

惑星ラボからこんにちは！ その10 ～北海道大学・低温科学研究所 宇宙物質科学・低温ナノ物質科学グループ～

木村 勇気¹

1. 宇宙物質科学・低温ナノ物質科学グループについて

北海道大学内には、宇宙理学専攻や地球惑星科学専攻にも日本惑星科学会の会員が多く在籍していますが、ここでは低温科学研究所の二つの惑星ラボからなるグループを紹介します。当グループは、2023年に宇宙雪氷・宇宙物質科学グループから、宇宙物質科学・低温ナノ物質科学グループへと移行し、新しいサイエンスも展開しています。

当グループの教員メンバーは、渡部直樹(星間化学, 原子分子物理学, 表面科学), 木村勇気(結晶成長, ナノ領域科学, 宇宙鉱物学), 大場康弘(宇宙地球化学), 山崎智也(結晶成長, ナノ領域科学, 電子顕微鏡), 日高宏(星間化学, 表面化学, 原子分子物理学), 柘植雅士(物理化学, 表面化学, 星間化学)の6名です。その出身は物理, 化学, 地学と幅広く、括弧内の専門分野からも多分野にわたる研究者から構成されていることが分かります。ここに、ポストドク, サポートスタッフ, 学生を加えて、今年のメンバーは計16名です。

我々教員は理学院の宇宙理学専攻にも所属しています。学部には所属がありませんので、当グループでは学部生は配属されません。そのため、学生のほとんどが学外からきています。このような背景により、当グループは、教員、ポストドク、学生の順で人数が少なくなっていくという特徴があります。おそらく、一般的な大学の研究室とは逆の人員構成になっています。この構成は、学生にとっては研究指導が受け

やすく、多分野の研究者から異なる視点のコメントをもらったり、議論したりすることができるなどのメリットがあります。逆に、苦楽を分かち合える同年代が少ないという寂しさを感じる学生もいるようです。

当グループの研究目標は、氷表面や界面の構造と物理化学的特性、宇宙の低温環境における種々の物理過程、低温凝縮物質の物理化学特性を実験的に明らかにすることを中心に、小惑星リターンサンプル(Ryugu, Bennu)や炭素質隕石の磁場や有機物の分析など、幅広く研究を展開しています。次の章では、その一端を紹介します。

2. 研究紹介

我々は、宇宙空間や地球・惑星大気で生じる原子・分子～ナノスケールのミクロな物理・化学現象素過程を様々な実験手法で研究しています。特に、宇宙空間の低温領域や地球高層大気に存在するH₂O固体(氷)微粒子に着目し、そこで起こりうる物理・化学プロセスを中心に調べています。

氷微粒子は地球のみならず広く宇宙に遍在しており、その表面では地球惑星科学的に重要な様々な化学・物理プロセスが生じています。なかでも、星・惑星誕生以前の極低温領域(分子雲: T ~10 K)に存在するアモルファス氷微粒子(氷星間塵)表面では、極低温特有の原子トンネル反応が宇宙の始原分子(H₂, H₂O, CO₂)や有機分子の生成・進化・同位体分別に極めて重要な役割を果たしていると考えられています。また、原子トンネル反応などの、光やイオンが介在しない(非energetic)極低温氷表面での反応は、化学・物理の分野でも研究例は限られており、広い

1.北海道大学低温科学研究所
ykimura@lowtem.hokudai.ac.jp

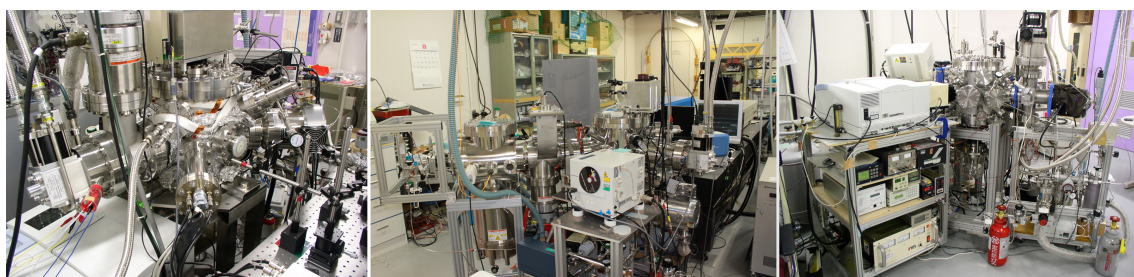


図1: 表面反応実験装置の例. それぞれ特徴が異なる装置が9台あります.

分野に跨るフロンティアな課題として、当グループが世界を牽引しています. 表面科学的な実験手法を用いて氷表面での反応を包括的に調べたり、電子顕微鏡や走査顕微鏡を用いてナノメートルサイズの微粒子(宇宙塵など)の生成過程や氷の表面構造・内部構造などを調べたりすることを通して、その地球惑星科学、および天文学の諸課題を解決することを目指しています.

新しいサイエンスを切り拓くには、新しい実験装置が欠かせません. 当グループでは、独自の実験装置を立ち上げて研究を行ってきています. そこで、以下に主要な実験装置を取り上げることで、研究を紹介したいと思います.

・表面反応実験装置

表面反応実験は図1に示すような超高真空実験装置を用いて行われます. 装置内は 10^{-8} – 10^{-6} Pa程度の超高真空に保たれ、冷凍機によって10 K程度まで冷却可能な基板が中心に設置されています. 基板には H_2O 等のガスを蒸着し、試料固体を作製します. 試料には原子線、紫外線などが照射出来るようになっています. 試料固体はフーリエ変換型赤外分光光度計によってその場観測され、真空中に脱離してきた分子は四重極質量分析計や波長可変レーザーによって分析されます.

・宇宙塵模擬物質生成装置

宇宙塵と同様にガスからナノ粒子を生成することができる実験装置を作って、その生成過程をレーザー干渉計や赤外線を用いて調べています. 干渉計ではナノ粒子が生成する際の原子や分子の付着確率と表面自由エネルギーを決定でき、赤外線で結晶

構造を知ることができるため、液滴や準安定相を経由するなど、多様な核生成過程に迫ることができています. また、宇宙物質の生成過程を理解するには宇宙で実験する必要があると考え、航空機やロケットを使った微小重力実験も行っています.

・特徴的な顕微鏡装置

当グループには、他にはない特徴的な顕微鏡が3台あり(図2)、4台目を構築中です. 超高真空極低温透過電子顕微鏡は、極低温基板上に氷を制御して作り、紫外線を当てたり、 H_2O 氷を基板としてその上にCOなどの他の分子氷を作ったりすることで、分子雲内での氷粒子の形成過程を明らかにしてきています. フルイド反応透過電子顕微鏡は、水溶液中の反応を加熱、冷却、光照射条件下で観察することができ、小惑星内で起こる水質変質や結晶化の過程をナノスケールでその場観察しています. 超高真空極低温原子間力顕微鏡は、これまで想像することしかできなかった、分子雲内の宇宙塵の上に形成する氷の形態に迫っています. 最近では、これら3台の顕微鏡と比べて高温高圧環境を作ることができる、低真空低温走査電子顕微鏡を構築し始めています.

3. 教育と研究テーマ

大学院生には当グループが行っているいくつかの研究テーマの中から、興味のあるものを選択してもらい、スタッフと協力して実験を進めてもらいます.

実験は超高真空、極低温、電子顕微鏡、原子間力顕微鏡などの最新の技術を用いて行いますが、実験初心者の方も、大学院修了時までに最先端の実験技術を習得できるように指導します. 入学時にはPC



図2: 当グループが構築した3台の特徴的な顕微鏡:(左)超高真空極低温透過電子顕微鏡, (中)フルイド反応透過電子顕微鏡, (右)超高真空極低温原子間力顕微鏡.

を含め, 特別な技術は要求しません. 大学4年次で理論系の研究室に所属していても, 実験が好きであれば問題ありません. 宇宙における原子分子レベルのミクロな物理・化学プロセスに興味のある方, 星間空間や太陽系における化学進化に関する実験をしたい方, 氷ナノ粒子やその固体表面における化学・物理素過程に興味がある方など, 出身学科によらず歓迎いたします.

初めの数ヶ月はスタッフの指導のもと実験に慣れてもらいます. 独力で装置の運転ができるようになって

後は, 問題のない範囲で自由な時間に実験ができるようになります. 現在は, 平均すると2週に1回程度, 実験の進捗や関連分野の最新の論文を紹介するセミナーを行っています.

研究室ウェブページ:

<https://www2.lowtem.hokudai.ac.jp/astro/>

連絡先: ykimura@lowtem.hokudai.ac.jp

著者紹介

木村 勇気



北海道大学低温科学研究所教授. 立命館大学理工学研究科物質理工学専攻博士後期課程修了. 博士(理学). 学術振興会海外特別研究員としてNASAゴダード宇宙飛行センター, 東北大学大

学院理学研究科地学専攻助教, 北海道大学低温科学研究所准教授などを経て, 2023年3月より現職. 専門は, ナノ領域科学・結晶成長学. 日本物理学会, 日本結晶成長学会, 日本顕微鏡学会, 日本惑星科学会などに所属. 国際結晶学連合代議員, 日本結晶成長学会理事などを務める.