

金星雷の 探査機あかつきと 地上望遠鏡を用いた 同時観測について

大野 辰遼¹

高木 聖子¹, 高橋 幸弘¹, 佐藤 光輝¹

1. 北海道大学 理学院 宇宙理学専攻

Contents

- Introduction
- Purpose
- Observation
- Analysis
- Result & Discussion
- Conclusion
- Future work

Introduction

- 地球の雷
 - 発生メカニズム：積乱雲など対流性，火山性，
 - グローバルサーキットへ影響や大気中の化合物生成エネルギー源
- 惑星探査により木星や金星でも雷発光が起きていることを観測
- 金星の雷
 - 金星：地球と同サイズ，雲層をもつ惑星
 - H_2SO_4 の雲内で発生している可能性が示唆 (Sagdeev et al. 1986)
 - 火山性やダストストームによって発生している可能性もある

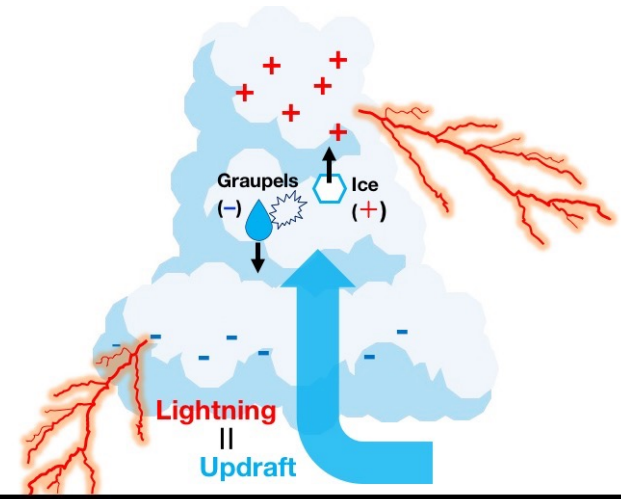


図. 積乱雲での雷の発光メカニズムの模式図.

Significant of Venusian lightning

- 雷に関する研究の役割
 - 大気活動のモニタリング
 - 対流活動をリモートセンシングするターゲットとして活用
 - 火山活動のモニタリング
 - 雷を発生させる電荷分離メカニズムの解明
 - 氷やあられの存在が困難な高温下での電荷分離方法の情報
 - 大気組成への化合物(NO_x)生成による影響の調査

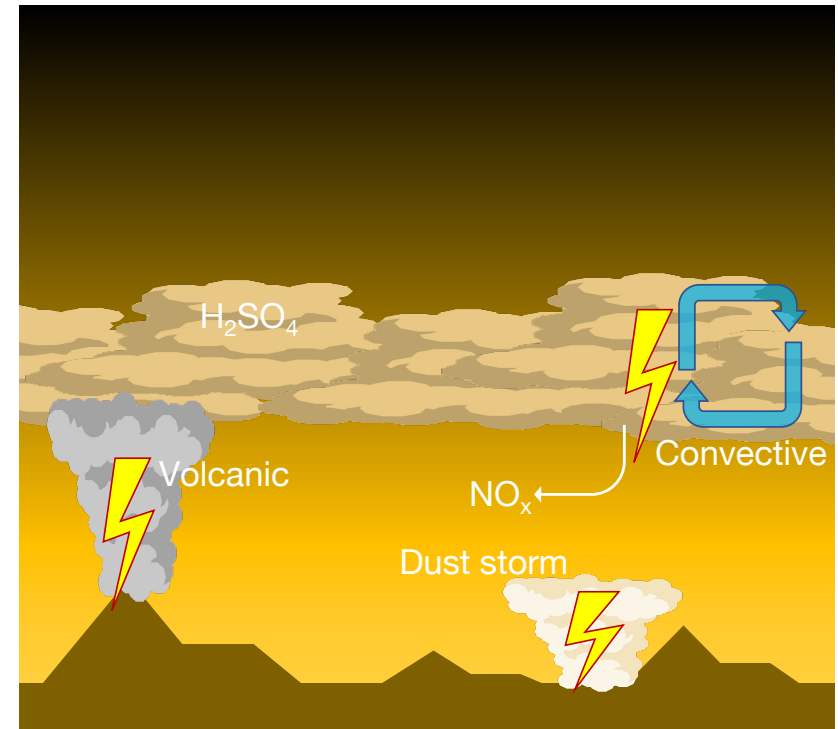


図. 想定される金星での雷発光メカニズムの種類.

Previous observation

- 過去の可視光観測
 - 探査機
 - Venera 9 and 10, Pioneer Venus Orbiter, Vega 1 and 2 balloons, Galileo, LAC (探査機あかつき搭載)
 - 地上望遠鏡 (Hansell et al. 1995)
 - 波長: 777.4 nm (Borucki et al 1996) の観測
 - エネルギー: $10^8 - 2 \times 10^9$ J
 - 発生頻度: 2.7×10^{-12} /km²/sec

表. 先行観測観測結果一覧

可視光観測		電磁波観測	
Venera 9/10	P	Venera 11/12 landers	P
Pioneer Venus Orbiter	N	Pioneer Venus Orbiter	P & N
Vega balloons	N	Galileo flyby	P
Galileo flyby	N	Cassini flyby	N
地上望遠鏡	P	VEX MAG	P
LAC	P		

P: 雷観測あり, N: 雷観測なし

Purpose

- 先行研究で雷を観測結果は検出と非検出が乱立
 - 時間分解能, 感度の不十分なCCDを使用
 - 観測時間, 領域が限定
 - フライバイ, 視野に太陽が入らないようにした夜面観測
 - 単一機器での観測であるケース
 - 数ヶ月以上と継続したモニタリングが行われていない場合も
- ノイズや宇宙線と区別するため複数の装置で観測し
観測領域・時間を増やす継続的なモニターが必要
- (北大) フォオトマルを使用した専用の観測装置開発
- OISTERに観測依頼
 - 複数装置により観測を実施
 - 天候の影響, 宇宙線・ノイズの影響を除外

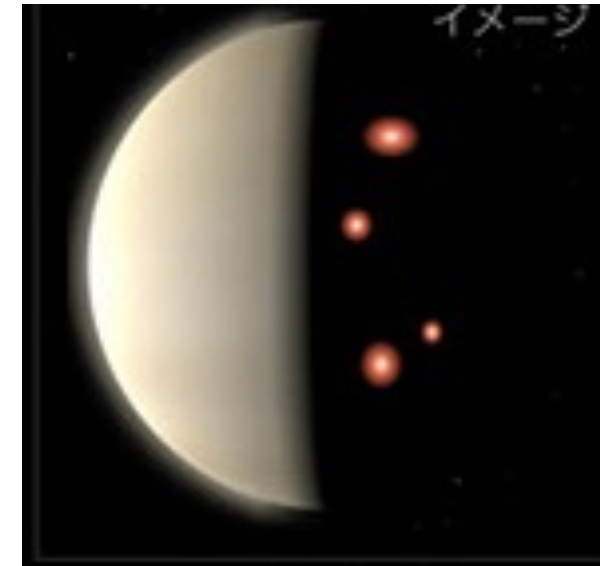


図. 金星雷発光の観測想像図. 左が金星昼面. 右の赤い模様が雷発光.

Observation

- LAC
 - 20/06/30 UT12:34-12:55
 - 20/07/11 UT 08:24-08:49
- PLD
 - 悪天候データなし
- 2.0 mなゆた望遠鏡
 - 西はりま天文台
 - Iバンド
 - 06/30 JST18:52-19:41
 - 07/11 JST18:59-19:40
- SaCRA
 - 埼玉大学 0.55 m
 - Iバンド
 - 7/10 JST19:32-19:47

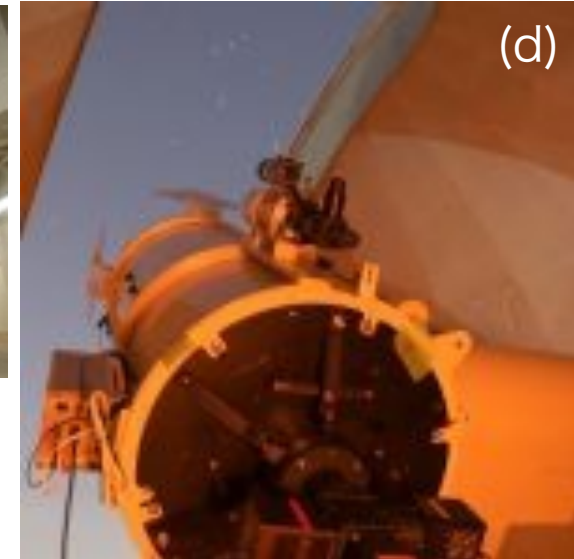
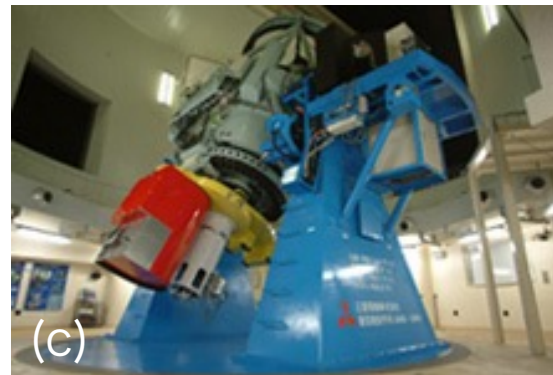
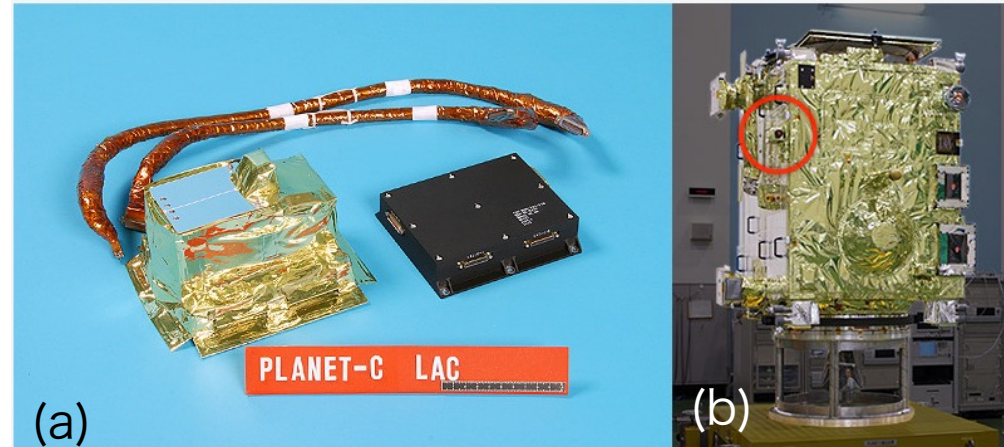


図. 観測装置 (a)LAC, (b)探査機あかつき,
(c)2.0 m なゆた, (d)0.55 m SacRA

Analysis

- ヒストグラムの比較
 - 外れ値が何かしらの発光と考える
 - ライトカーブの調査
 - フレーム前後で明るさが増加すると考える
 - 画像確認
 - FWHMの代償を
1. 金星夜面のSN,
 - $SN = \text{夜面カウント値} \div \sqrt{\text{夜面カウント値} + \text{Skyカウント値}}$
 - SN < 5 に(0代入)
 2. 金星画像の位置合わせ
 - 取得された画像のうちシャープな金星像を参照
 - 相関係数最大となる位置に平行移動
 3. ガウス差分(ガウス分布を用いたハイパスフィルタ処理)
 - 大きいスケール~昼面の影響の除去
 - 5ピクセル以上のスケールを除去できる分散値
 4. 正規分布に基づく累積分布と比較.
 - ポアソンノイズ
 - 外れ値を示すピクセル位置でライトカーブ作成
 5. 画像を確認しFWHMなどを調査
 - 前回報告会からの差分
 - 解析領域を高緯度域など拡大

西はりま なゆた

- 06/30: 3フレーム不連続のため省略
- 07/11: 開始UT18:52:07.82, 露光 0.04 sec, 10秒間隔
 - ADU ~55以上の外れ値候補 8個, 内広がりのある候補 1個

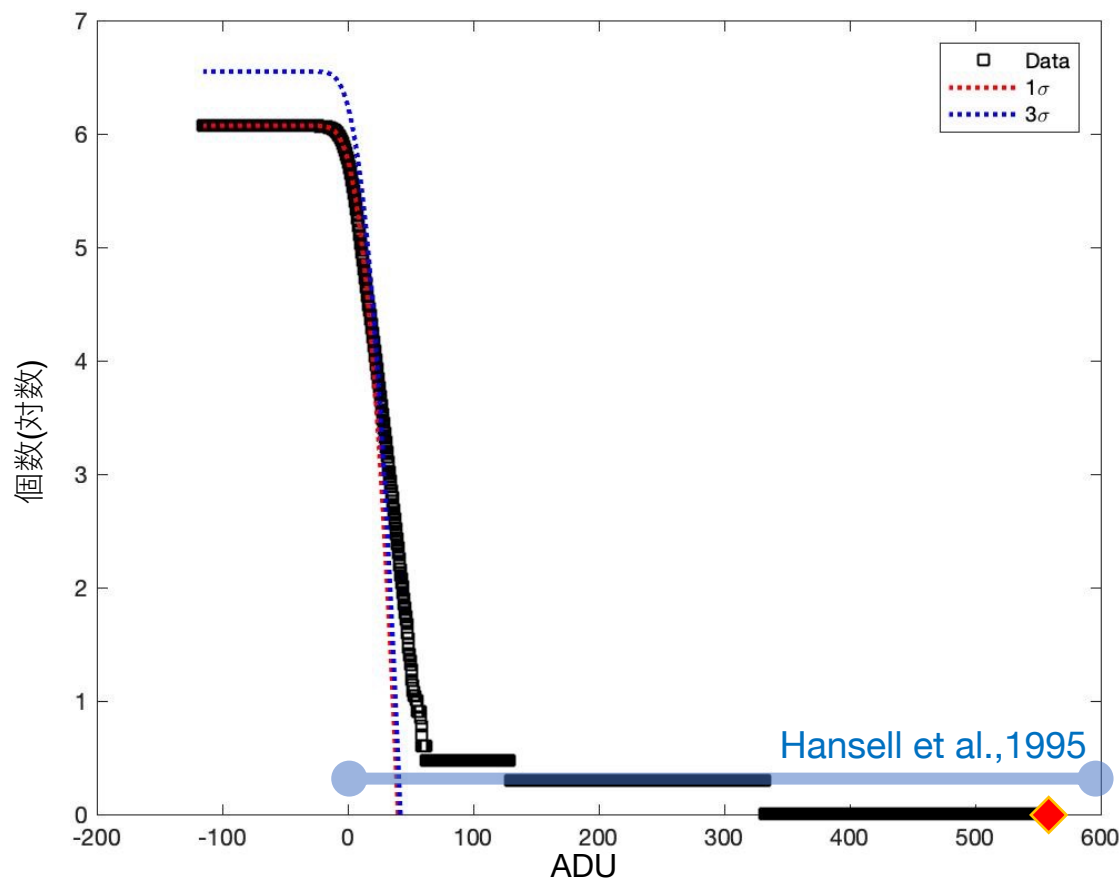


図. ガウス差分を用いたハイパスの結果の累積分布. 縦軸対数での個数. 横軸カウント値.

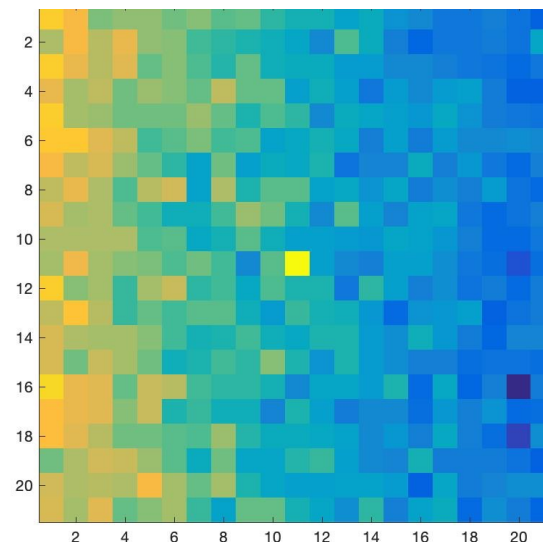
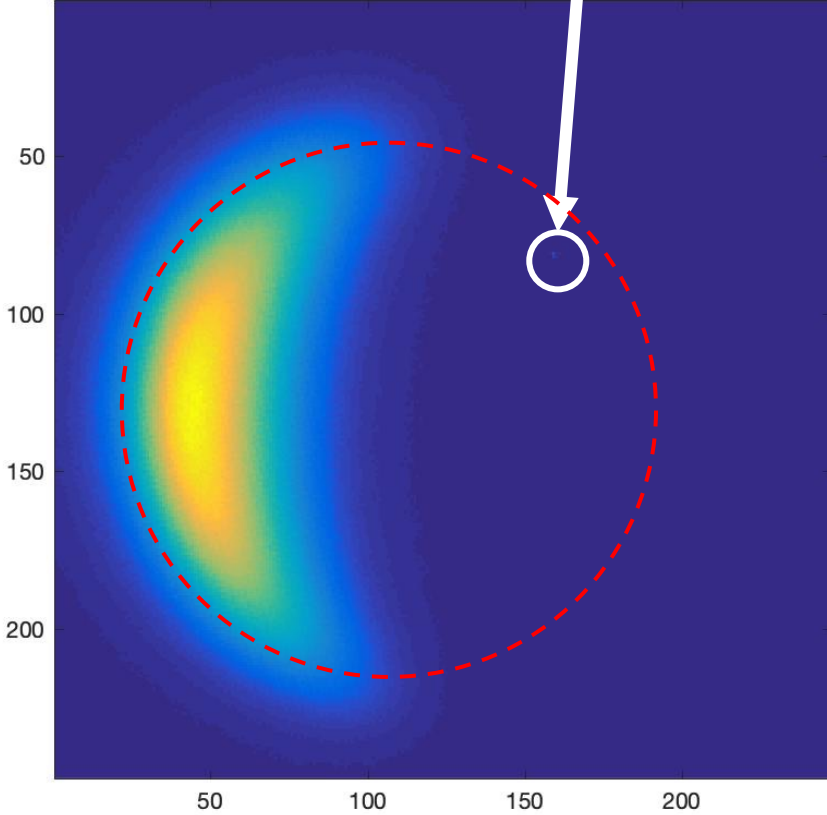
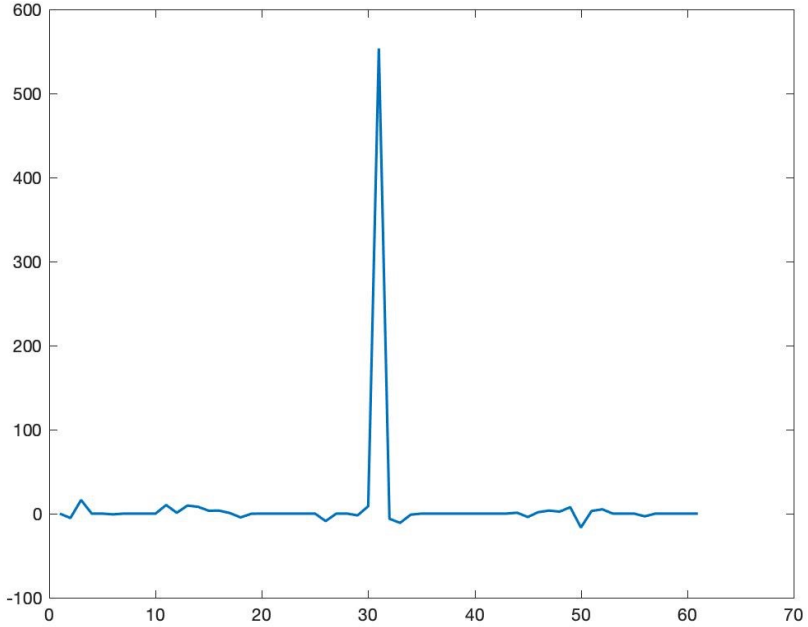
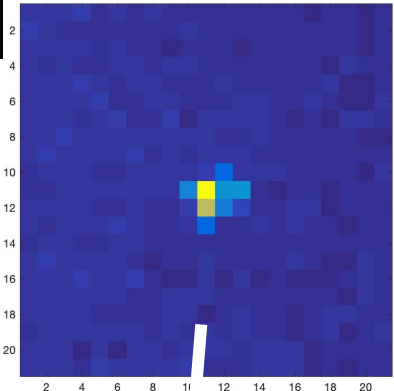


図. 外れ値により検出された候補の一例. 広がりがなく1ピクセルのみ外れ値を示すノイズと考えられる.

広がりのある候補

- 2021/07/11 UT 19:19:16.503
 - Airmass ~2.622
 - 最大ADU ~ 940
- ライトカーブ: 前後と約900カウント以上の差
- FWHM ~2 pix = 0.396" (=2x0.198")
 - <1" = CR



SaCRA 0.05 sec

- 正規分布とほぼ一致.
 - 0.05秒露光はポアソンノイズのみ外れ値の検出なし.

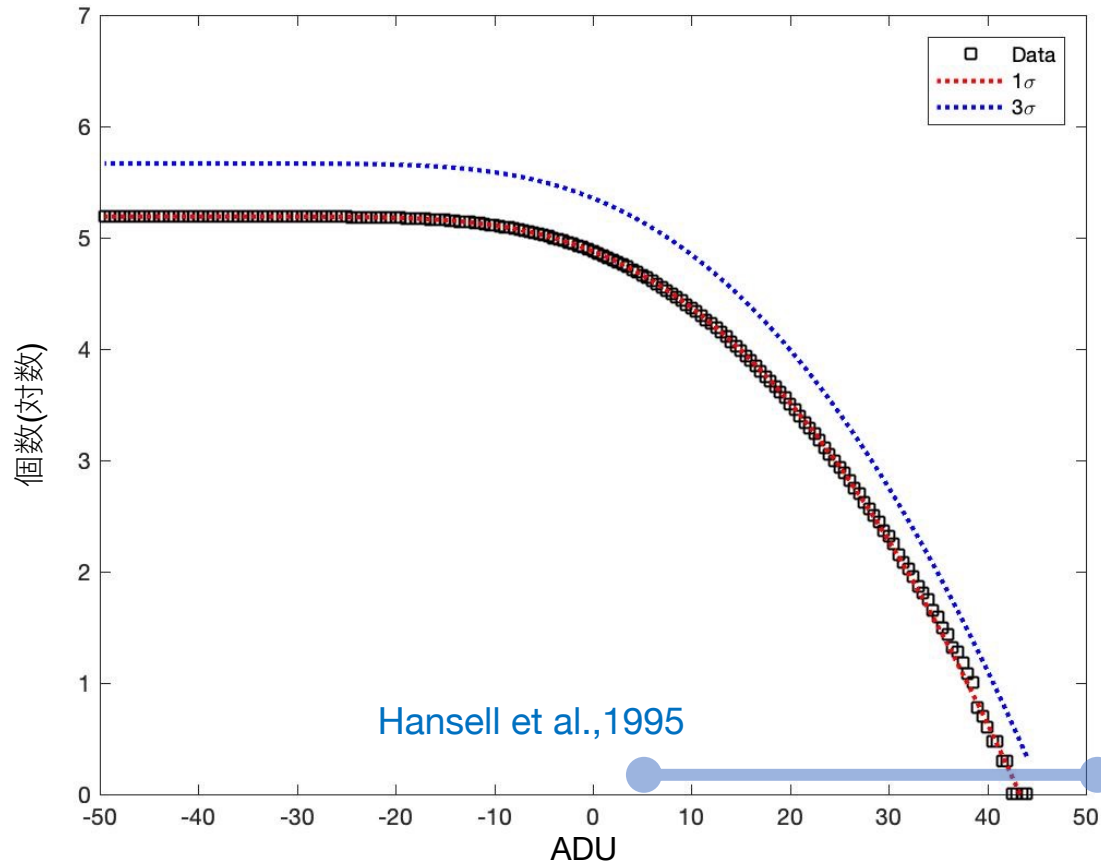


図. ガウス差分を用いたハイパスの結果の累積分布. 縦軸対数での個数. 横軸カウント値.

SaCRA 0.1 sec

- 正規分布から外れ値あり
- ADU > 60, 単一ピクセルの増加5
 - 昼面に近い位置. 昼面からのグラデーシヨンの変化を検出. 雷ではない

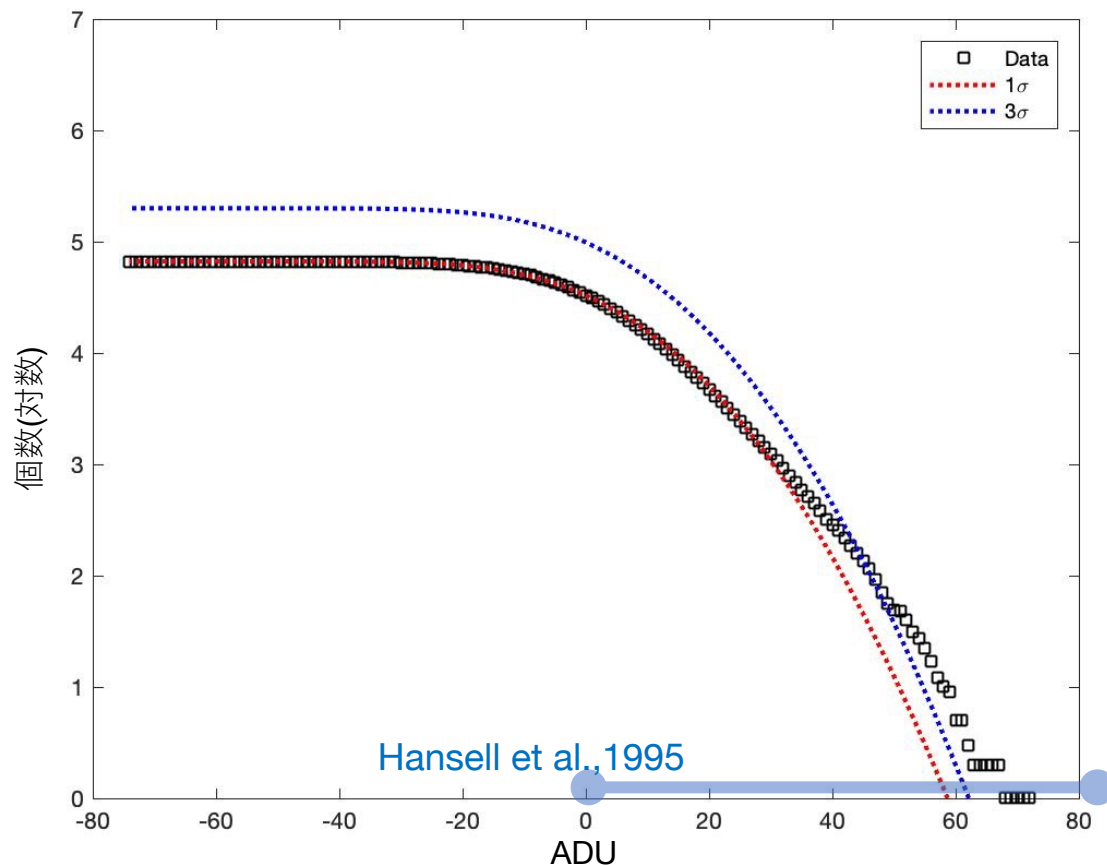


図. ガウス差分を用いたハイパスの結果の累積分布. 縦軸対数での個数. 横軸カウント値.

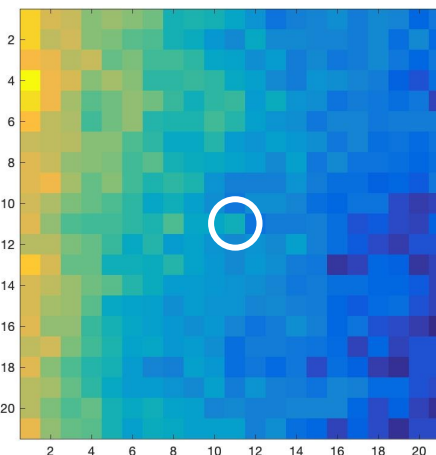
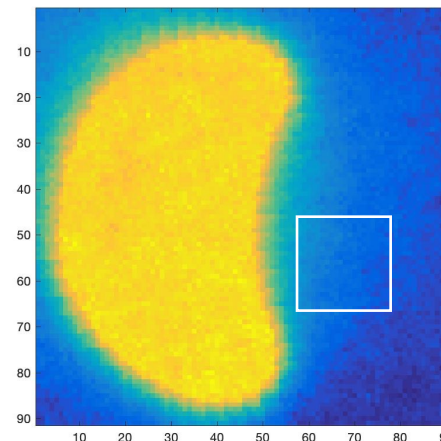


図. 外れ値を検出した生画像と拡大図(白枠). 白丸位置に外れ値を検出.

SaCRA 0.01 sec

- 外れ値を示すものがあるがピクセルの広がりが無い。
- 昼面近く，1ピクセルのみ
 - グラデーションの変化，ノイズ

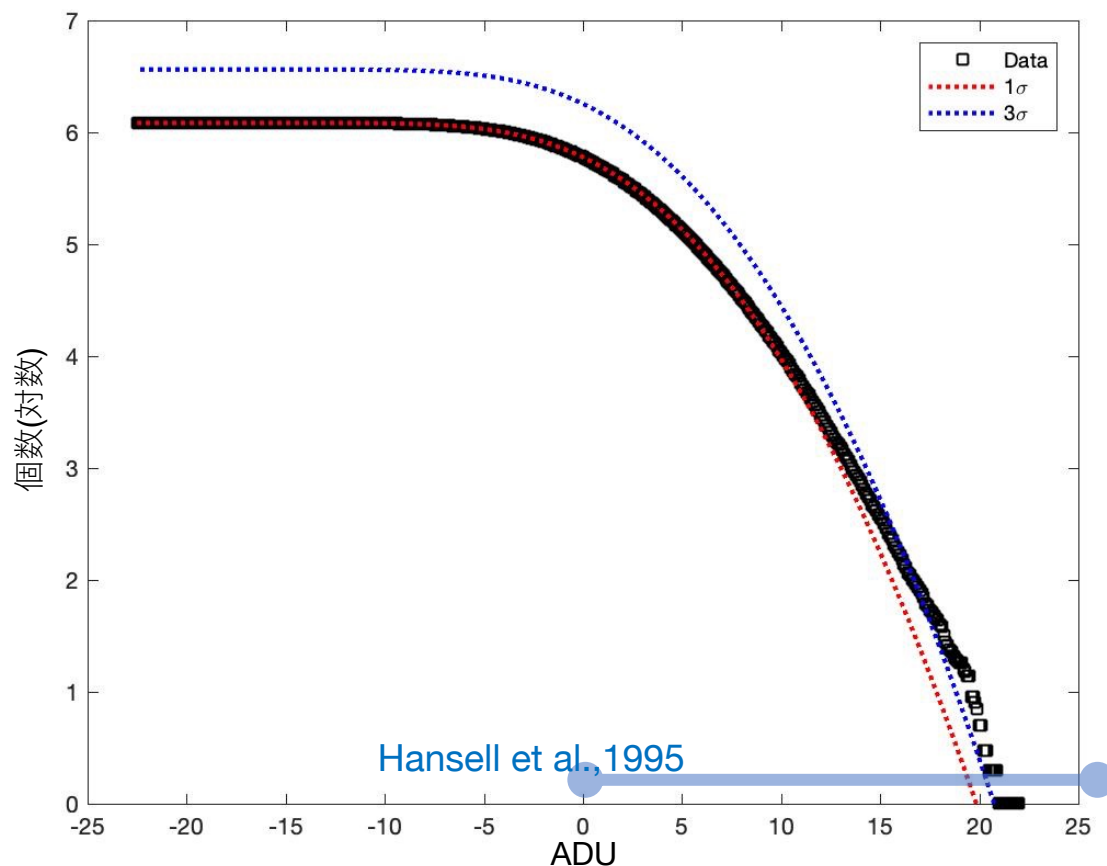


図. ガウス差分を用いたハイパスの結果の累積分布. 縦軸対数での個数. 横軸カウント値.

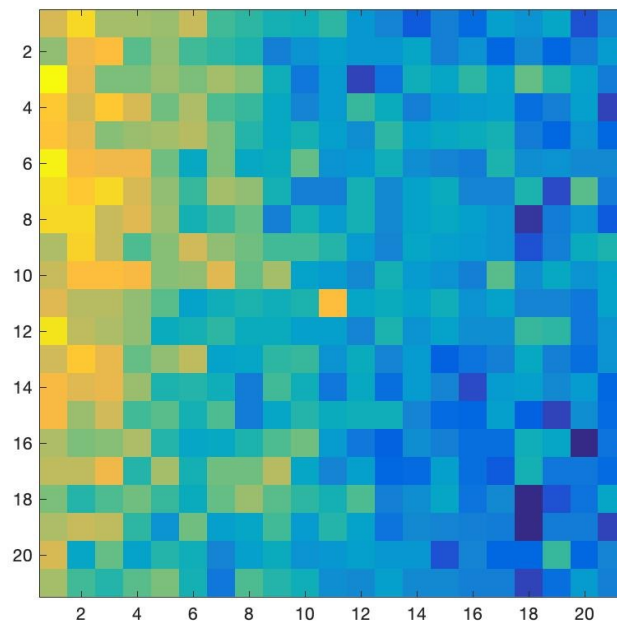


図. 外れ値を示す候補拡大図. 1ピクセルのみの増加で広がりが無い. 左に昼面のコンタミ.

SaCRA 0.005sec

- 25カウント以上で5個の候補
- 1ピクセルのみ大きな値を示すものののみ

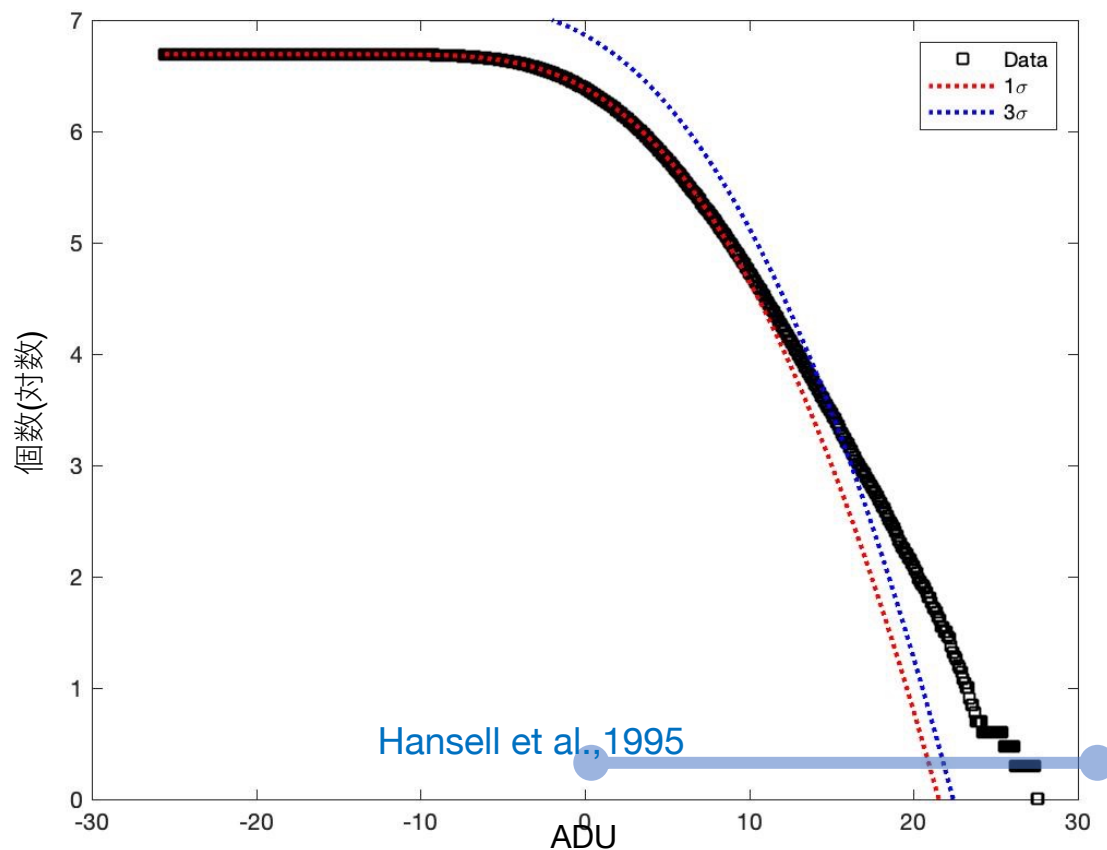


図. ガウス差分を用いたハイパスの結果の累積分布. 縦軸対数での個数. 横軸カウント値.

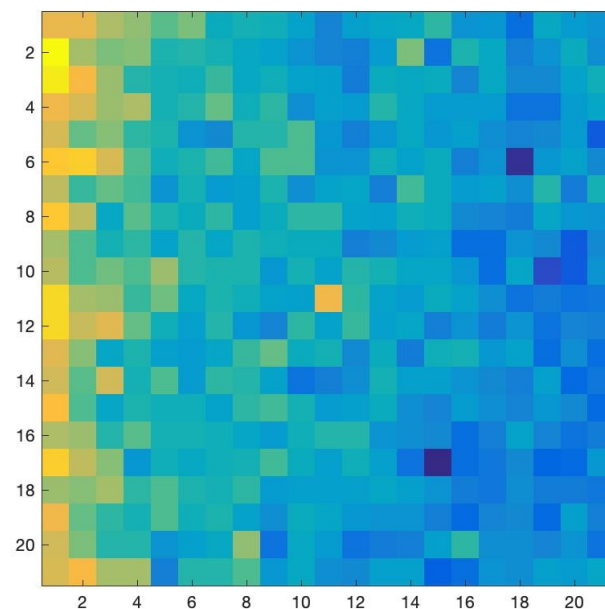


図. 外れ値を示す候補拡大図. 1ピクセルのみの増加で広がりが無い. 左に昼面のコンタミ.

Conclusion & Discussion

- 金星雷の観測は金星大気の大気活動などの解明に役立てることができる。
- 2020年6月30日、7月11日にLACとの同日観測、北海道大学所有ピリカ望遠鏡に搭載されたPCDとの同時観測を試みた。
- 北大は悪天候のためデータなし。同時観測ではないが、西はりま天文台、埼玉大学の2機関では観測データあり。

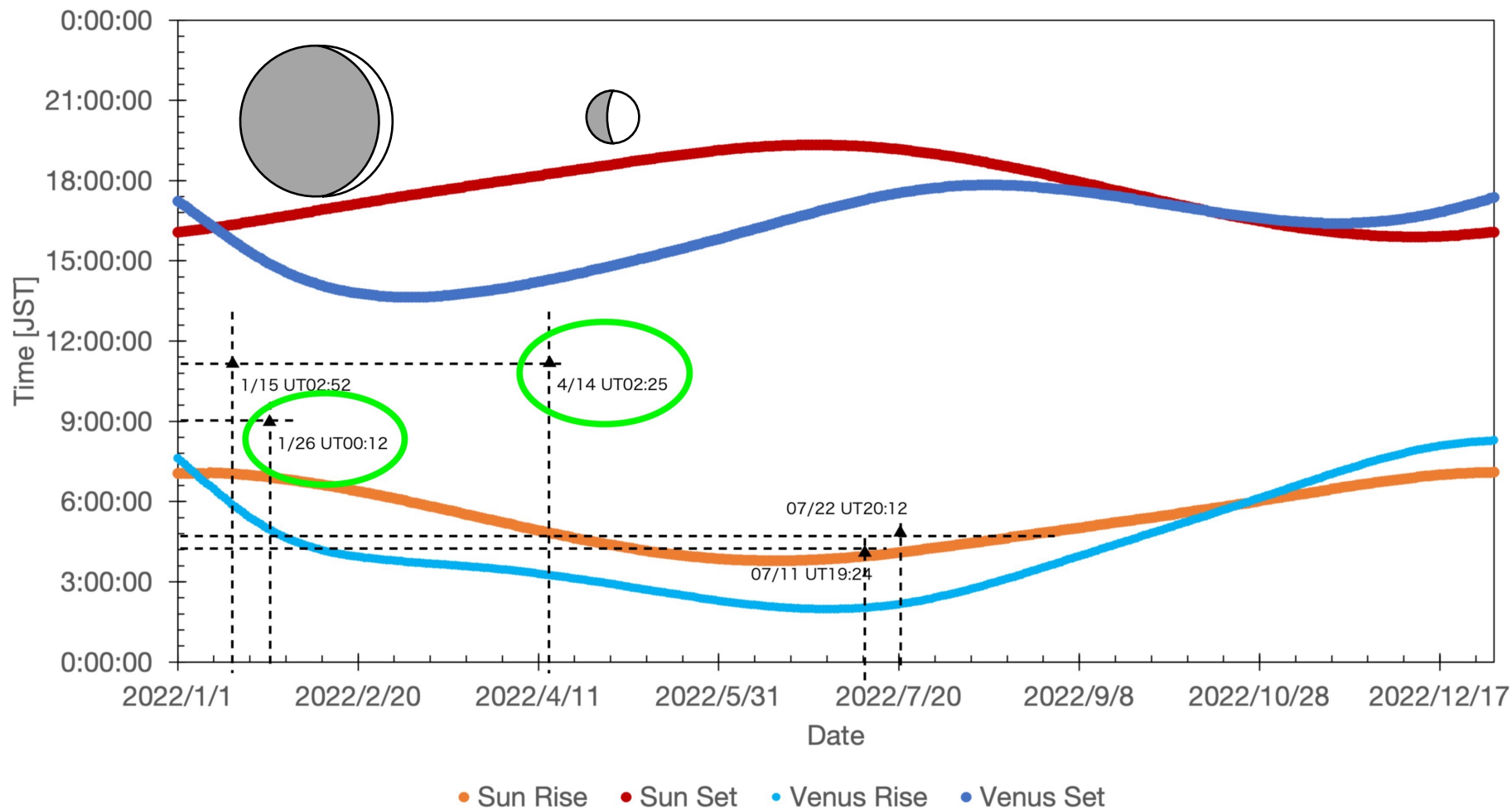
- 解析の結果、ポアソンノイズなど正規分布から外れ値があるものの、大気の影響による広がりがないもの、もしくは狭すぎるものが検出される。
- 宇宙線、ノイズを検出した。

- 単一ピクセルの増加は今回除外したが、シーイングによってピーク値がな増されている。画像からノイズと区別するには同時観測での比較が有用。

- LACでは2020年3月1日に雷発光と考えられる発光を捉えている。
- 雷の存在を有力視している。
- LACと同時に観測、複数観測装置=機関との連携は非常に重要
 - 天候に影響されないように
 - ノイズ、宇宙線検出の可能性除外のため

Future work

- Observation with LAC
 - 26 Jan. 2022 UT 00:12- Night 90% 54"
 - 14 Apr. 2022 UT 02:25- Night 39% 19"



References

- Borucki, W. J., McKay, C. P., Jebens, D., Lakkaraju, H. S., and Vanajakshi, C. T. (1996), Spectral Irradiance Measurements of Simulated Lightning in Planetary Atmospheres, *Icarus*, 123, 336-441
- Hansell, S. A., Wells, W. K., and Hunten, D. M. (1995), Optical Detection of Lightning on Venus, *Icarus*, 117, 345-351
- Sagdeev, R.V., Linkin, V.M., Kerzhanovich, V.V., Lipatov, A.N., Shurupov, A.A., Blamont, J.E., (1986), Overview of VEGA balloon in situ meteorological measurements, *Science*, 231, 1411–1414 doi:10.1126/science.231.4744.1411