

日本惑星科学会 秋季講演会予稿集 2009

2009 年 9 月 28 日(月)－30 日(水)

東京大学本郷キャンパス

主催：日本惑星科学会

2009 年 日本惑星科学会 秋季講演会

日 時 : 2009 年 9 月 28 日(月)~30 日(水)

場 所 : 東京大学本郷キャンパス 〒113-0033 東京都文京区本郷 7-3-1

プログラム概要

● 9 月 28 日 (月)

8:15 受付開始 (工学部 2 号館 1 階ピロティ)
9:00 オーラルセッション 1 太陽系物質科学 (工学部 2 号館大講義(213)室)
10:30 オーラルセッション 2 最優秀発表賞選考 (工学部 2 号館大講義(213)室)
11:45 昼食
13:00 ポスターセッション 1 (工学部 2 号館 1 階ピロティ)
14:10 オーラルセッション 3 月 I (工学部 2 号館大講義(213)室)
15:25 オーラルセッション 4 月 II (工学部 2 号館大講義(213)室)
16:40 オーラルセッション 5 月 III (工学部 2 号館大講義(213)室)
17:24 1 日目終了

.....

● 9 月 29 日 (火)

8:30 受付開始 (工学部 2 号館 1 階ピロティ)
9:00 オーラルセッション 6 月 IV (工学部 2 号館大講義(213)室)
10:50 オーラルセッション 7 分子雲・原始惑星系円盤 (工学部 2 号館大講義(213)室)
11:45 昼食
13:00 ポスターセッション 2 (工学部 2 号館 1 階ピロティ)
14:10 オーラルセッション 8 原始惑星系円盤・惑星形成 (工学部 2 号館大講義(213)室)
15:40 総会 (工学部 2 号館大講義(213)室)
16:50 最優秀研究者賞特別講演 (工学部 2 号館大講義(213)室)
18:10 2 日目終了
18:30 懇親会 (山上会館)

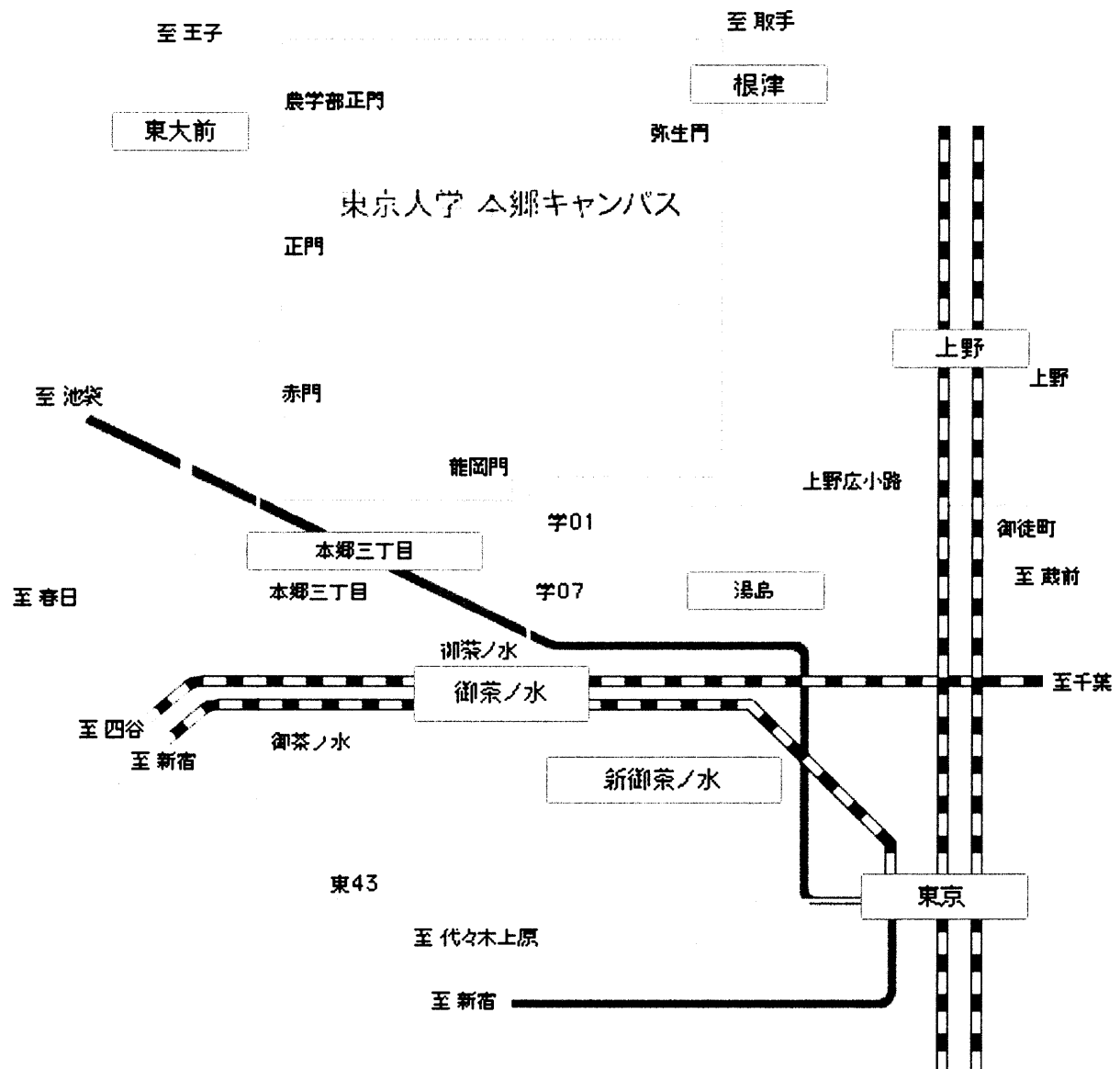
.....

● 9 月 30 日 (水)

8:30 受付開始 (工学部 2 号館 1 階ピロティ)
9:00 オーラルセッション 9 固体天体の科学・惑星探査 I (工学部 2 号館大講義(213)室)
10:40 オーラルセッション 10 惑星気象・惑星大気 (工学部 2 号館大講義(213)室)
11:46 昼食
13:00 ポスターセッション 3 (工学部 2 号館 1 階ピロティ)
14:10 オーラルセッション 11 固体天体の科学・惑星探査 II (工学部 2 号館大講義(213)室)
15:25 オーラルセッション 12 衝突実験 (工学部 2 号館大講義(213)室)
16:31 3 日目終了

会場までのアクセス

● 東京大学本郷キャンパスへ



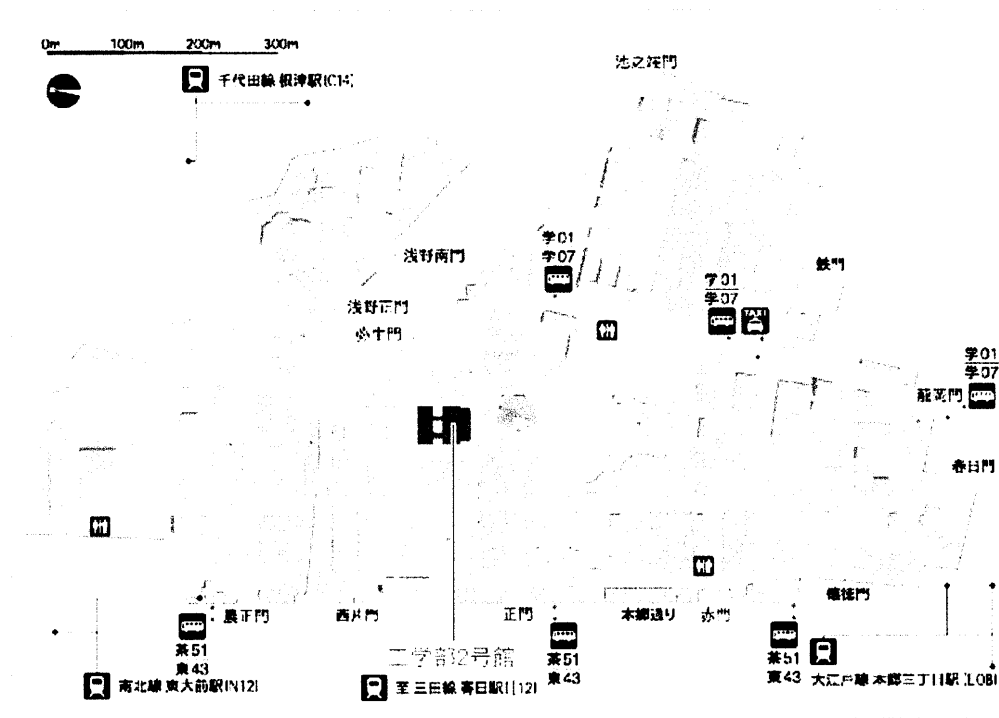
東京大学本郷キャンパスへの最寄り駅は、以下の通りです。

- ・本郷三丁目駅（地下鉄丸ノ内線，都営大江戸線）
- ・根津駅（地下鉄千代田線）
- ・東大前駅（地下鉄南北線）
- ・春日駅（都営三田線）

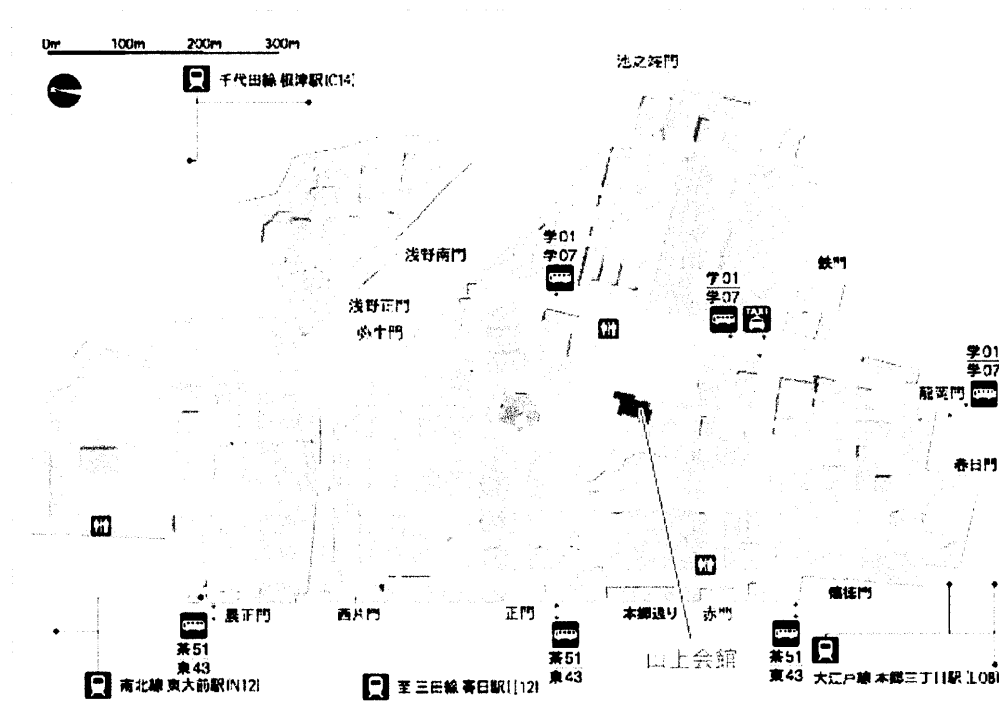
また、JR 上野駅，御茶ノ水駅，御徒町駅からは学バスが運行しておりますので，ご利用いただけます。

本郷キャンパス内マップ

- 工学部2号館（1階ピロティー：受付・ポスター会場，大講義室（213号室）：講演会場）



- 山上会館（懇親会：地階食堂）



プログラム

- ・講演者は*で示してあります.
- ・口頭発表は 8 分講演 (ただし最優秀発表賞選考は 12 分講演), 3 分質疑応答です. 発表者は時間を厳守下さるようお願いいたします.
- ・ポスター (横 110 cm×縦 170 cm) は秋季講演会期間中, 掲示していただくことが可能です (ただし, 最終日 17 時までには撤去してください).

.....

● 9月28日 (月)

オーラルセッション1 太陽系物質科学 (座長: 藪田 ひかる・上栢 真之)

9:00 101 CAI の酸素同位体異常: 局所的起源の可能性

小嶋 稔*, 山田 明憲 (東京大)

9:11 102 ケイ酸塩ダストの新しい生成シナリオ

木村 勇気* (東北大), ヌス ジョセフ (NASA)

9:22 103 炭素質コンドライトから分離した Q ガス濃集物質の Carbon-XANES 分析

藪田 ひかる* (大阪大), 甘利 幸子 (ワシントン大), 松田 准一, 長谷川 紀昭 (大阪大), キルコイン デイビッド (ローレンス・バークレー国立研究所)

9:33 104 隕石中の複合コンドリュールの X 線 CT による 3 次元観察と、その形成過程の考察

上栢 真之* (大阪大), 中村 智樹 (九州大), 土山 明 (大阪大), 上杉 健太郎 (JASRI)

9:44 105 コンドリュールメルト結晶化における潜熱の役割

三浦 均* (東北大), 横山 悦郎 (学習院大), 長嶋 剣 (大阪大), 塚本 勝男 (東北大)

9:55 106 角礫岩質 LL コンドライト隕石中の花コウ岩質クラストの局所年代分析

寺田 健太郎* (広島大)

10:06 107 小惑星 2008TC3 の岩石・鉱物学

三河内 岳* (東京大), ゴレンスキー マイケル (NASA)

.....

10:17 休憩

.....

オーラルセッション2 最優秀発表賞選考 (座長: 木村 勇気)

10:30 108 原始惑星系円盤における帯電ダストの合体成長

奥住 聡* (京都大), 田中 秀和 (北海道大), 阪上 雅昭 (京都大)

10:45 109 模擬ラブルパイル天体衝突反対点粒子速度の測定

瀬藤 真人*, 中村 昭子 (神戸大), 山下 靖幸 (中部大), 三軒 一義 (神戸大)

11:00 110 コランダムの凝縮異方性を用いた星周ダスト形成環境の推定

瀧川 晶*, 橘 省吾, 永原 裕子 (東京大)

11:15 111 氷・シリカ混合物の流動則に対する空隙の効果：氷衛星の地形緩和への応用

保井 みなみ*, 荒川 政彦 (名古屋大)

11:30 112 地球流出 O⁺の同位体分別の量子化学計算：Earth wind 仮説の検証

山田 明憲* (東京大), 南部 伸孝 (上智大), 笠井 康子 (情報通信研究機構), 小嶋 稔 (東京大)

.....
11:45 昼食

.....
13:00 ポスターセッション 1

.....
14:00 休憩

.....
オーラルセッション 3 月 I (座長：木村 淳・諸田 智克)

14:10 113 SELENE 搭載 LISM/地形カメラの成果と今後の展望

春山 純一*, 大竹 真紀子 (JAXA), 松永 恒雄 (環境研), 木村 淳 (北海道大), 佐々木 晶 (国立天文台), 浅田 智朗, 出村 裕英 (会津大), 平田 成, 本田 親寿, 小川 佳子, 北里 宏平, 寺蘭 淳也 (会津大), 道上 達弘 (福島高専), 山本 聡 (環境研), 白尾 元理 (惑星地質研究会), 中村 良介 (産総研), 武田 弘, 荒井 朋子 (千葉工大), 宮本 英昭, 岩崎 晃 (東京大), 杉原 孝充 (海洋開発研究機構), 諸田 智克, 横田 康弘, 川村 太一 (JAXA), 山口 靖 (名古屋大), 山路 敦 (京都大), 佐伯 和人 (大阪大), 長谷中 利昭 (熊本大), 廣井 孝弘 (ブラウン大), 荒木 博志, 野田 寛大, 石原 吉明 (国立天文台), 斎藤 義文, 横田 勝一郎 (JAXA), 綱川 秀夫 (東工大), 渋谷 秀敏 (熊本大), 松島 政貴 (東工大), 清水 久芳 (東京大/東工大), 小野 高幸, 熊本 篤志, 中川 広務 (東北大)

14:21 114 ジャクソンクレーターの地形地質解析

平田 成* (会津大), 大竹 真紀子, 春山 純一 (JAXA), 松永 恒雄 (環境研), 出村 裕英, 本田 親寿, 小川 佳子, 北里 宏平, 浅田 智朗 (会津大)

14:32 115 かぐや LISM に基づく月オリエンターレ衝突盆地の構造

出村 裕英*, 平田 成, 小川 佳子, 本田 親寿, 北里 宏平, 浅田 智朗, 柴田 祐人 (会津大), 佐伯 和人 (大阪大), 杉原 孝充 (海洋開発研究機構), 横田 康弘, 諸田 智克, 鳥居 雅也 (JAXA), 松永 恒雄 (環境研), 大竹 真紀子, 春山 純一 (JAXA)

14:43 116 月震計データから見た月面クレータ生成率不均質

川村 太一* (東京大/JAXA), 諸田 智克, 小林 直樹, 田中 智 (JAXA)

14:54 117 月周回衛星かぐや搭載スペクトルプロファイラーで得られた大量分光データに対する特定スペクトル抽出ソフトの開発

山本 聡* (環境研), 中村 良介 (産総研), 松永 恒雄 (環境研), 小川 佳子 (会津大), 横田 康弘, 大竹 真紀子, 春山 純一 (JAXA)

15:05 118 月の可視・近赤外域の測光関数：かぐやスペクトラルプロファイラの測光補正

横田 康弘* (JAXA), 松永 恒雄 (環境研), 大竹 真紀子, 春山 純一 (JAXA), 中村 良介

(産総研), 小川 佳子(会津大), 山本 聡(環境研), 諸田 智克(JAXA), 本田 親寿(会津大), 佐伯 和人, 長澤 健一(大阪大), 北里 宏平(会津大), 佐々木 晶(国立天文台), 岩崎 晃(東京大), 出村 裕英, 平田 成(会津大)

.....

15:16 休憩

.....

オーラルセッション 4 月 II (座長: 荒井 朋子・押上 祥子)

15:25 119 LISM/MI による月地殻物質のスペクトル分類 (予察)

杉原 孝充* (海洋開発研究機構), 大竹 真紀子, 春山 純一(JAXA), 松永 恒雄(環境研), 横田 康弘, 諸田 智克(JAXA), 本田 親寿, 小川 佳子, 平田 成, 出村 裕英, 浅田 智朗(会津大), 中村 良介(産総研)

15:36 120 かぐやにより取得した分光観測データを用いた高い Mg# を持つ月高地地殻の探査
大竹 真紀子*(JAXA), 武田 弘(千葉工大), 横田 康弘, 春山 純一, 諸田 智克(JAXA), 松永 恒雄, 山本 聡(環境研)

15:47 121 かぐや/スペクトロプロファイラ観測データに基づく月面 swirl 構造の分光特徴
小川 佳子*(会津大), 春山 純一(JAXA), 松永 恒雄(環境研), 中村 良介(産総研), 大竹 真紀子(JAXA), 山本 聡(環境研), 横田 康弘(JAXA), 出村 裕英, 平田 成, 寺園 淳也, 本田 親寿, 北里 宏平, 浅田 智朗(会津大)

15:58 122 「かぐや」搭載 Spectral Profiler を用いた月の溶岩流の化学組成進化の研究
佐伯 和人*, 長澤 健一(大阪大), 中村 良介(産総研), 松永 恒雄(環境研), 廣井 孝弘(ブラウン大), 小川 佳子(会津大), 荒井 朋子(千葉工大), 山本 聡(環境研), 大竹 真紀子, 春山 純一, 横田 康弘(JAXA), 本田 親寿(会津大), 諸田 智克(JAXA)

16:09 123 月の裏側の火成活動史
諸田 智克*, 春山 純一, 大竹 真紀子(JAXA), 松永 恒雄(環境研), 杉原 孝充(海洋開発研究機構), 石原 吉明(国立天文台), 横田 康弘(JAXA), 木村 淳(北海道大), 川村 太一(JAXA), 本田 親寿(会津大), 佐伯 和人(大阪大), 平田 成, 出村 裕英(会津大), 佐々木 晶(国立天文台), 武田 弘(千葉工大)

16:20 124 月の初期マグマオーシャンおよび地殻形成に対する物質科学的制約
酒井 理紗*, 久城 育夫, 永原 裕子, 小澤 一仁, 橘 省吾(東京大)

.....

16:31 休憩

.....

オーラルセッション 5 月 III (座長: 杉原 孝充)

16:40 125 月地殻中のかんらん石の起源: 月隕石とかぐやデータからの考察

荒井 朋子*(千葉工大), 山口 亮(極地研), 武田 弘(東京大), 大竹 真紀子(JAXA), 松永 恒雄(環境研), 春山 純一(JAXA), 杉原 孝充(海洋開発研究機構), 平田 成, 小川 佳子(会津大), 中村 良介(産総研), 佐伯 和人(大阪大), 廣井 孝弘(ブラウン大), 山本 聡(環境研), 横田 康弘(JAXA), 本田 親寿(会津大), 諸田 智克(JAXA)

16:51 126 「かぐや」レーザ高度計 (LALT) の月地形観測 -観測実績と解析現状-

荒木 博志*, 田澤 誠一, 野田 寛大, 石原 吉明, ホーセンス サンダー, 佐々木 晶, 河野 宣之 (国立天文台), 神谷 泉 (国土地理院), 大嶽 久志 (JAXA), オバースト ユルゲン (ドイツ宇宙航空センター), シャム シェクワン (オハイオ大), 横田 康弘, 諸田 智克, 春山 純一, 大竹 真紀子 (JAXA), 松永 恒雄 (環境研)

17:02 127 月レーダサウンダー (LRS) データに基づく月の海の地下反射面分布

押上 祥子*, 山口 靖, 渡辺 志穂 (名古屋大), 山路 敦 (京都大), 小野 高幸, 熊本 篤志, 中川 広務 (東北大), 小林 敬生 (韓国地質資源研究院)

17:13 128 かぐやマルチバンドイメーgerによる Mare Humorum の basalt 厚の推定

久保 公央* (九州大), 大竹 真紀子 (JAXA), 並木 則行 (千葉工大), 山路 敦 (京都大), 春山 純一 (JAXA), 松永 恒雄 (環境研)

.....

● 9月29日 (火)

オーラルセッション6 月IV (座長: 佐伯 和人・小川 佳子)

9:00 201 最新の「かぐや」月重力場モデルについて

松本 晃治*, ホーセンス サンダー, 石原 吉明, 劉 慶会, 菊池 冬彦 (国立天文台), 岩田 隆浩 (JAXA), 並木 則行 (千葉工大), 野田 寛大, 花田 英夫, RSAT/VRAD ミッションチーム (国立天文台)

9:11 202 かぐやの測月データから推定したモホ形状モデルと衝突盆地の地下構造

石原 吉明* (国立天文台), 諸田 智克, 岩田 隆浩 (JAXA), 並木 則行 (千葉工大), ホーセンス サンダー, 松本 晃治, 野田 寛大, 荒木 博志, 花田 英夫, 佐々木 晶, RSAT/VRAD/LALT ミッションチーム (国立天文台)

9:22 203 「かぐや」測地データを用いた月裏側の温度構造推定

鎌田 俊一*, 杉田 精司, 阿部 豊 (東京大), 並木 則行 (千葉工大), 岩田 隆浩 (JAXA), 花田 英夫, 荒木 博志 (国立天文台)

9:33 204 月面クレーター永久影内へのふく射伝熱解析

越後 亮三* (東工大)

9:44 205 SELENE2 における月震探査

小林 直樹* (JAXA), SELENE2 広帯域地震計チーム,

9:55 206 月面機器の長期観測のための温度制御機構 (サバイバルモジュール) の開発

小川 和律*, 飯島 祐一 (JAXA), 飯田 光人 (千代田アドバンスド・ソリューションズ), 白井 慶, 田中 智 (JAXA)

10:06 207 次期月探査計画 SELENE-2 :科学目標と搭載機器の検討状況

田中 智*, 飯島 祐一, 三谷 烈史, 大嶽 久志, 小川 和律 (JAXA), 木村 淳, 倉本 圭 (北海道大)

10:17 208 次期月探査計画 SELENE-2 で目指すサイエンス

田中 智, 飯島 祐一, 大嶽 久志 (JAXA), 木村 淳*, 倉本 圭 (北海道大), 三谷 烈史, 小川 和律 (JAXA)

10:28 209 高純度の月斜長岩の存在とその資源的利用

武田 弘* (千葉工大), 山口 亮 (極地研), 矢沢 勇樹 (千葉工大), 大竹 真紀子, 春山 純一 (JAXA)

10:39 休憩

オーラルセッション7 分子雲・原始惑星系円盤 (座長: 山田 耕・佐々木 貴教)

10:50 210 低温固体表面における水素, 窒素原子結合反応によるアンモニア分子生成

日高 宏*, 渡辺 元浩, 香内 晃, 渡部 直樹 (北海道大)

11:01 211 蒸発による微惑星形成: 氷ダストアグリゲイトによるダスト掃き集めの効果

斎藤 悦子*, 鵜 幸司, 城野 信一 (名古屋大)

11:12 212 ダストアグリゲイトの焼結分裂後のサイズ分布

城野 信一* (名古屋大)

11:23 213 惑星系最初期進化におけるダスト衝突破壊過程の重要性

福井 隆*, 田中 秀和, 倉本 圭 (北海道大)

11:34 214 原始惑星系円盤内の渦におけるダストの面密度分布進化

河村 恵里*, 渡邊 誠一郎 (名古屋大)

11:45 昼食

13:00 ポスターセッション2

14:00 休憩

オーラルセッション8 原始惑星系円盤・惑星形成 (座長: 谷川 享行・福井 隆)

14:10 215 原始惑星系円盤におけるストリーミング不安定性の線形解析

石津 尚喜*, 関谷 実 (九州大)

14:21 216 近似 Riemann Solver を用いた非理想気体を扱える Godunov SPH 法の開発

細野 七月* (東工大)

14:32 217 天体衝突を考慮した軌道計算コードの開発

玄田 英典* (東工大), 小久保 英一郎 (国立天文台), 井田 茂 (東工大)

14:43 218 巨大惑星周りの衛星系形成とその多様性の起源

佐々木 貴教*, 井田 茂 (東工大), スチュワート グレン R (コロラド大)

14:54 219 巨大惑星周りの衛星系形成N体シミュレーション

荻原 正博*, 井田 茂 (東工大)

15:05 220 周惑星ガス円盤による微惑星捕獲：解析的見積もり

谷川 享行* (北海道大), 大槻 圭史 (神戸大), 小林 浩 (イエナ大)

15:16 221 降着円盤内の惑星移動に対する熱的構造の影響について

山田 耕* (神戸大), 稲葉 知士 (早稲田大)

15:27 休憩

15:40 総会

16:40 休憩

最優秀研究者賞特別講演 (座長：倉本 圭)

16:50 222 巨大惑星の起源と内部構造

生駒 大洋* (東工大)

17:30 223 つぶらな衝突

和田 浩二* (千葉工大)

18:30 懇親会 (山上会館)

● 9月30日 (水)

オーラルセッション9 固体天体の科学・惑星探査I (座長：平田 成・寺居 剛)

9:00 301 炭素・塩素による月の起源と進化

三浦 保範* (山口大)

9:11 302 地球周回軌道での宇宙塵捕集とその有機物分析法の検討

小林 憲正*, 伏見 英彦, 金子 竹男 (横国大), 田端 誠 (JAXA), 河合 秀幸 (千葉大), 三田 肇 (福岡工大), 林 宣宏 (東工大), 藪田 ひかる (大阪大), 矢野 創 (JAXA), 奥平 恭子 (会津大), 橋本 博文 (JAXA), 横堀 伸一, 山岸 明彦 (東京薬科大), たんぽぽ WG (JAXA)

9:22 303 高軌道傾斜角の微小メインベルト小惑星を対象とした広域サーベイ観測

寺居 剛*, 伊藤 洋一 (神戸大)

9:33 304 交差検定法を取り入れた修正ガウス関数法：固体惑星表面の鉱物全球マッピングにむけて

坪井 伸子*, 杉田 精司 (東京大), 廣井 孝弘 (ブラウン大), 永田 賢二, 岡田 真人 (東京大)

- 9:44 305 小惑星の物質科学的研究のための静電マニピュレーション技術の開発
小川 真帆* (東京大), 矢田 達, 安部 正真 (JAXA), 中村 智樹 (九州大), 藤村 彰夫 (JAXA)
- 9:55 306 惑星物質試料受け入れ設備 (キュレーション設備) の状況-はやぶさ試料受け入れ運用リハーサルへ向けての準備-
藤村 彰夫*, 安部 正真, 矢田 達 (JAXA), 中村 智樹, 岡崎 隆司 (九州大), 野口 高明 (茨城大), 田中 智, 小林 直樹, 加藤 學 (JAXA)
- 10:06 302 イトカワの岩塊表面に見られる高輝度スポット：形成過程と岩塊の年代
竹内 洋人*, 宮本 英昭 (東京大), 奥 元良 (三菱総研), 丸山 智志 (東京大)
- 10:17 308 EJSM 国際共同ミッションによる木星・トロヤ群小惑星探査計画
佐々木 晶* (国立天文台), 藤本 正樹 (JAXA), 木村 淳 (北海道大), 高島 健, 矢野 創 (JAXA), 笠羽 康正, 高橋 幸弘 (東北大), 川口 淳一郎, 川勝 康弘, 津田 雄一, 船瀬 龍, 森 治, 森本 睦子, 木星探査ワーキンググループ (JAXA)
-
- 10:28 休憩
.....
- オーラルセッション 10 惑星気象・惑星大気 (座長：高木 征弘・玄田 英典)
- 10:40 309 惑星大気雲対流モデルの開発
杉山 耕一郎*, 山下 達也, 小高 正嗣 (北海道大), 中島 健介 (九州大), 高橋 芳幸 (神戸大), 竹広 真一 (京都大), 石渡 正樹 (北海道大), 林 祥介 (神戸大)
- 10:51 310 地球流体データのデータベース・解析・可視化のためのデスクトップツール兼サーバー「Gfdnavi」の開発
西澤 誠也* (神戸大), 堀之内 武 (北海道大), 渡辺 智恵美 (お茶の水大), 伴林 晃紀 (無所属), 諫本 有加 (お茶の水大), 大塚 成徳 (京都大)
- 11:02 311 金星大気大循環のモデリング
高木 征弘* (東京大), 鈴木 広大 (学芸大), 佐川 英夫 (マックスプランク研究所), バロン フィリップ・メンドロック ヤナ, 笠井 康子 (情報通信研), 松田 佳久 (学芸大)
- 11:13 312 還元的な大気中の硫化カルボニルの存在と系外惑星におけるオゾンの検出について
中本 泰史*, 上野 雄一郎, 生駒 大洋 (東工大)
- 11:24 313 タイタン大気の大気中の窒素の起源と進化：氷地殻からの衝突脱ガスの役割
福岡 翔*, 関根 康人 (東京大), 玄田 英典 (東工大), 杉田 精司 (東京大), 門野 敏彦 (大阪大), 松井 孝典 (千葉工大)
- 11:35 314 模擬原始大気からの有機構造体の生成：宇宙線により生成した複雑有機物の海底熱水系での変成
栗原 広成*, 平子 智章, 大林 由美子, 金子 竹男 (横国大), 高野 淑識 (海洋開発研究機構), 小林 憲正 (横国大)
-
- 11:46 昼食

.....
13:00 ポスターセッション3
.....

14:00 休憩
.....

オーラルセッション 11 固体天体の科学・惑星探査 II (座長：原田 雄司・寺蘭 淳也)

14:10 315 火星回転変動計測から何が分かるのか？

原田 雄司* (国立天文台), 岩田 隆浩 (JAXA), 菊池 冬彦, 荒木 博志, 石原 吉明, 佐々木 晶, 野田 寛大, 花田 英夫, ホーセンス サンダー, 松本 晃治 (国立天文台)

14:21 316 バレーネットワークの統計的解析：火星表層環境の変遷の制約に向けて

山口 優夢*, 宮本 英昭 (東京大)

14:32 317 BepiColombo 日欧共同水星探査ミッション, 1

早川 基*, 小川 博之, 峯杉 賢治, 高島 健, 松岡 彩子, 中澤 暁, 亀田 真吾 (JAXA), 山川 宏 (京都大), 笠羽 康正 (東北大)

14:43 318 水星の表面温度分布：熱構造への示唆

岩堀 智子* (北海道大/CPS), 倉本 圭 (北海道大/CPS)

14:54 319 惑星科学の共通基盤：汎的惑星アーカイブプロジェクト「国際惑星データ連合」

笠羽 康正* (東北大), Crichton D. (NASA), Capria M. T. (IASF/INAF), Beebe R. (ニューメキシコ州立大), Zender Joe (ESA), 山本 幸生, 篠原 育 (JAXA)

15:05 320 月・惑星探査データをベースにした協働解析環境の構築

寺蘭 淳也* (会津大), 中村 良介, 児玉 信介, 山本 直孝 (産総研), 出村 裕英, 平田 成, 小川 佳子 (会津大), 祖父江 真一, 奥村 隼人, 春山 純一, 大竹 真紀子 (JAXA), 松永 恒雄 (環境研)

.....
15:16 休憩
.....

オーラルセッション 12 衝突実験 (座長：大野 宗佑・岡本 千里)

15:25 321 超高速衝突による衝突破片サイズ分布

高沢 晋*, 中村 昭子 (神戸大), 門野 敏彦 (大阪大), 荒川 政彦 (名古屋大), 土肥 弘嗣 (大阪大/名古屋大), 大野 宗祐 (千葉工大), 瀬戸 雄介, 前田 誠 (神戸大), 弘中 陽一郎, 境家 達弘, 藤岡 慎介, 佐野 孝好, 重森 啓介 (大阪大), 町井 渚, 瀬藤 真人 (神戸大), 竹内 拓 (北海道大)

15:36 322 エジェクタ速度への脱水・気化の影響に関する衝突実験

高部 彩奈*, 中村 昭子, 瀬藤 真人, 桂 武邦 (神戸大), 長谷川 直 (JAXA)

15:47 323 鉄質小天体の衝突破壊に関する実験的解明

桂 武邦*, 中村 昭子, 瀬藤 真人, 高部 彩奈 (神戸大), 長谷川 直 (JAXA), 三軒 一義 (神戸大)

- 15:58 324 超低密度物質中への貫入過程における突入物質減速メカニズムの速度依存性
新居見 励*, 門野 敏彦, 土山 明 (大阪大), 中村 昭子 (神戸大), 荒川 政彦, 保井 みなみ, 土肥 弘嗣 (名古屋大), 飯田 洋祐 (大阪大)
- 16:09 325 超高空隙率雪球の衝突破壊と破片速度分布に関する実験的研究
寫生 有理*, 荒川 政彦, 保井 みなみ, 土肥 弘嗣, 河村 恵里 (名古屋大)
- 16:20 326 分化天体からの鉄隕石放出条件の解明：金属の低温脆性が及ぼす影響
岡本 千里* (JAXA), 荒川 政彦 (名古屋大), 長谷川 直 (JAXA)

.....

● ポスターセッション 1 9月28日(月) 13:00-14:00
(最優秀発表賞選考エントリーポスター)

- P001 原始惑星系円盤における帯電ダストの合体成長
奥住 聡* (京都大), 田中 秀和 (北海道大), 阪上 雅昭 (京都大)
- P002 模擬ラブルパイル天体衝突反対点粒子速度の測定
瀬藤 真人*, 中村 昭子 (神戸大), 山下 靖幸 (中部大), 三軒 一義 (神戸大)
- P003 コランダム凝縮異方性を用いた星周ダスト形成環境の推定
瀧川 晶*, 橘 省吾, 永原 裕子 (東京大)
- P004 氷・シリカ混合物の流動則に対する空隙の効果：氷衛星の地形緩和への応用
保井 みなみ*, 荒川 政彦 (名古屋大)
- P005 地球流出 O^+ の同位体分別の量子化学計算：Earth wind 仮説の検証
山田 明憲* (東京大), 南部 伸孝 (上智大), 笠井 康子 (情報通信研究機構), 小嶋 稔 (東京大)

.....

(ポスター：一般)

- P106 中心星に照射された自転する固体球の温度分布の線形近似解
関谷 実*, 脇田 茂 (九州大)
- P108 原始惑星の軌道安定性
松本 侑士*, 長沢 真樹子, 井田 茂 (東工大)
- P109 コンドリュールと宇宙塵内の空隙の有無の違いについて
土居 政雄*, 中本 泰史 (東工大)
- P110 オールト雲の進化と寿命
樋口 有理可* (東工大), 小久保 英一郎, 伊藤 孝士 (国立天文台)
- P111 オールト雲起源の彗星の惑星への衝突確率
伊藤 孝士* (国立天文台), 樋口 有理可 (東工大)

P112 火星の Arabia Terra における大気・地表面の水蒸気交換

猿谷 友孝*, 豊田 丈典 (東京大), デイビッド バラトー (ミディ・ピレネー天文台), 栗田 敬 (東京大)

P113 炭素循環を考慮した惑星気候の軌道要素依存性に関する研究

足立 数馬*, 田近 英一, 阿部 豊 (東京大)

P114 海惑星の大気構造について：中心星タイプ及び惑星大気組成に対する依存性

黒川 宏之*, 中本 泰史 (東工大)

.....
● ポスターセッション 2 9月29日 (火) 13:00-14:00

P201 分子雲中での宇宙線による複雑態アミノ酸前駆体生成の検証

元山 拓也*, 谷内 俊範, 金子 竹男 (横国大), 吉田 聡 (放医研), 藪田 ひかる, 長谷川 紀昭 (大阪大), キルコイン デイヴィット (ローレンス・バークレー国立研究所), 小林 憲正 (横国大)

P202 氷星間塵表面におけるホルムアルデヒドの重水素化経路の特定

渡辺 元浩*, 日高 宏, 渡部 直樹, 香内 晃 (北海道大)

P203 土壌物質アロフェンを用いた非生体アミノ酸光学活性体の吸着分離の可能性

橋爪 秀夫* (物質・材料研究機構)

P204 月惑星表層元素分析のためのガンマ線検出器性能評価

井上 洋介* (東京大), 三谷 烈史, 高島 健 (JAXA)

P205 月面重力計を用いた Unlocated Deepmoonquake の震源決定

川村 太一* (東京大/JAXA), 田中 智 (JAXA), 小林 直樹 (JAXA)

P206 「かぐや」地形データを用いた月の表裏のモホ面温度の推定

森 朝子*, (九州大), 並木 則行 (千葉工大), 岩田 隆浩 (JAXA), 花田 英夫, 荒木 博志 (国立天文台)

P207 月周回衛星かぐやで取得した分光観測データによる Dark Mantle Deposit を形成したマグマの噴出形態推定

小林 佑輔* (東京大/JAXA), 大竹 真紀子, 春山 純一 (JAXA), 松永 恒雄 (環境研), 岩田 隆浩, 諸田 智克, 横田 康弘 (JAXA), 山本 聡 (環境研)

P208 「かぐや」重力・測地データから見た南極エイトケン盆地の形状

佐々木 晶*, 石原 吉明 (国立天文台), 並木 則行 (千葉工大), ホーセンス サンダー, 荒木 博志, 野田 寛大, 松本 晃治, 花田 英夫 (国立天文台), 岩田 隆浩 (JAXA), 杉田 精司 (東京大)

P209 かぐやガンマ線分光計の月撮像から得たレゴリス中の自然放射性元素の絶対濃度

小林 進悟* (JAXA), 奥平 修, 唐牛 譲 (早稲田大), 晴山 慎 (JAXA), 山下 直之, 長谷部 信行 (早稲田大), 柴村 英道 (埼玉県立大), 小林 正規 (千葉工大), 早津 佳那子, 武田 侑子, 塚田 耕一, 長岡 央, 町田 二郎, 森田 幹雄, 藁科 至智 (JAXA)

P210 かぐや LRS データを用いた月の溶岩噴出量の見積

渡辺 志穂*, 押上 祥子, 山口 靖 (名古屋大), 山路 敦 (京都大), 小野 高幸, 熊本 篤志, 中川 広務 (東北大), 小林 敬生 (韓国地質資源研究院)

P211 かぐやによる SPA 盆地の分光観測データを用いた月 SPA 盆地内鉱物分布と巨大インパクトによる地殻掘削過程の研究

上本 季更* (JAXA/東京大), 岩田 隆浩, 春山 純一 (JAXA), 松永 恒雄 (環境研), 大竹 真紀子, 横田 康弘, 諸田 智克 (JAXA), 中村 良介 (産総研), 山本 聡 (環境研)

P212 SELENE-2 に向けたガンマ線・中性子分光計の開発と目指すサイエンス

長谷部 信行 (早稲田大), 小林 進悟, 三谷 烈史* (JAXA)

P213 将来月探査候補地について: SELENE 搭載 LISM 地形カメラで得られた情報を元に

春山 純一*, 大竹 真紀子 (JAXA), 松永 恒雄 (環境研), 諸田 智克, 横田 康弘 (JAXA)

P214 かぐや/MI データを用いたシュレーター谷内側の鉱物組成分布の調査結果について

本田 親寿* (会津大), 大竹 真紀子 (JAXA), 松永 恒雄 (環境研), 春山 純一 (JAXA), 小川 佳子 (会津大), 諸田 智克, 横田 康弘 (JAXA), 出村 裕英, 平田 成, 浅田 智朗 (会津大)

P215 小型無人観測飛行機の開発・運用と火星飛行探査計画をめざした活用

佐伯 和人* (大阪大), 小島 知子 (熊本大)

.....
● **ポスターセッション 3 9月30日 (水) 13:00-14:00**

P301 マントル対流熱輸送モデルの数値計算との比較による評価

立浪 千尋* (東工大), 千秋 博紀 (千葉工大), 井田 茂 (東工大)

P302 化石形状を記憶する準流体惑星の真の極移動について

原田 雄司* (国立天文台)

P303 不連続曲げ剛性率を持つ二次元平板モデルによるリソスフェアの変形

佐藤 麻里* (九州大), 並木 則行 (千葉工大)

P304 海中衝突で形成された方解石

三浦 保範* (山口大)

P305 強度支配と重力支配の移行領域での衝突クレーター形成実験

羽倉 祥雄*, 鈴木 絢子, 瀬藤 真人, 中村 昭子 (神戸大)

P306 ソーダライムガラスビーズ焼結体の物理的特性に関する測定・観察

町井 渚*, 中村 昭子 (神戸大)

P307 高速度カメラによる衝突閃光の測光

青井 宏樹*, 石榑 勇介, 田中 慎一郎, 柳澤 正久 (電通大), 長谷川 直 (JAXA)

P308 高速度衝突閃光の発光効率

石榑 勇介*, 田中 慎一郎, 青井 宏樹, 柳澤 正久 (電通大), 長谷川 直 (JAXA)

P309 微小標的への衝突における閃光スペクトル

田中 慎一郎*, 石樽 勇介, 青井 宏樹, 柳澤 正久 (電通大), 長谷川 直 (JAXA)

P310 層構造に形成される衝突クレーターに関する実験的研究

土肥 弘嗣, 荒川 政彦* (名古屋大), 長谷川 直, 岡本 千里 (JAXA), 鈴木 絢子 (神戸大)

P311 S型小惑星にみられる岩塊の統計的解析：岩塊は衝突起源なのか？

丸山 智志*, 宮本 英昭 (東京大), 奥 元良 (三菱総研), 竹内 洋人, 山口 優夢 (東京大)

P312 マイダナク天文台における若い小惑星族小惑星の観測

吉田 二美*, 伊藤 孝士, 高橋 茂 (国立天文台), イブラヒモフ マンスール (ウルグベク天文研究所), 野沢 由依 (日本女子大)

P313 小天体探査用小型ランダー搭載科学観測機器検討

岡田 達明* (JAXA), 出村 裕英 (会津大), 矢野 創, 吉川 真, ベルローズ ジュリー (JAXA), ビブリン ジャンピエール (フランス宇宙天体物理研究所), ホー トラミ, ビッツ ラース, リヒター ルッツ (ドイツ航空宇宙研究センター)

P314 微量組成成分に向けた火星周回機からの高分散分光観測

笠羽 康正*, 青木 翔平, 村田 功 (東北大), 上野 宗孝, 佐藤 毅彦 (JAXA), 坂野井 健, 中川 広務, 岡野 章一 (東北大)

P315 1.6m 光学反射望遠鏡を用いた PLANET-C との金星同時観測計画

福原 哲哉*, 高橋 幸弘, 佐藤 光輝, 渡部 重十, 佐藤 創我 (北海道大), 渡邊 誠 (国立天文台)

CAI の酸素同位体異常：局所的起源の可能性

小嶋稔¹, 山田明憲¹

¹ 東京大学・地球惑星物理

1973 年 Clayton 等により発見された CAI の酸素同位体比は、3-アイソトープ・プロット ($\delta^{17}\text{O} - \delta^{18}\text{O}$) 上ほぼスロープが 1.0 の同位体分別直線に載る事で特徴付けられる。この極めて特徴的な同位体比異常の説明として現在最も広く流布している仮説は、一酸化炭素の自己遮蔽効果 (CO self shielding, 以下 SS) である。我々は SS-仮説はスロープ $\neq$ 1.0 を説明出来ない事を示し SS 仮説に代わる幾つかのプロセスを議論する。

ケイ酸塩ダストの新しい生成シナリオ

○木村勇氣¹、Joseph A. Nuth III²

¹ 東北大学、² NASA ゴダード宇宙飛行センター

水素を用いた我々の凝縮実験は、晩期星周囲においてマグネシウムシリサイド(Mg_2Si)ダストと、鉄が相対的に豊富になった非晶質珪酸塩ダストが形成する結果を示した。

赤外スペクトルの観測から、炭素よりも酸素を多く放出している晩期星の周囲には、珪酸塩鉱物の固体微粒子が豊富に存在していることが知られている。そのほとんどは非晶質であり、大きな質量放出率を持つ天体だけに 10-20%のマグネシウムに富んだ結晶質珪酸塩（フォルステライト： Mg_2SiO_4 ）のフィーチャーが見つかった（Speck et al. 2000; Molster & Kemper 2005）。この理由に対して、放出ガス中の水素に対する酸素量の相対的な違いに着目した。我々は、 H_2 , O_2 , SiH_4 , Mg の混合ガスからの非平衡凝縮実験により、晩期星周囲での珪酸塩ダストの凝縮過程の再現を試みた。

生成した粒子を透過型電子顕微鏡をもちいて分析した結果、100 nm 以下のサイズを持ったマグネシウムシリサイド（ Mg_2Si ）粒子が生成していた。これに対し、水素に変えてヘリウムを用いた実験では、非晶質ケイ酸塩粒子の生成が支配的であった。この実験結果は、進化が進んで高い質量放出率を示す天体に比べて、相対的に水素に富むと考えられる質量放出率が低い晩期星において、結晶質珪酸塩（ Mg_2SiO_4 ）が見つからない理由を示唆している。また、マグネシウムがシリサイドに取り込まれる結果、非晶質珪酸塩の組成はマグネシウムが乏しくなる。実際に、隕石中に見つかった酸素の同位体異常を示すガラス物質（GEMS: glass with embedded metal and sulfides）はフォルステライト組成に比べてマグネシウムが欠乏している（Floss et al. 2006; Keller & Messenger 2007）。

結晶質珪酸塩は、我々の太陽系には豊富に存在しているのに対して、星間空間にはほとんどないことが赤外観測から示されている（Molster & Kemper 2005）。もし太陽系のフォルステライトが Mg_2Si の酸化によって形成していたとすると、次の5つの疑問を矛盾なく説明できる可能性がある。1. 太陽系のフォルステライトの前駆体が $\text{Mg}:\text{Si}=2:1$ の組成であった（Brownlee et al. 2007）理由。2. 同位体異常を示す GEMS がフォルステライト組成に対してマグネシウムに乏しい（Floss et al. 2006; Keller & Messenger 2007）理由。3. オリビンの化学組成が鉄に乏しい理由。4. ほとんどのフォルステライトが太陽系の酸素同位体組成をもつ（Messenger & Keller 2005; McKeegan et al. 2006）理由。5. 低質量星において結晶質珪酸塩がほとんど存在しない理由。

今後の Mg_2Si に着目した隕石の分析や理論からのアプローチにより、上記のシナリオの寄与が明らかにされるであろう。

炭素質コンドライトから分離した Q ガス濃集物質の Carbon-XANES 分析

○藪田ひかる¹, 甘利幸子², 松田准一¹, 長谷川紀昭³, A. L. David Kilcoyne⁴

¹ 阪大宇宙地球, ² Washington University, ³ 阪大超高压電顕セ, ⁴ Advanced Light Source, LBNL

【序論】隕石中の「惑星型」希ガスのうち重い希ガスの大部分を占める“Q ガス”は、隕石の酸処理で得られる化学残渣に含まれる炭素質をその担体“phase-Q”とすることが知られる。しかし、phase-Q がどのような性質・構造を持つ炭素質であるかについては殆ど明らかにされていない。Amari et al. (2003) は、炭素質コンドライトの Allende 隕石を物理的に分離した炭素質のうち、密度が約 1.65 g/cm³ の画分 (C1-8D) に Q ガスが 2.5 倍濃集することを報告している。本研究では、X 線吸収端近傍構造 (XANES) 分光法を用いて C1-8D 中の炭素原子の電子状態を明らかにし、他の密度の画分や化学残渣との比較を行うことを目的とした。

【実験】Allende 隕石の凍結粉碎により分離された炭素質をさらに比重分離し得られた異なる密度の 8 画分 (C1-8A, C, D, E, F, G, K, J)、および同一隕石の塩酸/フッ酸処理で得られた化学残渣を、エポキシ樹脂あるいは硫黄粉末に包埋し約 140 nm の薄片にした後、200 メッシュの TEM 用グリッドに乗せ、走査型透過 X 線顕微鏡 (STXM) 用の試料板に設置し、XANES 測定した。測定はローレンス・バークレー国立研究所, Advanced Light Source, ビームライン 5.3.2.で行った。

【結果と考察】C1-8D の Carbon- (C-) XANES スペクトルでは、イオン化ポテンシャルを超えた 292.6、295.7 eV で C1s-σ*遷移を示す 2 つのピークが検出された。292 eV 付近のピークは C-C、C-O、または C-F、295.7 eV のピークは C-C 結合を示すことが知られている (Stöhr, 1992)。このスペクトルパターンは、Allende 隕石の酸不溶性物質の C-XANES スペクトルとは明らかに異なった (Fig.)。種々の有機官能基は一般に 285–290 eV の範囲で C1s-π*遷移のピークとして検出される点、コンドライト隕石の酸不溶性物質の大部分は有機炭素である点を考慮すると、本分析結果からは C1-8D が有機炭素である可能性は低いことが示された。また C1-8D の C-XANES スペクトルは、純粋なグラファイト、ダイヤモンド、フラーレン、カーボンナノチューブ、ガラス状炭素のものとも異なった。さらに、他の密度の画分の C-XANES スペクトルとも相違点が見出された。今後、Q ガスをさらに濃集させた炭素質を分離し、その XANES 分析を行うことで、phase-Q の候補物質をさらに絞り込むことができる可能性が期待される。

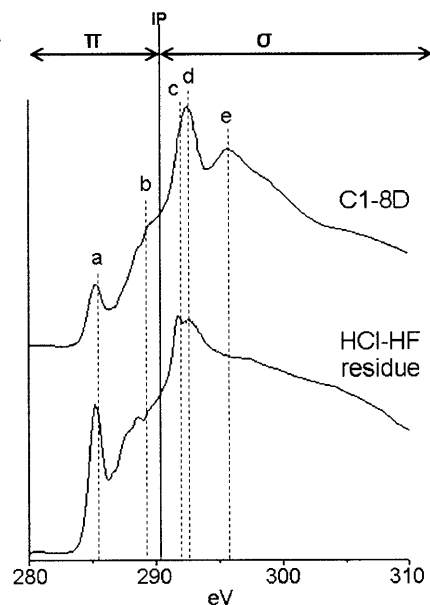


Figure. C-XANES spectra of C1-8D and acid-insoluble residue from Allende meteorite. Peak a: 1s-π* transition at 285 eV for sp² C=C, b: 1s-σ* transition at 289.5 eV, c: 1s-σ* transition at 291.6 eV for graphene, d: 1s-σ* transition at 292.6 eV, e: 1s-σ* transition at 295.7 eV.

隕石中の複合コンドリュールのX線CTによる3次元観察と、その形成過程の考察

○上相 真之¹、中村 智樹²、土山 明¹、上杉 健太郎³

¹大阪大学 理学研究科宇宙地球科学専攻

²九州大学 理学研究院地球科学専攻

³ (財) 日本高輝度光科学研究センター

コンドリュールは初期太陽系における高温現象の情報だけでなく惑星の進化過程の重要な鍵を多数握っていると考えられている。しかし、現在の所まで、その形成メカニズムは明らかになっていない。複合コンドリュールはその名の通り複数のコンドリュールが互いに複合した構造を示す物であり、いろいろなコンドライトクラスに普遍的に存在している。この複合コンドリュールを構成するコンドリュールのうち、球形の外形を保っている方（primaryコンドリュールと呼ぶ）は複合コンドリュール形成時にすでに固化しており、このコンドリュールに付着することで外形が変形している方（secondary と呼ばれる）は形成時にはまだ溶けていたと考えられる。このように複合コンドリュールは、その形成時に溶融の度合いの違う二つのコンドリュールが非常に近い距離に存在できたという、その構造自体が非常に大きな情報を示唆している [1-2]。

Uesugi and Uesugi [3-4] では、隕石中のコンドリュールを X 線 CT 法で調べるための高分解能CT撮影技術を開発した。これにより、これまでは不可能だった隕石中のコンドリュールの結晶組織、複合コンドリュールの境目を放射光 CT で非常に正確に捉えることが可能となった。本研究ではこの手法を用いて 4つの隕石チップ中（～4x4x4mm, LL3.1, H3）の複合コンドリュールを CT 撮影し、これを解析して複合コンドリュールのサイズ比を統計的に求めることに成功した。この結果、複合コンドリュールのうち、両者が融合し、境目が分からない物（blurred boundary）をのぞくと、殆どのケースで primary の方がサイズが大きいことがわかった。しかし、X線CTではそのコンドリュールの詳細な化学組成を調べる事は出来ない。また、空間分解能が余り高くないために、CTで観察されたコンドリュール同士が本当に付着した構造をとっているかどうか曖昧な物が多かった。

さらに、本研究ではX線CTで観察された複合コンドリュールのうち、primaryの両側から2つのsecondaryが付着している複合コンドリュール、Y-790448-NTについてその研磨試料を作成し、SEM及びEPMAをもちいてその化学組成と詳しい結晶組織を調べた。この結果、primaryは2つのsecondaryに比べて鉄の含有量が多く、そのため融点が100℃以上もsecondaryよりも低いという結果が得られた。X線CTで得られたサイズ比はprimaryの方が2倍も大きく、このため、冷却速度の差によって融点の低いprimaryが速く冷却、再固化した可能性もない。この結果により、この複合コンドリュールは違う領域で形成され、secondaryは溶融後、高温領域から移動し、固化する前に primary と衝突した可能性が非常に高いことがわかった。

[1] Wasson J. T. et al. (1995) GCA, 59, 1847

[2] Akaki T. and Nakamura T. (2005) GCA, 69, 2967

[3] Uesugi M. and Uesugi K. (2006) Antarctic Meteorites XXX, 119.

[4] Uesugi M. and Uesugi K. (2007) Antarctic Meteorites XXXI, 101

コンドリュールメルト結晶化における潜熱の役割 Role of recalescence during chondrule melt crystallization

○三浦 均¹, 横山 悦郎², 長嶋 剣³, 塚本 勝男¹

Hitoshi Miura¹, Etsuro Yokoyama², Katsuo Tsukamoto¹, Ken Nagashima³

¹ 東北大 (Tohoku Univ.), ² 学習院大 (Gakushuin Univ.), ³ 阪大 (Osaka Univ.),

We carried out numerical simulations of chondrule-melt crystallization. Various crystallization patterns appeared depending on the cooling rate and the supercooling of chondrule melt. Our simulations showed the possibility that barred olivine textures can be formed in wide ranges of cooling rates from 0 to 10^6 K hr⁻¹.

コンドリュールとは、地球に落下する石質隕石に多く含まれる mm サイズ球状珪酸塩鉱物である。これは、46 億年前の初期太陽系において溶融した珪酸塩ダスト (メルト) が、浮遊・非接触状態で急冷して結晶化したものだと考えられている。棒状の凝固組織 (barred olivine, 以下 BO) は、コンドリュールに見られる特徴的な凝固組織のひとつであり、完全に溶融したコンドリュールメルトが急冷することで形成されると考えられているが [1], BO に見られるリムやバーという二重構造の形成メカニズムは不明である。我々は、前回の講演会において、リカレッセンス (結晶化潜熱開放に伴う急激な温度上昇現象) がバーの形成に重要な役割を果たす可能性を、コンドリュールメルト結晶化の数値シミュレーションによって示した [2]。今回は、リム&バー二重構造が形成される条件を、特にコンドリュール冷却速度と過冷却度に関して調べた。

図 1 は、完全溶融した過冷却メルトが、表面の 1 点から結晶化した際の結晶化パターンの例である。核形成した箇所からメルト表面に沿って結晶化が進み (リム形成), そこから多数のバー状のパターンが現れている。これには、リム内側における結晶・メルト界面形状の安定性が重要な役割を果たしている。我々はさらに、メルトの冷却速度や結晶化時の過冷却度を変えて計算を行なった。その結果、ある過冷却度の範囲において、 $0 - 10^6$ K hr⁻¹ という幅広い冷却速度においてリム&バー二重構造が形成することが分かった。これは、浮遊法によるコンドリュールメルト結晶化実験+“その場”観察によって得られたフォーステライトメルトの結晶化の様子と良く一致している [3, 4]。今回の結果は、従来考えられていた冷却速度 (~ 1000 K hr⁻¹) よりも遥かに速い冷却速度環境において、リム&バー二重構造が形成された可能性を示唆している。

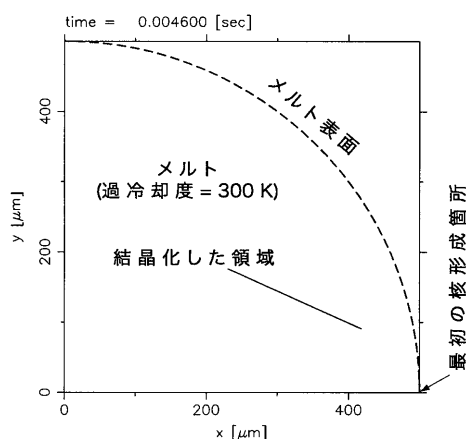


図 1: フェーズフィールド法に基づく過冷却珪酸塩メルト結晶化の数値シミュレーション。リムとバーの二重構造が同時に形成されている様子が分かる。

[1] Hewins et al. 2005. in *Chondrites and the Protoplanetary Disk*, Vol. 341, 286. [2] 去年の三浦の予稿集. [3] Tsukamoto et al. 2001. LPSC abstract#1846. [4] Nagashima et al. 2006. *J. Cryst. Growth*, **293**, 193.

角礫岩質 LL コンドライト隕石中の花コウ岩質クラストの局所年代分析

○寺田健太郎 (広島大)

本研究では、LLコンドライト角礫岩Adzhi-Bogdo(LL3-LL6)隕石中に含まれる花崗岩質クラストの局所年代分析の結果について報告する。高感度イオンマイクロプローブSHRIMPにより得られたPb-Pbモデル年代は 45.3 ± 0.3 億年を示し、太陽系創成期に、花崗岩を形成するメカニズムが微惑星上に存在していた事を示唆する。また、この年代はLLコンドライトの熱変成年代(45.6-43.5億年)とオーバーラップすることから、花崗岩質マグマの形成はLLコンドライト母天体とは異なる天体で起こり、その後の破砕イベントによってLLコンドライトの破砕物と再集積したと予想される。

小惑星 2008TC₃ の岩石・鉱物学

○三河内 岳¹、Michael Zolensky²

¹東大・理・地球惑星科学、²NASA ジョンソン宇宙センター

地球に接近する小惑星や彗星を搜索するプロジェクト（カタリナ・スカイ・サーベイ）で 2008 年 10 月 6 日に発見された小惑星 2008TC₃ は、その後の観測・軌道計算で約 19 時間後にアフリカ・スーダンに落下することが判明した。小惑星のサイズは直径数メートルほどと見積もられ、大気中で燃え尽きることが予想されたが、現地で明るい火球が観測され、その後の調査で合計数キロほどの隕石破片が回収された [1]。これは、観測された小惑星が隕石として地球で回収された初めての例で、小惑星の反射スペクトル観測と実際の隕石のスペクトルを比較することができ、また回収された隕石の詳細な分析により小惑星の熱史に重大な制約を与えることが期待される。本研究では、2008TC₃ 小惑星の破片として回収された隕石（Almahata Sitta 隕石）の岩石学・鉱物学的研究を行ったので、これにより得られた熱史について議論する。

分析した Almahata Sitta 隕石は外観がほぼ真っ黒であり、細粒の（～数十 μm）カンラン石・輝石から主に構成されている。カンラン石・輝石は集合体としてそれぞれ～数百 μm の大きさをしており、角レキ岩の組織を示している。これらの集合体間には数百 μm サイズの炭素物質（グラファイト）や空隙が存在しており、またカンラン石、輝石集合体内部にもいずれも最大 10 μm 程度の微小な金属鉄粒子、空隙などが存在しているが、カンラン石中のものの方がより微小である。空隙には壁面より自形の鉱物が成長しているのが観察される。カンラン石と輝石（斜方輝石とピジョナイト）の組成は、それぞれ Fo₉₇₋₈₃ と En₉₁₋₈₃Wo₂₋₄、En₈₈₋₈₁Wo₅₋₁₁ の範囲でゾーニングを示す。カンラン石は数百 μm の集合体の端の方が中心部よりもやや Mg に富んでいるが、細粒の結晶のコア～リムでの組成幅の方が大きい。輝石中の空隙にはシリカ鉱物と金属鉄が接して存在している。

Almahata Sitta 隕石は、酸素同位体組成からも支持されているが [1]、全体の岩石・鉱物学からユレイライトに分類される。空隙率が高いこと、1つの隕石中で幅広いシリケート鉱物の組成を持つことは、これまでに見つかったユレイライトでは特異である。カンラン石の mg# の幅と Fe/Mn 比の関係から、他のユレイライトと同様にカンラン石の還元が起こったと考えられる。また、輝石中に観察される空隙＋金属鉄＋シリカ鉱物の存在は、輝石が炭素と反応し、輝石組成が Mg に富むようになり、金属鉄、シリカ鉱物と一酸化炭素ガスを生成したためと考えerとうまく説明可能である。輝石組成から推測される平衡温度は約 1280 度であり、細粒のカンラン石と輝石は、この高温での衝撃によって再結晶化し形成されたと考えられる。細粒のカンラン石と輝石の存在は、他の強い衝撃を受けたユレイライト（例えば ALH81101 など）でも見られる特徴である。衝撃後は急冷された特徴を示すが、このような熱史は、他のユレイライトと合致しており、母天体も共通であったと考えられる [2]。以上のことより、2008TC₃ は、ユレイライト母天体の破片であった可能性が示唆される。

参考文献: [1] Jenniskens P. et al. (2009) Nature 458, 485-488. [2] Mittlefehldt D. W. et al. (1998) Rev. in Mineralogy 36, 4-73 - 4-95.

原始惑星系円盤における帯電ダストの合体成長

○奥住聡¹, 田中秀和², 阪上雅昭¹

¹京都大学大学院人間・環境学研究科 ²北海道大学低温科学研究所

ダスト粒子の合体成長は原始惑星系円盤における惑星形成の第一歩である。現在のダスト合体成長の理論は μm サイズのダスト粒子から km サイズの微惑星が形成されるまでを首尾一貫して説明できておらず、合体プロセスのより現実的なモデル化が必要である。

本研究は、従来のダスト合体成長の理論が無視してきたダストの帯電に注目した。原始惑星系円盤は銀河宇宙線や中心星からのX線をなどを受けて弱く電離していると考えられている(e.g., Gammie 1996; Glassgold 1997)。ダスト粒子は電離環境下で負に帯電することは近年のプラズマ物理の理論・実験の両面から良く知られている。このことは、ダスト粒子間に静電反発が生じることを意味するが、この効果が原始惑星系円盤におけるダストの合体成長にどの程度影響を与えるかは全く明らかにされていなかった。

本研究では、ダストの帯電状態の進化と合体成長を矛盾無く追跡する数値シミュレーションを行った。原始惑星系円盤では電離ガス粒子の個数自体がダストに制御されており、したがって個々のダスト粒子の帯電状態はダスト集団全体のサイズ分布に依存する。そこで本研究でははじめに、与えられたダストのサイズ分布から個々のダストの帯電量を解析的に求める手法を開発した (Okuzumi 2009)。この解析的方法は従来の数値的方法(e.g., Umebayashi & Nakano 1990)に比べてはるかに計算効率が良く、ダストの帯電状態の進化とサイズ分布の進化を同時に追跡することを初めて可能にした。さらにこの解析手法をダストのサイズ分布の進化を求める合体成長方程式に組み込み、静電反発がダストの合体成長にどの程度影響を及ぼすかを標準的な円盤モデル（最小質量円盤）上でシミュレートした。その結果、円盤の大部分の領域で、ダストの合体成長は cm サイズに至るよりも早い段階で失速し、合体成長が実質上凍結してしまうことを明らかにした。この結果は、少なくとも mm サイズ程度までは速やかに成長が進行するという、従来の成長理論(e.g, Dullemond & Dominik 2005; Brauer et al. 2008)における成長初期段階の描像と決定的に異なる。このことはダストの帯電が原始惑星系円盤における合体成長に対して無視できない重要な素過程であることを強く意味する。

模擬ラブルパイル天体衝突反対点粒子速度の測定

○瀬藤真人¹ 中村昭子¹ 山下靖幸² 三軒一義¹

¹神戸大学理学研究科 ²中部大学

太陽系内の小天体には空隙率の高いものが多く発見されており、それらの構造と熱・衝突進化の過程の研究が重要である。我々はこれまでに、多孔質天体の衝突破壊強度を決定するための衝突圧力減衰率測定実験を行ってきた（瀬藤他、2008 年秋期講演会）。

今回、ガラスビーズ粉体をターゲットとし、地上での低速度(90, 260m/s)衝突実験と、航空機の放物線飛行によって作り出された微小重力下での低速度(90m/s)衝突実験を行った。用いた弾丸は、90m/s の実験においては直径 6mm の BB 弾、260m/s の実験では直径 3.2mm のガラス球であり、粉体ターゲットは空隙率 40% のものと 50% 程度のものを用意した。高速度カメラを用いて反対点粒子速度を計測するとともに、流体の抵抗の式を用いてガラスビーズ粉体による弾丸の減速を計算し、反対点における弾丸速度を見積もって、反対点粒子速度の実測値と比較した。

衝突点から反対点までの距離が小さいターゲットにおいては、弾丸がそのまま貫通している現象も見られた。このケースでは、反対点粒子速度はほぼ弾丸速度と等しくなっているが、多くの場合で見積もり弾丸速度よりも小さい粒子速度実測値を示した。この結果は、弾丸の減速に速度二乗の抵抗以外の要因が絡んでいることを示唆している。

一方、ターゲットの厚みが十分大きいケースでは、実測値は計測値を上回った。これは弾丸が十分に減速され、弾丸の圧力で押し出される粒子速度より小さくなったことを示している。実際に多くの場合で弾丸はターゲットを貫通せず、粒子の中に埋もれたままだった。

また、過去の高速(2300 - 3800m/s)での粉体衝突実験結果にも適用すると、低速のものよりもさらに見積もり値との差が大きくなった。これは高速度では弾丸が破壊されていることによるものと思われる。

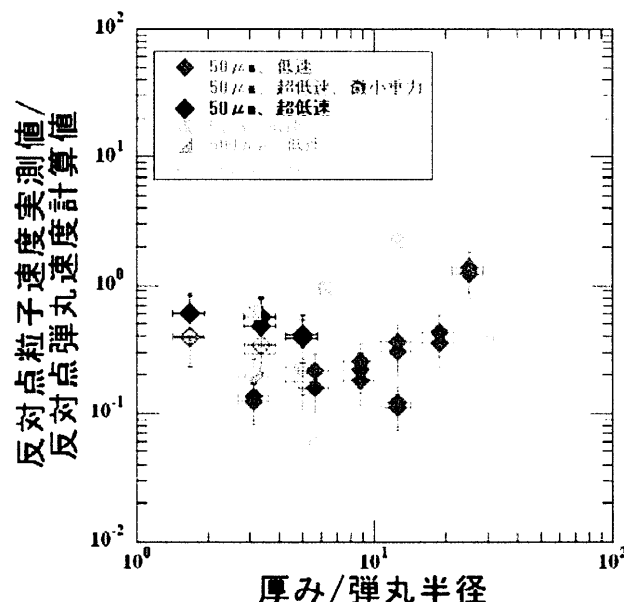


図 1：反対点速度実測値を計算による見積もり値で規格化したものと衝突点からの距離の比較

コランダムの凝縮異方性を用いた 星周ダスト形成環境の推定

○瀧川 晶¹, 橘 省吾¹, 永原 裕子¹

¹ 東京大学 大学院理学系研究科 地球惑星科学専攻

コランダム(Al_2O_3)は酸化的な高温ガスから最初に凝縮する固体物質で、原始惑星系円盤や晩期型星周での物質進化の起点となり、また、その後に形成される固体物質の凝縮核ともなりうるため、コランダム凝縮の理解は非常に重要である。常圧のコランダム形成実験や天然のコランダムの観察から、コランダム(三方晶)が形成条件を反映して、異なる成長異方性を示すことが知られており、星周環境での凝縮過程においても、コランダムの結晶形状がその凝縮条件を反映している可能性がある。

本研究では、星周環境におけるコランダム結晶形状の凝縮条件依存性の解明を目的とし、過飽和比($S=p_{\text{co}}/p_{\text{eq}}$)が $S=5$ から200という、従来の smoke 条件でのダスト凝縮実験に比べて実際の星周環境に近い低過飽和比でコランダム凝縮実験を行った(凝縮温度: 1260–1590°C)。凝縮物の分析により、 $S\sim 5$ で、(0001)面が発達した板状コランダムが凝縮し、 $S>70$ で(0001)面と垂直方向に伸びた柱状粒子が凝縮することがわかった。

実際に原始惑星系円盤中で形成されたコランダム粒子形状を明らかにするために、Semarkona 隕石(LL3.0 コンドライト)から酸処理により抽出した酸化物粒子の組成分析を行い、1%程度含まれるコランダム粒子を識別した。粒子形状を調べた結果、柱状粒子はほとんどみられず、実験結果と合わせることで、初期太陽系円盤でのコランダム形成は、コンドリユール形成条件に近いような急冷・高過飽和条件ではなく、円盤進化のタイムスケールでの凝縮によるものと推定された。

また、晩期型星の質量放出のタイムスケールと冷却のタイムスケールを比較により、晩期型星周においても低過飽和比でのコランダム形成が示唆された。また、コランダムは、酸素に富む AGB (漸近巨星分枝)星の赤外スペクトルにみられる 13 ミクロンフィーチャー放射源の候補であるが、粒子形状を変化させた場合のスペクトル計算により、c 軸方向につぶれたコランダム粒子(軸比は $c//:c\perp=3:2$)のスペクトルが、観測されるピーク位置をよく再現することがわかった。このような形状は $S<10$ の条件で形成され、タイムスケールの比較で予想される凝縮条件と調和的である。すなわち、13 ミクロンフィーチャー放射源はコランダムである可能性が高く、詳細な赤外線観測により、星周での凝縮条件を定量的に見積もることができる可能性がある。

氷・シリカ混合物の流動則に対する空隙の効果： 氷衛星の地形緩和への応用

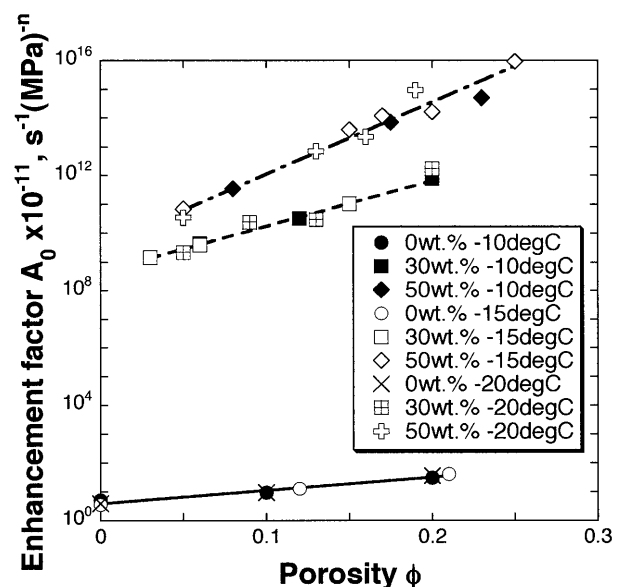
○保井みなみ¹, 荒川政彦¹

¹名古屋大学大学院環境学研究科

はじめに: 氷衛星の起伏や形状は天体を構成する物質の強度と重力により生ずる応力との比で決まっているように見える。半径 200km 以上の氷衛星は内部応力が物質強度よりも大きくなり、塑性変形による緩和が起こって球形になると言われている。天体内部の応力はそのサイズで決まるが、物質強度は構成物質の変形強度、特に流動則によって決まる。この流動則は氷衛星の岩石含有率や空隙率、さらに温度によって変化すると考えられるが、実際の氷衛星におけるこれらのパラメータは不確定なところが多い。またその進化過程において、それぞれの天体内部における分布は変化すると思われる。そこで本研究では、氷・シリカ混合物の変形実験を行い、流動則におけるシリカ含有率、空隙率、温度の影響を明らかにし、氷衛星の地形緩和について議論した。

実験方法: 試料は直径 710 μ m 以下の氷粒子と直径 1 μ m のシリカビーズを均等に混合し、それを圧密して作成した。シリカ含有率は 0, 30, 50wt.%とした。空隙率は 0~25%と変化させた。実験は北大・低温研の低温室に設置された変形試験機を用いて等歪速度一軸圧縮実験を行った。歪速度は $1.2 \times 10^{-6} \sim 4.2 \times 10^{-4} \text{ s}^{-1}$ とした。また温度は -10, -15, -20 $^{\circ}\text{C}$ と変化させた。

結果: 流動則は応力-歪み曲線上の最大応力 $\sigma_{\max}$ と歪速度 $\dot{\epsilon}$ の関係式 $\dot{\epsilon} = A_0 \exp(-Q/RT) \cdot \sigma_{\max}^n$ で表すことができる。シリカ含有率が一定の場合、空隙率が小さく温度が低いほど最大応力は大きくなる。これらの結果を用いて流動則のパラメータ A_0 , n , Q を詳しく調べたところ、ベキ n と活性化エネルギー Q はシリカ含有率のみに依存し、さらにシリカ含有率の増加とともに大きくなる事が分かった。 A_0 と空隙率の関係を示したのが図 1 である。このグラフから、 A_0 はシリカ含有率が同じ場合、温度に依存せず 1 本のグラフでフィッティングでき、 A_0 の値やフィッティング線の傾きはシリカ含有率の増加とともに大きくなる事が分かった。この結果から $A_0 = B \exp(\alpha\phi)$ と表され (ϕ は空隙率), B と α はシリカ含有率のみに依存し、シリカ含有率の増加とともに大きくなる事が分かった。この結果を用いて岩石含有率 50wt.% の天体表面上の起伏の緩和時間を見積もったところ、0~20% の空隙率変化にともない緩和時間が約 10^4 桁変化することがわかった。



地球流出 O^+ の同位体分別の量子化学計算：Earth wind 仮説の検証○山田明憲¹、南部伸孝²、笠井康子³、小嶋稔¹(¹ 東大・院・地惑、² 上智大・理工、³ 情報通信研究機構)

月の表層に存在する金属粒子の、表面から百数十ナノメートルのところに埋め込まれた酸素は、 $\Delta^{17}O$ が +25‰ という大きな同位体比異常を示すと報告された [1] が、その起源は明らかにされていない。Ozima ら [2] は、この同位体比異常は酸素が地球の上層大気（高度 300-400km）から月まで運ばれて、月の表層に埋め込まれたことによるという仮説を発表した。彼らは月表層に埋め込まれた酸素原子の量を、地球の大気散逸から説明した。この仮説が正しいならば、高度 300-400km 程度の $\Delta^{17}O$ が +25‰ である必要がある。そこで、本研究では同位体比の検証をめざし、紫外線による分子解離の断面積を第一原理に基づいて求め、月表層で観測された同位体比異常の説明を試みる。

Heller [3] の方法を用いて紫外線による分子解離の吸収断面積を同位体ごとに正確に求める。まず、ボルン・オッペンハイマー近似のもとで酸素分子のポテンシャル曲面、基底状態の核の波動関数を決定し、基底状態から励起状態への遷移確率を計算する。基底状態の波動関数に遷移確率をかけて、初期波束 $\psi(t=0)$ とする。次に、初期波束を励起状態のポテンシャル曲面の上で時間発展させる。 $\psi(t) = \exp\left[-\frac{i}{\hbar}\hat{H}t\right]\psi(t=0)$ 逐次、自己相関関数 $A(t) = \langle \psi(t=0) | \psi(t) \rangle$ を計算する。最後に、自己相関関数を時間とエネルギーの間でフーリエ変換し、振動数の関数としての光吸収スペクトルを求める。

$$\sigma(\nu) = \frac{\pi\nu}{3c\epsilon_0\hbar} \int_0^\infty \exp\left[i\frac{(E_I + h\nu)}{\hbar}t\right] A(t) dt$$

電子配置の基底状態に対する分子の振動励起状態には 1200K のボルツマン分布を、セルフシールドイングモデルに倣って量子収率として 1 を、太陽光フラックスには 6000K の黒体輻射を、それぞれ仮定し、地球熱圏での光解離反応速度定数を求めた。

$$J_i = \int_{175\text{nm}}^{200\text{nm}} \sigma_i(\nu) \phi_i[{}^iO^{16}O] d\nu$$

熱圏の酸素分子の同位体比が SMOW であるとする、光解離によって生成した酸素原子は $\delta^{17}O = 5.62\text{‰}$ 、 $\delta^{18}O = 3.53\text{‰}$ 、 $\Delta^{17}O = 3.8\text{‰}$ の同位体比異常が得られた。実際には熱圏の分子は非局所平衡であると考えられ、ボルツマン分布より上位の振動励起状態の密度が高いため、同位体比異常はより大きい可能性がある。

References; [1] Ireland et al., 2006, Nature, 440: 776-778, [2] Ozima et al., 2008, PNAS, 105: 17654-17658, [3] Heller, 1978, J. Chem. Phys., 68: 2066-2075.

SELENE 搭載 LISM/地形カメラの成果と今後の展望

○春山純一¹、大竹真紀子¹、松永恒雄²、木村淳³、佐々木晶⁴、浅田智朗⁵、出村裕英⁵、平田成⁵、本田親寿⁵、小川佳子⁵、北里宏平⁵、寺蘭淳也⁵、道上達弘⁶、山本聡²、白尾元理⁷、中村良介⁸、武田弘⁹、荒井朋子⁹、宮本英昭¹⁰、岩崎晃¹⁰、杉原孝充¹¹、諸田智克¹、横田康弘¹、川村太一¹、山口靖¹²、山路敦¹³、佐伯和人¹⁴、長谷中利昭¹⁵、廣井孝弘¹⁶、荒木博志⁴、野田寛大⁴、石原吉明⁴、斎藤義文¹、横田勝一郎¹、細川秀夫¹⁷、渋谷秀敏¹⁵、松島政貴¹⁷、清水久芳⁸、小野高幸¹⁸、熊本篤志¹⁸、中川広務¹⁸

¹独立行政法人 宇宙航空研究開発機構、²国立環境研究所、³北海道大学、⁴国立天文台、⁵会津大学、⁶福島高等専門学校、⁷惑星地質総合研究所、⁸産業総合研究所、⁹千葉工業大学、¹⁰東京大、¹¹海洋研究開発機構、¹²名古屋大学、¹³京都大学、¹⁴大阪大学、¹⁵熊本大学、¹⁶ブラウン大学、¹⁷東京工業大学、¹⁸東北大学

1. はじめに

SELENE は、約 20 ヶ月にわたるミッションを終了したが、搭載された高解像度立体視カメラ LISM/地形カメラ (TC) は、期間を通して良好なデータを取得し、全球のほぼ 100% のデータ取得に成功した。今回は、これまでの地形カメラの現状成果を述べるとともに、機器間統合解析も含めた今後の研究展望を述べる。

2. 運用処理結果

TC の運用は、ほぼ毎日、そして今年 6 月 11 日 SELENE 落下まで行われた。最後のデータは、暗時データとなったが、暗時レベルの不安定さの増大も、欠陥素子もまったく生じていなかった。ミッション期間を通してのデータカバー率は、立体視撮像、朝方ならびに夕方低太陽高度における単眼視撮像、いずれも 95% を越えた。更に、その殆どは、経度方向に 2 時間後の次周回で重なっており、隣接画像が非常に同質のデータとなっていて、広範囲、高解像度での地形解析が可能である。このような高解像度均質な全球地形データは、過去に例をみない。全プロダクト容量は (圧縮を解くと) 30TB をゆうに超す。現在、これらに対して、校正補正作業を行っている。平坦な地域のデータを利用した視線ベクトル補正により、相対高度精度は 5m 以下まで押さえ込まれつつある。また、最新の重力場データを取り入れて得られた軌道データを取り入れ、LALT データとの相互参照することにより、絶対標高誤差は、50m 以下にまで収まりつつある (Haruyama et al., in prep.)。

3. これまでの科学成果

SELENE 以前の高解像度地形データとしては、アポロ計画などで取得されていたが、決定的にカバー率・質で足りていなかったのは、極、裏、そして嵐の大洋地域を含むいくつかの表側の特に西領域更にはオリエンターレ盆地領域である²。これまで、我々は、南極で氷水の存在する最有力候補域であったシャクルトン永久影内には氷水の露出は見られていないこと³、裏側の火成活動がこれまで知られていた以上に長く続いていたこと⁴などの発見を発表してきた。これらの成果は、いずれも、単に新しいところのデータが取れ、精度が高まった、ということにとどまらない。スペクトルプロファイラやマルチバンドイメージャによる分光学的成果^{5,6}と同様、これまでのデータによって言われていた多くの事が、そのデ

ータの信頼性も含めて問い直されなければならないことを明瞭に示したことが重要である。

4. 今後の展望

これまでの成果からも分かるように我々のデータは、量だけでなく質でも過去のものに圧倒的に勝る。現状では、まず、そのデータの質を高精度に保証するよう、校正補正を更に綿密に行うことが課題である。その上で、多くの科学解析に取り組まねばならない。

地形カメラでの解析成果は、極、裏側について出つつある。しかし、嵐の大洋などの表側の特に西側の海領域については、重要解析項目さえまだである。年代、噴出率、噴出物質変遷など、多くの再検証項目があり、データ解析結果によっては、月内部進化過程の重要な見直しを必要としよう。また、表層環境 (たとえば、年代やクレータの崩壊状態) の再調査は、月-地球系へと持ち込まれた物質や量の変遷の重要な情報となる。月単体だけでなく、月-地球系、太陽系の中での進化という視点で解析、モデル構築も今後進められる。

月あるいは月-地球系や太陽系レベルの相互作用を睨みそれらの進化全体を解き明かしていくためにも、その一方で、個々の課題を解き明かし、起源進化モデルの制約条件を一つ一つ明らかにしていくことが、重要である。嵐の大洋については、新しい噴出領域があり、年代の再決定は喫緊の課題である。海領域については、LRS の地下構造などを合わせて、溶岩噴出率などの詳細決定が行われる (地下サウディングデータとの統合解析)。マリウスヒルやホルテンシウスヒルなどの火山地域などは、形態学的分類も含めて再解析が必要である。更に、磁気異常地域として重要なライナーガンマも嵐の大洋域にあるが、クレータ形状や起伏、更に分光データなどとの統合解析をすることが進められる (分光・磁場データとの統合解析)。他にも多くの研究課題が SELENE チームメンバーによって提案され、進められている。なお、将来の探査候補地域の提案、解析については本講演会別稿 (春山他) に記す。

参考文献: 1 Haruyama et al., *EPS* 60, 243, 2008; 2 Wilhelms, *Geology of the MOON* 1987; 3 Haruyama et al., *Science* 322, 939, 2008; 4 Haruyama et al., *Science* 323, 905, 2009; 5 Matsunaga et al., *GRL* 35, L23201, 2008; 6 Ohtake et al., *Nature*, in press.

ジャクソンクレーターの地形地質解析 Geology of a lunar crater Jackson

○平田 成¹, 大竹 真紀子², 春山 純一², 松永 恒雄³, 出村 裕英¹,
本田 親寿¹, 小川 佳子¹, 北里 宏平¹, 浅田 智朗¹
¹会津大学, ²宇宙航空研究開発機構, ³国立環境研究所

ジャクソン (Jackson) は月の裏側高地に位置する直径 71km の中央丘クレーターである。顕著な光条を持ち、コペルニクス代に形成されたと考えられている。このサイズのクレーターとしては非常に新鮮で、地形学的にも、地質学的にも形成当時の状態をよくとどめている。本研究では、「かぐや」搭載の LISM による地形データ、分光データを用いてジャクソンの内部及び周辺部の地形地質解析を行った。主たる研究目的は現存する地形学及び地質学的特徴からのクレーター形成過程の再構成であるが、これに加えてクレーター中央丘に露出していると考えられている月の地殻深部物質の産状と周囲のコンテキストを調べて月地殻の構造と起源を考える上での基礎情報を得ることも念頭においている。

ジャクソンの光条はクレーターの北西方向で分布の欠けがあり、北西方向から南東方向への斜め衝突によるクレーター形成が示唆されている。リム近くの放出物上に存在するメルトポンドの分布は衝突方向の下流側に偏っており、クレーター外へのメルト移送過程も斜め衝突に影響されていることがわかる。クレーター内部に目を転じると、下流側において内壁の崩壊がもっとも顕著となっている。これはティコクレーター等で観察され、Schultz and Anderson (1996) などで主張されている衝突方向上流側でのクレーター内壁崩壊の発達とは逆の傾向を示している。LISM 地形カメラによるデジタル地形モデルの解析では、ジャクソンの形成前の地形は衝突下流側において標高が高かった可能性が高い。下流側での内壁の崩壊はこの地形の影響を受けているのかもしれない。クレーター床も中央丘を挟んで北西側と南東側で大きく様相を異にしている。全体的にはインパクトメルトで覆われているものの、北西側では多数の割れ目が発達しており、深いメルト層が存在していたことが示唆される。ただしこの地域では多数の丘陵も同時に存在している。一方南東側は固化したメルトの表面は比較的平坦で、メルト層が薄かった可能性がある。LISM マルチバンドイメージャによる分光データでは、メルトの鉱物組成としても、地形的な二分性に対応する二分性が存在している状況が観察される。反射スペクトルの解析から、中央丘の多くの部分が斜長石に富むことが示唆されている。北西側のメルトもこれに近いスペクトル特徴を示す。これらの観測結果は、この地域の地殻には複数種の岩相が存在し、それらがクレーター形成とともに表面に露出している可能性があることを示している。発表ではこれらの情報から推定されるジャクソン地域の地下構造とクレーターの形成過程について議論する。

かぐやLISM に基づく 月オリエンターレ衝突盆地の構造

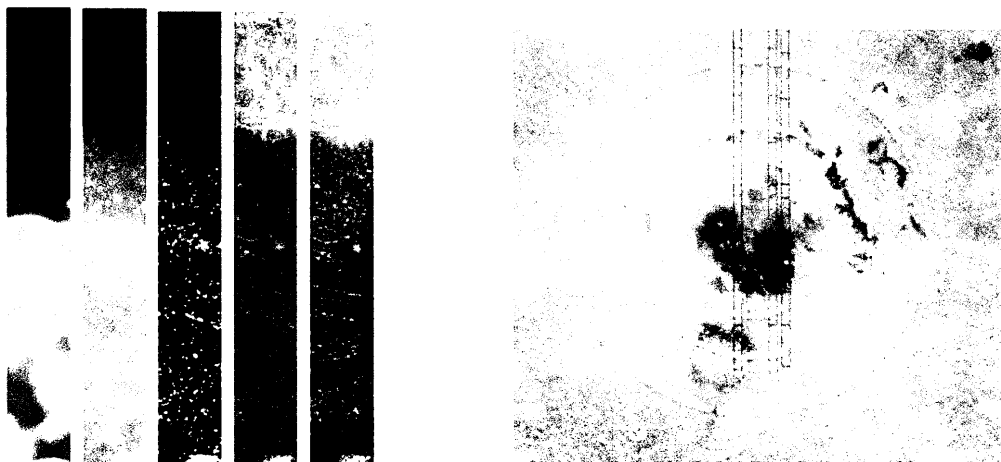
○出村裕英¹, 平田成¹, 小川佳子¹, 本田親寿¹, 北里宏平¹, 浅田智朗¹, 柴田祐人¹,
佐伯和人², 杉原孝充³, 横田康弘⁴, 諸田智克⁴, 鳥居雅也⁴,
松永恒雄⁵, 大竹真紀子⁴, 春山純一⁴

¹会津大学, ²大阪大学, ³海洋開発研究機構, ⁴JAXA, ⁵国立環境研究所

Namiki et al. (2009) reports three types of lunar impact basins (Type I, II, and mascon basin) on the basis of lunar gravity modeling and analysis. The Orientale basin is categorized into the Type II, and the basin would be experienced deep tectonic activities, which are obviously different from those of mascon basins. The activities would be linked with the following features; multi-ringed structures, mare embayment, and lava fountain. We display a new viewpoint of data analysis and interpretations by means of the new geological context for Kaguya/LISM high resolution image data sets.

Namiki et al. (2009) [1]の月重力場モデルの解析結果によると、月面衝突盆地は表側の海のマスコンの他に、Type I, II の併せて3種の存在が指摘されている。本研究のオリエンターレ盆地はType II に分類され、盆地形成後にマスコンとは異なる何らかの深部構造運動があったと指摘されている。それが、オリエンターレ盆地の各種構造、多重リング構造や海の溶岩平原、熔岩噴泉と関連している可能性がある。そうしたコンテキストに則って「かぐや」LISMの高解像度画像データに基づく解析・再解釈を提示する。

[1] Namiki et al. (2009) Science 323, 900-905 “Farside Gravity Field of the Moon from Four-Way Doppler Measurements of SELENE (Kaguya)”



月震計データから見た月面クレーター生成率不均質

○川村太一^{1,2}、諸田智克²、小林直樹²、田中智²

¹東京大学大学院地球惑星科学専攻、²ISAS/JAXA

近年、月-地球系の同期回転に注目し月の前面と後面でクレーターの生成率が異なることが指摘されている (Morota and Furumoto, 2003; Gallant et al., 2009)。理論的に、このクレーター生成率の不均一の程度は衝突天体の接近速度に依存することが知られており (Shoemaker and Wolfe, 1982)、月面の不均一性を調べることで衝突天体の軌道情報を抽出することができる。

一方、月面の衝突現象を観測した例としては、アポロの月震観測があげられる。アポロの月震観測から現在 1744 の隕石衝突が報告されている (Nakamura, 2003)。月震観測は 1969-1977 の約 8 年間ほぼ絶え間なく月面の衝突現象を観測しており、これほど長期間、連続的に幅広い規模の衝突現象を観測し続けた例と言うのは珍しく、現在の月-地球近傍の衝突現象を考える貴重なデータであると言える。過去の研究では月震データから隕石衝突の時間分布に関しては研究がなされているが (Oberst, 1989) 衝突地点の空間分布に注目した研究は行われていない。本研究ではこのような月震観測で記録された隕石衝突の記録から衝突率不均一について議論し、現在の衝突天体の情報を抽出することを目指す。

本研究では Oberst (1989) で推定された隕石衝突の震源リスト (位置、衝突エネルギー) をもとに隕石衝突の空間分布を議論する。またアポロの月震観測は観測点の配置の問題から観測範囲が全球をカバーしきれていないという問題がある。そこで、本研究では観測点の観測範囲の影響を取り除くために、衝突エネルギーが $2 \times 10^9 \text{ J}$ 以下のものを解析から外した。そのようにして得られた 56 の隕石衝突から計算した前面後面の頻度分布を図 1 に示す。図からわかる

ように前面と後面の頻度分布でははっきりとした違いが見られ、前面の方が全体的に衝突の数が多くなっている。このことは先行研究で指摘されたクレーター生成率不均一が月震データでも観測されていることを示している。月震観測から求められるクレーター生成率の不均一性は先行研究で指摘されている値よりも大きく、衝突天体の衝突速度も先行研究で推定された値 (約 15 ~ 20 km/s) よりも遅い約 5 ~ 7 km/s と推定される。このような違いは月震観測の観測範囲の影響、観測している衝突現象の規模の違いなどに起因していると考えられるが、今後さらに検討する必要がある。

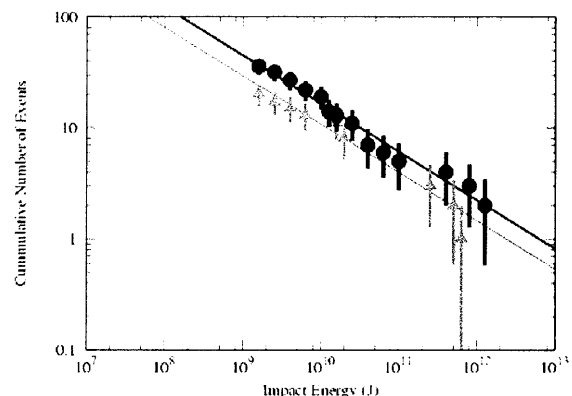


図 1 月面の衝突頻度分布。黒で前面、灰色で後面の頻度分布をそれぞれ示した。ほぼすべてのエネルギー範囲で前面の方が衝突頻度が多くなっている。

月周回衛星かぐや搭載スペクトルプロファイラーで得られた大量分光データに対する特定スペクトル抽出ソフトの開発

○山本 聡¹、中村 良介²、松永 恒雄¹、小川 佳子³、横田 康弘⁴、大竹 真紀子⁴、春山 純一⁴
¹国立環境研、²産総研、³会津大学、⁴ISAS/JAXA

月探査衛星かぐや(SELENE)搭載のスペクトルプロファイラー(以下SP)は、可視近赤外(波長0.5-2.6 μ m)域に対して連続スペクトル観測を行ってきた。通常および拡張ミッションを合わせると7千万点以上の月面測地点に対してスペクトルデータが得られている。これらの大量のスペクトルデータを基にして、月の鉱物組成分布を月面全体に対して同定することができれば、月地殻進化を考える上で新しい制約条件を与えることができると期待される。一方で、7千万点以上もの大量データから、様々な月鉱物特定スペクトル(例えば、結晶斜長石や純粋なかんらん石、単斜/斜方輝石スペクトル等)を効率よく同定するには、これらの特定スペクトルを自動的にピックアップする技術(ソフト)の開発が鍵となる。そのようなソフトの開発においては、まず月の主要な鉱物が、実際のSPデータとしてどのように観測されるのかを知ることが大事である。というのも、月面上で実際に観測される斜長石やかんらん石の特定スペクトルは、実験室から期待されるように必ずしも明瞭なスペクトルを示すわけではなく、多くの場合は様々な鉱物の混合スペクトルになっているからである[1]。例えば、クレメンタインUV/VISデータによるクレーター中央丘のスペクトル解析によれば、ティオルコフスキークレーターの中央丘は、かんらん石に富む特定スペクトルを示すと報告されていた[2]。しかし、SP観測データによる詳細解析によれば、かんらん石特定スペクトルではなく、斜長石と少量の輝石の混合スペクトルであることが明らかとなっている[1]。それ故、自動検知ソフトの開発においても、このような混合に対して誤判断をしないアルゴリズムの組み込みが必要である。そのためには、ティオルコフスキークレーターの一例だけではなく、過去の研究で「かんらん石が露出している」と報告されている他のクレーターについても、SPデータによる再調査が重要である。

そこで、本研究ではクレメンタインUV/VISデータで、かんらん石特定スペクトルと報告されている他のクレーター中央丘(ラングレヌス、テオフィラス、クルックスおよびキーラークレーター)について、SPスペクトルデータを用いて解析を行った。その結果、ラングレヌス、クルックスおよびキーラークレーターの中央丘には、かんらん石特定スペクトルは見つからず、斜長石および輝石の混合スペクトルとして解釈されるということがわかった。一方、テオフィラスクレーターの中央丘には、かんらん石特性スペクトルに近い物が見つかった。本発表では、これらの結果をもとにして、特定スペクトル自動検知ソフトのアルゴリズムについて議論を行う。

参考文献

- [1] Matsunaga, T., et al., 2008, Geo. Res. Lett., 35, L23201.
- [2] Tompkins, S. and C.M. Pieters, 1999, Meteoritics & Planetary Science, 34, 25-41.

月の可視・近赤外域の測光関数： かぐやスペクトラルプロファイルの測光補正

○横田康弘¹、松永恒雄²、大竹真紀子¹、春山純一¹、中村良介³、
小川佳子⁴、山本聡²、諸田智克¹、本田親寿⁴、佐伯和人⁵、長澤健一⁵、北里宏平⁴、
佐々木晶⁵、岩崎晃⁷、出村裕英⁴、平田成⁴

¹JAXA、²国環研、³産総研、⁴会津大、⁵大阪大、⁶国立天文台、⁷東大

月面の鉱物組成を知る上では可視・近赤外反射分光観測が有用であり、その詳細解析には測光関数による観測幾何学の補正が必要である。かぐやスペクトルプロファイル(SP)が取得した7000周回を超える分光観測データにも適切な補正用測光関数が必要とされている。月の測光関数研究は過去に多く行われてきたが、未だ次の3つの点で課題があった。

- (1) 波長依存性：先行研究で詳細に調べられたバンドは限られている。特に近赤外域ではデータが不足している。SPでは可視から近赤外まで連続的な測光関数が必要である。
- (2) 地質依存性：高地・海のような地質区分ごとに測光関数を調べる必要がある。
- (3) 大きい入射角・位相角での適用性：高緯度地域は、緯度と同程度の入射角及び位相角条件でしか観測できない。この条件での正確な測光関数が必要である。

本研究の目的は、上記3点を考慮してSPデータ自身からSP補正用の測光関数を決めることである。また、かぐやマルチバンドイメージャなど他の観測データへの適用も視野にしている。

本研究では約6000周回ぶんのSPデータを入力とした。観測DN値には、国環研を中心に開発中のアルゴリズム・校正係数により校正を施した。反射光強度と幾何学条件の関係を調べる上では、アルベドが同程度の地域のデータのみを収集する必要がある。そこで位相角20～40度のSP753nmバンドデータだけにクレメンタイン用測光関数(McEwen et al., 1998)を適用して、緯度経度が1°分解能の補正済み反射率マップを作成した。このマップに含まれる緯度帯は40N～40Sとなる。このマップから、アルベドが同程度の海と高地(反射率により2区分)の3グループを作成して、それぞれ測光関数フィッティング用データ収集箇所とした。

講演では、上記3グループの簡略化Hapkeモデル関数フィッティング結果と、そのパラメータの全球に対する適用結果を報告する。

LISM/MI による月地殻物質のスペクトル分類（予察）

○杉原孝充¹、大竹真紀子²、春山純一²、松永恒雄³、横田康弘²、諸田智克²、本田親寿⁴、
小川佳子⁴、平田成⁴、出村裕英⁴、浅田智朗⁴、中村良介⁵

¹ 海洋研究開発機構、² 宇宙航空研究開発機構、³ 国立環境研究所、⁴ 会津大学、

⁵ 産業技術総合研究所

月の地殻物質を構成する岩石とその空間分布を理解するために、「かぐや」に搭載された LISM/MI の可視・近赤外域の分光画像データを用いた解析を行ってきている。この際、複数のバンド間の比演算、Continuum を除くことにより得られる各バンドの吸収強度の情報を総合的に解釈することが重要である。現在、画像解析により月表層物質をスペクトル特徴で分類し、月地殻物質の岩相判別を行う手法を検討している。ここでは予察的に解析した結果について報告する。

代表的な月の中央丘クレータ（Aristarchus、Aristillus、Copernicus、Kepler、Tycho、Jackson、Tsiolkovski）の中央丘について、まずは宇宙風化などの影響を除外するために、斜面を崩落したレゴリスや中央丘上昇時に取り残されたインパクトメルトと思われるユニットは除いて、MI 画像からスペクトルを抽出した。Aristarchus や Copernicus は PKT 内部のクレータであり、斜長石に富む岩相を示す。PKT 以外の高地に存在する Jackson や Tsiolkovski も斜長石に富む岩相を示すが、斜長石に伴う苦鉄質鉱物の種類が異なっている。また、1250nm に確認される斜長石の弱い吸収ピークを見てみると、クレータによって、斜長石の持つ吸収強度も異なっている場合もある。全体的な傾向として、同じように 1250nm に吸収を示す斜長石に富む岩相だったとしても、他のクレータ中央丘（特に Copernicus、Tycho、Jackson、Tsiolkovski）と比較して、Aristarchus の中央丘は吸収強度が小さく、斜長石に含まれる FeO 含有量が異なっている可能性が示唆される。斜長石の 1250nm の吸収強度だけでなく、斜長石と共存する苦鉄質鉱物の種類についても、各クレータ中央丘で特色を持っており（Aristarchus、Copernicus=かんらん石、Tycho=輝石（単斜輝石、斜方輝石）Jackson、Tsiolkovski（斜方輝石））、成因について重要な制約を与えることができると考えられる。

かぐやにより取得した分光観測データを用いた高い Mg# を持つ月高地地殻の探査

○大竹真紀子¹⁾、武田弘²⁾、横田康弘¹⁾、春山純一¹⁾、諸田智克¹⁾、松永恒雄³⁾、山本聡³⁾

1) 宇宙航空研究開発機構、2) 千葉工業大学、3) 国立環境研究所

はじめに：従来、アポロサンプルや月隕石の研究から月上部地殻は主に FAN (Ferroan Anorthosite) と呼ばれる鉄に富む苦鉄質ケイ酸塩鉱物を少量含む斜長岩で構成されると考えられてきた。しかし、武田他 (2006) により月隕石中 (Dho489) にマグネシウムに富む苦鉄質ケイ酸塩鉱物を含む斜長岩の岩片が発見され、月の裏側に、表側で見られる FAN とは異なる組成の上部地殻が存在している可能性が示唆されるようになった。本研究では、月周回衛星かぐや (SELENE) により新しく取得した月裏側の高地物質の分光データから、このようなマグネシウムに富む苦鉄質ケイ酸塩鉱物を含む斜長岩が月裏側に存在するのかどうかを調べた。

データおよび解析手法：マルチバンドイメージャ (MI) およびスペクトルプロファイラ (SP) は 2007 年に打ち上げた月周回衛星かぐやに搭載された観測機器である。MI は 415nm ~ 1550nm の可視・近赤外波長域において合計 9 バンドの月面分光画像を取得し、SP は 500nm ~ 2600nm の可視・近赤外波長域における連続分光データを取得する。いずれも鉱物種に起因した特徴的な吸収帯を識別することを目的とする。かぐや打ち上げ以降、MI と SP はミッション終了まで順調に月面を観測し続け、MI では月面の約 95% 以上のデータを取得している。

今回解析に使用したのは、月裏側に位置する斜長岩が露出しているクレータの中央丘、および裏側高地の経度 200° ~ 225°、緯度 -10° ~ +65° 領域の MI および SP データである。上記解析領域は従来の研究 (Hawke 他、2003) により斜長石に富む始源的な地殻が露出すると考えられる場所から特に Fe の含有量が少ない領域を選定した。

選定した領域内で、バックグラウンド除去後の 1250nm 付近の吸収強度から斜長岩が露出する場所を識別し、識別された場所についてさらに苦鉄質ケイ酸塩鉱物の 1 μm 付近の吸収中心波長を MGM 解析法 (Sunshine & Pieters, 1990) を用いて求めた。マグネシウムに富む苦鉄質ケイ酸塩鉱物が存在した場合、1 μm 付近の吸収は鉄に富む化学組成のものに比べて短波長側にシフトすることから、月隕石 (Dho489) の実験室反射特性データと解析対象領域の吸収中心波長を比較することで、高い Mg# を持つ地殻物質が存在するのかどうかを判定する。

結果および考察：月裏側の Jackson の中央丘には極端に斜長石に富む斜長岩が数 km 規模で露出しているが、この領域における苦鉄質ケイ酸塩鉱物の吸収中心波長が約 920nm であることが今回の解析により解った。この吸収中心波長は、Dho489 における苦鉄質ケイ酸塩鉱物の吸収中心波長と同程度に短波長であることから、これら領域の斜長岩にはマグネシウムに富む苦鉄質ケイ酸塩鉱物が存在する可能性があると考えている。ただし、該当領域の斜長岩が極端に斜長石に富むために苦鉄質ケイ酸塩鉱物の吸収強度が非常に弱いことから、高い Mg# を持つ月高地物質の存在について結論を出すためには、今後さらに詳細な解析が必要である。

発表では、Jackson 中央丘内部での面的な吸収中心波長の分布に加えて他のクレータ中央丘および月裏側の領域における解析結果について述べる。

かぐや/スペクトルプロファイラ観測データに基づく月面swirl構造の分光特徴

○小川佳子¹, 春山純一², 松永恒雄³, 中村良介⁴, 大竹真紀子², 山本聡³ 横田康弘²,

出村裕英¹, 平田成¹, 寺藺淳也¹, 本田親寿¹, 北里宏平¹, 浅田智朗¹

¹会津大学 ²ISAS/JAXA ³国立環境研究所 ⁴産総研

月面には”swirl”と呼ばれる、畝ったような構造をもつアルベドコントラストが複数観測されている。スケールや具体的な形状は様々で、地球上の分布にも特に偏りはない。一般的に、ひどく滑らかで地形の少ない地域に存在し、いずれも強い磁気異常を示している。その起源・成因については、彗星衝突、小隕石群(swarm)衝突、あるいは巨大ベイスン形成時の磁気遮蔽(magnetic shielding)等の諸説があるが、ほとんどわかっていない(例えば、Pinet et al., [2000])。

月探査衛星かぐや(SELENE)に搭載されたスペクトルプロファイラ(SP)は、月面裏側も含め、月全球のswirlについての連続反射分光観測データを系統的に初めて取得した。SPデータを用いて月面swirlのアルベド構造の分光特徴を調べた結果を報告する。

まず、SPで観測された0.75 μm の反射率変化が、TC/MI可視画像のアルベドパターンと一致する事を確認し、その0.75 μm の反射率変化とスペクトルの特徴量(赤化の程度、吸収帯の種類や形状)との相関性を調べた。赤化度はSP連続スペクトルの傾きに相当する。尚、吸収帯の特徴を表すパラメータはSPデータにMGMを適用することにより定量的に算出した。

結果、アルベドコントラストの実体は、風化度の違いを表し(赤化の差)、組成差の寄与は小さい(吸収帯の特徴に著しい差異ない)可能性が高いことがわかった。さらにこれらのSPの連続分光データの解析結果を用いて月面swirlの成因への制約について議論する。

「かぐや」搭載 Spectral Profiler を用いた 月の溶岩流の化学組成進化の研究

○佐伯和人¹、長澤健一¹、中村良介²、松永恒雄³、廣井孝弘⁴、小川佳子⁵、荒井朋子⁶、
山本聡³、大竹真紀子⁷、春山純一⁷、横田康弘⁷、本田親寿⁵、諸田智克⁷
¹大阪大、²産総研、³国立環境研、⁴ブラウン大、⁵会津大、⁶千葉工大、⁷JAXA

月の海の玄武岩は噴出した年代の違いだけでなく同じ流域の中でも化学組成の変化があると考えられている。「かぐや」搭載の Spectral Profiler の連続分光を用いて玄武岩溶岩流の化学組成の変化をとらえ、その変化の原因を鉱物の量比や Fe/Mg 比などの定量的な推測に基づき検証する。さらに、その変化がマグマだまりの中で起こったものなのか、流れている途中の分別結晶作用で起こったものなのかを検証する。

調査地域として、溶岩流内部で化学組成が変化していることが示唆されている (Staid and Pieters, 2001) 雨の海北部の溶岩流 (Phase1) に着目した。本地域は、クレメンタイン衛星の UVVIS カメラデータの解析により、(415 nm の反射率) / (750 nm の反射率) の変化から、下流ほどイルメナイトの沈降により Ti 濃度が減っていると解釈されている。また、(1000 nm の反射率) - (900 nm の反射率) の変化より、後期の溶岩 (上流) ほどカンラン石含有量が増えていると解釈されている (Staid and Pieters, 2001)。

この地域を SP の連続スペクトルデータを解析することで再検証した。まずは、1 ミクロン付近の吸収のピーク波長位置変化を調べた。すると、上流から下流にむかって、ピーク位置の波長が短くなる傾向があることがわかった。輝石の Fe²⁺ による 1 ミクロン付近の吸収波長はカルシウム量や鉄マグネシウム比によってシフトすることが知られている。検出されたピークの変化が主として Mg/Fe 比によるものであるとすると、玄武岩溶岩中のピークが短い方へシフトした地域は、Mg に富む地域と解釈することができる。この場合、最も単純な解釈は Mg に富む部分は、高い部分熔融度の母岩から出てきた溶岩、すなわち末期の溶岩流であるという解釈であり、もう一つは、溶岩が流れながら Mg に富むカンラン石や輝石を晶出・沈積させて、火口から離れるほど Fe に富むようになるという解釈である。いずれの解釈でも Mg に富む地域は火口の位置を示唆しているので今回の溶岩の推定流向とは逆センスとなっている。このことより、鉱物組み合わせの変化によるピーク位置変化である可能性が高いと判断すべきかもしれない。そこで、スペクトルデータから構成鉱物ごとのスペクトルに分離する方法 Modified Gaussian Model (MGM) (Sunshine et al., 1999) を用いて、地域ごとの鉱物構成比を調べて検証する。このデータは現在、解析途中であるので、発表時に報告させていただく予定である。

月の裏側の火成活動史

○諸田 智克¹, 春山 純一¹, 大竹 真紀子¹, 松永 恒雄², 杉原 孝充³
石原 吉明⁴, 横田 康弘¹, 木村 淳⁵, 川村 太一¹, 本田 親寿⁶, 佐伯 和人⁷
平田 成⁶, 出村 裕英⁶, 佐々木 晶⁴, 武田 弘⁸

¹宇宙科学研究本部, ²国立環境研究所, ³海洋研究開発機構, ⁴国立天文台

⁵北海道大, ⁶会津大, ⁷大阪大, ⁸千葉工大

月の海の形成過程については未だ多くの謎が残されている。我々はこれまでに、月周回衛星かぐやで得られた高解像度画像データを用いて、裏側の海の溶岩流について、年代と体積、地殻構造との関係性などを調べてきた。本発表ではそれらの結果を用いて、裏側の火成活動の特徴を述べる。

1. 火成活動の期間 裏側では約 25 億年前までマグマの噴出が続いていた(図 1) [Haruyama et al. 2009]。一方、表側の PKT 以外の領域の海では 30 億年前までに噴出が終了し、PKT では約 10 億年前まで噴出が続いていた [Hiesinger et al. 2000; 2003; 2006]。これらの海の形成期間の違いは、レゴリス・メガレゴリス層と放射性熱源の影響量の違いでそれぞれ説明できるかもしれない。

2. 裏側の噴出期間の地域差 月の 3 次元マントル対流をシミュレートした熱史研究によると [e.g., Spohn et al. 2001]、当初、全球的に存在した部分溶融域は、リソスフェアの成長に伴って薄くなり、次第に水平方向にムラが起き始める。裏側の海の年代の空間分布を見ると、32 億年前では全体的にマグマ噴出が起っていたが、25 億年の噴出地域は限定されていることから、この間に裏側マントルでの部分溶融領域の存在にムラが発生したと推測される。

3. SPA 形成イベントの影響 マグマの生成に巨大衝突の影響があったか否かが長年の論争であった。衝突をマグマ生成の原因とする最新のモデルによると [Ghods & Arkani-Hamed 2007]、衝突規模に伴って、生成されるマグマの量が増え、マグマの生成期間が永くなると予想される。しかし、SPA 内にはそれを説明できるほどの溶岩流が存在しない [Pieters et al. 2001]。また、年代決定の結果を見ると、SPA の中と外 (FHT-A) で、溶岩流の形成のピークと終了時期が良く一致している(図 1)。これは裏側のマグマの生成に SPA 形成イベントが影響しなかったことを示唆している。

4. 表側と裏側のマグマ生成量の違い SPA 盆地と Moscoviense 盆地の地下は十分に地殻が薄いので、この領域ではマグマの噴出は、低密度の地殻によって妨げられることはないと考えられる [Wieczorek et al. 2001]。この考えが正しいならば、表側と裏側で同程度のサイズの衝突盆地内の溶岩流量を比較することで、表側と裏側マント

ルにおけるマグマ生成量の違いを見積もることができる。Moscoviense 盆地内の溶岩流の体積は 9500-16000 km³ と見積もられた。これは表側の同サイズの衝突盆地である Humorum の中の溶岩流の 1/3-1/10 である。この結果から、表／裏の海の二分性は地殻厚の差のみでは説明できず、マグマ生成量が表と裏で異なっていることを示唆する。

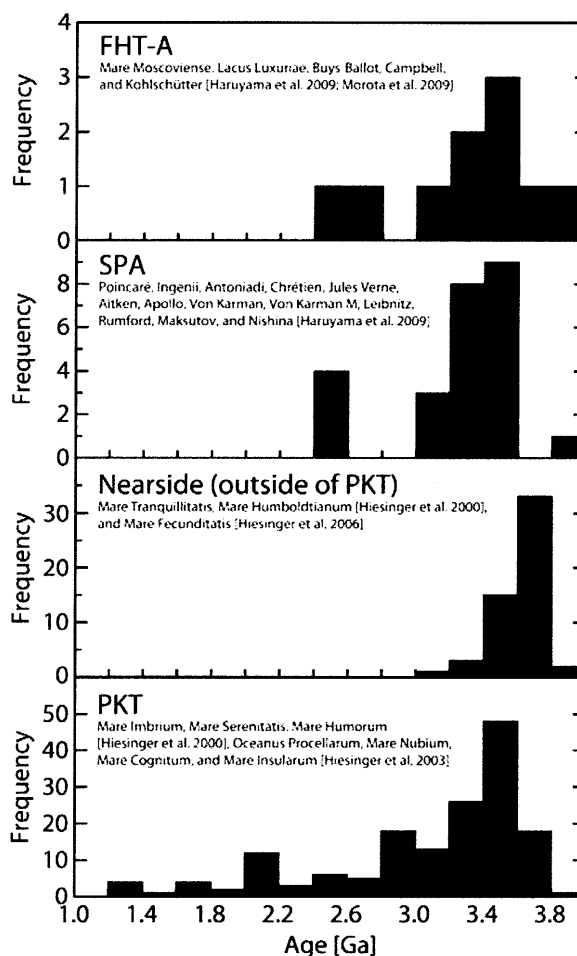


図 1 溶岩流の年代分布。

月の初期マグマオーシャンおよび 地殻形成に対する物質科学的制約

○酒井 理紗¹, 久城 育夫¹, 永原 裕子¹, 小澤 一仁¹, 橘 省吾¹

¹ 東京大学大学院理学系研究科 地球惑星科学専攻

はじめに 月は形成直後にマグマオーシャンに覆われ、その冷却過程で析出する鉱物が沈降、浮上することによって、マントルおよび地殻からなる層構造をつくったと考えられている。月のマグマオーシャンの化学的・物理的状态についてこれまでに数多くの提案がなされてきたが、その規模や化学組成、冷却史に関して、統一的な見解はいまだ得られていない。

今回我々は、マグマオーシャンでの分化過程後期につくられたと考えられる月の斜長岩地殻に注目し、斜長石と共存するマグマの密度・粘性を決定する実験を行い、マグマオーシャン中で斜長石が浮上し、地殻をつくることのできる条件を検討することで、初期マグマオーシャンの化学組成の範囲に制約を与えることを試みた。

実験 初期マグマオーシャン組成として、(1)地球のマントルに等しい場合(Bulk Silicate Earth: BSE)、および(2)SiO₂、Al₂O₃、MgO、CaOについては太陽系存在度とし、FeOを4、6、13 wt%と変化させる場合(それぞれCI4、CI6、CI13と呼ぶ)を想定する。圧力一定のもとで斜長石が析出し始めるまでのプロセス(かんらん石、輝石の析出・分離)を、MELTSまたはpMELTSを用いた熱力学計算によって再現し、斜長石が析出するまで分化したマグマの組成を求めた。これらをBSE*、CI4*、CI6*、CI13*とする。それらの化学組成のガラスを作成し、実験の出発物質とした。ガラスを詰めた白金カプセルの中央に斜長石の小片を入れ、圧力0.5 GPa(月表面から約100 kmの深さ)、温度はリキダスの40-50°C上の条件でピストンシリンダーを用いた高温高压実験を行い、斜長石の浮き沈みを確認した。また、BSE、CI6*、CI13*についてKushiro [1976]の方法を用いて、それぞれの組成を持つマグマの粘性を決定した。

結果 斜長石の浮き沈み実験において、BSE*とCI6*では全ての圧力条件で斜長石は浮上した。斜長石が共存する月のマグマオーシャンを想定したケイ酸塩メルト中で、実際に斜長石が浮くことを確認したのは本研究が初めてである。一方、CI4*は0.5 GPaでは斜長石はほとんど動かなかった。これはFeO含有量が低いCI4*のマグマは密度が小さいため、斜長石がマグマ中で対流し浮上しないことを意味する。従って、CI4*は月のマグマオーシャンの組成としてはふさわしくないと考えられる。

粘性測定の実験では、BSE*、CI6*、CI13*のマグマは地球の玄武岩質マグマと比べてかなり粘性が低く、0.5-1.0 GPaの範囲では粘性はFeO含有量に対して負の依存性があり、圧力増加に伴う粘性変化はほとんどないか、わずかに低下した。

考察 実験結果に基づき、マグマ中での斜長石の粒の終端速度とマグマオーシャンでの対流速度を、Tonks and Melosh [1990]にもとづき推定した。その結果、直径2-3 cmの斜長石(〜アポロ15号による月の石に含まれる斜長石の最大粒径)は、対流を考慮したCI6*のマグマ中では浮上して地殻を形成するのに十分な終端速度をもつことができないことがわかった。今回までの実験結果から、月の初期マグマオーシャンのFeO量は地球のマントル組成と同じかそれより多かったことが示唆される。

[1]Kushiro, I. (1976) *J. Geophys. Res.*, 81, 6347-6350

[2]Tonks, W.B. and Melosh, H.J. (1990) In *Origin of the Earth*, 151-174

月地殻中のかんらん石の起源： 月隕石とかぐやデータからの考察

○荒井朋子¹、大竹真紀子²、松永恒雄³、春山純一²、杉原孝充⁴、平田成⁵、小川佳子⁵、
中村良介⁶、佐伯和人⁷、廣井孝弘⁸、山本聡³、横田康弘²、本田親寿⁵、諸田智克²
¹千葉工大、²JAXA/ISAS、³環境研、⁴JAMSTEC、⁵会津大、⁶産総研、⁷阪大、⁸ブラウン大

月地殻の鉱物分布や組成は、マグマオーシャンの組成、結晶化過程、結晶化が起こった深さ、結晶化様式（全球一様か二分的か）を理解する手がかりである。月の斜長岩質地殻には、少量の低カルシウム輝石やかんらん石が存在する。これまでのリモートセンシングデータや月試料分析から、かんらん石よりも低カルシウム輝石の存在度が高いと考えられている。表側地殻は低カルシウム輝石に富む斜長岩質岩石（ノライト）が主に存在する一方、月裏側地殻起源の隕石からはかんらん石に富む斜長岩質岩石（トロクトライト）が発見されており、表側と裏側の地殻の鉱物分布が異なる可能性も示唆されている。

トロクトライトの存在は、マグマオーシャンが、かんらん石→斜長石→輝石という順に結晶化したことを示す。かんらん石に富む裏側地殻が輝石に富む表側地殻より早期の段階でマグマオーシャンから結晶化したことになり、裏側地殻はより始原的、表側地殻はより分化的結晶化物からなっているとも考えられる。表裏地殻組成の差をマグマオーシャンの結晶分化度の違いにより説明するこのモデル（Arai et al., 2008）は、表側 PKT 地域に濃集する液相濃集元素の存在と調和的である。

マグマオーシャン結晶化順序はマグマオーシャン組成に依存する。従来想定されるような地球の初期マントルである場合、かんらん石→輝石→斜長石の順に鉱物が晶出する。しかし、前述のかんらん石→斜長石→輝石なる晶出順序は、地球マントルやコンドライト組成に比べ倍以上アルミニウムに富む組成が必要となる。従って、地殻中のカンラン石分布は月の起源にも密接に関連する。

月隕石の鉱物研究から、かんらん石が二次的に分解または溶融した結果、一部のかんらん石が低カルシウム輝石に置き換わっていることがわかってきた。また、かんらん石は輝石と比べ吸収係数が低いため、反射スペクトルにおける吸収が輝石に対して小さく、輝石とかんらん石が混在する地域のリモートセンシングデータからかんらん石の正確な存在度を推定することは容易ではない。地殻組成の二分性やマグマオーシャンからの地殻形成機構を理解するためには、かぐやの MI/SP データに基づき月の初期地殻におけるかんらん石の分布と存在度を決定することが極めて重要であるが、上記に挙げたかんらん石の鉱物特性や光学特性を考慮する必要がある。

「かぐや」レーザ高度計 (LALT) の月地形観測 -観測実績と解析現状-

○荒木博志¹、田澤誠一¹、野田寛大¹、石原吉明¹、Sander Goossens¹、佐々木晶¹、河野宣之¹、
神谷 泉²、大嶽久志³、Juergen Oberst⁴、G. Shum⁵、
春山純一³、横田康弘³、諸田智克³、大竹真紀子³、松永恒雄⁶

¹国立天文台、²国土地理院、³宇宙航空研究開発機構、⁴ドイツ航空宇宙センター、
⁵オハイオ州立大学、⁶国立環境研究所

1. はじめに

2007年9月14日(以下日本時間)、JAXA月周回探査衛星「かぐや」の主衛星は、2009年6月11日午前3時25分に月面に制御落下し、約1年半の観測を終了した。我々は「かぐや」に搭載されたレーザ高度計(LALT)のデータを用い、世界で初めて極域を含む月面全体の詳細地形図作製に成功した[1]。講演ではこれまでのレーザ高度計観測成果及び今後の展望についてふれる。

2. 運用結果

LALTは衛星極軌道に沿って2007年12月30日から2008年10月27日までの定常運用期間に約1034万点の測距データを取得し、同期間の高精度軌道データと合わせて月地形データ作成に成功した。月面測距点の面密度は赤道付近では経度方向にほぼ10km以下(最大で15km以下)、緯度方向に約1.5kmであり、極域では平均して約200m平方に1点である。地形データ、グリッド地形モデル、球面調和展開モデルは2009年11月にJAXAから公開される予定である。

2008年11月から制御落下までの期間を合わせると、取得された測距データの総数は約2206万点に達した。2008年12月以降のスラスト連続運用による姿勢制御のため、軌道決定精度がそれ以前に比べて劣るため、全データを用いた地形モデル作成のための検討は現在も続けられている。

3. これまでの成果と解析の現状

2008年3月末までに得られた約667万点の地形データより、平均半径や月重心と形状中心のずれなど月の基本形状パラメータを再決定したほか、地形スペクトルの形から月浅部の強度は非常に強く水などの揮発性

物質が極めて乏しい可能性を示した[1]。またLALTデータをもとに極域日照率の分布図を作製した結果、永久日照域は存在せず最大で89%以下であることなども明らかにした[2]。またアポロレーザ反射板位置との比較によりLALT測距位置の精度は40-50m以下であることも分かった。現在LALTグループ及び「かぐや」機器間協力の枠組みで以下の解析が行われている。1. 中国の月探査衛星Chang'Eに搭載されたレーザ高度計による月地形図との比較[3]、2. 「かぐや」RSATグループによる新重力場モデルを用いた月地殻厚再評価[4]、3. 月レーダーサウンダー(LRS)によるレーダー反射率評価、4. LRSの測距データとLALTの比較によるレゴリス厚の解析、5. 月縁地形プロファイル作成による星食データ解析への応用[5]。

4. 今後の展望

まずLALT全データを用いた地形モデル作成作業を進めLALT月地形図の最終版を作製する。次にLISM-TCグループ作成のDTMとの統合作業を進める。予備的な解析によりLISM-TCによるDTMとのランダム誤差は約50m、バイアス誤差はさらに小さいことが判明しつつある。今後は同DTMとの統合へと解析作業を進め、同グループとの協力の下、精度と分解能を兼ね備えた数値地形モデルの作製を目指す。成果は2009年11月以降に逐次一般公開される予定である。

参考文献

- [1] Araki, H., et al.: 2009, *Science*, **323**, 897.
- [2] Noda, H., et al.: 2008, *GRL*, **35**, L24203.
- [3] Fok et al., 2009, *EPS*, submitted.
- [4] Ishihara Y. et al., 2009, *GRL*, submitted.
- [5] <http://optik2.mtk.nao.ac.jp/~sonant/grazes-kaguya.html>

月レーダサウンダー（LRS）データに基づく 月の海の地下反射面分布

○押上 祥子¹, 山口 靖¹, 渡辺 志穂¹, 山路 敦²,
小野 高幸³, 熊本 篤志³, 中川 広務³, 小林 敬生⁴

¹名古屋大学大学院環境学研究科, ²京都大学大学院理学研究科,

³東北大学大学院理学研究科, ⁴韓国地質資源研究院鉱物資源研究本部

月周回衛星かぐやに搭載された月レーダサウンダー（LRS）のアクティブレーダシステムは、月表層部の地下構造を推定することを目的とした観測機器である。HF バンドの FM-CW レーダパルスを送信し、誘電率が不連続に変化する地下境界面からのエコーを検出する。LRS は史上初めて月全球のサウンダー観測を行った。これまでの LRS データ解析で、Mare Serenitatis を始めとする海域では地下数百 m までに複数の境界面が存在することを示唆するエコーが見つかっている [Ono *et al.*, 2009]。これまでに様々な方法で海の堆積物の厚さが推定されているが [e. g., DeHon, 1979], 検出されるエコー深度はこれらの見積りの数分の一程度である。さらに、検出される地下境界面がほぼ水平に分布していることから、これらの境界面は海に堆積している玄武岩層間の境界であると考えられる [Ono *et al.*, 2009]。また、アポロサンプルに対する測定から、月表層物質の誘電率は主に密度に依存し、化学組成にはほとんど依存しないと推定される [e. g., Carrier *et al.*, 1991]。したがって、LRS によって検出される境界面は、玄武岩溶岩を堆積させた火成活動の合間に蓄積したレゴリス層である可能性が高い。月面のレゴリス層の堆積速度は一定ではなく、時代を遡るにつれて指数関数的に速かったようである [Shukuratov and Bondarenko, 2001]。したがって、検出される地下境界面がレゴリス層であるとすれば、その形成年代が古いほどレゴリス層が厚く堆積している可能性が高く、検出されやすいと考えられる。すなわち、検出される境界面の形成年代とその分布には相関があるはずである。そこで、地下境界面が検出された Mare Smythii, Mare Crisium, Mare Nectaris, Mare Serenitatis, Mare Imbrium, Mare Humorum, Oceanus Procellarum の内、Hiesinger *et al.* [2000, 2003]によって表面年代が決定されている Mare Serenitatis, Mare Imbrium, Mare Humorum, Oceanus Procellarum について、地下境界面が分布する領域の表面年代を調べた。これら 4 つの海の表面年代が 12~38 億年であるのに対し、地下境界面分布域の表面年代は 28~36 億年で、その大部分が 34 億年前後であった。すなわち検出される地下境界面のほとんどは 34 億年前よりも前に形成されたことになる。このことは、検出される地下境界面が 34 億年前以前の激しい隕石衝突や活発な火山活動による火砕流の発生などにより厚く堆積したレゴリス層であることを支持している。

○久保 公央¹, 大竹 真紀子², 並木 則行³, 山路 敦⁴, 春山 純一², 松永 恒雄⁵

¹九州大学大学院 理学府 地球惑星科学専攻

²宇宙科学研究本部/宇宙航空研究開発機構 (ISAS/JAXA)

³千葉工業大学 惑星探査研究センター (PERC/Chi-tech)

⁴京都大学大学院 理学研究科 地球惑星科学専攻, ⁵国立環境研究所 地球環境研究センター

月の mare basalt の厚さは、過去にいくつかの手法で推定されてきた。De Hon (1977, 1979)は basalt の堆積によって埋まったクレーターのリムから厚さを見積もった。しかしこの手法ではすべてのクレーターの形について相似形を仮定している。またクレーター形成前の basalt の厚さは推定できない。Budney and Lucey (1998)はクレメンタインのマルチバンド画像 (> 100 m / pixel)から、basalt 堆積後に海の領域内に形成したクレーターが掘り出したイジェクタの中に地下の高地物質が含まれているかどうかを調べ、basalt の厚さを推定した。この手法では basalt の厚さの推定が衝突実験でのイジェクタ分布の結果に強く依存している。本研究では月周回衛星「かぐや(SELENE)」のマルチバンドイメージャ(MI)の画像データから mare basalt 厚の新たな推定を試みた。かぐやの MI データは可視～近赤外の 9 バンドで月面を観測するカメラにより、クレメンタインより高解像度 (VIS: 20 m / pixel, NIR: 60 m / pixel)である。さらにバンド間の視差から地形データを算出することができるので、直接的に basalt の化学組成と関連づけて深さの推定ができる。調査対象エリアは上の 2 研究で basalt 厚を調べた Mare Humorum (中心: 24°S, 40°W, 直径: 425 km)である。

クレーター内部を調べ mare basalt とその下の層の境界の深さを求めるために、以下の 4 つの手法を適用した。

1. 各地点でのスペクトルは、3 つのエンドメンバーのスペクトル (fresh highland, fresh mare, mature mare)の線形的な合成と仮定し、各エンドメンバーの量比を求める (Budney and Lucey, 1998)。選択したエンドメンバーは Budney and Lucey (1998)に従い、fresh highland (20°S, 54°5'W), fresh mare (21°4'S, 37°W), mature mare (20°5'S, 37°5'W)のスペクトルデータである。
2. 観測されたスペクトルに対しコンティナムを引き、輝石 (950 nm), オリビン (1050 nm), 斜長石 (1250 nm)の吸収の深さをそれぞれ求める。斜長石の存在量により高地物質の寄与を推定する (Ohtake *et al.*, 2009)。
3. アポロのサンプルの分析に基づいて単斜輝石 (Cpx)の量比を求める式 (Shukalotov *et al.*, 2005)を使い、クレーター内部の Cpx 量の違いを判別する。
4. FeO の量を求める式(Lucey *et al.*, 1998)から、FeO の割合が少ない高地物質を識別する。

上記の手法による解析を Budney and Lucey (1998)で調査された Liebig FA (24°48'S, 44°57'W, 直径 3.3 km)に対し行った。その結果 FeO から最も basalt と簡便に高地物質を区別することができた。このことから FeO の量で境界面の位置を特定し、次に他の手法で物質の違いを同定し、最後に地形データから basalt 層の厚さを推定することが良いことが分かった。今後は Budney and Lucey (1998)で調べられた他のクレーターについても推定を行う。

最新の「かぐや」月重力場モデルについて

○松本 晃治¹、ホーセンス サンダー¹、石原 吉明¹、劉 慶会¹、菊池 冬彦¹、岩田 隆浩²、
並木 則行³、野田 寛大¹、花田 英夫¹、RSAT/VRAD ミッションチーム

¹国立天文台RISE月探査プロジェクト、²宇宙航空研究開発機構宇宙科学研究本部固体惑星科学研究系、³千葉工業大学惑星探査研究センター

過去の月探査衛星の追跡データおよび 14.2 ヶ月間の「かぐや」の追跡データを解析し、SGM100h と名づけられた新しい月重力場モデルを構築した。追跡データには、「かぐや」の 3 つ以上のリアクションホイールが稼働中に取得された全ての 4-way ドップラデータ（裏側の観測データ）が含まれている。SGM90d(Namiki et al., 2009)と比較して、SGM100h に用いられた 4-way ドップラデータの数 は 3 倍以上であり、展開回数も 90 から 100 へと増えた。また、解析に際に用いた暦は最新の DE421 であり、「かぐや」に対しては Box-wing 型の太陽輻射圧モデルを使用した。

重力場係数の formal error は次数 17 において LP100K の 1/63 に減少した。表側と裏側で平均したフリーエア重力異常の誤差は、LP100K の場合それぞれ 25mGal、55mGal であったが、SGM100h の場合は 26mGal、35mGal であった。裏側北半球に残った小さなデータ空白領域に 62mGal に達する誤差があるものの、表側と裏側の誤差の非対称性は大きく軽減された。

「かぐや」レーザ高度計データから構築された地形モデルとフリーエア重力異常との相関を調べたところ、SGM100h は次数 50~70 において約 0.9 の相関係数を与えた。LP100K ではこの相関係数は約 0.7 であり、裏側の起伏の激しい地形に対応した重力異常の様子が SGM100h ではより正しく表現されていることを示唆する。ただし、次数 70 以降では相関の急激な減少が見られた。SGM100h の重力場係数の決定に対する観測の寄与率は、次数・位数 70 以下で 80%以上であった。また、アприオリ拘束条件を用いることなく、70 次までの重力場係数の現実的な展開が可能であった。SGM90d と SGM100h の係数間の差は次数 7 以下で 3σ を超えていた。以上のことから、SGM100h の次数・位数 70 までの係数は、全球的な地球物理的な解釈に利用できると考えられるが、formal error を用いた低次項の解釈については注意を要するといえる。

相対 VLBI データは低次項の精度改善に寄与することが期待されている。7 か月分の同一ビーム相対 VLBI データの解析を行い、軌道精度の向上と低次項の formal error の減少が確かめられた。しかし、まだ cm レベルの残差が残り、予想される mm レベルのデータの精度を生かしきれていない。今後、子衛星の軌道決定に用いる太陽輻射圧モデルの精密化を通して低次項の改善を実現したいと考えている。

かぐやの測月データから推定した モホ形状モデルと衝突盆地の地下構造

○ 石原吉明¹・諸田智克²・岩田隆浩²・並木則行³・ホーセンス・サンダー¹・松本晃治¹・
野田寛大¹・荒木博志¹・花田英夫¹・佐々木晶¹・RSAT/VRAD/LALT ミッションチーム

¹ 国立天文台, ² 宇宙航空研究開発機構, ³ 千葉工業大学惑星探査研究センター

衝突盆地における粘性緩和の進行具合・アイソスタシー補償の成立割合は、衝突盆地形成から今日までの月地殻および上部マントルの粘性（および弾性）に支配されている。粘性は温度に依存する為、衝突盆地の構造から熱進化の研究に制約条件を与えることが可能である。鉛直一次元ではなく 3 次元的な月・惑星の内部構造（～上部マントル程度）を推定しようとする場合、地球のような稠密な地震観測網のデータは存在しないため、内部密度異常に感度のある重力場データと、地形データを用い、内部の密度境界面の形状の推定を行うことが、ほぼ唯一のアプローチである。

探査機を用いた重力場計測は、探査機の軌道運動の精密計測と言い換えることが出来る。しかしながら、月は自転周期と公転周期が一致しているため、探査機が月裏側上空を飛行している間は、地球上の追跡局からでは、軌道運動を計測出来ない。このため月重力場モデルの月裏側の信頼性は非常に低いものであった。地形モデルも、両極域に抜けのある探査機によるレーザ測距データや、地上望遠鏡や探査機により撮像された画像の写真測量によるデータから構築されており、計測点数の少なさや、計測精度の点で問題があった。このため、米国による Apollo 探査以来、歴代の探査機のデータをもとに、月地殻厚について数々の研究がなされているが、過去の地殻厚推定には、基盤となるデータの質に大きな問題があり、月の表裏の違いと言った大局的な構造の議論は可能なものの、月裏面や極域においては詳細な議論には耐えられないものであった。このため、衝突盆地の地下構造についても、表側から縁辺域までの大規模衝突盆地についての研究例は多いが、[e.g., Wieczorek and Phillips, 1999; Hikida and Wieczorek, 2007]、月裏側の衝突盆地の地下構造についての研究[Potts and von Frese, 2003]は数える程度である。かぐやの測月ミッションでは、ドップラ信号を中継する子衛星を用いることで、月裏側上空での探査機の軌道運動の直接計測を行い、月裏側の重力場モデルの精度を大幅に改善した[Namiki et al. 2009]。地形についても、極域を含む全球のレーザ測距により、大幅にモデルの信頼度を向上することに成功した[Araki et al., 2009]。本研究では、これらの大幅に改善されたかぐやの重力・地形モデルを用い、月全球の大規模衝突盆地の地形・地下構造の解析と緩和の進み具合の解析を行った。

第一に、我々はかぐやの定常運用期間の観測データから構築された重力・地形モデルに基づいて、地殻厚（モホ面形状）モデルを構築した[Ishihara et al., in revision]。モデリングにあたっては、単純な 1 層地殻モデルを採用し、地形による重力効果を取り除いた完全ブーグ異常は、地殻とマントルの境界であるモホ面の形状（凹凸）に起因すると仮定した。また、地殻の密度は 2800 kg/m^3 、マントルの密度は 3360 kg/m^3 を仮定し、それぞれ層内で一定とした。また大規模な海についてのみ玄武岩の効果密度 3200 kg/m^3 と仮定して考慮している。一般的に重力・地形から月地殻厚（モホ面形状）の推定を行う場合、拘束点は、月震解析により推定された Apollo 12/14 号サイトでの地殻厚を用いるのが一般的であるが、近年の再解析により、Apollo ミッション直後の結果と比較して半分程度の地殻厚が推定され、さらに研究グループ毎に推定値が異なるという状況にある。このため、本研究では最薄地殻厚が 0 km 程度となるよう拘束した。第二に、我々は新たに構築したモホ形状モデルと地形データを用いて、Wieczorek and Phillips [1999] と類似の手法により、方位角平均をとった平均構造断面作成と衝突キャビティーの復元を行い、各衝突盆地の現在の形状と緩和の程度の解析を行った。既知のすべての衝突盆地[Wood, 2004]について解析を行った結果、Namiki et al. [2009] の提唱した衝突盆地の分類のうち、Type 1 と Type 2 盆地については、緩和がほぼ進んでいないこと、Principal Mascon 盆地は粘性緩和が進行しており、またマントルプラグ肩の形状から脆性破壊を伴う変形が起ったことが示唆される。地質年代区分で先ネクタリス紀第 4 年代グループ (PN4) 以前に形成された衝突盆地は、衝突盆地としての地下構造の形跡が見られず、緩和が完了していると解釈出来ることから、月は PN4 までは比較的暖かかったものの、その後急速に冷却されたと推定出来る。

「かぐや」測地データを用いた月裏側の温度構造推定

○鎌田俊一¹, 杉田精司², 阿部豊¹, 並木則行³, 岩田隆浩⁴, 花田英夫⁵, 荒木博志⁵

¹東大・理, ²東大・新領域, ³千葉工大, ⁴ISAS/JAXA, ⁵国立天文台

地殻やマントルを構成する岩石の粘性は温度に強く依存する。そのため、月において最も典型的な巨大地形である衝突盆地の表面・モホ面起伏の流動から粘性構造を推定することができれば、温度構造を制約することができる。しかしながらモホ面起伏の推定に必要となる重力場データの直接計測は、これまで表側に限られていた。

「かぐや」の子衛星を用いた観測により、裏側重力場の短波長成分の精度は大きく向上した。その結果、直径 500km 程度の盆地の多くが、長い時間スケールで起こる粘性緩和のみならず、短い時間スケールで起こるアイソスタシーの回復さえも起きていないことが明らかになった。この観測事実をもとに、Namiki et al. (2009) は一様・定常粘性流体の計算を行い、裏側のモホ面は従来考えられてきたよりも低温であることを示した。しかしながら、月ではリソスフェアの弾性の効果が非常に重要であることが指摘されており (Zhong and Zuber 2000)、粘弾性体モデルを用いた詳細な計算が求められている。また裏側南極付近にある South-Pole Aitken (以下、SPA) 盆地は、Namiki et al. (2009) の中で温度推定に用いられた盆地と比較して、(1)巨大で、(2)形成時期が古く、(3)アイソスタシーの回復がかなり進んでいるという特徴を持つ。このような盆地地形の流動程度に見られる多様性に関して、統一的な説明はなされていない。

本研究では、我々が新規に開発した線形圧縮粘弾性体計算手法を用いて、月の裏側の温度構造を推定する。予備的な計算結果において、SPA サイズの盆地が形成後 0.1-1Gyr 程度でアイソスタシーを 9 割ほど回復するためには、熱流量が約 60 (mW/m^2) 程度必要であることが分かった(図 1)。これはアポロで計測された表側の熱流量の約 3 倍で、モホ面温度は Namiki et al. (2009) で推定された値より遙かに高温となる。この差は、古い形成時期や巨大な衝突による非常に熱い状態に加え、非常に薄いながらも硬いリソスフェアの弾性が重要であることを示唆している。本講演では SPA 盆地のみならず裏側の典型的な盆地にも焦点を当て、推定された温度構造について議論する。

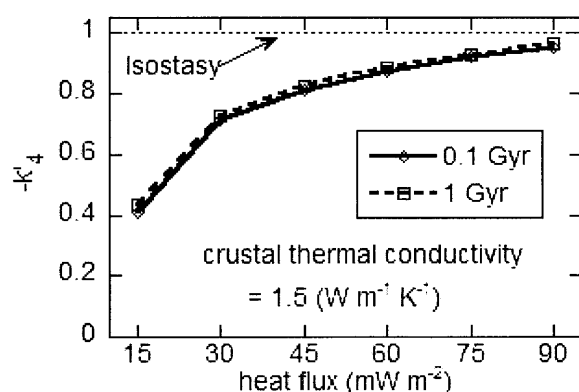


図 1. 球面調和次数 4 における荷重ラブ数 (k') と熱流量の関係。荷重ラブ数 (k') は表面荷重に対するポテンシャルの応答を表し、 $k'=0$ は剛体極限、 $k'=-1$ は流体極限を示す。表面温度は 250K、地殻厚は 50km とした。

[参考文献]

Namiki et al. (2009) *Science*, **323**, 900-905.
Zhong and Zuber (2000) *JGR*, **105**(E2), 4153-4164.

月面クレーター永久影内へのふく射伝熱解析

An Analysis on Radiation Heat Transfer onto Permanent Shadow of Lunar Crater

○越後亮三 (Ryosan Echigo)¹

¹ 東京工大(Tokyo Institute of Technology)

月面の極地域にあるクレーター内部には日照のない永久影と氷水の存在を期待する考えがあるが、そのためには温度分布等の熱環境に関する情報が必要である。本研究ではそのためのふく射伝熱解析法と代表的な Shackleton クレーターに適用した場合の計算結果を示すとともにその妥当性に関して検討する。解析モデルとしては周期変化を正しく表現するため地中内熱伝導を考慮し、クレーター外周頂部が太陽からの直達光による周期加熱と連動する境界条件を用いることを基本とする。本系では加熱部とクレーター内部全域の相互エネルギー交換が基本となるため境界条件は非線形の微積分方程式となる。解析ではクレーター内壁・床部の温度に影響する因子として外周被加熱部の幅は最も重要で、その他被加熱面からの昼・夜にわたる射出に加え、反射エネルギーの寄与が大きいこと等関連する物理過程を明かにする。

The harbor water ice, deposited by comets or asteroids and preserved in the craters is premised on the very low temperature produced in the permanently shadowed portions of certain craters. One area of particular interest is Shackleton crater, located in the South Pole. An analysis is executed to calculate the temperature profiles throughout the basin by taking account of thermal radiation exchange based on a sophisticated physical model for the boundary condition expressed by integro-differential equation. The numerical results exhibit an annual temperature change along the somma and the subsequently the related heat transfer mechanism is discussed through an entire region of crater.

1. Physical Model

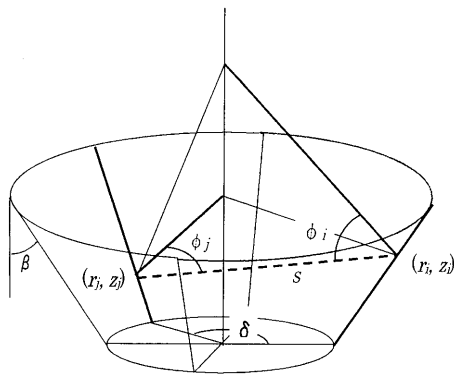


Fig.1 Physical Model and Coordinate System

2. Postulation and Formulation for Boundaries

Basic equation is "conduction of heat" for the underground, the surface boundary condition of which is an integro-differential equation.

$$r = r_i : -\lambda \left(\frac{\partial T}{\partial r} \right)_{r_i} = \varepsilon \left[\left(\sigma T_s(r_i, z_i)^4 \right) - J_{Solar} \right]$$

$$- \int_0^{2\pi} f(r_i, z_i : r_j, z_j) \varepsilon \sigma T(r_j, z_j)^4 dA_j$$

$$- \int_{\pi/2}^{3\pi/2} f(r_i, z_i : r_j, z_j) (1 - \varepsilon) J_{Solar} dA_j$$

$$r = \infty : -\lambda \left(\frac{\partial T}{\partial r} \right)_0 = 0$$

3. Analytical Results and Discussion

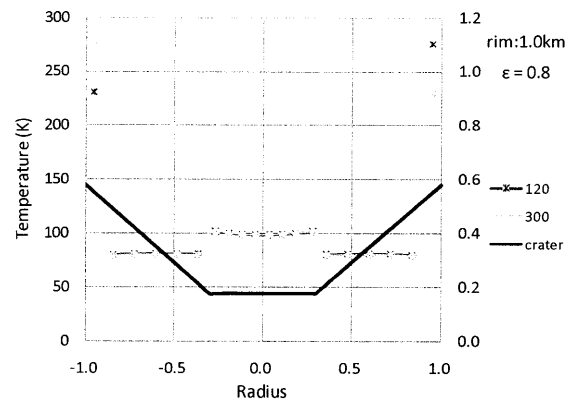


Fig.2 Temperature Profile along Radial Direction for Heated Rim of 1.0km and $\varepsilon=0.8$

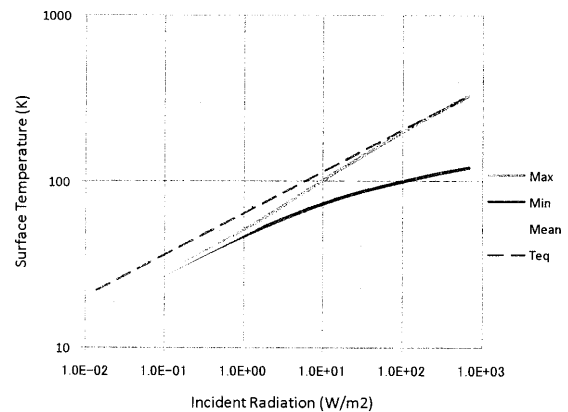


Fig.3 Surface Temperature for Incident Radiation

SELENE2 における月震探査

SELENE2 広帯域地震計チーム（○小林直樹¹⁾）

¹⁾JAXA/ISAS

SELENE2 ミッションは我が国初の月着陸探査である。着陸機に搭載する科学観測機の有力な候補として我々は広帯域地震計を提案している。本発表ではアポロ探査で行われた月震観測を踏まえ広帯域地震観測の必要性と科学目標を報告する。

1970 年代に行われたアポロ月探査ミッションでは 12, 14, 15, 16 号の各着陸地点に長周期地震計(3 成分)と短周期地震計(1 成分)を設置し、一辺が約 1000km の三角形の観測ネットワークを構成して月震観測を行った。観測は 1977 年 9 月まで 7 年以上に亘り月震の活動(発震機構, 時間・空間分布, 頻度分布)に関する情報や深さ約 1000km までの地殻およびマントル構造の概略を決定するなど多くの成果をもたらした。しかし, (1)ネットワークの規模が 1000 km と限られること, (2)最も頻繁に発生する深発月震の振幅は観測感度限界付近であり, 感度幅も 0.5Hz 程度の非常に狭い帯域での観測であった。感度の限界近くの上長時間に及ぶ散乱コーダにより, 地震波の到達時刻の読み取りには数秒から数十秒以上の誤差が生じている。そのため, 特に深発月震の記録に頼らざるを得ない 200km 以深の月構造の不確定さは大きい。

SELENE2 広帯域地震計ではアポロ月探査の持つ上記(2)の問題を克服するため高感度(アポロの約 10 倍)かつ広帯域(0.02-50 Hz)な地震計を開発し, 微弱な月震波形からより多くの情報を引き出すことを試みる。アポロの地震計記録は強い散乱コーダが長時間続いているため, 直達 P や S 波のコーダに覆われて内部の不連続面での反射, 変換波が検出できていない。この強い散乱コーダはレゴリス層およびその下の破碎帯と解釈される厚さ 1km ほどの非常に低速度な層に捕獲されたものと考えられる。その地殻散乱特性の卓越周波数は 0.12Hz ほどであり, これより長周期で観測すれば内部の不連続面での反射, 変換波が明瞭となる。例えば S 波の直前に現れるモホ面での SP 変換波をレシーバー関数法で同定できればモホ面の深さに制約を与えられる。火山ガラスの分析から存在が示唆されている始源的なマントルとの境界やコアマントル境界の反射波を同定できればそれらの不連続面の深さを制約できる。長周期広帯域波形は月深部構造の解明に役立つであろう。一方, 短周期成分は深発月震のコーナー周波数の決定を目指す。深発月震のコーナー周波数は地球の地震や浅発月震のものに比べ低いことが指摘されているがアポロ地震計の帯域問題のためはっきりしない。低いコーナー周波数は小さな応力降下量を意味し, 深発月震のそれは 0.1bar 程と推定されている。これが本当であれば摩擦の構成則に部分熔融などの効果を考慮する必要があるだろう。コーナー周波数の決定は深発月震の発生領域の物理状態を知る手掛かりにもなる。

月面機器の長期観測のための温度制御機構 (サバイバルモジュール) の開発

○小川 和律¹、飯島 祐一¹、飯田 光人²、白井 慶¹、田中 智¹

¹ 宇宙航空研究開発機構

² 千代田アドバンスト・ソリューションズ株式会社

我々は月面に設置する科学観測機器のための熱制御モジュールの開発を行っている。月面では、表面温度が昼と夜で 100 から -150 °C 程度と大きく変動するため、機器の熱対策が課題となる。我々が開発している装置は、月面の厳しい温度環境下において昼夜を通してなるべく温度変動を小さくして、長期間にわたり観測を実施することを目的とする。

月周回探査機かぐや (SELENE) の後継機として、月面着陸探査機 SELENE-2 の検討が進められている。SELENE-2 は周回衛星、着陸機、小型移動車両 (ローバ) を基本構成とし、着陸地点付近の地質調査、月内部構造の探査、月面環境の調査などを目標とする。月震計や磁力計などの観測機器を月面に設置し、その一部は越夜後もなるべく長期に観測を継続することを検討している。そのためにサバイバルモジュールには、内部の観測機器を規定温度内に保つとともに、データ処理系、通信系、電源系を有し独立に長期生存できる機構が必要である。

これまで、サバイバルモジュールの概念検討と熱モデルの構築、BBM (bread board model) の試作と熱真空試験、また通信系・電源系の初期検討を行ってきた。開発中のサバイバルモジュールの特徴は以下の 3 点である。(1) 観測機器の上に断熱壁 (MLI) を被せることによる断熱機能だけでなく、その形状を台形柱型にすることにより、昼間の熱を MLI 下のレゴリスに蓄える。蓄えられた熱は夜間の月震コンパートメントの保温に使用される。(2) コンパートメント上部に温度に依存して放射率の変化するラジエター材料を使用し、昼間の放熱、夜間の保温の効率を上げる。(3) 原子力電池を使用しない小型省電力機構とし、探査機搭載のため MLI は設置後に展開する。

BBM の試作とその熱真空試験の目的は、熱モデル構築の際に仮定した、コンパートメント各部と月レゴリス接触点の熱結合等のパラメータを詳細に決定することである。真空槽内部にレゴリスを模擬したガラスビーズを敷き、液体窒素により冷却することで擬似的な月面環境を作った。この中に BBM を内部に設置し、外部より熱サイクルをかけながら各部温度を測定することで熱パラメータを求めた。この結果を熱モデルにフィードバックし、熱数学モデルの妥当性を確認することが出来た。これにより内部観測機器が規定温度内に保たれる事を確認した。通信系・電源系の検討では、地球ダイレクト、着陸機経由、周回衛星経由について、通信データレートと必要電力の見積もりを行った。本発表では、これらの開発の現状をお伝えする。

次期月探査計画 SELENE-2 : 科学目標と搭載機器の検討状況

○田中智¹、飯島祐一¹、三谷 烈史¹、大嶽 久志¹、小川 和律¹、木村 淳²、倉本 圭²

¹宇宙航空研究開発機(JAXA)、²CPS/北海道大学

Scientific Objectives and the Present Status of SELENE-2 Lunar Landing Mission

Satoshi TANAKA¹, Yu-ichi IJIMA¹, Takefumi Mitani¹, Hisashi Ohtake¹, Kazunori Ogawa¹, Jun Kimura², and Kiyoshi Kuramoto²

¹ISAS/JAXA、²CPS/Hokkaido Univ.

現在、JAXAでは「かぐや」に続く月探査計画として月惑星への着陸および移動探査技術の獲得を主目的としたSELENE-2 計画を検討している。日本地球惑星科学連合2009年大会（5月）では、本ミッションの科学目標、搭載機器候補現状、そしてミッションスケジュールの概略について述べた。本講演では連合大会時に発表した予定案も踏まえ、検討進行状況について報告する。

① 科学目標の詳細化

「かぐや」の運用を6月で終了し、科学成果が続々と創出されている段階である。SELENE-2ではこれらを迅速に反映させて、科学目標の修正を行っている。これらのアップデート状況については木村ら（本学会講演）で詳細に述べる。

② 科学搭載機器提案書、および公開版の発行

理学コミュニティーでのレビューボードに臨むべく、科学提案書の第0版を改訂し第1版を発行した。ミッション概要や科学目標を広く周知していただくために、本資料に基づいた公開版を発行する予定である。現在最終的なチェックを実施している段階である。

③ 設計ガイドラインの作成

搭載機器の設計を進めるために不可欠な情報である、主要設計項目（電気、機械、熱など）や、各搭載機器に求める耐性、インターフェースなどを規定したガイドラインの作成を進めている。基本的にはSELENE（かぐや）で実績のあるガイドラインに基づき、着陸にともなう条件変化（特に熱設計に対する基準が大きく異なる）を考慮して作成をすすめている。

④ ミッション化にむけた審査会（レビューボード）の実施

現在、SELENE-2はフェーズA（プリプロジェクト）の段階であり、次の段階（フェーズB）に進めるためには、少なくとも、2つの審査行程（システム要求審査（SRR）およびシステムデザイン審査（SDR））で承認される必要がある。2015年度あたりの打ち上げ実現のためにも、本年度中に少なくとも1つの審査会を開催することを目標にしている。一方で2009年7月17日には、宇宙基本計画を踏まえ長期的視野に立った月探査の目標、我が国として取り組むべき課題、国際協力のあり方等について検討を行うための「月探査に関する懇談会」（http://www.kantei.go.jp/jp/singi/utyuu/tukitansa/dail/siryou1_1.pdf）が発足し、約1年をかけて今後の月探査の方針について答申が出される予定になっている。SELENE-2計画もその一環として位置づけられることから、現在、審査会の開催に関しては月探査懇談会の動向を踏まえ策定中である。

次期月探査計画 SELENE-2 で目指すサイエンス

田中智 (ISAS/JAXA), 飯島祐一 (ISAS/JAXA), 大嶽久志 (JAXA), 木村淳 (CPS/北大), 倉本圭 (CPS/北大), 三谷烈史 (ISAS/JAXA), 小川和律 (ISAS/JAXA)

Scientific Objectives of SELENE-2 Project

Satoshi Tanaka (ISAS/JAXA), Yu-ichi Iijima (ISAS/JAXA), Hisashi Otake (JAXA), Jun Kimura*(CPS/Hokkaido Univ.), Kiyoshi Kuramoto (CPS/Hokkaido Univ.), Takefumi Mitani (ISAS/JAXA), Kazunori Ogawa (ISAS/JAXA)

The next lunar exploration project, 'SELENE-2' is being planned as a successor to 'KAGUYA'. SELENE-2. The mission science objectives being updated are categorized into two groups. The first one is related to identification of the Moon-forming material, and the second one is related to clarification of the relationship between surface dichotomy and deeper structure. In this talk, we report the current status and the science scenario of the mission.

アポロ計画以来再び全世界的に高まった月探査の機運に先駆けて、我が国は 2007 年 9 月に月周回探査衛星 SELENE (かぐや) を打ち上げた。本年 6 月まで続いたこの探査では従来の観測よりも格段に高分解能・高精度のグローバルマッピングデータが取得され、月の表層物質および構造とその形成過程の解明に供されている。

これに続く月探査計画として、JAXA では月惑星への着陸および移動探査技術の獲得を主目的とした SELENE-2 計画を検討している。本計画は①着陸・移動・長期滞在技術の開発と実証、②その場観測による月表面物質の科学探査と月の利用可能性調査、③国際貢献と国際的地位の確保をコンセプトとし、2010 年代半ばまでの打ち上げを目指す。

本講演では SELENE-2 の科学目標や科学搭載機器についての現在の検討状況と、今後の予定について報告する。

これまでの検討では、月科学の主要課題である「月の原材料物質の解明」および「月表面の不均質性（2 分性）と深部構造の関連性の解明」に貢

献することを最優先の目的に掲げ、これらを実現するために必要な観測項目と搭載機器のリストアップを行った。コミュニティからの提案をベースに検討を重ねた結果、①分光撮像などによる着陸地点近傍の詳細な地質構造探査と物質同定、②月震や測地学観測による中心核や地殻・マントルなどの月内部構造探査、③熱流量測定や電磁感応探査による月内部の熱構造決定、④放射線、ダストなどに関する月面環境調査、を柱とする計画案を構築しつつある。また、本計画では後継機でのサンプルリターンのための試験技術と科学的知見を得ることを視野に入れている。

この一年間、各科学観測機器の衛星への搭載フェイジビリティを示すために、機器の仕様、衛星システムへの要求に関する情報の集約と整理、開発課題、開発体制などについて協議してきた。特に、月面では温度条件や微粒子ダストなど、宇宙空間にはない厳しい環境が想定されるため、月面環境への対策を重要視した。今後は機器検討をさらに進めるとともに、着陸地点を具体化し、サイエンス目標をより詳細化していく。

高純度の月斜長岩の存在とその資源的利用

○武田弘¹、山口亮²、矢沢勇樹³、大竹真紀子⁴、春山純一⁴

¹千葉工業大学フォーラム研究、²国立極地研究所、³千葉工業大学生命環境科学科、

⁴宇宙航空研究開発機構固体惑星科学研究系

「かぐや」月探査機に搭載された LISM 機器による成果については、各機器の Pls により本学会でも報告されている[e. g. 1]。本報告ではそれらの成果により、現在までに得られている月試料や月隕石による月の起源と進化のモデルがどのように考え直されなければならないかを検討した。月高地には、純度の高い斜長岩が広く分布することが大竹らにより提唱されている[1]。我々の手にしている月試料や月隕石にそのような岩石はあるか、また、特に月裏側から来たといわれる隕石 Dhofar307 について鉱物学・岩石学的に観察し検討した。さらにその月資源利用についても述べた。アポロ月試料中の pristine nonmare rocks の内で最も斜長石含有量の高い試料は 60015 であり[2]、NWA482 は月隕石では白色度の高い試料である。しかし、いずれも鉄に富む苦鉄質ケイ酸塩鉱物を含む FAN と呼ばれる斜長岩に属する。

月裏側より来たといわれる隕石 Dhofar489 [3]とそのペア試料にはマグネシウムに富む苦鉄質ケイ酸塩鉱物を含む斜長岩が含まれるが、それよりもマグネシウムの高いカンラン石を含むスピネルトロクトライトの岩石片も含む。今回とりあげる Dhofar307 には、長さ 1 mm を超える斜長石の単結晶破片を含むものも見出されるが、その周りの結晶粒界とおぼしき部分には微小な worm 状のカンラン石が見出される。その Mg/Fe 比はマグネシウムに富む斜長岩と同じ物であるが、稀に FAN と呼ばれる物に近い物もある。このような斜長岩をつくるにはマグマ大洋で結晶化中に斜長石結晶の粒界にある残液を、何らかの力を加え押し出すメカニズムも考えなければならない。一方、純度の高い斜長岩が検出されたのは、新鮮なクレーターの中央丘やクレーター・リムやリング内壁面であるので、これらの地形の形成される過程で摩擦や衝撃変成作用で、小さなカンラン石の周りが部分溶融し、反射率の高い白い斜長石微粉がコートされたような物の反射スペクトルの可能性も捨てきれない。

純度の高い斜長岩の発見は月の資源的利用という観点からしても興味深い。純度の高い斜長石があれば、選鉱過程を抜きにそのまま利用できる。斜長石を酸で分解しシリコンを抽出し発電素子を製造するのに、純度の高い斜長岩は有利である。エネルギー問題の解決策とし斜長石より作った太陽光発電衛星をラグランジェ軌道に打ち上げ地球にマイクロ波送電するのに役立つ。斜長石をフルボ酸で分解し宇宙農業用土壌を作ることも提案された[4]。

[1] Ohtake M. *et al.*(2009) *Nature*, in press. [2] Warren P.H. and Wasson J.T. (1977) *Proc. Lunar Planet. Sci. Conf.* 8, 2215–2235. [3] Takeda H. *et al.* (2006) *Earth and Planet. Sci. Lett.* 247, 171–184. [4] Yazawa Y., Mikouchi T. and Takeda H. (2009) *MARS: Prospective Energy and Material Resources*. Ed.: Viorel Badescu Springer-Verlag, Chapter 19, in press.

低温固体表面における水素，窒素原子結合反応による アンモニア分子生成

Formation of ammonia molecules by reactions of H and N atoms
on the low temperature surfaces

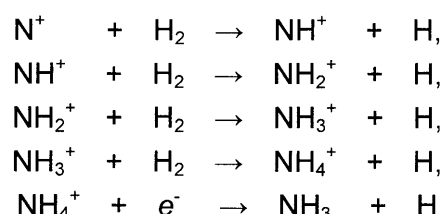
○日高宏¹，渡辺元博¹，香内晃¹，渡部直樹¹

¹北海道大学低温科学研究所

OH. Hidaka¹, M. Watanabe¹, A. Kouchi¹, N. Watanabe¹

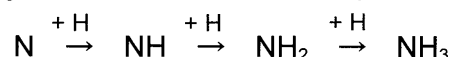
¹Institute of Low Temperature Science, Hokkaido University

天文観測により，分子雲中には比較的多量のアンモニア分子(NH₃)が見つかっている。これまで，この分子の生成過程について気相におけるイオン - 分子反応と塵表面反応の二つのアプローチにより議論がなされてきた。イオン - 分子反応による NH₃ 生成過程は，水素分子からの水素原子引き抜き反応および解離性再結合反応，



が提案されている。この反応過程は，最初の反応がわずかに吸熱反応であるため，10K 程度の高密度の分子雲での観測を説明できないことが指摘されたが，非熱的な N⁺ の分布や H₂ の回転状態分布を考慮することで，観測を説明できるという提案もなされている[1-2]。

一方，塵表面反応による NH₃ 生成過程は，塵表面に吸着した N 原子への水素原子付加反応，



が提案されている。塵表面反応は，付加の際に放出される余剰エネルギーを表面が持ち去ることで単純付加が可能であり，またラジカル同士の付加反応であるため活性化障壁のない速い反応であり効率的であると考えられるためである。しかし，塵表面反応は表面の構造や構成分子が反応に影響をおよぼすため，考慮すべきことが複雑であり理論，実験共に詳細に研究が行われていない。実験では，10–30K の固体 N₂ 内にトラップされた N 原子への H 原子付加反応による NH₃ 生成実験が一例行われただけであり[3]，生成は確認されたものの，定量的な反応の有効性は議論されていない。そこで我々は，塵表面反応の有効性を議論するために，10K のアモルファス氷表面に N 原子と H 原子を照射する定量実験を開始したので報告する。

References

- [1] H. J. Yee, S. Lepp, A. Dalgarno, *Mon. Not. R. astr. Soc.* **227**, 461-466 (1987).
- [2] J. L. Bourlot, *Astron. Astrophys.* **242**, 235-240 (1991).
- [3] K. Hiraoka *et al.*, *Astrophys. J.* **443**, 363-370 (1995).

蒸発による微惑星形成：氷ダストアグリゲイトによるダスト掃き集めの効果

○ 斎藤悦子¹ 鵜幸司¹ 城野信一¹

¹ 名古屋大学大学院 環境学研究科 地球環境科学専攻 地球惑星物理学講座

惑星形成の初期段階において、わずかミクロンサイズのダストからキロメートルサイズの微惑星がどのように形成されたのかは、その後の惑星系の配置や質量を決める初期条件となるので、重要である。氷ダストアグリゲイトは中心星に向かって落下し、スノーライン付近で昇華する。この際に放出されるシリケート微粒子が、スノーライン付近に局所的に濃集することによって、ダストの面密度が重力不安定の起こりえる臨界面密度に達することを示す。氷ダストアグリゲイトの氷成分の昇華によってこれまで飽和水蒸気分圧に達していなかったスノーラインの内側の領域に水蒸気が付加され、飽和に達すると、スノーラインが円盤の中心星側に移動する。スノーラインの外側にはシリケート微粒子が分布している。円盤の外側から落下してくる氷ダストアグリゲイトは、このシリケート微粒子を再付着し、スノーラインで昇華することにより、シリケート微粒子を放出する。このようにして、シリケート微粒子は、外側から新たにやってくる氷ダストアグリゲイトによってスノーラインに次々に掃き集められる。この掃き集め効果により、ダストの面密度の上昇率がどの程度増加するかを調べる。

ダストアグリゲイトの焼結分裂後のサイズ分布

。城野 信一¹

¹ 名古屋大学大学院環境学研究科

惑星形成理論において未解決である最大の問題の一つは微惑星形成問題である。これまで長く議論されてきた自己重力不安定によって微惑星を形成するためには、最小質量モデルに比べてダスト成分の面密度が10倍程度程度になる必要があると指摘されている (Sekiya 1998)。

ガス抵抗によって太陽に向かって落下していくとともに、ダストアグリゲイトの温度は上昇してゆく。Snow line よりも遠方に数多く存在している H_2O 氷が主成分であるアグリゲイトに着目すると、 H_2O 分子の蒸発+再凝縮によって焼結が進行する。サイズの小さなダストグレインから消滅していくため、アグリゲイトの分裂がおこる事が期待される。数値シミュレーションにより、この分裂が起こり売ることが著者により以前示された。分裂するとサイズが小さくなるために太陽への落下速度が著しく低下する。したがって、分裂が起こった領域に分裂片がたまってゆく。結果としてダスト/ガスの面密度比が大きく上昇し、重力不安定が発生して微惑星が形成されうる。

本発表では分裂片の個数の時間進化について議論する。簡単のため、シリケートコアを無視し、 H_2O のみで構成されているダストアグリゲイトの焼結数値シミュレーションを行った。小さな分裂片は蒸発により消滅し、大きな分裂片は成長する。よって、分裂片の個数は初め増加し、ピークを迎えた後に減少し、最終的には一つの大きな球となって進化は終了する。ピークを迎える時間スケールはアグリゲイトを構成するダストグレインサイズで決定され、進化の終了の時間スケールはダストアグリゲイトの総体積の $1/3$ 乗で決まることが明らかとなった。

惑星系最初期進化におけるダスト衝突破壊過程の重要性

○ 福井 隆¹, 田中 秀和², 倉本 圭¹

¹ 北海道大学大学院理学院宇宙理学専攻, 惑星科学研究センター

² 北海道大学低温科学研究所

背景 惑星系形成の最初のステップは, 原始惑星系円盤におけるダストの相互衝突および分子間力による付着成長過程である. しかし, 近年のダスト模擬物質の衝突実験から, ダストは衝突速度が数 m s^{-1} 程度の閾値 (以下, “破壊速度” と呼ぶ) を超えると付着できなくなることが分かってきた (Blum & Wurm 2008). 円盤中ではダストの成長とともに衝突速度が増加することから (Ormel & Cuzzi 2007), 分子間力による付着成長はダストが微惑星サイズに到達するずっと前の段階で停止することになる. このことから, ダストの衝突破壊は従来主に微惑星形成の障壁として捉えられ, この過程自体が惑星系最初期進化の様々な側面にどのようなインパクトを持つかはほとんど調べられていなかった.

目的 本研究では, 衝突破壊が円盤内におけるダストの動径輸送過程にどのような影響を与えるかに着目する. この過程は円盤動径方向のダスト質量分布を決定するため重要である. また, ダストとガスの分離により局所的なダスト/ガス比の変動が生じると予想され, これは始源的隕石物質 (コンドリュールや CAI) が示す化学・同位体的多様性とも関連する可能性がある. ダストの動径輸送は主にガス抵抗による中心星方向への落下により担われるが, その速度はダストサイズに依存するためダストの成長過程と密接に関係する. そこで, 衝突破壊を考慮したダストサイズ進化と, ガスの粘性降着, ダストのガス抵抗による動径落下, およびスノーラインにおけるダストからの氷の蒸発, といった過程を結合したシミュレーションを行った. その結果, ダストの衝突破壊が惑星系最初期進化の以下のような側面において重要な役割を果たしたことが分かった.

コンドリュールのサイズ スノーラインより内側の領域ではダストは主にシリケートからなり, その破壊速度は 1 m s^{-1} 程度である. 典型的な円盤条件下でのシミュレーションの結果, この領域に含まれるダストは $0.1\text{--}1 \text{ mm}$ 程度のサイズになると衝突破壊によりそれ以上成長できなくなることが分かった. これはコンドリュールと同程度のサイズである. このことから, コンドリュールの典型的サイズは前駆体シリケートダストの衝突破壊により決定された可能性が示唆される. 逆に衝突破壊が起きなかったとすると, ダストの大部分は 10^4 年程度のうちに $\gg 1 \text{ mm}$ まで成長してしまう.

ダスト質量分布 近年の高分解能電波観測から, 実際の円盤の外縁部におけるダスト面密度は最小質量モデルよりも緩やかな分布となっていることが分かってきた (Kitamura et al. 2002; Andrews & Williams 2007). しかし, この分布を現状では直接観測の困難な内側領域まで延長すると, ダスト面密度が惑星系形成に必要な値よりもずっと小さくなってしまう.

シミュレーションの結果, 外縁部では観測と整合的な緩やかなダスト面密度分布を再現する一方で, 内側領域では分布が急になり惑星系形成に必要な量のダストが存在しうる, という解が得られた. このような分布形の違いは, ダストサイズ決定機構の違いにより説明される. 外縁部ではダストはゆっくりと成長するため, 衝突破壊が生じるサイズに到達する前により内側の領域へと落下してしまう. 一方, 内側領域ではダストの成長は速やかに進み, やがて衝突破壊によって頭打ちとなる. このような領域では動径方向にダストサイズ差がつきづらくなり, 結果として外側のダストほど落下速度が大きくなる. これにより, 内側領域では外縁部よりも急なダスト面密度分布が実現されることが分かった.

原始惑星系円盤内の渦におけるダストの面密度分布進化

○河村恵里¹, 渡邊誠一郎¹

¹ 名古屋大学大学院環境学研究科

背景 惑星形成過程のうち、 μm サイズのダストから km サイズの微惑星への成長過程がまだよくわかっていない。 m サイズのダストが円盤中で抵抗を受け中心星に短時間で落下してしまい、惑星を作る材料がなくなってしまうというダスト落下問題があるからである。このダスト落下問題を解決すると期待されるのが、ダスト層の自己重力不安定による微惑星形成モデルだが、これにもダスト層が自己重力不安定を起こすためには円盤中でダスト面密度が林モデルの 10 倍程度にまで濃集されていなければならないという問題がある。そこで、これらの問題を解決する方法として、渦における微惑星形成というものが提案されている。

渦と微惑星形成 円盤内のガスの不安定によって形成されたスケールハイト程度の大規模な楕円形で逆行で高気圧性の渦が円盤中に安定に存在することが先行研究によって示唆されている^{*1}。このような渦は、その中心にダストを集積する働きを持ち、ダストの中心星への落下を防ぐとともに、微惑星形成の場になると期待される。

目的 渦において微惑星が形成されるのかということを調べるため、渦の中におけるダストの面密度分布進化を求める。

結果 本研究では、 μm から m までの広い範囲のダストサイズに適用できる結果を得るため、解析的に研究を行っている。渦を成す解析的なガスの流れを先行研究^{*2}に従って与え、渦の中で定常状態に達したダストの面密度分布を調べたところ、渦の中心からの距離の -2 乗に比例するということが分かった。この結果は、ダストのサイズにも渦の形（楕円の縦横比）にもよらないことから、渦が十分に長い寿命を持つ場合には、 μm から m までのすべてのサイズのダストで渦の中心部で面密度が大きくなると言え、円盤中に渦があることによって微惑星が形成される可能性が示唆される。

今回、新たに渦の外の流れを解析的に与え、渦の外から中へ流入するダストの量を求めることで、外からのダストの流入も考慮したダストの面密度分布を求めた。さらに、この結果と渦の中でのダストの落下速度分布の結果から、渦の中でのダストの面密度分布進化（時間と面密度分布の関係）も得られた。これらの結果から、渦の寿命と渦の中心部に集まるダストの総質量の関係、渦があることによってできる微惑星のサイズ、また、微惑星を構成するダストのサイズに関する議論を行う。

*1 例えば、Barranco & Marcus 2005, ApJ, 623, 1157

*2 Johansen et al. 2004, A&A, 417, 361

原始惑星系円盤における ストリーミング不安定性の線形解析

○石津尚喜¹、関谷実¹

¹九州大学大学院理学研究院

原始惑星系円盤の中心面にダストが沈殿しダスト層が形成されると、様々な不安定性が引き起こされる可能性がある。今回はストリーミング不安定性について取り扱う。ストリーミング不安定性とは以下のような過程で生じる。ダストは、中心星からの重力と遠心力が釣り合っ、ケプラー速度で公転する。一方、ガスは圧力傾度力を受ける分だけケプラー速度よりもいくぶん遅く公転する。ダストは、ガスの向かい風を受けることになるので、角運動量を失い、中心星に向かって落下する。逆にガスは角運動量を得て外側に流されることになる。このように円盤動径方向に対してガスとダストが異なる速度で運動するような状況ではストリーミング不安定性が生じる。これまで、円盤鉛直方向にダスト密度勾配があるときのストリーミング不安定性の数値計算を行い、ダストサイズが小さいときでも、ケプラー角速度程度の成長率を持つ不安定性が生じることを示した。また、この不安定性によりダスト層は乱流状態となり、ダストは中心星から巻き上げられることも示した。

本研究では、より詳細にストリーミング不安定性を調べるため、線形解析を行った。線形解析により以下のことが分かった。ダストサイズが小さくなると、不安定性の成長率が増加し、最大成長率を示す波長は非常に減少する。直径がcmのダストの場合、不安定性の成長率はケプラー角速度程度であるが、最大成長率を示す波長は非常に短く、ダスト層におけるレイノルズ数 $Re \sim 10^8$ とした場合、粘性が効くようなスケールである。よって、cmサイズより小さいダストを取り扱う場合、粘性項を考慮した解析が必要となるであろう。cmサイズよりも大きいダストの場合は、ケプラー角速度程度の成長率を持った不安定性が生じるので乱流状態となる。よって、ストリーミング不安定性は、ダスト層の重力不安定性による微惑星形成を阻害する一因となりうる。

近似Riemann Solverを用いた非理想気体を扱うGodunov SPH法の開発

細野 七月、玄田 英典、井田 茂
東京工業大学理学部地球惑星科学科

数値流体計算の手法の1つに、SPH(Smoothed Particle Hydrodynamics)法と呼ばれるものがある。この手法は、物体が大きく変形する場合や、計算領域の大部分に物質が存在しない系を計算するのに優れている。しかしながら、一般的に使用される「標準SPH法」は、人工粘性を導入しなければならないこと、そして、衝撃波を正しく計算するためには多くのタイムステップが必要であるといった短所が存在する。

この短所を克服したものが、Inutsuka (2002)が開発した「Godunov SPH法」である。この手法では、SPH粒子どうしの相互作用を計算する際、Riemann問題を解析的に解いて得られる結果を使用しているため、人工粘性を導入する必要がなく、また、タイムステップの数も少なくてすむ。しかしながら、現在のところGodunov SPH法は理想気体にしか適用できないという短所がある。

そこで、本研究では、非理想気体（例えば、岩石や水など）も扱えるGodunov SPH法の開発を試みた。原理的には非理想気体のRiemann問題を解くことになるが、非理想気体の場合の厳密解を求めるには、多大な計算コストを要してしまう。そこで、本研究では厳密解ではなく、近似Riemann Solverを使用した。このSolverを実際にGodunov SPH法に実装し、いくつかの非理想気体に対して1次元のテスト計算を行った。その結果、この手法は「標準SPH法」よりも解析解をよく表現できているだけでなく、また計算に必要なCPU Timeを1/7にできることが確かめられた。これにより、天体衝突などの計算が、より高解像度で行えるようになる事が期待される。

今回はその結果を報告すると共に、3次元でのテスト計算についても行う予定である。

天体衝突を考慮した軌道計算コードの開発

○玄田英典¹、小久保英一郎²、井田茂¹

¹東京工業大学、²国立天文台

天体衝突を伴う軌道計算に関する研究のほとんどすべては、衝突の詳細を考慮せず、天体が完全に合体するという単純化された仮定を用いてなされてきた。一方で、巨大天体衝突に代表されるような天体同士の衝突現象は、形成される惑星の多くの性質を特徴付ける重要な過程である。例えば、惑星の数、質量、スピン状態、組成、衛星形成などなどである。天体の軌道進化と天体衝突の過程は本来独立ではなく、互いに影響を及ぼしあいながら惑星は形成される。したがって、天体衝突と軌道計算をコンシステントに解くようなハイブリッドコードが必要であり、そのようなコードはまだ誰も作っていない。天体衝突の結果がすべてのパラメータでわかっており、データテーブルのようなものがあれば、このようなハイブリッドコードを作成せず、データテーブルを用いて軌道計算を行えばよい。しかしながら、実際には、沢山の衝突パラメータがあり、すべてのパラメータで結果を得ることは極めて困難である。本研究では、天体の軌道計算コード（N体コード）に、衝突計算コード（SPHコード）を組み込み、個々の衝突を詳細に追いながら天体の軌道計算をするというハイブリッドコードの開発をした。このハイブリッドコードは汎用性があり、計算時間が許す限りあらゆる惑星形成の過程に適用できるが、本講演では、地球型惑星形成の最終ステージである巨大天体衝突ステージに関する結果、もしくは、系外惑星系における巨大ガス惑星同士の衝突によって重元素を沢山もつ惑星の形成に関する結果、もしくは、それ以外の結果について発表をする予定である。

巨大惑星周りの衛星系形成とその多様性の起源

○佐々木貴教¹, 井田茂¹, Glen R. Stewart²

¹東工大, 地惑

¹LASP, Univ. Colorado

木星の4つのガリレオ衛星、および土星の衛星タイタンは、惑星集積の最終段階に形成された周惑星円盤内で作られたと考えられている。Canup & Ward (2006) では、この周惑星円盤内での衛星形成を解くことにより、それぞれの衛星系の総質量が、衛星の集積と惑星への落下のつり合いによって現在の値に自律的に調節されることが示された。しかし木星の衛星系（4つのほぼ等サイズのガリレオ衛星）と土星の衛星系（タイタンのみが巨大な衛星）の違いを、その形成過程から説明することはできなかった。

そこで Sasaki et al. (2009) では、木星と土星のサイズの違いから、周惑星円盤内での衛星形成の環境に違いが生じる可能性に注目した。木星系では原始惑星系円盤にギャップが形成されることで、円盤ガスの周惑星円盤への流入が急に止まる。一方土星系ではギャップが形成されないまま、円盤ガスの散逸に従って周惑星円盤へのガスの流入はゆっくりと止まる。また集積フラックスの違いによって、周木星円盤には内縁に空隙が生じ、周土星円盤の内縁には空隙が生じない。

以上の違いを考慮して、Sasaki et al. (2009) では円盤のモデルに Canup & Ward (2006)、微衛星の形成・移動のモデルに Ida & Lin (2008) を用いて衛星形成のシミュレーションを行い、現在のような2種類の異なる衛星系が必然的に生まれうることを示した。また形成された衛星系の組成や、衛星同士の平均運動共鳴の関係に関しても、実際の衛星系と整合的な結果が得られた。

本発表では、これらの結果をもとに衛星系の多様性が生まれるメカニズムについて総合的に議論する。Sasaki et al. (2009) で検討されなかった土星のリング形成や、未分化な木星の衛星カリストの形成についても、その起源が衛星系形成の過程から必然的に説明できることを示したい。

巨大惑星周りの衛星系形成 N 体シミュレーション

○荻原 正博 井田 茂

東京工業大学大学院理工学研究科

巨大惑星周りの衛星系形成を円盤ガスの効果を組み込んだ N 体シミュレーションによって調べた。円盤ガス中で天体が成長していくと、天体と円盤ガスとの重力的相互作用によって天体が中心天体方向に移動（タイプ I 移動）し、円盤に内縁が存在すればそこで移動が止まり天体が形成することが惑星系形成論において指摘されているが、衛星系形成においても同様の現象が起こると考えられる。

ところで、木星と土星の衛星系間には大きく「個数」「軌道位置」などに大きな違いがあるが、これまでこの違いを説明できていなかった。この問題に対し、Sasaki et al. (2009) はタイプ I 移動を考えた上で、原始衛星系円盤の内縁の状態と円盤ガスの散逸の仕方の違いが木星と土星の衛星系間の違いの原因になっていると考え、衛星成長と移動のモデル計算を行うことで衛星系の形成を説明した。

一方で、円盤内縁付近での天体の力学的な挙動は詳しく調べられておらずよくわかっていない。また、木星のガリレオ衛星の共鳴関係の起源をうまく説明した理論は提唱されておらず、Sasaki et al. (2009) の計算でも詳しくは追えていない。更に、土星の衛星であるタイタンの形成をこれまでの N 体シミュレーションでは再現できていないなど、多くの問題が残っている。

そこで、本研究では円盤ガスによる効果を考慮に入れた衛星集積 N 体シミュレーションを行い、これらの問題の解明に取り組む。本講演では最新の計算結果を紹介し、衛星系形成や惑星系形成の議論を深めていきたい。

周惑星ガス円盤による微惑星捕獲：解析的見積もり

○谷川 享行（北大）、大槻 圭史（神戸大）、小林 浩（イエナ大）

従来の衛星系形成理論は、太陽系形成理論と同様に、まず現在の衛星系の質量・分布を復元可能な“最小質量円盤モデル”を推定し、そのモデル初期条件のもとで衛星形成のシナリオを理論的に展開していたが、その結果、現在の木星・土星などの衛星系の特徴、例えばガリレオ衛星の密度・分化の公転半径依存性を説明できていない(Canup and Ward 2002)。しかし近年の数値計算技術の発達により、木星型惑星成長後期のガス降着段階では惑星へ流れ込むガスが周惑星円盤（惑星を取り囲む円盤状構造）を形成することが示された(e.g., Tanigawa and Watanabe 2002)。これにより、衛星系形成の基盤となる原始衛星系円盤構造は、ガス惑星形成過程の中で必然的に決められるものとなってきた。そこで本研究では、これまで復元モデルからの推定でしかなかった周惑星円盤（＝原始衛星系円盤）構造、特に衛星材料物質となる固体成分の分布を、ガス惑星形成の自然なシナリオに従って決定することを目的とする。

太陽周りを回転する微惑星などの小天体が惑星に近接遭遇した時に、惑星周りに形成している周惑星ガス円盤を通過する際のガス抵抗によって円盤に捕獲される過程を考える。Inaba et al. 2001 により求められている惑星への微惑星衝突率の式と、周惑星ガス円盤とのガス抵抗により失われるエネルギー量から、捕獲される微惑星の分布をサイズ関数として解析的に求め、微惑星サイズ分布を仮定することにより総微惑星供給率を得た。ここでは得られた結果のうち、単位時間当たりの総微惑星供給率 $\dot{\sigma}$ について、惑星中心からの距離 r 依存性および周惑星円盤ガス面密度 σ_g 依存性の2点について述べる。(1) 捕獲される微惑星サイズ分布を典型的なべき関数で仮定すると、 $\dot{\sigma} \propto r^{-2}$ となることが分かった。この依存性は、ここで仮定されているガス面密度の依存性($\propto r^{-1}$)よりも急な勾配であるため、内側ほどガス／ダスト比が高くなることが予想される。(2) $\dot{\sigma} \propto \sigma_g^{1/2}$ となることが分かった。つまり、ガス惑星の成長が終焉に向かうに従って周惑星円盤ガス面密度が減少していく際に、ガス面密度の減少率より微惑星面密度供給率の減少率の方が小さいため、形成後期になるほどダスト／ガス比が上昇することが予想される。以上により求めた微惑星供給率とその動径方向依存性・ガス面密度依存性を元に、衛星系形成のシナリオについて考察する。

降着円盤内の惑星移動に対する熱的構造の影響について

Effect of the thermal disk structure on planet migration in an accretion disk

○山田耕¹, 稲葉知士²

¹神戸大学惑星科学センター, ²早稲田大学国際教養学部

原始惑星系円盤中にある惑星の軌道は, 円盤ガスとの重力相互作用によって変化することが知られている. この過程は type I 惑星移動と呼ばれており, 巨大ガス惑星や地球などができる最終ステージの惑星形成に大きな影響を与える. 原始惑星の軌道長変化量は, 惑星軌道の内側と外側のガスが惑星にかかるトルクの差で決まる. したがって, type I 惑星移動は円盤ガスの物理的状态によって大きく左右される. 等温の状態方程式を用いた解析では, 惑星の移動方向は内向きを示していた. 最近, 等温仮定を外して円盤と惑星の重力相互作用が調べられ, 負の傾きのエントロピー分布を持つ円盤中では惑星移動が常に内向きになるとは限らないことが指摘された(Baruteau & Masset, 2008, Paardekooper & Papaloizou, 2008).

本研究では, 光学的に薄い円盤内での輻射輸送を考え, 輸送効率によってトルクがどのように変化するかを調べた. Morohoshi & Tanaka(2003)は, 局所近似のもとで輻射輸送の効率が大きくなると, 惑星にかかる片側トルクが等温の場合に近くなることを示した. そこで, 本研究ではグローバル計算を行い, 惑星にかかるトルクが輻射の輸送効率によってどのように変化するかを調べた. 輸送効

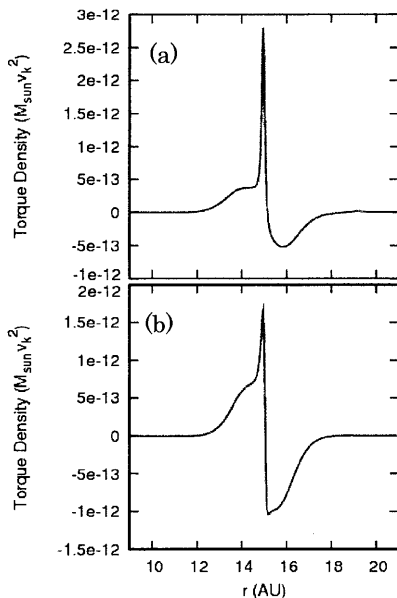


図 1: (a) 断熱の場合の惑星にかかるトルク密度. (b) オパシティー $\kappa = 0.0075 \text{ cm}^2/\text{g}$ の場合のトルク密度. 負の傾きのエントロピー分布をもつ円盤の場合.

M_{sun} は太陽質量, v_K は 1 AU でのケプラー速度.

率が大きくなると, 図 1 のように正の共回転トルクが弱まり, 結果として惑星にかかるトルクが小さくなる. これは, 惑星前方の共軌道に沿って運動してきたガスが, 熱輸送によって周りのガスと同じ温度に均されてしまい, 断熱圧縮の場合と比較してガス密度が大きくなれないことが原因である. したがって, オパシティーの値が増加すると全トルクが負になるため, 惑星の移動方向は外から内へと変化する(図 2).

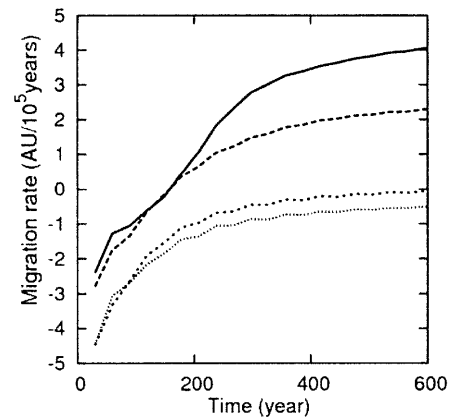


図 2: 惑星の移動速度の時間進化. 上から実線は断熱の場合, 破線, 鎖点, 点線はそれぞれ $\kappa = 0.01 \kappa_0$ ($\kappa_0 = 0.0075 \text{ cm}^2/\text{g}$), $0.1 \kappa_0$, κ_0 の場合に対応している. 正の値は外に移動することを示す.

巨大惑星の起源と内部構造

○生駒大洋¹

¹ 東京工業大学 大学院理工学研究科 地球惑星科学専攻

太陽系外惑星に対する観測手法の進展によって、太陽系外短周期巨大ガス惑星（いわゆる hot Jupiters）の内部が「見える」時代になり、それらの起源をより詳細に議論できるようになった。一方で、太陽系の木星と土星の内部は、それらの起源との関連性において、まだ謎が残っている。本講演では、太陽系および太陽系外の巨大ガス惑星の形成過程と内部状態を探る研究について、我々の研究を中心に解説する。

つぶらな衝突

○和田浩二¹

¹千葉工業大学 惑星探査研究センター

太陽系天体の起源と進化を探るうえで天体衝突現象の理解があらゆる場面において重要であることは言うまでもない。衝突現象の解明は惑星科学における大きな柱の一つである。我々は衝突クレーターの形成過程をはじめ、さまざまな衝突現象を理解すべく取り組んでおり、最近ではダストの衝突合体による微惑星の形成過程の解明に取り組んできた。本発表では、そのダストの衝突合体についての我々の一連の研究成果について紹介する。

原始惑星系円盤において、サブミクロンのダストが合体しアグリゲイトとなって成長し、その結果微惑星が形成されると考えられている。しかしながら、ダストアグリゲイトの合体成長過程はよく理解されておらず、したがって微惑星がどのように形成されるのか大きな問題である。円盤中心面において高密度なダスト層の重力不安定によって微惑星が形成されることが考えられているが、乱流が高密度ダスト層の形成を妨げるという問題がある。また、ダストアグリゲイトが衝突合体によって微惑星にまで成長できるかという、その成長時間が長く中心星へ落下してしまう恐れがあり、そもそも衝突によって破壊されずに合体成長できるのか、という問題がある。そこで我々は、とくにダストの直接合体成長による微惑星形成の可能性を追求すべく、ダストアグリゲイトの衝突数値シミュレーションを行っている。すなわち、多数の粒子・様々な初期構造からなるアグリゲイトの衝突シミュレーションを行い、アグリゲイトの衝突による構造進化および成長過程を明らかにすることを目指している。我々が行ってきた衝突シミュレーションは、Dominik & Tielens (1997) において定式化された粒子間相互作用を考慮して、粒子一つ一つの運動を逐一追っていく N 体計算であり、アグリゲイトの衝突時の挙動を詳しく解析することが可能である。

これまで、BCCA 構造（フラクタル次元が 2）や BPCA 構造（フラクタル次元が 3）のアグリゲイト同士の衝突シミュレーションを行った結果、アグリゲイトは衝突によってあまり圧縮されず、フラクタル次元は 2.5 程度にとどまることが明らかになった。また、氷粒子からなるアグリゲイトであれば、衝突速度が数十 m/s という高速衝突においても成長が可能であることが示された。以上のことから、原始惑星系円盤においてダストの直接衝突合体による微惑星形成が十分可能であることや、その形成される微惑星は極めて低密度となることが示唆されるに至った。しかしながら、シリケート粒子からなるアグリゲイトでは成長限界衝突速度が数 m/s 程度であり、原始惑星系円盤の内側領域でのダストの合体成長が困難であることなど、課題も多く残されている。今後は、サイズ比の異なるアグリゲイトの衝突シミュレーションなどを通して、ダストアグリゲイトの進化と成長の全体像の理解が進むものと期待される。

炭素・塩素による月の起源と進化

三浦保範（山大・理工院）

1. はじめに

月の起源と形成の問題は、これまで主に地球とほぼ同じ層構造・内部活動（マグマ発生）を（地球的な）海水の存在を考えているが、月には循環的な海水層や大気層は存在しない。月ではそれに代わる流体物質や残存物質（海水形成前後）が必要である。本件では、炭素と塩素を含む物質から対比的実験を含めて、月の起源と進化を議論する。

2. 月の炭素と塩素含有について

これまでの、月試料のバルク分析値から月のことが分かる。

- 1) 水成分の水素は、月面では玄武岩（月の海）に微量あるが、月レゴリス表土より破碎岩（急冷物）に多いため、太陽風（He 含有）成分以外の月外情報を残している。
- 2) 二酸化炭素の炭素は、月面では玄武岩（月の海）に少量あるが、月レゴリス表土より破碎岩（急冷物）に多いため、衝突時の物質情報を残している。
- 3) 海水成分の塩素は、月面では玄武岩（月の海）に微量あるが、月レゴリス表土より破碎岩（急冷物）に多いため、衝突時の物質情報を残している。

3. 炭素と塩素含有物の実験

実験室でこれらの炭素または塩素含有物が残留する実験を行い、その残留物や組織の解析などから、これらが月に水流体や海水成分に代わって、高圧条件（月外物質の衝突、地球内部の岩石圧などで）存在すること考えられることが分かった。

4. 月の形成過程における炭素と塩素について

ガス化しやすい炭素（大気元素）と塩素（地球海水成分）が地球的な循環過程のない月天体の天体（衛星）内部に存在するには、月形成起源時に取り込むか、月の破碎岩などに急冷物として残存していることが考えられる。

5. 月における海水問題について

以上の結果は、月の流体现象（マグマオーシャン・マグマ形成）が、月形成進化時の高圧化現象で流体化した二酸化炭素で説明できることを示している。塩素含有物は、鉄成分との高圧時の残留物（アカガネアイト成分）で海水を形成しなかったことを示している。

地球周回軌道での宇宙塵捕集とその有機物分析法の検討

Capture of Space Dusts in Earth Orbit and Analysis of Organics in Them

○小林憲正¹, 伏見英彦¹, 金子竹男¹, 田端誠², 河合秀幸³, 三田肇⁴, 林宣宏⁵, 藪田ひかる⁶
 矢野創², 奥平恭子⁷, 橋本博文², 横堀伸一⁸, 山岸明彦⁸, たんぽぽ WG²
¹横浜国大院工, ²JAXA/ISAS ³千葉大院理, ⁴福岡工大工, ⁵東工大院生命
⁶阪大院理, ⁷会津大, ⁸東薬大生命

生命が宇宙から飛来したとするパンスペルミア説、および宇宙で生成した有機物を用いて地球で生命が誕生したとする化学パンスペルミア説の検証を目的として、われわれは国際宇宙ステーション (ISS) 高度でのダスト捕獲及び有機物暴露実験「たんぽぽ」を計画している。

地球外からの有機物の運び込みを考える場合、隕石や彗星よりもサブ mm サイズの宇宙塵の方がより多くの有機物を運び込んだと考えられる。これまで宇宙塵は成層圏や南極の氷中で採集されているが地球生物圏からの混入などの問題から地球外での採集が望まれる。たんぽぽ計画では、ISS 日本実験モジュール(JEM)の曝露部に超低密度エアロゲル(AG)をおき、宇宙空間を高速(数～十数 km/s)で飛来する宇宙塵を捕集する予定である。AG 中に捕集した宇宙塵は地球に持ち帰り、有機物および微生物の検出が試みられる予定である。今回は、採集した宇宙塵中の有機物の分析法(アミノ酸の検出および有機物の特性化)の検討を行った。

AG で捕集した宇宙塵中のアミノ酸分析は、クリーンルーム中で宇宙塵をまわりの AG とともに切り出した後、フッ酸分解および塩酸加水分解後、AG50W-X8 により脱塩し、アミノ酸分析を行う予定である。この時の AG および操作に伴うブランクの測定を行った。分析は陽イオン交換分離・OPA/N-アセチルシステインによるポストカラム誘導体化・蛍光検出)で行った。

AG のブランク分析の結果、グリシン(Gly, 8 nmol/g)などのタンパク質アミノ酸が検出された。マーチソン隕石と同組成の宇宙塵(直径 40mm)中に含まれる Gly は 6 fmol と考えられるため、Gly のようなタンパク質アミノ酸に関しては捕集された宇宙塵中のモル数は AG ブランク中のモル数以下で、検出困難である。一方、非タンパク質アミノ酸である α -アミノイソ酪酸 (AiBA) やイソバリン(Ival)は地球の通常環境中にほとんど存在しないが、Murchison 隕石中には Gly とほぼ同じ濃度含まれるため、ブランクと区別できることが期待できる。直径 40 mm の宇宙塵(Murchison 隕石と同組成)中の AiBA は 6.4 fmol, Ival は 1.5 fmol であるので、fmol レベルの AiBA や Ival の分析法を検討中である。

極微量試料中の有機物特性化は、走査型透過 X 線顕微鏡(STXM)と組み合わせた X 線吸収端近傍構造(XANES)分光法による C, N, O の状態分析などを予定している。ただ、この測定は国内でできず、米国 Lawrence Berkeley 国立研究所の放射光施設等を使わないといけないことが問題であり、国内での分析ラインの整備が強く望まれる。

たんぽぽ計画では、得られる宇宙塵(惑星間塵)有機物と隕石有機物、彗星有機物との比較を行い、これらの成因と地球生命との関連の解明をめざしている。

高軌道傾斜角の微小メインベルト小惑星を 対象とした広域サーベイ観測

○寺居 剛¹, 伊藤 洋一¹

¹ 神戸大学 大学院 理学研究科

小天体の超高速衝突は、変成作用、溶融、脱ガスといった現象を引き起こし、天体組成の進化過程を追う上で重要である。しかし、衝突速度が10km/sを超えるような衝突現象の再現は技術的に難しいために不明な点が多く、衝突破壊強度といった基本的な物理量もよく分かっていない。我々は大きな軌道傾斜角（ $\sim 20^\circ$ – 30° ）を持つメインベルト小惑星（MBAs）のサイズ頻度分布（SFD）に注目した研究を行っている。それらの平均衝突速度は10km/s前後に達し、衝突の多くは超高速で起こるため（Bottke et al. 1994）、SFDに何らかの特徴を持っていると考えられる。

小惑星の衝突破壊強度は、直径 ~ 100 mを境に、大きい側の重力支配域では直径の増大とともに増大し、小さい側の強度支配域では直径の増大とともに減少する。Benz&Asphaug (1999)は、重力支配域での衝突破壊強度は衝突速度によってほとんど変化しないのに対し、強度支配域ではより高速度の衝突の方が衝突破壊強度が大きくなることを示した。

重力支配域におけるMBAsのSFDは、単一のべき乗則ではなく、波形の形状を持つ。直径 ~ 0.5 – 1 kmでのSFDの傾斜は、衝突速度と重力/強度支配域境界での衝突破壊強度（ Q_t ）に依存する（O'Brien&Greenberg 2003）。Benz&Asphaug (1999)によるシミュレーションの結果（標的：basalt, 衝突速度：3km/s および 5km/s）を適用すると、高速度衝突の方が急傾斜になるという予想が得られる。

本研究では、sub-kmサイズのMBAsが持つSFDの傾斜を、高軌道傾斜角と低軌道傾斜角のものとで実際に比較することにより、超高速衝突におけるMBAsの衝突破壊強度を定量的に求めることを目的とする。そこで我々は、直径1km前後の微小MBAsを対象に、軌道傾斜角によってSFDに違いを調べるためのサーベイ観測を行った。

観測には8.2mすばる望遠鏡の主焦点カメラSuprime-Camを用いた。大口径望遠鏡と広視野撮像装置の組み合わせにより、暗いsub-kmサイズのMBAsを広い領域にわたって探査することができる（Yoshida&Nakamura 2007）。また、数の少ない高軌道傾斜角MBAsをなるべく多く検出するため、それらを検出しやすい高黄緯領域（黄緯 $\sim +25^\circ$ ）を観測した。さらにデータアーカイブからSuprime-Camによる観測データを多数取得し、データ量を補った。

得られたデータを解析した結果、9.0平方度の領域から約600個のMBAsが検出された。その中から観測バイアスを除去したサンプル天体178個（推定直径0.7–6km）を抽出し、直径1km未満のMBAsの存在割合を軌道傾斜角ごとに算出した。その結果、高軌道傾斜角を持つsub-km小惑星の割合は小さいことがわかった。すなわち、sub-kmサイズ域のSFDの傾斜は高速度衝突の方が緩やかであるということを示しており、上記の予想とは反する結果が得られた。これはMBAsにおける衝突速度の増加に伴う Q_t の増加分が、basaltほどには大きくないことを示唆していると考えられる。

交差検定法を取り入れた修正ガウス関数法：
固体惑星表面の鉱物全球マッピングにむけて

○坪井 伸子¹, 杉田 精司¹, 廣井 孝弘², 永田 賢二¹, 岡田 真人¹

¹東大・新領域, ²ブラウン大・地球科学

可視・近赤外波長域での反射分光測定は、固体惑星表面上の鉱物分布を得るための非常に有効な観測手段として、多くの惑星探査機で使われてきている。可視・近赤外域の反射スペクトルにおいて、ケイ酸塩鉱物は、複数の吸収帯が重なりあった複合吸収帯を形成する。このような複合吸収体から定量的な情報を得るには、吸収帯を分解する必要がある。MGM(修正ガウス関数モデル)は、観測された反射率の自然対数を縦軸、波長を横軸にとり、continuum と複数のガウス関数でフィッティングを行う[1]。この MGM を用いて、化学組成とガウス関数の中心波長・強度比との関係を求める研究[2]などが行われている。

反射スペクトルから定量的な情報を得る手段として成功を収めている MGM だが、課題として 2 つあげられる。1 つ目の課題として、客観的評価手法が未確立であることである。従来、MGM にとって最も重要なパラメータであるガウス関数の個数は、主観的判断で決められていた。しかしモデルが観測値とよく適合できているとしても、それが必ずしも観測値を精度よく推定出来ているとは限らない。なぜなら本来の吸収とは関係ないノイズをフィットしてしまっているだけかもしれないからである(オーバーフィッティング)。そこでガウス関数の個数について精度評価を行う必要がある。また 2 つ目の課題として、MGM 解析の自動化である。惑星探査機から得られる大量スペクトルデータを MGM で解析するには、MGM を自動化することが求められている。自動化する際にガウス関数の個数は、最も重要なパラメータである。なぜならガウス関数の個数が変われば、ガウス関数の中心波長・幅・強度に大きな影響を与え、解析を困難にするからである。

我々は、このガウス関数の個数を客観的に判断できる統計学的手法として、交差検定法(Cross validation)を提案する。交差検定法では、まず観測データを training data と validation data にランダムに 2 つに分けて分析を行う。分解したうちの training data でモデルの推定を行い、残りの validation data で得られたモデルの評価を行う。validation data に対して、最も二乗誤差が小さくなったガウス関数の個数を適切な個数であると推定する。

本研究では、得られた最適な個数と先行研究で用いられている個数との比較を行い、交差検定法の有用性の検証を行っている。月惑星シンポジウムでは、カンラン石の検証結果について報告し、交差検定法の導入により最適なガウス関数の個数を見分けることが可能であると結論づけた。さらに本発表では、Mg・Fe・Ca 比がわかっている輝石について検証を行う。予備的な結果では、En90 の 0.95 μ m 付近の吸収体は、3 個のガウス関数で分離することが最適であるということがわかった。これは、結晶学的な理論とも整合的である。この手法を取り入れることで、MGM 解析の自動化へとつながると期待できる。

(参考文献) [1] Sunshine et al. (1990) JGR 95, 6955-6966. [2] Klima et al. (2007) MAPS42, 235-253.

小惑星の物質科学的研究のための静電マニピュレーション技術の開発

Development of the electrostatic micromanipulation system
for material scientific studies of asteroids

○小川真帆^{1,2}、矢田達²、安部正真²、中村智樹³、藤村彰夫²

¹ 東京大学大学院理学系研究科

² 宇宙航空研究開発機構 宇宙科学研究本部

³ 九州大学理学院 地球惑星科学部門

我々は微小な（約 $100\mu\text{m}$ 以下）粒子状サンプルを紛失・汚染することなく取り扱うための静電気制御式のマイクロマニピュレーションシステムを開発している。このシステムでは、生命科学などの分野で用いられているマイクロマニピュレータを改造し、プローブ部に電圧を印加できるようにした装置を使用する。この装置とさまざまな帯電状況を示すサンプルを用いて、プローブ部に $\pm 0.3 \sim \pm 1.0\text{V}$ の電圧を印加した実験により、この技術が微小なサンプルの取り扱いに有効であることを確認した。

この技術を用いることにより、2010年6月に地球に帰還する予定である小惑星イトカワのサンプルや、将来の惑星探査ミッションにおける微小なリターンサンプルの回収・分配・分析時にサンプルを汚染・紛失することなく取り扱うことができる。

本講演では静電マイクロマニピュレーション技術の原理・概要と、その有効性検証のために行った実験結果を報告し、この技術を用いることによって地球外のサンプルから新たに引き出せる可能性のある科学的成果について予想し、議論する。

In this study, we aimed the development of the electrostatic manipulation system in order to manipulate small ($D \leq 100\mu\text{m}$) particles without being lost and contaminated.

The electrically charged probes of the manipulator enable us to pick up and release three types of small particles with various electrostatic states on a dish made of acrylic resin or aluminium. When the voltage ($\pm 0.3 \sim \pm 1.0\text{V}$) was applied to the probes, the handling of particles became much easier than when the voltage was not applied.

Based upon these results, we conclude that this electrostatic manipulation system is applicable for handlings of returned planetary samples. The returned samples gives us much information on the evolution processes of the solar system.

惑星物質試料受け入れ設備(キュレーション設備)の状況

- はやぶさ試料受け入れ運用リハーサルへ向けての準備 -

○藤村彰夫¹、安部正真¹、矢田達¹、中村智樹²、岡崎隆司²、野口高明³、田中智¹、小林直樹¹、加藤學¹

1. 宇宙航空研究開発機構、宇宙科学研究本部、 2. 九州大学、理学部、 3. 茨城大学、理学部

2010 年 6 月に小惑星探査機はやぶさが帰還する予定であり、小惑星イトカワ表層で取得された試料分析による科学的成果が待たれている。探査機のコンテナから極力汚染を避けて試料を回収することで微量の試料からも有効な科学成果が得られる。高度に清浄な環境で惑星物質試料を受け入れるキュレーション設備は 2007 年度竣工し、2008 年度に設備機能と性能の確認試験を実施し、2009 年度にはリハーサル運用を実施し、2010 年の帰還サンプルに備える予定である。2009 年度の前半に実施したサンプルコンテナ開封の手順確立に向けた要素試験では、クリーンチャンバー内に設置したプロトモデルコンテナについて、クリーンチャンバーとコンテナの夫々の圧力を変化させた場合の開封時 O-ring シールの振る舞いを含めたコンテナの開封時動作情報を実験的に取得した。微粒子試料を探査機コンテナから直接回収するための静電制御型マニピュレーションについては、惑星試料に類似したシリケート微粒子のハンドリングを実施することで基礎的データを収集している。

Present status of the Planetary Sample Curation Facility in JAXA

- Preparation for HAYABUSA's sample curation rehearsal operation -

A.Fujimura¹, M.Abe¹, T.Yada¹, T.Nakamura², R.Okazaki², T.Noguchi³, S.Tanaka¹, N.Kobayashi¹ and M.Kato¹

1.Japan Aerospace Exploration Agency, Institute of Space and Astronautical Science

2.Kyushu University, Faculty of Science, 3.Ibaraki University, Collage of Science

Hayabusa spacecraft will return in June 2010 with the planetary material samples obtained from the surface of the asteroid Itokawa. Analyzing sample is expected to give us the very important and interesting scientific insights on the evolution of asteroids and the early solar system. Scientific results will be enhanced by avoiding the contamination of the earth materials, in the case that the amount of sample is very small. The curation facility in JAXA was completed at the end of fiscal year (FY) 2007 for the purpose of recovering, handling for description, and keeping the samples properly in the highly purified environment. The performance of the systems of the curation facility had been examined and tested in FY 2008. Rehearsal operations are being performed in FY 2009 for the handling and treatment of simulant samples of Itokawa. In the early half of FY 2009, the several elemental tests have been performed. One is a test of opening the sample container to check the opening mechanism of a proto-model container under various pressure conditions in the clean-chamber and in the sample container. The mechanical behavior of the sample container during its opening was obtained experimentally, including the sealing character of a double O-ring system of the container. Another is a test on the handling of very small sample particles with a newly developed electrostatic controlled micro-manipulator system. Olivine grains of about 20-30 micrometer in size have been prepared and handled reliably with the system.

イトカワの岩塊表面に見られる高輝度スポット：形成過程と岩塊の年代

○竹内洋人¹ 宮本英昭¹ 奥元良² 丸山智志¹¹東京大学総合研究博物館 ²三菱総合研究所（東京大学理学系研究科 修了）

イトカワの高解像度画像に写る岩塊表面には特徴的に高いアルベドを示す箇所が点在している。本研究では 10 枚程度の近接画像で確認できるこのような高輝度な点、もしくは傷のようなものを高輝度スポットと呼ぶことにする。高輝度スポットの成因としては、例えば微小な天体や流星塵の衝突、岩石同士の衝突・摩擦などによる擦痕、または化学的に異なる成分の濃集などが挙げられるが、未だその形成過程は明らかになっていない。

そこで本研究では高解像度画像（ST_2539444467, ST_2539451609, ST_2539437177, ST_2539429953, ST_2539423137, ST_2563511720, ST_2563537820, ST_2563607030）を用いて高輝度スポットと岩塊のマッピングを行い、それらを解析した。解析に用いた近接画像は、はやぶさが着陸時に撮影したものであり、コマバクレーター付近に限られている。

解析を行った結果、高輝度スポットは 394 個、高輝度スポットを持つ岩塊は 123 個確認することができ、Muses-C 領域とその付近の 3 枚の画像（ST_2563511720, ST_2563537820, ST_2563607030）を除く岩塊の密集した領域には岩塊が約 3000 個存在することが分かった。Muses-C 領域付近の画像を除いた他の 5 枚の各画像では、確認することのできる高輝度スポットの数は解像度が高い画像ほど多く、解像度以下の大きさで高輝度スポットが存在している可能性がある。

高輝度スポットの楕円近似長軸長を用いて累積サイズ頻度分布を各画像について調べると、それらが示す傾き（べき指数）はおおよそ -2 から -3 の範囲内に収まることが分かった（図 1）。クレーターの累積サイズ頻度分布が示す傾きは -3 ± 1 であることが知られており、高輝度スポットのサイズ頻度分布はクレーターのサイズ頻度分布とよく似た傾向を示す。さらに、Appolo17 によって回収された月の岩石資料から得られたマイクロクレーターの累積サイズ頻度分布が示す傾きは約 -2 から -3 であり（Schneider and Horz., 1974）、こちらも高輝度スポットと近い値を示す。高輝度スポットの中には楕円近似長軸長が 10cm を超えるものもいくつか確認できており、コンドリュールなどが露出して明るく見えている可能性は低い。

これらの結果から、岩塊表面に微小な天体が衝突して形成されたマイクロクレーターが高輝度スポットである可能性が高い。また、地球近傍の長期宇宙環境暴露試験施設（LDEF）から得られたデータ（Miao and Stark., 2001）によると、高輝度スポットの形成要因となり得る大きさの微小隕石や流星塵の流量は $10^{-12}/\text{m}^2 \cdot \text{s}$ である。各岩塊において高輝度スポットの数密度を求めたところ、1 個/ m^2 ~ 50 個/ m^2 であり、LDEF に対する微小隕石や流星塵の流量をもとにして得られた年代は約 3 万年 ~ 200 万年であった。

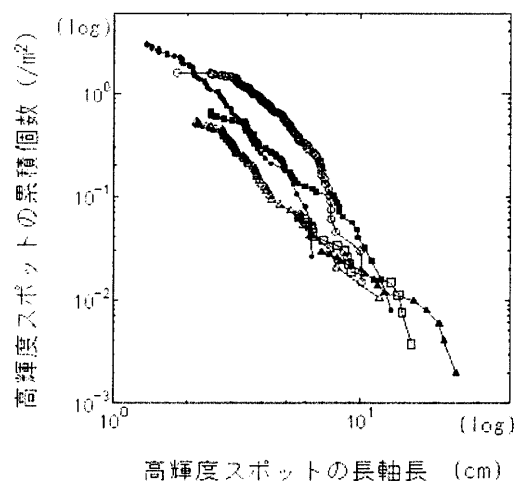


図 1. 各画像における高輝度スポットの累積サイズ頻度分布。傾きは -3 から -2 の範囲内に収まる。

EJSM 国際共同ミッションによる 木星・トロヤ群小惑星探査計画

Exploration of Jupiter and Trojan Asteroids by EJSM

○佐々木 晶¹, 藤本 正樹², 木村 淳³, 高島 健², 矢野 創², 笠羽 康正⁴, 高橋 幸弘³,
川口 淳一郎², 川勝 康弘², 津田 雄一², 船瀬 龍², 森 治², 森本 睦子², 木星探査 WG

¹国立天文台, ²JAXA, ³北大, ⁴東北大

2020 年代の国際共同木星探査計画は、当初の日欧ミッション Laplace から、日欧米による 3 機体制の総合探査を行う計画 (EJSM: Europa Jupiter System Mission) へと展開している。EJSM においては、JAXA が JMO (磁気圏観測機) を担当することになっている。

NASA JEO Jupiter Europa Orbiter

ESA JGO Jupiter Ganymede Orbiter

JAXA JMO Jupiter Magnetosphere Orbiter

(その他、ロシアが独自に Europa 着陸機を同時期に到着させることを検討中)

水星探査ミッション BepiColombo と同様に、ESA-JGO とともに JAXA-JMO が打ち上げられることがノミナルだったが、重量の関係で、JAXA-JMO の独自打ち上げ案の検討を昨年より開始した。

もともと、ソーラー電力セイルを用いて探査機を木星経由トロヤ群小惑星へと送り込む探査計画が検討されていた。このソーラー電力セイルを用いて、JMO を送り込むとともにトロヤ群小惑星探査ができないか、検討を進めている。

トロヤ群小惑星は、木星系の材料である可能性、外側のカイパーベルト天体由来の小天体が捕獲された可能性があり、いずれにしても太陽系の初期の記録を残している鍵となる天体である。木星系の探査とトロヤ群探査を結びつけることで、太陽系天体の起源の包括的な解明につながるデータが取得できる。

惑星大気雲対流モデルの開発

○杉山 耕一郎¹, 山下 達也¹, 小高 正嗣¹, 中島 健介²,
高橋 芳幸³, 竹広 真一⁴, 石渡 正樹¹, 林 祥介³

¹ 北大理・宇宙理学, ² 九大理・地球惑星科学,

³ 神戸大理・地球惑星科学, ⁴ 京都大・数理解析研究所

1. はじめに

近年の惑星探査の進展に伴い, 地球以外の惑星大気に関しても雲対流モデル (大気成分の凝結を考慮し, 鉛直方向の静水圧平衡を仮定しない数値流体モデル) を用いた研究が行われるようになってきた. 代表例としては, 火星の竜巻・山谷風・ドライアイス雲, 木星・土星・タイタンの積雲対流に関する研究が挙げられる. これらの対流現象には後に挙げる様に留意すべき相違点が幾つかある. しかしながら, 惑星大気の雲対流現象を地球大気の雲対流現象と比較検討し, それを地球大気用のモデルの枠組みの延長してとらえることは, 地球の雲の知識を基盤としてこれらを理解するために有効な手段である. そこで我々は, 様々に条件が異なる惑星大気の雲対流を統一的な枠組みで扱うことを目指して, 惑星大気雲対流モデル「地球流体電脳倶楽部 deepconv」の開発を行っている.

2. 惑星大気の雲対流の特徴

地球の雲対流には, 凝結成分は 1 つであり主成分と比較して微量という特徴があるが, 各惑星の雲対流の特徴は地球と同じではない. 火星は大気主成分の CO_2 が凝結・昇華し, 臨界飽和比が 1 より有為に大きい可能性が指摘されている. 木星や土星では H_2O に加えて NH_3 や H_2S といった複数成分が凝結・化学反応により雲となる. さらに地面が存在せず大気が「底なし」である. タイタンでは微量成分である CH_4 が凝結して雲となる. さらに臨界飽和比が 1 より有為に大きい可能性が指摘されている.

惑星大気用の雲対流モデルは, 理想的には, これらの全てを統一的に扱える必要がある.

3. モデル開発の現状と今後

我々はこれまで, 先に例として挙げた惑星大気を個別に扱う雲対流モデルを実働させ, 経験を積んできた. 複数凝結成分の凝結を考慮した木星型惑星の雲対流モデル (Sugiyama *et al.*, 2009), 火星の乾燥対流/主成分凝結を伴う雲対流モデル (小高ほか, 2008 年気象学会秋季大会; 山下ほか, 2009 年連合大会), CH_4 の凝結を考慮したタイタンの雲対流モデル (Nakajima *et al.*, 2004, AGU) が挙げられる.

現在, これらのモデル群を統合する作業を行っている. 基本的な枠組みは klemp and Wilhelmson (1978) の準圧縮方程式系を用いるが, 凝結成分が大気の主成分・微量成分に拘わらない方程式系としている. 雲に関連するプロセスは, 先に列挙した全ての惑星に必要な全てを一度に取りこむのではなく, それぞれの惑星の状況に応じた雲物理パッケージを作成し, これを力学部分と着脱する. 凝結などの平衡熱力学計算は非静力学モデル中では計算速度を重視した近似式を使用するが, その検証には我々が開発した熱力学計算コード oboro (Sugiyama *et al.*, 2006) を使用している. 雲プロセスの着脱を容易にするために, 可変性を重視したプログラム構造と可読性を重視したコーディングスタイルを採用する.

当日は各惑星についての計算例を示すとともに, 今後の展望について議論する.

地球流体データのデータベース・解析・可視化 のためのデスクトップツール兼サーバー 「Gfdnavi」の開発

○西澤誠也¹, 堀之内武², 渡辺知恵美³, 伴林晃紀⁴, 諫本有加³, 大塚成徳⁵

¹神戸大学大学院理学研究科, ²北海道大学地球環境科学研究所,

³お茶の水女子大学大学院人間科学創成科学研究科, ⁴松岸寺, ⁵京都大学大学院理学研究科

1. 背景

近年の地球観測や惑星探査、計算機の発展により、大気や物質などの、観測やモデリングによる数値データは、爆発的に増大している。これら地球惑星流体のデータを有効活用するためには、多くのデータを組み合わせ総合的に解析することが必要であるが、実際には、量の問題に組み合わせ爆発が加わるため、研究者は、益々、データの収集や管理などに多くの時間を割かれるようになっていく。今日の情報爆発時代において効率的に研究活動を行うためには、情報技術を活用した研究環境の構築が欠かせないものとなってきている。

2. Gfdnavi

そこで我々は、地球流体データを念頭においた、データベース・解析可視化のためのデスクトップツール兼データ公開サーバー「Gfdnavi」(Geophysical fluid data navigator;

<http://www.gfd-dennou.org/arch/davis/gfdnavi/>)の開発を行っている。Gfdnaviは、Webベースのツールであり、ローカルに立ち上げてデータの管理や解析に使えると同時に、継続的なWebサーバーとして立ち上げて、同じ環境をデータ公開用に提供することもできる。現時点では、格子点データを対象としており、大気の研究で用いられる主要なファイルフォーマットに対応している(NetCDF, Grib, GrADS, NuSDaS, HDF5-EOS(実装中))。

Gfdnaviでは、ブラウザを用いたマウスによる操作や、HTTPを通じてローカルでのプログラミングによる操作が可能である。データの検索や、データの解析・可視化を行うことができ、検索機能については、時空間条件での検索、付加情報の全文検索などが可能である。解析については、標準では四則演算や、平均、切り出し等を行う事ができ、描画については、折れ線図、トーン・等値線図・ベクトル図の描画を行う事ができる。また、ユーザが独自の解析・描画方法を登録することも可能である。これらの実行は、サーバーサイドで行われるため、ネットワークに接続できる限り、いつでもどこでも同じ環境で研究を行うことができる。さらに、解析・可視化により得られた知見を文書化し、その根拠となる図や解析手法とともに保存する機能があり、数値データや画像データと知見情報を一元的に管理することができる。これにより解析を再現、検証し、応用することや、データと文書の双方向検索が可能である。

3. まとめと議論

Gfdnaviを開発することにより、研究者がデータの扱いに割かれる時間を軽減し、また場所にとらわれない研究を可能とすることで、効率的な研究の為の環境の構築を行っている。

また、マウスで直感的に利用できる上、知見文書でデータ解析実例を見て応用できるため、専門家以外にも扱いやすく、学際研究にも役立つと考えられる。

現時点では、大気の研究を念頭に置いて開発を行っているが、将来的には、惑星探査データ等も対象としていきたいと考えている。

金星大気大循環のモデリング

高木征弘¹, 鈴木広大^{2,4}, 佐川英夫³, Philippe Baron⁴, Jana Mendrok⁴,
笠井康子⁴, 松田佳久²

¹ 東京大学大学院理学系研究科, ² 東京学芸大学自然科学系,

³Max Planck Institute, ⁴ 情報通信研究機構 (NICT)

金星では自転を追い越す方向の高速東西流（大気スーパーローテーション）が全球的に卓越しているが、これまでの多くの研究者の努力にも関わらずその原因は不明である。筆者らは、金星雲層で励起される熱潮汐波の運動量輸送によって、現実的な強度と分布を持つ大気スーパーローテーションが作られる可能性を示した (Takagi and Matsuda, 2006, 2007)。ただし、このモデルでは平均子午面循環の影響が考慮されておらず、モデルの改善には金星大気の高温・高圧を考慮した精密な放射伝達モデルの開発が不可欠である。講演では大気スーパーローテーションの原因解明を目的とした金星大気大循環のモデリングに関する筆者らの取り組みを紹介したい。

還元的大気中の硫化カルボニルの存在と

系外惑星におけるオゾンの検出について

○中本泰史¹、上野雄一郎²、生駒大洋¹

1:東京工業大学 地球惑星科学、2:東京工業大学 グローバルエッジ研究院

系外惑星観測の将来目標のひとつは、地球と同様な表層環境をもつ惑星の存在の確認、さらには生命活動の兆候の確認である。これまで、系外惑星を直接撮像や中心星の食を利用して測光・分光観測しさまざまな特徴を検出することが検討され、提案されてきている。

一方、地質学的手法にもとづき、地球の古環境が推定されている。それによれば、地球大気中の酸素分子濃度が上昇するのは今から20億年ほど前からあとのことであり、それ以前の大気は今よりも還元的なものであった。特に、堆積物の硫黄同位体の研究から、還元的大気中で硫黄を含む分子として硫化カルボニルが比較的高い濃度で存在していたことが示された (Ueno et al. 2009)。硫化カルボニルが存在する状況は還元的なものであり、オゾンは同時には存在しえない。

オゾンは5 μm 付近、10 μm 付近、15 μm 付近に吸収帯をもつが、特に10 μm 帯が強く、これを検出することがオゾン検出の一つの手段と考えられる。ところが硫化カルボニルも同じく10 μm 付近に吸収帯をもつ。しかも、太古代環境から推定された程度の濃度があれば、現在のオゾン量と同程度の吸収を示す。すなわち、10 μm 帯だけではオゾンと硫化カルボニルの区別をつけることができない。一方、硫化カルボニルは12 μm 付近に、10 μm 帯よりも強い吸収帯をもっている。そのほかに12 μm 付近に吸収を示す主要な分子は存在しない。よって、12 μm 帯の吸収を検出すれば、硫化カルボニルの存在は確認することができる。

以上より、惑星大気中のオゾンの検出を目指すにあたっては、10 μm 帯の吸収だけでなく12 μm 帯の吸収の有無を確認する必要があり、これらを分離して分光する必要があることがわかった。

タイタン大気の窒素の起源と進化：氷地殻からの衝突脱ガスの役割

○福崎 翔¹、関根康人¹、玄田英典²、杉田精司¹、門野敏彦³、松井孝典⁴

¹ 東京大学大学院 新領域創成科学研究科 複雑理工学専攻

² 東京工業大学 地球惑星科学専攻

³ 大阪大学 レーザーエネルギー学研究センター

⁴ 千葉工業大学 惑星探査研究センター

土星系最大の衛星タイタンは、窒素を主成分とした分厚い大気に覆われている。タイタン大気形成、進化を理解する上で、窒素の起源の解明は最も重要な研究の 1 つである。本研究では、タイタン大気中の窒素分子が、彗星等による天体衝突によって、地殻・マントル構成物質であるアンモニア(NH_3)や硫酸アンモニウムから生成された可能性を評価する目的の下、 $\text{NH}_3\cdot\text{H}_2\text{O}$ 氷及び硫酸アンモニウムへの衝突脱ガス実験を行い、生成する窒素分子の生成量を調べた。実験は東大・新領域に設置されているレーザー銃を用い、高出力 Glass-レーザー($\sim 10\text{--}40\text{ J}$)を金箔[厚さ: $2.5, 5.0, 10.0\text{ }\mu\text{m}$]に照射し、箔表面の蒸発を推進力に金箔を標的物質に衝突させた。衝突によって生成したガスは四重極質量分析計(QMS)によって質量分析を行った。 $\text{NH}_3\cdot\text{H}_2\text{O}$ 氷、硫酸アンモニウムは、同位体(^{15}N)によりラベリングすることにより、定量性を向上させた。本実験で達成された衝突速度は毎秒 $1.1\text{ km} \sim 4.3\text{ km}$ である。

実験結果として、QMS 測定データ(マススペクトル)から、 $\text{NH}_3\cdot\text{H}_2\text{O}$ 氷、硫酸アンモニウムへの衝突に伴い窒素分子の生成が見られ、金箔衝突時のターゲット内の最大衝撃波圧力に対する窒素分子の生成量の関係から、窒素分子の生成が 10 GPa 程度で開始し、最大衝撃波圧力の増加に伴い線形的に増加することが分かった。この実験結果を、タイタンへの彗星等の衝突時の窒素生成量に応用すると、タイタン集積中の微衛星の衝突ではアンモニア氷、硫酸アンモニウム共に窒素分子はほとんど生成しないということ、一方彗星衝突では非常に効率良く窒素が生成されることが分かった。次に、得られた実験データを使い、タイタン形成後 45 億年間の彗星の累積衝突頻度から窒素分子生成量を見積もるため、タイタンへの彗星衝突の数値流体計算を行い、衝突の際、地殻中の NH_3 氷および硫酸アンモニウムから、窒素が生成される地殻体積を求めた。そして、45 億年間の彗星衝突フラックスと本研究の結果から、累積窒素生成量を求めた。その結果、実験から得られた彗星衝突による累積の窒素生成量は、現在の大气中の窒素量の数倍程度になり、その起源の候補として有力であることが分かった。

模擬原始大気からの有機構造体の生成：宇宙線により生成した複雑有機物の海底熱水系での変成

○栗原 広成, 平子 智章, 大林 由美子, 金子 竹男, 高野 淑識¹, 小林 憲正

(横浜国大院工, ¹ 海洋研究開発機構)

【緒言】地球上における生命の起源を議論する場合、海底熱水噴出孔環境の存在は非常に重要である。海底熱水噴出孔環境は、その特異的な環境から無生物的な有機物の生成に適した環境であるといわれている。それ故、地球圏外や原始地球大気中で生成した複雑な有機物が、原始海洋から海底熱水噴出孔へ運ばれ、生命を特徴づけるような構造や機能を獲得した可能性が考えられる。これまで、海底熱水系環境を模した高温高压環境でアミノ酸から球状構造体の生成が報告されているが、高濃度のアミノ酸を含む海水は現実的でない。我々は、海底熱水系を模擬したフローリアクター (FR) やオートクレーブ (AC) を用い、模擬原始大気 ($\text{CO} \cdot \text{N}_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$) への陽子線照射により生成した複雑有機物の加圧加熱実験を行い、複雑な有機物から生成するアミノ酸の熱安定性の測定や加圧加熱による有機構造体の生成を確認した。

【実験】 $\text{CO} : \text{N}_2 = 1:1$ の混合ガスに水蒸気を加えたものに陽子線を照射し試料 (CNW) とした。これを FR で 25 MPa に加圧しながら、室温、200°C、300°C で、2 分加熱を行った。回収した試料は、酸加水分解をした後に陽イオン交換 HPLC 法によりアミノ酸の同定定量を行った。また、CNW をポリカーボネート製ヌクレオポアフィルターろ過し、その表面に捕捉されたものを SEM で観察した。

【結果・考察】FR、AC による加熱後の CNW 中のアミノ酸の回収量は、遊離アミノ酸に比べて多く、極めて高い安定性を示した。例えば、遊離のグリシン (Gly) は 300°C、2 分間の加熱で 1% 以下まで回収率は落ちてしまったが CNW 中の結合型 Gly は約 20% の回収率を示した。200°C であれば、AC で 120 分加熱しても CNW 中の Gly は 60% 程回収されたが、250–300°C の間で大きく回収率が減少した。

FR 中で 200–300°C で加熱した CNW を SEM 観察した結果、多数の構造体が観察された。不定形でサイズは最大 10 μm くらいであった。比較として、CNW を室温で FR を通す実験も行ったが、構造体はほとんど観察できなかった。200°C という比較的低温でも有機構造体が観測されたことから、隕石母天体中での水熱反応による構造体生成の可能性も示唆された。なお、アミノ酸水溶液を AC 中で 300°C で加熱したものを同様の方法で SEM 観察すると、直径数 μm の球状構造体が観察された。

今後は、構造体の生成条件をさらに詳しく調べるとともに、観察された構造体を顕微赤外法や顕微蛍光法などで特性化を行っていく予定である。

火星回轉變動計測から何が分かるのか？

What do we know from Mars' rotation?

○ 原田 雄司 (1), 岩田 隆浩 (2), 菊池 冬彦 (1), 荒木 博志 (1), 石原 吉明 (1), 佐々木 晶 (1), 野田 寛大 (1), 花田 英夫 (1), ホーセンス サンダー (1), 松本 晃治 (1) [(1) 自然科学研究機構国立天文台 RISE 月探査プロジェクト, (2) 宇宙航空研究開発機構宇宙科学研究本部固体惑星科学研究系]

○ Yuji Harada (1), Takahiro Iwata (2), Fuyuhiko Kikuchi (1), Hiroshi Araki (1), Yoshiaki Ishihara (1), Sho Sasaki (1), Hirotomo Noda (1), Hideo Hanada (1), Sander Goossens (1), Koji Matsumoto (1) [(1) RISE Project Office, National Astronomical Observatory of Japan, National Institutes of Natural Sciences, (2) Department of Planetary Science, Institute of Space and Astronautical Science, Japan Aerospace Exploration Agency]

現在、火星複合探査計画（略称 MELOS）が進行中である。それに搭載される観測機器の候補の一つとして、逆 VLBI 用電波源（略称 iVLBI）という機器が提案されている。MELOS/iVLBI を通じた探査機・地球間の電波のリンクを利用すれば、火星回轉變動の精密な計測が可能となるであろう。この観測機器について国立天文台・宇宙科学研究本部の研究者・技術者を主体としてシステム検討・サイエンス検討等が活発に行なわれている。この内、本講演では主にサイエンス検討について紹介する。即ち MELOS/iVLBI を通じて得られる情報に基づいて、どのようなサイエンスを展開出来るのか、という点について述べる。

一口に惑星回転と言っても、一般には幾つかの異なる現象に分類される。特に火星・地球等、回転楕円体として近似可能な形状を持つ固体惑星においては、回轉變動には大きく分けて下記の三通りの様式が存在する。一つ目の様式は歳差・章動である。歳差・章動とは、慣性空間に対して固定された座標系において瞬間自転軸の方向が変化する現象である（注）。歳差・章動はどちらも、主に他天体の潮汐トルクによって引き起こされる。この内、歳差は中心天体による潮汐トルクの定常成分に支配される自由モードである。他方、章動は中心天体やその他の天体による潮汐トルクの摂動成分に支配される強制モードである。二つ目の様式は極運動である。極運動とは、固体惑星に対して固定された座標系において瞬間自転軸の方向が変化する現象である（注）。三つ目の様式は自転速度変動である。自転速度変動とは、読んで字の如く自転速度の時間変化である。これは一日の長さが変化する事も意味する。極運動・自転速度変動はどちらも、主に大気・極冠等の表層のサブシステムの変動によって引き起こされる。（注：より正確には自転軸というよりもむしろ形状軸の方向の変化によって定義され、しかもその内の特定の周波数帯に制限される。しかし本講演では便宜上、そこまで厳密には議論しない。）

上記のように回轉變動には複数の様式があり、いずれの現象も惑星システムの物理的状態やその短期的・長期的変動を理解する為の手掛かりを与えると期待される。本講演では主に歳差・章動を中心に触れる予定である。特にこれらの係数を計測する事によって火星システムに対する我々の理解をどのように深める事が出来るのか、という点について概観したい。

At present, a multi-satellite mission to Mars called MELOS (*i.e.* Mars Exploration with Lander-Orbiter Synergy) is under study. An instrument called iVLBI (*i.e.* Inverse Very Long Baseline Interferometry) has been proposed as one of the instruments in this project. This instrument will allow us to carry out precise measurement on Mars' rotation (*e.g.* precession, nutation, polar motion, and length-of-day variation) through a radio link between the satellites and station(s) on the Earth. Researchers and technicians mainly in National Astronomical Observatory of Japan (NAOJ) and Institute of Space and Astronautical Science (ISAS) are discussing this instrument, especially, its observation system and scientific effort. The aim of this presentation is to introduce the latter. We will show how we expand our knowledge of the surface environment, the internal structure, and their evolution on Mars by observing its rotational variation through MELOS/iVLBI mentioned above.

バレーネットワークの統計的解析： 火星表層環境の変遷の制約に向けて

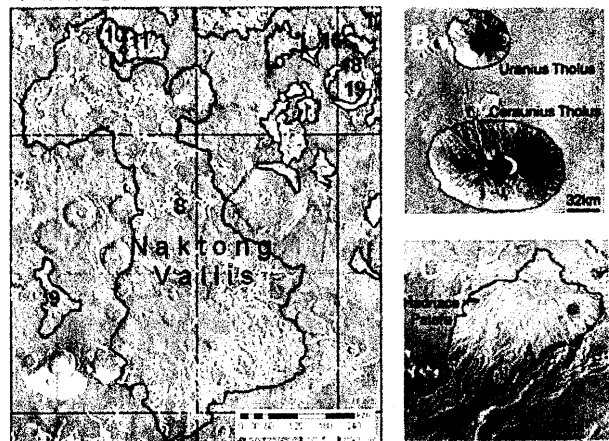
山口優夢¹，宮本英昭¹

¹ 東京大学

火星の地表面には、過去に水が存在したことを示す多くの地質学的特徴が散見されるが、中でもバレーネットワークは非常に古い時代から新しい時代にかけて、各地に形成された地質構造であり、その形成過程には水の流れが関与していると考えられていることから、火星の過去の環境の変遷を辿る上で重要なものとされている。しかし、その具体的な成因に関しては未だに議論が絶えない。これまでに、局所的に噴き出した地下水の浸食（サッピング）によるとするものと、地域全体に降り注ぐ雨が地表面を侵食したことによるとするものの、大きく分けて二つの学説が唱えられている。また、それぞれ環境が違っていたと考えられているノアキス代、ヘスペリア代、そしてアマゾン代では、バレーネットワークの形成過程もそれぞれ異なっている可能性があるにも関わらず、そのような年代別、あるいは地域別の詳細な検討も十分にこなされているとは言い難い。本研究では、近年取得されている高解像度画像を用いて丹念に各年代のバレーネットワークを抽出し、それらの形成過程とそれぞれの形成年代における火星表層環境について把握することを目的としている。

ノアキス代の典型的なバレーネットワークを持つナクトンバリス周辺地域のマッピングの結果、36個のバレーネットワークが同定された。それらの総延長は66,000kmに達し、それぞれの流域は9,000から210,000km²に及んだ。また、我々はバレーネットワークの分布を定量的に扱うための客観的指標として谷密度を設定した。これは、谷地形の全長をその流域面積で割った値として定義され、谷地形の発達の度合いを示すもので、ナクトンバリス周辺地域のバレーネットワークでは0.07から0.63km/km²であった。この流域の谷密度と平均傾斜の間には正の相関関係があることが定量的に示された。この相関は、ある一地点から水が供給されたのではなく、地域全体に水が供給されたとする説と調和的である。また、地形の傾斜が谷の発達の度合いに強く影響しているということは、地表面の起伏が谷の形成に影響を与えていることを示唆しており、そのことと地表面を流れる水が谷を浸食したとする仮説は調和的である。以上の結果は、調査地域に見られるノアキス代のバレーネットワークは、地下水が一地点から噴出してできたものではなく、地域全体に雨が降り注ぐことで地表面が浸食され、形成されたという説を支持する。

さらに講演者らは、火星の各所に点在するヘスペリア代のバレーネットワークを3個、アマゾン代のバレーネットワークを2個同定し、同様に流域の谷密度と平均傾斜を計測した。その結果、ヘスペリア代のバレーネットワークでは、ノアキス代に比べて谷密度に対する平均傾斜が大きく、これらの指標の間に正の相関も認められなかった。このことから、ヘスペリア代のバレーネットワークは、降雨によって生じたノアキス代のものとは異なる形成要因が示唆される。それに対して、アマゾン代のバレーネットワークは、谷密度と平均傾斜の関係についてノアキス代と同じ傾向を持っていた。よって、アマゾン代には、ノアキス代同様、降雨による地表の浸食によってバレーネットワークが生じたが、その流域は全球的にごく少数でしかも点在していることから、降雨は非常に稀に、かつ局所的に発生したことが示唆される。このような降雨の原因としては、巨大隕石の衝突などによる突発的かつ局所的な環境変化などが考えられる。



図：マッピングの結果の一部を示す。白い線はバレーネットワーク、赤い線は流域の境界線。
A：ノアキス代のバレーネットワーク。数字は本研究でつけた流域の番号。
B：ヘスペリア代のバレーネットワーク。火山の斜面に発達している。
C：アマゾン代のバレーネットワーク。

BepiColombo 日欧共同水星探査ミッション

○早川 基¹; 小川 博之¹; 峯杉 賢治¹; 高島 健¹; 松岡 彩子¹; 中澤 暁¹;

亀田 真吾¹; 山川 宏²; 笠羽 康正³

¹宇宙航空研究開発機構; ²京大・生存圏研究所; ³東北大・理

BepiColombo Euro-Japan Joint mission to Mercury

○Hajime Hayakawa¹; Hiroyuki Ogawa¹; Kenji Minesugi¹; Takeshi Takashima¹; Ayako Matsuoka¹;

Satoru Nakazawa¹; Shingo Kameda¹; Hiroshi Yamakawa²; Yasumasa Kasaba³

¹JAXA; ²RISH/Kyoto Univ.; ³Tohoku Univ.

BepiColombo は、欧州宇宙機関(ESA)との国際分担・協力により水星を多角的・総合的に観測しようとするプロジェクトである。本計画は、表面・内部の観測に最適化された「水星表面探査機(MPO)」(ESA が開発)と磁場・磁気圏の観測に最適化された「水星磁気圏探査機(MMO)」(JAXA が開発)から構成される。本講演では、これら科学観測に関連した状況及び、日本側が製作を担当する MMO について最新状況を報告する。

BepiColombo is a ESA-JAXA joint mission to Mercury with the aim to understand the process of planetary formation and evolution in the hottest part of the proto-planetary nebula as well as to understand similarities and differences between the magnetospheres of Mercury and Earth. The baseline mission consists of two spacecraft, i.e. the Mercury Planetary Orbiter (MPO) and the Mercury Magnetospheric Orbiter (MMO). The two orbiters will be launched in 2014 by an Ariane-5 and arrive at Mercury in 2020. JAXA is responsible for the development and operation of MMO, while ESA is responsible for the development and operation of MPO as well as the launch, transport, and the insertion of two spacecraft into their dedicated orbits. JAXA has made conceptual design of the MMO spacecraft system (including the interface with the cruising composite system in collaboration with ESA) with model payload. MMO is designed as a spin-stabilized spacecraft to be placed in a 400 km x 12000 km polar orbit. The spacecraft will accommodate instruments mostly dedicated to the study of the magnetic field, waves, and particles near Mercury. Selection of the PI responsible instruments was finished on 2004. Preliminary Design Review (PDR) for MMO project has finished on Mar. 2008. PDR for ESA BepiColombo project has held on end of May 2009 and will be closed on Nov. 2009. As for the MMO part, Engineering Model (EM) interface test and Mechanical Test Module (MTM) test has finished on July 2009. Thermal Test Module(TTM) tests will be started from October 2009 and will continue until 2010. 6th BepiColombo science working team (SWT) meeting, which discusses science related matters, will be held on October 2009. In this paper, we will report the latest information of MMO project status.

水星の表面温度分布: 熱構造への示唆

○岩堀智子^{1,2}, 倉本圭^{1,2}

¹ 北海道大学 大学院理学院 宇宙理学専攻

² 惑星科学研究センター

水星の熱史モデルには境界条件として表面温度に 440K を与えたものが多い。この値は水星が全球様な表面温度をもっているとした場合に太陽放射とつりあう平衡温度であるが、実際の水星の表面温度は一樣ではない。水星は大気を持たず自転周期が長いいため昼側と夜側の温度差が大きくなるほか、自転軸傾斜が小さいために緯度方向の温度差もつきやすい。表面温度のモデル計算からは水星で一番日射量の多い熱極と呼ばれる地域においても表面温度の時間平均値は 440 K を下回るという結果が示されており (Hale and Hapke, 2002; Yan *et al.*, 2006 など), したがって全球平均値も 440 K を大きく下回る。また、二次元あるいは三次元のマントル対流計算においても表面温度を一樣に 440 K と与えることが多いが、前述のモデル計算によれば緯度や経度によっても数百 K の差があることから、熱構造を考えるうえでは表面温度の分布も考慮する必要があるかもしれない。

水星の表面温度についてはすでに多くの先行研究があるが、従来の研究はモデル計算と観測値の比較から表面物質の特性を調べるという観点のものが多く、表面温度の分布が惑星内部の熱構造に与える影響についてはあまり考えられていなかった。本研究では先行モデルと同様の計算を行い、長い時間スケールの熱進化という観点から表面温度の時間平均値や分布を調べ、熱史境界条件の見直しを行う。また、それを境界条件とした場合の水星内部の熱構造を検討する。

表面温度を求めるにあたっては水星の表層 10m について熱伝導方程式を数値的に解く。パラメータは先行研究 Yan *et al.* (2006) にしたがう。最上層が太陽放射を受け取り、宇宙空間への放射も担う。熱伝導率は、放射の効果による温度依存性を考慮した。初期の温度は一樣に 300K とし、同じローカルタイムでの温度が収束するまで計算を行う。表面温度の内部熱構造への影響については、今回は表面温度分布を境界条件に与えて水星マントルでの熱伝導を解くことで考察を行う。

水星には冷却にともなう収縮によってできたと考えられる逆断層地形や、過去の火成活動を示唆する地形があることが知られている。これらは水星内部の熱構造を反映しており、将来の周回探査によって表面温度を反映した分布が検出されるかもしれない。

惑星科学の共通基盤：汎的惑星アーカイブプロジェクト
「国際惑星データ連合」

**Infrastructure for Planetary Sciences: Universal planetary database
development project “The International Planetary Data Alliance”**

○ Y. Kasaba¹, D. Crichton², M. T. Capria³, R. Beebe⁴, Joe Zender⁵, Yukio Yamamoto⁶,
and Iku Shinohara⁷

¹Tohoku Univ., Japan, ²NASA/JPL, USA, ³IASF/INAF, Italy,
⁴New Mexico State Univ., USA, ⁵ESA/ESTEC, Netherland, ⁶ISAS/JAXA, Japan

The International Planetary Data Alliance (IPDA), formally formed under COSPAR (Formal start: from COSPAR 2008), is a joint international effort to enable global access and exchange of high quality planetary science data, and to establish archive standards that make it easier to share the data across international boundaries.

In June - July 2009, we held the 4th Steering Committee meeting. Thanks to the many players from several agencies and institutions, we got fruitful results in 6 projects: (1) Inter-operable Planetary Data Access Protocol (PDAP) implementations [led by J. Salgado@ESA], (2) Small bodies interoperability [led by I. Shinohara@JAXA & N. Hirata@U. Aizu], (3) PDAP assessment [led by Y. Yamamoto@JAXA], (4) Architecture and standards definition [led by D. Crichton@NASA], (5) Information model and data dictionary [led by S. Hughes@NASA], and (6) Venus Express Interoperability [led by N. Chanover@NMSU].

Next step ‘IPDA-2009/2010’ is important, because the NASA/PDS system reformation will be first controlled and reviewed by this international scheme. Contribution from Japan is much expected from all players. We are now just the gate for the establishment of the Infrastructure.

This paper presents the achievements and plans, which will be summarized in the paper which will be appeared in 'Space Research Today' on Dec.

[REF: <http://planetarydata.org/meetings/4th-ipda-steering-committee-meeting/>]

月・惑星探査データをベースにした 協働解析環境の構築

○寺藺 淳也¹、中村 良介²、児玉 信介²、山本 直孝²、
出村 裕英¹、平田 成¹、小川 佳子¹、祖父江 真一³、奥村 隼人³、
春山 純一⁴、大竹 真紀子⁴、松永 恒雄⁵

1…会津大学、2…産業総合技術研究所、3…JAXA/SELENE プロジェクト、
4…JAXA、5…国立環境研究所
terazono@u-aizu.ac.jp

月・惑星探査分野において、ウェブベースの地理情報システム(WebGIS)が注目されている。現在我々は、月探査データで得られた地理情報をベースとした WebGIS の開発を進めている。さらに、各種機能を付加し、科学的な知見を生み出す拠点としてのシステムを構築しようとしている。本講演では、整備についての最新状況を報告する。

The collaboration environment based on lunar and planetary exploration data

Junya Terazono¹, Ryosuke Nakamura², Shinsuke Kodama², Naotaka Yamamoto²,
Hirohide Demura¹, Naru Hirata¹, Yoshiko Ogawa¹, Shinichi Sobue³, Hayato Okumura³,
Jun'ichi Haruyama⁴, Makiko Ohtake⁴, Tsuneo Matsunaga⁵

1...The University of Aizu, 2...AIST, 3...JAXA/SELENE, 4...JAXA, 5...NIES
terazono@u-aizu.ac.jp

Geographical Information System (GIS) is now becoming an essential platform as digital maps globally. In lunar and planetary exploration field, the application of GIS technology to display maps and data are becoming important part of data handling, browsing and sharing, as these system can process large amount of data efficiently and network bandwidth and computer processing power is increasing. Particularly, web-based GIS, called Web-GIS, is one of the most important infrastructure also in lunar and planetary exploration field as users can easily access maps or other data only by web browsers and data suppliers also can easily construct their system based on web servers. Now we develop the system that can share, browse and search data obtained by past lunar explorations. This system will grow up through the coalition of other system such as search system and addition of security control function. These extension will make the system not only just a map displaying capability but also the platform which support the researchers' activity that can find new knowledge from the exploration data.

超高速度衝突による衝突破片サイズ分布

○高沢晋¹, 中村昭子¹, 門野敏彦², 荒川政彦⁴, 土肥弘嗣⁴, 大野宗祐⁵, 瀬戸雄介¹,
前田誠¹, 弘中陽一郎², 境家達弘³, 藤岡慎介², 佐野孝好², 重森啓介², 町井渚¹,
瀬藤真人¹, 竹内拓⁶

¹神戸大・理, ²大阪大・レーザー研, ³大阪大・理, ⁴名古屋大・環境,

⁵千葉工大・惑星探査研, ⁶北海道大・低温研

地球への小天体の衝突速度は10km/sを超えており、また小惑星帯でも速度10km/sを超えるような衝突が起こっている。しかしこのような高速度域における衝突破壊過程解明のための実験研究は、今までほとんどなされてこなかった。その原因として、弾丸粒子を10km/sを超えるような高速度域まで加速させることが、これまで技術的に非常に困難であったことが挙げられる。本研究では未だよくわかっていないこの高速度域における衝突破壊過程の解明を目指している。

今回、大阪大学レーザーエネルギー学研究センターのレーザー銃を用い、弾丸粒子を高速度域にまで加速させた。これは弾丸にレーザーを照射したときに発生するプラズマの膨張圧を弾丸加速の原動力にした方法である。今回の実験では弾丸粒子として直径数100 μm のガラスとアルミニウムを用い、その弾丸を衝突させる標的には玄武岩や硬セッコウを用いた。そして衝突によって噴出したエジェクタを、エアロジェルとアルミフویلによって検出、捕獲、回収する実験を行った。

結果、標的には顕著な衝突痕が観察されたものがあつた。エアロジェル表面には数多くの粒子が捕獲されているようであり、またアルミフویلには数多くの小さな穴が観察された。エアロジェル表面をEPMAを用いてマッピング（面分析）し、数 μm ～数十 μm の標的物質を含む粒子のサイズ分布を出した。

今回の実験では、レーザー照射時のプラズマによるものと考えられるダメージが、エアロジェルやアルミフویلに見られ、分析が困難であつた。また、エアロジェルを設置する場所にも問題があつた。次回の実験に向けて、このような問題点を改善したより高精度のエジェクタ捕獲方法について考察した。

エジェクタ速度への脱水・気化の影響に関する衝突実験

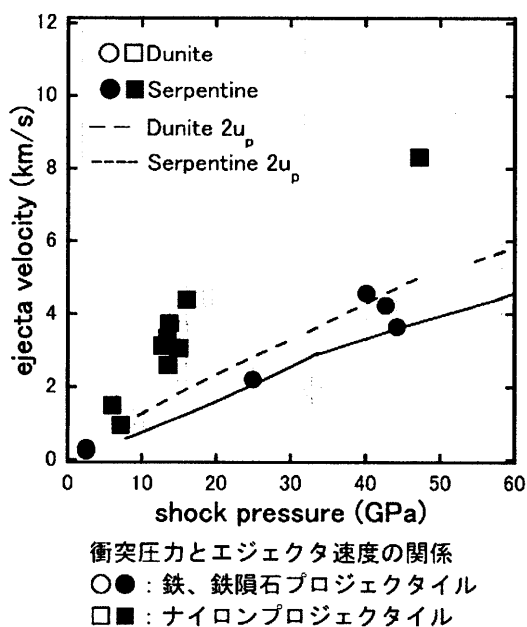
高部彩奈¹ 中村昭子¹ 瀬藤真人¹ 桂武邦¹ 長谷川直²

¹神戸大学大学院理学研究科 ²宇宙科学研究本部

含水鉱物や氷を含む天体は他の天体と高速で衝突すると脱水すると考えられる。また、高速度衝突により天体が気化する場合もあると考えられる。このような脱水や気化が起こる衝突において、生じた水蒸気や気体が天体の固体エジェクタを加速させる可能性があるのではないかと考えた。そこで、衝突実験を行うことにより脱水や気化によるエジェクタの加速の有無について調べることにした。

衝突実験は宇宙科学研究本部の二段式軽ガス銃を用いて行った。一辺 2.5 から 8cm の立方体の蛇紋岩と橄欖岩をそれぞれ含水天体、無水天体と見立てターゲットとして用いた。プロジェクティルは直径約 4mm、厚さ 1mm の円盤形の鉄または鉄隕石を直径約 7mm、高さ 6mm の円柱状のポリカーボネイトにはめ込んだものを気化しない天体と見立てて用いた。また、直径約 7mm の球のナイロンを気化する天体と見立ててプロジェクティルとして用いた。衝突速度は 1.7 から 3.4km/s と約 7km/s であった。ランキン・ユゴニオの方程式を用いて衝突圧力を求め、また先行研究から蛇紋岩の脱水開始衝突圧力が約 11GPa であることからプロジェクティルに鉄または鉄隕石を用いた場合と、プロジェクティルにナイロンを用い衝突速度が約 7km/s であった場合は蛇紋岩が脱水していると考えた。エジェクタ速度を求めるために高速度カメラでエジェクタの運動を撮影した。

まず、脱水によるエジェクタ速度への影響について調べるため、プロジェクティルに鉄または鉄隕石を用いた実験における蛇紋岩と橄欖岩のエジェクタ速度を比較した。理論的に固体のエジェクタの最大速度は粒子速度(u_p)の 2 倍であることが知られている。このことよりエジェクタ速度が $2u_p$ 以上であれば、エジェクタは加速している。しかし、蛇紋岩、橄欖岩のエジェクタ速度に大きな差はなく、共に $2u_p$ とほぼ等しいという結果となり、脱水による加速は確認されなかった。次にナイロンの気化によるエジェクタ速度への影響について調べた。プロジェクティルにナイロンを用いた実験のエジェクタ速度は蛇紋岩、橄欖岩共に $2u_p$ 以上となっており、エジェクタの加速が確認された。



鉄質小天体の衝突破壊に関する実験的解明

桂 武邦¹ 中村 昭子¹ 瀬藤 真人¹ 高部 彩奈¹ 長谷川 直² 三軒 一義¹

1 神戸大学 大学院理学研究科

2 宇宙科学研究本部

現在多くの鉄隕石が地球上で発見されており、小惑星帯には高いレーダーアルベドを根拠に金属で出来ていると考えられている小惑星も存在している。これらの天体は分化した天体の核が衝突により破壊された破片であると考えられている。この鉄隕石母天体が分化した年代や隕石サイズになった年代は放射同位体年代測定や宇宙線放射年代測定の方法でそれぞれ 45.58 億年前、1.5 億年前以降と推定されているが、母天体の核が破壊される程の衝突がいつ、どこで起こったのかは未だ解明されていない。Bottke et al. (2006 年) では、鉄隕石母天体は地球型惑星で形成された後に衝突などを通して小惑星帯に移動したのではないかと説が提案された。もし、地球軌道付近で破壊されていたのならば、鉄物質は塑性物質としてふるまったと考えられる。このことから、鉄隕石の起源を理解するためには、鉄物質が塑性を示す温度条件での衝突破壊実験が重要になってくるといえる。しかし鉄に関する衝突実験は、クレーター形成の温度依存性を調べたものや冷却された鉄隕石衝突破壊強度を研究したものはあるが、常温での衝突破壊実験はその数が少ない。

そこで、今回、常温の鉄隕石や鋼を用いた衝突破壊実験を速度 0.5~3.5km/s の範囲で行ない、衝突後の鉄物質の破壊の程度と、衝突時のエネルギー密度や衝突初期圧力の関係を調べた。

衝突後の鉄物質はどれも変形しており、破片がいくつか生じるものもあった。特に円盤型の鉄物質は押し潰された様な形状を示し、円柱型のものは衝突面側が変形して拡がり、放射型に破壊されるという特徴が見られた。最大破片の質量と衝突エネルギー密度の関係を調べた結果、塑性を持つ鉄物質を破壊するためには、先行研究での冷却された鉄隕石の破壊に比べて少なくとも二倍以上のエネルギー密度が必要となることがわかった。これは鉄自身の変形のためにエネルギーを消費するためだと考えられる。また最大破片質量の割合は衝突エネルギー密度や衝突圧力によってだけでは決定出来なかった。すなわち、衝突強度は物質や衝突速度、形状などに大きく依存する可能性があることがわかった。

超低密度物質中への貫入過程における 突入物質減速メカニズムの速度依存性

新居見 励¹、門野 敏彦²、土山 明¹、中村 昭子³、荒川 政彦⁴、保井 みなみ⁴、
土肥 弘嗣⁴、飯田 洋祐¹

1) 阪大・理 2) 阪大・レーザー研 3) 神大・自然 4) 名大・環境

NASA のスターダスト計画では、シリカエアロジェルと呼ばれる超低密度物質 (5~50 mg/cc) を用いて相対速度 6.1 km/s で飛翔する Wild2 彗星の塵が捕獲され、地球に持ち帰られた。しかし、彗星塵はシリカエアロジェルに突入した時に、破碎、蒸発等を起こしながら捕獲されたため、原形を失ってしまったものが多く存在する。すべての塵は同一速度でエアロジェルに衝突したので、元の彗星塵の情報を知るためには、それぞれの彗星塵がエアロジェルに形成した衝突痕 (衝突トラック) の形状が重要であると考えられている。

しかし、エアロジェルに衝突トラックが形成されるメカニズムは未だに理解されておらず、トラック形成についての定量的な議論をすることができない。これまでに、エアロジェル中のプロジェクタイトルの運動方程式が提案され、トラックの長さを理論的に計算するという試み[1]がなされているが、実験値を説明できるほどの精度はない。

そこで、我々はシリカエアロジェル (密度 60mg/cc) への高速衝突実験を行い、衝突トラック形成の様子を高速度カメラで撮影することで、プロジェクタイトル (SUS, Al₂O₃, Ti 球など) がエアロジェル中で受ける抵抗を調べた。これまでに行った名古屋大学の2段式軽ガス銃を用いた 3~4 km/s での衝突実験によると、速度が約 1 km/s 以上では、プロジェクタイトルが壊れない場合、速度の2乗に比例する抵抗を受けながら減速することが実験的に初めて証明されている[2]。しかし、プロジェクタイトルがエアロジェル中で減速され、エアロジェルの音速付近またはそれ以下の速度で運動する時に働く抵抗については未だに分かっていない。

そのため、今回は神戸大学の小型ガス銃を用いてエアロジェルの音速付近 (約 200 m/s) での衝突実験を行った。[2]の実験と同様に、高速度カメラの映像をもとにプロジェクタイトルに働く抵抗を調べたところ、前回の速度での実験とは異なった抵抗が働いている可能性が示唆された。本発表では、この実験結果をもとに、抵抗の速度依存性について議論する。

[1] Dominguez et al. (2004) Icarus, 172, 613-624.

[2] 新居見ら (2009) 地球惑星科学連合大会

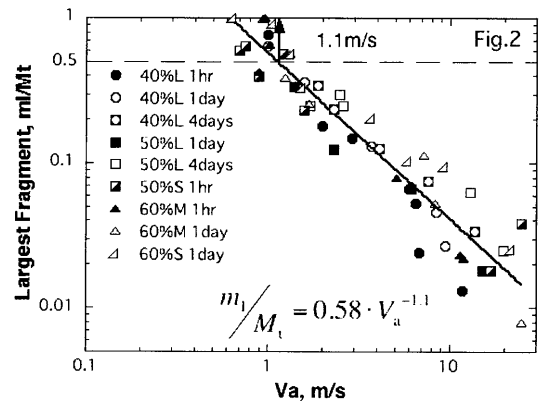
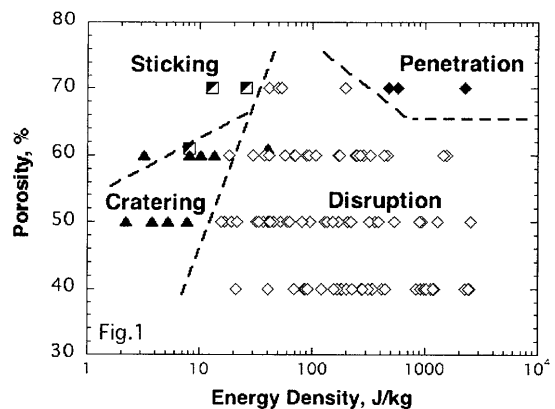
超高空隙率雪球の衝突破壊と破片速度分布に関する実験的研究

○鳥生有理¹、荒川政彦¹、保井みなみ¹、土肥弘嗣¹、河村恵里¹
¹名古屋大学 環境学研究科

背景：氷微惑星の生き残りと思われる彗星核は、氷よりも低い密度を持つことから大きな空隙率を持つと考えられる。こうした高空隙率氷天体は放射性熱源などによって熱進化する。この進化により、天体内部の密度や強度は大きく変化することとなり、現在見られる多様な氷天体の多様性を引き起こした可能性が高い。そこで、熱進化する氷微惑星の衝突破壊・再集積過程を明らかにするため、空隙率と焼結度を独立に変化させた雪試料を用いた衝突破壊実験を行った。

実験方法：実験は北大低温研の大型無風低温室で行った。ターゲットは直径 60mm の球形治具に平均粒径 250/100/10 μ m の氷粒子を 31.0-62.4g 入れて押し固め作成した。この試料は温度 -10 $^{\circ}$ C と -15 $^{\circ}$ C において飽和水蒸気圧下で 1 時間から 1 ヶ月間焼結させた。弾丸は直径 15mm(1.1g) の 30% 雪球、直径 15mm(1.6g) の氷円柱、直径 10mm(0.3g) の 30% 雪円柱を用いた。弾丸の加速には He ガス銃を用い、衝突速度を 30-440m/s とした。衝突のエネルギー密度は 10-3,000J/kg である。衝突の様子は高速度デジタルビデオカメラで撮影した。撮影速度は毎秒一万コマ、シャッタースピードは 10 μ s とした。実験後、回収した破片質量を測定し、映像から破片速度を測定した。

結果：本研究では、空隙率とエネルギー密度によって 4 種類の破壊モードが観察された (fig.1)。弾丸がターゲット内に捕獲される Sticking、ターゲット表層が壊れる Cratering、カタストロフィックに破壊する Disruption、弾丸が貫通したように見える Penetration である。Sticking と Penetration は空隙率 70% で見られた。これは破壊が圧縮破壊によって起こっているため、65% 付近に急激な物性変化があることを示唆している。反対点速度(V_a)とエネルギー密度(Q)の関係は $V_a = Q^n$ で表され、この関係は焼結度に依らず、空隙率の増加とともに傾き n も増加することがわかった。これは破片の放出中心点の深さが増大することに起因すると考えられる。空隙率 40-60%、衝突破壊強度 10-70J/kg の試料について最大破片と反対点速度の関係を調べたところ、これらは同じ直線に乗ることがわかった (fig.2)。これは、各試料の引張強度とバルク音速が比例しているためだと考えられる。



分化天体からの鉄隕石放出条件の解明：金属の低温脆性が及ぼす影響

○岡本千里¹, 荒川政彦², 長谷川直¹

¹宇宙航空研究開発機構, ²名古屋大学大学院環境学研究科

はじめに

天体間の衝突は太陽系において普遍的な現象である。隕石やその母天体である小惑星は、衝突の結果生じた天体の破片であり、地球のような惑星形成過程を知る上で重要である。小惑星は岩石質のものから、隕鉄母天体である鉄成分を持つ小惑星まで多様性に富む。これは、地球のような分化天体（金属コア-岩石マントル天体）が衝突破壊した結果であると考えられる。均質な内部構造を持つ岩石質天体の衝突現象を調べるため、ガラスや岩石試料を用いた衝突実験、数値シミュレーションが行われてきた[e.g., 1,2]。しかし、これまで分化天体の衝突破壊条件や、そのコア破壊により形成された鉄隕石の放出条件はほとんど知られていない。特に衝突実験では、金属破壊の困難さから系統的な研究はほとんど行われていない。そこで、本研究では分化天体の破壊や鉄隕石形成条件を明らかにするために、分化天体を模擬した試料の衝突破壊を行う。鉄を主体とする金属は、低温脆性を起こすことが良く知られている。小惑星帯域は、200K 以下の温度環境下にあるため、小惑星母天体の金属コアは低温脆性のため、容易に破壊して鉄隕石を生成する可能性がある。そこで本研究では 200K 以下に試料温度を低下させ、常温では困難である金属コア層構造試料のクレーター形成実験を行った。

実験方法

分化天体のクレーターで鉄隕石が形成・放出される条件を調べるため、鉄ブロックに 5mm のガラス板をつけた層構造試料を用いたクレーター形成実験を行った。また、そのクレーター形成過程に関する温度依存性を調べるため、常温および 200K 以下の温度で衝突実験を行った。実験は、JAXA に設置された二段式軽ガス銃を用いて、質量 0.2g のナイロン弾丸を速度 4–7 km/s に加速して行った。なお、衝突破片の放出速度を計測するために、高速度カメラを用いてその場観察（20 万コマ毎秒）を行った。

結果および考察

分化天体のクレーターから鉄隕石が放出される条件を知るには、岩石マントル中での衝撃波の減衰率を知る必要がある。そこで、今回、常温、6km/s の衝突条件において、鉄ブロック試料に弾丸を直接衝突させた場合と 5mm の厚みのガラス層をもつ鉄試料上に弾丸を衝突させた場合で、形成されたクレーターのサイズを比較した。前者は、直径およそ 18×18mm、深さ 5.3mm、後者は直径およそ 17×17mm、深さ 1mm のクレーターが形成された。直径は同程度だが、深さが大きく異なる結果となった。また、温度によるクレーター形成への影響を調べるため、常温および 200K 以下の低温において 6km/s の衝突速度で実験を行った。鉄ブロック試料に形成されるクレーターサイズの比較を行った結果、前者は、直径およそ 18×18mm、深さ 5.3mm であるのに対し、後者は直径およそ 18×18mm、深さ 7mm のクレーターが形成された。直径は同程度であるが、深さは低温の方がより深くなり、放出される破片も増えた。さらに低温実験では、クレーターを中心として、鉄試料全体にクラックが観察された。これは常温実験では見られない結果である。鉄試料が低温下で脆性的に振舞い、衝突破壊強度が低下したと考えられる。

[1] Fujiwara and Tsukamoto (1980) *Icarus* 44, 142–153. [2] Gault and Wedekind (1969) *Journal of Geophysical Research* 74 6780–6794.

中心星に照射された自転する固体球の 温度分布の線形近似解

○関谷 実¹, 脇田 茂¹

¹九大・理・地球惑星科学

Yarkovsky 効果との関連で、中心星に照射された自転する固体球の温度分布が研究され、表面の放射冷却について線形近似のもとで球関数展開の $n=1$ までの解析解が Vokrouhlichy (1998) により求められている。本研究では線形近似のもとで球関数展開のすべての項に及ぶ解析解を求めた。公転運動は無視した。熱伝導度や温度伝導度は一定と仮定した。

解は3つの無次元パラメーターにより決まる：

- (1) q_{global} ：固体球の半径に平均温度の温度勾配があるとした時の熱伝導フラックスを中心星放射のフラックスで規格化した値；
- (2) 無次元角速度：固体球半径に温度が拡散する時間で規格化した自転角速度；
- (3) 自転軸の中心星方向からの角度。

下図に、結果の一例を示す。自転角速度が十分に速い場合、各緯度での温度は一定値に近づくが、緯度ごとの温度は異なる。

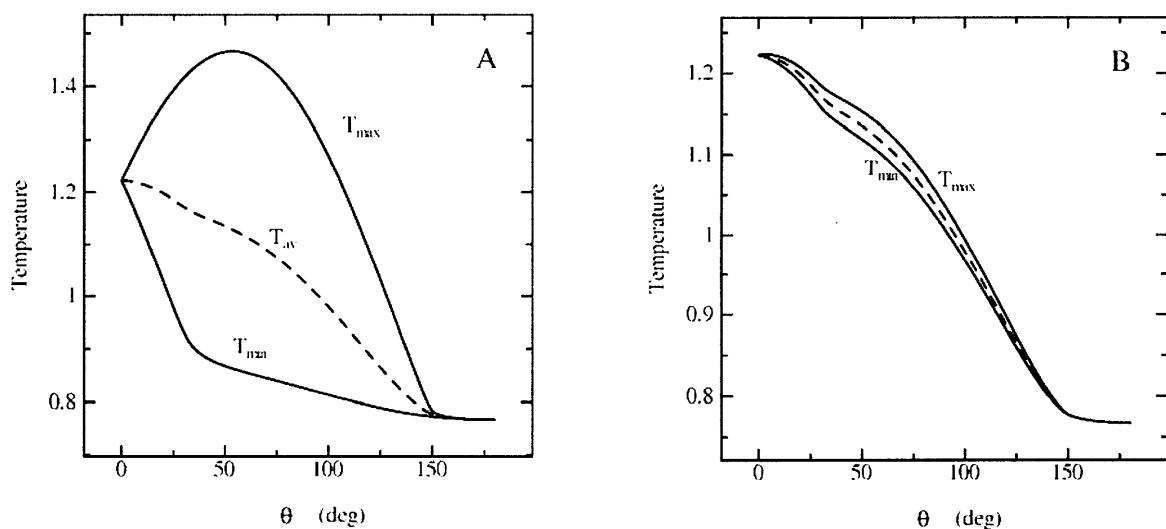


図 地球軌道で半径2mの固体球の、各緯度 θ (自転軸を基準) における最高温度 T_{max} 、最低温度 T_{min} 、平均温度 T_{av} 。温度は、固体球の平均温度280Kで規格化している。中心星は $\theta = 60^\circ$ の角度から照射している。自転周期が (A) 140時間および(B) 0.14時間の場合の結果を示す。

原始惑星の軌道安定性

○松本 侑士,長沢 真樹子,井田 茂

東京工業大学 地球惑星科学専攻

最近の原始惑星円盤内での原始惑星の軌道移動を含んだ理論計算からは、原始惑星は中心星方向への軌道移動の末、共鳴軌道にはまった状態で安定化することが知られている。このまま惑星形成が終了すれば、原始惑星サイズの共鳴にはまった惑星系となるはずだが、現実の惑星系は必ずしも共鳴に入っていない。よって共鳴にはまった惑星系何らかの要因によりその安定性が崩れ、軌道が不安定化すると考えられる。そのため、一般に安定だと言われる共鳴軌道からの軌道交差が共鳴にはまった惑星系とそうでない惑星系をつくりわける原因と考えられ、共鳴軌道の安定性を求めることが重要である。

いくつかの原始惑星がヒル半径に対して等間隔に並んだ際の軌道安定時間は経験的に知られている(Chambers et al.1996)。しかし、Chambers et al.1996 では特に共鳴軌道に着目した計算はなされていない。また、軌道交差時間と中心星質量や天体数との定量的な関係は知られていない。

そこで、本研究では等質量の原始惑星がヒル半径に対し等間隔で並んだ状態を初期条件として、 $m+1:m$ の平均運動共鳴にある場合と共鳴にない状態でそれぞれ軌道交差時間を、中心星質量、原始惑星質量、軌道長半径、原始惑星の数をパラメータとした計算を行った。

その結果、平均運動比 m が少なくとも $m \geq 10$ では共鳴でない軌道と共鳴軌道で軌道交差時間に差異はなく、共鳴に入った状態にあっても共鳴にないときと同じように成長はすすむと考えられる。また、軌道交差時間の変化は、中心星質量と天体質量に最も左右されることがわかった。

コンドリュールと宇宙塵内の空隙の有無の違いについて

○土居 政雄¹ 中本 泰史¹

¹東京工業大学 理工学研究科

コンドリュールと宇宙塵は共に、珪酸塩からなる大きさが1 mm 程度以下の球状粒子である。いずれも前駆体が加熱を受けて溶融し、液滴になって表面張力で丸くなり、その後、固まって誕生したと考えられている。

コンドリュールは隕石中に大量に含まれ、その形成年代や形状などから、原始太陽系星雲中で形成されたと考えられている。しかしその加熱メカニズムには、まだ不明の点が多い。コンドリュールの形成過程を解明することは、惑星系の形成初期段階を解明することにつながる。いっぽう宇宙塵は、地球外にあるダストが地球大気に突入し、地球大気との摩擦により加熱されたことは確かである。

コンドリュールと宇宙塵は組成や大きさ、形成過程が類似しており共通点も多い。しかし一方で、異なる性質もある。コンドリュールの内部には空隙(発泡痕)がほとんどないが、宇宙塵には空隙が存在するものも多い。その違いの原因はまだ明らかになっていない。

本研究ではコンドリュールと宇宙塵の空隙の有無に着目し、その違いを生み出す理由を検討した。空隙を生み出すモデルとして、前駆体物質中に含まれる水による気泡生成を考えた。この場合、高温になったダスト中で水分子が拡散などによって移動し気泡に流入することで、気泡が発生・成長する。水分子の移動時間がダストの溶融時間に比べて長い場合、発生したあと気泡はダストが固化する時にそのまま取り残される。逆に溶融時間が移動時間よりも長い場合は、拡散によって水分子はダスト外に逃げていき、空隙は消滅する。宇宙塵の場合には溶融時間は数秒程度とは短いので、このモデルによれば空隙が内部に保持されることになる。

これは観測事実とよく合っている。それに対してコンドリュール中に空隙がないということは、溶融時間が100 秒程度より長かったことを示唆する。

コンドリュール形成時の溶融時間がこのように推定されることは、コンドリュールの形成過程を解明する上で重要な意義を持つだろう。

オールト雲の進化と寿命

○樋口有理可¹、小久保英一郎²、伊藤孝士²

¹ 東京工業大学、² 国立天文台

銀河潮汐力と恒星摂動で進化するオールト雲の進化と寿命について発表する。まず、オールト雲の彗星が恒星から受ける軌道要素変化を衝撃近似で表す。脱出に必要な軌道要素の変化量をもたらす恒星の太陽に対するインパクトパラメータ b を見積もる。この b とオールト雲のサイズ、恒星遭遇の頻度から、オールト雲の彗星個数の減少を解析的に見積もり、数値計算結果と比較する。その結果、銀河潮汐力の効果を考慮した場合も、彗星の軌道要素が分布を持つ場合も、オールト雲の寿命は簡単な式で表せることがわかった。

図 1 に、彗星の初期の軌道長半径と前述の式から得られた彗星の生き残り確率の関係を示す。初期の軌道長半径がおよそ 2 万 AU の彗星は 50 億年後には 60% 程度しか残っていないと予測される。図 2 に、オールト雲の半減期と彗星の初期軌道長半径の関係を示す。ここで式に代入した恒星のパラメータは観測などから推測される現在の太陽近傍の恒星の平均的な影響を表す値であるが、この半減期はオールト雲の半減期を見積もるのに使われることの多い、Weinberg (1987) らがフォッカー・プランク方程式から導いた球状星団の半減期の式と非常によく一致している。

発表では、オールト雲の寿命のほかに、彗星の離心率・軌道傾斜角の進化も同様の手法で表し、それぞれの進化のタイムスケールについても議論する。

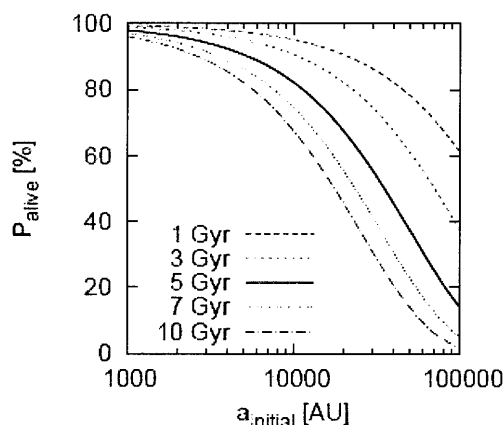


図 1 生き残り確率 P_{alive} の初期軌道長半径 a_{initial} 依存
時刻 10 億年、30 億年、…100 億年での値を示す

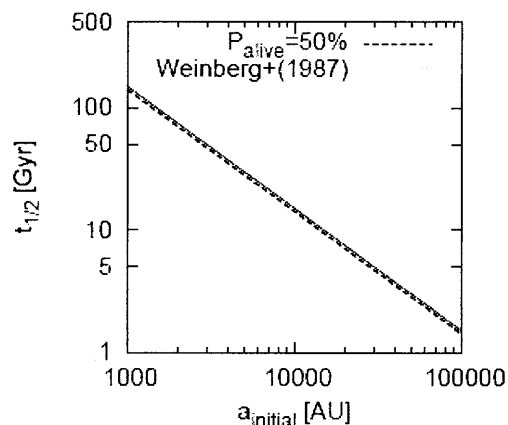


図 2 オールト雲半減期の初期軌道長半径 a_{initial} 依存
破線：本発表中の解析解
実線：Weinberg+(1987)による球状星団の半減期

オールト雲起源の彗星の惑星への衝突確率

Impact probability of the Oort cloud comets on planets

○伊藤孝士 (国立天文台)・樋口有理可 (東京工業大学)

Unlike asteroids whose orbital distribution we know to some extent, little is yet known about the long-periodic comets, particularly about those with aphelion distances as large as the Oort Cloud radius — their orbital distribution, incoming flux toward the planetary region, and impact probability on major planets. In this presentation we would like to show some preliminary results of our numerical integrations of test particles perturbed and transported from the the Oort Cloud toward the terrestrial planetary orbits through the jovian planetary zone. The purpose of these integrations is to calculate the collision probabilities of the Oort Cloud comets with each of planets, and compare the values with those of the main belt and the near-Earth asteroids. Our numerical simulations contain many more particles than what previous studies did, and we also include the orbital effects of all the eight major planets.

昨今の計算機技術の進展により様々な小惑星と惑星との衝突確率はだいぶ精度良く計算されるようになったが、彗星についてはその力学的実体が余り定かではないために、数値計算についても確定的な研究はまだ多くない。本発表ではオールト雲の力学に関する最新の知見を元にして、オールト雲から落下する天体が惑星と衝突する確率や速度分布に関する数値計算の予備的な結果を報告する。

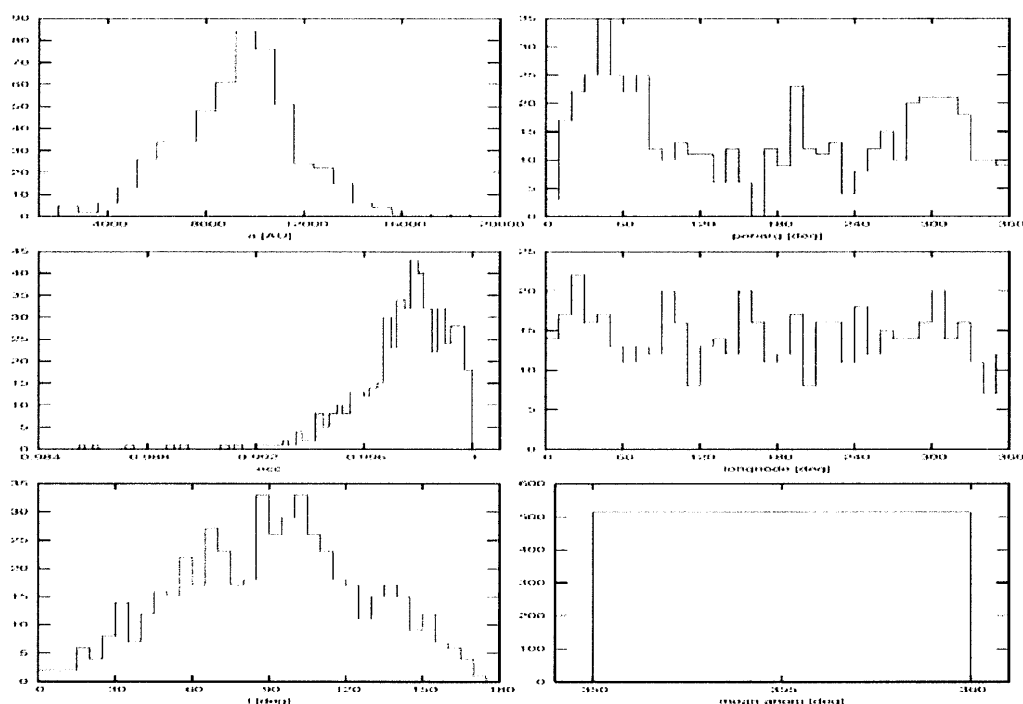


図 1: オールト雲から $r < 35\text{AU}$ に入った新彗星の軌道要素分布。(左上) 軌道半長径、(左中) 離心率 (左下) 軌道傾斜角、(右上) 近日点引数、(右中) 昇交点経度 (右下) 平均近日点距離。

火星の Arabia Terra における大気・地表面の水蒸気交換

The exchanges of water vapor
between the atmosphere and the surface at Arabia Terra of Mars

猿谷友孝¹, 豊田丈典¹, D. Baratoux², 栗田敬¹

1. 東京大学地震研究所
2. ミディ・ピレネー天文台

In Mars, the exchanges of substances between the atmosphere and the surface occurs actively. For example, the amounts of carbon dioxide in the atmosphere vary with increase or decrease of polar caps. PFS/LW aboard Mars Express observed the time and spatial variation of water vapor in the atmosphere. The geographical distribution of water showed two local maxima. They correspond to the regions of Tharsis and Arabia Terra.

In this presentation, we will discuss the possibility of the exchanges water vapor between the atmosphere and the surface at Arabia Terra.

火星の気候システムの特徴は、地表面と大気が活発に物質交換を行っている点にある。二酸化炭素量は極冠の拡大・縮小に応じて変化し、表層環境に影響を与えている。最近、周回軌道からの赤外観測によって、大気中の水蒸気量の時間的・空間的变化が明らかになってきた。Smith (2002,2004), Fouchet et al.(2007) らによって Tharsis の火山地域と Arabia Terra 地域の上空で水蒸気量が多いということが明らかにされた。また、この水蒸気量は季節変動し、周囲よりも目立って高濃度である季節と、そうでない季節があることもわかった。水蒸気量が多くなる原因として考えられるのは、極域からの水蒸気輸送と大気-地表面の水蒸気交換である。しかし、ここで見られた地理的分布パターンは極域からの水蒸気輸送のみでは説明できないことが、GCM によって指摘されている。そのため水蒸気が大気と地表面との間で交換されている可能性がある。本研究では、THEMIS の赤外データから Arabia Terra の表面温度の季節変化を調査し、圧力変動とあわせて地表面直下の氷が水蒸気化するのか、またどの季節に水蒸気化するのかを調査した。講演では得られた温度・圧力の季節変動と Arabia Terra の地質的な特徴をあわせて、水蒸気交換が起きている可能性について報告する。

炭素循環を考慮した 惑星気候の軌道要素依存性に関する研究 Study on the dependency of orbital elements on the climate of the Earth-like planets

○足立数馬¹, 田近英一¹, 阿部 豊¹

¹ 東京大学大学院理学系研究科地球惑星科学専攻

惑星の軌道要素が惑星表層の気候にどのような影響を与えるのかに関しては、これまでいくつかの先行研究がある。しかしながら、最も大きな影響を持つと考えられる軌道長半径、離心率、自转轴傾斜角の影響について系統的に調べた研究はほとんどない。対比地 (2008) は、南北一次元エネルギーバランス気候モデルを用いて、各軌道要素を変化させた場合の、水惑星の気候状態の多重性について詳細に調べた。ところがこれは大気中の二酸化炭素濃度が一定という仮定のもとで行われたものである。地球のような惑星では、実際には炭素循環によって大気中の二酸化炭素濃度が調節されるため、長期的な気候の平衡状態は異なるはずである。すなわち、対比地 (2008) は、現在の地球の軌道を変えた場合、変えた直後に気候状態がどうなるかを調べたものに相当するものである。

本研究では、南北一次元エネルギーバランス気候モデルに炭素循環モデルを結合し、異なる軌道要素に対する数十万年スケールでの気候の平衡状態及び多重性について調べた。炭素循環を考慮することで、ある軌道要素条件に対する長期的な二酸化炭素濃度の平衡状態を求め、それに対する気候状態と気候の多重性を求めることができる。その結果について議論する予定である。

海惑星の大気構造について： 中心星タイプ及び惑星大気組成に対する依存性

○黒川 宏之¹, 中本 泰史¹

¹東京工業大学

惑星大気は惑星の表層環境を支配しているため、海をもつ惑星の大気構造を考えることは、惑星が海を保持できる条件、ひいては惑星のハビタビリティを明らかにすることにつながる。

惑星の海保持条件に関する代表的な研究の1つとして、Nakajima et al. (1992)が挙げられる。彼らは海をもつ惑星の大気構造として成層圏+対流圏の大気構造を仮定し、地表温度をパラメータとして惑星放射量を計算して、海をもつ惑星の放射量に上限があることを示した。これがいわゆる射出限界であり、射出限界が海を保持可能な入射中心星放射量の上限、すなわちハビタブルゾーンの内側境界を決めると考えられている。射出限界は、対流圏の大気構造が水蒸気大気の湿潤断熱温度勾配である飽和蒸気圧曲線に固定されることによって生じていた。すなわち、対流圏の存在が射出限界をつくっていた。

しかし彼らの研究では大気中での中心星放射の吸収を無視しており、また地球質量の惑星を仮定するなど、制限が加えられていた。

本研究では、Nakajima et al. (1992)で無視されていた大気中での中心星放射の吸収を考慮し、さらに系外惑星を想定して、中心星のスペクトルタイプや入射する中心星放射量、惑星大気組成、惑星質量をパラメータとして、海をもつ惑星の大気構造をあらかじめ仮定をおかず求めた。

その結果、海をもつ惑星では多くの場合、大気中に対流圏が存在することがわかった。対流圏が存在する場合、Nakajima et al. (1992)の射出限界によって海を保持可能な入射中心星放射量の上限が決まっている。射出限界以上の入射量に対しては、惑星は海を保持することができない。一方、対流圏をもたない大気構造は、大気中での中心星放射の吸収が強い特殊な状況のみ実現しうる。このような大気構造が実現した場合、海を保持するための入射上限はNakajima et al. (1992)の射出限界とは異なるメカニズムで決まり、Nakajima et al. (1992)の射出限界より大きい値となることがわかった。つまり、従来考えられていた射出限界以上の入射量に対しても、海を保持することが可能となりうる。

分子雲中での宇宙線による複雑態アミノ酸前駆体の生成の検証

Formation of complex amino acid precursors in molecular clouds by cosmic rays

○ 元山拓也¹・谷内俊範¹・金子竹男¹・吉田聡²

○ 薮田ひかる³・長谷川紀昭⁴・A. L. D. Kilcoyne⁵・小林憲正¹

(¹横浜国大院工・²放医研・³大阪大院理・⁴阪大超高压電顕セ・⁵Lawrence Berkeley Natl. Lab.)

Takuya Motoyama¹, Toshinori Taniuchi¹, Takeo Kaneko¹, Satoshi Yoshida²

Hikaru Yabuta³, Noriaki Hasegawa⁴, A. L. D. Kilcoyne⁵, Kensei Kobayashi¹,

(¹Yokohama National Univ., ²National Institute of Radiological Sciences, ³Osaka Univ.)

炭素質コンドライトや彗星ダスト中にアミノ酸を含む種々の有機物が見いだされたことから、地球上での生命の起源に先立つ化学進化における地球外有機物の寄与が重要視されている。隕石や彗星中の有機物の同位体比等から、これらが極めて低温環境で生成したことが示唆されていることから、これらが太陽系生成前の分子雲中ですでに生成した可能性が考えられる。その有力なモデルのひとつ、Greenberg モデルにおいては、分子雲中の星間塵アイスマントル中の分子が宇宙線や紫外線エネルギーにより反応し、複雑な有機物が生成するとされる。われわれはこれまでに模擬星間物質に、陽子線や重粒子線などの種々の放射線を照射することにより、アミノ酸や核酸塩基を生み出す「複雑有機物」が生成することを示してきた。今回は、模擬星間物質（メタノール+アンモニア+水を液体窒素中で凍結したもの）に陽子線（原研 TIARA タンデム加速器）や種々の重粒子線（放医研 HIMAC）を照射した際のアミノ酸(前駆体)生成の比較を行った。また、加水分解前の複雑有機物の特性化を熱分解 GC/MS、STXM-XANES 法などで行い、隕石・彗星有機物との関連を議論した。

いずれの粒子線照射においても生成物を加水分解すると種々のアミノ酸の生成が確認された。エネルギー収率は線種により異なり、今回用いた中では Ne 線(400MeV/u)が最大の G 値を与えた。本実験生成物は推定分子量 2000 の複雑な有機物であり、STXM-XANES 法で特性化したところ、隕石や彗星有機物よりも芳香族炭素の割合が低いことがわかった。この原因としては、(1) 星間塵中の炭素粒子や PAH などの寄与、(2) 分子雲で生成後、散光星雲や原始太陽系星雲、隕石母天体中などでの紫外線などによる変成による有機化合物の芳香族化、などが考えられる。

現在、星間に存在する炭素粒子や PAH の役割を調べるため、出発材料にグラファイト、フラーレン、PAH 等を添加した実験も行い、星間に存在する炭素粒子等の化学進化への影響を調べている。また、粒子線照射で生成した複雑有機物の紫外線や粒子線、熱水反応などによる変成過程についても実験を行う予定である。

氷星間塵表面におけるホルムアルデヒドの重水素化経路の特定

Clarification of the key routes for deuteration of formaldehyde on icy grain surface

○渡辺元浩¹, 日高宏¹, 渡部直樹¹, 香内晃¹

¹北海道大学 低温科学研究所

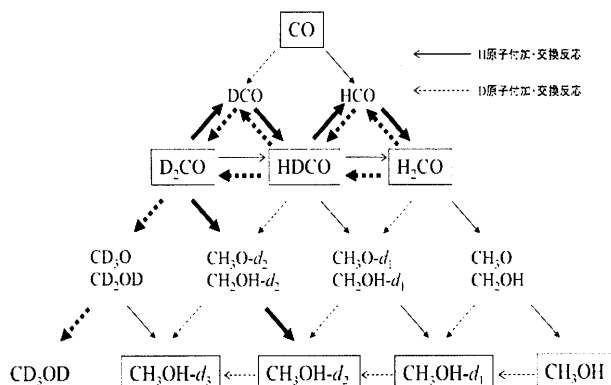
これまでの天文観測により, 分子雲中にはホルムアルデヒドの重水素置換体 (HDCO, D₂CO) が見つかっており, その存在比 (HDCO/H₂CO=0.17, D₂CO/H₂CO=0.05) は宇宙の水素同位体比 (D/H=10⁻⁵) よりもはるかに大きいことがわかっている. この高度な重水素濃集は気相反応では説明できない.

著者らはこれまでの研究で, ホルムアルデヒドが星間塵表面で生成されることを明らかにしており, 重水素濃集も星間塵表面反応に起因するのではないかと考えている. 本研究ではアモルファス H₂O 氷を超真空容器中の 15K の Al 基板上に作成し, その上に蒸着した H₂CO に D 原子を, D₂CO に H 原子を照射する実験を行った. そこから生成した分子を FT-IR で同定し, ホルムアルデヒドの重水素化経路の特定を行った.

D 原子照射実験では H₂CO の減少に伴い, HDCO, D₂CO, CD₃OD が生成された. これは, D 原子照射によって, 引き抜き・付加反応 (H₂CO+D → HCO+HD, HCO+D → HDCO) または H-D 交換反応 (H₂CO+D → HDCO+H) が起こり, H₂CO → HDCO → D₂CO と変化したと考えられる. その後, D 原子付加により, 重水素化メタノールが生成されたことを示している. 一方で, H₂CO → CH₂DOD といった H₂CO への D 原子付加反応は確認できなかった. 以上のことから, 引き抜き・付加反応, 及び H-D 交換反応の速度は D 原子付加反応の速度よりも十分大きいと思われる.

D₂CO に H 原子を照射した場合, ホルムアルデヒドの D-H 交換反応, 及び H 原子付加によるメタノール生成経路 (D₂CO → HDCO → H₂CO → CH₃OH) と D₂CO への H 原子付加反応経路 (D₂CO → CHD₂OH) の両方の反応経路がみられた.

ポスターでは, 今回の研究結果と過去のメタノールの重水素化過程に関する研究とをあわせて, 星間塵表面におけるホルムアルデヒド, メタノール重水素体の生成経路について議論を行う.



土壌物質アロフェンを用いた非生体アミノ酸光学活性体の吸着分離の可能性

○橋爪秀夫¹

¹ 物質・材料研究機構

【はじめに】生物がアミノ酸や糖の光学活性体の一方を主に用いてる光学活性体の起源について、様々な仮説を基に研究が行われている。粘土鉱物は生体有機物との親和性があることから、生命の起源になんらかの影響を与えたと言われている。またある種の粘土鉱物や鉱物にキラルな構造を示唆する報告があることから、粘土鉱物や鉱物により光学活性体の選択的吸着分離の可能性が示唆されている。アロフェンは火山灰の風化土壌中に存在する物質であり、直径が約5 nmの中空球状のアルミニウム珪酸塩である。外壁はギブサイト構造のアルミニウム層であり、内壁は珪素の水酸化物層である。Al/Si比は1~2である。またアロフェンには幾つかの穴があり、外部と内部が繋がっている。この穴の壁面にキラルな構造があると言われている。本報告ではアミノ酸のDとL体を平衡pH 4と6、8で岩手県産のアロフェンに吸着し、DとL体の吸着等温線の違いを調べた。生体アミノ酸の場合、微生物等の影響によりL体の吸着量が見かけ上多くなることがあるため、生体で使用されていないノルバリン(nVal)、ノルロイシン(nLeu)、フェニルグリシン(Pheg)、ホモフェニルアラニン(hPhe)を用いた。

【実験】アロフェンはHashizume & Theng (2007)に従い分離精製したものを用いた。吸着実験はバッチ法で行った。アミノ酸溶液は $\sim 10 \text{ mmol} \cdot \text{dm}^{-3}$ を用意した。但し、hPheの場合、溶解度から $\sim 1.5 \text{ mmol} \cdot \text{dm}^{-3}$ を用意した。平衡pHが4、6、8になるようにHClやNaOHで溶液のpHを調節した。200mgのアロフェンと 6 cm^3 のアミノ酸溶液を密閉式の試料ビンに入れ、20時間攪拌した。攪拌後、遠心分離により固液を分離し、上澄み液と出発溶液を全有機炭素計により分析した。得られた炭素量からアミノ酸濃度を見積もり、出発溶液と上澄み液の濃度差から吸着量を求めた。

【結果と考察】それぞれのアミノ酸のDとL体の吸着等温線を比較すると、nLeuのpH6と8で僅かにL体が多く吸着した。その他のアミノ酸ではDとL体の吸着等温線の違いは殆どなかった。pHによる吸着等温線の違いはnValではpH8がpH4や6よりも低くなり、nLeuの吸着等温線は $\text{pH}6 > 4 > 8$ の順になった。PhegはpHによる吸着等温線の違いは殆どなく、hPheはpH8で吸着等温線が高くpH4と6はほぼ同じであった。今後、nLeuのDとL体の吸着等温線の僅かな違いについて、さらに検討する必要がある。

【参考文献】

Hashizume and Theng, *Clays and Clay Minerals*, 55, 599-605 (2007).

月惑星表層元素分析のためのガンマ線検出器性能評価

○井上洋介^{1,2}、三谷烈史²、高島健²

¹ 東京大学、² 宇宙航空研究開発機構宇宙科学研究本部

月惑星表層の岩石はその天体が経験してきた結晶分化過程の情報を持っており、表面の元素組成を知ることは、月惑星の形成過程を理解する上で重要である。表層の元素組成を知る方法として、表層から放出されるガンマ線が利用できる。元素の放射崩壊や宇宙線と表層物質との相互作用により発生するガンマ線は、その元素固有のエネルギーを持っており、そのエネルギーを測定することで元素を同定し、その強度を測定することで元素の存在量を知ることができる。

これまでに月惑星探査用のガンマ線分光計を搭載した探査機がいくつか打ち上げられており、かぐやなどは優れたエネルギー分解能をもつ Ge 半導体を用いたガンマ線検出器を搭載している。しかし Ge は液体窒素温度でないと作動せず、そのため冷凍機を用いて冷やさなければならない。将来の月惑星探査における月惑星表面上への着陸船・ローバーへの搭載を考えると、検出器の軽量化、小型化、省電力化が必要となり、冷凍機は条件を満たすために不利である。そこで近年では、Ge に匹敵するエネルギー分解能を持ちながら常温でも動作が可能である CdTe 半導体を用いた検出器の開発が進められている。月面昼間での動作を考えると、室温以上の高温側での検出器の性能を調べておく必要がある。高温環境で大きくなるノイズを軽減するため、電極を細分化（ストリップ化）して各電極ごとに信号を読み出せるようにし、各信号処理には多チャンネル読み出しが可能なアナログ LSI を使用した。本研究では、その CdTe ストリップ検出器のエネルギー測定範囲、エネルギー分解能、温度特性について評価を行った。

本検出器のガンマ線応答を評価するために、放射線源から発生するガンマ線を照射した。1.3 MeV までスペクトルピークを得、エネルギー分解能は 662 keV のピークにおいて半値全幅で 2.5% (@17 °C) という結果となった。温度特性を評価するために、検出器を 20, 30, 40, 50 °C の環境におき、662 keV のガンマ線に対する応答に注目して、評価を行った。40 °C まではスペクトルを得ることができ、40 °C でのエネルギー分解能は 4.3% となった。また 50 °C での測定ではノイズが大きくなりスペクトルを取得することが出来ないという結果になった。

この結果を踏まえ、エネルギー分解能を決めている要因を理解するため、アナログ LSI を用いずに単素子で詳細に実験を行った。本発表では上記の CdTe ストリップ検出器を用いた実験の結果とともに、単素子での結果を報告する。

月面重力計を用いた Unlocated Deep Moonquake の震源決定

○ 川村太一¹、田中智²、小林直樹²

¹東京大学大学院地球惑星科学専攻、²ISAS/JAXA

月の起源や進化を考える上でその内部構造は重要な情報であり、その主要な情報源の一つがアポロによる月震観測である。深発月震は観測された月震の中でも数が最も多く、周期的に、特定の震源で繰り返し発生することが知られている (Lammler 1977)。これまでに約 90 個の深発月震の震源が特定されている (Nakamura 2005)。一方で約 60 個の深発月震が波形の特徴から分類がなされているが震源位置が決められていない。このような深発月震の多くは S/N が悪く、十分な数の到達時刻の読み取りが行えていない。震源の決められていない深発月震、unlocated deep moonquakesの中には震源が月の裏側に存在するものも含まれていると考えられており、これらの震源を特定することで月の内部構造について新たな情報が得られると期待される。これまでの研究で我々はアポロ 17 号に搭載された月面重力計 Lunar Surface Gravimeter

(LSG) が月震計として利用できることを示した。本研究では LSG のデータを加えることで Nakamura (2005) で震源が決められないとしている unlocated deep moonquake の震源決定を試みる。

本研究で用いたデータは LSG のデータが得られている 1976 3/1~1977 9/30 の期間のものであり、この期間に月震がおこっている unlocated deep moonquake は 40 例あ

る。これらの 40 例について LSG でシグナルが検出されているかを確認し、波形が確認できたものについては波形をスタックし、S/N の向上を試みる。その後、他のアポロの月震計のデータを加え、到達時刻の読み取りを行い、震源決定を行う。40 例中、5 つの深発月震について新たに震源決定を行うことができた。5 つのうち A284 と呼ばれる深発月震は震源が裏側にあることがわかり、残りの 4 つは震源が観測ネットワークの近傍に決まった。裏側に決まった 1 点は過去に震源が推定されている深発月震を含めても観測ネットワークから最も遠い震源であり、これまでよりも月の深い領域の情報を含んでいると考えられる。波線の計算から A284 深発月震で観測される波線の最深点は深さ 1300~1500 km となり、過去に速度構造が推定されている深さ 1000 km を上回り、半径約 300 km と言われている月のコアを通過している可能性も考えられる。今後さらに解析をすすめ、新たに震源を決めた深発月震から月のより深部の情報を抽出することを試みる。

「かぐや」地形データを用いた月の表裏のモホ面温度の推定

○森 朝子¹, 並木 則行², 岩田 隆浩³, 花田 英夫⁴, 荒木 博志⁴

¹九州大学大学院理学府 地球惑星科学専攻, ²千葉工業大学 惑星探査研究センター

³宇宙航空研究開発機構 宇宙科学研究本部, ⁴国立天文台

月は、裏側の地殻は厚くて表側の地殻は薄いという二分性を持つ。さらに、basin についても、その性質は月の裏側と表側で大きく異なる。Namiki *et al.* (2009) では、月周回衛星「かぐや」の地形と重力異常の観測結果から、月の裏側、特に Type I の basin では、basin 形成後、温度が低く、表面地形とモホ面の起伏は固いリソスフェアで支えられて粘性緩和は起こっていない。それに対して、表側の basin では表面地形の緩和が進み、モホ面では粘性緩和が起こっていると解釈されている。本研究では、「かぐや」で得られた Hertzprung basin の topography を地殻とマンツルの密度が不連続で、深さ方向の粘性変化を考慮した二層の非圧縮性流体一次元モデルに適用する。裏側と表側では異なる地殻の厚さを設定して、表面地形とモホ面の起伏の粘性緩和変化を求めた。計算により、月の裏側において basin の表面地形とモホ面の起伏が 5 億年間で粘性緩和を起こさない温度条件は、モホ面の深さ 100 km で 750 K 以下となる。月の表側において basin のモホ面の起伏が 1 億 ~ 5 億年で粘性緩和を起こす温度条件は、モホ面の深さ 60 km で 870 K 以上となる。裏側と表側の地温勾配はそれぞれ $dT/dz < 5.0$ K/km と $dT/dz < 10$ K/km であり、basin の形成後、表側に比べて裏側は温度が低いことが分かる。

また、basin の重力異常から、裏側のモホ面は中心部が鋭角で月表面に向かって大きくせり上がった形状をしているが、粘性緩和した表側の basin のモホ面は中心が平らで、斜面が急な台地状の形状をしていると推測できる。従って、basin 形成時に中心部が鋭角なモホ面が粘性緩和で台地状に変化したと考えられる。このためには、せり上がったモホ面の頂上を変形させるメカニズムが必要になり、マグマが地下深部から運んできた熱によってモホ面の粘性緩和が促進された可能性が考えられる。今後、マグマの運ぶ熱によるモホ面の変形プロセスについて議論を進めていく。

月周回衛星かぐやで取得した分光観測データによる Dark Mantle Deposit を形成したマグマの噴出形態推定

○小林佑輔^{1,2}、大竹真紀子²、春山純一²、松永恒雄³、
岩田隆浩²、諸田智克²、横田康弘²、山本聡³

¹ 東京大学、² JAXA、³ 国立環境研

はじめに

Dark Mantle Deposit (DMD) 領域は海の玄武岩領域よりも反射率が低く、噴水状または爆発的に噴出したマグマの飛散冷却により生成されたガラスビーズと少量の結晶が堆積したものであると考えられている¹⁾。各 DMD 領域において、ガラスビーズと結晶の量比 (GCR)、堆積物の分布、それぞれの化学組成、噴出口と周囲の地形を知ること、噴出時の温度、圧力、速度、マグマの組成、噴出口外に飛散した噴出物量などの噴出形態の情報を得ることができる。これらの情報は、各マグマソース中の揮発性物質の含有量 (速度：大 → 揮発性物質：多) などを推定し、月の熱史を理解する為に非常に重要である。本研究では、かぐやマルチバンドイメージャ (MI) による DMD 観測データを用いてマグマの噴出形態を推定する。

DMD 領域の解析

約 73° S、135° E を中心に多重リングを持つ衝突盆地 (Schrödinger Basin) 内にある 560 km² の DMD の解析を行った。DMD 領域の内部には地溝に沿った噴出口があり、この噴出口はマールタイプという一度の爆発により形成されたもので、そこからの噴出物が DMD を形成したと考えられている²⁾。

MI の高空間分解能 (VIS: 20 m, NIR: 62 m @100 km) 反射スペクトルデータからは、噴出口に近いほど全波長帯で低い反射率を示すという結果を得た。これは、噴出口に近いほど堆積物の量が多いことを示している。さらに、噴出口からの距離に関係なく、DMD 領域全体でガラスビーズが支配的であるということが、従来の GCR を求める 415/750 nm と 750/950 nm の比³⁾の値を用いた結果わかった。以上から、噴出物はガラスビーズが支配的で、噴出口に近いほど多く堆積しているという推定が可能となった。

一方、地形情報としては、これまでは噴出口のリムが数百メートルあるということしか示されていなかった²⁾が、MI の高度データからは、直径約 17 km、高さ 200–300 m のほぼ円錐形の山の中央に噴出口があり、噴出口のリムからの深さが約 500–600 m であることが新たにわかった。これまで、爆発による DMD の噴出量は噴出口の体積から推測されてきた⁴⁾が、Schrödinger Basin の噴出口の体積を地形情報から推定した結果、周囲の山を形成する量の約 1/6 しかないことがわかった。これは、噴出口周りの山が堆積物起源ではないもしくは、噴出形態が一度の爆発以外であった可能性を示している。

参考文献 1). Gaddis et al., Icarus 61, 461 (1985), 2). Shoemaker et al., Science 266, 16 (1994), 3). Weitz et al., JGR 103, E10, 22725–22759 (1998), 4). Head et al., JGR 107, E1, 5001 (2002),

「かぐや」重力・測地データから見た 南極エイトケン盆地の形状

South Pole Aitken Basin from Kaguya Gravity/Topography Data

○佐々木 晶¹, 石原 吉明¹, 並木 則行², ホーセンス サンダー¹, 荒木 博志¹,
野田 寛大¹, 松本 晃治¹, 花田 英夫¹, 岩田 隆浩³, 杉田 精司⁴

¹国立天文台, ²千葉工大, ³JAXA, ⁴東大

日本の月周回探査機「かぐや」は世界で初めて、月の裏側の正確な重力場のデータを取得した(Namiki et al., 2009)。また、レーザ高度計により、世界で初めて、極域を含む正確な月面地形データを求めた(Araki et al., 2009)。このデータを組み合わせて、これまでもっとも信頼できる月の地殻厚さ分布が取得されている(Ishihara et al., 2009)。

Garrick-Bethell and Zuber (2009)は、主にクレメンタイン高度計データに基づいて、南極エイトケン盆地全体が1:1.3の楕円形であり、これは斜め衝突によって形成されたと主張している。Fe や Th の分布も議論に使われている、ただし、この形状決定は地形は中緯度側のデータを基本的に使用して求めている。「かぐや」の測月データでは、ブーゲー重力異常や地殻厚さを見る限りは、楕円形の方法は合っているが縦横比は小さい。

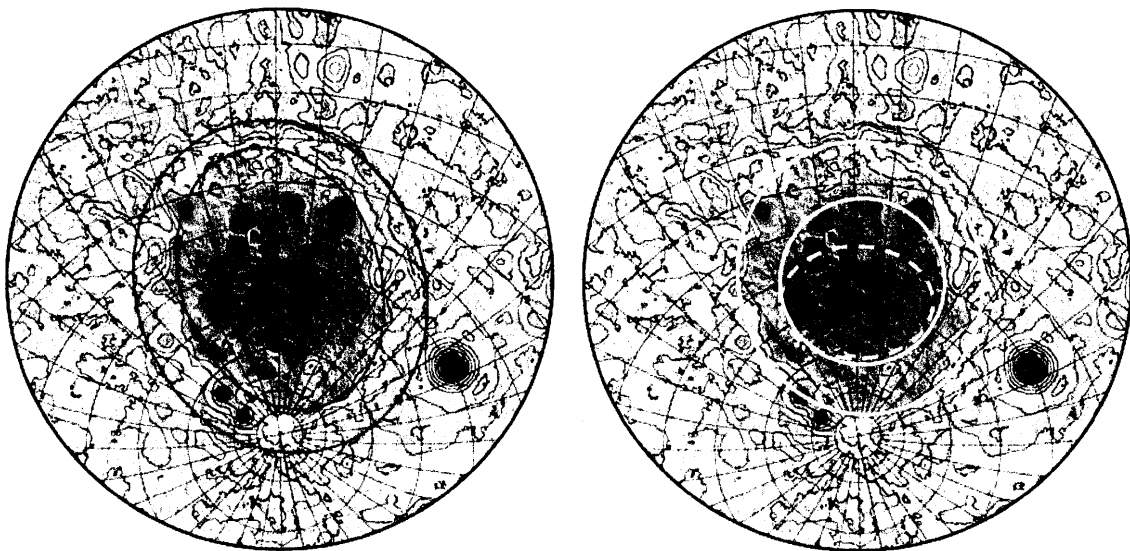


図 南極エイトケン盆地の地殻厚さ。左は Garrick-Bethell and Zuber の楕円形、右は、地殻厚さをベースに引いた形状。中心の薄い領域は点線のようにむしろ直交方向に伸びる楕円形状をしている。

かぐやガンマ線分光計の月撮像から得たレゴリス中の自然放射性元素の絶対濃度

○¹小林 進悟、²奥平修、²唐牛 譲、¹晴山慎、²山下直之、²長谷部信行、³柴村英道、⁴小林正規、²早津佳那子、²武田侑子、²塚田耕一、²長岡央、²町田二郎、²森田幹雄、²藁科至智

¹宇宙航空研究開発機構、²早稲田大学理工学研究所、
³埼玉県立大学、⁴千葉工業大学惑星探査研究センター

月の自然放射性元素（カリウム、トリウム、ウラン）の絶対濃度は月の起源と進化を考える上でひとつの鍵となる。月バルクの難揮発性元素の量は月の起源を制約するうえで重要であるが、この難揮発性物質の量は、同じ難揮発性元素であるトリウムの月地殻とマントル中の存在量と地殻の厚さや密度から計算することができる。ガンマ線分光計によるリモートセンシングでは月の表層レゴリス（数 cm ～数十 cm）の情報しか得られないが、月面のトリウム量の分布と地形情報を統合することで（ex. ベースンの内側やリムのトリウム量を計測）地殻のトリウム量を推定することが可能である。また月バルク組成の問題に限らず、月の地殻形成や月火山活動の熱源を議論する上で自然放射性元素は特に重要である。本研究では、月表層の自然放射性元素の絶対濃度とその分布を高い精度で決めることを目的としている。

ルナプロスペクタに搭載されたガンマ線分光計 (LPGRS) は月全球観測を行うことで自然放射性元素 (K, Th) が月表層に偏在することを発見し [1]、最新の研究成果では月面の平均トリウム濃度は 1.7 ppm であることを報告している [2]。一方でアポロ試料分析結果と LPGRS が測定した濃度の不一致に関して長らく議論されてきており、LPGRS のセンサの性能から考えてもこれまで以上の精度の高いデータ較正は難しいと思われる。

かぐやガンマ線分光計 (KGRS) は、LPGRS に比べ 6～12 倍もの非常に優れたエネルギー分解能を持つため明瞭にガンマ線ピークを識別することができる。このことから KGRS では、月面の自然放射性元素分布の測定に限って言えば、濃度決定精度の飛躍的な向上、元素の最小検出限界の低減、また初めてウラン分布の測定が可能になる。さらに KGRS では月面の K, Th, U の絶対濃度を決定する手法を開発している [3]。この絶対濃度決定法は、アポロ試料、月隕石、過去のリモートセンシング観測結果とは完全に独立に濃度を定めることができる点で特徴的である。また 1 つの元素からの複数のラインガンマ線を観測することで、濃度測定結果のセルフチェックができる点で、これまでの月のガンマ線リモートセンシングの手法とは一線を画すものである [3]。

本研究では、2007 年 12 月から 2008 年 2 月にかけてかぐやガンマ線分光計で取得した月面ガンマ線スペクトルデータの解析を行った。まず、月面を約 300km×300km の面積を持つ等面積ピクセルに分割し、それぞれのピクセルに対応したガンマ線スペクトルを得た。ガンマ線スペクトルは全ピーク面積法を用いて解析を行い、スペクトルから正味のラインガンマ線強度を得たのちに月面の絶対濃度に変換した。月面の表側、裏側を含めた全球的なカリウムとトリウム量の相関は従前からいわれていたように線形相関であることがわかり、またその傾きはアポロ試料の結果や最新の LPGRS の結果と矛盾しなかった。本発表では、以上のカリウムとトリウムの相関および月面分布について最新の解析結果を報告する予定である。

- [1] Lawrence et al., Science 281, 1484, 1998.
- [2] Prettyman et al., JGR, 111 E12007, 2006.
- [3] 小林進悟ほか、日本地球惑星科学連合 2009 大会.

かぐや LRS データを用いた月の溶岩噴出量の見積

○渡辺 志穂¹, 押上 祥子¹, 山口 靖¹, 山路 敦²,

小野 高幸³, 熊本 篤志³, 中川 広務³, 小林 敬生⁴

¹名古屋大学, ²京都大学, ³東北大学, ⁴韓国地質資源研究院

月の海の産状や、その表面で観察される蛇行リル(Sinuuous rille)と呼ばれる地形などに基づいて、月の海の玄武岩質溶岩の噴出様式は、地球の洪水玄武岩(デカントラップ、コロンビア川台地など)を産出した火成活動と類似しているといわれている。Schaber[1973]は、雨の海の表面に堆積する溶岩流の体積を、先端の崖を観察した結果などから求め、コロンビア川台地の体積と比較している。月の火成活動は約 40–12 億年前まで続いたといわれているが、ほとんどの玄武岩は始めの 5 億年間で噴出したと考えられている[Hiesinger et al., 2003]。これに対し、地球の洪水玄武岩(コロンビア川台地)は、1750–1450 万年前までの 300 万年間に噴出した[Self et al., 2006]。この噴出期間を基に、Schaber[1973]が求めた体積から噴出率を算出すると、コロンビア川台地が 10^4 – 10^5 km³/Ma であるのに対し、雨の海の溶岩流では 10^2 km³/Ma となり、後者のほうが 2–3 桁小さいことを示した。月周回衛星かぐやに搭載された LRS は、初めて玄武岩層間の境界を検出することに成功した。そこで本研究では、LRS データを用いて地下に堆積する玄武岩の深さから、1 ユニットあたりの体積と、各海に堆積する玄武岩の総体積を見積もり、地球の洪水玄武岩と比較した。LRS によって検出される境界面は、玄武岩質溶岩を堆積させた火成活動の合間に蓄積したレゴリス層であり、盆地の底を検出できていない可能性が高い[Ono et al., 2009]。よって、LRS データから見積もられる各海に堆積する玄武岩の総体積は最小値である。地質区分と年代は、Hiesinger et al.[2000, 2003]と Kodama and Yamaguchi[2003]を使用した。地球の洪水玄武岩のデータは Self et al.[2006]を使用した。

海の玄武岩の 1 ユニットの地下反射面の最大深度と表面積をかけて求められた体積は 10^4 – 10^5 km³ となり、デカントラップの 1 ユニットの体積とほぼ一致した。次に、各海に堆積する玄武岩の総体積を求めた結果、デカントラップと面積が同程度の雨の海では 6.5×10^5 km³ となった。これは、デカントラップの 1.0×10^6 km³ と比較するとやや小さい値となっているが、体積は最小値であり、海の底までの玄武岩の総体積はデカントラップと同等かそれ以上になる可能性がある。以上の結果から溶岩の噴出率を求めると、嵐の大洋の 1 ユニットの体積と年代から求められた噴出率は 10^3 km³/Ma となり、Schaber[1973]の体積を基に算出した噴出率よりも 1 桁大きくなった。また、総体積から求められた噴出率も、ほとんどの玄武岩が火成活動の始めの 5 億年間で噴出したとすると約 10^2 – 10^3 km³/Ma となり、1 ユニットから求められたのと同様の値が得られた。以上の結果から、月の火成活動は、地球の洪水玄武岩を噴出した火成活動と比べると、1 ユニットの溶岩噴出量や総体積は、地球の洪水玄武岩と同規模だったこと、火成活動の継続時間は長いため、噴出率は 2 桁小さいことが明らかとなった。

かぐやによる SPA 盆地の分光観測データを用いた月 SPA 盆地内鉱物分布と 巨大インパクトによる地殻掘削過程の研究

○上本季更^{1,4}, 大竹真紀子¹, 春山純一¹, 松永恒雄²,
横田康弘¹, 諸田智克¹, 中村良介³, 山本聡², 岩田隆浩¹

¹宇宙航空研究開発機構, ²国立環境研究所, ³産業総合研究所, ⁴東京大学

月裏側にある South Pole-Aitken 盆地 (SPA 盆地) は、巨大インパクトにより形成されたと考えられている。同盆地ではこの衝突により、表面の地殻が剥ぎ取られ、下部地殻ないしマントルが露出していると考えられてきた*¹。特に盆地の最深部においては、衝突による掘削が最大だったために、表層の斜長石に富む地殻はすべて外へ飛散した可能性が高いとされる*²。一方、Pieters et al. (2001) では、SPA 盆地内の縁に近い部分に位置する Alder クレーター南部リムに斜長岩が存在すると報告されている*¹。しかし、そのような岩石が広く存在するかは、未だ明確ではない。そこで本研究では、SPA 盆地の深部のクレーターにおいて、上部地殻物質である斜長岩 (>95vol.%斜長石) の有無を確認し、岩石種やその分布を解析することにより、巨大インパクトによる同盆地の地殻掘削の程度および過程を解明することを目的とする。

本研究では、研究手段として月周回衛星かぐや搭載のマルチバンドイメージャ (MI) による分光観測データを用い、SPA 内部のクレーターやその近辺の反射スペクトル解析を行った。MI は、可視 (VIS) においては 450, 750, 900, 950, 1000 nm, 近赤外 (NIR) においては 1050, 1250, 1550 nm のバンドを観測する。それらの MI 画像を用いて、斜長石 (1250 nm 付近)、輝石 (950 nm 付近)、かんらん石 (1050 nm 付近) の吸収をそれぞれ観察し、斜長岩の存在を確認するとともに、各観測地点の岩石種を調べた。解析する地域は、斜長岩が、有色鉱物を多く含む岩石よりも反射率が高いという特徴を用いて、SPA 盆地の衝突の深部から、反射率の高い場所を Clementine 750 nm-basemap を用いて選定した。今回の研究では、直径約 20~85 km の Hopmann, Numerov, Poincare の北部、Alder の北部のクレーターを分析した。

結果としては、Hopmann, Numerov, Alder 北部のクレーターにおいて、斜長石に富む岩石は見られず、主に Ca に富む輝石で構成されていることがわかった。一方、Poincare 北部のクレーターにおいては、クレーター内の北部と南部のリム上に斜長岩が見られることがわかった。

上記より、SPA 盆地の衝突の深部にも斜長岩が存在している可能性が見出された。本発表では、この結果とともに同盆地内の他のクレーターの解析結果についても報告する。

* 1 C.M.Pieters et al., Journal of Geophysical Research, vol. 106, No. E11 (2001)

* 2 Paul D.Spudis et al., Science, 266, 1848-1851 (1994)

SELENE-2 に向けた ガンマ線・中性子分光計の開発と目指すサイエンス

長谷部 信行¹、小林 進悟²、○三谷 烈史²

1: 早稲田大学 理工学研究所 2: 宇宙航空研究開発機構 宇宙科学研究本部

月の起源と進化を理解するためには月表層の物質組成は有用な情報であり、さらに月深部物質の情報が得られると、月の3次元的な物質分布を推定することにつながり、月起源に関わる月バルク組成や月初期進化を解明する上で重要なマグマオーシャンとその後の月火山活動のメカニズムに対して制約を与えることができる。*Kaguya* 搭載のガンマ線分光計による遠隔探査では月探査史上最高の精度で月表層の元素分布データを取得している (Hasebe et al 2008、小林他ポスター P209)。今後、月深部物質の情報を獲得するため、月深部が露出していると考えられている特徴的な地点 (クレータ中央丘、SPA、溶岩流上)、あるいはこれまで着陸探査の行なわれておらず、月の形成・進化を考える上で重要と思われる新しい地域 (Apennine Bench Formation やコーン・ドーム、コペルニクスクレータの内部など) に着陸し、ガンマ線・中性子分光計 (GNS) を用いて表面のレゴリスや岩石を調査し、元素分析を行なうことが重要であると考えている。

そこで我々は、月着陸実証を中心とした次期月探査計画 SELENE-2 に搭載するために、GNS の開発を進めている。GNS には自然放射性元素の量を測定できるという特徴があり、PKT 地域、月の火山活動や月のバルク組成に対して重要な制約を加えることができると考えている。また、将来のサンプルリターン時のその場における岩石サンプルの分析・判定において、KREEP 物質の量は重要なパラメータの1つであり、GNS はその技術検証という意味も持つ。

月科学を進展させる上で鍵となる自然放射性元素 K, Th, U の調査においては、ガンマ線検出器の独壇場である。月を構成する主要元素についても、銀河宇宙線を励起源として利用することにより、能動的な励起源を使用しなくても、ある程度の精度で計測でき、岩石の同定ができる。一方、月面から放射される中性子強度は月の鉄やチタン量に大きく依存することが知られている。中性子では、ガンマ線のように個々の元素を同定することはできないが、ガンマ線に比べて検出感度が高いために中性子線束の変化を計測しやすく、バルクレゴリスで深さ約 1 m 程度を構成するものが玄武岩質の岩石か斜長岩質な岩石なのかが同定できる。さらに、ガンマ線強度は、中性子強度と深く関連することからガンマ線計測の精度を向上できる。また、GNS の特徴の1つとしてサンプルの切断・研磨の必要が無い点は、計測そのものが容易でリスクが低い点で特徴的である。

GNS は表面移動探査機 (ローバ) に搭載し、常に測定モードを保つことを想定している。ローバで移動しながら着陸点周辺のレゴリスの元素組成分布の測定をガンマ線分光計と中性子分光計を用いて行う。検出器には、低エネルギーガンマ線センサとして CdTe 半導体、高エネルギーガンマ線センサとして LaBr₃ 結晶、熱・熱外中性子検出器として中性子コンバータと Si 半導体、を用いることを検討している。CdTe 検出器や LaBr₃ 検出器は、*Kaguya*-GRS で使用した Ge 検出器には及ばないものの、Apollo、Lunar Prospector、Chang'E-1 に搭載されたガンマ線分光計よりも優れたエネルギー分解能を有し、元素弁別能力や最小検出感度が高い。さらに CdTe、LaBr₃ は、Ge 検出器よりも小型・低消費電力・温度環境という点で優れている。

本発表では、こうした検出器の開発状況や、予想される感度、予想されるサイエンス成果についての報告をする。

将来月探査候補地について SELENE 搭載 LISM 地形カメラで得られた情報を元に

○春山純一¹, 大竹真紀子¹, 松永恒雄², 諸田智克¹, 横田康弘¹ / ¹独立行政法人宇宙航空研究開発機構、²国立環境研究所

1. はじめに

本稿では、SELENE 搭載 LISM 地形カメラで得られた情報を元に将来月探査候補地についての検討を紹介したい。なお本予稿執筆時点では、将来の月探査については、明確な方針が未だ無いため、本予稿では、探査対象として興味深い地域地形の紹介にとどめる。

2. 極：永久影内、永久日照域候補地調査

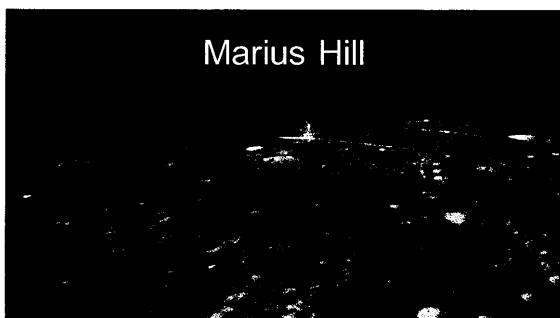
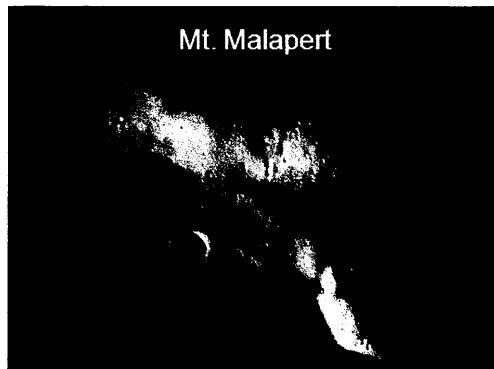
(マラペール山、シャクルトン近傍)

3. 嵐の大洋：最近の火山活動、年代

(マリウスヒル、リヒテンベルグクレータ、ライナーガンマ)

4. 中央丘：地殻構造、衝突素過程

(ジャクソンクレータ、チコクレータ)



かぐや／MI データを用いたシュレーター谷 内側の鉱物組成分布の調査結果について

○本田親寿¹、大竹真紀子²、松永恒雄³、春山純一²、
小川佳子¹、諸田智克²、横田康弘²、出村裕英¹、平田成¹、浅田智朗¹
¹会津大学、²宇宙航空研究開発機構、国立環境研究所

シュレーター谷は蛇行した形状をもつ地形であることから、コブラヘッド状の噴火口から流れ出た溶岩流によって形成されたことが予想されてきた。本研究では、シュレーター谷がコブラヘッド状の噴火口から月の玄武岩質溶岩が、Aristarchus Plateau を浸食しながら流れたことによって形成された谷であると考えて、かぐや/DTM データを用いてシュレーター谷の深さ変化を調べた。その結果は、噴火口から離れるに従ってシュレーター谷の深さは次第に浅くなるという特徴を持っており、溶岩流の浸食力は溶岩流が流れてそれに伴った温度低下により弱くなることと整合性がある結果となっている。

さらにシュレーター谷内部のスペクトル情報をクレメンタインデータを用いて調べた。シュレーター谷を形成した溶岩流が流れ去った後、谷内部にわずかに残った溶岩のスペクトル特徴を示すはずである。調査の結果、コブラヘッド状の噴火口から流れ方向に約 90% はスペクトルは変化していないが、流れ終わり付近の約 10% はより「iron-rich, lower-titanium」のような特徴を示すことが分かった。ただし、この特徴はシュレーター谷外部の高地物質にアリストアルカスクレーターからの放出物によって汚染されたスペクトルと一見類似しているため、溶岩流の化学組成が結晶晶出（分別）などによって変化したかどうかの制約条件を与えてくれない。本研究では、空間分解能やスペクトル分解能に優れたかぐやデータを用いて詳細なスペクトル変化や鉱物組成分布を調べることにより、シュレーター谷を形成した溶岩流の物理過程について制約を与える。

小型無人観測飛行機の開発・運用と 火星飛行探査計画をめざした活用

○佐伯和人¹, 小島知子²

¹大阪大学 大学院理学研究科, ²熊本大学 大学院自然科学研究科

1. はじめに 活動中の火山等, 危険な地域を調査する際や, 地震災害被災地の被害状況を調査する際に, 観測ツールとして安価かつ安全に運用することができる, 無線操縦無人観測飛行機 SKY-1 を開発し運用を続けている. 今回は, SKY-1 の最新の到達性能を紹介し, 阿蘇火口における試験観測運用の結果と, 宇宙開発と関連させた研究の展開について報告する.

2. 無人観測機 SKY-1 の特徴

無人観測機SKY-1 (図1) の特徴はその安全性と経済性である. 一機分の材料費は約3万円なので, 負担は少ない. 機体の大部分は弾力性のある発泡ポリプロピレンでできており, また, 推進装置として, プロペラが外部に露出しない電動ダクトドファンを採用しているので, 人に衝突しても怪我を負わせる心配がなく, 手で受け止めて回収することもできる. 翼幅92 cmの機体の重量は動力バッテリー込約500 gで, 300 gの観測機器を搭載することができる. 機体は主翼と水平尾翼を含む水平面部品と, 胴体と垂直尾翼を含む垂直面部品とに分割できるため, 機体3機を箱詰めにして背負って登山することが可能である. 試験飛行において高速機動時の安定性に問題があったため, 模型飛行機製作・飛行の専門家である中西信昭氏 (スカイサポート) に改良を依頼し, 飛行性能を大きく向上させた. 結果, 風速10 m/s 下でも飛行可能な機体となった. 現在GPS自動操縦モジュールの搭載の試みも行っている. 火星探査飛行機用の小型カメラや, エアロゾル採取装置などの実証試験に活用可能である.

3. 阿蘇観測試験

阿蘇火口での実証試験を2009年3月に行った. 実証試験で, (1) 無人火山観測ロボット MOVE を空撮することによる上空支援ができること, (2) 火山噴煙のエアロゾルを直接採取可能であること, (3) 観光客のいる場所でも安全に離着陸できること, (4) カタパルトによる無

人射出が可能なこと, などが確認できた. なお, エアロゾル採取実験では, 火山エアロゾルとしては珍しく, 明礬石の粒子が多数捕獲されており, 阿蘇火山に特徴的な組成を示す, 火口上空での貴重な試料が得られた.

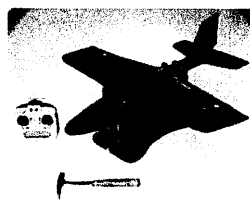


図1 SKY-1 外観

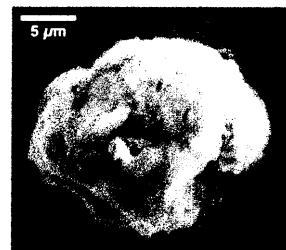


図2 噴気中から採取された粒子の二次電子像

4. 伊豆大島無人観測ロボットシンポジウム

無人観測飛行機だけでなく, 無人観測車の火山噴火観測を意識した実証試験大会の企画にも取り組んでいる. MOVE 計画の谷口宏充博士の協力を得て, 本大会の一週後の10月6日より, MOVE の伊豆大島三原山実証試験にあわせて, 環境省や自治体からの許可をとり, 無人観測飛行機と無人観測車の火山地形での実証試験を行うシンポジウムを開催する. 宇宙探査機開発者と火山学者の間をつなげる良い契機となるはずである. また本シンポジウムは, 今後毎年行う予定である. 詳細は, ウェブサイト

(<http://astrosis.ess.sci.osaka-u.ac.jp/oshima/symposium.html>) をご覧いただきたい.

謝辞

阿蘇火口での実証試験では, 東北大学東北アジア研究センターの谷口宏充博士, 後藤章夫博士, および MOVE チームにご協力いただいた. ここに感謝する. SKY-1 開発は科研費補助金(代表: 佐伯)によって, また阿蘇での MOVE との協調観測実験は科研費補助金(代表: 谷口)によって行われた.

マントル対流熱輸送モデルの数値計算との比較による評価

○立浪千尋¹、千秋博紀²、井田茂¹¹東京工業大学 地球惑星科学専攻、²千葉工業大学 惑星探査研究センター

地球型惑星内部の熱エネルギーは主に対流によって運ばれている。特に岩石マントルの熱対流は惑星内部の熱的状态や物質循環を律速しているため重要である。このマントル対流に関する解析的熱輸送モデルとしてはパラメタ化対流モデルと混合距離理論があげられる。Schubert and Turcott らによって提案されたパラメタ化対流モデルはマントルのレイリー数とヌセルト数の関係を解析的に導いて用いるもので、ここでヌセルト数は全熱フラックスと熱伝導によるフラックスの比をとったものである。しかし、このモデルではマントル粘性率の強い温度依存性による局所的な変化が考慮できず、実際のマントル対流をどれほど近似出来ているのかは疑わしい。これに対し Sasaki and Nakazawa や Abe らによって提案されている混合距離理論ではマントルの鉛直方向の粘性率の変化が考慮されているため、粘性率が強い温度、圧力依存性をもつマントル対流の性質を表すことが出来ると考えられる。

そこで本研究では多次元のマントル対流の数値流体計算を行い、得られた数値計算結果と各モデルから得られる熱輸送効率を比較することで各モデルの妥当性を評価した。

マントル対流の数値計算コードは非圧縮性とプラントル数無限大近似に SIMPLER 法を適用し、2次元、3次元の粘性率一定と粘性率が温度依存する場合についてレイリー数が 1.0×10^3 - 1.0×10^7 の範囲で定常状態（表面での熱フラックスの時間変化が 5%以下）になるまで計算を行った。また各解析的モデルについては定常状態を仮定して各レイリー数で得られる熱輸送効率（ヌセルト数）を求めた。結果から、粘性率が一定の場合についてはパラメタ化対流モデルがよい一致を示したのに対し、粘性率が温度依存する場合には、どのモデルも修正が必要であることが分かった。数値計算では粘性率のコントラストが大きくなるにつれ、対流セルのアスペクト比が大きくなることが示された。本発表では、これらの結果を用いて数値計算結果とフィットさせるために、パラメタ化対流モデルについては対流セルのアスペクト比、混合距離理論については混合距離の選び方をどのように修正すべきかについて議論する。

化石形状を記憶する準流体惑星の真の極移動について True Polar Wander on a Quasi-Fluid Planet with a Fossil Shape

原田雄司 (国立天文台 RISE)

Yuji Harada (RISE, NAOJ)

惑星・衛星に固定された座標系に対する自転軸の永年的変動を「真の極移動」と呼ぶ。本研究では固体天体の真の極移動をモデル化する為、リュービル極運動方程式の時間発展の半解析解を導出した。この力学モデルでは線形近似を前提とせず、その代替として準流体近似を適用した。この近似の目的は、例えばかつて火星が経験したような大規模な真の極移動にも応用可能なモデルとする為である。更に従来の研究と異なり、天体表面の弾性リソスフェアは太古の化石形状を記憶している、という自己調和的なモデルを想定した。そして軸対称の表層質量荷重を励起源として、それに対する自転軸の応答についてモデル計算を行なった。その際に、荷重の質量・成長率・定置緯度をパラメーターとして変化させた。

モデル計算の結果として新たに示された事は、極位置の時間発展の定置緯度依存性である。化石形状の存在を考慮しない従来のモデルでは、極位置の時間発展、特に平衡状態に達するまでに要する時間スケールは荷重の質量と成長率の積のみで記述出来る。つまり荷重の定置緯度とは無関係である。それに対して化石形状を考慮した場合、平衡に達する時間スケールは荷重の定置緯度に強く依存し、しかも荷重の質量・成長率に対する依存の仕方も荷重の定置緯度次第で大きく変化する、という事が分かった。その理由は、化石形状の偏平による自転軸の安定化の影響が荷重によって打ち消される程度は、荷重の定置緯度によって異なるからである。

上述の点が示唆しているのは、化石形状の軸に対する荷重の定置場所の重要性である。即ち現在の固体天体における極位置が平衡状態に達しているかどうかを考える為には、単に「荷重の大きさはどの位か?」「荷重はいつ頃からいつ頃まで大きくなっていったのか?」を調べるだけでは不十分であって「荷重は化石形状の軸に対してどの辺りに分布しているのか?」も調べなければならない事を意味している。

Semi-analytic solutions of the time-dependent Liouville equation are calculated for long-term, large-scale polar motion (or so-called true polar wander) on a quasi-fluid, terrestrial planet with an elastic lithosphere memorizing a fossil shape. This reorientation is considered here to be driven by a huge, surface mass load. Based on these solutions, it is discussed how long a paleo-pole position takes time to settle in a steady state (in other words, a state for a fluid-limit case). In a case without a fossil bulge (the previous results), this stabilizing time scale for a planet with fixed physical properties is governed only by (1) a time scale of load formation and (2) a maximum value of mass excess. In a case with a fossil bulge (the present results), however, the stabilizing time scale is controlled not only by (1) and (2) but also by (3) initial latitude of load emplacement. This is because both (2) and (3) of the load determine how much the load cancels the stabilizing effect of the excess ellipticity. As a conclusion, for reconstruction of a history of true polar wander on a planet with a remnant rotational bulge, it should be noted where the load is emplaced.

不連続曲げ剛性率を持つ二次元平板モデルによるリソスフェアの変形

○佐藤麻里¹⁾、並木則行²⁾

¹⁾九州大学大学院 理学府 地球惑星科学専攻,

²⁾千葉工業大学 惑星探査研究センター (PERC/chi-tech)

惑星や衛星の表面地形とモデルによって想定された表面地形を比較することで惑星の構造を調査しようという試みは、その場観察データの少ない惑星科学では大変重要である。現在、月には表裏半球で地殻厚さの二分性があることが知られている。月の裏側にある特徴的な地形の例としてモスクワの海 (Mare Moscoviense) を取りあげてみると、多重リング構造を持つこの盆地は、第一・第二リングとその外側にある第三リングの中心がずれている (Ishihara *et al.*, 2008)。これは第三リングが形成された衝突と、第一・第二リングが形成された衝突が別の時期であるためと見られているが、地下のリソスフェアが不均質なためにこのような中心のずれたリングを形成するに至ったという可能性も考えられる。

月の重力探査が「かぐや」によって大きく進められた現在、月表面の衝突盆地は重力異常の特徴を考慮した 3 タイプに分類されることが提唱されている (Namiki *et al.*, 2009)。うち、月裏側から辺縁部に見られる Type II basin と分類されている衝突盆地について、盆地中心では地形補償が起り、周辺の盆地地形とリング構造では起こっていないことが重力異常のデータからわかっている。地形の波長を考慮すると、地形補償の理由を弾性や粘性による地形緩和に求めることは難しく、そのため、脆性変形による補償メカニズムが新たに提唱されている。衝突盆地の応力分布を調べることで、脆性変形が地形補償に関わっている可能性を議論することができる。

数値解析は一般に一樣な弾性厚の球殻モデルで計算されるが、惑星・衛星のリソスフェアは一樣ではなく、不均質性がある。本研究の目的は、不連続な曲げ剛性率 D を持つ二次元平板モデルについて、 D が変化する境界付近に荷重が働いたときの変形を調べることにある。モデルをリソスフェアに見立てることで、 D が部分的に異なる場合の表面荷重 (山塊、mascon など) に対する惑星や衛星の地形変形を計算し、定性的なふるまいを調べることができる。結果として、 V の作用点と D の不連続線が遠いと不連続の影響が小さいということが確認された。逆に、不連続線と V の作用点が近い場合は非対称性が強くなる傾向が見られた。また、 $D_1 > D_2$ の場合と $D_1 < D_2$ の場合で等高線の概形に差が出た。 $D_1 > D_2$ の場合は D が一樣な場合の等高線の右半分を不連続線に向かって押しつぶしたような形を示した。 D 比が大きく不連続線と V の作用点が近いと、等高線はやや弧の膨らんだ半円形となった。一方、 $D_1 < D_2$ の場合は、 D が一樣な場合の等高線の右半分を不連続線から外側に向かって引きのばしたような形を示した。 D 比が大きく不連続線と V の作用点が近いときの等高線は、さらに y 方向に対しても引きのばされたような鱗形となった。

海中衝突で形成された方解石

三浦保範 （山大・理工院）

1. はじめに

地球惑星の衝突研究は、地表の約 3 割の陸地と衝突で主に考察されている。その主な理由は、衝突の痕跡がよく残っているからである。しかし水と深く関係する生物の起源と進化で、海水層が重要な役割を話しているが、地表の約 7 割を占める海水への衝突は衝突の痕石等が残らず、研究上で困難な点となっている。

本件では、生物の絶滅と進化においても重要な海中衝突の痕跡を、方解石から考察する。

2. 方解石の三番目の形成について

炭酸カルシウム（方解石）は、地表の堆積岩を形成する鉱物であるが、衝突の明確な鉱物物質になっていない。その主な理由は、方解石の形成後は容易に溶解や破壊してしまうためである。

炭酸カルシウム（方解石）は、これまで海成生物形成（海成生物の Ca 起源）と静的化学反応形成（方解石の地下水による再結晶、鍾乳石や石筍など）によるものが大きく知られている。衝突変成炭酸カルシウム（方解石）は、これまで筆者らにより「陸上衝突孔」で報告されているが、再結晶が進むと生物・化学反応起源の方解石との起源は難しくなる。

衝突変成による炭酸カルシウム（方解石）は、衝突時に形成されたナノ微粒子組織で、海水中成分の塩素含有物（ハライト）などを急冷ガラス中残留物の確認に重要である。

3. 衝突ガラス中の方解石について

衝突ガラス（リビアンシリカガラス LDSG）の電子顕微鏡観察により、微細な方解石鉱物結晶が空隙中に観察されている。また、海中衝突を示す微細で樹脂状の塩素含有物（ハライト）がガラスの割れ目などから観察されている。海水については、約 3 千万年前に浅海にあった北東アフリカ（古大陸復元図；シカゴ大学作成）への浅い海水沿岸（サンゴ分布地帯）への地殻大衝突によるシリカガラス LFSG 形成と考えられる。

4. 海中衝突方解石への応用

この研究結果は、海水中成分の塩素含有物・方解石などを含む地下掘削の衝突物（例えば秋吉石灰岩・高松孔など）に応用できる海中衝突の新しい成果と考えられる。

強度支配と重力支配の移行領域での衝突クレーター形成実験

○羽倉祥雄；鈴木絢子；瀬藤真人；中村昭子

神戸大学大学院理学研究科

衝突クレーターの形成過程において、標的の強度が大きい条件下ではクレーターのパラメータ（直径や深さなど）はその標的の強度に大きく左右され、重力にはあまり左右されない（この条件下を強度支配領域と称す）。一方で、標的の強度が小さい条件下ではクレーターのパラメータは重力に大きく左右され、標的の強度にはあまり左右されなくなる（この条件下を重力支配領域と称す）ことが知られている。しかし、標的の強度が大きくも小さくもない、いわば強度支配と重力支配の移行領域の条件下ではクレーターのパラメータがどのようになるのか、また標的の強度と重力がそれぞれどのように影響を与えるのか明確に分かっていない。

そこで、本研究ではこの移行領域での衝突クレーター形成過程のデータを得ることを目的として、以下の実験を行った。強度に直に影響するパラメータである焼結温度を変えて作成したガラスビーズ・岩石粉焼結体およびガラスビーズ・岩石粉体標的に、ガラス球弾丸を 200m/s 程度で衝突させる。そして形成したクレーターの直径・深さと、衝突条件や強度の関係について調べた。

その結果、空隙率約 40%のガラスビーズ焼結体では強度が小さくなるにつれて、クレーター直径は大きくなるが、深さはばらつきの範囲内で変化は見られなかった。深さ/直径比の値は、先行研究によると、Gault ら(1977)のケイ砂（重力支配領域）での実験で 0.19 程度であるのに対し、Arakawa(2004)の空隙率約 36%の雪の焼結体（強度支配領域）での実験で 0.5 程度であることが報告されている。一方、本研究での深さ/直径比の値は、圧縮強度が 30kPa 程度より大きい標的では 0.32 程度、それより小さい強度の標的および粉体では 0.15 程度となった。

ソーダライムガラスビーズ焼結体の物理的特性に関する測定・観察

○町井 渚、中村昭子

神戸大学大学院理学研究科

惑星や小惑星は微惑星と呼ばれる 1 から 10 km サイズの天体が衝突合体や衝突破壊を繰り返して形成したと考えられている。しかし、ダストから微惑星が形成する過程は未だに解明されていない。

ダストが付着成長する場合の重要なパラメタには、衝突速度の他に物質のバルク強度がある。物体のバルク強度を変化させる現象の 1 つに焼結がある。焼結による粒子間の結合部をネックと呼ぶが、ネックは粒径が小さいほど、焼結時間が長いほど成長する。したがって、ダストのような 0.1 から 10 μm 程度の微粒子集合体を扱う場合、焼結によって粒子間が結合し、集合体のバルク強度が増加すると考えられる。ネック成長と焼結温度に関する研究は Poppe (2003)で行なわれたが、ネック成長と焼結体のバルク強度の関係については調べられていない。我々はこれまでに焼結体のネック半径と引張強度の関係について調べてきたが、今回は焼結体の曲げ強度を測定し、引張強度と曲げ強度の関係について調べた。

実験に用いた試料は、粒径 5 mm のソーダライムガラスビーズである。試料をアルミナ円筒の中に 2 粒入れ、上からアルミナ球の重しをのせた状態で電気炉に設置した。焼結温度は 630 $^{\circ}\text{C}$ で、焼結時間は 2 時間から 8 時間まで変化させた。焼結は大気中で行ない、上昇時間は 1 時間、焼結終了後は室温まで約 1 日程度自然冷却させた。焼結後、光学顕微鏡を用いて焼結体のネックを撮影し、画像からネックの長さを測定した。次に焼結体の曲げ強度試験を行った。焼結体の一方をガラス基板に接着剤でしっかりと固定し、もう片方に上から外力を加えた。このとき、試験機の圧縮速度は 0.001 mm/s である。

2 時間の焼結では、ネック半径は約 0.45 mm 程度であり、このときの曲げに必要な力は約 0.9 N であった。一方でこれまでに得られている焼結体の引張破壊に必要な力は約 5.7 N である。今回の測定から、2 時間の焼結体の曲げ強度は引張強度の約 6 分の 1 程度しかないという結果が得られた。曲げ強度の他に粒子表面の凹凸の焼結に与える影響についてもしらべた。粒径約 4.7 mm の表面が滑らかな粒子を用いて、先と同様の実験・測定を行なった。2 時間の焼結でのネック半径は先述の表面が粗い粒子と同様の結果であったが、曲げ強度は約 2 倍強いという結果を得た。本講演では、他の焼結時間の結果と議論を加えて報告する。

高速度カメラによる衝突閃光の測光

○ 青井 宏樹¹、石樽勇介¹、田中慎一郎¹、柳澤正久¹、長谷川直²

¹電気通信大学、²ISAS/JAXA

はじめに

しし座流星体による月面衝突閃光における流星体の運動エネルギーから可視光エネルギーへの変換効率は約 0.2 % と見積もられている。これは室内衝突実験で得られる値よりも一桁以上大きい。これは月面閃光(数十 km/s)と室内実験(数 km/s)の衝突速度の差が原因ではないかと考えられる。また、衝突体が多孔質であることも変換効率の違いに影響している可能性も考えられる。これら違いが、月面閃光と室内実験での変換効率の違いの原因となっている可能性もある [1]。それらをふまえ、本実験では運動エネルギーから光エネルギーへの変換効率を様々な衝突速度や飛翔体の空隙率について求めることを目指す。運動エネルギー E_k 、光エネルギー $E_{\text{光}}$ とすると、光への変換効率 η を

$$\eta = \frac{E_{\text{光}}}{E_k} \quad (1)$$

と定義する。

実験方法

実験は JAXA 相模原キャンパスにある二段式軽ガス銃を用いて行った (shot # 236 ~ # 244)。二段式軽ガス銃で出せる飛翔体の速度は 6[km/s] 程度である。飛翔体は 7[mm ϕ]、0.219[g] のナイロン球を使用した。ターゲットには、直径 1mm、高さ 1mm、重さ 1.001[mg] で円柱に近似できるナイロンを用いた。図 1 において、飛翔体は左方向からターゲットに衝突した。図 1 は衝突から 3[μ s] 後の画像である。チャンパー窓の外に高速度カメラを設置し、衝突閃光の観測を行った。高速度カメラは島津製の HPV-1 を用いた。この高速度カメラでの撮影速度は最大で 100 万コマ/秒 (1 μ s) である。得られた画像を解析し、衝突閃光の測光を行う。

光エネルギーの算出

図 2 の豆電球のカウント値が n であった。豆電球電力を W として、これにより全光エネルギー $E_{\text{光}}$ は、カウント値 k 、時間幅 Δt 、高速度カメラの集光面積 S 、高速度カメラまでの距離 r とすると、

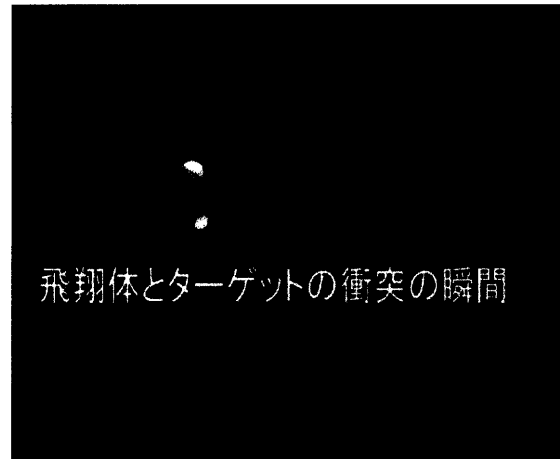


図 1: 高速度衝突の瞬間 (shot # 239)

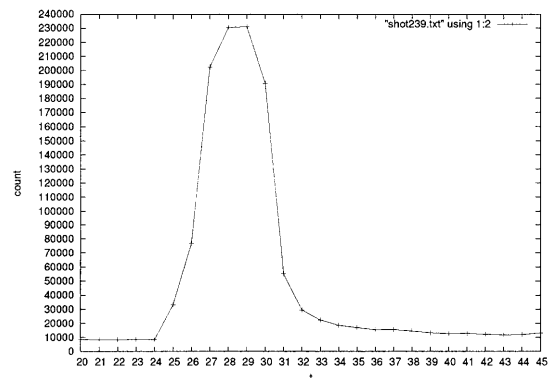


図 2: 高速度カメラ画像を解析し測光 (shot # 239)

$$E_{\text{光}} = \sum \left(W \times \frac{k}{n} \right) \times \Delta t \times \frac{2\pi r^2}{S} \quad (2)$$

として求められる。暫定的ではあるが、全光エネルギーは 2.46×10^{-3} [J] と求められた。運動エネルギー E_k は 18.0[J] であったので、(1) 式より光への変換効率 η は、 1.37×10^{-4} となった。

参考文献

[1] 柳澤正久, 池上裕美, スペースプラズマ研究会 (JAXA 宇宙科学研究本部), 2007.

高速度衝突閃光の発光効率

○石樽 勇介¹, 田中 慎一郎¹, 青井 宏樹¹, 柳澤 正久¹, 長谷川 直²

¹ 電気通信大学, ²ISAS/JAXA

しし座流星体による月面衝突閃光が観測されたが、流星体の運動エネルギーの約 0.2% が可視光エネルギーとして放出されたと見積もられている (変換効率)。この値は室内実験で得られた変換効率よりも一桁以上大きい。この違いの一つとして考えられるのは、月面閃光 (数十 km/s) と室内実験 (数 km/s) の衝突速度の差がある。

ところで流星体は彗星を起源としている。彗星は時々分裂することがあり、強度の極めて低い多孔質物質でできていると考えられている。流星体が多孔質な物質である可能性は高い。密度の違いが月面閃光と室内実験の変換効率の違いの原因となっている可能性が高い。ところが、これまでに典型的に多孔質物質を使った実験はあるが、飛翔体に多孔質物質を使った実験はない。

そこで、加速に耐えられない多孔質物質を飛翔体とみためターゲットとして設置し、そこに加速に耐えうる多孔質物質より十分大きい緻密な物質を衝突させる。つまり相対的に見て緻密な物質に対して多孔質な物質を衝突させることとなる。

本実験では手始めに製作が簡単である緻密な物質の変換効率を求めた。実験装置は ISAS/JAXA の二段式軽ガス銃を使用した。直径約 1mm 程度の円柱 (約 1mg、ナイロン 66) をターゲットとして設置し、飛翔体にサイズ $\phi 7\text{mm}$ 球 (ナイロン 66) を使用した。飛翔体の速度はすべて約 6km/s にした。フォトダイオードの先に集光レンズを接続し、アンプで光電流を電圧に変換し、衝突閃光を測定した。この測定値にフォトダイオードの感度特性、ターゲットからレンズまでの距離、レンズ特性を考慮することによって、衝突閃光の全光エネルギーを算出した。また、飛翔体の運動エネルギーは、飛翔体の速度、ターゲットの質量より算出した。変換率は (全光エネルギー) / (運動エネルギー) で求めた (表 1)。結果は過去ナイロン同士を衝突させた結果に比べ小さい値だった。

表 1: 各 Shot の全光エネルギー、運動エネルギー、変換効率。

Shot Number	Shot238	Shot239	Shot240	Shot242	Shot244
E : 全光エネルギー [J]	9.2×10^{-7}	1.3×10^{-6}	1.2×10^{-7}	9.1×10^{-8}	2.7×10^{-6}
K : 運動エネルギー [J]	10.1	18.0	23.8	14.9	10.9
η : 変換効率 (E/K)	9.1×10^{-8}	7.1×10^{-8}	5.2×10^{-9}	6.1×10^{-9}	2.5×10^{-7}

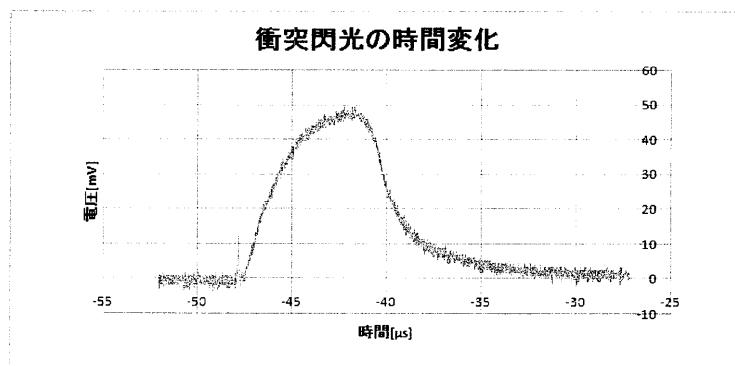


図 1: Shot244 の波形。縦軸: フォトダイオードアンプ (負荷抵抗 1k Ω) 出力電圧, 横軸: 時間, 0 点はトリガーポイント。フォトダイオードに入射した光エネルギーは $-48 \mu\text{s}$ から $-30 \mu\text{s}$ までを積分した。

微小標的への衝突における閃光スペクトル

○田中 慎一郎¹, 石樽 勇介¹, 青井 宏樹¹, 柳澤 正久¹, 長谷川 直²

¹ 電気通信大学, ² ISAS/JAXA

月面に衝突する流星体は緻密な物質ではなく、空隙を多く含む多孔質であると考えられる。このような多孔質の流星体が平面へ衝突する現象を模擬する実験を行いたいが、内部に空間のあるものを飛翔体として用いると、加速によって多孔質の空隙が圧縮され、目的とする多孔質物質の衝突を再現できない。そのため、飛翔体には加速に耐えうる緻密な物質を用いて、標的に流星体を模した微小な多孔質物質を設置して実験を行うことを検討している。これにより「微小な多孔質物質」が「緻密な平面」に衝突する実験を模擬できる。

衝突実験は JAXA 相模原キャンパスの 2 段式軽ガス銃を用いて行った。ナイロン 66 の飛翔体 ($\phi 7\text{mm}$ 球形) を、微小なターゲットを含む様々な大きさ・材質のターゲットに約 6km/s で衝突させ、その際の衝突閃光の分光を試みた。真空チャンバーの亚克力窓付近にコリメーターレンズを設置し、光ファイバーで分光器と接続している。合わせて高速度カメラ (32kfps) と市販のビデオカメラ (30fps) で衝突の様子を撮影した。

ターゲットの材質にはナイロン 66 の球 (大きさの異なる 2 種類)、アルミ合金 (5056) ブロック、SUS、鉄を用いた。実験装置内は 10Pa 以下として実験を行った。

作成した微小なナイロン製ターゲット (1mm サイズの円柱状) への衝突時、および $\phi 7\text{mm}$ ナイロン球 (飛翔体と同じもの) への衝突時の閃光は、光量が少なく分光器ではスペクトルを得ることはできなかったが、高速度カメラとビデオカメラの画像から青白い発光を確認できた。アルミ合金ブロックへの衝突では分光データを得られた (図 1)。 C_2 分子のスペクトル (Swan band) が確認されたが、Al 原子スペクトルは確認されなかった。

月面衝突閃光は主に可視光の赤色から近赤外にかけての発光だと考えられているが、ナイロン同士の衝突やナイロン球の金属への衝突で生じる閃光は C_2 が主な発光源である可能性が高いと考えられる。

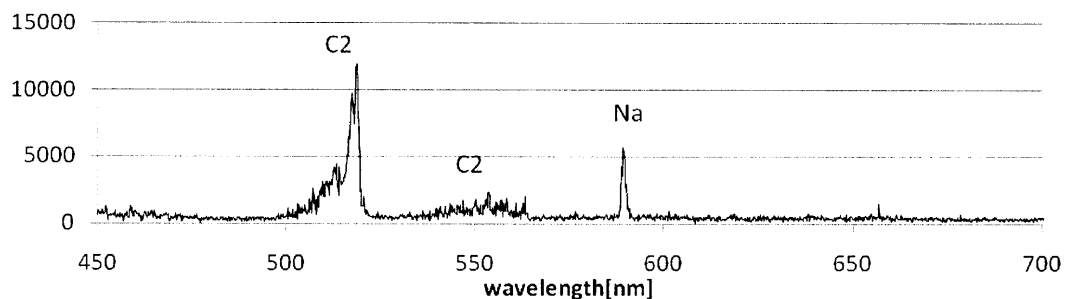


図 1: ナイロン 66 の $7\text{mm}\phi$ 球をアルミ合金ブロックに 6km/s で衝突させたときのスペクトル (分光感度特性の補正済み)。縦軸の単位は任意。

層構造に形成される衝突クレーターに関する実験的研究

○土肥弘嗣¹, 荒川政彦¹, 長谷川直², 岡本千里², 鈴木絢子³

¹名古屋大, ²JAXA, ³神戸大

はじめに

クレーターの形状と衝突条件の関係を明らかにする事は、天体内部物質や内部構造の情報を得る上で重要である。本研究では天体表層の層構造がクレーター形成に及ぼす影響に注目する。Quaide and Oberbeck (1967)では、月の層構造(レゴリス-基盤岩)を模擬したターゲットに対する衝突実験を行い、レゴリス層の厚み変化によるクレーターの形態変化を調べ、クレーターの形態からレゴリス層の厚みを見積もるという試みがなされている。結果として、レゴリス層の厚みが増すにつれてクレーター形態が同心円、平底、おわん型と変化する事が分かった。また、クレーター形態が変化する時のレゴリス層の厚みと、その時のクレーター直径の比 ($R = \text{クレーター直径} / \text{レゴリス層厚}$) が、衝突条件によらず一定になる事が分かった。この結果から月のレゴリス層の厚みを見積もる事ができる。しかし、地球や火星の表層は、様々な密度や強度を持った堆積岩で覆われている。そこで、本研究では表層が堆積岩のように強度を持つ物質であった場合、その上層がクレーター形成に及ぼす影響を明らかにする。特に本研究では、おわん型-平底型クレーターの境界となる層厚を決めるメカニズムについて議論する。

実験手法

モルタル-玄武岩の2層構造試料に対する衝突実験を行った。モルタルの層厚を2~20mmまで変化させ、クレーター形態の変化を調べる。弾丸加速には二段式軽ガス銃を用いた。衝突速度は2km/s、4km/s、弾丸はナイロン製で7mg及び300mgのものをを用いた。

実験結果

先行研究では、おわん-平底型、平底-同心円型の境界ではRがそれぞれ6.5、11であるのに対し、本研究では2.3、6.3と異なる結果になった。また、衝突エネルギー一定でモルタル層の層厚を変化させると、おわん-平底型クレーターの境界となる層厚でクレーター深さが最大値を持つ事が分かった。クレーター深さが最大値を持つ試料では、モルタル層が裏側からも破壊されていることから、衝突時に玄武岩とモルタル層の境界面で衝撃波の反射が起こり、反射波によりモルタル層が破壊される事でクレーターがより深くなっているものと考えられる。また、モルタル層の破壊強度、衝撃波減衰率などを調べる事で、おわん型-平底型クレーターの境界となる層厚を定量的に決めることが可能になると思われる。

S 型小惑星にみられる岩塊の統計的解析：岩塊は衝突起源なのか？

○丸山智志¹ 宮本英昭¹ 奥元良² 竹内洋人¹ 山口優夢¹

¹東京大学総合研究博物館 ²三菱総合研究所（東京大学理学系研究科 修了）

近年の小惑星探査によって得られた高解像度画像中には多数の岩塊が確認できるが、その総量は従来のレゴリス生成の理論では完全には説明ができない。本研究では、イトカワが母天体の破壊とその破片の再集積によって現在見られる形となった後に、度重なる小天体（ここでは特に、クレーターを形成しないほどに小さな天体という意味で）の衝突によってその表層が変化したであろうという観点から、現在の表層環境を特徴づけるレゴリスに注目した。これまでレゴリスの分布やその形状についての研究はなされてきたが、更なる定量的な議論を行うために、本研究では、ハヤブサ探査機が取得した画像中の岩塊の計数を行い約 2 万個の岩塊の輪郭を抽出し、データベースを作成した。

得られた累積サイズ頻度分布の傾きは、多少の地域差は見られるものの、共通して-3 前後の値を示し、月のクレーターのものとよく一致する。また、アステロイドベルトに存在する小天体のサイズ頻度分布の傾きもおおまかにこれに一致するため、度重なる衝突・破壊を経験してきた岩石の示す分布という意味でこれらはすべて共通の結果を示していると考えられる。

一方、我々の得た岩塊のサイズ頻度分布では粒径 0.1m 付近からは傾きが-1 に変化するという性質も同時に見られた。岩石の衝突を扱った先行研究によれば、数 km/s の衝突の際に生じる破片の累積サイズ頻度分布は-1 の傾きを示すとされている。この先行研究は単一の衝突イベントを扱ったもので直接の比較は出来ないが、イトカワ形成初期には傾きが比較的緩やかだったものの、度重なる小天体の衝突によって徐々にその傾きが急になっていき、やがて現在の分布になったという解釈に用いることは出来る。

また、傾きの変化が 0.1m 付近という値から始まる要因に関しては、相対サイズ頻度分布から、サイズが 1-2m 付近の岩塊がイトカワ表面で幾何飽和に達しているという事実を用いて議論が出来る。幾何飽和に近いサイズの岩石は、衝突する小天体のフラックスが一定なら確率論的に優先して破壊されると言える。そして幾何飽和領域は徐々により小さなサイズ領域へと移行していき、やがて現在の分布に達すると説明出来る。また、岩石工学の分野における、岩塊の強度がサイズ 1m 付近から急激に増加し始めるというよく知られた性質も、この解釈に調和的である。

つまり、小惑星イトカワ上で現在見られる大量のレゴリスは、イトカワが形成された初期からそのままの形では存在しておらず、度重なる小天体衝突により、初期の岩塊の分布が徐々に変化してゆき、やがて現在見られるような特徴的な分布に達したと結論づけられる。

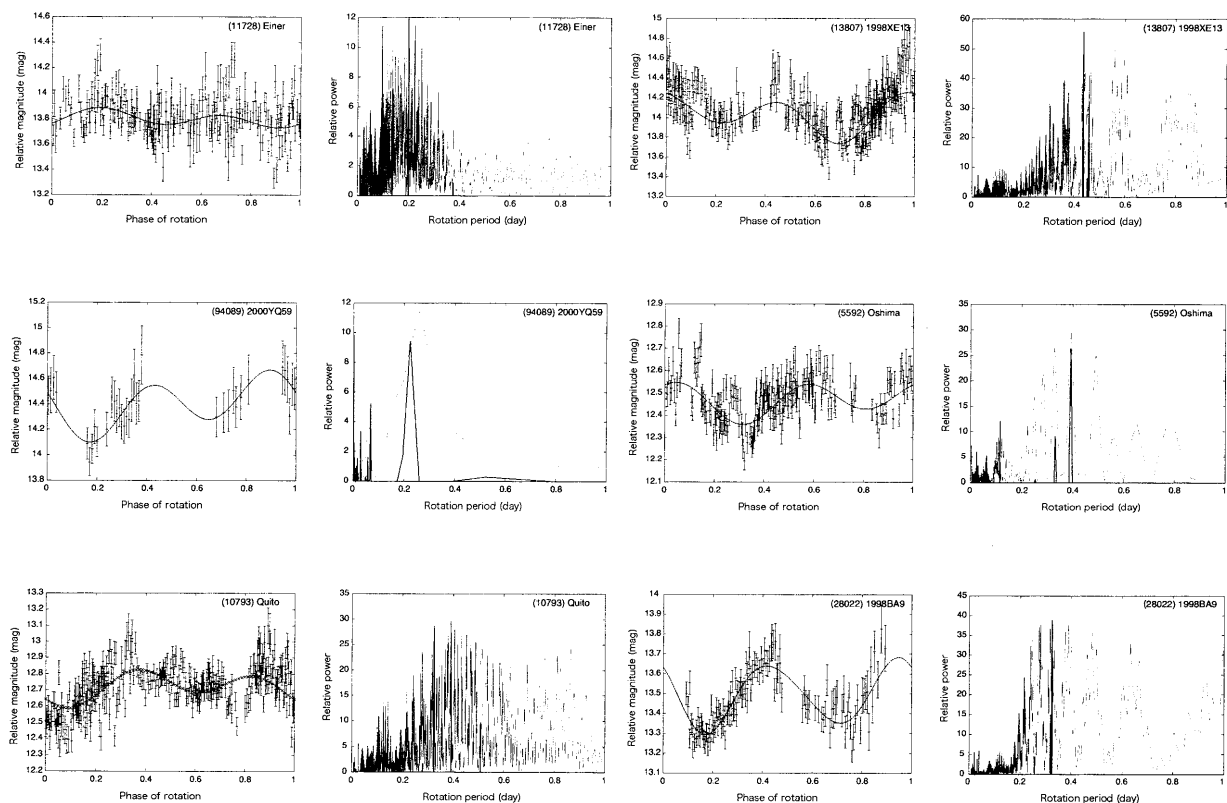
マイダナク天文台における若い小惑星族小惑星の 測光観測

○吉田二美¹, 伊藤孝士¹, 高橋茂¹,

M. A. Ibrahimov², 野沢由依³

¹国立天文台, ²Ulugh Beg Astronomical Institute, ³日本女子大

若い小惑星族は族形成時からの時間経過が少なく、古い小惑星族に比べて、軌道・衝突進化をあまり受けていないので、族形成時の天体衝突イベントの情報を現在まで保存している可能性が高い。族のメンバーのサイズ、形状、自転周期分布は天体破片の物理特性を反映しており、これらの情報は地上の実験室では再現不可能な天体衝突現象のモデル作りに重要な制約を与える。我々は2006年からウズベキスタンのマイダナク天文台で若い小惑星族の観測を続けており、ここでは2006年~2008年までの3年間の観測結果を報告する。以下は得られたライトカーブの一部である。



(2007 年の観測から)

我々のライトカーブの観測からは小惑星の形と自転速度に関する興味深い描像が得られたので、ポスターで紹介する。

小天体探査用小型ランダー搭載科学観測機器検討

Science Instruments on XS-Class Lander in the NEO Mission

○岡田達明¹, 出村裕英², 矢野創¹, 吉川真¹, Julie Bellerose¹,

Jean-Pierre Bibring³, Tra-Mi Ho⁴, Lars Witte⁴, Lutz Richter⁴

1: JAXA, 2: 会津大, 3: IAS, France, 4: DLR, Germany

In the Hayabusa-2 pre-project, science case and onboard instruments are studied to conduct *in situ* observation at the surface of NEO 1999JU3, with a candidate 10kg class small lander. Science requirements, strawman payloads, and operation scenario will be briefly described at the meeting.

「はやぶさ2」は現在、プロジェクト前段階のプリプロジェクトとして科学目的、搭載機器、運用プラン、およびシステム成立性の検討を進めている。「はやぶさ」との違いの一つとして検討中のものが、ランダーによる小天体表面でのその場観測の充実化である。「はやぶさ」では約 500g の超小型ロボット MINERVA が工学実験の一環として搭載されたが、科学観測用としては十分とは言えない。リモートセンシングの Groundtruth として、また回収サンプルの geological context として、少なくとも表層の地形・地質構造や物質の記載、表面物質の粒度や微細構造の顕微観察を行い、更にその他の観測を行うべく、ランダー搭載を検討している。

「はやぶさ2」は「はやぶさ」の母船設計を踏襲することから重量の制約は厳しく、ランダー総重量は 10kg 程度までが限界である。その場合の搭載観測機器の総重量は 3kg 以内が目安となる。科学的意義、重量制限、および機器の技術的実現性から、広角多色分光カメラ (WAC=Wide Angle Camera)、顕微カメラ & 分光計 (MicrOmega/VIS+IR) は最優先機器とし、その他で有機物や鉱物等の質量分析計 ILMA (Ion/Laser induced Mass Analyser)、X 線蛍光・回折計 (XRF/XRD)、およびで内部構造を探るレーダートモグラフィ (New CONSERT) が搭載候補となっている。また、ランダー運用や状態監視用のセンサ類も観測に利用できる。温度計は周辺温度と小惑星の自転による変化が得られ、熱慣性等の物性情報が得られる。加速度計は表面での跳ね返り時に硬さ情報、更にはインパクト衝突時の衝撃振動（または自由振動）の計測から内部弾性情報、傾斜計は重心方向や斜度の計測に用いられる。通信電波による重力等の情報も得られる可能性がある。

現在、ミッション全体の科学目標の再定義中であり、それを反映して最終的な観測目標、観測機器の決定を行う予定である。なお、小天体表面の物質科学的、物理的、および工学的な様々な検討を国内・外のチームとして進めている（サブチーム取りまとめは出村、平田、吉光、岡田。XS-Lander の科学検討取りまとめは Bibring、岡田、Ulamec、Ho）。ご興味ご関心のある方の参加と提案、提言を大いに歓迎する。

微量組成成分に向けた火星周回機からの高分散分光観測 High-resolution spectroscopy from Mars orbiter for minor atmospheric components

○笠羽 康正¹、中川 広務¹、青木 翔平¹、村田 功¹、上野 宗孝²、佐藤 毅彦²、坂野井 健¹
1:東北大・理 2:JAXA

O Kasaba, Y.¹, S. Aoki¹, H. Nakagawa¹, I. Murata¹, M. Ueno², T. Sato², T. Sakanoi¹
1: Tohoku Univ. 2: JAXA

近年発見された CH₄ などの、CO₂ や H₂O といった大気主成分の吸収に隠れた微量組成成分の検出とその時空間変動の把握は、惑星研究にとって重要である。

本グループでは、現在 MEX/PFS を用いた酸化剤の指標 H₂O₂ のトレース等の研究を行っている。2009 年 7 月までに、PI チームとの共同作業によって厳密なデータ校正を行い、統計解析に向けた解析手法を確立した。本講演では、上記方法を用いて行った H₂O₂ の季節変動結果を初報告する予定である。また、11 月に予定されるサブミリ波帯望遠鏡 Atacama Pathfinder Experiment (APEX) を用いた SO₂, H₂O₂ 観測計画、地上観測用赤外ヘテロダイン装置の開発現況についても紹介する。

また、将来火星探査機に向けた「赤外高分散分光装置」の検討を、ロシア・フランス・ベルギーとの国際協力の元で進めつつある。日本および欧米の将来探査計画を念頭においたこの開発状況も併せて報告する。

Minor elements in the atmosphere, for example, CH₄ recently discovered in Martian atmosphere, is behind the main components such as CO₂ and H₂O but important to understand the planetary environments. Data analyses method was already established in July 2009 with the PI team. The seasonal variation of H₂O₂ will first be presented. We also like to mention the planed observation by Atacama Pathfinder Experiment (APEX) and the status of IR heterodyne spectrometer development. And, we also introduce the current progress of the collaborative development of the high-resolution IR spectrometer with Russian, French, and Belgian groups for future Mars missions by Japan, USA, and Europe.

1.6m 光学反射望遠鏡を用いた PLANET-C との金星同時観測計画

○福原哲哉¹ 高橋幸弘¹ 佐藤光輝¹ 渡部重十¹ 佐藤創我¹ 渡邊誠²

¹北海道大学大学院 理学研究院 宇宙理学専攻

²国立天文台ハワイ観測所

北海道大学は、札幌の北東約 250km に位置する名寄市に光学反射望遠鏡を有する天文台の建設を進めている。1.6m の主鏡(～1 秒角/pixel 相当)とカセグレン焦点×1、ナスミス焦点×2を備えたこの望遠鏡を用いて、我々は PLANET-C との金星の同時観測を計画している。PLANET-C は 2010 年に打上げが迫っている日本の金星探査計画である。探査機には紫外カメラ、1 μ m カメラ、2 μ m カメラ、および中間赤外カメラが搭載され、金星の赤道面に近い長楕円の周回軌道から二時間おきに金星大気の撮像を行ってローカルタイムと空間分解能が異なる(約 10km-100km)画像を得る。また、可視光を高時間分解能で捉える雷・大気光カメラを搭載して金星の大気発光現象を観測する。我々は探査機に搭載されるカメラと同じ波長を捉える観測機器を地上望遠鏡に整備し、ローカルタイムがほぼ一定で、空間分解能～200km/pixel(最大離角時)の金星の全球規模の様相を捉えることを目指す。地上観測と探査機による観測は相補的な役割を果たし、十数 km～数千 km の幅広い空間分布を捉える観測データを得るだろう。同時観測を長期間継続することにより多くのデータを蓄積し、金星雲の水平構造(赤道域のセル状構造や中高緯度の筋状構造など)や対流のメカニズム、大気中の発光現象に関する議論を進展させたい。

著者索引：第一著者名（発表番号）

あ行

青井 宏樹 P307
足立 数馬 P113
荒井 朋子 125
荒木 博志 126
生駒 大洋 222
石樽 勇介 P308
石津 尚喜 215
石原 吉明 202
伊藤 孝士 P111
井上 洋介 P204
岩堀 智子 318
上梶 真之 104
上本 季更 P211
越後 亮三 204
大竹 真紀子 120
岡田 達明 P313
岡本 千里 326
小川 佳子 121
小川 和律 206
小川 真帆 305
荻原 正博 219
奥住 聡 108, P001
押上 祥子 127
小嶋 稔 101

か行

笠羽 康正 319, P314
桂 武邦 323
鎌田 俊一 203
河村 恵里 214
川村 太一 116, P205
木村 勇氣 102

久保 公央 128
栗原 広成 314
黒川 宏之 P114
玄田 英典 217
小林 憲正 302
小林 進悟 P209
小林 直樹 205
小林 佑輔 P207

さ行

佐伯 和人 122, P215
斎藤 悦子 211
酒井 理紗 124
佐々木 晶 308, P208
佐々木 貴教 218
佐藤 麻里 P303
猿谷 友孝 P112
鳶生 有理 325
城野 信一 212
杉原 孝充 119
杉山 耕一朗 309
関谷 実 P106
瀬藤 真人 109, P002

た行

高木 征弘 311
高沢 晋 321
高部 彩奈 322
瀧川 晶 110, P003
竹内 洋人 307
武田 弘 209
立浪 千尋 P301
田中 智 207, 208

田中 慎一郎 P309
谷川 享行 220
坪井 伸子 304
出村 裕英 115
寺居 剛 303
寺園 淳也 320
寺田 健太郎 106
土居 政雄 P109
土肥 弘嗣 P310

な行

中本 泰史 312
新居見 励 324
西澤 誠也 310

は行

羽倉 祥雄 P305
橋爪 秀夫 P203
長谷部 信行 P212
早川 基 317
原田 雄司 315, P302
春山 純一 113, P213
樋口 有理可 P110
日高 宏 210
平田 成 114
福井 隆 213
福崎 翔 313
福原 哲哉 P315
藤村 彰夫 306
細野 七月 216
本田 親寿 P214

ま行

町井 渚 P306
松本 晃治 201
松本 侑士 P108

丸山 智志 P311
三浦 均 105
三浦 保範 301, P304
三河内 岳 107
元山 拓也 P201
森 朝子 P206
諸田 智克 123

や行

保井 みなみ 111, P004
藪田 ひかる 103
山口 優夢 316
山田 明憲 112, P005
山田 耕 221
山本 聡 117
横田 康弘 118
吉田 二美 P312

わ行

和田 浩二 223
渡辺 志穂 P210
渡辺 元浩 P202

賛助会員一覧

アメテック株式会社カメラ事業部

宇宙航空研究開発機構

コニカミノルタプラネタリウム株式会社

シャープ株式会社

有限会社 テラパブ

株式会社 ニュートンプレス

(財)リモート・センシング技術センター

2009 年秋季講演会実行委員会

実行委員長 永原 裕子

実行委員 杉田 精司 関根 康人 田近 英一
橘 省吾 三河内 岳 宮本 英昭
鎌田 俊一

印刷所 秋田活版印刷株式会社