Thaller, S. A., Andersson, L., Pilinski, M. D., Thiemann, E., Withers,P., Elrod, M., et al. (2020). Tidal wave-driven variability in the Mars ionosphere-thermosphere system. Atmosphere, 11, 521.

東大修士2年 坂倉孝太郎 11/16 火星勉強会

#### Introduction

熱圏を変動させるものとして、太陽加熱による熱潮汐波がある。 また、地表の地形にも影響されて変動している。

一方電離大気も一緒に考えると、h<200kmでは常に光化 学平衡が保たれていて、電子密度の変動は中性大気の変 動によって駆動されていることが知られている。

<u>Bougher+(2001;2004):</u> 電子密度のピークのあたり(h=134km)では電子密度の変動と中性大気の変動が揃っていて、 かつ光化学平衡の理論に整合的である。

Mendillo+(2017):

電子の変動が中性大気のwave-2の熱潮汐波によって駆動されている。

Mayyasi+(2019):

h=150-200kmではイオンと中性の強い相関が観測されたうち70%で見られた。

もっと上層(h>200km)はどうなのか?

#### Data processing and Methodology

#### MAVEN

<u>LPW</u> N(e-) (電子密度)を計測。 <u>NGIMS</u> N(Ar), N(CO<sub>2</sub>), N(O), N(N<sub>2</sub>), N(CO) を計測。

Arは上の方まで計測できるので、n(Ar)と、他の 粒子リュの質量密度を別々に解析に用いること にする。

#### n(n)

= n(CO2)m(CO2) + n(O)m(O) + n(N2)m(N2)+ n(CO)m(CO)

- + n(CO)m(CO) ▶ 20日間のデータを1つのセットにする。
- ✓ 全ての地理緯度をカバーできるから。
- ✓ 観測点のLT(local time)が1−5h程度しか移動しないから。
- データは10日ずつずらして用いる。つまり、時系 列で隣のデータセットは10日間overlapする。



#### Data processing and Methodology

MCD version5.3 MAVENの軌道に沿って中性/電子密度をモデルから得る。

- ▶ 時間分解能: 2時間
- ▶ 季節(L<sub>s</sub>)分解能: 30°(=火星の1ヶ月)
- ▶ 緯度経度が高分解能(32pixels/degree)なモードを用いる。
- ▶ ダストは典型的な火星年のbaselineとなる、"climatology"を使用。



昼(LT=7-19)、夜(LT=9-5) に分けて統計解析。 ✓ LT=5-7を除くのは熱圏や電離圏が複雑だから。 ✓ LT=18-19 が昼側なのは太陽光に当たるから。

#### Example case1:

先行研究で調査された期間のうち一部の期間を用いたデータ解析の例



h<200kmでは密度の増加がlon=30,150,290 辺りで見えるが、 h>200kmでは西に15°くらいずれているように見える。

Periapsis location Lat: 71-74°N
LT: 13-18h
SZA: 55-72°
Ls: 125-138°

#### Example case1: waves in lower altitude



Tidal Wave Data and Fits for March 26 – April 14, 2016 (155 – 175 km alt)

▶ 波形を見ると、Wave-3 がdominantだとわかる(先行研究と整合的)。

昼側での中性と電子の変動の相関は光化学平衡の理論に整合的。  $\geq$ 

MCDとMAVENは振幅が1/2倍-3倍、位相が50°くらい違う。

の波形が似ていて、 密度の変動に相関が あると言える。

#### Example case1: waves in higher altitude



n(n),n(e-)のそれぞれ

密度の変動に相関が

の波形が似ていて、

あると言える。

この領域では衝突が少ないため中性粒子と電子があまりカップルしていないため、変動に相関が見えるのは興味深い結果。

中性と電子がカップリングしている低高度から の鉛直輸送が効いているのではないか?

#### Example case2: orbits during deep-dip campaign

Periapsisが~125kmまで下がる期間を含んだデータ。



- ▶ h<150km は完全に光化学的な領域なので相関が予想されるが、予想通り相関が良く見えた。</p>
- ▶ もっと高い高度では相関はない(Example case1 との相違点)。

Periapsis location Lat: 6-20°N LT: 12-14h SZA: ~20°

#### Statistical study



Example caseで見たような、h>200kmで相関がある興味深い期間も多い。
Period 1,2 を含め、正午過ぎからpre-midnightで見えることが多いように見える。
Period 3 はh>200kmでも相関が見える。どちらも主に昼側の観測データ。

#### Statistical study



#### Statistical study: wave amplitude

- ➢ MAVENのデータでは、中性も電子も夜側の方が振幅が大きい。 ✓ 温度の変化率δT/Tが同じなら、低温の夜側の方が密度の変動は大きい。
- ▶ h>200km で、n(Ar)の方がn(neutral)より振幅が大きい。 ✓ 重い粒子種ほど密度の変動は大きくなる。中性大気は低高度ではCO<sub>2</sub>  $\delta n(n)$ δT <sub>1</sub>mgz が主成分だが高高度ではOが主成分でArより軽くなるから。 n(n)Mean tidal wave amplitude Mean tidal wave amplitude Mean tidal wave amplitude 50 50 50 variation) Wave amp. (% variation) 0 00 00 05 00 variation) 05 nightside (19 - 5 LT) nightside e- density dayside (7 - 19)Nightside MCD neut. mass density dayside e- density <sub>ي</sub>30⊦ Dayside MCD neut. mass density Wave amp. (%) 10 .du 20 Nave 10 Ar (dash) b neutral mass density (solid) а 0 150 200 250 300 150 200 250 300 150 200 250 300 Altitude (km) Altitude (km)  $1 \delta n(n)$  $\delta n(e^{-})$  $(1 - \tau)$ 光学的に薄い領域なら、右の式のfactorは1/2になる。 2 n(n $n(e^{-})$

ただし、密度の変動が大きい時はfactorが小さくなる。 ※光化学平衡を仮定

Appendix(A8)

それ以外の高度ではfactorが1/2より大きい。

h=125km ではfactorが1/2。

拡散やその他の鉛直輸送の効果が効いた結果が現れている。

## Statistical study: Dominant wave mode

- ▶ 中性大気で支配的なモードはwave2,3 (先行研究と整合的)。
- wave1 > wave4
- NGIMSのデータではwave1 > wave3

	300	
n(e-)	250 200 150 <b>a</b>	4 Dominant vavenumber
n(n)	300 250 200 150	4 Dominant Wavenumber
n(Ar)	300 250 200 150 <b>C</b>	4 Dominant Wavenumber
MCD	300 250 200 150	1 Dominant wavenumber
Latitude Periansis	50 <b>e</b> 0 -50	
Periapsis Local	20 f	
Solar Longitude	400 300 200 100	
Year	2016 2018	

Туре	Altitude	Wave-1	Wave-2	Wave-3	Wave-4
Neutral (MCD)	>200 km	16%	33%	49%	2%
Neutral (MCD)	<200 km	22%	35%	41%	2%
Argon (NGIMS)	>200 km	29%	32%	26%	13%
Argon (NGIMS)	<200 km	30%	36%	23%	11%
Electron (LPW)	>200 km	53%	20%	16%	11%
Electron (LPW)	<200 km	37%	28%	22%	13%

#### Statistical study: wave phase over strong crustal magnetic fields



- ▶ h>200kmで位相がlon=150-250°になっていて、残留磁化の 強いところに波のピークが来ているとわかる。
- ▶ そのような期間ではwave-1が支配的なモードになっている。

#### Statistical study: comparison between MAVEN and MCD



#### Discussions

・h<200km のみでITカップリングがある

・h<200km でも h>200kmでもITカップリングがある の2通り(高高度のみでカップリングしているものはない)。

高高度のITカップリングも、低高度の光化学的 な領域でのITカップリングに影響されている。

$$\frac{\delta n(e^{-})}{n(e^{-})} \approx \frac{1}{2} \frac{\delta n(n)}{n(n)} (1-\tau) \qquad \qquad \text{Ofactor を計算すると、} \\ 1/2 \textit{ L} り大きくなる。$$

Diffudionで低高度から輸送された結果として 高高度でも相関が見えると考えられる。

## Discussions: comparison of time scales

2つのorbitにおいて、 (1)光化学 (2)拡散 (3)大気の鉛直運動 のタイムスケールを比較。短い ものほどdominantなプロセス。 T(e-), n(e-): LPW n(n): NGIMS T(n): 先行研究 T(ion): 手動設定 ▶ Tiの影響は少ない。 ▶ 大気の鉛直運動のタイム スケールは長い。



- 先行研究では拡散が支配的になるのはh>200kmとされていたが、今回の例では h>155-165km では拡散が支配的。
- Figure 6,7によると、相関はh=265kmまではあるため、拡散が支配的になるのが 200kmでも160kmでも、それより上で相関が見えるという結論は同じ。

T<sub>Diff.</sub> (T<sub>i</sub>=300 K) T<sub>Diff.</sub> (T<sub>i</sub>=500 K) T<sub>Diff.</sub> (T<sub>i</sub>=700 K) T<sub>Diff.</sub> (T<sub>i</sub>=1000 K) T<sub>Diff.</sub> (T<sub>i</sub>=Te) T<sub>Diff.</sub> (T<sub>i</sub>=Tn) H/Vz ---

# Conclusion (+ summary)

MAVENとMCDのデータを用いて、熱圏の中性大気と電離圏の電子の密度の変動の相関を調べた。

- ▶ 先行研究でも示されていた低高度だけではなく、光化学的ではない高高度でもITカップリングが見られた。
- ▶ 中性と電子の変動の振幅の比などから、高高度での相関 は低高度でカップリングしているものがそのまま拡散に よって運ばれて観測されたものだと示唆された。