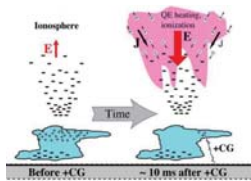


# P-3 国際宇宙ステーションからの雷放電と高高度発光現象の観測 (GLIMS) ミッション — 電波観測機器 —

森本 健志, 牛尾 知雄 (大阪大学), 佐藤 光輝 (北海道大学), 菊池 博史 (大阪大学), 鈴木 睦, 山崎 敦 (ISAS/JAXA)  
高橋 幸弘 (北海道大学), 芳原 容英 (電気通信大学), Umran Inan (スタンフォード大学)

## Motivation and backgrounds

### スプライト生成要因の問題



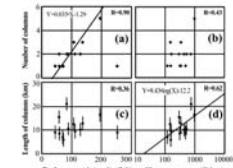
#### QE モデル

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

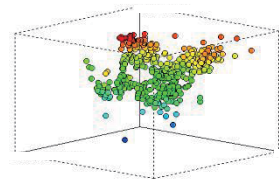
#### 【問題点】

- 電荷モーメントが数 $100\text{C}\cdot\text{km}$ と小さくてもスプライトが発生する点
- スプライトが必ずしもCGの直上で発生せず最大 $50\text{ km}$ の位置ずれが起こる点
- CGとスプライトには数 $\text{ms}$ から数 $100\text{ms}$ の遅延時間が存在する点
- カラム状やキャロット状など異なった発生形態が生じる点
- 同時に複数のカラム状スプライトが発生する点

### 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]



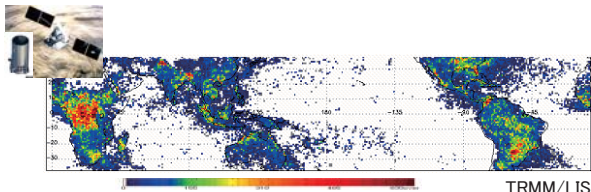
雲放電のVHF電波観測の一例

雷放電路から放射される複数の電磁パルス列が、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)

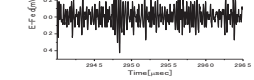
スプライトの水平構造と雷放電に伴う電磁波の同時観測

衛星軌道上からの天底観測の必要性

### 人工衛星からの雷観測



光学観測による位置標定 (分解能 $4\text{ km}$ )



FORTE VHF帯電磁波観測

### 電磁波による雷観測

#### VLF/LF

帰還雷撃に伴う放射<点電荷モデル>  
1雷撃につき1パルスのみ放射  
低い空間分解能

#### VHF/UHF

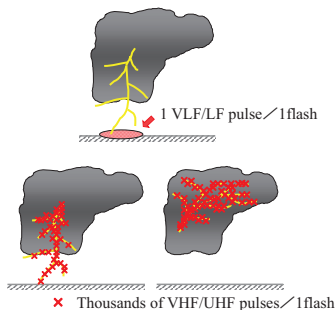
リーダ進展に伴う放射<放電進展モデル>  
対置雷撃・雲内放電を問わず  
数千パルスを放射

枝分かれを伴うリーダの

進展様相を可視化

雲内放電を含む

一連の雷嵐活動を監視



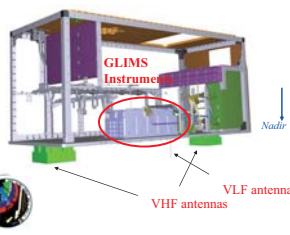
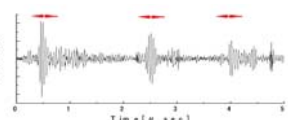
### Ground base VHF Broadband Digital Interferometer

(地上用実用機として稼働中)

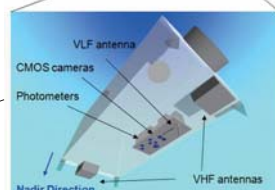
- Bandwidth :  $25\text{--}100\text{ MHz}$
- Sampling rate :  $200\text{ MHz}$
- Resolution : 10 bit
- Recording Time :  $2.5\mu\text{sec} \times 2048\text{ pulses (Max)}$
- Time interval between pulses :  $\approx 1\mu\text{sec}$



Data processing



MCE (Multi-mission Consolidated Equipment)



#### Mission sensors

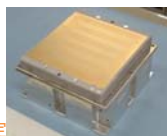
- CMOS cameras :  $740 \times 830\text{ nm}$ ,  $762 \pm 5 \text{ nm}$
- Photometers :  $150\text{--}280\text{ nm}$ ,  $316 \pm 5 \text{ nm}$ ,  $337 \pm 5 \text{ nm}$ ,  $392 \pm 5 \text{ nm}$ ,  $762 \pm 5 \text{ nm}$ ,  $600\text{--}900\text{ nm}$
- VHF interferometer:  $70 \text{--}100 \text{ MHz}$
- VLF receiver:  $1 \text{--}40 \text{ kHz}$

### 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、また発生の一条件である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、観測雷との大きな時間的・空間的ギャップなど基本的な特徴がまったく説明されていない。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

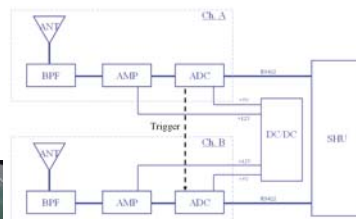


#### VITF antenna (one unit)

- Type : Patch type
- Size :  $200 \times 200 \times 106 \text{ mm}$
- Weight :  $3400 \text{ g}$
- Bandwidth :  $70 \text{--}100 \text{ MHz}$  ( $S_{11} < -3\text{ dB}$ )

#### VITF electronics unit

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



- Bandwidth is  $70\text{--}100 \text{ MHz}$ .
- $130$  VHF pulses with time duration of  $2.5 \mu\text{s}$  are recordable.

#### VLF受信機

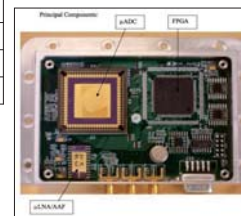
雷放電および高高度放電発光現象からのVLF電磁放射(ホイッスラ波)の情報を得る

#### Specification of VLFR

Frequency range	$1 \text{--}40 \text{ kHz}$
Sampling frequency	$100 \text{ kHz}$
A/D resolution	16 bit
Antenna	Monopole



VHF receiver



Picture of VLF electronics



3D view of VLF antenna

#### JEM GLIMSミッションの成功基準

	ミ マムサクセス	フルサクセス	エクストラサクセス
全球分布	CMOSカメラもしくはVHF干渉計により、1年以上の観測を実施し、発生頻度分布の季節変化を確定	$1 \text{ km}$ の位置検出精度、 $20 \mu\text{s}$ の絶対時刻精度で $\pm 51^\circ$ の緯度帯の $80\%$ 以上を2年以上の期間観測を実施し、雷放電の気象モデルへの同化と高高度放電発光による大気組成変化の推定に資するデータの取得	3年以上の観測を実施し、新たな放電形態をもつ高高度放電発光現象を発見する
水平構造	CMOSカメラおよびVHF干渉計により、1例以上のスプライト天底観測データを取得し、雷放電の放電過程を $10 \text{ km}$ の分解能、 $10 \mu\text{s}$ の時間分解能で検出し、高高度放電発光の発生条件を明らかにする	高高度放電発光を $1 \text{ km}$ の空間分解能、 $10 \mu\text{s}$ の時間分解能で検出し、雷放電の放電過程を $10 \text{ km}$ の分解能、 $10 \mu\text{s}$ の時間分解能で検出し、高高度放電発光の発生条件を明らかにする	雷放電水平電流のEMPIによる発生条件を含めた新たな高高度放電発光発生メカニズムの構築
VLF	—	—	VLF受信機により、雷放電起源のVLF波動を1例以上検出する