

火星のダスト移流ノート

荻原 弘堯

2012年06月26日

第2章 惑星境界層スキーム

$$H = -\rho c_p u_* \theta_* \quad (2.1)$$

$$\iota = \rho u_*^2 \quad (2.2)$$

$$u_* = (C_{dm})^{\frac{1}{2}} u \quad (2.3)$$

$$\theta_* = C_{dh} \Delta\theta \quad (2.4)$$

パラメータ	意味	[Kahre et al, 2006]における適正值
H	熱フラックス	
ι	運動量フラックス	
ρ	境界層の大気密度	
u	平均風	
$\Delta\theta$	大気と地面の温度勾配	
C_{dm}	運動量の抵抗係数	
C_{dh}	熱の抵抗係数	

表 1: PBLのパラメータ

このスキームの詳細は [Haberle et al., 1999] に載っているので後日確認する.

参考文献

惑星境界層モデルの作成

Haberle, R. M., J. B. Pollack, J. R. Barnes, R. W. Zurek, C. B. Leovy, J. R. Murphy, H. Lee, and J. Schaeffer (1993), Mars atmospheric dynamics as simulated by the NASA Ames general circulation model: 1. The zonalmean circulation, *J. Geophys. Res.*, 98, 3093.

Haberle et al. 1993 の単純化

Haberle, R. M., et al. (1999), General circulation model simulations of the Mars Pathfinder atmospheric structure investigation/meteorology data, *J. Geophys. Res.*, 104, 8957.

第3章 水平方向の輸送

水平方向には予報した風で輸送される。

GCM1.7.3 の力学コアに実装された「2次精度のトレーサー輸送スキーム」を用いる。

このスキームは [Suarez and Takacs, 1995] で詳しく定式化されているので後日確認する。

参考文献

水平方向の2次精度トレーサー輸送スキームの定式化

Suarez, M. J., and L. L. Takacs (1995), Technical report series on global modeling and data assimilation, vol. 5, Documentation of the AIREX/ GEOS dynamical core, version 2, NASA Tech. Memo., TM-104606.

第4章 鉛直方向の輸送

乱流混合 (渦混合), 診断的に求められた鉛直風, 重力沈降を考慮する。

ダスト粒子の落下速度はそれぞれの粒子サイズに対してストークス・カニヤン則を適用して計算する。

ストークス・カニヤン則の式の確認は後日行う。

第5章 風応力によるダスト巻き上げスキーム

風応力によるダスト巻き上げスキームは南半球の春から夏にかけての大気中にあるダスト量を増加する。 $\alpha_W = 1$ のときは非現実的なほどの膨大なダスト量になってしまうので観測結果に合うように掛けられたパラメータである。

$\tau^* = 22.5$ は実験で導かれた値 $\tau^* = 35$ に低分解能でも機能するように 0.8 が掛けられた値である¹⁾。

風応力によるダスト巻き上げのメカニズムおよび実験の参考文献

風応力がダスト巻き上げのメカニズムの一つであることを示した

Cantor, B. A., P. B. James, M. Caplinger, and M. J. Wolff (2001), Martian dust storms: 1999 Mars Orbiter Camera observations, *J. Geophys. Res.*, 106, 23,653-23,687.

saltation の実験室での研究

Greeley, R., and J. D. Iversen (1985) *Wind as a Geological Process on Earth, Mars, Venus, and Titan*, Cambridge Univ. Press, New York.

5.1 KMH スキーム

$$F[\text{kg m}^{-2} \text{s}^{-1}] = \alpha_W * (2.3 \times 10^{-3})(\tau^2) \left(\frac{\tau - \tau^*}{\tau^*} \right) \quad (5.1)$$

¹⁾ $\tau^* = 35$ の値は [Greeley and Iversen, 1985] の値. 0.8 は [Murphy, 1999] で使われた.

2.3×10^{-3} の係数が何でつくかは [Westphal et al., 1987] に詳しく載っていると

パラメータ	意味	[Kahre et al., 2006] における適正值
τ^*	ダスト巻き上げが起こる閾値の応力	$\tau^* = 22.5 \text{ mN m}^{-2}$
$\alpha_W^{2)}$	効率因子 ³⁾	$\alpha_W = 0.1^{4)}$

表 1: KMH スキームのパラメータ

思われる. 後日確認する.

参考文献

スキーム

KMH スキームの定式化 Westphal, D. L., O. B. Toon, and T. N. Carlson (1987), A two-dimensional numerical investigation of the dynamics and microphysics of Saharan dust storms, *J. Geophys. Res.*, 92, 3027.

パラメータ

$\tau^* = 22.5$ を用いたシミュレーション

Murphy, J. R. (1999), The Martian atmospheric dust cycle: Insights from numerical model simulations, paper presented at The Fifth International Conference on Mars, Lunar Planet. Inst., Pasadena, Calif., 19 ? 24 July .

粒径分布の仮定

Haberle, R. M., J. R. Murphy, and J. Schaeffer (2003), Orbital change experiments with a Mars general circulation mode, *Icarus*, 161, 66.

5.2 Newman スキーム

$$F[\text{kg m}^{-2} \text{ s}^{-1}] = \alpha_N \times 2.61 \frac{\tau^{\frac{3}{2}}}{g\sqrt{\rho}} \left(1 - \sqrt{\frac{\tau^*}{\tau}}\right) \left(1 + \sqrt{\frac{\tau^*}{\tau}}\right)^2. \quad (5.2)$$

²⁾式内の α_W は明示的に表されていない

³⁾値が現実的なものになるように調節する値

⁴⁾無次元

パラメータ	意味	[Kahre et al., 2006] における適正值
τ^*	ダスト巻き上げが起こる閾値の応力	$\tau^* = 22.5 \text{ mN m}^{-2}$
α_N	効率因子	$\alpha_N = 9.0 \times 10^{-6} \text{ m}^{-1}$
g	地表面の重力加速度	
ρ	地表面での大気密度	

表 2: Newman スキームのパラメータ

水平方向の砂粒子フラックスを鉛直方向に積分した公式に基づいている⁵⁾。風応力によるダスト巻き上げの鉛直フラックスは風応力によるダスト巻き上げの水平フラックスに比例していると仮定している。

α_N は摩擦速度とダストフラックスを関係つけるための定数である。

参考文献

スキーム

水平方向の砂粒子フラックスの推定

White, B. R. (1979), Soil transport by winds on Mars, *J. Geophys. Res.*, 84, 4643.

効率因子を用いた Newman スキームの定式化

Newman, C. E., S. R. Lewis, P. L. Read, and F. Forget (2002), Modeling the Martian dust cycle: 2. Multiannual radiatively active dust transport simulations, *J. Geophys. Res.*, 107, 5124.

地表面の応力の関数とした Newman スキームの定式化

Newman, C. E., S. R. Lewis, and P. L. Read (2005), The atmospheric circulation and dust activity in different orbital epochs on Mars, *Icarus*, 174, 135.

5.3 KMH スキームと Newman スキームのダスト巻き上げ率の違い

- 地表面応力が低い場合 $KMH < Newman$

⁵⁾[White, 1979]

- 地表面応力が高い場合 $KMH > Newman$

第6章 ダストデビルスキームによる ダスト巻き上げスキーム

閾値に依存するスキームもしないスキームも地表面と大気との熱の交換に依存する。閾値に依存するスキームは季節によるダスト巻き上げ率の変化があまり表現できない。閾値に依存しないスキームは季節によるダスト巻き上げ率の変化を再現する。効率因子はダスト循環がうまくできるように調節した値を用いていると思われるこの値についても [Newman et al., 2002] に詳しく載っていると思われるので後日確認する。

ダストデビルによるダスト巻き上げのメカニズムおよび実験の参考文献

ダストデビルの痕跡を数えた

Fisher, J. A., M. I. Richardson, C. E. Newman, M. A. Szwast, C. Graf, S. Basu, S. P. Ewald, A. D. Toigo, and R. J. Wilson (2005), A survey of Martian dust devil activity using Mars Global Surveyor Mars Orbiter Camera images, *J. Geophys. Res.*, 110, E03004, doi:10.1029/2003JE002165.

ダストデビルの巻き上げのダスト循環への寄与の観測結果

Balme, M. R., P. L. Whelley, and R. Greeley (2003), Mars: Dust devil track survey in Argyre Planitia and Hellas Basin, *J. Geophys. Res.*, 108(E8), 5086, doi:10.1029/2003JE002096

ダストデビルの実験室での研究 (接線方向の風速の閾値なども推定)

Greeley, R., and J. D. Iversen (1985) *Wind as a Geological Process on Earth, Mars, Venus, and Titan*, Cambridge Univ. Press, New York.

ダストデビルの数値計算

Newman, C. E., S. R. Lewis, P. L. Read, and F. Forget (2002), Modeling the

Martian dust cycle: 2. Multiannual radiatively active dust transport simulations, *J. Geophys. Res.*, 107, 5124.

GFDL GCM でダストデビルの数値計算

Basu, S., M. I. Richardson, and R. J. Wilson (2004), Simulation of the Martian dust cycle with the GFDL Mars GCM, *J. Geophys. Res.*, 109, E11006, doi:10.1029/2004JE002243.

6.1 閾値に依存しないスキーム

$$F[\text{kg m}^{-2}\text{s}^{-1}] = \alpha_D \times F_s \times (1 - b). \quad (6.1)$$

$$b = \frac{(p_s^{\chi+1} - p_{con}^{\chi+1})}{(p_s - p_{con})(\chi + 1)p_s^{\chi}}. \quad (6.2)$$

鉛直熱フラックスが正のときにいつでもダストは巻き上げる。よって、地表面の

パラメータ	意味	[Kahre et al., 2006] おける適正值
F_s	鉛直方向の熱フラックス [W m^{-2}]	
α_D	効率因子	$\alpha_N = 4.0 \times 10^{-10} \text{ kg J}^{-1}$
p_s	地表面圧力	
p_{con}	惑星境界層の上端圧力	
χ	定圧比熱当たりの単位質量当たりの気体定数	

表 1: 閾値に依存しないスキームのパラメータ

CO_2 が凍っている地域を除いて日中は至る所でダストデビルが起こる。

スキームの説明は [Newman et al., 2002] に詳しく載っていると思われるので確認は後日行う。

6.1.1 参考文献

スキーム

Oxford/LMD GCM ヘダストデビルのスキームを実装

Newman, C. E., S. R. Lewis, P. L. Read, and F. Forget (2002), Modeling the Martian dust cycle: 2. Multiannual radiatively active dust transport simulations, *J. Geophys. Res.*, 107, 5124.

閾値に依存しないスキームの元となる研究

Rennó, N. O., M. L. Burkett, and M. P. Larkin (1998), A simple thermodynamical theory for dust devils, *J. Atmos. Sci.*, 55, 3244.

6.2 閾値に依存するスキーム

$$F[\text{kg m}^{-2}] = \frac{\alpha_D(\rho v_t^2 - 15)}{g} \text{kg m}^{-2} \text{s}^{-1}. \quad (6.3)$$

パラメータ	意味	Kahre et al 2006 における適正值
α_D	効率因子 [kg J^{-1}] ⁶⁾	$\alpha_N = 10^{-10} \text{kg J}^{-1}$
v_t	地表面の接線方向の風速	
ρ	地表面密度	
g	地表面での重力加速度	

表 2: 閾値に依存するスキームのパラメータ

この風速の閾値 15 は室内実験により得られたものである ([Greeley and Iversen, 1985]). 接線方向の風速の閾値は地表面の大気密度, ダストの粒子密度, ダスト粒子の直径に依存する. また, 接線方向の風速は惑星境界層の高さにも関係する.

このスキームの詳細は [Newman et al., 2002] に載っているなので後日確認する.

6.2.1 参考文献

スキーム

⁶⁾単位は [Kahre et al., 2006] に従って書いているがおかしいと思われる. 詳しくは [Newman et al., 2002] に書いてあると思われるので確認する.

閾値に依存しないスキームの定式化

Newman, C. E., S. R. Lewis, P. L. Read, and F. Forget (2002), Modeling the Martian dust cycle: 2. Multiannual radiatively active dust transport simulations, *J. Geophys. Res.*, 107, 5124.

第7章 To do

後日やること

惑星境界層スキーム

- 式の確認 ([Haberle et al., 1993,1999])

水平方向の輸送

- トレーサ輸送スキームの確認 ([Suarez and Takacs., 1995])

鉛直方向の輸送

- ストークス・カニヤン則の式の確認

風応力によるダスト巻き上げ

- [White, 1979] の確認
- [Newman et al., 2002] の確認
- [Newman et al., 2005] の確認

ダストデビルのダスト巻き上げ

- [Newman et al., 2002] の確認
- [Basu et al., 2004] の確認
- [Renno et al., 1998] の確認

モデルへの実装

- dcpam への風応力によるダスト巻き上げスキームの組み込み
- dcpam への風応力によるダスト巻き上げスキームの組み込み
- dcpam への惑星境界層スキームの組み込み
- dcpam へのダストデビルによるダスト巻き上げスキームの組み込み
- dcpam への鉛直, 水平方向への輸送仮定の組み込み