

全球非静力学モデルを用いた、水惑星に  
おける熱帯低気圧数の海面水温分布に対する  
応答の調査

2024.01.14

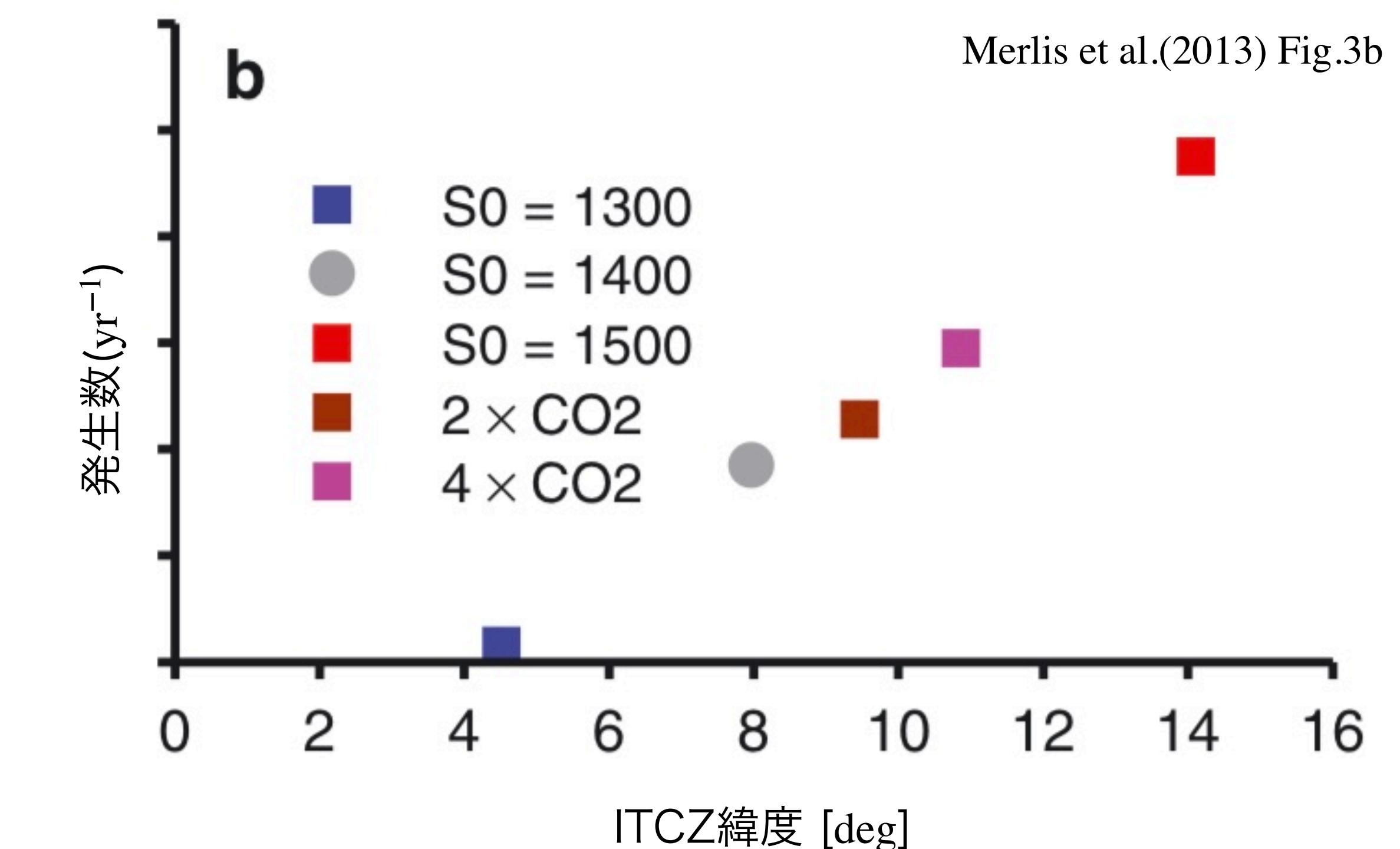
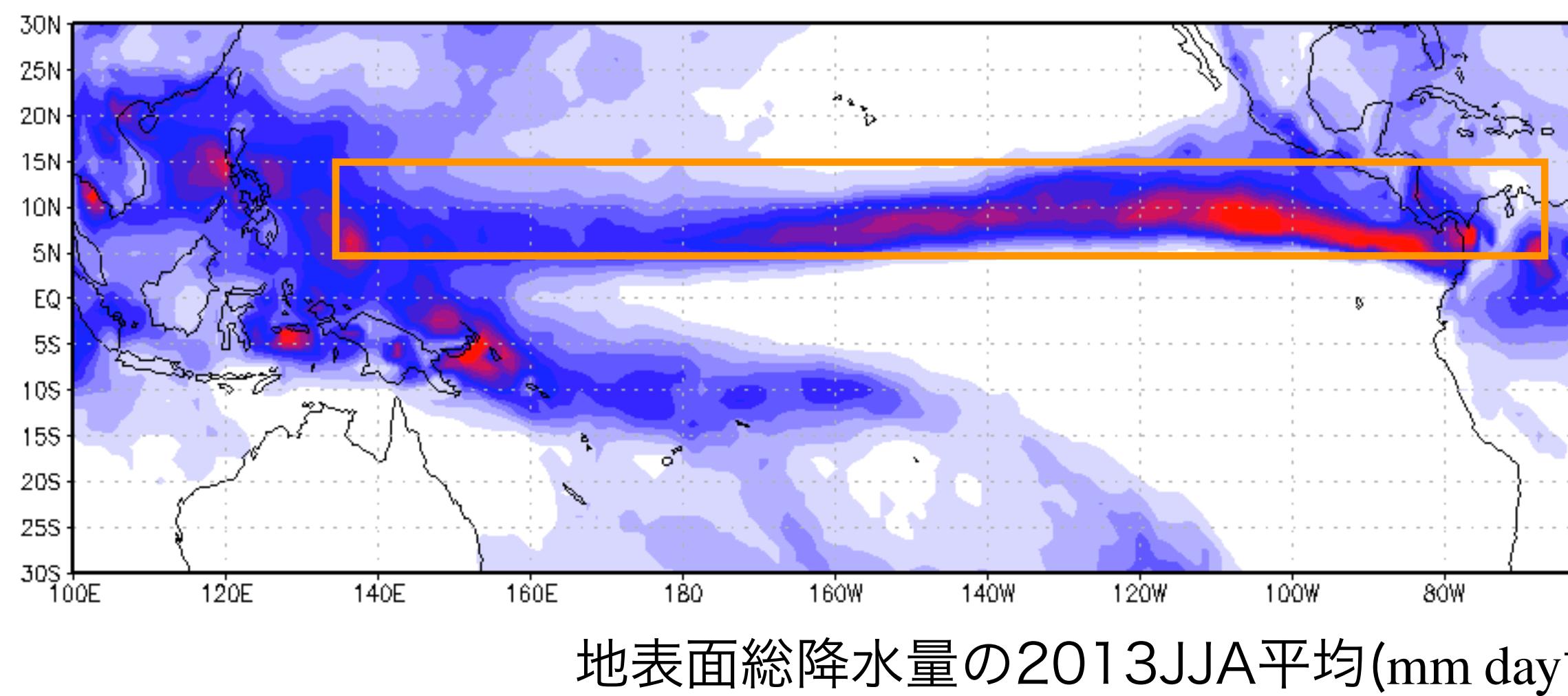
C1SB2004 赤松秀耶 (流体地球物理学講座)

# 1. はじめに

1/12

- ・ 地球温暖化に伴う熱帯低気圧(台風・サイクロン….)数の変化について研究されてきた  
→ 例えば, Merlis et al. (2013); Merlis et al. (2019)など
- ・ これらは, 結果の解釈が難しいものも多く, 水惑星実験(陸面のない惑星)など特定の要素の影響を抜き出せる高度に理想化された実験が行われてきた

発生数には平均海面水温やITCZ緯度変化  
が大きく関係

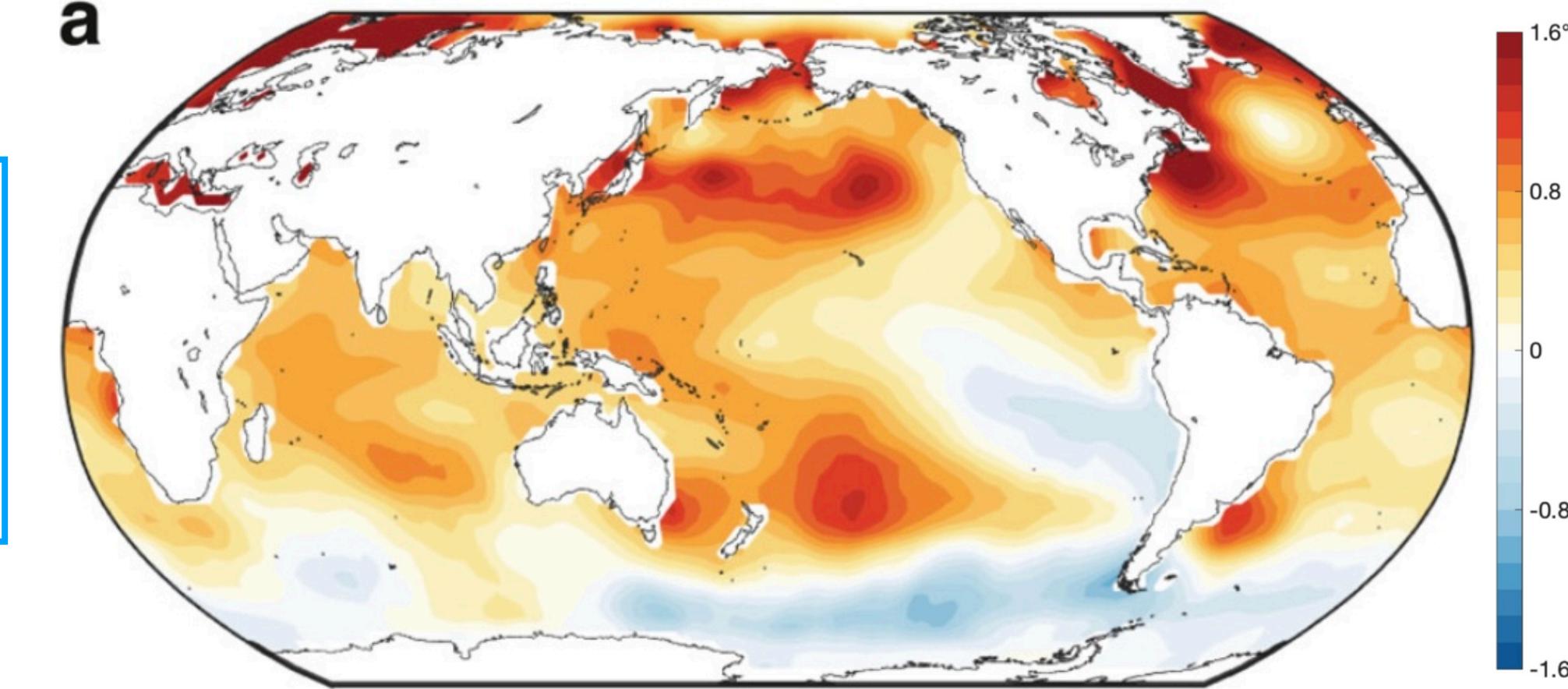


# 1. 現在の課題点

2/12

①海面水温の影響は、これまでのような帯状平均の場だけでなく、東西方向の勾配や暖かい海面水温の南北への広がりも見る必要がある a

→温暖化の海面水温への影響は、全球の海面水温が一様に高くなるとともに、熱帯の海面水温の勾配が大きくなる



Wills et al.(2022) Fig.1a

②従来のモデルでは雲や降水を直接再現できるものはほんなく、パラメタライズを行うことから結果に不確実性が残る

→積雲対流を直接表現できる高解像なモデル(とその計算が可能な計算機)を用いて計算を行うことで、より正確な実験を行える

→ 東西勾配変化と一様上昇という海面水温の温暖化時の変化が  
それぞれ熱帯低気圧に与える影響の理解

## 2. 実験の設定

3/12

|                    |  |
|--------------------|--|
| モデル名               | NICAM  |
| 水平解像度              | 28km相当   |
| 鉛直総数               | 38層  |
| 期間                 | 540日 (spinup : 90日)  |
| オゾン                | 半球対称   |
| 海氷・海雪              | なし   |
| 積雲対流<br>パラメタリゼーション | なし   |
| 雲物理過程              | NICAM<br>Single-Moment Water 6   |
| 乱流過程               | MYNN2  |
| 熱帯低気圧<br>の基準       | <ul style="list-style-type: none"><li>最大風速17.5m/s以上</li><li>中心気温が周囲より2K高い</li><li>渦度0.00016/s以上</li><li>上記の期間が72時間以上</li></ul> |

## 2. 実験の設定

4/12

### ○海面水温分布 ( $\phi$ : 緯度 $\lambda$ : 経度)

- ・基本場

$$T_s(\lambda, \phi) = 29 \left( 1 - \left| \sin \left( \frac{90}{55} \left[ \phi - \frac{\pi}{36} \right] \right) \right|^3 \right) \quad \left( \frac{\pi}{36} < \phi < \frac{\pi}{3} \right)$$

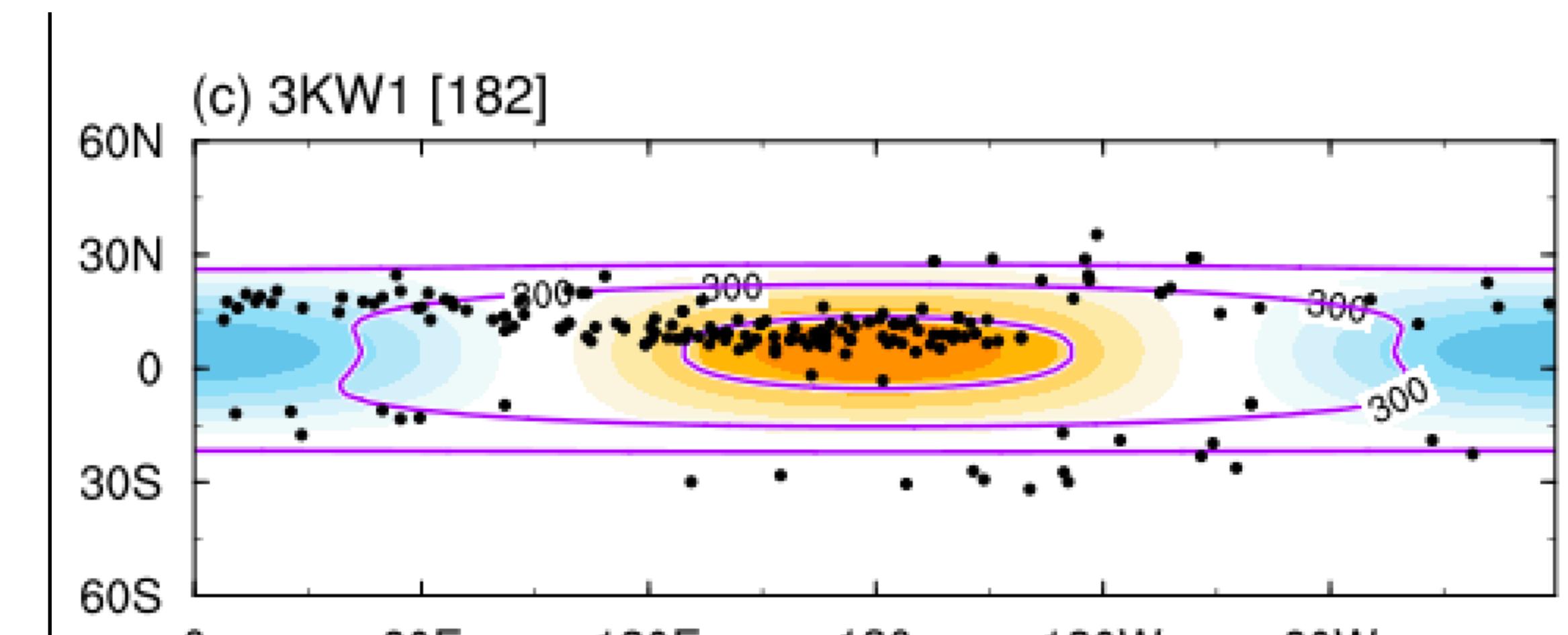
$$T_s(\lambda, \phi) = 29 \left( 1 - \left| \sin \left( \frac{90}{65} \left[ \phi - \frac{\pi}{36} \right] \right) \right|^3 \right) \quad \left( -\frac{\pi}{3} < \phi < \frac{\pi}{36} \right)$$

- ・偏差

$$T'_s(\lambda, \phi) = \chi \cos(\lambda - \pi) \cos^2 \left( \frac{\pi}{2} \left[ \frac{\left( \phi - \frac{\pi}{36} \right)}{\frac{\pi}{6}} \right] \right) \quad \left( -\frac{\pi}{6} < \phi < \frac{\pi}{6} \right)$$

$\chi$ の変化 : 海面水温勾配に対応

+4K変化 : 一样上昇に対応



### ○ $\chi = 3$ の場合の海面水温分布

- ・時間非依存

- ・ $\chi > 0$ の場合, 経度中心に暖水プール

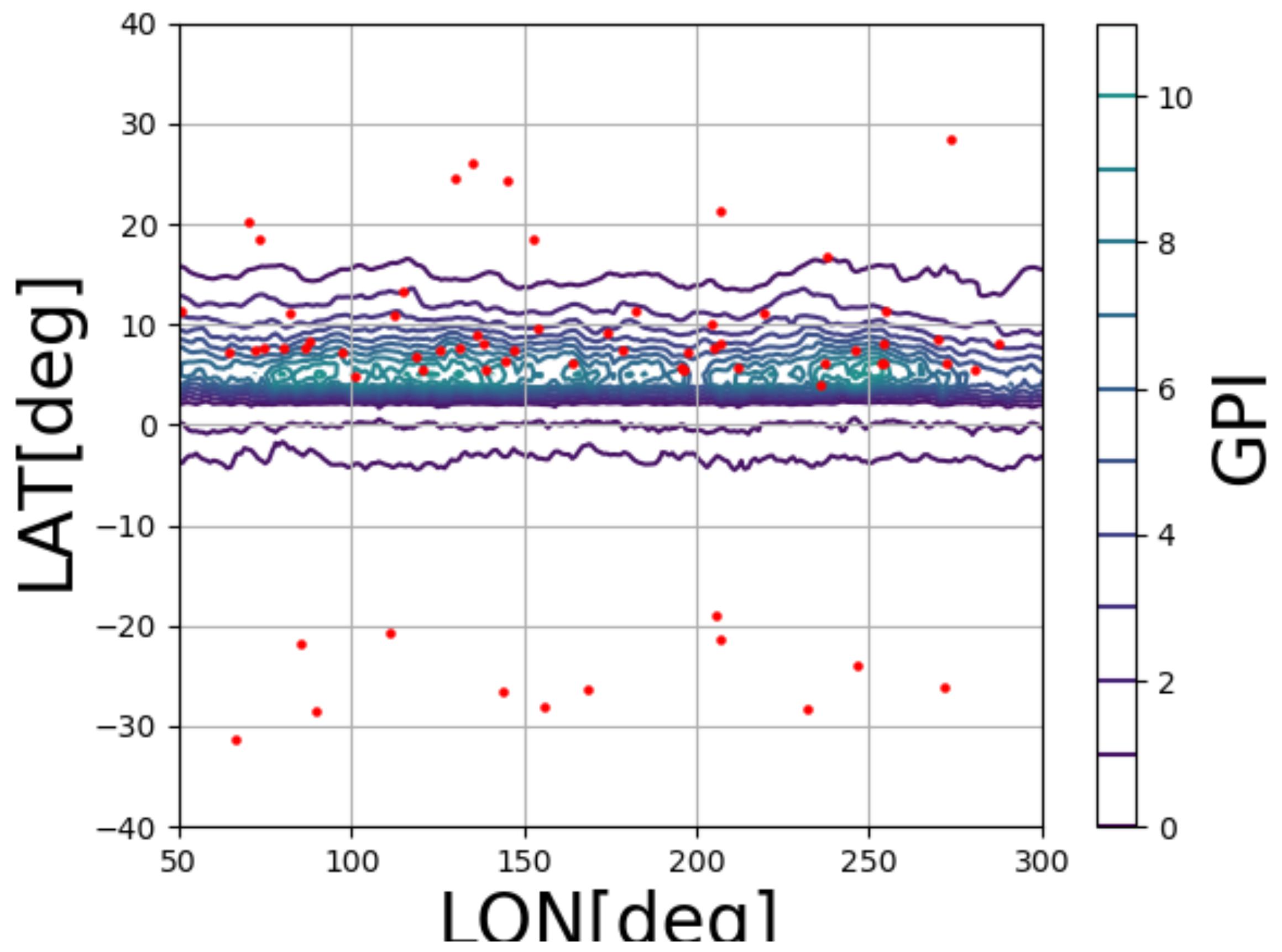
が存在するような配置

### 3. 東西勾配変化と発生数

5/12

$\chi = 0$  (東西勾配なし)

熱帯低気圧数：94コ



提供：高須賀先生

GPI：熱帯低気圧の発生頻度の指標  
(Emanuel and Nolan(2004))

$$GPI = |10^5 \eta|^{1.5} \left( \frac{RH}{50} \right)^3 \left( \frac{V_{pot}}{70} \right)^3 (1 + 0.1 V_{shear})^{-2}$$

$\eta$  : 850hpa面における絶対渦度 [/s]

$RH$  : 600hpa面における相対湿度 [%]

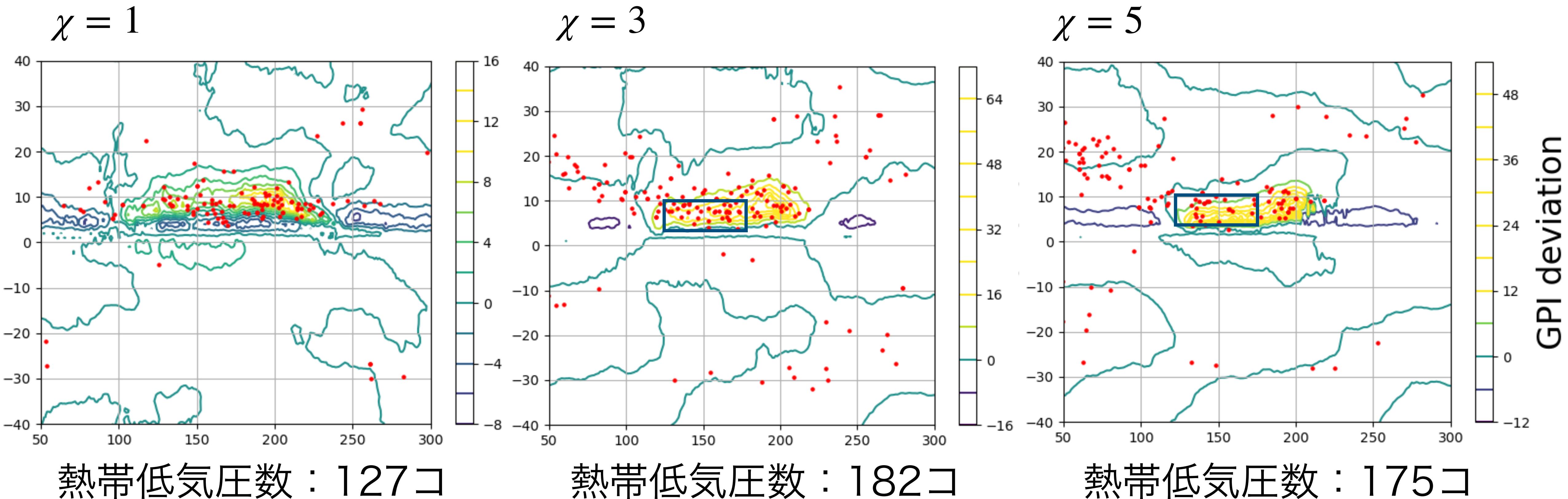
$V_{pot}$  : 最大ポテンシャル強度(MPI) [m/s]

→海面からのエネルギーfluxと摩擦で失うエネルギーfluxが釣り合う強度

$V_{shear}$  : 850hpa-200hpa間の水平風シア [m/s]

### 3. 東西勾配変化と発生数

6/12



- ・基準( $\chi = 0$ )からの偏差

$\chi = 1$ の場合はGPI(等高線)に合わせて熱帯低気圧の発生(赤点)が見られる

$\chi = 3,5$ と変化させるとGPI変化に対して、発生数変化も対応

基準 $\rightarrow \chi = 1 \rightarrow \chi = 3$ と発生数は増加,  $\chi = 3 \rightarrow \chi = 5$ では減少 (特に暖水域)

### 3. 東西勾配変化と発生数

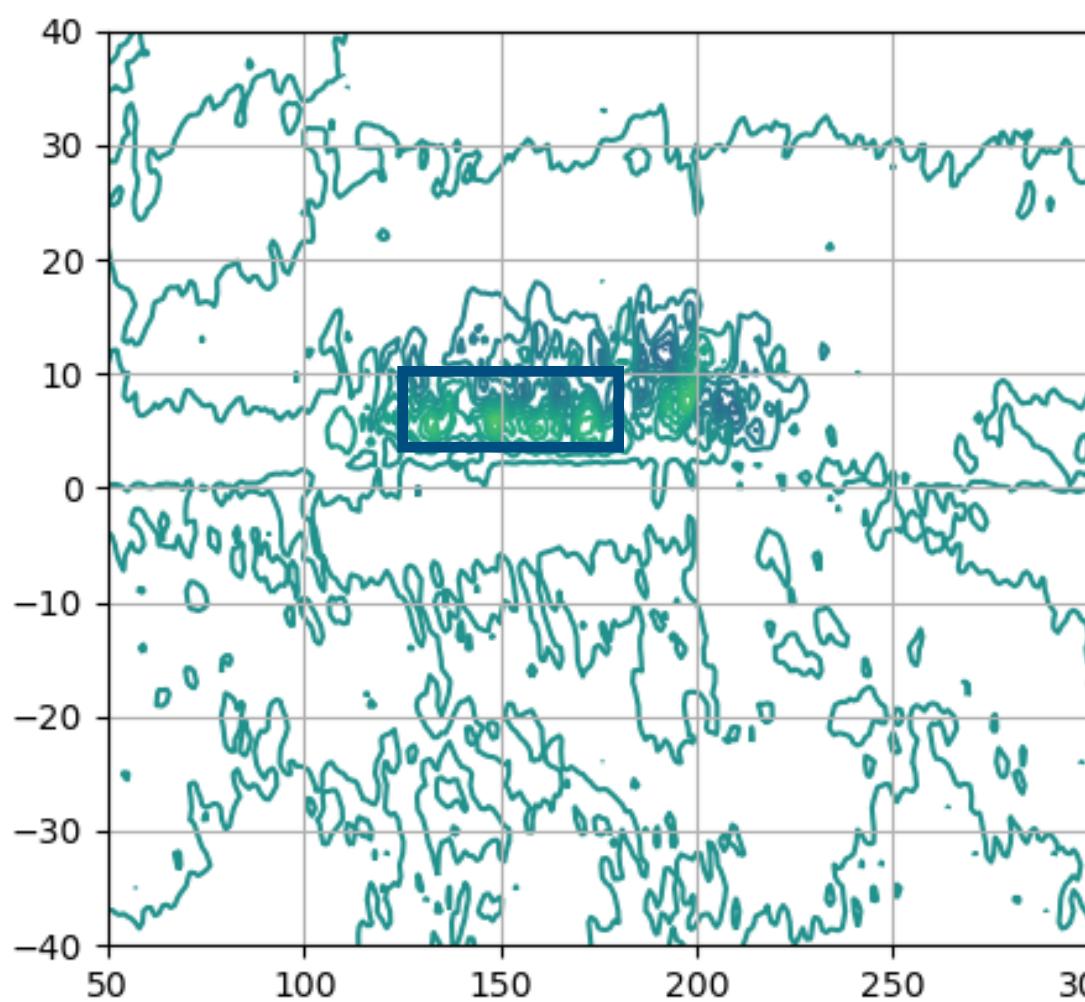
7/12

- $\chi = 3$  と  $\chi = 5$  の GPI の各パラメータから総数変化の原因を調べる

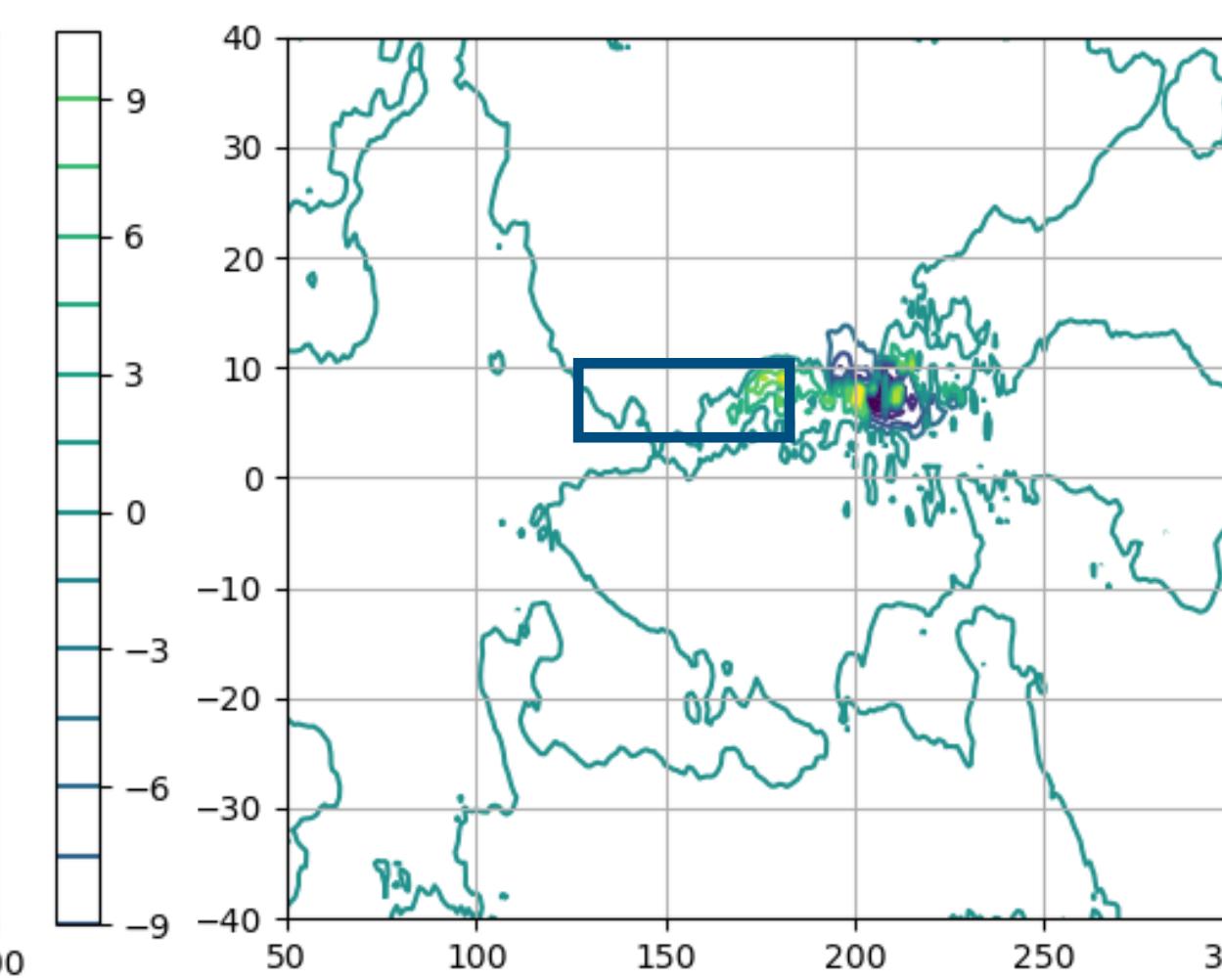
$$GPI = |10^5 \eta|^{1.5} \left( \frac{RH}{50} \right)^3 \left( \frac{V_{pot}}{70} \right)^3 (1 + 0.1 V_{shear})^{-2}$$

- 基準 ( $\chi = 0$ ) からの偏差

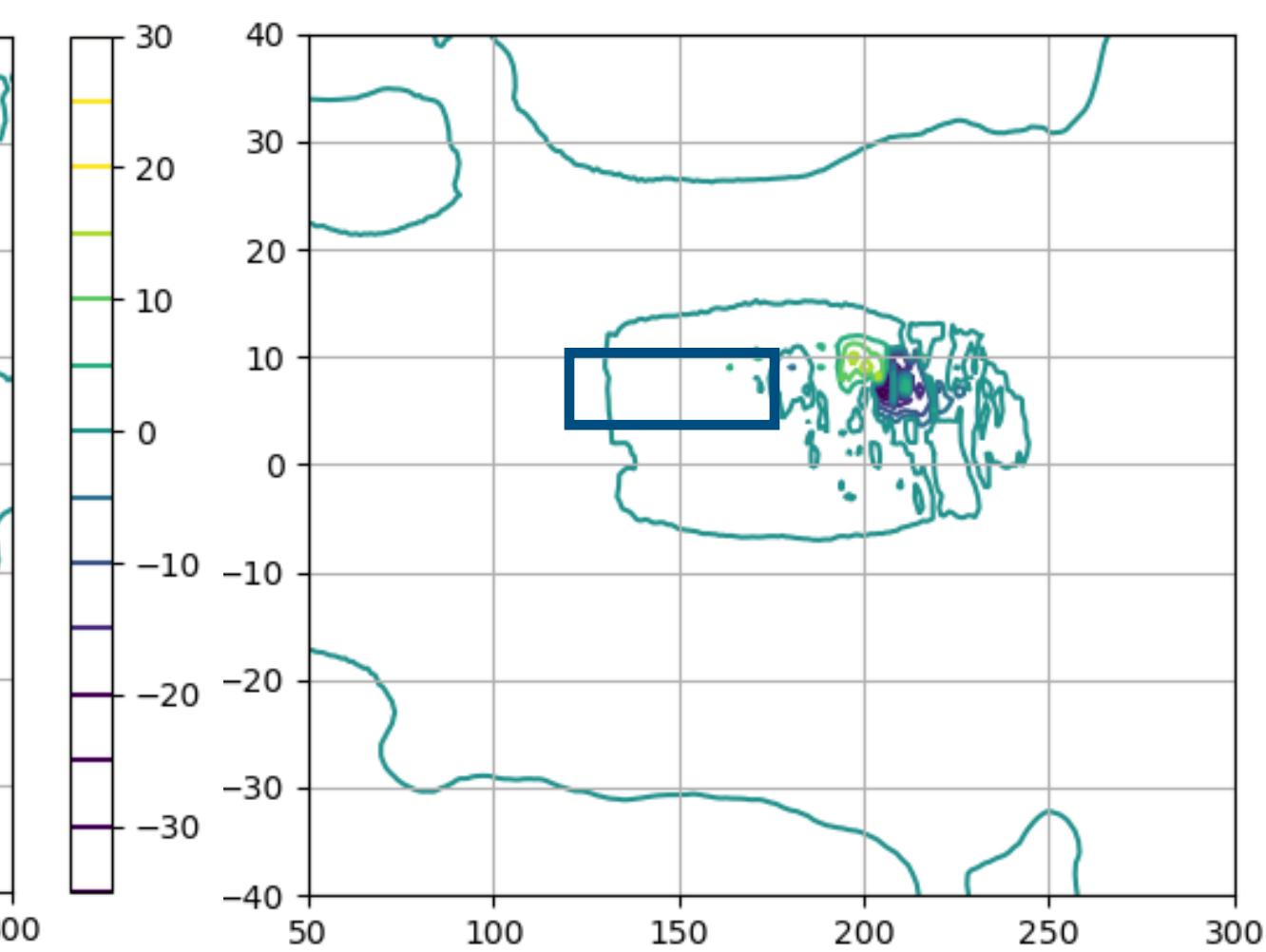
絶対渦度の効果



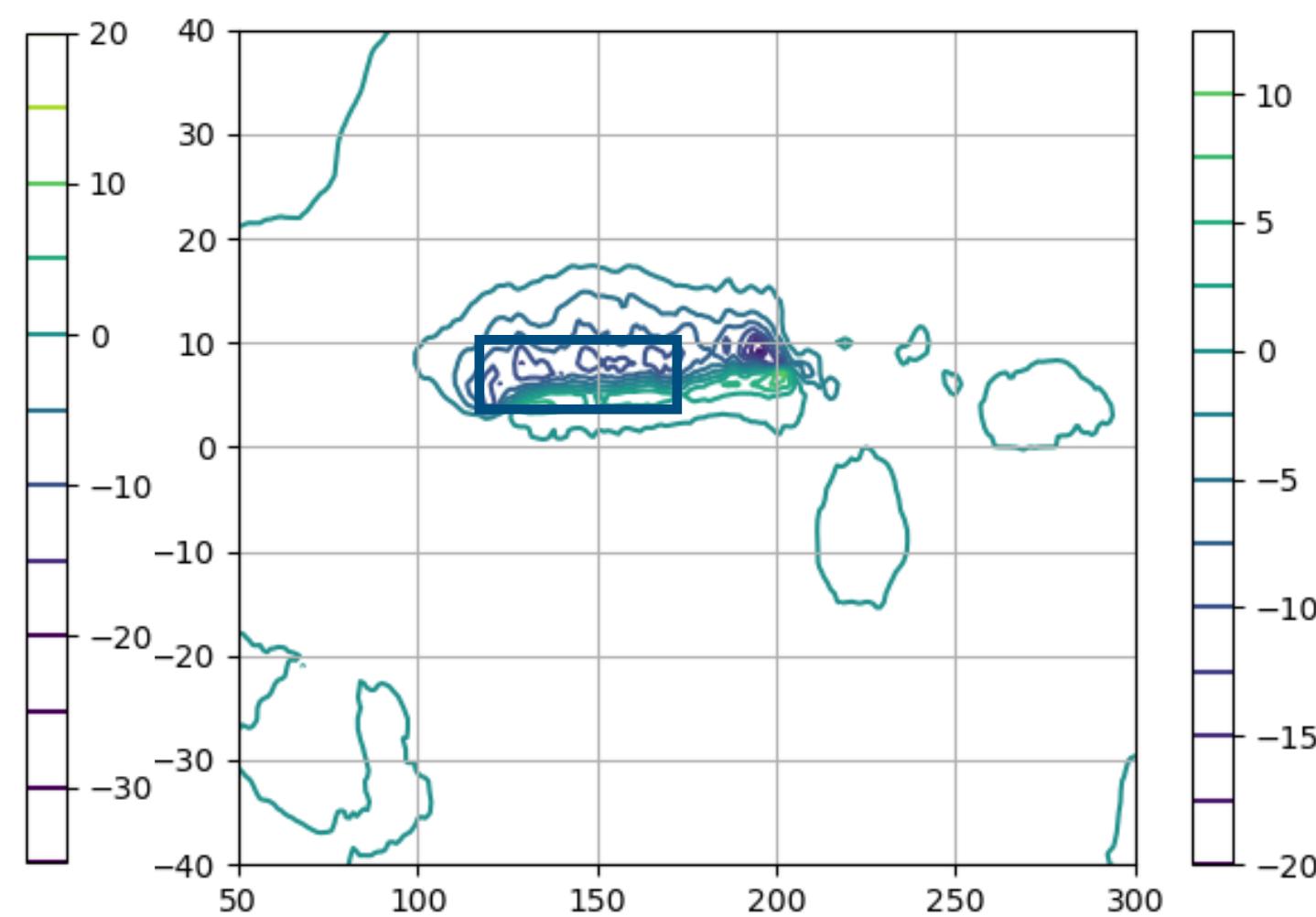
相対湿度の効果



MPIの効果



シアの効果



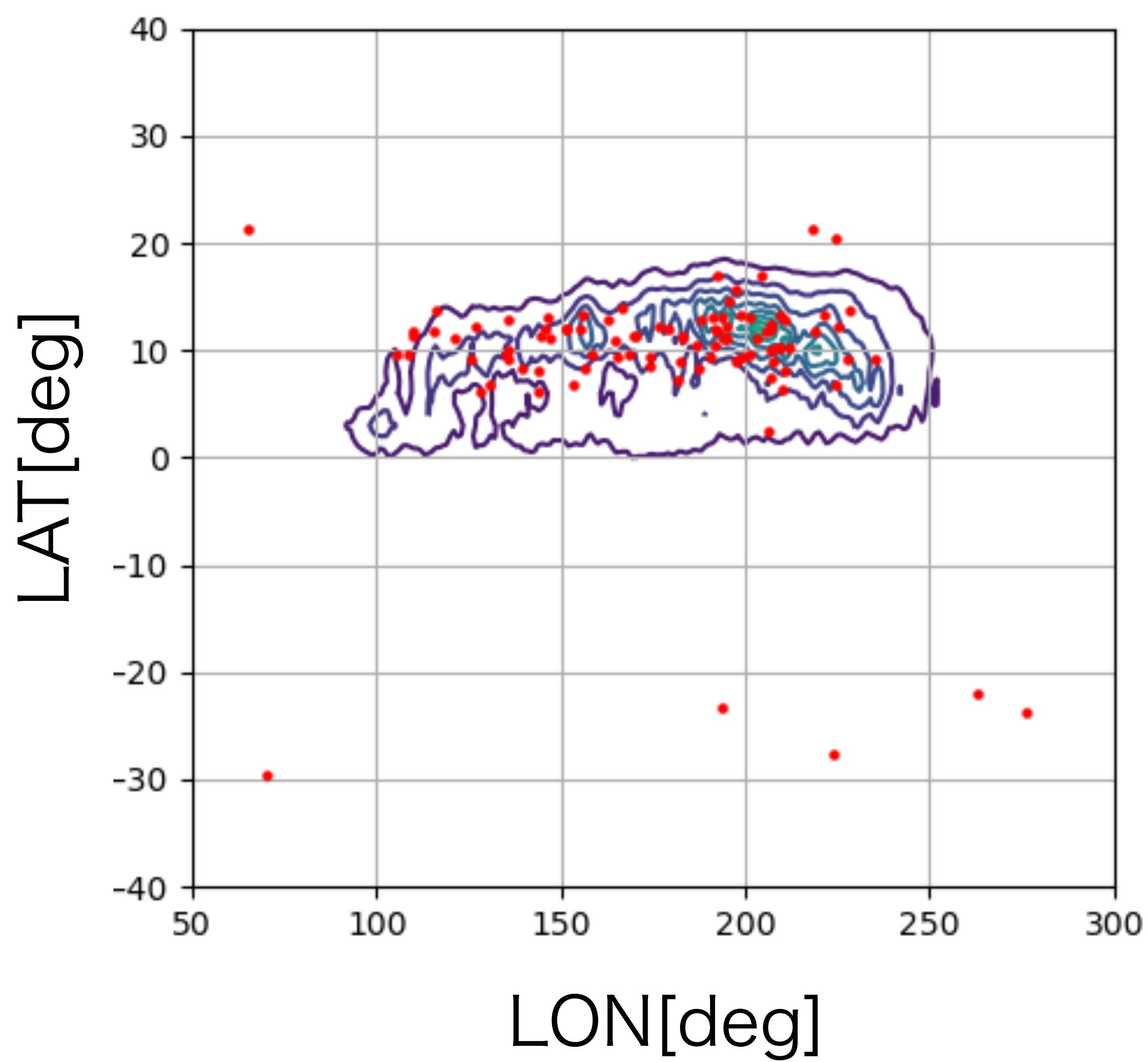
渦度とシアによる効果が寄与(シアが増大している)  
→これが熱帯低気圧減少の要因の可能性

# 4. 一様上昇と発生数

8/12

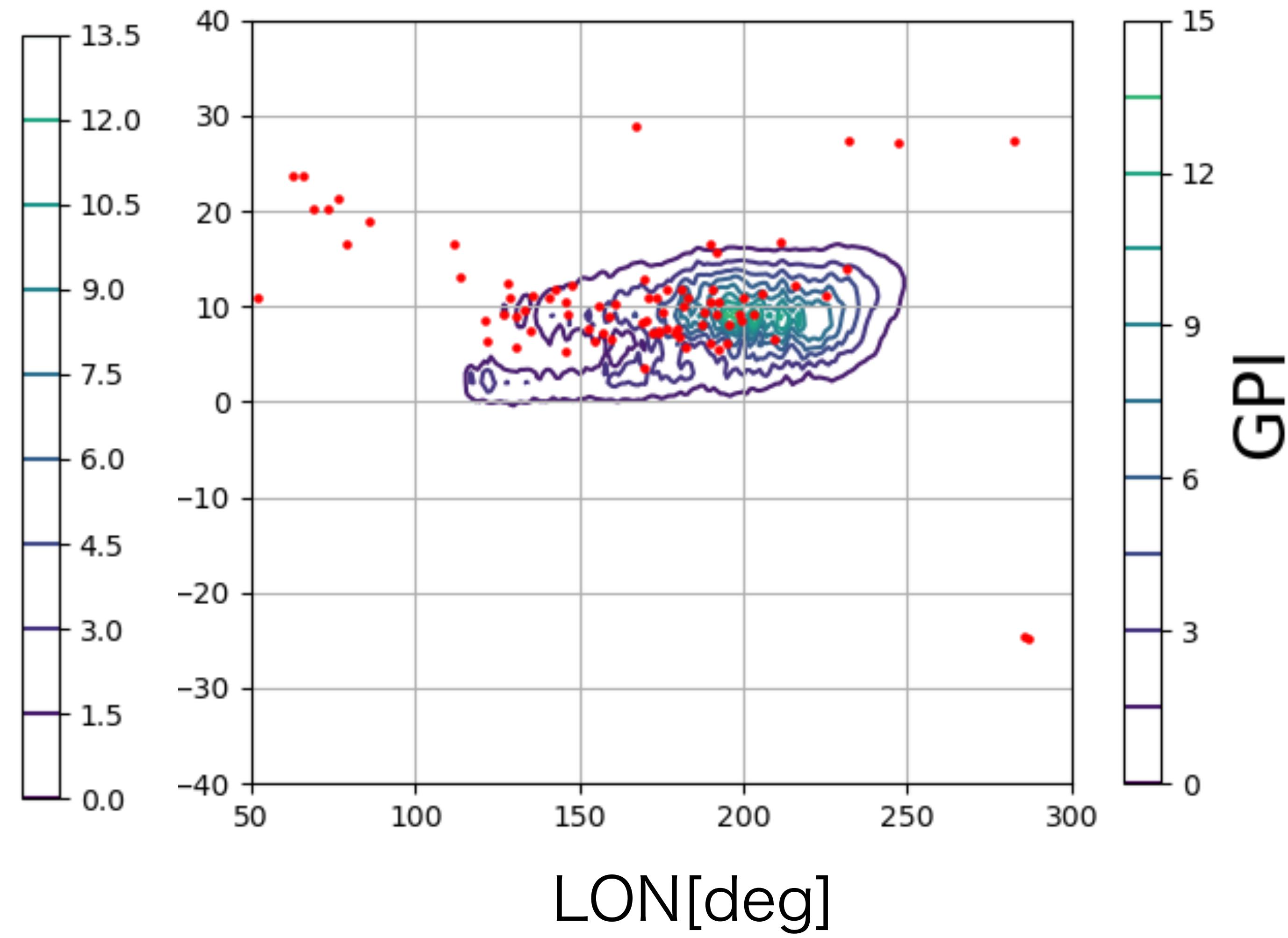
$$\chi = 2$$

熱帯低気圧数：98コ



$$\chi = 4$$

熱帯低気圧数：87コ

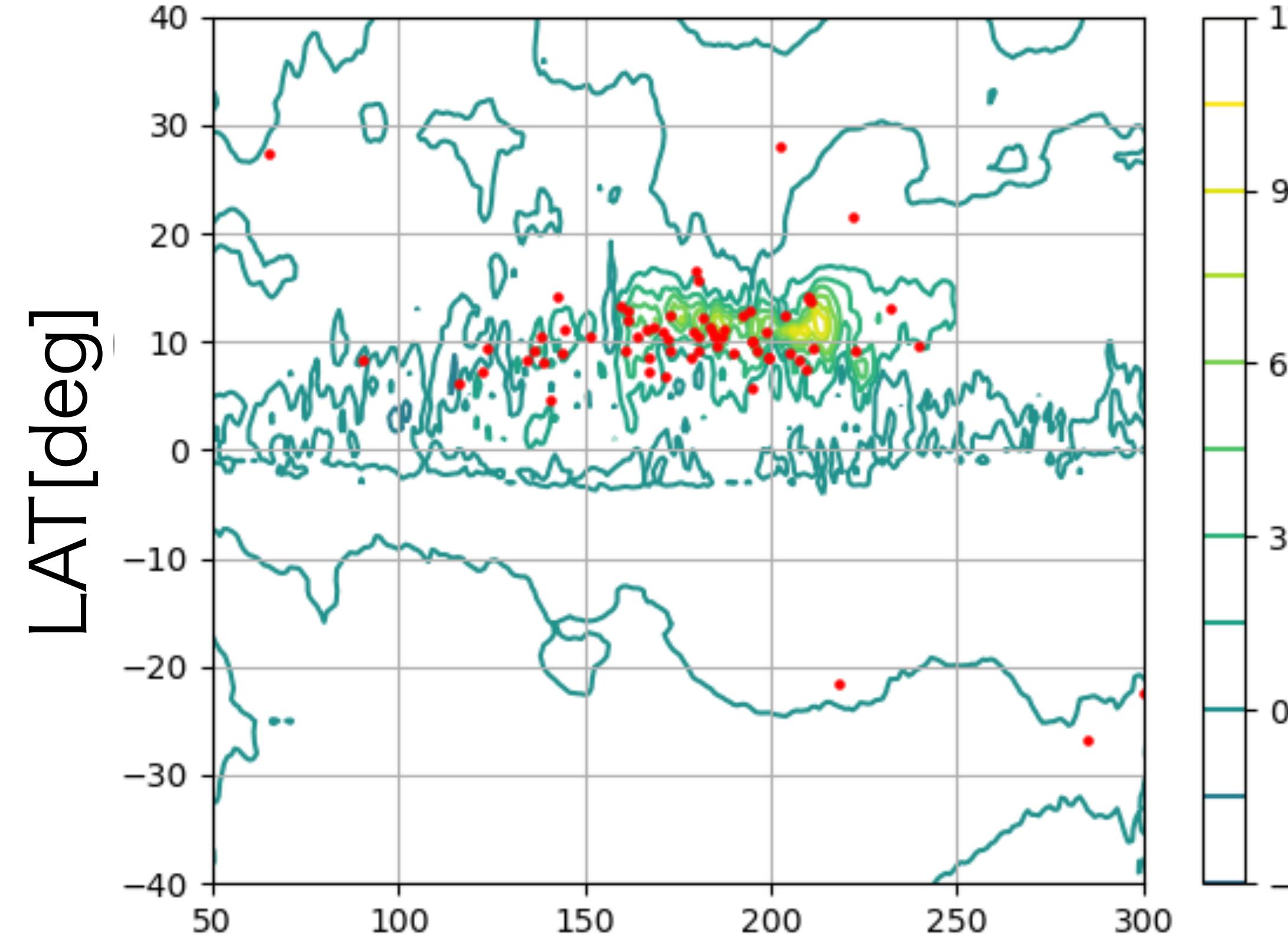


# 4. 一様上昇と発生数

9/12

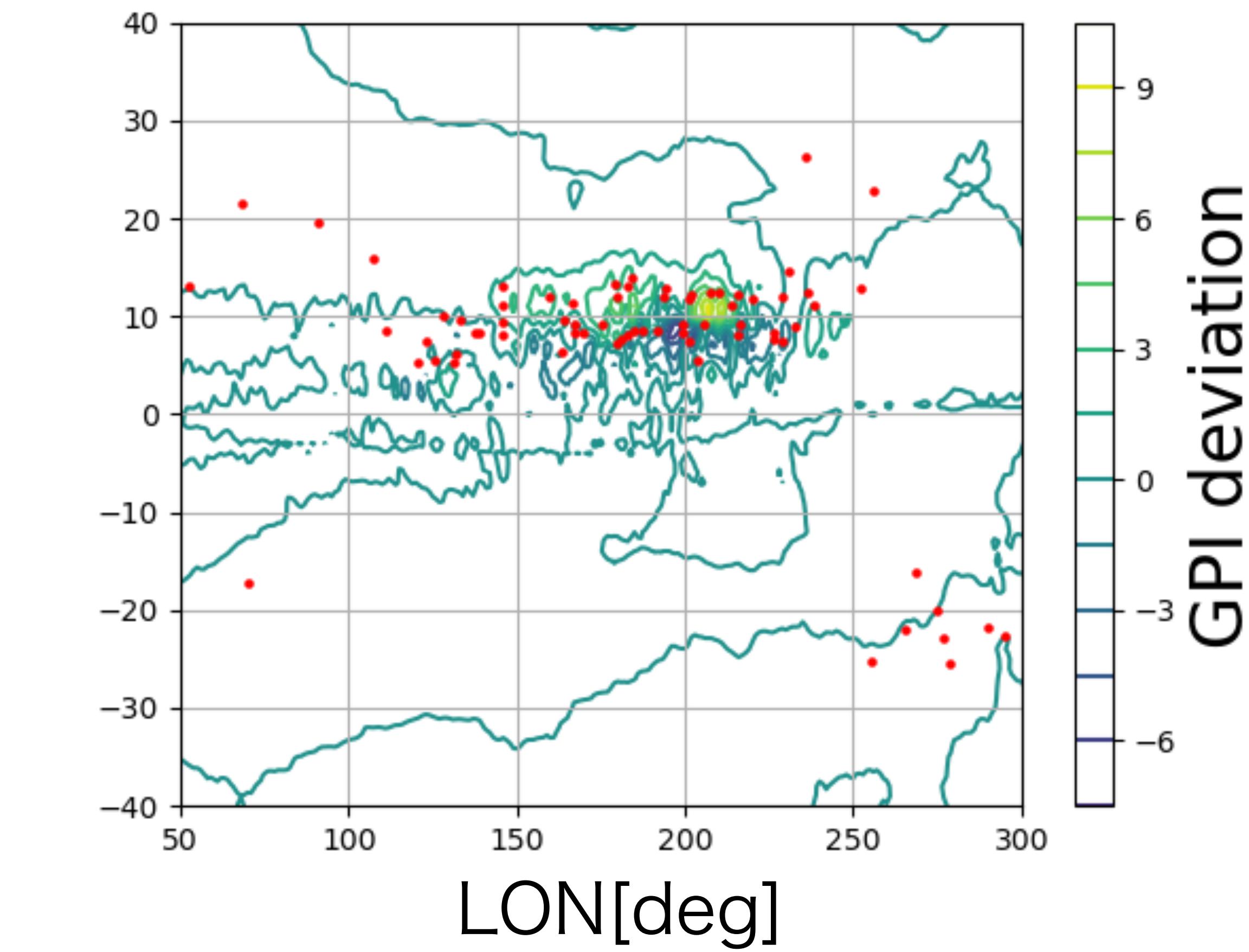
$$\chi = 2(+4K)$$

熱帯低気圧数：73コ



$$\chi = 4(+4K)$$

熱帯低気圧数：92コ



- 基準(+0K)からの偏差

$\chi = 2$ では、一様上昇に伴って発生数が26%減少

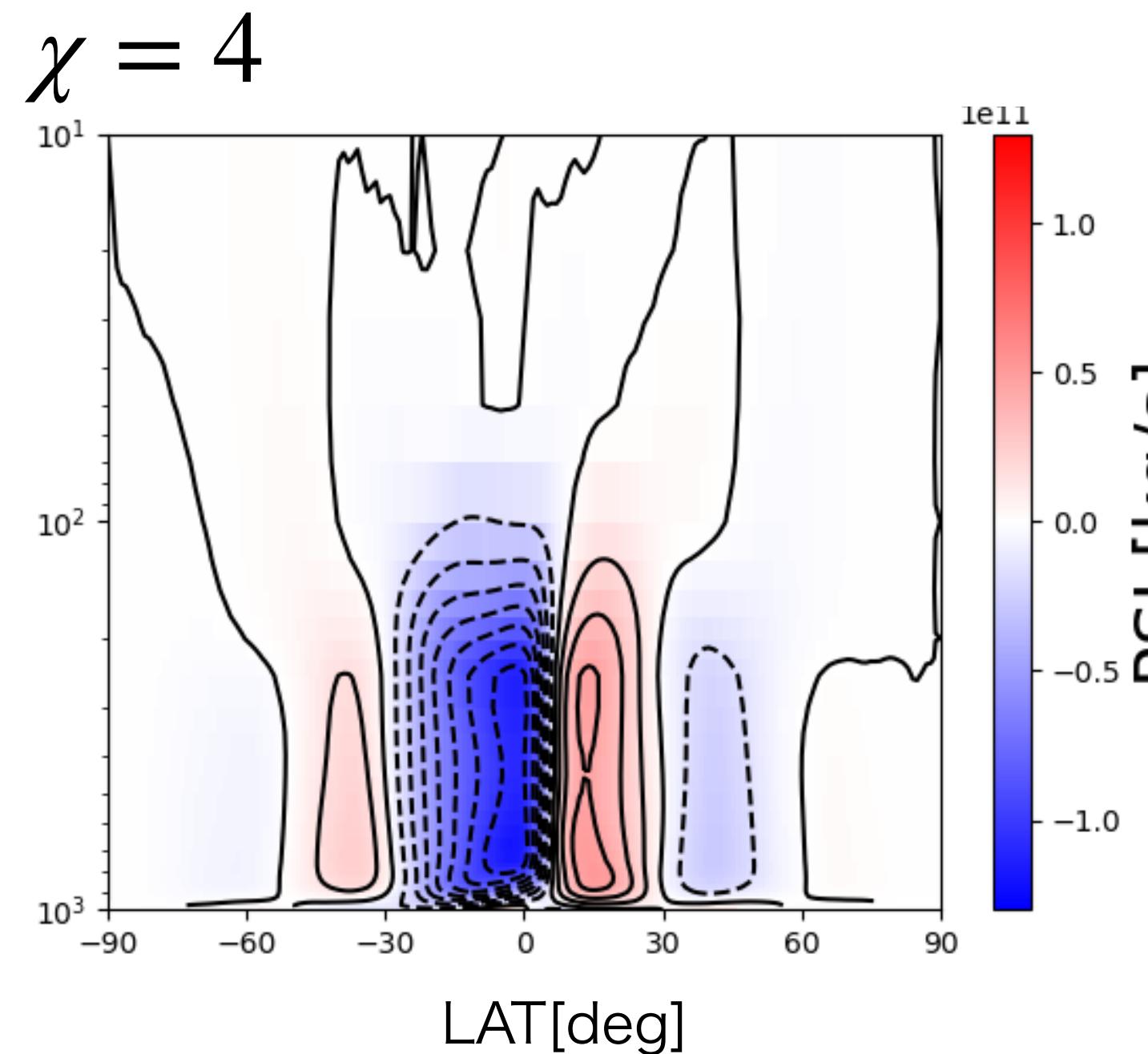
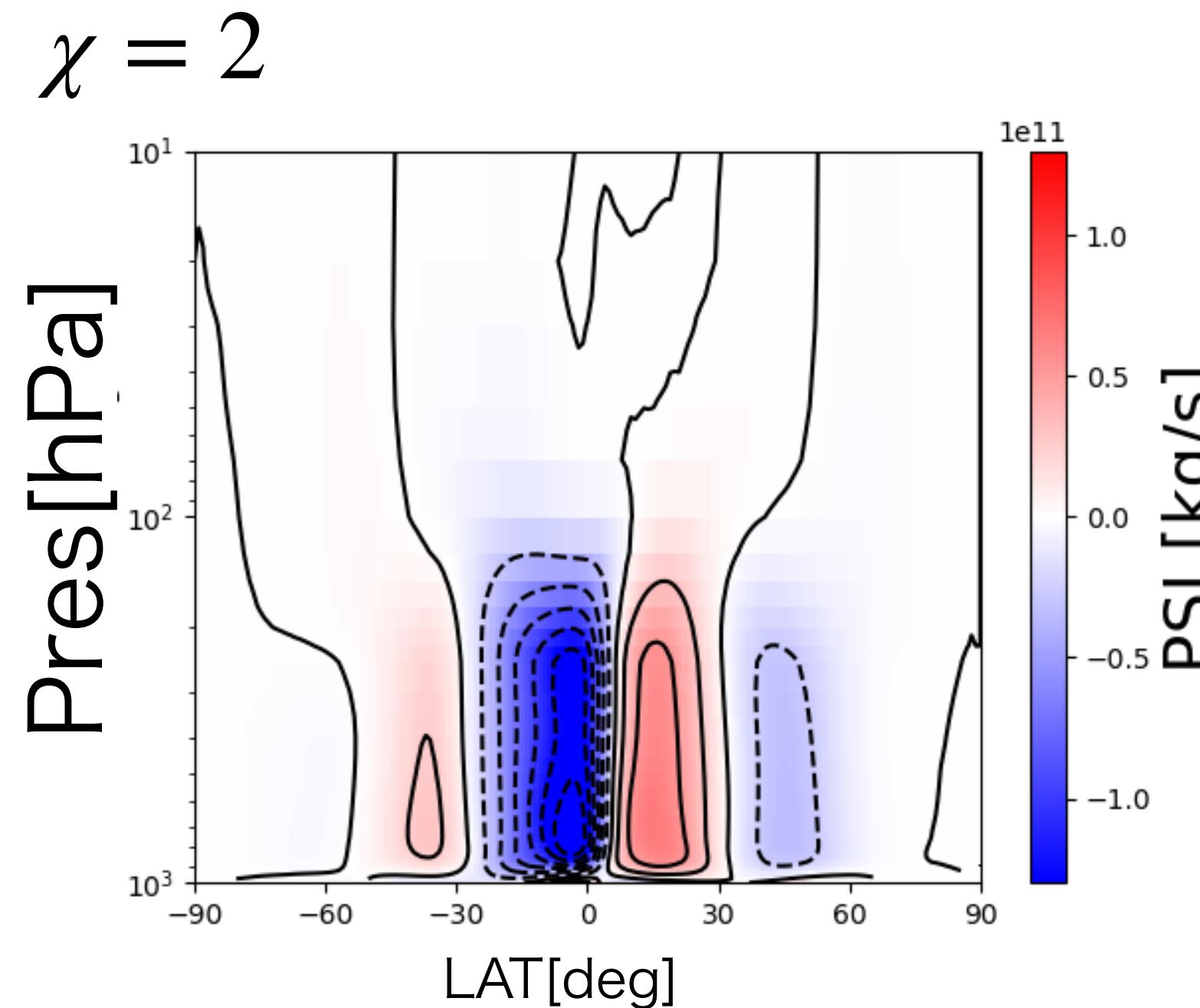
$\chi = 4$ では、一様上昇に伴って発生数が5.7%増加

GPIは温水域で增加

GPIはほぼ変わらず

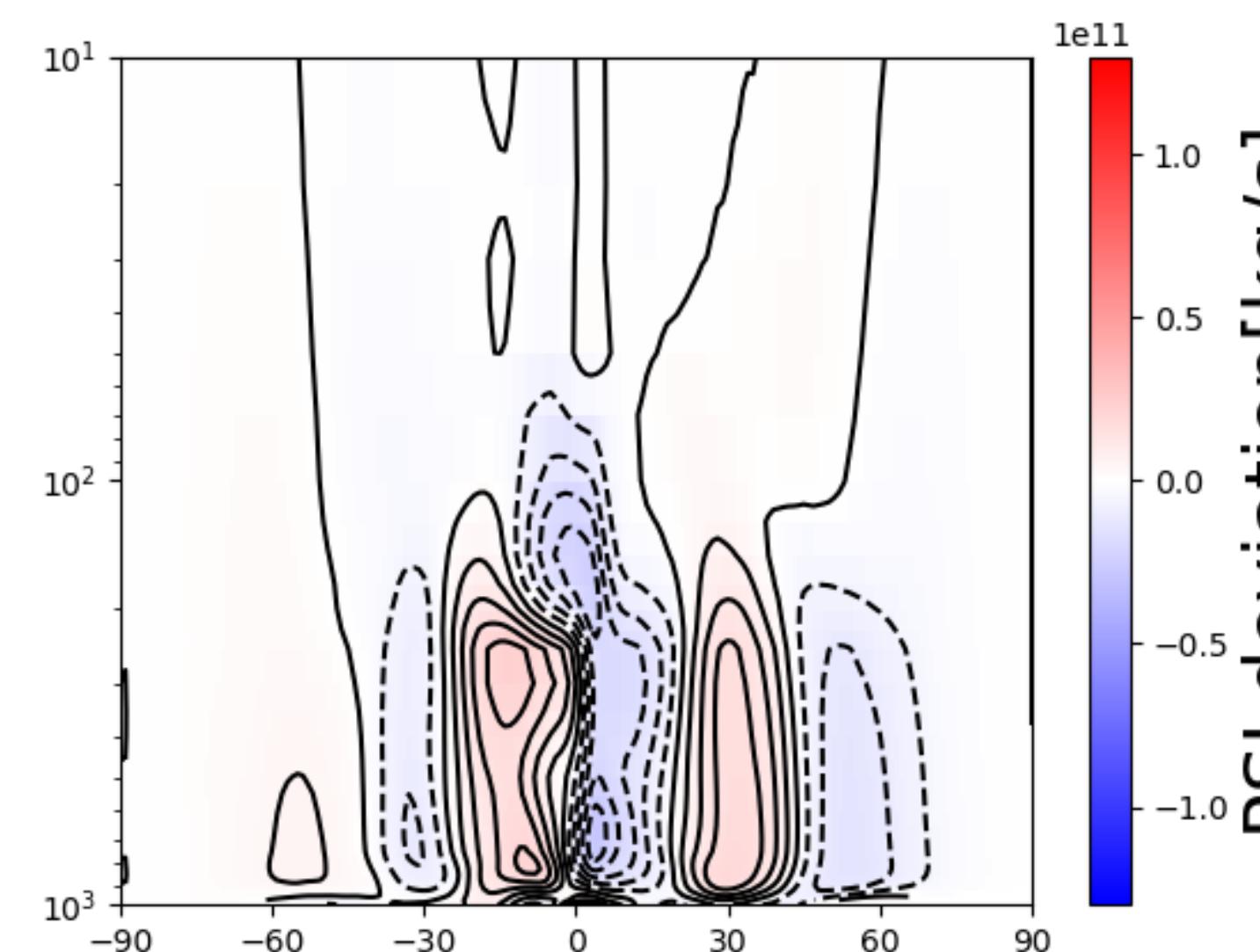
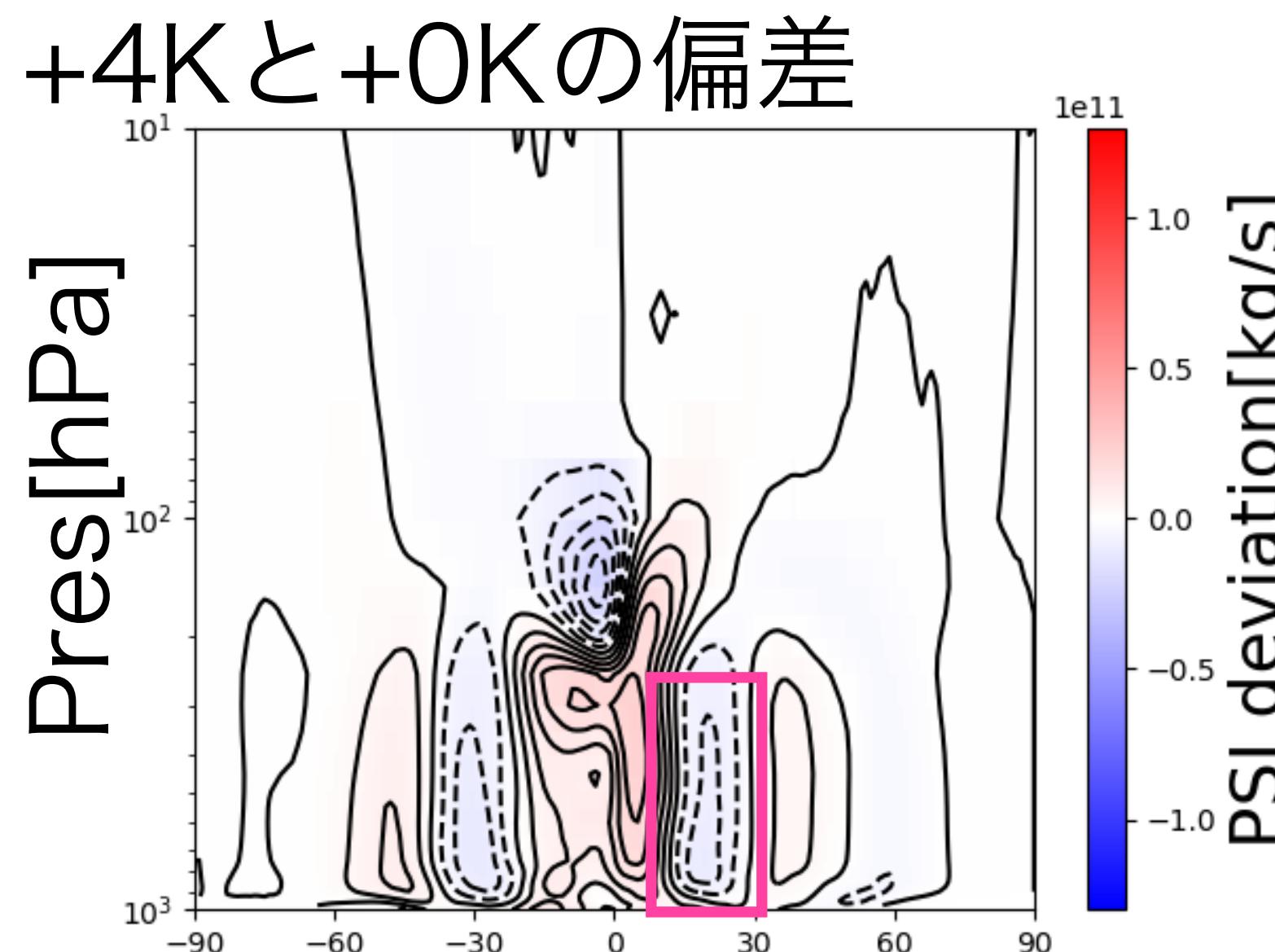
# 4. 一様上昇と発生数

10/12



○質量流線関数[kg/s]

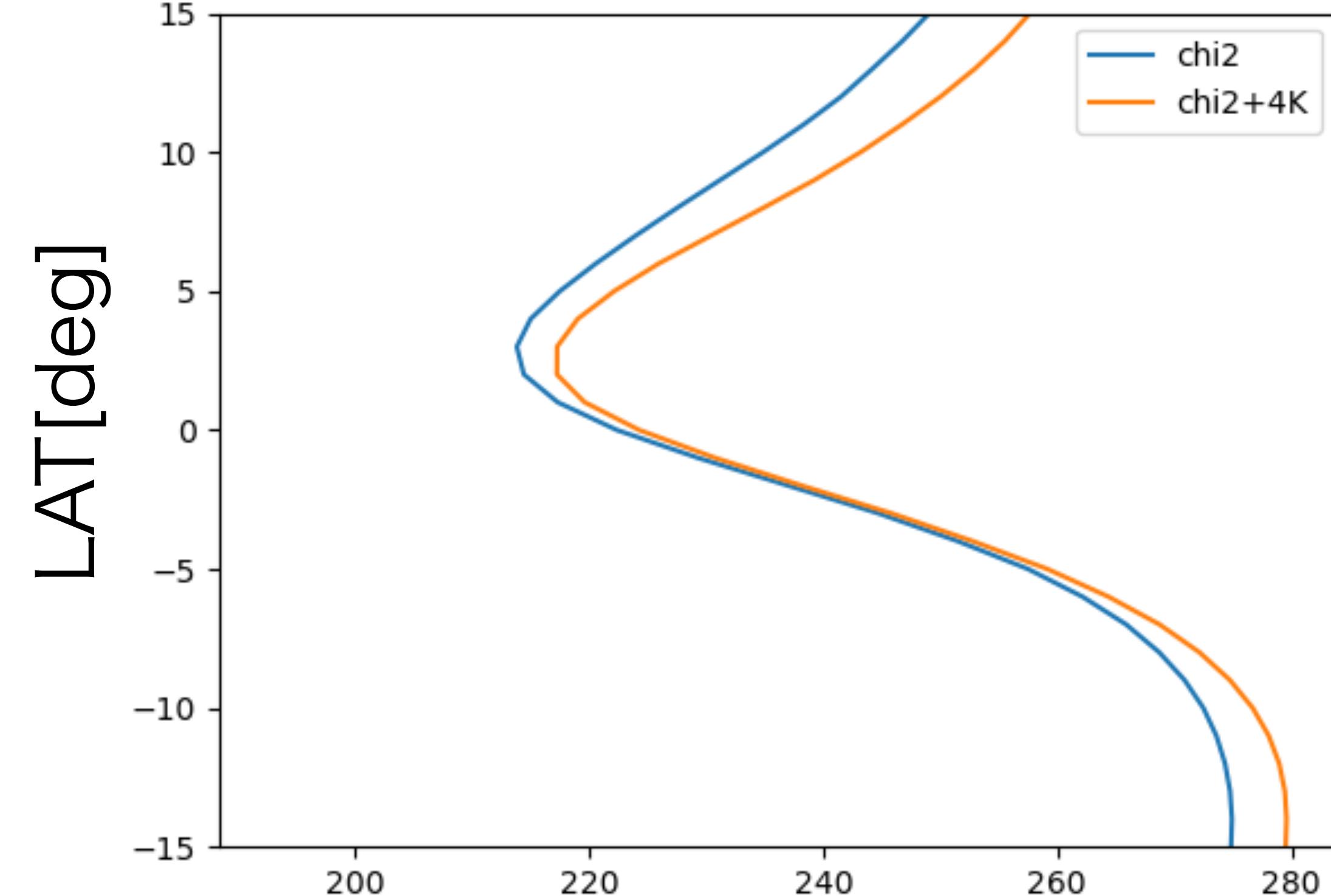
- ・ハドレー循環の強度
- ・循環の弱化と熱帯低気圧数の減少が対応している可能性
- ・増加についてはこれでは説明できない



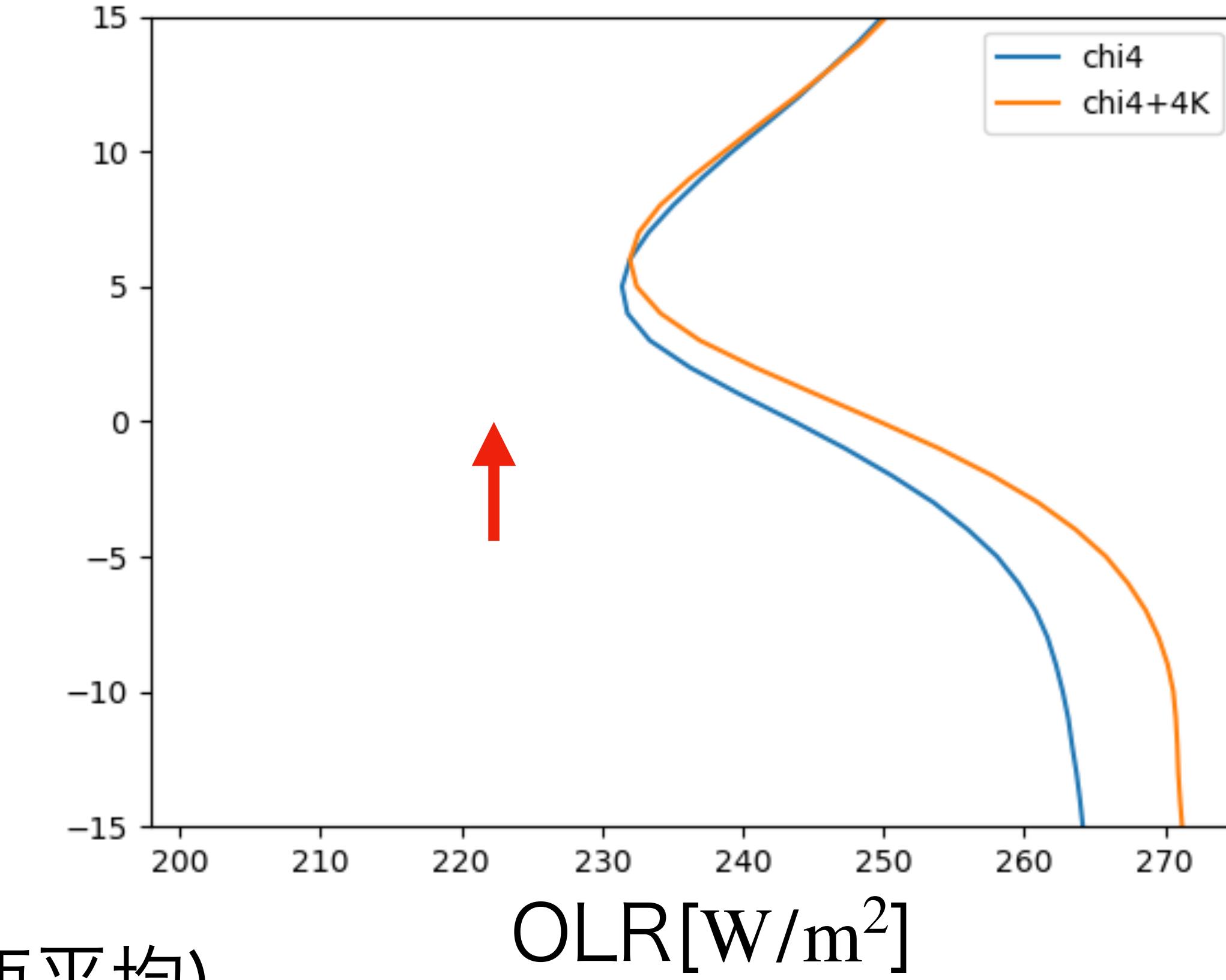
# 4. 一様上昇と発生数

11/12

$\chi = 2$  極小緯度 $2N^\circ \rightarrow$ 極小緯度 $1N^\circ$



$\chi = 4$  極小緯度 $4N^\circ \rightarrow$ 極小緯度 $5N^\circ$



○外向き長波放射(OLR)[W/m<sup>2</sup>] (ここでは東西平均)

- ・低い場合、雲頂からの放射によるものと考えられる  
→低いほど対流活動が活発、極小はITCZ緯度に対応

- ・ITCZ緯度の北上が熱帯低気圧増加に対応する可能性(Meris et al(2013))

## 結論

- 東西海面水温勾配の増加に伴って熱帯低気圧数は**増加**傾向があるが、途中で**減少**傾向に転じる
- 一様上昇については**減少**が大きく、**増加**の場合も5%ほどにとどまる
- GPI変化は勾配変化にはよく対応、しかし一様上昇にはあまり対応しない
- 現実大気においては温暖化に伴って減少傾向が見られる
  - 一様上昇の効果が現れている可能性が高い
  - 東西勾配変化はこの変化に拮抗する傾向にあることから、今後さらに温暖化した場合、現在とは異なる熱帯低気圧数変化となる可能性がある

## 課題点

- 東西勾配に対する一様上昇効果の大きさの違いの調査
  - より東西海面水温勾配が大きなサンプルの追加、一様上昇のサンプル追加

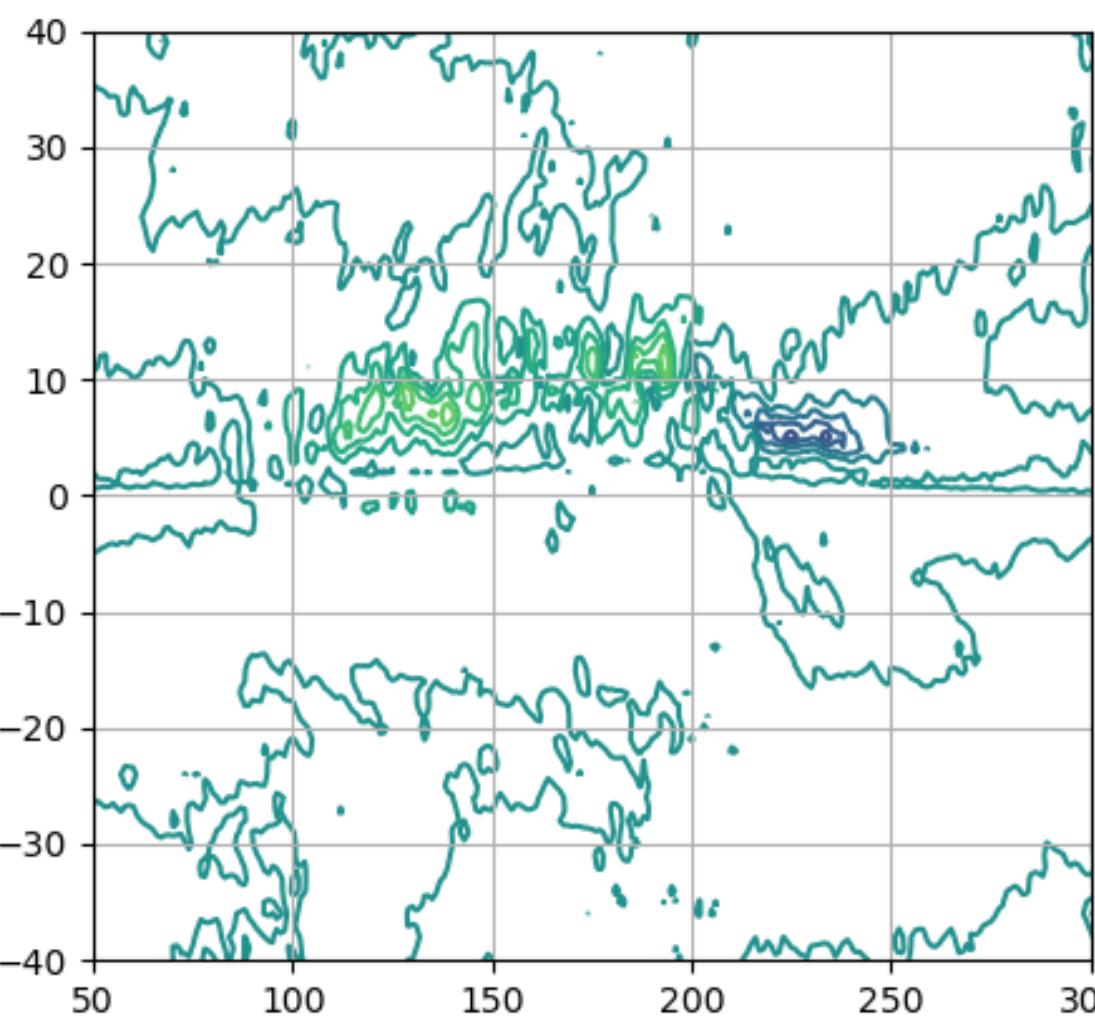
# 付録. 東西勾配変化と発生数

- $\chi = 1$  と  $\chi = 3$  の GPI の各パラメータから総数変化の原因を調べる

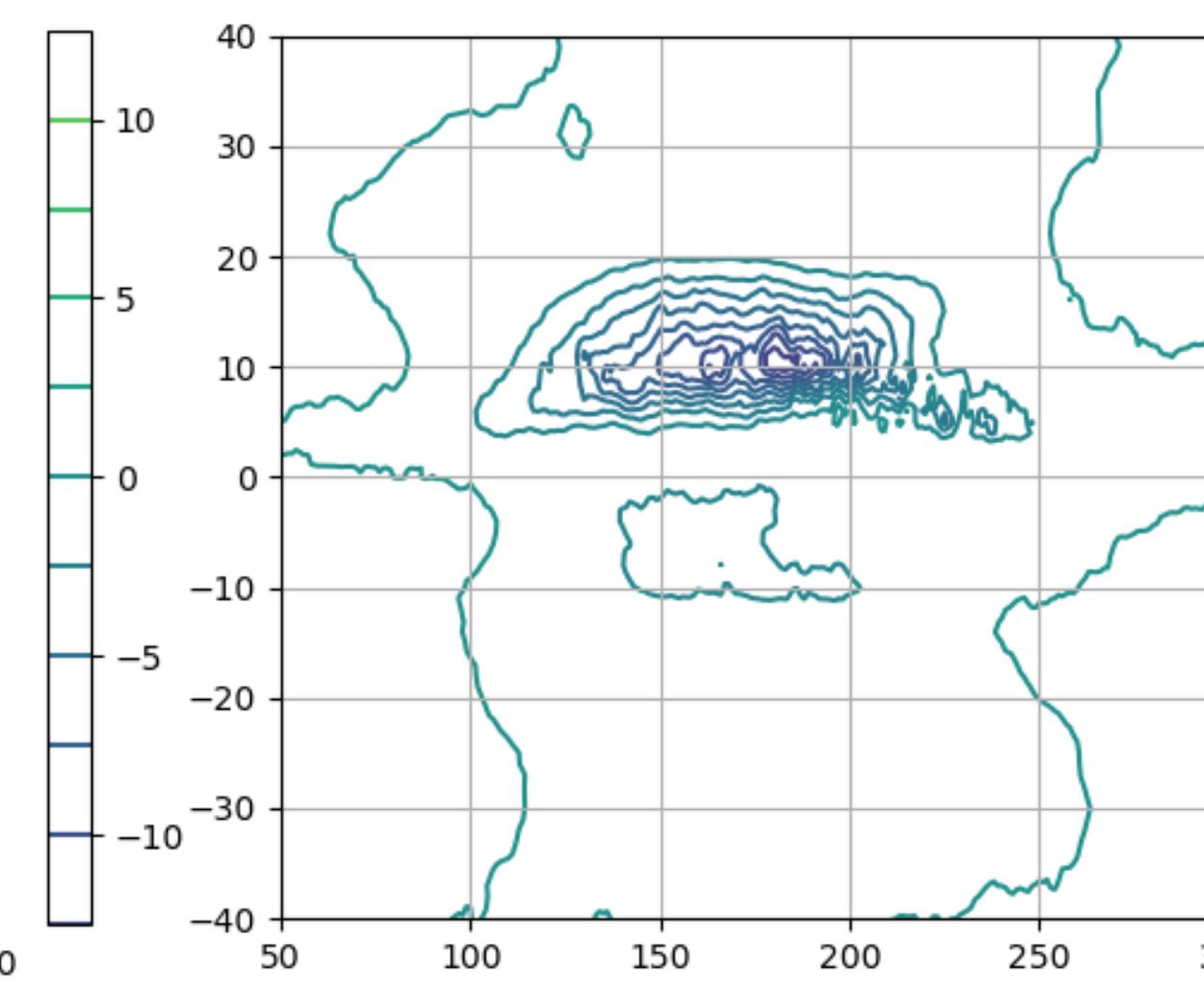
$$GPI = |10^5 \eta|^{1.5} \left( \frac{RH}{50} \right)^3 \left( \frac{V_{pot}}{70} \right)^3 (1 + 0.1 V_{shear})^{-2}$$

- 基準 ( $\chi = 0$ ) からの偏差

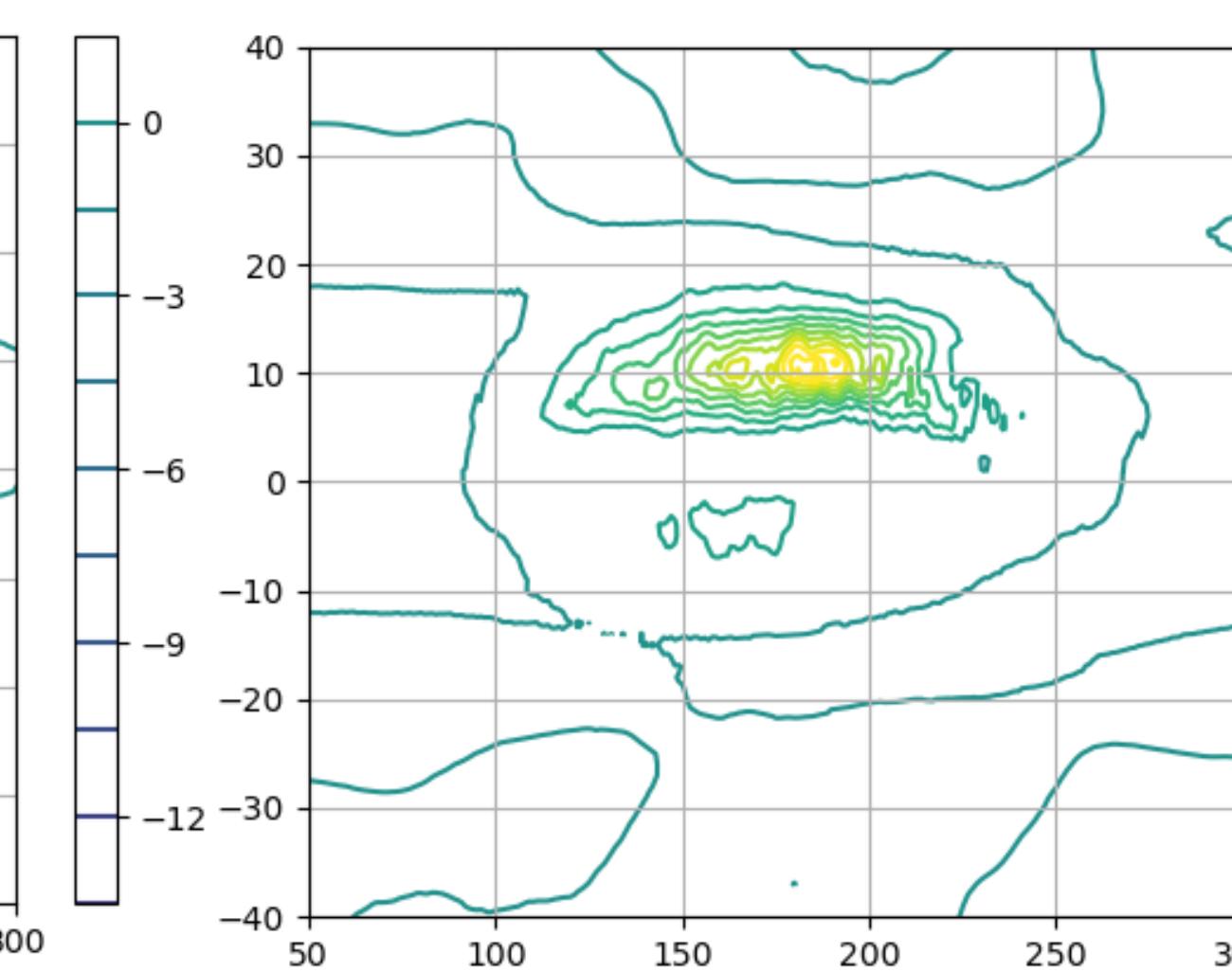
絶対渦度の効果



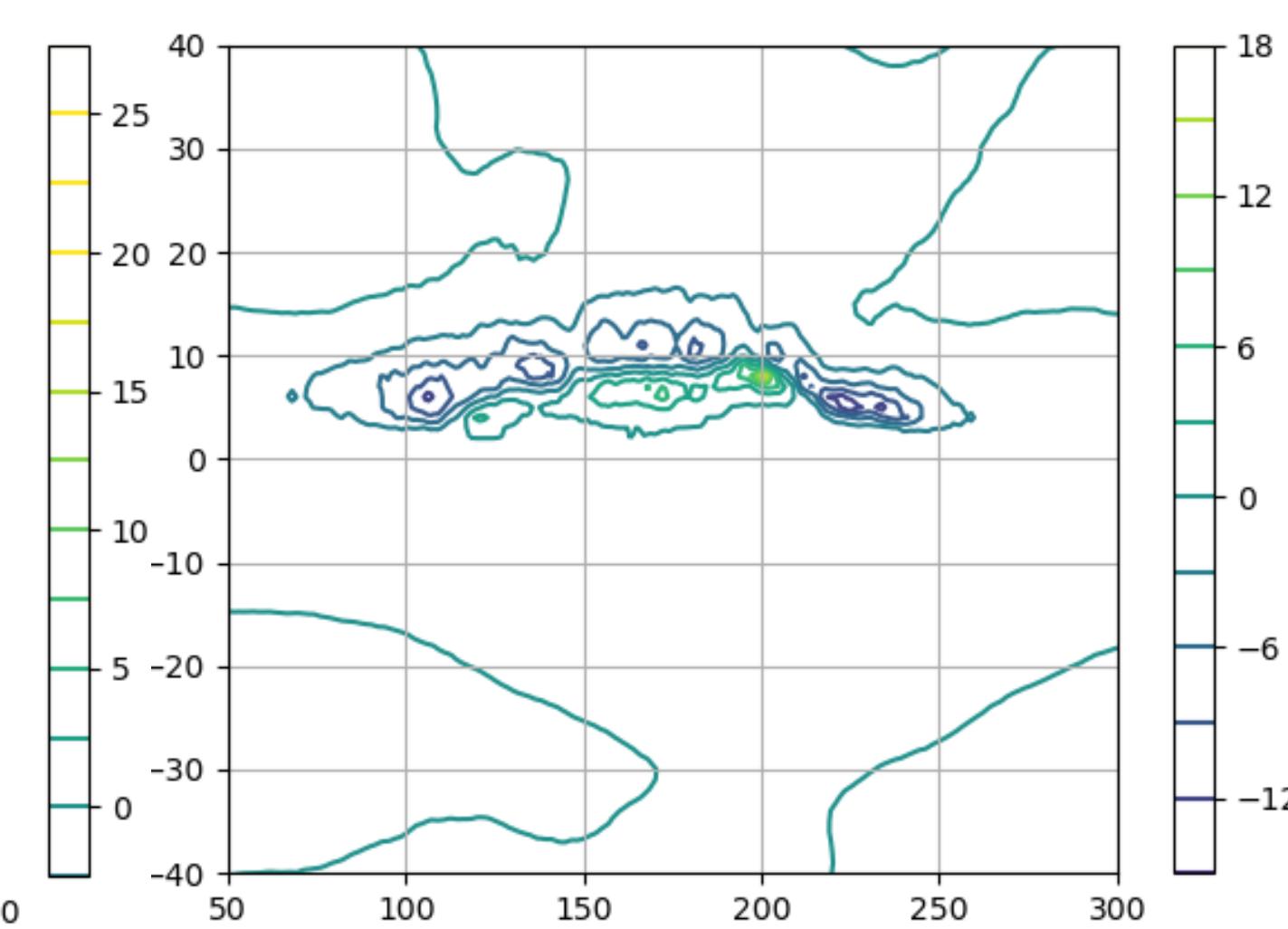
相対湿度の効果



MPIの効果



シアの効果



最大ポテンシャル強度の増加による効果が大きく寄与  
→これが熱帯低気圧增加の大きな要因の可能性

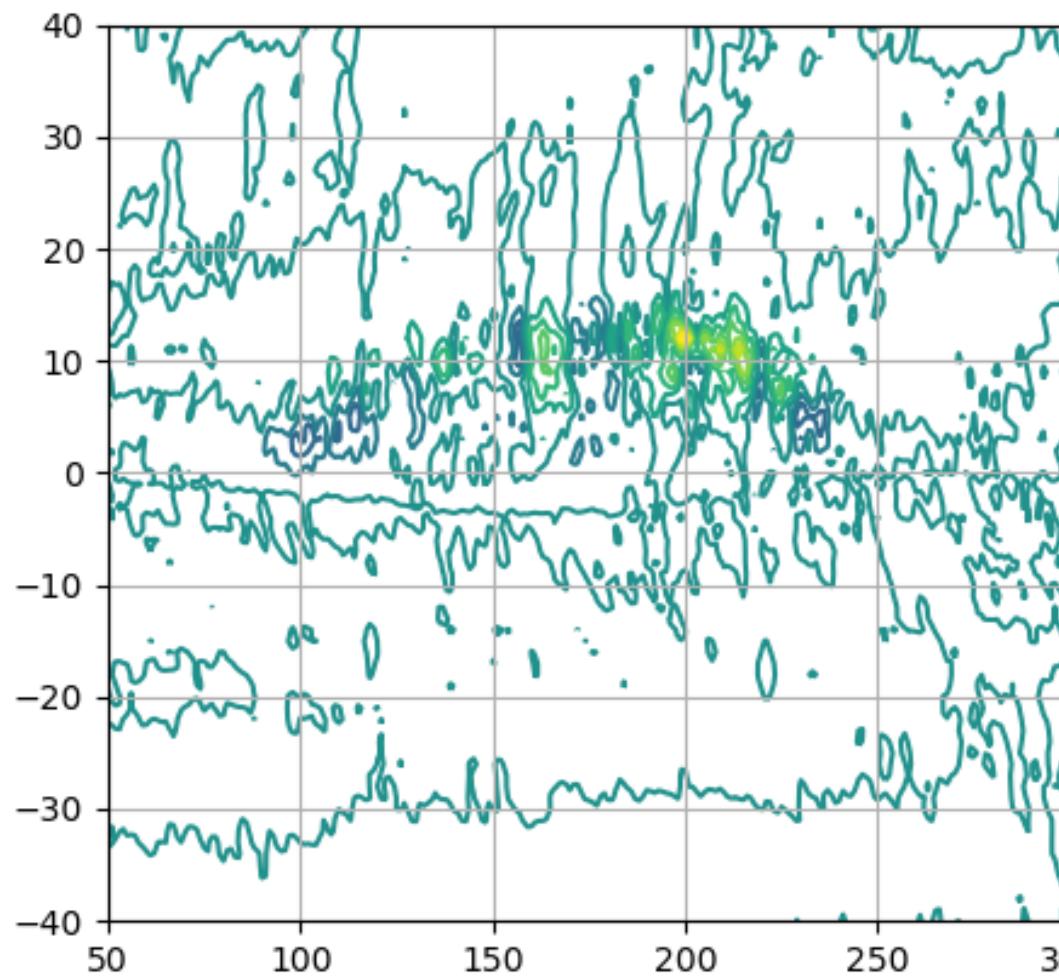
# 付録. 一様上昇と発生数

- $\chi = 2 + 0\text{K}$  と  $+4\text{K}$  の GPI の各パラメータから総数変化の原因を調べる

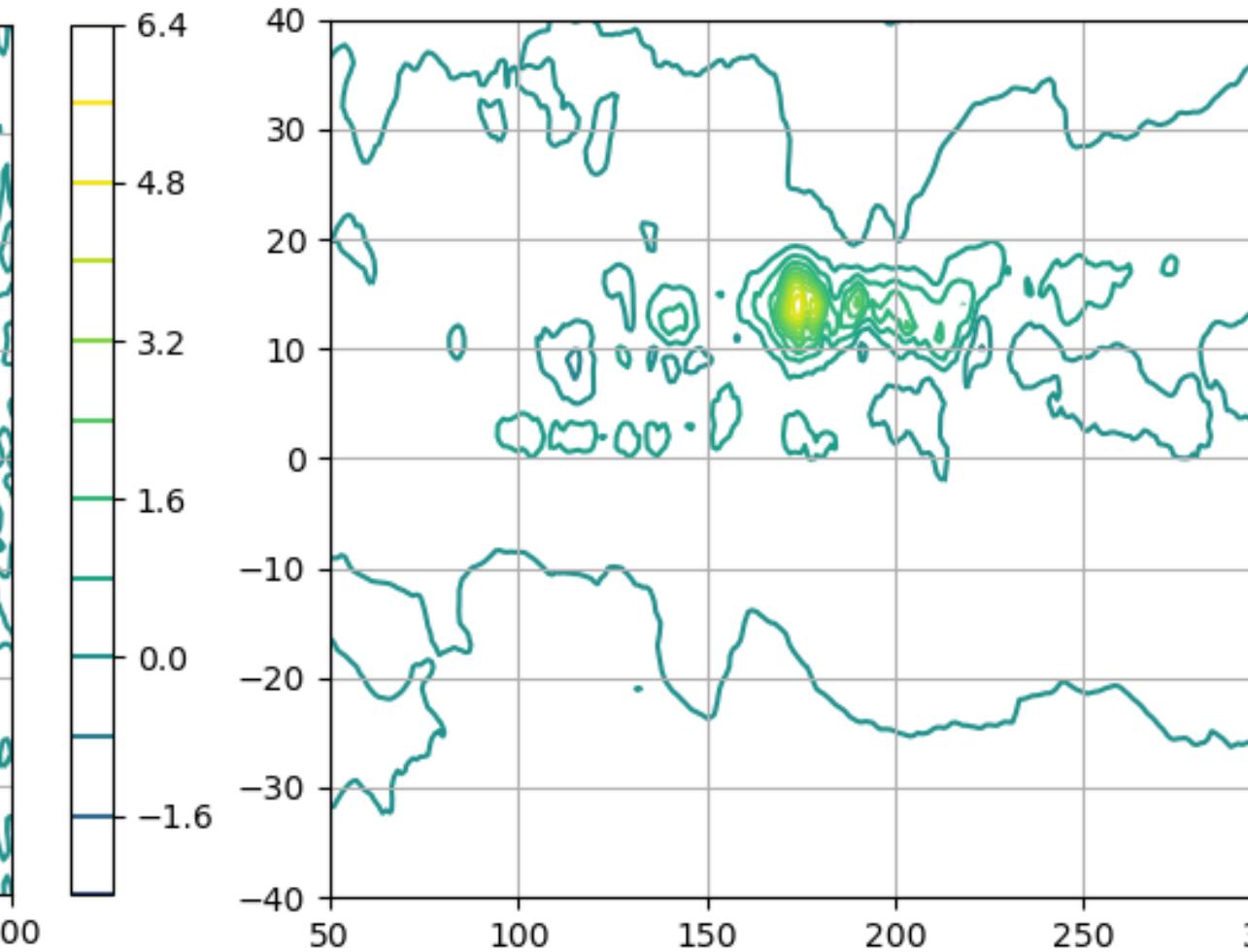
$$GPI = |10^5 \eta|^{1.5} \left( \frac{RH}{50} \right)^3 \left( \frac{V_{pot}}{70} \right)^3 (1 + 0.1 V_{shear})^{-2}$$

- 基準( $\chi = 2$ )からの偏差

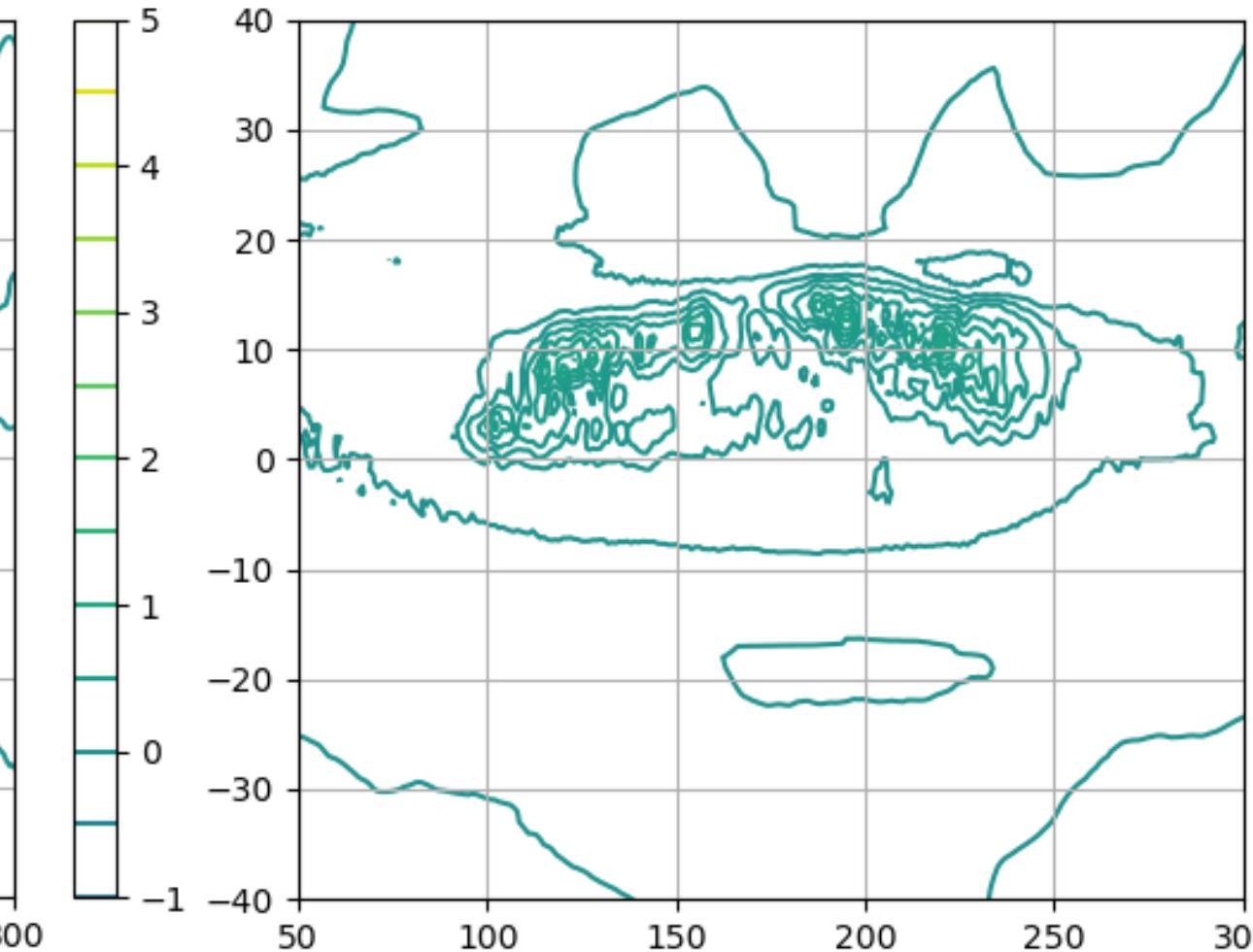
絶対渦度の効果



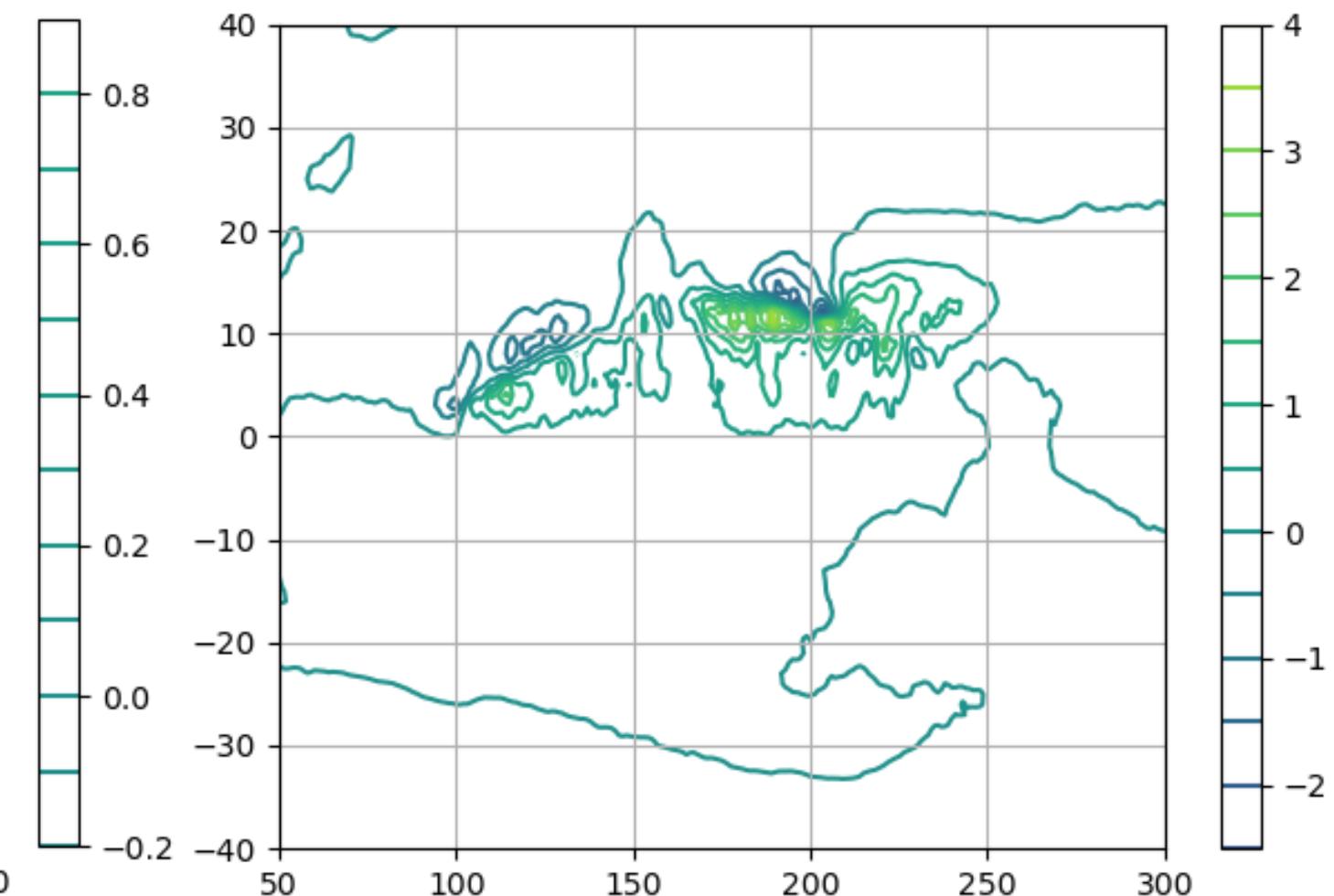
相対湿度の効果



MPIの効果



シアの効果

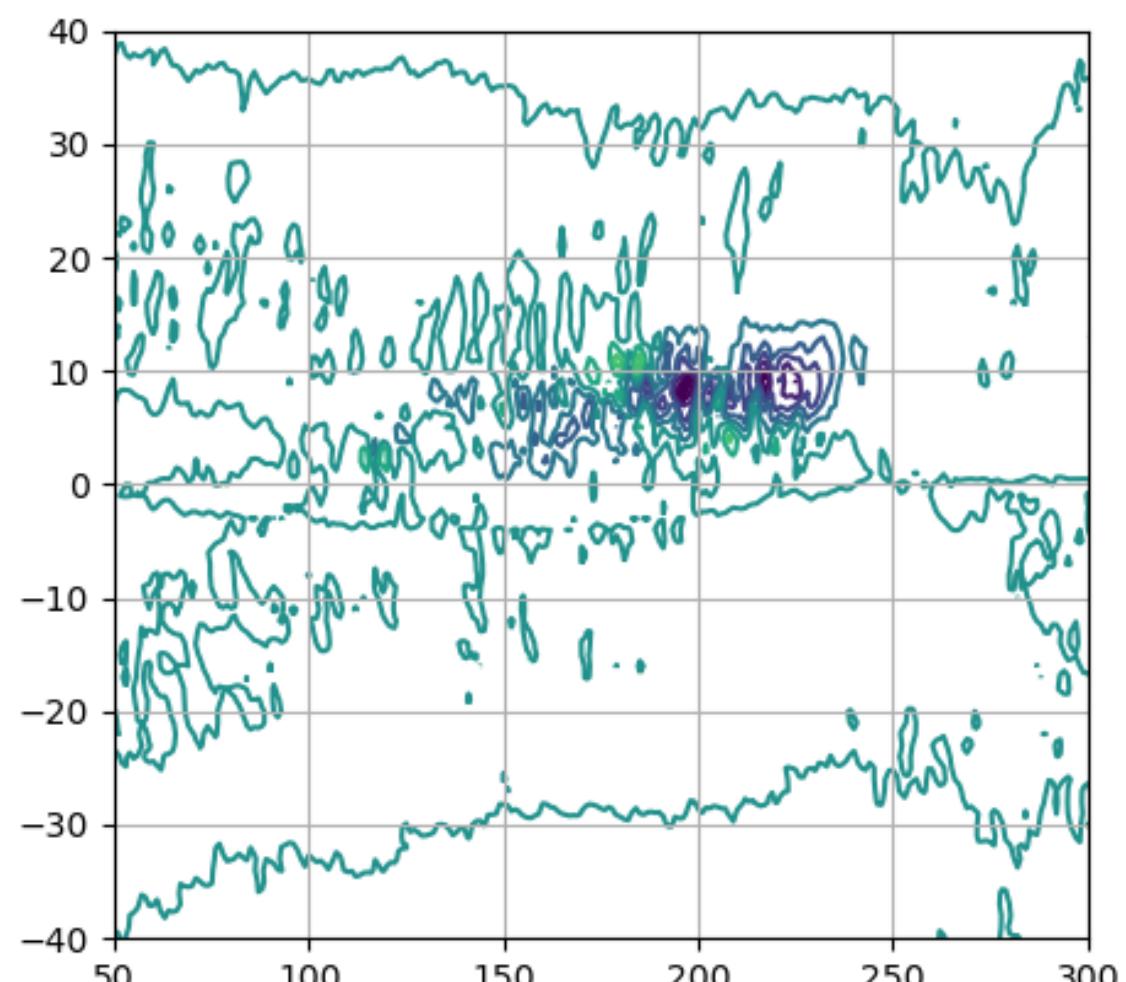


最大ポテンシャル強度はほぼ変わらず、他の3つで上昇  
→熱帯低気圧数が減少していることに注意

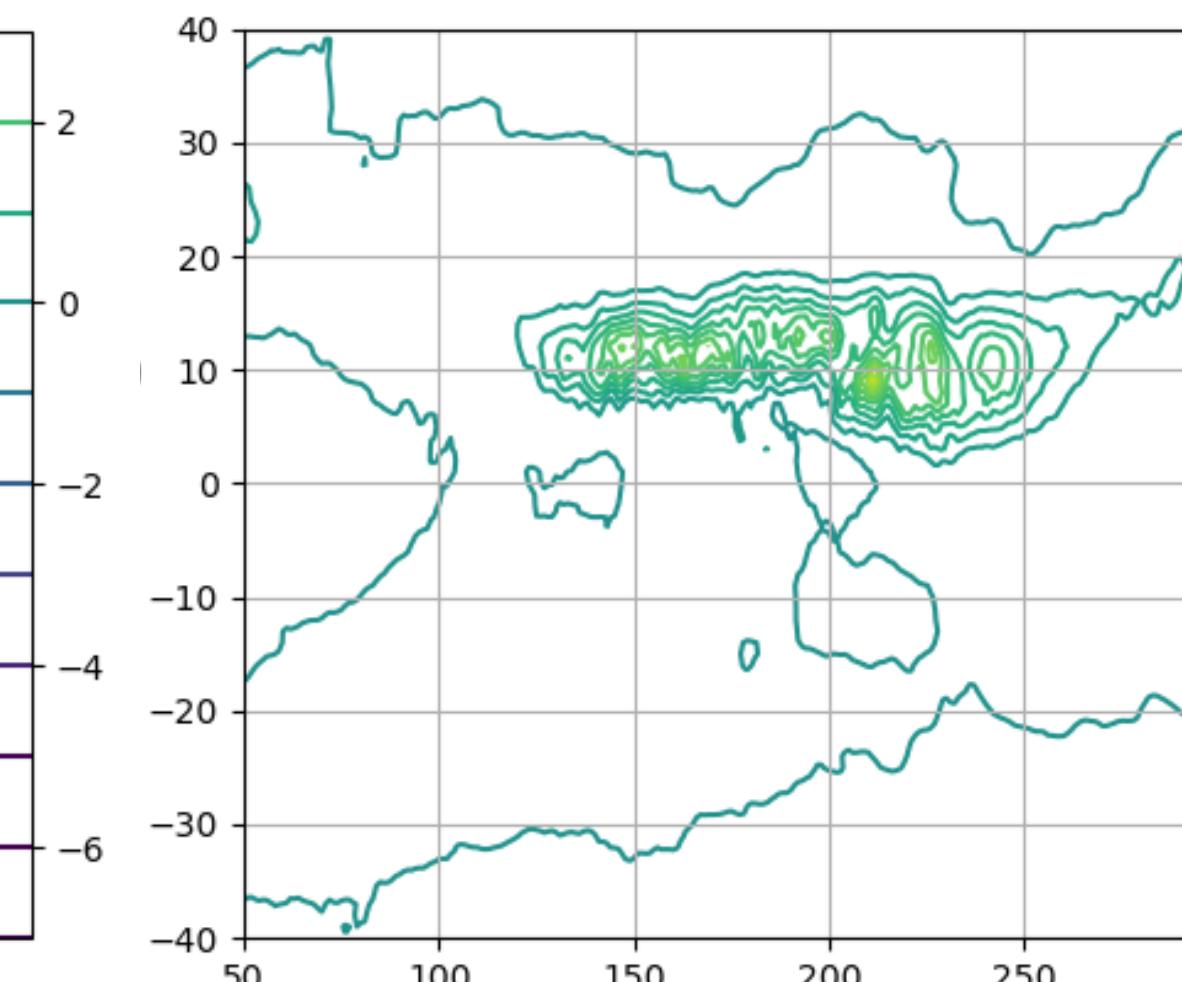
# 付録. 一様上昇と発生数

- $\chi = 4 + 0\text{K}$  と  $+4\text{K}$  の場合

絶対渦度の効果

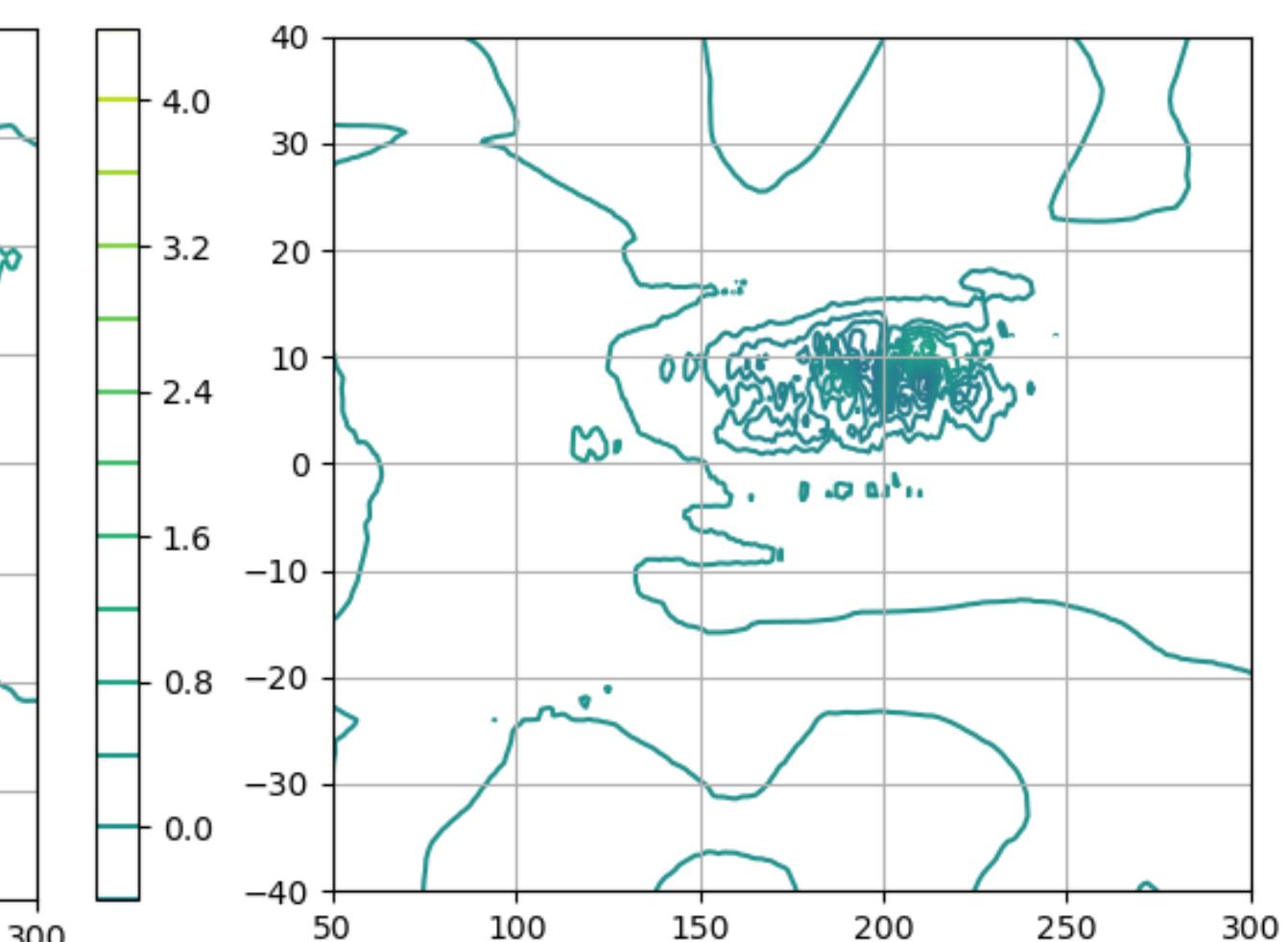


相対湿度の効果

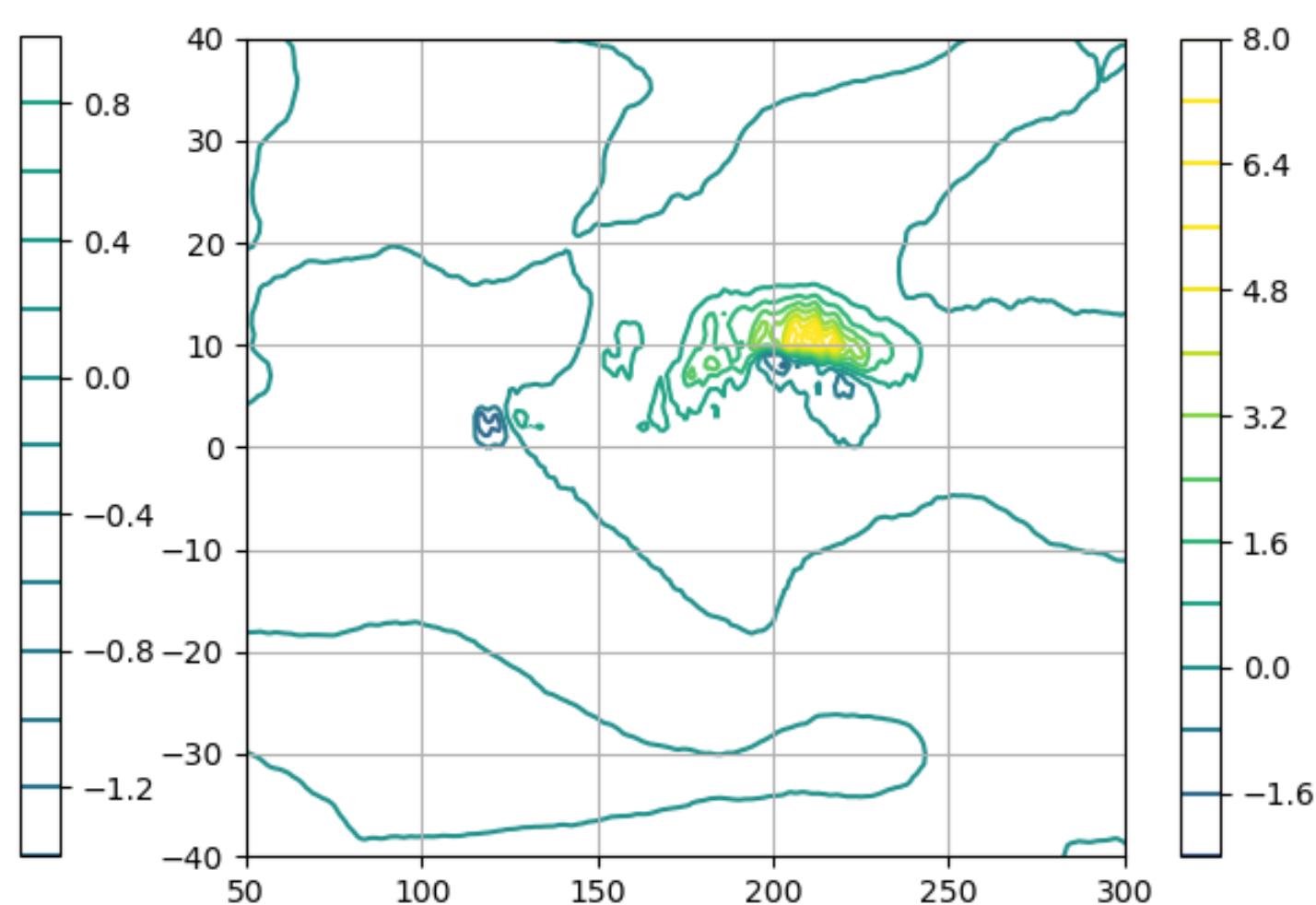


- 基準( $\chi = 4$ )からの偏差

MPIの効果

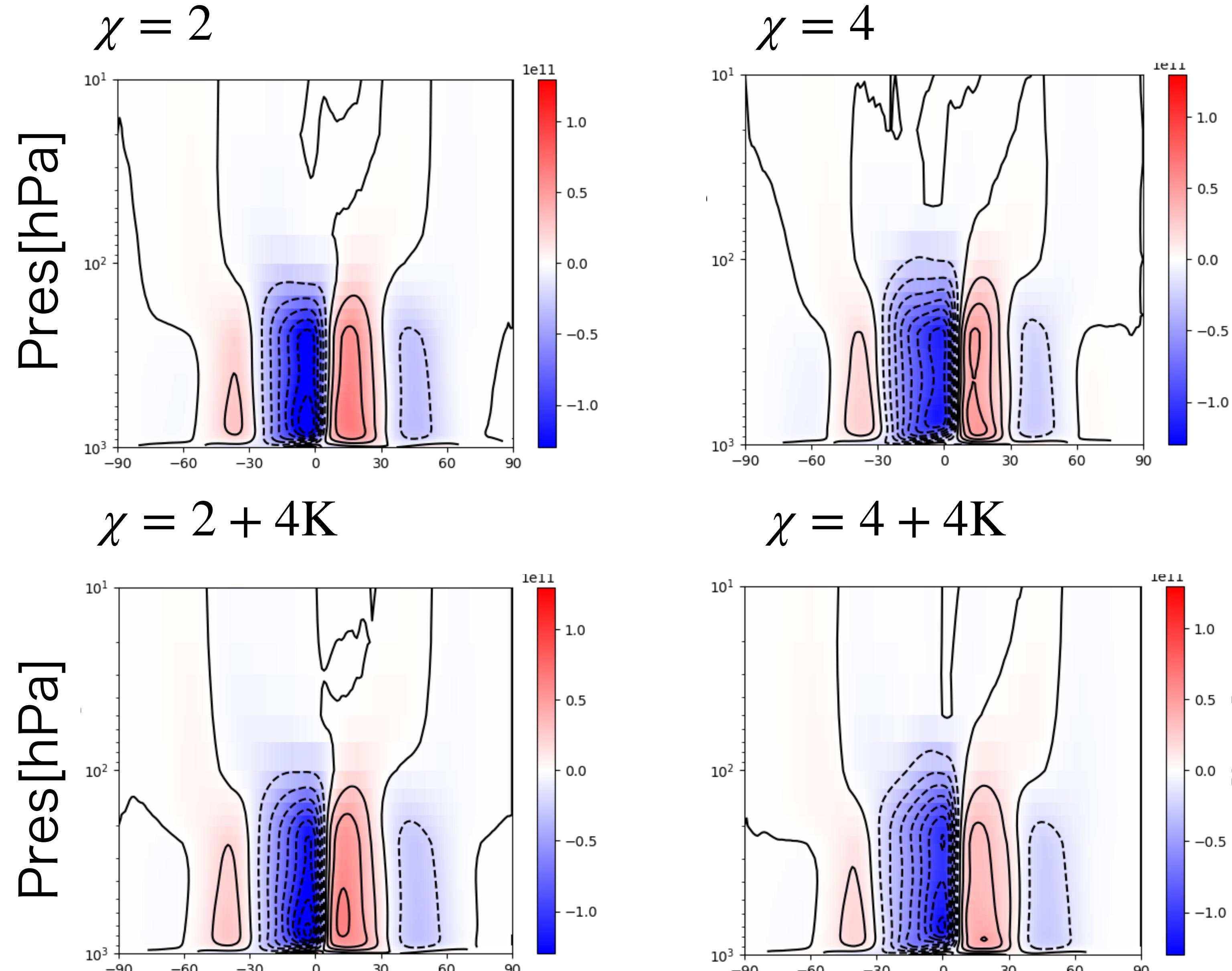


シアの効果



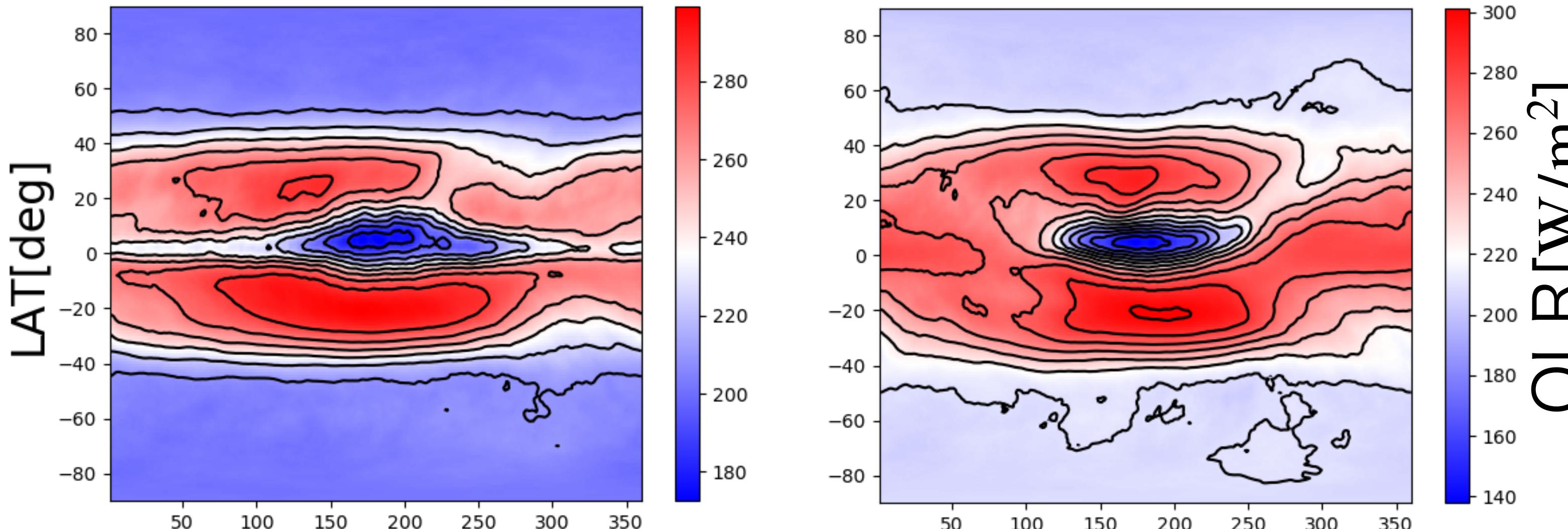
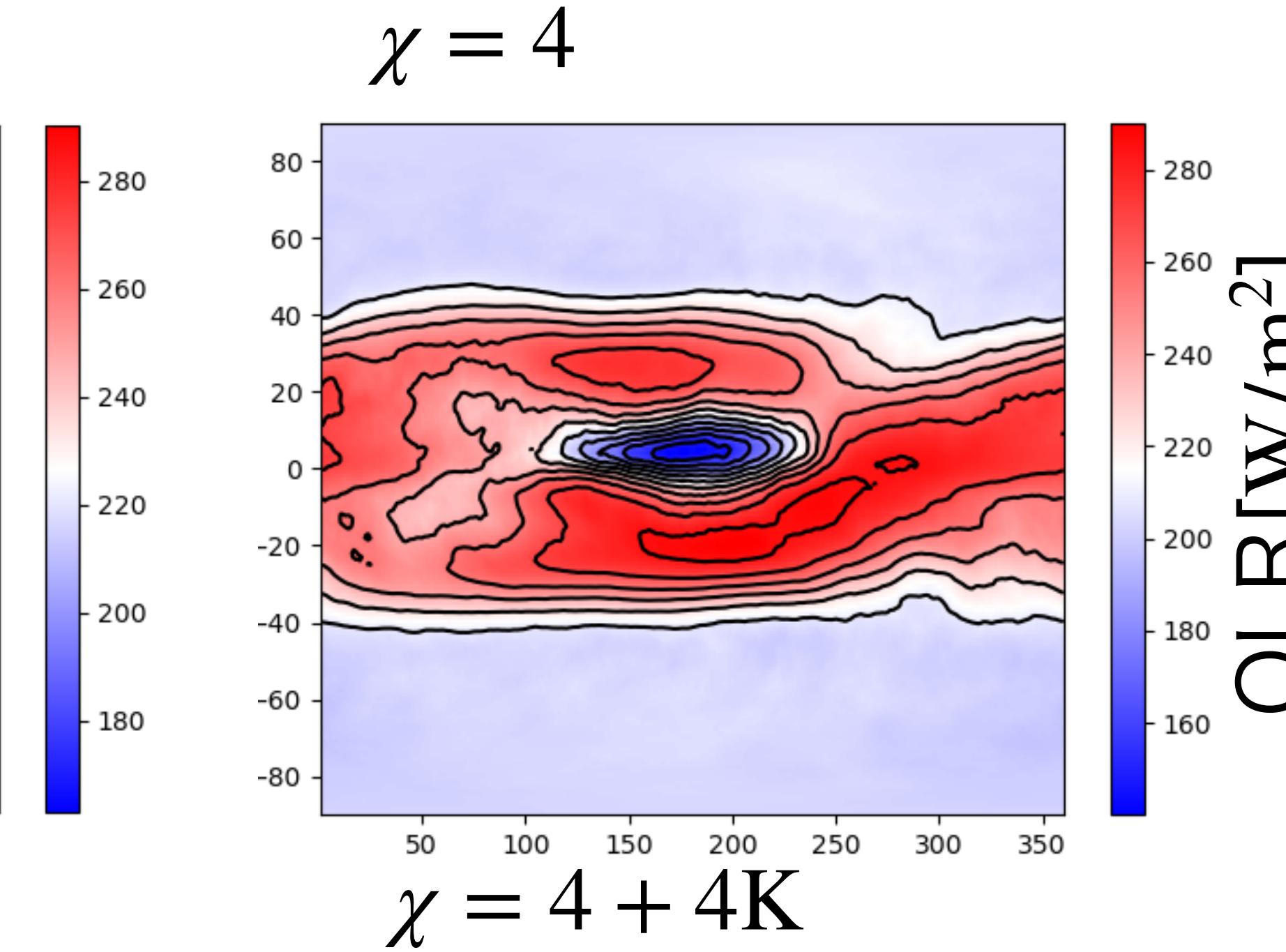
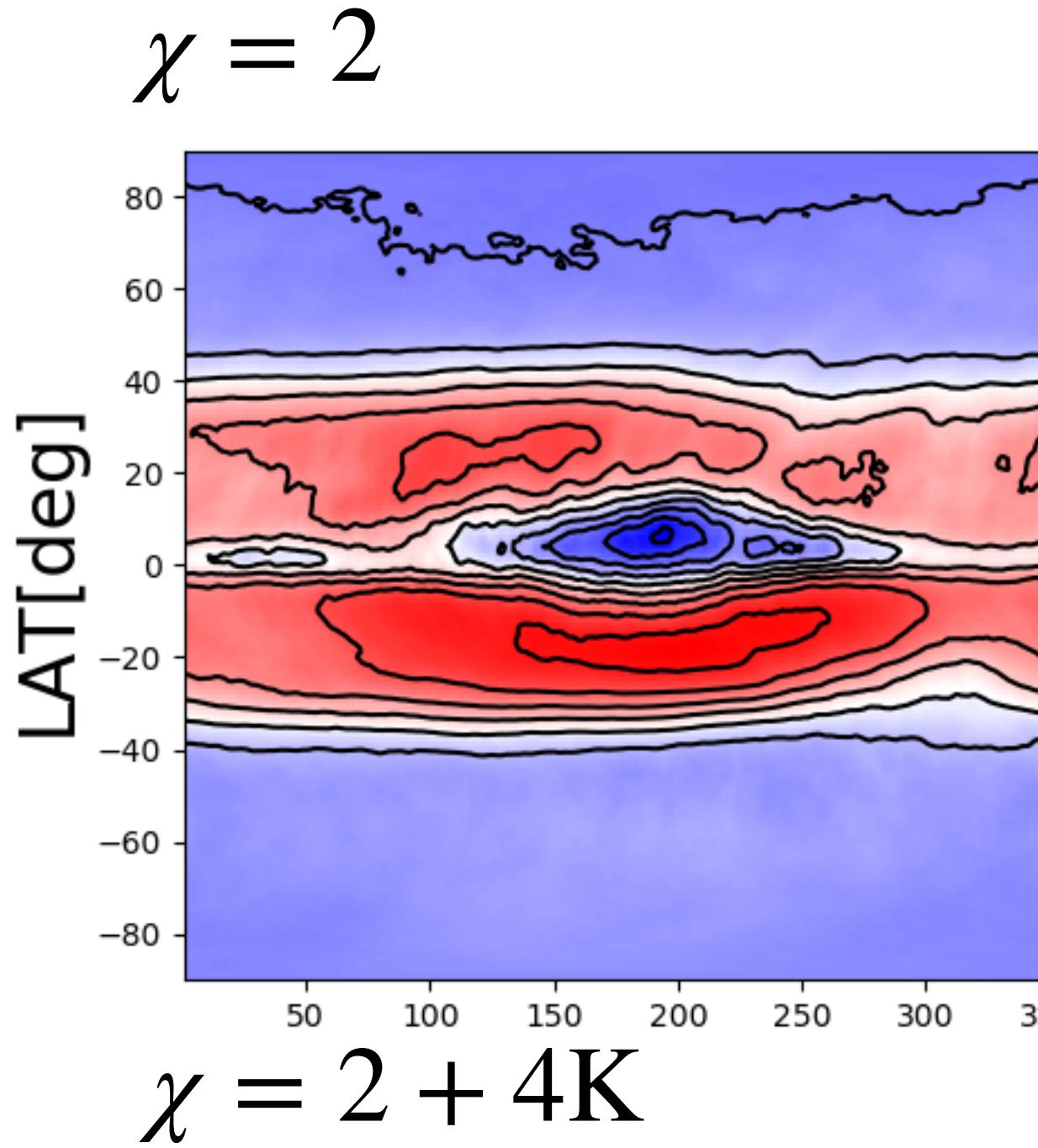
こちらも最大ポテンシャル強度はほぼ変わらず、他の3つが変化

# 付録. 質量流線関数



- 質量流線関数[kg/s]
- ・ハドレー循環の強度
- ・ここでは東西平均)  
横軸は緯度

# 付録. 外向き長波放射



- 外向き長波放射(OLR)[W/m<sup>2</sup>]
  - ・時間平均
  - ・横軸は経度
  - ・OLRが低いところ  
(図の青い地点)は対流が強く、熱帯低気圧発生の要因になる