

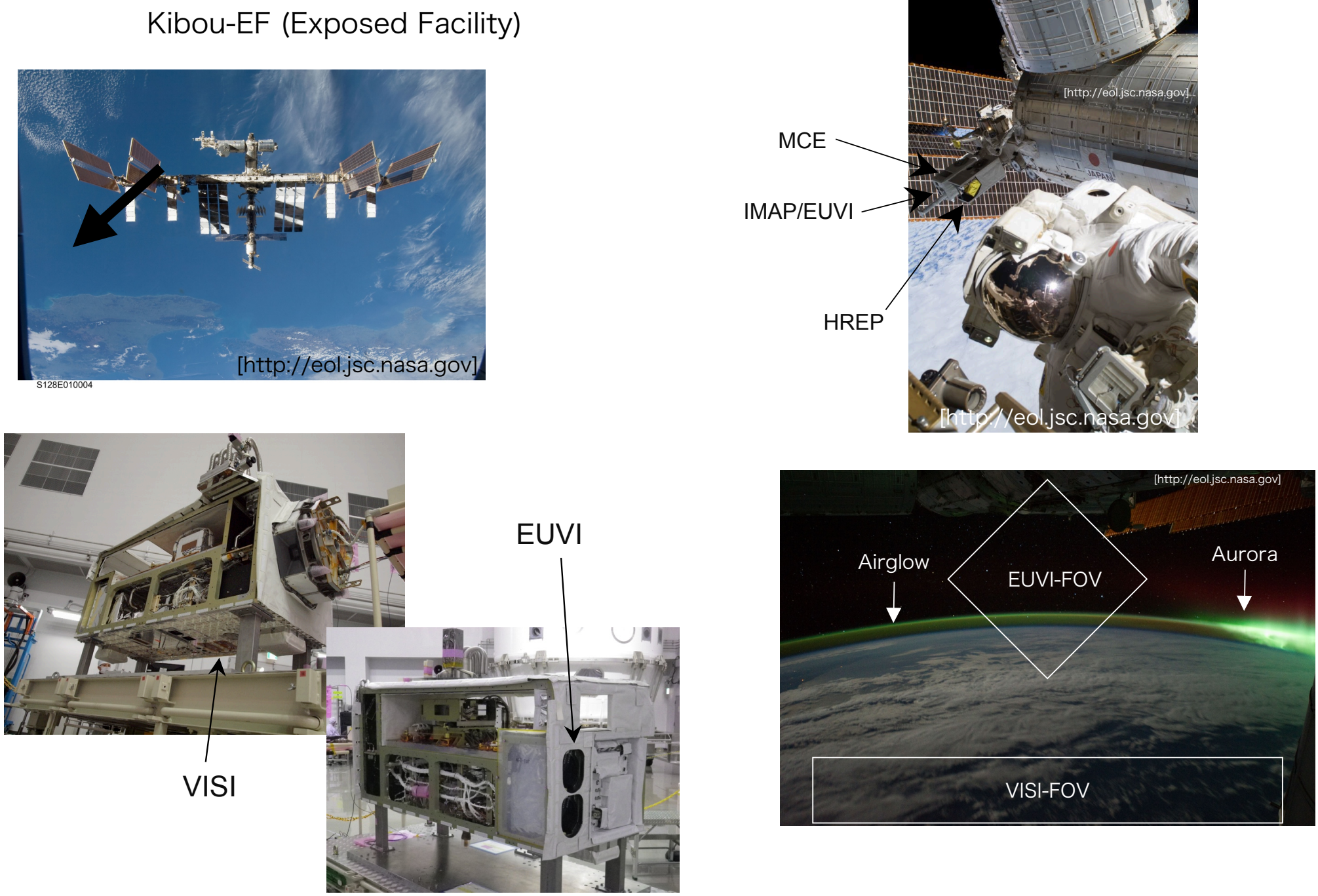
国際宇宙ステーションからの超高層大気撮像観測

ISS-IMAPミッション

齊藤 昭則、穂積裕太（京都大・理）、山崎敦、阿部 琢美、鈴木 睦、村上豪（ISAS/JAXA）、坂野井健（東北大・理）、吉川 一朗（東京大）、大塚雄一（名古屋大・STE研）、藤原均（成蹊大・理工）、田口真（立教大・理）、山本 衛(京都大・生存研)、中村卓司、江尻 省菊池 雅行（国立極地研究所）、河野英昭、Huixin Liu（九州大・理）、石井 守、久保田 実、津川卓也（NICT）、星野尾 一明（電子航法研）、坂野井和代（駒澤大）、IMAPワーキンググループ

ISS-IMAPミッション概要

- ISS-IMAP (Ionosphere, Mesosphere, upper Atmosphere, and Plasmasphere mapping)ミッションは、地球大気と宇宙空間の境界領域である高度80km以上の領域におけるエネルギーと物質の輸送過程を明らかにするため以下の3つの物理過程を解明する事を目的とし、国際宇宙ステーション日本実験棟「きぼう」船外プラットフォームに設置され、2012年8月から2015年8月まで観測を行った。
 - (1) 水平スケール50km-500kmの現象による超高層大気でのエネルギー輸送過程
 - (2) 高度20,000kmまでの電離大気の輸送過程
 - (3) 宇宙利用システムへ影響を与える超高層大気の急激な変動過程
- VISI（可視・近赤外分光撮像装置）と呼ばれる可視光と近赤外光で大気光の撮像装置と、EUVI（極端紫外線撮像装置）と呼ばれる紫外線でプラズマ散乱光の撮像装置の2つの装置から構成される。

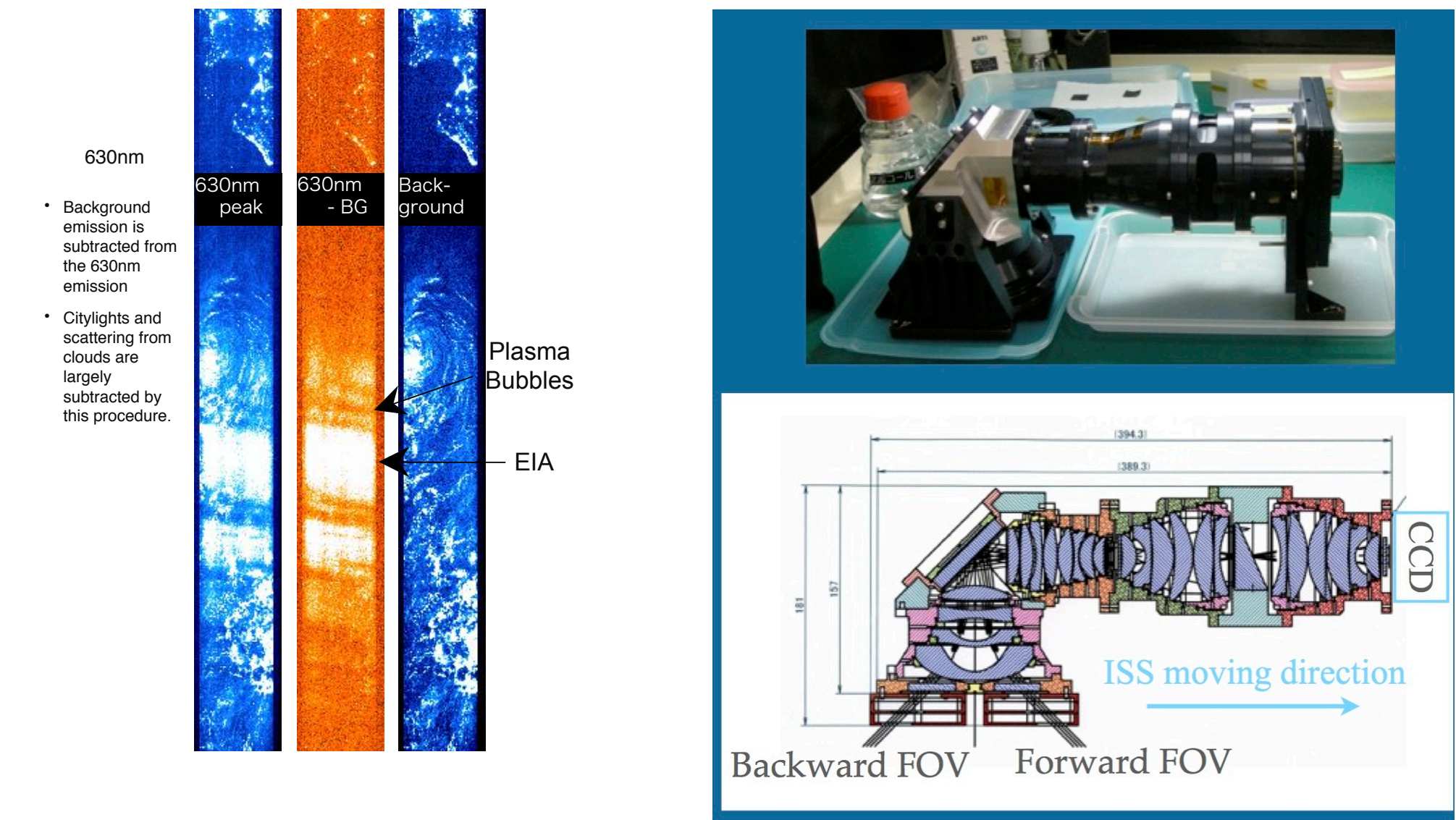


ISS-IMAPミッションが与えた科学的インパクト

- 宇宙空間からの可視光近赤外による超高層大気撮像観測の有効性
従来、宇宙空間からの超高層大気撮像観測は地表付近からの影響のない紫外線が用いられていたが、可視近赤外による撮像の有効性が示された。
- 低地球軌道からの極端紫外撮像観測の有効性
従来、宇宙空間からの極端紫外によるイオン撮像観測は、遠距離から見下ろす観測であったが、低地球軌道からの観測により、南北非対称性や経度依存性など、これまで捉えられなかった構造を明らかにすることができ、有効性を示すことができた。
- 超高層大気における波状構造の全球分布：下層大気との結合
数値モデルや部分的な地上観測によって、下層大気から超高層大気への大気波動の伝搬は示唆されていたが、ISS-IMAP観測によってその発生分布・発生頻度が明らかになり、下層大気との結合は高度100kmまでは強く起こっていることが明らかになった。また、その影響は、高度300kmのプラズマ・バブルの発生や、高度800km以上のHe+分布にも及んでいることも明らかになった。
- He+分布：電離圏上部・プラズマ圏の経度依存性
従来、超高層大気は太陽天頂角への依存性が強く、経度依存性は大きくないと考えられていたが、下層大気との結合によって高度300kmにおいても経度依存性が現れることが明らかになった。ISS-IMAP観測では、大気波動の届かないさらに高高度の高度800km以上まで経度依存性があることが明らかになり、大気の最外部まで下層大気と結合していることが示された。

VISI (Visible-light and Infrared Spectral Imager)

- 主に酸素原子（発光高度250 km：波長630 nm）、酸素分子(O-O)大気バンド（発光高度95km：波長762 nm）、OHマイネールバンド（発光高度87km：波長730 nm）の3つの波長域の大気光。
- 観測視野は、前方及び後方の45°方向に幅90°の短冊状であり、ISSの移動により大気光の2次元空間構造の測定を行う。
- 前後2方向の観測により、ノイズ光の除去と大気光発光高度と大気波動伝搬速度の測定が可能となる。

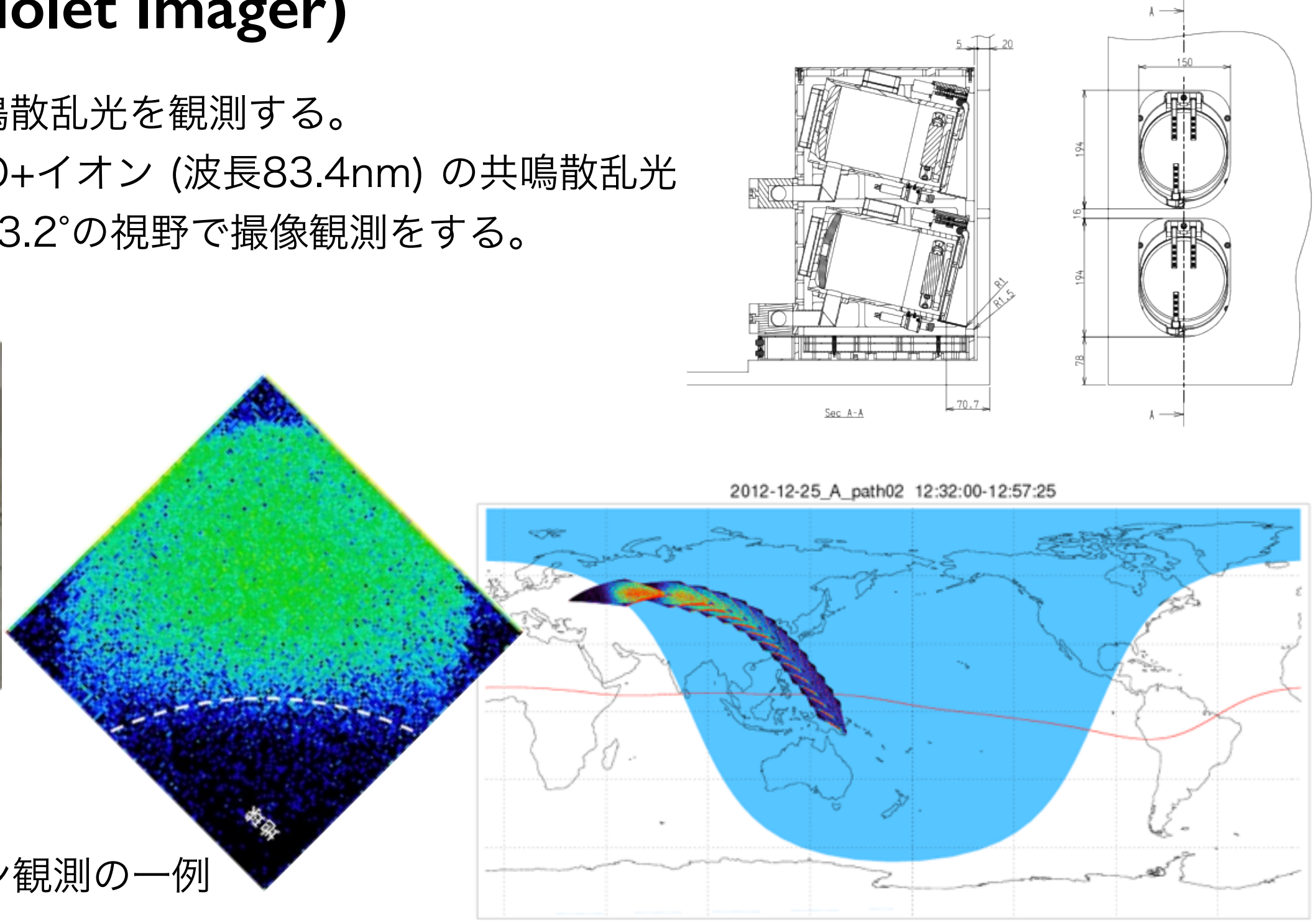


EUVI (Extreme Ultra Violet Imager)

- 電離圏・プラズマ圏からの共鳴散乱光を観測する。
- He+イオン（波長30.4nm）とO+イオン（波長83.4nm）の共鳴散乱光
- 観測視野は、地球リム方向の13.2°の視野で撮像観測をする。
- ISSから後方を指向している。



Heイオン観測の一例



背景

- 大量の小型・超小型衛星の展開や、GNSS・衛星搭載SARなどの高精度な衛星利用システムの展開に伴って、地球大気の最上部である高度90km以上の超高層大気領域における変動の理解・予測の必要性は高まっている。
- しかしこの領域では対流圏における気象観測・天気図・天気予報に対応するような、監視・予測・予報システムは構築されておらず、宇宙天気として整備が進みつつある。
- 超高層大気領域の変動を捉える上で重要なのは、従来の観測では時間的・空間的に平均化されてしまって捉えられなかった水平スケール50km-500kmの変動であり、また従来の超高層大気研究では軽視されていた経度依存性である。
- 経度依存性は、海陸分布が重要な働きをする下層大気では重要であるが、超高層大気にはその影響は及ばないと考えられていた。

ISS-IMAPミッションの経過

- 2012年7月21日：HTV-3号機により打ち上げ
- 2012年8月：VISI check-out
- 2012年9月：EUVI check-out
- 2012年10月15日: 定常運用観測開始
- 2014年9月9日:定常運用ミッション成果評価
- 2014年12月10日：ポート共有実験装置(MCE)定常運用終了審査
- 2015年8月24日：後期運用観測終了

主要な結果(VISI)：中間圏大気光における同心円状構造の観測

- 中間圏における大気光の同心円状構造の中心領域から領域端までの全体構造を観測したのは、ISS-IMAP/VISIによる広視野観測である本観測が初めてである。
- 2013年6月1日04:33UTから04:49UTに北アメリカ上空でISS-IMAP/VISIによりO2大気光(762nm)中の同心円構造が観測された。
- 下図の上側のパネルは前側の視野による観測であり、下側は後ろ側の視野による観測である。
- 平均の発光強度は約5,000Rで、変動幅は背景に対して約20%
- 前後視野の観測の時間差および波面の位置の違いから同心円構造中の波の伝播速度は中心から外向きに125±62m/sと推定された。
- 同心円の中心は35.3°N、95.0°Wの位置にある。
- 中心付近の対流圏雲頂温度の低い領域は前日に発生した竜巻に由来する活発な雲であり、VISI観測の約5時間前から活発であった。
- 対流圏からの大気重力波が中間圏に到達と、その影響範囲の大きさを初めて明らかにした観測である。

主要な結果(VISI)：円弧状構造を形成する中間圏大気光同心円状構造の出現特性

- 台風に起因すると思われる円弧状構造はVISIによって2013年11月7日にオーストラリア南西にて観測されている。フィリピン付近に存在していた台風25号（Haiyan）に起因すると思われる円弧状同心円状構造が観測されている。
- 下層大気の強い風によって大気重力波のフィルタリングがされ、伝搬出来る方位角が限定されたため円弧状の構造になったと解釈される。
- このような762nm大気光の同心円状構造(concentric structure)はVISIの2013年の観測で180例以上観測されている。

主要な結果(EUVI)：夕方側電離圏上部Heイオンの水平構造

- 季節毎の2ヶ月のデータを足しあわせて得られた夕方側Heイオン共鳴散乱光の水平分布
- どの季節も時期的な高緯度ではHeイオン量が減少しており、プラズマ圏の内側と外側の領域が確認できる。
- 夏至、冬至のプロットを見ると、夏半球と比べ冬半球の全Heイオン量が多い。
- このような全Heイオン量の経度依存性はIMAP/EUVIの観測で初めて明らかになった。