



東北大学 宇宙航空研究連携拠点
(事務局: 惑星プラズマ・大気研究センター内)
<http://aerospace.gp.tohoku.ac.jp/>
[E-mail: cosmic@c.gp.tohoku.ac.jp]

F-2 太陽系の激動を探り、宇宙に広がる文明を拓く

研究・開発・実践例

1 今の生命・文明存在可能環境: その理解と維持・活用へ

- a. 太陽系の進化・変動、すなわち「我々の世界とその激動」の探求
- b. 我々の世界とその激動を「探査した予測する技術」の探求
- c. 我々自身の惑星、「地球」の環境・防災監視の充実

2 新たな生命・文明存在可能環境: アクセス・構築と新たな活用へ

- a. 自在で自律的な空と宇宙、表層と地下を目指す「未来のモビリティ」の探求
- b. 無重力下・惑星深部など「極限環境の生命・医学」その可能性の探求
- c. 未来の文明活動すべてにも絡む大規模システム・先端技術・社会構築の追求

rev. 20190514



“宇宙航空の現場”

東北大・宇宙航空研究連携拠点
(事務局: 惑星プラズマ・大気研究センター内)
<http://aerospace.gp.tohoku.ac.jp/>
[E-mail: cosmic@c.gp.tohoku.ac.jp]

- [理・物理系/天文学] 赤外・X線宇宙望遠鏡での観測 銀河と宇宙・その進化 恒星と惑星系・その形成
- [理・地球科学系] 隕石・サンプルリターン試料の分析と太陽系の形成・進化 惑星内部構造とその物質実験
- [理・物理系/地球物理学] [惑星プラズマ・大気研究センター] 太陽と宇宙環境・オーロラ活動 地球・惑星環境の変動と進化 惑星地下の電波探査 衛星・探査機搭載装置の開発
- [教育] 最先端科学と教育
- [東北アジア研究センター] (院・環境科学研究所) 衛星からの電波リモセン 地下レーダー探査技術
- [法] 宇宙法と国際関係
- [電通通信研究所] 宇宙通信技術
- [生命] (院・生命科学研究所) 生物の重力応答 無重力による生物影響 宇宙放射線の生物影響
- [金属材料研究所] 宇宙航空部品の3D製造技術
- [農・資源環境経済学系] (フィールド社会技術学) 地球観測衛星による 生態系・農業・環境の計測
- [工・電気情報系] (電気エネルギーシステム) プラズマ宇宙電圧推進
- [工・機械系] (機械知能・航空工学) 小型衛星・探査ロボット 宇宙巨大構造物 宇宙レーザー推進 航空材料・制御
- [流体科学研究所] 大規模流体計算技術 火星飛行機 無重力下の流れ実験

目次 (1)

1 今の生命・文明存在可能環境: その理解と維持・活用へ

A. 太陽系の進化・変動、すなわち「我々の世界とその激動」のT.C.	
地球と太陽系に広がる観測現場: 東北大が支える日本の探査活動	6
太陽系天体からのリターンサンプル: 太陽系の進化と変動の解明へ	7
東北大ハレアカラ惑星専用望遠鏡群で世界の惑星探査を支える	8
シミュレーションで追う地球・兄弟惑星・系外惑星大気の流出と進化	9
B. 我々の世界とその激動を「探査した予測する技術」の探求	
小型衛星や国際宇宙ステーションの活用: 超高層大気の解明	10
宮城/福島電波望遠鏡による太陽と惑星群の「高エネルギー活動」探査	11
最先端シミュレーション技術で挑む地球・惑星・宇宙環境変動の予測	12
C. 我々自身の惑星、「地球」の環境・防災監視の充実	
より安全な宇宙活動への未来インフラ: 宇宙天気予報	13
最先端マイクロ波技術による地球の広域環境・防災監視	14
宇宙からの広域・局所衛星観測データの農林水産業利用	15



目次 (2)

2 新たな生命・文明存在可能環境: 新たなアクセス、新たな構築、そして活用へ

A. 自在で自律的な空と宇宙、表層と地下を目指す「未来のモビリティ」の探求	
次世代超音速機「MISORA」	17
新ビークルの創造: 世界初の飛行機による火星探査	18
超小型人工衛星の開発と国際貢献	19
宇宙ロボットと宇宙機システムの研究開発	20
微小重力天体を「走る」表面探査ロボット	21
月惑星探査ロボットの研究開発	22
液体ロケットエンジンターボポンプの性能・信頼性向上へ向けて	23
B. 無重力下・惑星深部など「極限環境の生命・医学」その可能性の探求	
宇宙環境を利用した植物機能の解明	24
線虫の宇宙実験が解明する重力の生物影響	25
宇宙極限環境を利用した植物の未知なる潜在的機能の解明	26
天体地下にある「生命・文明存在可能環境」のレーダー探査	27
C. 未来の文明活動すべてにも絡む大規模システム・先端技術・社会構築の追求	
二相ノズル方式による極低温液体燃料微粒化システムの開発	28
イオン液体静電噴霧を用いた宇宙推進器への応用展開	29
マランゴニ対流の振動流遷移メカニズム解明	30
次世代宇宙機の熱制御デバイスおよび革新的熱システムの開発	31
宇宙飛行体の惑星大気突入時の空力特性・空力加熱現象の解明	32
赤外線ファイバー技術の地球惑星探査・環境計測・医工学への展開	33
宇宙からのビックデータのダウンロード技術	34



F. 生命と宇宙が拓く交感する未来へ



東北大学 宇宙航空研究連携拠点
(事務局: 惑星プラズマ・大気研究センター内)
<http://aerospace.gp.tohoku.ac.jp/>
[E-mail: cosmic@c.gp.tohoku.ac.jp]

F-2 太陽系の激動を探り、宇宙に広がる文明を拓く

1 今の生命・文明存在可能環境：その理解と維持・活用へ

- a. 太陽系の進化・変動、すなわち「我々の世界とその激動」の探求
- b. 我々の世界とその激動を「探査した予測する技術」の探求
- c. 我々自身の惑星、「地球」の環境・防災監視の充実

1-A. 今の生命・文明存在可能環境を / 太陽系の進化・変動の探求

太陽系天体からのリターンサンプル：太陽系の進化と変動の解明へ

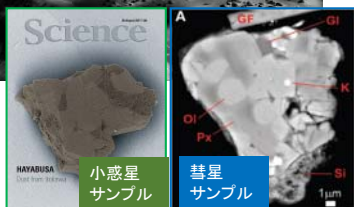


小惑星探査機はやぶさ

■ 45億年前に形成された小惑星、彗星物質の鉱物化学、同位体分析により太陽系初期進化過程を解明しつつある。

■ 日本と世界の太陽系天体リターンサンプル計画において主導的役割を果たしている。

スターダスト彗星サンプルリターンミッション
はやぶさ、はやぶさ2小惑星サンプルリターン
MMX火星衛星サンプルリターン



開発・推進

東北大学理学研究科 地学専攻 (中村智樹グループ / 初期太陽系進化学研究分野)
東北大学理学研究科 地球物理学専攻、惑星プラズマ・大気研究センター
東北大学工学研究科 航空宇宙工学専攻

参考資料等

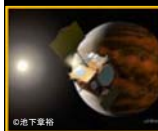
Nakamura et al. 2008. Chondrulelike Objects in Short-Period Comet 81P/Wild 2. Science **321**, 1664-1667. Nakamura et al. 2011, Itokawa dust particles: A direct link between S-type asteroids and ordinary chondrites. Science **333**, 1113-1116.

1-A. 今の生命存在可能環境を / 太陽系の進化・変動の探求

地球と太陽系に広がる我々の観測現場 東北大が支える日本の太陽系探査活動



活動中



[2010-] あかつき
金星探査機。
初回の軌道投入失敗を乗り越え、
ついに周回観測を実現。

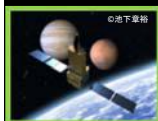


[2018-] BepiColombo
日欧共同水星探査機。
水星到着は2025末。
最も熱い惑星の全貌を探る。
東北大は国際電波観測チームを率いる。

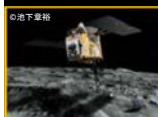
橙: 地球重力圏離脱

緑: 地球周回衛星

開発中



[2013-] ひさき
紫外線宇宙望遠鏡衛星。
米・Juno探査機を支え
木星の激しい活動を探索中。



[2014-] はやぶさ2
小惑星「リュウグウ」で2018-2019年に活動。
サンプルを携えた地球帰還は2020年予定。



[2022打上予定] JUICE
欧州木星探査機へ観測装置を提供。
衛星ガニメデを初周回し、
地下に広がる海を探る。



[2016-] あらせ
放射線観測衛星。
宇宙天気研究の柱として
米・Van Allen Probe計画とともに活動。



[2024打上予定] 火星衛星サンプルリターン
検討中。
東北大は、仏と組んで
フォボスと火星を探る
赤外線装置を開発予定。

開発・推進

東北大学 理学研究科 地球物理学専攻、地学専攻、惑星プラズマ・大気研究センター
東北大学 工学研究科 航空宇宙工学専攻

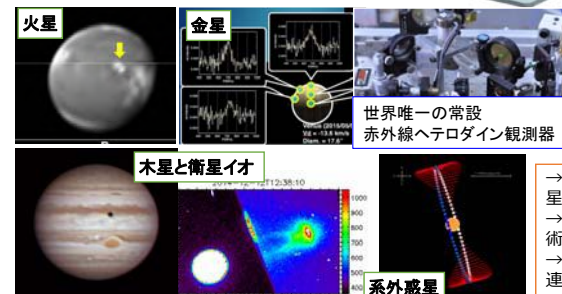
1-A. 今の生命・文明存在可能環境を / 太陽系の進化・変動の探求

世界の惑星探査機を支える 東北大ハレアカラ惑星専用望遠鏡群



東北大は、ハワイ・ハレアカラに40cmと60cmの**惑星観測専用望遠鏡**を持ち、**世界で唯一の惑星継続観測を実施**。
赤外線ヘテロダインなど**ユニークで尖った装置**を装着し、**世界の惑星探査を支えている**。

さらに、ハワイ大他と国際連携で、より大きな1.8m望遠鏡計画「PLANETS」の建設を推進中。



- 火星や金星の大気組成、水系分子
- 水星の希薄散逸大気
- 木星の電磁圏と木星衛星イオの火山モニタ
- 系外惑星の大気反射光に見える偏光

世界唯一の常設
赤外線ヘテロダイン観測器

系外惑星

→ 普遍的な惑星と衛星環境を理解し、生命持続可能な惑星環境とは何かへの解を得ることを目指す。
→ 機器開発において、赤外分光やファイバー等の先端技術の実験場として活用する。
→ 飛行体や、すばる8m望遠鏡、東大TAO6.5m望遠鏡と連携する観測拠点形成を加速する。

開発・推進

東北大学 理学研究科附属 惑星プラズマ・大気研究センター 惑星分光観測研究部門

Sakanoi, T., et al., SPIE Newsroom, DOI: 10.1117/2.1201612.006817 (2017).

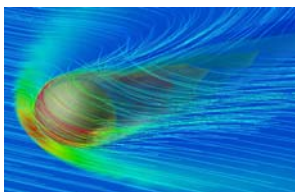
Nakagawa, H., S. Aoki, H. Sagawa, Y. Kasaba, Y., Murata, et al., Planet Space Sci, 126, pp. 34-48. DOI: 10.1016/j.pss.2016.04.002 (2016).

参考資料等

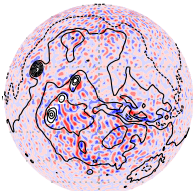
Uno, T., Y. Kasaba, C. Tao, T. Sakanoi, M. Kagitani, et al., J. Geophys. Res. Space Physics, 119, 10,219-10,241, doi:10.1002/2014JA020454 (2015).

Yoneda, M., M. Kagitani, F. Tsuchiya, T. Sakanoi, and S. Okano, Icarus, 261, 31-33 (2015).

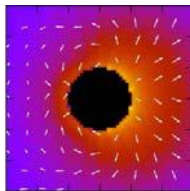
シミュレーションで追う 地球と兄弟惑星(火星・金星・水星)・系外惑星大気 ~その宇宙への流出と進化の解明~



惑星大気流出の磁気流体力学モデル



惑星全体の大気活動を再現する大規模数値モデル



惑星大気流出を再現する流体-粒子複合モデル

- 寒冷乾燥した火星, 灼熱温室の金星, 濃い大気を持たない水星, 豊富な液体の水を混ぜる地球。これらの劇的な惑星環境の差を理解する上で鍵となる宇宙空間への大気流出と大気進化
- 地球大気で実績豊富な大規模大気モデル, 航空宇宙分野で実績多数の流体力学・磁気流体力学・流体-粒子複合計算技術を惑星科学へ展開。
- これらの世界をリードする数値モデルで, 宇宙望遠鏡・探査機(米MAVEN, JAXA-Hisaki, JAXA-MMX), 地上・航空機望遠鏡観測(東北大ハワイ, すばる, ALMA, SOFIAなど)とともに, 地球と惑星大気の変化と流出の過程に迫る

開発・推進

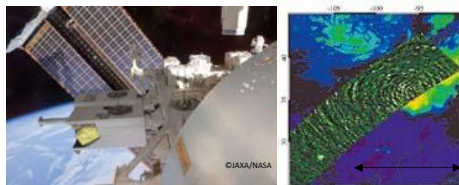
東北大学 理学研究科 地球物理学専攻(宇宙地球電磁気学・惑星大気物理学分野)

東北大学 理学研究科 天文学専攻

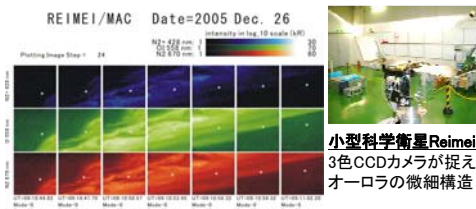
参考資料等

Terada, et al., Atmosphere and water loss from early Mars under extreme solar wind and EUV conditions, *Astrophys. J.*, 9, doi:10.1089/ast.2008.0250, 2009.
Kuroda et al., Global distribution of gravity wave sources and fields in the Martian atmosphere during equinox and solstice inferred from a high-resolution general circulation model, *Journal of the Atmospheric Sciences*, doi:10.1175/JAS-D-16-0142.1, 2016.
Terada et al., A full-particle Martian upper thermosphere-exosphere model using the DSMC method, *Journal of Geophysical Research*, 121, doi:10.1002/2015JE004961, 2016.

小型衛星や国際宇宙ステーションの活用： 超高層大気のエネルギー輸送の解明



国際宇宙ステーション搭載の可視赤外分光器(IMAP)が捉えた、活発な積雲上空高度100kmの同心円状大気重力波分布。



小型科学衛星Reimei搭載3色CCDカメラが捉えたオーロラの微細構造

- 超高層大気(80-300 km)の発光「オーロラと大気光」を小型衛星ReimeiやISSで初めてリモートセンシング。太陽と惑星大気のものでそれを起源とするエネルギーがせめぎ合う物理メカニズムを解明しつつある。
- 地球温暖化や地球大気の長期的な進化の理解に向けた指標を得る。
- 宇宙飛行士や人工衛星が飛行する宇宙環境を理解し、安全な運用を確立するための基盤になる。
- 東北大学は全国の研究者やJAXAと連携し、ISSをはじめとする複数の衛星計画立案、機器開発、衛星運用、解析ツール開発、データベース構築の全てにおいて中核的役割を担っている。
- 将来衛星計画において、科学・エンジニアリング両面で中核的役割を果たすことが国内外から期待されている。
- 地球周回衛星のみならず惑星探査機も発展させる。

開発・推進

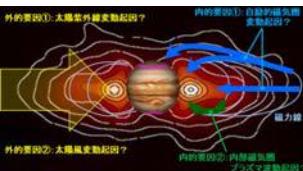
東北大学 理学研究科附属 惑星プラズマ・大気研究センター 惑星分光観測研究部門

Nishiyama, T., Miyoshi, Y., Katoh, Y., Sakanoi, et al. (2016), *J. Geophys. Res.* A121 (3), pp. 2360-2373, DOI: 10.1002/2015JA022288 (2016).

参考資料等

Perwitasari, S., T. Sakanoi, T. Nakamura, et al., *Geophys. Res. Lett.*, 43, 11,528-11,535, doi:10.1002/2016GL071511 (2016).
Perwitasari, S., T. Sakanoi, A. Yamazaki, et al., *J. Geophys. Res. Space Phys.*, 120, 9706-9721, doi:10.1002/2015JA021424 (2015).

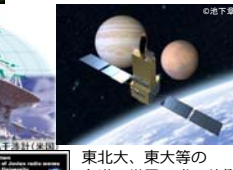
宮城/福島電波望遠鏡 + 独自軌道上望遠鏡による 太陽と惑星群の「高エネルギー活動」探査



東北大で観測したUHF帯木星非熱的電波マップ(橙領域)および想定されている変動要因(木星は嵌込画像)



太陽/木星+高エネルギー天体電波の国際連携観測拠点(2017年現在。国内は一部機関のみ表示)



東北大、東大等の主導で世界で唯一稼働中極端紫外線望遠鏡衛星Hisaki

リアルタイム公開のHF帯木星電波データ(<http://ariel.gp.tohoku.ac.jp/Jupiter/>, 2004年~)

- 強磁場天体は高エネルギー粒子を作り出す。地球周辺の放射線帯や天体磁気圏の成因とエネルギー源で、将来宇宙活動を行う人類や衛星・探査機搭載機器の高エネルギー粒子からの保護に必須の知見となる。
- 高エネルギー粒子は、磁場と相互作用して強力な非熱的電波を放射する。高エネルギー天体の準近例として木星を、更にパルサー他高エネルギー天体の非熱的電波を地上電波望遠鏡群で観測する。
- 東北大は宮城(蔵王等)・福島(飯館)の電波望遠鏡群で、太陽・木星などの高エネルギー天体の観測を実施してきた。またJAXAとともに紫外線・極端紫外線望遠鏡衛星Hisakiを開発・運用。国内外研究機関(NICT, 理研, パリ天文台他)と共に連携観測拠点も形成し、データ公開・提供サービスも推進中。

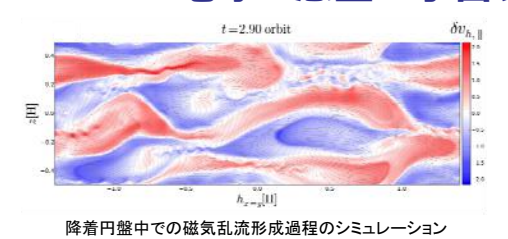
開発・推進

東北大学 理学研究科 地球物理学専攻(宇宙地球電磁気学分野)
東北大学 理学研究科 惑星プラズマ・大気研究センター(惑星電波観測研究部門)

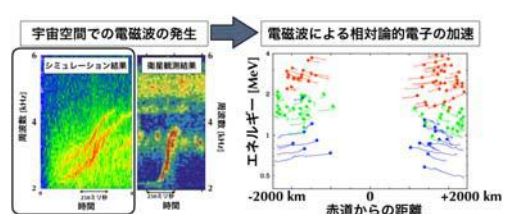
参考資料等

Tsuchiya, F., H. Misawa, K. Imai, and A. Morioka, Short-term changes in Jupiter's synchrotron radiation at 325 MHz: Enhanced radial diffusion in Jupiter's radiation belt driven by solar UV/EUV heating, *J. Geophys. Res.*, 116, A09202, doi:10.1029/2010JA016303, 2011.
Kumamoto, A., F. Tsuchiya, Y. Kasaba, H. Misawa, M. Kagitani, T. Kimura, C. Tao, and B. Cecconi, Development status of metadata server and data archives at Tohoku University for collaborative studies using planetary radio and spectroscopic data, *Proc. Symp. Planet. Sci.* 2017,SPS2017_09, 2017.

最先端シミュレーション技術で挑む 地球・惑星・宇宙環境変動の予測



降着円盤中での磁気乱流形成過程のシミュレーション



シミュレーションによる放射線帯電子加速過程の再現

- 超並列・大規模計算機シミュレーションにより、地球・惑星・宇宙環境変動を計算機上で高精度に再現する
- 宇宙プラズマ・航空宇宙・実験室プラズマ研究者による、最先端の計算機シミュレーション技術を融合した共同研究
- 太陽系天体(地球、水星、木星、土星及び氷衛星)の高エネルギー粒子環境の理解を、天文・実験室プラズマ研究に展開

開発・推進

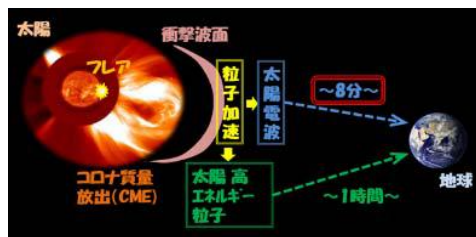
東北大学 理学研究科 地球物理学専攻(宇宙地球電磁気学分野)
東北大学 工学研究科 航空宇宙工学専攻、電子工学専攻、電気エネルギーシステム専攻
東北大学 サイバーサイエンスセンター

参考資料等

Katoh, Y., M. Kitahara, H. Kojoima, Y. Omura, S. Kasahara, M. Hirahara, Y. Miyoshi, K. Seki, K. Asamura, T. Takashima, and T. Ono, Significance of Wave-Particle Interaction Analyzer for direct measurements of nonlinear wave-particle interactions, *Ann. Geophys.*, 31, 503-512, doi:10.5194/angeo-31-503-2013, 2013.
第149回東北大学サイエンスカフェ「宇宙に響くさえずりとジオスペース」講師:加藤雄人, 2018年2月23日

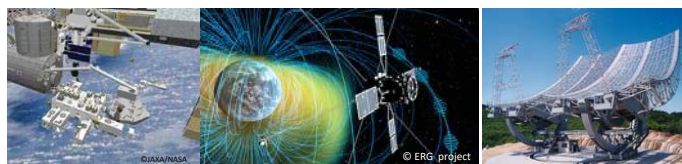


より安全な宇宙活動への未来インフラ： 宇宙天気予報 ～宇宙放射線量の増大予測～



太陽から放出される放射線粒子

- 太陽フレア（太陽表面爆発）により、太陽コロナ大気は塊となって、惑星間空間に放出される。この時、太陽から、放射線粒子が放出され、地球周辺の宇宙環境へ大きな影響を与える。宇宙の実利用の時代になり、宇宙放射線環境の変動は、宇宙で活動する宇宙飛行士や、人工衛星に危害をもたらす。
- 本研究は、太陽表面から放出される放射線粒子の飛来を予測する事を目指すが、その為に太陽電波の詳細観測と宇宙放射線のモニターが不可欠である



宇宙ステーションとあらせ衛星で、放射線帯粒子を計測中

東北大飯館観測所では、常時太陽電波を観測中

■ 太陽と宇宙環境の変動を究明する宇宙天気研究において、東北大学は世界の宇宙天気予報の研究を、国連委員会の共同議長職の立場で、2011年から主導している

開発・推進

東北大学 理学研究科 惑星プラズマ・大気研究センター
東北大学 理学研究科地球物理学専攻 宇宙地球電磁気学分野

参考資料等

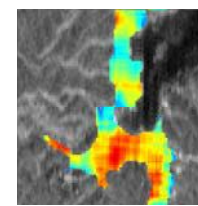
Obara,T., H. Matsumoto, K.Koga., Space Environment Measurements by JAXA satellites and ISS, Acta Astronautica,10.1016/j.actaastro.2011.08.009, (2012)



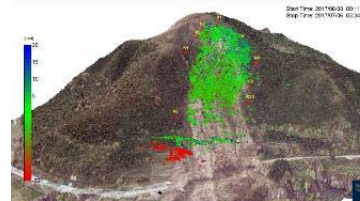
最先端マイクロ波技術による 地球の広域環境・防災監視



地雷、遺跡を計測するGPRの開発



SAR画像から自動評価した建造物の損傷状態 (女川)



GB-SARによる地滑りをモニタリング (南阿蘇)

- 宇宙からの広域計測 (SAR)
- 地雷、遺跡を探る地中レーダ (GPR)
- 地滑りをモニタリングする地表設置型合成開口レーダ (GB-SAR)
- 多偏波、多周波利用による高度な計測、解析技術の開発

開発・推進

東北大学 東北アジア研究センター 佐藤研究室

参考資料等

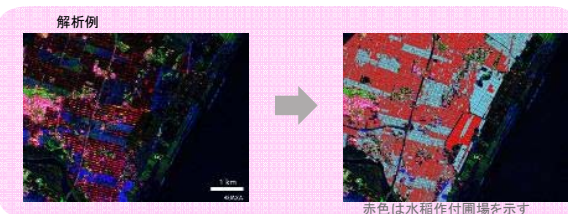
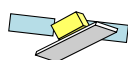
M. Sato et al., "Polarimetric SAR analysis of tsunami damage following the March 11, 2011 East Japan earthquake." Proc. IEEE,100(10),2012
佐藤 源之,"広帯域レーダによる埋設物イメージング:カンボジア地雷除去への適用,"電気学会 電気学会論文誌 A,132(1),2012



広域・局所衛星観測データの農林水産業利用

- 最新の人工衛星による観測データの解析手法を開発

- 農業
生育面積・生育状況の把握
- 森林
樹種・バイオマス量の推定
- 漁業
クロロフィル濃度推定値等の養殖漁業への活用



赤色は水稲作付圃場を示す

開発・推進

東北大学 大学院農学研究科 米澤千夏

参考資料等

米澤「PALSAR-2全偏波観測データによる十分に生育した水稲作付圃場の抽出可能性」日本リモートセンシング学会誌 Vol.37, No.3, pp.204-212 (2017)

社会にインパクトある研究

F. 生命と宇宙が拓く交感する未来へ



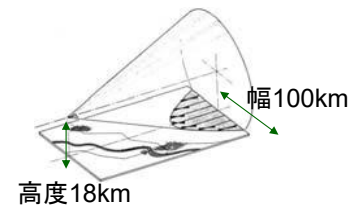
東北大学 宇宙航空研究連携拠点
(事務局: 惑星プラズマ・大気研究センター内)
<http://aerospace.gp.tohoku.ac.jp/>
[E-mail: cosmic@c.gp.tohoku.ac.jp]

F-2 太陽系の激動を探り、宇宙に広がる文明を拓く

2 新たな生命・文明存在可能環境： アクセス・構築と新たな活用へ

- 自在で自律的な空と宇宙、表層と地下を目指す「未来のモビリティ」の探求
- 無重力下・惑星深部など「極限環境の生命・医学」その可能性の探求
- 未来の文明活動すべてにも絡む大規模システム・先端技術・社会構築の追求

次世代超音速複葉機「MISORA」



- 超音速飛行が作る衝撃波は、地上に雷鳴のような爆音(ソニックブーム)となって到達
- 次世代超音速旅客機開発にはソニックブーム低減が不可欠
- 複葉(2枚翼)にするとソニックブームを低減可能(超音速複葉翼理論)

開発・推進 東北大学 流体科学研究所 航空宇宙流体工学研究分野

参考資料等 米澤誠仁, 大林茂, “CFD解析による有限幅の超音速複葉翼の空力特性評価,” 日本航空宇宙学会論文集, 57巻660号, pp.32-38, 2009年1月5日.
大久保正幸, 豊田篤, 山下博, 小川俊広, 大林茂, 清水克也, 鈴木角栄, 松田淳, 佐宗章弘, 胴体先端形状修正による翼型超音速複葉翼機のソニックブーム低減化, 日本航空宇宙学会論文集, Vol.59, No.688, pp.119-125, 2011年5月5日.

惑星探査の跳躍的發展を目指した新ビークルの創造 -世界初の火星飛行探査-



火星飛行機概念図
(火星探査航空機ワーキンググループ作成)

- 世界初の飛行機による火星の探査実現を目指し, JAXAおよび東北大を中心として, 国内大学の英知を結集して取り組んでいる。
- 実現すれば, 新たな次元(平面から空間)を有する探査手段となり, 今後の惑星探査に跳躍的發展をもたらす。
- これは, ライト兄弟以来の新たなビークルの創造に匹敵する。
- この新たなビークルの創造を東北大学が牽引し, 実現を目指す。

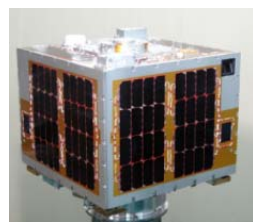
開発・推進 東北大学 流体科学研究所 宇宙熱流体システム研究分野

参考資料等 Nagai, H. and Oyama, A.: Development of Japanese Mars Airplane, 67th International Astronautical Congress, Guadalajara, Mexico, Sep. 2016.
日本経済新聞記事(2016/5/29 20:01) http://www.nikkei.com/article/DGXLASGG28H4C_Y6A520C1TJM000/

超小型人工衛星の開発と国際貢献



2009年「雷神」



2014年「雷神2」

- 2000年頃質量50kg級の超小型人工衛星の開発に取り組み、大学で開発した衛星をJAXAロケットの相乗りペイロードして宇宙空間へ打上げる道を模索してきた。
- 2014年打上げの「雷神2」は、東北大学製の地球観測衛星として成功を収め、2016年にはフィリピン政府からの受託研究として「DIWATA-1」の開発・運用に成功した。
- 超小型衛星により低価格で短期開発の地球観測ミッションが可能となり、近隣アジア諸国における農林水産業、災害監視等に即戦力として役立つ人工衛星を開発するとともに、衛星づくりの人材育成・技術移転にも貢献している。



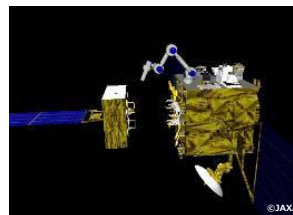
↑ 2012年「雷鼓」
→ 2016年「DIWATA-1」



開発・推進 東北大学 工学研究科 航空宇宙工学専攻(宇宙探査工学分野)

参考資料等 「マイクロサット開発入門」東北大学出版会(2011)
“Mission and system of the Earth observation microsatellite RISING-2”, Proceedings of 8th Symposium on Small Satellites for Earth Observation (2011)

宇宙ロボットと宇宙機システムの研究開発



超小型人工衛星の開発とともに、宇宙ロボットと宇宙機システムの研究開発に参加している。

- 技術試験衛星VII型「おりひめ・ひこぼし」
1997年に打ち上げられた無人のロボット衛星の実験に参加した。世界に先駆け軌道上でのランデブ、ドッキング、ロボットアームの制御実験が行われ、
- 小惑星探査機「はやぶさ」
2003年に打ち上げられた「はやぶさ」の開発に、1996年のプロジェクト開始時から参加し、小惑星イトカワ表面での岩石サンプル最終技術の開発と検証を担当した。
- 月面探査ロボット「HAKUTO/SORATO」
XPRIIZE財団が主催する国際月面探査レースへの挑戦として、超小型の探査ロボットを開発。地上試験を積み上げつつ打上げを可能とした。

開発・推進 東北大学 工学研究科 航空宇宙工学専攻(宇宙探査工学分野 吉田和哉 教授)

参考資料等 “Achievements in space robotics”, IEEE Robotics & Automation Magazine (2009)
“Space Robotics”, Springer Handbook of Robotics, 2nd edition (2016)

微小重力天体を'走る'表面探査ロボット



「はやぶさ2」とホッピング・ロボット「ミネルバ2」の概念図



しがみつき歩行ロボットの実証研究モデル

- 小惑星探査機「はやぶさ」の開発に参加し、小惑星イトカワからの岩石サンプルの採集・帰還ミッションの成功に貢献した。現在、後継機である「はやぶさ2」が小惑星リュウグウに向かっている。

- 小惑星表面をよりよく探査するために表面移動ロボットの開発・実証が期待されているが、小惑星表面は微小重力環境であるため、従来にはない移動方式が求められる。

- 「はやぶさ2」搭載のホッピング・ロボットの開発を行うとともに、将来型のしがみつき歩行ロボットの研究開発をJAXAとともに進めている。(平成28年度宇宙探査イノベーションハブ成果)

開発・推進 東北大学 工学研究科 航空宇宙工学専攻 (宇宙探査工学分野)

参考資料等 「岩石保持グリッパを用いた4足歩行ロボットの開発」日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会 (2017)

月惑星探査ロボットの研究開発



- 1997年より車輪走行型の月惑星探査ロボットの研究開発に着手し、車輪走行力学、環境認識システム (カメラ/センサ)、ナビゲーション (走行制御)、自律性、耐宇宙環境性などの研究開発を進めてきた。

- 技術の集大成として、Google Lunar XPRIZE (国際コンペ) に参加し、超小型探査ロボットによる月表面の移動探査の実現に向けて、研究開発を進めている。



開発・推進 東北大学 工学研究科 航空宇宙工学専攻 (宇宙探査工学分野)

参考資料等 "Achievements in space robotics", IEEE Robotics & Automation Magazine (2009)
"Update on the Qualification of the Hakuto Micro-rover for the Google Lunar X-Prize", Field and Service Robotics (2016)

液体ロケットエンジンのターボポンプの性能・信頼性向上

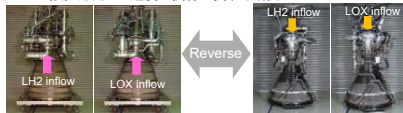


・キャビテーション不安定現象の発生メカニズムの解明と抑制手法の開発



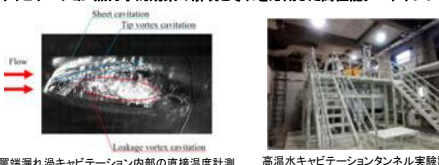
回転非同期軸振動を引き起こす超同期旋回キャビテーションの様子

・ターボポンプの設置方向と加速度の関係に関する研究



LE7エンジン(左)とLE7Aエンジン(右)におけるターボポンプの設置方向

・キャビテーション熱力学的効果の解明とそれを応用した高性能ターボポンプの設計



翼端漏れ渦キャビテーション内部の直接温度計測

高温水キャビテーションタンネル実験設備

液体ロケットエンジンのターボポンプでは、キャビテーション不安定現象と呼ばれる振動が発生することがあります。推進剤の脈動、回転非同期の軸振動、ポンプ性能の低下を引き起こし、打ち上げ失敗の原因となったこともあります。特に「超同期旋回キャビテーション」は、通常のポンプで発生する旋回不安定とは逆向きに伝播するロケットポンプ特有の不安定現象ですが、メカニズムがわかっていません。この発生の予測・抑制・制御手法の開発と遷移メカニズムの解明に、JAXA角田宇宙センターでの実験と流体科学研究所での数値解析で取り組んでいます。

ロケットの推進剤である液体水素・酸素では、「キャビテーション熱力学的効果」と呼ばれる効果が現れます。キャビテーションの体積を抑制し、ポンプの吸込み性能を向上させる好ましい効果で、極低温流体や高温で顕在化します。この解明とターボポンプ設計への有効利用を目指し、高温水キャビテーションタンネル実験を行っています。

液体ロケットエンジンの心臓であるターボポンプの性能・信頼性の向上を通じ、未来の液体ロケットの発展に貢献しています。

H-IIA Rocket
Height : 53 m
Weight : 285t

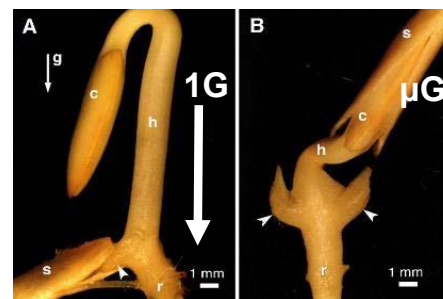
Liquid Hydrogen Turbopump
rotation speed : 41,900 rpm
discharge pressure : 28.6MPa

Liquid Oxygen Turbopump
rotation speed : 18,300 rpm
discharge pressure : 18.0MPa

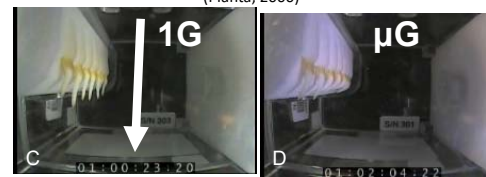
開発・推進 東北大学 流体科学研究所 伊賀研究室

参考資料等 Yuka IGA, Yoshiki YOSHIDA, "Mechanism of Propagation Direction of Rotating Cavitations in a Cascade", Journal of Propulsion and Power, Vol. 27, No. 3 (2011), pp. 675-683.
Yuka IGA, Makoto HIRANUMA, Yoshiki YOSHIDA, Toshiaki IKOHAGI, "Numerical Analysis of Cavitation Instabilities and the Suppression in Cascade", Journal of Environment and Engineering, Vol.3-No.2 (2008), pp.240-249

宇宙環境を利用した植物機能の解明



(Planta, 2000)



(New Phytol, 2017)

- キュウリ芽生えは、地上では1個のベグ (写真A、矢じり) をつくり、宇宙の微小重力下では2個のベグをつくる (写真B、矢じり)。→重力応答のしくみ解明

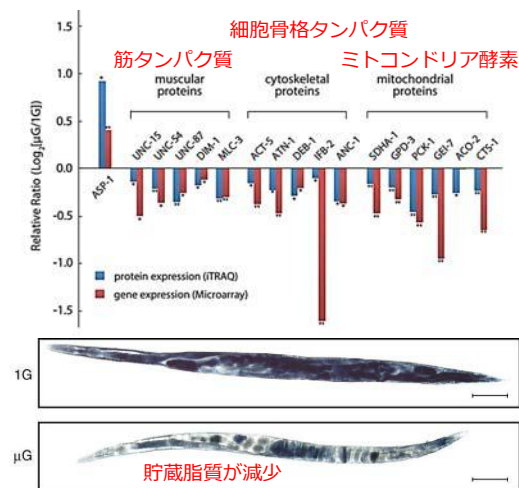
- キュウリ芽生えの根は、重力屈性によって重力方向 (下側) に伸びるが (写真C)、宇宙の微小重力下では水分屈性によって高水分側に伸びる (写真D)。→水分勾配応答のしくみ解明

- 宇宙実験で解明される植物機能の応用
→重力・水分勾配応答能力の植物生産への活用
→宇宙居住に向けた生命維持システムの構築

開発・推進 東北大学大学院 生命科学研究所 宇宙環境適応生態分野 (高橋秀幸)

参考資料等 npj Microgravity (2016) doi: 10.1038/npjmgrav.2016.30
New Phytologist (2017) doi: 10.1111/nph.14689

線虫の宇宙実験が解明する重力の生物影響

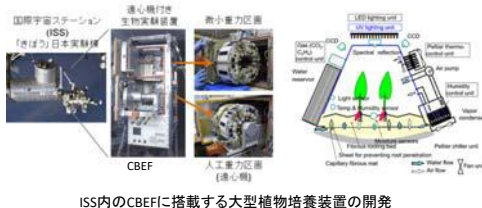


- 微小重力下で、筋肉、細胞骨格、ミトコンドリア酵素の発現（代謝）が低下する。
→生物への重力影響の解明
- ヒトが、より遠くへ、より長い期間、宇宙探査・宇宙居住するために克服しなければならない課題を解決する。
- 寝たきりや加齢に伴う骨や筋肉の低下への対策

開発・推進 東北大学大学院 生命科学研究科 ゲノム継承システム分野 (東谷篤志)

参考資料等 npj Microgravity (2016) doi: 10.1038/npjmgrav.2015.22

宇宙極限環境を利用した植物の未知なる潜在的機能の解明

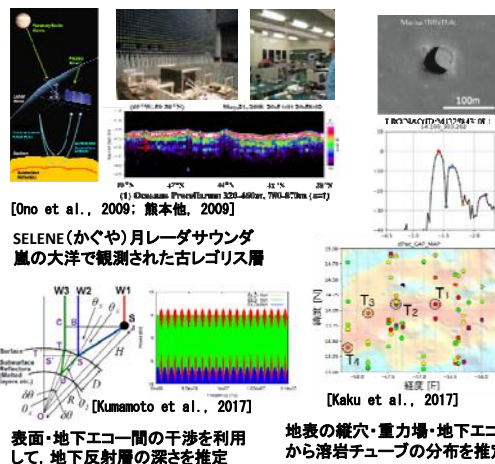


- 1G環境に適応・進化してきた現在の陸上植物は、はたして重量のない、または重力が異なる宇宙環境で正常に生きることができるのか？
→重力に依存した生命活動のしくみを解明
→地球環境変動ストレスに耐性ある植物の創出による食料問題解決
- 微小重力環境が、高宇宙放射線、高太陽粒子線（紫外線）が及ぼす障害と修復に、どのような影響を及ぼすのか？
→宇宙極限環境に耐性な植物の開発
→宇宙居住に向けた宇宙農業システムの構築
- 宇宙極限環境で植物がどのように生存・適応し、進化するのかを理解する

開発・推進 東北大学大学院 生命科学研究科 ゲノム継承システム分野 (日出間純)

参考資料等 Plant J. (2007) doi: 10.1111/j.1365-313X.2007.03041.X
Photochem. Photobiol. Sci. (2012) doi: 1039/c2pp05392f

天体地下の「文明/生命存在可能環境」のレーダ探査



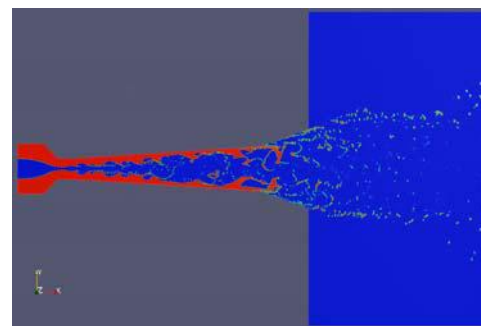
- 月周回探査機ミッション「SELENE (かぐや)」では、本学が開発を主導した「月レーダサウンダ」による初の月全球地下レーダ探査が行われた。過去の月表面に堆積し、海の火山活動によって溶岩流に覆われた古レゴリス層のエコーを発見した。地下の溶岩流の層序から、海の火山活動史の解明が進められている。また、地形カメラ・重力場データと合わせ、溶岩チューブなど、将来の人類活動に有益な新たな地下構造の探索も進められている。
- 東北大学は「SELENE(かぐや)」ミッションで、電離圏観測のため培ってきたプラズマサウンダの技術を活用し、月レーダサウンダの開発・観測運用・データ解析を中心に担った。欧州木星・氷衛星探査ミッション「JUICE」では、木星電波の地下エコー観測によって、地下に海を秘める氷衛星の内部構造を明らかにするため、事前検討を進めている。

開発・推進 東北大学 理学研究科 地球物理学専攻 (宇宙地球電磁気学分野)

参考資料等 熊本他, 「かぐや」搭載月レーダサウンダ(LRS)による月地下探査及び自然波動観測, 日本惑星科学会誌「遊・星・人」, 18, 18-24 (2009)

Kumamoto, A. et al., Feasibility of the exploration of the subsurface structures of Jupiter's icy moons by interference of Jovian hectometric and decametric radiation, Planetary Radio Emissions VIII, in press (2017).
Kaku, T. et al., Detection of intact lava tubes at Marius Hills on the Moon by SELENE (Kaguya) lunar radar sounder, Geophys. Res. Lett., 44, doi:10.1002/2017GL074998 (2017).

二相ノズル方式による極低温液体燃料微粒化システムの開発



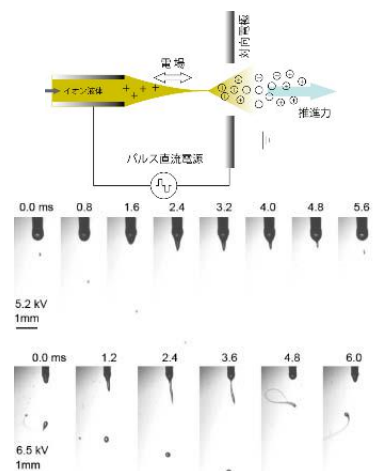
二相ラバルノズル方式を用いた極低温液体燃料噴霧微粒化プロセスに関するスーパーコンピューティング

- 宇宙ロケットエンジン用液体燃料・酸化剤として使用される極低温液体水素・液体酸素の微粒化シミュレーションシステムを新たに開発した。
- 極低温微粒化促進の手法として、遷音速気液二相ラバルノズル方式を採用した。
- 二相ラバルノズル方式の採用により、混合領域がノズル内に限定され、従来型の噴流対向型による微粒化ノズル（外部混合型）よりもノズルのコンパクト化が可能であり、詳細な極低温液体燃料噴霧微粒化制御が可能となる。

開発・推進 東北大学流体科学研究所 附属未だエネルギー研究センター 石本グループ

参考資料等 石本「成分極低温微細固体粒子連続生成装置、および、その成分極低温微細固体粒子連続生成方法」特開2015-2221 (P2015-2221A) 特許第6153110号 (P6153110)
Ishimoto J, Sato F, Sato G. Computational Prediction of the Effect of Microcavitation on an Atomization Mechanism in a Gasoline Injector Nozzle. ASME. J. Eng. Gas Turbines Power. 2010;132(8):082801-082801-15. doi:10.1115/1.4000264.

イオン液体静電噴霧を用いた宇宙推進

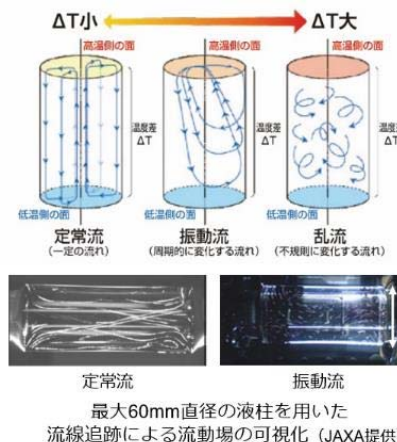


- 水、油に次ぐ第3の機能性液体として注目されているイオン液体を用いた革新的宇宙推進器を開発している。
- 印加電圧の極性により、正・負のイオンを生成することができるため、交流パルス電圧を印加することにより、中性化されたイオンビームが得られる。
- 高压配管系や中和器を必要としないため、これまでの電気推進器と比べ、軽量かつ簡素化が期待できる。

開発・推進 東北大学 流体科学研究所 電磁機能流動研究分野

参考資料等 H. Takana and K. Saegusa, "Effect of Pulsed Voltage on Characteristics of Ionic Liquid Electro-spray", Proceedings of 2017 Annual Meetings of the Electrostatic Society of America, A5, Ottawa (2017)
高奈秀匡, 「プラズマおよびイオン液体のエネルギー技術への応用展開」, 日本機械学会流体工学部門ニューズレター「流れ」12月号 (2015)

マランゴニ対流の振動流遷移メカニズム

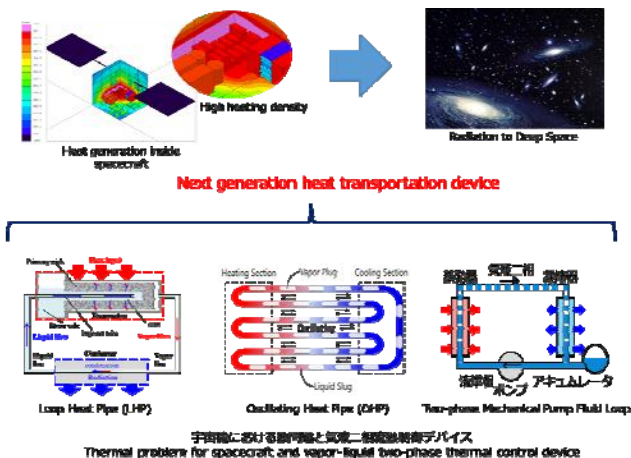


- 単結晶生成時のマランゴニ対流による製品不均質化問題を解明
- 地上では形成できない巨大液柱を形成することで、流動現象を精緻可視化
- 伝熱工学的な知見による振動流遷移のメカニズム解明

開発・推進 東北大学 流体科学研究所 伝熱制御研究分野

参考資料等 松本聡 他, 「きぼう」マランゴニ対流実験の状況および今後の展開, 第28回宇宙利用シンポジウム (2012), M03

次世代宇宙機の熱制御デバイスの開発および革新的熱システムの開発



- 極限熱環境下で長期間に亙るミッションを行う次世代の宇宙機には、限られた電力、重力のリソースで内部機器の排熱が可能な熱制御システムが不可欠である。この要求に応えるべく、高熱輸送能力、軽量・省スペースな非電力熱輸送デバイスとしてループヒートパイプ (LHP) や自動振動ヒートパイプ (OHP) の研究を行っている
- また大面積等温蒸発部を有するTwo-Phase Mechanical Fluid Pump Loop (2PMFPL) の研究開発をNASA-JPLと共に実施している。
- 最終的にはこれらを組み合わせた省電力・高効率な革新的宇宙機熱制御システムの提案を目指す

開発・推進 東北大学 流体科学研究所 宇宙熱流体システム研究分野 + JAXA筑波, 宇宙科学研究所

参考資料等 Daimaru, T., Nagai, H., Makiko, A., et al.,: Comparison between Numerical Simulation and On-orbit Experiment of Oscillating Heat Pipes, Int.J.of Heat and Mass Transfer, Vol.109, 2017, pp. 791-806.
研究室ホームページ
<http://www.ifs.tohoku.ac.jp/space/index.html>