

X線天文衛星「すざく」がとらえた 地球近傍における太陽風からの 輝線放射



藤本 龍一

〈金沢大学大学院自然科学研究科 〒920-1192 金沢市角間町〉
e-mail: fujimoto@astro.s.kanazawa-u.ac.jp

満田 和久

〈JAXA 宇宙科学研究本部 〒229-8510 相模原市由野台 3-1-1〉

Dan McCAMMON

〈Department of Physics, University of Wisconsin, Madison, WI 53706, USA〉

1990年代、軟X線での全天探査を行っていたローサット衛星の研究者たちは、1日程度の時間スケールで変動する起源不明の謎のX線強度増加に悩まされていた。1996年に彗星からのX線放射が発見されたことを契機にその理解は少しずつ進んできたが、「すざく」衛星の観測によりこのX線の起源が、地球の磁気圏に入り込んだ太陽風に含まれる高階電離した炭素や酸素などのイオンであるということを示す確実な証拠が得られた。

1. はじめに

天文月報に「すざく」衛星の最新成果の特集を組むということで、その一つとして本記事を書く機会をいただいた。X線と言えば、高密度天体、超新星残骸、活動銀河核、銀河団といった天体を思い浮かべる方が多いであろうし、この特集でもそれらの話題が中心になるであろう。これに対して本記事で述べるのは、太陽風を起源とする地球磁気圏でのX線放射という、X線天文の世界でもあまり知られていない話である（筆者も正直、「すざく」でこういう現象に遭遇するまでは知りませんでした……）。本記事で詳しく説明するように、このX線放射は太陽風に含まれる高階電離したイオンと地球周辺の中性水素との「電荷交換」により起きているということが「すざく」の

観測で確実になったのであるが、このプロセスの重要性がX線天文学の世界で認識され始めたのはほんの10年ほど前のことである。

太陽風による電荷交換反応は、薄く広がった軟X線放射を観測する場合には由々しき問題となる。高温ガスの温度や元素量を求めるためには電荷交換反応の影響を取り除かなければならないが、これは容易なことではないのである。このことも最近になって認識されるようになってきた。

本稿では、「すざく」による観測中に偶然得られたデータによって、軟X線背景放射に見られる「謎のX線増光」が太陽風の電荷交換反応によるものであることを示す決定的な証拠が得られたことについて、歴史的な経緯や電荷交換反応についての説明を交えて紹介する。さらに詳細について興味のある方は、日本天文学会欧文報告誌

(PASJ) の「すざく特集号」の論文¹⁾を参照されたい。

2. 軟 X 線背景放射と謎の X 線増光

個々の X 線天体から放射される X 線とは別に、宇宙のあらゆる方向からやってくる X 線がある。これを宇宙 X 線背景放射という。エネルギーが 2 キロ電子ボルト以上の硬 X 線領域^{*1}では、そのほとんどは多数の暗い系外 X 線天体（銀河や活動銀河核）からの X 線が重なったものであると考えられており、実際、2-10 キロ電子ボルトのエネルギー域ではすでにほとんどすべてが微弱な X 線源に分解されている²⁾。一方、1 キロ電子ボルト以下の軟 X 線領域では銀河系外の点源の寄与は相対的に少なくなり、半分以上がわれわれの銀河系の円盤やハローに存在する高温星間物質の寄与であると考えられている。さらに、銀河系外の高温銀河間物質も寄与している可能性がある。このような広がった高温ガスの存在は X 線天文学の初期の段階から知られていたが³⁾、その分布や起源、物理状態についてはまだよくわかっていない⁴⁾。

1990 年に打上げられたドイツのローサット衛星は軟 X 線での全天探査を行い、軟 X 線背景放射の精密な全天地図を作成した⁵⁾。その際ローサット衛星の研究者たちは、軟 X 線背景放射の強度が 1 日程度の時間スケールで 2 倍以上増光することがあることに気がついた⁶⁾。銀河系の円盤やハローに存在する高温星間物質であれば 1 日といった短い時間スケールで強度変動を起こすことはありえない。この「謎の X 線増光」^{*2} はわれわれの近傍での現象によるものと考えられたが、当時はその起源を突き止めることはできなかった。

3. 彗星からの X 線放射の発見

「謎の X 線増光」の起源を解明する鍵は全く別のところからもたらされた。彗星からの X 線放射の発見である。

1996 年、百武彗星が地球からわずか 0.1 天文単位の距離にまで接近した。これは彗星からの微弱的な放射を観測する絶好の機会であり、さまざまな波長域で観測が行われた。X 線は一般に温度が数百万度以上の高温ガスから放射されるので、氷と塵の塊である彗星が自ら X 線を放射することは考えられない。しかしながら予想に反して、百武彗星からは強い軟 X 線放射が確認されたのである⁷⁾。

百武彗星を契機に彗星からの X 線放射が次々と見つかり、軟 X 線放射は多くの彗星に共通に見られる現象であることがはっきりした。それに伴って軟 X 線放射メカニズムに関する理論的、実験的な研究も進展し、最終的には「彗星からの軟 X 線は太陽風に含まれるイオンと彗星の中性物質との電荷交換反応により放射されている」という描像が確立したのである^{8), 9)}。

4. 電荷交換反応

電荷交換反応とは、二つの粒子（原子、分子、イオン）の間の非弾性散乱で、一方の電子が他方に移動する反応である。ここでは、衝突する粒子として太陽風に含まれる高階電離した重原子イオン（完全電離に近い炭素や酸素イオン）、標的となる粒子として彗星や地球周辺の中性原子や分子を考える。衝突粒子の速度が太陽風程度（数百 km/s）の場合、交換される電子の数は 1 個であることが多い。したがってこの反応は、

*1 キロ電子ボルト (keV) は X 線のエネルギーの単位。エネルギーの高い（波長の短い）X 線を硬 X 線、エネルギーの低い（波長の長い）X 線を軟 X 線と呼ぶ。両者の境は明確に定義されているわけではなくその時々で異なるが、本稿では 1-2 keV を境として、それ以上を硬 X 線、それ以下を軟 X 線と呼ぶ。

*2 「長期間の増光 (Long Term Enhancement)」という名前がつけられているが、本稿では「謎の X 線増光」と呼ぶことにする。

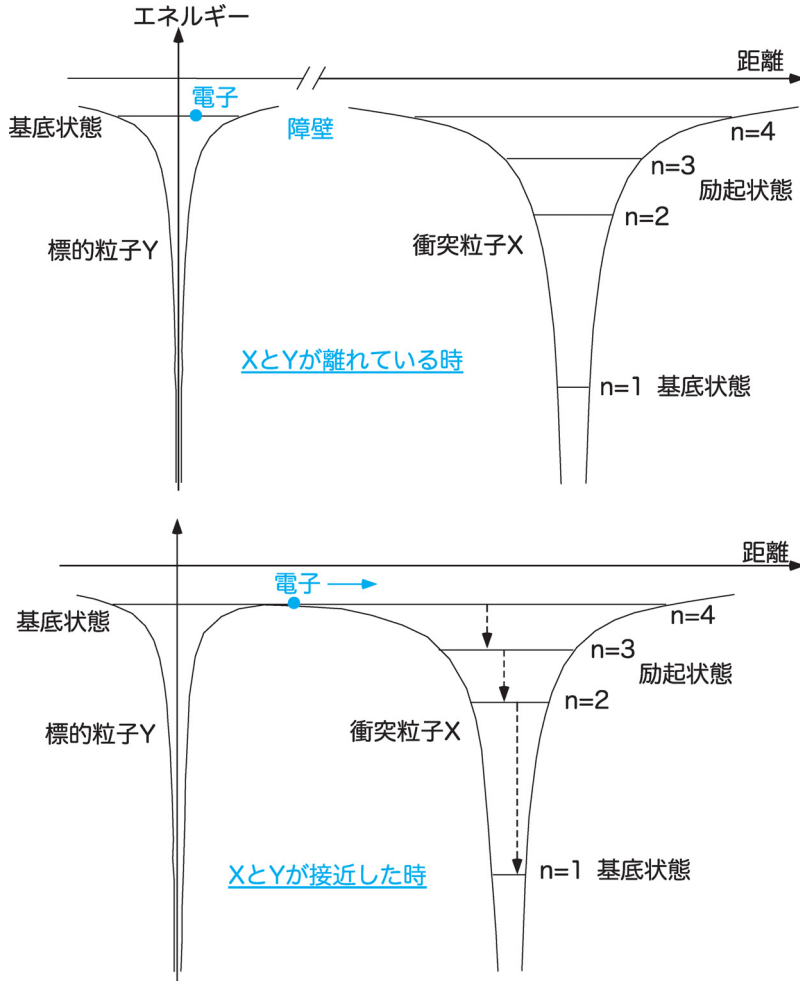
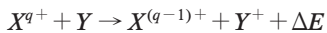


図1 「古典的障壁乗り越えモデル」に基づく、電荷交換反応の際のポテンシャルの模式図。衝突粒子Xと標的粒子Yが離れているとき、両者にはポテンシャルの障壁があり電子は移動できない（上図）。両者が接近したとき、ポテンシャルの障壁が下がり、電子が移動できるようになる（下図）。衝突粒子は高階電離しているために基底状態のエネルギー準位が標的粒子に比べて低く、移動した電子は衝突粒子の励起状態に入る（図の例では4番目の軌道）。電子はその後、決まった波長の光を放出しながら基底状態に遷移する。

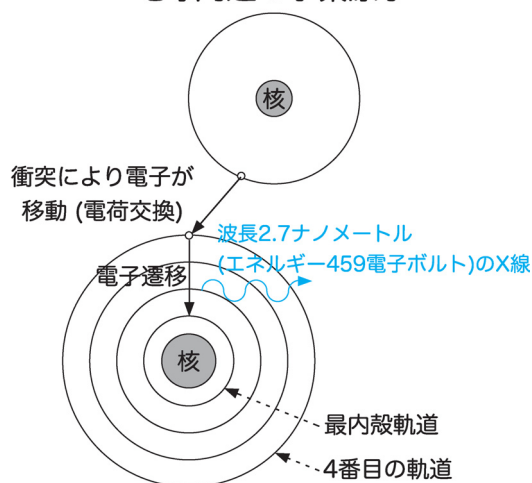


と書くことができる。ただし、Xは衝突粒子（イオン）、qは衝突粒子の電離度（q個の電子を失っている）、Yは標的粒子（中性原子・分子）、 ΔE は反応により解放されるエネルギーである。衝突に伴って電子が標的粒子Yから衝突粒子Xに移動し、衝突後の電離度はXが $+(q-1)$ 、Yが $+1$ と

なる。

電荷交換プロセスは、直感的には以下のような「古典的障壁乗り越えモデル (Classical over-Barrier Model)」によって理解することができる⁸⁾⁻¹¹⁾。図1上に示したように、二つの粒子X, Yが離れているときには各々の粒子が作るクーロンポテンシャルの間に障壁が存在し、電子はそれぞれの粒子に束縛されている。粒子が近づいてポテ

地球周辺の水素原子



太陽風中の完全電離した炭素イオン

図2 電荷交換反応により水素原子から完全電離した炭素イオンに電子が移動し、輝線が放射される過程の模式図。この反応例では、水素の電子が炭素の内側から4番目の軌道に移動する。角運動量子数が1の軌道(p軌道)に入った場合にはいきなり最内殻軌道に遷移することが可能で、その際に波長2.7ナノメートル(エネルギー459電子ボルト)の軟X線が放射される。

ンシャル間の距離が短くなると、障壁が下がる。粒子がさらに近づいて障壁が標的粒子Yの電子の束縛エネルギーまで下がると、Yに束縛されていた電子は衝突粒子Xに移動することが可能になる(図1下)。太陽風イオンの場合、衝突粒子Xは電離度が高いために中性の標的粒子Yに比べて基底状態のエネルギー準位がずっと低い。その結果、移動した電子は衝突粒子の励起状態に収まることになる。例えば完全電離した炭素イオンと中性水素原子の衝突の場合、電子は炭素の内側から4番目の軌道に入る確率が高くなる(図2)。励起状態に入った電子は特定の波長の光を放出して

最終的には基底状態に落ちていく。完全電離もしくは電子を1個だけもつイオンの場合は一番内側の軌道(最内殻軌道)に空きがあることから、電子が外側の軌道から最内殻軌道に遷移する際に各イオンに固有の波長をもったX線が放射される^{*3}したがって、電荷交換反応によって放射されるX線は各イオンに特有な波長をもった輝線となり、連続成分は存在しない。これは制動放射などと大きく異なる点である。

量子力学によれば、それぞれの電子軌道はさらに角運動量の異なる軌道に分かれる。衝突時の相対速度が大きいとき、角運動量の異なる軌道に入る確率は縮退率だけで決まるようになり、縮退率の大きな角運動量最大の軌道に入りやすくなる。選択則によれば1回の遷移で角運動量子数は1だけ変化することから、多くの電子は一つずつ内側の軌道に遷移しながら最終的に基底状態に落ちていくことになる。一方、衝突時の相対速度が小さい場合には角運動量の小さな軌道に入りやすくなる。例えば角運動量子数が1の軌道(p軌道)に入った場合には、いきなり基底状態に遷移することも可能になる。したがって、相対速度が速い場合は2番目の軌道から最内殻軌道への遷移(2p→1s遷移^{*4})相対速度が遅い場合は3番目、4番目、5番目といった外側の軌道から最内殻軌道への遷移に伴うX線が相対的に強く放射されることになる^{9), 12)}。完全電離した炭素イオンであれば、相対速度が大きければ2p→1s遷移に対応する波長3.4ナノメートル(エネルギー367電子ボルト)のX線、相対速度が小さければ4p→1s遷移に対応する波長2.7ナノメートル(エネルギー459電子ボルト)のX線が強く放射される。

5. 軟X線背景放射と電荷交換反応

彗星からのX線放射が電荷交換プロセスに

*3 2番目ないしそれより外側の軌道に遷移する際には、X線より波長の長い紫外線や可視光が放射される。

*4 内側から2番目で角運動量子数が1の軌道は2p軌道と呼ばれる。一方、基底状態の角運動量子数は0であり、その軌道は1s軌道と呼ばれる。

よって起こっていることが認識されるにつれ、軟 X 線背景放射の一部は太陽風とジオコロナ^{*5}や太陽圏の中性物質との電荷交換反応によって説明できるのではないかと、ということが示唆されるようになった^{13), 14)}。また、ローサット衛星の全天探査中にみられた「謎の X 線増光」は太陽風(陽子)のフラックスと相関があるということが示され¹⁵⁾、その起源もまた太陽風とジオコロナの中性水素との電荷交換反応ではないかと考えられるようになった。

第 4 章で述べたように、電荷交換反応が起きると高階電離したイオンからの輝線が放射される。ローサット衛星はスペクトル分解能が十分ではなく、これらの輝線を区別することはできなかった。スペクトル情報が得られるようになったのは最近になってからである。まずチャンドラ衛星による月の夜側の観測によって、地球近傍における太陽風の電荷交換反応によるものと考えられる X 線放射のスペクトル情報が得られ、高階電離した炭素、酸素の輝線によって説明できることが報告されている¹⁶⁾。つづいてニュートン衛星によるハッブル深宇宙域の観測で軟 X 線の強度変動が観測され、X 線増光と太陽風(陽子)のフラックスに相関があること、スペクトル中に炭素、酸素、ネオン、マグネシウムの輝線が検出されたことが報告されている¹⁷⁾。しかしながら、チャンドラ衛星やニュートン衛星でも軟 X 線に対するスペクトル性能は十分とはいえない。さらに質のよいスペクトルデータが必要とされている。

太陽風の電荷交換反応は、ジオコロナ・惑星大気外層・彗星周辺などにおける低密度の中性物質や、太陽風のイオン組成などを観測的に調べるための重要な手段となる。その一方で、軟 X 線背景放射の観測においては非常にやっかいな存在となる。高温星間物質からの X 線放射と電荷交換反応による X 線放射は空間的にもスペクトル的に

も似通っており、見分けるのが容易ではないからである。特に低エネルギー側では、太陽圏における電荷交換反応によって放射された X 線が定常成分として大きな割合を占めているという見積もりもあり¹⁸⁾、これらの寄与を明らかにして軟 X 線背景放射から取り除くことが、高温星間物質や高温銀河間物質の研究を進めるうえで極めて重要になる。

6. X 線天文衛星「すざく」による観測とその結果

「すざく」は 2005 年 7 月 10 日に打上げられたわが国 5 番目の X 線天文衛星である¹⁹⁾。「すざく」には X 線 CCD カメラ XIS (X-ray Imaging Spectrometer) と硬 X 線検出器 HXD (Hard X-ray Detector) の 2 種類の検出器が搭載されており、軟 X 線から硬 X 線に至る広いエネルギー帯域を高い感度で観測できるのが特徴である¹⁹⁾⁻²¹⁾。XIS はチャンドラ衛星やニュートン衛星の X 線 CCD

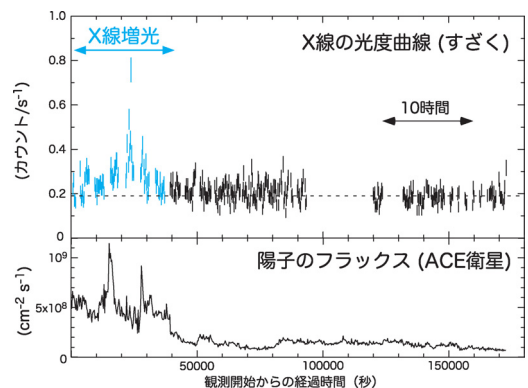


図 3 「すざく」による黄道北極領域観測時の軟 X 線 (0.3–2 keV) の光度曲線 (上) と、ACE 衛星による太陽風の陽子のフラックス (下)。図中に青色で示したように、観測初期の約 10 時間にわたって X 線の増光が見られた。同じ時期に太陽風も増加していることがわかる。

*5 地球大気の外層領域のことで、地球半径の 15 倍程度にまで伸びており、水素ガスからなるハローが広がっている。

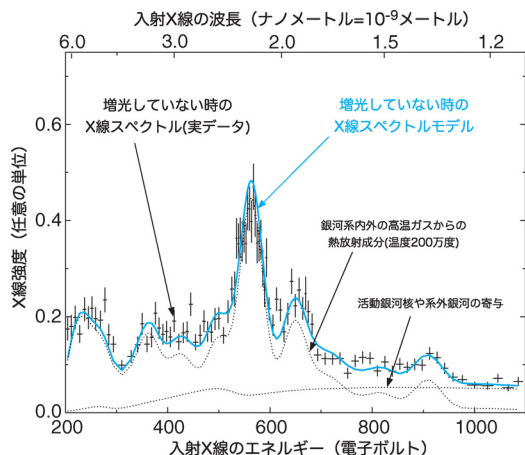


図4 増光していないときのX線スペクトルとそのモデル。十字印は観測によって得られた実データ、点線で示したのが活動銀河核や系外銀河の寄与を表す成分と、銀河系内外の高温ガスからの熱放射成分(温度200万度)で、青線は二つの成分を足し合わせた増光していないときのスペクトルモデル。

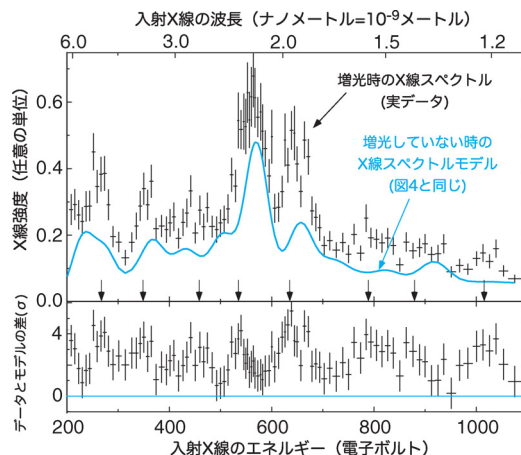


図5 増光時のX線スペクトルと増光していないときのスペクトルモデルの比較。下は残差。増光時のスペクトルは全エネルギー域で一樣に増えているのではなく、矢印で示したいくつかの特定のエネルギーで増加している。

カメラと比較して特に1キロ電子ボルト以下の軟X線に対するスペクトル応答が非常に優れており²⁰⁾、有効面積の大きなX線望遠鏡²²⁾とあわせて、軟X線背景放射の研究に大きな威力を発揮する^{23), 24)}。

2005年9月2日から4日にかけてわれわれ「すざく」チームは、X線背景放射の観測のために「すざく」を黄道北極領域に向けていた。図3の上段に示したのは観測期間中の軟X線の光度曲線である。これを見ると観測前半の約10時間にわたってX線が増光していることがわかる。「すざく」が観測していた領域には明るいX線天体はなく、また対応する時間帯に増光したX線天体も存在しなかった。増光はXISの視野全体にわたって起こっていた。図3の下段に示したのはACE衛星によって得られた太陽風(陽子)のフラックスの時間変化の様子で、これより「すざく」で増光が観測された時期に陽子フラックスが増加していることがわかる。「すざく」による黄道北極領域の観測中に偶然、「謎のX線増光」が起きた

のである。

「すざく」の特徴は何といてもスペクトル分解能が優れていることである。われわれは増光に伴ってX線スペクトルがどのように変化したのかを詳しく調べた。図4に示したのはX線増光が起きていないときのX線スペクトルである。横軸はエネルギー、縦軸はX線の強度で、十字で示したのが観測によって得られたスペクトルデータである。点線で示したのは活動銀河核や系外銀河の寄与を表す成分と、銀河系内外の高温ガスからの熱放射成分(温度200万度相当)であり、これらの2成分で「すざく」のスペクトルがよく表されていることがわかる(図4中の青線)。このモデルはやや単純すぎるのであるが、ここではX線増光に伴うスペクトルの変化に興味があるので、われわれはこのモデルを増光が起きていないときのスペクトルモデルとし、このモデルを用いて増光が起きたときにスペクトルがどのように変化したのかを調べた。

図5は増光時のスペクトルデータと増光していないときのモデルを比較しており、下のパネルは

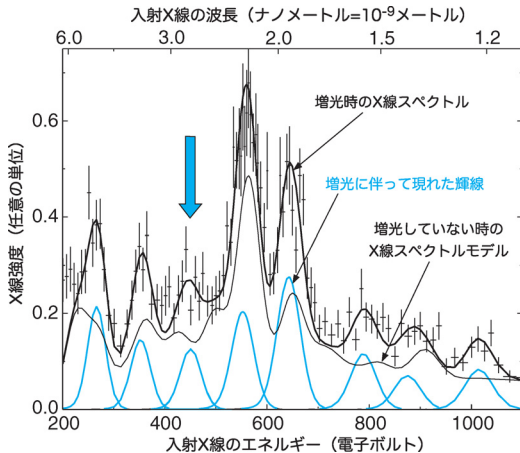


図6 増光していないときのモデル（細い黒線）に9本（この図ではそのうちの8本が示されている）の輝線モデル（青線）を加えてフィッティングを行った結果。太い黒線は全モデルを足し合わせたもの。青い矢印は高い励起状態にある炭素イオンからの輝線（ $C\ VI\ 4p \rightarrow 1s$ 輝線）で、電荷交換反応の明確な証拠である。

両者の差を表している。これをよく見ると、増光時のスペクトルは全エネルギー帯域で一様に増えているのではなく、図5に矢印で示したように、いくつかの特定のエネルギーで増加していることがわかる。図6は、図5の矢印に相当するエネルギーに輝線のモデルを入れた結果である。ただし、単色のX線が入射した場合でもXISのエネルギー分解能の分だけ幅をもってしまうために、各輝線のモデル関数はエネルギー分解能の幅をもったガウス関数となる。解析の結果、増光時のX線スペクトルは、増光していないときのX線スペクトルに9本（図6では8本）の輝線を追加することで非常によく説明できることがわかった。つまり、X線増光によって少なくとも9本の輝線が現れたことになる。

各輝線のエネルギーが求まったので、同定が可能になる。その結果、増光によって現れた輝線は高階電離した炭素、酸素、ネオン、マグネシウム、鉄の輝線で説明できることがわかった。この中

で、460 eV付近に見られる輝線（図6で青い矢印で示した輝線）に注目していただきたい。この輝線は5階電離した炭素（ $C\ VI$ ）の4番目の軌道から最内殻軌道への遷移（ $4p \rightarrow 1s$ 遷移）に対応した輝線であり、第3章で述べたように電荷交換反応に特有の輝線である（図2参照）。

このことは、観測されたX線スペクトルの変化が電荷交換反応によるものであることをはっきりと示している。ニュートン衛星によっても同じ炭素の輝線の検出が示唆されていたが¹⁷⁾、今回の「すざく」のデータほど明確にこの輝線をとらえたのは初めてのことである。なお、電荷交換反応では7階電離した酸素（ $O\ VIII$ ）の $3p \rightarrow 1s$ 、 $6p \rightarrow 1s$ 遷移も顕著になると考えられているが、これらの輝線は「すざく」のデータでは鉄やネオンの輝線と重なってしまい、残念ながら見分けはつかない。

7. 電荷交換反応はどこで起きたのか？

図3に示した増光時のX線光度曲線を注意深く見ると、10分程度の短い時間スケールでも変動していることがわかる。このことは、放射領域の大きさが光が10分間に進む距離、すなわち1天文単位程度よりも小さいことを意味している。XISの視野は18分角であるので、これより放射領域までの距離は数百天文単位よりは近い。ところで増光時のスペクトルが高階電離した炭素、酸素などの輝線を含んでいることから、これらのイオンを放出した天体が存在する。数百天文単位という距離スケールで考えられるイオン源は一つしかない—太陽である。X線増光と太陽風フラックスとの相関や、 $C\ VI\ 4p \rightarrow 1s$ 輝線が検出されたことから、「すざく」によって観測されたX線増光の起源が太陽風に含まれるイオンと中性物質の電荷交換反応であることは確実である。

図3のX線と陽子フラックスの変動の様子を比べると、短い時間スケールでは必ずしもよく

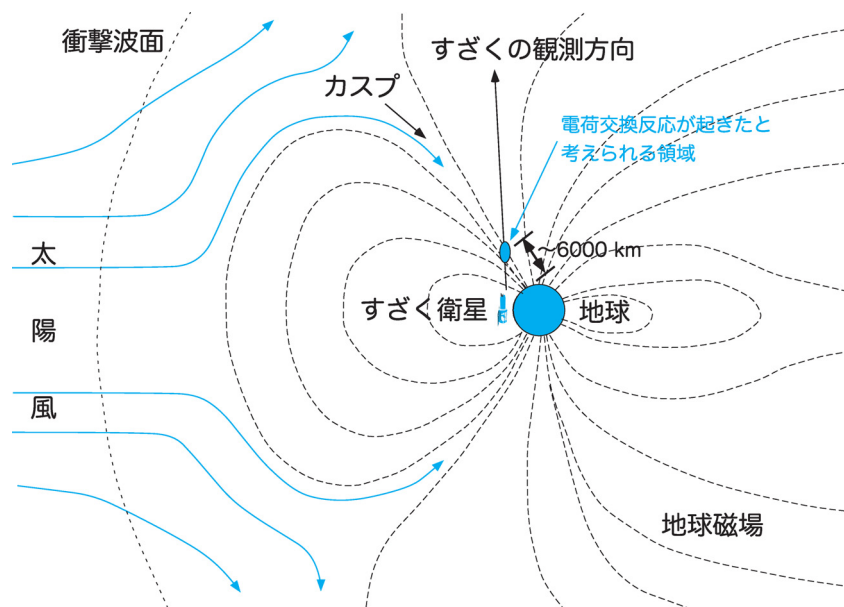


図7 地磁場，太陽風の経路，「すざく」衛星の観測方向と，電荷交換反応が起きたと考えられる領域の模式図。

合っておらず，X線強度の変動には別の要因も存在すると考えられる。観測時における「すざく」の視線方向を詳しく調べた結果，地球の北極側のいわゆる「カスプ」と呼ばれる領域が含まれていることがわかった（図7参照）。視線方向がカスプを横切る位置の地表高度とX線強度の間には弱いながら反相関が見られ，高度が6,000 km程度にまで下がったときにX線が最も強くなる傾向があった。これらのことからわれわれは，太陽風が高度6,000 km付近の低高度にまで入り込んで，そこで中性原子と電荷交換反応を起こしてX線を放射していると考えている。木星ではX線オーロラと呼ばれるX線放射現象が観測されているが，「すざく」の観測結果はそれと似た現象がわれわれの地球でも起きていることを示唆しているのである。もちろん，このような結果が得られたのは初めてのことである。

8. まとめと今後

「すざく」による黄道北極領域のX線背景放射の観測中に「謎のX線増光」が発生した。われわ

れは「すざく」の特徴を活かして良質のX線スペクトルを取得することに成功し，「謎のX線増光」が高階電離したイオンからの輝線放射だけで説明できることを明らかにした。さらに，電荷交換反応に特有の，高い励起状態にある炭素イオンからの輝線をこれまでになくはっきりととらえ，「謎のX線増光」の起源が太陽風イオンとジオコロナの中性水素との電荷交換反応によるものであることを明確にした。「すざく」の結果はさらに，太陽風が地上高度6,000 km付近にまで入り込んで電荷交換反応を起こしていることを示唆している。

軟X線に対して優れたスペクトル分解能をもつ「すざく」は，銀河系内の高温星間ガス，銀河系外の高温銀河間ガスの分光観測に大きな進展をもたらすことが期待される。しかしながら本研究は，「すざく」の分解能で観測を行うからこそ，太陽系における電荷交換反応による軟X線放射の影響をきちんと評価し，考慮する必要があることを示している。これは容易なことではないが，今後の「すざく」による観測に期待していただきたい。

謝 辞

本研究は「すざく」チームのメンバである竹井洋氏、M. Bauer 氏、石崎欣尚氏、F. S. Porter 氏、山口弘悦氏、林田 清氏、山崎典子氏との共同によるものです。また元になったデータは「すざく」の科学ワーキンググループ時間中に観測したものです。「すざく」で得られたデータの解釈については、JAXA 宇宙科学研究本部の前澤 洸氏、篠原育氏、向井利典氏、松岡彩子氏にさまざまな助言をいただいています。この場を借りて改めてお礼申し上げます。

参考文献

- 1) Fujimoto R., et al., 2007, PASJ 59, S133
- 2) Giacconi R., et al., 2001, ApJ 551, 624
- 3) Tanaka Y., Bleeker J. A. M., 1977, Space Sci. Rev. 20, 815
- 4) McCammon D., Sanders W. T., 1990, ARA&A 28, 657
- 5) Snowden S. L., et al., 1997, ApJ 485, 125
- 6) Snowden S. L., McCammon D., Burrows D. N., Mendenhall J. A., 1994, ApJ 424, 714
- 7) Lisse C. M., et al., 1996, Science 274, 205
- 8) Cravens T. E., 2002, Science 296, 1042
- 9) Krasnopolsky V. A., Greenwood J. B., Stancil P. C., 2004, Space Sci. Rev. 113, 271
- 10) Ryufuku H., Sasaki K., Watanabe T., 1980, Phys. Rev. A 21, 745
- 11) Mann R., Folkmann F., Beyer H. F., 1981, J. Phys. B 14, 1161
- 12) Beiersdorfer P., Lisse C. M., Olson R. E., Brown G. V., Chen H., 2001, ApJ 549, L147
- 13) Cox D. P., 1998, in IAU Colloq. 166, The local bubble and beyond, ed. D. Breidtchwerdt, M. J. Freyberg, J. Trümper, Lecture Notes in Physics 506 (Berlin: Springer Verlag), 121
- 14) Cravens T. E., 2000, ApJ 532, L153
- 15) Robertson I. P., Cravens T. E., Snowden S., Linde T.,

2001, Space Sci. Rev. 97, 401

- 16) Wargelin B. J., Markevitch M., Juda M., Kharchenko V., Edgar R., Dalgarno A., 2004, ApJ 607, 596
- 17) Snowden S. L., Collier M. R., Kuntz K. D. 2004, ApJ, 610, 1182
- 18) Lallement R., 2004, A&A 418, 143
- 19) Mitsuda K., et al., 2007, PASJ 59, S1
- 20) Koyama K., et al., 2007, PASJ 59, S23
- 21) Takahashi T., et al., 2007, PASJ 59, S35
- 22) Serlemitsos P. J., et al., 2007, PASJ 59, S9
- 23) Smith R. K., et al., 2007, PASJ 59, S141
- 24) Takei Y., et al., 2007, PASJ 59, S339

Suzaku Revealed X-Ray Line Emission in the Earth Vicinity due to Solar Wind

Ryuichi FUJIMOTO

Department of Physics, Kanazawa University, Kakuma-machi, Kanazawa 920-1192, Japan

Kazuhisa MITSUDA

Institute of Space and Astronautical Science, JAXA, 3-1-1 Yoshinodai, Sagami-hara 229-8510, Japan

Dan MCCAMMON

Department of Physics, Wisconsin University, Madison, WI 53706, USA

Abstract: In 1990s, the existence of mysterious soft X-ray enhancements on a time-scale of about 1 day was reported in the ROSAT all-sky survey data. Its origin was unknown at that time, but since the discovery of X-ray emission from comets in 1996, there has been significant progress in understanding it. We report that Suzaku obtained clear evidence that they are caused by the solar wind heavy ions interacting with neutral material in the Earth's magnetosheath.