

Hypervelocity impact craters in ammonia rich ice

I.D.S. Grey and M.J. Burchell *Icarus* 168 (2004) 467-474

担当: 福崎 翔 (東大・新領域 M2)
衝突勉強会 2009. 12. 15

E-mail: shofukuzaki@astrobio.k.u-tokyo.ac.jp

発表の流れ

1. Introduction

- 研究へのアプローチ
- 先行研究紹介
- 研究目的

2. 実験

- 実験内容、手法
- 実験結果
- 実験データ解析

3. 考察

4. まとめ

Introduction

☆ cometがNH₃を多く含む (i.e., NH₃/H₂O ~ 1–2 vol%)

(e.g., Lunine and Gautier, 2004)

☆ 冥王星衛星カロンがNH₃を多く含む

(e.g., Brown and Calvin, 2000)

Cassini-Huygens 探査 (~2004)

☆ エンセラダスのplume内でNH₃観測

(NH₃/H₂O ~ 10⁻² vol%)

(Waite, J. H. et al., 2009)

NH₃ ice は太陽系内氷天体に多く含まれる

☆タイタン表層でNH₃観測?? (Nelson, R. D. et al., 2009)

- ・タイタン表層はヘイズによって観測困難

⇒ タイタン表層にあるNH₃の正確な量の見積もりは不可能??

H₂OにNH₃が混合
⇒ 衝突クレーター形状が変化??



タイタンのクレーターの形状
⇒ タイタン表層のNH₃の含有率??

先行研究

☆CO₂ iceへの衝突実験

(Burchell et al., 1998)

- CO₂ iceとH₂O iceの衝突クレーターの比較
⇒CO₂ ice のほうがクレーター小

☆NH₃-H₂O ice (Ammonia-Hydrate)への衝突実験

(Grey et al., 2001)

混合比 (50:50 [wt%]; 固定)

- H₂O iceとの衝突クレーターの比較

※NH₃の混合比を変えた研究は無い

(少なくとも2004年までは)

研究目的

濃度の異なるNH₃-H₂O ice への衝突実験

- ・クレーター直径が変化??
- ・クレーターの深さが変化??
- ・クレーターの形状が変化??

☆アンモニア混合によりクレーター形状変化??

☆アンモニア濃度によって形状変化??

発表の流れ

1. Introduction

- 研究へのアプローチ
- 先行研究紹介
- 研究目的

2. 実験

- 実験内容、手法
- 実験結果
- 実験データ解析

3. 考察

4. まとめ

実験

☆Target: $\text{NH}_3\text{-H}_2\text{O}$ ice ※ H_2O : 蒸留水
(NH_3 濃度: 0, 15, 20, 25, 30, 50 [wt%])

• Target表面は常に平面に保たれる (応力最小)
(Burchell et al., 1996)

• Target; 円筒形 深さ8 cm 直径 18cm
(液体窒素によりTarget 温度は 130 K以下に保たれる)

☆Projectile: 直径1mmのステンレス球

衝突実験

☆Projectile の加速: 二段式軽ガス銃

(the University of Kent)

- 衝突角度: 全 shot 垂直衝突
- 衝突速度: 4.9 ± 0.1 km/s (49 ± 0.2 J) - 強度支配域
測定法: projectile の経路に2つのlaser light curtains
- Target chamber内圧力: 78 ± 2 Pa
- 衝突時のtarget表面の平均温度 (152 ± 10 K)

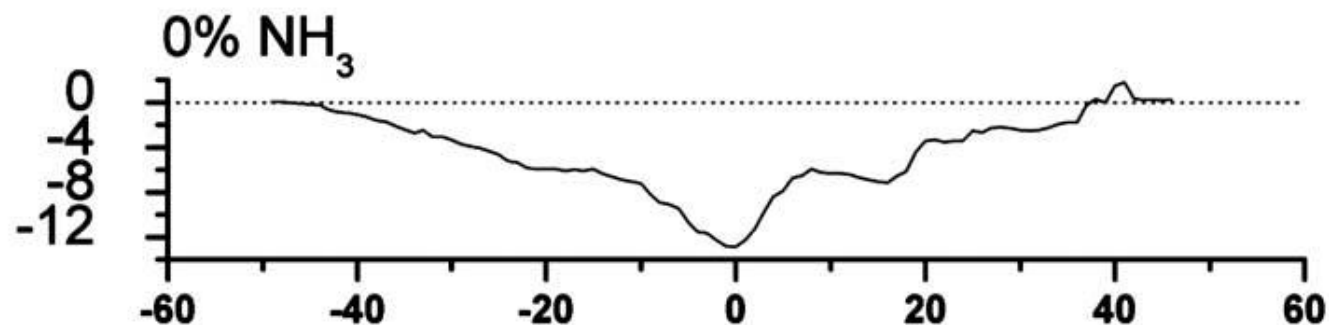
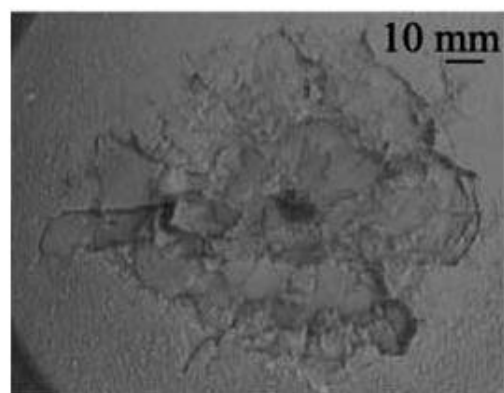
実験結果

Table 1
Target concentration, temperature, crater dimensions, and ratios for all craters

NH ₃ -H ₂ O concentration (% ammonia)	Target density (kg m ⁻³)	Target temperature (K)	Velocity (km s ⁻¹)	Crater depth (mm)	Crater diameter (mm)	Crater volume (cm ³)	Depth/diameter (ratio)
0	933	153	4.90	12.91 ± 0.08	84.0 ± 1.2	13.89 ± 0.06	0.15 ± 0.01
0	933	161	4.51	11.09 ± 0.06	85.0 ± 0.5	22.22 ± 0.09	0.13 ± 0.01
0	933	155	4.49	12.49 ± 0.02	73.2 ± 3.6	17.01 ± 0.07	0.17 ± 0.01
10	962	144	4.96	10.30 ± 0.06	63.3 ± 3.7	5.28 ± 0.02	0.16 ± 0.01
10	962	165	4.60	9.97 ± 0.20	60.0 ± 1.2	11.60 ± 0.05	0.17 ± 0.01
15	900	148	4.90	9.9 ± 0.5	59.7 ± 4.1	11.39 ± 0.05	0.17 ± 0.02
20	918	144	4.83	11.6 ± 0.3	60.9 ± 3.3	12.71 ± 0.05	0.19 ± 0.02
25	885	144	4.79	10.8 ± 0.2	53.6 ± 3.2	13.13 ± 0.05	0.20 ± 0.02
30	901	160	5.05	9.4 ± 0.3	63.8 ± 0.3	16.39 ± 0.07	0.15 ± 0.01
50	930	144	4.87	12.6 ± 0.7	61.0 ± 1.0	6.67 ± 0.03	0.21 ± 0.01
50	930	144	4.77	7.4 ± 0.3	62.1 ± 0.7	8.44 ± 0.03	0.12 ± 0.01
50	930	153	4.79	12.1 ± 0.3	66.5 ± 4.0	20.56 ± 0.08	0.18 ± 0.01
50	930	167	4.86	9.9 ± 0.1	62.0 ± 0.5	5.35 ± 0.02	0.16 ± 0.01

- クレーター直径 (C_D): 2D画像に円をfitting
- クレーター深さ (C_d): 深さ方向の断面を測定
(1 or 2 mm 間隔)
- クレーター体積 (V_c): 体積既知のglassビーズを敷き詰めて計測
- $C_c = C_d / C_D$ (深さ / 直径)

解析結果①

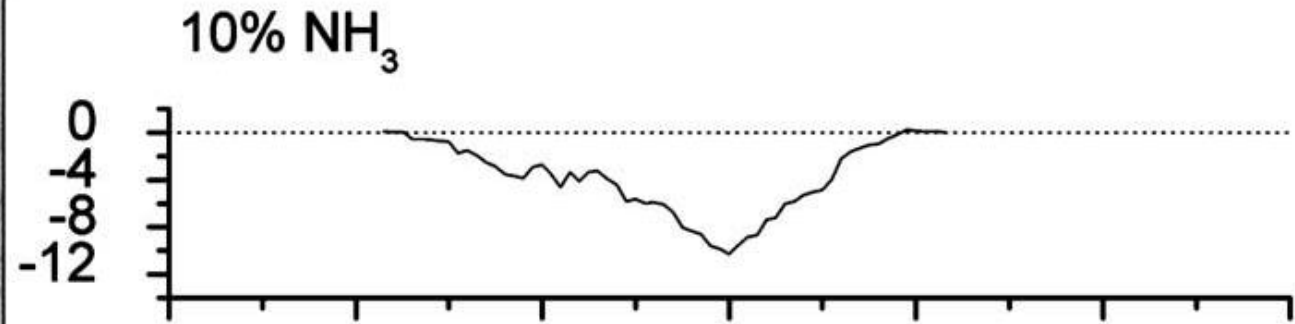
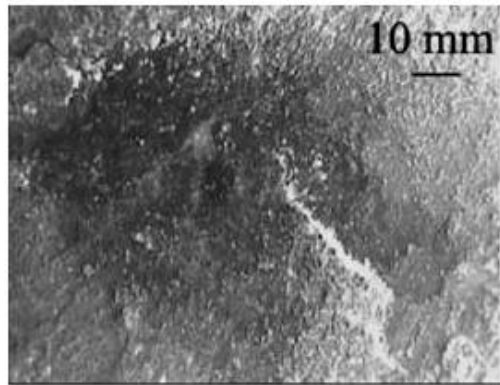


純H₂O ice profile (mm)

- クレーター中央にpit (central pit) & rimは見られない
- 広いterraceを持つ

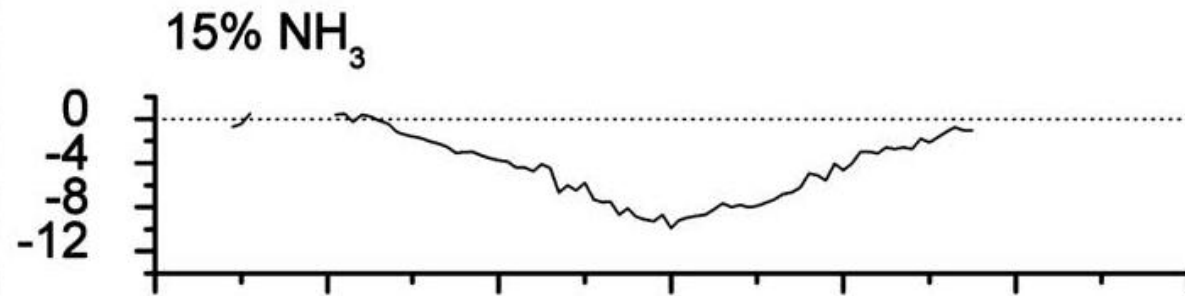
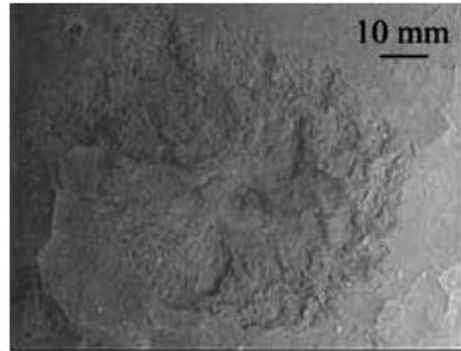
Target の物質強度が低いとき

⇒ H₂O iceの典型的な形状 (e.g., Burchell et al., 1998)



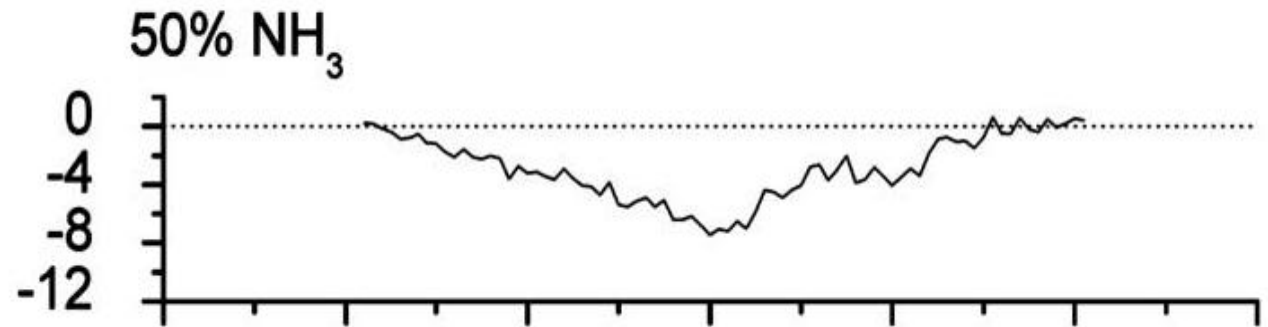
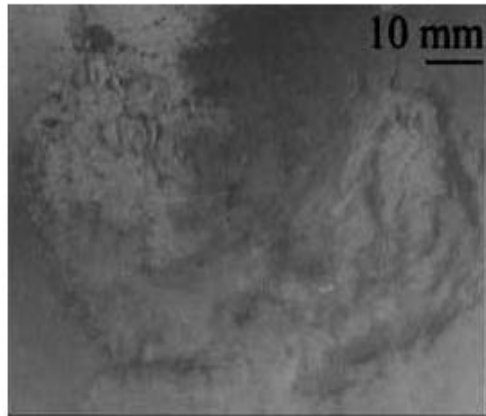
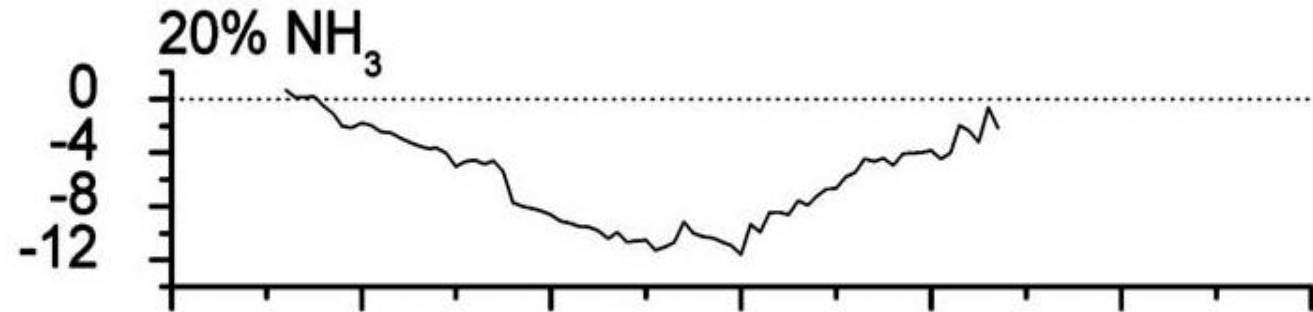
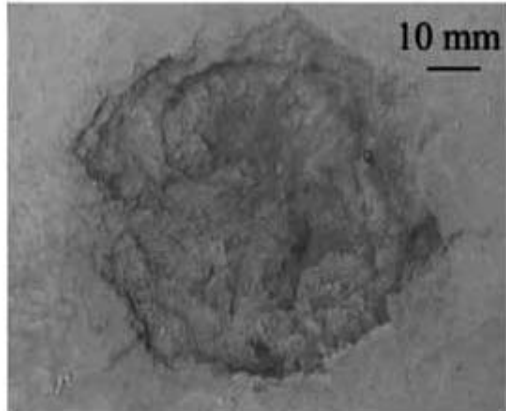
NH₃濃度10 wt%

- central pit が純H₂O ice同様見られる
- 純H₂O ice 同様rimは見られない
- terrace が純H₂O iceと比較して顕著には見られない



NH₃濃度 15 wt%

- central pit が微妙に見られる (ほぼ平らなpit)
 - 純H₂O ice & NH₃濃度10 wt%同様rimは見られない
 - terrace は辛うじて見られる
- ⇒ terrac & pitの区別は困難



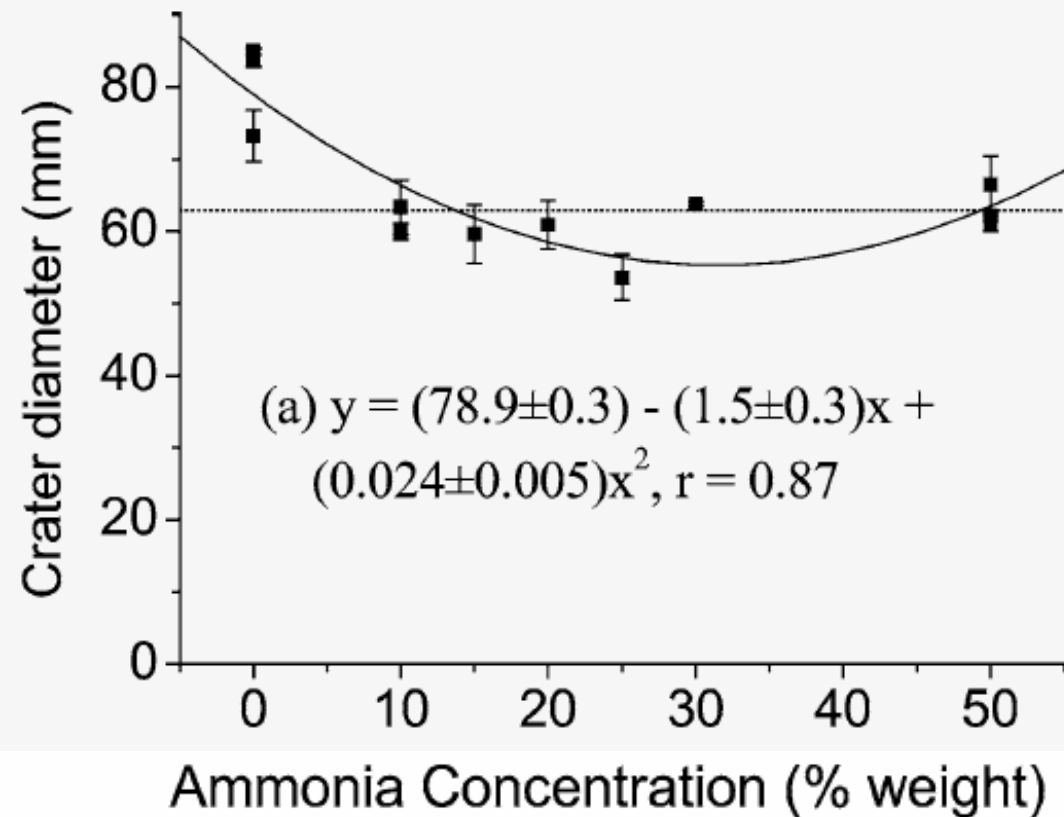
NH_3 濃度 20 (25), 50 wt%

- rim & central pit & terrace 見られない
- ⇒ クレーターの淵から中央まで滑らかに変化

解析結果②

クレーター直径 (C_D)
vs アンモニア濃度

相関関数 大 (0.87)



2次多項式でfit をしているが、

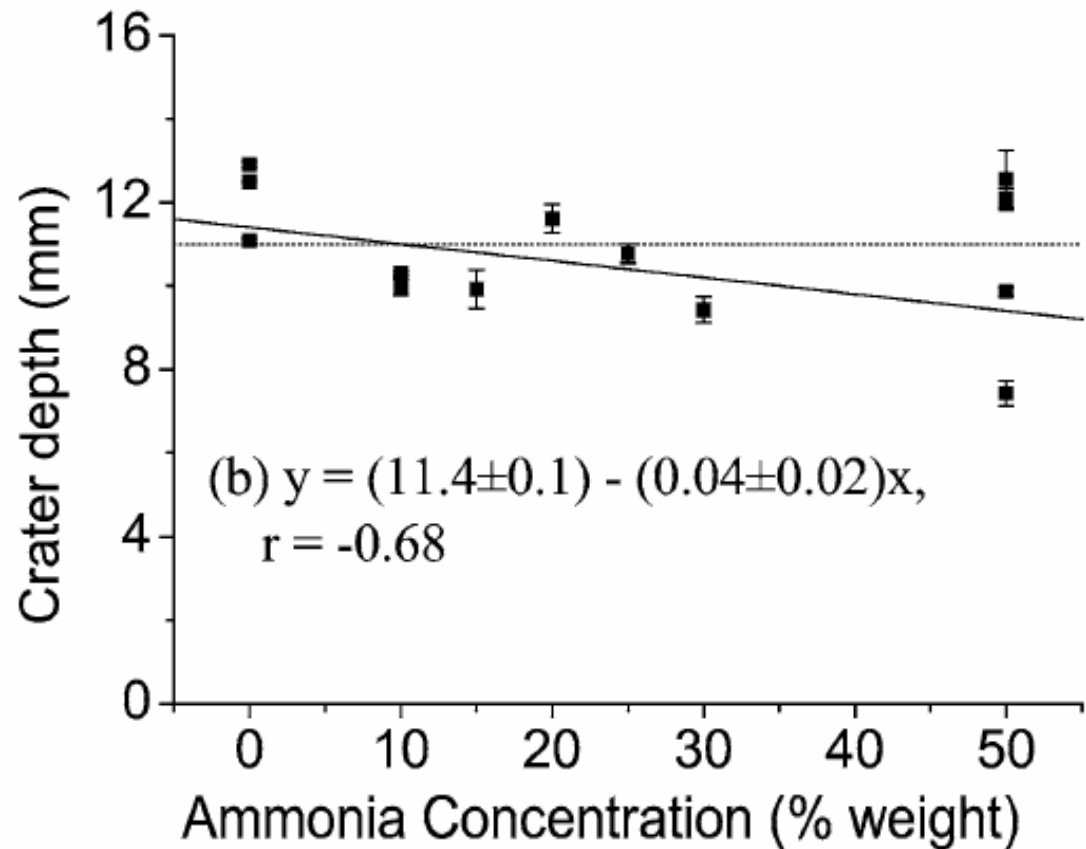
純H₂O ice以外 (NH₃濃度10 wt%以上)

⇒ クレーターの直径はほぼ一定

C_D の平均値: 62.9 ± 3.8 (点線)

クレーター深さ(C_d) vs アンモニア濃度

相関関数 大 (-0.68)

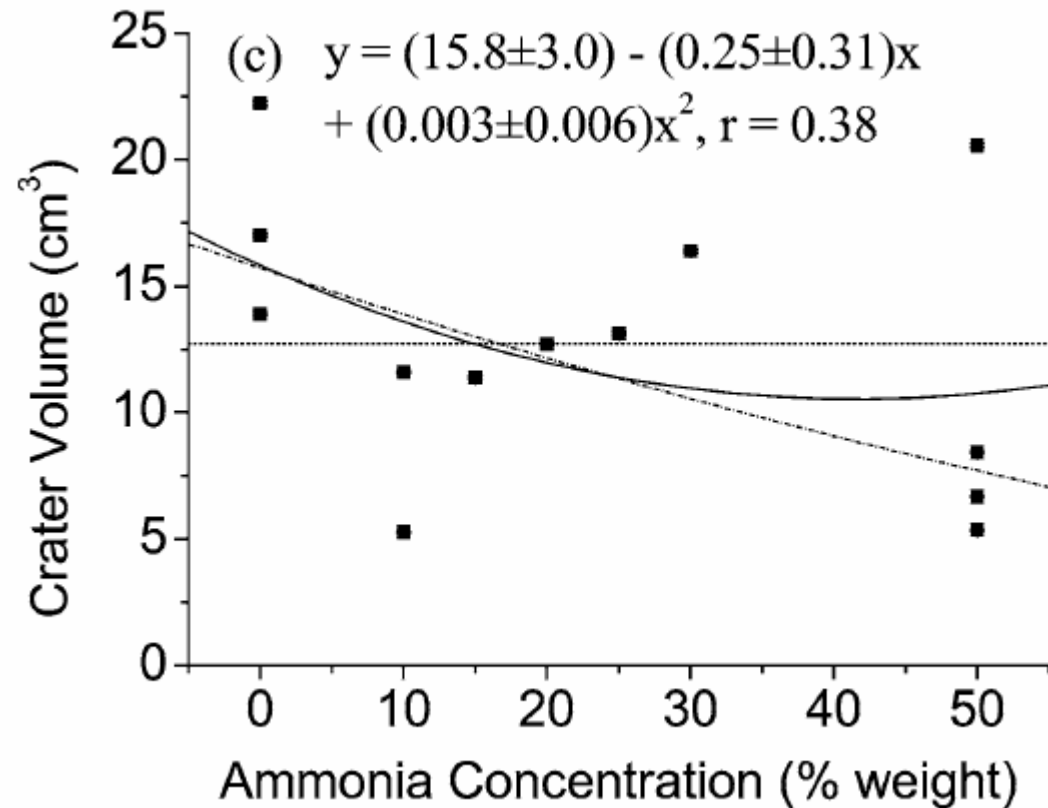


- NH_3 の濃度に依らずクレーターの深さはほぼ一定となる

C_d の平均値: 11.0 ± 1.6 (点線)

クレーター体積 (V_c) vs アンモニア濃度

相関関数 小 (0.38)



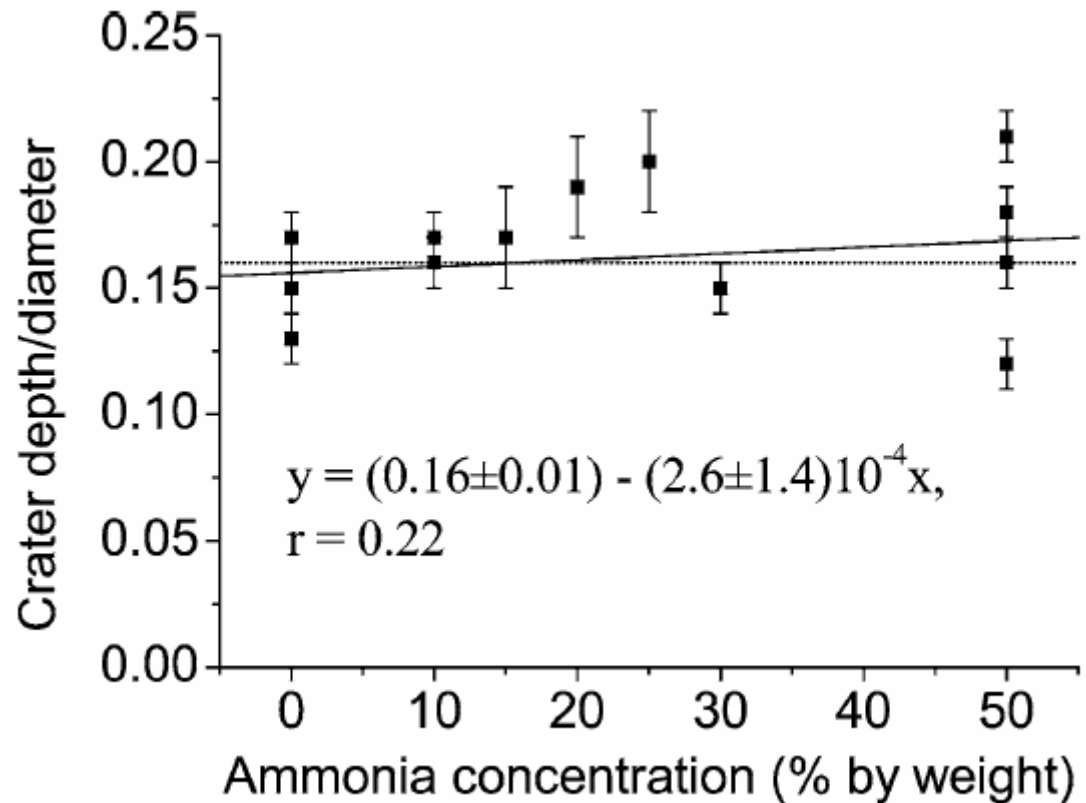
• NH₃の濃度に対しクレーター体積はばらつきが大きい

最も回帰曲線から外れたデータ点を除く
⇒ 相関関数 0.62 (点線) (実験条件に異常なし: 無理)

☆ NH₃濃度増加 ⇒ 体積の増加は無い (減少傾向)

深さ / 直径 (C_c) vs アンモニア濃度

相関関数 小 (0.22)



相関が小さい

⇒ C_c はアンモニア濃度に依存しない

⇒ クレーターの形状は体積変化による？

C_c の平均値: 0.16 ± 0.03 (点線)

※ 他の物質 (花崗岩) の値に類似

発表の流れ

1. Introduction

- 研究へのアプローチ
- 先行研究紹介
- 研究目的

2. 実験

- 実験内容、手法
- 実験結果
- 実験データ解析

3. 考察

4. まとめ

考察①

$\text{NH}_3\text{-H}_2\text{O}$ ice の物質強度 \Rightarrow 純 H_2O ice の $1/10 - 1/20$
(アンモニア濃度増加に伴い物質強度は小さくなる)

(Lorenz and Shandera, 2001)

物質強度 小 \Rightarrow クレーター体積 大??

しかし、実験結果より

アンモニア濃度増加 \Rightarrow クレーター体積減少

粘性の効果が原因??

粘性増加 \Rightarrow クレーター体積減少

(Fink et al., 1984)

アンモニア濃度増加に伴い粘性が増加 ??

考察②

☆NH₃が含まれるとクレーター体積にどれぐらい影響??

他の物質と比較

純CO₂ ice ⇒ 純 H₂O ice の 1/ 1.3倍
(Burchell et al, 1998)

シリケート(20%)-H₂O ice ⇒ 純 H₂O ice の 1/ 6倍
(Koschny and Grun, 2001)

NH₃ (50 wt%)-H₂O ice ⇒ 純 H₂O ice の 1/ 1.5–1/2 倍

CO₂ < NH₃ < シリケート

発表の流れ

1. Introduction

- 研究へのアプローチ
- 先行研究紹介
- 研究目的

2. 実験

- 実験内容、手法
- 実験結果
- 実験データ解析

3. 考察

4. まとめ

まとめ

☆濃度の異なるNH₃-H₂O ice への衝突実験

- ・クレーター直径が変化?? ⇒ ほぼ一定
- ・クレーターの深さが変化?? ⇒ ほぼ一定
- ・クレーターの体積が変化??

⇒ アンモニア濃度増加 → クレーター体積減少

アンモニア濃度によって形状変化??



クレーター体積変化 ⇒ クレーター形状変化