

第2回 超低高度衛星の利用に向けた超高層大気ワークショップ

03__社会的課題、科学的課題、技術的 課題に対する進め方

平成27年9月2日

宇宙航空研究開発機構
第一宇宙技術部門
SLATSプロジェクトチーム

1. 想定する社会的課題、科学的課題、技術的課題
2. SLATS観測計画検討や成果活用に向けた研究
（高層大気に関する課題）
3. 将来超低高度ミッションに関わる提案
4. 進め方

1.想定する社会的課題、科学的課題、技術的課題

超低高度衛星の貢献が期待できると考える課題と対応の例

1. 社会的課題

①防災分野： 画像情報の把握、等

- 例：超低高度から光学センサやSARを用いた高分解能観測をすることで、対象地点を高頻度(1日1回)かつ詳細な画像情報をユーザに提供することで貢献、等。

②気象環境分野： 気象予報精度の向上、等

- 例：超低高度からのLIDAR観測にて、風向・風速データを取得し、気象予測モデルに同化させることで、気象予測モデルの精度向上に貢献、等。

2. 科学的課題

①高層大気サイエンス分野： 超低高度域の実測データを一定期間取得、等

- 例：超低高度域の大気密度、プラズマ、磁気等の実測データが極めて少ないことが課題であり、大気密度等を一定期間にわたり実測することで高層大気サイエンス分野の科学的課題の解決に貢献、等。

3. 技術的課題

①超低高度域における大気密度に関する日変化、時間変化の予測精度の向上

- 例：SLATS及びSLATS後継機の運用にて得られるデータに基づき精度向上を図り、衛星の姿勢・軌道制御精度の向上、長寿命化、低コスト化を実現し、超低高度衛星の利用拡大を図る。

1.想定する社会的課題、科学的課題、技術的課題

SLATSおよび将来超低高度衛星からみた研究の分類 (高層大気に関する課題分類)

①「SLATS観測計画検討や成果活用に向けた研究」

衛星バス、ミッション機器が確定しており、SLATSが取得するデータを利用した研究を行う。このために共同研究の募集を行います。

⇒今回、該当する高層大気に関連するミッションについて説明します。

②「将来超低高度ミッションに関わる提案」

超低高度衛星の利用を最大化することを目標に、コミュニティからメインミッション、またはサブミッションの提案を募集したい。

* 8/31の阿部先生の講演で説明のありました理学委員会が定めるRG(リサーチグループ)で議論し提案していただくことも想定している。提案が社会的課題なのか、科学的課題なのかは、その中の議論の中で確認していきたい。

2. SLATS観測計画検討や 成果活用に向けた研究

2.SLATS観測計画検討や成果活用に向けた研究

参考に現状のSLATSの関連するサクセスクライテリアを下記に示します。

目的	達成目標		
	ミニマムサクセス	フルサクセス	エクストラサクセス
大気密度データの取得	高度250kmより高い高度において、大気密度に関するデータを取得できること 【判断時期：高度250km到達時点】	高度250kmから180kmにおいて、90日間の大気密度に関するデータを取得できること	① 高度250kmから180kmにおいて、90日間を超えて大気密度に関するデータを取得できること ② 高度180kmより低い高度において、大気密度に関するデータを取得できること
原子状酸素データの取得	原子状酸素衝突フルエンスセンサが正常に動作すること 【判断時期：打上げ3ヶ月後】	高度250kmから180kmにおいて、90日間の原子状酸素衝突フルエンス(F_{AO})を計測できること	① 高度250kmから180kmにおいて、90日間を超えて F_{AO} を計測できること ② 高度180kmより低い高度において、 F_{AO} を計測できること
	材料劣化モニタ機器の全機能が正常に動作すること 【判断時期：打上げ3ヶ月後】	高度180km以上において、材料劣化状況を原子状酸素衝突フルエンスと共に取得できること	原子状酸素による材料劣化について新たな知見が得られること

2.SLATS観測計画検討や成果活用に向けた研究

SLATSのミッションで高層大気に関わる「原子状酸素に関するデータの取得」について説明します。

目的: 原子状酸素(Atomic Oxygen : AO) は高層大気中の酸素分子が太陽からの紫外線により分解され、酸素原子となったもので、衛星高度が低いほど高濃度になる傾向がある。衛星に使用する材料(最外層の熱制御材料)は、原子状酸素(Atomic Oxygen : AO)による影響を強く受けることで損傷し、衛星熱設計に影響する。超低高度軌道で運用する衛星を開発するためには、この軌道のAO環境や、材料が受ける影響を把握し、将来の超低高度衛星の設計に反映する。

ミッションセンサの構成は下記のとおりです。

①原子状酸素フルエンスセンサ(Atomic Oxygen Fluence Sensor : AOFS)

→SLATSが運用される軌道のAO環境の計測

②材料劣化モニタ(Material Degradation Monitor : MDM)

→AOによる材料劣化を軌道上で確認

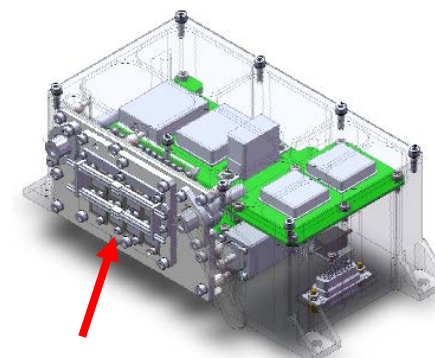
研究体制

研究開発部門 第一研究ユニット*の取りまとめとした
衛星システムメーカ、大学などから構成される委員会

* 担当: 木本雄吾、宮崎英治、土屋佑太



AOFSセンサ-外観

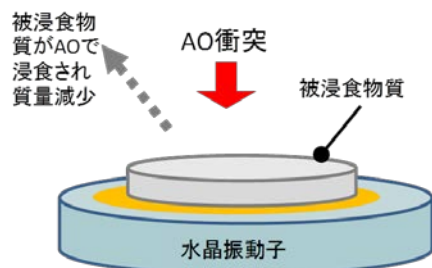


材料サンプル

2.SLATS観測計画検討や成果活用に向けた研究

原子状酸素フルエンスセンサAOFSの動作原理

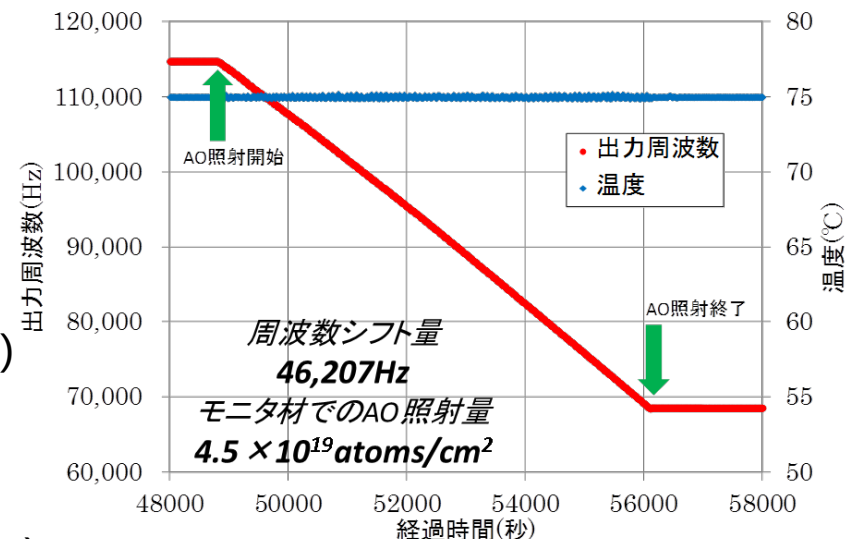
- QCM電極面にポリイミド膜を形成させ、これにAOを照射すると、表面のポリイミド膜はAOとの反応によりガス化し質量が減少する。このことを応用してAO衝突量の計測が可能となる。ポリイミドに対して酸素原子1個が衝突した際の浸食量は「反応効率($3 \times 10^{-24} \text{ cm}^3/\text{atom}$)」としてデータが有るため、QCMで計測された質量変化から、次式によりポリイミド膜が被曝したAOフルエンスを計算する。



$$F = \frac{\Delta m}{A \cdot \rho \cdot E_y}$$



F : AOフルエンス(atoms/cm²)
 Δm : 質量減少量(g)
 A : 曝露される膜の面積(cm²)
 ρ : 材料の密度(g/cm³)
 E_y : 材料の反応効率(cm³/atom)



AO照射中の出力結果

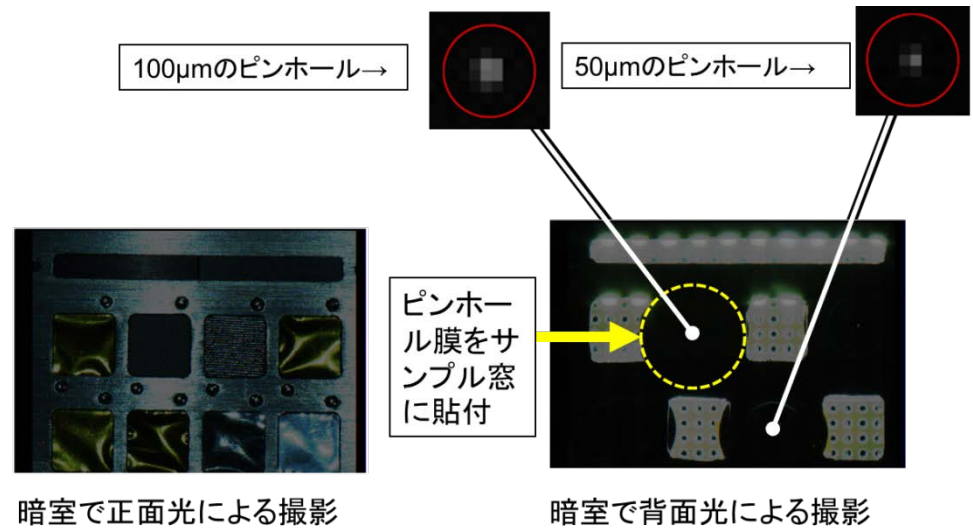
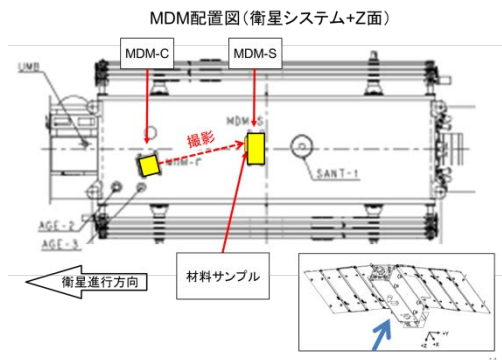
結果:AO照射により、想定通りの直線的な周波数変化を確認した。このケースでは、感度係数が $9.74 \times 10^{14} [\text{atoms/cm}^2/\text{Hz}]$ であり期待通りのセンサ性能を有していることを確認。

* 高度220kmでAO濃度(平均値) $3.06 \times 10^{15} [\text{atoms/m}^3]$ だが、センサ単体では有効数字2ケタ以上の性能を有する。ただしAO抑制用のシャッタ運用(軌道上で1/100以下にAO暴露を抑える)などの誤差などを考慮する必要がある。計画では1日の平均値AOフルエンスを求める。

2.SLATS観測計画検討や成果活用に向けた研究

(1)材料劣化モニタ(MDM)の概要

- 衛星に使用する材料がAOによってどのように劣化していくのか、画像観測によって定性的にモニタリングするシステムである
- 十種類程度の材料試料片を衛星の進行方向を向いた面に並べ、これをCCDカメラで定期的に撮影する。
- 搭載照明を用いることで、安定した照明条件により行う。
- 評価材料は10種類+モニタ材
熱制御フィルム(断熱)5種類
熱制御フィルム(放熱)3種類
配線材 2種類



大気密度モデルの精度向上に向けた研究 現在の取り組みの紹介

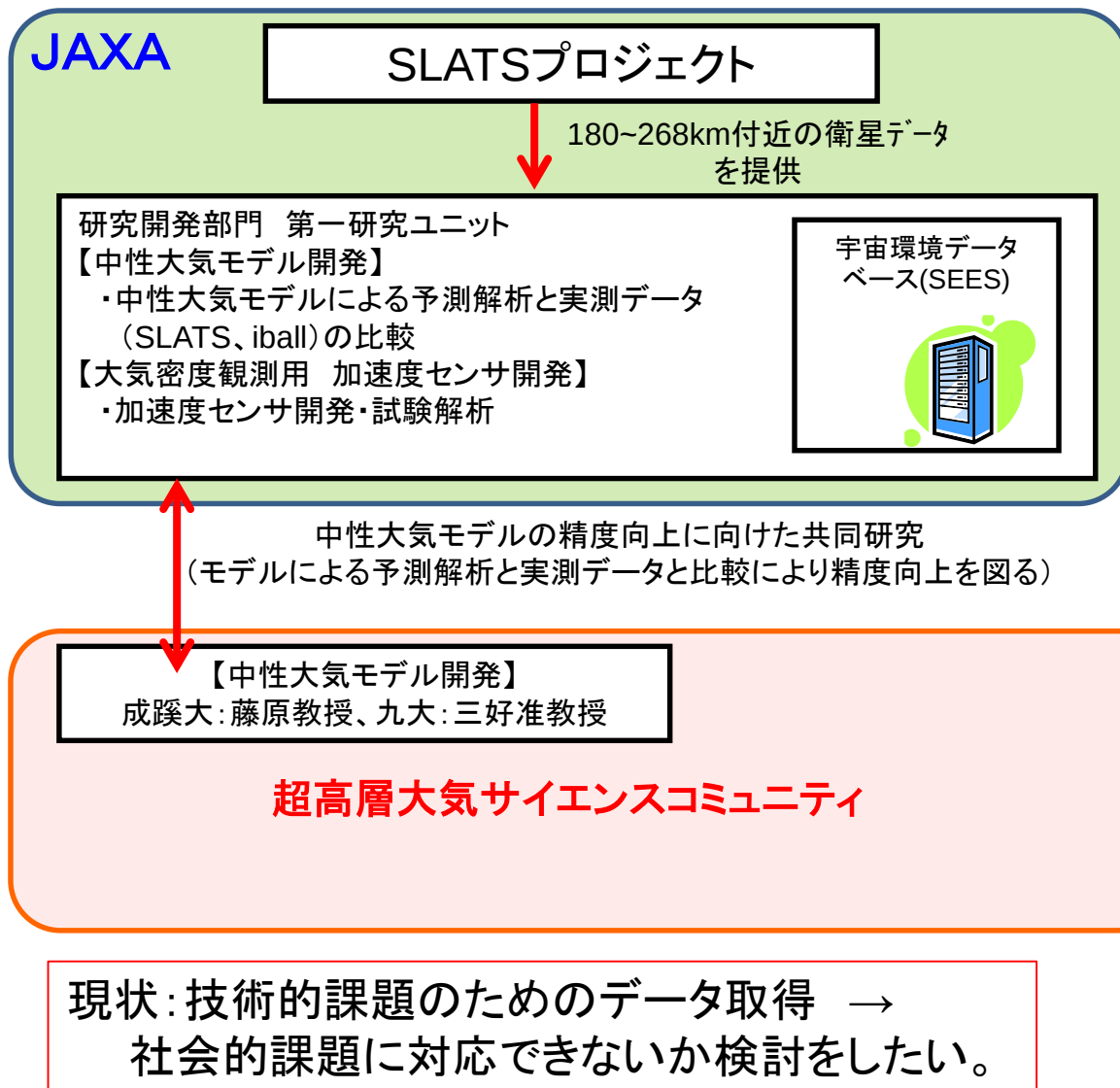
SLATSのGPSの高度変化情報から、大気密度を算出します。

MSISなどとの比較ほか、JAXA 研究開発部門で行っている中性大気モデルとの比較を予定しており、宇宙環境データベース(SEED)を構築しており、SLATSの大気データの登録を検討中(原則非公開)。

今後は、将来超低高度衛星の設計基準文書を制定する活動に持っていきたい。



独DLR CHAMP衛星データ
(450km付近)を用いた精度向上



・社会的課題に貢献例 大気密度モデルの精度向上に向けた研究(案)

地球規模の気候変動予測精度の向上

アウトカム

・人間活動の影響を受けにくい高層大気の観測および数値シミュレーションにより、地球温暖化の動向を正確に把握する。 →環境問題解決への貢献

手段:

- ① 超低高度衛星による中性大気密度・大気組成等の計測
電離圏温度の直接計測
- ② 高層大気モデルの高精度化

【確認したいこと】

- ・SLATSのデータで本課題の解決に貢献できるでしょうか？
- ・本研究に参画されたい研究者はおりますでしょうか？
- ・環境省や環境研究所は本課題で、あまり見ませんがなぜでしょうか？今後、参画する可能性はありますでしょうか？

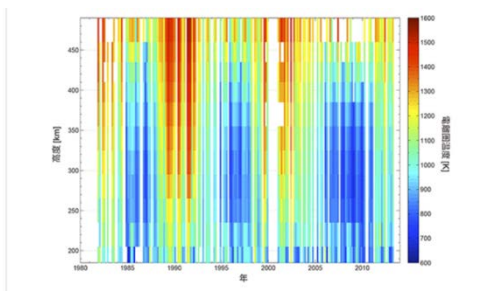


図2: EISCATレーダーデータから導出した33年間(1989-2013年)の高層180kmから480kmの電離圏温度の変動。縦色系は高度[km]、横色系は年[K] (K: 33) であったことを示す。太陽活動の極大期である1989-1992年付近や2000-2013年付近には電離圏温度が約1500度まで上昇している様子が窺われる。

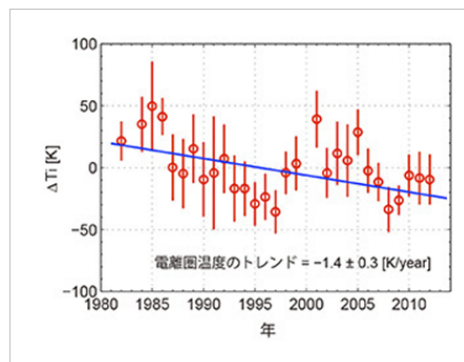


図3: 高度320kmの電離圏温度の長期トレンド。ΔTiは、電離圏温度から太陽活動の影響を除いたもの。1年間あたり1.4度の割合で温度の低下が起きている。

* 中層・超高層大気では、二酸化炭素の増大に伴う赤外放射冷却の増加のため、地表とは逆に寒冷化が起きると考えられている。また、中層・超高層大気は大気密度が小さいため、下層大気に比べて気候変動の影響が顕著に表れる。(極地研ホームページより)

極地研HPより

3. 将来超低高度ミッションに 関わる提案

3.将来超低高度ミッションに関わる提案

将来ミッションの提案については、宇宙理学委員会のRG(Research Group)で提案するミッションについて議論を行い深掘り下げていく。

将来超低高度衛星に搭載を望む場合

- ・ 将来超低高度衛星の成果最大化に貢献できること。
- ・ 科学的価値があること
(社会的課題または科学的課題が設定されていること)
- ・ 海外における研究に対する優位性があること。
- ・ 実験の位置付け・内容・必要性 が明確であること。
- ・ 実施体制が妥当であり、十分な研究業績を有すること。
- ・ 成功基準、コストの検討を行うこと。
- ・ 搭載にあたっての技術課題やプログラム対し、今後の検討で解決が見込まれること

を提案者側でも整理する必要があります。

以下に、ISAS のRWの流れおよび社会的課題解決型の体制例を示します。

3.将来超低高度ミッションに関わる提案 科学的課題の体制構築にむけての流れ

宇宙理学委員会認可のRG(Research Group)を立ち上げ、ミッションの創出を目指す。次にWG(Working Group) の設立提案を理学委員会に申請し審査を受ける。

皆さんに期待すること

- まずはサイエンスの議論をしっかり行ってほしい
- 特に若い研究者の参加を歓迎
- 宇宙科学研究所にリサーチグループ(RG)を作ってはどうか

WG は、明確な科学目的の達成を掲げて、飛翔体を用いた宇宙ミッションを提案・検討し、その実現を目指す研究者グループとその活動を指す。

WG の手前の組織として、RG が設けられている。RG は宇宙理学ミッションの創出を目指し、WGの前段階に当たる作業を行うことを目的としている。

August 31, 2015

MTI研究集会

21

MTI研究集会 2015.8.31
ISAS 阿部先生講演より

アンケートより、複数の研究グループなど多数作らないでほしいというコメントを踏まえ、リサーチグループの中で、ミッションを検討し、科学的課題なのか社会的課題なのか、議論を進めていくのが良いのかと考えます。

* 前回のアンケートでは、課題は、科学的課題がほとんどでした。現時点では、社会的課題に関してWGを作るのは厳しいとみており、その前段階の活動が必要と考えております。

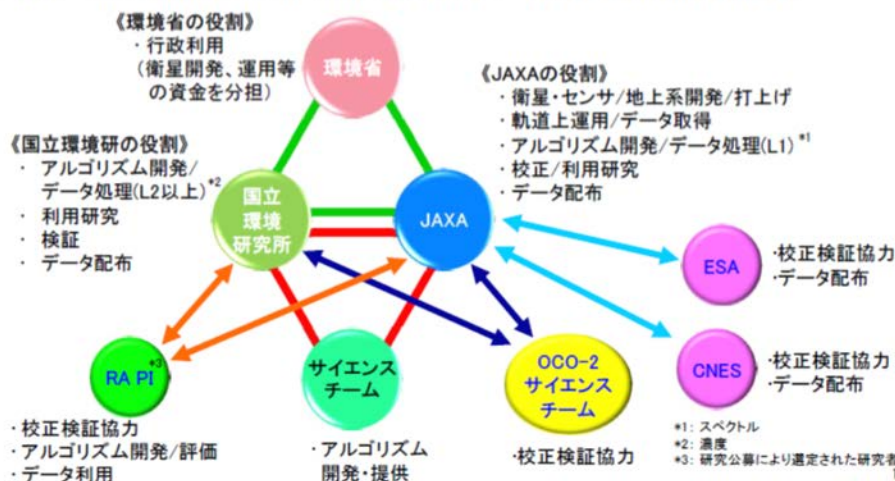
3.将来超低高度ミッションに関わる提案

社会的課題に対する体制の例

6-1. 全体の実施体制(GOSAT-2関係機関全体)(1/2)

実施体制に関する方針

- ・GOSATにおける役割分担を基本的に継続
- ・サイエンスチームは、「助言」からアルゴリズム開発に主体的に関与する体制に変更。
- ・GOSATにおいて協力関係にあるOCO-2チームとは引き続き連携を図る。
(OCO-2のデータによる評価をGOSAT-2アルゴリズムにフィードバックする仕組みを構築。)

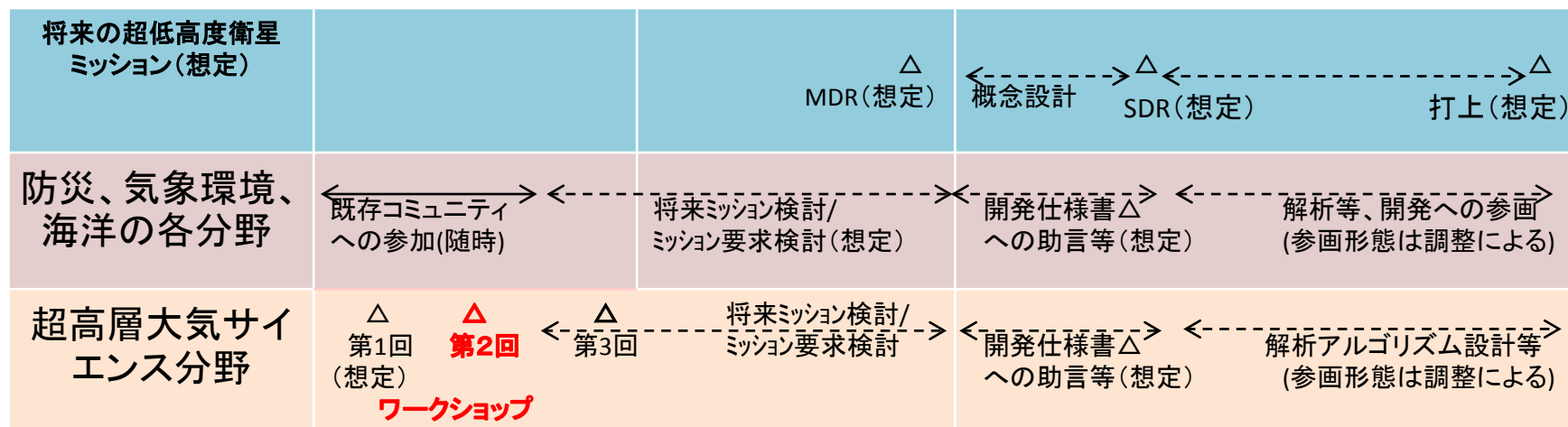
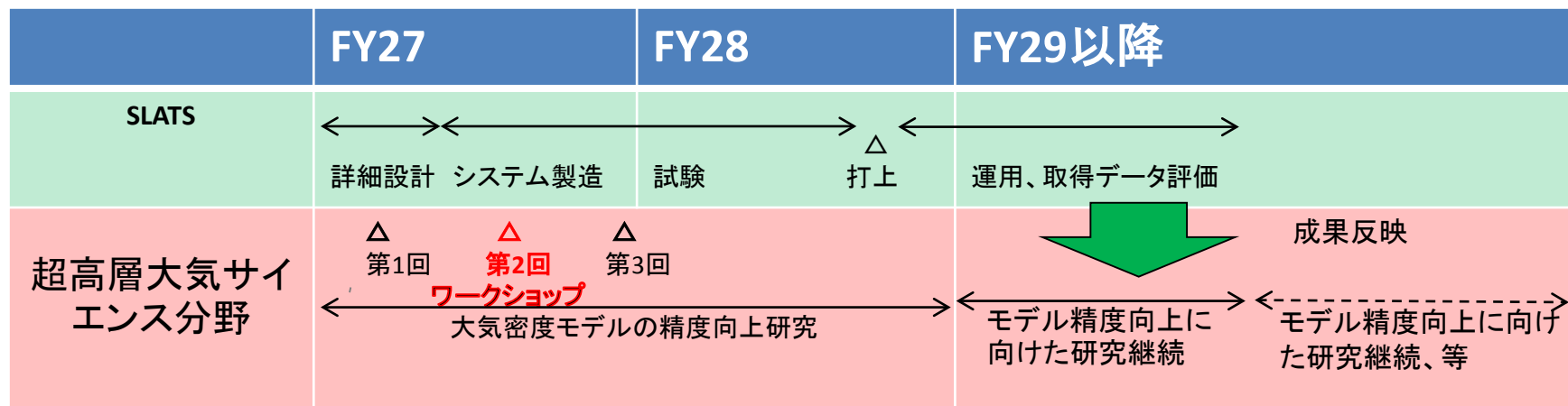


* サイエンスチームのほか、JAXA、JAXA外部機関で構成されている。

アウトプットとして行政利用も盛り込まれている。

さらにJAXA外での資金分担が行われている。

将来の超低高度衛星への展望 コミュニティ活動のスケジュール案



実線矢印: 計画済み
点線矢印: 想定

↑ 第3回のワークショップで各課題の状況を報告していただきたい。将来超低高度衛星のミッションの検討は、議論を深めてからミッション提案をまとめていきたい。

3.将来超低高度ミッションに関わる提案 今後の予定

スケジュールについて

平成28年1月末から3月の間に第3回ワークショップを開催の予定です。RWでの超低高度衛星に関する活動内容や、ミッションのご提案について、ご発表いただくことを考えておりますが。いかがでしょうか。

第3回ワークショップでは、別途検討をすすめている社会的課題についての検討結果についても報告する予定ですので、ご参加ほどよろしく願いいたします。

場所および開催時期の詳細については、年内に連絡をする予定です。

RWでの検討結果を踏まえ、中間圏、熱圏、電離圏(MTI)分野、磁気圏分野、工学分野の各1件以上のご提案お願いできたらと考えます。

ご質疑お願いいたします。

參考資料

3.将来超低高度ミッションに関わる提案

超高層大気観測による社会貢献(アウトカム)案

【例】地球規模の気候変動予測精度の向上 ⇒ 大気環境の改善・局所変化予報

アメダスで計測している基本的な気象要素

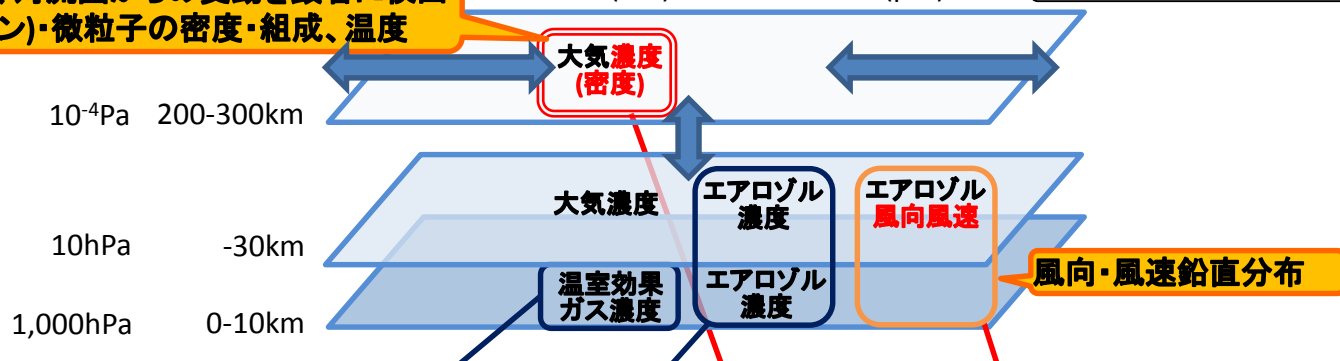
温度 気圧 風向風速

大気密度が小さく、対流圏からの変動を顕著に検出
⇒大気(分子・イオン)・微粒子の密度・組成、温度

大気分子(nm)

エアロゾル(μm)

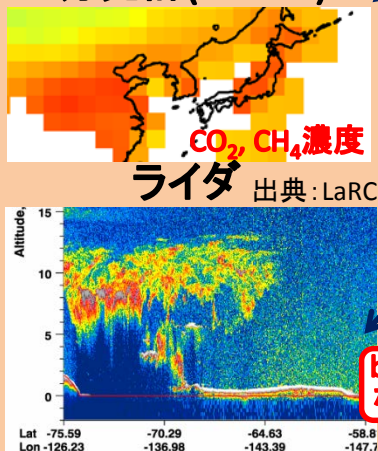
大気中微粒子(エアロゾル・PM2.5など)・雲



地上観測・高層観測では行えない海上を含む、地上観測を補間する衛星観測
①大気濃度(密度、気圧)、温度変化を顕著に観測
②曇天域に加え晴天域でも(全天候型)風向風速高度分布(上昇下降流)を観測

大気環境継続モニタ⇒改善措置へ局所変化予報の質の改善

before
分光計(GOSAT)

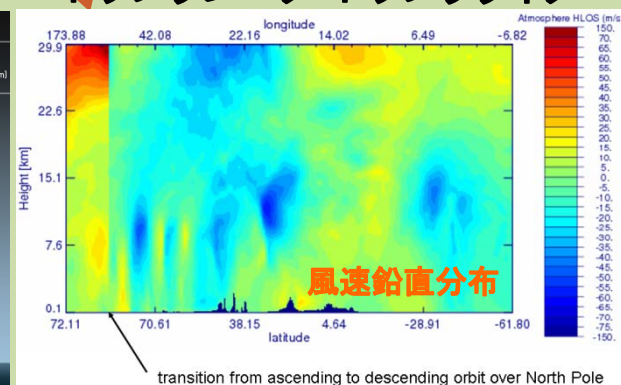
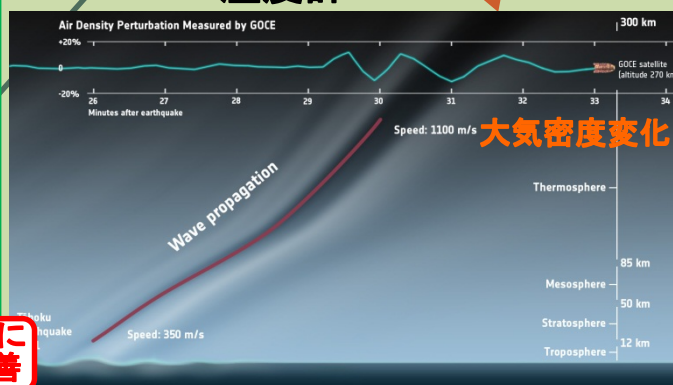


加速度計
質量分析計
温度計

after

データがなければ何に困り、
あれば社会がどう変わるかを示す

ドップラレーダ・ドップラライダ



before⇒afterに
なるよう要改善

出典: ESA

出典: KMNI(オランダ王立気象研究所)

3.将来超低高度ミッションに関わる提案

将来ミッションでの社会的課題と科学的課題との関係

社会的貢献、科学的課題のJAXA内の分担イメージを下記に示します。

↓ 現状、明確な区切りはない。

社会的課題	科学的課題
JAXA 第一宇宙技術部門 (衛星利用運用センター)	JAXA ISAS
技術的課題解決 (共通)	

JAXA 第一宇宙技術部門で
将来機の開発を行うケース

JAXA ISASで
将来機の開発を行うケース

<衛星 バス>

社会的課題解決型
ミッション(メインミッション)

技術的課題解
決ミッション

科学的課題解
決ミッション

科学的課題解決ミッション

衛星 バス技術
で協力

技術的課題
ミッション

社会的課題に最適化されたバス開発となる。
科学的課題ミッションについての搭載については
JAXA内での調整も必要(今までに例がないため)

科学的課題に最適化されたバス開発ができる。

* イメージですので状況により変わる可能性があります。

Research GroupとWorking Group

- **WGの手前の組織として、RGを設ける。RGは宇宙物理学ミッションの創出を目指し、WGの前段階に当たる作業を行うことを目的とする。**具体的には、以下の項目のすべてもしくは一部を行う。
 - A) 現状での技術レベルや国際的な研究の動向を踏まえた上で、**宇宙物理学ミッションの科学目的を精査し、絞り込むこと。**
 - B) **ミッションの鍵となる要素技術の開発研究を組織化し加速すること。**TRL1(基本原理の実証)およびTRL2(実用に向けての概念検討)を達成することを目安とする。
 - C) **宇宙物理学ミッションの規模、形態、打ち上げ手段、システム要件、時期などを検討し、絞り込むこと。**
 - D) その他、WGの設立提案に先立ち、必要とされる検討を行うこと。
- 各RGは、1名の代表者と複数名の共同研究者から構成され、いずれも宇宙物理学班員であることを必要とする。
- 設立を希望するRG代表者は、**宇宙物理学委員会に申請し、別に定める手続きで宇宙物理学委員会の審査を受け、認可されることを必要とする。**
- **RGは3年の時限とするが、延長を申請し審査に合格すれば再度、3年の活動ができる。**延長申請およびRG終了の手続きは別に定める。
- **RGは、年度ごとに旅費を申請できるが、戦略開発研究費に応募する資格は有しない。**またRGはプロジェクト提案を行う資格をもたない(小規模プロジェクトCカテゴリーを除く)。
- RGは年度ごとに、活動報告を行う義務を有する。報告が無いRGや活動内容が不適切なRGは、宇宙物理学委員会の議を経て、終了となる場合がある。これらの詳細は別に定める。
- RGが自動的にWGに昇格することは無い。また準備段階としてRGを経ることは、WG設立の条件とはしない。
- **RGからWGに進むには、いったんRGを終了した上で、WGの設立提案を行い、宇宙物理学委員会にて審査を受けることを必要とする。**

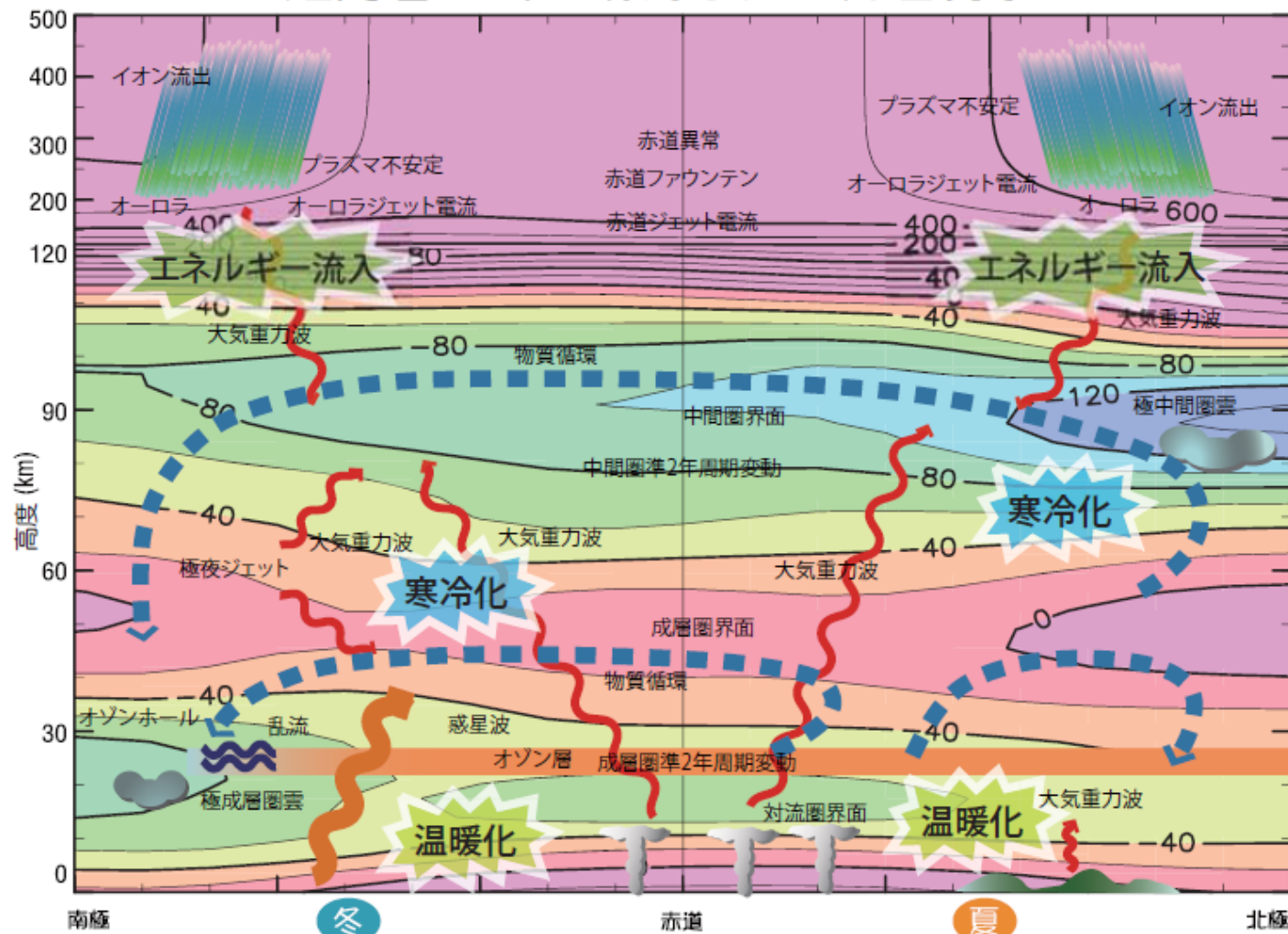
(理学委員会 WG・RGの定義文書から)

August 31, 2015

MTI研究集会

22

超高層大気で観測される物理現象



「将来の超低高度ミッションの提案」

【確認したいこと】

GOCE やCHAMPでは、大気密度データが公開されていますが、十分でないところは何か？

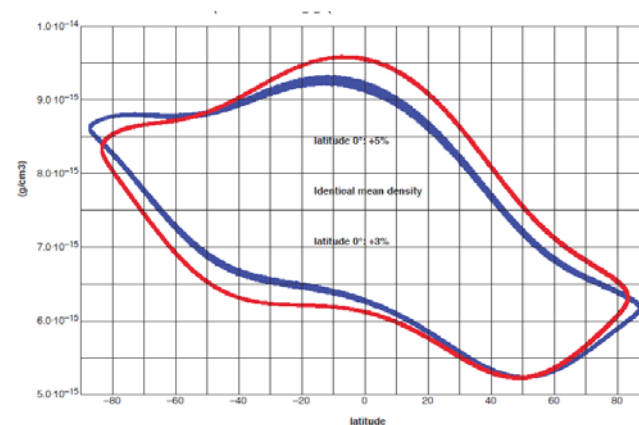
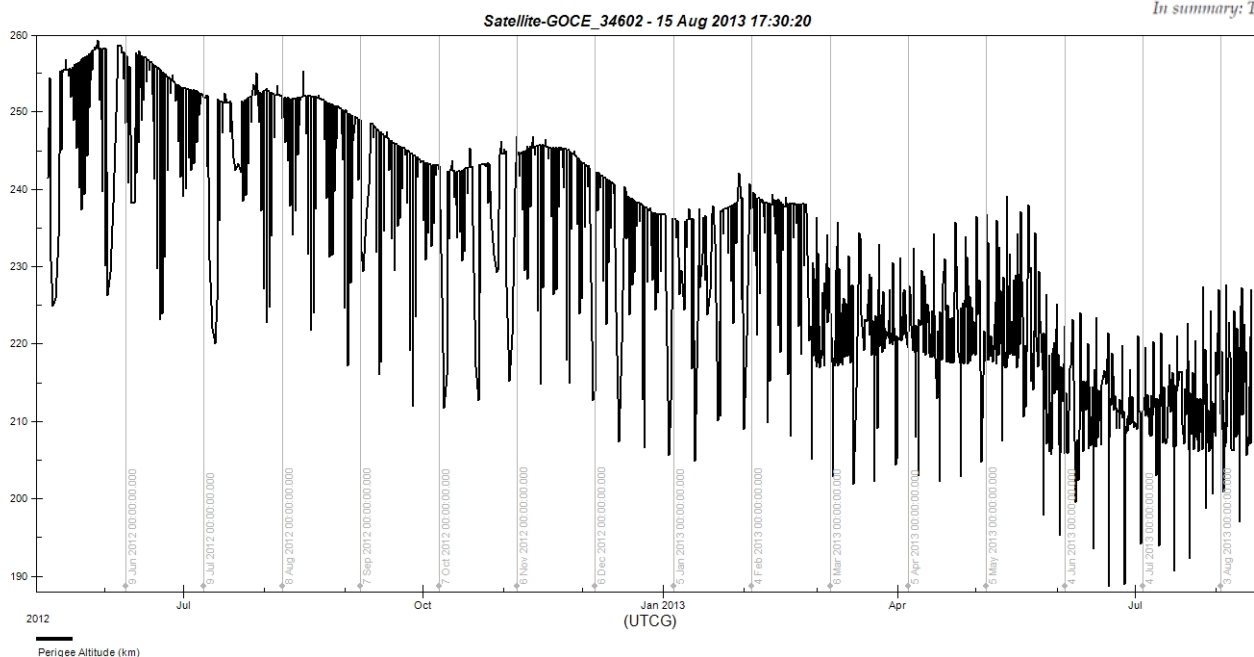


Fig.10. The CHAMP and GOCE densities for the dawn and dusk profiles of the first revolution on 24 January 2010.

In summary: The preliminary GOCE-Angara and CHAMP densities are fully consistent.



GOCE 高度

2013 9.16 221km

2013 11.8 約170km

-8km/day

2013 11.11 再突入
(予想80kmで分解)