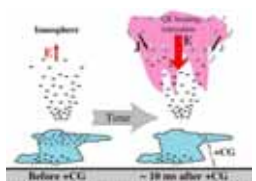


森本 健志 (近畿大), 菊池 博史, 牛尾 知雄 (大阪大), 佐藤 光輝 (北海道大), 山崎 敦, 鈴木 睦 (ISAS/JAXA), 菊池 雅行 (極地研)
石田 良平 (大阪府立大), 高橋 幸弘 (北海道大), Umran Inan, Ivan Linscott (スタンフォード大), 芳原 容英 (電気通信大), 坂本 祐二 (東北大)

研究の背景と目的

スプライト生成要因の図解

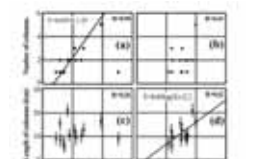


Before +kV, After -kV, ~10 nm after +kV

OEモデル

雷放電に伴う準静電場の変化に伴う電子の加速による絶縁破壊モデル

水平放電路からの電磁パルス



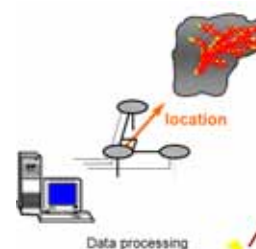
Figs. Correlation between number of columns and peak current [Adachi et al., 2004]

雷放電路から放射される複数の電磁波パルス列が、局所的に強電界領域を形成して、スプライトの生成・水平構造を決定している可能性 (e.g. カラムの空間分布)

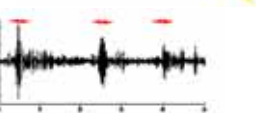
スプライトの水平構造と雷放電に伴う電磁波の同時観測

衛星軌道上からの天底観測の必要性

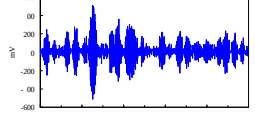
VHF干渉計 (地上用実用機として稼働中) で軌道上から..



Data processing

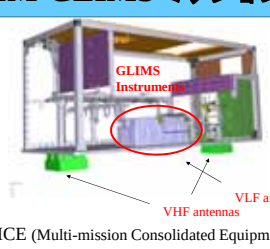


地上機で受信した電磁波形



小型人工衛星「まいと1号」(高度660km)で受信した電磁波形

JEM-GLIMS ミッション



GLIMS Instruments, VLF antenna, VHF antennas, MCE (Multi-mission Consolidated Equipment)



Mission sensors

- CMOS cameras : 740 - 830nm, 762 ± 5 nm
- Photometers : 150-280nm, 316 ± 5 nm, 337 ± 5 nm, 392 ± 5 nm, 762 ± 5 nm, 600-900nm
- VHF interferometer: 70 - 100 MHz
- VLF receiver: 1 - 40 kHz

電波観測機器

スプライトを含むTLE 研究のゴールは、その時空間構造の把握と、それをもたらすメカニズムの解明である。これまで、スプライトについては側面から見た時空間構造はほぼ明らかにされ、また発生の大規模上空電場の生成については基本的な理論は提唱されている。しかし、水平構造の観測的把握はほとんどできていない。またメカニズムに関しても、エレメント(カラム)の数や水平分布、親雷雲との大きな時間的・空間的ギャップなど基本的な特徴がまった(説明されていない。我々はその問題の鍵が、対地雷撃(落雷)および雲内放電からの電磁パルス放射と、放電電流の水平成分の寄与にあると考えている。その検証のために、TLEの光学観測機器と併せて、放電経路発達の時空間追跡ができるVHF干渉計とVLF受信機で構成するGLIMS電波観測機器による観測によってスプライト発生に係る、親雷放電(mother lightning)に関する情報を得る。

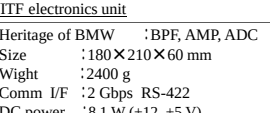
VHF干渉計

雷放電からのVHF電波を検出し雷放電路の時間・空間進展過程の情報を得る



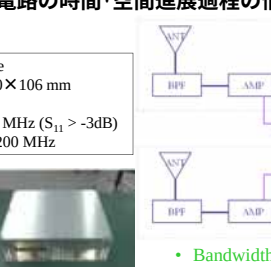
VITF antenna (one unit)

Type	: Patch type
Size	: 200 × 200 × 106 mm
Weight	: 3400 g
Bandwidth	: 70 - 100 MHz (S ₁₁ > -3dB)
Sampling Frequency	: 200 MHz



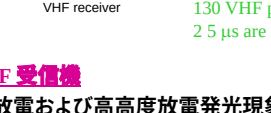
VITF electronics unit

Heritage of BMW	: BPF, AMP, ADC
Size	: 180 × 210 × 60 mm
Weight	: 2400 g
Comm I/F	: 2 Gbps RS-422
DC power	: 8.1 W (+12, +5 V)



VLF receiver

Type	: Patch type
Size	: 200 × 200 × 106 mm
Weight	: 3400 g
Bandwidth	: 70 - 100 MHz (S ₁₁ > -3dB)
Sampling Frequency	: 200 MHz



VLF receiver

Type	: Patch type
Size	: 200 × 200 × 106 mm
Weight	: 3400 g
Bandwidth	: 70 - 100 MHz (S ₁₁ > -3dB)
Sampling Frequency	: 200 MHz

VLF受信機

雷放電および高高度放電発光現象からのVLF電磁放射(ホイッスラ波)の情報を得る

Specification of VLF



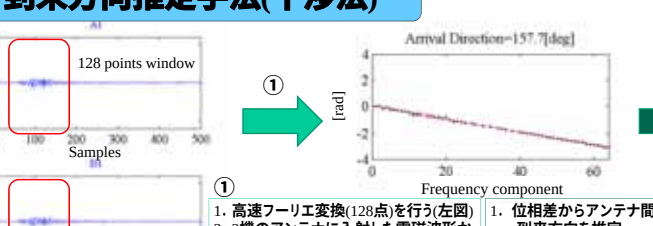
Picture of VLF electronics

Frequency range	1 - 40 kHz
Sampling frequency	100 kHz
A/D resolution	16 bit
Antenna	Monopole



3D view of VLF antenna

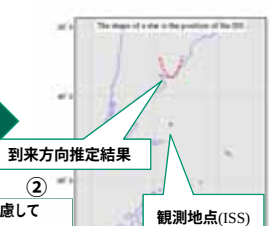
到来方向推定手法(干渉法)



128 points window, Arrival Direction = -157.7[deg], Frequency component

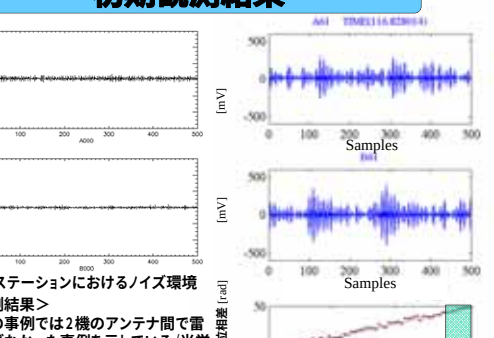
① 高速フーリエ変換(128点)を行う(左図)
② 2機のアンテナに入射した電磁波波形から位相情報抽出(上図)

① 位相差からアンテナ間隔を考慮して到来方向を推定
② 電磁波源の高度を10kmと仮定
③ 干渉法を用いた到来方向推定結果から上記高度との交線をプロット



到来方向推定結果, 観測地点(ISS)

初期観測結果



宇宙ステーションにおけるノイズ環境
<観測結果>
上図の事例では2機のアンテナ間で雷放電がなかった事例を示している(光学観測機器によりトリガ信号がない)
この結果から宇宙ステーションのノイズ環境がVHF帯の電磁波観測可能であることを示している

<観測結果>
左図の事例では2機のアンテナ間で同様の電磁波波形を記録している。
干渉法を用いて、到来方向推定すると、位相が直線状に並んでいることがわかる。特に、VITFの観測周波数である高周波数帯域(80-100MHz付近)では直線状に並んでいることがわかる。これは、2機のアンテナで記録した電磁波が同一の放射源からと放射されたことを示唆している。
2012年11月~12月に観測した電磁波波形約10000波形を解析した結果、同様の知見が得られた。

<問題点>
しかし、得られた位相差はアンテナ間隔から想定される位相差を超えている。この位相差はA系、B系の2系統の受信装置内で生じている可能性があり、今後地上試験等を行い、検証する必要がある。

まとめと今後の予定

- VITFのA系、B系ともに正常に機能していることを確認した。
- 2012年11月~12月に観測された観測結果から位相差を計算した。
- 高周波数帯域(80-100MHz)付近の位相差は到来方向推定に有用であることを示した。
- 今後の課題として、得られた位相差はアンテナ間隔から想定される位相差を超えている点に対して、A系、B系の2系統の受信装置内で生じている可能性も含め検討し、キャリブレーションを行う必要がある。
- 光学観測機器、地上雷観測網との比較・検討を行う。