

火星現象論：火星の大気モデル

地球流体電脳倶楽部

1996 年 12 月 12 日

目次

1	放射対流平衡モデル	2
2	GCM	4
3	参考文献	12

Abstract

火星大気の構造モデルとして、放射対流平衡モデルと GCM について述べる。

1 放射対流平衡モデル

Gierasch and Goody(1972) は純 CO_2 大気の放射対流平衡モデルによる計算を行った。

図 1a はその計算結果である。これは夏半球の緯度 40 度の状況についての計算例である。図には local time の 6 時と 16 時の場合を示してある。縦軸は km で高さを、横軸は絶対温度で温度を示してある。図の下には 6 時の場合の地表面温度と 16 時の場合の地表面温度が示してある。

この計算では対流圏界面の高さは約 15km となった。

また、マリナー 9 号による気温の観測結果が図の中にハッチで示してある。

図からわかるように、計算と観測結果は見事に合っていない。計算された値は実際に観測で得られた値よりも低くなっている。

このように計算と観測で不一致が生じたのは、実際の火星大気では dust が太陽放射を吸収し、大気を加熱するためであると考えられている。

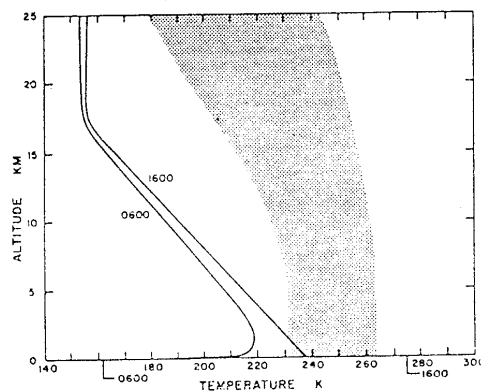


図 1a 放射対流平衡温度構造 (Gierasch and Goody(1972), fig 1)

Pollack *et al.* (1979) は同様のモデルを用いて日変化を計算した. 図1はその計算結果である. これは夏半球の緯度 20 度の場合である. 図には local time の 4 時と 16 時の場合を示してある. 図の下端には 4 時の場合の地表面温度と 16 時の場合の地表面温度が示してある. 実線, 一点鎖線, 破線はそれぞれ晴天時とダストストーム時に対応する.

図から, 日変化の影響が大きいのは地表から 2km の範囲であることがわかる. ダストストーム時には上下に温度が一様化し, 日変化の影響も大気上層にまでおよぶ.

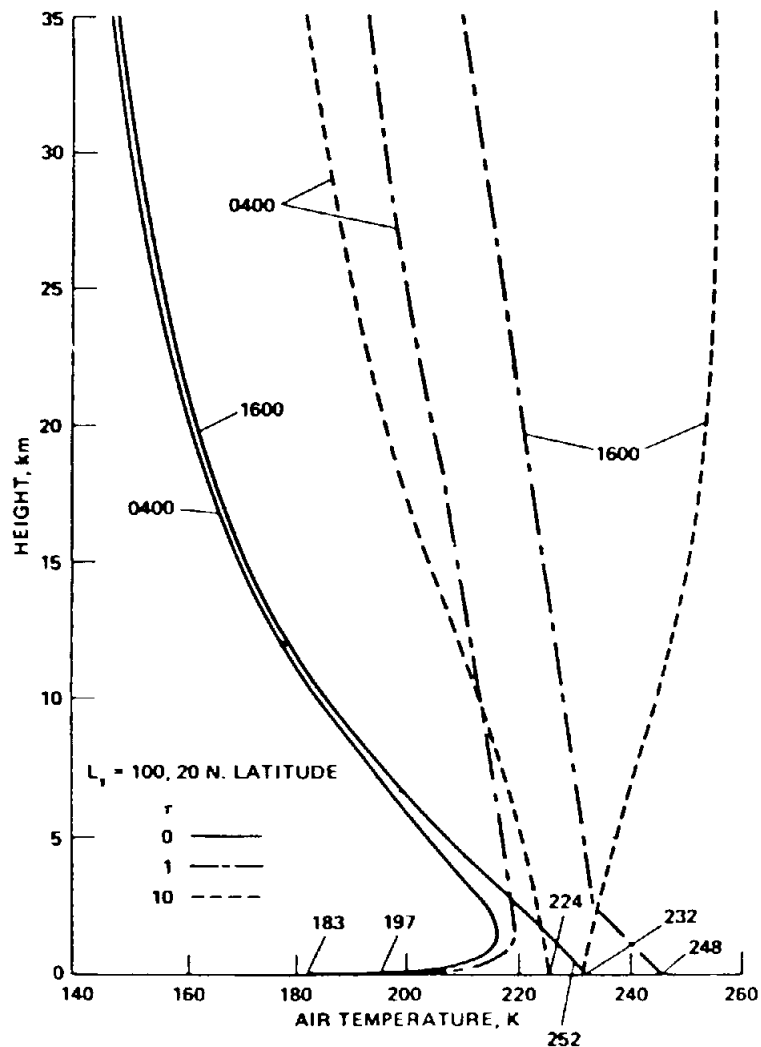


Figure 1-4. Vertical temperature profiles for different times of day and for different values of the optical depth, τ , at the start of the summer at 20° N latitude. When the atmosphere is clear, diurnal temperature variations are restricted to the lower few kilometers. When the atmosphere is dusty, the profiles become more isothermal and diurnal variations are significant through the entire profile. Figures at the base of the diagram are surface temperatures for the different profiles. (From Pollack *et al.*, 1979. Copyrighted by the American Geophysical Union.)

図 1b 放射対流平衡温度構造 (Pollack *et al.*, 1979; Carr, 1996, 図 1-4)

2 GCM

Pollack et al(1981)はUCLAのGCMを火星に使えるように直したモデルを使用し、火星大気の温度場、風の間、圧力場などを計算した。大気成分としてはCO₂だけを考える。CO₂の相変化も考慮し、極冠の季節変化も計算する。また、Gierasch and Goody(1973)と同様にダストは考えない。図2はモデルで使う鉛直座標系である。対流圏を3層に切っている。この図で出てくる量の定義は次のようになっている。

$$\pi = P_s - P_T$$

$$\sigma = \frac{P - P_T}{P_s - P_T}$$

ただし、 P_s は地表面気圧、 P_T は対流圏界面における圧力である。また、 ϕ はgeopotentialである。このモデルでは、火星の地形分布とアルベド分布を考慮している。図3はモデルに与える地形分布で、図4はモデルに与えるアルベド分布である。

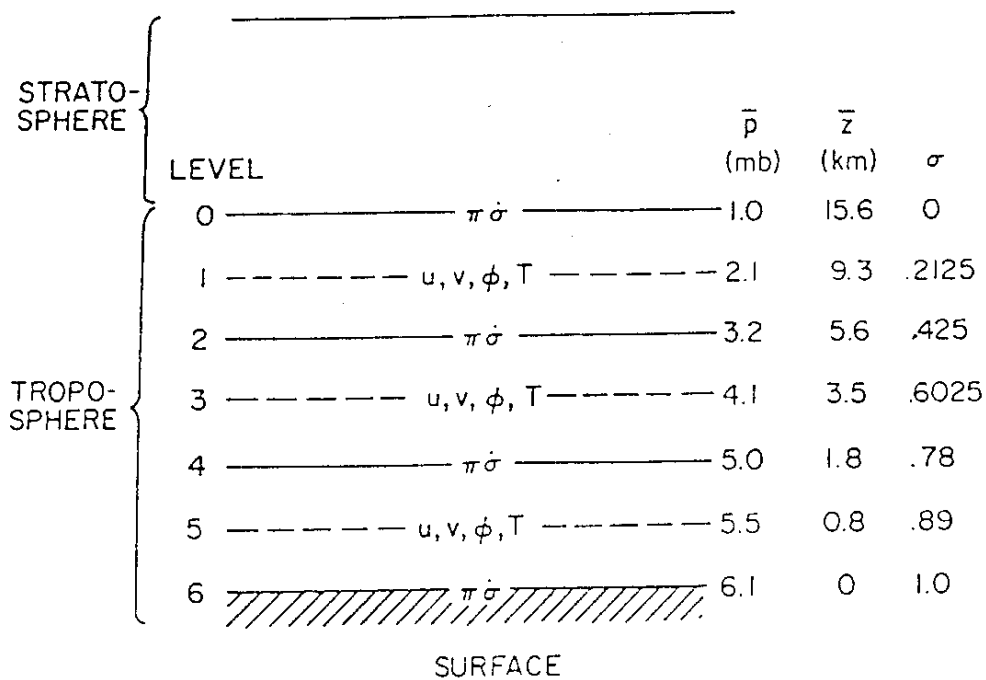


図2 GCMにおける鉛直軸 (Pollack et al(1981), fig 1)

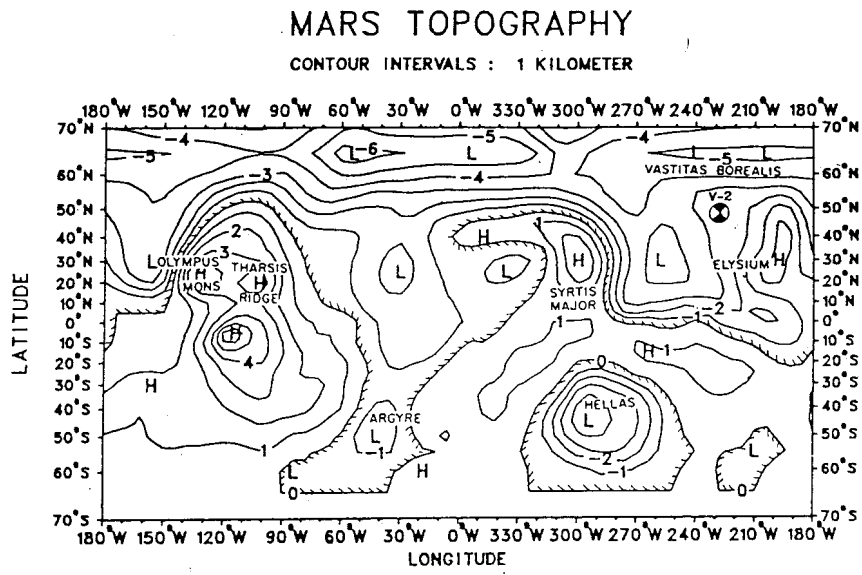


図3 GCM で使う地形分布 (Pollack et al(1981), fig 3)

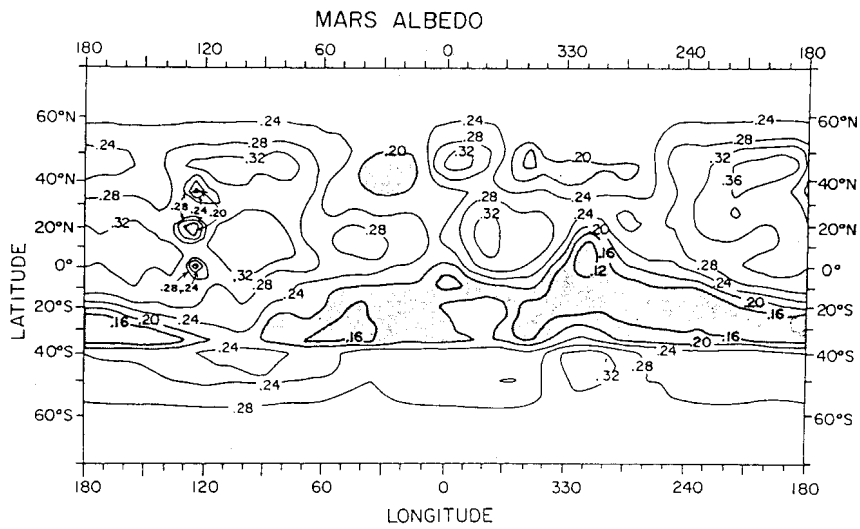


図4 GCM で使うアルベド分布 (Pollack et al(1981), fig 4)

以下にこのモデルによる計算結果を示す. ここでは $L_s = 82^\circ$ から $L_s = 112^\circ$ まで積分を行った例を示す. なお, 初期条件としては等温 ($T = 200\text{K}$) の状態を与えた.

- 気温と風の計算結果

図5に $L_s = 82^\circ$ から $L_s = 112^\circ$ まで時間平均し, 経度方向にも平均した風の南北成分 (meridional wind) と東西成分 (zonal wind) と気温を示す. 図は子午面断面図で斜線付きの曲線が地表をあらわしており, 左端が南極で, 右端が北極である. 図の中の太い線 (南半球の極域の地表に引かれているもの) は極冠をあらわす. meridional wind の図 (一番上) ではハッチを付けたところが北風, ハッチを付けていないところが南風をあらわす. zonal wind の図 (真中の図) ではハッチを付けたところが東風, ハッチを付けていないところが西風をあらわす. 気温の図 (一番下) は気温を絶対温度であらわしてある. 図5より, モデルの計算では次の特徴があることがわかる. 赤道域の地表付近では南風が吹いているのに対し, 上空では北風が吹いている. (meridional wind の図を参照) これは赤道をはさんだ循環が生じていることを示唆する. zonal wind の図から南半球 (この場合南半球は冬になっている) の中緯度の上空では西風のジェットができていることがわかる. 気温の図から南半球の極冠のすぐ北側で温度勾配が大きくなっていることがわかる.

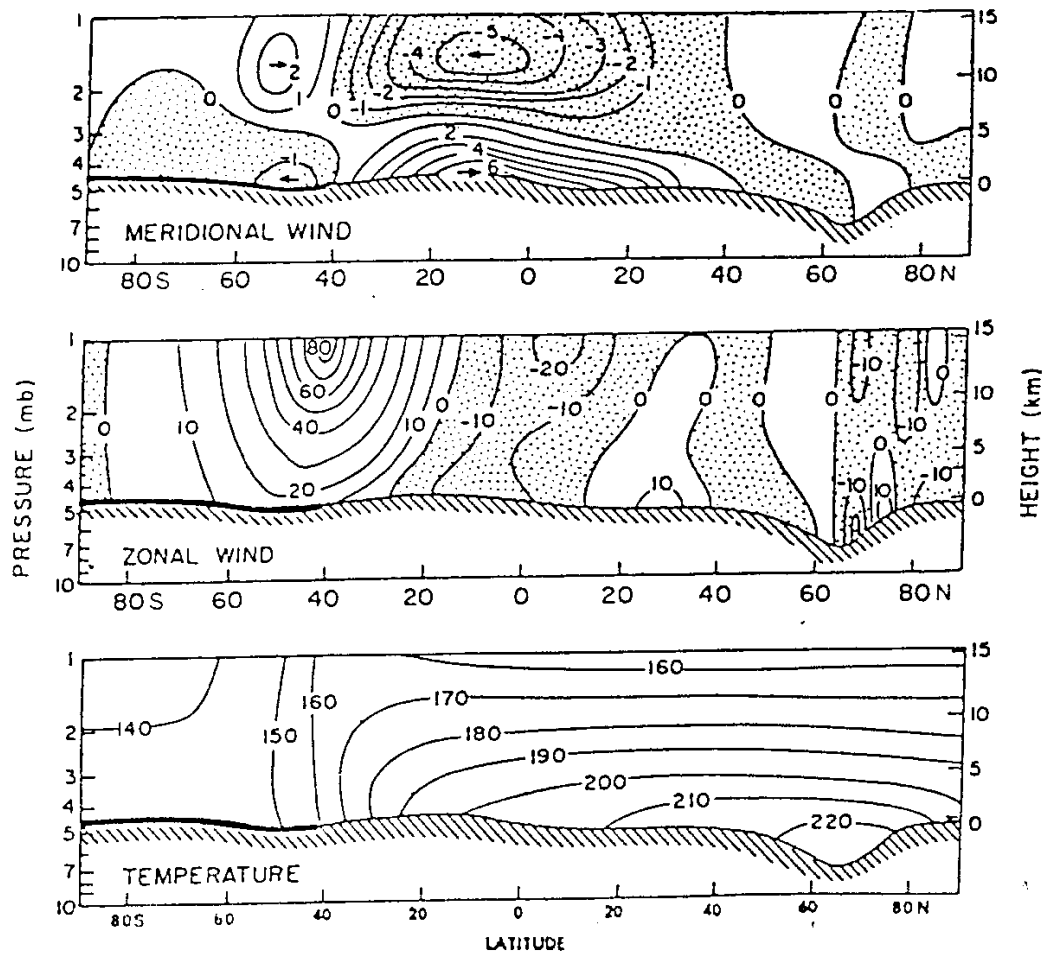


図5 GCMによる気温と風の計算結果 (Pollack et al(1981), fig 6)

- 傾圧波の計算結果

図6は $P = 2.023\text{mb}$ 面と $P = 3.899\text{mb}$ 面における geopotential の偏差の計算結果である。ここで言う偏差というのは積分を開始してから 49 火星日目から 64 火星日目までの geopotential の時間平均からのズレである。図6a, 図6b, 図6cはそれぞれ56日目の0時における偏差, 56日目の12時における偏差, 57日目の0時における偏差をあらわす。この図から東向きに進む渦があることがわかる。(例えば, 56日目0時に $(45^{\circ}\text{S}, 240^{\circ}\text{W})$ にある低気圧) これは傾圧不安定波と考えられる。

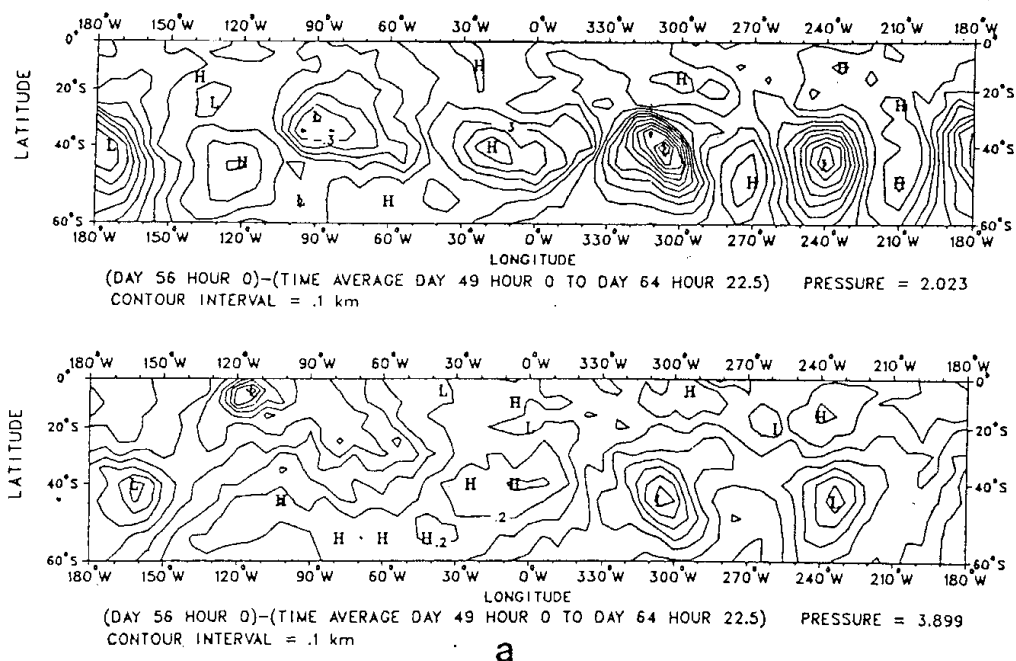


図6a 56日目0時における geopotential の偏差 (Pollack et al(1981), fig 21)

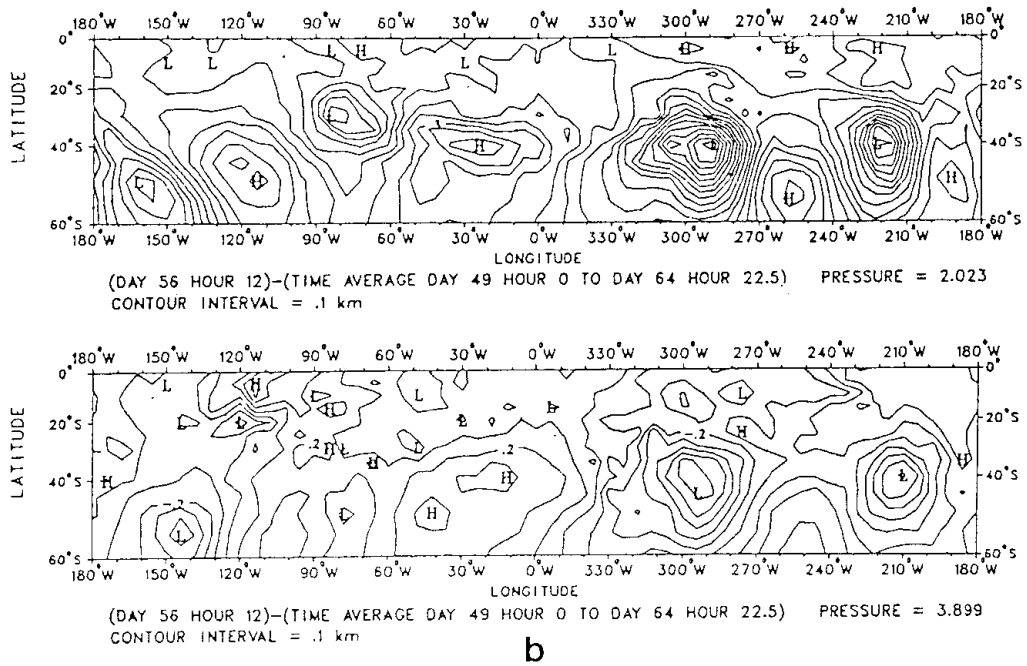


図 6b 56 日目 12 時における geopotential の偏差 (Pollack et al(1981), fig 21)

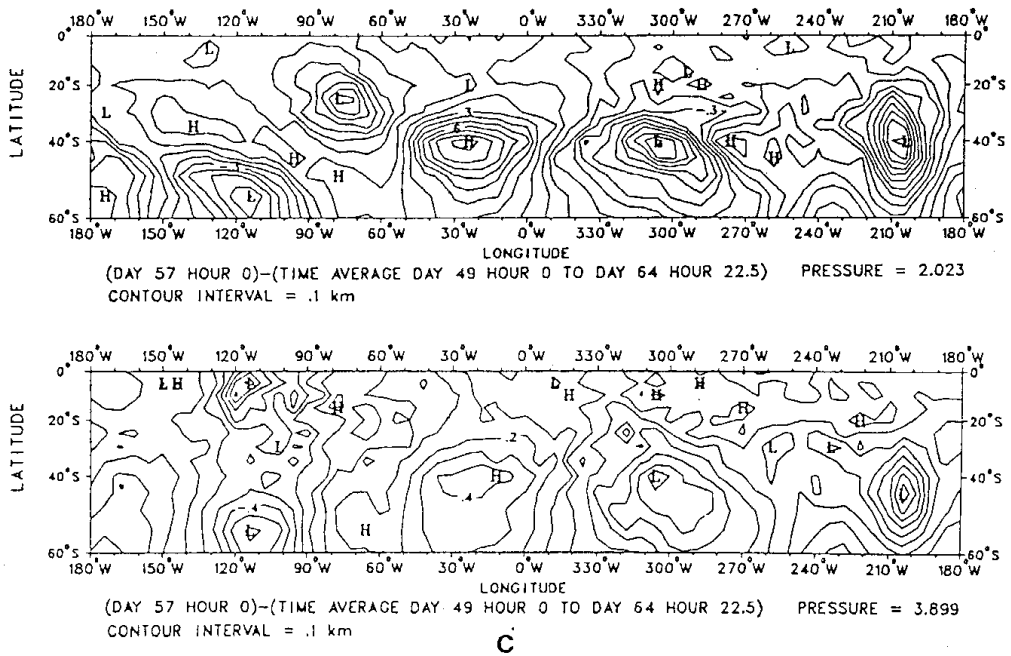


図 6c 57 日目 0 時における geopotential の偏差 (Pollack et al(1981), fig 21)

- 定在波の計算結果

geopotential height と風を計算した結果の一例が図7である. 図7aは $P = 1.870\text{mb}$ 面における値を示している. ここでの最大風速は 40.2m/sec である. 図7bは $P = 3.450\text{mb}$ 面における値を示している. ここでの最大風速は 32.6m.sec である.

この図の上端は 60°N で, 下端は 60°S である. また, 左端は 180°E で, 右端は 180°W である.

geopotential height と風の $55^{\text{d}}0^{\text{h}}$ から $63^{\text{d}}22^{\text{h}}$ まで時間平均の zonal mean からの 偏差を図に示してある. geopotential height の等値線間隔は 0.1km である.

風については, 長さを最大風速で規格化した矢印を用いて表している.

この結果から ($30^\circ\text{S}, 150^\circ\text{W}$) と ($30^\circ\text{S}, 300^\circ\text{W}$) に大きな気圧の谷 (ridge) が存在することがわかる. これは地形により作られた定在波であると考えられる. (Pollack et al(1981) では quasi-barotropic waves kinematically forced by the topography と言っている.)

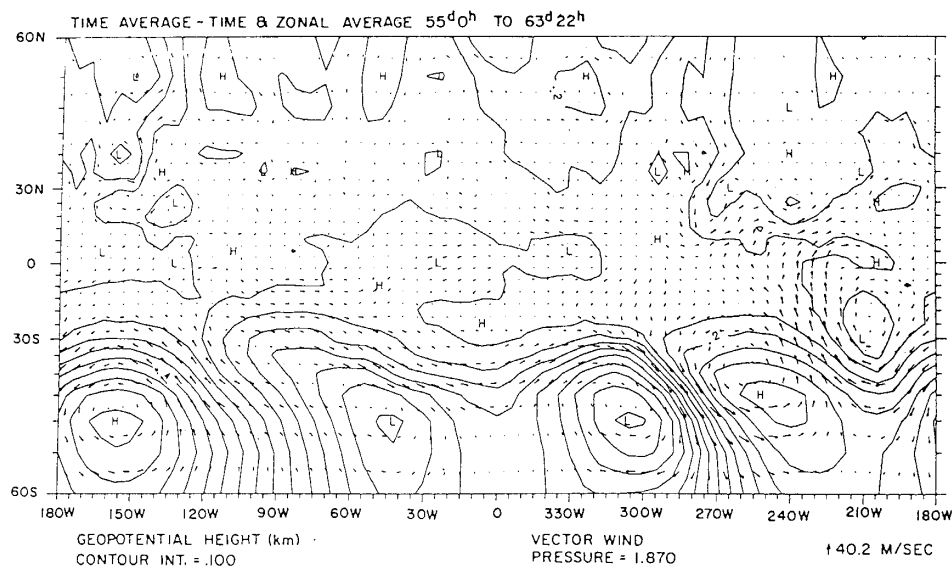


図7a geopotential と風の計算結果 (Pollack et al(1981), fig 19)

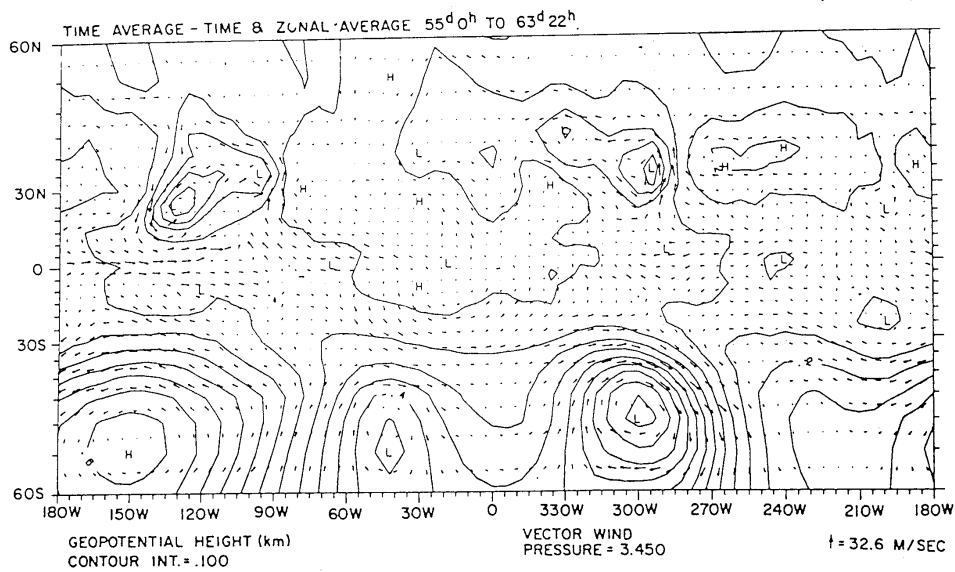


図 7b geopotential と風の計算結果 (Pollack et al(1981), fig 19)

3 参考文献

- Gierasch, P.J. and Goody, R.M., 1972: The effect of dust on the temperature of the Martian atmosphere, *J. Atmos. Sci.*, **29**, 400-402.
- Pollack, J.B., Colburn, D.S., Flaser, M., Kahn, R., Carlston, C.E., and Pidek, D., 1979: Properties and effects of dust particles suspended in the martian atmosphere. *J. Geophys. Res.*, **84**, 2929-2945.
- Pollack, J.B. *et al.*, 1981: A Martian general circulation experiment with large topography, *J. Atmos. Sci.*, **38**, 3-29.

謝辞

本稿は 1989 年から 1993 年に東京大学地球惑星物理学科で行われていた、流体理論セミナーでのセミナーノートがもとになっている。原作版は石渡正樹による「火星現象論」(1989/05/19)であり、林祥介によって地球流体電脳倶楽部版「火星現象論」として書き直された(1996/06/23)。その後小高正嗣によって加筆修正された(1996/12/12)。構成とデバッグに協力してくれたセミナー参加者のすべてにも感謝しなければならない。

本資源は著作者の諸権利に抵触しない(迷惑をかけない)限りにおいて自由に利用していただいて構わない。なお、利用する際には今一度自ら内容を確認することを願う(無保証無責任原則)。

本資源に含まれる元資源提供者(図等の版元等を含む)からは、直接的な形でのWEB上での著作権または使用許諾を得ていない場合があるが、勝手ながら、「未来の教育」のための実験という学術目的であることをご理解いただけるものと信じ、学術標準の引用手順を守ることで諸手続きを略させていただきます。本資源の利用者には、この点を理解の上、注意して扱っていただけるようお願いする。万一、不都合のある場合には

dcstaff@gfd-dennou.org

まで連絡していただければ幸いです。