

大気大循環モデルによる 傾圧不安定の数値計算

流体地球物理学教育研究分野

丸山 響

はじめに

傾圧不安定

- ・ 等圧面と等温面が平行でない状態を傾圧場という
- ・ 傾圧場が非軸対称な擾乱に対して不安定であることを傾圧不安定という
- ・ 温帯低気圧や温暖前線・寒冷前線は傾圧不安定による波がもとになっている

本研究では, Polvani et al. (2004) で大気大循環モデルを用いて行われた傾圧不安定の発達に関する数値実験を大気大循環モデル DCPAM5 で行い, 考察した

モデルの概要:大気大循環モデルDCPAM5

【力学過程】

プリミティブ方程式

運動方程式

$$\frac{\partial \mathbf{u}}{\partial t} = -\mathbf{u} \cdot \nabla \mathbf{u} - \dot{\sigma} \frac{\partial \mathbf{u}}{\partial \sigma} - f \mathbf{k} \times \mathbf{u} - \nabla \Phi + \frac{RT}{p_s} \nabla p_s$$

静力学平衡の式

$$\frac{\partial \Phi}{\partial \sigma} = -\frac{RT}{\sigma}$$

連続の式

$$\frac{\partial p_s}{\partial t} = -\nabla \cdot (p_s \mathbf{u}) - \frac{\partial}{\partial \sigma} (p_s \dot{\sigma})$$

熱力学の式

$$\frac{\partial T}{\partial t} = -\mathbf{u} \cdot \nabla T - \dot{\sigma} \frac{\partial T}{\partial \sigma} + \frac{RT}{p C_p} \frac{dp}{dt}$$

鉛直方向の境界条件

$$\dot{\sigma} = 0, \text{ at } \sigma = 0, 1$$

変数	物理量
t	時間
ϕ	緯度
λ	経度
σ	惑星表面気圧と気圧の比
p	気圧
\mathbf{u}	水平速度
T	温度
Φ	ジオポテンシャル
f	コリオリパラメータ
$\dot{\sigma}$	σ 座標系における鉛直速度

モデルの概要: 大気大循環モデルDCPAM5

【初期条件】

- 東西風速

$$u(\phi, p) = \begin{cases} u_0 \sin^3(\pi \mu^2) F(z) & \text{for } \phi > 0 \\ 0 & \text{for } \phi < 0, \end{cases} \quad (\mu \equiv \sin \phi)$$

- 鉛直構造

$$F(z) = \frac{1}{2} \left[1 - \tanh^3 \left(\frac{z - z_0}{\Delta z_0} \right) \right] \sin \left(\frac{\pi z}{z_1} \right)$$

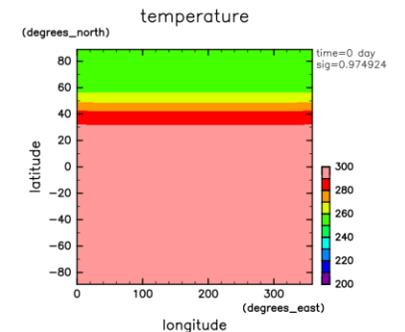
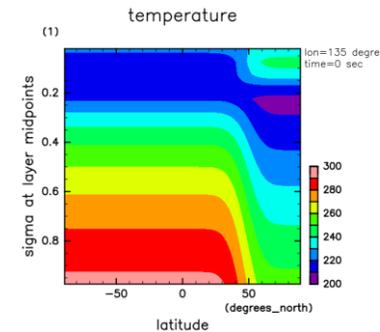
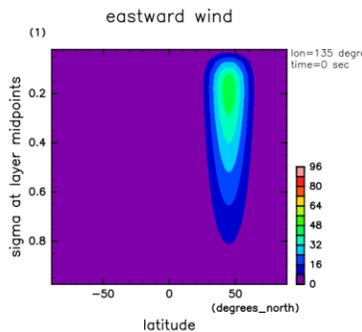
- 温度 (温度風平衡より)

$$\frac{\partial T}{\partial \phi} = -HR^{-1}(af + 2u \tan \phi) \frac{\partial u}{\partial z}$$

- 温度擾乱

$$T'(\lambda, \phi) = \hat{T} \operatorname{sech}^2 \left(\frac{\lambda - \lambda_0}{\alpha} \right) \operatorname{sech}^2 \left(\frac{\phi - \phi_0}{\beta} \right)$$

文字	大きさ	単位
g	9.806	$\text{m} \cdot \text{s}^{-2}$
a	6.371×10^6	m
Ω	7.292×10^{-5}	$1 \cdot \text{s}^{-1}$
R	287	$\text{J} \cdot \text{kg}^{-1} \text{K}^{-1}$
κ	2/7	
C_p	R/κ	$\text{J} \cdot \text{kg}^{-1} \text{K}^{-1}$
p_0	10^5	Pa
H	7.37	km
z_0	22	km
Δz_0	5	km
z_1	30	km
\hat{T}	1	K
λ_0	0	radians
ϕ_0	$\pi/4$	radians
α	1/3	km
β	1/6	km



東西風速の南北断面図

温度の南北断面図

地表温度の水平断面図

Cyclone deepening rate(地表面気圧低下率)

Kuwano-Yoshida and Asuma (2008) で用いられた

単位は (Pa/h)

Cyclone deepening rate

$$= \left[\frac{p(t-6) - p(t+6)}{12} \right] \frac{\sin 60^\circ}{\sin \frac{\phi(t-6) + \phi(t+6)}{2}}$$

t : 時間, (h)

p : 低気圧の中心の海面気圧(Pa)

ϕ : 低気圧の中心の緯度



—時間当たりの気圧変化 北緯60度で規格化

t : 時間, (h)

p : 地表面気圧の最低値(Pa)

ϕ : 地表面気圧の最低値を記録した緯度

実験1:解像度依存性

Polvani et al. (2004)

「計算結果は初期条件が同じであっても、解像度によって異なり、解像度を上げるに伴って収束していく」

→この後の実験に使うべき解像度を調べる

TXXLYY と表記

XX は水平変化を表すために用いる球面調和関数の最大全波数

YY は鉛直層数(今回はすべて 20)

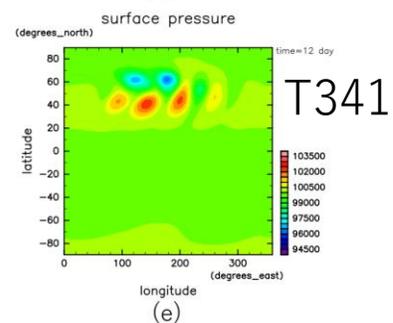
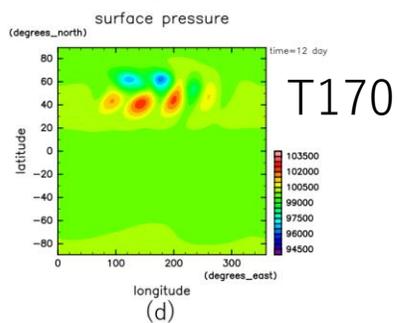
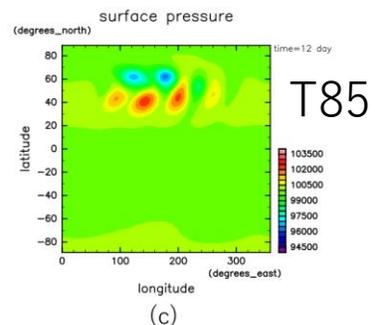
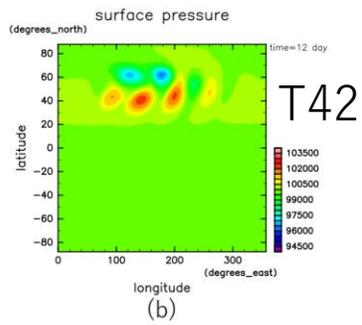
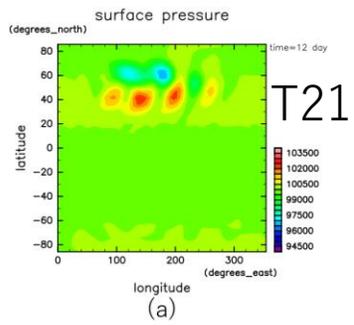
緯度方向の格子点数=JM

経度方向の格子点数=IM とすると

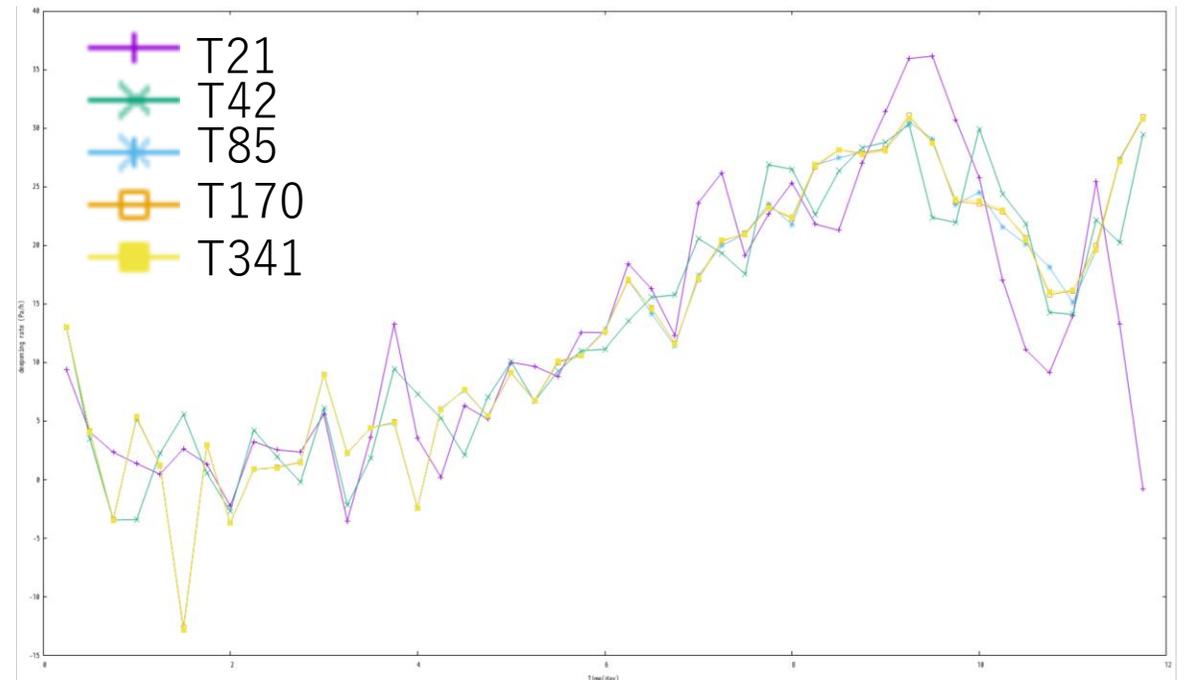
$$XX = (IM-1)/3, JM = IM/2$$

解像度	格子間隔
T21	5.63°
T42	2.81°
T85	1.41°
T170	0.70°
T341	0.35°

実験1: 解像度依存性(結果)



12日後の地表面気圧



地表面気圧低下率の時間変化

横軸：時間

縦軸：地表面気圧低下率

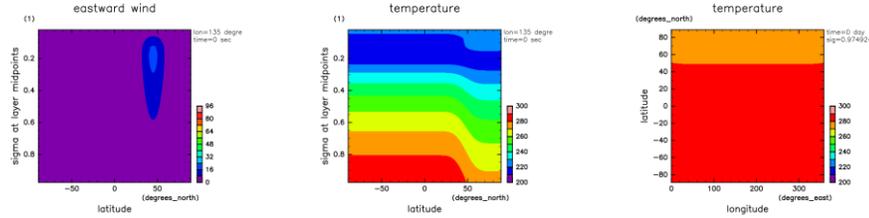
T85 以上で解は収束 → 以下 T85 を用いる

実験2:東西風依存性

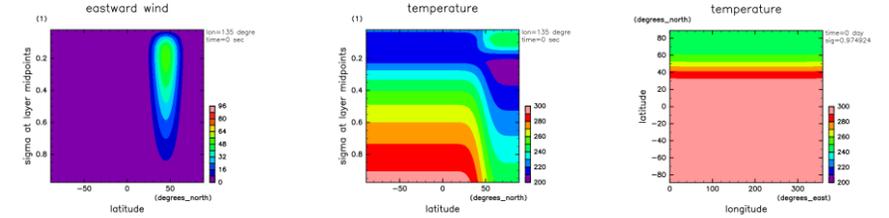
$$u(\phi, p) = \begin{cases} u_0 \sin^3(\pi \mu^2) F(z) & \text{for } \phi > 0 \\ 0 & \text{for } \phi < 0, \end{cases}$$

u_0 を 20,30,40,50,60,70,80,90(m/s)に変更

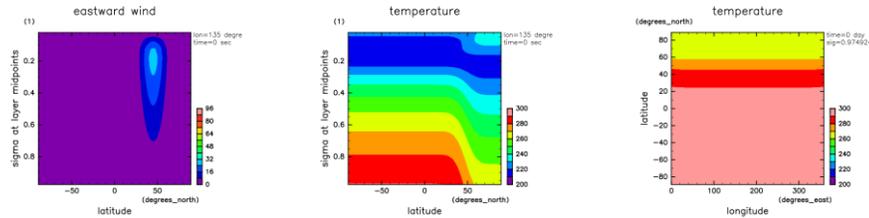
$u_0=20$ (m/s)



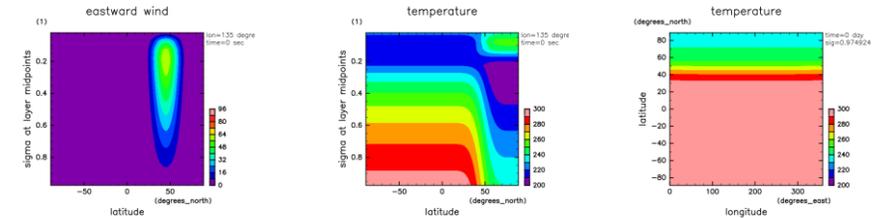
$u_0=60$ (m/s)



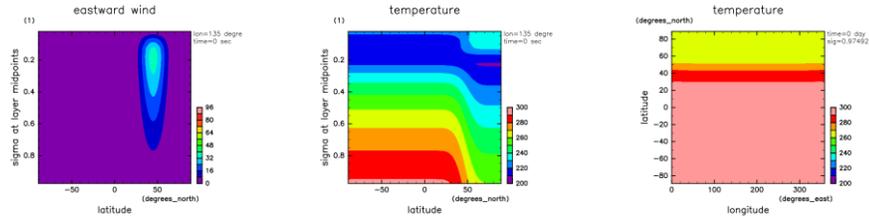
$u_0=30$ (m/s)



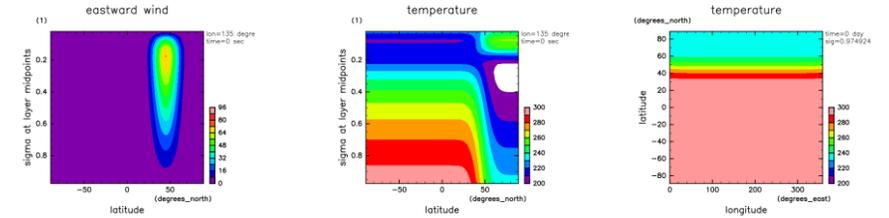
$u_0=70$ (m/s)



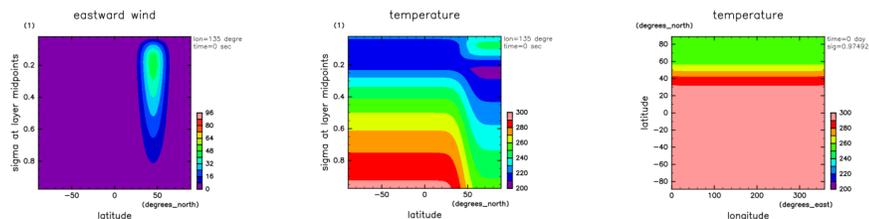
$u_0=40$ (m/s)



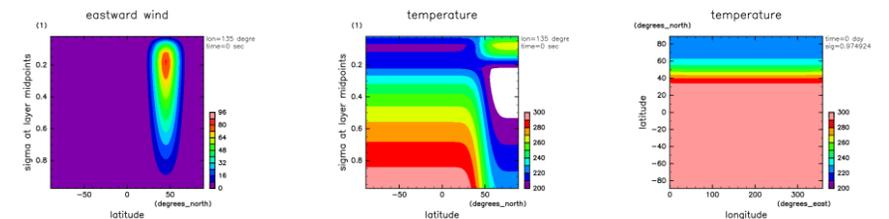
$u_0=80$ (m/s)



$u_0=50$ (m/s)

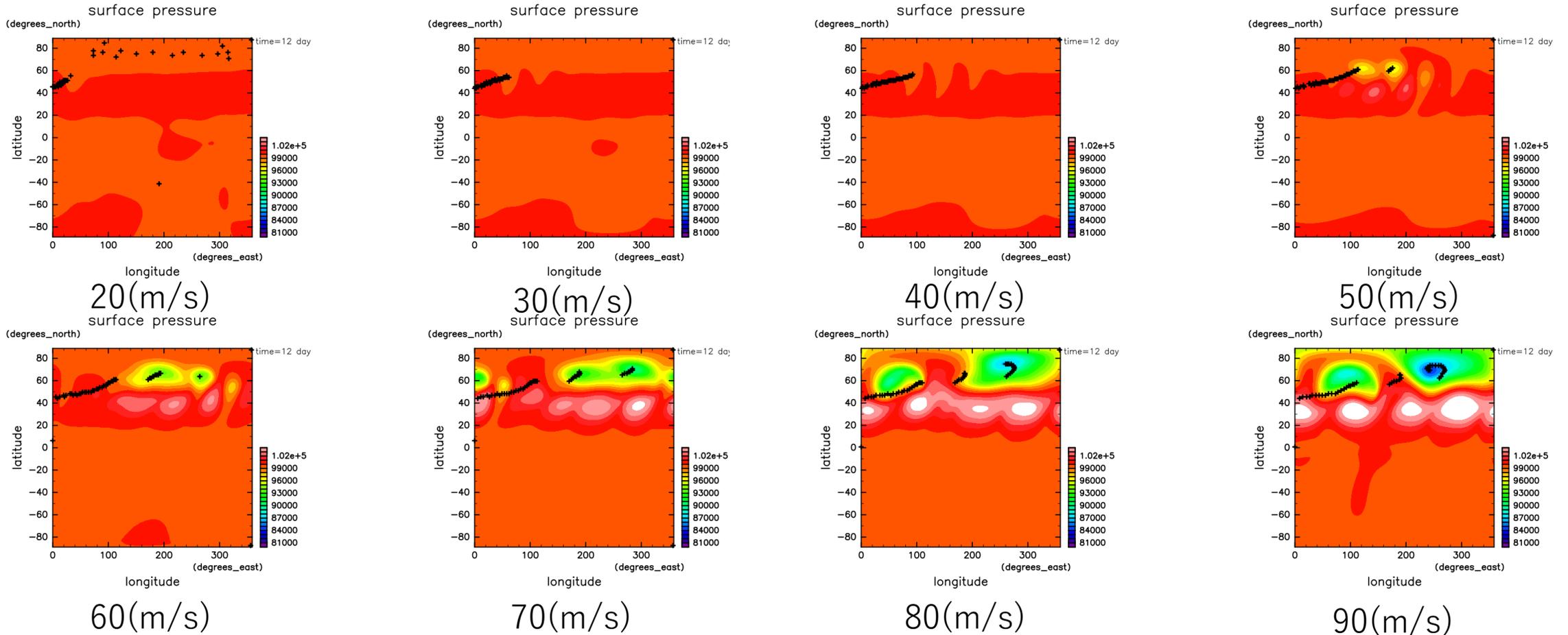


$u_0=90$ (m/s)



東西風速の南北断面図 温度の南北断面図 地表温度の水平断面図

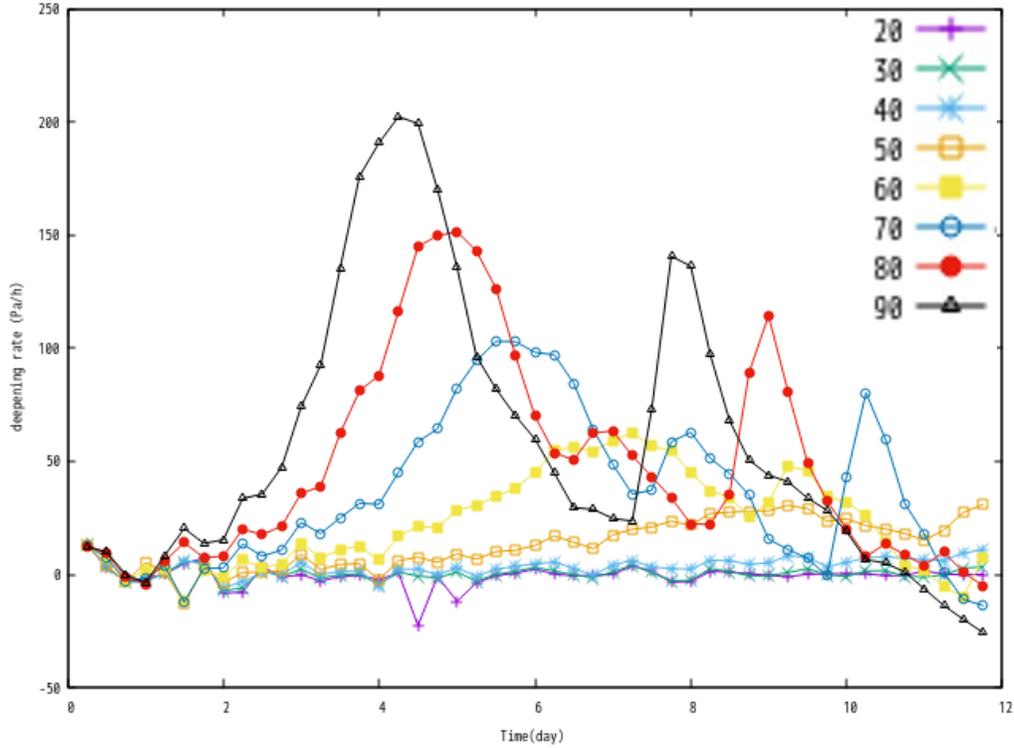
実験2:東西風依存性(結果)



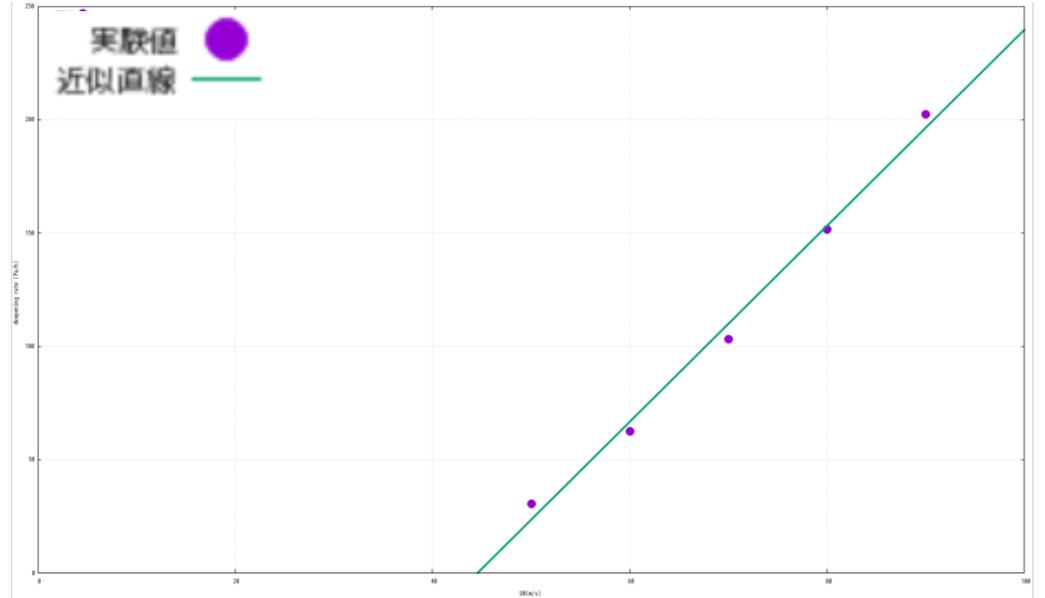
12日後の地表面気圧 点は6時間毎の地表面気圧が最小値の地点

50 $\leq u_0 \leq 90$ (m/s) で地表面気圧低下率を記録している低気圧が途中で変わる

実験2:東西風依存性(結果)



地表面気圧低下率の時間変化(横軸:時間 縦軸:地表面気圧低下率)



u_0 と地表面気圧低下率の最大値の関係
(横軸: u_0 縦軸:地表面気圧低下率の最大値)

- 地表面気圧低下率のピークが複数個あるのは注目している
低気圧が異なるからである
- 一つ目の低気圧に注目すると地表面気圧低下率は増加し減少する
- u_0 が大きくなると
 - 一つ目の低気圧が記録している時間短くなる
 - 地表面気圧低下率の最大値は大きくなる

- 一直線上に並んでいる。
 - u_0 が大きくなるにつれて、
地表面気圧低下率の最大値も
ほぼ線形的に大きくなる。

まとめ

Polvani et al. (2004) の傾圧不安定の発達に関する数値実験を大気大循環モデル DCPAM5 で行うにあたって、解は解像度が T85 以上で収束している

東西風速 u_0 が 50~90 (m/s) の範囲では、 u_0 が大きくなるにつれて、地表面気圧低下率の最大値もほぼ線形的に大きくなる。

 西風が速くなるにつれて、低気圧の発達は速くなる