

# 小型科学衛星「れいめい」の現状と今後

---

2007年5月30日 宇宙開発委員会

INDEXプロジェクトチーム

宇宙航空研究開発機構(JAXA)宇宙科学研究本部

教授: 齋藤宏文

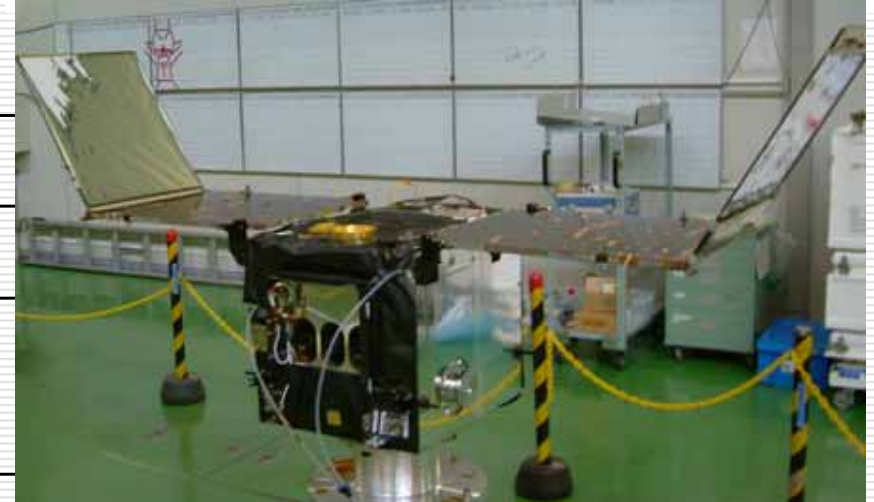
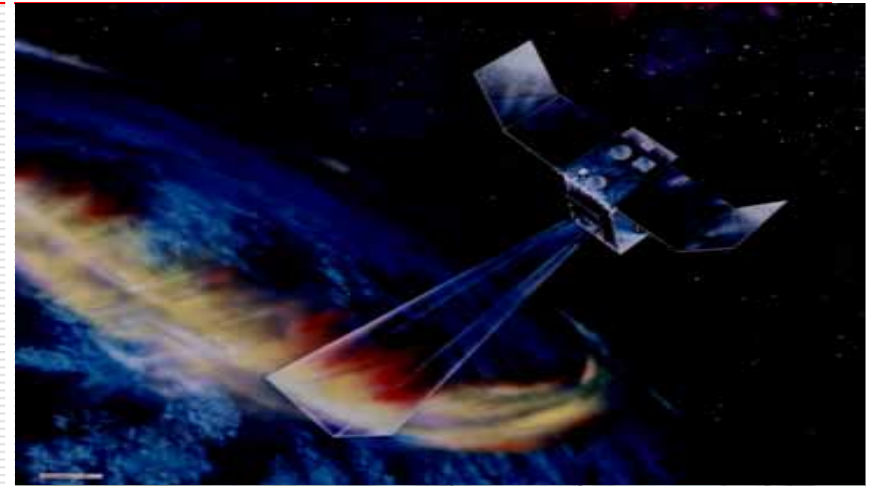
宇宙航空研究開発機構(JAXA)宇宙科学研究本部

助手: 浅村和史

# 小型科学衛星「れいめい」の概要

衛星搭載機器の高度化と軽量化の研究開発プロジェクトの軌道上実証。

オーロラ発光層と、対応するプラズマ環境を高時間・高空間分解能で観測し、オーロラ発光機構を微細なスケールで調べる。



サイズ	72 cm x 62 cm x 62 cm
質量	72kg
電力	160W (MAX)
姿勢制御	- 三軸制御 (磁気トルカ使用) - 制御精度: 0.05度以下
軌道	準太陽同期 1 (高度約 600-670km)
ロケット	ドニエプルロケット(2005年8月24日打上げ) (光衛星間通信実験衛星「きらり」のピギーバック衛星として打上げ)
射場	ロシア宇宙庁バイコヌール宇宙基地 (カザフスタン共和国)

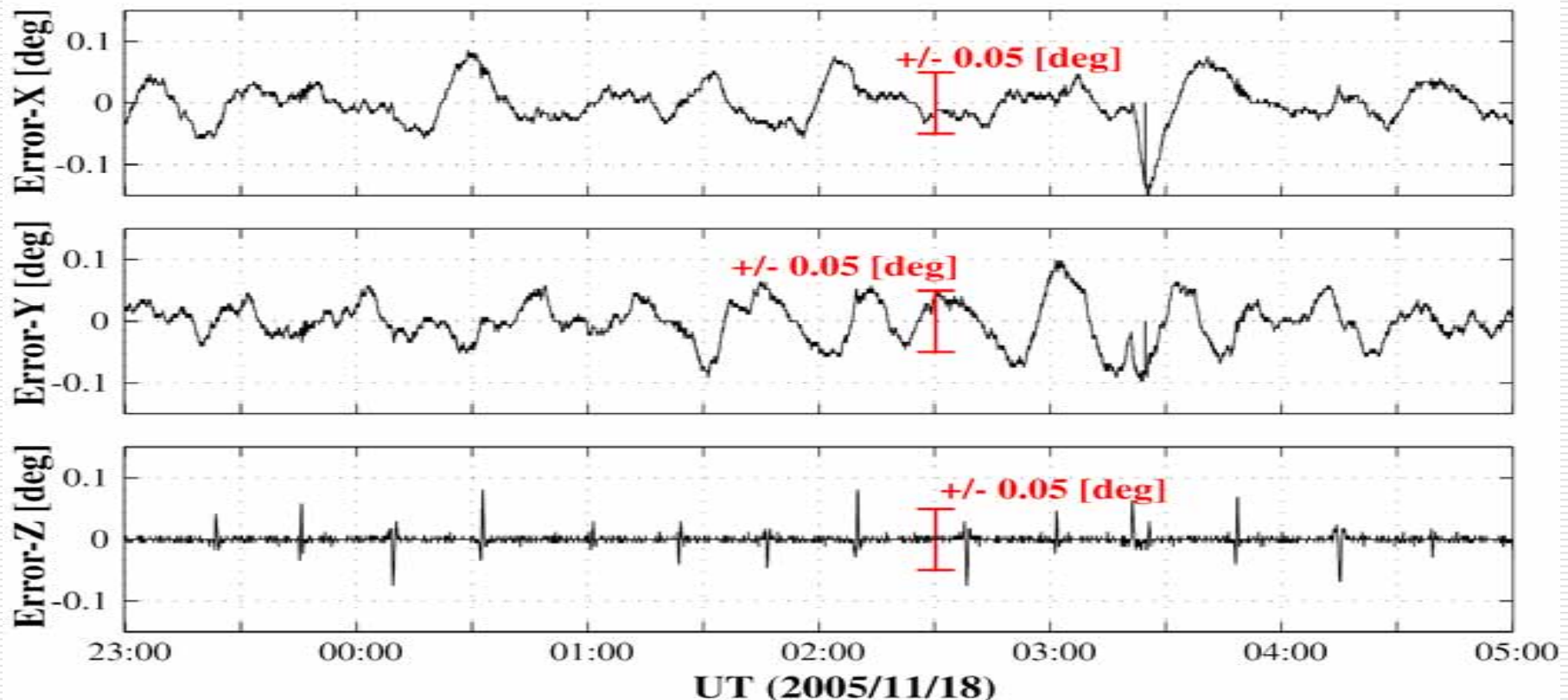
1: 準太陽同期軌道

…常に夜と昼の決まった時間帯を周回する極軌道

# 実証した工学技術

## 70kg級の小型衛星としては卓越した三軸姿勢制御能力

0.05度(3分角)の姿勢制御。軌道上動作確認された70kg以下の定常的三軸衛星は、世界でも数例しかない。(2003.6打上げのMOST衛星(カナダ)など)  
バイアスマーメント方式(ホイール1台+磁気トルカー 3台)  
残留磁気モーメントの軌道上推定とフィードフォワード制御  
温度制御した民生ファイバーオプティカルジャイロ(FOG)  
磁気トルカーベースの姿勢制御としては画期的成果。



横軸が時間、縦軸はX軸、Y軸、Z軸。誤差0.05度以下の姿勢制御精度を示す。

# 実証した工学技術

## 車載用GPS受信機を宇宙用にソフトウェア改修した世界最小、最低価格の宇宙用GPS受信機

日本無線(株)製カーナビGPS受信機

受信機10g、RF合成器こみ232g

初期捕捉周波数引幅を拡大

ドップラー周波数シフトに対応

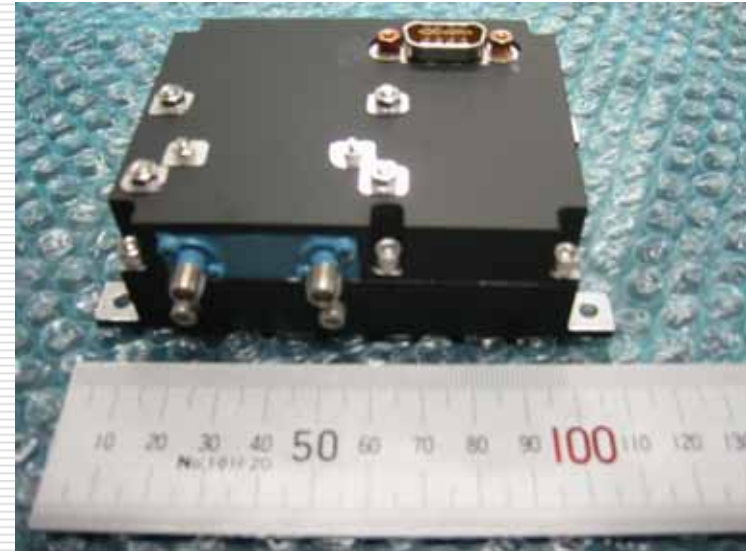
初期測位開始時間 < 20分

精度15m以下、短期ランダム雑音1m

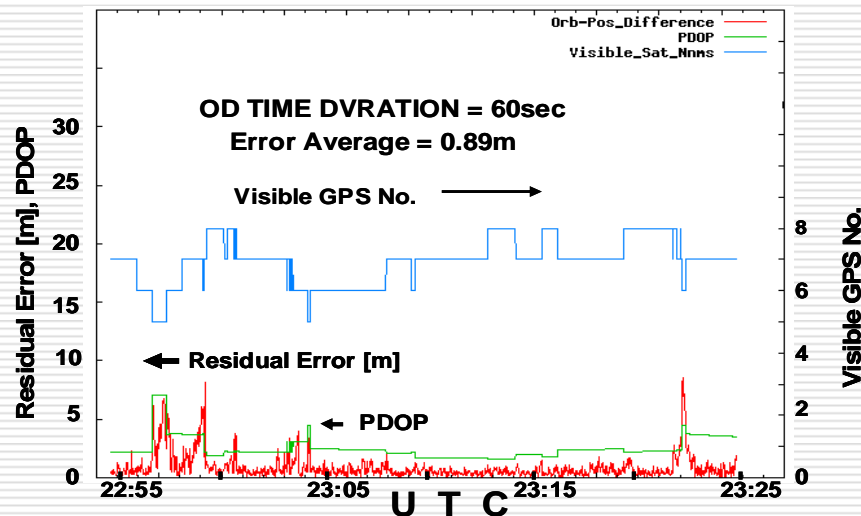
20KRAD放射性耐性

SERVIS 2号機、JEM MAXIに搭載。

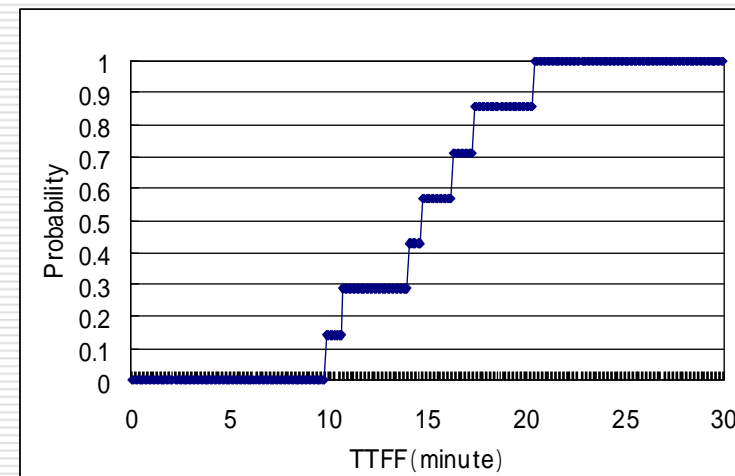
ベンチャー企業より国内、海外販売開始。



FM-GPS Receiver + RF Hybrid



軌道上で、常時GPS衛星6個以上が捕捉でき、測位の短期ランダム雑音は1m程度である。



初期測位開始時間

軌道上で20分以下でコールドスタート測位ができています。

# その他の実証した工学技術

## 民生プロセッサを用いた3重多数決宇宙用計算機による統合化衛星制御

軌道上動作確認。放射線異常、機能異常なし。本宇宙用計算機はSELENEに十数台搭載される。

## 薄膜反射器による太陽集光パドル

軌道上動作確認。160Wmax発生。増倍率1.2～1.3。現在まで劣化なし。Boeing HS702の反射率劣化への対策有効性をモニター継続。ALCATELとの共同研究。

## 民生ラミネート実装リチウムイオン2次電池

軌道上動作確認。10,000サイクル経過正常。ラミネート実装品のポッティング技術の確立。

## 民生光ファイバージャイロ

軌道上動作確認。0.2 精度の温度制御により高いバイアス安定度 (0.2deg/h) を実証。

## フレキシブルな可変放射率素子

軌道上動作確認。日陰時の太陽パドルの温度降下が緩和。初搭載。

## 耐放射線性民生SOIメモリー<sup>3</sup>

軌道上動作確認。放射線異常なし。民生高温用途品。

3:SOIメモリー・・・母材から絶縁されたシリコン薄膜上に集積回路を作ったメモリー

## クリープ<sup>4</sup>のない チタンネジ

打上げ環境に耐えた。JAXAと民間の開発品を初搭載。

4:クリープ(creep)・・・物体に持続応力が作用すると、時間の経過とともに歪みが増大する現象。

## 小型3m追跡局

Sバンド。ダウリング131Kbps。アップリング1Kbps。Windows PC と小型送受信機で構成されたフレキシブルな地上局。

# 科学的成果

## オーロラ発光層・粒子微細構造同時観測

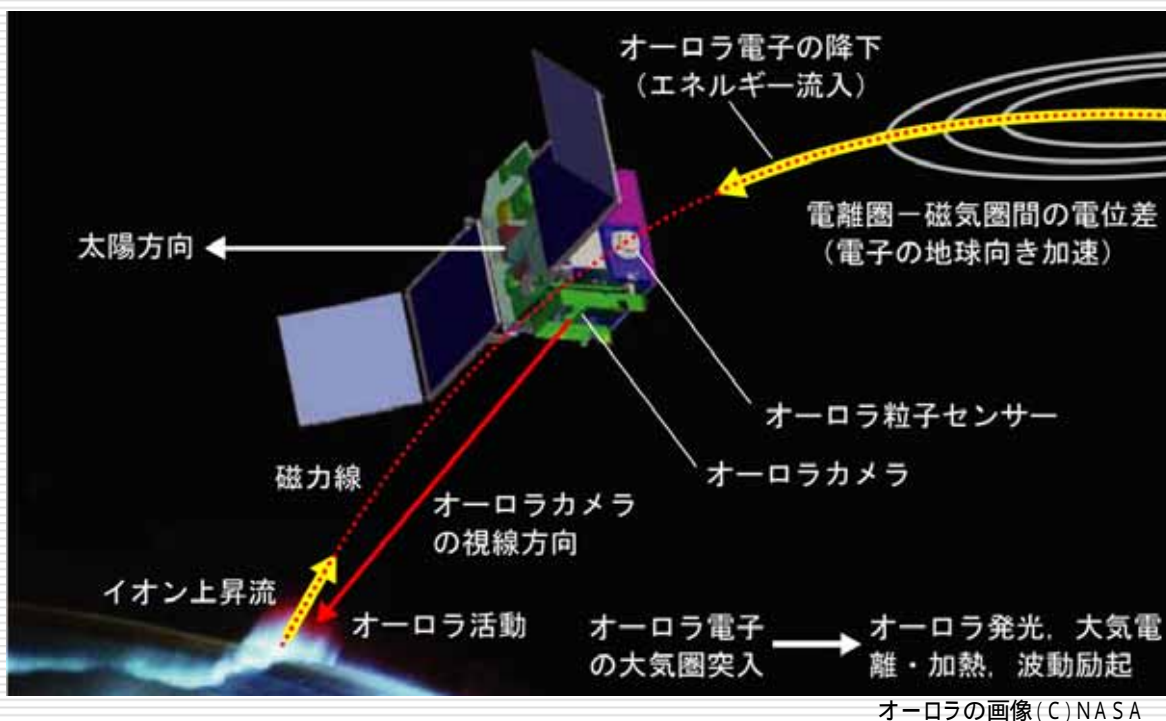
撮像観測点と粒子観測点が同一

- 磁力線フットプリントをカメラ視野内に捉えることが容易
- 低高度では、オーロラ発光高度との間で磁力線が曲がりが少ない
- 天候の影響を受けない

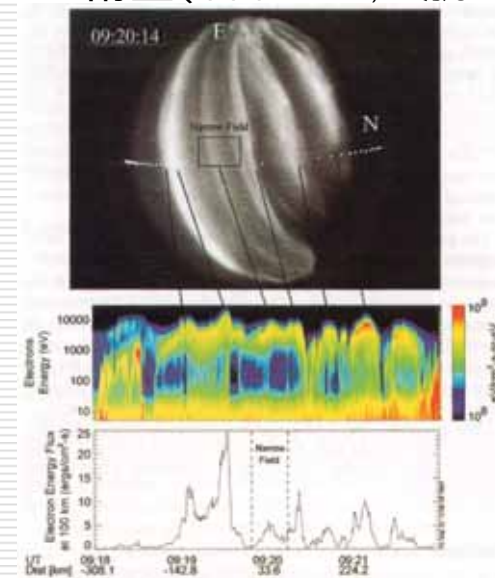
地上光学観測 + 衛星プラズマ直接観測に対して優位

世界で初めて微細構造観測と同時観測の両立を効率的に実現した。 4

4: 地上観測と衛星観測による同時観測も原理的に可能であるが、実際には困難であった。



ほぼ唯一の同時観測例  
(FAST衛星(米国NASA)と航空機)



[Stenbaek-Nielsen et al., 1998]

# 科学的成果

## 高空間分解能、そして高時間分解能

微細構造観測をするには 高空間分解能、高時間分解能観測が必要

高度650kmからの撮像

- オーロラ発光層に近い場所から観測 (空間分解能を上げる)
- 粒子加速構造より下部で観測 (粒子構造とオーロラ発光層との対応)

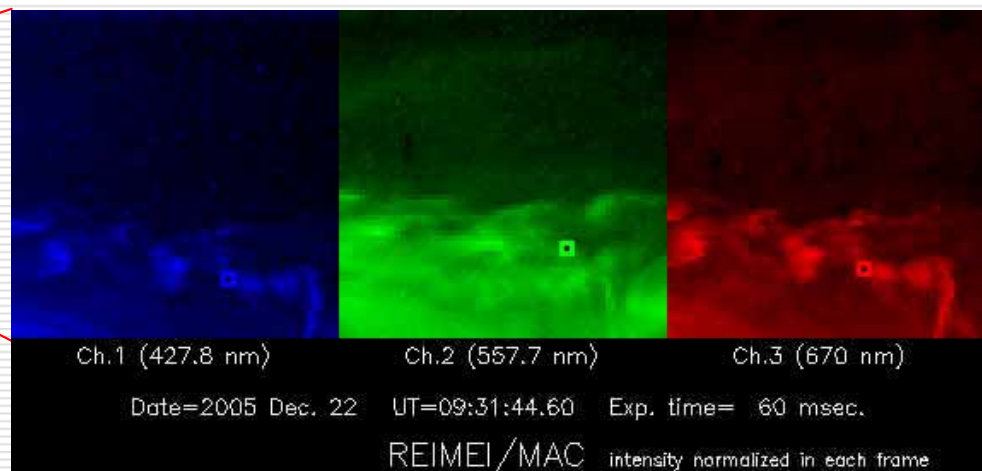
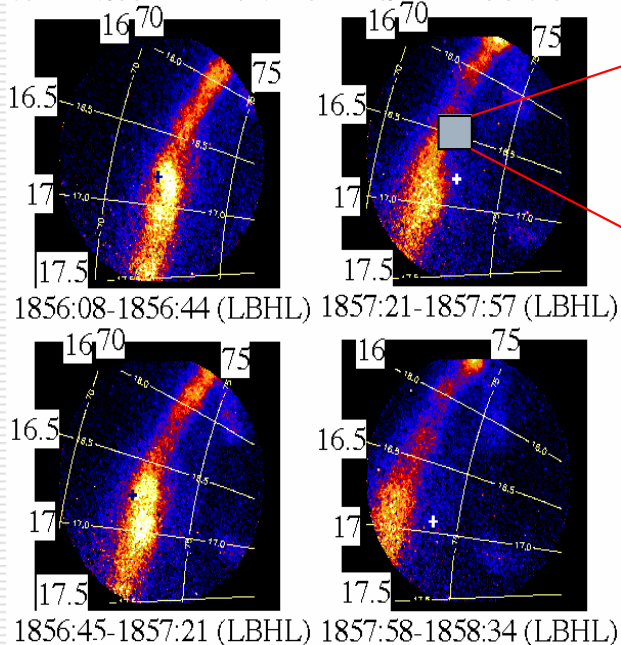
三軸姿勢制御

- 全ピッチ角を同時にカバー (衛星スピンを使わない)
- 発光層を継続的に撮像 (感度増 空間分解能の向上)

これまで高度650kmから3軸姿勢制御で撮像した例はなく、  
分解能: 粒子 20ms/0.15km、カメラ 120ms/1.2km を実現

5.例えばDMSP衛星(米国NASA)は高度840km から撮像。また、地球を1周して1枚の画像が得られるものなので、高時間分解能が必要な微細構造の科学向きではない。

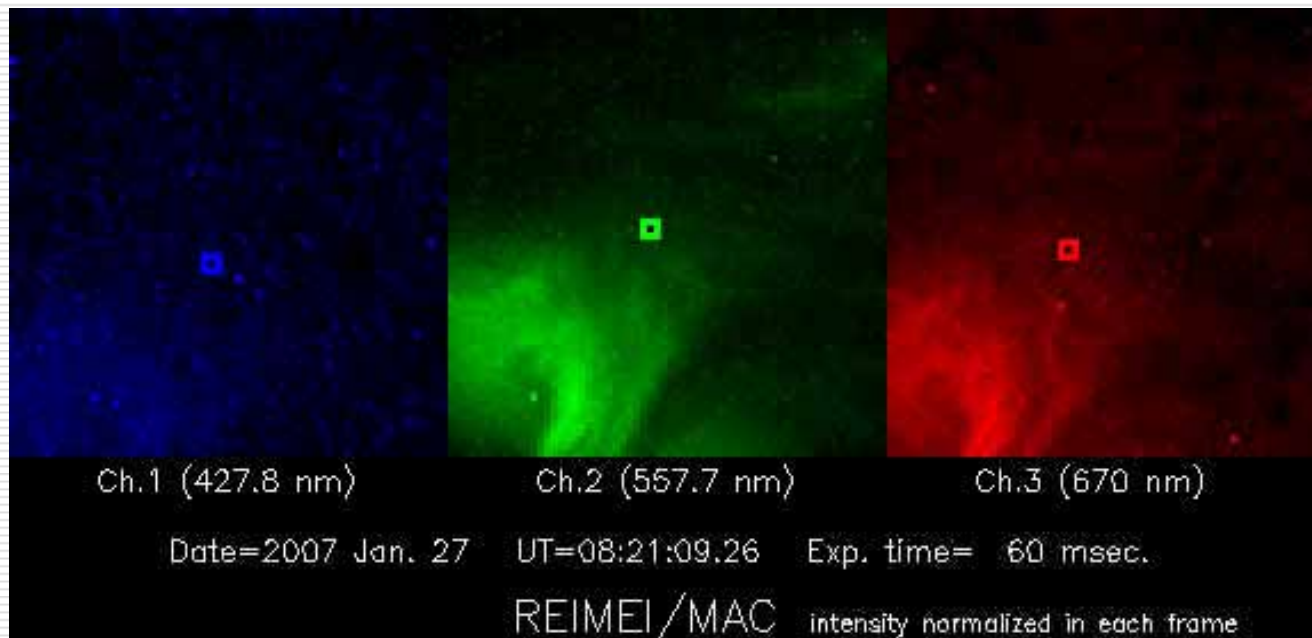
POLAR  
衛星  
(米国  
NASA)  
UVI  
高度  
5000 km



「れいめい」オーロラカメラ(MAC)が捕らえた  
高度 650kmからのオーロラ映像

## オーロラ発光層の微細構造とオーロラ電子の降りこみの観測

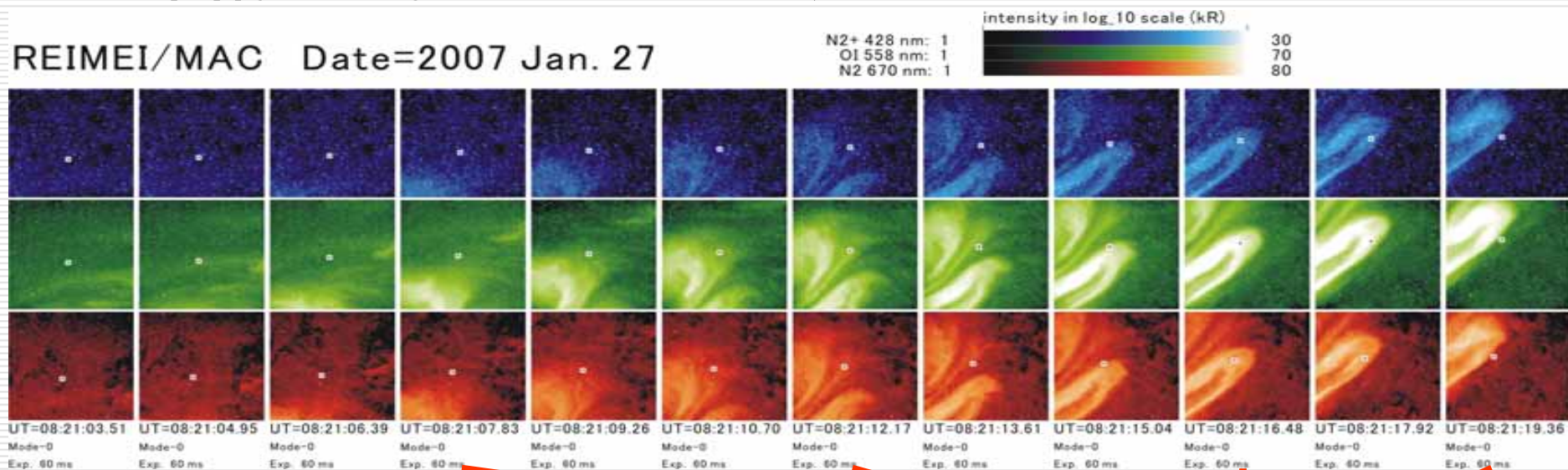
2007年1月27日8時20分(UT)付近





# 科学的成果 (2 / 2)

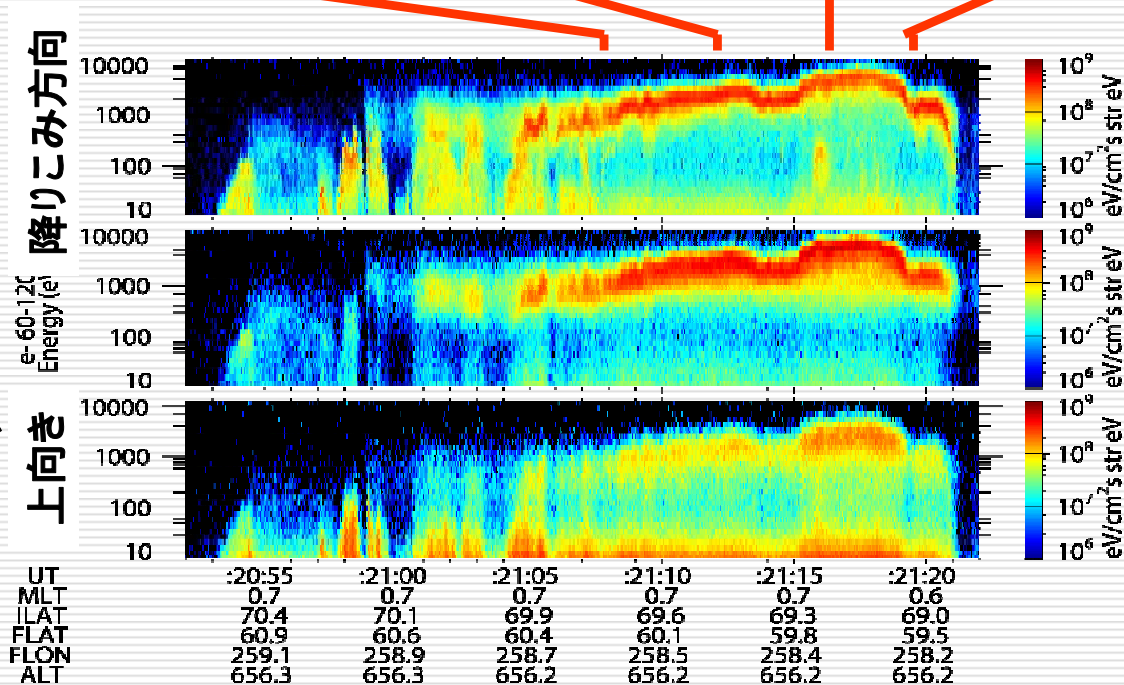
## オーロラ画像と電子フラックスの対応



これまでの衛星の粒子計測データでは、出現していたオーロラ発光層の構造を知ることができなかった。

「れいめい」は、高分解能でオーロラ画像を取得

オーロラ微細構造の中で衛星が通過した領域を詳細に知ることができた。



UT from JAN 27, 2007 8:20:52 UT

# 「れいめい」の今後

これまでのところ、バス機器、観測機器とも不具合はなく、科学観測を行う上での寿命はオーロラカメラの CCD の放射線劣化で決まると考えられている。この劣化を考慮してもあと2年程度は観測可能であろうと考えている。平成18年度のJAXA宇宙理学委員会にて「れいめい」の評価が行われ、高い評価を受け19年度中は観測を継続することが決まった。

平成19年5月より情報・システム研究機構 国立極地研究所との共同観測により、南極昭和基地多目的衛星データ受信システムを用いて「れいめい」データ受信を開始。これにより効果的な極域オーロラ物理研究の推進が期待できる。

## 今後:

太陽活動度が上昇する

- 地磁気活動度が上昇し、オーロラ現象も活発化する 観測確率増大する

海外研究者との共同観測開始

- 国際学会での「れいめい」観測結果発表による効果 国際的評価

地上観測網、衛星観測網の充実

- THEMIS オーロラ多点・常時観測網 (カナダ・アラスカ域に20地点以上展開) が整備されてゆく 磁気圏大規模構造とのつながりを解明

(THEMIS 衛星群: 米国NASAの5基構成からなる磁気圏観測衛星 2007.2.17打上げ)

## 次期小型科学衛星への展開:

「れいめい」は、「ユーザーが満足する小型衛星」の時代の幕開けである。