

原子状酸素地上シミュレーション

神戸大学大学院工学研究科 機械工学専攻 宇宙材料研究グループ★
准教授 田川雅人、助手 横田久美子



有人宇宙機が周回する高度200-500 kmの低地球軌道(LEO)では、酸素分子は太陽の紫外線によって解離し、基底状態の原子状酸素($O(^3P)$)となっています。原子状酸素は高度100-800 km程度の地球高層大気の主成分です。極地で見られる美しいオーロラは原子状酸素と地磁気に捕獲された荷電粒子との衝突による発光現象です。国際宇宙ステーション(ISS)が周回する高度400 km程度では、原子状酸素の密度は 10^9 atoms/cm³程度ですが、宇宙機の軌道速度(秒速7.4 km)が大きいため、宇宙機前面(RAM面)への流量は 10^{14} atoms/cm²/sに達し、多くの化学反応が誘起されます。多くの高分子材料では1 μ m/dayにも達する急激なエッチング現象が観察され、シャトルグロと呼ばれる発光現象も観察されます。また、このような中性ガス分子との衝突は宇宙機にとって大気抵抗となり、衛星の高度低下の大きな要因ともなります。このLEOにおける原子状酸素と宇宙用材料との軌道上での化学反応条件をまとめると以下のようになります。

大気組成: O (90%) + N_2 (10%)
電子状態: $O(^3P)$
衝突速度: 7.4 km/s (衝突エネルギー4.5 eV、半値幅1.7 eV)
衝突方向: RAM方向
フラックス: 10^{14} atoms/cm²/s
紫外線: 太陽紫外線 (昼間のみ)

このうち、原子状酸素フラックスは軌道高度、緯度、季節、太陽活動等の条件で大きく変動します。

原子状酸素と宇宙用材料の相互作用に関する研究には、相対衝突速度7.4 km/sを再現するために、高出力レーザーによる粒子加速実験が行われます。実際にこのレーザーデトネーション装置を用いて、原子状酸素を高分子材料に照射した場合、shag carpet structureと呼ばれる独特の表面形状を宇宙同様に再現できることが知られており、これまで低軌道原子状酸素環境の地上シミュレーション方法として、日米欧の宇宙機関 (ESTEC, JAXA) 等で広く用いられています。本研究グループでは、世界で唯一レーザーデトネーション型宇宙環境模擬実験装置を2式所有しており、原子状酸素と宇宙用材料の反応について研究を行っています。

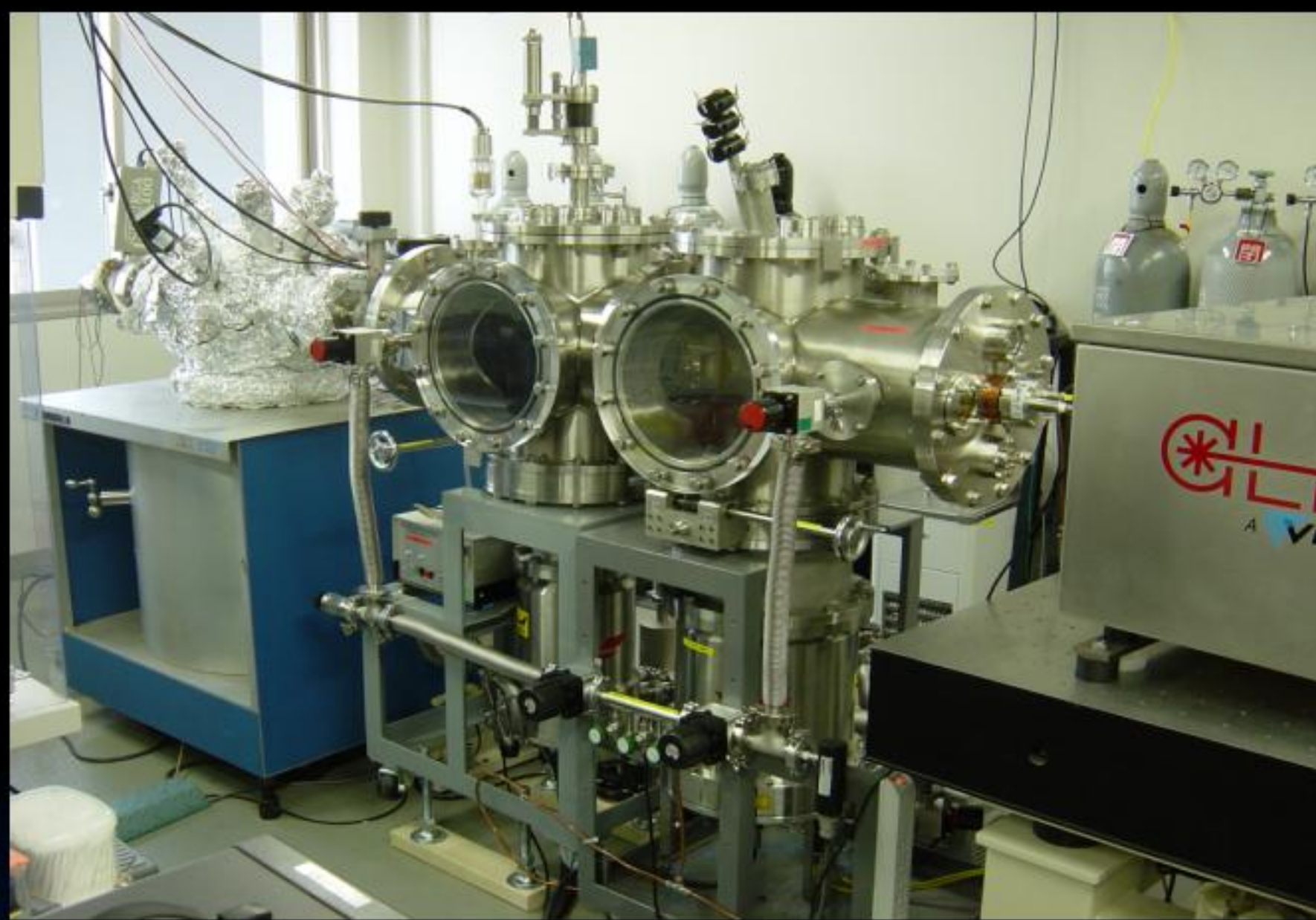
レーザーデトネーション法を用いた場合の地上実験室での原子状酸素照射条件は以下のようになります。

ビーム組成: O (50-90%) + O_2 (balance)
電子状態: $O(^3P)$
平均速度: 7.4 km/s (衝突エネルギー4.5 eV、半値幅5 eV)
衝突方向: 開き角10度のビーム
フラックス: 10^{14} atoms/cm²/s (ただし、パルスビーム)
紫外線: 酸素プラズマに起因
イオン: 1%以下

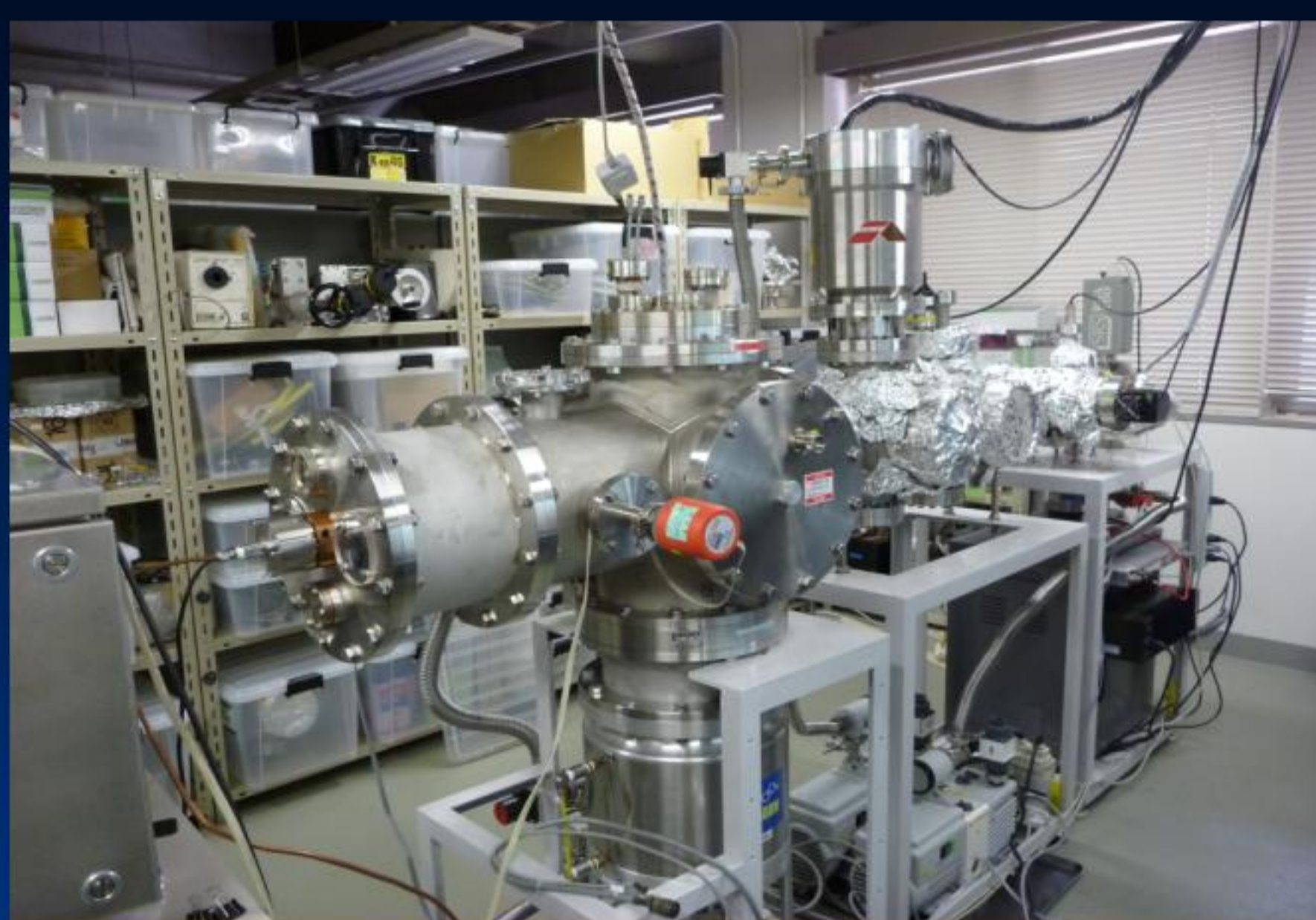
これらの条件を比較した場合、宇宙における反応場を比較的良く再現していることがわかります。

しかしながら、地上試験における原子状酸素照射条件は、いくつかの点で実宇宙環境とは条件が異なります。たとえば、原子状酸素並進エネルギー分布幅、酸素分子の存在、高エネルギーイオンの存在、紫外線のスペクトルと強度、パルスビーム (瞬間的な原子状酸素密度の増大) などです。

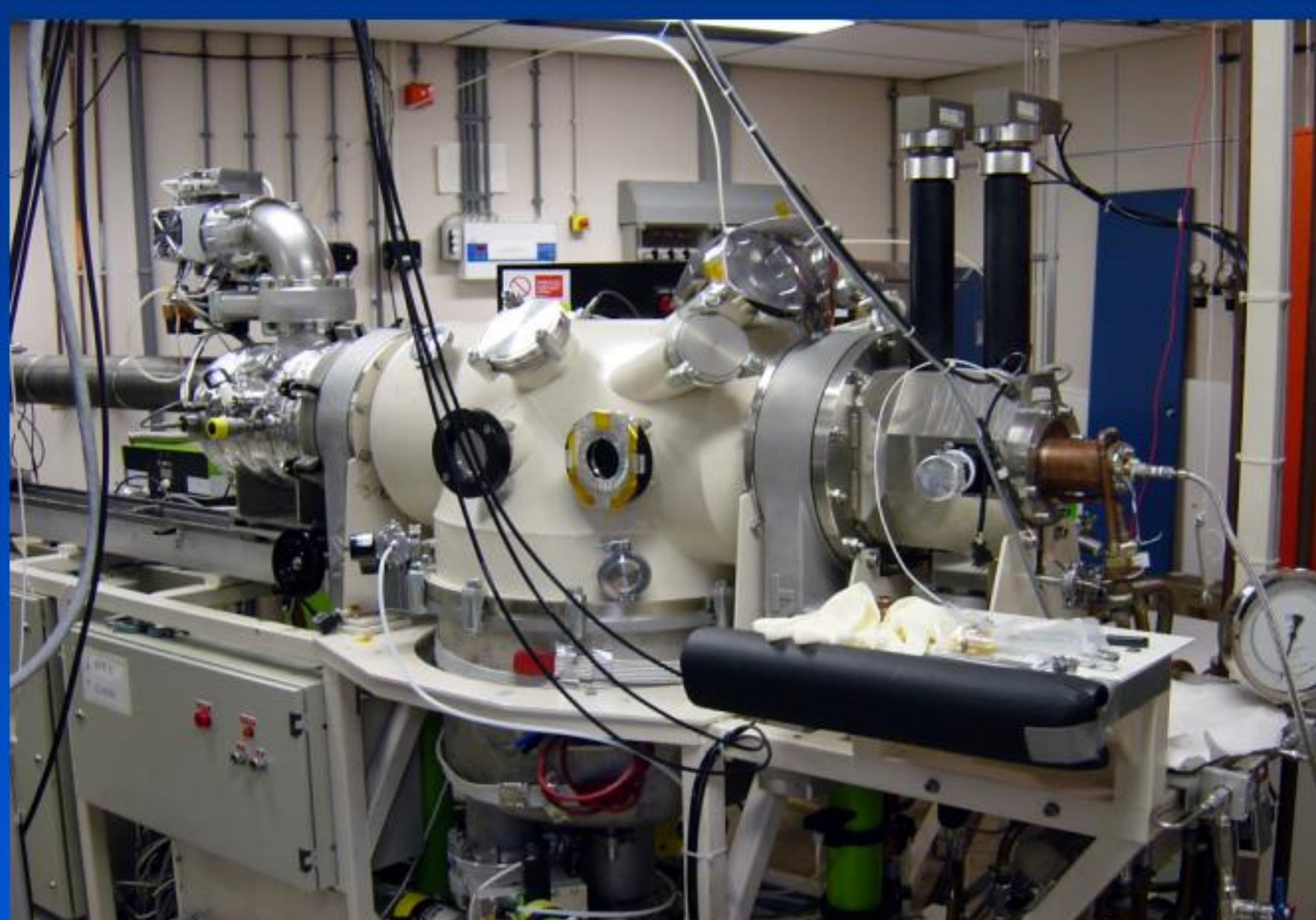
これら実験条件の差異は、今まであまり省みられてきませんでした。最近の研究で、これらの実験条件の差異が特定材料における原子状酸素の化学反応に大きな影響を与えていることがわかってきました。このような宇宙環境と地上実験の質的な差異を考慮に入れることが、定量的な宇宙環境シミュレーションのためには重要なポイントなのです。本研究グループでは定量的な原子状酸素シミュレーションを実現するための方法を研究しています。



Kobe Univ. (Japan)



Kobe Univ. (Japan)



ESA/ESTEC (Netherlands)



Montana State Univ. (USA)



JAXA (Japan)

*正式な研究グループ名ではなく、有志による研究グループです。