

# ダストデビルによるダストフラックスの地形高度による違い

北海道大学大学院理学院

荻原弘堯

# やったこと

- 観測された地形を用いた計算と地形高度を一定にした計算と東西平均した地形高度を用いた計算を比べた
- ダストデビルによるダストフラックス量の季節変化に違いが見られた

# 計算条件

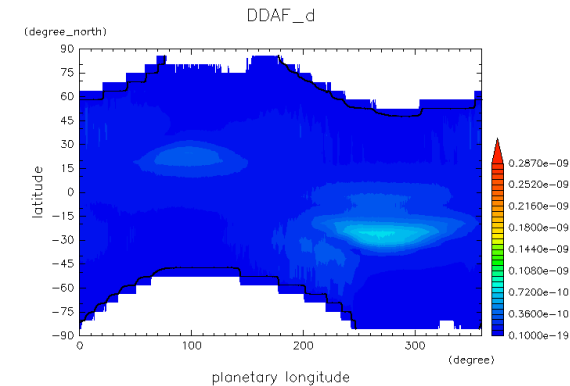
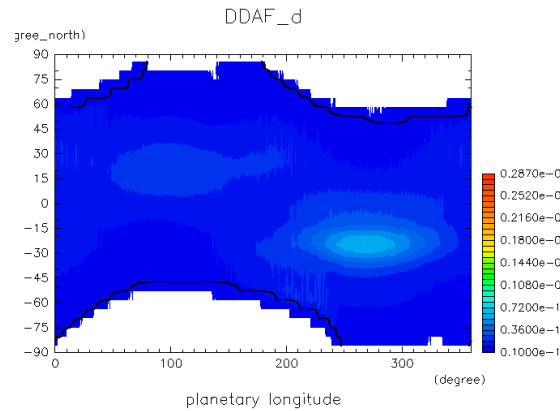
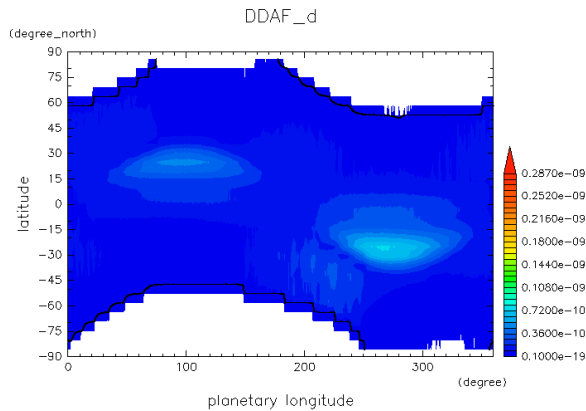
- 放射計算に与えるダスト分布
  - 水平方向と時間方向に一様
  - 地表面で波長  $0.67\mu\text{m}$  に対する光学的深さ: 0.3
  - Pollack et al. (1990), Forget et al. (1999) に基づく鉛直分布
- ダスト巻き上げパラメータ
  - 効率因子: 0.0000000001
- 熱慣性, 地表面アルベド
  - 一定
- 地形高度
  - 一定
  - MGS から得られた地形高度
  - MGS から得られた地形高度を東西平均したもの
- 解像度: T21L36
  - 約緯度経度  $5.625^\circ \times 5.625^\circ$  の格子
- 鉛直層数 36 層
- 初期条件
  - 静止等温大気 (200 K) に初期擾乱
- 積分時間
  - 3 火星年: そのうちの最後の一年を解析に使用

# ダストデビルによるダストフラックスの東西平均した季節変化

地形高度一定

観測された地形

東西平均地形



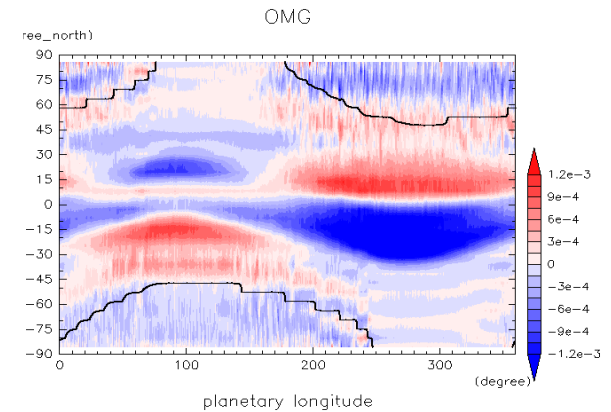
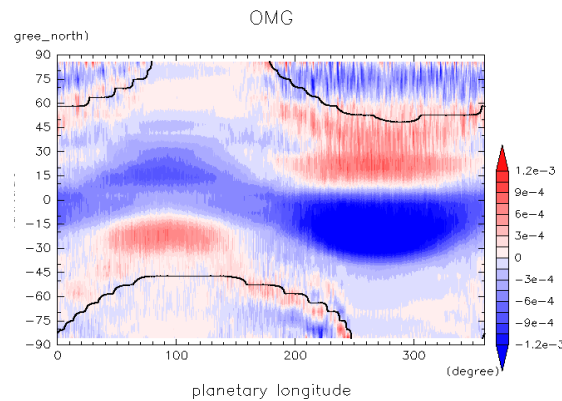
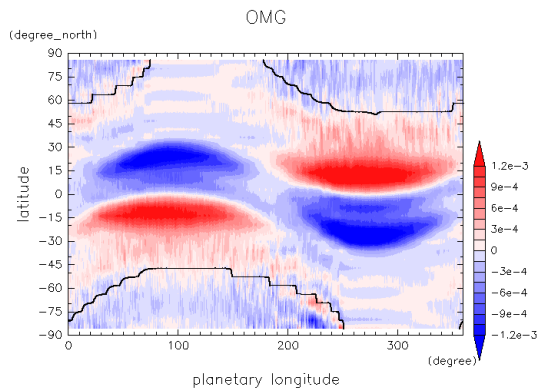
- $L_s=90^\circ$  付近
  - 地形高度一定 > 東西平均地形 > 観測された地形
- $L_s=270^\circ$  付近
  - 東西平均地形 > 地形高度一定 > 観測された地形

# $\sigma=0.78$ での $\omega$ の東西平均した季節変化

地形高度一定

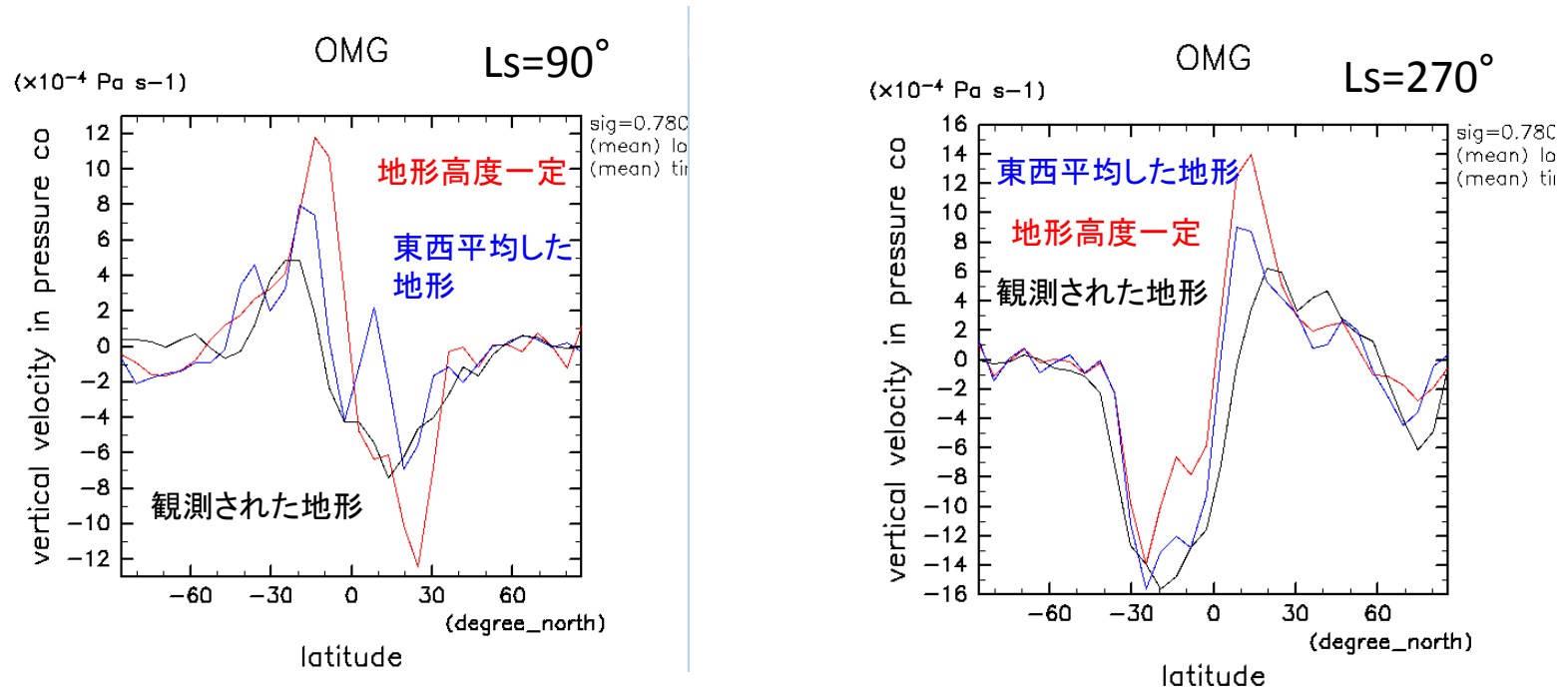
観測された地形

東西平均地形



- $L_s=90^\circ$  付近, 北緯 $25^\circ$  付近での上昇流
  - 地形高度一定 > 東西平均地形, 観測された地形
- $L_s=270^\circ$  付近, 南緯 $25^\circ$  付近での上昇流
  - 東西平均した地形, 観測された地形 > 地形高度一定

# $\sigma=0.78$ での $\omega$ の東西平均した季節変化



- $Ls=90^\circ$  付近, 北緯 $25^\circ$  付近
  - 地形高度一定 > 東西平均した地形  $\doteq$  観測された地形
- $Ls=270^\circ$  付近, 南緯 $25^\circ$  付近
  - 東西平均した地形  $\doteq$  観測された地形 > 地形高度一定

# 南緯25° 付近の東西平均量

ダストデビルによる  
ダストフラックス

DDAF\_d

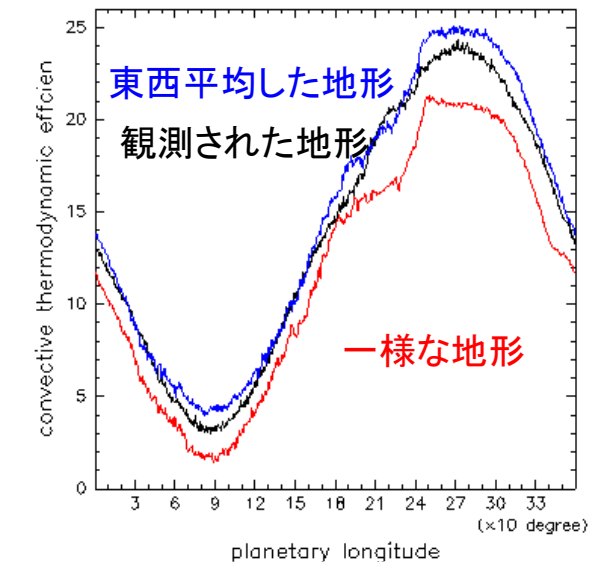
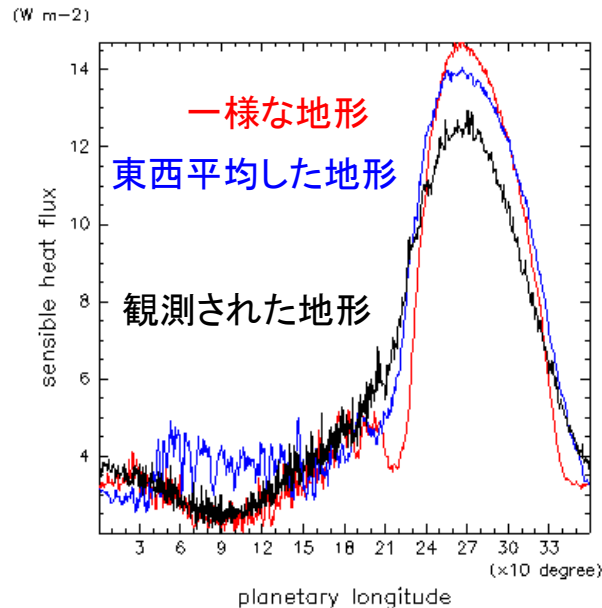
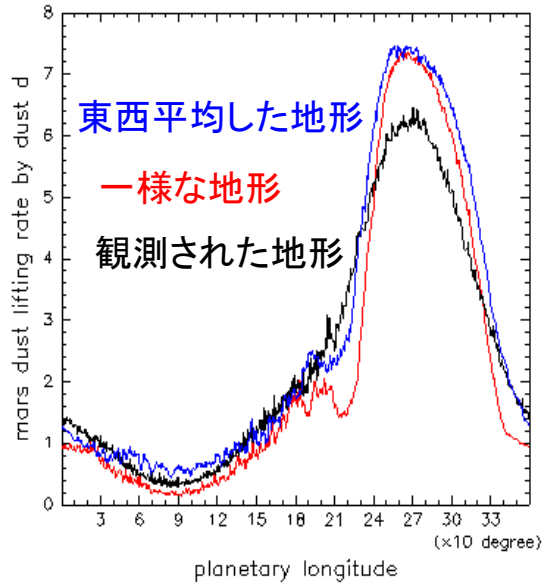
顕熱フラックス

sensible heat flux

対流層の厚さ

(x.001)

Eta



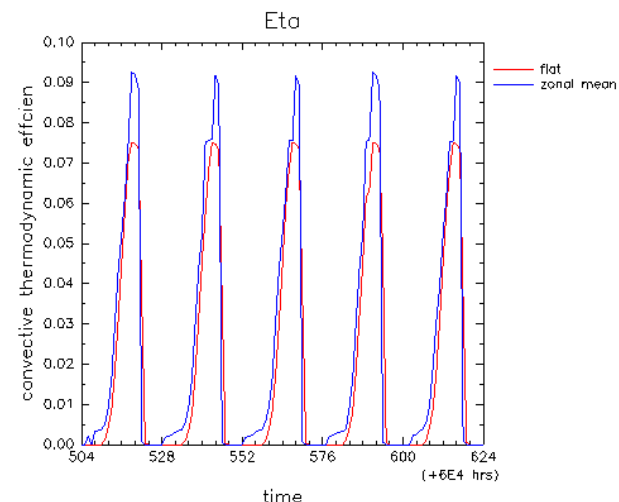
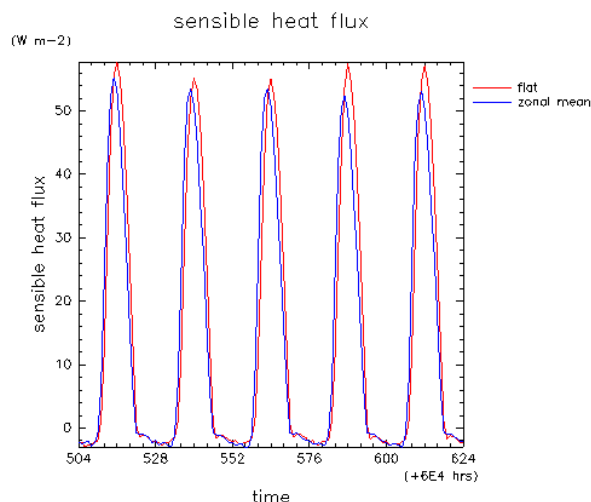
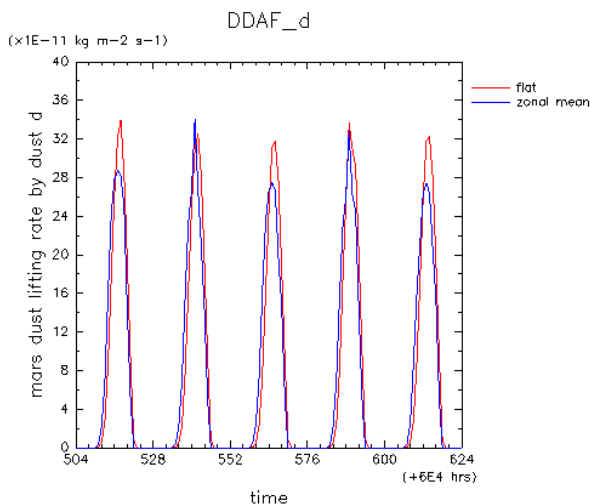
- $L_s=270^\circ$  付近でのダストデビルによるダストフラックス
  - 東西平均 > 地形高度一定 > 観測された地形
- $L_s=270^\circ$  付近での顕熱フラックス
  - 地形高度一定 > 東西平均 > 観測された地形
- $L_s=270^\circ$  付近での対流層の厚さ
  - 東西平均 > 観測された地形 > 地形高度一定

# 南緯 $25^{\circ}$ , $L_s=270^{\circ}$ , 経度 $0^{\circ}$ 付近の 5日間の時間変化

ダストデビルによる  
ダストフラックス

顕熱フラックス

対流層の厚さ



- 地形高度一定の地形と東西平均した地形を比べた場合
  - 顕熱フラックス
    - 地形高度一定 > 東西平均地形
  - 対流層の厚さ
    - 東西平均地形 > 地形高度一定

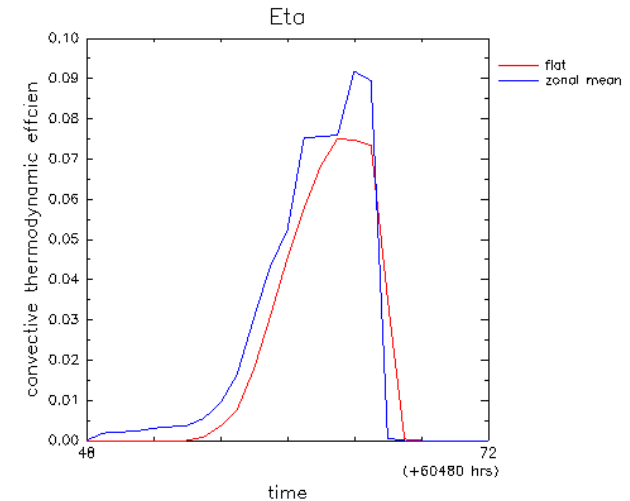
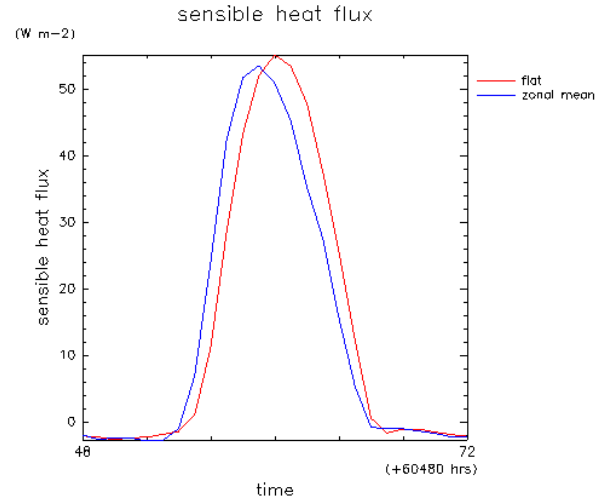
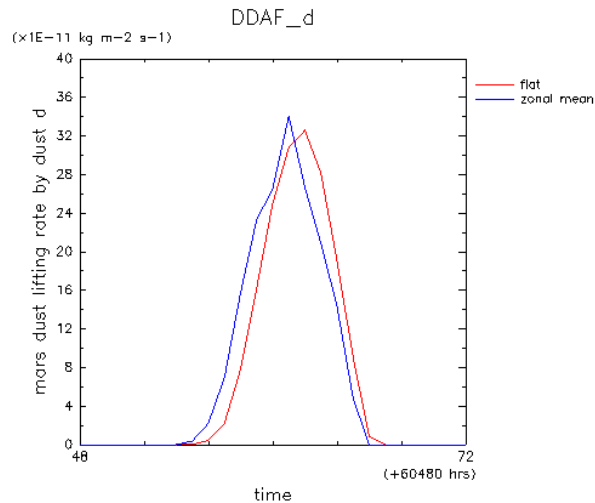


# 顕熱フラックスと対流層の厚さが掛けても ダストデビルによるダストフラックスに見えない問題

ダストデビルによる  
ダストフラックス

顕熱フラックス

対流層の厚さ

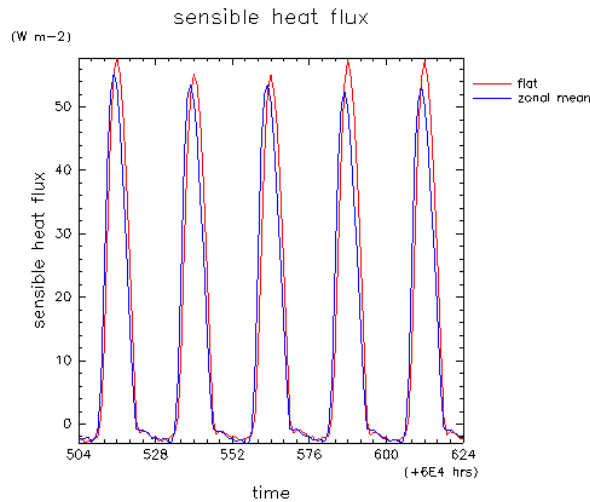


## 原因

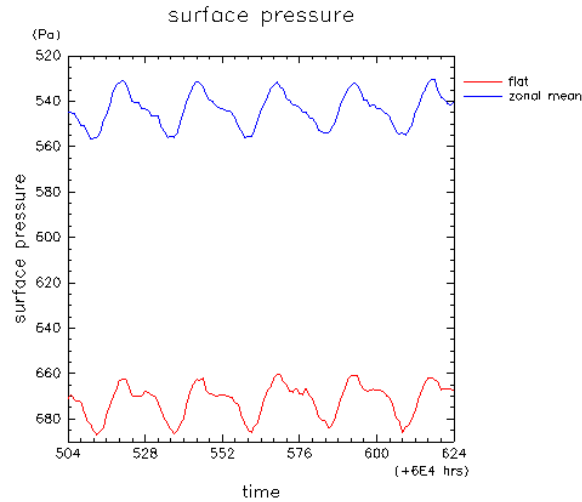
- 対流層の高さのピークが正午ではない
- 顕熱フラックスのピークは正午付近

# 顕熱フラックスの違い

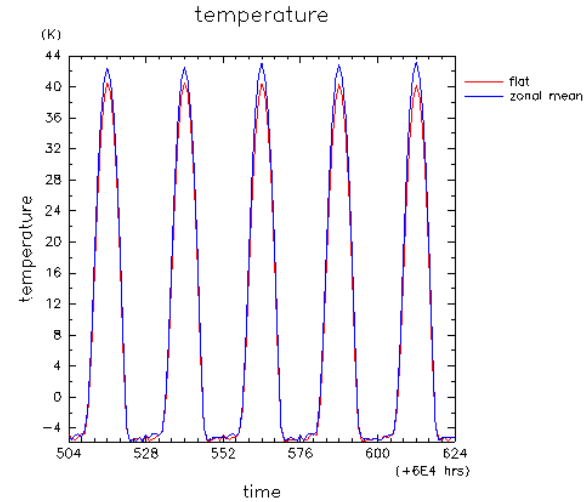
顕熱フラックスの  
時間変化



地表面気圧の  
時間変化



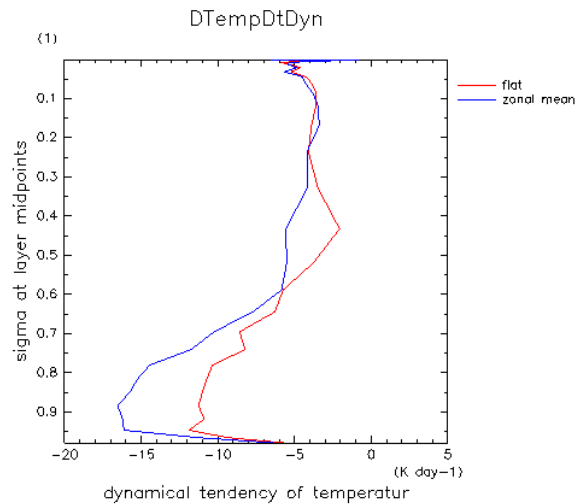
地表面と大気最下層  
との温度差の時間変化



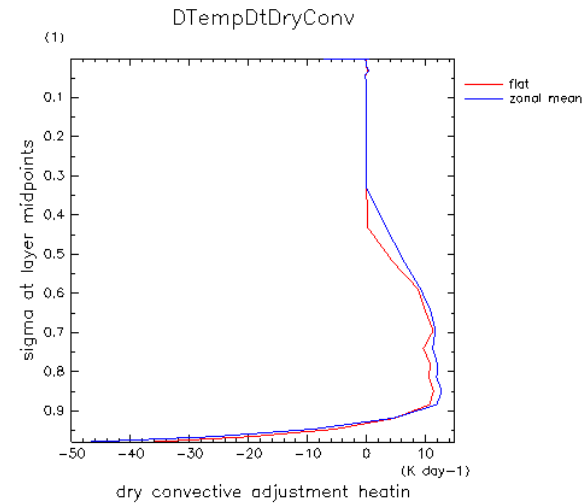
- 顕熱フラックス
  - 地形高度一定 > 東西平均地形
- 地表面気圧
  - 地形高度一定 > 東西平均地形
- 地表面と大気最下層の温度差
  - 東西平均地形 > 地形高度一定
- 地表面と大気最下層との温度差は地形によってあまり差がないが地表面気圧は地形高度一定の方が約20%ほど大きい
  - 地表面気圧は約20%ほど差があるが、顕熱フラックスのピークの値の差は約3%程度の差しかない

# 顕熱フラックスの違い

## 力学過程による加熱率



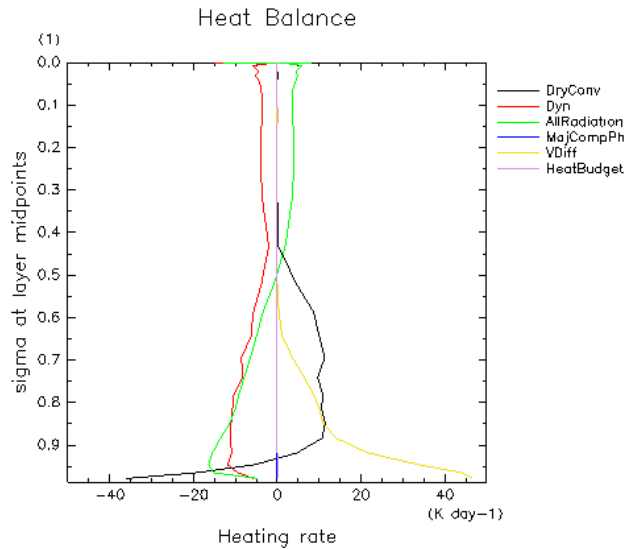
## 対流調節による加熱率



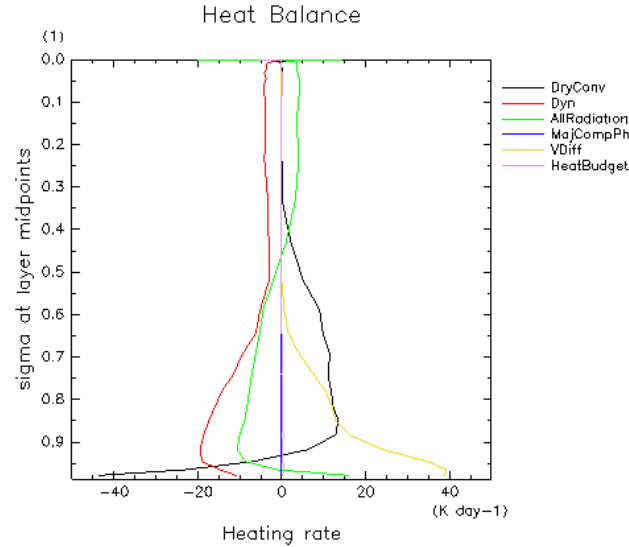
- $\sigma=0.9$  での大循環による冷却
  - 東西平均地形 > 地形高度一定
- $\sigma=0.9$  での対流調節による加熱
  - 東西平均地形 > 地形高度一定
- 地表面気圧は約20%ほど差があるが、顕熱フラックスのピークの値の差は約3%程度の差しかなかったのはなぜ？
  - 地形高度一定の方が下層での大循環での冷却率が小さく、対流調節による加熱が小さく、大気が安定しているから

# LS=266° -272° , 南緯25° における時間平均 東西平均加熱率

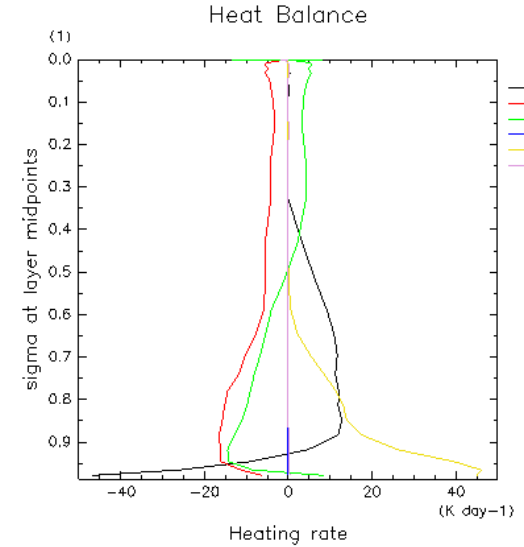
地形高度一定



観測された地形



東西平均地形



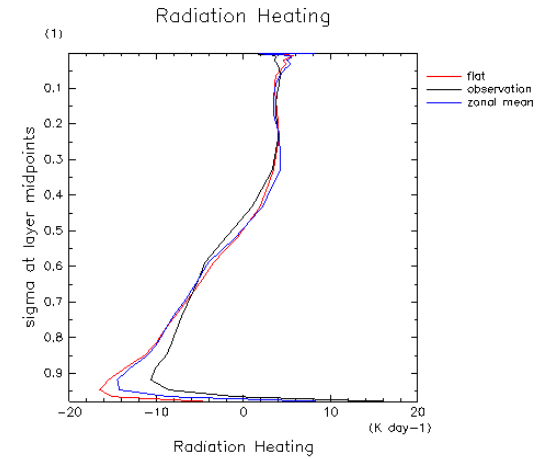
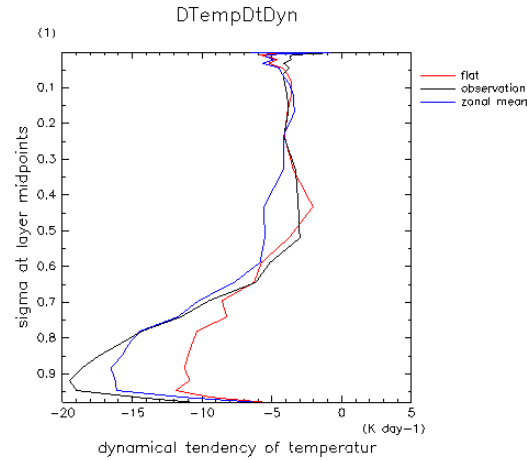
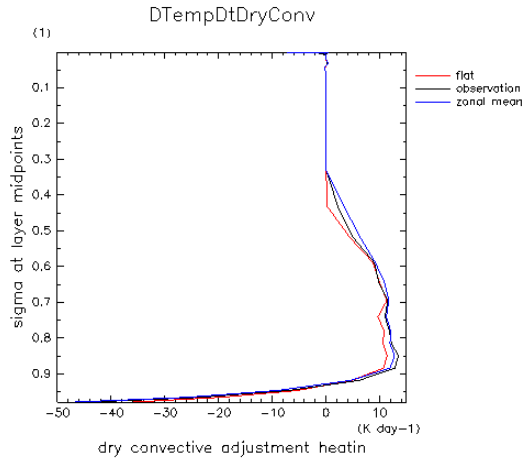
- 下層では鉛直混合の加熱と対流調節の冷却と力学過程による冷却と放射による冷却が釣り合っている
- $\sigma = 0.9 - 0.5$  程度までは鉛直混合の加熱と対流調節の加熱と力学過程の冷却と放射による冷却が釣り合っている
- 下層で対流調節により冷却が起こり上層に熱が運ばれている

# 対流層の厚さの違い

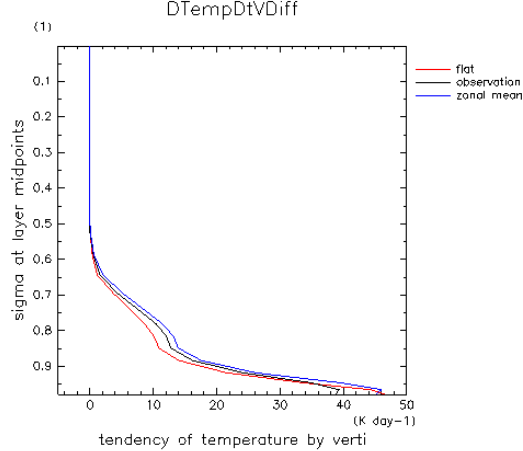
対流調節

力学過程

放射過程



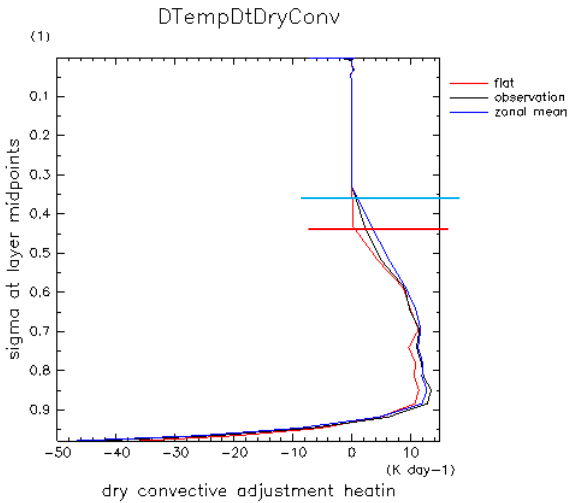
鉛直拡散



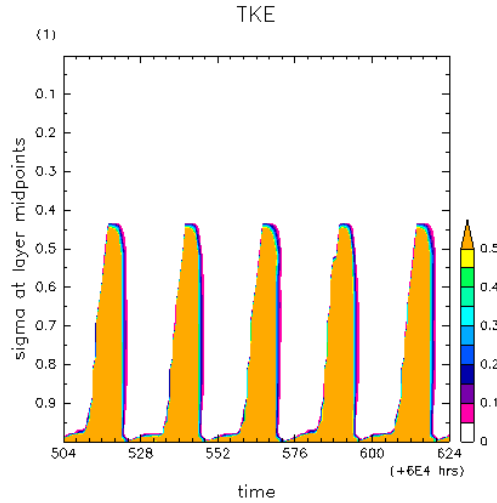
- $\sigma=0.5$ 程度では対流調節で加熱し力学過程で冷却している
  - ハドレー循環が強くなり対流が活発になっている
- $\sigma=0.5$ 程度の対流調節
  - 東西平均地形 > 地形高度一定
  - 下層で対流調節で冷却されより上層に熱が運ばれ対流層が厚くなっている

# 対流層の厚さ

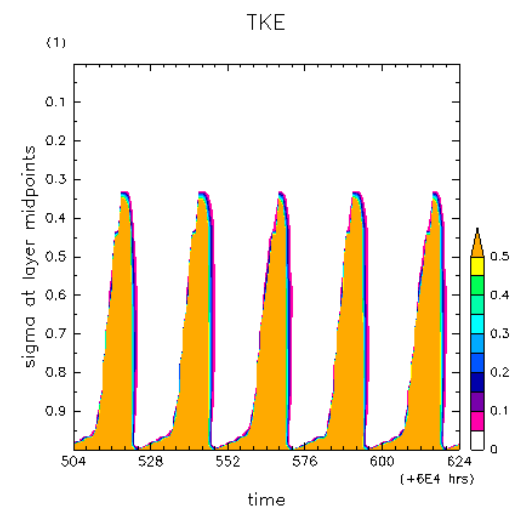
## 対流調節による加熱率



## 地形高度一定の乱流エネルギーの時間変化



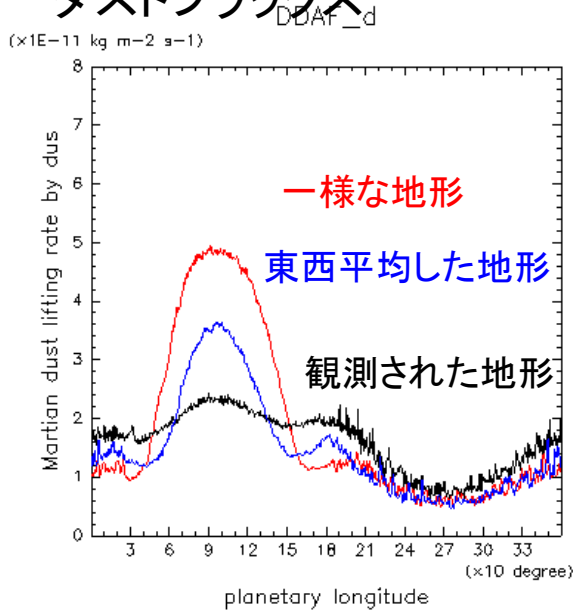
## 東西平均地形の乱流エネルギーの時間変化



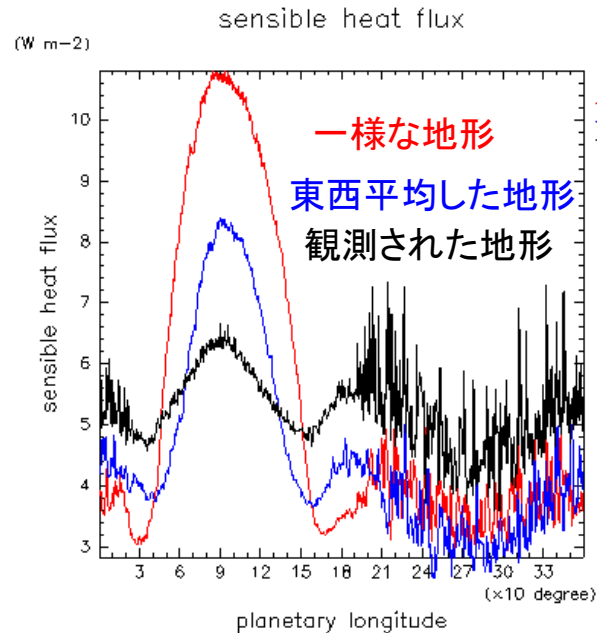
- 地形高度一定の対流層の厚さ
  - $\sigma=0.45$ 程度
  - 対流調節による加熱率が0になる高さ付近
- 東西平均地形の対流層の厚さ
  - $\sigma=0.35$ 程度
  - 対流調節による加熱率が0になる高さ付近

# 北緯25° 付近の東西平均量

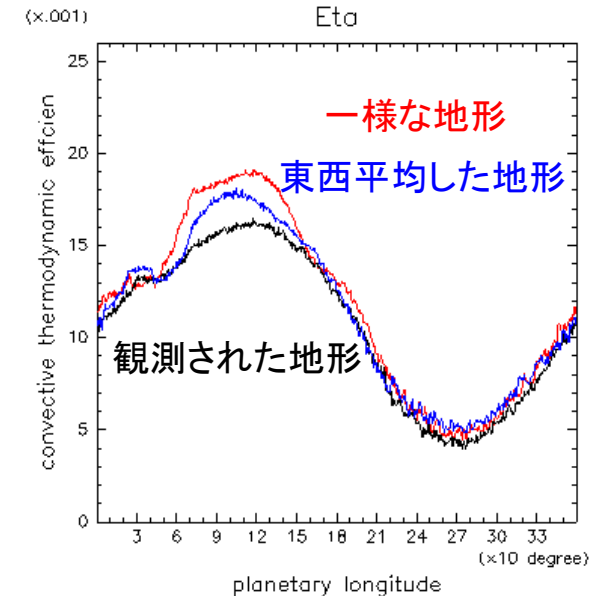
ダストデビルによる  
ダストフラックス



顕熱フラックス



対流層の厚さ



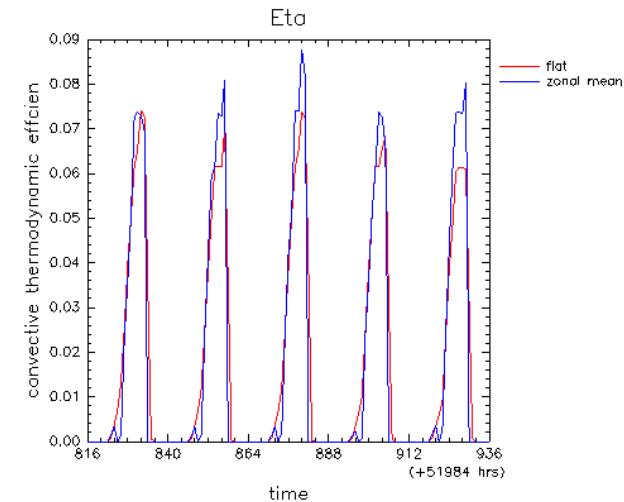
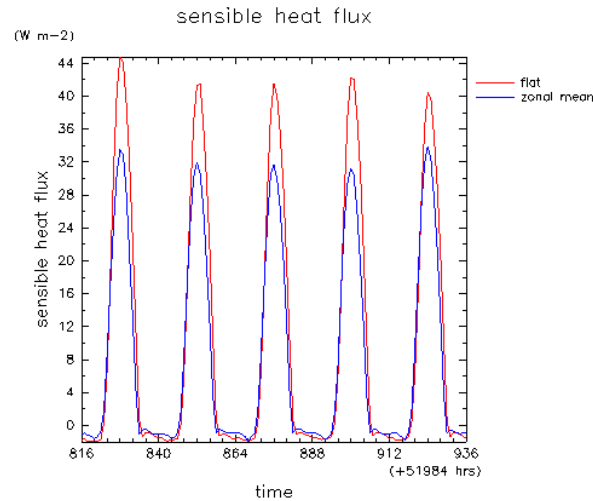
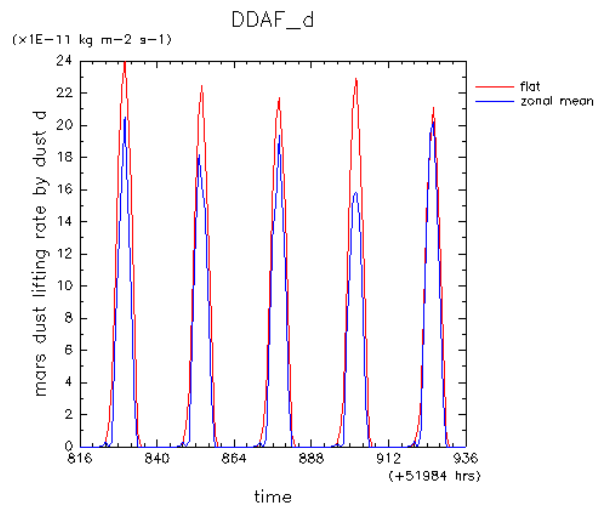
- $L_s=90^\circ$  付近でのダストデビルによるダストフラックス
  - 地形高度一定 > 東西平均 > 観測された地形
- $L_s=90^\circ$  付近での顕熱フラックス
  - 地形高度一定 > 東西平均 > 観測された地形
- $L_s=90^\circ$  付近での対流層の厚さ
  - 地形高度一定 > 東西平均 > 観測された地形

# 北緯 $25^\circ$ , $L_s=90^\circ$ , 経度 $0^\circ$ 付近の 5日間の時間変化

ダストデビルによる  
ダストフラックス

顕熱フラックス

対流層の厚さ



- 地形高度一定の地形と東西平均した地形を比べた場合
  - 顕熱フラックス
    - 地形高度一定 > 東西平均地形
  - 対流層の厚さ
    - 東西平均地形 > 地形高度一定

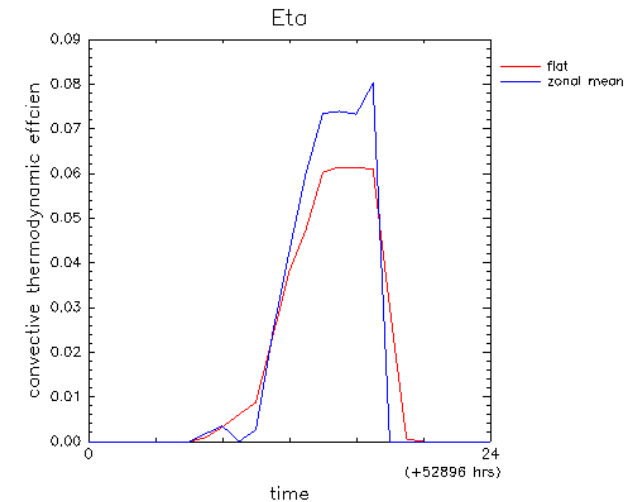
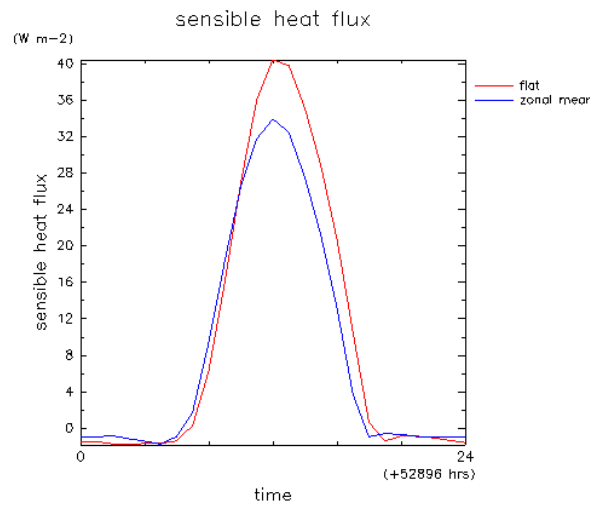
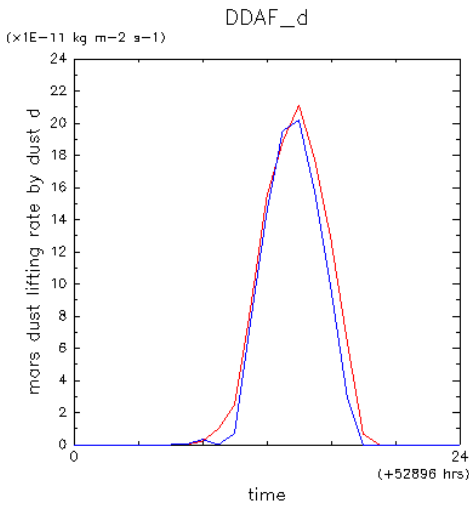


# 顕熱フラックスと対流層の厚さが掛けても ダストデビルによるダストフラックスに見えない問題

ダストデビルによる  
ダストフラックス

顕熱フラックス

対流層の厚さ

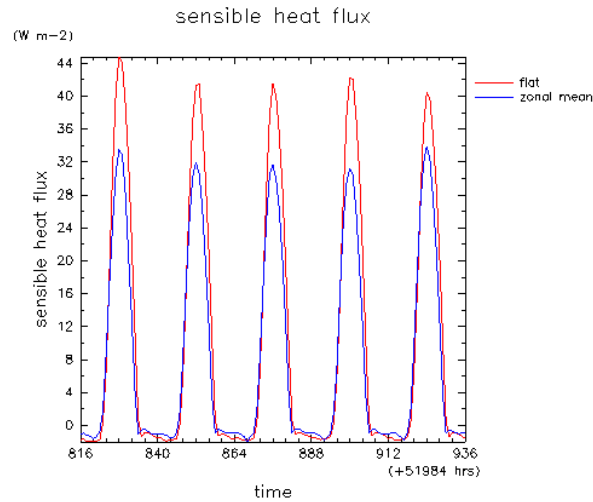


## 原因

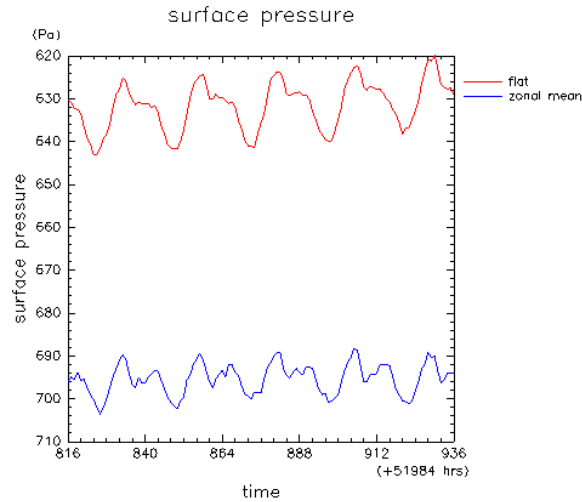
- 対流層の高さのピークが正午ではない
- 顕熱フラックスのピークは正午付近

# 顕熱フラックスの違い

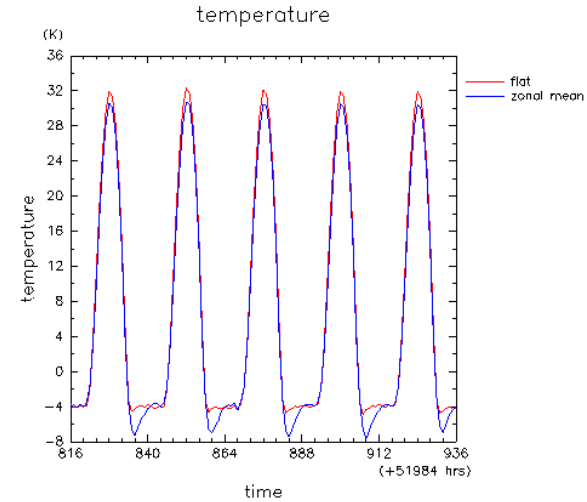
顕熱フラックスの  
時間変化



地表面気圧の  
時間変化



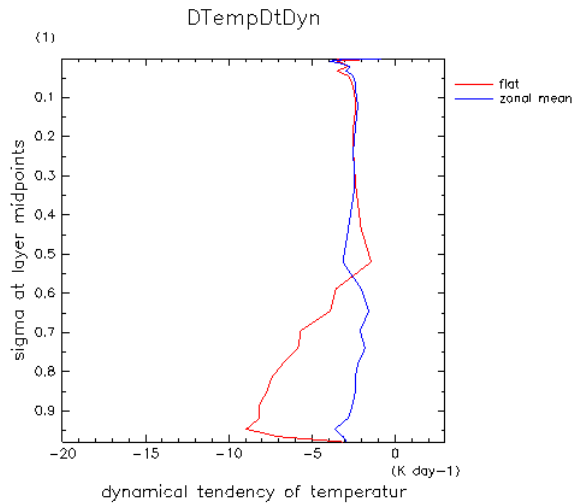
地表面と大気最下層  
との温度差の時間変化



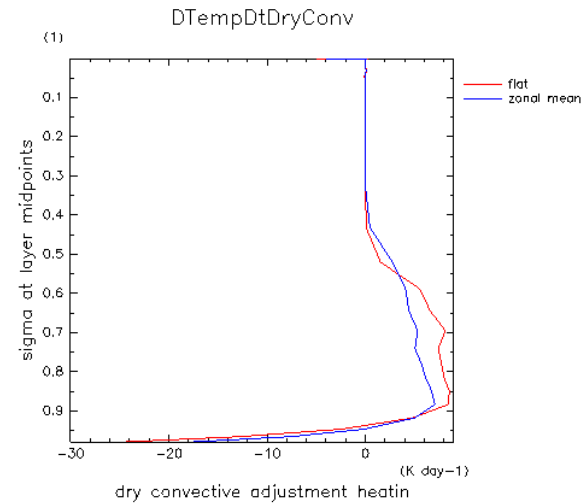
- 顕熱フラックス
  - 地形高度一定 > 東西平均地形
- 地表面気圧
  - 東西平均地形 > 地形高度一定
- 地表面と大気最下層の温度差
  - 地形高度一定 > 東西平均地形
- 地表面と大気最下層との温度差は地形によってあまり差がないが地表面気圧は東西平均地形の方が約10%ほど大きい
  - 地表面気圧は約10%ほど東西平均地形の方が大きい、顕熱フラックスのピークの値は地形高度一定の方が大きい

# 顕熱フラックスの違い

## 力学過程による加熱率



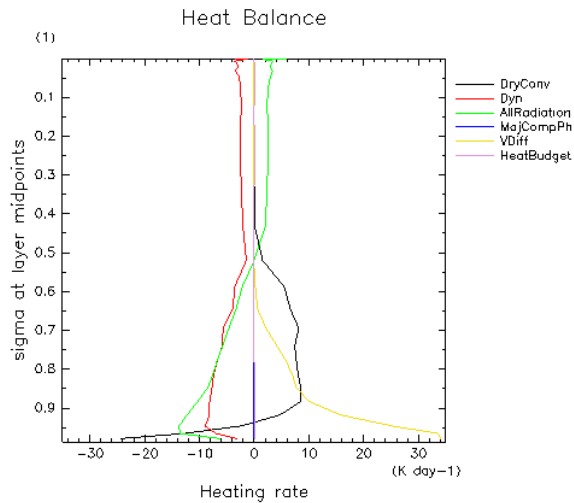
## 対流調節による加熱率



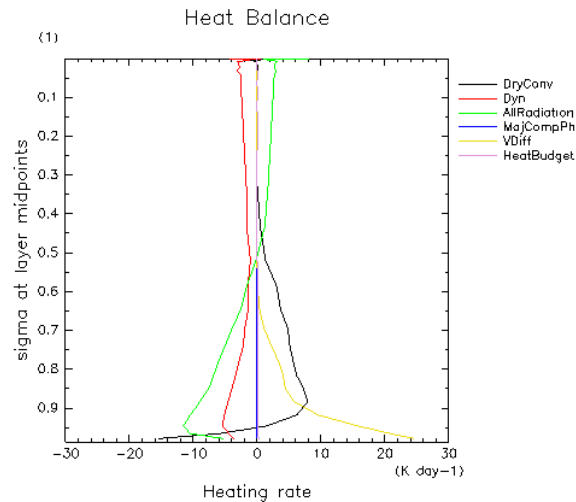
- $\sigma=0.9$  での大循環による加熱
  - 東西平均地形 > 地形高度一定
- $\sigma=0.9$  での対流調節による加熱
  - 地形高度一定 > 東西平均地形
- 地表面気圧は約10%ほど東西平均地形の方が大きいですが、顕熱フラックスのピークの値は地形高度一定の方が大きくなったのはなぜか？
  - 地形高度一定の方が下層での大循環での冷却率が大きく、対流調節による加熱が大きく、大気が不安定になっているため

# $L_s=86^\circ - 92^\circ$ , 北緯 $25^\circ$ における時間平均 東西平均加熱率

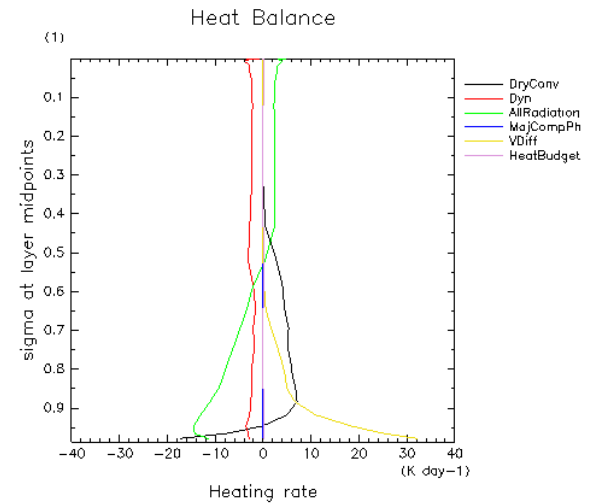
地形高度一定



観測された地形



東西平均地形



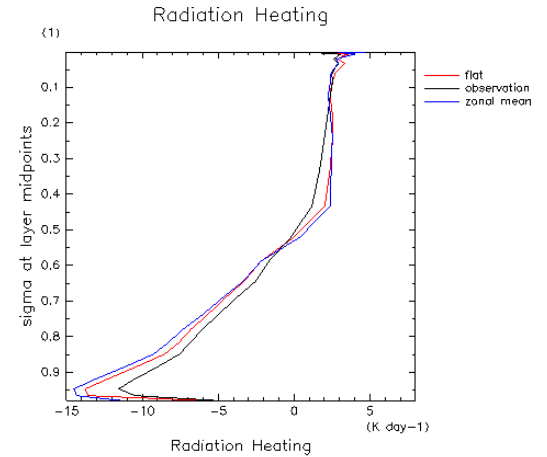
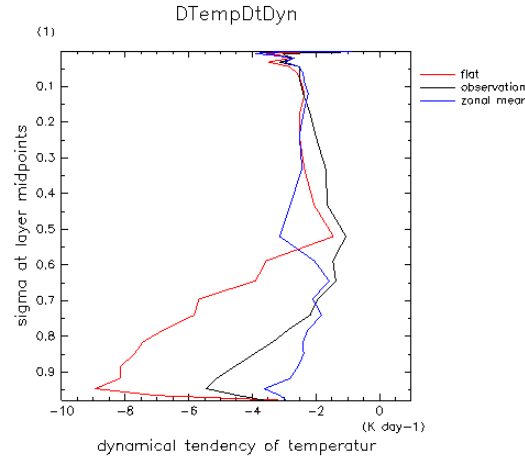
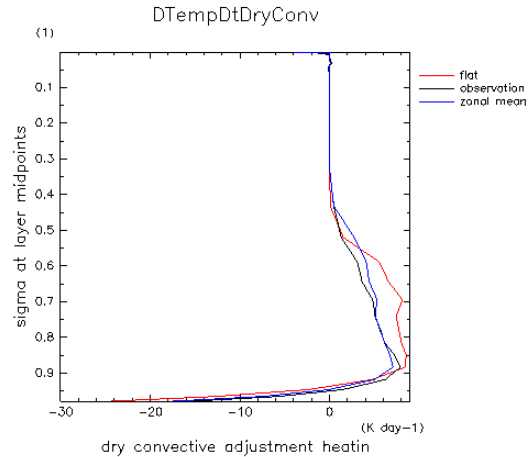
- 下層では鉛直混合の加熱と対流調節の冷却と力学過程による冷却と放射による冷却が釣り合っている
- $\sigma = 0.9 - 0.5$  程度までは鉛直混合の加熱と対流調節の加熱と力学過程の冷却と放射による冷却が釣り合っている
- 下層で対流調節により冷却が起こり上層に熱が運ばれている

# 対流層の厚さの違い

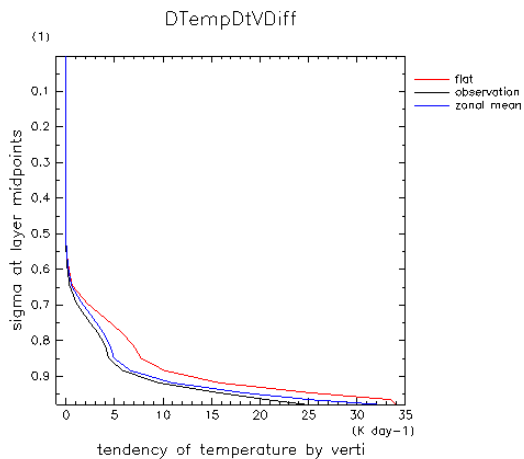
## 対流調節

## 力学過程

## 放射過程



## 鉛直拡散

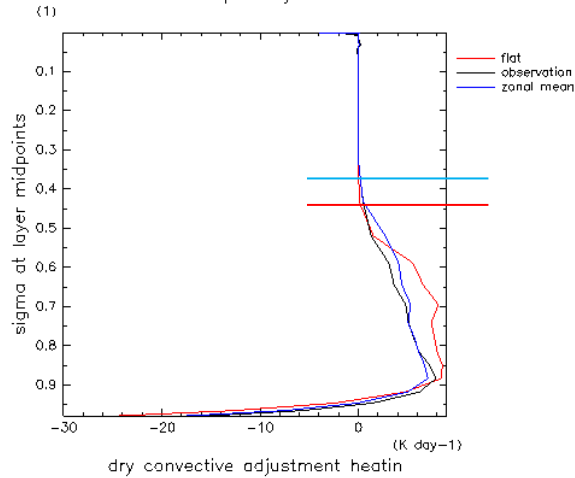


- $\sigma=0.5$ 程度では対流調節で加熱し力学過程で冷却している
  - ハドレー循環によってより対流が活発になっている
- $\sigma=0.5$  程度の対流調節
  - 東西平均地形 > 地形高度一定
  - 下層で対流調節で冷却されより上層に熱が運ばれ対流層が厚くなっている

# 対流層の厚さ

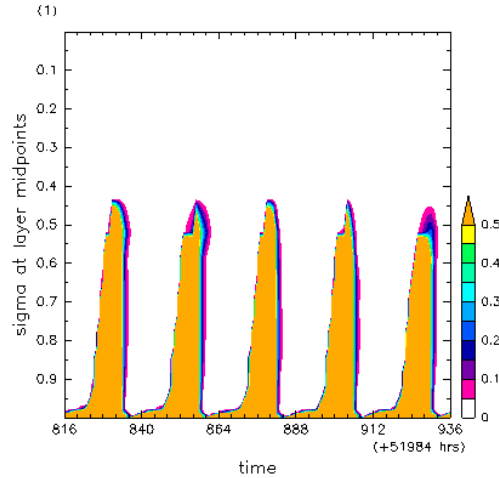
## 対流調節による加熱率

DTempDtDryConv



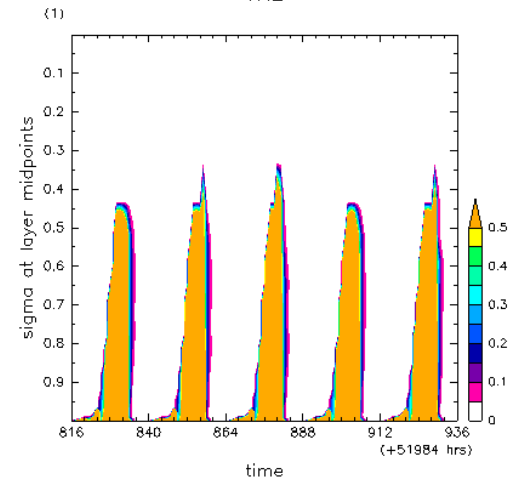
## 地形高度一定の乱流エネルギーの時間変化

TKE



## 東西平均地形の乱流エネルギーの時間変化

TKE



- 地形高度一定の対流層の厚さ
  - $\sigma$ =約0.45程度
  - 対流調節による加熱率が0になる高さ付近
- 東西平均地形の対流層の厚さ
  - $\sigma$ =約0.375程度
  - 対流調節による加熱率が0になる高さ付近

# まとめ

- **ダストデビルによるダストフラックスは地形高度によって変わってくる**
  - 南緯 $25^\circ$  ,  $L_s=270^\circ$  付近
    - 東西平均ダストフラックス: 東西平均地形 > 地形高度一定 > 観測された地形
    - 顕熱フラックス: 地形高度一定 > 東西平均地形
      - 地表面気圧: 地形高度一定 > 東西平均地形
      - 大気の安定度: 東西平均地形 > 地形高度一定
        - » 地形高度一定は東西平均地形に比べて下層での大循環による冷却が小さく, 対流調節による上層の加熱が小さい
    - 対流層の厚さ: 東西平均地形 > 地形高度一定
      - 地形高度一定は東西平均地形に比べて上層での大循環による冷却が小さく, 対流調節による加熱層が薄い
  - 北緯 $25^\circ$  ,  $L_s=90^\circ$  付近
    - 東西平均ダストフラックス: 地形高度一定 > 東西平均地形 > 観測された地形
    - 顕熱フラックス: 地形高度一定 > 東西平均地形
      - 地表面気圧: 東西平均地形 > 地形高度一定
      - 大気の安定度: 地形高度一定 > 東西平均地形
        - » 地形高度一定は東西平均地形に比べて下層での大循環による冷却が大きく, 対流調節による上層の加熱が大きい
    - 対流層の厚さ: 東西平均地形 > 地形高度一定
      - 地形高度一定は東西平均地形に比べて上層での大循環による冷却が小さく, 対流調節による加熱層が薄い