

地球磁気圏外からのX線観測 GEO-X —X線天文と深宇宙探査の融合



江 副 祐一郎

〈首都大学東京 理学系研究科 物理学専攻 〒192-0397 東京都八王子市南大沢 1-1〉

e-mail: ezoe@tmu.ac.jp

宇宙の高エネルギー現象を探るX線。近年、太陽系から思いがけないX線が次々に見つかった。木星の磁気圏からは加速された高エネルギー電子やイオンによると考えられるさまざまな放射が、火星では散逸した大気が太陽風のプラズマと電荷交換反応することで生じる広がった放射が受かってきた。X線で得られるこうした太陽系の粒子加速や大気散逸についての知識は天文学、惑星科学、そして系外惑星環境の理解にも役立つと期待される。いくつかの偶然が重なり、筆者はいろいろな分野の方々と共同で、X線天文と深宇宙探査を融合した将来の計画を考えるようになった。その第一歩が、地球磁気圏の外から広視野の観測を行うことで、地球周辺に存在することが知られている謎のX線の解明と地球磁気圏のX線を使ったイメージングを目指すGEO-X計画である。

1. 端 緒

この研究に取り組み始めたのは2006年頃のことである。私は活動銀河中心核の時間変動や大質量星形成領域における星風衝撃波に伴う広がったX線放射を研究してきた¹⁾。

一方で、2005年に日本のX線天文衛星「すざく」が打ち上がったことから、自分がやったことのない天文現象の研究も始めたいという気持ちがふつつつと沸いてきた。注目したのが、ちょうど新しいX線現象が次々に見つかった太陽系である²⁾⁻³⁾。

そこで2010年頃に、惑星科学の方々と共に「すざく」を使った木星、火星、地球周辺の研究を行い、木星磁気圏における粒子加速や、火星の大気散逸に関わるX線、地球周辺のX線発光の研究に取り組み始めた⁴⁾。

その中で惑星科学の方々から、将来の木星探査に向けてX線観測装置を検討してみてはとお誘いを受けた。設計を行ってみた所、最先端技術を使えば10 kg・10 W くらいの小さな装置で、これま

でにない光子統計と解像度を達成できそうであり、実現すれば世界初となることが分かった。2011-12年頃のことである⁵⁾。

並行して、地球周辺からのX線発光の打ち合わせの中で、このX線を地球から離れて見ると、惑星科学の研究者の方々にとって非常に役に立つ、地球磁気圏のイメージングに使えるかもしれないことに気がついた。

装置は木星探査で検討したものがそのまま使えそうである。惑星科学の方々と共に、これを真剣に考えましょうかという話になった。これがGEO-X 計画の発端である。2013-14年頃のことであった⁶⁾。

その後、X線天文衛星「ひとみ」や XARM の開発にも関わらせて頂きつつ、GEO-X をX線天文や惑星科学の方々のサポートも頂いて検討していた所、近年発展が著しい超小型衛星で太陽系探査を本格的に始める動きがあるということで、そのつながりから本稿を書かせて頂くこととなった。まさにいくつかの偶然が重なったと感じる。

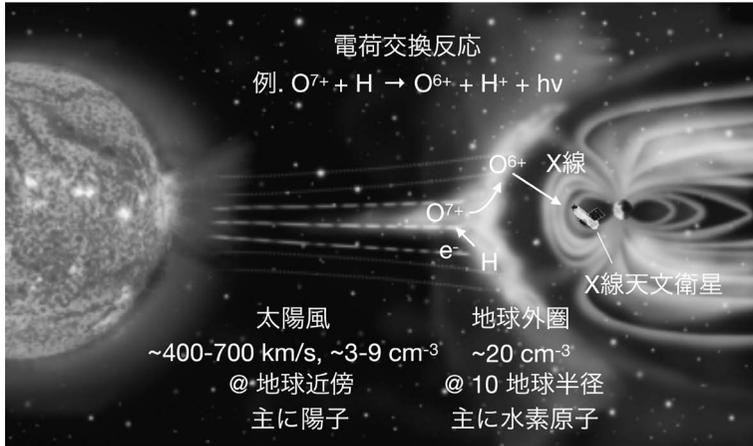


図1 地球周辺からのX線の描像。距離の縮尺は任意である。白っぽいところが、地球磁気圏との衝突で太陽風のプラズマ密度が濃い領域である。太陽風のプラズマはこの近辺で、地球の超高層大気である外圏に含まれる中性粒子との電荷交換反応を生じてX線を発光し、それを地球周回のX線天文衛星が検出していると考えられる^{8),9)}。

2. 地球周辺からX線？

地球の中心部には鉄を主成分とする液体のコアが存在し、これが流動することで35億年以前から固有磁場をもつと考えられている。磁場は強い双極子成分をもつが、しばしば向きが逆転し、逆転時には多重双極子が卓越する。一方、太陽からは高速の荷電粒子、いわゆる太陽風が吹いている。太陽風は超音速のプラズマの流れである。それに対して地球の磁場は障害物となり、衝撃波（バウショック）が太陽側に形成される。より地球側には、磁気圧とプラズマ圧が釣り合う位置に磁気圏境界面（マグネトポーズ）ができる。

バウショックは定常太陽風では地球中心から太陽方向に地球半径（6,378 km）の約14倍の距離に、マグネトポーズは地球から太陽方向に約11地球半径の距離にできるが、太陽風の動圧の増減に従って、縮んだり膨らんだりする。こうした磁気圏の概要は1960年以降の人工衛星による「その場」観測で確認され、天文学の衝撃波加速理論や宇宙線の起源論に大きな影響を与えてきた。

1990年代に活躍したドイツのX線天文衛星ROSATは全天をスキャンする中で奇妙な増光ノ

イズを検出した。ノイズは視野全面に広がっており、数時間の時間スケールで変動し、望遠鏡の応答関数の影響を受けていた。つまり外部からのX線放射であると考えられる⁷⁾。ほぼ同時期に発見された彗星コマからのX線発光から、この放射は太陽風のプラズマが地球の高度100 km以上の薄い大気である外圏の中性物質と電荷交換反応を起こして出ているのではという説が提唱された。

電荷交換反応ではイオンが中性物質から電子を奪い、奪われた電子がイオン中のより安定な準位に落ちることでUVやX線領域で輝線を発光する。2000年代に入って、日本の「すぎく」衛星などにより、このX線放射のスペクトルは電離したイオンからの輝線（ O^{6+} 、 N^{5+} など）からなり、太陽風フラックスとも良い相関を示すことがわかり、電荷交換反応説は確固たるものとなった^{3), 4), 10)-16)}。

これらによって、地球周辺からのX線は図1のようなものではないかと考えられている。ほとんどの太陽風はマグネトポーズより内側へは直接侵入できないだろう。よってシースと呼ばれるバウショックとマグネトポーズの間に侵入した一部の太陽風からX線発光が生じているのではというものである。

電荷交換反応によるX線発光は地球周辺だけでなく、ホットなプラズマと冷たい中性物質が衝突する宇宙のあらゆる階層で生じていると考えられる。発光強度からプラズマと中性物質の密度が、輝線分布からプラズマの化学組成、イオンの運動が推定できる。つまり宇宙プラズマを探る新たな手段になると考えられる。

3. 地球磁気圏を視る

しかし、こうしたX線天文衛星の観測は、地球の近くからの狭い視野のため、実はこのわれわれに最も近いX線放射は正確にどこから出ているかはわかっていない。そこで、この放射の正確な強度と空間分布を予測するため、筆者らを含む世界の研究グループでは磁気流体 (MHD) シミュレーションを用いた予想計算を行っている。図2に例を示す。太陽風の密度が高いシースや、地球

に近く外圏密度が急激に上昇するカस्पがX線で明ると予想される。

これらの計算では、地球周辺の領域をメッシュで区切り、各メッシュの単位体積・単位時間当たりのX線発光強度を、電荷交換反応の反応断面積と遷移確率、入ってくる太陽風のフラックス、地球外圏の密度から概算し、観測する位置に応じた視線方向の積分を行うのが一般的である。電荷交換反応の断面積は地上実験や理論計算から、太陽風のフラックスはMHDシミュレーションから、太陽風イオンの存在度は観測から、外圏密度は観測に基づくモデルから推定する。

予想されるX線の空間分布は、どのグループの計算でもカस्पやシースが明るく見える点で共通である。筆者らや欧州のグループでは、X線天文衛星「すざく」やXMM-Newtonの公開データを使って、太陽風電荷交換反応による増光イベントの系統探査を進めている。イベントの発生頻度は、視線方向がカस्पやシースを向いたときに高そうであり、おおむねこの予想を支持する^{15),16)}。ただし、カस्पやシース以外の方向からも強い発光が生じている例もあり¹⁴⁾、実はよくわかっていない。つまり、観測による解明が重要である。

この地球周辺のX線の空間分布の観測は、天文学の研究者には宇宙での電荷交換反応の「その場」観測という貴重な機会を与えてくれる一方、地球惑星電磁圏の研究者にも重大なインパクトをもつ。つまり、X線を使うと磁気圏の太陽側の境界領域、シースやカस्प、パウショックの位置などをイメージできる可能性がある。

このいわゆる昼側の磁気圏境界面は、太陽風の磁気圏内への輸送という観点に加えて、磁気リコネクションやKelvin Helmholtz渦といった重要な宇宙プラズマ物理が関係する領域であり、太陽風の磁気圏侵入と磁気圏形状の応答、という太陽地球系科学の長年の課題に直結する。しかし、その全体像を捉えるのは実は簡単ではない。理由はこれまで「その場」粒子計測器や電磁場計測器をつ

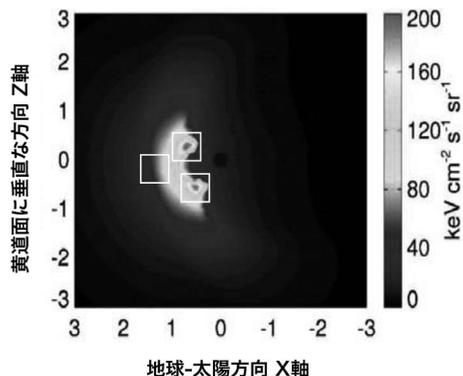


図2 地球周辺からのX線の空間分布の予想¹⁷⁾。太陽風のプラズマフラックスが高いときのもの。原点は地球中心、地球から50地球半径離れた位置から見た場合の予想である。横軸、縦軸の単位は地球から太陽側のマグネトポーズまでの距離であり、1Dがこの場合、約6地球半径に対応する。磁気圏の左側(太陽側)が明るい、弓形に見えるのがパウショックとマグネトポーズの間の遷移領域でありシースと呼ばれる。南北に二つ、目玉のように見えているのが磁極へ磁力線に沿ってプラズマが侵入できるカस्पと呼ばれる領域である。一つひとつの四角はGEO-X計画の視野を表す。カस्पのどちらかあるいはシースの一部を観測できる。

んだ衛星あるいは衛星群による多点観測が主であり、各地点での優れた時間分解能の詳細なデータが得られる一方、図2のような、数十地球半径に及ぶ広大な領域をカバーするには限界があるからである。地球磁気圏のイメージング観測は、これまで可視光やFUVでオーロラが、EUVで電離圏の外側のプラズマ圏が、高速中性粒子によって磁気圏に捕捉された荷電粒子によって作られる赤道環電流が撮像されており、磁気圏構造の理解に大きな役割を果たしてきた⁶⁾。なおプラズマ圏のイメージングは、日本の火星探査衛星「のぞみ」が地球周回軌道中に撮ったものが世界初である。しかし、シースやカスプといった昼側の磁気圏境界面については、高速中性粒子を使った観測が数例あるのみで、しかも積分時間が約10時間と長く、解像度も数度と限られており、より短い時間で高い解像度で画像を撮る手段が望まれていた。ここにX線はぴったりと当てはまる。

4. GEO-X計画

4.1 目的

地球周辺のX線の空間分布という長年の課題を

解決しつつ、この地球磁気圏のX線イメージングを実証するには、X線発光領域から離れて磁気圏の外に出る必要がある。つまり、地球から10地球半径を優に超える距離に出て、なおかつ地球の磁気圏を指向する必要がある。天文観測ではそのような必然性はなく、これまでそのような衛星はなかった。

そこで、筆者らはGEO-X (GEOspace X-ray imager) 計画を考えた。図3に概要を示す。目標は(1)地球磁気圏の外から本放射を俯瞰的に観測し、分布を明らかにするとともに、(2)X線を用いた磁気圏イメージングを実証し、さらに(3)太陽風の動圧によって変化する磁気圏の構造を捉えることである。三つとも実現すれば世界初でありインパクトもあるだろうと考えている。

図2の予想分布からも、地球周辺のX線は約20地球半径以上離れた位置からも出ており、適度に遠くから視る必要がある。よって月付近(地球から約60地球半径)、たとえば地球と月のラグランジュ点からの観測などが好ましいと考えられる。

衛星の打ち上げ時期も重要である。地球周辺のX線は太陽風プラズマのフラックスが上がる、コ

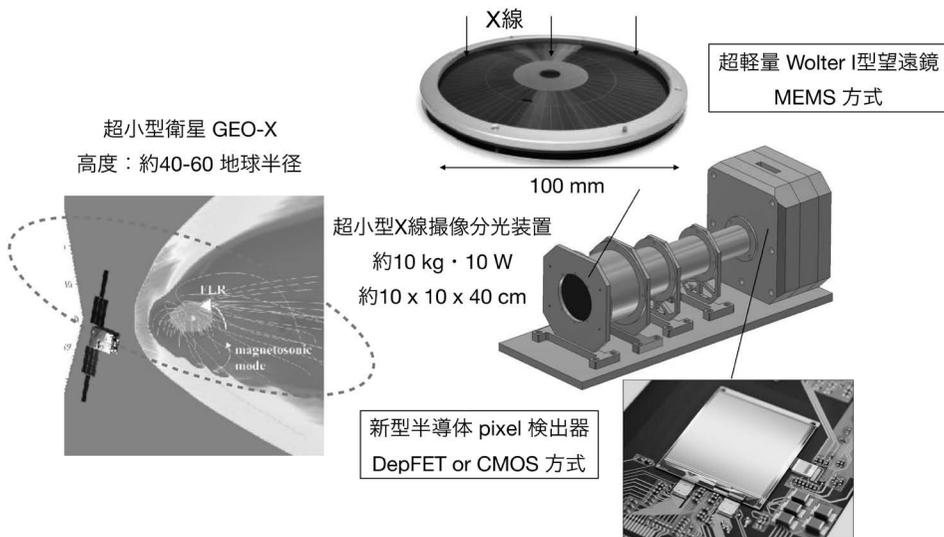


図3 GEO-X計画の概要。月付近の円軌道に、約50 kgの超小型衛星を投入して、俯瞰的な地球磁気圏の観測を目指す。そのために最先端技術を用いた新しい超小型X線撮像分光装置を搭載する¹⁸⁾⁻²²⁾。

コロナ質量放出や太陽フレアで激しく増光する。よって、こうした状況がたくさん起こるのであろう次の太陽活動極大期（2020年代前半）が良い。

この目的のためには地球から離れる、つまり深宇宙探査機が必要である。そこで今回の特集の骨子につながるのであるが、高頻度で深宇宙に飛ばすことのできる <50 kg 程度の超小型衛星プラットフォームがあれば理想的である。超小型衛星ということで大型衛星に比べてリソースは限られるが、低コスト・迅速な打ち上げが可能である。GEO-Xの目標は、まずは1枚でも磁気圏のカस्पやシースのX線画像を取ることができれば成功であるので、リソースの制約は最新技術でカバーしつつ、サイエンスの実証を優先し、今後につなげたいと考えている。

4.2 観測装置

もちろん超小型衛星では、観測装置に許されるリソース（重量・電力・サイズ）はたいへん厳しい。焦点距離は約300 mm、重量・電力は約10 kg・約10 Wが限界となる。これは「すぎく」衛星のX線望遠鏡とCCDカメラ1セットのそれぞれ約1/15, 5/6, 1/2程度である。これらのうち、特に焦点距離が短いのは大問題であり、従来のX線天文衛星の技術をそのまま使うと短焦点では像のぼけが大きくなる。そこで短焦点でも像のぼけが小さく、なおかつ従来の望遠鏡よりも1桁以上軽量性が高い、MEMS（マイクロマシン）製造技術を複合的に用いた日本独自の超軽量X線望遠鏡を用いたいと思っている。

筆者らのグループがもともと天文衛星用に開発してきたものであり、数百 μm の薄いSi基板に日本が得意とする半導体微細加工技術で μm スケールの微細穴を貫通させ、側壁を平滑化するなどして反射鏡として用いる方式である。基板が薄いため、基板に対して垂直な貫通穴の側壁を反射鏡として用いる、理想曲面の近似であっても短焦点で像のぼけは無視できる。また直径100 mmの望遠鏡でも僅か数gという超軽量化が可能である。さ

らにJAXA宇宙研や首都大の設備を用いて、望遠鏡を自作しており、低コストである¹⁸⁾。検出器にも新技術が必要である。低電力であるだけでなく、今回観測したい対象はいわゆる昼地球に視野的に近いため、強烈な可視光の望遠鏡への漏れ込みが雑音となる。そこで読み出し速度が従来のCCDよりも速く、可視光ノイズに強い、新型の半導体ピクセル検出器を採用する^{20), 21), 23)}。イメージを撮るだけではなく、同時にスペクトルも取得することで、各イオン（酸素、窒素…）からのX線輝線を分離し、S/Nを稼ぐと同時に太陽風プラズマの化学組成の情報も得ることができる。

4.3 性能目標

地球周辺のX線は広がった放射である。よってこれを高感度で捉えるには、単純に光軸方向の有効面積が高いだけでなく、視野も数度以上に広い必要がある。幸い地球周辺からのX線は主に1 keV以下の軟X線が主であるため、X線全反射の許される最大角度の指標である臨界角は数度と大きく、採用する新しい望遠鏡により、短焦点で広視野を実現できる。

ここで広がったX線への感度の指標は、いわゆる有効面積を視野で積分した $S\Omega$ で表される。筆者らは直径100 mm、焦点距離250 mmのWolter I型望遠鏡を仮定し、光線追跡プログラムを用いて、地球周辺からのX線放射でしばしば強く見られる0.6 keVの酸素輝線における $S\Omega$ を計算した。結果は「すぎく」に搭載されたX線望遠鏡とCCD1セットにも匹敵する $S\Omega$ が可能であるというものであった²⁴⁾。これは軟X線に特化することで「すぎく」よりも約2桁も立体角が大きいため、小口径の望遠鏡でも十分に感度を上げられることを意味する。

画像を撮るので角度分解能も大事である。図2の予想分布からカस्पやシースは大きく広がっており、背景の点源の除去も考慮してまずは10分角以下とした。この値は従来のX線天文衛星に比べると大きい。広がったX線放射の分布を調べ

るには十分である。

これらの感度と解像度の目標は、従来の高速中性粒子の撮像と比べて、いずれも1桁以上優れている。X線は太陽活動に伴って突発的に増光するため、どのくらいのデータが取れるか気になるので、過去の太陽風プラズマ観測データを用いて見積もりも行った、すると太陽活動極大期では露光時間1hで、高いS/N (>20) の画像とスペクトルを年間最大100セット以上得ることができ、太陽風動圧に対する構造変化を十分観察できると期待されることがわかった。

4.4 意義

GEO-Xの科学的な意義を考えると、惑星科学の立場からは、地球磁気圏の昼側境界面の観測にイメージングという新たな手段を提供し、太陽風の磁気圏侵入および時々刻々変化する磁気圏の形状、さらにそこで生ずる基礎的なプラズマ物理過程の理解につながる事が上げられる。

天文的な立場からは、X線天文で20年来の謎であった地球周辺からのX線の空間分布が初めて明らかになる。つまり、宇宙における電荷交換発光反応がどのような場所で生じ、発光はどのような方向分布をもつのを「その場」で検証できる機会を与える。同時に、全天から非一様に放射されている軟X線背景放射への寄与の解明につながる。天空上のどの方向から本放射が出やすいかが分かるので、今後のX線観測にも役立つ。電荷交換反応は中性大気のある場所でしか生じないため、希薄なため直接観測が難しい大気散逸の広がりや量について制限することができ、太陽系のほかの惑星や系外惑星での大気流出の理解にもつながると思われる。

技術的にも、超小型衛星による深宇宙探査の実証に加えて、新しい超小型X線撮像分光装置を使うので、今後の惑星探査や天文観測への発展が考えられる。たとえば複数の超小型衛星に本装置を載せて、常時・全天X線モニター網を構築するといったことがありうる。

5. 高エネルギー惑星科学

冒頭で述べた通り、筆者らは、GEO-X計画の以前に、木星探査に向けたX線撮像分光装置の検討を行いJUXTA (Jupiter X-ray Telescope Array, ラテン語で「近傍」を意味する) と名づけた^{5), 23)-25)}。装置はGEO-Xと基本同一であり、もちろん惑星探査衛星にも搭載可能である。木星に近づくことで、図4に示すとおり、対木星への性能は超大型X線天文衛星をも超える。

もちろん観測とする対象は、木星系に限られる。また筆者も開発に携わってきた日本の「ひとみ」衛星で世界初の宇宙観測を実現し、次の日本の大型X線天文衛星XARMにも搭載予定の、超高性能のX線分光装置であるX線マイクロカロリメータによる観測は、重量や電力の面から探査衛星では難しい。高い分光力があれば、イオンの運動や電荷交換反応における中性物質の化学組成といった全く別の情報を知ることができる。一方、光子統計と解像度は「その場」観測が上回るので、大型X線天文衛星を補完する観測となる。

実現すれば木星のみならず、放射線帯、ガリレオ衛星、イオプラズマトーラスといった多様なX線源を観測し、木星系で大きな課題となっている太陽系最強の磁気圏での粒子加速機構の謎に迫ることができる。また未知のX線源の発見もあるかもしれない。木星のX線オーロラのホットスポットのサイズ、木星の高速自転(10h)を考えると、高い解像度と光子統計は必然的に望ましく、X線による探査は理想的である。

さらに、火星では太陽風のスパッタリングで散逸した大量の惑星大気が、太陽風のプラズマと電荷交換反応を生じ、地球と違った形で広がったX線放射を生じていることがわかってきた^{2), 27)}。X線発光から流出した大気量を調べることで、火星から過去どのように水が失われたかという重要課題に迫ることができるとと思われる。

このようにX線天文と深宇宙探査を融合させた

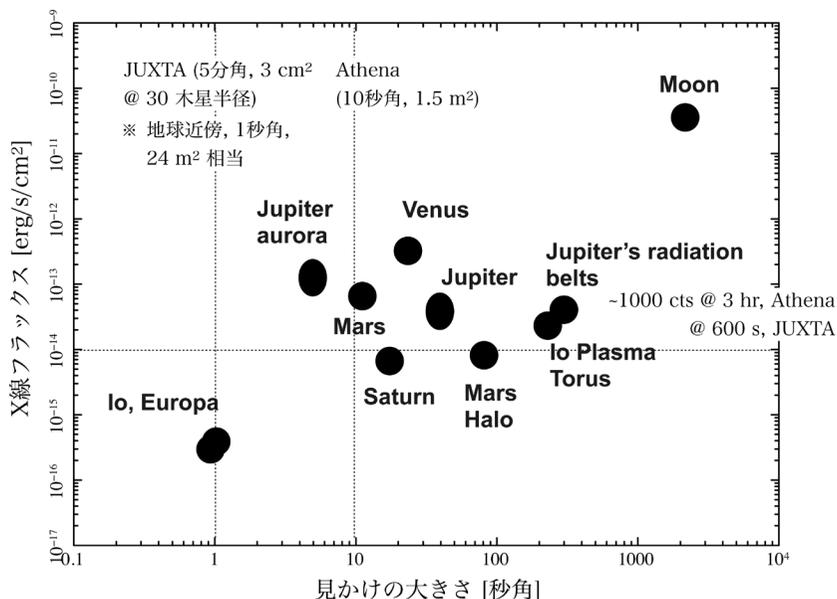


図4 地球周回のX線天文衛星で見つかった太陽系天体の見かけ上のサイズとX線フラックス。木星近くからX線撮像分光装置で観測した場合の実効的な角度分解能と光子統計を、2020年代後半の超大型X線天文衛星計画Athenaと比較して示した。木星に対して、地球周回の性能換算で角度分解能1秒角、有効面積24 m²が達成できる。木星以外についても、同じように30天体半径から観測すれば、同様の性能を出すことができる。

新しいX線「その場」観測によって拓かれる分野を、筆者らはX線天文が含まれる「高エネルギー天文学」になぞらえて「高エネルギー惑星科学」と名づけた。色々挑戦できればと思っている。

6. おわりに

X線天文と深宇宙探査の融合によるGEO-X計画、読者の皆さんはどうお考えになったでしょうか。興味をもっていただければ幸いです。計画検討や開発に携わりたいという研究者の方がおられれば、是非お声がけいただきたい。

現在、欧州と中国、そして米国でGEO-Xと同様に地球磁気圏のX線撮像に関する計画が本格化している。これらのグループとは共同でワークショップを開催したり、装置の検討を共に行ったりと共同関係にある。GEO-Xはまたこれらの中で最も遠くから俯瞰的に観測することができる予定である。世界の仲間ともともに超小型の機動力を生かして実現できればと願っている。

謝辞

本稿の科学的内容は、筆者らが発表した投稿論文^{10)–15), 18), 19), 23)–28)}に基づいているので、詳しくはそちらをご覧ください。

GEO-Xはさまざまな方々のご協力で検討を進めさせていただいてきた。惑星科学の名古屋大の三好由純氏、東大の笠原慧氏とは初期から共に検討を進めさせていただいている。X線天文のJAXA宇宙研の満田和久氏、首都大の大橋隆哉氏には、計画検討や装置開発でたいへんお世話になっている。

さらにX線天文、惑星科学、宇宙工学の数多くの方々にも支えられている。名古屋大の三石郁之氏、大阪大の中嶋大氏、JAXA宇宙研の石川久美氏、藤本正樹氏、中村正人氏、山崎敦氏、川勝康弘氏、岩田隆弘氏、東北大の笠羽康正氏、木村智樹氏、首都大の佐原宏典氏、北海道大の永田晴紀氏、神戸大の上野宗孝氏、東大の船瀬龍氏、中須賀真一氏、吉川一朗氏、地球磁気圏X線可視化に

関する ISSI チームメンバー，首都大，東大ほかの大学院生ら，皆さんに深く感謝したい。

参考文献

- 1) 江副祐一郎，2006，天文月報，99，429
- 2) Bhardwaj, A., et al., 2007, P&SS, 55, 1135
- 3) 藤本龍一他，2007，天文月報，100，321
- 4) 江副祐一郎，2010，天文月報，103，616
- 5) 江副祐一郎他，2011，日本惑星科学会誌，20，300
- 6) 吉川一朗他，2014，プラズマ核融合学会誌，90，786
- 7) Snowden, S. L., et al., 1994, ApJ, 424, 714
- 8) ESA Cluster衛星のHPアドレス <http://sci.esa.int/cluster/41473-solar-wind-hits-earth-s-magnetosphere/> (2018.4.1)
- 9) JAXA 「すざく」衛星のHPアドレス <http://www.astro.isas.jaxa.jp/suzaku/> (2018.4.1)
- 10) Ezoë, Y., et al., 2010, PASJ, 62, 981
- 11) Ezoë, Y., et al., 2011, PASJ, 63, 691
- 12) Ezoë, Y., et al., 2011, Adv. Space Res, 47, 411
- 13) Ezoë, Y., et al., 2012, Astro. Nach., 333, 319
- 14) Ishikawa, K., et al., 2013, PASJ, 65, 63
- 15) 石川久美，2013，博士論文（首都大学東京）
- 16) Carter, J., et al., 2011, A&A, 527, A115
- 17) Robertson, I. P., et al., 2006, J. Geophys. Res., 111, A12105
- 18) Ezoë, Y., et al., 2010, Microsys. Tech., 16, 1633
- 19) Matsushima, J., et al., 2017, Trans. Jpn. Soc. Aeronautical Space Sci., accepted
- 20) Treis, J., et al., 2010, NIM-A, 624, 540
- 21) Majewski, Y., et al., 2014, Exp. Astron., 37, 525
- 22) Funase, R., et al., 2017, Low-Cost Planet. Missions, SESS03-11
- 23) Ezoë, Y., et al., 2013, Adv. Space Res., 51, 1605
- 24) Mitsuishi, I., et al., 2016, Adv. Space Res., 57, 320
- 25) Kasahara, S., et al., 2013, Planet. Space Sci., 75, 129
- 26) Iwata, T., et al., 2016, Trans. Jpn. Soc. Aeronautical

- Space Sci., 14, 111
 27) Ishikawa, K., et al., 2011, PASJ, 63, 705
 28) Sibeck, D., et al., 2018, Space Sci. Rev., accepted

GEO-X: Imaging Enigmatic Diffuse X-Ray Emission around Earth— Cross-Disciplinary Mission in Astronomy and Deep Space Exploration Yuichiro EZOE

Department of Physics, Tokyo Metropolitan University, 1-1 Minami-Osawa, Hachioji, Tokyo 192-0397, Japan

Abstract: X-ray astronomy has been established as a space science to investigate high energy phenomena in the Universe. Since 1990's, various X-ray emission has been discovered unexpectedly in the solar system. X-ray observations are now becoming a new diagnostic tool to elucidate particle acceleration and atmospheric escape occurring in the solar system. Such knowledge is applicable to astronomy and exoplanet science. The author and collaborators are planning X-ray exploration of the solar system, complementary to large X-ray astronomy satellites orbiting Earth. As a first step of such approach, GEO-X aims at revealing spatial distribution of diffuse X-ray emission around the Earth and at X-ray global imaging of the Earth's magnetosphere.