

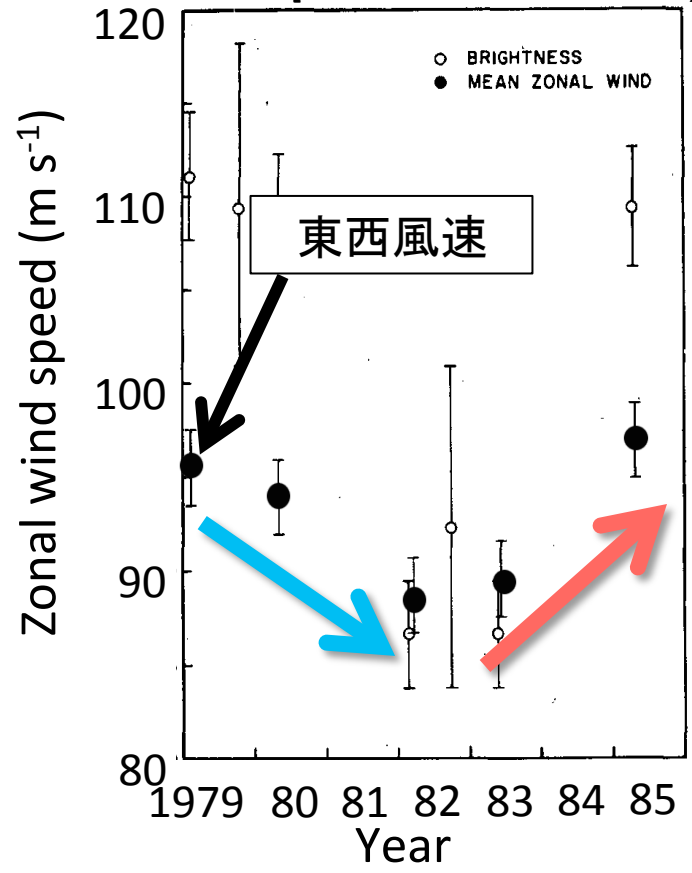
# 金星雲上層高度での 風速変動について

神山徹 (産総研)

# スーパーローテーション(東西風速)の時間変化

## 1979-1985年の東西風速変化

[Del Genio and Rossow, 1990]



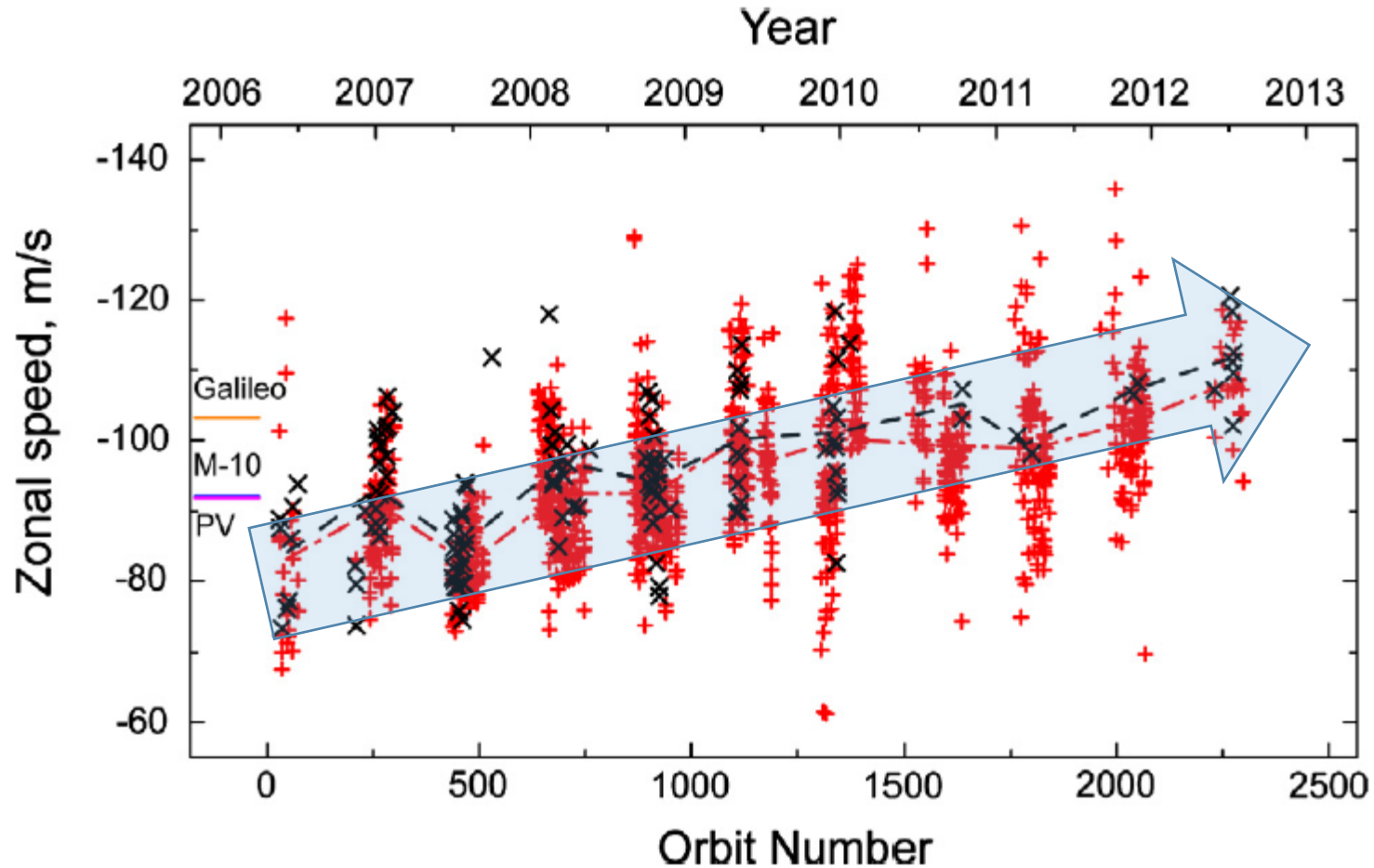
- 変動の基本的特性
  - 周期性の有無
  - 振幅
  - 地域性
- 変動が生じる理由

明らかではない

10 m/s程度の変動  
数年スケールの周期的変動？

# 風速の増加トレンド

6年かけて90 m/s  $\rightarrow$  110 m/s になったように見える

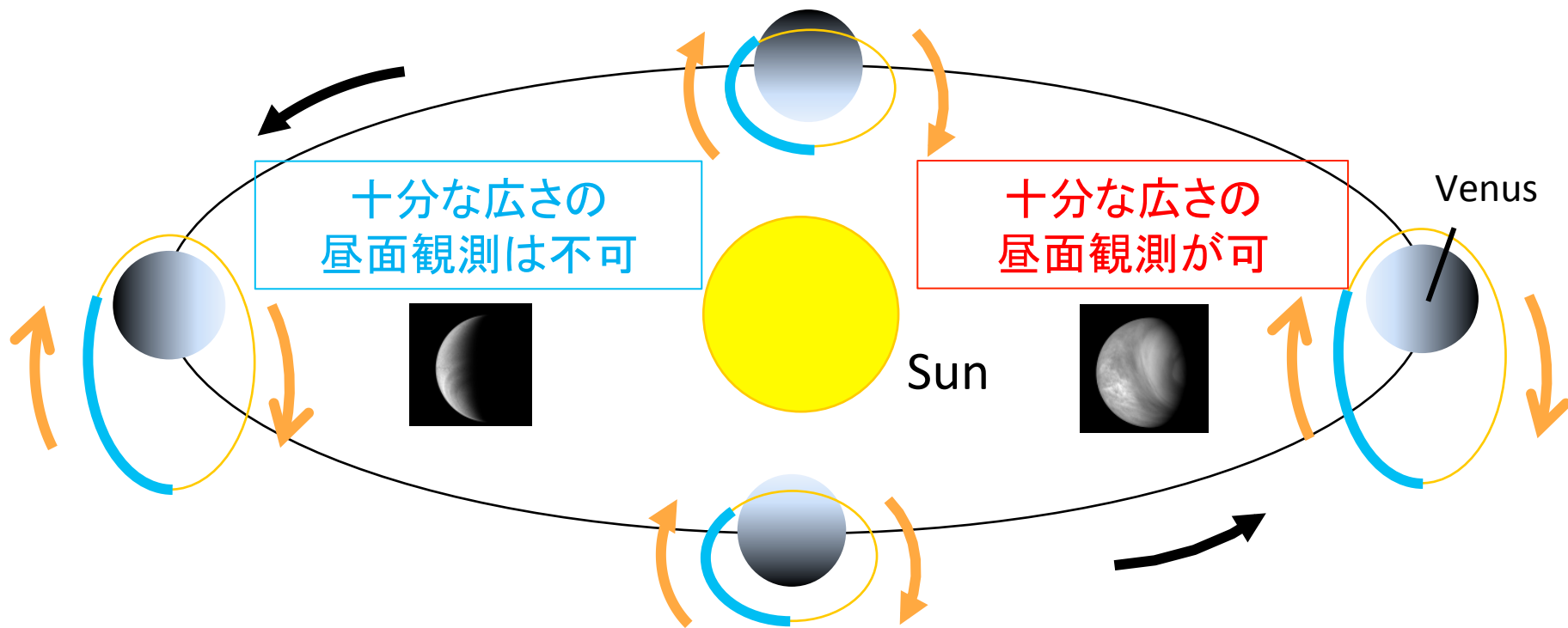


“x”: 人の目によるトラッキング  
“+”: 相関計算によるトラッキング

[Khatuntsev et al., 2013]

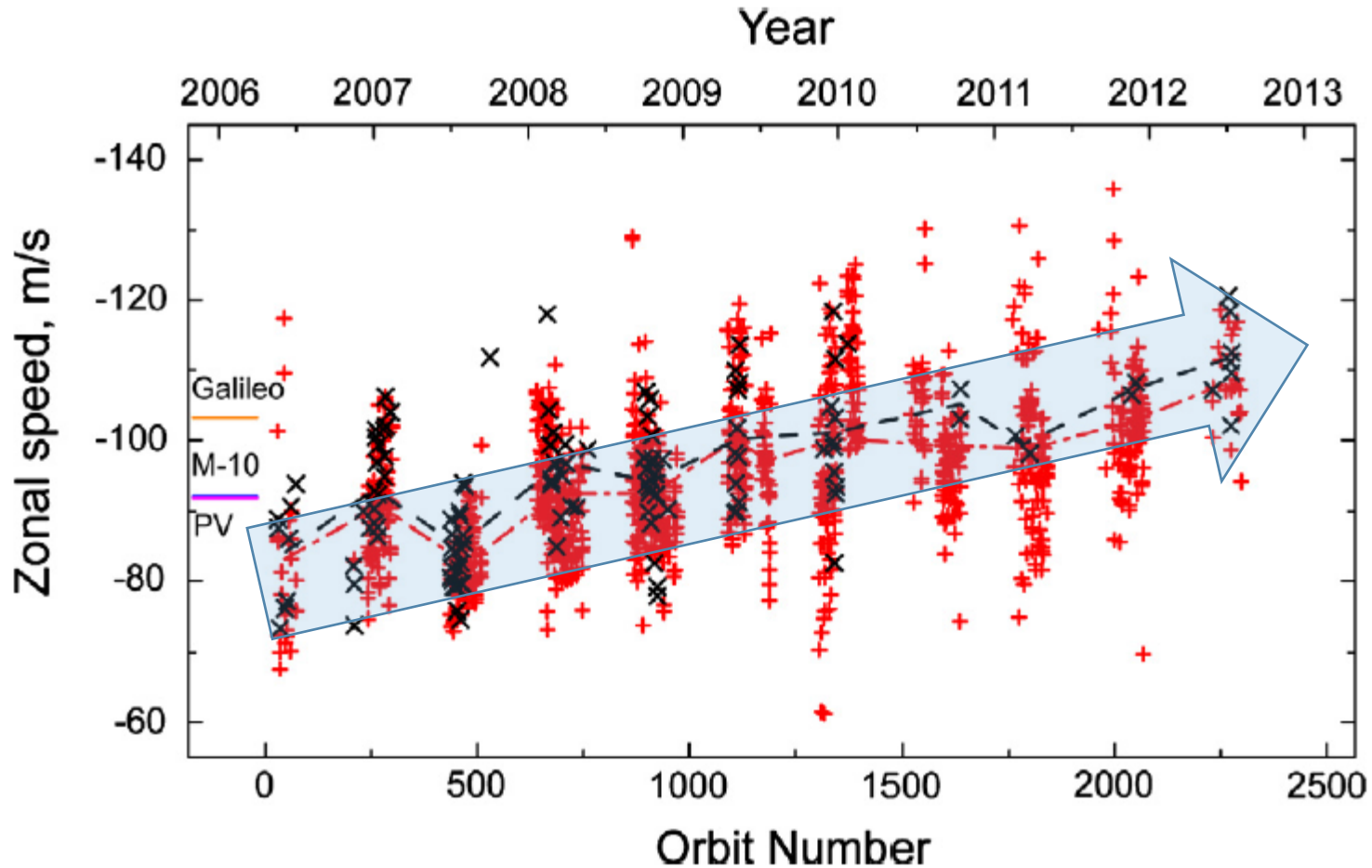
# データ期間について

Venus Expressの軌道面は  
慣性空間に固定されている



# 風速の増加トレンド

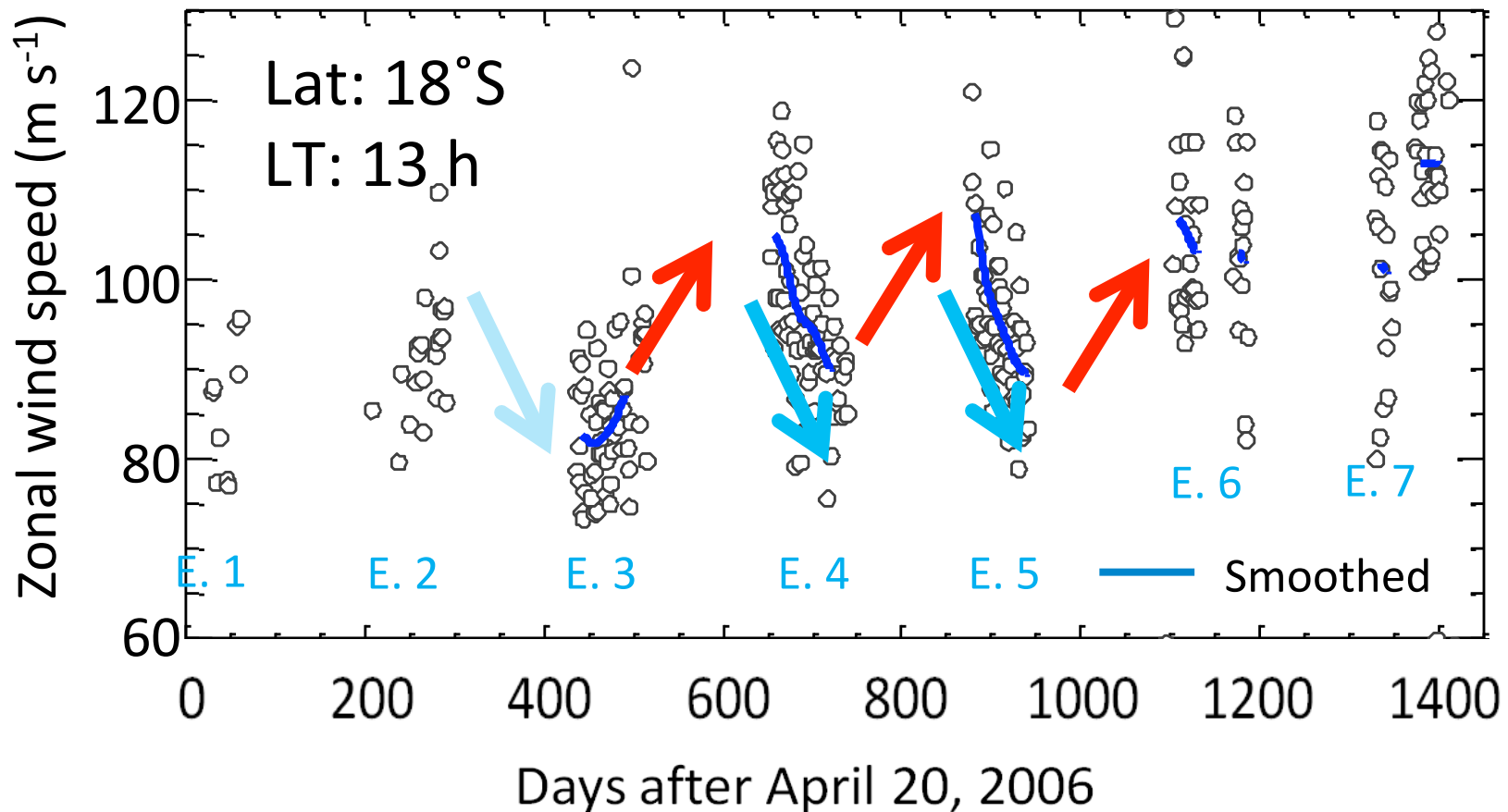
6年かけて90 m/s  $\rightarrow$  110 m/s になったように見える



“x”: 人の目によるトラッキング  
“+”: 相関計算によるトラッキング

[Khatuntsev et al., 2013]

# 東西風速の周期的な変化

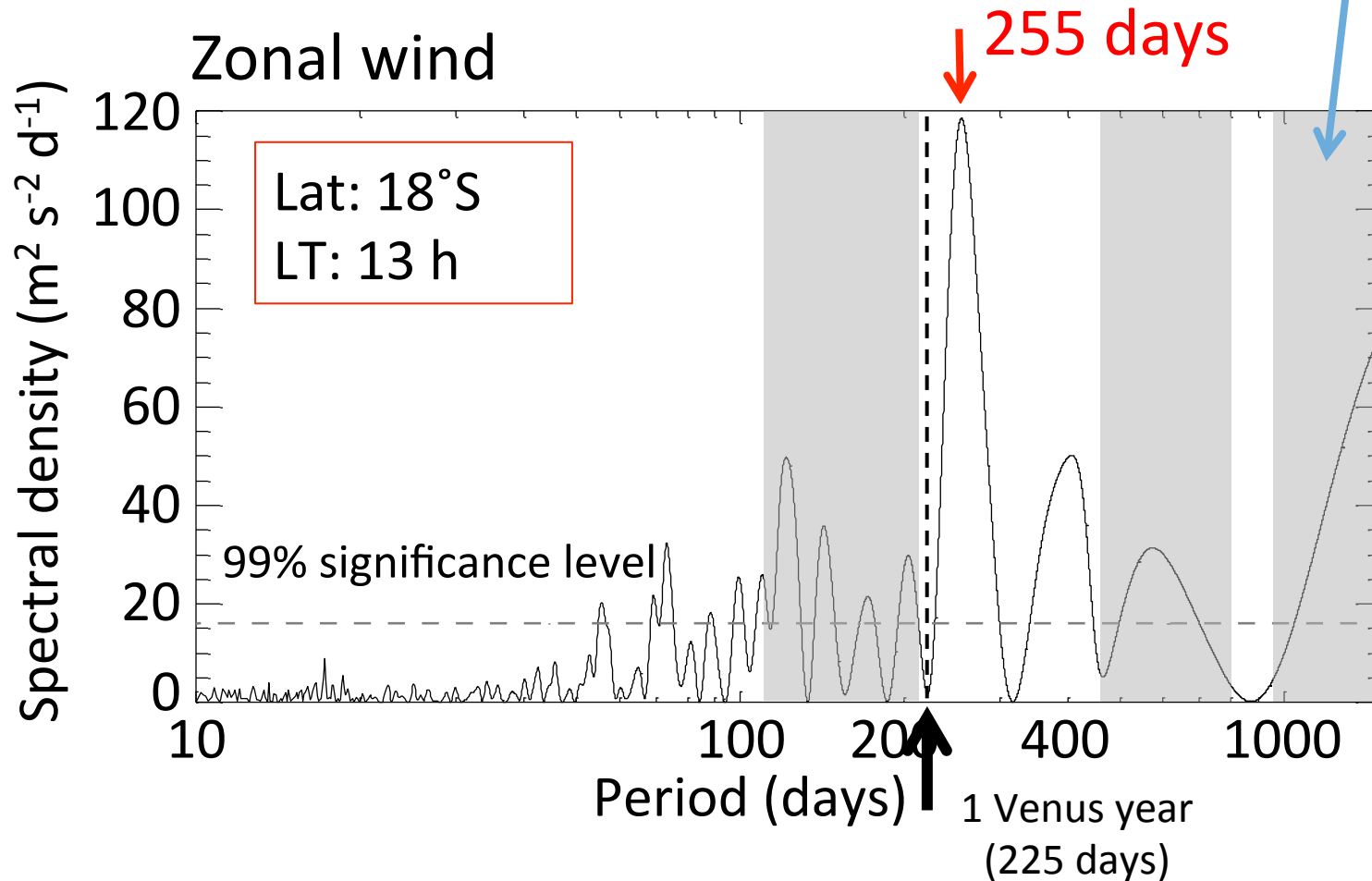


[Kouyama et al., 2013]

- 6年の増速トレンドの中を詳しく見ると
1. 100日程度で $20 \text{ m s}^{-1}$ 以上の風速変化
  2. 加速・減速の繰り返し
- があるように見える。

# 長周期変動に関する周期解析①

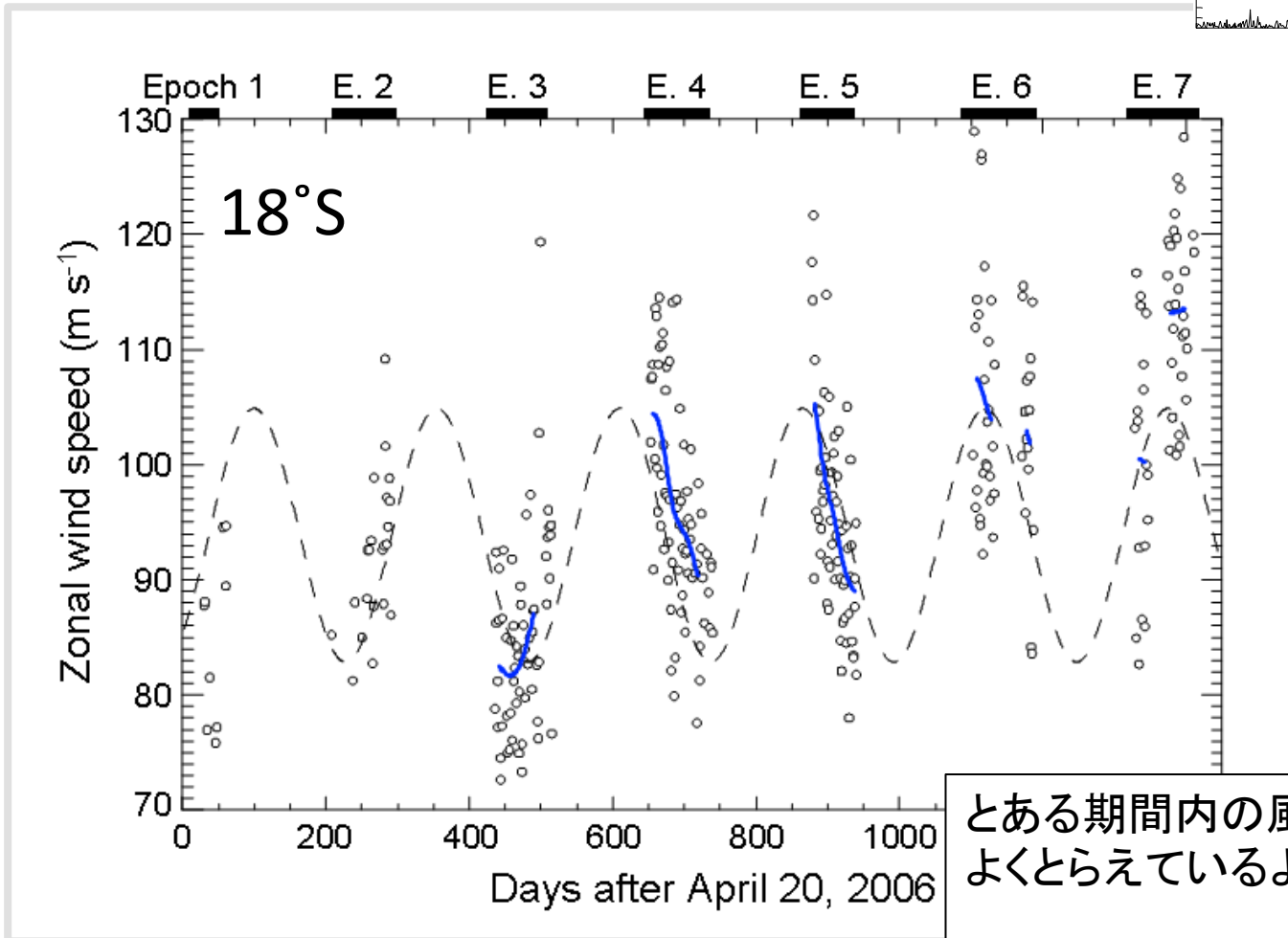
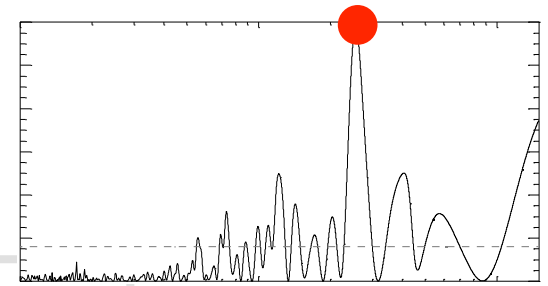
データ取得の周期とシグナルの干渉により誤ピークが生じた可能性のある領域



周期255日に非常に強いスペクトルピーク (半値半幅 ~ 20日)  
東西風速にのみ存在し、南北風速には見られない

# 長周期変動に関する周期解析①

元データに255日変動をあてはめ

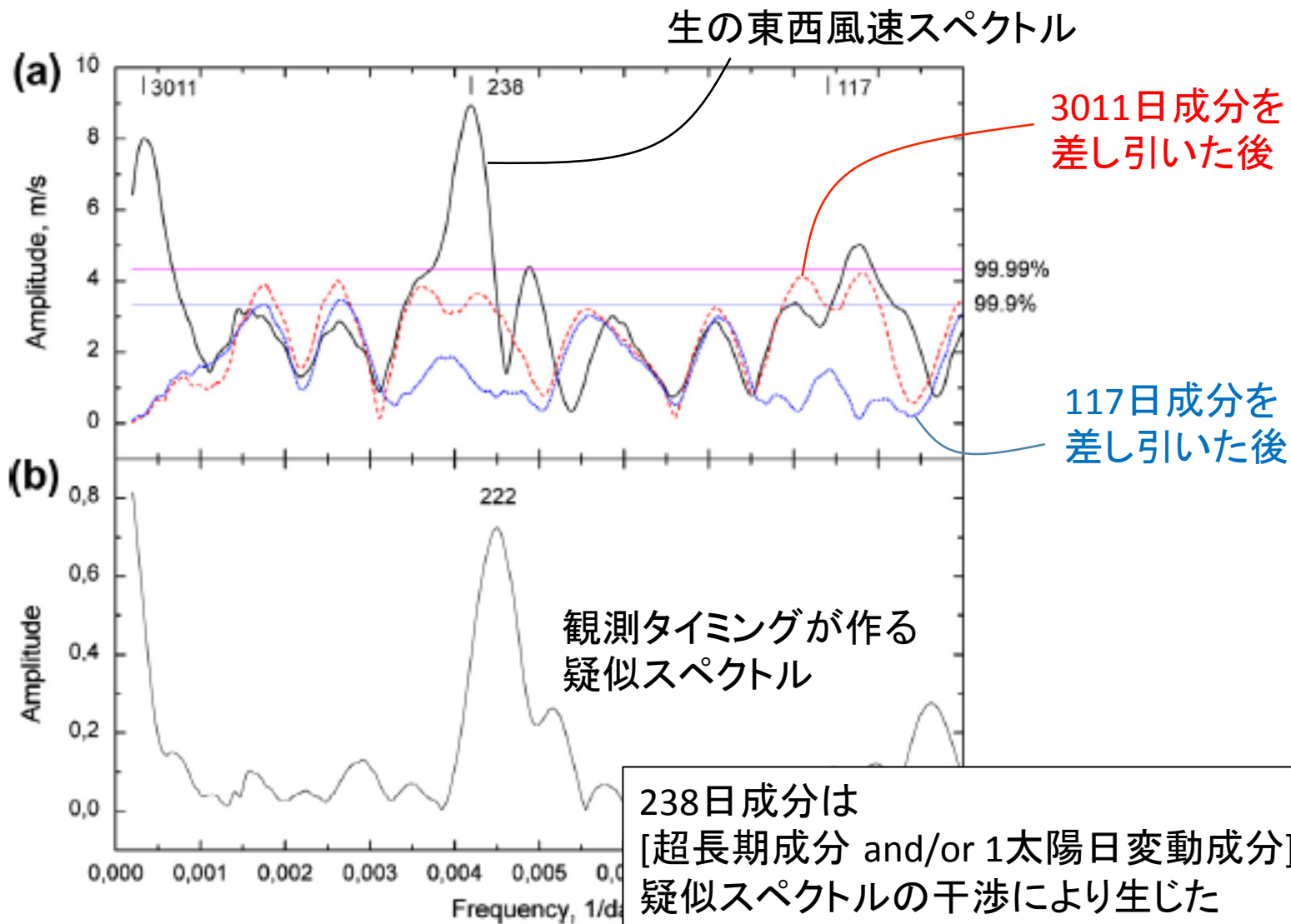


とある期間内の風速変動をよくとらえているように見える  
=> 255日の変動は真と思える？

[Kouyama et al., 2013]



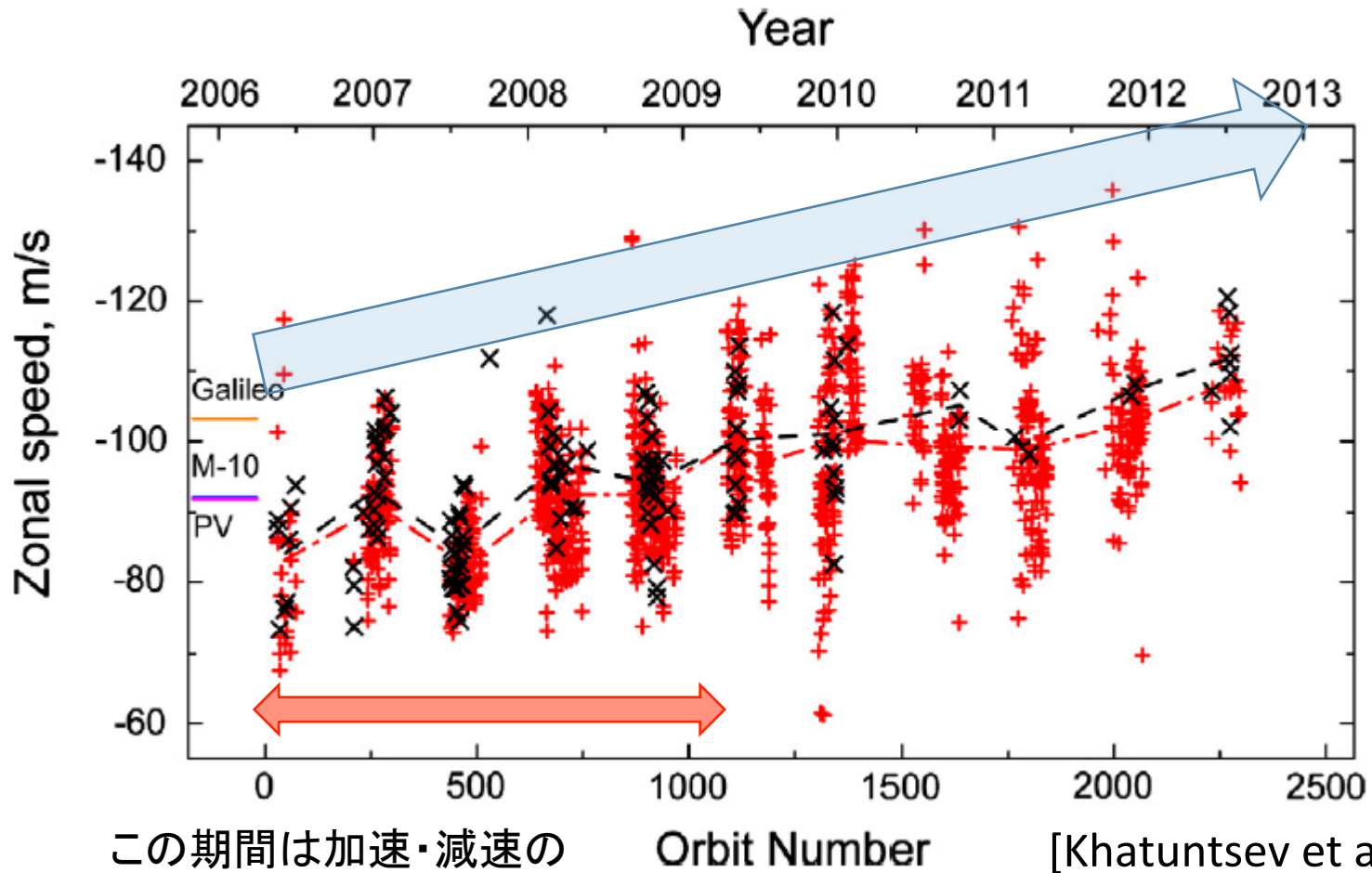
# 長周期変動に関する周期解析②



238日成分は  
[超長期成分 and/or 1太陽日変動成分]と  
疑似スペクトルの干渉により生じた  
偽の変動成分？

[Khatuntsev et al., 2013]

# 全体は確かに加速トレンド

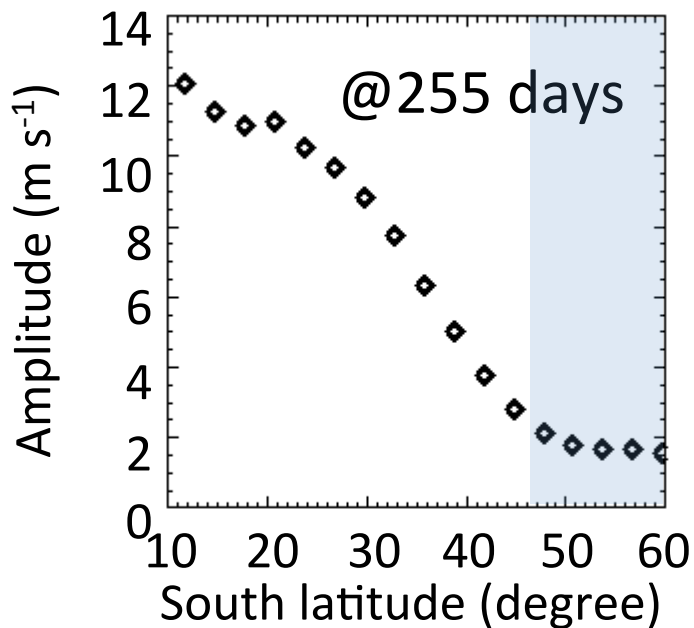
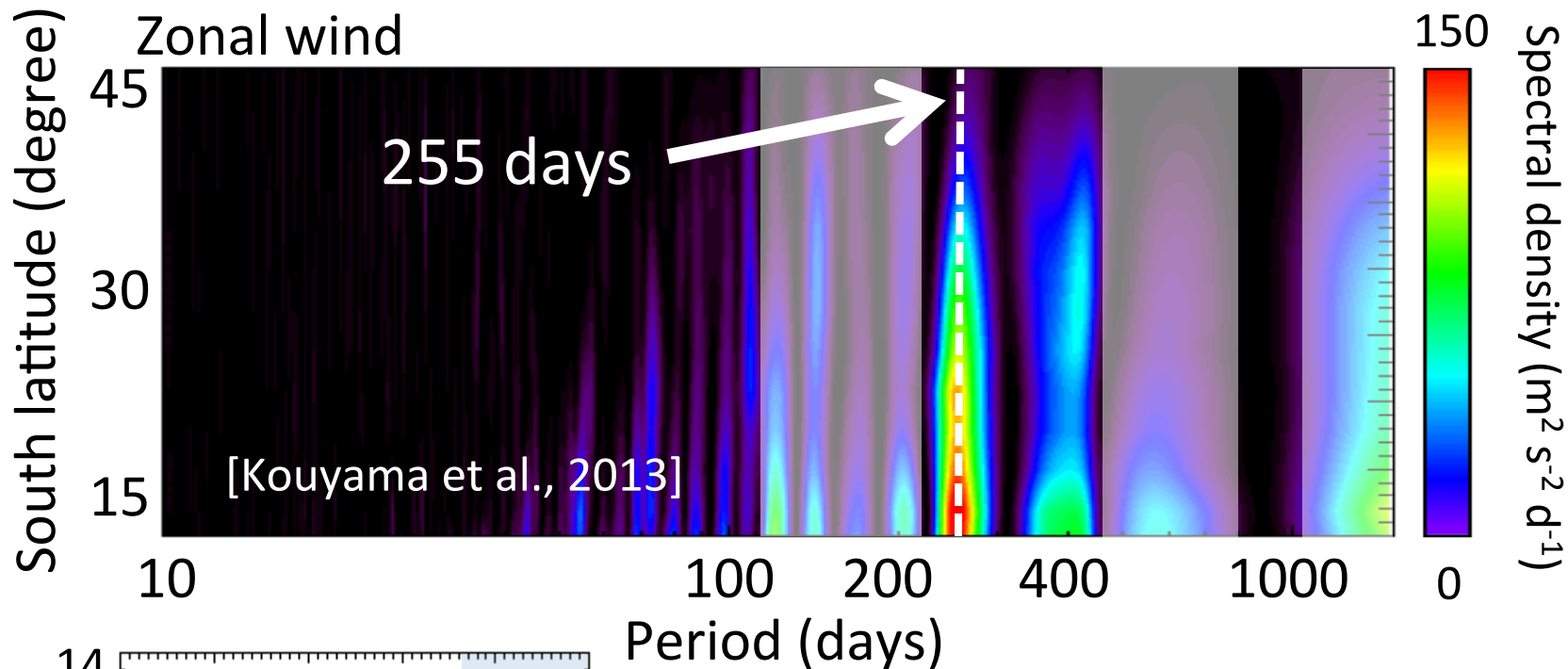


この期間は加速・減速の  
繰り返しが顕著

これは117日周期にしては  
長く見えるが、  
長周期+短周期の見せかけ？

データ欠損の少ない、  
まとまった期間の風速データが必要

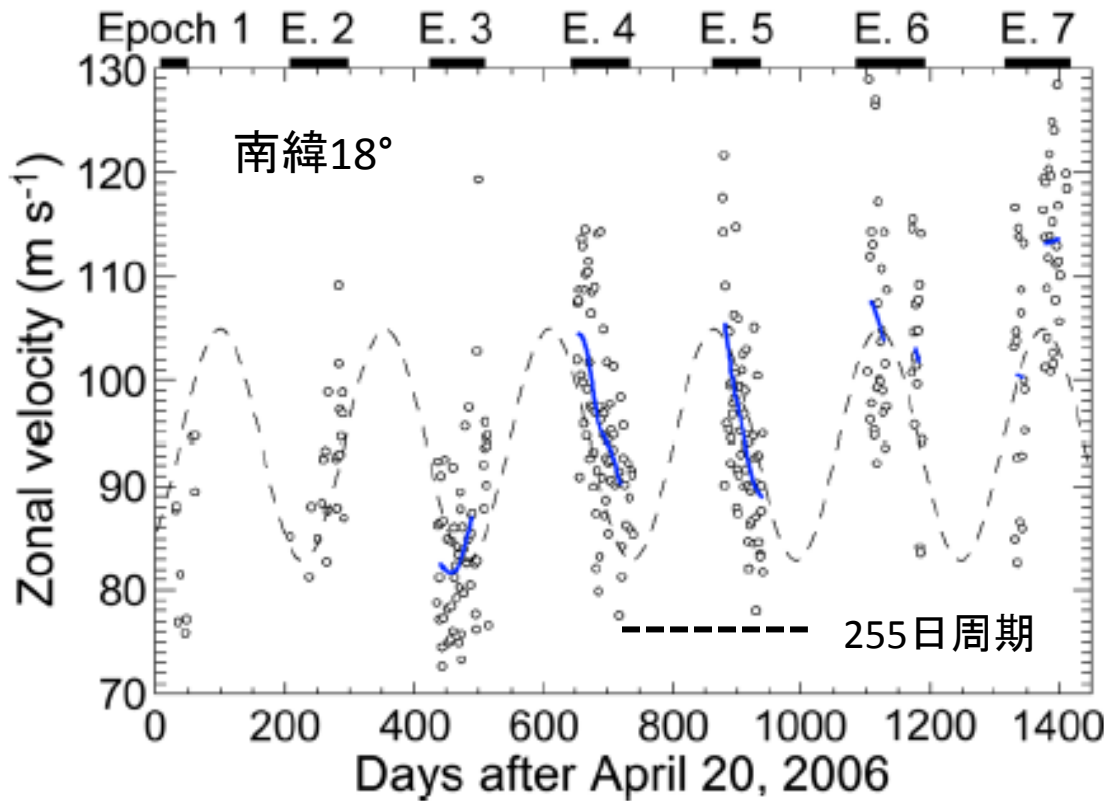
# 長周期変動の緯度構造



- 赤道域から $\sim 40^\circ\text{S}$ まで変動が存在
- 赤道域で振幅が最大
- 変動の位相は緯度によらずほぼ同じ

地球での成層圏準 2年振動(QBO)に見られる特徴に類似

# 東西風速の時間変化と 時期によって異なる卓越波動

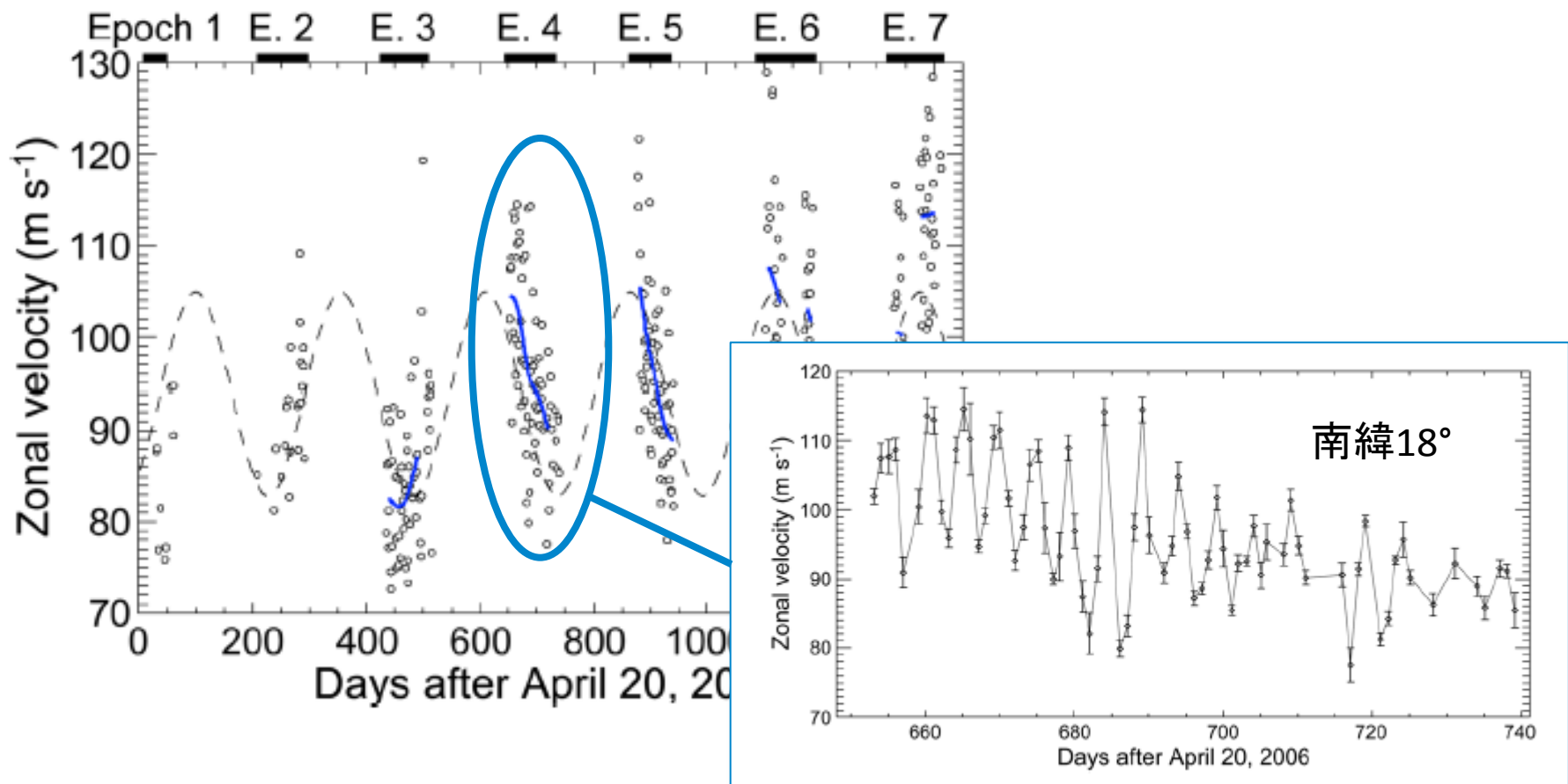


Venus Monitoring Camera  
(ESA/Venus-Express)取得  
画像データの解析から

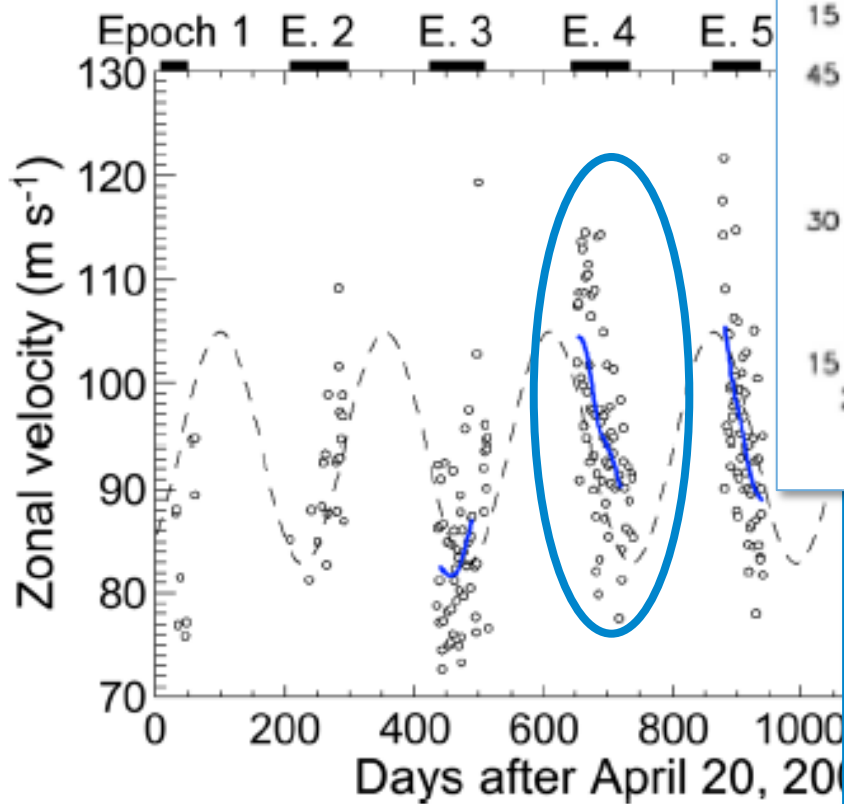
1. 風速の速い時期、遅い時期が繰り返し存在していた
2. 遅い時期:  $\sim 80 \text{ m/s}$   
早い時期:  $\sim 110 \text{ m/s}$
3. 1500日以降は風速の速い状態が続く

[Khatuntsev et al., 2013]

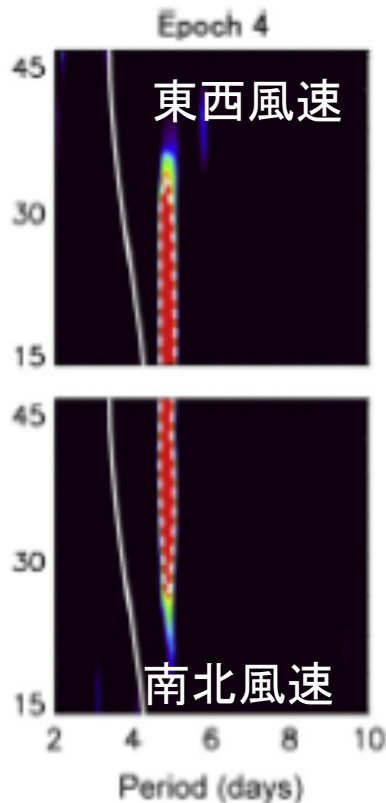
# 東西風速の時間変化と 時期によって異なる卓越波動



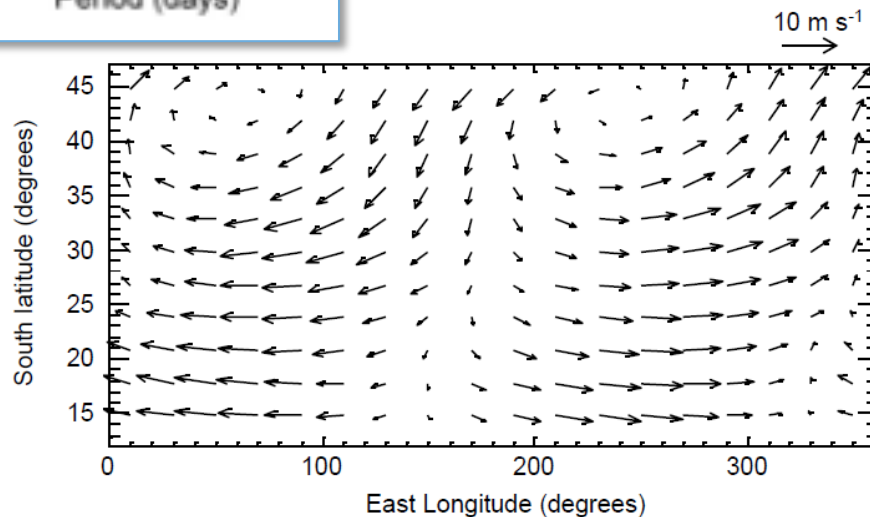
# 東西風速の時間変遷 時期によって異なる



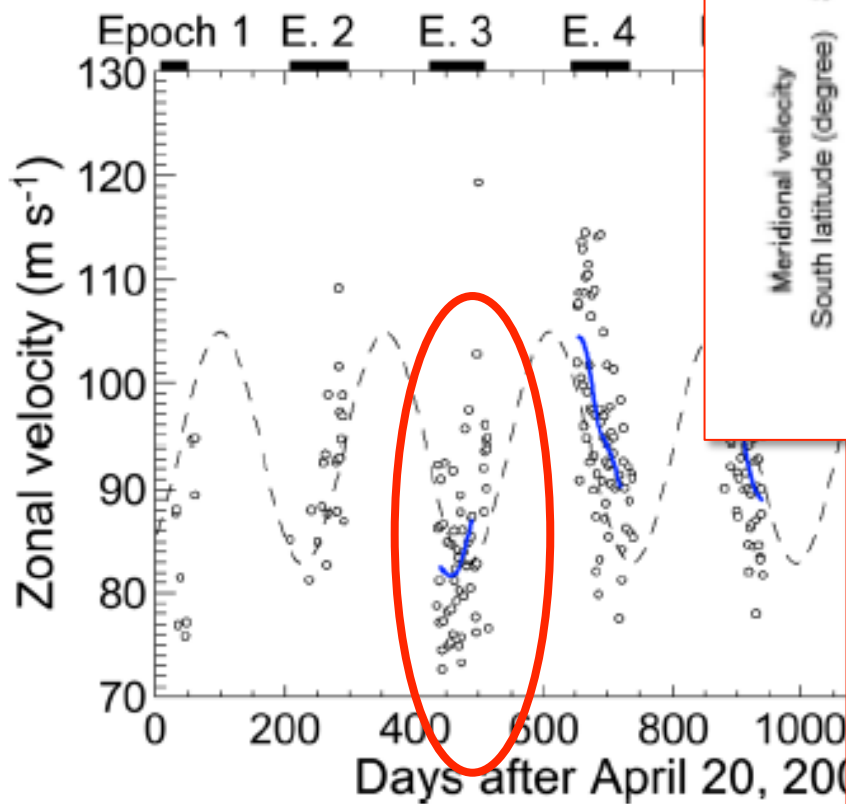
## 周期解析結果



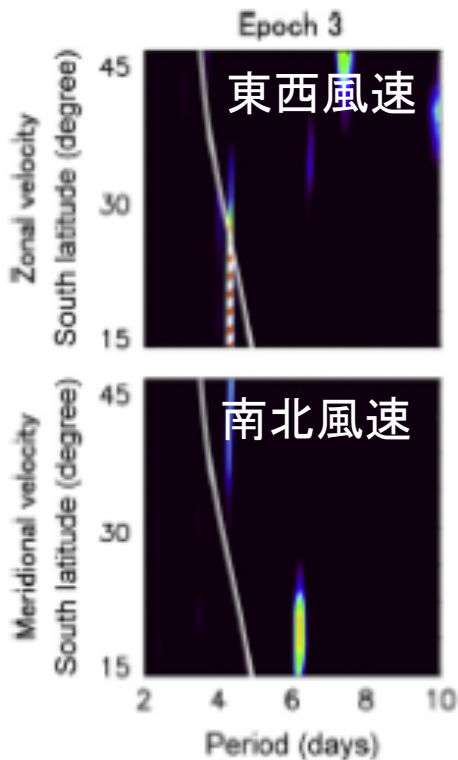
風速が速いときは  
Rossby波的擾乱



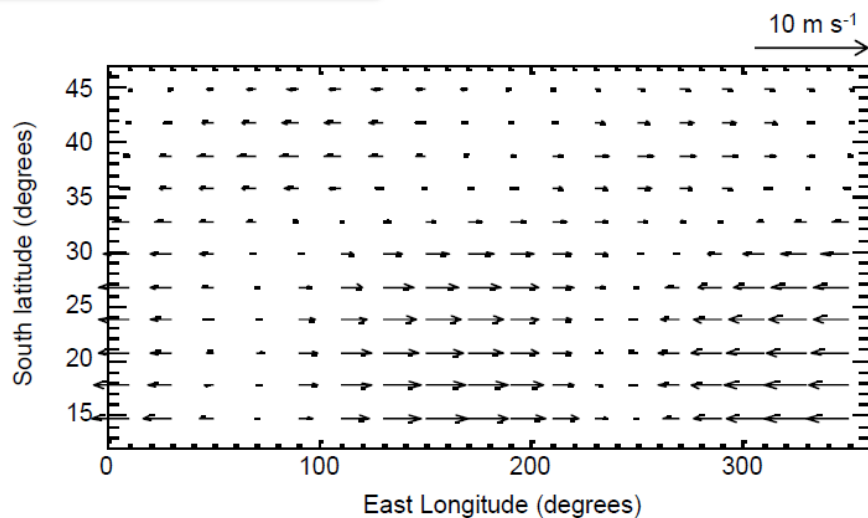
# 東西風速の時間 時期によって異



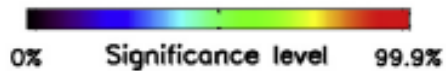
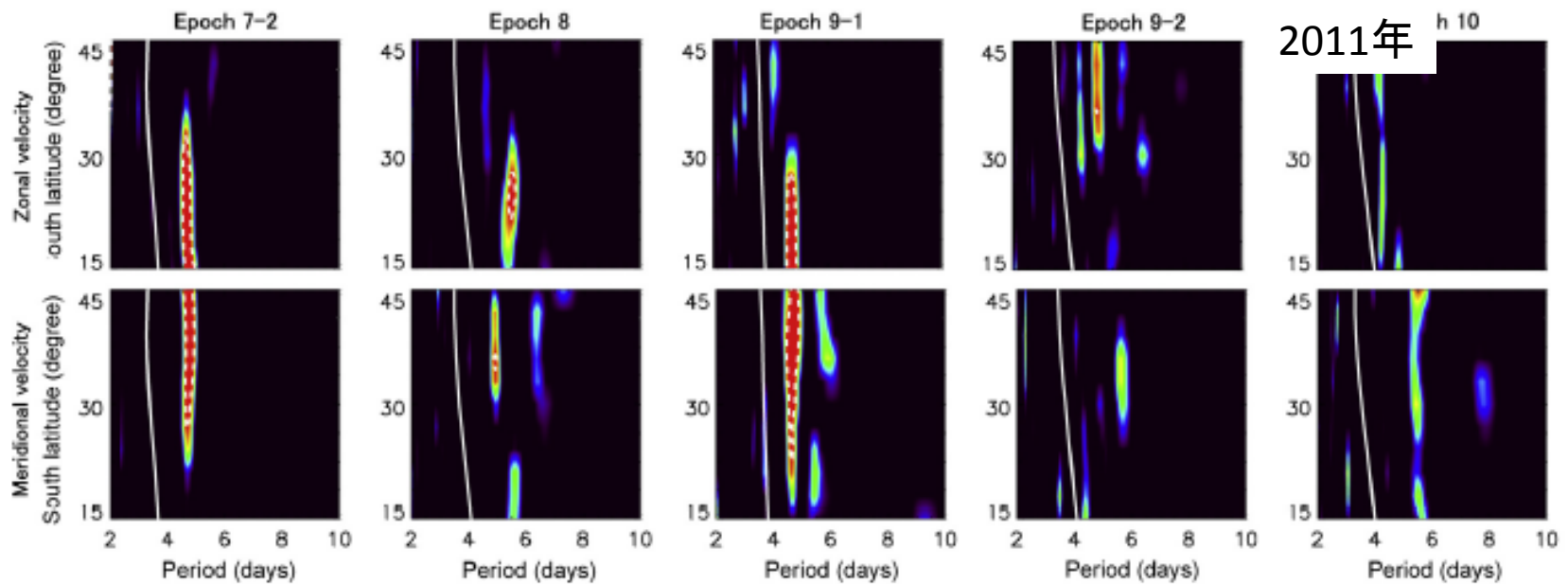
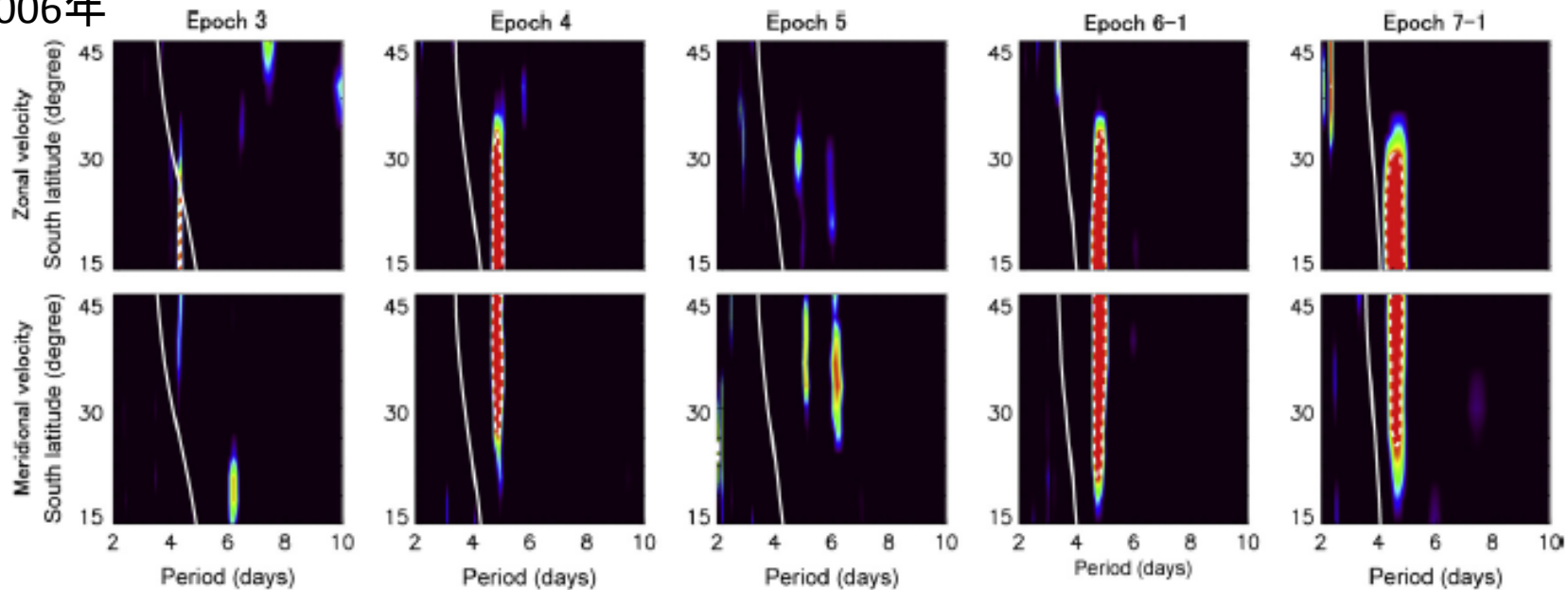
## 周期解析結果



風速が遅いときは  
Kelvin波的擾乱



2006年

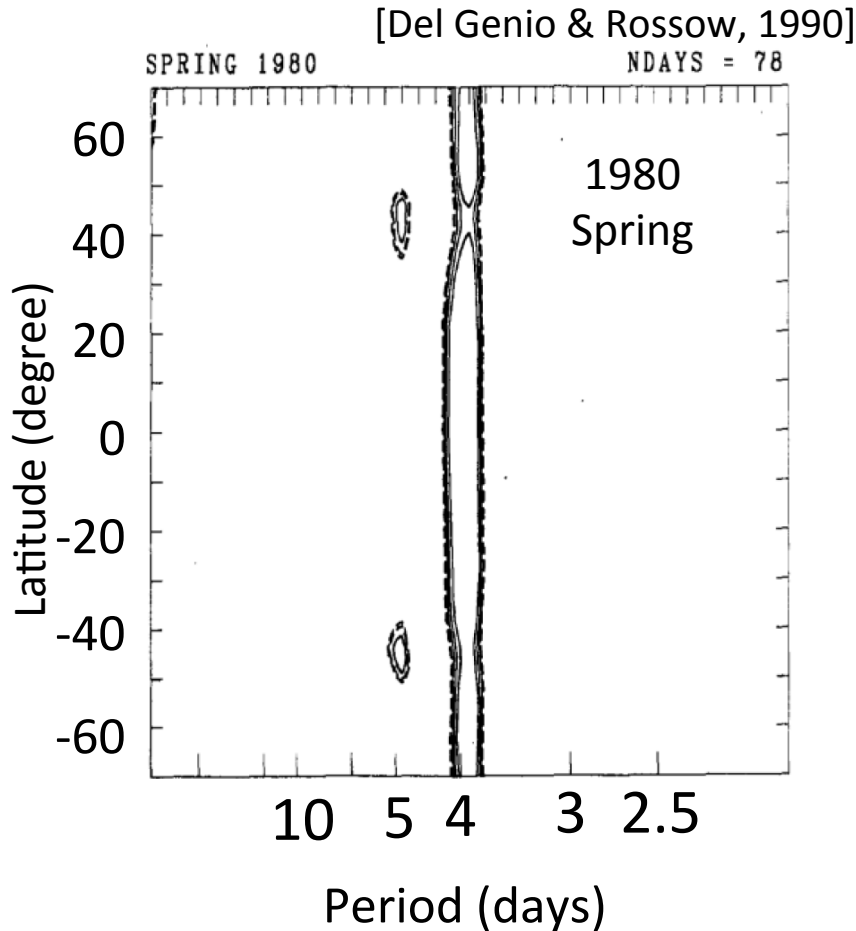


[Kouyama et al., 2011]



# 雲の明るさの短周期変動

## 雲の明るさ変動



観測がなされるたびに  
周期特性は変化していた

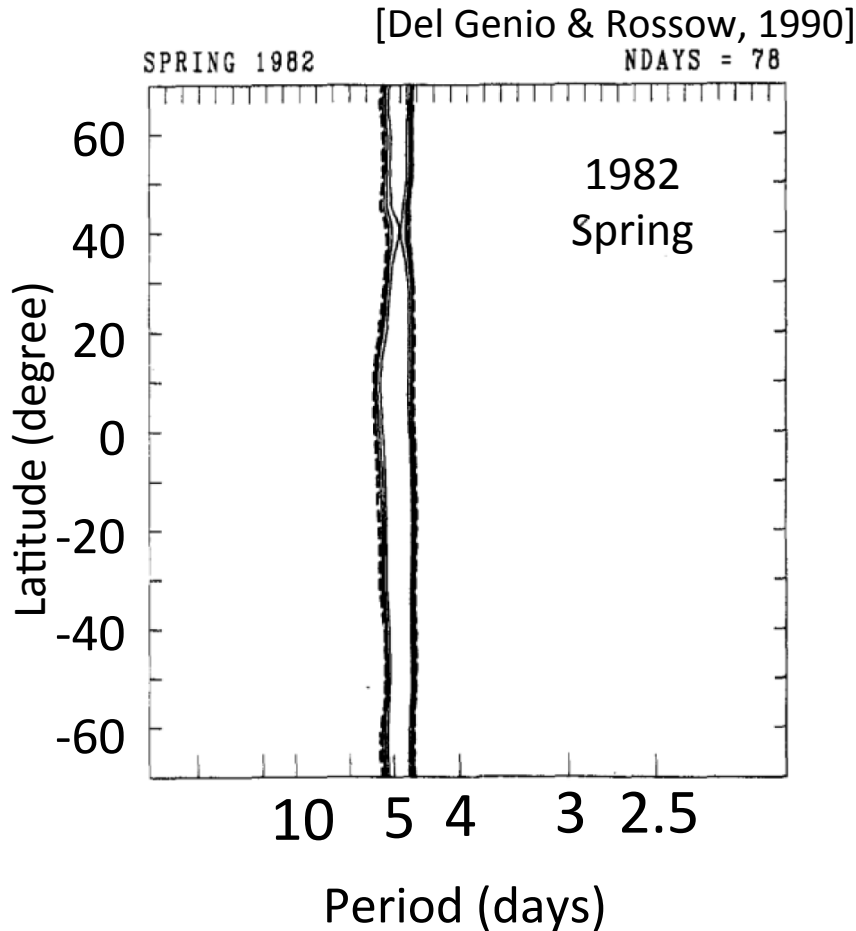
時期によって変動の種類が  
変化する理由は不明

\*雲の明るさ変動は  
大気波動存在の間接的な証拠

コンターは統計的有意水準  
75, 85%(dashed), 95, 99, 99.9%(solid)

# 雲の明るさの短周期変動

## 雲の明るさ変動



観測がなされるたびに  
周期特性は変化していた

時期によって変動の種類が  
変化する理由は不明

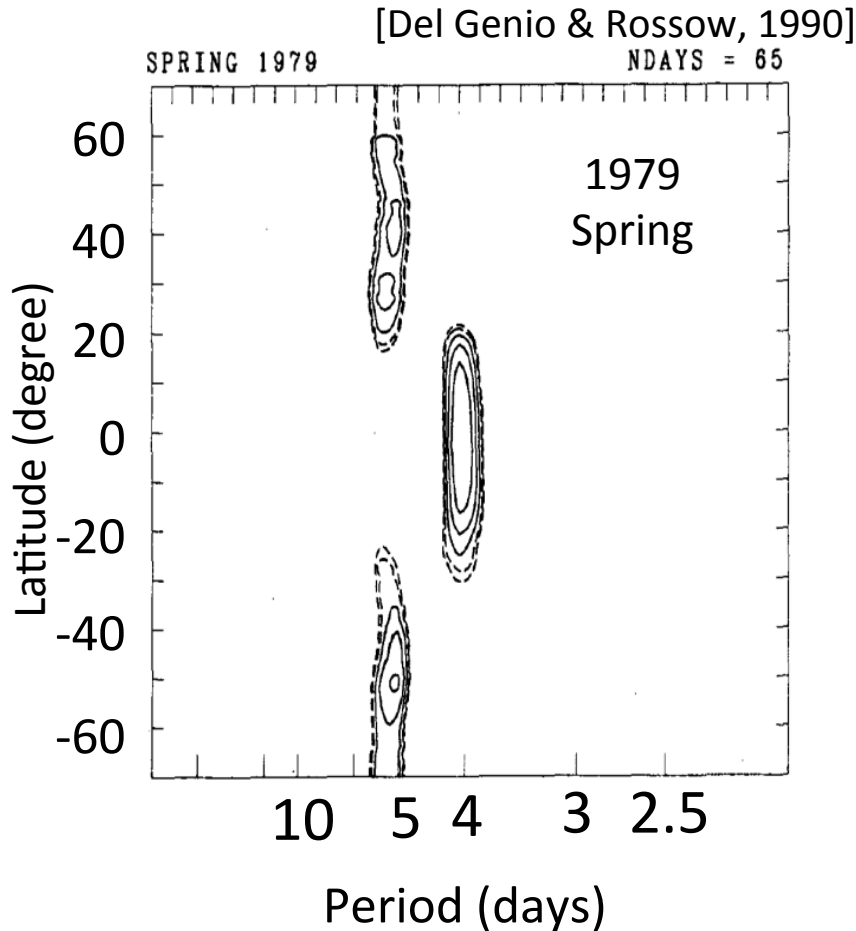
\*雲の明るさ変動は  
大気波動存在の間接的な証拠

コンターは統計的有意水準  
75, 85%(dashed), 95, 99, 99.9%(solid)

# 雲の明るさの短周期変動

## 雲の明るさ変動

ただし、両者が同時に存在した時期もあった



観測がなされるたびに  
周期特性は変化していた

時期によって変動の種類が  
変化する理由は不明

\*雲の明るさ変動は  
大気波動存在の間接的な証拠

コンターは統計的有意水準  
75, 85%(dashed), 95, 99, 99.9%(solid)

## Venus Express/VMCデータの解析から

- 背景風速の速い時期、遅い時期それぞれで卓越する大気波動の種類が異なる傾向がある
  - 遅い期間: Kelvin波的
  - 速い期間: Rossby波的

背景風の速い・遅いの違いで  
Kelvin波とRossby波の見える・見えないが変わる？

# 背景風の速い・遅いの違いで Kelvin波とRossby波の見える・見えないが変わる？

1. 金星の雲層高度には強い放射減衰効果  
が存在(Crisp, 1989)し、擾乱は3-10日で顕著  
に減衰

→ 長くとどまる波は減衰しやすい

2. 「背景東西風速」と「波の位相速度」の差が  
小さくなるほど鉛直伝搬速度は小さくなること  
が知られている

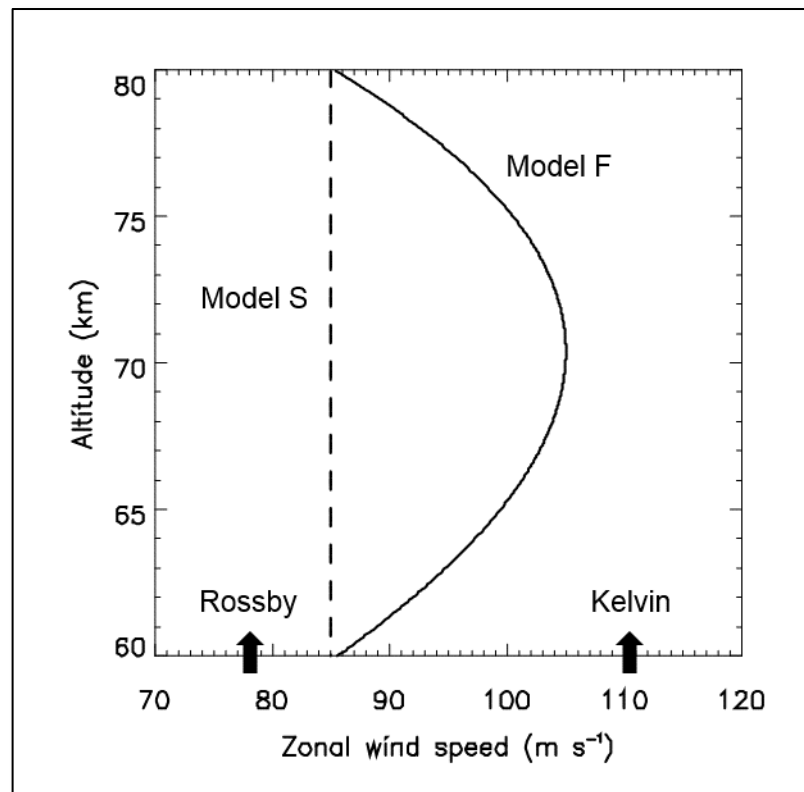
→ 長くとどまることに

3-1.  
風速の速い時期ではKelvin波と背景風の  
速度差が小さくなり、より強く減衰を受けそう

3-2.  
風速の遅い時期ではRossby波と背景風の  
速度差が小さくなり、より強く減衰を受けそう

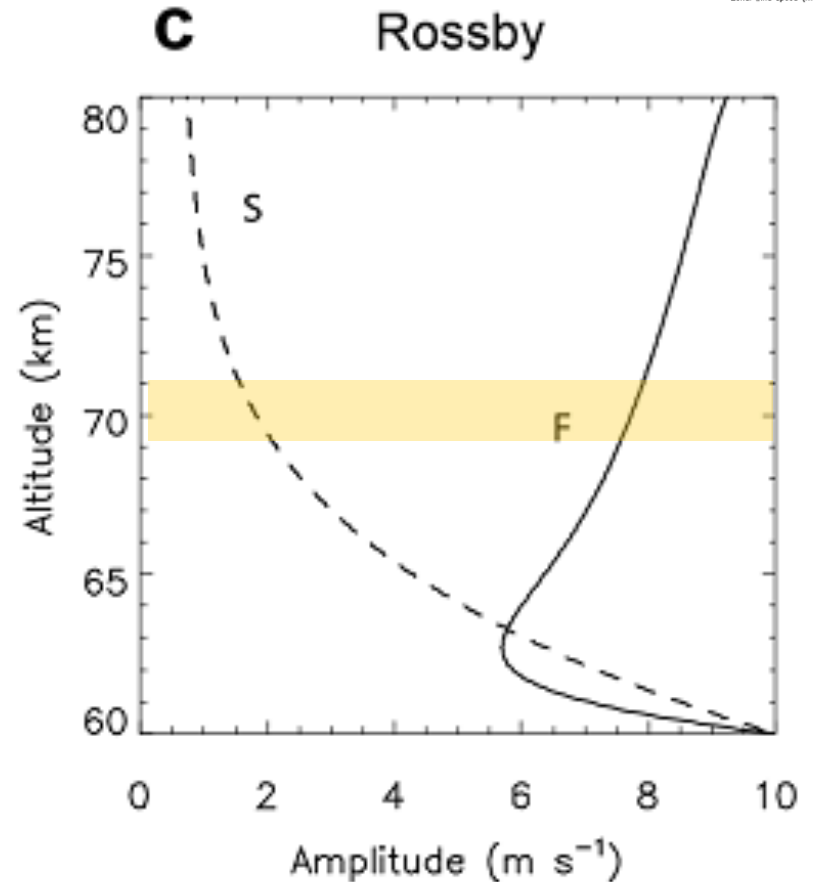
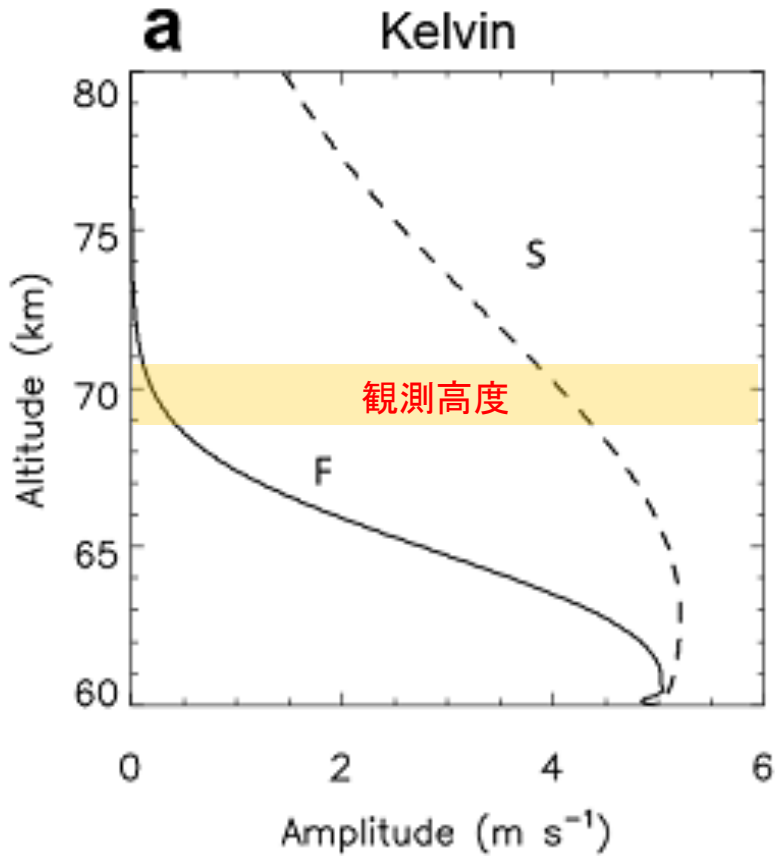
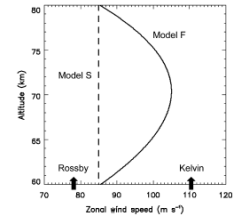
4. 定量的には？

設定した計算モデル  
(剛体回転モデル)



Covey & Schubert (1982)に基づく  
線形解析を実施 [Kouyama et al., 2014]

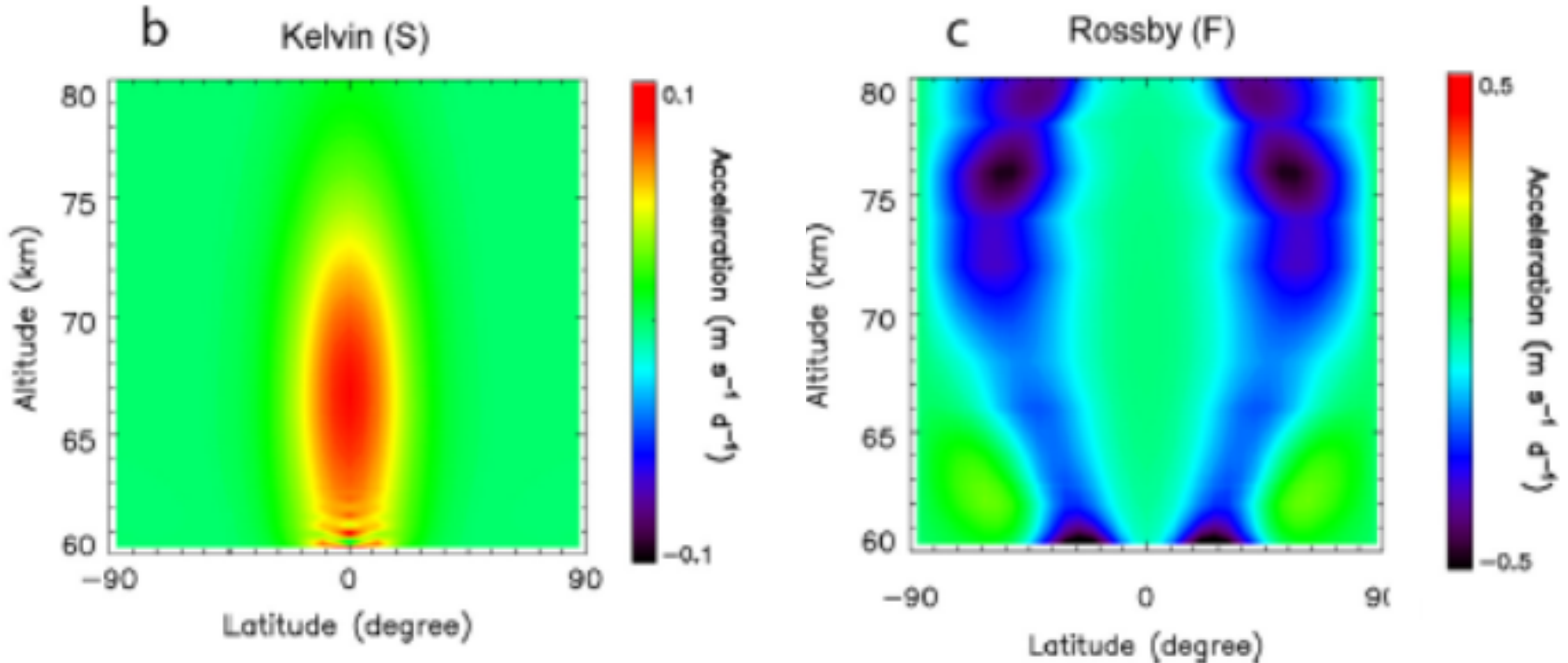
# 結果：波動振幅の鉛直分布



**Kelvin波**：風速の遅い設定で減衰せず  
**Rossby波**：風速の速い設定で減衰せず

観測と整合的

# 結果：波動による 大気加速率の鉛直分布



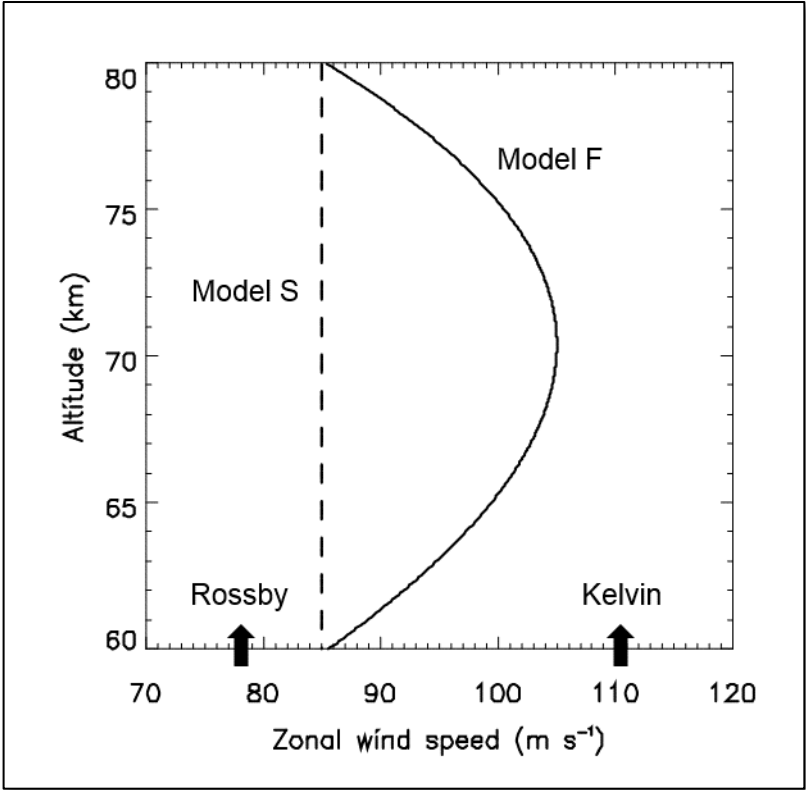
**Kelvin波**：赤道域を1地球日当たり 0.1 m/s 加速

**Rossby波**：中緯度域を中心に減速

直接的には赤道域を減速できないものの  
間接的に影響を与える可能性がある(cf. 間接循環の強化)

# 剛体回転でない、より現実に近い金星風速分布の場合は？

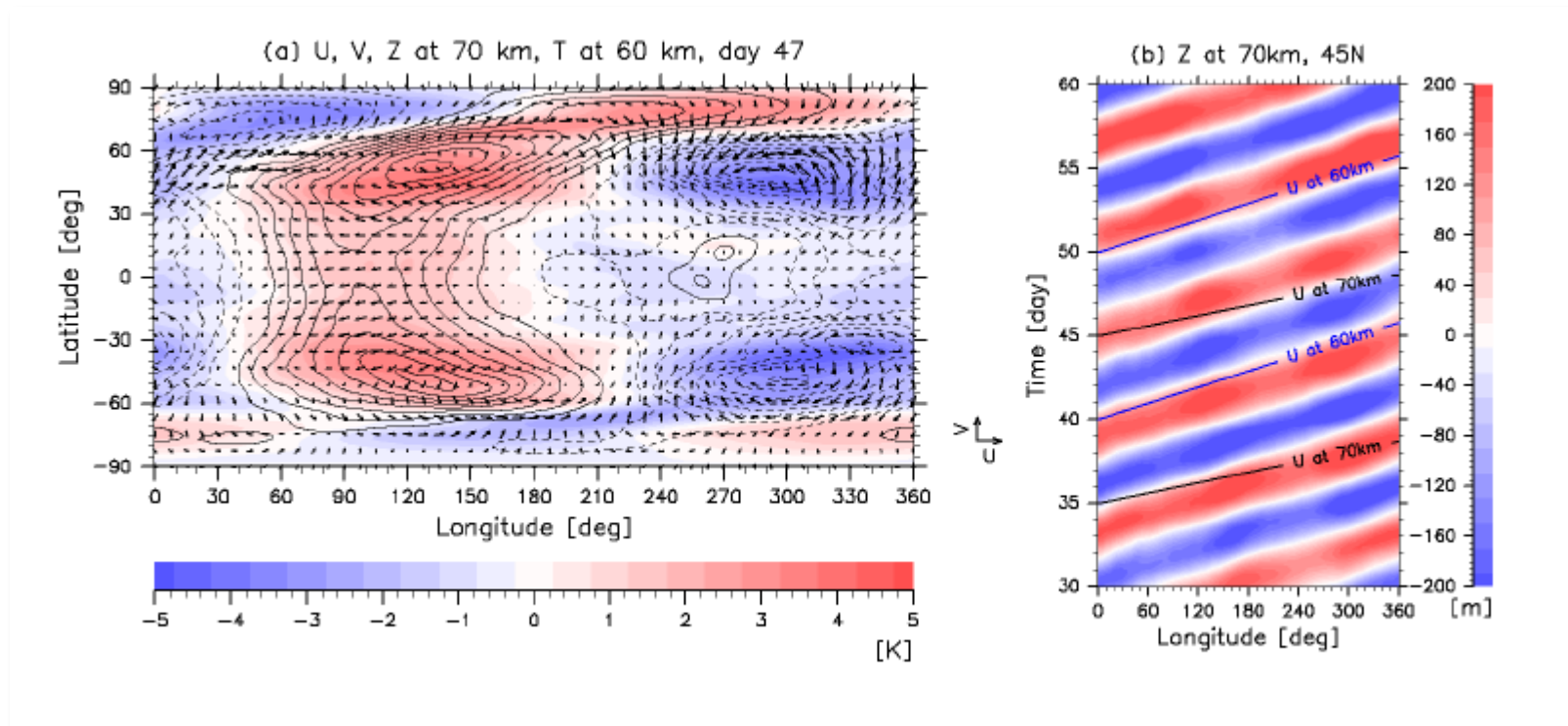
設定した計算モデル  
(~~剛体回転モデル~~)





# 波の励起源

Rosby波は高度60kmでの傾圧不安定が起源になりえる  
[Sugimoto et al., 2014]



高度50-70kmでの鉛直風速シアが強くなると  
そのシアを緩和する形でRosby波が励起される => 上方へ伝搬  
シミュレーションで見られたRosby波の位相速度・振幅は観測と整合的  
(ただしシミュレーションでは赤道で風速振動が弱い)

# まとめ

## 長周期変動に関して

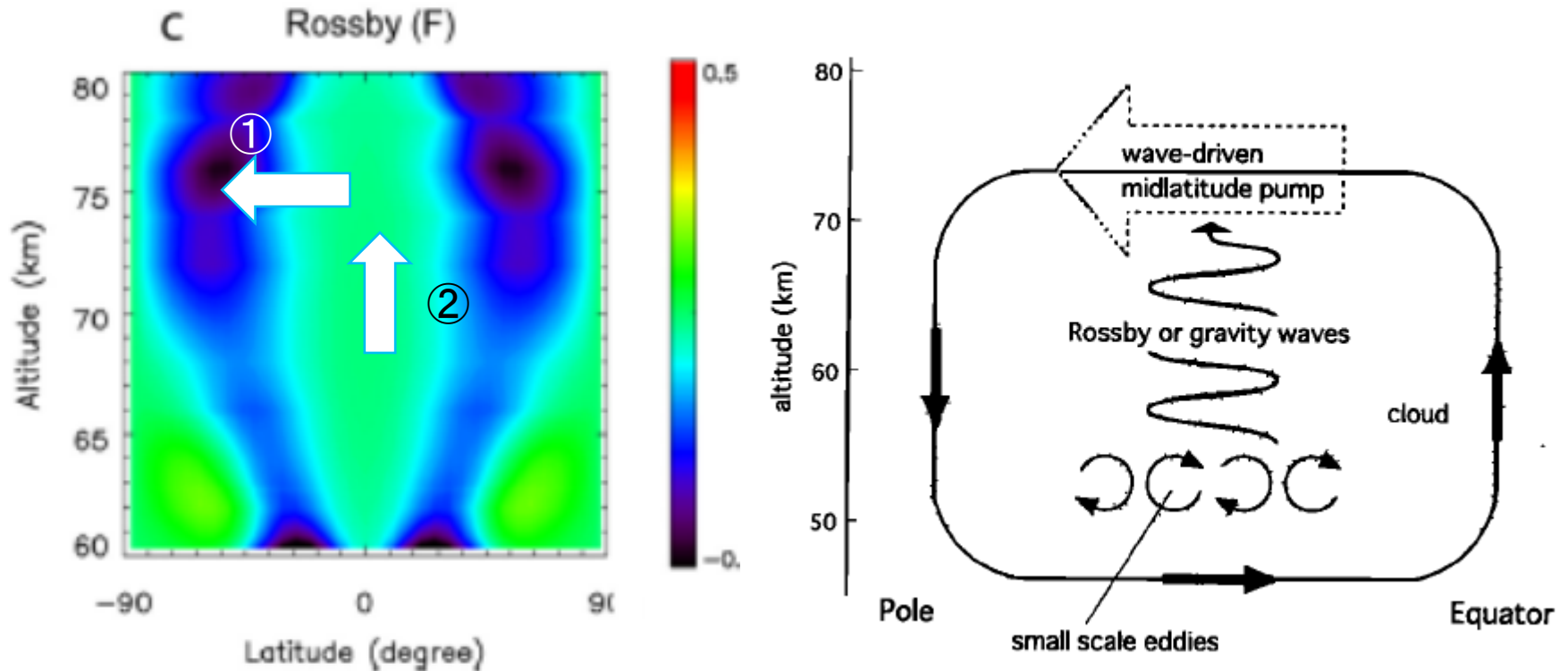
- 金星スーパーローテーションは100-200日程度で10-20m/sの変動をすることがある
- 周期特性の理解にはさらなる観測が必要  
→あかつきでの観測に期待

## 大気擾乱に関して

- 風速の遅い時期にはKelvin波が卓越して早い時期にはRossby波が卓越していた
- 風速の速い時期・遅い時期に伝搬しやすい波動は観測で見られた傾向と同じ(剛体回転ケース)
- 現実に近い金星大気では、  
Rossby波はいつでも存在しても良いかもしれない  
鉛直の風速シアが強いときに出やすい？



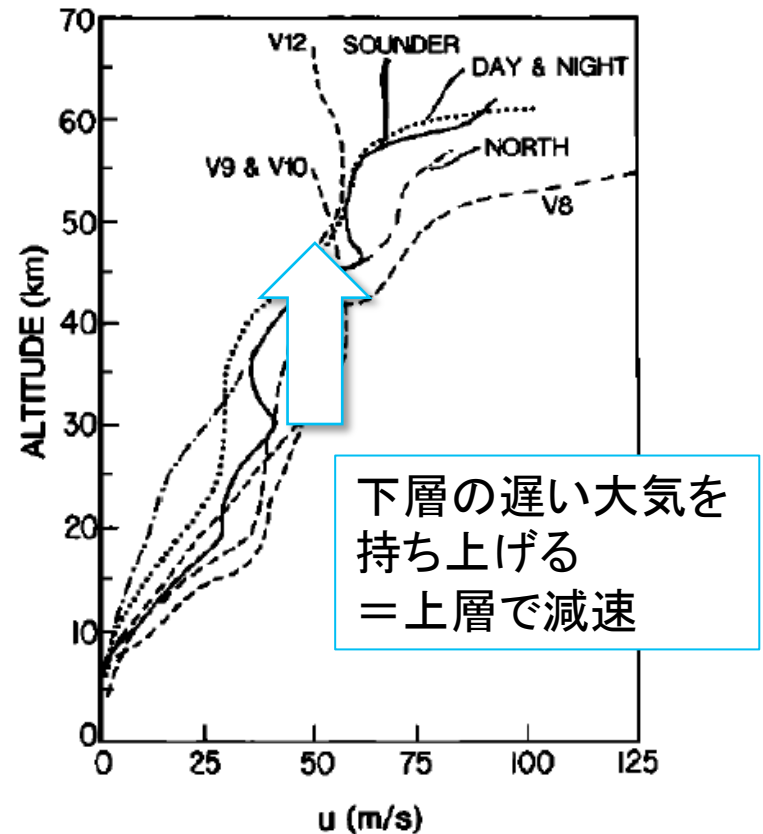
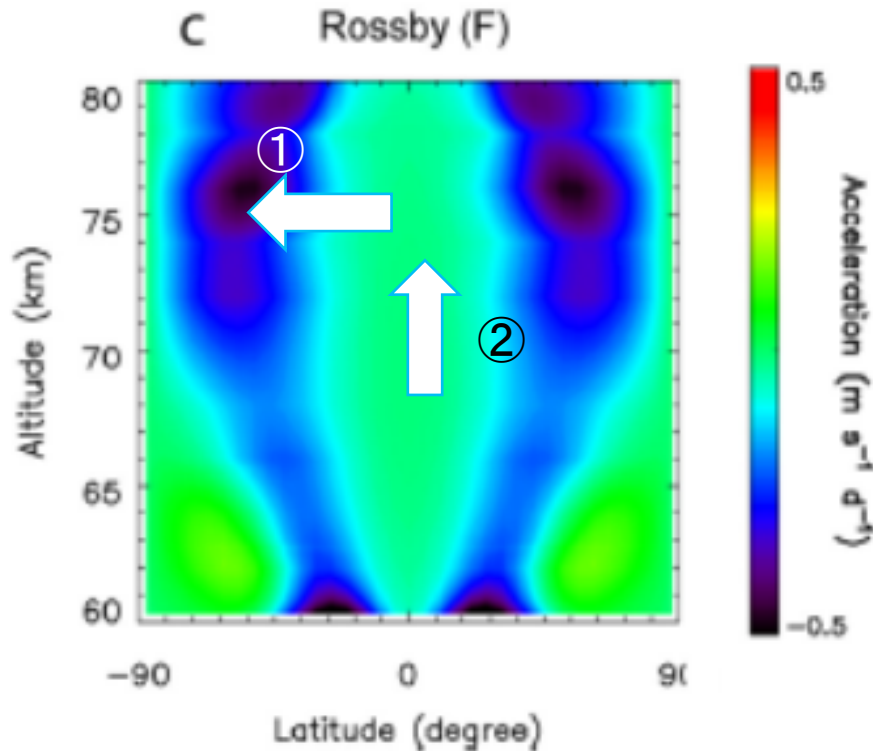
# 結果：波動による 大気加速率の鉛直分布



Imamura, 1997

- Rossby波：循環を駆動することで赤道域を減速？  
Rossby波が卓越するタイミングでに午面循環が強化されているか

# 結果：波動による 大気加速率の鉛直分布



→ Rossby波：循環を駆動することで赤道域を減速？  
(ダウンワードコントロールの原理)

Rossby波が卓越するタイミングでに午面循環が強化されているか