

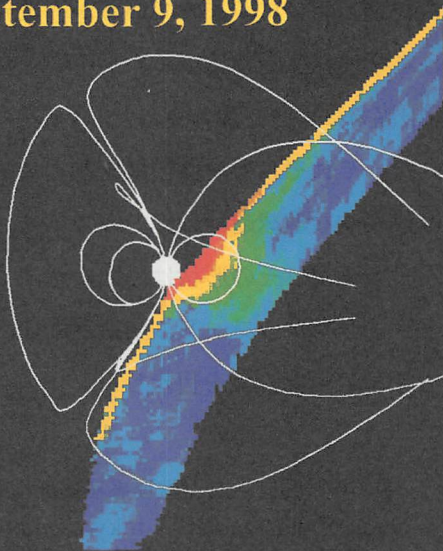
東京大学

大学院理学系研究科・理学部

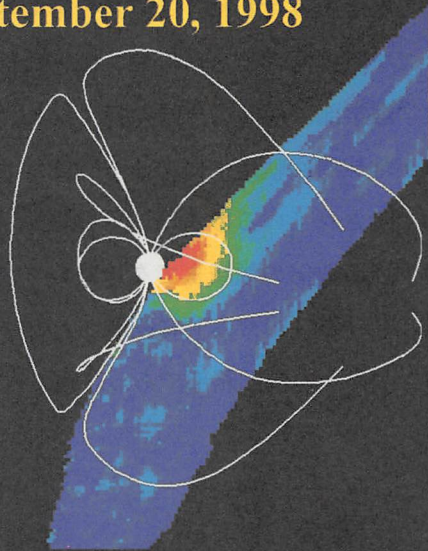
廣報

EUV Image of the Terrestrial Plasmasphere

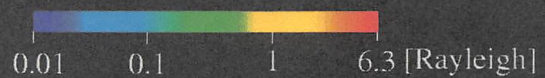
September 9, 1998



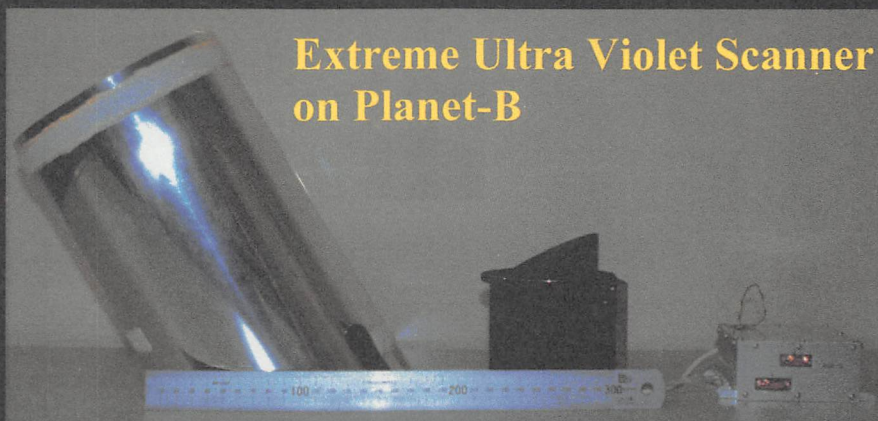
September 20, 1998



EUV (30.4nm) Intensity



Extreme Ultra Violet Scanner
on Planet-B



電子の海のさざ波

長谷川 修 司 (物理学専攻)

shuji@surface.phys.s.u-tokyo.ac.jp

1986年度ノーベル物理学賞の対象となった走査トンネル顕微鏡 (scanning tunneling microscopy, STM) は、動作原理が従来の電子顕微鏡と全く異なるものでした。鋭く尖らせた金属針 (その最先端には1個の原子がくっついていて) を試料物質の表面に極めて接近させ、接触させることなく表面に平行に走査させることによって、原子尺度で物質表面の凸凹を観察できる顕微鏡なのです。金属針と試料の間に電圧を印可したときに流れるトンネル電流が、両者の間隙の距離がわずかに変化しただけで極めて敏感に増減することを利用したもので、物質表面上に付着している原子1個でさえ、まるでパチンコ玉のようにはっきりと映し出すのです。原子1個1個を直接見るという人類2000年来の夢を実現した実験装置で、ノーベル賞受賞者らが作った第一号機は大英博物館に保存されているということです。現在では表面科学だけでなく、広範な科学・技術の分野で利用されています。

STM では、物質表面上での原子を直視できるだけでなく、最近では、物質表面での電子の波動関数をも直接見ることがわかってきました。STM 画像の信号のもとになっているトンネル電流は、金属針内の電子の波動関数の裾野と、試料物質内の電子の波動関数の裾野の重なりによって流れるわけですから、金属針を試料表面に平行に走査させることによって、表面での電子波動関数の分布が画像化できることになるのです。

平成6年度の当理学系研究科研究基盤重点設備費によって導入された低温型 STM による観察例を紹介しましょう。

シリコン結晶の表面上に、銀原子を一原子層分だけ付着させると、銀原子がきれいに規則的に並び、その原子層内を電子が自由に動けるようになること (表面電子バンドの2次元自由電子系) が私たちの研究で明らかにされてきました。この表面を6 Kの低温に冷やしてSTMで観察すると、第1図のような画像がとれました。注意深く見ると非常に細かな規則的な点列に気がつくと思いますが、これらが規則的に並んだ銀原子に対応しています。しかし、その規則的な原子の並びを乱す境界が表面上に存在しています。(A)で示した原子ステップ端や(B)で示し

た直線的な境界です。目を細めて見ると、これらの境界付近に縞模様が見えるでしょう。これは、上で述べた自由に動ける電子の波が境界で反射されるためにできる定在波なのです。防波堤にぶつかった水が水面上にさざ波を作るように、電子の海でもさざ波ができています。物理学の基礎として習う量子力学が教えるところの電子の波動性を直接見ていることになります。画像中央やや右上の小さな領域では、さざ波が同心状にひろがっており、まるで小さな池に蛙が飛び込んだときの波紋のようです。周囲の境界がポテンシャル障壁となって電子を反射し閉じ込めているわけで、まさに量子力学の演習問題を具現していることになります。

上に示した例は、電子が2次元的に自由に右往左往できる状態で見られるさざ波でした。それでは、電子が一方方向にしか動けない場合 (1次元自由電子系) ではどうなるのでしょうか? シリコン結晶表面上に、今度はインジウム原子を一原子層分だけ付着させると、インジウム原子が一方方向にだけ鎖状に並ぶことが知られています。電子はその原子鎖に沿う方向にしか動けません。このような試料を62 Kの低温に冷やしてSTM観察した結果が第2図です。右上がりのストライプが多数走っていますが、このストライプの各々の列が上述のインジウム原子の鎖一本一本に対応します。おもしろいことに、ストライプのほとんどの列には等間隔の縞模様が見えています。なかには、縞模様がよく見えない列もありますが。この縞模様こそが、ストライプに沿って動いている電子が作る定在波であり、1次元金属系に特有な電荷密度波と呼ばれているものです。細いパイプの中の水が波立ったら、多分このような縞模様になるのではないのでしょうか。インジウム原子鎖内の電子は隣の列にとび移れず、各々の列に沿ってしか動けないので、隣の列との間であまり連絡がなく、縞模様の位相が列間でずれている箇所も見られます。縞模様がよく見えない列は、さざ波が動いて定在波がゆらいでいるためだと解釈されています。

STM は、原子の世界を手にとるように見せてくれるだけでなく、原子の世界を自由に動き回っている電子の姿もまざまざと見せてくれます。

