



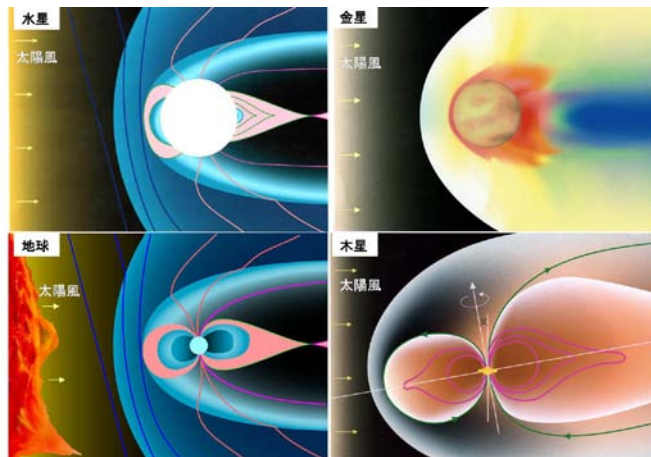
左から 長濱准教授, 荻野教授, 前澤助教, 梅田助教

荻野 瀧樹 教授 Tatsuki Ogino, Prof.  
長濱 智生 准教授 Tomoo Nagahama, Assoc. Prof.  
前澤 裕之 助教 Hiroyuki Maezawa, Assist. Prof.  
梅田 隆行 助教 Takayuki Umeda, Assist. Prof.

本研究グループは、スーパーコンピュータを用いた超並列計算機シミュレーションや画像解析処理等の情報学的アプローチにより、ジオスペース及び太陽-惑星系の環境変動を数理的に研究しています。また、地上・気球・衛星等によるスペクトル観測から地球および惑星大気中の微量分子組成の変動を分析して、太陽活動と地球・惑星環境の変動との相互関連について研究しており、工学的方法により観測機器の開発を行っています。各教員は他の研究グループと協力して太陽地球系科学の研究を進めるとともに、大学院工学研究科の学生の指導を担当しています。

### コンピュータシミュレーションによる ジオスペース環境の研究

太陽から放出されたプラズマ流(太陽風)や惑星間磁場(IMF)に依存して、地球・惑星磁気圏がどのように変化するか、即ち、どのように、かつどれだけプラズマとエネルギーが流入して、どのような形態で蓄えられるのか、そしてどのような原因で蓄積されたエネルギーが解放されるのかを、スーパーコンピュータを用いた計算機シミュレーションにより研究しています。実際問題として、太陽の息づきによる太陽風とIMFの変動によって、地球磁気圏の応答も絶えず変化しますが、このように現実には非常に複雑であり、人工衛星の障害など、我々の生活にも影響を与える可能性があります。このような中で、太陽風-地球磁気圏相互作用の3次元電磁流体力学的(MHD)シミュレーションは、国際協同で開始された「宇宙天気」研究の一環として行われるようになってきました。

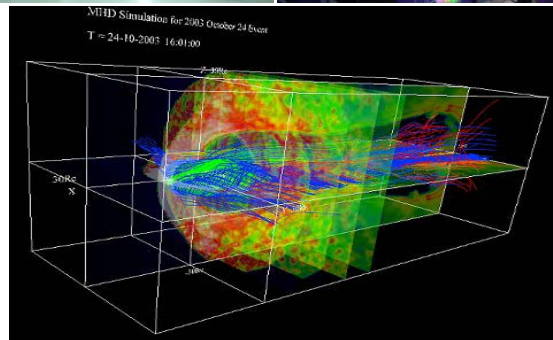


太陽風と種々の惑星電磁圏相互作用の概観図

宇宙天気研究では、太陽地球環境を時々刻々モニタリングしてその変化を実時間で把握してその因果関係を理解すると共に、宇宙天気予測の実用に耐えるような信頼性の高いシミュレーションモデルの構築が要請されていますので、私達もスーパーコンピュータ用の並列計算3次元MHDコードを開発して、太陽風とIMFの極端な条件下で発生する大規模磁気嵐などの高精度シミュレーションを実施しています。

一方、本研究グループでは、地球環境のみならず、木星や土星、あるいは太陽系外の惑星の磁気圏についても、3次元グローバルMHDシミュレーションを用いた研究を行い、他の惑星との比較を通して私たちの住む地球を理解しようとしています。

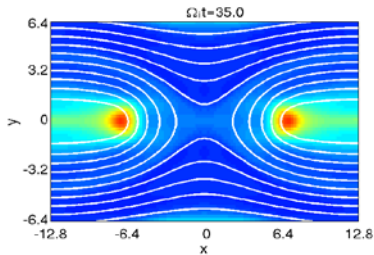
コンピュータシミュレーションは名古屋大学情報基盤センターのスーパーコンピュータ(下図上左)を用いて行っています。シミュレーション結果は、太陽地球環境研究所のヴァーチャルリアリティ装置(下図上右)を用いて3次元立体として可視化します。



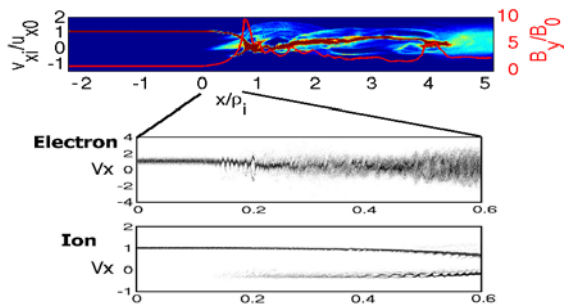
(上左) 情報基盤センターのスーパーコンピュータ  
(上右) ヴァーチャルリアリティ(3次元可視化)装置  
(下) 地球磁気圏 MHD シミュレーションの3次元可視化結果

# 宇宙情報処理グループ

MHD コードは太陽風-磁気圏相互作用などの巨視的現象を扱うのに対して、宇宙空間を満たすプラズマの運動論的な現象を解くコードはプラズマ波動-粒子相互作用、粒子加速や加熱などの微視的現象を扱います。プラズマ波動現象および粒子加速・加熱過程は地球磁気圏の巨視的な変化と互いに密接に関わっており、流体的(巨視的)スケールと運動論的(微視的)スケール間の相互作用を十分に理解する必要があります。本研究グループでは、運動論コードを用いた微視的・巨視的現象の研究とともに、異なる時空間スケールの現象を自己無頓着に解くことができる全く新しいシミュレーションの研究開発も行っています。



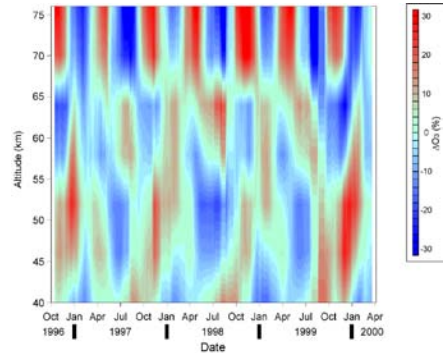
(上) 磁気リコネクションの2次元プラソフシミュレーション  
(下) 垂直衝撃波の2次元粒子シミュレーション



## 大気微量分子の分光観測データの解析手法の研究

地球大気のはほとんどは窒素分子と酸素分子で構成されていますが、それ以外のわずかに存在する分子(微量分子)も重要な役割を果たしています。たとえば地球温暖化問題では大気中に0.04%程度しかない二酸化炭素の増加が大きく影響していますし、紫外線を吸収することで熱源となって成層圏を作る役割を担っているオゾンはずかに数 ppm(百万分の一)しか存在しませんが、これらの微量分子の増減は私たちの生活に大きな影響を与えます。したがって、大気中の微量分子の変動を把握し、そのメカニズムを理解することは非常に重要です。

大気微量分子を観測する方法の一つとして、可視光や赤外線、電波などの光を分光して大気のスเปクトルを取得し、スเปクトル上での微量分子による吸収や放射の量からその濃度を求める分光観測法があります。この方法は原理が簡単なことから多くの地上観測ネットワークや人工衛星で用いられていますが、そのデータ解析手法は観測目的により様々です。そのなかで私たちは、地上観測装置で得られる高分散の分光スเปクトルから大気微量分子の濃度を高度別に精度良く推定する手法の研究を行っています。この手法は一般的には逆問題と呼ばれ、原理は医療用CTスキャンなどの解析法と同じものです。また、この手法は地球だけでなく他の惑星についても適用することができます。惑星の場合は、地球大気とは別の条件下で最も良い推定を与える手法が必要となります。現在、日本でも地上大型望遠鏡や惑星探査衛星の計画が進行中で、私たちはこれらを使った観測から惑星大気の3次元的



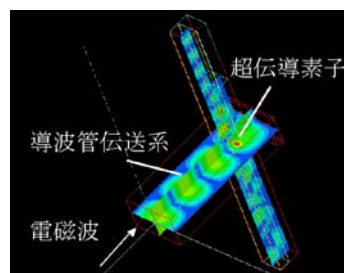
つくばミリ波分光計のデータ解析から得られた成層圏・中間圏オゾンの時間変動で、年平均値からのずれで色分けしている。(観測データは国立環境研究所による)

な運動やそこでの化学反応過程についての基礎データである微量分子の分布を得るためのデータ解析手法について研究を進めています。

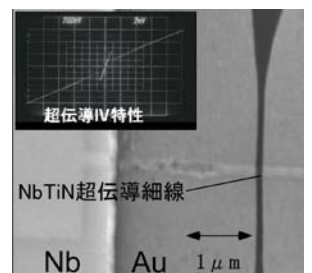
## 超高感度ヘテロダイン検出素子の研究・開発

地球大気や宇宙空間に存在する微量分子ガス成分はミリ波～サブミリ波帯で極めて微弱なスเปクトルを放射します。この微弱な電波をヘテロダイン検出するために、超伝導 SIS(Superconductor-Insulator-Superconductor)接合を集積したミキサ素子の研究開発も行っています。この素子は、フォトン・アシステッド・トンネリングと呼ばれる現象を応用したもので、量子雑音に迫る超高感度性能を有します。私達はこの SIS ミキサ素子内部の電磁波伝送・同調回路などを高周波電磁界シミュレータや理論計算により設計を行っています。そして国立天文台のクリーンルームのデバイス製造ライン(露光装置・スパッタ製膜装置など)を利用して、設計に基づき超伝導薄膜などを何層も積層し実際に素子を製作しています。観測装置の心臓部である検出器を、目的に合わせて自分達で思いのままに改良・開発できることは、独自の大気環境計測を展開する上で大変重要な役割を果たしています。

分子によってはテラヘルツ波帯(1000  $\mu\text{m}$  ~ 30  $\mu\text{m}$ )に放射スเปクトルをもつものもあります。この周波数領域になると超伝導電子は電磁波を吸収して破壊されてしまうため、従来のニオブ(Nb)超伝導薄膜を応用した SIS 素子はミキサとして機能しなくなります。そこで私達は高い周波数に対しても耐性のある金属系超伝導化合物(NbTiN, MgB<sub>2</sub> など)の薄膜形成や物性制御に関する基礎研究も行っています。そして、こうした新しい素材を応用しながら、電子走査線描画システムによるナノテクノロジーを駆使して、東京大学の研究グループと共同でホットエレクトロン・ボロメータ・ミキサ(HEBM)と呼ばれる次世代の THz 帯ヘテロダイン検出素子の開発研究を進めています。



高周波電磁界シミュレータによる超伝導ミキサ素子の設計



HEBM の NbTiN 超伝導細線の SEM 画像と素子の電流-電圧特性