

あかつき電波科学の初期報告

今村剛 (東京大学)、安藤紘基 (京都産業大学)、阿部琢美 (JAXA 宇宙研)
岩田隆浩 (JAXA 宇宙研)、村田泰宏 (JAXA 宇宙研)、竹内 央 (JAXA 宇宙研)
野田寛大 (NAOJ)、二穴喜文 (Sweden IRF)、野口克行 (奈良女子大)
Bernd Häusler (Universität der Bundeswehr München)
Martin Pätzold (Universität zu Köln)
Silvia Tellmann (University of Cologne)
あかつきプロジェクト

概要：

電波掩蔽観測においては、探査機が地球から見て惑星の背後に隠れるときと惑星の背後から出てくるとき、金星大気を通して地上局に届く電波の周波数と強度が変化する様子から、大気の鉛直構造を高度分解能 $< 1 \text{ km}$ で求める。金星大気が対象の場合、受信周波数の時系列データからは気温と気圧と電離層電子密度の高度分布が、信号強度の時系列データからは硫酸蒸気密度の高度分布と微細な密度揺らぎの分布が得られる。あかつきには、この観測のための電波源として超高安定発振器 (Allan deviation $< 1 \times 10^{-12}$ for $\tau = 1-1000 \text{ s}$) を搭載している。

2016年3月から7月まで8回の掩蔽観測を行い、15個の気温分布を導出した。観測点は低緯度に偏っており、これは高緯度に分布が偏っていた Venus Express の電波掩蔽観測と相補的である。これまでは主に朝側と夕方側を観測した。

これまでの観測から、雲層下部の中立層（対流層）の構造のローカルタイム依存性や、雲の下の気温が過去の観測と異なる傾向があることなど、興味深い特徴が見えてきている。今後は、より様々な条件下で観測を行うとともに、ほぼ同時に取得された撮像観測データと比較することにより大気の3次元変動の把握に努める。

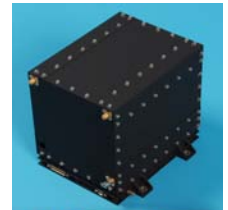
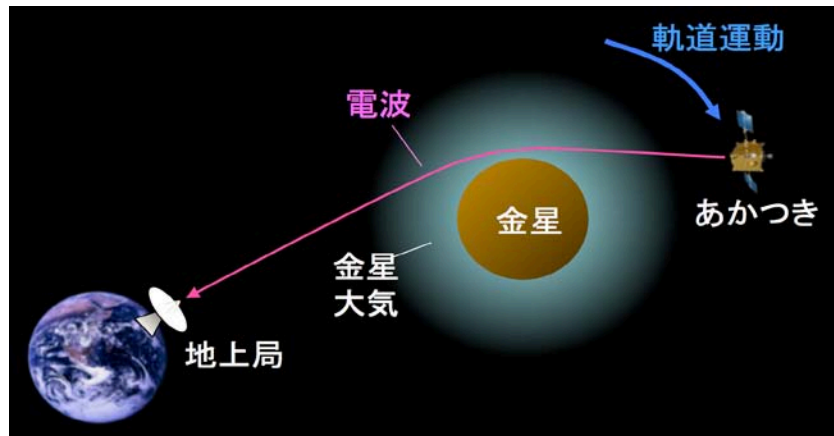
2016年6月には太陽コロナの電波掩蔽観測を実施した。あかつきを用いたコロナ観測は2011年にも実施されたが、右旋と左旋の電波を同時に計測してフレアローテーションの情報が得られるのが今回の新規性である。

電波掩蔽観測

- あかつきが地球から見て金星の背後に隠れるときと金星の背後から出てくるとき、金星大気を通して地上局に届く電波の周波数と強度が変化する様子から、大気の鉛直構造を高度分解能 $< 1 \text{ km}$ で求める。
- 受信周波数 \rightarrow 気温・気圧・電離層電子密度
信号強度 \rightarrow 硫酸蒸気濃度・微細な密度揺らぎ
- この観測のために電波源として超高安定発振器 (Allan deviation $< 1 \times 10^{-12}$ for $\tau = 1\text{-}1000 \text{ s}$) を搭載している。



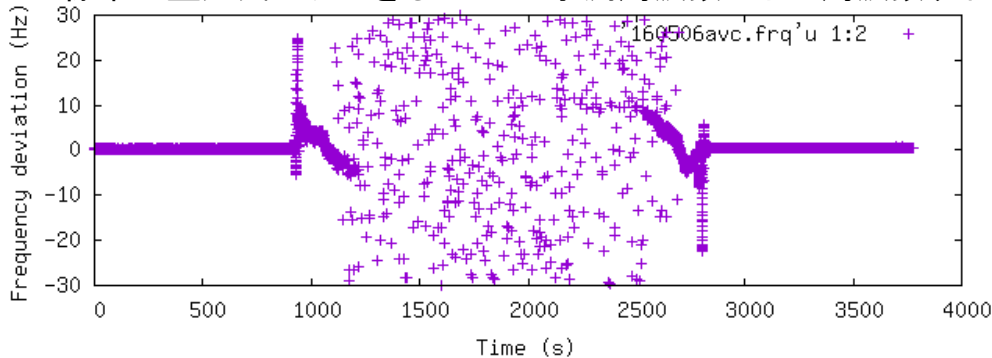
臼田宇宙空間
観測所



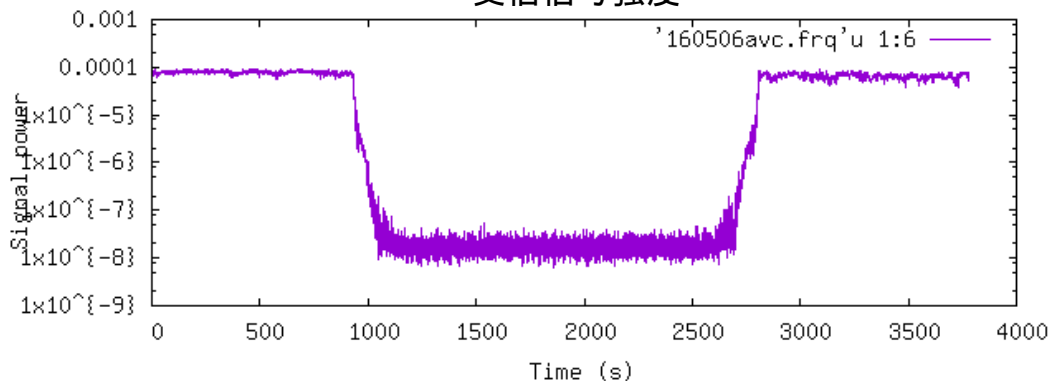
超高安定発振器

観測例

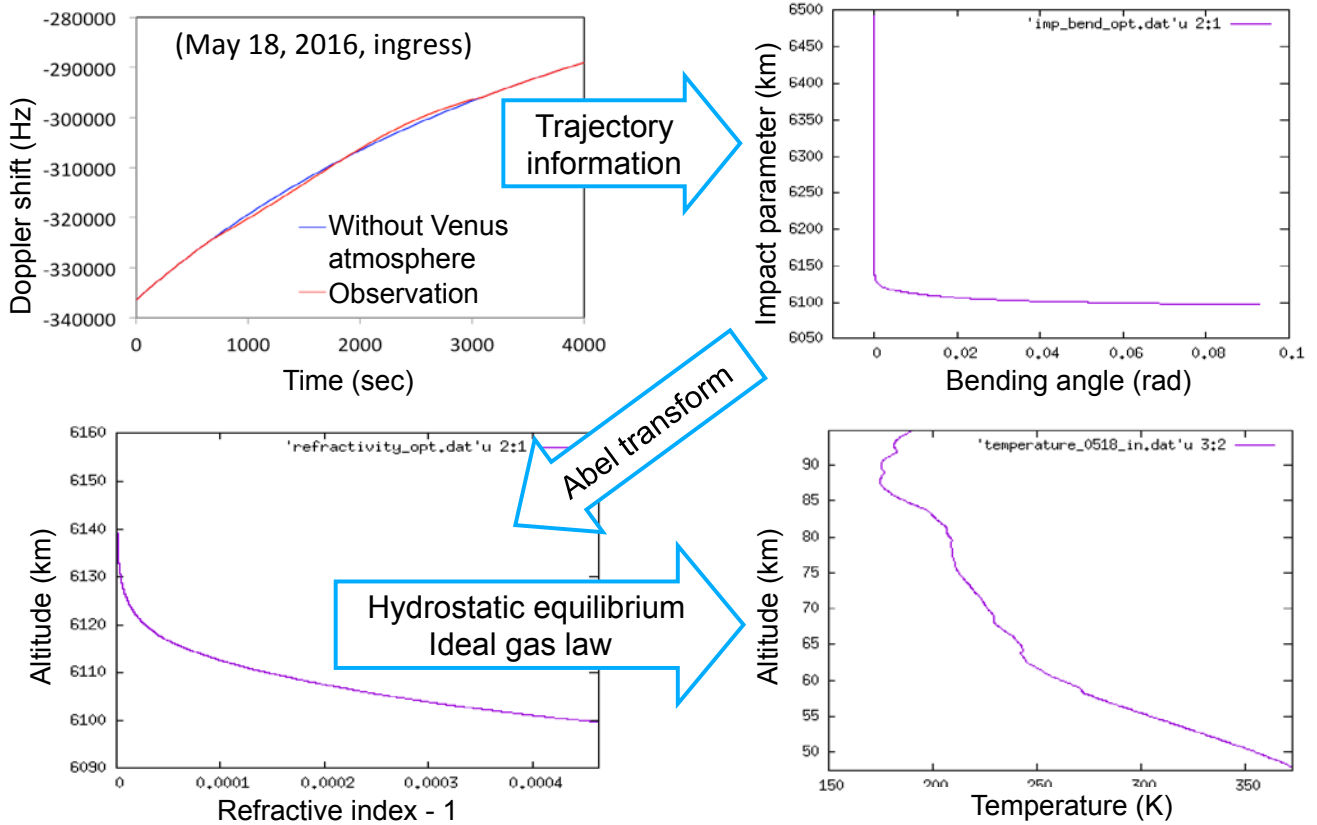
標準金星大気モデルをもとにした予測周波数からの周波数ずれ (Hz)



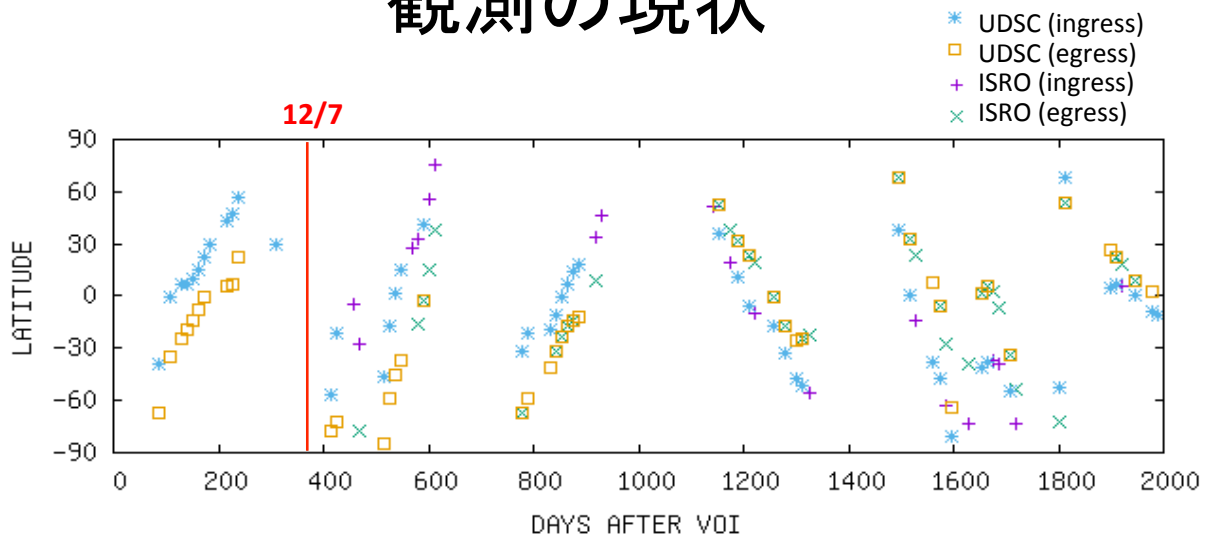
受信信号強度



気温プロファイルの導出

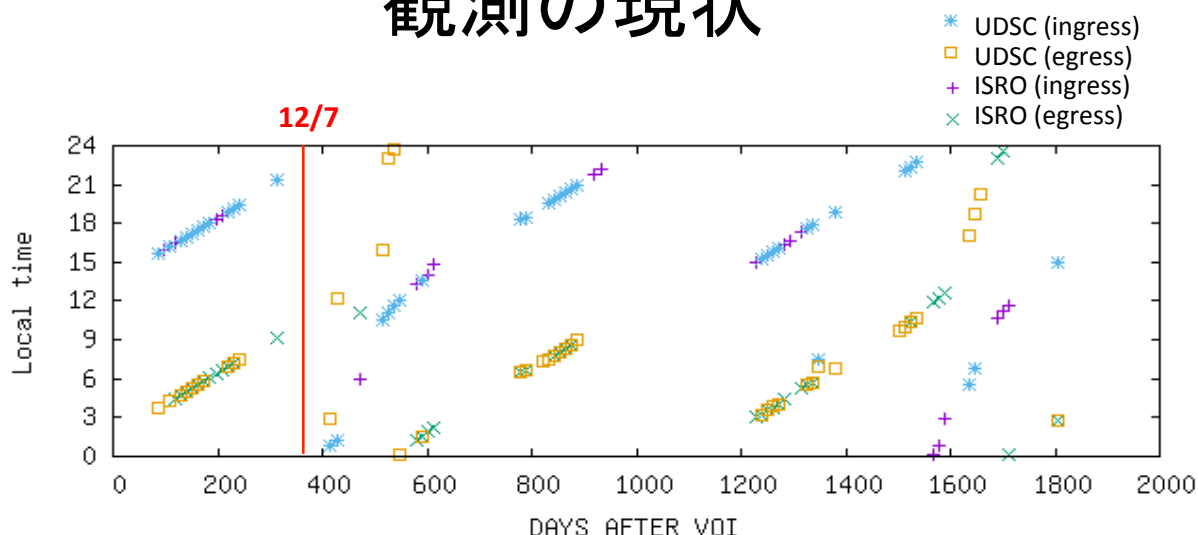


観測の現状



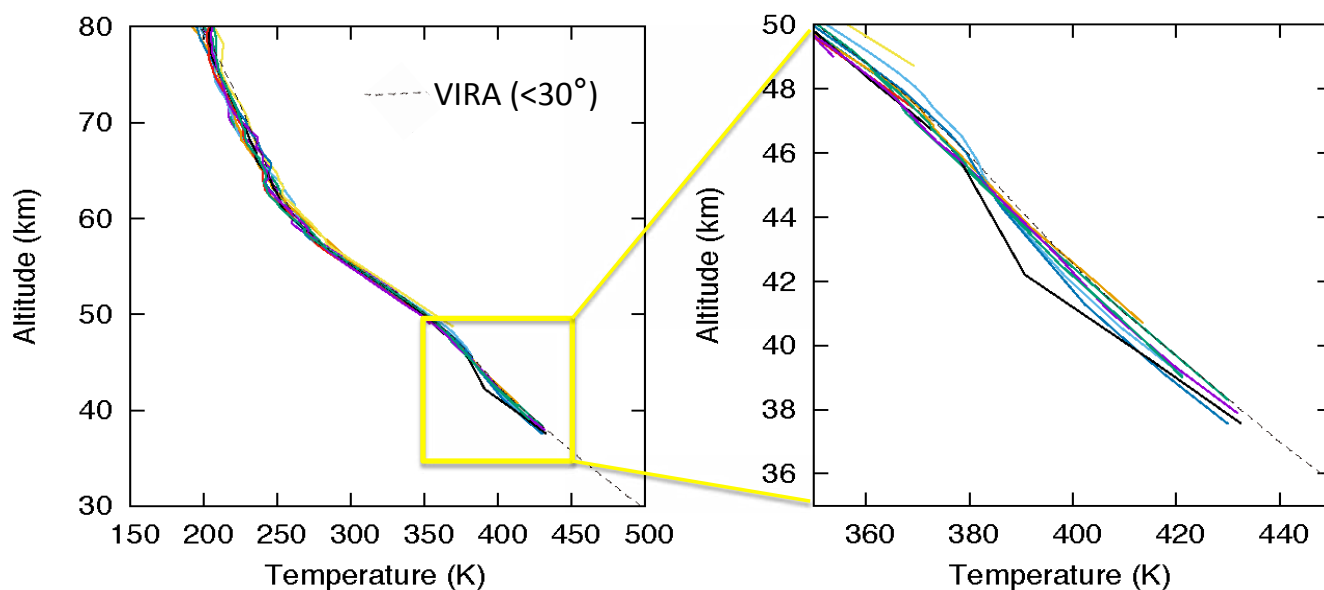
- 2016年3月から7月まで8回の掩蔽観測を行い、15個の気温分布を導出した。観測点は低緯度に偏っている (Venus Expressと相補的)。
- これまでは主に朝側と夕方側を観測した。
- 2016年6月には太陽コロナの電波掩蔽観測を実施した。

観測の現状



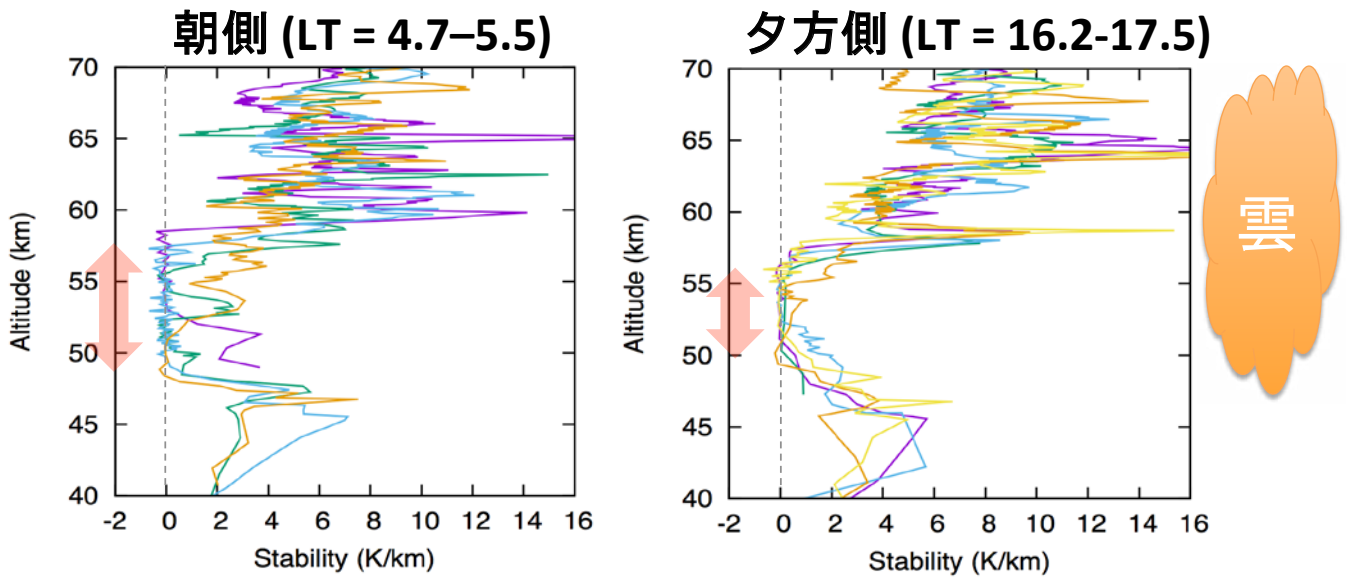
- 2016年3月から7月まで8回の掩蔽観測を行い、15個の気温分布を導出した。観測点は低緯度に偏っている (Venus Expressと相補的)。
- これまでは主に朝側と夕方側を観測した。
- 2016年6月には太陽コロナの電波掩蔽観測を実施した。

低緯度 (30°S-30°N) の気温分布



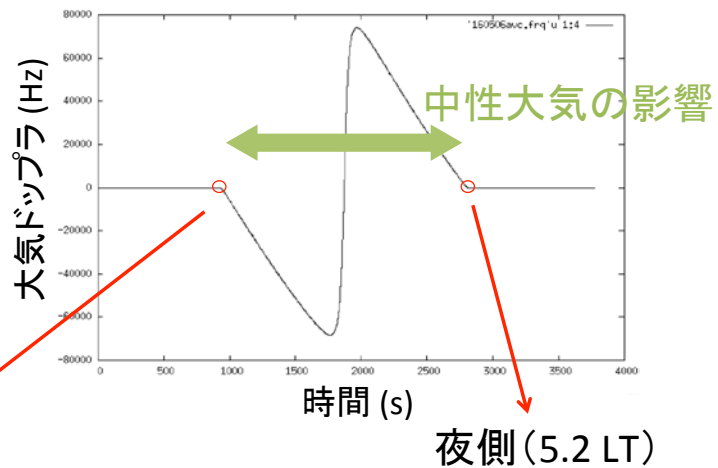
- Venus International Reference Atmosphere (VIRA: 1980年ごろの観測に基づく)に近い
- 雲層以下ではVIRAより数°C低い傾向 → 長期変動か

低緯度(30°S-30°N)の大気安定度



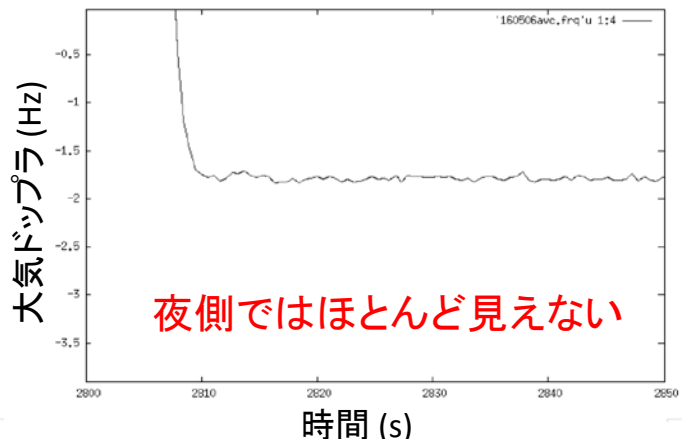
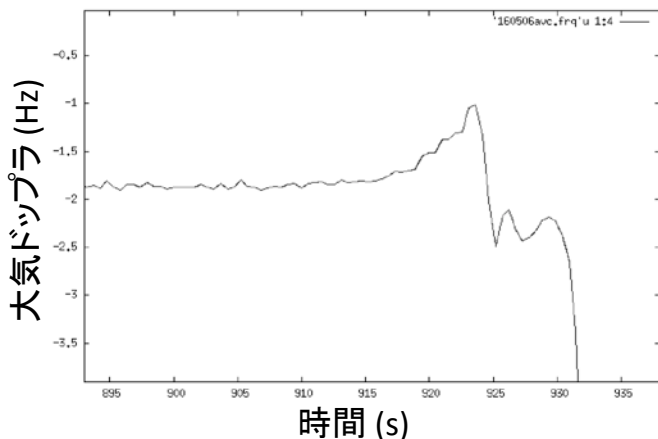
- 朝側のほうが対流層が厚い、あるいは対流層の変動が大きいかもしれない
- 朝側のほうが対流層直上の重力波振幅が大きいかもしれない
- このような傾向があるとしたら、夜間に雲頂の放射冷却により強い対流が発達することによるのかもしれない (Imamura et al. 2014)

電離層のシグナルの例 (2016年5月6日)



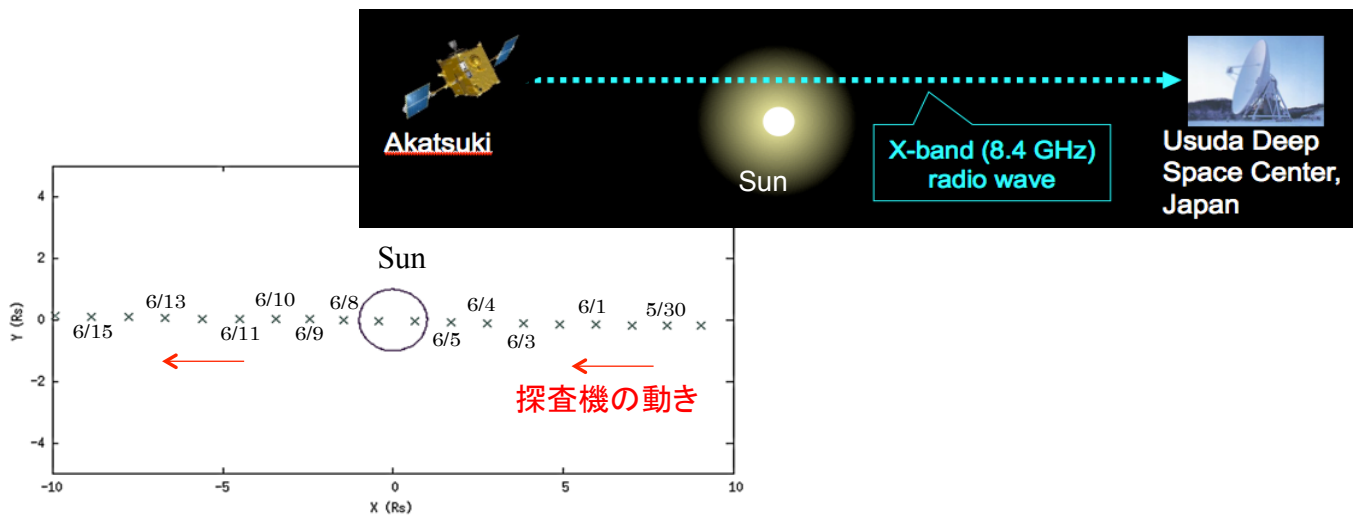
日照側 (17.3 LT)

夜側 (5.2 LT)



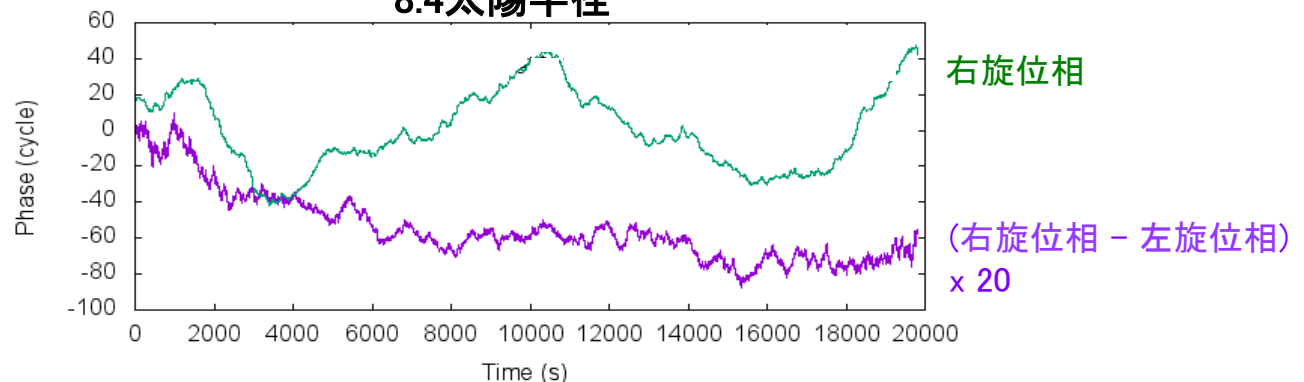
太陽コロナの電波掩蔽観測 (2016年6月)

- 2011年の観測では圧縮波の動径分布からコロナ加熱を議論 (Miyamoto et al. 2014, ApJ)
- 今回は両円偏波を同時に記録することにより、電波経路上のプラズマ密度変動に加え、ファラデー回転を導出して磁場変動を観測
- Alfvén波 (磁場変動) の光球からの伝搬と散逸、コロナ中での圧縮波 (密度変動) の励起と散逸、その帰結としてのコロナ加熱と太陽風加速をとらえる

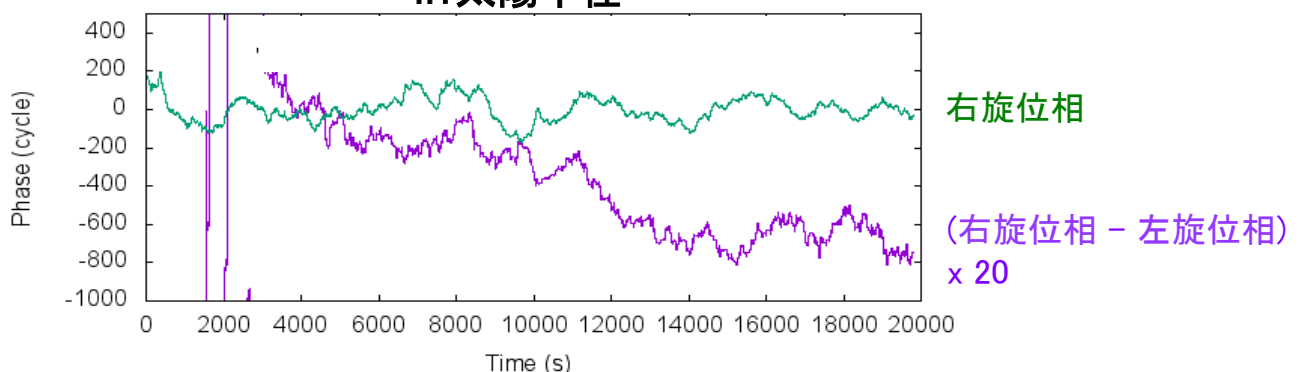


受信電波位相の観測例

8.4太陽半径



4.1太陽半径



まとめと今後の展望

- 金星大気の電波掩蔽観測をこれまでに8回実施して、15個の気温データを導出した。超高安定発振器に劣化は見られず、データ品質は良好。
- 下層大気温度の従来モデルとの違い、大気安定度のローカルタイム依存性、大気安定度と雲構造との対応関係などが示唆される。今後は観測データを蓄積して統計的評価を行う。
- 搭載カメラデータとの比較が進行中（雲量との対応、雲頂高度との対応、太陽光吸収物質との対応、弓状構造との対応など）
- 硫酸蒸気分布、電子密度分布の導出に向けた解析が進行中
- 太陽コロナ観測データの解析が進行中
- 来年1月からの新たな観測シーズンでは、これまでと異なるローカルタイムとより広い緯度帯をカバーする。インド深宇宙局の受信協力を調整中。