。ダスト（単一粒径0.64μm）は放射的にactiveで、その空間分布は時間的に一定とし、Forget et al. (1999)の式を用いて与えている。今回に関しては、考察を簡単にするため火星の地形は考慮せず平坦としている。CO₂の相変化スキームはForget et al. (1998)によるスキームを用いる。このスキームは、上空で凝結した固体CO₂が落下の途中で暖気に触れた場合、再昇華することを考慮し、地表面に到達した固体CO₂の分だけ極冠を増加させる、と言うものである。我々はこのスキーム（Scheme 1）と、このスキームのうち地表気圧変化と各層間の質量の移動を考慮せず、温度だけ補正するようにしたもの（Scheme 2）を用いる。Scheme 2を用いて112日間spin-up runを行った後、それぞれを用いて112日間計算し、その結果を比較する。火星の離心率は地球のそれより

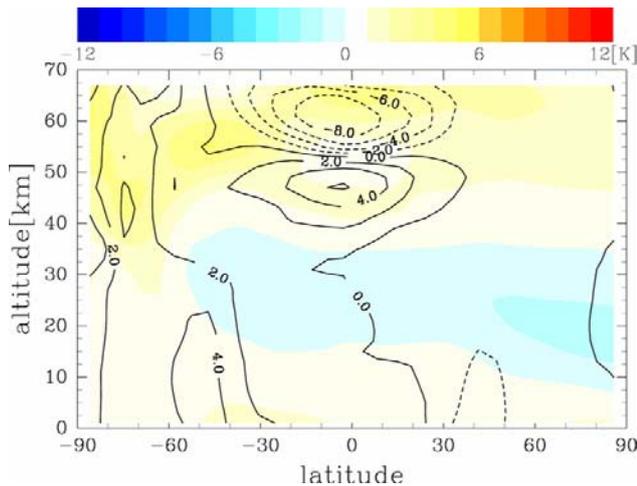


図1 実験 30 日目から 112 日目までの 82 日間の温度（陰影）と東西風（等値線）の zonal mean の平均値の差 (Scheme 1 – Scheme 2)。等値線の点線は府の領域を示している。

5~6 倍大きく、北半球の冬の期間が夏の期間より長い。したがって、現実の火星においても、 $L_s=90$ 付近では近似的に Perpetual と考えて差し支えないと思われる。

3. Results

図 1 は実験 30 日目から 82 日間の温度と東西風の zonal mean の平均値の差 (Scheme 1 – Scheme 2) である。陰影が温度の差で、等値線が東西風の差である。40km より上空の南半球高緯度と、低緯度に比較的大きな東西風の差が見られるが、その場の平均値と比べれば 1 桁以上小さな差である。示していないが、南北風についても Scheme 1 と Scheme 2 の差は平均値に比べて非常に小さい。また、カラム中のダストの質量はほとんどが下層に集中しており、実質的なダストの光学的厚さの分布は下層のダストによるところが大きい（混合比の分布はその限りではない）。したがって、ダストの質量が集中している 40km より下層では温度と水平風に関する Scheme 1 と Scheme 2 の差は十分小さく、比較的大きい 40km より上空でも平均値に比べて 1 桁以上小さい。これらのことから、 CO_2 の相変化過程は、少なくともこの季節内における平均子午面構造にはダストの広がりには影響するほどの変化はもたらさないとと言える。

次に、 $52^\circ S$ 、 $2^\circ S$ 、 $52^\circ N$ における実験 30 日目から 82 日間の東西風の平均値の差の経度一

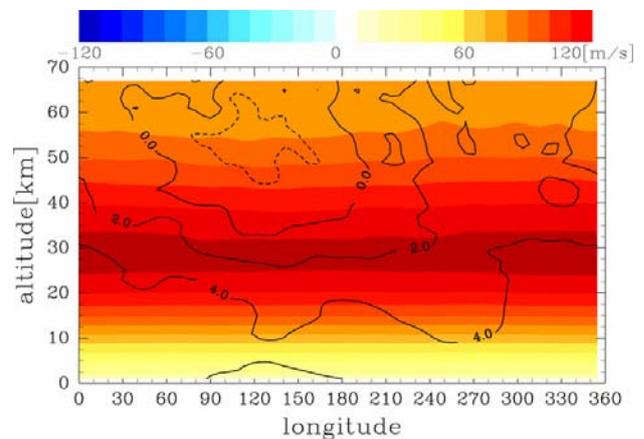
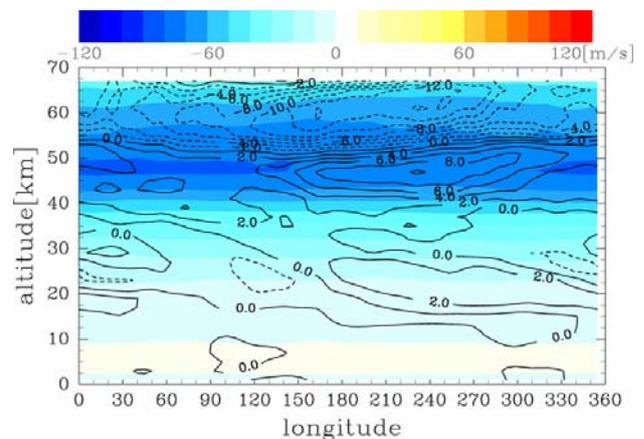
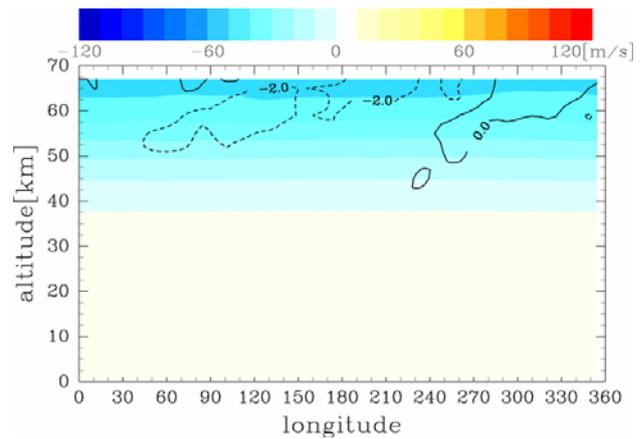


図2 Scheme 1 の 30 日目から 82 日間の東西風の平均値(陰影)と、Scheme 1 と Scheme 2 の 30 日目から 82 日間の東西風の平均値の差(等値線)の経度一高度分布。(上図) $52^\circ N$ (中図) $2^\circ S$ (下図) $52^\circ S$ 。

高度分布を図 2 に示す。いずれの緯度においても Scheme 1 と Scheme 2 の差は小さく、ダストの広がりにはあまり関係ない低緯度の 40km より上空において約 10m/s の差がある程度である。また、波数 1 や 2 の定在波と思われるような目だった東西風の構造も見られない。南北風についても同様のことが言える（紙面の都合上示していない）。

以上の結果は、大気下層から上層にかけての結果であったが、 CO_2 の相変化は大気の下層にも

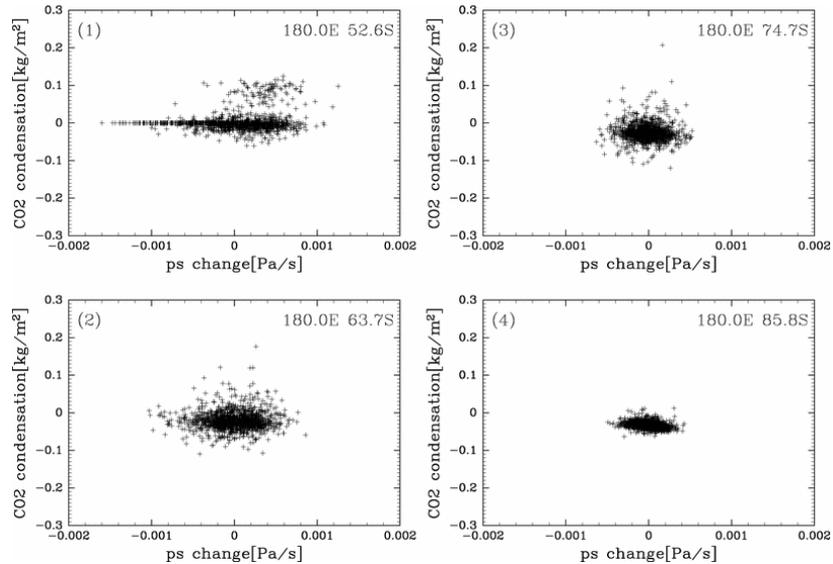


図3 (1)52.6° S、(2)63.7° S、(3)74.7° S、(4)85.8° Sの4地点における地表気圧の時間変化率とCO₂相変化による大気のカラム質量の増減の相関を示す散布図。縦軸の正の領域が昇華、負の領域が凝結を表している。4地点の経度はいずれも東経180°である。

っとも大きな影響を与えると考えられる。大気最下層、もしくは地表におけるCO₂の相変化が、最下層の風速や地表気圧とどのような関係にあるかを確認する必要がある。

図3は東経180°で、(1)52.6° S、(2)63.7° S、(3)74.7° S、(4)85.8° Sの4地点における、地表気圧の時間変化率とCO₂の相変化による大気のカラム質量の変化との相関を示す散布図である。これらの地点は南極冠の中の点であるが、いずれにも明確な相関は見られない。これは、地表気圧の112日間の標準偏差に対して、CO₂の相変化による大気のカラム質量の変化量(単位はkg/m²)が十分小さいことも整合的である(図4)。つまり、CO₂の相変化による地表気圧の変化は、日変化や高低気圧の通過による変動に比べて十分小さく、地表付近の風速やダストの輸送にはほとんど影響しないと考えられる。

4. まとめと問題点、今後の課題

本研究では、火星GCMにおけるCO₂相変化過程の水平風への影響の大きさを見積もった。その結果、温度や水平風の平均場に対しては低緯度40kmより上空を除いて、CO₂相変化の影響は小さかった。比較的大きかった低緯度40kmより上空存在するダストは、質量としては非常に微量であると考えられるため、結果としてはダストスト

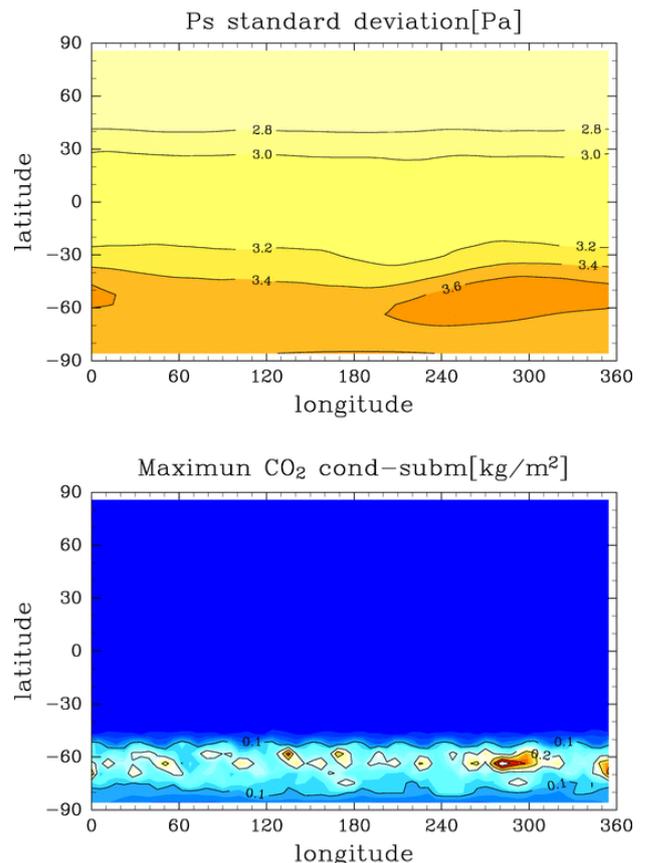


図4 (上図)実験112日間の地表気圧の標準偏差。単位は[Pa]。等値線間隔は0.2。(下図)CO₂相変化による大気のカラム質量の変化量の絶対値、実験期間中の最大値。等値線間隔は0.1。

ームの拡大にはあまり影響しないと考えられる。また、CO₂相変化による大気のカラム質量の変化(つまりは、地表気圧の変化)は、112日間の地表気圧の標準偏差に比べて圧倒的に小さく、地表

付近の風速、地表付近におけるダストの輸送にはほとんど影響しないと考えられる。

しかし、今回はPerpetualな環境で考えるため、北半球夏至に固定して実験を行ったが、ほかの季節、特に分点付近においては同じことが言えるかどうかは定かではない。なぜなら、一つは、凝結するときより、昇華するときの方が急激であると考えられ、大気の運動に対して大きな影響を与えるからである。もう一つは、急激な昇華は大量の静止CO₂を大気第一層に放出することになり、大気にとって障害物となりえるからである。したがって、季節変化が早い北半球春分における同様の実験を行う必要がある。また、我々のモデルのPerpetualな設定で、北半球夏至の平均的な極冠生成速度が再現されているかも未確認である。もしモデルの極冠生成速度が実際よりも著しく遅ければ、実際にはより急激なCO₂の相変化が起きていると言うことであり、CO₂相変化による地表気圧変化の影響がもっと強く現れるべきであるかもしれない。

References

- Forget et al. (1998), CO₂ snowfall on Mars: Simulation with a general circulation model, *Icarus*, 131, 302—316
- Forget et al. (1999), Improved general circulation models of the Martian atmosphere from the surface to above 80km, *J. Geophys. Res.*, 104(E10), 24,155—24,175
- Haberle et al. (1993), Mars atmospheric dynamics as simulated by the NASA Ames general circulation model 1. the zonal-mean circulation, *J. Geophys. Res.* 98(E2), 3,093—3,123
- Lewis and Read, (2003), The Martian climate revisited, *Springer*.
- Odaka et al. (2001), A numerical simulation of thermal convection in the Martian lower atmosphere with a two-dimensional anelastic model, *Nagare Multimedia*, 20
- SWAMP Project (1998), AGCM5, *GFD Dennou Club*.