

# Assessing the long-term variability of Venus winds at cloud level from VIRTIS–Venus Express

R. Hueso, J. Peralta, A. Sanchez-Lavega (Icuras, in press)

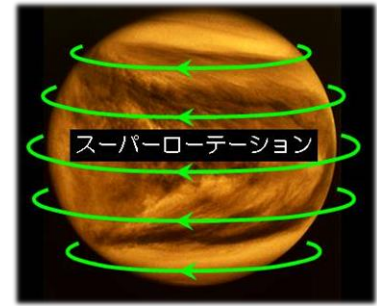
- Sanchez-Lavega et al., 2008.

Variable winds on Venus mapped in three dimensions (GRL)  
に対して解析に用いたデータを拡張した論文

- 複数の高度で風速を長期間にわたって平均し、その特徴を解説
- ミッション中に得られた風速の時間変化や  
過去のミッションで得られた風速を比較して、風速の時間変動性について考察

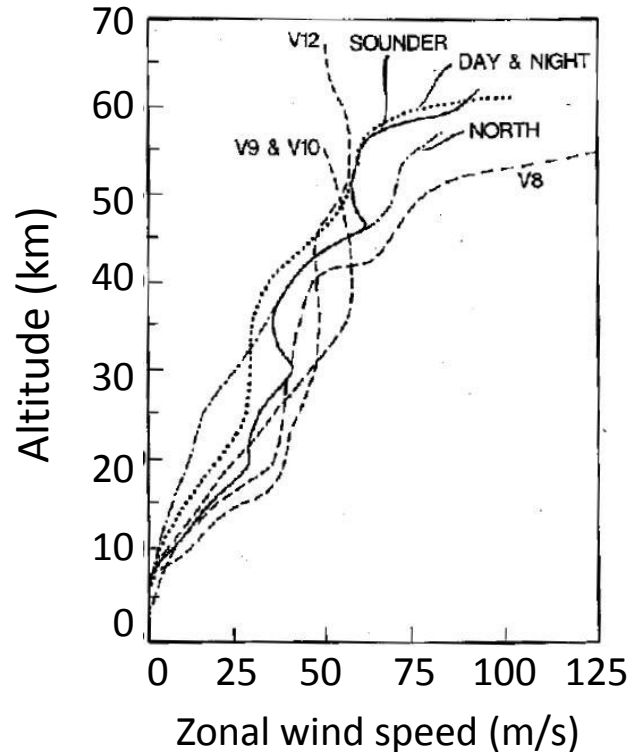
神山の研究との比較

# 金星大気スーパーローテーション



東西風速が高度とともに単調増加  
 高度70 kmで金星自転速度の~60倍の風速(100 m/s)

投入プローブによる測定  
 東西風速の高度分布

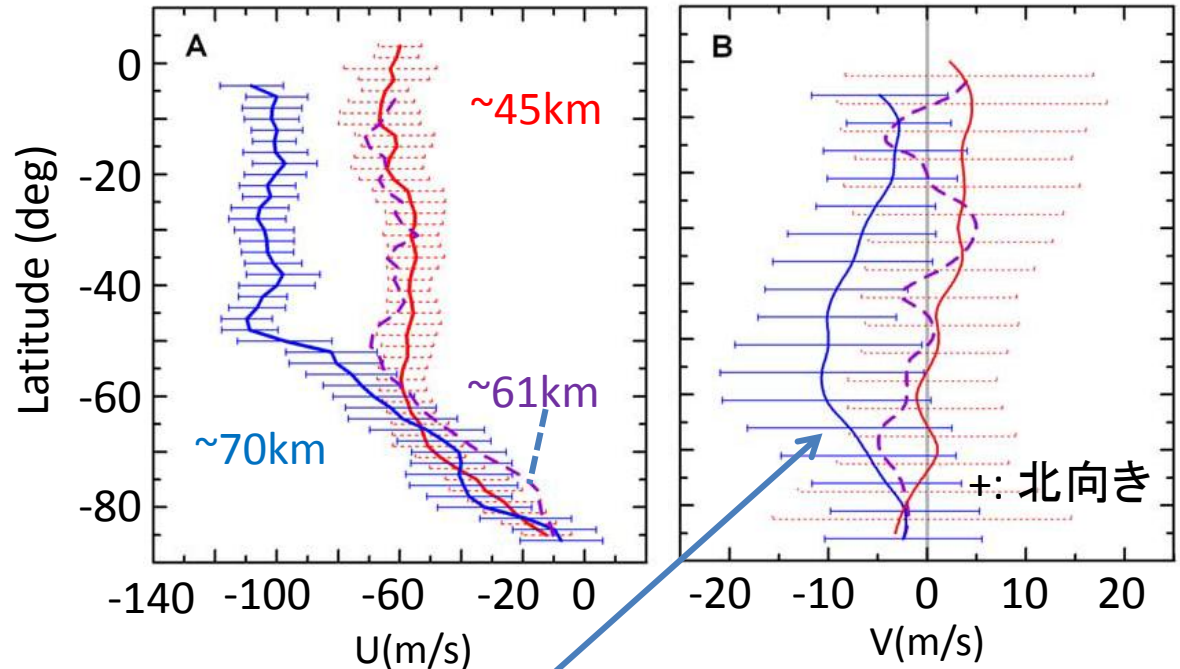


[Schubert, 1983]

Venus Express/VIRTIS

東西風速 (m/s)

南北風速 (m/s)

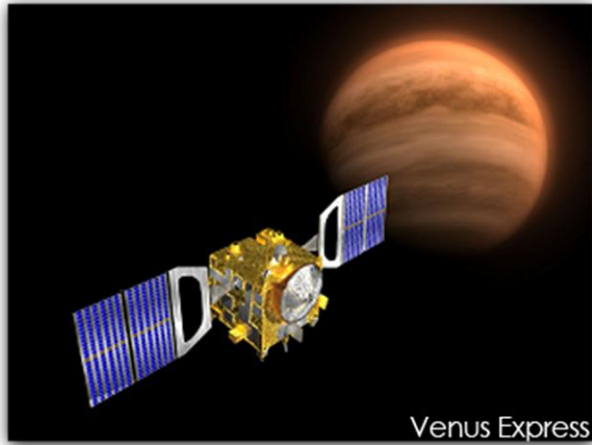


Upper branch of  
 a global Hadley cell?

[Sanchez-Levega et al., 2008]

# Venus Express /

## Visible and Infrared Thermal Imaging Spectrometer (VIRTIS)



© ESA

### VIRTIS-M

[Drossart et al., 2007]

- ・可視チャンネル: 0.25 – 1.0  $\mu\text{m}$ 
  - 380 nm: 昼面の雲層上層(66-73 km)を観測
- ・赤外チャンネル: 1 – 5  $\mu\text{m}$ 
  - 1.74 $\mu\text{m}$ : 夜面の雲層下層(44-48 km)を観測

解析に用いた期間(Table 1,2 参照):

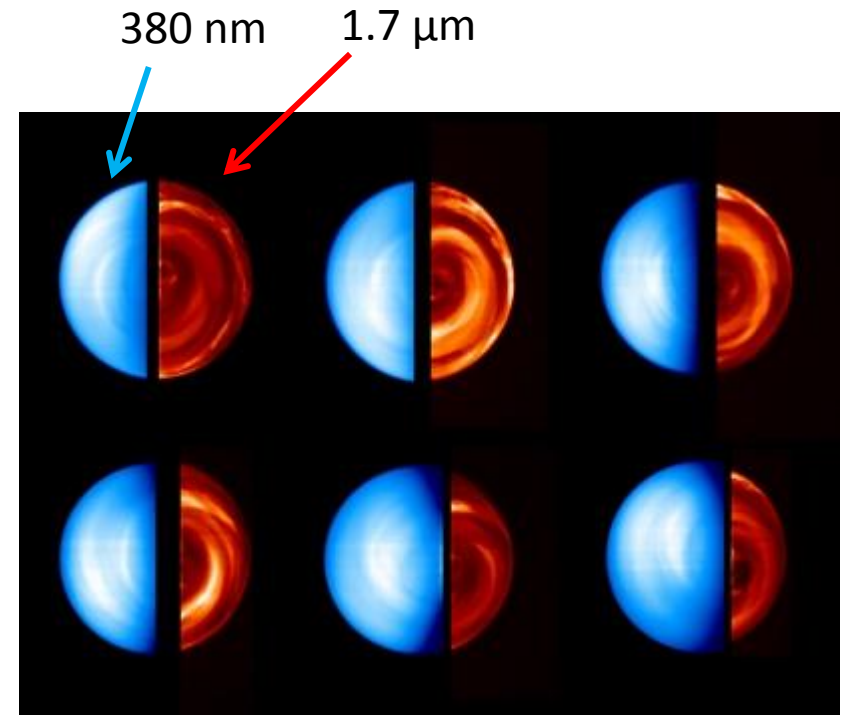
- 上層: 2006年4月～2007年8月 (45 軌道)
  - 下層: 2006年4月～2008年9月 (39 軌道)
- 南半球極域～低緯度帯を観測

撮像視野: 3.6 x 3.6 deg (Scan mode)  
(遠金点から観測して金星の1/9が収まる程度)

### Venus Express

軌道投入: 2006年4月  
極軌道周回 (24時間周期)  
近金点緯度:  $\sim 80^\circ\text{N}$

南半球高緯度上空で遠金点



© ESA/VIRTIS/INAF-IASF/Obs. de Paris-LESIA

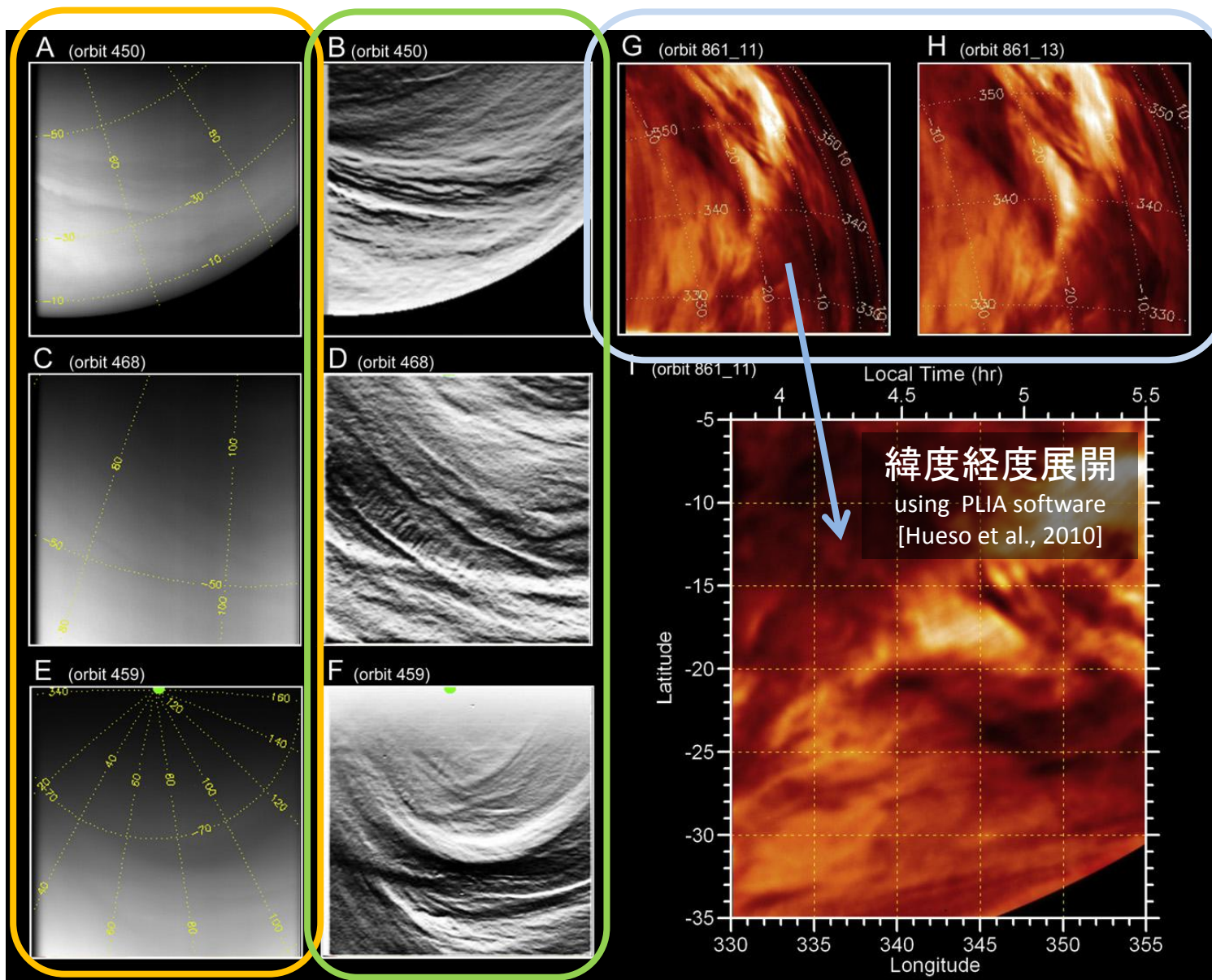
# 解析に用いた画像例

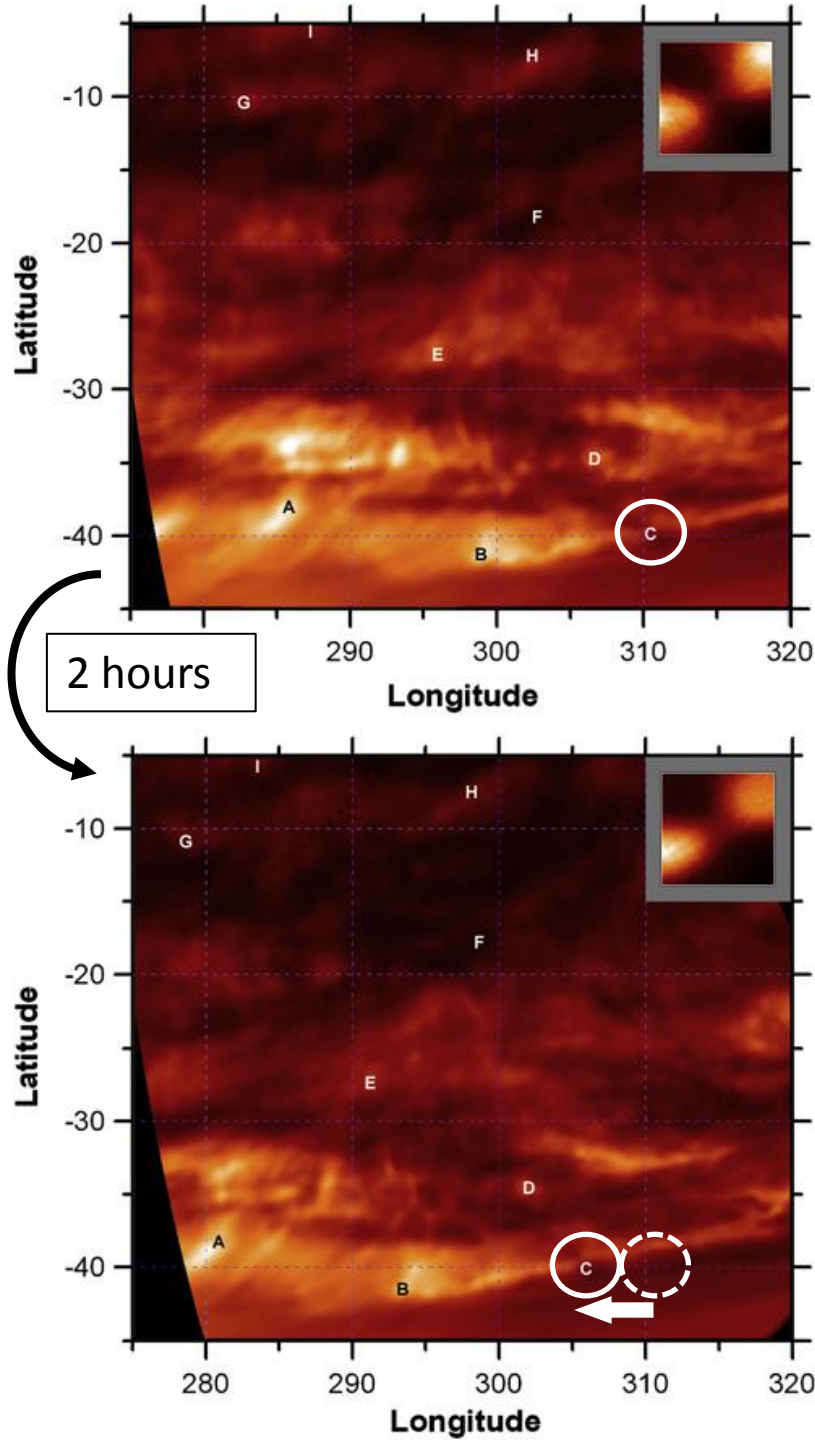
Fig.1

上層(66-73 km)  
380 nm

上層(Highpass)

下層(44-48 km)  
1.74 $\mu$ m





## 雲追跡による風速推定

- ・人の目によるマニュアルトラッキング
  - 相関を用いるデジタルトラッキングでは誤ベクトルが多数生じたため  
本論文では不採用
  - Wavy structures は追跡しない
- ・緯度経度展開画像を用いて雲追跡
  - 衛星軌道情報・姿勢情報に基づく展開(PLIA)
  - ズーム画像を用意し精度を高める工夫
- ・各追跡点における追跡誤差
  - 上層 9 m/s, 下層 6 m/s 程度
  - 模様によって3-10m/sの値を取る
 同じ画像を極投影図法で展開し比較して精度を確認  
 (姿勢決定精度  $\sim 0.02\text{deg}$  [Bertaux et al., 2007]  
 から見積もられる風速誤差は1.5m/s程度)

Fig. 2

# 平均風速分布

## 東西風速

$\langle u \rangle = -101 \pm 10 \text{ m/s} (0^\circ \sim 55^\circ \text{S})$

$\partial u / \partial y = -0.027 \text{ m/s/km} (> 55^\circ \text{S})$

- おおよそVMC/UVの解析結果と一致
- 数日周期の周期的変動は検出できず
  - 追跡可能な軌道の数・模様数が少なかった
  - 追跡誤差・ばらつきが大きいため

## 南北風速

極向きの風: 極大値 10m/s at 55° S

赤道・極で 0 m/s に近づく

→過去の報告と整合的な結果

## 東西風速

$\langle u \rangle = -60 \pm 7 \text{ m/s} (0^\circ \sim 65^\circ \text{S})$

$\partial u / \partial y = -0.023 \text{ m/s/km} (> 60^\circ \text{S})$

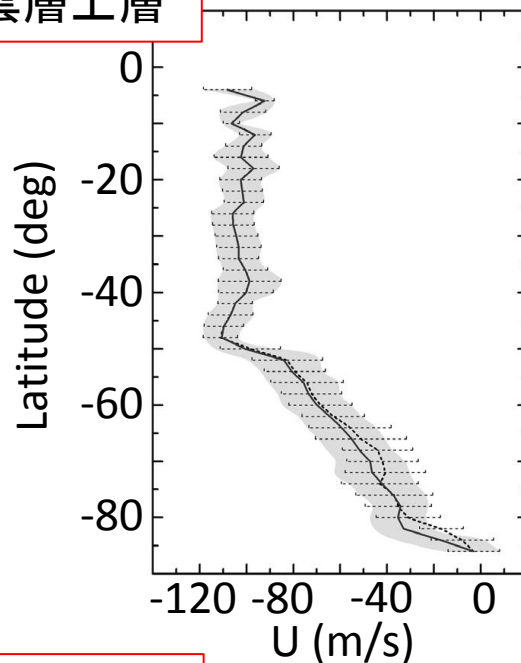
## 南北風速

同じ画像の中で北・南の両方へ向かう  
15m/sの南北風が存在

局所的には強い南北風(擾乱)が存在  
するものの惑星スケールでの平均は  
 $5 \pm 8 \text{ m/s}$  以下となり弱い

### 雲層上層

### 東西風速



### 南北風速

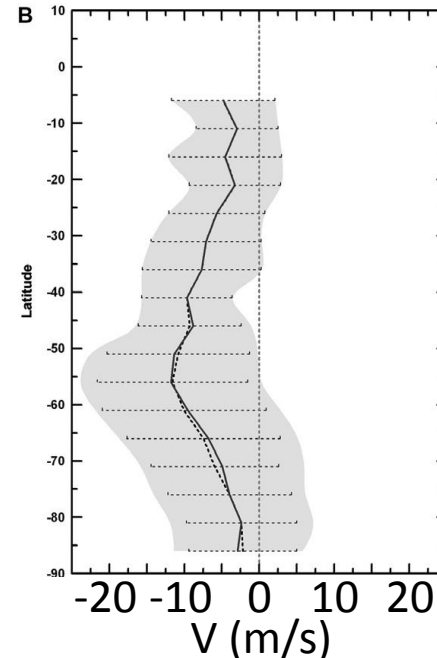


Fig. 3

### 雲層下層

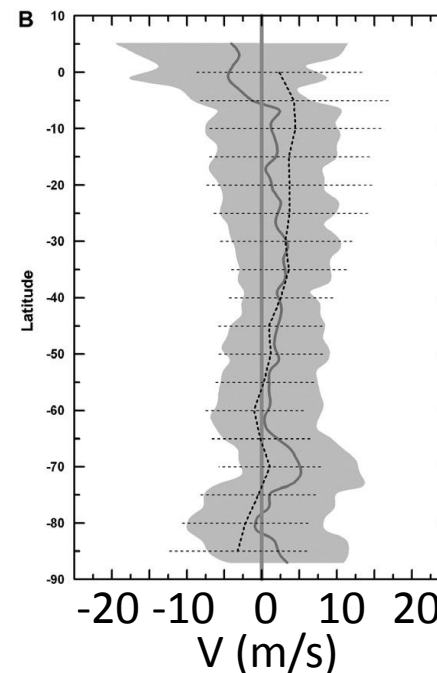
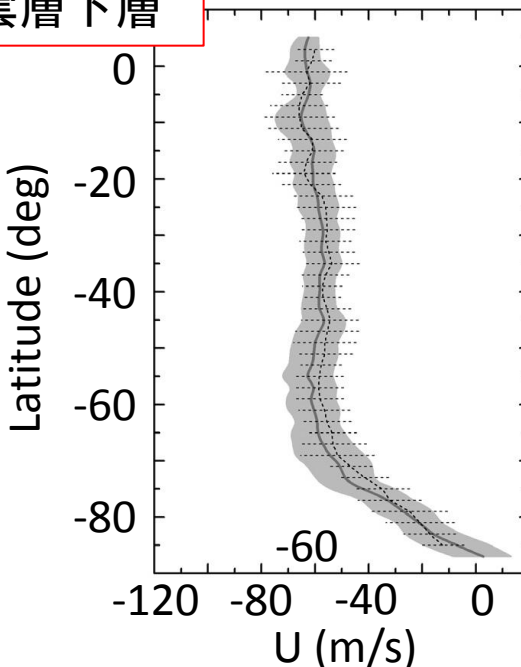


Fig. 5

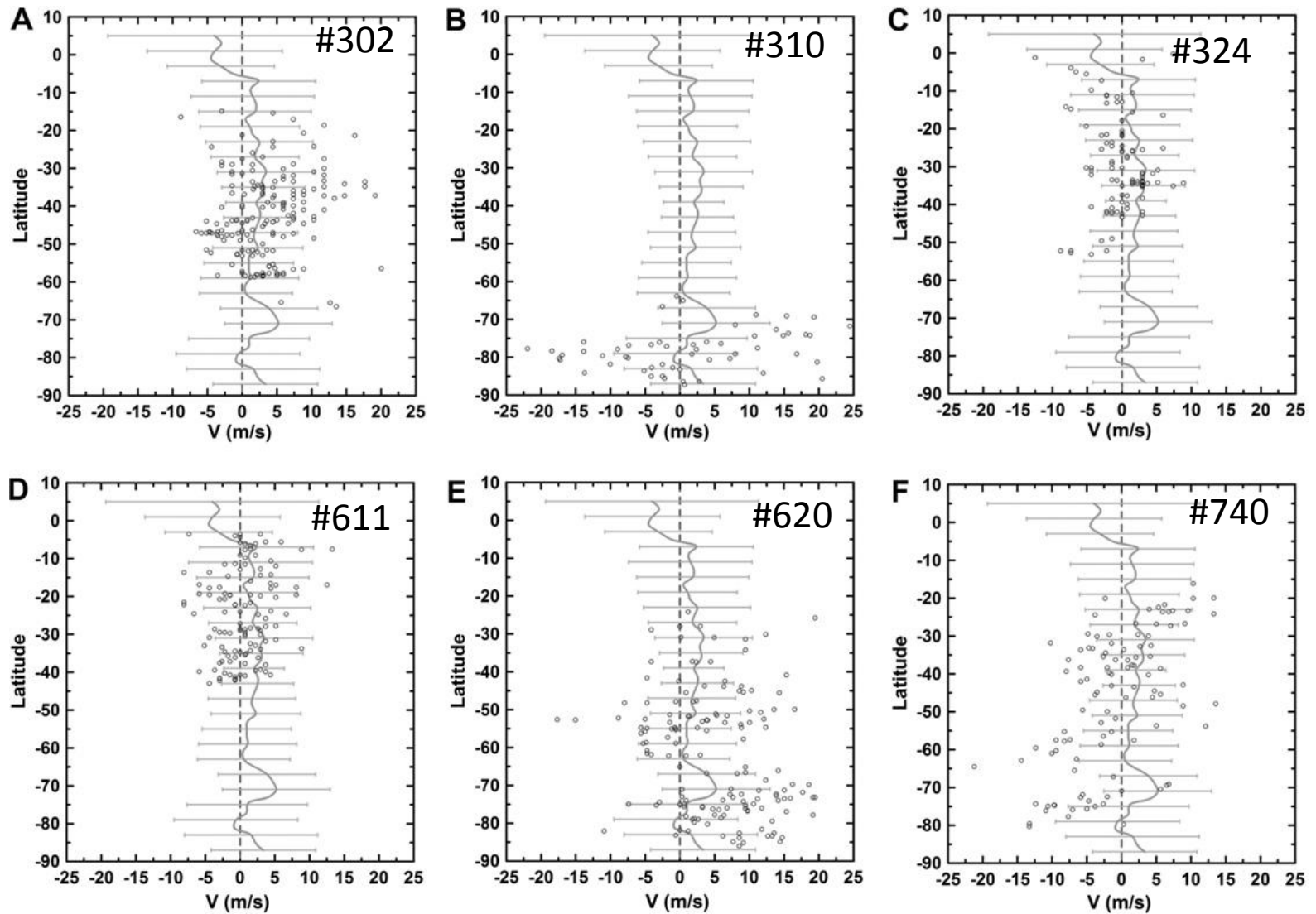


Fig. 8. Meridional wind profiles in the lower cloud at specific orbits.

# 下層での東西風速の変動・ばらつき

緯度50°S-70°Sで風速が大きくなることがある(E,F)  
緯度55°Sは模様の特徴が変化する境目

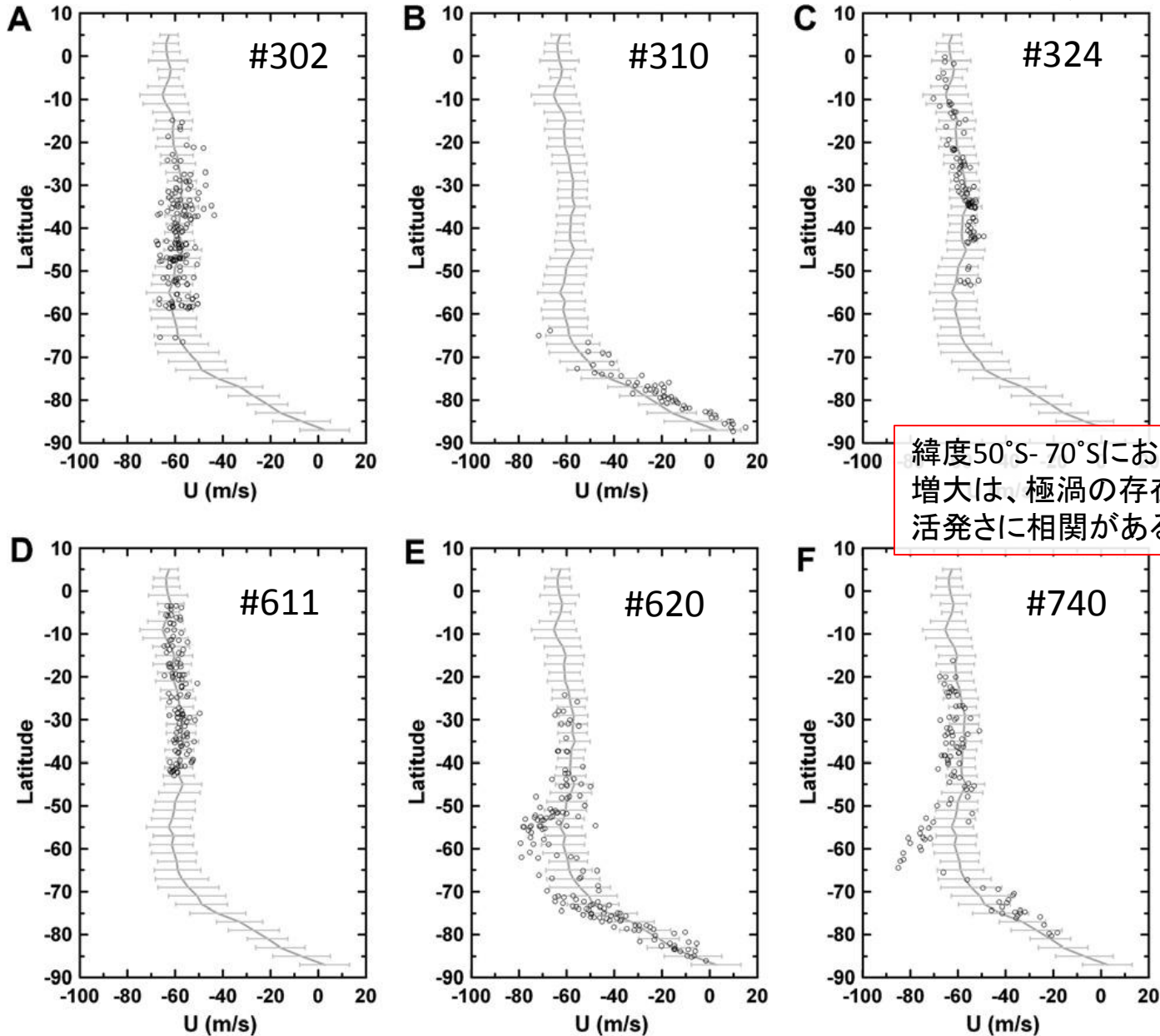


Fig. 7. Examples of zonal wind profiles in the lower cloud at specific orbits.



# 各軌道での雲模様

緯度50°S-70°Sで風速が大きくなることがある(E,F)  
緯度55°Sは模様の特徴が変化する境目

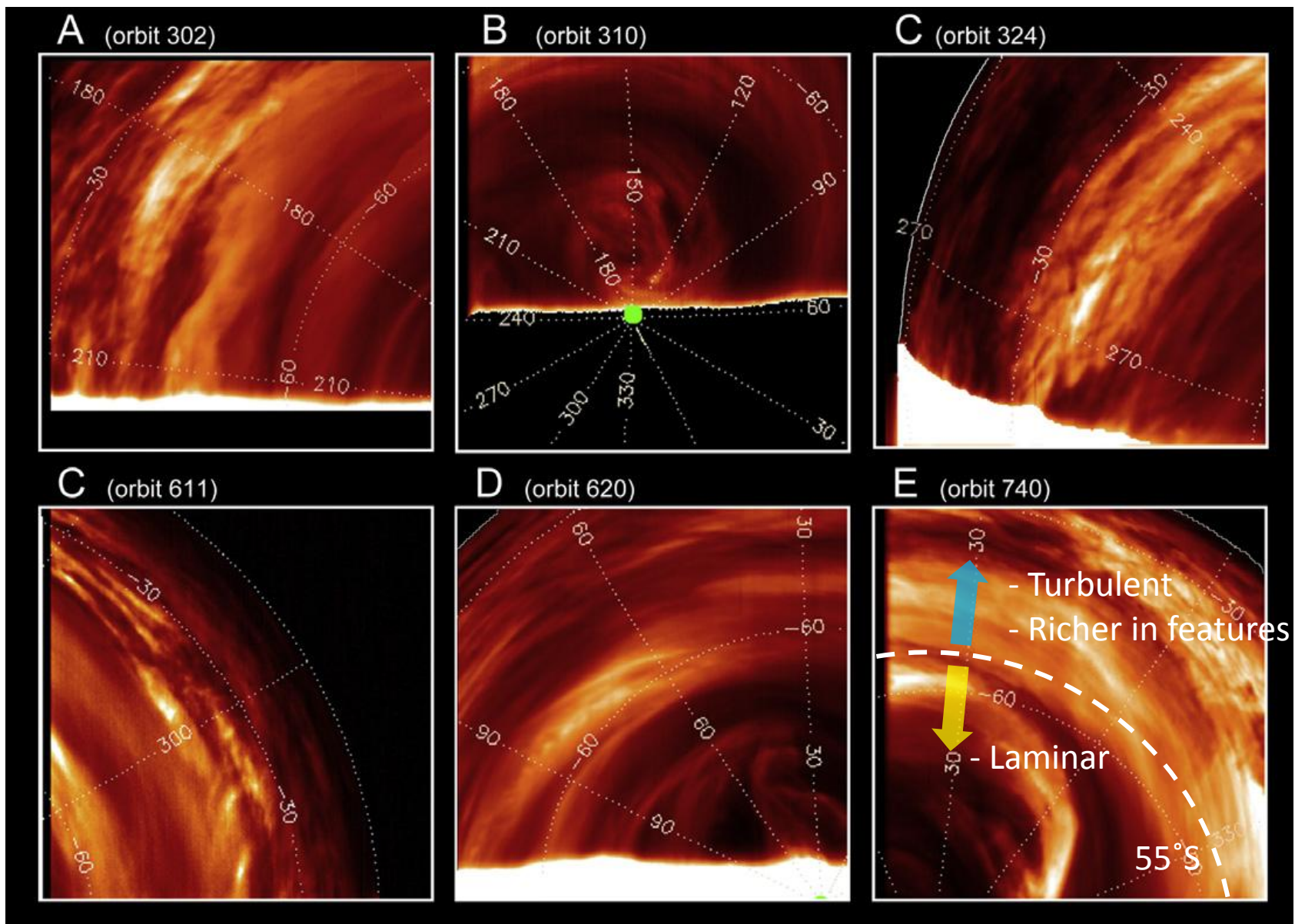
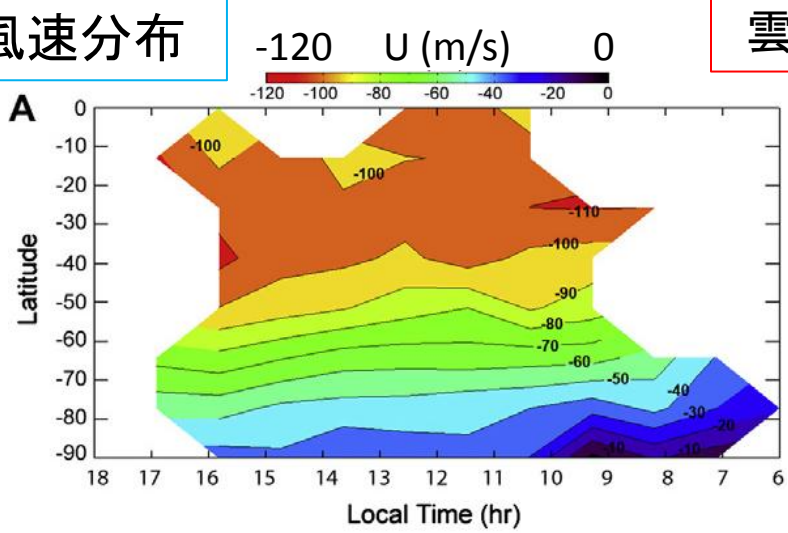


Fig. 9

# 平均風速分布



# 雲層上層

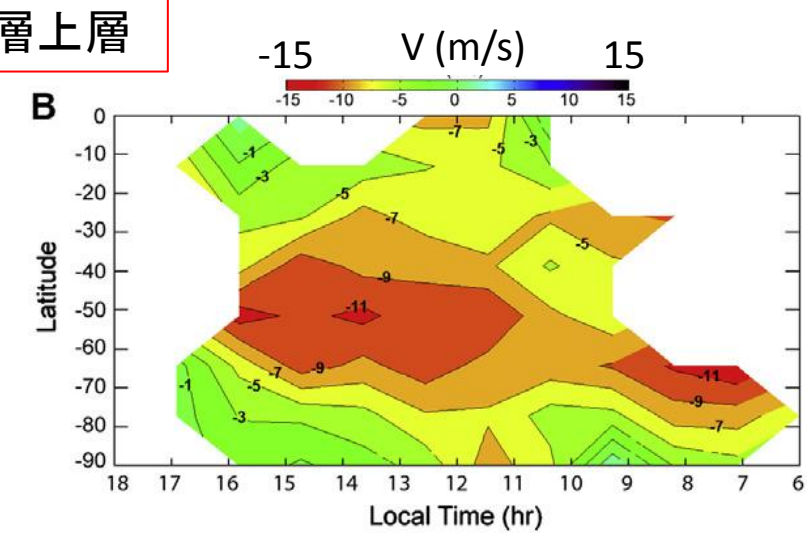
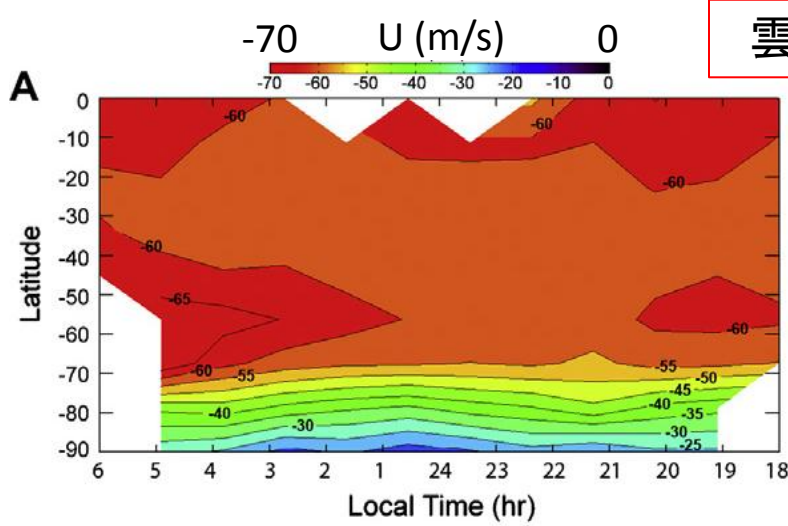


Fig. 4

- (A) **東西風速**: 50S-70Sに9hrから16hrに向かって  $2.5 \pm 0.5 \text{ m/s/Local Time}$  の増加傾向が見られる。(熱潮汐波に由来?) 全体で10m/s程度の変化
- (B) **南北風速**: 強いローカルタイム依存性はあまり見えない



# 雲層下層

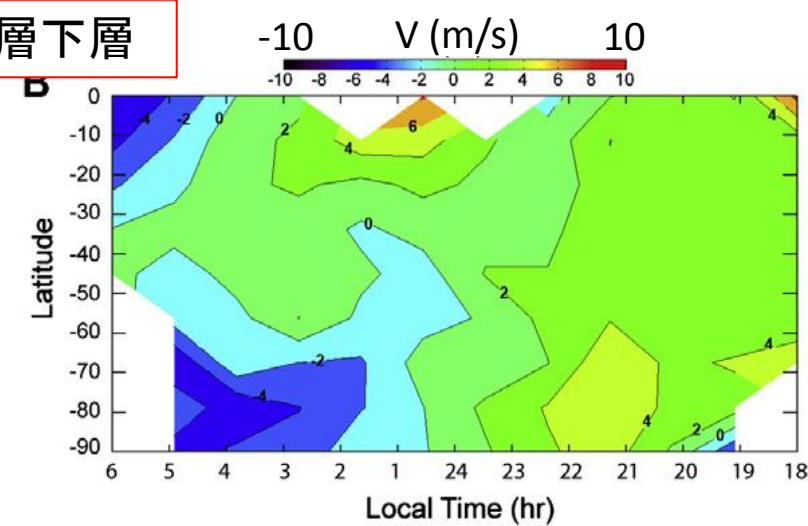


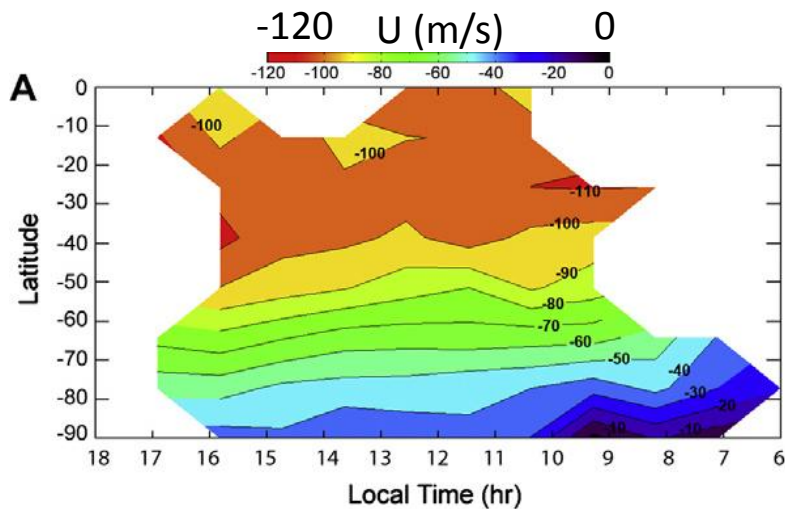
Fig. 6

- (A) **東西風速**: 上層と比較して緯度に対してあまり変化しない。明確な熱潮汐波構造は見られないが朝方領域にローカルタイム依存構造が見られる(サンプル数が少ないためたまたま?)。
- (B) **南北風速**: 複雑な水平構造。ただし各値はFig 5Bの誤差範囲を下回る。擾乱を反映?

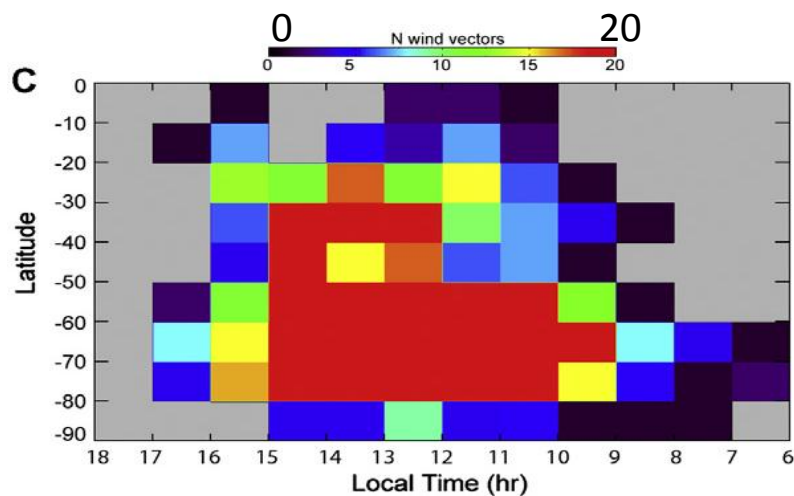
# 用いたベクトル数

## 雲層上層

Fig. 4

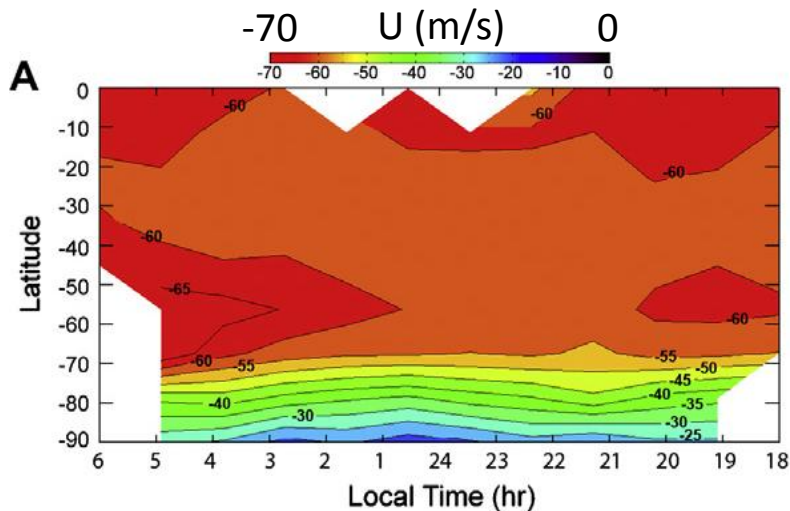


## N wind Vectors

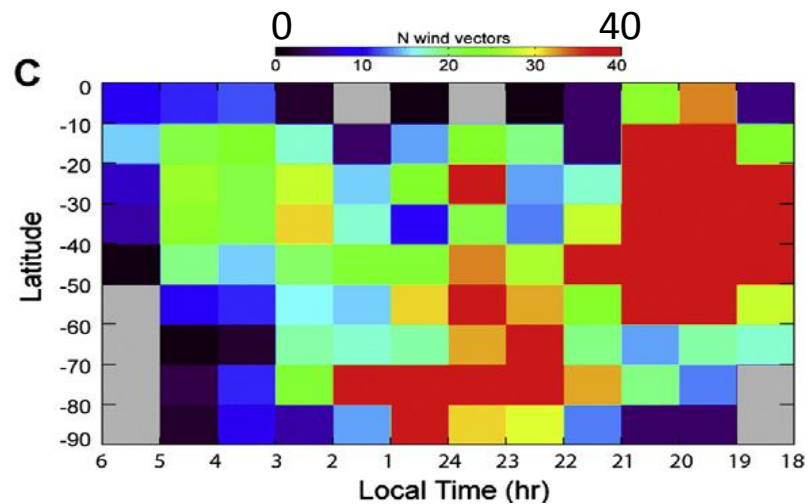


## 雲層下層

Fig. 6



## N wind Vectors



VIRTISの結果

(2006~2007年の平均)

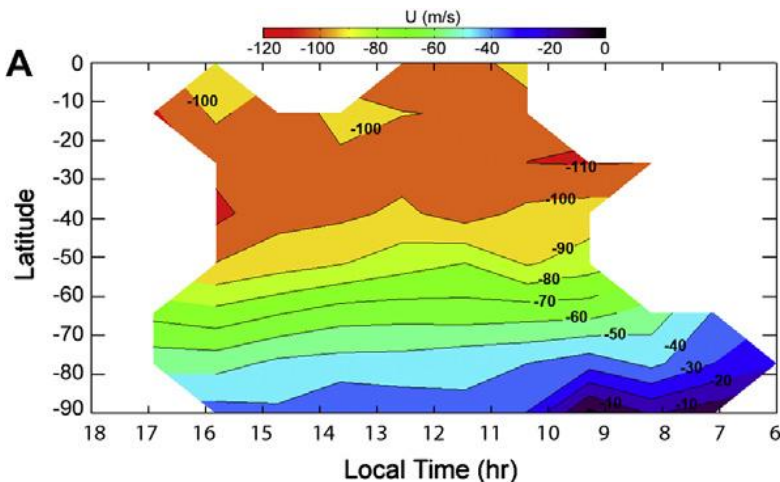
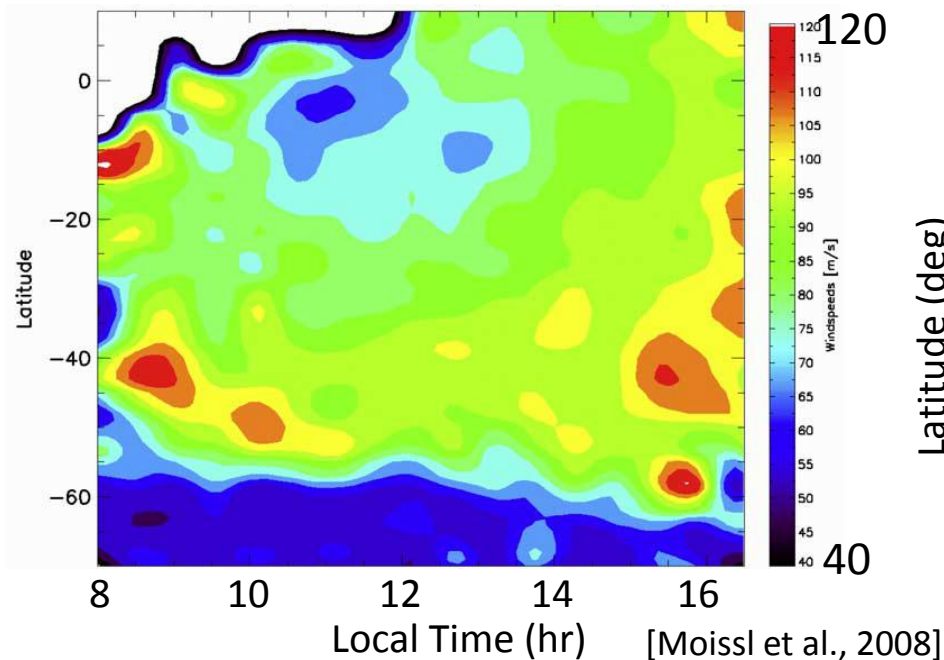


Fig. 4

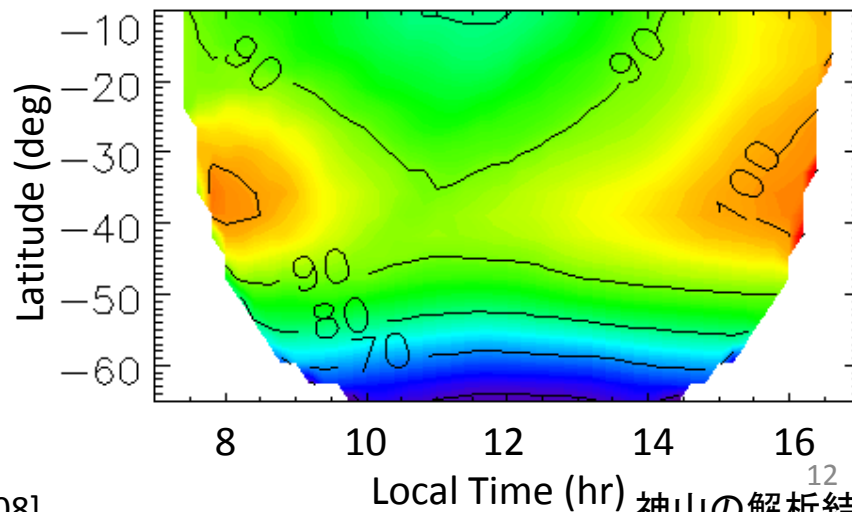
VMCの結果

2006年~2007年の平均  
(Visual Tracking)



[Moissl et al., 2008]

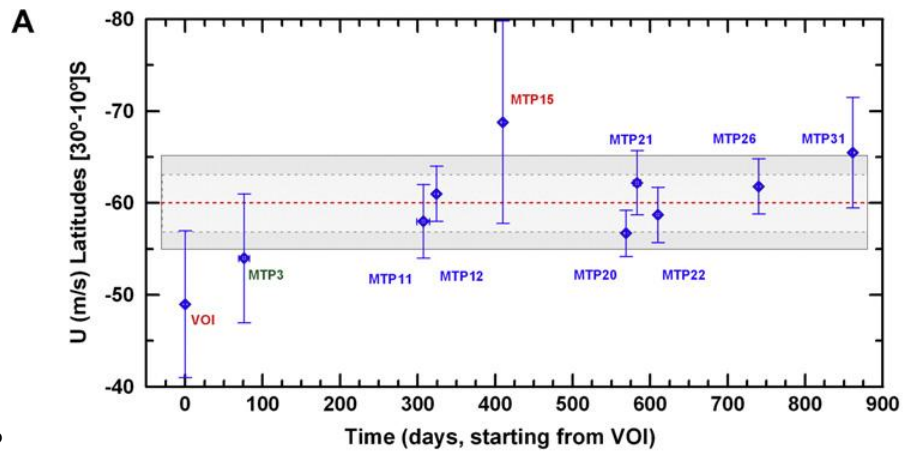
2006年~2007年の平均  
(Digital Tracking)



神山の解析結果

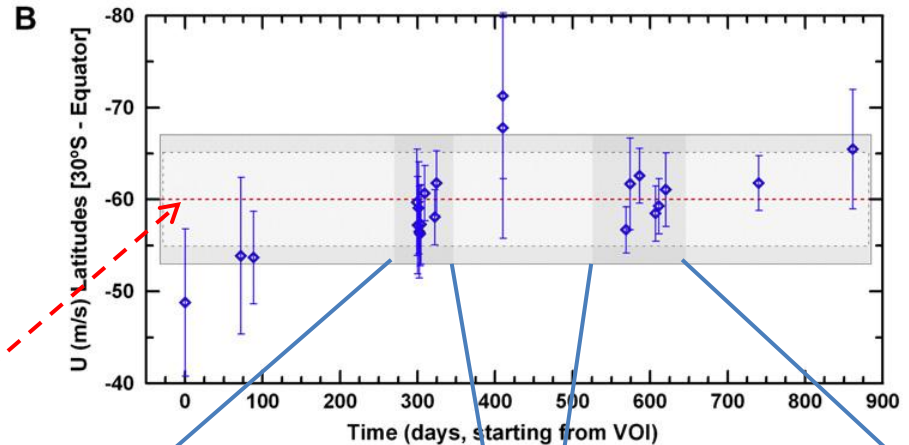
# 東西風速の時間変動 (赤道～30°S)

(A)  
VOI からMiddle Term Planning (MTP) 15  
にかけて、強い増加傾向が見られる。  
しかし誤差範囲の広いVOIとMTP 15を  
除くと風速の変動はそれほど大きくない。



MTPごとに  
平均した  
東西風速

(B)  
誤差範囲の広い観測期間は、  
日々の観測値も誤差範囲が広い

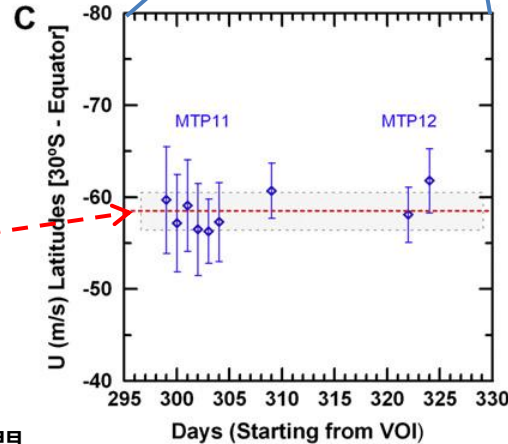


Dairy data

→誤差を考慮すると、Panel A, Bで  
見られる風速変化の傾向は誤差に  
よるもので、実際の変動とは異なる  
可能性がある

$$\langle u \rangle = -60 \pm 5 \text{ m/s}$$

(C)  
誤差の小さい観測期間だけを見ると  
はっきりとした風速変動は捉えられない



$$\langle u \rangle = -58 \pm 3 \text{ m/s}$$

(C,D) Dairy dataのうち  
時間的に連続して  
データが得られた期間

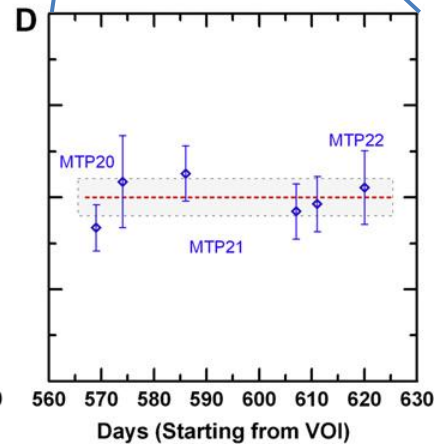
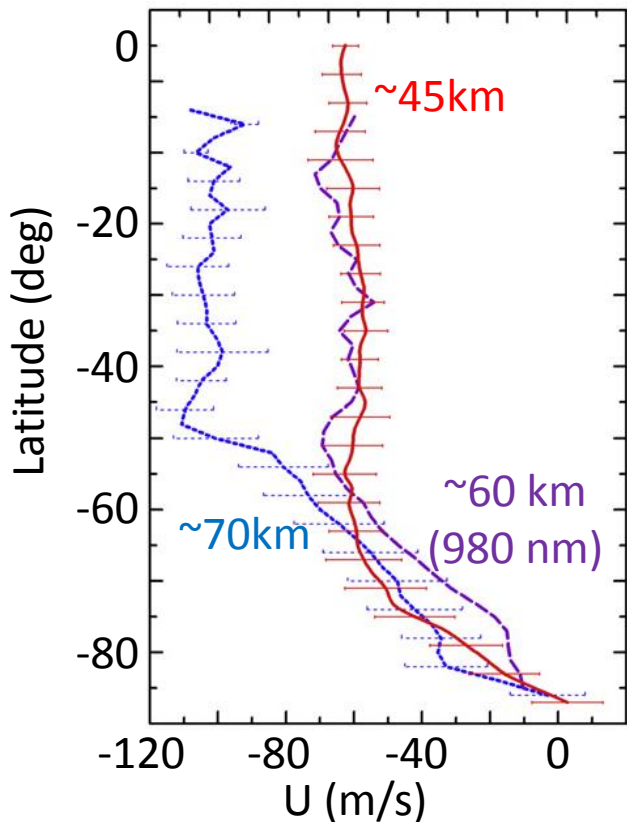


Fig. 10

# 風速の鉛直分布

東西風速



南北風速

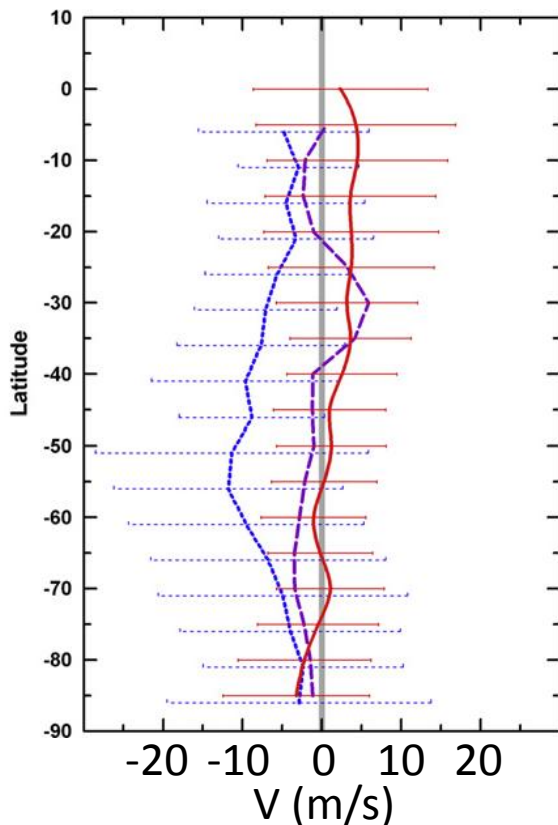
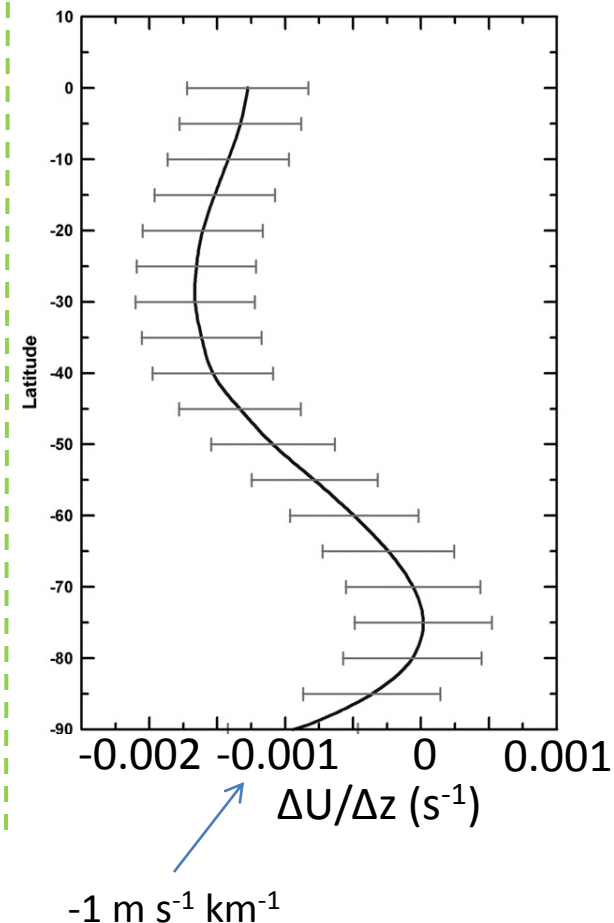


Fig. 11

Fig. 12

鉛直方向の速度シア



<45 – 73 km>

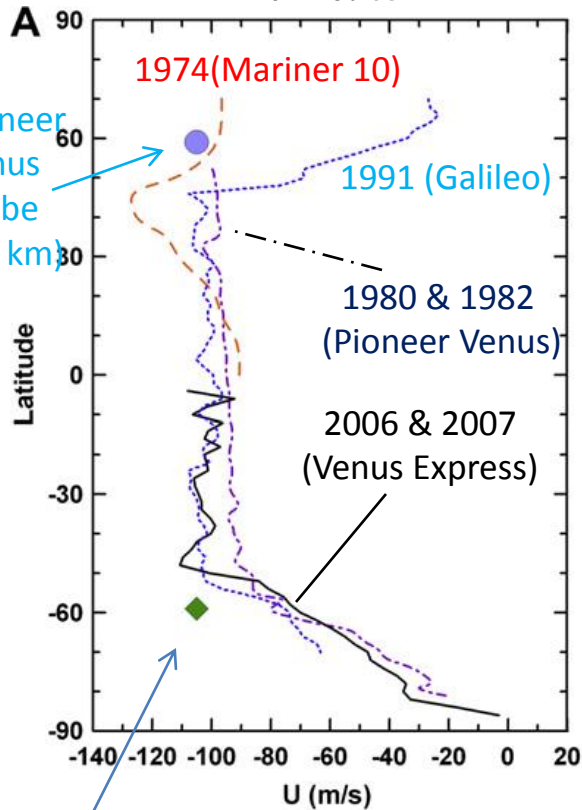
$$\partial u / \partial z = -1.4 \pm 0.4 \text{ m s}^{-1} \text{ km}^{-1} \text{ (0}^\circ \text{ - 55}^\circ \text{S)}$$

$$\partial u / \partial z = -0.4 \pm 0.5 \text{ m s}^{-1} \text{ km}^{-1} \text{ (50}^\circ \text{ ~ 60}^\circ \text{ - 90}^\circ \text{S)}$$

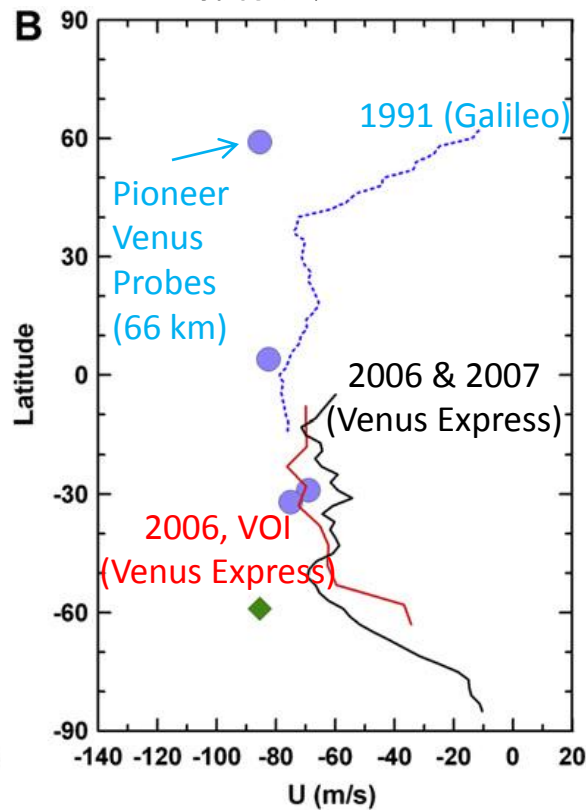
鉛直風速変化のほとんどは高度60-70kmで生じている可能性(最大で  $5 \text{ m s}^{-1} \text{ km}^{-1}$  程度)  
 ただし高度によって観測期間が同じでない、観測日が限られているなどの理由から、  
 はっきりとした結論は導き出せていない

# 東西風速:異なる観測間での比較

雲層上層 (66~73 km)  
紫外撮像



上層下部 (~60 km)  
撮像波長 980 nm



雲層下層  
1.74μm 撮像

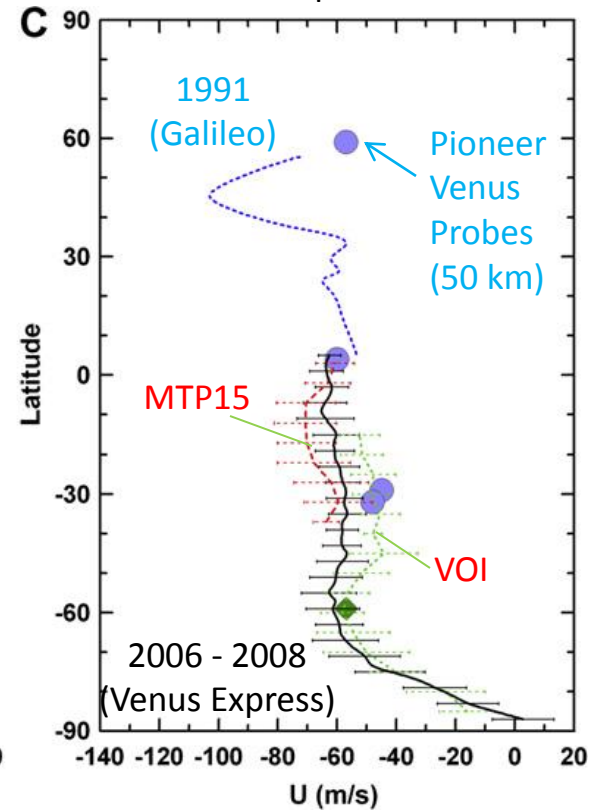


Fig. 13

◆: 北半球のProbe dataを南半球の同じ緯度に投影した値

(A) 30年に渡る複数のミッションを通して風速・緯度分布は大きく変化していない  
(ただしMariner 10による観測にだけ強いMid-latitude jetあり)

(B) Galileoによる観測、初期のVenus Expressによる観測、全期間の平均にある程度(~10m/s)のばらつきが存在

(C) 二つのミッション間で低緯度帯は良い類似性がある。中緯度帯に大きな違い

# 風速：異なる観測間での比較

過去の観測、Venus Expressで得られた風速分布をそれぞれ差分を取ってプロット

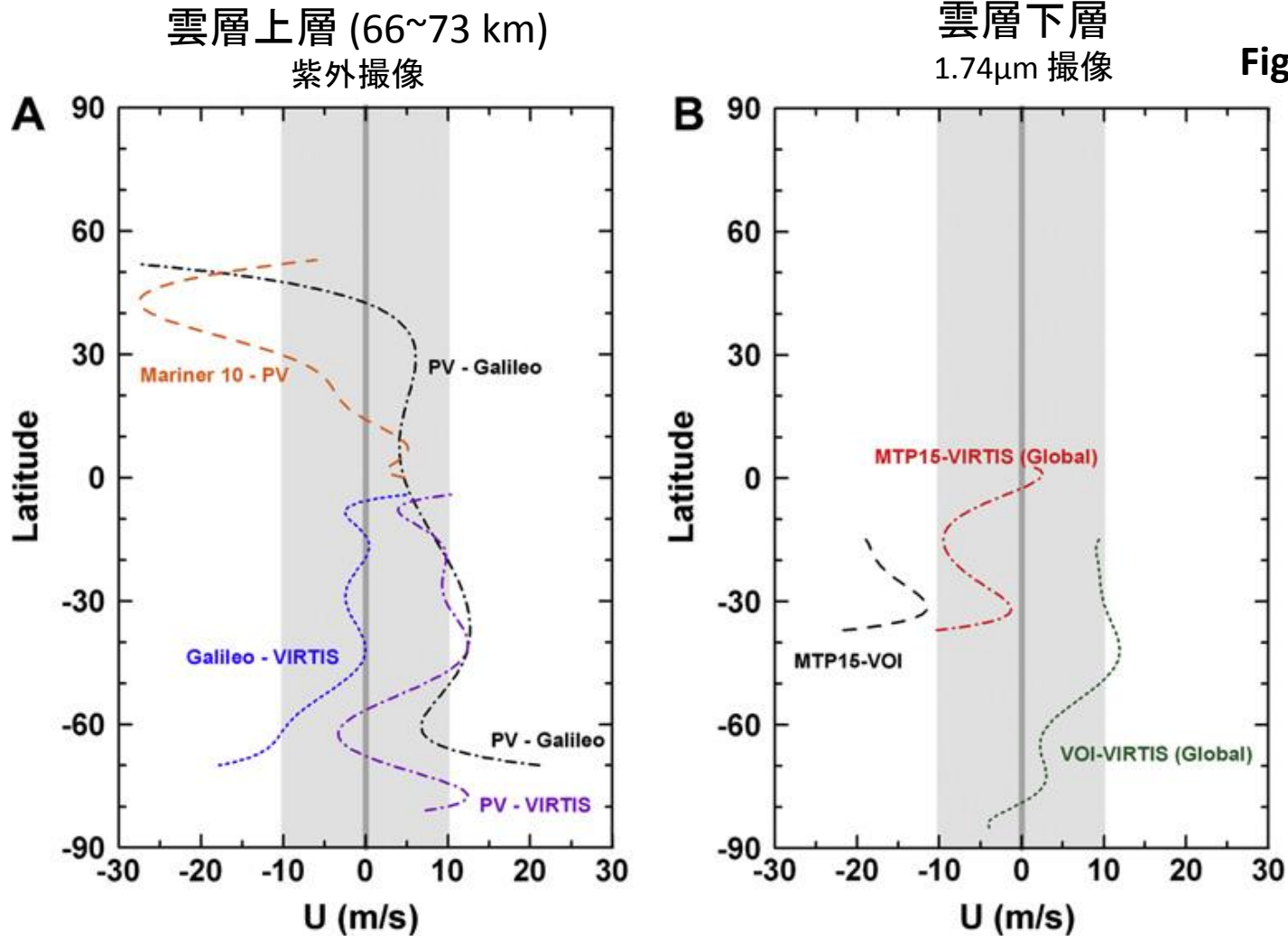


Fig. 14

(A) おおよそ東西風速のばらつきは±10 m/s程度

(Mariner 10 で見られた中緯度ジェットとの比較、Galileo衛星の高緯度帯における結果との比較を除く)

→ 10 m/sのばらつきは熱潮汐波由来の風速振幅、各風速推定の誤差で説明されうる。

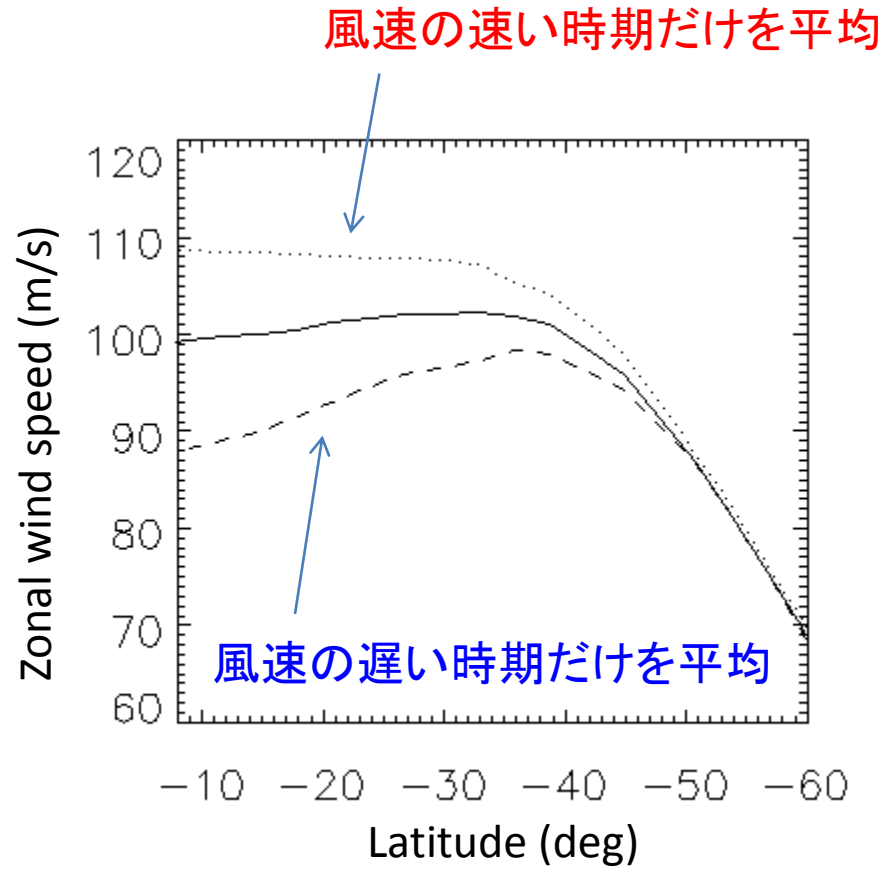
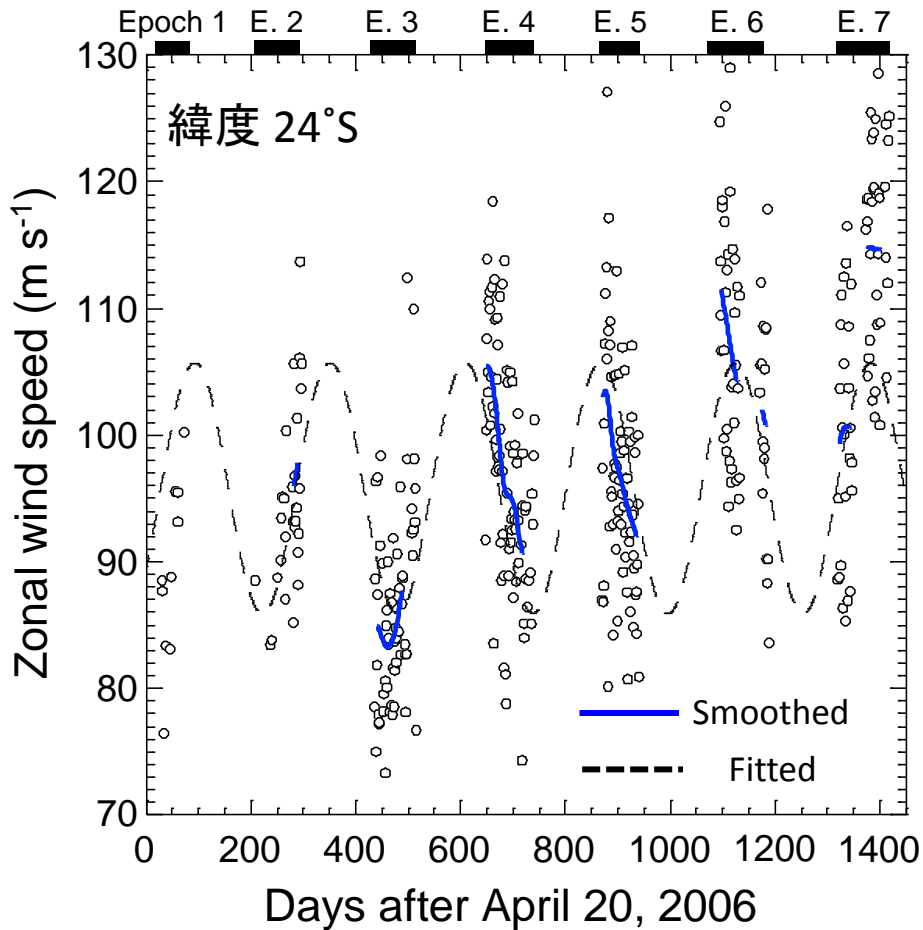
(B) 平均からの逸脱が大きかったVOI時のデータ・MTP15のデータと全体の平均との比較

この2つの時期以外では大きな風速の変化は見られていない



# 東西風速の時間変化について

雲頂高度、低・中緯度帯の東西風速は数百日で~20m/s変化しうる

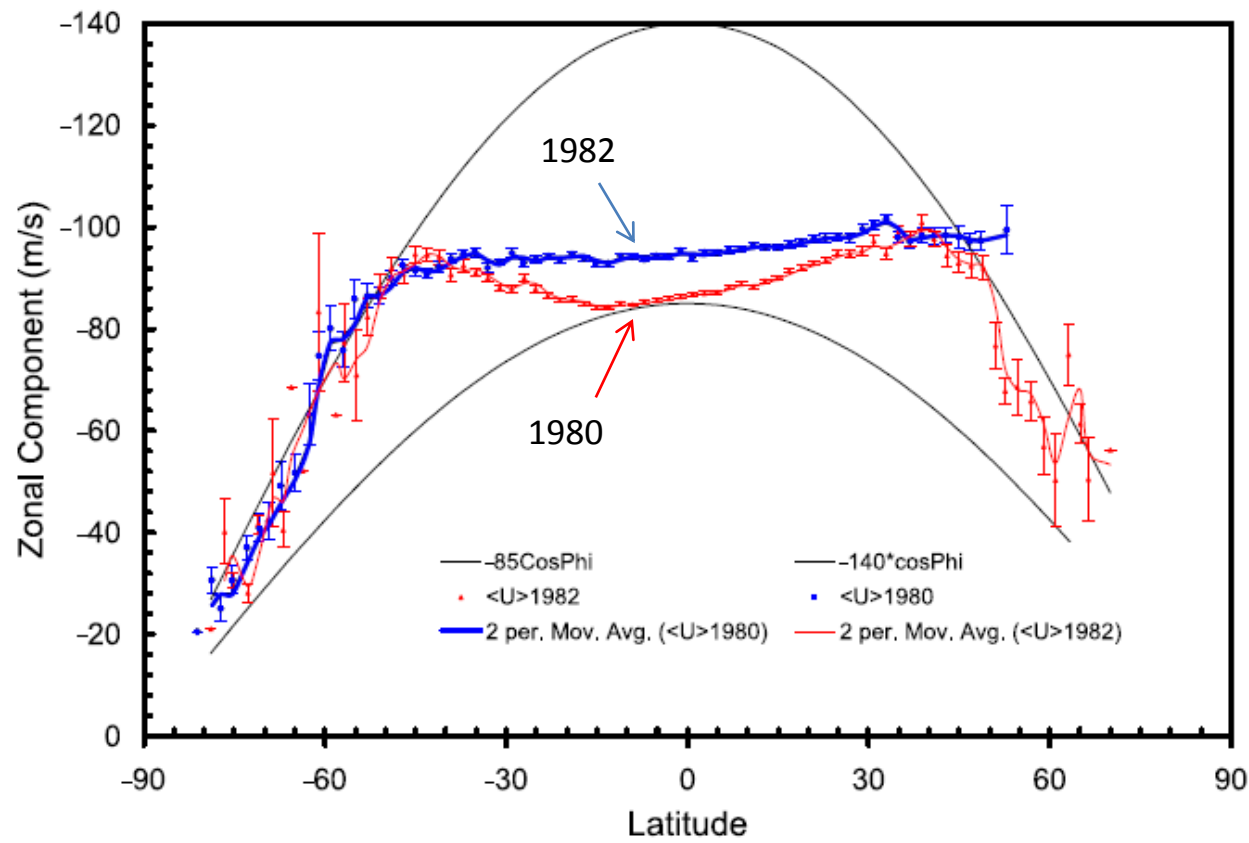


[Kouyama et al., Submitted]

# 東西風速の時間変化について

## 1980年と1982年の風速の比較

[Limaye, 2007]



- ・低・中緯度帯に関しては、風速の時間変化がミッション間のばらつきの一因となっている可能性  
ただし高緯度の東西風速に顕著な時間変動は見られていない
- ・異なるミッション間の比較では高緯度も東西風速に10m/sの差があった  
→ 数年単位ではそれほど風速変化はないが数十年単位で変化する？ (cf, Parish et al., 2011)

## Summary

雲頂(~70 km)



上層下部(~60 km)



雲層下層(~45 km)

東西風速: 観測期間を通して安定していた

⇒実際には時間変動がある動的平衡な状態?

南北風速: 昼面では赤道から極に向かう流れが確認される

東西風速: 大きな鉛直勾配?

東西風速: ~62m/s

南北風速: < 5 m/s [Sanchez-Levega et al., 2008]

東西風速: 緩やかな鉛直勾配?

東西風速: ~60m/s, あまり時間変化しない

熱潮汐波に由来する構造は確かめられない

極渦の活動に伴って50°-70°Sの風速が変化する

南北風速: 風速の測定箇所ごとに15 m/sの大きなばらつきがある

平均値は5 m/s 以下

# Appendix

**Table 1**  
Orbits and distribution of tracked cloud features in the upper cloud.

Orbit	Date (yr/mm/dd)	Time sep (h)	UV (380 nm)		
			Latitude range	Local time range	N points
VOI_05	2006-04-19	1.2	03°S–71°S	08.8–16.1	145
34	2006-05-24	1.5	17°S–40°S	11.2–13.5	25
69	2006-06-28	0.8	07°S–60°S	09.2–16.1	98
70	2006-06-29	0.8	34°S–66°S	11.3–15.3	90
73	2006-07-02	1	50°S–80°S	09.6–14.3	8
74	2006-07-03	1	52°S–74°S	09.2–12.8	10
75	2006-07-04	1	53°S–76°S	09.0–14.4	16
76	2006-07-05	1	45°S–73°S	12.3–16.1	18
77	2006-07-06	1	52°S–80°S	13.2–16.3	7
78	2006-07-07	1	45°S–65°S	12.1–16.3	13
79	2006-07-08	1	50°S–65°S	13.5–16.2	8
80	2006-07-09	1	50°S–70°S	11.9–14.6	15
81	2006-07-10	1	53°S–62°S	13.2–15.6	9
82	2006-07-11	1	59°S–78°S	12.1–15.1	10
84	2006-07-13	1	59°S–81°S	09.5–12.9	8
85	2006-07-14	1	54°S–85°S	07.9–13.4	32
86	2006-07-15	1	57°S–82°S	08.5–12.9	10
94	2006-07-23	1	65°S–76°S	07.1–12.5	8
95	2006-07-24	1	56°S–83°S	06.6–12.6	29
96	2006-07-25	1	65°S–82°S	07.0–12.8	7
97	2006-07-26	1	55°S–87°S	10.8–16.2	16
98	2006-07-27	1	68°S–78°S	12.5–13.7	4
244	2006-12-20	2	67°S–84°S	08.6–15.3	15
283	2007-01-28	1	55°S–78°S	10.6–16.1	24
451 <sup>a</sup>	2007-07-16	1	49°S–66°S	10.4–11.8	7
452 <sup>a</sup>	2007-07-17	1	54°S–65°S	09.9–12.2	10
453 <sup>a</sup>	2007-07-18	1	48°S–67°S	09.6–12.6	16
454 <sup>a</sup>	2007-07-19	1	51°S–71°S	08.8–12.8	11
456 <sup>a</sup>	2007-07-21	0.9	59°S–81°S	09.9–14.3	20
457 <sup>a</sup>	2007-07-22	0.9	57°S–83°S	09.0–14.4	23
458 <sup>a</sup>	2007-07-23	0.9	57°S–83°S	10.3–14.4	22
459 <sup>a</sup>	2007-07-24	0.9	53°S–77°S	09.1–14.0	22
460 <sup>a</sup>	2007-07-25	0.9	57°S–64°S	09.4–11.6	25
461 <sup>a</sup>	2007-07-26	1	56°S–81°S	10.1–14.9	26
462 <sup>a</sup>	2007-07-27	0.9	57°S–67°S	09.3–16.1	27
463 <sup>a</sup>	2007-07-28	0.9	54°S–77°S	10.0–13.1	22
465 <sup>a</sup>	2007-07-29	1	54°S–72°S	10.5–14.0	16
466 <sup>a</sup>	2007-07-30	0.5	55°S–68°S	10.0–14.0	28
467 <sup>a</sup>	2007-07-31	0.5	54°S–80°S	09.6–15.7	28
468 <sup>a</sup>	2007-08-01	1	52°S–83°S	09.2–15.7	25
469 <sup>a</sup>	2007-08-02	1	57°S–79°S	08.6–16.6	24
470 <sup>a</sup>	2007-08-03	0.9	56°S–81°S	10.4–14.5	24
471 <sup>a</sup>	2007-08-04	0.9	57°S–73°S	11.2–16.0	21
472 <sup>a</sup>	2007-08-05	0.9	58°S–77°S	09.7–15.2	21
473 <sup>a</sup>	2007-08-06	0.5	68°S–81°S	08.7–16.9	27
Total			03°S–87°S	06.6–16.9	1071

**Table 2**  
Orbits and distribution of tracked cloud features in the lower cloud.

Orbit	Date (yr/mm/dd)	Time sep (h)	NIR (1.74 μm)		
			Latitude range	Local time range	N points
VOI00	2006-04-12	1.6	10°S–86°S	19.6–05.5	86
VOI01	2006-04-13	1.6	32°S–81°S	19.2–03.7	14
VOI03	2006-04-14	1.6	44°S–84°S	21.2–03.0	5
VOI04	2006-04-17	1.6	45°S–84°S	22.1–04.1	8
72	2006-07-01	0.77	01°S–85°S	18.4–04.6	128
73	2006-07-02	1	40°S–84°S	19.1–02.9	84
74	2006-07-03	1	52°S–86°S	20.6–03.4	10
75	2006-07-04	1	40°S–84°S	19.6–04.4	32
77	2006-07-06	1	38°S–69°S	18.9–00.1	65
78	2006-07-07	1	80°S–84°S	20.4–23.6	5
79	2006-07-08	1	79°S–82°S	22.1–23.8	5
80	2006-07-09	1	44°S–81°S	19.9–23.9	20
84	2006-07-13	1	36°S–82°S	20.9–02.5	98
88	2006-07-17	1	08°S–49°S	21.8–01.2	34
299	2007-02-13	1	14°S–64°S	18.5–21.2	126
300	2007-02-14	1	14°S–64°S	18.4–21.1	84
301 <sup>a</sup>	2007-02-15	1, 2	19°S–68°S	18.1–21.1	171
302 <sup>a</sup>	2007-02-16	1, 2, 5	15°S–67°S	18.3–21.4	175
303 <sup>a</sup>	2007-02-17	2	6°S–47°S	19.3–20.5	52
304 <sup>a</sup>	2007-02-18	2	7°S–47°S	18.3–20.7	46
309 <sup>a</sup>	2007-02-23	2	0°S–47°S	18.4–21.0	109
310 <sup>a</sup>	2007-02-24	2	63°S–87°S	19.5–04.4	56
314 <sup>a</sup>	2007-02-08	1	68°S–85°S	21.9–04.4	30
322 <sup>a</sup>	2007-03-08	1	5°N–55°S	19.6–21.1	86
324 <sup>a</sup>	2007-03-10	1, 2	0°S–53°S	19.9–21.4	99
334 <sup>a</sup>	2007-03-20	2	34°S–59°S	20.5–22.6	33
392 <sup>a</sup>	2007-05-17	1, 1.5, 2	41°S–84°S	20.0–03.0	101
410	2007-06-05	0.5	02°S–26°S	20.0–23.0	44
411	2007-06-06	0.5	04°S–38°S	19.2–23.4	84
454 <sup>a</sup>	2007-07-19	1	66°S–85°S	21.0–03.2	42
569 <sup>a</sup>	2007-11-10	2, 3	18°S–57°S	22.9–00.7	41
577 <sup>a</sup>	2007-11-18	0.7, 2.3	7°S–38°S	20.4–01.3	26
586 <sup>a</sup>	2007-11-27	3	4°S–54°S	20.5–03.7	97
607 <sup>a</sup>	2007-12-18	2	0°–60°S	01.8–05.2	113
611 <sup>a</sup>	2007-12-22	2	3.5°S–43°S	02.2–05.4	125
620 <sup>a</sup>	2007-12-31	1, 2	24°S–86°S	19.1–02.7	154
740 <sup>a</sup>	2008-04-09	1	16°S–80°S	23.3–03.7	103
828 <sup>a</sup>	2008-06-26	2	45°S–82°S	20.3–03.6	57
861 <sup>a</sup>	2008-09-29	1	06°N–32°S	03.8–05.5	45
Total			06°N–87°S	18.1–05.5	2692

<sup>a</sup> New data not reported in Sánchez-Lavega et al. (2008).

**Table 3**

Zonal and meridional velocities at top of the the upper cloud layer (380 nm).

Latitude (deg.)	(u) (m s <sup>-1</sup> )	(v) (m s <sup>-1</sup> )	r.m.s. (u) (m s <sup>-1</sup> )	r.m.s. (v) (m s <sup>-1</sup> )	N
-86	-3.1	-1.5	11	6.3	4
-84	-17.1	-2.1	18	7.3	10
-82	-32.9	-4.2	12	8.5	17
-80	-35.3	-2.5	12	9.2	36
-78	-34.4	-1.9	12	9.2	54
-76	-37.4	-4.6	13	9.4	65
-74	-42.1	-5.2	14	11	74
-72	-46.4	-3.3	16	10	80
-70	-47.2	-5.9	15	10	90
-68	-51.7	-6.6	14	12	87
-66	-55.1	-7.0	14	12	84
-64	-59.4	-6.2	15	13	93
-62	-64.4	-9.8	13	12	103
-60	-70.0	-10.6	14	12	108
-58	-73.5	-11.1	13	12	113
-56	-75.7	-11.5	15	12	79
-54	-80.8	-12.5	13	13	53
-52	-84.1	-11.7	15	11	30
-50	-100.6	-11.2	12	9.5	20
-48	-110.7	-7.4	7.0	8.4	22
-46	-109.7	-6.5	8.4	7.3	25
-44	-106.8	-9.8	9.5	6.2	23
-42	-104.9	-11.3	7.4	5.2	18
-40	-100.2	-8.8	12	7.1	25
-38	-98.7	-8.6	13	7.3	23
-36	-100.5	-6.9	9.5	9.4	34
-34	-103.4	-8.1	8.6	8.0	35
-32	-103.3	-7.4	9.5	7.5	30
-30	-104.3	-7.2	9.2	7.0	24
-28	-105.6	-6.2	8.8	6.8	28
-26	-105.9	-4.6	9.0	6.7	21
-24	-101.1	-3.1	8.4	6.2	14
-22	-101.8	-3.2	8.5	4.9	19
-20	-102.5	-3.5	8.9	6.6	21
-18	-97.0	-3.2	11	8.5	10
-16	-102.4	-3.4	11	8.4	5
-14	-101.2	-5.4	7.6	3.9	5
-12	-96.3	2.6	6.8	1.8	3
-10	-106.5	-5.3	3.5	3.8	3
-8	-101.5	-4.0	9.6	5.6	3
-6	-92.2	0.5	4.0	5.4	3
-4	-108.0	-10.0	10.3	3.6	2

**Table 4**

Zonal and meridional velocities in the lower cloud layer (1.74 μm).

Latitude (deg.)	(u) (m s <sup>-1</sup> )	(v) (m s <sup>-1</sup> )	r.m.s. (u) (m s <sup>-1</sup> )	r.m.s. (v) (m s <sup>-1</sup> )	N
-87	2.7	3.4	10	7.5	8
-85	-6.9	2.2	12	9.3	33
-83	-15.8	1.6	10	9.5	71
-81	-21.2	-0.9	8.5	9.0	111
-79	-27.0	-0.6	11	8.9	116
-77	-32.9	1.0	10	8.7	101
-75	-42.1	1.0	12	8.7	96
-73	-48.8	4.1	11	9.6	66
-71	-50.7	5.2	12	7.7	50
-69	-54.4	4.7	13	7.8	43
-67	-57.1	3.9	11	7.0	41
-65	-58.9	2.1	9.7	7.1	48
-63	-59.3	0.5	8.0	6.7	87
-61	-60.4	0.4	9.5	7.2	74
-59	-61.5	1.1	9.1	7.0	108
-57	-60.6	1.0	8.5	6.7	98
-55	-62.8	0.9	9.3	6.4	84
-53	-61.3	1.1	8.6	6.2	102
-51	-60.4	2.3	8.8	6.5	99
-49	-59.9	1.8	8.4	7.1	95
-47	-58.2	1.7	8.6	6.3	111
-45	-56.7	2.1	7.8	6.2	126
-43	-58.4	2.5	6.5	5.2	149
-41	-58.5	2.5	5.8	5.2	180
-39	-58.3	2.0	5.4	4.3	143
-37	-58.2	3.0	6.0	6.1	136
-35	-56.5	3.1	6.3	6.0	141
-33	-57.5	2.9	6.1	6.2	149
-31	-57.4	3.4	6.2	7.0	131
-29	-57.1	2.8	6.0	7.0	122
-27	-58.1	1.8	5.8	6.3	118
-25	-58.8	2.1	7.4	7.6	120
-23	-59.2	2.5	6.8	7.7	120
-21	-60.7	1.5	7.4	6.8	128
-19	-60.8	1.1	6.6	7.2	111
-17	-61.1	0.5	8.0	7.5	82
-15	-60.3	1.9	7.7	8.0	83
-13	-61.7	2.0	7.7	7.9	77
-11	-63.9	1.5	9.6	8.9	67
-9	-65.3	1.2	9.5	8.5	41
-7	-64.0	2.4	7.3	8.2	40
-5	-62.5	-1.3	4.2	7.8	33
-3	-61.8	-3.1	5.6	7.7	19
-1	-62.9	-6.7	8.2	13	13
1	-63.6	-4.0	5.7	9.7	10
3	-63.8	-0.3	5.2	13	8
5	-62.5	-10.0	3.8	15	4

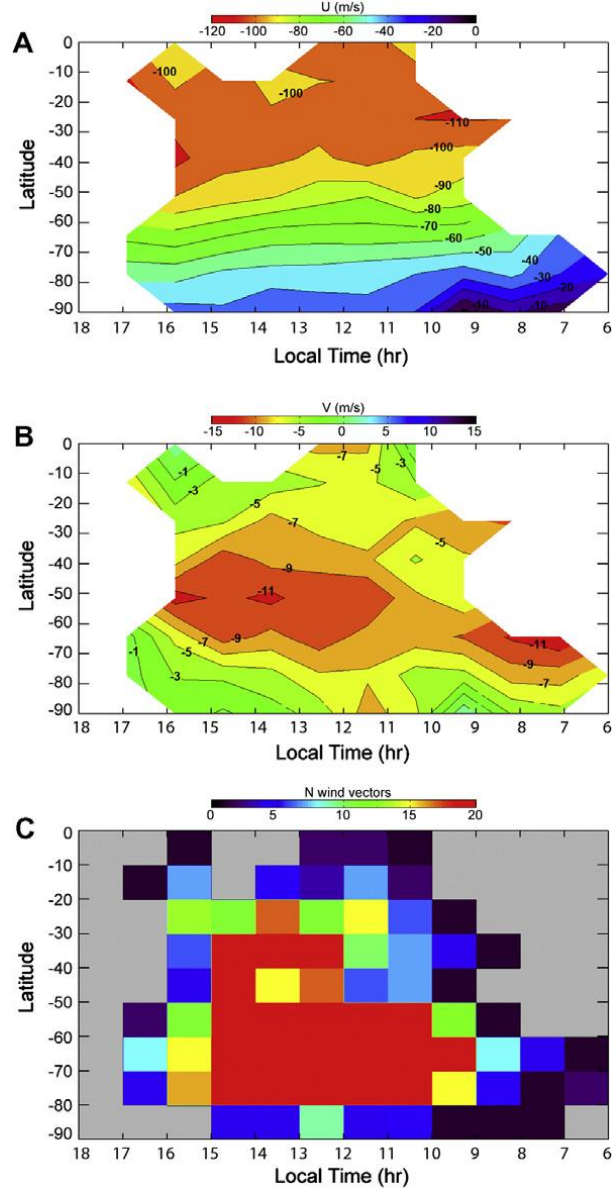


Fig. 4. Zonal–latitudinal map of zonal and meridional winds in the upper cloud. (A) Latitude–local time distribution of zonal wind. (B) Latitude–local time distribution of meridional wind. (C) Number of wind vectors in each latitude–local time bin.

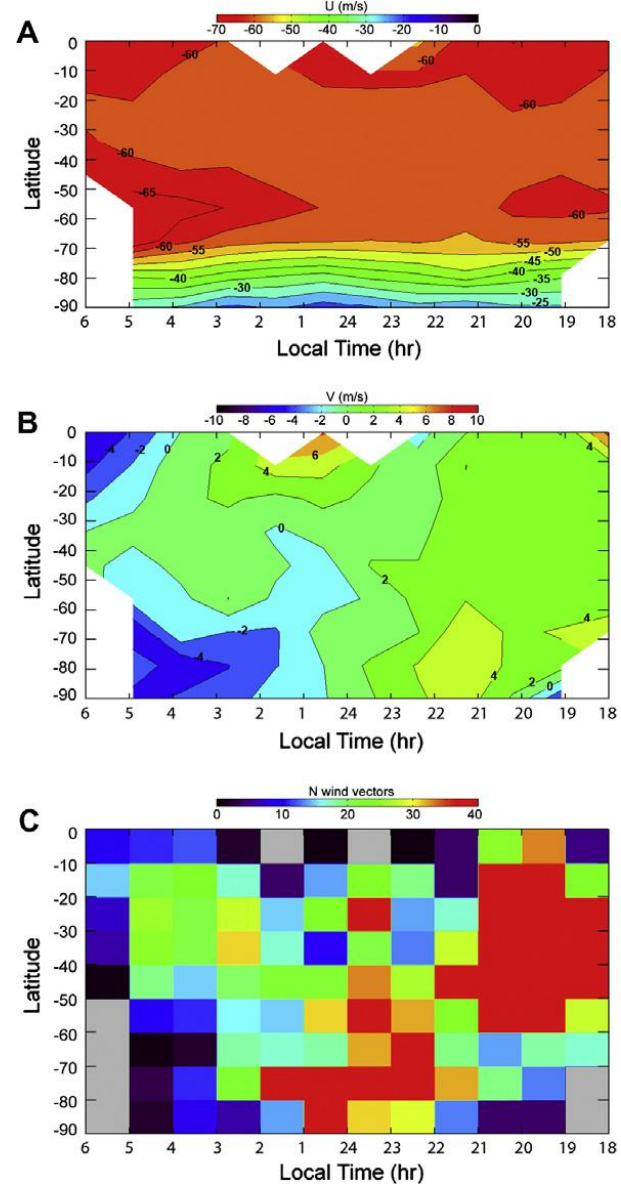
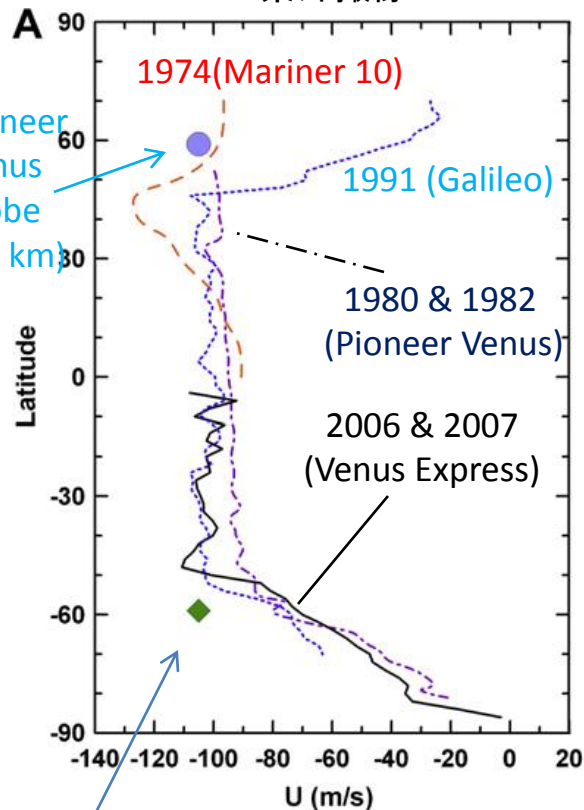


Fig. 6. Zonal–latitudinal map of zonal and meridional winds in the lower cloud. (A) Latitude–local time distribution of zonal wind. (B) Latitude–local time distribution of meridional wind. (C) Number of wind vectors in each latitude–local time bin.

## 東西風速：Probe dataとの比較

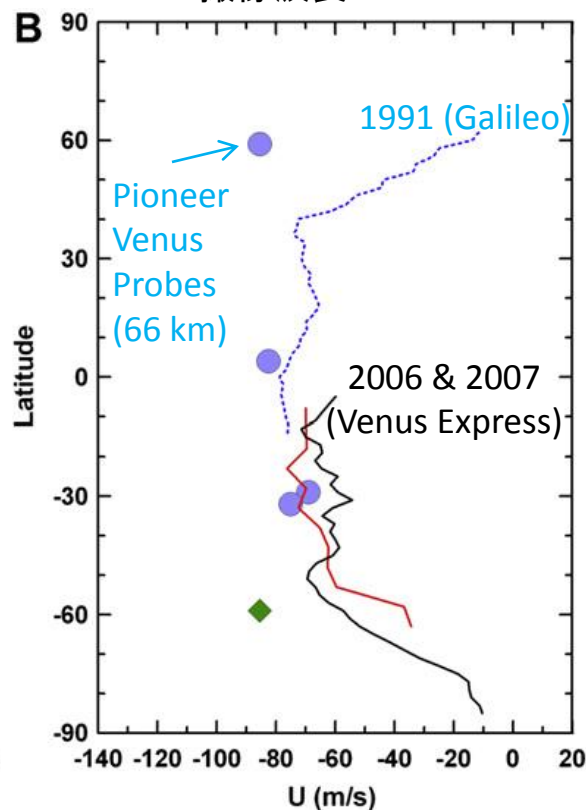
雲層上層 (66~73 km)

紫外撮像



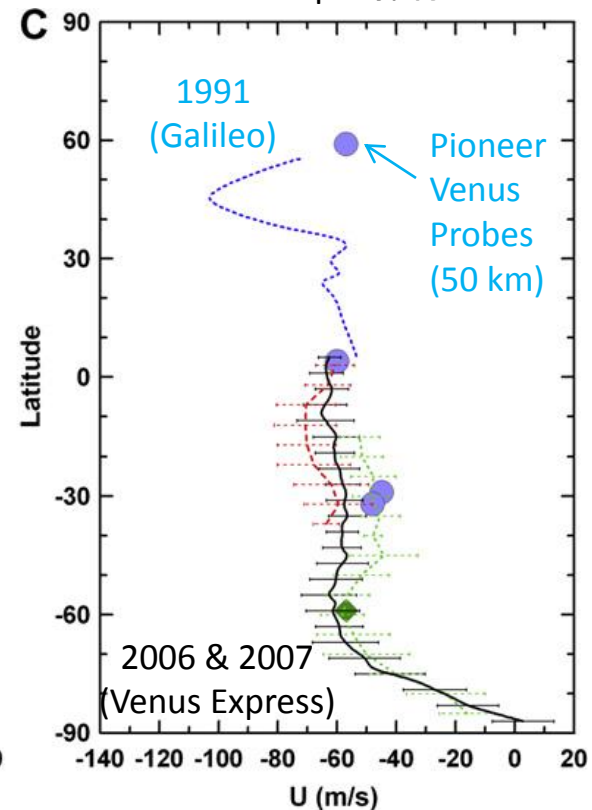
上層下部 (~60 km)

撮像波長 980 nm



雲層下層

1.74 μm 撮像



◆: 北半球のProbe dataを南半球の同じ緯度に投影した値

(A) Ignativ et al 2009では雲頂高度が72km

しかし72kmのProbeの結果と比較して雲追跡の結果はあまりよく一致しない

雲追跡の結果は66kmのProbesの結果に近い。紫外波長では少し低い雲を撮像している？

(B) 980 nm撮像はProbeの観測した風速との比較から58~60 km高度を撮像している？

(C) 下層高度の雲追跡結果は想定した高度のin-situ dataとよく一致している。



## Abstract

The Venus Express (VEX) mission has been in orbit to Venus for more than 4 years now. The Visible and Infrared Thermal Imaging Spectrometer (VIRTIS) instrument onboard VEX observes Venus in two channels (visible and infrared) obtaining spectra and multi-wavelength images of the planet that can be used to sample the atmosphere at different altitudes. Day-side images in the ultraviolet range (380 nm) are used to study the dynamics of the upper cloud at 66–72 km while night-side images in the near infrared (1.74  $\mu\text{m}$ ) map the opacity of the lower cloud deck at 44–48 km. Here we present a long-term analysis of the global atmospheric dynamics at these levels using a large selection of orbits from the VIRTIS-M dataset covering 860 Earth days that extends our previous work (Sanchez-Lavega, A. et al. [2008]. *Geophys. Res. Lett.* 35, L13204) and allows studying the variability of the global circulation at the two altitude levels. The atmospheric superrotation is evident with equatorial to mid-latitudes westward velocities of 100 and 60  $\text{m s}^{-1}$  in the upper and lower cloud layers. These zonal velocities are almost constant in latitude from the equator to 50S. From 50S to 90S the zonal winds at both cloud layers decrease steadily to zero at the pole. Individual cloud tracked winds have errors of 3–10  $\text{m s}^{-1}$  with a mean of 5  $\text{m s}^{-1}$  and the standard deviations for a given latitude of our zonal and meridional winds are 9  $\text{m s}^{-1}$ . The zonal winds in the upper cloud change with the local time in a way that can be interpreted in terms of a solar tide. The zonal winds in the lower cloud are stable at mid-latitudes to the tropics and present variability at subpolar latitudes apparently linked to the activity of the South polar vortex. While the upper cloud presents a net meridional motion consistent with the upper branch of a Hadley cell with peak velocity  $v = 10 \text{m s}^{-1}$  at 50S, the lower cloud meridional motions are less organized with some cloud features moving with intense northwards and southwards motions up to  $v = \pm 15 \text{m s}^{-1}$  but, on average, with almost null global meridional motions at all latitudes. We also examine the long-term behavior of the winds at these two vertical layers by comparing our extended wind tracked data with results from previous missions.