

注意点

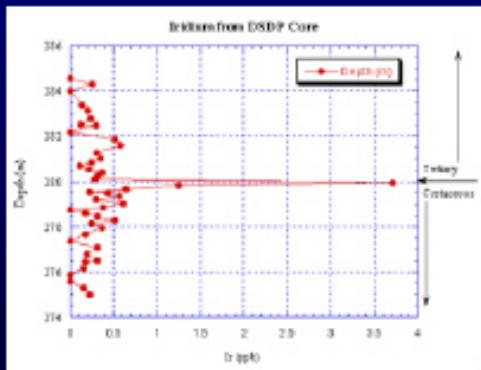
- ☞ 空隙率の問題
 - ☞ シアバンドによる局所加熱の問題
 - ☞ 粘性加熱の問題
 - ☞ 電子比熱の問題
- ◆ 実際の衝突実験を重ねる必要がある。

レーザー照射実験を使った応用例

- ・衝突蒸気雲内の化学反応の解析例

地球史・惑星史における天体衝突の役割

- 生命の起源と進化
 - K/T絶滅事件



Huffman et al. (1990) GSA Sp

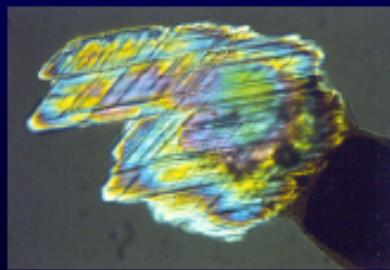
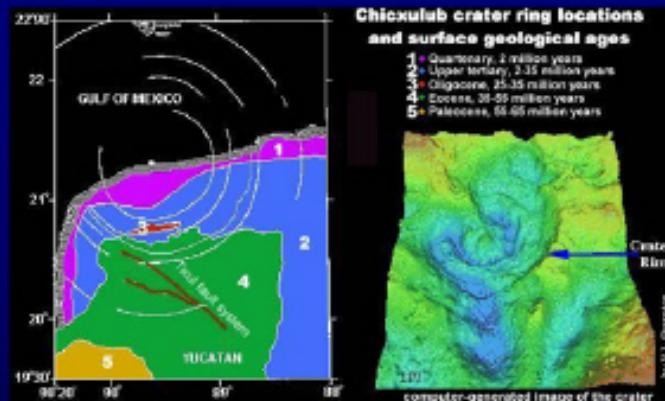
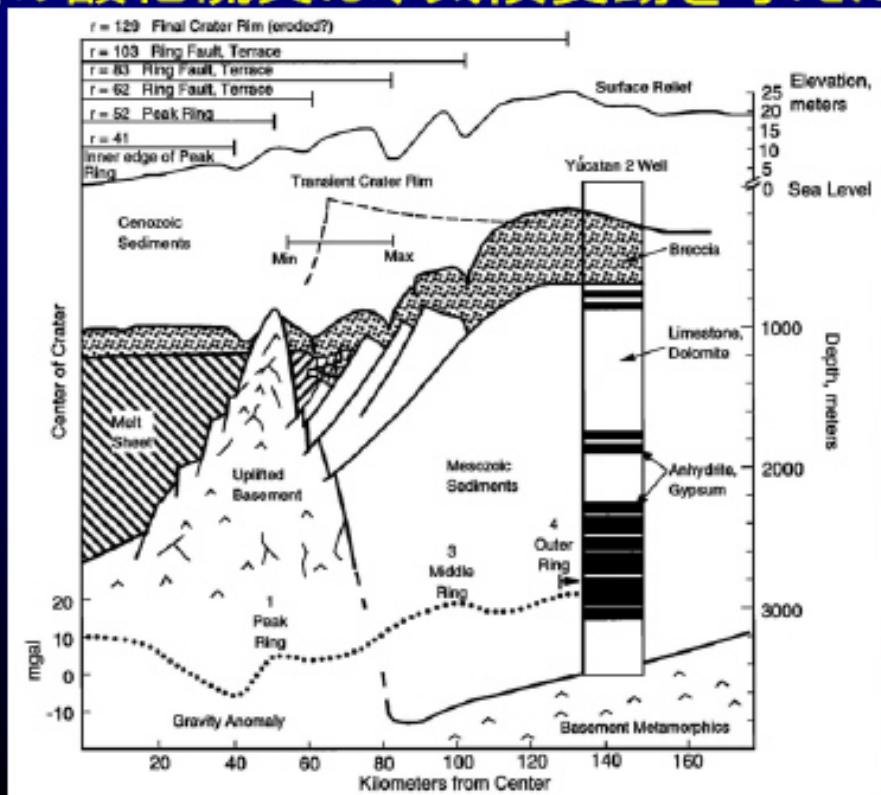


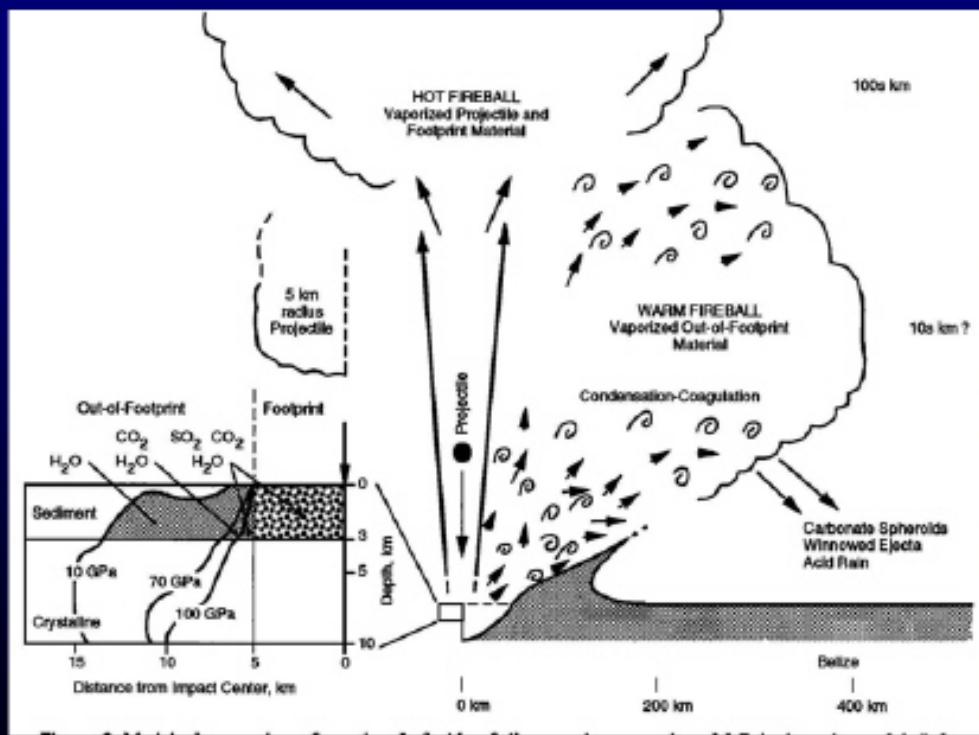
Photo by Izett

- ・Irの発見 (Alvarez et al., 1980)
- ・衝撃変成石英の発見(Bohor et al., 1984)
- ・クレーターの発見(Hildebrand et al., 1991)
- ・衝撃メルトのK/T層の年代一致(Swisher et al., 1992)

- K/Tクレーターの地下には大量のCaSO₄が眠る
- 脱ガスの地質記録あり(ハイチガラス)。
- 大量の酸化硫黄は、気候変動を与えたはず。

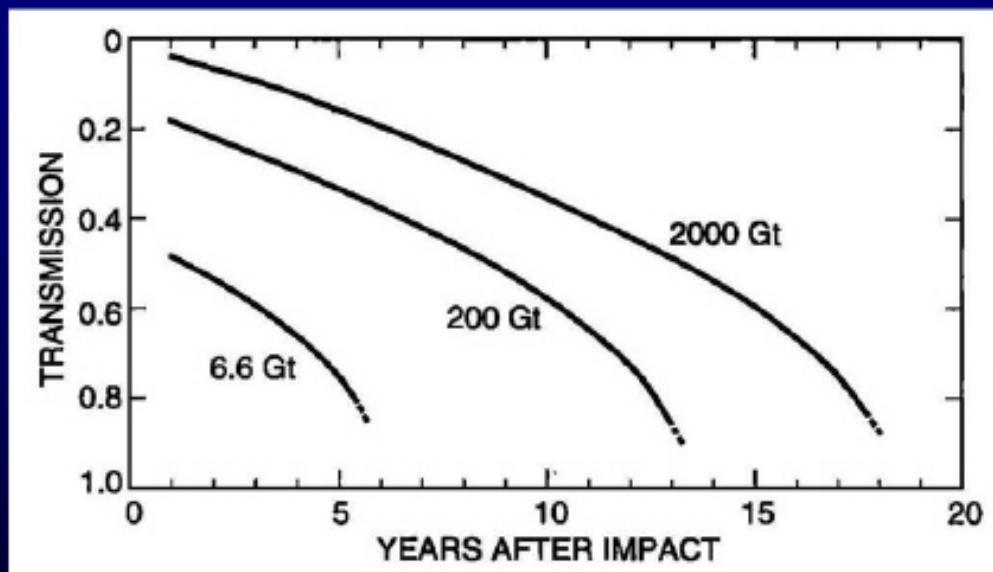


蒸気雲としてSO_xは大気上層に



Pope et al. (1997)
JGR

火山ガスからの類推からは、SO₂が長期以降変動を起こすことが予想される。

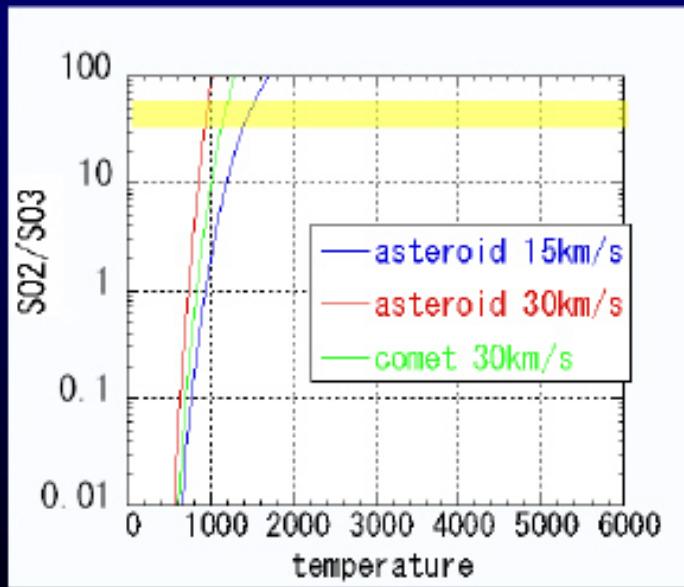


Pope et al. (1997)
JGR

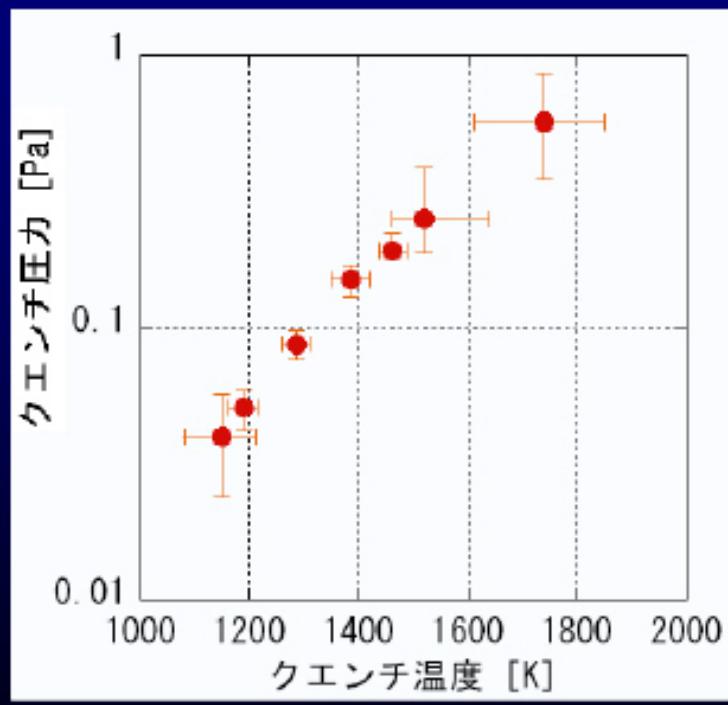
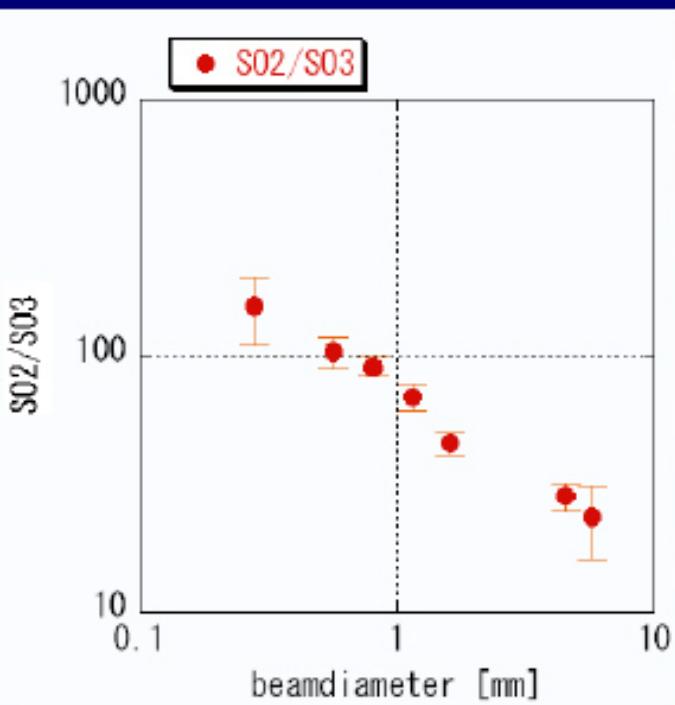
- $\text{SO}_2 + 1/2\text{O}_2 + h\nu \rightarrow \text{SO}_3$ (遅い反応)
- $\text{SO}_3 + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{H}_2\text{SO}_4 \downarrow$ (エアロゾル化)
- 成層圏での長期間滞留

蒸気雲からの放出ガスは本当にSO₂なのか？

- 熱力学的には、低温でSO₃が安定。



レーザー照射実験の結果



K/T事件における硫酸エアロゾルの重要性

衝突地点付近には多くのanhydrite (CaSO_4) が存在

→ 衝突時に大量の硫黄酸化物が大気中に放出

→ 環境への擾乱 = 絶滅機構として有力

主に SO_3 として放出 [衝突蒸気雲の実験的研究、Ohno et al., 2004等]

→ 大気中で直ちに硫酸エアロゾルを形成

- 硫酸エアロゾルが長期間(～数年)大気中に留まる
 - 太陽光を遮り、表層環境は寒冷化
- 硫酸エアロゾルが短期間のうちに落下
 - 寒冷化は起こらない (硫酸の酸性雨)

硫酸エアロゾルの大気中滞留時間

先行研究（理論計算）

滞留時間～数ヶ月 [Pope et al., 1994]、～1年以上 [Pierazzo et al., 2003]

硫酸エアロゾルのみを仮定

→粒子の合体・成長・沈降を計算 他の粒子との相互作用を考えた例はない

実際には、シリケイト粒子の方が圧倒的に多かった

シリケイト粒子：衝突蒸気雲中の再凝縮物等

= 衝突地点から遠方のK/T境界層の主要構成物

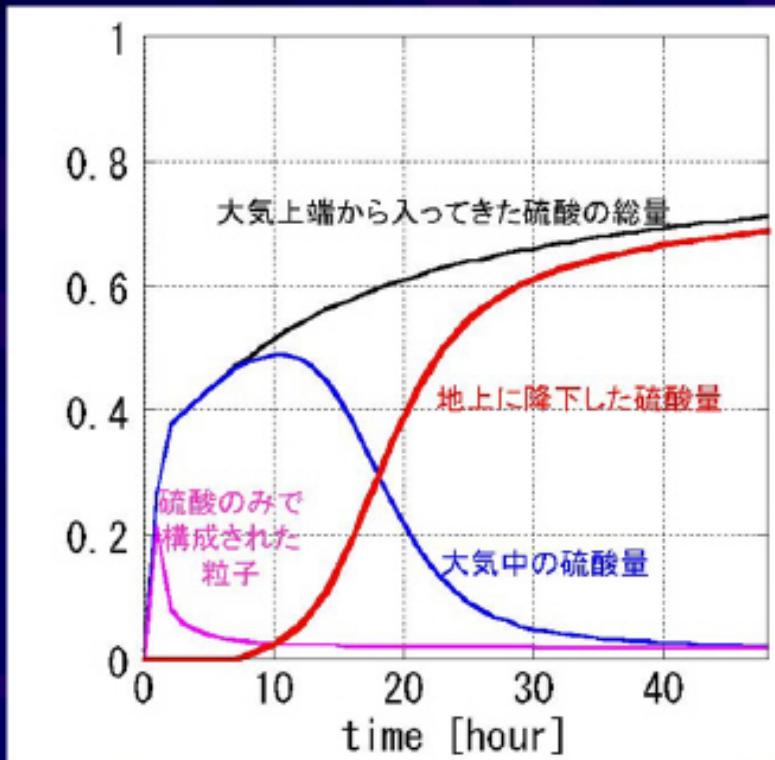
シリケイト総量 ($\sim 10^{16}$ kg) 硫酸、硫黄酸化物の総量 ($\sim 10^{14}$ kg)

硫酸エアロゾル量の時間変化

■ シリケイトとの付着
=数時間以内

■ 地表に落下する量
・一日後 ~50%
・二日後 ~70%

硫酸エアロゾルの初期高度の方が高くても洗い流しは起こる



Ohno et al. (2006)

硫酸雨による海洋表層の酸性化

- ・強い硫酸雨が降る継続時間 ~数日程度
- ・特徴時間: τ_{fall} (~数日) $\ll \tau_{gas_ex}$ (~100 日)

τ_{fall} : 強い硫酸雨の降る継続時間

τ_{gas_ex} : 大気 \leftrightarrow 海洋表層混合層のガス交換の特徴時間

大気・海洋表層間のCO₂ の溶解平衡が達成されない

- ➡ 海洋表層での炭酸緩衝系が著しく弱められる
- ➡ 表層の海水のpHと炭酸イオン濃度が低下

海洋表層中の CO_3^{2-} 濃度の時間発展

- 我々が求めた硫酸降下量フラックスを用い、 CO_3^{2-} 濃度を推定

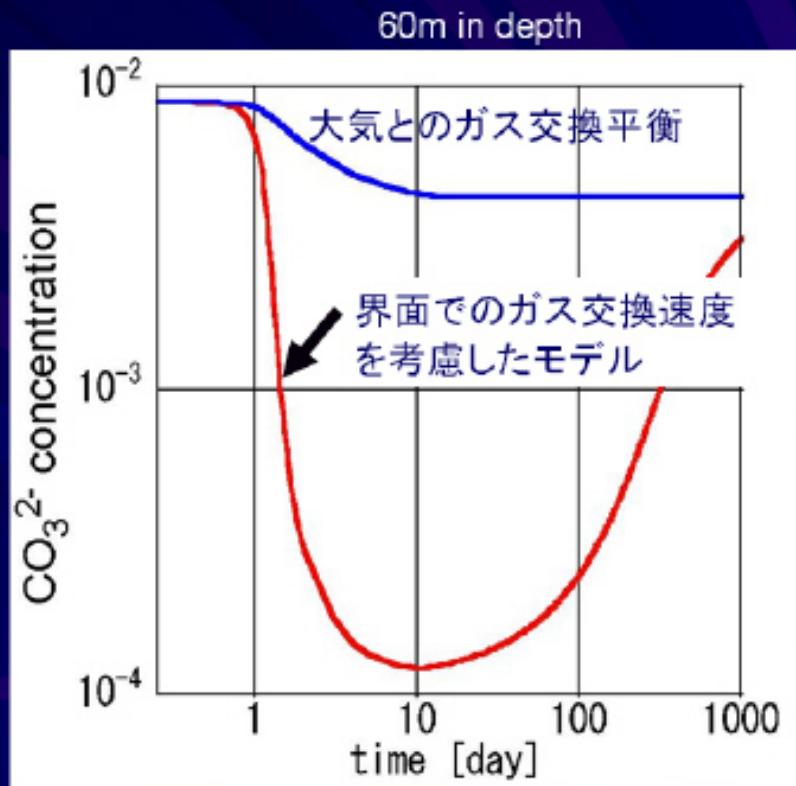
考慮したプロセス

- ・海洋中の拡散

$$\tau_{\text{mix}} \sim 2 \text{ 日}$$

- ・大気とのガス交換

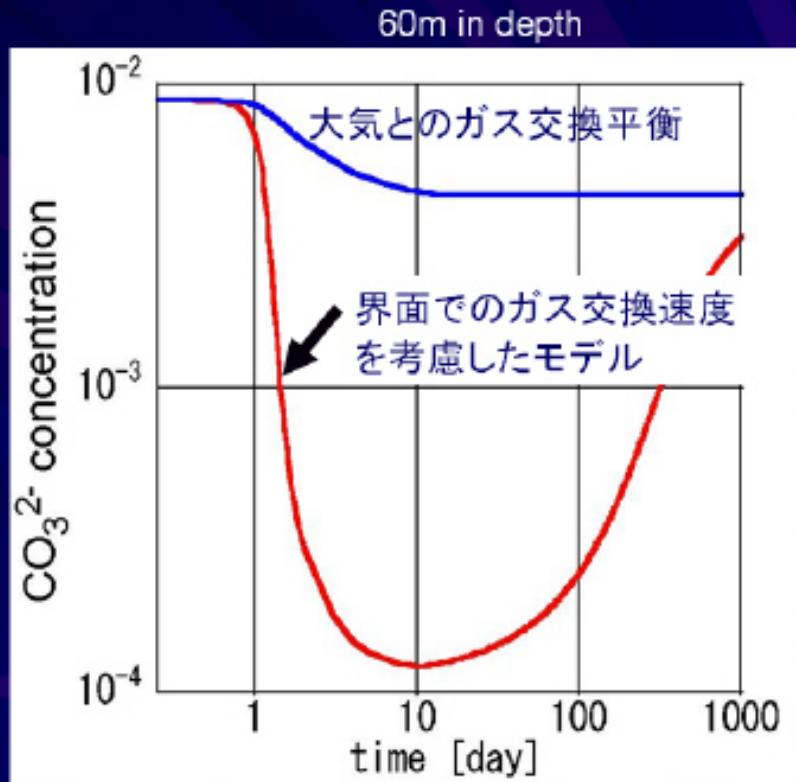
$$\tau_{\text{gas_ex}} \sim 100 \text{ 日}$$



Ohno et al. (2006)

海洋表層中の CO_3^{2-} 濃度の時間発展

硫酸の降下が早いため
 CO_3^{2-} 濃度は大気と
平衡になる場合と比べ、
圧倒的に小さくなる

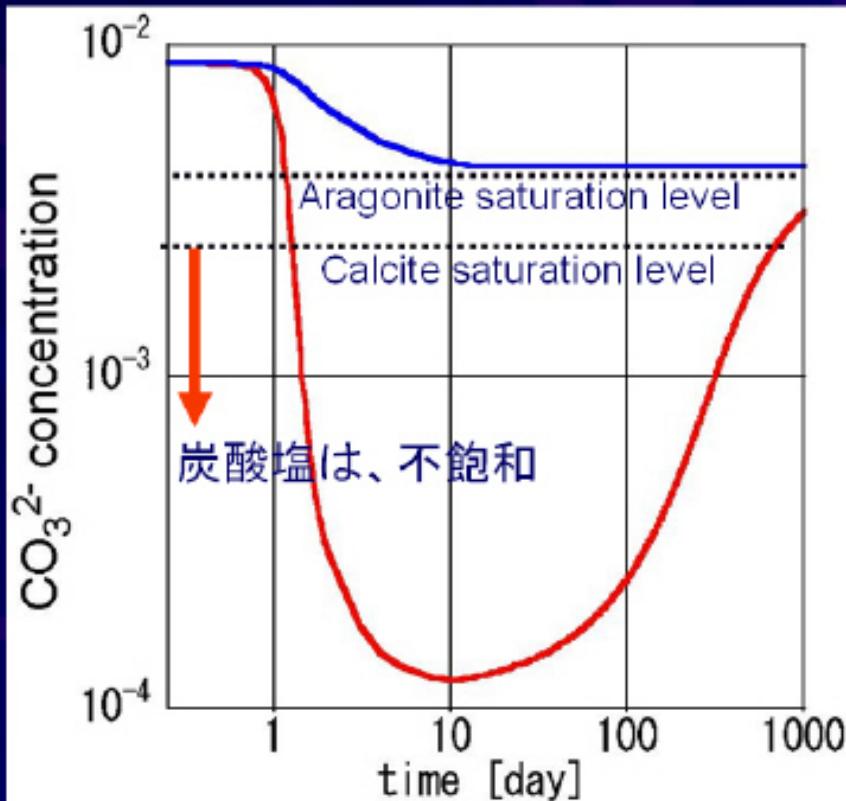


Ohno et al. (2006)

CO_3^{2-} 濃度：炭酸塩の溶解度との比較

大気と平衡になる場合
炭酸塩は常に飽和

本研究の結果
炭酸塩は不飽和に
・期間：一年以上
・飽和レベルの約一割



K/T事件における意味

地質記録に残る大量絶滅のパターン：

海洋表層に棲む炭酸塩の殻を持った浮遊性プランクトン
他のプランクトンと比べ圧倒的に高い絶滅率を示す

海洋表層で炭酸塩濃度が一時的に不飽和に？
→ 硫酸の酸性雨説と調和的？

K/T事件における意味

地質記録に残る大量絶滅のパターン：

海洋表層に棲む炭酸塩の殻を持った浮遊性プランクトン
他のプランクトンと比べ圧倒的に高い絶滅率を示す

先行研究 [e.g. D'Hondt et al. 1994] :

大気・海洋表層間のCO₂溶解平衡を仮定

→CO₃²⁻ 濃度はあまり低下せず、炭酸塩に飽和したままだった？

硫酸の酸性雨でK/T事件の大量絶滅のパターンを
説明するのは困難？

K/T事件における意味

地質記録に残る大量絶滅のパターン:

海洋表層に棲む炭酸塩の殻を持った浮遊性プランクトン
他のプランクトンと比べ圧倒的に高い絶滅率を示す

先行研究 [e.g. D'Hondt et al. 1994]:

大気・海洋表層間のCO₂溶解平衡を仮定

→CO₃²⁻ 濃度はあまり低下せず、炭酸塩に飽和したままだった？

本研究の結果:

海洋表層の海水は降ってくる硫酸により酸性化し、

一年以上炭酸塩に不飽和に

硫酸の酸性雨によって、絶滅パターンを説明できる!

実験結果のまとめ

- 硫酸エアロゾルの大気中の滞留時間の見積もり
 - 数日以内にほとんどの硫酸が地上に落下
＝非常に強い硫酸の酸性雨（日射遮蔽 ×）
- 海洋表層の炭酸イオン濃度の見積もり
 - 一年以上にわたり炭酸塩に不飽和
＝海洋生物の絶滅パターンを説明できる

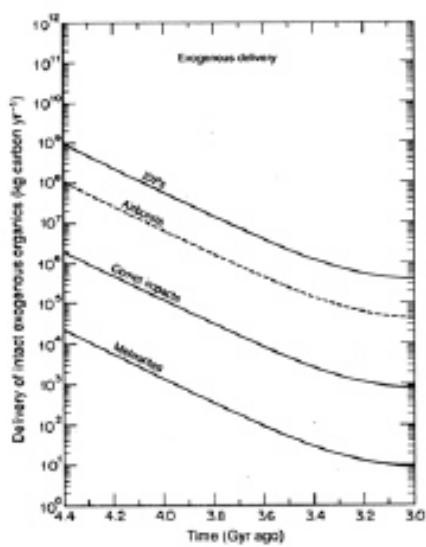
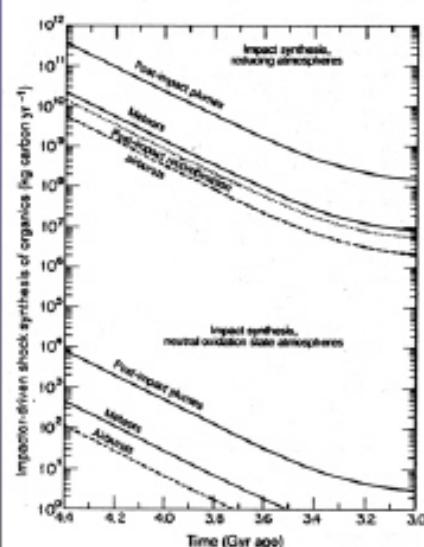
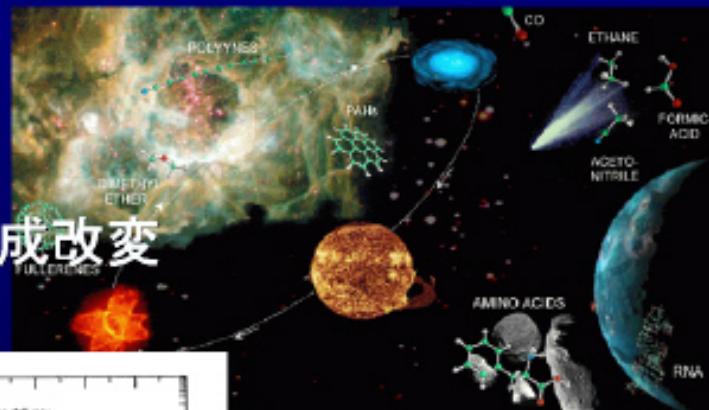
衝撃条件下での有機物の振舞

地球史・惑星史における天体衝突の役割

生命の起源と進化

- 生命の材料物質の供給

- 隕石重撃による大気組成改変



Chyba and Sagan (1992)
Nature

Impact Flash Spectroscopyの弱点

- ・原子化・イオン化された気体のみが解析可能
- ・原子化しやすく、電子励起しやすい金属原子のが観測可能

→ C, H, O, N を主成分とする有機物の動きは観測できない！？

※ 炭素分子は、発光効率が高い！

C_2 は、彗星やガスバーナーでおなじみの色

→ 有機物質の衝突蒸発物の観測の可能性

分子発光

- ・低温分子は赤外発光吸収をする。
- ・同元素分子は発光しない。
 \because 双極子モーメントが0なので
cf. O_2 , N_2 は温室効果を持たない。
- ・電子励起すると対称性が崩れ、双極子モーメントを持つようになり、光との相互作用ができる。
e.g., C_2 ラジカルは強い発光をする。

2原子分子の発光理論

- 放射輝度を $I_\nu(x)$ は、

$$I(\lambda) = B_T(\lambda) \left[1 - \exp\left(-\frac{E_s(\lambda) l}{B_T(\lambda)}\right) \right]$$

ここで B_ν は黒体放射、 E_ν は、

$$E_s(\lambda) = \sum_{J', J'', v, v''} \frac{4\pi^2 c N'}{3(2J'+1)\varepsilon_0 \lambda_c^4} \left| Re(\tilde{r}_{v, v''}) \right|^2 q_{v, v''} S_{J' \Lambda'}^{J'' \Lambda'} \phi(\lambda - \lambda_c)$$

で、上側状態分子の数密度 N' は、

$$N' = \frac{N_a d'(2K'+1)}{\mathcal{Q}(T)} \exp\left\{-\frac{hc}{kT} (E_e' + G'(v') + F'(K'))\right\}$$

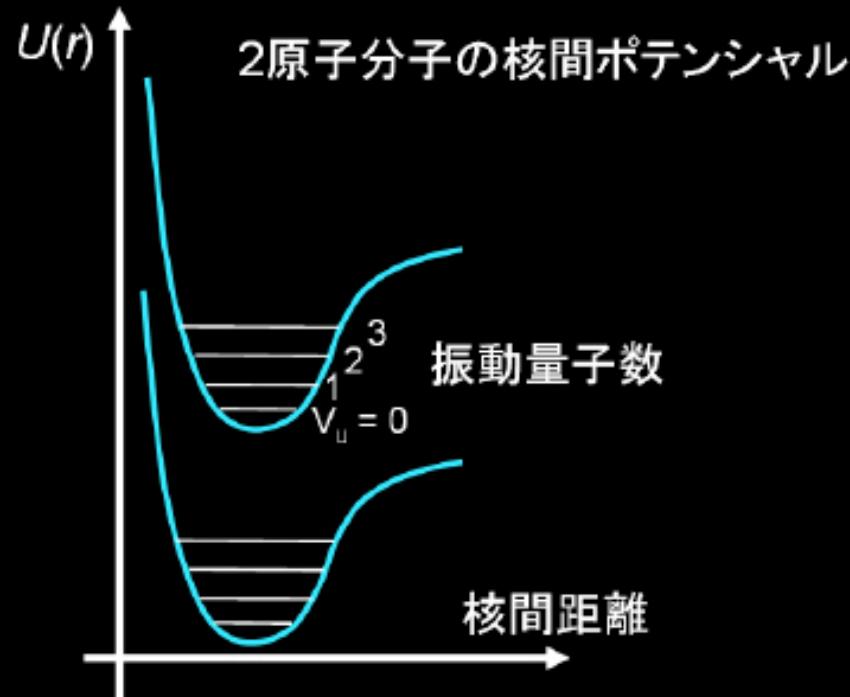
$$F(J) = F(K) = B_\nu [K(K+1) + 4Z_2] - D_\nu \left(K + \frac{1}{2}\right)^4$$

$$G(v) = \omega_e \left(v + \frac{1}{2}\right) - \omega_e x_e \left(v + \frac{1}{2}\right)^2 + \omega_e y_e \left(v + \frac{1}{2}\right)^3$$

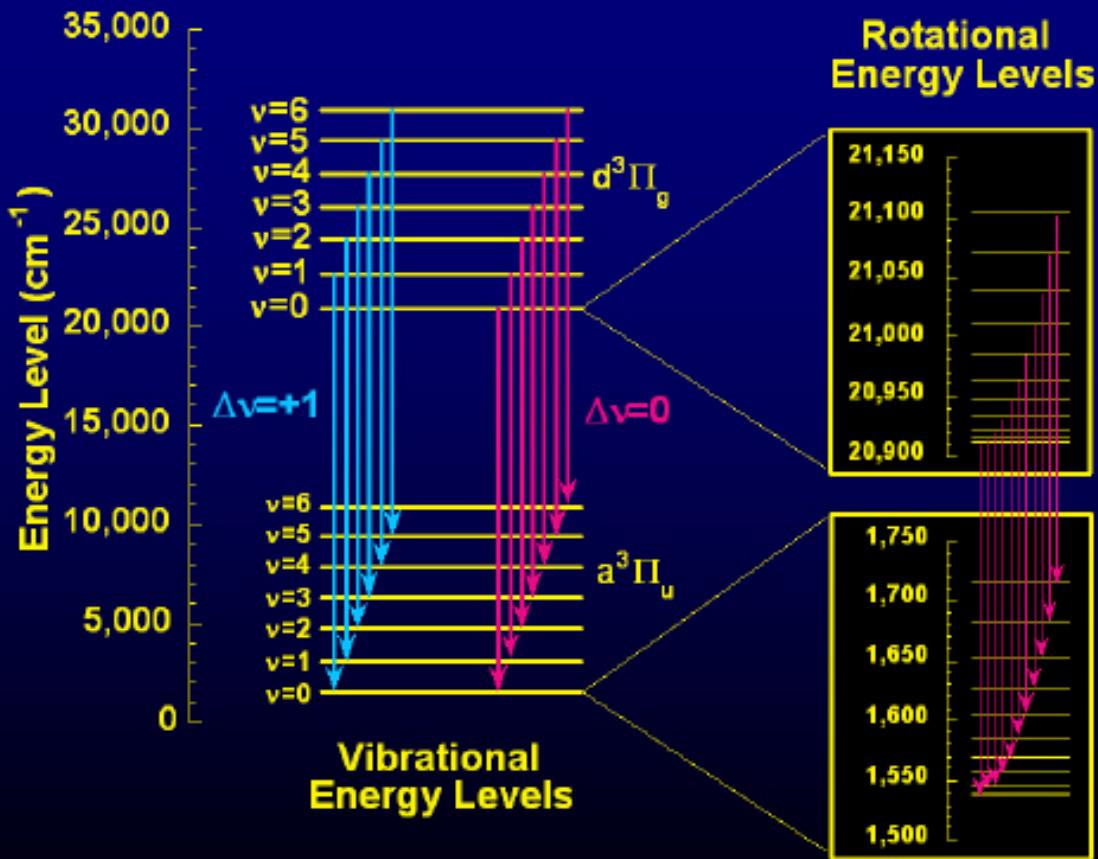
現状の問題点

スペクトル形状解析による T, N_{CN} の推定

分光観測しているのは連続的にCNが生成されている系



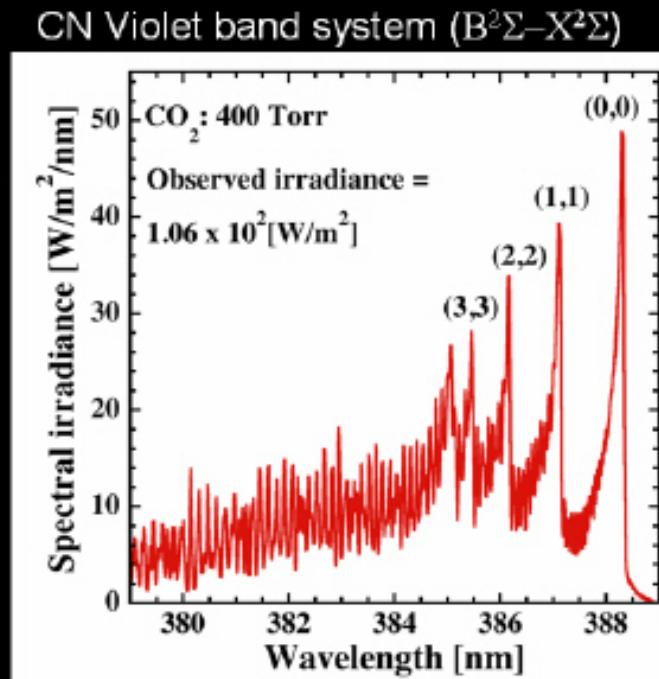
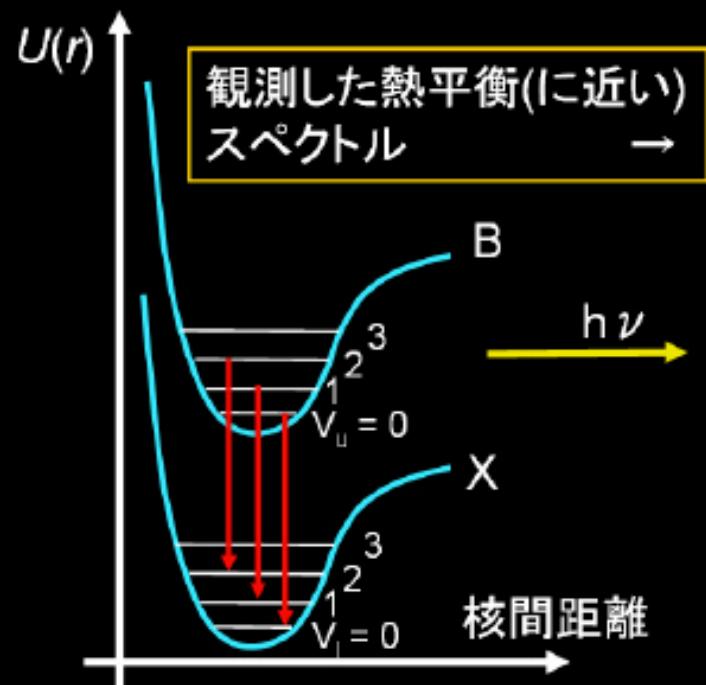
C_2 Swan Band Structure



現状の問題点

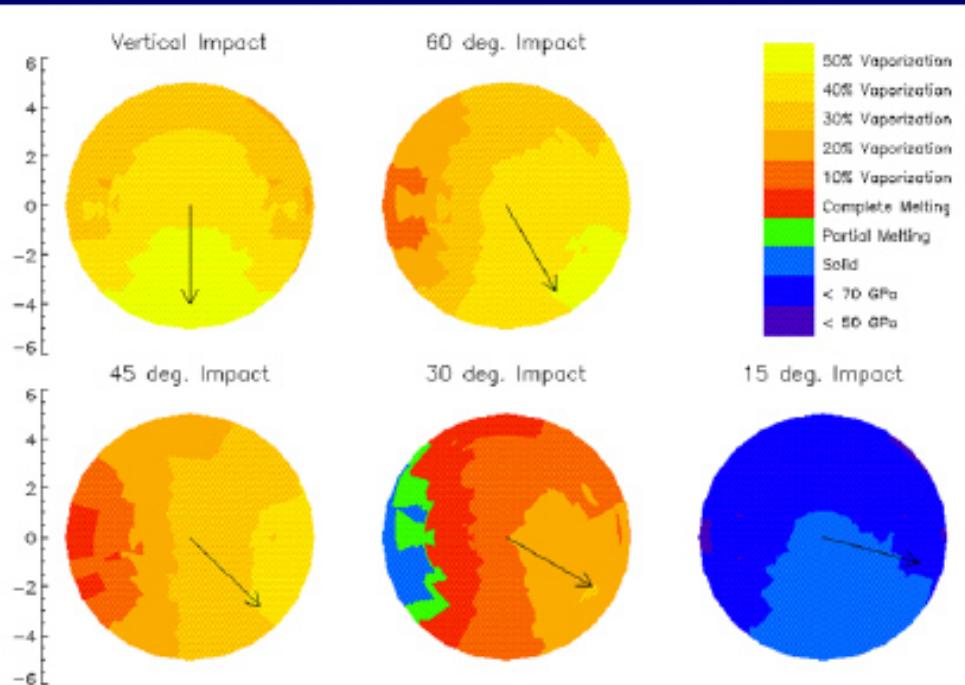
スペクトル形状解析による T, N_{CN} の推定

分光観測しているのは連続的にCNが生成されている系



斜め衝突における天体の加熱

- 垂直衝突で激しく衝撃加熱される場合でも、斜め衝突では衝撃度は大きく軽減される。

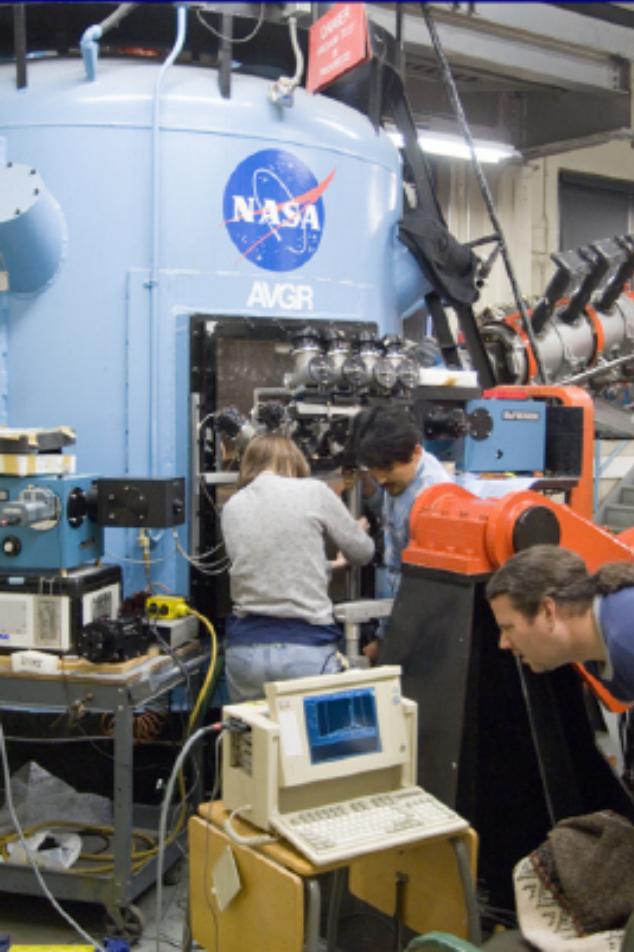


$$V = 20 \text{ km/s}$$

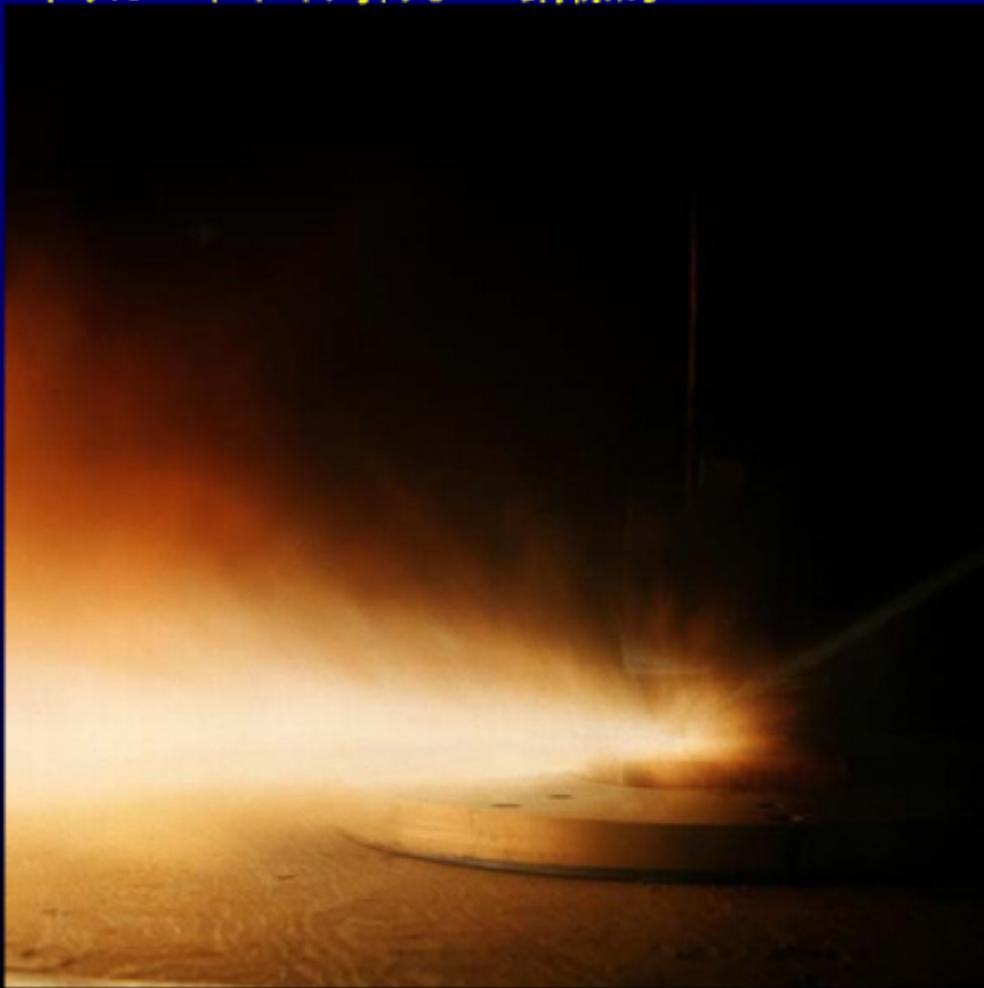
$$P \sim \sin\theta$$
$$T \sim \sin^{3/2}\theta$$

Pierazzo and Melosh (2000)
MAPS

Amesでの衝突実験



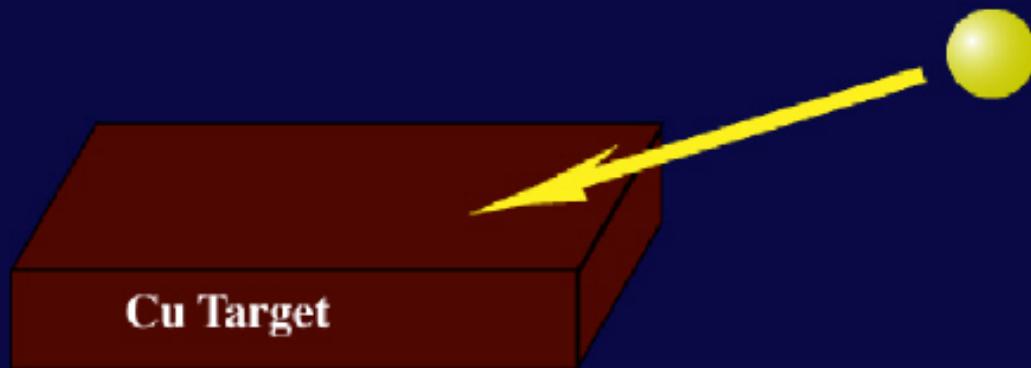
ポリカーボネイト弾丸 → 銅標的@30°



実験条件

N₂-O₂ atmosphere

Carbon-rich impactor
[C₁₄H₁₆O₃]_n

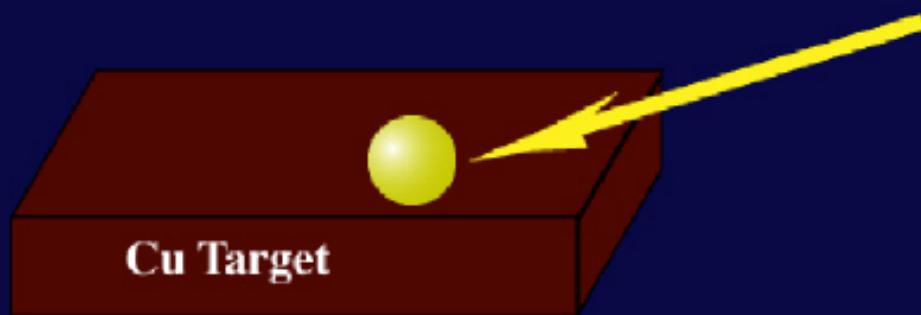


- ☞ C: 衝突天体物質のマーカー
- ☞ N: 大気物質のマーカー

実験条件

N₂-O₂ atmosphere

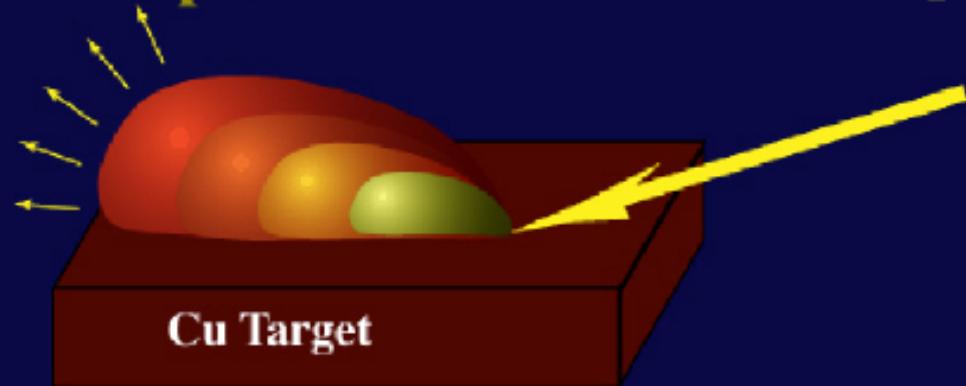
Carbon-rich impactor
[C₁₄H₁₆O₃]_n



- ☞ C: 衝突天体物質のマーカー
- ☞ N: 大気物質のマーカー

実験条件

Impact vapor cloud

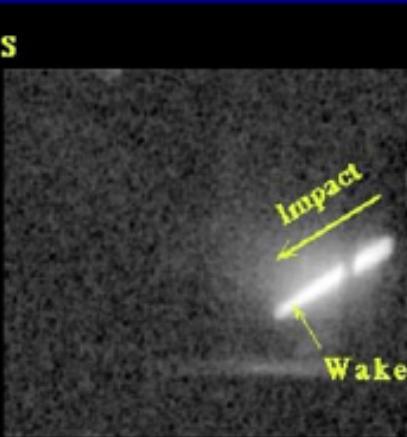


Carbon-rich impactor
[C₁₄H₁₆O₃]_n

- ☞ C: 衝突天体物質のマーカー
- ☞ N: 大気物質のマーカー

斜め衝突による蒸気雲

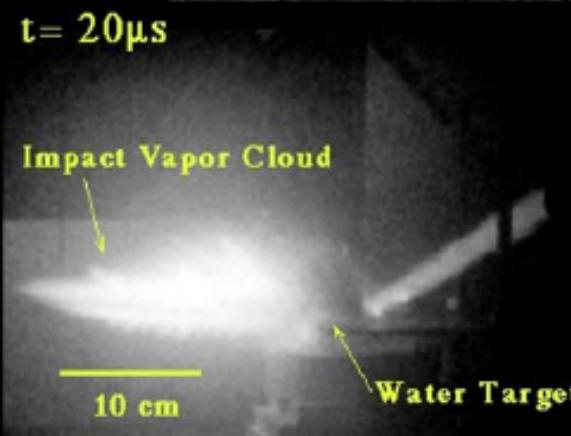
$t = -10\mu s$



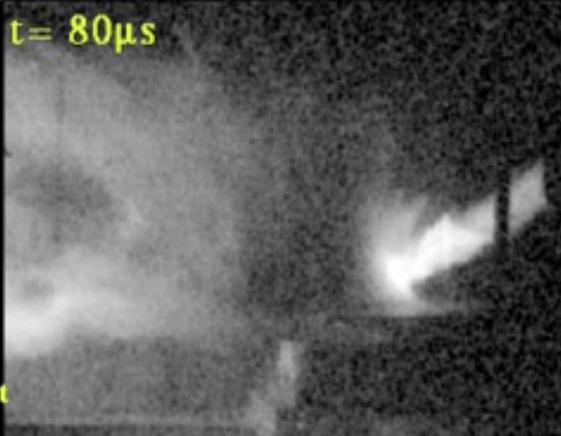
$t = 50\mu s$



$t = 20\mu s$

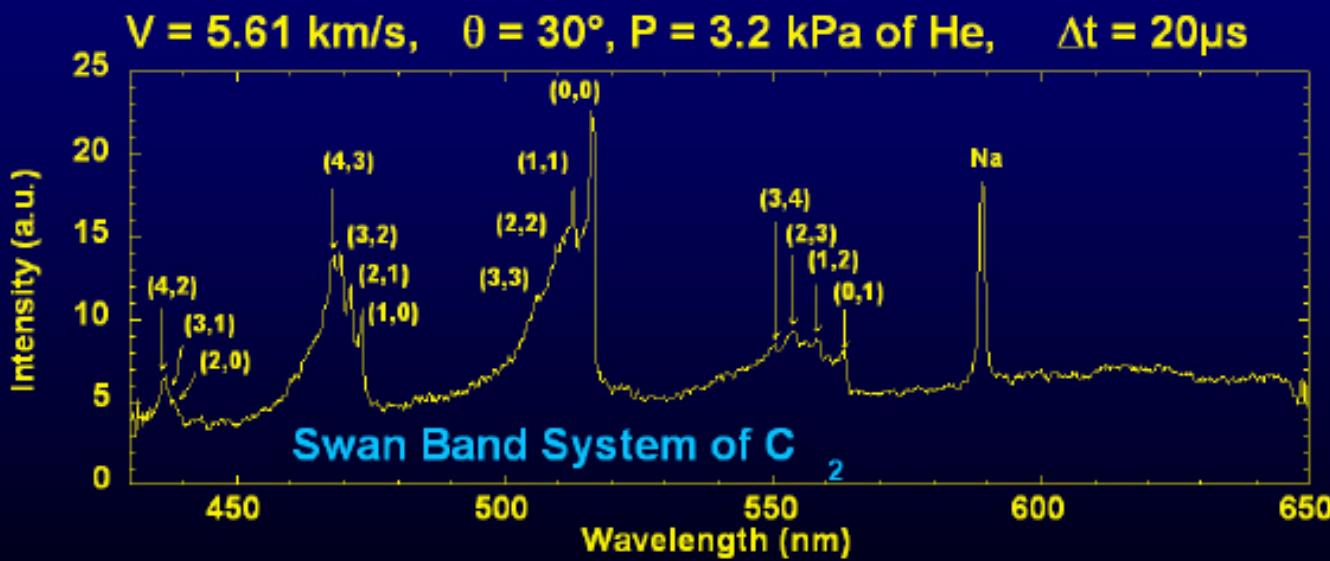


$t = 80\mu s$

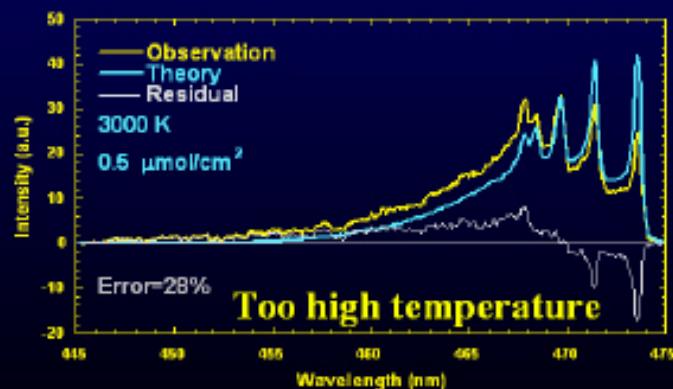
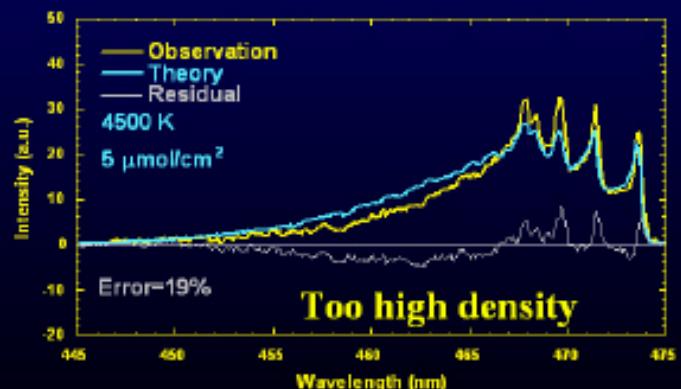
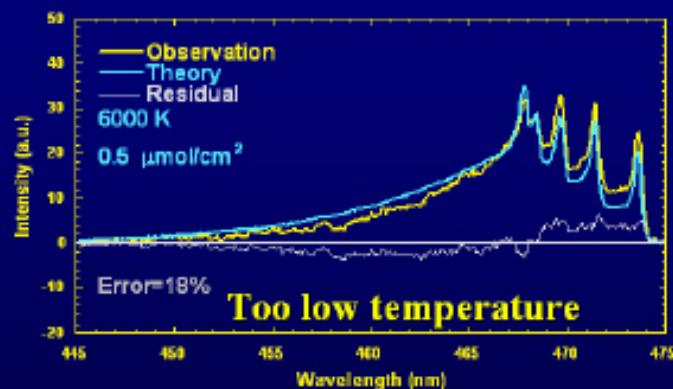
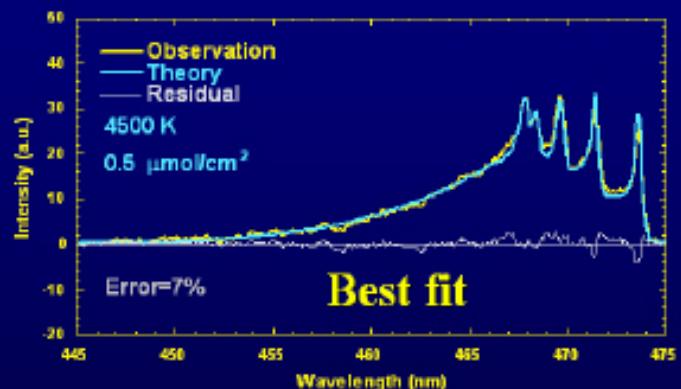


解析法 4: 分子スペクトルへの応用

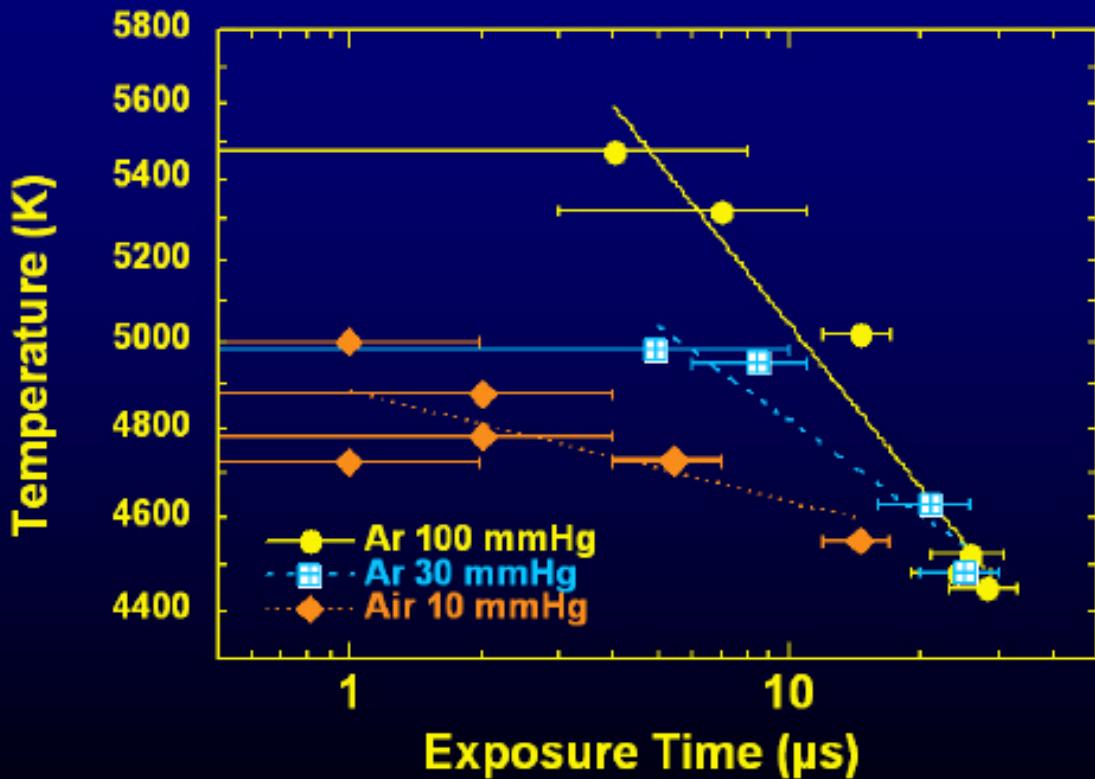
炭素分子の発光スペクトル



分子スペクトルの解析の一例

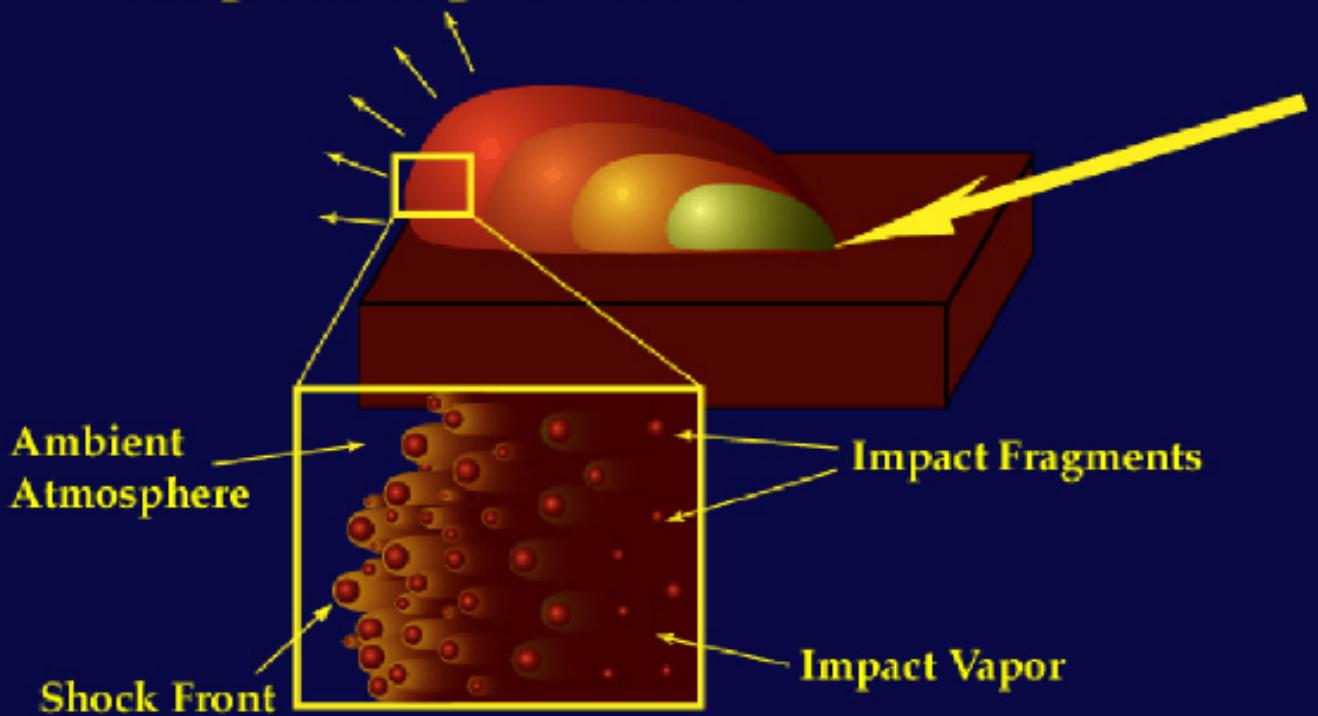


C_2 Temperature Measurements



発光のメカニズム

Impact vapor cloud



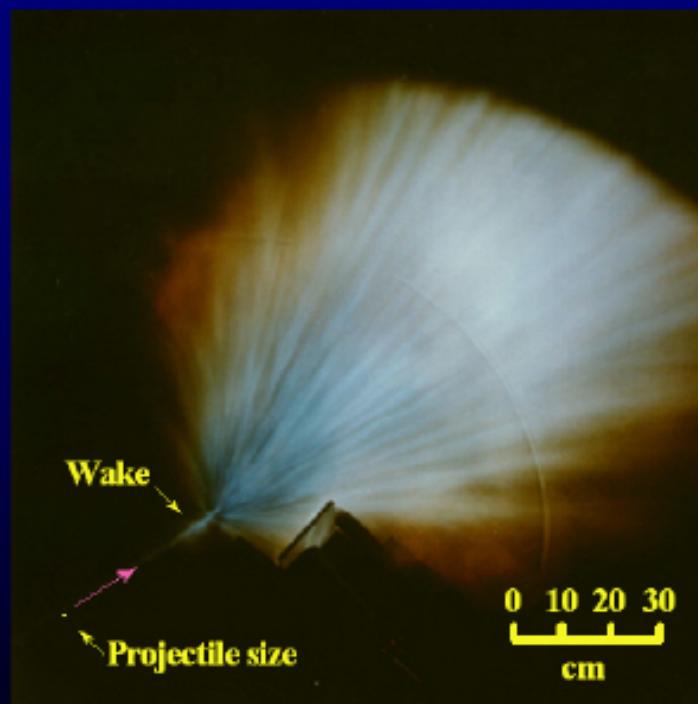
実験結果

- ・高速斜め衝突においては、強い衝撃加熱を免れた弾丸物質は、衝突下流方向に高速で飛び去る。
- ・高速で飛び去る衝突破片は、大気存在下では大気と衝突し、激しい空力加熱を受ける。
- ・最終的な有機物の残存率は、非常に低い。

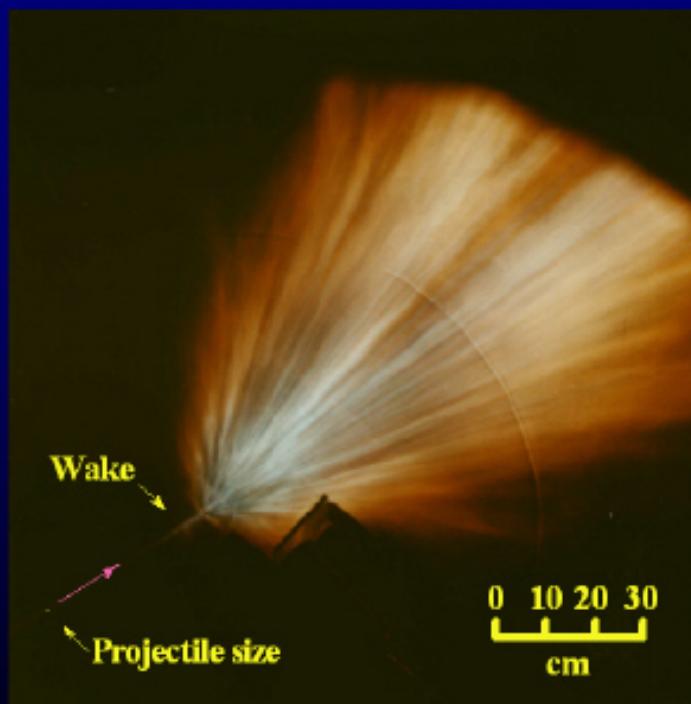
疑問：熱的に破壊された有機物はどうなるのか？

大気組成の影響

衝突蒸気雲の長時間露光写真



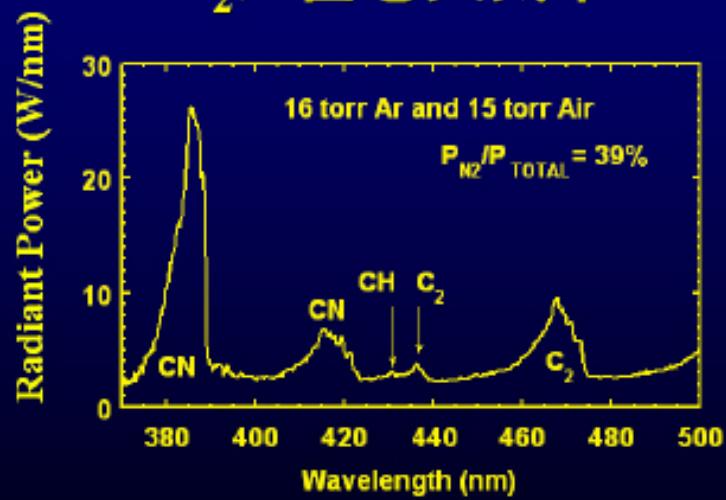
N_2 に富む大気中



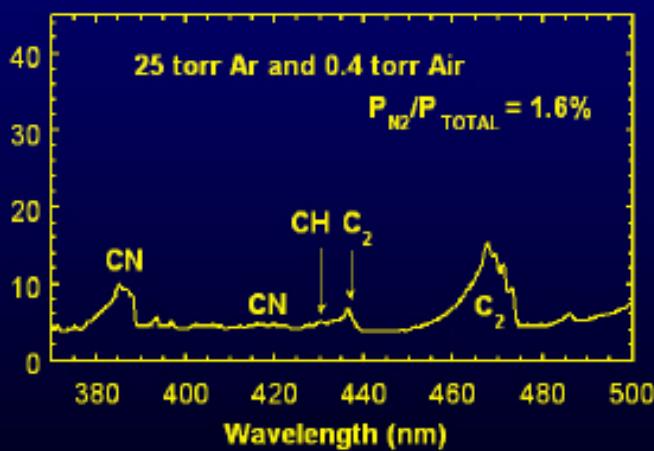
N_2 に乏しい大気中

衝突閃光のスペクトル

N₂に富む大気中



N₂に乏しい大気中



CN ラジカルが発生している！

定量解析

☞ 発光強度と分子存在度の関係

$$I_{CN}^{l,m} = \frac{h\nu_{lm}}{4\pi} A_{CN}^{l,m} g_m N_{CN} \exp\left(-\frac{E_m}{kT}\right) / Z_{CN}(T)$$

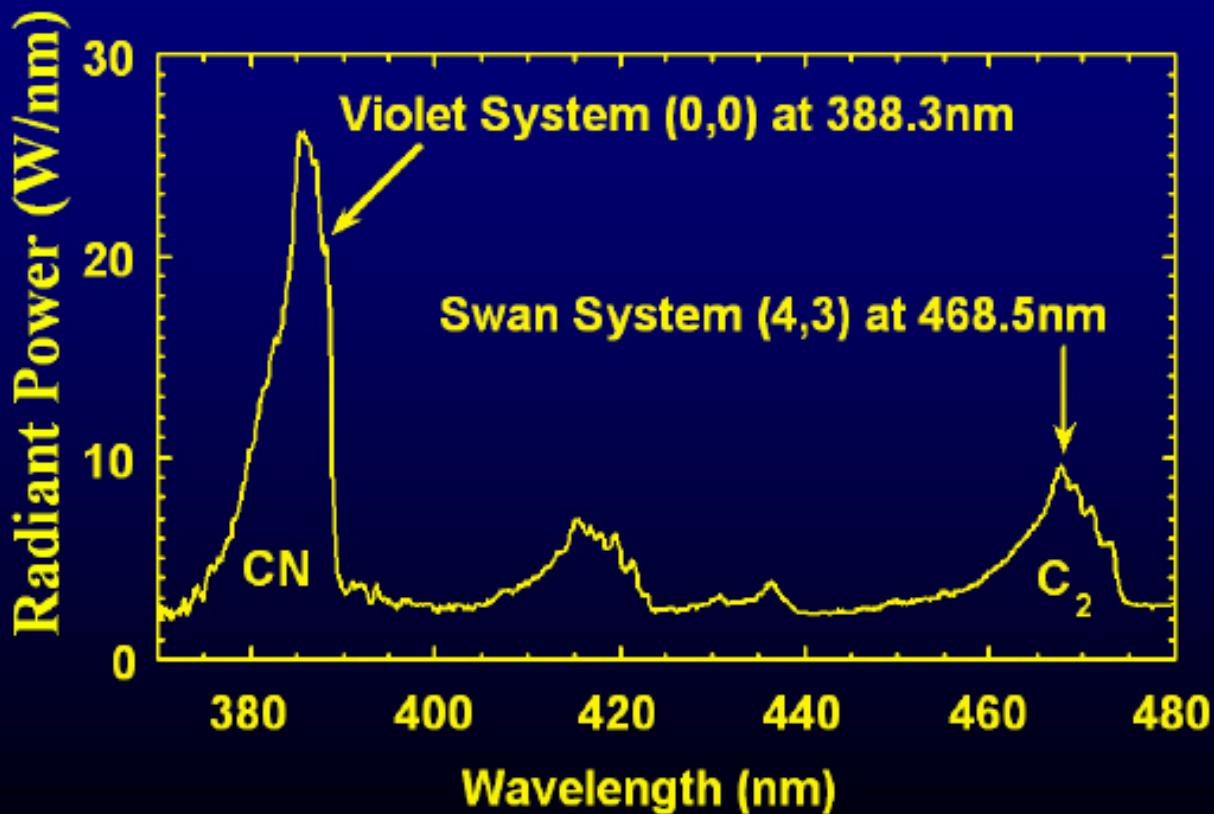
ただし h, ν, A, g は定数; $Z(T) \sim 1$.

→ 温度の効果のみを取り出せる:

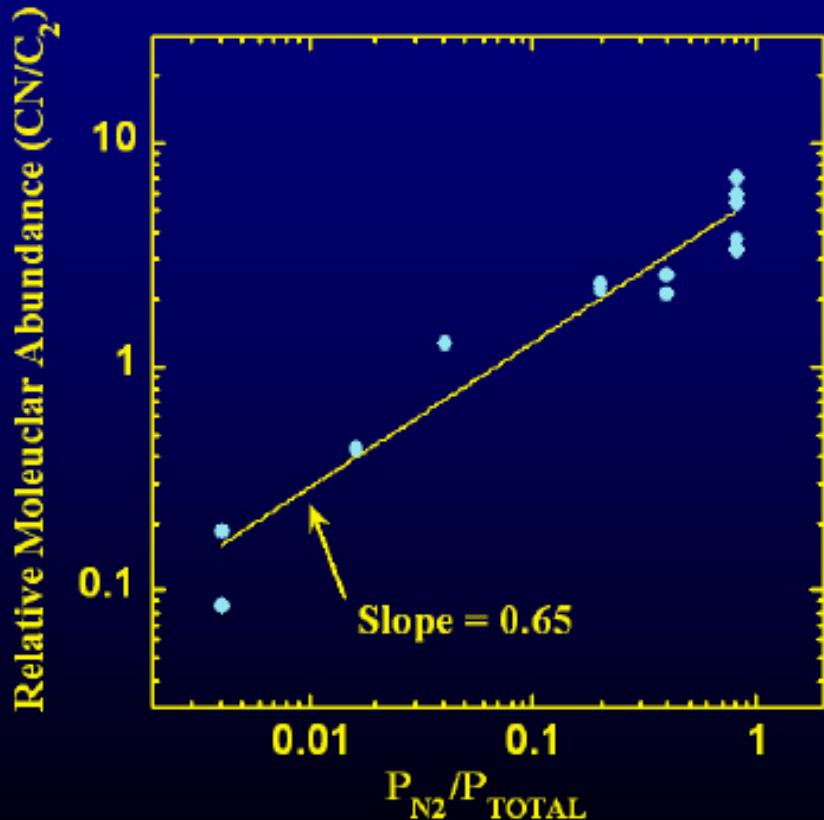
$$\frac{I_{CN}^{l,m}}{I_{C_2}^{i,j}} \propto \frac{N_{CN}}{N_{C_2}} \exp\left(-\frac{E_{CN}^m - E_{C_2}^j}{kT}\right)$$

E_{CN}^m & $E_{C_2}^j$: 上側状態の励起エネルギー

スペクトルバンドの選択

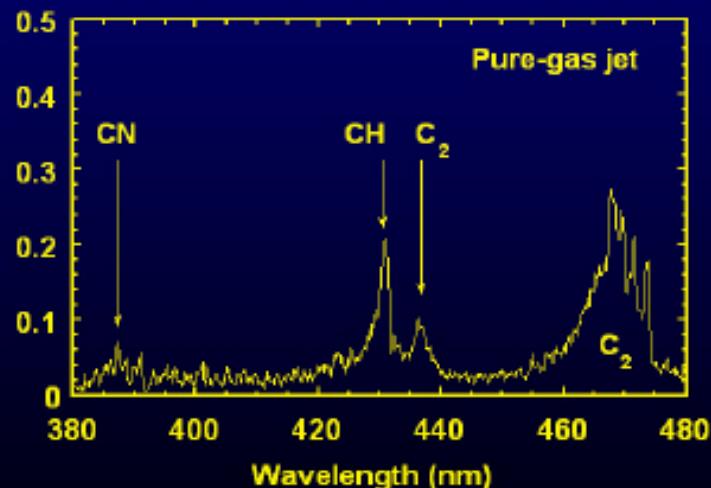
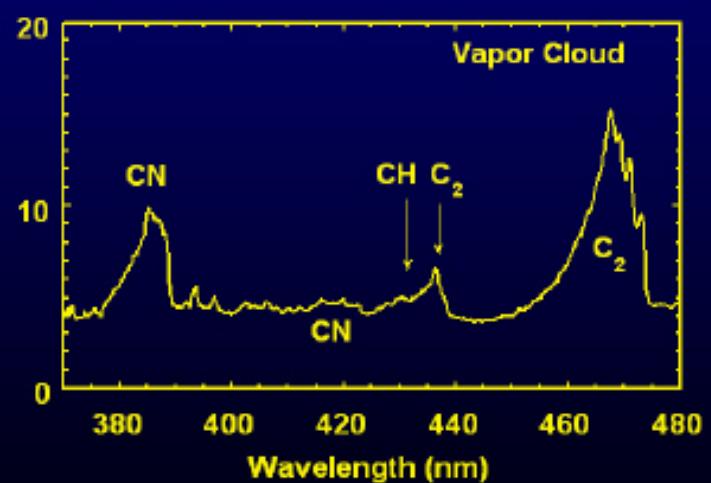


大気中の窒素分圧比の影響



ジェッティングの発光

- ☞ 純粋な気相発光（黒体放射なし）
- ☞ CN 発光も無し
- ☞ N₂に富む大気中においても. . .



実験結果のまとめ

- ☞ CN/C₂ は P_{N2}/P_{TOTAL} と共に上昇
→ CN ラジカルは弾丸物質と大気の間の化学反応で生成される。
- ☞ 純粹気相のジェッティングからは、CN ラジカルは生成しない。
→ 観測された CN は 気相反応生成物 でない
→ 観測された CN は 気相固相間反応 の生成物

地球科学的な意義

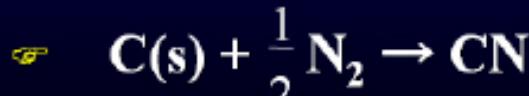
☞ 衝突天体の物質と大気中のガスは、化学的に非常に効率的に化学反応する。

- 金属鉄の影響

- ☞ 大気の効果的な還元



- 衝突天体物質による有機分子合成の可能性



生命の起源への関連

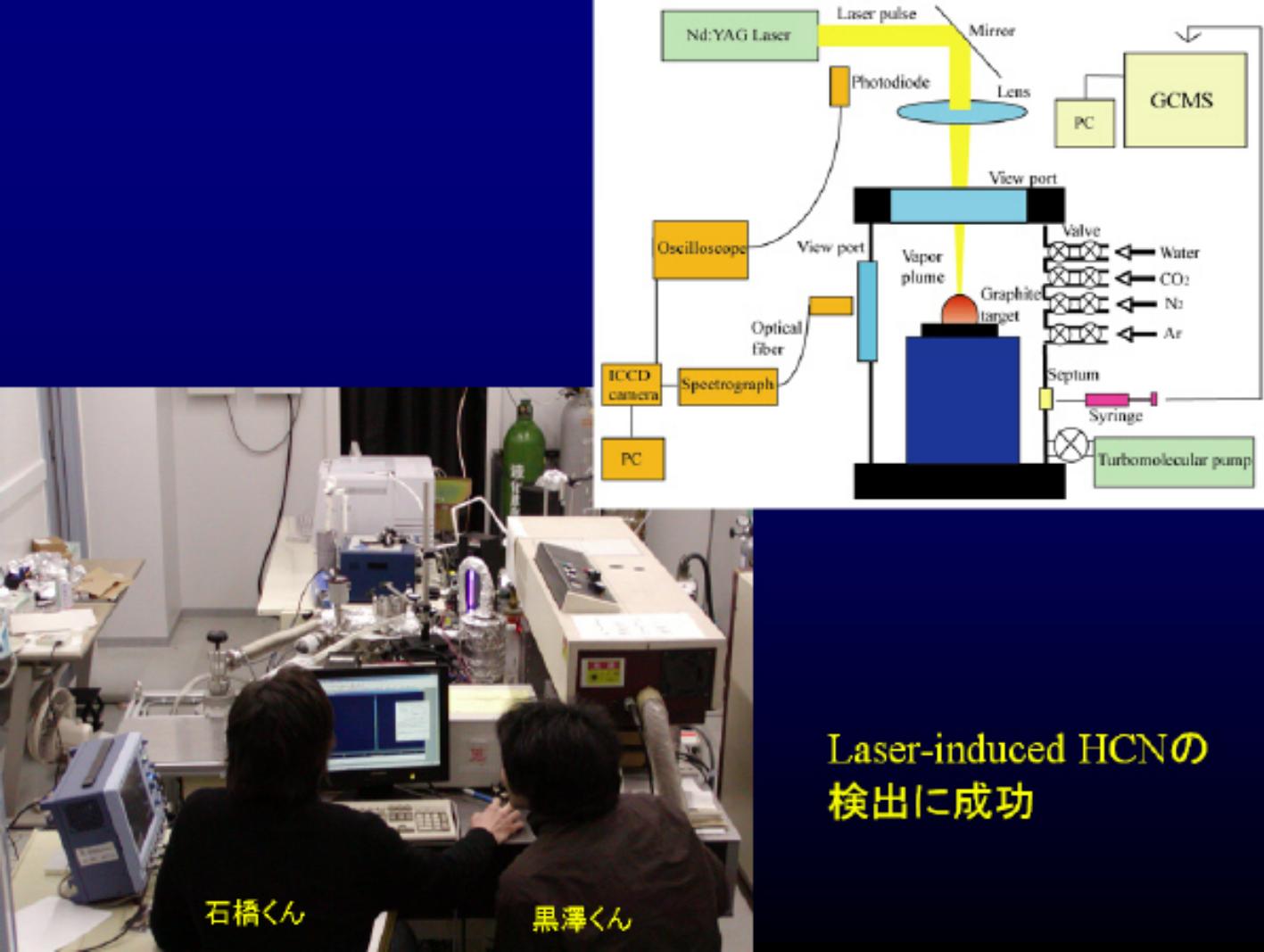
- 天体衝突は、一時的・局所的に還元的な環境を初期地球の表層に作り出す可能性がある。
- この過程は、全球的には酸化的な初期地球の上で、無生物的な有機物の合成を可能にする。
- 天体衝突により地上にもたらされる炭素化合物の多くは、無傷で衝突過程を生き延びることは難しいが、形を変えて生命の誕生に役割を果たす可能性がある。

課題

- CNラジカルは、 HCN生成につながるのか？
(CO₂-H₂O-N₂大気で酸化されてしまわないか)
- 実際の隕石物質でもCNやHCNが合成されるのか？
- HCN生成量の定量推定法は？
- HCN以外の分子種の生成はないか？

最近の研究の進展状況

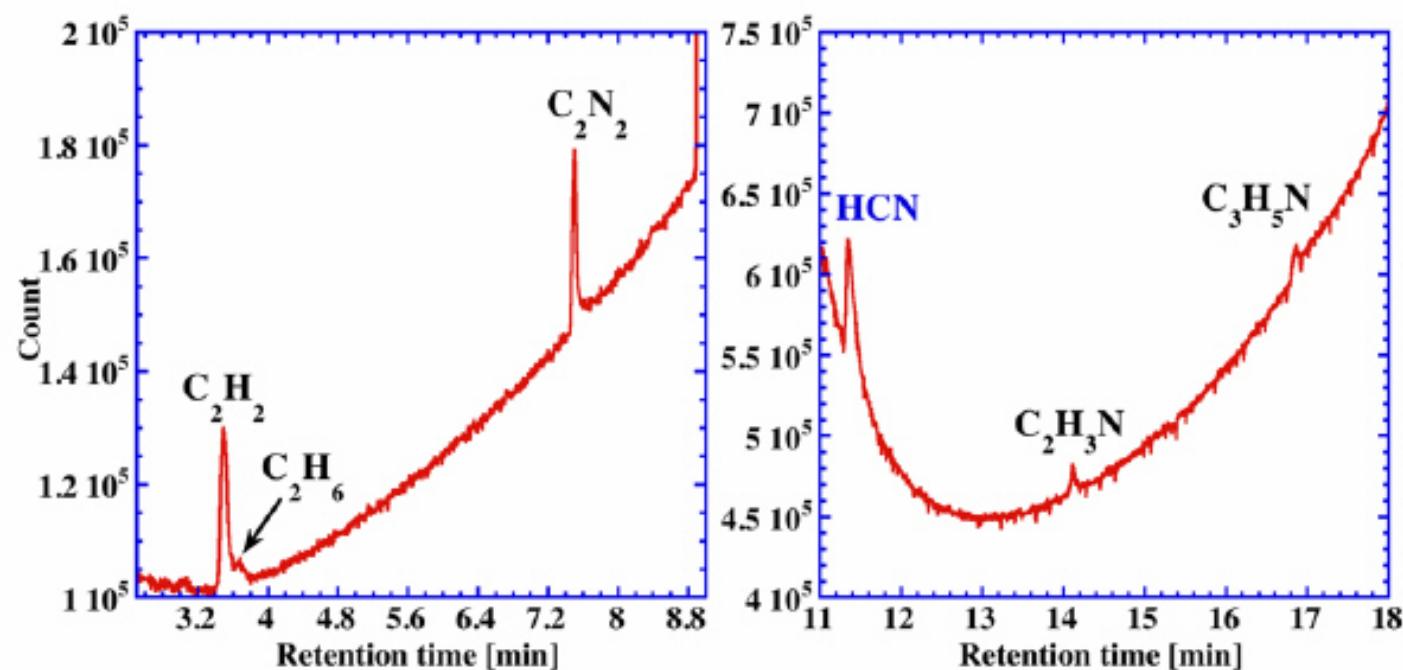
- ☞ プラスチック → Cu in N₂大気: CNラジカルの高速分光観測 (Sugita and Schultz, 2000)
- ☞ レーザー → Graphite in N₂+H₂O+CO₂大気: HCNのGCMS測定 (Kurosawa et al., 2006, 2007)
- ☞ 炭素質隕石 (CV, CM) → N₂大気: CNラジカルの高速分光観測 (Sugita and Schultz, 現在進行中)
- ☞ レーザー → 炭素質隕石 in N₂+H₂O+CO₂大気: HCNのGCMS測定 (Kurosawa et al., 現在進行中)



Laser-induced HCNの
検出に成功

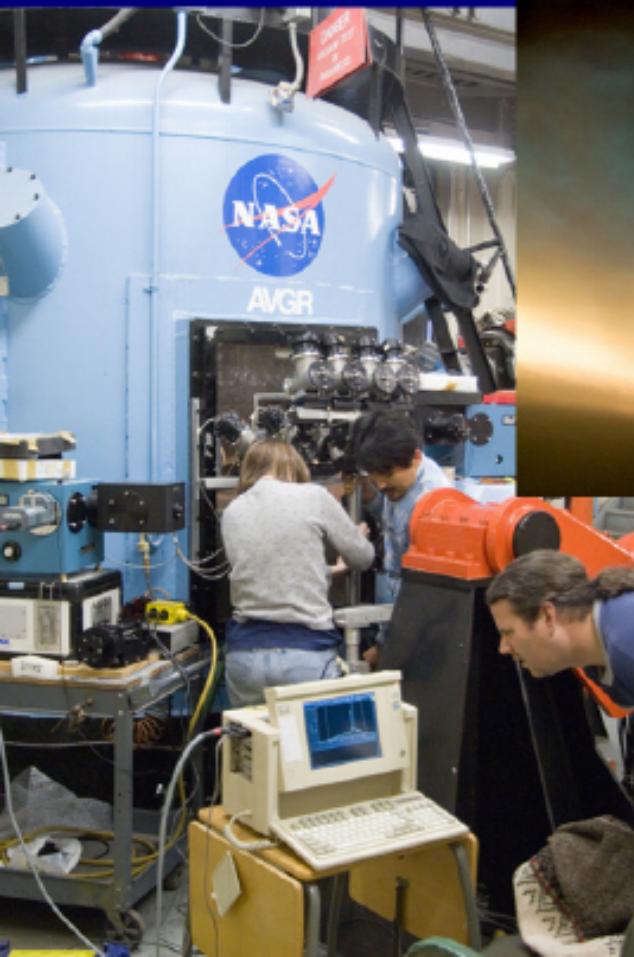
石橋くん

黒澤くん

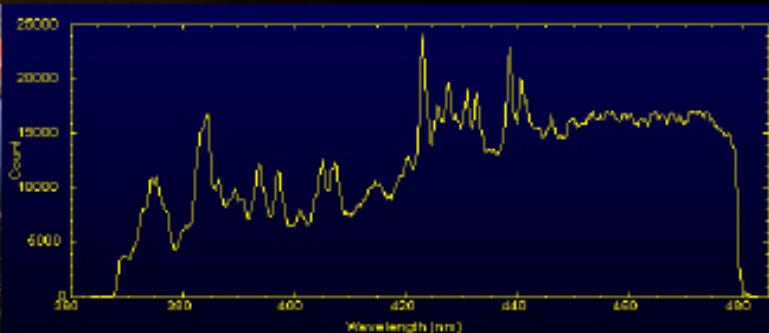


Laser-induced HCNの
検出に成功

Amesでの衝突実験

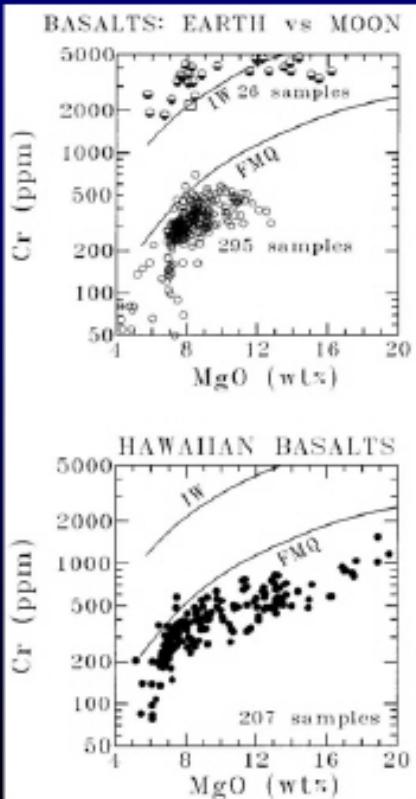
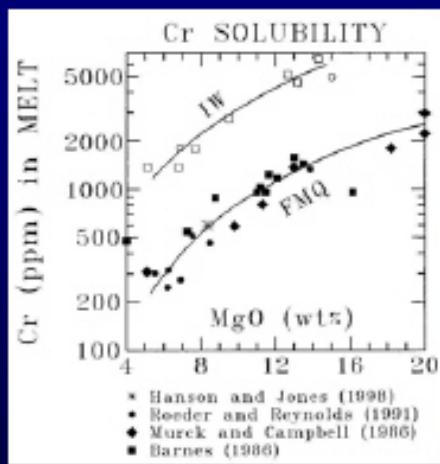


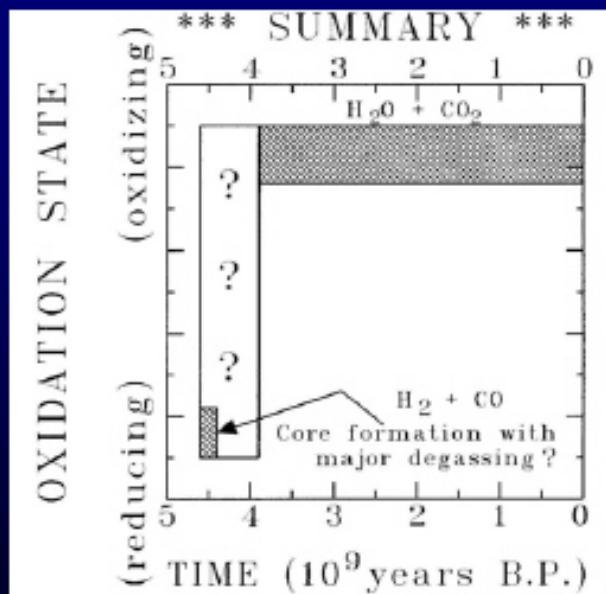
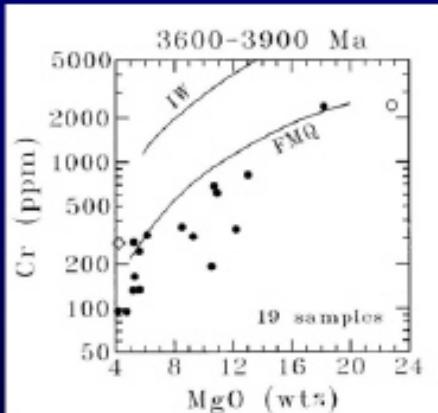
炭素質隕石を用いた実験例



Feの輝線が邪魔でCNが見えない

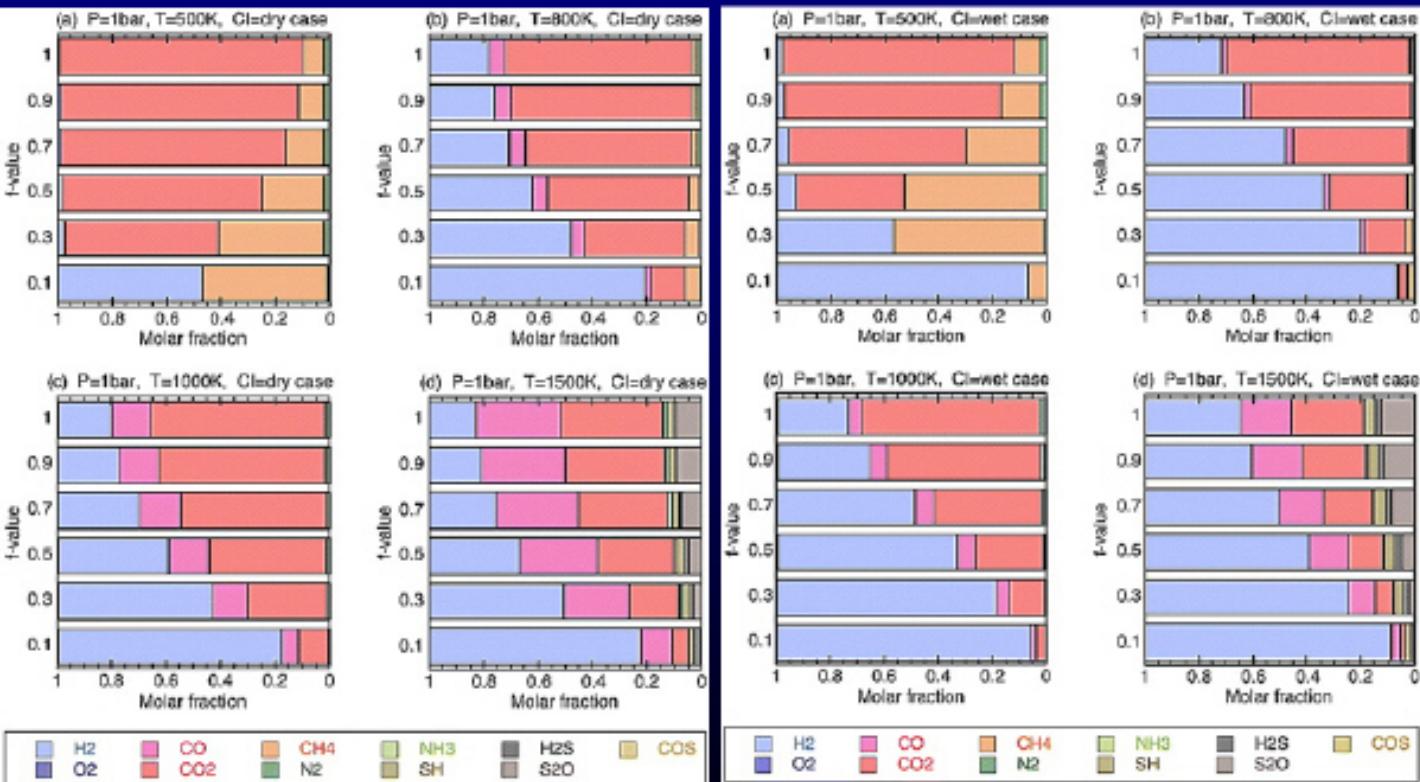
初期地球大気との関連事項





・マントルは、コア形成後すぐに酸化的になった可能性が高い。
e.g., Delano (2001)

衝突脱ガス大気は還元的だった？

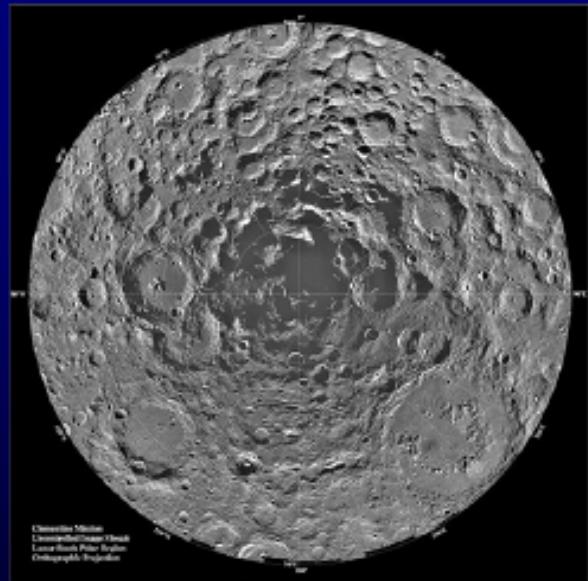


- 原始地球大気からのH散逸は、非常に非効率であったかもしれない(Tian et al., 2005)

地球初期大気に関する課題

- ・ 大気散逸効率の推定
- ・ マントルの酸化速度の推定
- ・ 炭素質隕石の蒸気雲中の化学反応
- ・ 水蒸気大気中のF/T反応

LCROSS衝突の地上観測について



月南極の永久影



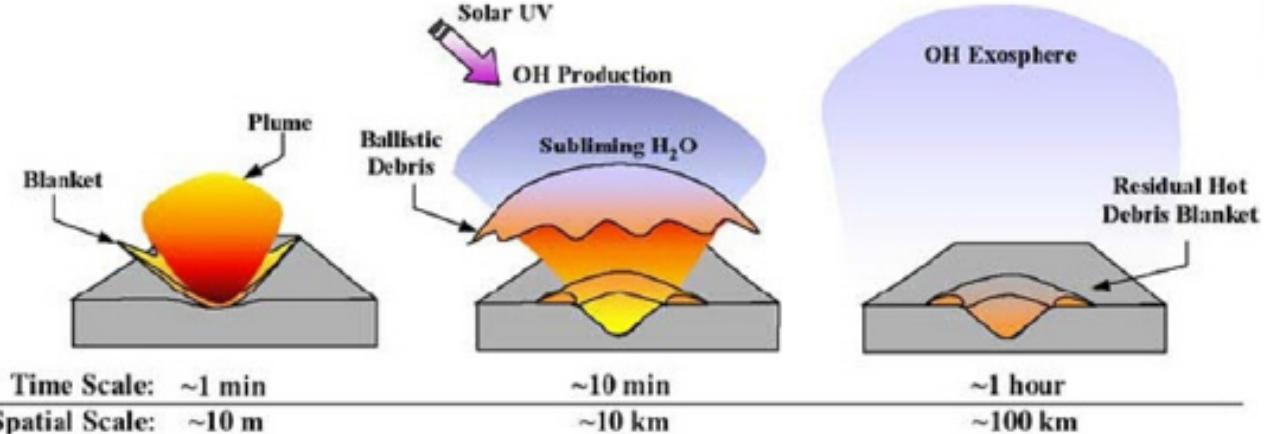
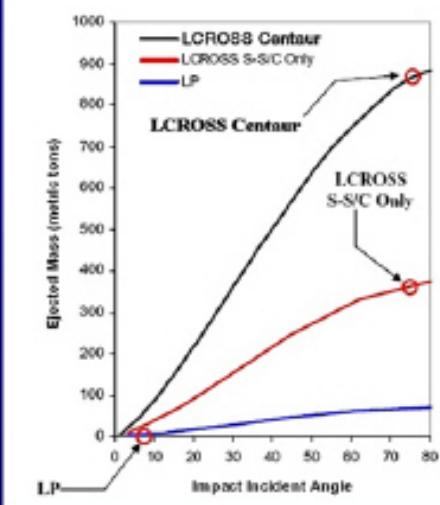
LCROSSの羊飼い衛星と弾丸衛星

探査の概要

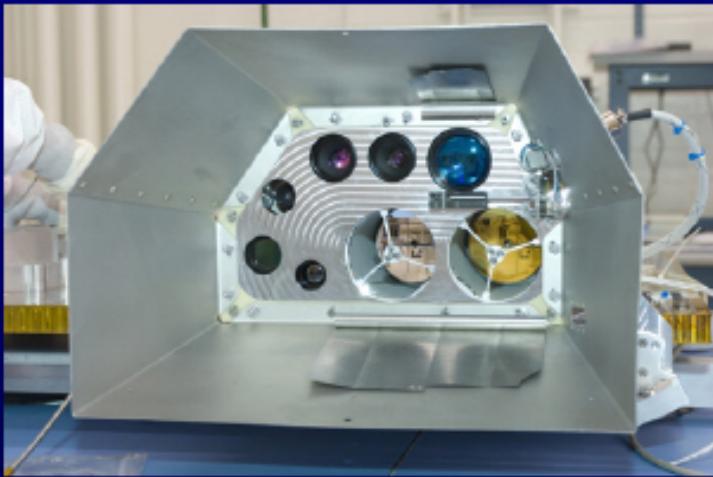
- LCROSSはLROのsecondary payloadで同時発射
- Atlasロケットの3段目とLCROSS探査機の2つが月極地の永久影に衝突する(~10分間隔)。
 - 2つの衝突により、永久影における氷の存否を確実に調べることを目指す。
 - 3段ロケットの衝突は、LCROSS衛星のカメラが観測。
 - LCROSS衛星の衝突は、LROのカメラが観測。
- LCROSSの衝突条件はSMART-1よりずっと有利。HITENにやや近い。
 - 2.5km/sと低速の衝突だが、約75° の高角衝突。

探査の概要

- ・ 3段目ロケットは、2000kg
 - $\phi 28\text{m}$ crater, ~900 tonのイジェクタ
- ・ LCROSS衛星は、700kg
 - $\phi 18\text{m}$ crater, ~400 tonのイジェクタ
- ・ 衝突位置精度は、 $\pm 10\text{km}$
- ・ NASAの見積: 0.5%の水まで検出可能



探査の概要



計測装置パッケージ

羊飼い衛星筐体

軌道候補。打ち上げ日が少しずれると、軌道の大
幅変更が必要になる。



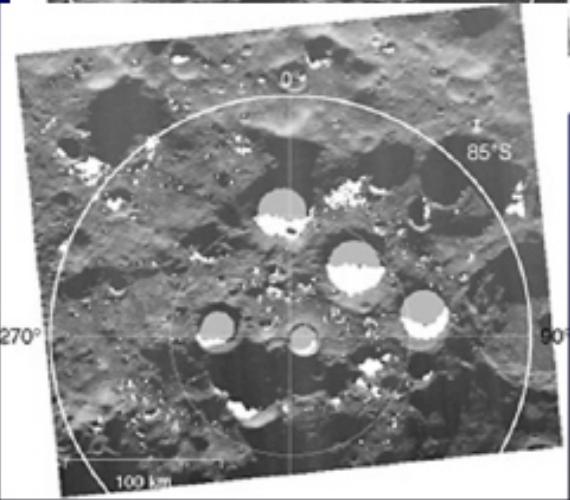
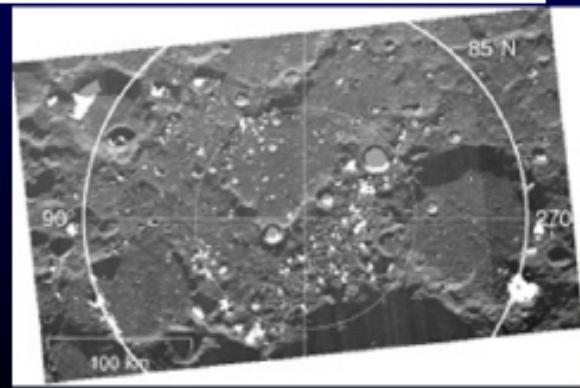
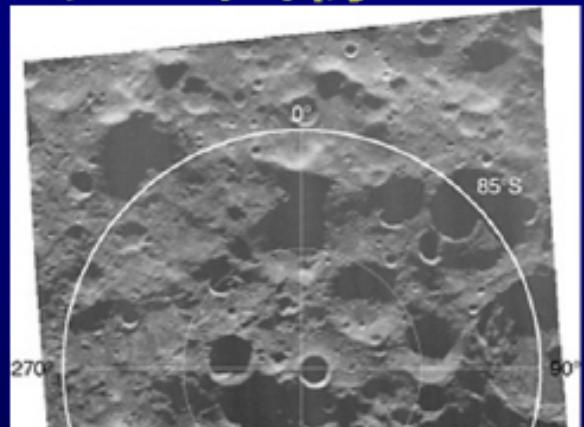
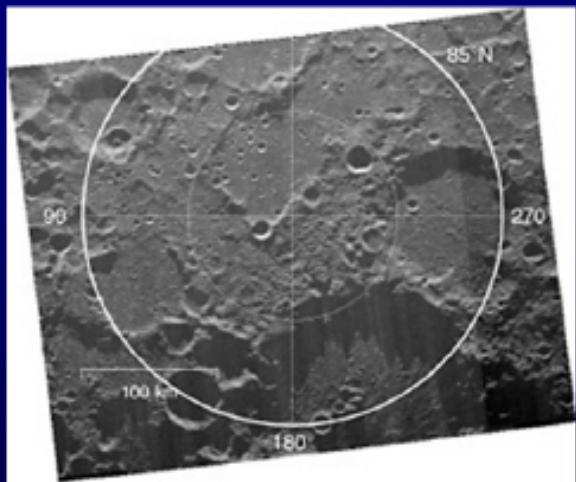
探査の概要

- 9個の測器を搭載予定
 - NIR分光計×2(水氷、水和物、ダストサイズ計測) 1Hz
 - 1.35 – 2.25 μm、2-stage TE detector cooling ($\Delta T > 55^{\circ} \text{ C}$)
 - 1Hzのデータ取得、InGaAs, $\Delta \lambda = 9\text{-}36\text{nm}$
 - 可視分光計 (H₂O 619nm, OH 308nm, 有機物) 1Hz
 - Ocean Optics製作
 - 中間赤外 × 2(衝突地点の形状、水の総量、イジェクタ形状) 0.1Hz
 - Alphasilicon uncooled micro-bolometer 7-14 μm, 384 x 288
 - $\Delta \lambda = 20\text{nm}$, 7μm中心と12μm中心の2つの分光器
 - NIRカメラ × 2(水の総量) 0.1Hz
 - InGaAs sensors, 非冷却, a 12 bit RS-422 output
 - 可視カメラ(衝突地点確認、衝突蒸気雲形状) 0.5Hz
 - 752 x 582 CCD
 - 可視光量計(衝突発光) 1000Hz



NIR分光器

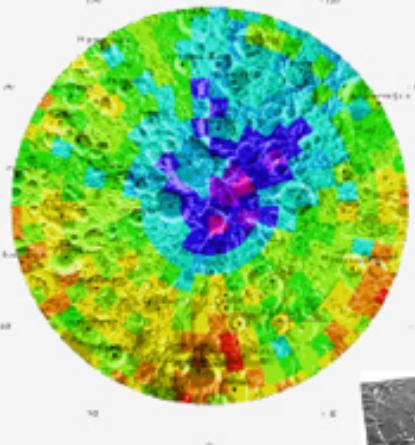
月の永久影とレーダー画像



月の永久影付近の水素濃集



North Pole

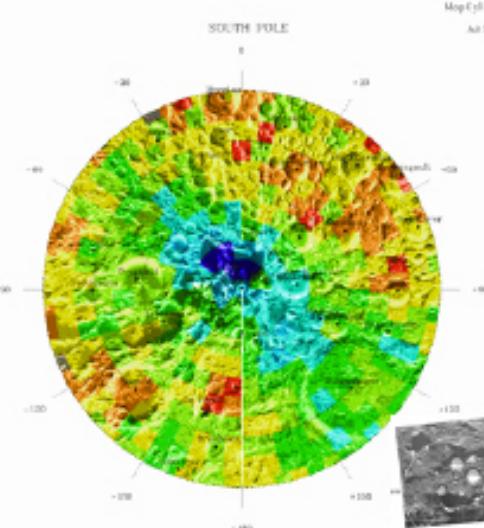


北極

South Pole



南極



ルナープロスペクターによる中性子線測定結果と永久影分布

- ・水素の濃集は確実であろう。
- ・問題は、その深さ分布、起源、分子状態(H , H_2O , C_nH_m ?)

何が掘削されるか？

- H₂O
- CO₂
- Organics
- S, SO₂
 - 真の表面は、微小隕石衝突によって脱ガスしている。
 - 月のレゴリスの熱伝導度は非常に低く、1mも掘ると地温は数10Kも上昇する。ただし、氷があると、熱伝導度は上昇する。→氷は安定化する。
 - 氷の成層構造は？

何が掘削されるか？

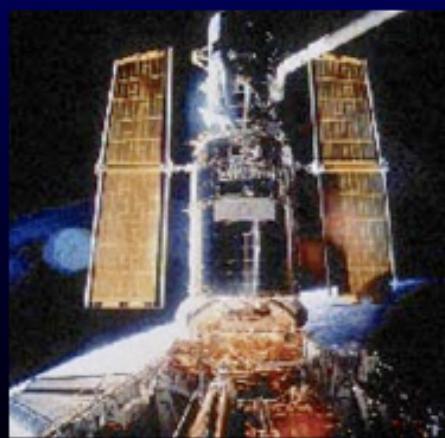
- 月の極地のケイ酸塩岩の組成は、調べられていない。特に斜長岩のMg/Fe比やK/Na比などは、非常に重要。
 - 前者は、月のマグマオーシャンからの最古の地殻岩体の形成プロセスの制約条件になる。
 - 後者は、KREEPの分布の範囲を知ることに繋がる。マグマオーシャンの最終残液の全球分布を制約することに繋がる。
 - 問題は、定量的に計測・解析できるかどうか。

観測の選択肢

- 紫外分光
 - PAH, OH, CH, CN, C₂(可視)
 - D/H ~2x10⁻⁵ (太陽風), 2-5x10⁻⁴(隕石, 彗星)
- 近赤外分光
 - C_nH_m, H₂O
- 昼間赤外分光
 - ケイ酸塩の鉱物組成, PAH?
- 可視D線
 - Na大気の形成
- 硫黄?(SO₂氷)
- 観測の鍵: 成層構造の検出、総量の推定

今後の日程

- 2／29(金) : LCROSS会議 @Ames
- 2008年10月下旬～12月 : LRO打ち上げ
- 2009年2月～3月 : LCROSS衝突
- マウナケア大望遠鏡群と宇宙望遠鏡で観測



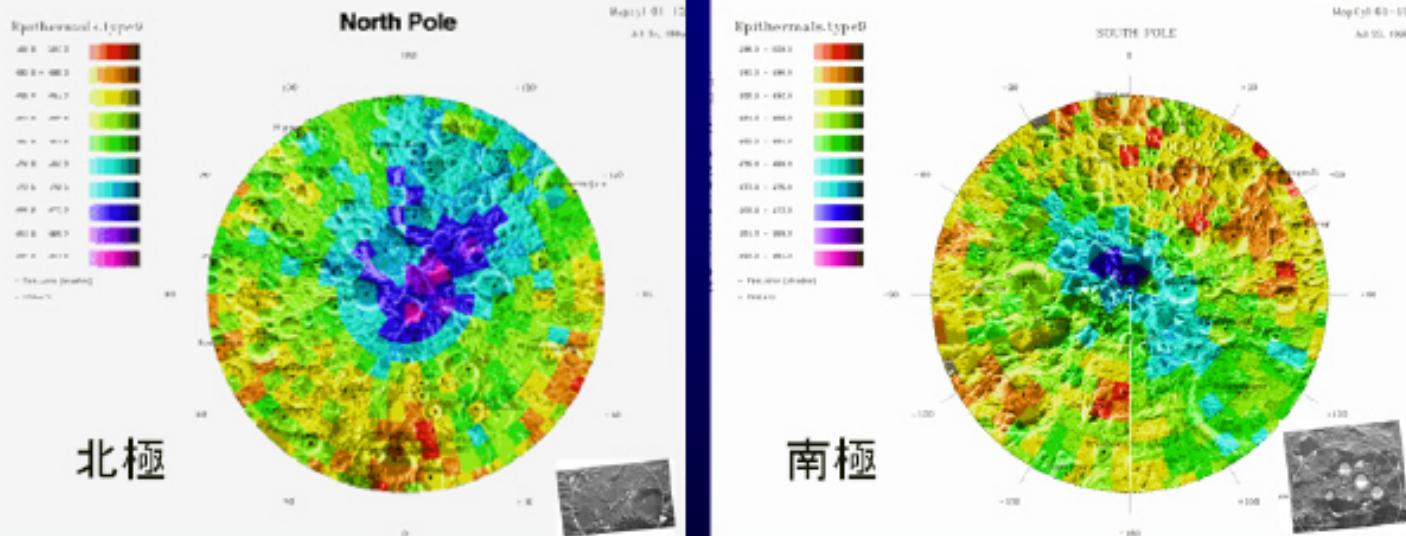
何が掘削されるか？

- 月の極地のケイ酸塩岩の組成は、調べられていない。特に斜長岩のMg/Fe比やK/Na比などは、非常に重要。
 - 前者は、月のマグマオーシャンからの最古の地殻岩体の形成プロセスの制約条件になる。
 - 後者は、KREEPの分布の範囲を知ることに繋がる。マグマオーシャンの最終残液の全球分布を制約することに繋がる。
 - 問題は、定量的に計測・解析できるかどうか。

何が掘削されるか？

- H₂O
- CO₂
- Organics
- S, SO₂
 - 真の表面は、微小隕石衝突によって脱ガスしている。
 - 月のレゴリスの熱伝導度は非常に低く、1mも掘ると地温は数10Kも上昇する。ただし、氷があると、熱伝導度は上昇する。→氷は安定化する。
 - 氷の成層構造は？

月の永久影付近の水素濃集



ルナープロスペクターによる中性子線測定結果と永久影分布

- ・水素の濃集は確実であろう。
- ・問題は、その深さ分布、起源、分子状態(H , H_2O , C_nH_m ?)

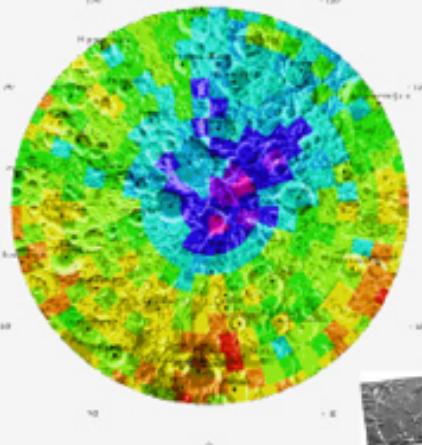
何が掘削されるか？

- H₂O
- CO₂
- Organics
- S, SO₂
 - 真の表面は、微小隕石衝突によって脱ガスしている。
 - 月のレゴリスの熱伝導度は非常に低く、1mも掘ると地温は数10Kも上昇する。ただし、氷があると、熱伝導度は上昇する。→氷は安定化する。
 - 氷の成層構造は？

月の永久影付近の水素濃集



North Pole

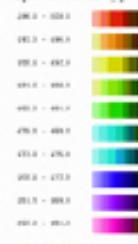


北極

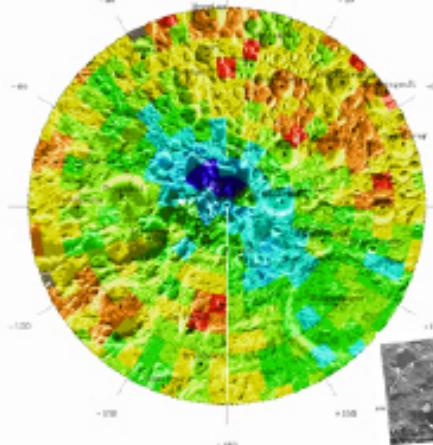
Map 1 (01-12)

Alt 35°, 1968

Lunar Hydrogen Abundance



SOUTH POLE



南極

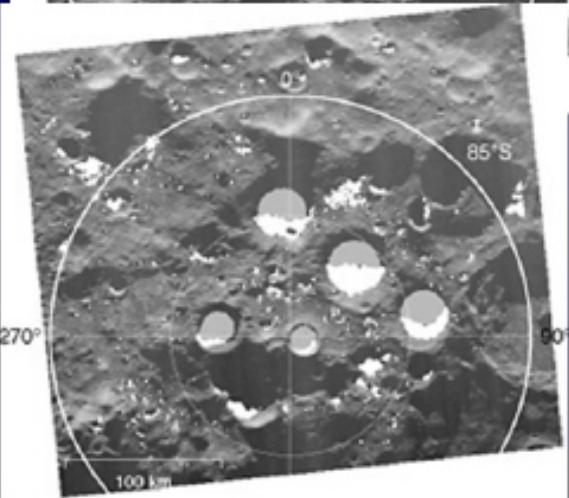
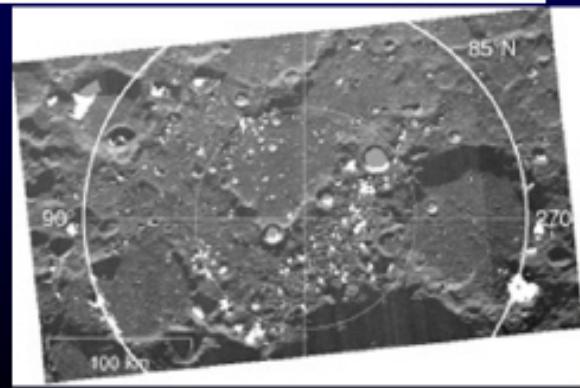
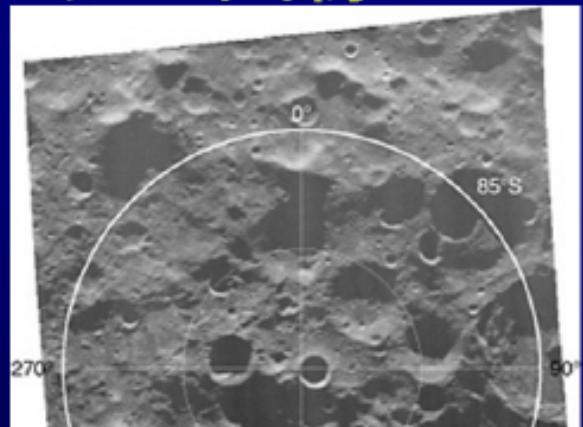
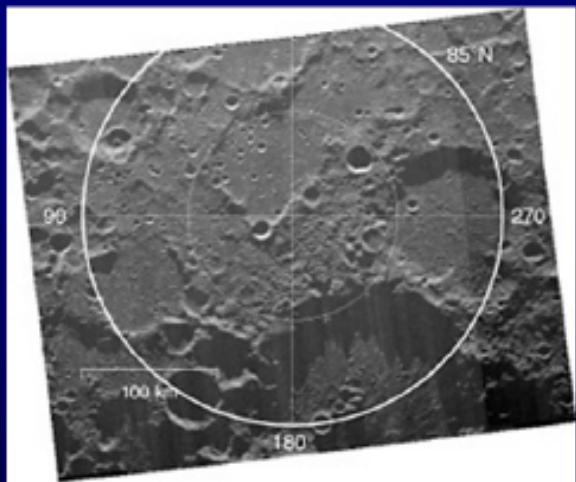
Map Cyl 01-12

Alt 35°, 1968

ルナープロスペクターによる中性子線測定結果と永久影分布

- ・水素の濃集は確実であろう。
- ・問題は、その深さ分布、起源、分子状態(H , H_2O , C_nH_m ?)

月の永久影とレーダー画像



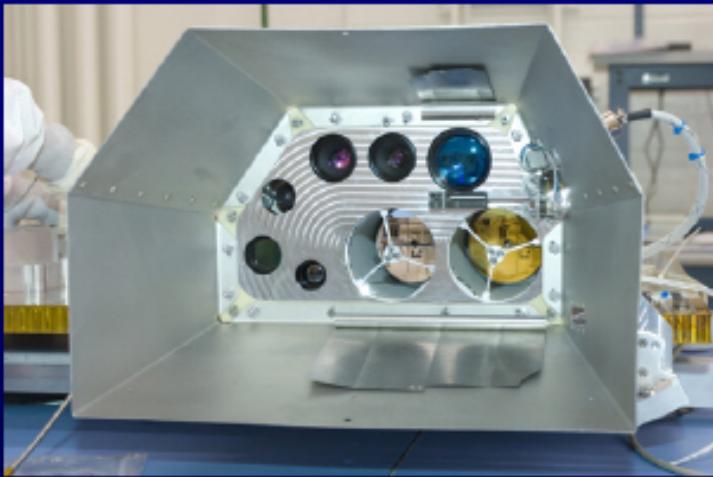
探査の概要

- 9個の測器を搭載予定
 - NIR分光計×2(水氷、水和物、ダストサイズ計測) 1Hz
 - 1.35 – 2.25 μm、2-stage TE detector cooling ($\Delta T > 55^{\circ} \text{ C}$)
 - 1Hzのデータ取得、InGaAs, $\Delta \lambda = 9\text{-}36\text{nm}$
 - 可視分光計 (H₂O 619nm, OH 308nm, 有機物) 1Hz
 - Ocean Optics製作
 - 中間赤外 × 2(衝突地点の形状、水の総量、イジェクタ形状) 0.1Hz
 - Alphasilicon uncooled micro-bolometer 7-14 μm, 384 x 288
 - $\Delta \lambda = 20\text{nm}$, 7μm中心と12μm中心の2つの分光器
 - NIRカメラ × 2(水の総量) 0.1Hz
 - InGaAs sensors, 非冷却, a 12 bit RS-422 output
 - 可視カメラ(衝突地点確認、衝突蒸気雲形状) 0.5Hz
 - 752 x 582 CCD
 - 可視光量計(衝突発光) 1000Hz



NIR分光器

探査の概要



計測装置パッケージ

羊飼い衛星筐体

軌道候補。打ち上げ日が少しずれると、軌道の大変更が必要になる。



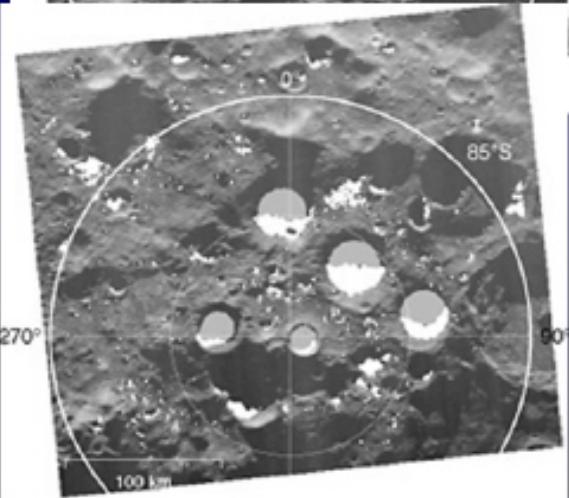
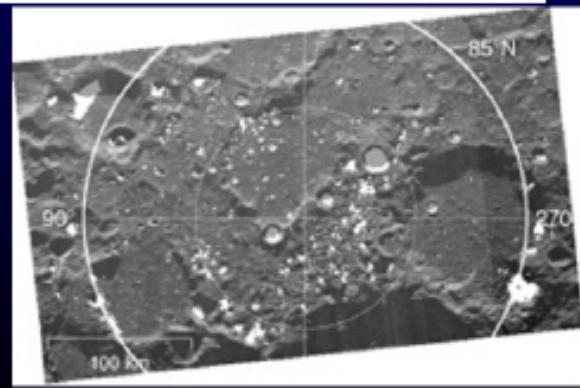
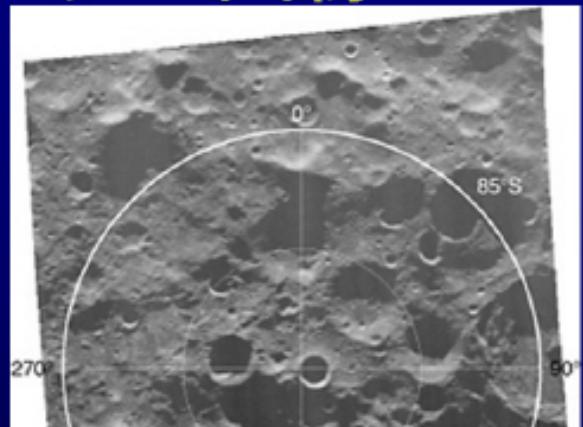
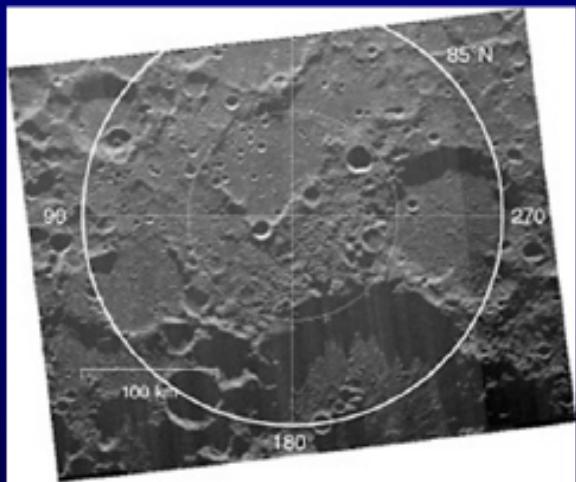
探査の概要

- 9個の測器を搭載予定
 - NIR分光計×2(水氷、水和物、ダストサイズ計測) 1Hz
 - 1.35 – 2.25 μm、2-stage TE detector cooling ($\Delta T > 55^{\circ} \text{ C}$)
 - 1Hzのデータ取得、InGaAs, $\Delta \lambda = 9\text{-}36\text{nm}$
 - 可視分光計 (H₂O 619nm, OH 308nm, 有機物) 1Hz
 - Ocean Optics製作
 - 中間赤外 × 2(衝突地点の形状、水の総量、イジェクタ形状) 0.1Hz
 - Alphasilicon uncooled micro-bolometer 7-14 μm, 384 x 288
 - $\Delta \lambda = 20\text{nm}$, 7μm中心と12μm中心の2つの分光器
 - NIRカメラ × 2(水の総量) 0.1Hz
 - InGaAs sensors, 非冷却, a 12 bit RS-422 output
 - 可視カメラ(衝突地点確認、衝突蒸気雲形状) 0.5Hz
 - 752 x 582 CCD
 - 可視光量計(衝突発光) 1000Hz

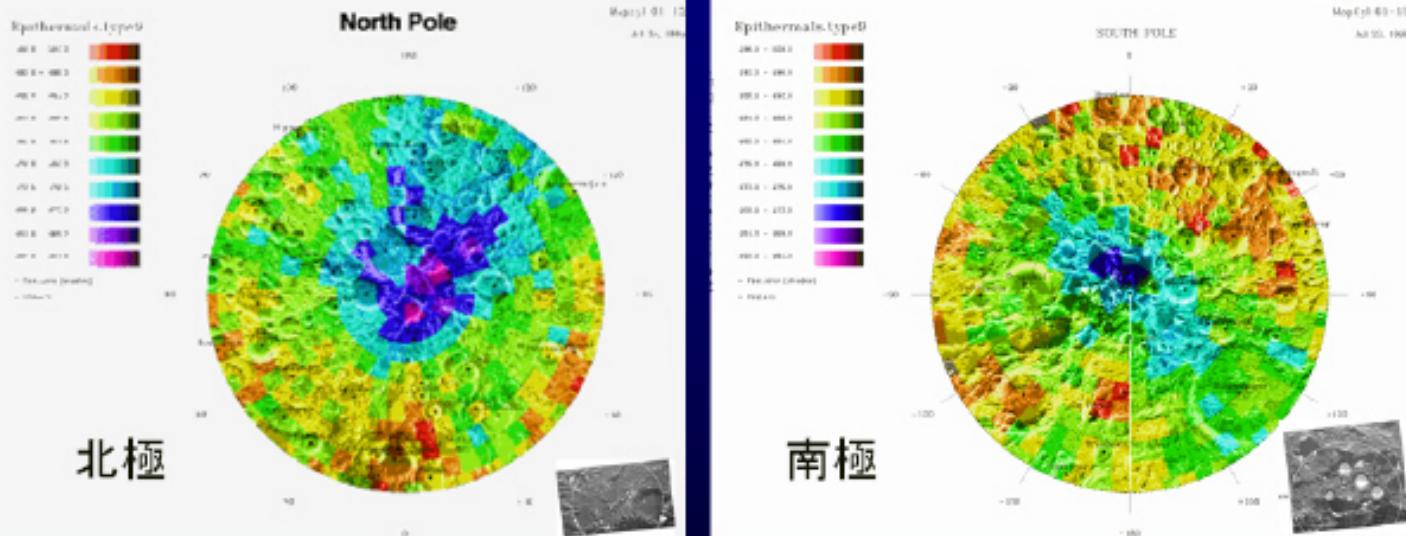


NIR分光器

月の永久影とレーダー画像



月の永久影付近の水素濃集



北極

南極

ルナープロスペクターによる中性子線測定結果と永久影分布

- ・水素の濃集は確実であろう。
- ・問題は、その深さ分布、起源、分子状態(H , H_2O , C_nH_m ?)

何が掘削されるか？

- H₂O
- CO₂
- Organics
- S, SO₂
 - 真の表面は、微小隕石衝突によって脱ガスしている。
 - 月のレゴリスの熱伝導度は非常に低く、1mも掘ると地温は数10Kも上昇する。ただし、氷があると、熱伝導度は上昇する。→氷は安定化する。
 - 氷の成層構造は？

何が掘削されるか？

- 月の極地のケイ酸塩岩の組成は、調べられていない。特に斜長岩のMg/Fe比やK/Na比などは、非常に重要。
 - 前者は、月のマグマオーシャンからの最古の地殻岩体の形成プロセスの制約条件になる。
 - 後者は、KREEPの分布の範囲を知ることに繋がる。マグマオーシャンの最終残液の全球分布を制約することに繋がる。
 - 問題は、定量的に計測・解析できるかどうか。

観測の選択肢

- 紫外分光
 - PAH, OH, CH, CN, C₂(可視)
 - D/H ~2x10⁻⁵ (太陽風), 2-5x10⁻⁴(隕石, 彗星)
- 近赤外分光
 - C_nH_m, H₂O
- 昼間赤外分光
 - ケイ酸塩の鉱物組成, PAH?
- 可視D線
 - Na大気の形成
- 硫黄?(SO₂氷)
- 観測の鍵: 成層構造の検出、総量の推定

今後の日程

- 2／29(金) : LCROSS会議 @Ames
- 2008年10月下旬～12月 : LRO打ち上げ
- 2009年2月～3月 : LCROSS衝突
- マウナケア大望遠鏡群と宇宙望遠鏡で観測

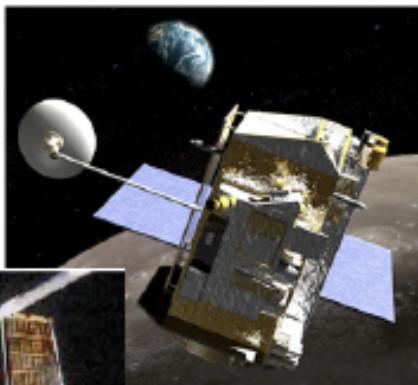




Mission and Impact Overview Worldwide Observing Campaign

Worldwide observation campaign -- building on the experience of Deep Impact

Lunar, Earth-orbiting , and Ground-based Assets



今後の日程

- 2／29(金) : LCROSS会議 @Ames
- 2008年10月下旬～12月 : LRO打ち上げ
- 2009年2月～3月 : LCROSS衝突
- マウナケア大望遠鏡群と宇宙望遠鏡で観測

