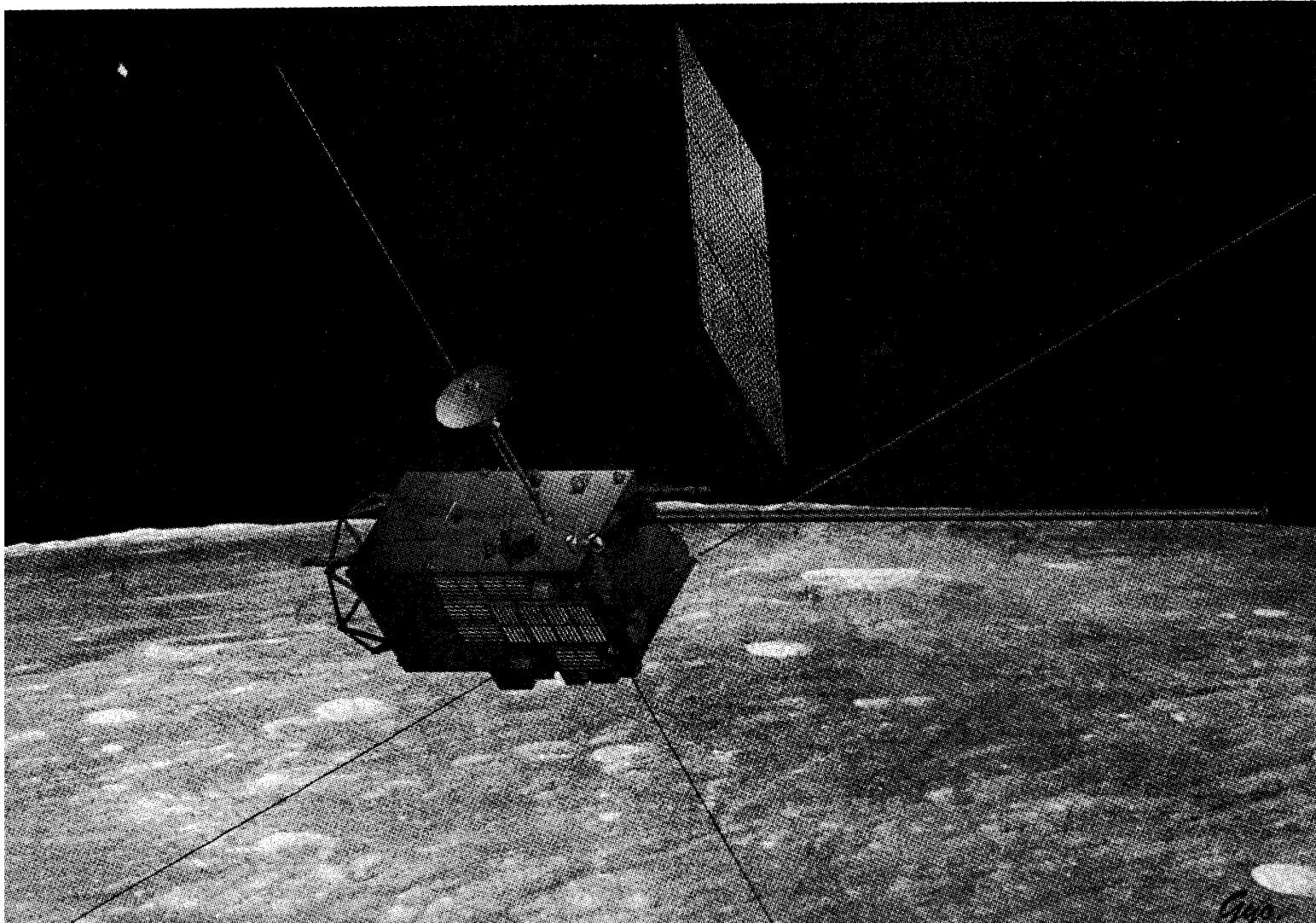


日本惑星科学会
2000年
秋季講演会予稿集

Abstracts
2000 Fall Meeting of the
Japanese Society for Planetary Sciences

2000年10月31日(火)～11月2日(木)
工業技術院筑波研究センター共用講堂



表紙の図の説明: 月周回軌道上のSELENE (想像図)

日本惑星科学会 2000年秋季講演会プログラム

10月31日(火)

9:30 -	受付
10:00 - 12:00	セッション1
12:00 - 13:00	
13:00 - 14:45	セッション2
14:45 - 15:00	休憩
15:00 - 17:00	セッション3

11月1日(水)

9:00 - 10:30	セッション4
10:30 - 10:40	休憩
10:40 - 11:20	ポスターセッション1
11:20 - 11:25	休憩
11:25 - 12:07	ポスターセッション2
12:07 - 13:00	
13:00 - 13:45	ポスターセッションコアタイム1
13:45 - 14:30	ポスターセッションコアタイム2
14:30 - 16:00	招待講演
16:00 - 17:00	総会
17:30 - 19:30	懇親会

11月2日(木)

9:00 - 12:00	特別セッション「将来惑星探査への提案」
12:00 - 13:00	
13:00 - 14:45	セッション5
15:30 - 16:30	宇宙開発事業団筑波宇宙センター見学会

9:30

受付開始

10:00-12:00 ****
セッション1 (座長: 比嘉道也)

10:00 101 **プレソーラーSiC粒子とプレソーラーTiCコア/グラファイトマントル
粒子の共存条件**

○青木謙 (名大理), 千貝健 (名大理/北大理), 山本哲生 (名大理), 小笹隆司 (北大理)

10:15 102 **結晶質スピネルの赤外線光学定数**

○茅原弘毅 (阪大理・京都薬大), 寒川尚人, 小池千代枝 (京都薬大), 土山明 (阪大理)

10:30 103 **珪酸塩星間塵生成過程における余剰酸素の化学的影响**

○平家勉, 平原靖大 (名古屋大大学院・理学研究科)

10:45 104 **放射光照射による非晶質カーボン膜からのカルビン結晶の生成**

○木村勇氣, 花本克巳 (立命館大理工), 佐々木宗生 (滋賀工技セ), 木村誠二, 中田俊隆 (立命館大理工), 齋藤嘉夫 (京工織大), 小池千代枝 (京薬大), 中山康之, 墓内千尋 (立命館大理工)

11:00 105 **炭素質微粒子を含むモデル有機星間塵の蒸発変成実験**

○中野英之, 香内晃 (北大・低温研)

11:15 106 **有機星間塵の衝突・付着成長に対する蒸発変成有機物の効果**

○工藤達行, 香内晃, 荒川政彦, 渡部直樹 (北大・低温研), 比嘉道也 (宇宙開発事業団), 前野紀一 (北大・低温研)

11:30 107 **有機質星間塵の蒸発実験からみたコンドライトの酸化還元状態**

○香内晃, 中野英之, 工藤達行 (北大・低温研)

11:45 108 **蒸気存在下におけるフォルステライト蒸発のカイネティクス**

○稻葉治美, 永原裕子, 小澤一仁 (東京大理地球惑星)

12:00-13:00 **昼食**

13:00-14:45 ****
セッション2 (座長: 生駒大洋)

13:00 201 **原始惑星系円盤内のダスト層のシア不安定性:一定密度と正弦分布のハイブリッドモデル**

関谷実, ○石津尚喜 (九大・理)

13:15 202 恒星接近がダスト-デブリ円盤の内側境界にもたらす影響
○小林浩, 井田茂 (東工大)

13:30 203 自己重力のある微惑星ディスクでの永年共鳴の効果
○長沢真樹子, 井田茂 (東工大)

13:45 204 原始惑星の軌道安定性に対するガス抵抗の効果について
○岩崎一典, 田中秀和, 中澤清, 榎森啓元 (東工大)

14:00 205 巨大衝突後の地球と月の共成長進化
○森島龍司, 渡邊誠一郎 (名大理)

14:15 206 斜め衝突における粉体層からの衝突放出物の速度分布
○山本聰 (北大・低温研)

14:30 207 隕石衝突によるダスト放出の数値シミュレーション
○高田淑子, 木村貴之 (宮城教育大学地学教室)

14:45-15:00 休憩

15:00-17:00 *****
セッション3 (座長:出村裕英)

15:00 301 部分溶融マグマによる月高地地殻の形成:斜長石の微量元素のSIMS分析による推定
○富樫茂子, 木多紀子, 森下祐一 (地質調査所)

15:15 302 長波長アドミッタンスから見た金星内部粘性構造について
○野村哲也, 阿部豊 (東京大学理学研究科)

15:30 303 金星活火山探索~近赤外ウインドウを利用した観測
○はしもとじょーじ (東大・気候システム), 今村剛 (宇宙研)

15:45 304 金星の大気大循環と雲形成
○今村剛 (宇宙研), はしもとじょーじ (東大・気候システム)

16:00 305 火星の気圧変動と極冠後退曲線
○早川知範 (京都大理), 赤羽徳英 (京都大天文台), 鳴海泰典 (九州東海大)

16:15 306 火星気候システムの挙動解析

○中村貴純, 田近英一 (東大・理・地惑)

16:30 307 惑星および星間塵での有機物生成のエナジェティックス

○小林憲正, 高野淑識, 増田仁美, 大橋暁弘, 金子竹男 (横浜国大工),
高橋淳一 (NTT通信エネルギー研), 斎藤威 (東大宇宙線研)

16:45 308 マグマ様物質存在下での高温加熱からの冷却過程におけるホルムアルデヒドの反応

○大東佳奈, 村江達士 (九州大学大学院理学研究科)

11月1日

9:00-10:30 *****
セッション4 (座長: 橋省吾)

9:00 401 エンスタタイト・コンドライト中の難揮発性包有物の鉱物組成と酸素同位体組成

○木村真（茨城大・理），比屋根肇（東京大学大学院・地球惑星科学），Lin Yangtian（中国科学院広州化学研究所）

9:15 402 非平衡普通コンドライト中のコンドルールの $^{26}\text{Al}-^{26}\text{Mg}$ 年代：オリビン-輝石量比との相関

○木多紀子（地質調査所），S. Mostefaoui（地質調査所，Max-Planck-Institut für Chemie），橋省吾（東大・理），永原裕子（東大・理），富樫茂子，森下祐一（地質調査所）

9:30 403 二次元固体撮像素子SCAPSの出力特性と雑音特性の解析

○国広卓也，永島一秀（東工大），高柳功，中村淳一（（株）フォトビット），小坂光二（（株）東京テクノロジー），塙本尚義（東工大）

9:45 404 バードオリビンコンドリュールのリムの再現実験

○長田祐一，土山明（大阪大学）

10:00 405 A Shock Wave Heating Model for Chondrule Formation

○飯田彰（筑波大/神戸大自然），中本泰史，須佐元（筑波大），中川義次（神戸大理）

10:15 407 「狭山隕石」—水質変成を強く受けたCMコンドライト

○米田成一（国立科博），海老原充，大浦泰嗣（都立大院理），岡田昭彦（理研），日下部実（岡山大固体センター），長尾敬介（東大院理），奈良岡浩（都立大院理）

10:30-10:40 休憩

10:40-11:20 *****
ポスターセッション口頭1 (座長: 平田成)

10:40 P101 凍土層の融解計算と火星の洪水地形の形成への応用

○小川佳子，山岸保子，栗田敬（東大理地惑）

10:42 P102 火星大気の安定性：CO₂極冠との質量交換

○横畠徳太，倉本圭（北大理），小高正嗣（東大数理），渡辺重十（北大理）

10:44 P103 スノーボール・アース現象の物理化学条件

○田近英一（東大・理）

10:46 P104 原始月円盤からのケイ酸塩ガスの散逸

○玄田英典，阿部豊（東大・理）

10:48 P105 月面上の橢円クレーター分布と斜め衝突の関係

○南雲浩一郎，中村昭子（神戸大・自然）

10:50 P106 月における火成活動の時間進化

○杉原孝充（宇宙開発事業団）

10:52 P107 水・ドライアイス・バイロフィライト多孔質混合物のクレータリング実験

○荒川政彦（北大・低温研），比嘉道也（宇宙開発事業団），J. Leliwa-Kopystynski（ワルシャワ大学），前野紀一（北大・低温研）

10:54 P108 パルスノズルとStep-Scan FT-IRを組み合わせた赤外分光装置の開発

○平林慎一，平原靖大（名古屋大理）

10:56 P109 月分光観測装置と野外用積分球の開発

○佐伯和人（秋田大工学資源学部），坪井直，林宏昭（秋田大鉱山学部）

10:58 P110 AOTFを用いた分光装置の開発

○秋山演亮（東大），佐伯和人（秋田大），杉原孝充，大竹真紀子（NASDA），佐々木晶（東大）

11:00 P111 海水の相分離を考慮した中央海嶺熱水循環の数値シミュレーション

○川田佳史，吉田茂生，渡邊誠一郎（名大理）

11:02 P112 原始惑星環境下での触媒活性の起源

○王せい, 植岡昌治, 鶴田友博, 金子竹男, 小林憲正 (横浜国大工)

11:04 P113 惑星環境下でのアミノ酸関連分子の安定性

○加藤潤, Md. Nazrul Islam, 金子竹男, 小林憲正 (横浜国大工)

11:06 P114 紫外線照射による原始大気および星間塵環境下での生体有機化合物の無生物的生成

○高野淑識, 金子竹男, 小林憲正 (横浜国大工), 高橋淳一, 細川照夫 (NTT通信エネルギー研), 橋本博文 (筑波大機能工), 齊藤威 (東大宇宙線研)

11:08 P115 Asuka-882023×ソシデライトの岩石学的・岩石化学的記載

○都丸明子, 藤巻宏和 (東北大理) 矢内桂三 (岩手大工)

11:10 P116 木星赤道帯状流内における熱対流

○浦地武士, 竹内覚 (福大・理), 長谷川均 (アステック)

11:12 P117 小惑星 (201) Penelopeの形状

○林悟, 柳沢正久 (電通大), 佐藤勲 (渡辺技研), 長谷川均 (アステック), 中島崇, 福島英雄 (国立天文台)

11:14 P118 粒子層表面の凹凸分布と光散乱特性

○中山博喜, 亀井秋秀, 中村昭子 (神戸大・自然)

11:16 P119 粗い表面による光散乱特性データの整備—太陽系小天体観測のために—

○亀井秋秀, 畠中直樹, 中村昭子, 向井正 (神戸大・自然)

11:18 P120 570nmの熱ルミネッサンススペクトルピークをもつ普通コンドライト

○山崎睦生, 蟹川清隆, 中川益生 (岡山理科大学・応用物理学科)

11:20-11:25 休憩

11:25-12:07 *****
ポスターセッション口頭2（座長：杉原孝充）

11:25 P201 SELENE計画の現状

○中澤暁，長柄泰博（宇宙開発事業団），SELENE共同プロジェクトチーム（宇宙開発事業団，宇宙科学研究所）

11:27 P202 SELENE搭載用地形カメラの性能と開発状況について

○春山純一（宇宙開発事業団，先端ミッション研究センター），松永恒雄（東京工業大学大学院総合理工学研究科），大竹真紀子，平田成，比嘉道也，杉原孝充，大嶽久志（宇宙開発事業団，先端ミッション研究センター）

11:29 P203 月周回衛星SELENE搭載LISM（月面撮像/分光機器）マルチバンドイメージ（MI）観測の意義および開発状況

○大竹真紀子，春山純一（宇宙開発事業団，先端ミッション研究センター），松永恒雄（東京工業大学大学院総合理工学研究科），平田成，比嘉道也，杉原孝充，大嶽久志（宇宙開発事業団，先端ミッション研究センター）

11:31 P204 月周回衛星SELENE搭載LISM（月面撮像/分光機器）スペクトロプロファイル（SP）の開発

松永恒雄（東工大大学院・総合理工学研究科），○大竹真紀子，杉原孝充（宇宙開発事業団），平原靖大（名古屋大），春山純一，平田成，比嘉道也，大嶽久志（宇宙開発事業団）

11:33 P205 γ 線分光計

長谷部信行，小林正規，山下直之，岡晃弘（早稲田大理工学総合研究センター），宮地孝（東大CNS），柴村秀道（埼玉県立大学），柏木利介（神奈川大），高島健（名古屋大），C.d'Uston（CESR, CNRS/UPS），M.Grande（Rutherford Appleton Laboratory），楢崎勝弘，釣見啓介（住友重機械工業（株）），森國城（クリアパレス（株）），山本立夫，坂井健二（応用光研工業（株））

11:35 P206 SELENE搭載レーザ高度計（LALT）の開発

○荒木博志，坪川恒也，河野宜之，大江昌嗣，浅利一善，田澤誠一（天文台水沢），国森裕生，青木哲郎（通信総合研究所），土屋淳（日本測量協会），古宇田亮一（地質調査所），神谷泉（国土地理院）

11:37 P207 セレーネ衛星搭載月磁場プラズマ観測装置（MAP）

○齋藤義文（宇宙研），綱川秀夫（東工大），セレーネMAPチーム

11:39 P208 SELENE/VRADミッションにおける多周波VLBI法

○河野裕介（総合研究大学院大学），花田英夫（天文台水沢），岩田隆浩（NASDA），鶴田誠逸（天文台水沢），平剣松（総合研究大学院大学），河野宜之（天文台水沢）

11:41 P209 SELENE計画月レーダーサウンダ(LRS)による月地下構造および表面地形の観測

○小林敬生，小野高幸（東北大），大家寛（福井工業大学）

11:43 P210 SELENEによる測月のためのリレー衛星及びVRAD衛星の開発研究

○岩田隆浩, 佐々木健, 高橋道夫 (NASDA), 並木則行 (九州大), 花田英夫 (天文台水沢)

11:45 P211 SELENEプロジェクト/リレー衛星計画のための月重力・地形解析の研究

○並木則行, 青島千晶 (九州大), RSATグループ

11:47 P212 SELENE/RSATにおける太陽輻射圧モデル

○平剣松 (総合研究大学院大学天文科学専攻)

11:49 P213 月面探査支援技術としてのローバの研究

金森洋史, 佐々木健, 飯島純一 (NASDA), ○市川誠 (清水建設 (株))

11:51 P214 Phobos/Deimos着陸探査提案

○秋山演亮, 出村裕英 (東京大院)

11:53 P215 近地球小惑星マルチフライバイ＆火星衛星サンプルリターン, ミッション提案

○出村裕英, 秋山演亮 (東京大院)

11:55 P216 ファミリーミッション：メインベルト小惑星族マルチフライバイ＆サンプルリターン計画

○矢野創, 安部正真, 藤原顯, 山川宏, 吉川真 (宇宙研), 片山雅英 (CRC総研), 小天体探査フォーラム

11:57 P217 スペクトル型既知近地球型小惑星の複数サンプルリターンミッション

○安部正真 (宇宙研), 野口高明 (茨城大), 出村裕英 (東大), 山川宏, 吉田信介, 矢野創, 吉川真, 長谷川直 (宇宙研), 斎藤潤 (西松建設), 北澤幸人 (石川島播磨重工業), 佐藤勲 (渡辺技術研究所), 藤原顯 (宇宙研), MEFメンバー

11:59 P218 ベ스타・大型小惑星ランデブーミッション計画

○佐々木晶 (東大理), 大型小惑星探査グループ

12:01 P219 MUSES-C搭載用近赤外線分光器の較正システムの開発

○尾島隆信, 安部正真 (宇宙研), 高木靖彦 (東邦学園短大), 藤原顯 (宇宙研)

11月1日

12:03 P220 小惑星探査計画MUSES-C搭載用近赤外分光器（NIRS）の開発と製作

○安部正真（宇宙研），高木靖彦（東邦学園短大），尾島隆信（宇宙研），及川拓也，神田成治，津野克彦（東芝），藤原顕（宇宙研）

12:05 P221 微少重力下でのMUSES-Cサンプラー収率の評価実験

○矢野創，藤原顕，長谷川直，安部正真（宇宙研），岡野康一（東北大），高木靖彦（東邦学園短大）

12:07-13:00 昼食

13:00-13:45 ポスターセッションコアタイム1
(P101-P120)

13:45-14:30 ポスターセッションコアタイム2
(P201-P221)

14:30-16:00 *****
招待講演

16:00-17:00 *****
総会

17:30-19:30 *****
懇親会

11月2日

9:00-12:00 *****
特別セッション将来惑星探査への提案

S101 惑星探査のための小型・高分解能質量分析計の開発

○豊田岐聰, 奥村大輔, 石原盛男, 交久瀬五雄 (阪大・理)

S102 太陽系の構成員「宇宙塵」を宇宙空間で測定する

○濱邊好美 (東大・理・地惑)

S103 黄道面脱出計画～黄道光の測光観測～

○石黒正晃 (神戸大自然), 長谷川直 (宇宙研)

S104 MEF：開かれたポストMUSES-C時代の小天体探査ミッションの検討

○矢野創 (宇宙研), 小天体探査フォーラム

S105 金星オービターミッションの実現に向けて

○今村剛 (宇宙研)、高橋幸弘 (東北大)、はしもとじょーじ (東大・気候システム)

S106 木星磁気圏探査の課題

○土屋史記、大矢克 (東北大学)

S107 惑星観測用宇宙望遠鏡の提案

○高橋幸弘 (東北大)、倉本圭 (北大)、今村剛 (宇宙研)

12:00-13:00 昼食

13:00-14:45 *****
セッション5 (座長: 山本聰)

13:00 501 近地球型小惑星(10302)1989MLの変光データの総合解析

○大場庸平, 石橋之宏 (東大・理), 安部正真 (宇宙研)

13:15 502 小惑星サンプルリターン計画MUSES-Cの変更と進捗状況

○藤原顕 (宇宙研), 向井正 (神戸大大学院), 川口淳一朗, 上杉邦憲 (宇宙研)

13:30 503 サブミリ波望遠鏡による地球中層大気中の有機物の観測可能性

○中村良介, 市沢俊介, 辻丸詔, 鈴木睦 (宇宙開発事業団地球観測データ解析研究センター)

13:45 504 南極ドームFuji造水槽沈殿物中のガラス質球粒の由来

○福岡孝昭（立正大地球）, 田澤雄二（京大理）, 野上謙一（独協医大）, 横田裕子（青山学院大理工）

14:00 505 宇宙風化作用のシミュレーション：微小鉄粒子の発見と反射スペクトル変化

○佐々木晶（東大理）, 中村圭子（神戸大理）, 濱邊好美, 倉橋映里香（東大理）, 廣井孝弘（ブラウン大）

14:15 506 獅子座流星体の月面衝突による発光

○柳澤正久, 私市成実, 農澤健太郎（電通大）

14:30 507 しぶんぎ座流星群のビデオ分光観測

○塚本登志夫, 平原靖大（名大理）, 阿部新助（総研大）, 海老塚昇（理研）

15:30-16:30 *****

宇宙開発事業団筑波宇宙センター見学会

日本惑星科学会
2000年秋季講演会
予稿

10月31日(火)
セッション1
No. 101 - 108
セッション2
No. 201 - 207
セッション3
No. 301 - 308

プレソーラー SiC 粒子とプレソーラー
TiC コア／グラファイト マントル粒子の共存条件

Conditions for the Coexistence of Presolar SiC
Grains and Presolar TiC Core–Graphite Mantle
Grains in the Meteorites

○青木謙 (名大理), 千貝健 (名大理/北大理), 山本哲生 (名大理), 小笹隆司 (北大理)
Ken Aoki¹, Takeshi Chigai^{1,2}, Tetsuo Yamamoto¹, and Takashi Kozasa²

¹ Department of Earth and Planetary Sciences, Nagoya University

² Department of Earth and Planetary Sciences, Hokkaido University

We explore the conditions of condensation of both SiC grains and TiC core-graphite mantle grains in the circumstellar envelopes around carbon-rich AGB stars taking into account of temperatures of the grains and gas. It is shown that SiC grains condense prior to condensation of TiC core-graphite mantle grains even if $T_c(\text{graphite}) > T_c(\text{SiC})$, where T_c is the condensation temperature.

同位体組成の分析から隕石中に発見されている SiC, グラファイト, TiC コア／グラファイト マントル粒子, ダイアモンド等は, 進化の進んだ星である carbon-rich AGB 星 (炭素星), 超新星, 新星で生成されたと考えられている。SiC, TiC コア／グラファイト マントル粒子の有力な生成環境は $\text{C}/\text{O} \leq 1.03$ の炭素星である。

Chigai et al. (2000) によると, 最初に TiC コア／グラファイト マントル粒子が凝縮し, ガス中の C-bearing molecules がすべて消費される。その結果, 凝縮温度が低い SiC 粒子が凝縮できない。一方, SiC 粒子も隕石から見いだされている。

本研究では, SiC と TiC コア／グラファイト マントル粒子の共存条件を求めた。上記のジレンマを解決するため, 一般にガスとダストの温度が異なることに着目した (Kozasa et al. 1996)。光学特性を考慮し, SiC 粒子と TiC コア／グラファイト マントル粒子の温度を星からの距離 r の関数として求めた。その結果, r によらず $T(\text{SiC}) < T(\text{gas}) < T(\text{graphite})$ であることわかった。このため凝縮温度が $T_c(\text{SiC}) < T_c(\text{graphite})$ であっても, 凝縮順序は $t_c(\text{SiC}) < t_c(\text{graphite})$ となり得る。

References

- Chigai, T., Aoki, K., Yamamoto, T., & Kozasa, T. 2000, Proc. 33rd ISAS LPS, in press
Kozasa, T., Dorschner, J., Henning, T., & Stognienko, R. 1996, A&A, 307, 551

結晶質スピネルの赤外線光学定数

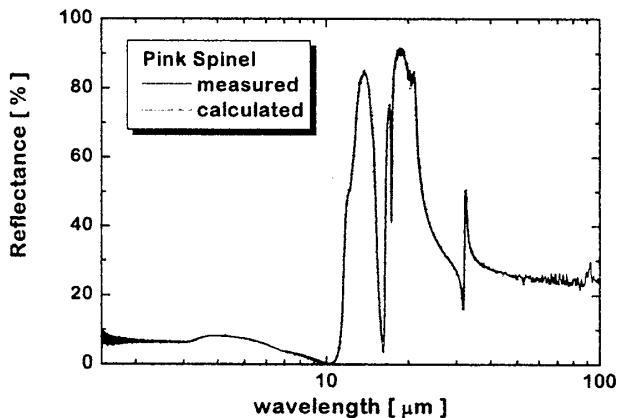
The Optical Constant of Crystalline Spinel

○茅原弘毅(阪大理・京都薬大)、寒川尚人(京都薬大)
小池千代枝(京都薬大)、土山明(阪大理)

For the natural and synthetic crystalline spinel ($MgAl_2O_4$), the mass absorption spectra of the fine particles and the reflectance of the bulk crystals were measured at mid- and far-infrared region. The absorption spectra showed the prominent peaks at 14.7, 19.7 and 32.4 μm . The reflectance also showed three features at 13.8, 18.5 and 32.4 μm . From the reflectance spectra, the complex optical constants (n, k) were derived for the natural spinels.

Mg-Al スピネル ($MgAl_2O_4$)は、Allende 隕石などの始源的な炭素質コンドライト隕石中に見られる CAIs に含まれる高温凝縮鉱物の一つである。その融点は 2400K 程度(1atm)と高く、Grossman & Larimer (1974) の平衡凝縮論の立場に立つと、高温のガスが冷えて様々な鉱物種が凝縮する過程において、比較的初期の段階で形成されると考えられる。したがって、星周での塵の核形成やダストシェルの温度構造を考察する上で、その光学特性を知ることは重要である。観測に関連する分野においては、ごく最近 Posch et al. (1999) によって 13 μm の赤外線未同定バンドを担う鉱物の候補として、星周での結晶質スピネルの存在が議論されている。

今回我々は、ほぼ stoichiometric な2種類の天然スピネルと Al_2O_3 -rich な合成スピネルに対し、フーリエ変換分光計を用いて、1.5 μm ~100 μm で反射率スペクトル、及び 6 μm ~50 μm で質量吸収スペクトルを測定した。また、天然スピネルについては、反射率スペクトルに multiple oscillator model (Bohren & Huffman 1983) を適用することで、高い精度の光学定数(複素誘電率: (n, k))を求めることが出来た。これらの結果をもとに spherical な形状の粒子を仮定した時に観測されるべきスペクトルを再現し、星周におけるスピネルの存在の妥当性を議論し、Posch らの主張を検証する。



Reflectance spectrum of pink-spinel

珪酸塩星間塵生成過程における余剰酸素の化学的影響

Experiment of silicate condensation under excess oxygen partial pressure: Analog to circumstellar dust grains

○平家 勉¹⁾ Tsutomu Heike
平原 靖大¹⁾ Yasuhiro Hirahara

Recent observation by ISO revealed that the existence of crystalline silicate dust in circumstellar environment. To clarify the dust condensation process, we conducted condensation experiment in MgO-SiO₂-O₂ system by microwave heating, and characterized the condensation product by using SEM, EDX, and TEM. The product grain shows spherical shape with the diameter of around 4.6 μm. Moreover, its elemental composition is eutectic. Compared with the result of condensation experiment of MgO-SiO₂ system (Heike and Hirahara, 1999 Fall Meeting of the Japanese Society for Planetary Sciences), the results of this study indicate that oxygen play an important role in chemical process of non-equilibrium condensation.

近年の赤外天文衛星を用いた観測により、星周環境における結晶性珪酸塩ダストの存在が明らかにされつつある。これら珪酸塩ダストは星周環境の高温、低圧下における気相からの非平衡な蒸発・凝縮過程を経て生成したとされ、その生成プロセスは急冷過程であるため、従来観測的にも実験的にもアモルファス物質が生成すると考えられてきた。このため、その生成メカニズムには不明の点が多く、新たな実験的アプローチが不可欠である。そこで本研究ではマイクロ波加熱装置により MgO-SiO₂ 系に余剰酸素を付加した条件下での蒸発・凝縮実験を行ない、得られた凝縮物を走査型電子顕微鏡(SEM)による観察と特性 X 線分析、透過型電子顕微鏡(TEM)による電子線回折及び赤外分光法により分析した。その結果、表面が平滑な真球形粒子を得た。この粒子の粒度分布はガウス分布に近く、粒径 4.6 μm に唯一のピークをもつ。そのピーク幅は Yamamoto and Hasegawa(1977)による非平衡凝縮論から計算される値と良い一致を示し、気相中において物理的には均質な核生成が起こったこと強く示唆する。このアモルファスの表面をもつ粒子の組成は平均すると約 35 wt.%MgO の共融点組成に誤差の範囲で一致し、Reitmeijer et al (1999)に見られる様に非平衡凝縮過程に特有の相分化のメカニズムが働いた可能性が示唆される。

MgO-SiO₂ 系の蒸発・凝縮実験の結果、粒径約 25nm の Forsterite 鉱物からなる超微粒子の生成が認められた(平家、平原 日本惑星科学会 1999 年秋季講演会)ことと今回の酸素をえた実験とを比較すると、酸素が微粒子の核生成・成長過程に多大な影響を与えたと考えられる。このことは珪酸塩星周塵の生成メカニズムにおいて、星の進化に伴う C/O 比の変化が生成物の酸化還元状態のみならずその結晶構造や形状、サイズ、化学組成にも決定的に重要な役割を担っている可能性を示唆する。

¹⁾名古屋大学大学院理学研究科地球惑星物理学専攻 Department of Earth and Planetary Sciences, Graduate School of Science, Nagoya University

放射光照射による非晶質カーボン膜からのカルビン結晶の生成

Carbynes Formation from amorphous carbon by Synchrotron Radiation

立命館大理工 滋賀工技セ^A 京工織大^B 京薬大^C○木村勇氣、花本克巳、佐々木宗生^A、木村誠二、中田俊隆、齋藤嘉夫^B、小池千代枝^C、中山康之、塙内千尋

In addition to the pure sp^2 -and sp^3 -hybridized carbon allotropes of graphite and diamond, fullerenes with mixed sp^3/sp^3 -hybridized carbon and carbynes with mixed sp^3/sp - hybridized carbon are increasingly interested. The present study shows that carbynes can be produced from amorphous carbon by synchrotron radiation. Amorphous carbon is considered to be a major constituent of the circumstellar dust of carbon star; the present result would suggest existence of carbynes in circumstellar environment and general interstellar medium under the background radiation containing a wide variety of wavelength.

炭素の多形には SP^3 のダイヤモンド、 SP^2 のグラファイトがよく知られているが、隕石の衝突痕に見出されたSP結合を持った炭素の一次元鎖の構造をもつカルビンが興味を持たれている。しかし、大きな単結晶の生成が出来ないことを含めて、詳しい構造は分かっていない。今回、Rits SRによる照射でカルビンの微結晶が生成したことについて示す。

真空蒸着法で生成した非晶質カーボン膜が大きさ1nm以下のダイヤモンドとグラファイトからなる混合膜であることを高分解能電子顕微鏡観察とオプティカルディフラクションリングの解析から実証した。この膜にシリンドリカルミラーによって集光した白色SR光(ビームサイズ: 0.4mm×30mm)をスキャン(スキャンスピード: 20 μ m/s)させることで、200秒、400秒相当の照射を行なったところ、カルビンの微結晶が生成した。得られたカルビンは4~20nmサイズの丸い形態をしたものと、50nm程度に長く伸びたものの2種類があり、高分解能電子顕微鏡観察により前者は α 相、後者は α 相と β 相の混合相であり、c軸が膜面に対して傾いていることが分かった。SR照射によって約2nmサイズのグラファイトの0.34nmの数層が三日月状に成長した領域からカルビン結晶が支配的に成長することが分かった。このことはグラファイトの存在がカルビンの成長に重要であり、グラファイト結晶の[100]や[110]方向の一重結合を切ってカルビンが生成するモデルが提案されているが[1]、今回のSR照射により生成したカルビンもほぼこの考え方で説明できることを示す。

グラファイトはプリソーラーグレインであることから、メタモフィズム的にカルビンの生成の可能性を実験的に見出したものと考えられる。

[1] A. G. Whittaker and P. L. Kintner, Science 200 (1978) 763-764

炭素質微粒子を含むモデル有機星間塵の蒸発変成実験
 Experiments on evaporation metamorphism of model organic material
 : including carbonaceous particles

○中野英之、香内晃

H. Nakano and A. Kouchi

北海道大学低温科学研究所

Institute of Low Temperature Science, Hokkaido University

We have performed experiments on the evaporation metamorphism of model interstellar organic material including amorphous carbon as the analog of interstellar carbonaceous particles. By the comparison of elemental composition of the residue and that of carbonaceous chondrites, we concluded that elemental compositions of carbonaceous chondrites could be explained by the evaporation metamorphism of interstellar organic grains including carbonaceous particles.

我々は、原始太陽系星雲内の星間塵中の有機物の存在状態を明らかにするために、Greenberg(1998)の星間塵モデルの有機物に着目してモデル有機物を作製し、蒸発変成実験をおこなってきた。これまでの研究から、星間塵中の有機物は原始太陽系星雲では2.1AUよりも内側ではほとんど存在せず、有機物が存在するのは現在の小惑星領域以遠であることが明らかになった。そこで、炭素質コンドライトは蒸発変成を受けた星間塵の集合体であるという仮定のもとに蒸発残渣と炭素質コンドライト中の有機物の元素組成(C, N)を比較した。その結果、C3, C4 コンドライトでは蒸発残渣のC, N含有量と大きくずれていることがわかった。このことから、炭素質コンドライト中の有機物の元素組成(C, N)は星間塵中の有機物の蒸発変成だけでは説明できないと結論づけられた。

そこで、我々はモデル有機物に加えていなかったGreenbergの星間塵モデル中に含まれる炭素質微粒子を考慮した実験をおこなった。炭素質微粒子は分子雲で氷が生成される際に氷の中に一緒に取り込まれたと考えられている。我々は、炭素質微粒子は原始太陽系星雲で氷が蒸発した時に、一部が有機物中に取り残されたと考えた。そこで、モデル有機物に炭素質微粒子の代替物質としてアモルファスカーボンを加えた試料を作製し、蒸発変成実験をおこなった。その結果、アモルファスカーボンを加えた試料(氷中に含まれる炭素質微粒子の2%が有機物中に残った場合に相当)では炭素質コンドライト中の有機物の元素組成(C, N)と良く一致し、星間塵の蒸発変成だけで炭素質コンドライト中の有機物の元素組成を説明できることがわかった。

有機星間塵の衝突・付着成長に対する蒸発変成有機物の効果 Effects of evaporation metamorphosed organic matter on the coagulation of solid particles

○工藤達行¹, 香内晃¹, 荒川政彦¹, 渡部直樹¹, 比嘉道也², 前野紀一¹

(¹北海道大学 低温科学研究所, ²宇宙開発事業団)

○T. Kudo¹, A. Kouchi¹, M. Arakawa¹, N. Watanabe¹, M. Higa² and N. Maeno¹

(¹Institute of Low Temperature Science, Hokkaido University

and ²National Space Development Agency of Japan)

We have performed experiments to understand the effects of evaporation metamorphosed organic matter on the coagulation of solid particles in the primordial solar nebula. Comparing new experimental results with previous results on ice, silicate and non-evaporation metamorphosed organic matter, we will discuss on the effects of evaporation metamorphosed organic matter on the coagulation of solid particles.

原始太陽系星雲において、固体微粒子は衝突時の付着・凝集により、より大きな天体へ成長する。しかし、固体微粒子の付着・凝集メカニズムは明らかになっていない。これまでの研究により、固体微粒子表面を覆う有機物が固体微粒子の付着・凝集成長に対して大きな効果を与え、その効果が特定の温度領域において最大となることが分かった。しかし、固体微粒子が高温領域に存在した場合、有機物はその温度に応じた蒸発変成を受け、その付着効果も変化することが推測される。本研究では、蒸発変成を受けた有機物による付着効果の大きさおよび温度特性を実験的に調べることを目的とした。

実験では、星間有機物の生成実験による分析値などを参考にして試薬を調合したモデル有機物を用い、銅球（直径 1cm）を銅板上のモデル有機物の層（層厚 1mm）に数 cm/s～数 m/s の速度で衝突させた。モデル有機物は、真空中 (10^{-2} Torr) において 1°C /min の加熱速度で 25°C から 160°C まで加熱した後、一定温度で長時間加熱を続けることにより、蒸発変成を起こさせた。その後、銅球とモデル有機物と共に最低 -73°C まで冷却し衝突実験を行った。衝突速度および反発速度は、自由落下の高さからの計算値および acoustic emission センサーを用いて測定した。同時に、付着と反発を判断するために、衝突の様子をビデオカメラで観測した。以上から、蒸発変成を受けた有機物に覆われた固体微粒子が衝突する際に、付着の起きる温度と衝突速度に関する依存性を調べた。

本研究により得られたデータと、氷・鉱物や蒸発変成を受けていない有機物を用いた衝突・付着実験により得られたデータとの比較を行う。それらの結果から、固体微粒子の付着・凝集成長に対する有機物の付着効果およびその温度特性、そして有機物の付着効果が蒸発変成により受ける影響を明らかにする。さらには原始太陽系星雲で有機物が固体微粒子の表面に存在した領域（小惑星領域）と他の領域（地球・木星領域）における固体微粒子の付着・凝集成長過程について議論する。

有機質星間塵の蒸発実験からみたコンドライトの酸化還元状態
 Oxidation state of chondrites deduced from vaporization
 experiment of interstellar organic matter

○香内 晃, 中野英之, 工藤達行 (北大・低温科学研究所)

We propose a new model based on the vaporization experiment of interstellar organic matter that oxidation state of chondrites are determined by the vaporization of interstellar icy and organic grains. We found that the vaporized gas at around 2 AU is most reductive. Chondrites and achondrites are formed in the following regions: at around 1.5AU, ordinary chondrites(LL, L, H); at around 2AU, enstatite chondrites; between 2 and 3 AU, achondrites(Aubrite, HED, Ureilite); >3AU, carbonaceous chondrites(C3, C2, C1).

コンドライト-エコンドライトの成因およびコンドライトの酸化還元状態を同時に説明しようとすると、怪しげな議論になる。通常、コンドライトの溶融・分化でエコンドライト母天体が作られ、太陽からの距離によってコンドライトの酸化還元状態が決まると考えられている(E,H,L,LL,C)。しかし、これまでのモデルでは、酸化還元状態を決める機構が不明である、小惑星のスペクトルと一致しない等の問題があった。本稿では、星間有機物の加熱蒸発実験をもとに、新しい考えを提案する。

星間有機物の加熱蒸発実験をおこない、蒸発ガスの元素組成の蒸発温度依存性を測定した。その結果、おおよそ60, 140°Cでガスの蒸発が起り、前者では比較的酸化的、後者では還元的なガスが蒸発することがわかった。それぞれの温度は原始太陽系星雲の能動的円盤の段階では2.7, 2.2 AUに対応する。

エコンドライト母天体は有機物の接着効果によってコンドライト母天体よりも急速に成長した(2-3AU)。エコンドライト母天体は成長が早かった(速かった)ので、²⁶A1が十分に残っており、それによって火成活動がおこった。いっぽう、コンドライト母天体は²⁶A1が十分に残っているうちに成長できなかつたので(<2AU,>3AU), 火成活動は起こらず未分化のままであった。

有機物がほぼ蒸発する2.2AU前後での蒸発ガスが最も還元的になる。ガスは2.2 AUより内側に行くと徐々に酸化的になる。いっぽう、氷の蒸発によって、5-7AUでは最も酸化的になる。以上のことから、コンドライトおよびエコンドライトは次の位置で形成されたと考えられる：

1.5AU付近	O-コンドライト	内側からLL, L, H
2AU 付近	E-コンドライト	
2-3AU	エコンドライト	内側からAubrite, HED, Ureilite
3AU より外側	C-コンドライト	内側からC3, C2, C1.

このように考えると、観測されている小惑星のスペクトルとよくあうし、酸化・還元状態も説明できる。

蒸気存在下におけるフォルステライト蒸発のカイネティクス
 The kinetics of evaporation of forsterite in gas from itself

○稻葉治美、永原裕子、小澤一仁
 (東大理 地球惑星)

The evaporation of forsterite in the presence of its own vapor was experimentally investigated. Single crystal of forsterite was kept in a Pt capsule with various sizes of orifice and heated at 1700°C and 1600°C for 12 hours. The surfaces of the samples after the experiments suggest the effect of back reaction in evaporation. The condensation coefficient is estimated to be about 0.1.

蒸発過程は太陽系星雲における化学的分別に主要な役割を果たす。鉱物の蒸発速度は真空中或いは水素ガス流中において求められてきたが、ガスと鉱物の分離が起こらない場合は逆反応により蒸発速度が減少することが期待される。物質表面で蒸発と凝縮が同時に起きている条件下での表面の分子のフラックスは、 $J = J_{evap} - J_{in} = (\alpha_{evap} P^{eq} - \alpha_{cond} P) / \sqrt{2\pi mkT}$ で与えられる。ここで、m は分子の重さ、k はボルツマン定数、T は絶対温度、そして、 α_{evap} (蒸発係数)及び α_{cond} (凝縮係数)はカイネティックバリアであり物質固有である。

本研究では、クヌーセン・セルの中で単結晶のフォルステライトを蒸発させ、蒸発に伴って生じる逆反応(凝縮)の効果を見積もった。サンプルは、合成フォルステライトの単結晶を(001)面が底面となる円柱状に切り出して用いた。カプセル上部に様々なサイズの小孔を設け、カプセル内の蒸気圧を変化させた。実験温度は 1700°C 及び 1600°C、実験時間は 12 時間とした。

これまでの研究から、フォルステライトの α_{evap} 及び平衡蒸気圧 P^{eq} は既知である。更に、サンプル表面における圧力 P 及びそれに対応する蒸発速度 J が求められる。蒸発係数のガス組成依存性は無いものと仮定して、凝縮係数を導出すると、0.1 程度という結果が得られた。この値は、蒸発係数と等しい。

実験後、サンプル表面を SEM により観察すると、全ての試料表面にダイアモンド型の蒸発ピットが見られた。このピットは、真空蒸発したフォルステライト(001)面に特徴的に見られる蒸発ピットと類似している。しかし、真空蒸発のものに比べるとサイズが小さく、また、オリフィスサイズが小さいものほど小さい。これは、オリフィスサイズが小さい程、逆反応が進行し、表面の平衡化が進んでいることを表している。

求められた蒸発係数を用いることで、太陽系星雲におけるフォルステライト粒子のライフタイムを推定することが可能となる。

原始惑星系円盤内のダスト層のシア不安定性：
一定密度と正弦分布のハイブリッドモデル

Shear instability in the dust layer of the protoplanetary disk:
A hybrid model of constant and sinusoidal density distributions

関谷実、[○]石津尚喜（九大・理・地球惑星）

Minoru Sekiya and [○]Naoki Ishitsu
Kyushu University

The linear analysis of shear instability in the dust layer of the protoplanetary disk is made using an unperturbed state with constant and sinusoidal density distributions. The results show that the growth time is shorter than the Keplerian period, even for the case with midplane density smaller than the critical density of the gravitational instability.

原始惑星系円盤内に初期に均一に分布していたダストは互いに付着しながら中心星重力の回転軸方向成分により円盤中心面に向かって沈殿する。沈殿が進むとダストを多く含む円盤中心面付近のダスト層は、ケプラー円運動に近い速度で公転する。他方、ガス層（ダストを余り含まない中心面から離れた領域）はガスの動径方向の圧力勾配のためにケプラー円運動に比べてゆっくり公転する。このダスト層とガス層の間の速度差により、シア不安定性が起ると考えられている (Weidenschilling, 1980, 1984; Cuzzi et al., 1993; Sekiya, 1998)。

さて、関谷と石津 (Sekiya and Ishitsu, 2000) はリチャードソン数（シア安定性に関する無次元量。通常、約0.2以下で不安定）の値が一定であるような密度分布 (Sekiya, 1998) におけるシア不安定の線形解析をして、不安定性の成長率はケプラー周期よりも小さいことを示した。この研究に対して、初期の分布がリチャードソン数一定というのは根拠がないという批判を受けたので、今回は赤道面付近では密度一定、境界層付近では正弦分布という簡単な分布（このような初期分布はダストの沈殿成長の数値計算の結果に近い）を仮定してシア不安定性の線形解析をした。その結果、重力不安定に達する密度よりも小さい場合でも、シア不安定性の成長時間はケプラー周期よりも十分小さいという結果が得られた。

恒星接近がダスト-デブリ円盤の内側境界にもたらす影響
 The Effect of a Stellar Encounter on the Inner Edges of Debris-Disks
 小林 浩 ○、井田 茂
 東京工業大学大学院理工学研究科地球惑星科学専攻

We have investigated the effect of a stellar encounter on a planetesimal disk through orbital integrations and analytical calculations. We modeled a planetesimal disk as non-self-gravitating test particles rotating around a primary star and consider a single passing stellar encounter. The eccentricities e and inclinations i of the particles are pumped-up highly by the stellar perturbations and the planetesimals are forbidden to grow in outer region of the disk. We also derived approximate analytical formulae of the pumped-up e and i in this region. We may explain that a stellar encounter decide inner boundary of debris-disks from the condition of destructive collisions of planetesimal which is derived by these formulas.

惑星形成の際に、中心星以外の恒星による効果が、考えられることは少なかった。しかし、以下に述べるように中心星以外の恒星の重力的効果は考えなくてはならない効果である。本研究での数値計算方法は、微惑星円盤を考え 1 万体のテスト粒子を置き、そこへ様々な軌道で他の恒星を遭遇させた。その結果、他の恒星が円盤にもたらす影響は、中心星から離れた場所では、微惑星の軌道離心率は大きく、それ以後の惑星形成は阻害されることがわかった。さらに、中心星に近いところで、励起される軌道離心率、軌道傾斜角の半解析的表式を得た。この解析式をもちいて、微惑星衝突が微惑星の破壊をもたらす条件を導き、それによりダスト-デブリ円盤の内側の境界を決める事を説明できる。

自己重力のある微惑星ディスクでの永年共鳴の効果

Sweeping secular resonances in a self-gravitating planetesimal disk

○長沢真樹子, 井田茂 (東京工業大学大学院 理工学研究科 地球惑星科学専攻)

○Makiko NAGASAWA, Shigeru IDA (Tokyo Institute of Technology)

The effects of sweeping secular resonances in a self-gravitating planetesimal disk were studied. We calculated numerically orbits of planetesimals in the Kuiper belt, and estimated the increments of eccentricities and inclinations due to the ν_8 and the ν_{18} resonances. We found that the effects of self-gravity average the eccentricities and inclinations in outer region of secular resonances. We also found that the longitude of perihelia and ascending nodes coincide with each other and its rotation speed varies compared with non-self-gravitating cases.

カイパーベルト天体の分布は、 ν_8 の永年共鳴 (~ 41 AU) を境に二つに分かれている。41AU 以下の軌道長半径を持つカイパーベルト天体は平均で約 0.2 の離心率、軌道傾斜角 (radian)を持ち、その軌道分布は、Malhotra (1993, 1995) の 3:2 の平均運動共鳴移動の考え方でよく説明がつけられている。一方、軌道長半径が 41AU 以上の天体は、平均で 0.2 程度の軌道傾斜角と 0.1 程度の離心率を持っていて、この大きな軌道要素と離心率がどのようにして得られたか、いくつかの研究がなされているが、いまだ結論は出ていない。

Nagasawa & Ida (2000) は、原始太陽系星雲が 10^{7-8} 年で散逸すれば、永年共鳴の移動の効果が、観測と合致する程度まで、離心率、軌道傾斜角を上昇することを示した。この計算は簡単のために微惑星同士の相互重力を考慮していないかった。しかし、Ward & Hahn (1998) は、微惑星同士に相互重力がある場合は、微惑星円盤内に密度波がたち、微惑星の離心率は相互重力を考慮しない場合と比べてまったく異なることを解析計算から示した (Fig. 1)。永年共鳴は、原始太陽系星雲の質量が微惑星円盤の質量と同程度かそれ以下になった時に通過するので (Nagasawa & Ida 2000)，微惑星円盤の相互重力も星雲重力と同様、重要な効果を持つ。

そこで我々は、相互重力を入れた軌道計算を行い、永年共鳴の効果がどのように変化するかを計算した。

今回我々は、微惑星の振る舞いを見るために、直接の星雲散逸の効果は考慮せず、惑星

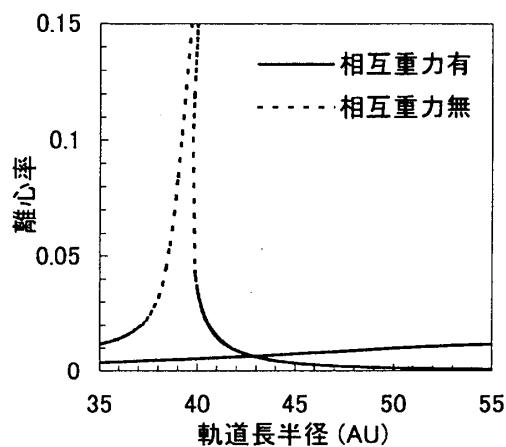


Fig. 1 永年共鳴による離心率の上昇量。相互重力がある場合とない場合。Ward & Hahn (1998)による。

の近日点の移動速度を変えることで、永年共鳴の位置を動かして計算を行った。そして、離心率の永年共鳴 ν_8 と軌道傾斜角の永年共鳴 ν_{18} について調べた。

本研究の結果、相互重力を含めると、これまでのように、永年共鳴のごく近辺でのみ離心率、軌道傾斜角が上昇するのではなく、共鳴の外側の円盤全体で平均的に離心率、軌道傾斜角が上昇することがわかった。そしてまた、微惑星の近日点や昇交点の位置が一致し、その結果、近日点、昇交点の移動速度がこれまでのものとは異なることがわかった。これは、永年共鳴の条件が変わることを意味している。

Reference

- Malhotra, R. 1993, Nature, 365, 819
- Malhotra, R. 1995, AJ, 110, 420
- Nagasawa, M., & Ida, S. 2000, AJ, in press
- Ward, W. R., & Hahn, J. M. 1998, AJ, 116, 489

原始惑星の軌道安定性に対するガス抵抗の効果について

The Gas Drag Effect on the Orbital Instability
of the Protoplanet System

○岩崎 一典 田中 秀和 中澤 清 榎森 啓元

According to the recent works on the planetary formation, at the late stage, several tens of protoplanets whose masses are of the order of Martian mass in the terrestrial planet region. The present terrestrial planets are thought to be formed from these protoplanets through their orbital instabilities (i.e., orbital crossings) and collisions. In this study, we investigate numerically the influence of the gas drag force due to the solar nebula on the orbital instability of protoplanet system. From our results, we found that protoplanet system would be never confronted with the orbital instability under the gas drag effect when their initial orbital separations are larger than a certain critical value.

最近の惑星形成論の成果によれば、惑星形成の最終段階において、数十個の原始惑星(火星質量程度)が地球領域に形成されることが分かってきている。現在観測されている地球型惑星は、これらの原始惑星同士が軌道不安定(軌道交差)を起こして互いに衝突し、形成されたと考えられている。本研究では、原始惑星系星雲のガス抵抗が原始惑星の軌道不安定に与える影響を調べるために数値軌道計算を行なった。その結果、原始惑星の配置間隔をある臨界値(臨界配置間隔)より大きくすると、ガス抵抗の効果によって軌道不安定が起らなくなることが分かった。さらに、この臨界配置間隔をガスの濃度の関数として表すことができた。これらの結果から、ガスの存在下において、原始惑星の軌道不安定が起こる条件を決めることができる。

巨大衝突後の地球と月の共成長進化

○森島龍司 渡邊誠一郎 (名大・理)

Co-accretion evolution of the Earth-Moon system after the giant impact

○Ryuji Morishima and Sei-ichiro Watanabe

Department of Earth and Planetary Sciences, Nagoya University

Recently, the Moon-forming giant impact is considered to have occurred during the Earth's accretion. In co-accretion stage after that, much of lunar impact ejecta would be ejected to circumterrestrial orbits due to high velocity impacts of residual heliocentric planetesimals. We performed orbital calculations of the escaped particles from the satellite with various mass ratio and semi-major axis. For a lunar-sized satellite, most of the particles escape from the Hill sphere of the planet, which take away a great quantity of the angular momentum. Simulating co-accretional evolution including re-distribution of lunar impact ejecta and tidal interaction, we estimated the angular momentum of the Earth-Moon system at 0.7 – 0.8 Earth's mass as about 1.2 – 1.4 times larger than that of the present Earth-Moon system. Comparing our results with a scaling-low of the giant impact, we could constrain total mass of the proto-Earth and impactor as large as about 0.8 times of the present Earth's mass.

月起源説の最有力である巨大衝突説の問題点として、原始地球とインパクターの質量和が $1M_E$ (地球質量) で、角運動量が $1L_{EM}$ (地球月系の角運動量) の衝突によってでは、月よりも小さな衛星が形成されてしまうことが指摘されている。一方、質量和が $0.6 – 0.7M_E$ で角運動量が $1.0 – 1.25L_{EM}$ の衝突だと、その時点ではほぼ月に近い大きさの衛星が形成されることが示されている (Cameron and Canup, 1998)。

月形成が地球の集積の途中段階で起ると、その後の微惑星集積により地球と月は共成長をするが、月への微惑星衝突速度が、月の脱出速度を大きく越えるために、大量の Ejecta が周地球軌道に飛び出ると考えられる。本研究では、様々な（惑星に対する）質量比と軌道半径の衛星の表面から脱出速度を越えて発射される Ejecta の軌道の数値計算を行い、Ejecta の、衛星への衝突、惑星への衝突、惑星のヒル圏からの脱出、の 3 通りへの分配率と、それぞれに分配される Ejecta の平均角運動量をもとめた。その結果、月サイズの衛星の場合、過半数の Ejecta は惑星のヒル圏から脱出してしまい、それらは大量の角運動量を持ち去ることが分かった。

その結果をもとに、微惑星集積、Ejecta による再分配、潮汐相互作用を考慮にいれた地球月系の質量と角運動量の進化を計算し、共成長過程における角運動量の損失を見積もった。それにより、質量和が $0.7 – 0.8M_E$ の時に起こった巨大衝突の角運動量は、 $1.2 – 1.4L_{EM}$ 程度であったことが分かった。本研究の結果を、巨大衝突のスケーリング (Canup *et al.* 2000) と比較することにより、月を作った巨大衝突の質量和が $0.8M_E$ 程度であったと大きく制約することができた。

ただしそれぞれの問題点として、本研究は stochastic な衝突の影響を考慮していないという点が、巨大衝突のスケーリングは原始地球とインパクターの質量比が 7 : 3 の場合のみであるという点がそれぞれ挙げられ、今後の課題である。

斜め衝突における粉体層からの衝突放出物の速度分布

Velocity distribution of powdery ejecta in oblique impacts

○山本聰（北大・低温研）

I have performed impact experiments onto soda-lime glass powders to investigate velocity distribution of powdery ejecta in oblique impacts. Projectiles with mass of 0.2g were accelerated by using a rail gun. The ejecta were detected by thin Al foil targets of different thickness, and the resulting holes on the foil were counted to derive the velocity distribution. In our analysis, an empirical relation of threshold penetration was adopted to determine the limiting velocity of the penetrating particles. Based on the obtained velocity distribution, we discuss impact angle dependence of the velocity distribution of powdery ejecta.

月や小惑星などの大気を持たない多くの太陽系小天体の表面では、惑星間空間を飛翔しているメテオロイドや固体微粒子の絶え間ない高速度衝突が起こっている。過去の惑星探査や地上観測から、これらの小天体表面はレゴリス層とよばれる微粒子の層で覆われていることがわかっている。小天体表面の衝突進化や放出破片の惑星間塵への寄与について検討する上で、レゴリス層での衝突過程を定量的に明らかにすることが重要である。ところで、太陽系空間内での衝突現象はそのほとんどが天体表面に対して斜め衝突である。これまでのレゴリス層からの衝突放出物の測定実験では、衝突角度依存性についての定量的検討は行われていなかった。

本研究では、レゴリス層に対して入射角度を変えて（15度から90度）衝突放出物の速度分布について測定を行った。低温研で新たに開発した斜め衝突銃（レールガン）を用いて重さ約0.2gのプロジェクトタイルをレゴリス層に模擬したターゲット（シリケイト物質の粉体層）に衝突させた。放出物の速度を測定するために、薄いアルミシートを用いた。このアルミシートの厚さを変えて実験を繰り返すことで、放出物の速度分布を見積もることが可能となる。これらの方法を用いて得られたデータを基にして、レゴリス層からの放出物の速度分布の入射角依存性について議論する。

隕石衝突によるダスト放出の数値シミュレーション

Numerical simulation of dust production by impact cratering

○高田 淑子、木村貴之（宮城教育大学地学教室）

Toshiko Takata and Takayuki Kimura (Miyagi University of Education)

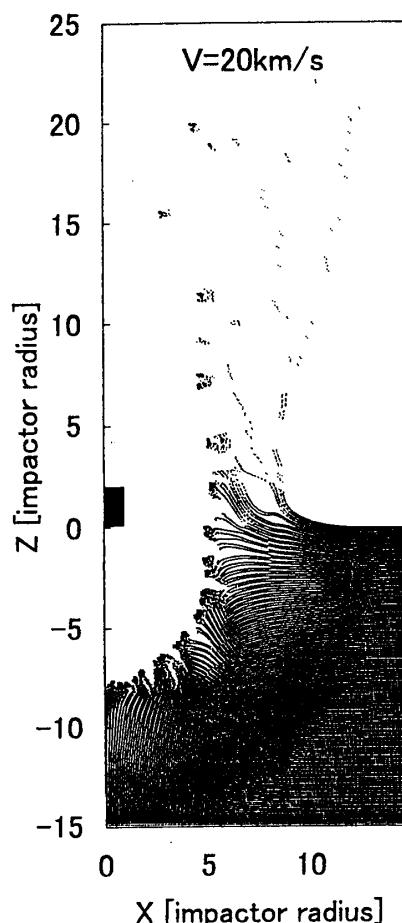
Numerical simulations of meteoroidal impact are conducted using SPH (Smoothed Particle Hydrodynamics) code taking into consider both the strength of materials and finite deformations in order to estimate the amount of dust aerosols produced by impact cratering. In simulations, spalling from the sub-surface region is observed. The tensile stress works inside the cavity, and results in the cracking in the radial direction. In the case of Chicxulub cratering, the amount of produced fine dust is assumed to be $10^{13} \text{ kg} - 10^{14} \text{ kg}$. If they are distributed globally, the average thickness of the dust layer becomes $10-100 \mu\text{m}$. Long term floating of the dust-aerosols is enough to block the solar radiation.

隕石衝突によって巨大クレーターが形成される際、莫大な量のダストが放出する。その一部が成層圏に滞留して日射を遮ることなどから気候変動に影響を与えると考えられている。そこで、岩石強度を考慮に入れた弾塑性大変形を伴う S P H (Smoothed Particle Hydrodynamics) 2次元軸対称コードを作成し、隕石が惑星表層に衝突する数値シミュレーションを実施し、エJECTAの運動から滞留するエJECTA質量を算定した。

コードの信頼性テストのため、鉄柱の衝突変形をシミュレーションして室内実験結果と比較したところ、変形量比で、誤差 5 % 以内であった。この計算コードを用いて隕石衝突の数値シミュレーションを実施した。クレーティングの過程では、表層におけるスパッタリングが確認でき、衝突地点から離れるほどスパッタリングエJECTAのサイズが大きくなる様子が確認できた(図)。さらに、クレーター内壁に放射状の分裂面が観察された。

この数値計算の結果から、成層圏に到達するエJECTAの 0.1%が長期間成層圏に滞留できる細粒ダストであると仮定すると、衝突速度が 10 km/s の時、その質量は衝突体質量の約 1%となった。この結果を、K/T 境界の引き金と言われているチクサルブインパクトに適用すると、滞留ダスト総質量は約 $10^{13} \text{ kg} - 10^{14} \text{ kg}$ 、地球全域を均一に覆うと仮定すると、 $10-100 \mu\text{m}$ の厚さとなる。この結果は、チクサルブインパクト規模の隕石衝突によるダスト放出が、地球規模の気候変動を引き起こす要因でありうることを示唆している。

Figure:SPH 2D axisymmetric elastic-plastic simulations of a meteoroidal impact. Impact velocity is 4 km/s. A target and an impactor are assumed to be basaltic rocks. All distances are scaled in the impactor radius. SPH particles of an original impactor, a deformed impactor, and a deformed target are shown in plus, cross, and dot symbols, respectively. Half space along the symmetry is shown.



部分溶融マグマによる月高地地殻の形成：

斜長石の微量元素のSIMS分析による推定

Partial Melting Model for Primary Magma of Lunar Highland:
Estimation from Trace Element SIMS Analysis in Plagioclase

○富樫茂子、木多紀子、森下祐一（地調）

S. Togashi, N. T. Kita and Y. Morishita (GSJ)

The compositions of host magmas of ferroan anorthosites and Mg-suite rocks are estimated from plagioclase. The Sr/Ba ratio in the host magma of ferroan anorthosites is half of their source. It is explained by partial melting (< 20 %) with a large D-value of Sr (0.25). The recrystallization decreases the Co and Sc contents in some plagioclases. The degree of melting is estimated to be 0.6% for the Mg-suite(14160) rock from the Ba concentration. The estimated DSr-value of the primitive Mg-suite magma is 0.23 and coincident with the estimated maximum value for ferroan anorthosites. Finally, less than 20 % partial melting of lunar plagioclase-lherzolite mantle could produce the primitive magmas of lunar highland rocks. The different degrees of melting characterize the magmas of ferroan anorthosites and Mg-suite rocks.

月高地を構成する鉄に富む斜長岩系列(FAN)とMgに富む系列(Mg-suite)の岩石中の斜長石の微量元素組成をSIMSで測定した。得られた斜長石の微量元素組成から、斜長石とマグマの分配係数の組成依存性を補正した上で、マグマの微量元素濃度を推定した。Co濃度は再結晶により減少するが、再結晶していない場合には、分化の程度を示し、未分化な親マグマを推定できる。推定されたFANの親マグマのSr/Baはコンドライトの2分の1であった。全溶融したマグマオーシャンから、かんらん石・輝石が分別した場合は、マグマと源岩マントルのSr/Baは同じであるはずである。従って、難揮発性であるSr/Baの比はコンドライトと月マントルで同じであると仮定した場合、月マントルの全溶融モデルではFANの親マグマを生成できない。部分溶融モデルでは、斜長石をマントルに含む(Sr分配係数が0.25程度)場合にのみ説明が可能である。その場合、FANの親マグマは、20%以下の部分溶融で生成することができる。Mg-suiteの岩石(sample 14160)とマントルのSr分配係数は0.23でFANの推定値と整合的であり、Ba濃度から求めた部分溶融の程度は0.6%と小さい。

長波長アドミッタンスから見た 金星内部粘性構造について

The viscosity structure of Venus inferred from long wavelength admittance studies

東京大学理学系研究科 野村 哲也○
東京大学理学系研究科 阿部 豊

The observed admittance of long wavelength topography/gravity of Venus is interpreted as a result of dynamical support by the mantle flow. We examined the viscosity and density anomaly distributions within the Venusian mantle using dynamic support model (Hager and Clayton. 1989). We found that the observed admittance cannot be explained by the model with large viscosity contrast between the lower and upper mantles (more than 5). This implies that Venus's viscosity contrast between upper mantle and lower mantle is less than that of Earth.

金星の長波長地形は主にダイナミックサポートにより支えられていると考えられている。今回我々はダイナミックサポートモデルを用いて、粘性率コントラスト、密度異常分布をいろいろ変えて、観測された長波長アドミッタンスを再現するパラメータを検討した。その結果、下部マントルが上部マントルの10倍の硬さを持つ粘性構造は、観測されたアドミッタンスを説明しないことが分かった。地球の場合下部マントルは上部マントルの約10倍の粘性を持つことが知られており（Hager and Clayton 1989等）、このことから、金星の下部マントルと上部マントルの粘性率コントラストは地球のそれより小さいことが示唆される。

金星活火山探索～近赤外ウインドウを利用した観測

A Search for Active Volcanoes on Venus Using a Near-Infrared Window

○はしもとじょーじ(東大・気候システム)、今村剛(宇宙研)

Abstract: We can detect a hot lava on Venus' surface from the outside of Venus' clouds by using a near-infrared window. The radiation at 1.0 μm wavelength transmits through the Venus' thick atmosphere, and the intensity of the radiation has a strong dependence on the temperature. If a hot lava had erupted, we will observe an excess radiation emitted from it. Although cloud scattering blurs the excess radiation, about 10% or more excess radiation is to be expected at 1.0 μm wavelength until the lava surface cools.

火成活動は惑星内部の熱輸送や化学分化に関係し、惑星の進化に大きな影響を与える過程のひとつである。また火成活動に伴う脱ガスは、大気組成を変えることで惑星表層環境・気候にも大きな影響を与えており、しかし金星はその全面を分厚い大気と雲によって覆われているため、外から地表を観測することが難しく、金星の現在の火成活動度を直接的な観測によって制約することはできない。

本研究では、近年発見された近赤外の1ミクロンのウインドウを利用してことで、雲の上からの観測によって金星地表の熔岩噴出イベントを検出する可能性について検討した。ある程度の期間にわたって定常的な観測をすることによって熔岩噴出の頻度を制約することができれば、金星の現在の火成活動度を推定することができる。

観測で使用する1ミクロンの波長は金星大気・雲による吸収が少ないため、地表からの熱放射を雲より上で観測することができる。またこの波長は金星地表温度(約750K)の黒体輻射の波長に比べて短いため、温度の上昇に対して急激に輻射が大きくなるという特徴を持つ。そのため、金星地表における熔岩噴出イベントは、熔岩から射出される過剰な輻射を観測することによって検出できる可能性がある。

熔岩噴出による過剰な放射の強度は溶岩流の大きさとその表面温度によって決められるが、観測される放射強度は雲による散乱の影響も受ける。雲層による光の散乱の計算を行った結果、地表の点光源から発せられた光は雲頂で数10kmまで広がることが示された。この計算結果を用いると、溶岩流の温度・大きさと観測される過剰な放射の強度の関係を導くことができる。ちなみに金星に典型的に見られる100Km²程度の大きさの溶岩流の場合、表面温度が890K以上のときバックグラウンドに比べて10%以上の過剰な放射が観測される。また1km²程度の大きさの溶岩湖の場合には、表面温度が1200K以上のとき10%以上の過剰な放射が観測される。溶岩流の冷却速度にもよるが、噴出直後であれば熔岩噴出イベントを検出することは十分に可能であると考えられる。

金星の大気循環と雲形成

General circulation and cloud formation in the Venus atmosphere

○今村剛 (宇宙研) 、はしもとじょーじ (東大・気候システム)

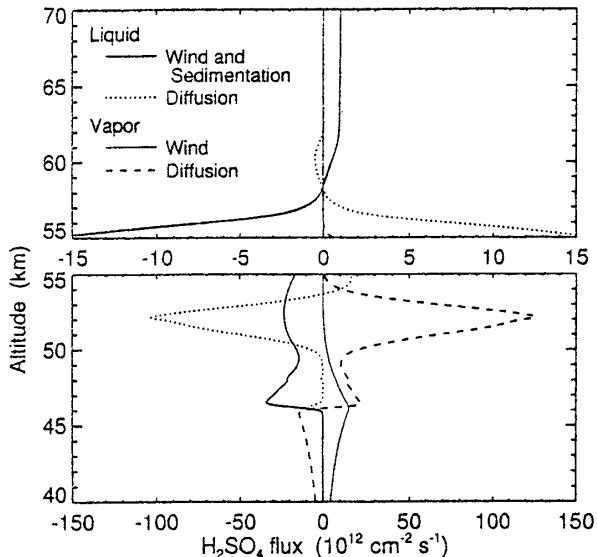
The meridional circulation of the Venus troposphere is poorly constrained. We propose that the cloud structure and the distributions of condensable gases can constrain the meridional circulation around the cloud layer. For this purpose, we have developed a one-dimensional cloud model which simulates the microphysics of cloud formation near the equator and a two-dimensional transport model which simulates the meridional circulation of sulfuric acid and water. The study revealed that there must be a circulation which exchanges air between troposphere and stratosphere across the cloud layer, with rising motion in the tropics and subsidence at high latitudes.

金星の大気運動は西向き高速回転（スーパー・ローテーション）が卓越しているが、大気構造や組成分布を決める重要なプロセスである子午面循環の形態は明らかでない。下部成層圏に位置する雲頂付近では極向きの循環が存在することが紫外画像から示唆されているが、より低い高度（対流圏）の情報は極めて乏しい。Pioneer Venus プローブで計測された南北風速プロファイルが高度により何度も風向を変えることから、複数の直接循環（ハドレーセル）と間接循環が鉛直方向に積み重なっているという解釈がなされたが、現在では大気波動に伴う風を観測したという解釈に分がある。太陽光加熱が雲層上部に集中していることから、雲層内で閉じる直接循環の存在も予想されているが、証拠は得られていない。

金星を遍く覆う濃硫酸の雲は大気循環の影響を強く受けるため、雲および雲材料物質（硫酸と水）の分布から大気循環場を推定することが可能である。そこで我々は、赤道域に注目した鉛直1次元雲物理モデルおよび、南北循環も取り入れた子午面2次元モデルを用いて、惑星スケール循環の中での雲形成過程について考察した。

赤道域の1次元モデルでは、雲層を横切る直接循環を想定し、高度40–70kmに弱い上向きの定常風を導入した。金星の雲物理における鉛直風の役割が考察されるのはこれが初めてのものである。このモデルで計算された各高度における雲粒のサイズ分布、硫酸蒸気分布、水蒸気分布は観測結果と概ね整合的である。ここで注目に値するのは、定常的な上昇流と雲粒の沈降の結果として雲底付近に硫酸蒸気と水蒸気が蓄積されることである。このような雲底付近のピークは硫酸蒸気については観測で明確に示されており、水蒸気についてもデータの散らばりは大きいものの観測で示唆されていると言える。

子午面2次元モデルでは、高度35–70km、緯度0–90°の子午面内の硫酸と水の輸送を解いた。シングルセルの直接循環による輸送を考慮している。凝結蒸発についてはサイズ分布を仮定した上で気相液相に分配するという極端な簡略化を行っているが、サイズ分布は上記1次元モデルで再現されているので良しとする。計算された雲および硫酸蒸気の分布は、子午面循環の結果として顕著な緯度依存性を示す。雲は赤道域と極域で光学的に厚くなり、硫酸蒸気は低緯度では雲底付近の薄い層に濃集するが高緯度では広い高度範囲に広がる。このような分布は近年の観測結果と整合的であることから、モデルで仮定したような雲層を横切る直接循環の存在が強く示唆される。



鉛直1次元モデルにおける液相および気相の硫酸分子フラックス

火星の気圧変動と極冠後退曲線

Pressure Variation and Cap's Regression Curve in Mars

○早川知範（京都大理）、赤羽徳英（京都大天文台）、鳴海泰典（九州東海大）

In the past, no one could simulate the pressure variation and the cap's regression curve of Mars with the same model. If the southern surface albedo was higher than the northern one, we could simulate the pressure variation. So next, we simulated the regression curve in case of the higher southern albedo. However it's difficult to observe the polar cap due to the polar hood and because the southern cap shows the asymmetric feature in the regression phase. Therefore the observation data is not so exact. But in our simulation, our results were almost same with the observation.

これまで一つのモデルで、火星の年間気圧変動と極冠の後退曲線を同時にあらわした例はほとんどない。われわれは昔から言われてきた、火星の場合南半球の反射能が北半球の反射能よりも若干高いということに着目し、それによって気圧変動のほうはうまく説明できるとわかった。ただ極冠の後退曲線のほうは、観測時極冠に極雲がかかって観測がしにくいくことや、南極冠では収縮するときに形が非対称になることからシミュレーションの結果と単純に比較することができない。しかしそれわれのシミュレーション結果と観測結果とを比較した結果、だいたいではあるが観測に一致する結果となった。今回はこのことについて詳しく紹介する。

火星気候システムの挙動解析

Analysis of Martian climate system

° 中村貴純, 田近英一 (東大・理・地惑)

° Takasumi Nakamura and Eiichi Tajika

(Department of Earth and Planetary Science, Univ. of Tokyo)

Many valley networks on the surface of Mars suggest existence of warm and wet climate in the distant past. In this study, we construct a one-dimensional energy balance climate model (EBM) with CO₂-dependent outgoing radiation, seasonal changes of solar radiation income, and areal extent of CO₂ ice cap. We have investigated behavior and evolution of the Martian climate system and, in particular, examined the effect of the seasonal changes of solar radiation by comparing the results of our former study of EBM with annual mean solar radiation.

火星表面には数多くの河床地形が見られ、過去に温暖湿潤な気候が存在したことが示唆されている。火星の気候状態は、大気主成分であるCO₂の温室効果に強く影響されている。そこで、我々は、火星における大気CO₂量がどのように規定されているのかを、年平均・南北対称を仮定した1次元エネルギーバランス気候モデルを用いて解析を行い、火星の気候状態の安定性と進化について議論してきた。しかしながら、CO₂のリザーバとしての役割や、その高いアルベドのために火星の気候状態に大きな影響を与えてきたと考えられるCO₂極冠のふるまいを正しく理解するためには、日射量の季節変化を考慮に入れる必要があると考えられる。本講演では、日射量の季節変化や南北非対称を考慮に入れた1次元エネルギーバランスモデルを構築し、従来の年平均・南北対象モデルの結果との比較を行った結果について報告する。

惑星および星間塵での有機物生成のエナジエティックス Energetics of Organic Formation in Planets and Interstellar Dusts

○小林憲正, 高野淑識, 増田仁美, 大橋暁弘, 金子竹男 (横浜国大工)

高橋淳一 (NTT通信エネルギー研), 斎藤 威(東大宇宙線研)

○Kensei Kobayashi, Yoshinori Takano, Hitomi Masuda, Akihiro Ohashi,
Takeo Kaneko, Jun-ichi Takahashi* and Takeshi Saito**

Department of Chemistry and Biotechnology, Yokohama National University

**NTT Telecommunications Energy Laboratories*

***Institute for Cosmic Ray Research, University of Tokyo*

Energetics of bioorganic formation in primitive planets and in interstellar dusts is considered. Major constituents of primitive Earth atmosphere ($\text{CO}_2 + \text{CO} + \text{N}_2 + \text{H}_2\text{O}$) was subjected to spark discharges, particles irradiation, and UV/Soft X-rays irradiation. Amino acids were detected only in particles and soft X-ray irradiation products in high yield. It was concluded that cosmic rays (high energy particles) were major energy sources for the formation of endogenous bioorganics. In the case that molar ratio of CO or N₂ in the gas mixtures decreased, however, amino acid yield was decreased. UV and particles irradiation of simulated interstellar media (CO or CH₃OH + NH₃+H₂O) also gave amino acid precursors. It is suggested that exogenous organics carried by comets and other bodies were not less important for the formation of the first biosphere than endogenous organics.

生命の誕生に先立つ生体有機物が無生物的生成の場所とエネルギーに関しては諸説がある。われわれは、主要な生体有機物の生成の場である原始地球大気と星間空間において、どのようなエネルギーが生体有機物の生成に大きく寄与したかについて実験的に調べ、地球外・地球内での有機物生成の比較を行った。

模擬原始地球大気としては、種々の混合比のCO₂+CO+N₂+H₂Oの混合気体（弱還元型大気）を用いた。模擬星間塵の評価にはCO（またはCH₃OH）+NH₃+H₂Oの混合物（固体・液体・気体）を用いた。エネルギー源としては、放電・紫外線/軟X線(D₂ランプおよび放射光使用)・宇宙線(加速器からの種々の粒子線)などを用いた。生成物を酸加水分解した後、アミノ酸の定量を陽イオン交換HPLC法により行い、主要生成物のグリシンのエネルギー収率(G値)エネルギーの評価を行った。

CO+N₂+H₂O混合気体からは近および真空紫外線($\lambda > 120 \text{ nm}$)ではアミノ酸の生成は認められず、放電でもG値は極めて低かったのに対し、粒子線（グリシンのG値は0.02）・γ線(同0.02)および軟X線(同0.004)ではアミノ酸が高収率で生成した。原始地球上でのエネルギーfluxを加味すると、宇宙線エネルギーが最も重要であることが結論された。ただし、CO₂を主とする混合気体からはCOおよびN₂のモル分率の減少に伴い、アミノ酸収率は減少した。

CO+NH₃+H₂Oの氷(10–20K)への陽子線・紫外線照射によってもアミノ酸の生成が確認された。CH₃OH+NH₃+H₂Oへのγ線照射の結果、被照射物の組成が一定ならば、固体・液体・気体を問わず、ほぼ同一のアミノ酸収率(グリシンのG値は約0.01)を示すことが確認できた。原始大気中での生じた有機物が全地球的に拡散してしまうことなども考慮すると、宇宙線および紫外線により生じた有機物が、星間塵の凝集体と考えられる彗星などにより搬入され、地球生物圏の主要な素材となつた可能性が示唆された。

マグマ様物質存在下での高温加熱からの冷却過程における
ホルムアルデヒドの反応

**Reaction of formaldehyde in the presence of magmatic material on
cooling step from high temperature**

○大東佳奈, 村江達士 (九州大学大学院理学研究科)

Kana Daito and Tatsushi Murae (Kyushu University)

It is considered that various and complicated organic compounds concerning origin of life were formed on the cooling stage of magma ocean. In this study, the reaction of formaldehyde in the presence of magmatic material was examined using an equipment that simulate magma ocean situations. The products and their acetyl derivatives were analyzed by IR, ¹H-NMR, and GC/MS. The products contain a few sugar derivatives as major components. The result is remarkably different from that obtained on the use of calcium carbonate giving a complex mixture of products.

初期の地球では、マグマオーシャンが形成され、全ての有機化合物が分解されるくらい、地表が高温になり、その後、地球は冷却し、地表は冷えて固まり、液化した水が海洋を形成したという説が有力である。この時期に、生命の起源に関与する様々な有機化合物が形成されたと推定される。そこで、本研究では、マグマオーシャンの形成から固化に至る過程での、有機化合物の変化を解明するために、そのような状況を再現する実験装置を試作し、ホルムアルデヒドと触媒を用いた単純な系での反応を試みた。触媒に炭酸カルシウムを使用した系については前回の惑星科学会で報告した。今回は、マグマオーシャンの冷却過程で生じた鉱物に組成に近い組成を持つものということで、島原で採取された基盤地域の溶岩類を触媒として使用した同様の実験を行ったので、その結果を報告する。

実験では、ホルムアルデヒド 2 % 溶液 37 mL に溶岩粉末 200 mg を触媒として加え、系全体を窒素置換して約 900°C まで加熱し、高温状態を 2 時間維持したあと、毎分 6 °C の速さで冷却した。得られた生成物を IR で、また、アセチル化した後に ¹H-NMR, GC/MS 等の手法を用いて分析した。分析の結果、炭酸カルシウムを触媒に使用した場合では、ホルモース反応に起因すると考えられる糖やその他の化合物が混ざった複雑な生成物を与えたが、マグマ様物質を触媒とした場合は、生成物の系は単純で、ポリオキシメチレン以外には少数の限定された糖質化合物が主成分として得られた。

日本惑星科学会
2000年秋季講演会
予稿

11月1日(水)

セッション4

No. 401 - 407

ポスターセッション1

No. P101 - P120

ポスターセッション2

No. P201 - P221

エンスタタイト・コンドライト中の難揮発性包有物の鉱物組成と酸素同位体組成
 Mineralogy and oxygen isotopic compositions of refractory inclusions in enstatite chondrites

○木村 真（茨城大学・理）, 比屋根 肇（東京大学大学院・地球惑星科学）, Lin Yangting (中国科学院広州地球化学研究所)

We report the discovery of unusually abundant refractory inclusions from an EH3, Sahara 97159. The inclusions are plotted on the CCAM line on the oxygen isotope diagram, identical to those in C- and O-chondrites. However, the secondary alteration reaction took place under reducing and SiO_2 -rich conditions, in comparison with those in C- and O-chondrites. The distribution of the inclusions is highly heterogeneous in chondrites than reported before.

難揮発性包有物（以下、包有物）は年代の古さ、種々の同位体異常、高温凝縮物を反映する鉱物組合せなどから、原始太陽系の最初期の過程を知るために重要なものと考えられている。包有物は炭素質コンドライトの主要な構成物質の一つであるが、最近になってエンスタタイト・コンドライト（以下、EC）からも少数のものが報告されている [1, 2]。今回、われわれは Sahara 97159 (EH3)を研究し、この隕石の2枚の薄片（計 3.11cm^2 ）から66個と異常に多数の包有物を発見した。

Sahara 97159 中の包有物の主要鉱物は spinel で、さらに hibonite, perovskite, corundum, anorthite, Ca-rich pyroxene, nepheline, sodalite, albite, Ti-rich troilite, Ti-V-sulfide などが認められる。他のグループのコンドライト中の包有物ではしばしば認められる olivine が含まれないこと、Ca-rich pyroxene がきわめて少ないことが特徴的である。これは他の EC での観察結果とも一致する [1]。また僅かに Ti-nitride, Ca-sulfide も認められた。

包有物の主要鉱物の酸素同位体組成は他のコンドライト中のものと一致して、CCAM 線上にプロットされる。これはどのグループの包有物も共通の reservoir で生じたという指摘 [2] を支持する。しかし、上記の鉱物組合せは EC の包有物が二次的な変質作用をより還元的で SiO_2 に富む環境で受けたことを反映している。一方、olivine に富む包有物が含まれないことは、他のグループのものとは異なった凝縮過程を経ている可能性を示唆している。また今回および Kimura et al. [3]による結果は、EC においても普通コンドライトにおいても、包有物は必ずしも希でなものではなく、極めて不均一に分布していることを示している。

References: [1] Fagan et al. (2000) MAPS, 35, 771-781, [2] Guan et al. (2000) EPSL, 181, 271-277, [3] Kimura et al. (2000) Ant. Meteorites, 25, 38-40.

非平衡普通コンドライト中のコンドルールの ^{26}Al - ^{26}Mg 年代： オリビン—輝石量比との相関

The ^{26}Al - ^{26}Mg ages of chondrules from the unequilibrated ordinary chondrites:
Corelation between the proportion of olivine and pyroxene

○木多紀子¹、S. Mostefaoui^{1, 2}、橘省吾³、永原裕子³、富樫茂子¹、森下祐一¹
(¹地調、²Max-Planck-Institut für Chemie、³東大理)

N. T. Kita¹、S. Mostefaoui^{1, 2}、S. Tachibana³、H. Nagahara³、S. Togashi¹、Y. Morishita¹
(¹Geological Survey of Japan、²Max-Planck-Institut für Chemie、³University of Tokyo)

The ^{26}Al - ^{26}Mg ages of 16 chondrules from the highly unequilibrated ordinary chondrites are reported. The estimated $^{26}\text{Al}/^{27}\text{Al}$ ratios ($1.5\text{--}0.3 \times 10^{-5}$) indicate chondrule formation 1-3 My after CAIs. The correlation between age and proportion of olivine and pyroxene is observed for the first time. There might a certain mechanism that caused the correlation between the time of chondrule formation and the Mg/Si ratios of precursors which is the result of the earliest chemical fractionation in the solar nebula.

本講演では Kita et al. (2000)、Mostefaoui et al. (2000)によって得られた 16 個のコンドルールの ^{26}Al - ^{26}Mg (消滅核種: 半減期 73 万年) 年代について、結果をまとめ報告する。極めて非平衡で母天体加熱の影響のない隕石 Semarkona (LL3.0)、Bishunpur (LL3.1) を用い、薄片試料から Mg と Fe に富む一般的なコンドルールを EPMA で観察し、Al/Mg 比の高い (> 30) ガラスまたは斜長石の存在するコンドルールを選んだ。さらに Mg, Si の元素マップをとり、オリビンと輝石の量比を推定した。各コンドルールについて SIMS による Mg 同位体比と Al/Mg 比の測定を行い、 ^{26}Al - ^{26}Mg アイソクロンプロットから形成時の $^{26}\text{Al}/^{27}\text{Al}$ 比を計算した。

16 個のコンドルールから得られた $^{26}\text{Al}/^{27}\text{Al}$ 比は $(1.5\text{--}0.3) \times 10^{-5}$ となり、炭素質コンドライト中の CAI に比べて、約 100-300 万年後に形成した。またコンドルールの年代はオリビン・輝石の量比に対し相関しており、オリビンの多いコンドルールほど古い。この量比は全岩の Mg/Si 比と見なすことができるが、Mg/Si 比は Solar Nebular 中の固体粒子の凝縮や蒸発の際に分別したと考えられ、200 万年近い期間続いたコンドルールの形成過程と同時進行であったとは考えにくい。従って、コンドルールの Mg/Si 比は太陽系最初期の元素分別によって前駆物質に記憶され、コンドルール形成を経験した時刻が前駆物質の Mg/Si 比と相関したのではないかと考えている。CAI とコンドルールの年代差、およびコンドルール年代と Mg/Si 比の相関は、第一世代の微惑星が破壊された際にコンドルールが形成されたとする最新の仮説によって、説明することが可能かもしれない。

二次元固体撮像素子 SCAPS の 出力特性と雑音特性の解析

Analysis of output and noise characteristics of stacked CMOS active pixel sensor for charged particles

○国広卓也¹, 永島一秀¹, 高柳功², 中村淳一², 小坂光二³, 坂本尚義¹

¹ 目黒区大岡山 2-12-1, 東京工業大学理工学研究科地球惑星科学専攻

² 東京都渋谷区東 1-26-20, 11階, 株式会社フォトビット

³ 八王子市片倉 446-8, 株式会社東京テクノロジー

Stacked CMOS-type active pixel sensor (SCAPS) for charge particle has been newly developed. The SCAPS is an integral type detector and has several advantages over the conventional system such as two dimensional detection, wide dynamic range, no insensitive time, direct detection of charge particles and high robustness. The output and noise characteristics of the SCAPS against incident charge particles has been analyzed by irradiation of ions generated by secondary ion mass spectrometry (SIMS). By comparing full well conditions to noise floor, a dynamic range of 80 dB is confirmed. SCAPS is useful as a two-dimensional detector for microanalysis such as stigmatic SIMS.

荷電粒子検出積層型 CMOS アクティブピクセルセンサ (SCAPS) を新たに開発した。SCAPS は積分型検出器、 512×490 の二次元空間分解能、広いダイナミックレンジ、原理的に存在しない不感時間、荷電粒子の直接検出が可能、荷電粒子に対する高い耐久性といった特長を有する。本研究ではイオンに対する SCAPS の出力特性と雑音特性の解析を二次イオン質量分析法を用いて行った。出力のリニアリティの補正を行い飽和レベルとノイズフロアを比較した結果、80 dB のダイナミックレンジを確認することができた。SCAPS はステイグマティック SIMS を用いた微小領域分析に適している。本講演では SCAPS の出力特性と雑音特性について言及するとともに応用例を紹介する。



Optical microscope image

Ion image of $^{27}\text{Al}^+$ by SCAPS

Ion image of $^{28}\text{Si}^+$ by SCAPS

Image of process pattern on silicon wafer by optical microscope and SCAPS

バードオリビンコンドリュールのリムの再現実験

○ 長田祐一、土山 明 (大阪大学・大学院理学研究科)

Experimental reproduction of rims in barred olivine chondrules

Yuichi OSADA, Akira TSUCHIYAMA (Osaka Univ.)

Barred olivine chondrule textures have been reproduced in a laboratory to understand chondrule formation processes in the primitive solar nebula. However, reproducing of barred olivine rims has not been reported so far. In this study, we succeeded in reproducing the rims by evaporating chondritic melts in a vacuum furnace although they are very thin.

バードオリビンコンドリュール組織を再現することは、それらが実際形成されたと考えられている原始太陽系星雲内の条件を知る手がかりになる。これまでバードオリビンの再現を目指し様々な実験が為されてきた(例えは、Lofgren et al., 1985)。それらの実験では、天然のものに近い棒状の組織の再現はなされているが、バードオリビン結晶がもつリム部を再現した、という報告はなされていない。(最近になって結晶成長の際に起こる潜熱作用によりリム部が再現された、という報告がある(Tsukamoto et al., 2000))

そこで今回、(1)メルトが表面から蒸発する、(2)組成が変化した表面付近から核形成、結晶化が促される、(3)リムの形成、という仮定に基づいて実験を行った。実際にはメルトの蒸発を促進させるために真空下で実験を行った(これまでの実験では大気圧下で行われていたので蒸発はほとんど起こっていない)。

出発物質としては、Connolly et al.(1998)の鉄に富んだ組成を用い、グラファイトカプセル中で加熱、冷却した。最高加熱温度、冷却速度を変化させ、できた組織を光学顕微鏡下(透過光、反射光)で観察した。その結果、最高加熱温度保持時間及び冷却速度が一定の場合、最高加熱温度が高い方が天然に類似した棒状の組織に近づく傾向があることが分かった。リムに関しては極く薄い(約 $10 \mu\text{m}$)ものが確認された。リム部は、薄い膜状のものと、微小結晶が集合したものとの2種類があった。また、加熱温度が高く、メルトの蒸発率が高い方がリムが形成されやすい傾向もあることが分かった(図 1)。

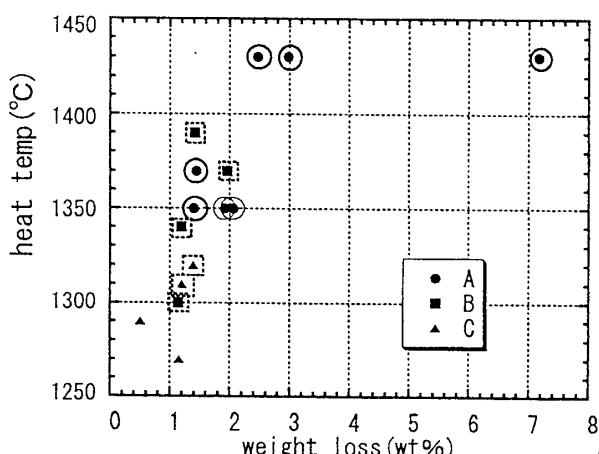


図 1:蒸発率と最高加熱温度による組織生成とリムの有無(最高加熱温度保持時間:10分、冷却速度 $1000^{\circ}\text{C}/\text{hr}$)
A:バーが揃っている組織
B:AとBの中間の組織
C:バーが揃っていない組織
D:微小結晶の集合したリム
E:膜状リム及び微小結晶の集合したリム

A Shock Wave Heating Model for Chondrule Formation

○ 飯田彰（筑波大／神戸大自然）、中本泰史（筑波大）、須佐元（筑波大）、
中川義次（神戸大理）

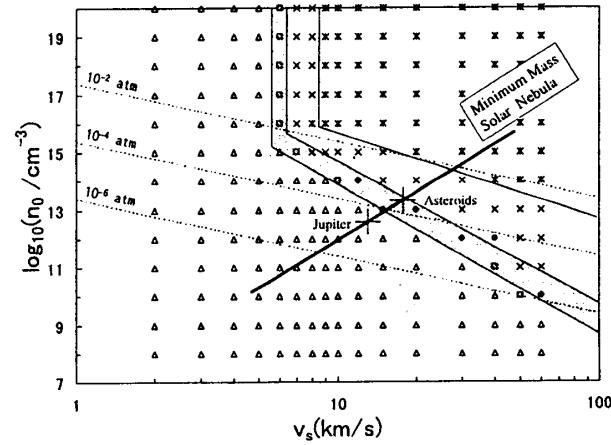
Conditions of chondrule formation due to the shock wave heating of dust particles for a wide variety of shock properties are examined. We numerically simulate the steady postshock region in a framework of local one-dimensional hydrodynamics, taking into account especially nonequilibrium chemical reactions of gas species.

We find the Kepler velocities and equatorial plane densities around the Asteroid and the Jupiter orbit regions of the minimum mass solar nebula model are suitable for chondrule formation. Furthermore, we find the net cooling rates of 1mm sized dust particles are about $10^2 - 10^3 \text{ K h}^{-1}$, that agree well with experimental values, though the melting region is optically thin. These results indicate that the shock wave heating model can be regarded as a strong candidate for the mechanism of chondrule formation.

コンドリュール形成モデルの一つに、原始惑星系円盤表面または内部でのガス衝撃波を通過する時に出来たとする "shock heating" モデルがある。本研究では衝撃波の内部構造を詳細に解き、"shock heating" モデルの妥当性を考察した。ガスについては化学反応による組成の変化も考慮した流体の式、ダストについてはガスとの相対運動の運動方程式とエネルギー方程式を、ガスとダスト間の相互作用によるエネルギーのやり取りも考慮して解いた。

衝撃波前面でのガスの速度 v_s と数密度 n_0 のパラメータ空間で半径 1mm のダストが経験する最高温度をプロットしたところ、狭い領域でしかダストは液滴になった後冷えないことがわかった（下図灰色部）。ほとんどの領域では、ダストは融解点に達しないか、もしくはすべて蒸発してしまうという結果が出た。にもかかわらず、原始太陽系の小惑星帯近傍のケプラー速度・赤道面密度は、ちょうどよい具合にコンドリュール形成可能な領域にのることがわかった（下図）。下図からわかるように、衝撃波後面領域は高圧になり、実験的なコンドリュール形成条件とよく合う。さらに $n_0 > 2 \times 10^{15} \text{ cm}^{-3}$ のとき $6 \text{ km s}^{-1} \leq v_s \leq 7 \text{ km s}^{-1}$ 、 $n_0 < 2 \times 10^{15} \text{ cm}^{-3}$ のとき $6 \times (n_0/10^{15} \text{ cm}^{-3})^{-1/5} \text{ km s}^{-1} \leq v_s \leq 7 \times (n_0/10^{15} \text{ cm}^{-3})^{-1/5} \text{ km s}^{-1}$ 、となることを数値的・解析的に求めた。この条件はダスト粒子の大きさにあまりよらない。また 1mm サイズのダスト粒子の冷却速度が実験値とよく合う $10^2 - 10^3 \text{ K h}^{-1}$ となることも見出した。この冷却速度は光学的に薄いところで達成されており、その理由はダスト温度が下がる段階でもガス摩擦による加熱が残っているためである。よって、このモデルでは「コンドリュール形成時にはガス星雲が光学的に厚かった」という仮定を必要としない。

以上のような理由から、"shock heating" モデルはコンドリュール形成課程の最重要候補であると思われる。



「狭山隕石」—水質変成を強く受けた CM コンドライト

Sayama meteorite: A heavily-hydrated CM chondrite fall in Japan

○米田成一(国立科博)、海老原充・大浦泰嗣(都立大院理)、岡田昭彦(理研)、
日下部実(岡山大固地センター)、長尾敬介(東大院理)、奈良岡浩(都立大院理)

S. Yoneda (National Science Museum), M. Ebihara, Y. Oura (Tokyo Metropolitan Univ.), A. Okada (RIKEN),
M. Kusakabe (Okayama Univ.), K. Nagao (Univ. of Tokyo), and H. Naraoka (Tokyo Metropolitan Univ.)

We report a new meteorite fall in Japan. The Sayama meteorite fell at Sayama-city, Saitama-prefecture on or about April 29, 1986 and was recently brought to the National Science Museum, where it was recognized as a meteorite by detection of the cosmogenic nuclide Al-26. It weighs 430g and is almost entirely covered by the fusion crust. The inside predominantly consists of black matrices and no large chondrules or inclusions are found. By its carbon content (1.99wt%) and other elemental abundances, Sayama is classified as a CM chondrite. The oxygen isotopic compositions also fall on the O-16 poor end of the CM range. Optical microscope and SEM studies show that Sayama experienced extensive aqueous alteration.

日本に落下した隕石が新しく発見されたので、その経緯および分類について報告する。「狭山隕石」は1986年4月29日頃、埼玉県狭山市の民家に落下したもので、本年になって国立科学博物館に同定を依頼されたものである。宇宙線生成核種Al-26のガンマ線を非破壊で検出し、隕石であることを確認した。大きさは約10cm×9cm×7cm、重量は430グラム、ほぼ全体がfusion crustで覆われている。内部の色は黒く、大きなchondruleやinclusionは見られない。軽元素の元素分析結果は、C: 1.99wt%、N: 0.08wt%、H: 1.37wt%、S: 2.6wt%であり、まだ暫定的ではあるが放射化分析による揮発性元素Znの定量値は167ppmであった。これらから、狭山隕石をCMコンドライトに分類した。酸素同位体比のデータもCM領域のO-16に乏しい側にプロットされた。偏光顕微鏡およびSEMによる観察から、狭山隕石は強く水質変成を受けていることがわかった。



図1 水質変成で不規則に残った olivine (BEI、幅0.3mm)

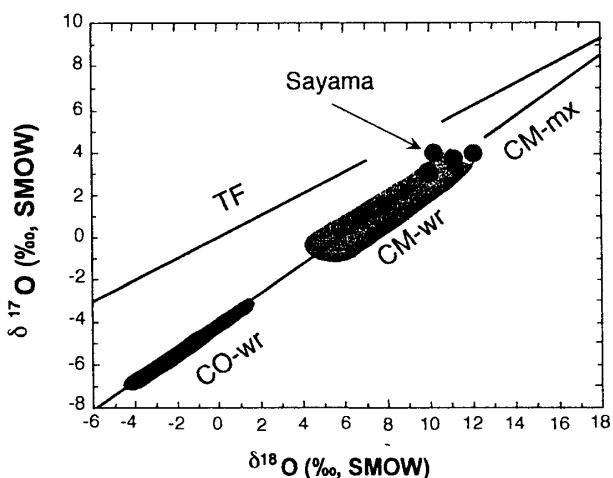


図2 狹山隕石の酸素同位体比

凍土層の融解計算と火星の洪水地形の形成への応用
Simulation on Melting Process of Permafrost Layer with Implication for
Formation of Flood Features on Mars

○小川佳子 (東大・理)、山岸保子 (東大・理)、栗田敬 (東大・理)

Yoshiko Ogawa, Yasuko Yamagishi, Kei Kurita

Department of Earth and Planetary Science, University of Tokyo

Some distinctive landforms on Mars, outflow channels and chasmas, are presumed to be formed by melting of the permafrost layer by intrusion of some heat sources.

In this study, we simulate this melting process. We model the permafrost layer as the porous media. The effect of the natural convection is taken into consideration. By 1D simulation, we estimate the speed of the melting front and mainly its relationship with porosity. For the estimate of the actual melting volume, we do 2D simulation using enthalpy method.

We examine the appropriate kind (sill or dike) of the heat source, size and porosity of the permafrost layer those are needed for the formation of the observed flood features.

火星の洪水地形はダイクの貫入により凍土層が融解して形成されたものと考えられている[1]。また、数多く見られる chasma 地形も、同様に、熱源の上昇によって地下で融解が起こり、地表面が陥没した結果造られたと考えることができる。しかし、そのためには非常に効率の良い溶融が必要であり、その過程はまだ明らかにはされていない。

本研究では、凍土層を porous media とモデル化することで、氷層下部へ熱源が上昇してくる系での溶融の具体的な見積もりを数値計算によって行った。その際に(溶融孔内の)対流による熱輸送の効果も考慮した。まず 1 次元において融解速度を追い、主に多孔性の増減が融解速度に対しどのような影響を及ぼし得るかを考察した。また 2 次元においては熱源の非一様性を導入することで、具体的な溶融体積を見積もることが可能となる。

観測される地形の形成に必要とされる融解速度、融解規模から、熱源物質の形状、サイズ、また凍土層の状態に関し制約を与え、溶融過程について考察する。

[1] McKenzie, D. and Nimmo, F., *Nature* 397, 231-233.

火星大気の安定性: CO₂ 極冠との質量交換The stability of the Martian atmosphere: mass exchange with the CO₂ polar caps

○横畠徳太, 倉本圭(北大理), 小高正嗣(東大数理), 渡部重十(北大理)

To understand the atmospheric stability on Mars, we constructed a 2D energy/mass balance model, which includes effects of latitudinal variations in solar energy flux, CO₂ condensation/evaporation processes on the polar caps and the greenhouse effect of CO₂ atmosphere. Numerical analysis of this model suggests that 1) a stable pressure (p_{stable}) exists when the polar cap albedo (A_{ice}) is higher than about 0.7, and 2) if A_{ice} is lower than this value, p_{stable} disappears and runaway evaporation of CO₂ polar caps occurs. In this case, a warm and wet atmospheric condition may be realized.

火星では大気の主成分である CO₂ が冬極で凝結し、夏極で昇華する。少なくとも現在は、この大気と極冠との質量交換プロセスによって火星大気圧はコントロールされている。地質学的な証拠から、火星では過去に非常に振幅の大きな気候状態・大気圧の変化があったと推測されている。現在とは異なるこのような環境下での大気と極冠の間の質量交換過程と、それによる大気圧の安定性についてはこれまで十分な研究はなされていない。

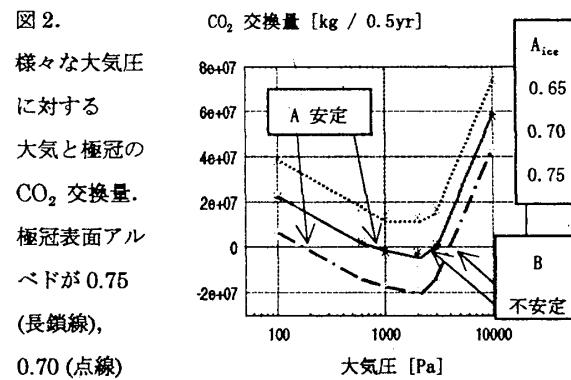
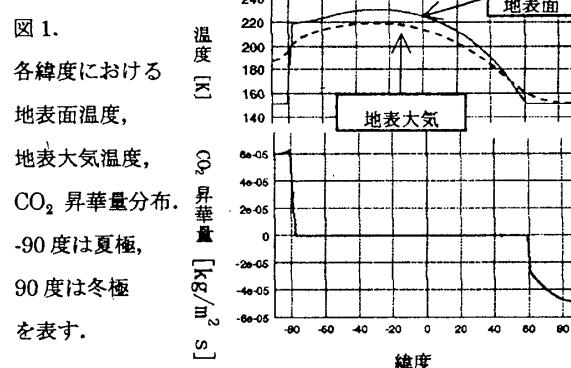
本研究では 2 次元全球大気モデルを構築し、上記の問題について調べた。モデルでは、緯度方向の熱輸送を拡散によって表現し、鉛直方向には放射対流平衡構造を仮定し、灰色大気の放射伝達方程式を解くことによって温室効果を記述した。また極冠における CO₂ 凝結・昇華量を分子運動学的に表現し、潜熱の効果を考慮した。冬半球で地表面温度が CO₂ 凝結温度を下回る領域を冬極冠とし、夏半球の緯度 80 度以上を夏極冠とした。さらにここで大気-地表面間の熱交換も考慮されている。

10² Pa から 10⁶ Pa の大気圧に対して、火星半年（分点～分点）間で時間平均した太陽放射を与える、緯度方向の地表面温度、地表気温、昇華量分布（図 1）、極冠一大気間の質量交換量（図 2）を数値的に求めた。その結果、以下のことが明らかになった。

1. 極冠のアルベド (A_{ice}) が 0.70 程度以上の場合には、安定な大気圧が 10³ Pa 以下に存在する。現在の大気圧はこのメカニズムにより安定に保たれていると考えられる。
2. A_{ice} が低い場合には安定な大気圧は消失し、極冠 CO₂ による暴走温室効果が起こる。

大気圧が安定に保たれるか暴走温室効果が起こるかは、

極冠の受け取る太陽放射に敏感に依存する。過去において極冠のアルベド・惑星軌道要素が現在とは異なった場合、極冠 CO₂ の暴走温室効果により大気圧が高く温暖な気候があつたかもしれない。



の場合、図の A 点より低い大気圧では正味の昇華が起こり、高い大気圧では凝結が起こるため A 点の大気圧は安定である。反対に B 点の大気圧は不安定となり、B 点より高い大気圧では極冠の CO₂ がすべて昇華した状態が実現されると考えられる。一方、極冠表面アルベドが 0.65 (破線) の場合、どの大気圧も不安定となる。

スノーボール・アース現象の物理化学条件

Physical and chemical conditions for Snowball Earth phenomena

田近英一（東大・理）

Eiichi Tajika (Univ. of Tokyo)

Low-latitude glaciations during the Neoproterozoic are interpreted as Snowball Earth phenomena, that is, the entire surface of the Earth may have been covered with ice and snow. According to the energy balance models, when ice extends to the mid-latitude, the Earth would fall into the globally ice-covered state. This condition is achieved by lowering the level of the atmospheric carbon dioxide owing to the weakened volcanic activity and to the growth of organic carbon reservoir. The critical condition will be discussed quantitatively by using climate model combined with carbon cycle model.

地球環境は、地球史を通じて現在とあまり変わらないような温暖な気候状態が維持されてきたものと考えられてきた。ところが、原生代の前期(24–22 億年前)及び後期(8.2–5.5 億年前)における数度の大規模な氷河時代においては、赤道付近まで大陸氷床が張り出していたらしいことが確実視されるようになってきた。これは、スノーボール・アース仮説と呼ばれている。このことは、地球が全球凍結というような極端な寒冷環境を経験した可能性を強く示唆している。

エネルギーバランス気候モデルから予測される、地球の気候システムの特性は、雪氷が中緯度にまで張り出した段階で、アイスアルベド・フィードバックが強く働き、大氷冠不安定が生じて、全球凍結状態に陥るというものである。気候システムがこのように挙動するものとした場合、地球が全球凍結状態に陥るためにには、大気中の二酸化炭素濃度がある臨界値にまで低下する必要がある。大気中の二酸化炭素濃度が減少するためには、大気海洋系に対する正味二酸化炭素供給率が低下する必要がある。これは、火山活動度が低下するか、有機炭素リザーバーが縮小することによって実現される。

今回、全球凍結現象を引き起こす物理化学条件について、南北1次元エネルギーバランス気候モデルと炭素循環モデルを結合させて検討を行った。その結果、現在の太陽定数条件下では、全球凍結状態に陥る臨界条件は、大気中の二酸化炭素濃度が約 20 ppm 程度以下になるというもので、そのためには正味二酸化炭素放出率が現在の 1/40 以下になる必要があることが分かった。これは、火山活動等による二酸化炭素の脱ガス率が現在の 1/6 以下になるか、または有機炭素の埋没率が現在の 2.33 倍以上になることに相当する。

講演では、顕生代と原生代における臨界条件の実現に関する議論も行う予定である。

原始月円盤からのケイ酸塩ガスの散逸 Escape from an Impact-Generated Proto-Moon Disk

○玄田英典、阿部豊 (東大・理)

○Hidenori Genda and Yutaka Abe

Department of Earth and Planetary Science, University of Tokyo, Tokyo, Japan

Because a circumterrestrial disk formed by a giant impact is likely very hot and close to isothermal, it can escape from the Earth's gravity. We performed a numerical simulation for an idealized hot disk. We found that the outer part of the disk is lost and a compact disk is formed with the timescale of 100 days. We will present the results of these simulations and discuss the timescale of the escape and radiative cooling.

月の起源としてジャイアントインパクト説がある。原始地球に現在の火星サイズの天体が斜め衝突をすることによって、原始地球周回上に円盤が形成され(Cameron, 1997)、その円盤から月が集積(Ida et al., 1997)するというシナリオである。

衝突直後の円盤に着目すると、形成される円盤は、非常に高温(4000~10000K)である。このことから、円盤物質であるケイ酸塩はすくなくとも部分的に蒸発しており、蒸発したガスの凝縮による潜熱の解放によって円盤が等温的になることが期待される。このため、円盤物質は散逸する可能性がある。散逸によって円盤質量、角運動量が減少することは、月形成に影響を与えるため重要である。そこで、理想化された衝突直後の円盤に対して2次元の数値流体計算を行い、散逸のシミュレーションをおこなった。その結果、散逸のタイムスケールはおよそ数十日から100日程度であることがわかった。また、散逸によってロッシュ半径の外側にほとんど物質が存在しないコンパクトな円盤になることがわかった。

しかし、これらのシミュレーションは放射冷却を無視しているため、実際は、円盤の温度が減少することによって散逸がとまってしまう可能性がある。したがって、本講演では、円盤の散逸のタイムスケールと冷却のタイムスケールを比較、議論する予定である。

月面上の橢円クレーター分布と斜め衝突との関係について
Relationship between the elliptical craters on the Moon and oblique impacts

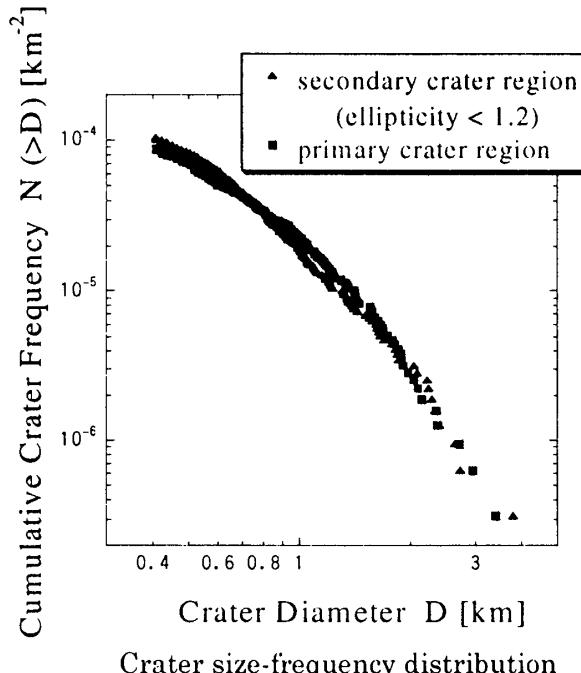
○南雲 浩一郎、中村 昭子（神戸大・自然）

○K. Nagumo and A. M. Nakamura

Graduate School of Science and Technology, Kobe Univ., Japan

Crater size-frequency curve on lunar surface has bending point near 4km in diameter. It is suggested that such steepening in smaller diameter range is caused by the effects of secondary craters and/or size-frequency distribution of the impactors. In order to derive the fraction of the primary craters created by Near Earth Objects, among the primary-secondary mixture of km-size craters, we measured the ellipticity (= major diameter/minor diameter) of the craters both on a primary-secondary mixture region and on a secondary-free region. Clementine images of the lunar surface were used in our analysis. We found that craters with ellipticity higher than 1.2 are probably secondary craters. In this study, we examine the relationship between the impact condition derived by scaling laws and the crater ellipticity.

月面クレーターのサイズ頻度分布において、クレーターの直径4km付近に折れ曲がりが存在している。この原因として、2次クレーターの影響や衝突体のサイズ頻度分布の影響などが考えられている。



我々は、1次クレーターと2次クレーターが混在していると思われるkmサイズの領域において、衝突体により形成された1次クレーターのサイズ頻度分布を得るために、クレメンタインの月面画像を用いて2次クレーターの形状の統計的解析を行った。その結果、1次クレーターと2次クレーターが混在している領域から、橢円率1.2以上のクレーターを取り除いたクレーターサイズ頻度分布と1次クレーターのみが存在していると思われる領域のクレーターサイズ頻度分布は、ほぼ一致していた。(図中、Nagumo and Nakamura 2000)。

今回、クレータースケーリング則を用いて、クレーター形状と衝突条件の関係(Bottke 2000)について検討した結果を発表する。

月における火成活動の時間進化

Evolution of lunar mare magmatism: a case study

杉原孝充（宇宙開発事業団）

Takamitsu SUGIHARA (NASDA)

Stratigraphy of Mare Serenitatis was reinvestigated to understand spatial heterogeneity of the lunar mantle. As a result of the investigation using Clementine UV-VIS images, chemical compositions of magmas changed through time, and their eruptive center shifted to northward with drastic change of the chemical composition. These results suggest lunar mantle is not only vertically but also horizontally heterogeneous.

○月における海の火成活動の意味

Apollo によるサンプルリターンによって月の海を構成する玄武岩はその化学組成、特に TiO₂ 含有量、に特徴があることが明らかになっている。すなわち、海の玄武岩の TiO₂ 含有量は 1 %以下のものから 10 %を超えるものまで存在し、この化学組成の違いは、それぞれのマグマの起源物質が異なっていることを示している。そして、それら岩石に対しての精密な地球化学的、実験岩石学的研究は月の内部構造と月形成時の初期進化過程の大まかなイメージを我々に与えるのに重大な貢献をしている。その後の Clementine の成果ではこれら玄武岩の TiO₂ 含有量の空間分布が明らかにされた。その結果によると、海の分布する東部と西部に特に TiO₂ に富む玄武岩 (10 %以上) が集中していることが分かってきた。そして、少なくとも面上には TiO₂ 含有量の少ない玄武岩 (7 %以下) が最も大量に分布しているようである。この火成活動の時間変遷はおおよそ東部から西部に向かって進行したらしいが、その絶対的な時間スケールは正確に明らかになっていない。前述したとおり、この TiO₂ 含有量に関する化学組成の差は起源物質の化学組成の差に対応すると考えられるので、この海の火成活動の時間変遷と活動位置をより詳細に記載できれば、月の内部物質の不均質性を具体的に知ることになり、月初期進化過程に対してよりダイナミックな描像を得る手がかりとなる。

○晴れの海周辺の火成活動史

構成岩石の化学組成変化の特に激しい晴れの海の玄武岩類に対して Clementine 分光画像を用いて、地質ユニットを化学組成の違いとして認識し、その層序を確立した。クレータ底の情報は物質の機械的混合を被っている可能性が非常に大きいため、ここでは使用していない。その結果によると、晴れの海は 6 つのユニットに区分され、下位から上位に向かって TiO₂ 含有量が低下する。このときユニット 5 を除いたすべてのユニットは無数の溶岩流から構成されるが、ユニット 5 は DMD と呼ばれる月では希な爆発的噴火による堆積物より構成されている。晴れの海全体の地形も考慮すると、ユニット 1 (TiO₂>10%) は晴れの海の南に存在する静かな海から湧出したものであり、それ以降のユニットは (TiO₂ すべて 7 %以下) は晴れの海の北部を中心とする噴出源からもたらされたようである。TiO₂ の変化はユニット 1 から 2 にかけて最も著しい。ユニット 1 と 5 に関しては Apollo 17 によってサンプルリターンされており、それら試料において得られた放射年代値から、ユニット 1 から 5 の活動はほぼ 1 億年間であったと考えられる。ここで重要なのは化学組成が大きく変わるとその噴出源も変化する点である。これはこれまであまり指摘されてこなかったが、非常に重要である。つまり、噴出源の変化はそのまま地下におけるマグマ生成域の水平変化を示すので、水平方向でも大規模に月マントルは不均質であると考えられる。これは月マグマオーシャン固結末期の density overturn の結果を反映しているのかも知れない。また、low Ti 玄武岩と high Ti 玄武岩ではその生成圧力も異なるので、今回の結果は月内部における比較的短期間での熱構造変化も示している可能性がある。今後地下における化学組成の異なるマントル物質の規模と空間分布をより正確に知る試みが必要である。

氷・ドライアイス・パイロフィライト多孔質混合物の クレータリング実験

Impact cratering of granular mixture targets made of H₂O Ice-CO₂ Ice-pyrophyllite

○荒川政彦（北大・低温研），比嘉道也（宇宙開発事業団），
J. Leliwa-Kopystynski（ワルシャワ大学），前野紀一（北大・低温研）

Experiments related to impacts onto three-component targets which could simulate cometary nucleus or planetary regolith cemented by ices are presented. The impact velocities are 133 to 632 m/s. The components are powdered mineral (pyrophyllite), H₂O ice, and CO₂ ice mixed 1 : 1 : 0.74 by mass. The porosity of fresh samples is about 0.48. The crater formed in target is regular shape. The crater volume is proportional to impact energy (E) and the depth scales as $E^{0.5}$.

これまでクレーターに関する衝突実験の多くは、砂、岩石、氷についてのものであった。このうち砂は破壊強度を持たないためクレーターサイズは重力により決まり、岩石、氷の場合はその強度によりサイズが決定する。一方、彗星や氷微惑星など外惑星領域で形成した揮発性物質を含む小天体は、破壊強度は持つがその値は小さく、しかも高い空隙率を持つと思われる所以、氷と砂の中間的性質を持つと予想される。そこで揮発性物質により焼結した氷・岩石混合物を用いてクレーター形成実験を行い、その形成に対する物質強度や空隙の影響を調べた。衝突実験は北大・低温研の低温室に設置した一段式縦型軽ガス銃を用いて行った。弾丸には氷（直径 15mm, 1.7g）を用い、速度 133m/s～632m/s で試料に正面衝突させた。試料は、粉体もしくは粒状のパイロフィライト、氷、ドライアイスを 1 : 1 : 0.74 の質量比で混合し準備した。混合物は直径 17cm、高さ 10cm の円筒容器に入れ、上方から 0.14bar で 15 分圧縮した。円筒容器は衝突時も含めて実験中ずっと液体窒素のデュワー中に保持したが、圧縮時にピストンから熱が流入し試料の表面温度が -30°C まで上昇した。その結果、表層ではドライアイスの昇華が起り、氷とパイロフィライトの粉体層ができた。衝突前にこの層を除去すると、下に厚さ 4cm ほどのドライアイスの再凝縮によりできた堅い層が確認された。実験ではこの層にクレーターを形成した。衝突によりできたクレーターの形状はすべてお椀型のものであり、衝突速度の増加とともに大きくなっていた。クレータ一体積 (V) は弾丸の運動エネルギー (E) に比例し、 $V(cm^3)=0.22E(J)$ であることが分かった。一方、形状は、ほぼ相似形を維持しており、クレーター深さ (H) は、 $H=0.18E^{0.5}$ と運動エネルギーの 1/2 に比例することが分かった。

パルスノズルと Step-scan FT-IR を組み合わせた赤外分光装置の開発

Development of step-scan FT-IR spectrometer combined with a pulsed-nozzle system

○平林慎一、平原靖大（名古屋大・理）

○Shinichi Hirabayashi and Yasuhiro Hirahara

(Department of Earth and Planetary Sciences, Nagoya University)

We developed fourier transform infrared (FT-IR) spectrometer combined with a pulsed nozzle system that is well suited for the spectroscopic study of transient or short-lived molecular species which have been identified in interstellar medium. FT-IR runs in step-scan mode in order to synchronize the pulsed nozzle. The performance of this new experimental apparatus is demonstrated with spectrum of ν_3 and $\nu_2 + \nu_4 + \nu_5$ band of C₂H₂. The infrared absorption spectrum of C₂H₂ in supersonic free jet have been recorded at resolution of 0.25cm⁻¹. Rotational temperature as low as 25-40K for C₂H₂ have been determined from the spectrum.

原始太陽系星雲における有機物の構造や進化を分子レベルで解明する上で、望遠鏡を用いた可視・赤外線領域の分光観測は今後有力な手法である。本研究では、特に Diffuse Interstellar Bands (DIB)、や Unidentified Infrared (UIR) Bands など過去に報告された炭素物質起源の星間有機分子の分子構造や励起・発光メカニズムの特定に向けて、パルスノズルとフーリエ変換型赤外分光器(FT-IR)を組み合わせた分光装置の開発を行った。(図 1) 実験装置は、分光部 (FT-IR)、試料部 (ノズル、真空チャンバー)、制御部から構成されており、分光器はフーリエ変換型赤外分光器(Bio-Rad FTS-6000)を用いた。FT-IR を Step-Scan モードで非連続的に動作させた上で、パルスノズルと同期させることにより、広い波長範囲 (2~14 μm) における有機物の気相での高分解能スペクトルを取得することができる。

この実験装置の動作は、C₂H₂ の ν_3 と $\nu_2 + \nu_4 + \nu_5$ の赤外バンドで確認した。C₂H₂ の赤外吸収スペクトルは波数分解能 0.25cm⁻¹ で測定され、励起計算によりパルスノズルからの超音速自由噴流中の C₂H₂ の回転温度は 25-40K と求められ、星雲中の物理条件 (低温、低密度) に近い環境でのスペクトルの測定が可能となった。

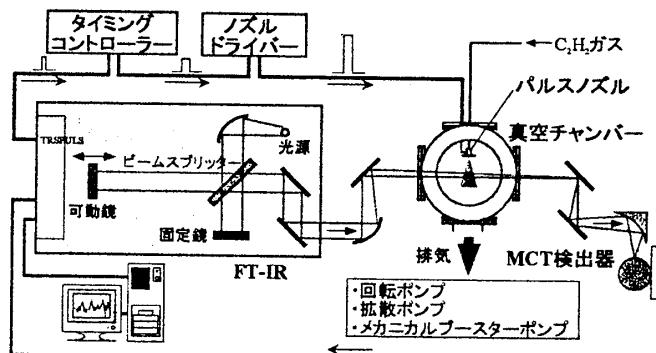


図 1. 赤外分光装置

月分光観測装置と野外用積分球の開発

Development of a telescopic spectral reflectance measurement system for the moon and a field integrating sphere for flat images.

○佐伯和人（秋田大学工学資源学部）、坪井直、林宏昭（秋田大学鉱山学部）

The improvement of amateur astronomical apparatuses and the advent of cooling CCD devices let amateurs observe spectroscopic features of the lunar surface. We assembled those apparatuses and band-pass filters and succeeded in making FeO and TiO₂ chemical distribution maps of the near side of the moon. For the higher accuracy, a field integrating sphere is developed. We can get flat-field images just before or after the observation with it.

天文機材の発達、特に冷却 CCD カメラの出現で、アマチュア天文機材でも、月の分光観測が可能となってきた。昨年度は、口径 8 cm の屈折望遠鏡（ビクセン GP-ED80SM）、冷却 CCD カメラ（CV04II）、バンドパスフィルター、自作フィルタースライダー、月追尾用の赤道儀制御装置（スカイセンサー 2000PC）といったアマチュア機材と安価な部品を組み合わせて、クレメンタイン探査機データーの月面 FeO, TiO₂ 元素マップの再現を試みた（1）。現在は、分光データ補正の地形依存性を調べるためのデータ取得運用を行なながら、装置の改良を続けている。

本講演では、観測装置の概略と、今回新たに開発した、野外用積分球について紹介したい。

積分球はフラットフィールド補正の強力なツールである。フラットフィールド補正とは、光学系の汚れ、CCD 素子の画素間感度ムラ、周辺減光などの影響を取り除くための処理である。理想的には完全に均一な明るさの平面を、観測対象撮影と同じ光学系、同じフォーカス、（シャッターの機構によっては）同じシャッター速度で撮影したフラットフィールド画像で、観測画像を除算する事によって行う。天文台でフラットフィールドを撮影する場合は、天文ドームの内壁を可能な限り均一に照明して撮影したり、薄明時の空を撮影する。また、アマチュア天文観測の場合は、拡散透過板を天体望遠鏡の対物レンズにかぶせて星空を撮影する場合が多い。拡散透過板で得られるフラットフィールドの質は良好ではあるが、我々の月面分光観測では、フィルターごとに異なるフォーカス位置と、スライド式フィルターの位置を厳密に観測時と一致させる事が困難であるため、日中にフラットフィールドを撮影しておく事はできない。そこで、簡易積分球を作成した。発泡スチロールの球殻（直径 60 cm）の内壁に、白色塗料を塗り、2.5V のクリプトン電球を 5 個取り付け、12V バッテリで使用できるようにした。内壁の塗料は市販の塗料 7 種類の反射率角度依存性を分光測定器 MSR-7000 で測定し、もっとも拡散反射に近いものを選んだ。結果、持ち運び可能な積分球が完成し、フィルターをセットし、フォーカスをあわせた状態で、月撮影の直前直後に良好なフラットフィールドを手軽に撮影する事が可能となった。

(1) 佐伯ら(2000), 遊星人 vol.9, pp.77-85. <URL><http://rimrpost.rimr.akita-u.ac.jp/~ksaiki/luna.html>

AOTF を用いた分光装置の開発

Development of the spectrometer, using AOTF.

秋山演亮（東大）、佐伯和人（秋田大）、杉原孝充、大竹真紀子(NASDA)、佐々木晶（東大）
AKIYAMA Hiroaki, SAIKI Kazuto, SUGIHARA Takamitu, OHTAKE Makiko, SASAKI Sho

ABSTRACT

The main stream of the present spectrometer for spacecraft is a type of carrying band-pass-filter on the wheel to drive. The number of observable bands is restricted at this type. AOTF (Acousto-Optic Tunable Filter) is tunable spectrometer without the moving element. But, still various problems exist to employ it on the spacecraft. We have been examined about the AOTF system and the way of employing it. On this lecture, we show our latest knowledge.

概要

惑星探査において分光観測は良く用いられる手法であるが、従来の分光観測ではバンドパスフィルターとフィルターホイールを用いた可動部分を有した分光カメラが用いられており、しかもバンドパスフィルターの数はせいぜい数枚が限度であった。その為、連続分光が可能であり、可動部分が少ない新しいタイプの分光カメラの開発が求められている。

また現在検討が進められている月面探査においては、地上に於けるような岩石薄片を作成することが困難であるため、別な方法に関して検討が必要である。これまで月の表面はアポロ・サーベイヤ両計画を除きリモートセンシングによる観察であったため、鉱物量比や鉱物の化学組成、岩石組織に関する調査ではなく、元素分布などの調査が主流であった。岩石組織に関しては、アポロ・サーベイヤなどによるサンプルリターン、また地球上で発見される月隕石を分析することにより調査が行われてきた。月の進化史、特に表面における進化を明らかにするためには岩石組成に関する調査及びその分布に関する地質学的な調査が必要となる。このような鉱物、岩石としての調査には、薄片試料の透過光を偏光顕微鏡により観測することが適しているが、現在の技術では月面の無人環境で薄片試料を製作することは困難である。そのため、反射光による分光を併用したマクロもしくは顕微観測がもっとも適していると考えられる。しかし月面の物質は宇宙風化作用により、分光曲線になまりやレッドニングの効果が見られると考えられる。このような状態で物質の分類をすることは、従来の数バンド程度の分光機では困難である。そのため、連続分光イメージングカメラによる観測が必要となる。

AOTFは、二酸化テルルなどの鉱物の結晶に超音波を入力することにより、粗密波の定常波を結晶中に作り出し、格子作用から分光性能を作り出す音響光学素子である。入力する超音波の波長を変えることにより、様々な波長での分光観測が可能になる可変式の分光器である。可動部分が無く、連続分光、イメージングが可能であることから次世代の惑星探査用分光観測器としてAOTFは期待されている。しかしながらAOTFはまだ宇宙で画像分光カメラとしての運用実績はまだなく、運用方法、装置のコンパクト化、耐打ち上げ性能調査、耐宇宙環境調査など様々な検討課題が残されている。

現在我々は月面着陸機、もしくはローバに搭載することを念頭に置き、AOTF装置の開発を行っている。本発表では装置開発上の問題点と、その運用方法に関する現在までの知見を報告する。

海水の相分離を考慮した中央海嶺熱水循環の数値シミュレーション

Numerical simulations of mid-ocean ridge hydrothermal circulation including phase separation of seawater

○川田佳史, 吉田茂生, 渡邊誠一郎 (名大理)

KAWADA Yoshifumi¹, YOSHIDA Shigeo¹, and WATANABE Sei-ichiro¹

1) Department of Earth and Planetary Sciences, Nagoya University

Mid-ocean ridge hydrothermal circulation is a phenomena that seawater enters through oceanic crusts, and cools heat sources underneath the ridge area. This study clarify how the phase separation of seawater changes the circulation structure. We induce a new picture of mid-ocean ridge hydrothermal circulation. The region of hydrothermal fluid is divided into two structures, an upper circulation part and a lower stagnant high compositional layer.

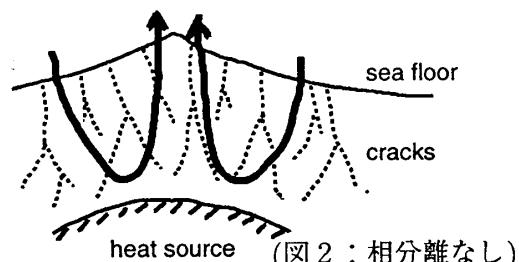
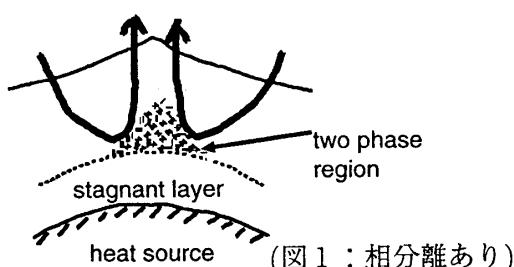
中央海嶺熱水循環とは、海水が地殻中割れ目を通り下部の熱源を冷却する作用である。熱水循環は海嶺域の熱輸送を支配しているほか、鉱床形成や生命現象の原因ともなる。これらを規定するのは熱水循環の循環構造である。

熱水循環の循環構造を決める要因として、海水の相分離が重要であると指摘されている。とくに高温の熱源が存在する軸部近くでは重要である。海水の相分離によって、Cl⁻濃度が元の海水より濃い相と薄い相とが生じる。その結果、熱水のCl⁻濃度が変化する。実際、海水とは異なる Cl⁻濃度の熱水が観測されている。

本研究では、相分離が循環構造をどのように変化させるかを数値計算によって明らかにする。今まで、このように海水の相分離と循環構造のダイナミクスをつなぐ研究はほとんど行なっていない。また、熱水循環の構造と海底での熱水組成の関係にも注目した。海底の熱水組成は観測可能な量で、海底下の循環構造や相分離の情報を含んでいると考えられるからである。

本研究では、海嶺軸部近くの熱水循環の流体力学計算を行なった。海水は NaCl-H₂O 2 成分系と仮定した。定常状態における循環構造を求めた。計算結果から、中央海嶺熱水循環に関する以下のような描像を得た。

熱水の存在する領域は、上部の循環層と下部の高塩濃度層の大きく二つに分かれ (図 1)。下部の高塩濃度層は、塩分濃度が海水より大きく内部は密度成層である。上部の循環層は、塩分濃度はほぼ海水と同じである。相分離を考慮しない場合 (図 2) と比べると、高塩濃度層の形成により循環層の高さが制限される。高塩濃度層と循環層の境界付近で、循環の上昇流側では 2 相領域が形成される。そこでは密度の異なる 2 相の相対移動が起こっている。2 相領域を通った流体は濃度が変化し、その結果海底での熱水組成が非一様になる。



原始惑星環境下での触媒活性の起源
Origin of Catalytic Activity in Primitive Planetary Environments

○王せい, 植岡昌治, 鶴田友博, 金子竹男, 小林憲正 (横浜国大工)
○Wang Jing, Shoji Ueoka, Tomohiro Tsuruda, Takeo Kaneko and Kensei Kobayashi
Department of Chemistry and Biotechnology, Yokohama National University

Possible abiotic formation of primitive catalysts was examined. A mixture of CO₂, CO, N₂ and H₂O was irradiated with high energy protons. The product showed esterase activity. The activity depended on molar ratio of CO and N₂, and it increased when the product was mildly hydrolyzed. Imidazole, which has esterase activity, was identified in the product, but most of the activity was caused by higher molecular weight molecules. The present results suggest that primitive catalysts, which were not peptides nor oligonucleotides, could be formed abiotically in primitive planets before the emergence of life.

原始惑星上での生命の起源を考える上で、原始触媒がいかにして生成したかがひとつ目の鍵となる。従来の化学進化の過程では、模擬原始地球大気等からアミノ酸、核酸塩基等が生成し、これらの重縮合により生じた原始タンパク質や原始RNAなどから原始触媒が生じたされたとしている。しかし、これらの生体高分子が完全に無生物的に生成することは極めて困難である。

われわれは、模擬原始大気に宇宙線の主成分である陽子線を照射した時、まず複雑な有機物が生成し、これを加水分解することによりアミノ酸や核酸塩基が生成することを見いだした。本研究では、種々の活性の中から、最も普遍的な活性のひとつであるエステラーゼ活性に着目し、この複雑な有機物中にエステラーゼ活性を有するものの検索を行うことにより、触媒活性誕生の新たな道筋を見つけることを目的とした。

模擬原始大気として、種々の混合比のCO₂, CO, N₂, H₂Oを用い、これに陽子線を照射した。生成物のエステラーゼ活性は、基質として二酢酸フルオレセインを用い、触媒反応により生じるフルオレセインをフローインジェクション法により定量することにより求めた。また、生成物を穏やかに加水分解した時の活性の変化や、HPLCによる分画による活性を有する分子のキャラクタリゼーションを行った。

CO, N₂を含む混合気体の陽子線照射生成物は、エステラーゼ活性を有し、その活性値は、混合気体中のCOおよびN₂のモル分率に依存した。この活性は、試料を穏やかに加水分解した時、若干増加した後、減少していった。HPLC分画の結果、活性のごく一部はイミダゾールに由来するが、多くは陽イオン交換カラム、逆相カラムにほとんど保持されない、比較的分子量の大きい分子であることが示唆された。

これらの結果は、アミノ酸の重合物などではない原始触媒が原始惑星環境下で生成しうることを強く示唆する。

惑星環境下でのアミノ酸関連分子の安定性

Stability of Amino Acids and Related Compounds in Planetary Environments

○加藤潤, Md. Nazrul Islam, 金子竹男, 小林憲正 (横浜国大工)

○Jun Kato, Md. Nazrul Islam, Takeo Kaneko and Kensei Kobayashi

Department of Chemistry and Biotechnology, Yokohama National University

Stability of amino acids and related compounds against heat and radiation was examined. Relative stability among amino acids against heat is different from that against radiation. Thermal stability was quite different among among glycine-related compounds (such as diketopiperazine and aminoacetonitrile). We can expect to find amino acid precursors or condensates, rather than free amino acids, in terrestrial and extraterrestrial environments. In order to design the detection methods for amino acids in extreme environments, it is essential to estimate the form of amino acid-related compounds and their stability.

種々の原始地球および地球圏外環境下で、アミノ酸関連分子の生成が報告されている。また、火星やエウロパでは、現在あるいは過去、生命が存在した可能性が指摘されているが、それらの生命探査法のひとつとしてアミノ酸の検出が候補に挙げられている。このような無生物的、あるいは生物的に生成したアミノ酸の挙動や、その検出法を考える上で、それらの分子の惑星環境下での安定性を考える必要がある。本研究は、アミノ酸およびその関連分子の熱および放射線に対する安定性を調べることを目的とした。

実験 対象とした化合物は、アミノ酸(Gly, L-Ala, L-Glu), グリシン関連分子(Gly_2), ジケトピペラジン(DKP), アミノアセトニトリル(AAN), グリシンアミド(Ga)), $\text{CO} + \text{N}_2 + \text{H}_2\text{O}$ の陽子線照射生成物(CNW)である。熱安定性は、各化合物の1-10 mMの水溶液をオートクレーブ中に入れ、 N_2 で8MPaに加圧後、250-350°Cで1時間加熱することにより調べた。放射線安定性は、各1 mM水溶液に ^{60}Co 線源(東大原研)からの γ 線を照射することにより調べた。生成物はそのまま、あるいは酸加水分解後、アミノ酸分析計および逆相HPLCにより分析した。

結果と考察 アミノ酸水溶液の熱安定性(加水分解後の残量)はGlu>Gly>Alaであるのに対し、 γ 線安定性はGly>Ala>Gluであり、熱と放射線に対する安定性がアミノ酸の種類により大きく異なることがわかる。グリシン関連分子の中では、DKPのみが350°Cに加熱後も1%以上残存するなど、その形態により安定性に極めて大きい差が存在することが示された。

従来、有機物の安定性の評価には、主として遊離のアミノ酸や核酸塩基が試料として用いられてきた。しかし、前生物的に生成しやすいのは遊離アミノ酸ではなく、アミノ酸前駆体である[1]ことから考えて、種々の惑星環境下に存在するのは遊離アミノ酸よりはむしろアミノ酸前駆体もしくはアミノ酸重合物と考えられる。そのような有機物の安定性を評価するためには、アミノ酸関連分子の形態や、分解を引き起こすエネルギーの種類(熱・放射線・紫外線など)の推定が極めて重要であることが示唆された。

今後、生体有機物の安定性に及ぼす種々のパラメータ(酸化還元状態、水や鉱物マトリックスの有無など)についても調べていく予定である。

[1] K. Kobayashi et al., Adv. Space Res., 24, 461 (1999).

紫外線照射による原始大気及び星間塵環境下での生体有機化合物の無生物的生成

**Abiotic synthesis of bioorganics in simulated planetary atmosphere and in
interstellar dust environments by UV irradiation.**

○高野淑識, 増田仁美, 金子竹男, 小林憲正(横浜国立大・工)

高橋淳一(NTT 通信エネ研), 橋本博文(筑波大・機能工), 斎藤威(東京大・宇宙線研)

Yoshinori Takano, Hitomi Masuda, Takeo Kaneko, Kensei Kobayashi,

Jun-ichi Takahashi*, Hirofumi Hashimoto**, Takeshi Saito***

Department of Chemistry and Biotechnology, Yokohama National University

**NTT Telecommunication Energy Laboratories*

***Institute for Engineering, University of Tsukuba*

****Institute for Cosmic Ray Research, University of Tokyo*

“Chemical Evolution” is currently recognized as the reasonable explanation for the origin of life. We carried out the UV irradiation experiment in simulated planetary atmospheres of mildly reduced gas mixture to evaluate the formation of bioorganics. X-ray from synchrotron orbital radiation was also used to examine the mechanism of their formation.

Exogenous delivery of organic compound was estimated to be much higher amount than present. We irradiated simulated interstellar media with high energy photons to examine possible interstellar formation of bioorganics.

地球上での生命的誕生に先駆けて、種々の生体有機物が非生物的に生成したと考えられる。その化学進化における生体有機物の起源については地球起源説と地球外起源説がある。近年、原始地球大気は弱還元的であったことが支持されており、強還元型の場合より有機物の生成は困難と考えられている。本研究では、紫外線による有機物生成について模擬実験を行い、生成物の定性・定量を行った。また、比較としてシンクロトロン放射光より得られるX線をもエネルギー源として用い、反応開始となる出発物質の解離波長依存性についても考察した。

一方、地球圏外にも様々な有機物が存在することが知られるようになり、特に彗星、隕石や惑星間塵は地球上に多量の有機物をもたらしたと考えられている。これらの有機物は星間塵アイスマントル中で生成したと推定される。しかし、星間塵環境下でどのようなエネルギーによりどのような有機物が生成するのか、とりわけ、アミノ酸などの生体有機物の生成に関する定量的な議論は少ない。そこで星間塵アイスマントル中に存在する種々の物質に極低温($\sim 10^{-7}$ Torr)・高真空(10K)条件下で紫外線を照射し、星間紫外線による有機物生成の可能性に関する議論を行った。

Asuka-882023 メソシデライトの岩石学的・岩石化学的記載
Petrological Feature and Chemical Composition of Asuka-882023 Mesosiderite.

○都丸 明子*、藤巻 宏和*、矢内 桂三**

*東北大・理、**岩手大・工

○Akiko Tomaru*, Fujimaki Hirokazu* and Keizo Yanai**

*Tohoku Univ., **Iwate Univ.

Asuka (A)-882023 is classified as a mesosiderite recovered from Antarctica. A-882023 is mainly composed of orthopyroxene (En 63.4–75.9, Fs 22.0–32.9, Wo 2.1–4.0), plagioclase (An 88.8–92.5, Ab 7.5–11.2), olivine (Fo 73.7–74.1, Fa 25.9–26.3), and Fe–Ni metal. Silicate portion shows brecciated texture and has basaltic mineral composition, and metal portion consists of kamacite phase (5.2–6.9%Ni) with taenite lamellae (35 %Ni).

In this work, we tried to clarify the petrologic characteristics and the mineral compositions of A-882023 mesosiderite, and compared with the other four mesosiderites to discuss its thermal history and shock metamorphism.

南極隕石 Asuka(A)-882023 は珪酸塩鉱物部と Fe–Ni 合金部からなる石鉄隕石で、鉱物組み合わせからメソシデライトに分類される。本研究では A-882023 の岩石学的および岩石化学的記載を行い、これまでに研究されてきたメソシデライト隕石分類上の位置付けを明らかにし、A-882023 の熱履歴およびショック履歴を推測することを目的とした。

今回使用した試料は A-882023 の研磨薄片と表面を研磨した数グラムの岩石片、および比較対象として Estherville, Hainholz, Vaca Muerta, Bondoc の研磨薄片を用いた。また、分析装置は東北大学設置のエネルギー分散型 EPMA を使用した。

A-882023 はモードで珪酸塩鉱物部 75%、Fe–Ni 合金部 25%からなり、トロイライトをふくまないタイプのメソシデライトである。顕微鏡観察および BEI 観察から、珪酸塩鉱物部は玄武岩質な A タイプのメソシデライト (Hewins, 1984 の分類法による) で、主に斜方輝石・斜長石・カンラン石からなり、少量の单斜輝石・スピネル・トリディマイト・ウエットロックサイトを含む。輝石はポイカリティックに細粒の斜長石を包有するもの、ブレブス状のオージヤイトラメラを示すもの、スピネルを主とするコロナ構造を示すものなどがある。カンラン石は再結晶によりグラノプラズティクな組織を示し、結晶の隙間にスピネルが存在している。斜長石には細粒で輝石に包有されているものと、インクルージョンを含んでいたりゾーニングしていたりする粗粒なものがある。Fe–Ni 合金部は珪酸塩鉱物部に均質に散在しており、カマサイト相にテナイト層のブレブス状ラメラが見られる。主構成鉱物の化学組成は、斜方輝石 En 63.4–75.9, Fs 22.0–32.9, Wo 2.1–4.0、斜長石 An 88.8–92.5、カンラン石 Fo 73.7–74.1 の組成幅を示す。Fe–Ni 合金部はカマサイト相(5.2–6.9%Ni)にテナイト相が析出しており、EPMA のラインスキャン分析によるとテナイト相のコア部分は一様に 35%Ni 位の組成を示すが、カマサイトとの接觸部のごく薄いリムにはより高い Ni のピークが観察された。

以上の結果をこれまでになされている研究報告と比較し、この隕石の熱史やショック履歴について議論する。

木星赤道帯状流内における熱対流

Thermal convections in the Jovian equatorial zone wind

○蒲地 武志(福大 理)

竹内 寛(福大 理)

長谷川 均(アステック)

概 要

In the Jovian equatorial region, there are hot spot/festoon/plume complex features aligned in the east-west direction. These features show convective structures that have upwellings and downwellings in the plumes and the hot spots, respectively. The Galileo Probe entered into a hot spot, and the Galileo orbiter observed clouds and winds around the equatorial features. In this study, numerical simulations of thermal convections are carried out in the basic zonal flow with horizontal and vertical shear, and compare with the Jovian equatorial structures.

木星の赤道帯(EZ)と北赤道縞(NEB)の境界には規則のある対流構造が全周で常時10個程度周期的に存在している。対流構造の一般的特徴として、Hot spot、festoon、plumeが挙げられる。Hot spot(下降域と考えられる)はNEBの南に位置し、サイズは数100~1000km程度で、1995年にGalileo Probeが落下した時に様々な物理量を観測した。Hot spotの南西端からはfestoonと呼ばれるヒゲ状の構造が赤道に向かって伸び、西端側にはplumeと呼ばれる白雲(上昇流域と考えられる)が存在する。

Probe突入以前に、Hasegawa(1989)はplume/festoonの対流構造を、鉛直シアー流中の2次元(東西=鉛直)の熱対流により説明しようとした。帯上流は雲レベルでは高度と共に遅くなっている。数値計算を行ってみると、鉛直シアーの存在により、対流の上昇/下降流(plume/festoonに対応する)間距離の東西非対称性が説明できる。しかし、3次元性を考慮すると、例えば東西に細長いHot spotや、ヒゲ状のfestoonの形状、対流セルが卓越する方向など、色々説明出来ない問題が残っていた。

そこで、赤道帯状流の3次元性(水平シアー、鉛直シアー)まで考慮した熱対流の数値計算を行った。赤道域では、帯状流はEZとNEBの境界付近で最も速く、赤道では若干遅くなっている。このような水平シアーが、鉛直シアーと相互作用することによって、出来る対流構造を解析した。温度の擾乱を見た限り、2次元数値計算の時と同様、東西の非対称がある。また、festoonに対応する形状も見ることが出来る。速度場については、予想以上に複雑なため現在解析中である。また比較のため、水平シアーのみの対流計算も行った。

小惑星(201)Penelope の形状

The shape of asteroid (201)Penelope

○林悟、柳澤正久(電通大)、佐藤勲(渡辺技研)、長谷川均(アステック)、
中島崇、福島英雄(国立天文台)

○Satoru HAYASHI, Masahisa YANAGISAWA (University of Electro-Communications),
Isao SATO (Watanabe Res. Dev. Inc.), Hitoshi HASEGAWA (ASTEC e-Commerce, Inc.),
Takashi NAKAJIMA, Hideo FUKUSHIMA (National Astronomical Observatory)

We succeeded in observing the occultation of HIP047706 by (201)Penelope at Chofu, Tokyo on March 25, 2000: Disappear = 18h43m39.03s (JST), Reappear = 18h43m46.47s (JST). The occultation was also timed at other seven sites in Japan. The follow-up photometry of Penelope on March 29 and 30 revealed that its rotational phase at the occultation was near one of the minima of its lightcurve. We model the shape of Penelope as a triaxial ellipsoid rotating about its shortest axis. We compare calculated lightcurves with the observed one. We also compare the cross sections calculated from the model with the occultation silhouette. We derive the best fit shape and the orientation of its rotational axis.

2000年3月25日、小惑星(201)Penelope (13.4等級)による恒星HIP047706 (7.06等級)の掩蔽(Occultation)の観測を行った。観測はニュートン式反射望遠鏡(D=200mm, f=800mm)にCCDビデオカメラを取り付け、8ミリビデオテープに録画を行った。ビデオテープの音声には、ラジオからのJJYの時報とマイクからの観測者の声も同時に録音した。観測地点は東京都調布市電気通信大学西8号館屋上(北緯35度39.2分、東経139度32.64分、標高70.4m)である。その結果、恒星が小惑星に隠される様子をビデオに録画することに成功した。潜入=18h43m39.03s (JST)、出現=18h43m46.47s (JST)でおよそ8秒間、減光がみられた(小惑星から地球まで光が進むのに要する時間の補正是していない)。誤差は約0.1s。掩蔽中、同画面内に写っていた他の恒星に減光はみられないため、雲の影響はないと思われる。

Penelopeの形状をより詳しく求めるために、3月29日、30日の両日、国立天文台の50cm望遠鏡を用いて、(201)Penelopeの測光観測を行った。それにより得られたlightcurveより、25日の掩蔽が起きたのはlightcurveの極小近くであったことがわかった。

以前の観測から推定される形状や自転軸の向きを基にした橈円体近似モデルによるlightcurveを描き観測と比較する。また、そのlightcurveの極小付近におけるみかけの断面と、今回の掩蔽観測により予想される断面を比較する。

粒子層表面の凹凸分布と光散乱特性

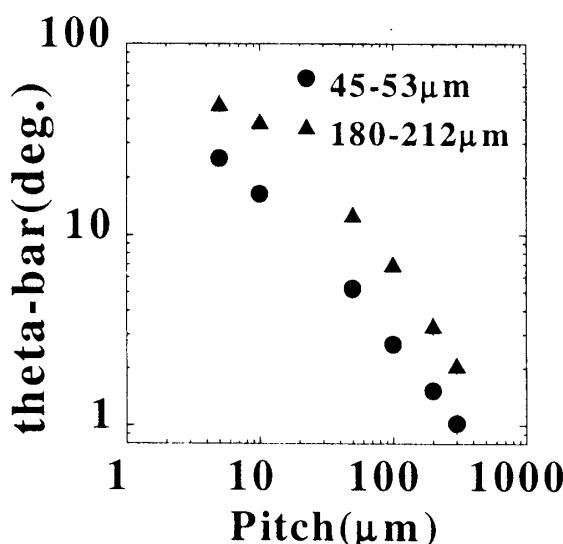
○中山博喜、亀井秋秀、中村昭子（神戸大、自然）

Submillimeter scale roughness of
regolith-like surface and the light scattering properties

○H. Nakayama, A. Kamei, and A. M. Nakamura
(Grad. Sch. of Sci. and Tech., Kobe Univ.)

The surface structures and textures of small bodies in the solar system are results of the course of their evolution. We have determined the roughness of the samples that simulate regolith surfaces to find the relationships between the $\mu\text{m-mm}$ scale roughness and the light scattering properties in visible wavelength. The roughness of samples is investigated as follows by a laser confocal displacement meter. We varied the scale of measurements between a few microns and a few millimeters and derived the slope distribution at each scale and their relation with the measurement scale. Here we will discuss the results of comparison between the roughness data and the Hapke parameters obtained for a series of laboratory experiments on bidirectional reflectance of powdered minerals and meteorites.

レゴリス層表面からの反射光強度には、観測機器の空間分解能より小さいスケールのマクロな（幾何光学域の）凹凸が影響を与える。最近、月面ステレオ画像による表面凹凸解析結果と月面の光散乱特性の比較から、光散乱特性には、サブミリメートルスケールの凹凸が最も影響を与えていたということが示唆された (Helfenstein, et al. 1999)。そこで、我々は、粒子層表面の凹凸分布を調べ、さらに、どのスケールの凹凸が反射光強度に影響を与えるかを実験的に調べた。



オリビンを用いて表面を粗い状態にしたときの、サンプル表面の平均的な傾き

まず、レゴリス層を模擬したオリビンと玄武岩の粒子層について2種類の表面状態を用意した。一方は表面をヘラを用いて平らにし、他方は平らな状態にしたサンプルの表面にふるいで粒子を落させて、粗い状態にした。それぞれの表面について基準面に対する高さの変動を格子状に測定し、様々なスケール(pitch)でのサンプル表面の平均的な傾き($\theta_{\bar{\theta}}$)を求めた。(左図)その一方で光散乱実験を行ない、そこで得られたデータから表面の代表的な面傾斜を表すHapke パラメータ($\bar{\theta}$)を求め、その値と上で求めた面傾斜の比較を行なった。

講演では、両方の測定の結果を比較して、これまで月や小惑星について光散乱特性から得られている $\bar{\theta}$ について考察する。

粗い表面による光散乱特性データの整備 —太陽系小天体観測のために—

Developing database of light scattering properties of rough surfaces
- For observations of small bodies in the solar system -

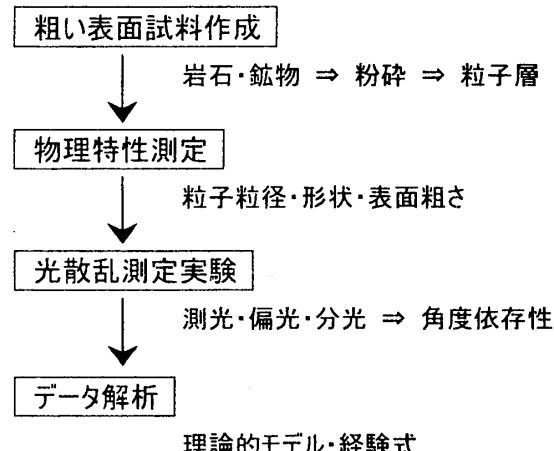
◦亀井秋秀、畠中直樹、中村昭子、向井正(神戸大・自然)
◦A. Kamei, N. Hatanaka, A. M. Nakamura, and T. Mukai
Graduate School of Science and Technology, Kobe University

There have been investigations of surface materials and structure of small bodies in the solar system by referring to ground-based observations and laboratory measurements of terrestrial rocks and meteorites. In recent years, we have obtained detailed information on the surfaces of such bodies by spacecraft observations. Simultaneously, empirical equations derived from previous works need to be revised.

Since the light scattering by regolith surface, *i. e.* ensemble of particles, is a complicated problem, laboratory study by using rough surfaces with known physical properties is useful. We have performed laboratory photo-polarimetric and spectral measurements of regolith-like surfaces simulated atmosphereless bodies. Here we make a comparison between some empirical equations and laboratory results.

これまで地上からの測光・偏光・分光観測や地球上の岩石や隕石を使った室内実験などにより、小天体表面物質や構造について議論されてきた。近年では探査機を使ったその場観測から表面のより詳細な情報が得られるようになり、これまで以上に表面物質と構造が明らかにされると期待できる。同時に、今まで用いられてきた簡便な経験式、例えば、Hapke モデルで用いられる Heyey-Greenstein 位相関数や、偏光位相曲線の勾配とアルベドとの関係(Slope-Albedo Law)などは修正(端的には、パラメタの数を増やすこと)が必要となってくる。

レゴリス層のように固体微粒子の集まりによる光散乱特性は複雑な問題で、理論的な扱いが面倒なので、光学定数や粒子サイズ、表面粗さなどの表面物理特性が既知な試料を使った実験的研究が有効である。我々は大気を持たない小天体表面のレゴリス層を模擬した表面を作成し、図に示す手順で光散乱測定実験を行っている。ここでは、これまでよく用いられているいくつかの経験式と我々の実験結果の比較を行う。

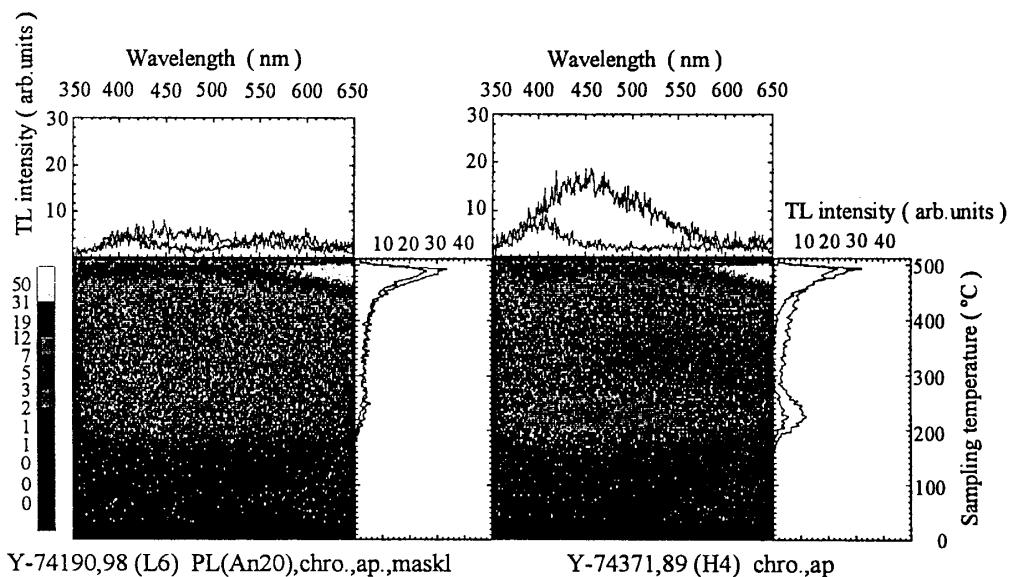


570nm の熱ルミネッセンススペクトルピークをもつ普通コンドライト
Ordinary chondrites showing TL spectrum peak at 570nm

°山崎 瞳生、蜷川 清隆、中川 益生 (岡山理科大学・応用物理学科)
Mutsuo Yamazaki, Kiyotaka Ninagawa, Masuo Nakagawa (Okayama Univ. of Science)

Thermoluminescence (TL) spectra of five Antarctic and ten non-Antarctic ordinary chondrites were measured. So far, it have been reported that ordinary chondrites have TL spectrum peaking at 450 nm on low temperature glow-peak (T_L) and that peaking at 400 nm on high temperature glow peak (T_H). However, we found a new TL spectrum peak at 570 nm (λ_L) on T_H for four Antarctic ordinary chondrites. Three of which include maskeynite. These results denote that the new TL peak λ_L results from shock effect in ordinary chondrites.

5 個の南極隕石と 10 個の非南極の普通コンドライトについて、熱ルミネッセンス(TL)スペクトル測定を行った。これまで、普通コンドライトは約 220°C の低温では 450nm、約 350°C の高温では 400nm に TL スペクトルピークが報告されている。しかし今回、Y-74190, Y-75097, Y-75102, Y-75108 (L6) の 4 つの普通コンドライトにおいて、約 300°C の高温で 570nm にピークを持つ事を見出した。これらの隕石の内 Y-75097 以外については、maskeynite の存在が報告されている。筆者は、斜長石 (Albite) は 30~50GPa の衝撃を受けたとき、570nm のピーク生じる事を認めている。これらの事実は、今回測定した高温の 570nm の TL ピークは、強い衝撃効果によって生じたと考えられる。



SELENE 計画の現状

The status of the SELENE project

中澤 晓¹、長柄 泰博¹、セレーネ共同プロジェクトチーム^{1,2} (1: 宇宙開発事業団、2: 宇宙科学研究所)

Satoru Nakazawa¹, Yasuhiro Nagae², SELENE project team^{1,2}

1: National Space Development Agency of Japan, 2: The Institute of Space and Astronautical Science

nakazawa.satoru@nasda.go.jp

SELENE, developed in the first ISAS/NASDA joint lunar program, will be launched by H-IIA rocket in 2004. The major objectives of the mission are to obtain scientific data of the lunar origin and evolution, and to develop the technology for the future lunar exploration. The scientific data will be also used for exploring the possibility of future utilization of the Moon.

The landing experiment on the Moon was separated from the mission and a VRAD satellite was newly added for the relative VLBI observation. SELENE consists of an orbiter on the polar orbit at 100 km altitude, a relay satellite, and a VRAD satellite. The scientific instruments on board the orbiter are used for the global mapping of lunar surface and environments around the Moon, together with the relay and VRAD satellites.

月周回衛星(SELENE)は「月の科学」及び「月の利用の可能性の調査」のため、宇宙科学研究所と宇宙開発事業団の共同プロジェクトとして、月全域の周回観測を行うとともに、月探査を進める上で必須となる月周回軌道への投入、月周回中の3軸姿勢制御技術の開発・蓄積を行う。

1999年11月のH-IIロケット8号機の不具合等を契機にSELENEの一層確実な開発を目指し、計画を変更した。主な変更点は、月面軟着陸実験をSELENEから分離した点、及び相対VLBI観測を行うためのVRAD衛星を追加した点である。

SELENEは周回衛星とリレー衛星及びVRAD衛星から構成される(図1)。周回衛星とリレー衛星及びVRAD衛星が結合された状態でH II Aロケットにより、平成16年度(2004年度)に打ち上げられ、月遷移軌道に投入される。

月周回軌道(軌道傾斜角: 90°)に投入された後、リレー衛星及びVRAD衛星は分離され月周回橈円軌道を飛行し、月重力場の計測を約1年間行う。周回衛星は高度100kmの周回軌道において観測機器により月の観測を1年間行う。SELENEには13種の観測機器が搭載される。これらを組み合わせて観測することにより、「月の科学」「月での科学」「月からの科学」を行う。また、将来の軟着陸ミッションに備えた基礎技術データの取得を行う。

本発表ではSELENEシステム全体について詳しく紹介する。

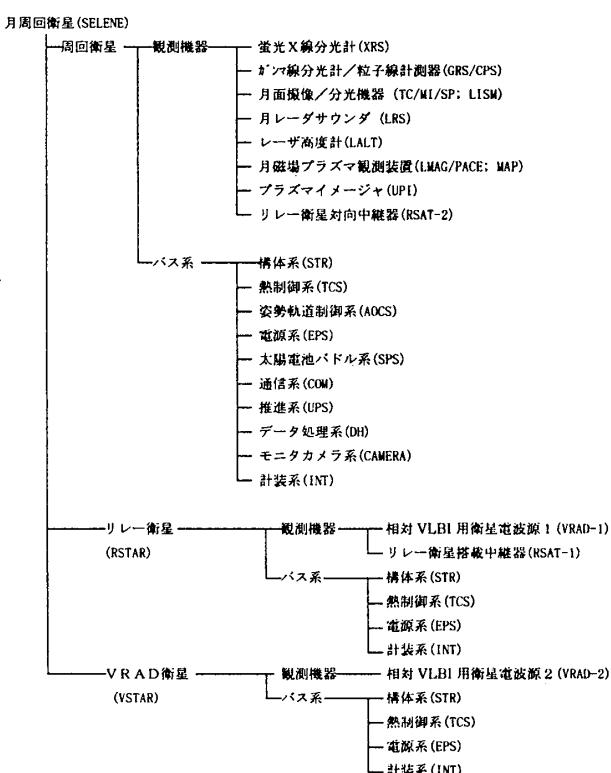


図1 SELENEのシステム構成

SELENE 搭載用地形カメラの性能と開発状況について
The specification and development status of Terrain Camera for SELENE

春山 純一¹、松永 恒雄²、大竹真紀子¹、平田成¹、比嘉道也¹、杉原孝充¹、大嶽久志¹

¹宇宙開発事業団 先端ミッション研究センター、²東京工業大学大学院 総合理工学研究科

Jun'ichi HARUYAMA, Makiko OHTAKE, Hisashi OTAKE, Naru HIRATA, Michiya HIGA, Takamitsu SUGIHARA (NASDA)、Tsuneo MATSUNAGA(Tokyo Institute of Technology)

e-mail address: Haruyama.Junichi@NASDA.go.jp

Terrain Camera (TC) is a high resolution camera which will be loaded on SELENE. It takes high spatial resolution images of 10m/pixel for the surface of the Moon from an altitude of SELENE. We plan to make Digital Elevation Model (DEM) of height resolution of 20 – 30 m, using TC data. Since SELENE is a polar orbiter, TC will give us the images for the entire of the Moon which will be a fundamental data for lunar sciences. The TC development is going well. The TC Flight Model (FM) design phase started in this year. The TC FM will be completed in 2002, prepared for the SELENE launch in 2004.

概要

2004 年度に打上げが予定されている月探査周回衛星 (SELENE) には、地形カメラ (Terrain Camera) が搭載される。地形カメラは、衛星高度 100km から 10m/画素の解像度の画像を取得する。また、地形カメラは前方視と後方視の二つから成り、立体視用画像ペアの取得も可能である。これまでルナーオービター やアポロ、更に最近ではクレメンタインが月の表面撮像を行っているが、10 m程度の高解像度画像は、月東側の一部の赤道域南北 30 度以内に限られており、他の地域については 100~300m 程度の解像度の画像しか得られていない。地形カメラでは月の全域について 10m/画素の解像度の画像を取得する予定である。しかも画像は立体視画像ペアであり 20~30m の高さ分解能の DEM (デジタル高度モデル) の作成にも活用される。地形カメラによる画像データによって、月地形の詳細な様子が分かる。小規模なクレーターの崩壊度などが調べられれば、地域の相対的な年代区分に利用される予定だ (春山、1999)。クレーター周りの飛散物 (エJECTA) からは、クレーター形成過程の検討が詳細になされる (Hirata et al.、1999)。溶岩流の広がりや厚さからは、月内部構造の進化の様子についての推定が試みられる。地形の褶曲の様子からは、月の歴史を伺い知ることが期待される (山路他、1998)。地形カメラのデータは来世紀の月の研究の基礎をなすデータとなる。現在、地形カメラの開発は、FM 設計段階である。2002 年には製作を完了し、2004 年度の打上げに備える予定で進んでいる。

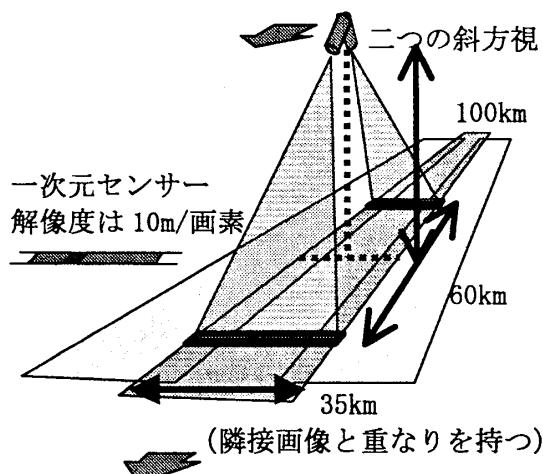


図 1 地形カメラのデータ取得概念図

参考文献

- ・春山純一、「SELENE 搭載用地形カメラの研究」、第 43 回宇宙科学技術講演会予稿集 99-2B11、1999。
- ・Naru HIRATA, Hisashi OTAKE, Makiko OHTAKE, Junichi HARUYAMA, "ANALYSIS OF EJECTA OF TYCHO USING HIGH-RESOLUTION PHOTOGRAPHS AND MULTI-SPECTRAL BAND IMAGES" , 31st Lunar and Planetary Science Conference, CD-R abstract, 1999.
- ・山路敦、佐々木晶、山口靖、小野高幸、春山純一、岡田達明、「月の起源・進化・テクトニクス」、地質学論集、第 50 号、213-226、1998。

月周回衛星 SELENE 搭載 LISM (月面撮像/分光機器)
マルチバンドイメージャ (MI) 観測の意義およびその開発状況

Purposes and current status of the LISM (Lunar Imager / SpectroMeter)
Multi-band Imager (MI) for the SELENE project

○大竹 真紀子¹、春山純一¹、松永 恒雄²、
平田 成¹、比嘉 道也¹、杉原 孝充¹、大嶽久志¹

¹宇宙開発事業団 技術研究本部 先端ミッション研究センター つくば市千現 2-1-1

²東京工業大学大学院 総合理工学研究科 横浜市緑区長津田町 4259

LISM (Lunar Imager / SpectroMeter) is a mission instrument for the SELENE project. LISM consists of three sub-systems of Terrain Camera (TC), Multi-band Imager (MI), and Spectral Profiler (SP). MI is designed to take multi-band push-broom imaging data with high spatial resolution in visible (5 bands) to near infrared (4 bands) range using two telescopes. The spatial resolution of MI-VIS is 20m at 100 km SELENE orbital altitude, and that of MI-NIR is 62m. MI data will be especially valuable for investigation of horizontal and vertical structure of Mare basalt, composition of highland crust, mechanism of impact crater formation and mantle-rock survey. Recently prototype models of parts of the instrument were manufactured and testing procedures are in progress. We have also begun software preparation for the analyses of data provided by the LISM along with a study of characteristics of mineral reflectance spectra.

LISM (月面撮像/分光機器)は月周回衛星 SELENE に搭載予定の観測機器であり、地形カメラ (TC)、マルチバンドイメージャ(MI)、スペクトルプロファイラ(SP)の3つの機器より構成されている。MI は2本の望遠鏡(可視域用、近赤外域用)を用いて複数バンド(可視域5バンド、近赤外域4バンド)の画像をピッシュブルーム方式で取得するよう設計されており、空間分解能は SELENE の周回軌道高度 100kmにおいて可視域が 20m、近赤外域で 60m とこれまでの探査衛星と比較して非常に高い。このような高い性能に加え、MI では全球観測ができることから、海の溶岩流の水平・垂直分布や高地の化学組成、クレーターの生成メカニズム、マントル由来物質の探査など多くの研究に非常に重要なデータが得られるものと期待される。機器の開発においては、これまでに部分的なプロトタイプモデルが製作されており、現在それらを用いた試験を行っている。また、我々のグループでは LISM の運用や将来のデータ解析に向けたソフトウェア開発や、MI や SP データの解析に不可欠な地上における鉱物反射スペクトルの研究なども同時に進めている。発表では MI 観測の意義や開発の現状について、これまでの研究成果やプロトタイプモデルの試験結果などをまじえて詳細を紹介する。

月周回衛星 SELENE 搭載 LISM (月面撮像/分光器機)
スペクトルプロファイラ (SP) の開発

Development of the LISM (Lunar Imager / SpectroMeter)
Spectral Profiler (SP) for the SELENE project

松永恒雄¹、○大竹 真紀子²、杉原 孝充²、平原靖大³
春山純一²、平田 成²、比嘉 道也²、大嶽久志²

¹ 東京工業大学大学院 総合理工学研究科 横浜市緑区長津田町 4259

² 宇宙開発事業団 技術研究本部 先端ミッション研究センター つくば市千現 2-1-1

³ 名古屋大学理学部地球惑星科学科

ABSTRACT

Although the Moon has been investigated from the Earth, manned Apollo program, and numerous unmanned spacecraft including latest Clementine and Lunar Prospector, unresolved issues on the origin and evolution of the Moon still exist. To find clues or hopefully answers to these issues, Japan will send, to the Moon, an orbiting spacecraft called Selenological and Engineering Explore(SELENE) equipped with a suite of state-of-art mission instruments. Spectral Profiler(SP) is one of the instruments onboard SELENE, and will obtain 0.5 - 2.6 μm continuous reflectance spectra of the lunar surface just below SELENE with 500 m swath. As major minerals on the Moon, pyroxene, olivine, and feldspar, have diagnostic spectral features in this spectral region, SP's spectra will provide us information on mineral/rock distributions on the Moon surface globally. Such information from SP will, in combination with other instruments, clarify elemental/compositional characteristics of the lunar surface. This will contribute so much to depict a clear picture of the origin and the evolution of the Moon. To accomplish these scientific goals, engineering issues such as performance requirements and calibration procedures were discussed intensively and comprehensively among SP scientists and engineers. And based on such discussions, the basic instrument design of SP was determined and PM development was started in FY 1998. In FY 1999 and 2000, PM testings are being conducted. FM design will start in late-2000. In the presentation, current status of SP development will be reported together with background information on SELENE, SP, and the science of the Moon.

LISM(月面撮像/分光機器)は宇宙科学研究所／宇宙開発事業団が開発中の月周回衛星SELENEに搭載予定の観測機器であり、地形カメラ(TC)、マルチバンドイメージヤ(MI)、スペクトルプロファイラ(SP)の3つの機器より構成されている。SPは回折格子を利用した可視近赤外分光計であり、0.5-2.6 μmの波長域において高波長分解能の月面連続反射スペクトルを測定する。月面上に産する斜長石・かんらん石・輝石等の鉱物はこの波長域に特徴的な吸収を持つため、反射スペクトルからその混合比や組成に関する情報が得られるものと期待されている。SPの概念・基本・PM設計は1999年度までに、PM製作は平成2000年度上期までに終了し、現在は各種PM試験を実施している。発表ではSP開発の背景となった月に関する科学的課題とその解明のために必要な分光計の性能について論じた後、SPの開発状況について報告する。

γ 線 分 光 計

Gamma-Ray Spectrometer

長谷部信行、小林正規、山下直之、岡晃弘（早稲田大学理工学総合研究センター）、
宮地孝（東京大学 CNS）、柴村英道（埼玉県立大学）、柏木利介（神奈川大学工学部）
高島健（名古屋大学大学院理学研究科）、C. d'Uston (CESR, CNRS/UPS)
M. Grande (Rutherford Appleton Laboratory)、榎崎勝弘、鈴見啓介（住友重機械工業
株式会社）、森國城（クリアパルス株式会社）、山本立夫、坂井健二（応用光研工業株式会社）

Abstract

Japanese lunar polar orbiter SELENE carries a gamma-ray spectrometer which uses a high-purity Ge detector cooled down to 80-90 K by a Stirling mechanical cooler for the first time in the lunar mission. The Gamma-Ray Spectrometer (GRS) consists of an n-type Ge detector with a large volume of ~ 250 cc as a main detector and BGO and plastic scintillators as an active shielding detector. Its excellent energy resolution is attained for engineering model even after severe vibration tests were made. GRS will provide the global mapping of the Moon for major elements of O, Mg, Al, Si, Ti, Fe, etc. and natural radioisotopes of K, Th and U with a high precision. GRS has such an excellent energy resolution that it would identify prompt gamma-ray line from hydrogen and the location and the amount of ice, if there exists water ice at polar regions.

概 要

月周回衛星セレーネに搭載されるγ線分光計 GRS の現状を報告する。GRS は約 250cc n 型高純度ゲルマニウム結晶を月探査用として初めて採用し、BGO とプラスチックシンチレータを反同時計数計として用いることでゲルマニウム検出器の持つ高分解能を維持する。ゲルマニウム結晶は計測時に冷却する必要があるが、スターリング冷凍機を用いて 80-90K 程度に冷却を行う。その結果セレーネ GRS は Lunar Prospector に搭載されたガンマ線分光計の 2 倍、APOLLO GRS の 4 倍以上の高感度を持つ。したがって、非常に高い精度で月表面から放出されるガンマ線を測り、O、Mg、Al、Si、Ti、Fe といった主要元素や、K、Th、U などの放射性元素を同定、定量化する。また、もし極域に氷が存在すれば、GRS は非常にエネルギー分解能が高いので、水素からの即発ガンマ線を検出でき、水の場所の特定、存在量を求めることができる。

SELENE搭載レーザ高度計(LALT)の開発

Development of Lunar Laser Altimeter (LALT) on board SELENE

○荒木博志、坪川恒也、河野宣之、大江昌嗣、浅利一善、田澤誠一（国立天文台）、
国森裕生、青木哲郎（通信総合研究所）、土屋 淳（日本測量協会）、
古宇田亮一（地質調査所）、神谷 泉（国土地理院）

H. Araki, T. Tsubokawa, N. Kawano, M. Ooe, K. Asari, S. Tazawa (NAO),
H. Kunimori, T. Aoki (CRL), J. Tsuchiya(JAS), R. Kouda(GSJ), I. Kamiya(GSI),

Lunar Laser Altimeter (LALT) on board SELENE orbiter has been developed by SELENE-LALT group. The objectives of this measurement are determining global figure of the moon more accurately (spherical harmonics expansion of the lunar figure) and making lunar topographic maps including polar region more accurately. The manufacture of prototype model (PM) of LALT will be completed by December 2000 or January 2001 then ranging tests of LALT-PM whose range distance is about 30 km will be performed. The flight model (FM) will be completed by the end of August 2002.

2004年度打ち上げ予定のSELENE月周回衛星に搭載されるレーザ高度計(LALT)の科学目標、性能、仕様、開発状況について報告する。

LALTの目標は、1) 月の形状を従来より高精度決定、2) 極域を含む月面全体の従来より高精度な地形高度図の作成、の2点にまとめられる。これらのデータは、SELENEのVRAD/RSAT等による重力場計測データと合わせて月内部構造の解明などに重要な役割を果たす事が期待されている。

LALTは波長 $1.064\text{ }\mu\text{m}$ 、パルスエネルギー 100mJ 、パルス幅 15nsec. のQスイッチCr:Nd:YAGレーザを用い、高度 100km の周回衛星から月面までの距離を1年間のミッション期間を通して精度 5m 、頻度 1Hz で計測する。今年の5月に周回衛星の軌道傾斜角が 90° に変更され極軌道になったため、従来から検討してきた側方視機構が不要になるとともに月全面の均質な高度計測ができるようになった。レーザビームの広がり角は口径 7.3cm 、倍率10倍のコリメータ（ガリレオ式望遠鏡）を用いて 0.3mrad に押さえられ、フットプリント直径は月面上 30m になる。ミッション1年後の計測点間の平均距離は赤道付近で最大 3km （平均 700m ）、極域では最大 300m （平均 100m ）程度になる。リターンパルス受信用の望遠鏡は口径 10cm のカセグレン式で、測距点が平坦であればリターンパルスのS/Nは100程度確保でき、安定した計測ができるようになっている。

現在、平成14年（2002年）8月末のFM(Flight Model)納入を目標に開発が進められており、今年の12月ないし来年の1月にPM(Prototype Model)の製作が完了する予定である。今年7月及び8月に作製中のPMを用いて往復距離数kmの予備的測距試験が行われ、ほぼ設計通りの性能が確かめられた。また平行して制御用ソフトウェアの開発も進められている。PM完成後は往復距離約 20km の測距試験も検討中である。

セレーネ衛星搭載月磁場プラズマ観測装置(MAP)

Lunar Magnetic Field and Plasma Experiment (MAP) on board the SELENE Satellite

° 斎藤義文 (宇宙研)、綱川 秀夫 (東工大)、セレーネ MAP チーム

° Yoshifumi Saito(ISAS), Hideo Tsunakawa (TITECH), SELENE MAP team

Lunar Magnetic Field and Plasma Experiment (MAP) on board the SELENE Satellite consists of 2 components, i.e. LMAG(Lunar Magnetometer) and PACE(Plasma Energy Angle and Composition Experiment). LMAG measures the vector magnetic field in the frequency range below 10Hz. PACE consists of 4 sensors ESA-S1,S2 and IMA-S1, S2. ESA-S1 and S2 are identical two sensors that measure the three dimensional distribution function of low energy electrons around the moon. IMA-S1 and S2 are identical two sensors that measure the three dimensional distribution function of mass discriminated low energy ions around the moon. The control electronics for the LMAG sensor and PACE sensors are contained in one package: MAP-E.

セレーネ衛星搭載月磁場プラズマ観測装置(MAP)は、月磁場観測装置(LMAG)とプラズマ観測装置 (PACE)から構成される。LMAG は伸展マストに取り付けたリングコア型磁力計でDC～10Hz の周波数帯域において直交 3 成分の磁場を測定し、月周辺磁場、月面磁気異常の観測を行う。一方、PACE は半球面 (2π) の視野を持つイオンエネルギー質量分析器(IMA) 2 台と電子エネルギー分析器 (ESA) 2 台で構成され、エネルギー範囲 $5\text{eV}/q - 29\text{keV}/q$ 、質量数 1-60 のイオンと、エネルギー範囲 $5\text{eV} - 17\text{keV}$ の電子の 3 次元分布関数を測定することによって、月周辺 (月起源) プラズマの観測、月面磁気異常の観測を行う。LMAG と PACE の電子回路部は 1 つのパッケージ (MAP-E) に納められており、衛星とのやり取りを行うテレメトリー・コマンド処理用 CPU、電源部を共有している。このことにより、重量、電力などのリソースを低減することが出来た他、データ処理上密接に関連する磁場、プラズマそれぞれのデータを衛星機上でやり取りすることが可能となった。プラズマの観測データの処理に磁場データが機上で使用できることは電子反射計を用いた月面磁気異常の観測には特に重要である。電子反射計は、大気の無い (あるいは大気が非常に薄い) 天体表面の磁場を観測するのに有効な手法であり、太陽風の (或いは天体磁気圏起源の) 電子が天体表面の磁場によって反射されることで生じる電子のピッチ角異方性を観測し、天体表面の磁場を逆に求める方法である。PACE-ESAで観測された電子のデータを32Hzの磁場データを用いて機上でピッチ角ソートすることにより最高32Hzの非常に高い時間分解能で磁気異常を観測することができる。時間分解能が高いと言うことは、空間分解能が高いということであり、従来より遙かに高い分解能での月面磁気異常の観測で新たな情報が得られるものと期待している。

SELENE/VRAD ミッションにおける多周波 VLBI 法

The configuration of multi-frequency VLBI method in VRAD mission of SELENE project

○ 河野裕介*, 花田英夫**, 岩田隆浩***, 鶴田誠逸**, 平勁松*, 河野宣之**

○ Yusuke Kono*, Hanada Hideo**, Seiitsu Tsuruta**, Jinsong Ping*
, and Nobuyuki Kawano**

*総合研究大学院大学 : The Graduate University for Advanced Studies

** 国立天文台 : NAO, Mizusawa, *** 宇宙開発事業団 : NASDA

The differential VLBI measures angular distance between two radio transmitters on each lunar orbiters and quasars in order to estimate the orbits and the gravity field of the moon in SELENE project of Japan. The radio transmitters emit four carrier waves. Three S-band signals of them are used for resolving the cycle ambiguity of another X-band signal. We demonstrate the method to correlate the signals by a narrow bandwidth receiving system and to resolve the cycle ambiguity by combining fringe phases of four waves including the effects of the ionosphere and others. Possible error sources that will affect the measurement of the phase are also discussed. As the result, the condition required for the radio transmitters and the ground systems to track the radio sources within the accuracy of 0.8 nano radians are obtained.

SELENE 計画において相対 VLBI 用電波源 (VRAD1,2) はリレー衛星, VLBI 電波源衛星に搭載され, 準星を含めそれぞれの角距離を計測することにより, 電波源の軌道や月の重力場を高精度に推定することができる. それぞれの電波源は 4 つの搬送波を放射し, その中の S 帯の 3 波は X 帯の 1 波の位相の 2π の不確定を取り除くために用いられる.

ここでは開発した狭帯域受信機を用いて記録した信号の相關処理の方法と, 電離層やその他様々な影響のなかでもそれぞれの搬送波のフリンジ位相差を組み合わせによる X 帯位相の 2π の不確定の除去方法を示す. またそれぞれの位相に与える誤差要因についても検討し, その結果, 電波源間の離角を 0.8nrad 以下の精度で決定するための, 電離層, 地上局, VRAD 電波源が満たすべき条件について議論する.

SELENE 計画 月レーダーサウンダ (LRS) による月地下構造および表面地形の観測
Data analysis methodology of SELENE Lunar Radar Sounder observation

○小林 敬生¹ 小野 高幸¹ 大家 寛²

¹ 東北大 ²福井工業大学

SELENE Lunar Radar Sounder (LRS) is an HF radar whose primary observation target is lunar subsurface structure. Observation data should be analyzed with care to detect weak subsurface echoes and to discriminate them from surface reflection echoes. A data analysis methodology has been studied and verified by means of computer simulation of LRS observation over realistic lunar surface model. The points of the methodology are data stacking method for detecting weak subsurface echoes and SAR analysis method to determine locations of strong surface reflection echoes for discriminating weak subsurface echoes.

月探査計画 SELENE において月地下探査を主目的とする月レーダーサウンダ Lunar Radar Sounder (LRS) のデータ解析手法と期待される成果について紹介する。

SELENE 計画の搭載ミッションのひとつである LRS は、これまでの電離圏・磁気圏探査を目的とした EXOS - B, C, D の諸衛星や火星探査機 PLANET-B に搭載されたプラズマサウンダの技術を応用した月の地下数 km までの構造を探査するレーダーである。

我々のグループでは、我が国初の試みである衛星搭載 HF レーダーによる月地下構造探査の効果的なデータ解析手法を確立するために、LRS 観測データをシミュレーションによって得るコードを開発し、現実的な月面地形における LRS 観測地下探査を模擬して LRS 観測データ解析手法を研究してきた。

LRS 観測データの解析において最も重要なことは地下からのレーダーエコーと表面からの反射エコーを分離・識別することである。月面の 80% を占めるクレータ密集領域ではその地形から容易に予測されるように、複雑なクレータ密集地形による側方反射波が様々な方向からレーダー受信器に混入する。このような側方反射波の中にはそのレンジ(距離)が SELENE 衛星直下点地下反射エコーの見かけレンジと等しくなるものもあり、微弱な地下反射エコーの検出を困難にする。

LRS はパルス繰り返し周波数 20Hz で観測を行う予定であるが、観測で得られる多数の受信パルス波形データを重ね合わせることにより不要な表面散乱波成分を抑圧することは、深さの空間変化が比較的小さい地下構造からの微弱な反射エコーを検出するために有効な方法である。また、地下反射波と紛らわしい表面反射波はその反射源位置を同定することにより SELENE 衛星直下点地下反射エコーから識別する方法が必要となり、そのため、ここでは合成開口レーダ (SAR) 解析手法を LRS 観測データ解析に応用する。

LRS グループでは、これらのデータ解析手法を開発し、LRS 観測のシミュレーションを行つて手法の有効性を確認してきた。その結果、クレーター分布が飽和状態にあるような月の高地領域においても、クレーター地形の持つランダム面としての統計的性質のために受信波形データ重ね合わせ手法によって地下反射エコーを検出できること、さらに合成開口レーダ 解析手法により、月表面地形を構成するクレーターを最小半径 100m のオーダーのものまでを検出できることを実証した。現在は干渉計 SAR 解析手法を LRS データ解析に応用して月表面地形の高低分布を再現する手法について検討を進めている。

講演では、LRS の仕様、目的とともに以上の LRS データ解析手法について、LRS 観測シミュレーションの結果を用いて紹介する。

SELENE による測月のためのリレー衛星及びVRAD衛星の開発研究

System Design of the Relay Satellite and the VRAD Satellite of SELENE for Selenodesy

○岩田隆浩、佐々木健、高橋道夫（NASDA）、
並木則行（九州大学）、花田英夫（天文台水沢）

T. Iwata, T. Sasaki, M. Takahashi (NASDA), N. Namiki (Kyushu U.), and H. Hanada (NAO)

We report the system design of two sub-satellites of SELENE for selenodesy mission. The Relay Satellite (Rstar) and the VRAD Satellite (Vstar) will be injected into the elliptical orbit of 2,400-100km and 800-100km in altitudes, respectively. Signals for four-way Doppler measurements will be relayed by the SELENE Main Orbiter and Rstar. Radio sources for differential VLBI will be transmitted from Rstar and Vstar. Analyzing the disturbances of the orbits of these spacecrafts, the global maps of the lunar gravity field will be obtained to elucidate the lunar topography and inner structure.

月の重力場分布を明らかにすることは、月の地形やコアなどの内部構造の物理量の推定に重要である。従来の Lunar Prospector 等の月周回衛星の測距・ドプラ計測による軌道決定から推定する方法では、軌道の直接観測が月の表側に限定されることと、地上観測局の測距・ドプラ計測精度の制約から、重力場の推定精度は一定のレベルに留まってきた。これに対し SELENE では、主衛星及び2機の小型衛星であるリレー衛星（Rstar）と VRAD衛星（Vstar）を用いた、4ウェイドプラ計測及び相対 VLBI 観測により、月の裏側を含むグローバルかつ高精度の軌道決定を可能とし、重力場推定精度を大幅に更新する計画である。

Rstar は、高度 2,400-100km の月周回橈円軌道に投入され、「リレー衛星搭載中継器 (RSAT-1)」及び「相対 VLBI 用衛星電波源 1 (VRAD-1)」を測月ミッション機器として搭載する。また Vstar は、高度 800-100km の月周回橈円軌道に投入され、「相対 VLBI 用衛星電波源 2 (VRAD-2)」を搭載する。4 ウェイドプラ計測は、主衛星が月の裏側を飛行中に、宇宙研臼田局より送信される搬送波を、Rstar→主衛星→Rstar 経由の 4 ウェイで臼田局に折り返して、これをドプラ計測する。月の裏側の軌道が直接計測されることから、70 次までの重力場展開係数が Kaula Law に拠らず高精度で推定される。相対 VLBI 観測は、VRAD-1 と VRAD-2 からの S 帯 3 波、X 帯 1 波の搬送波について、地球上にて相対 VLBI 観測を行う。位相補償法により地球大気の影響を除去しながら高精度衛星位置決定を行うことにより、月重力場展開係数の低次項について約 1 衡以上の精度向上を達成する。

Rstar と Vstar は、測月ミッションに特化された小型衛星であり、共に衛星構体サイズ 1m×1m×0.7m (形状：八角柱)、衛星本体質量約 40kg 級となる。1 ヶ月を超える長期間の軌道アークの決定から重力場を求めるここと、及び小型・軽量を目標とすることから、能動的な姿勢制御を行わずスピンドル安定のみとする。一方、地球との通信リンク維持、及び太陽電池セルの発生電力確保のため、スピンドル軸を白道面垂直に対して $\pm 20^\circ$ に維持する必要がある。この姿勢保持のため、分離機構においてスピンドル角速度 60deg/sec 以上を印加し、かつチップオフレートが 6deg/sec 以下となる設計とする。この要求に基づき、摩擦抵抗が小さくかつ軽量な伸展リング方式の分離機構を開発し、その基本的機能・性能を試作試験用モデルを用いた地上試験により確認した。

P 211

SELENE プロジェクト/リレー衛星計画のための月重力・地形解析の研究

System Design of the Relay Satellite and the VRAD Satellite of SELENE for Selenodesy

○並木則行、青島千晶（九州大学）、RSAT グループ

N. Namiki (Kyushu U.) and RSAT group

RSAT mission of SELENE project is introduced. The RSAT mission is aiming a measurement of gravity field over the far side of the Moon by using a relay sub-satellite. Applications of the expected gravity field to lunar sciences are numerable. As an example, we present our recent study of localization of gravity and topography of the Moon.

宇宙科学研究所と宇宙開発事業団が進める SELENE プロジェクトには数々の観測機器が搭載されるが、我々が現在開発中の「リレー衛星搭載中継器」（略称 RSAT）もその一つである。RSAT ミッションでは、これまで未観測のまま残されている月裏側の重力場を計測し、先駆的な拘束条件に訴えることなく、月重力場を解析することを目標としている。現在の月重力場モデルと同等の空間分解能で、「信頼性」の高いモデルが得られると期待される。

惑星重力場は、天体内部の密度構造を反映している。従って、RSAT ミッションにより、月内部構造に対する制約条件が得られるはずである。ただし、計測される重力場は、密度構造の「積分」値であるから、観測された重力場から直ちに、内部構造を一意的に決定することはできない。さらには、計測される重力場は鉛直構造よりも、水平密度構造に敏感である。従って RSAT ミッションにおいて期待される高次の重力場モデルは、「浅い」内部構造を推定するのに有効である。

本研究では、ウェーブレット解析の手法を球面調和関数に応用して、現状の「不完全な」月重力場モデルからローカルな重力一地形相関を切り出すことを試みた。結果として、現状の月重力場モデルにおいて「信頼性」が高いとされる月表側、低緯度のマスコン盆地について、玄武岩溶岩の深さや、周囲のモホ面の平均的な深さについて、定量的な評価が可能となった。また、これまで問題とされてきたマスコンを取り巻く「負」の重力異常が、地形と玄武岩溶岩のサイズの違いから生じていることが明らかになった。

この様な研究は、将来 SELENE、あるいは Lunar-A から得られるであろう豊富な観測データ利用の一例に過ぎない。本公演では月・惑星の内部構造、進化、期限に興味を持つ惑星科学者の皆さんに、我々がどのような観測データを提供できるか、という観点で発表を行う。より詳細に关心があれば、講演者 (nori@geo.kyushu-u.ac.jp) へ御連絡いただきたい。

P 212

SELENE/RSATにおける太陽輻射圧モデル

Solar Radiation Pressure on RSAT of SELENE

平 効松^{1,3}・仙石 新⁴・長岡信明⁵・岩田隆浩⁶・河野 宣之^{1,2}

Ping Jinsong^{1,3}, Arata Sengoku⁴, Nobuaki Nagaoka⁵, Takahiro Iwata⁶ and Nobuyuki Kawano^{1,2}

¹総合研究大学院大学天文科学専攻

²国立天文台地球回転研究系

³北京師範大学天文学部

⁴海上保安庁水路部航法測地課

⁵東芝株式会社小向工場宇宙システム技術部

⁶宇宙開発事業団筑波宇宙センター

SELENE計画におけるリレー衛星、VLBI電波源衛星のための新しい太陽輻射圧モデルを開発した。これは太陽輻射圧の衛星にはたらく加速度を計算する際に、衛星のチップオフによる太陽輻射圧変化の効果も含めた加速度の計算を行うモデルである。そのモデルでは正八角形である衛星のそれぞれの面で独立に太陽輻射圧を計算した後、オイラーの自由章動の周期にわたり、それぞれの輻射圧のベクトル和を行うことによって、チップオフの効果も含めた衛星の重心にはたらく加速度を計算することができる。

Keywords: SELENE, 人工衛星、自転安定、太陽輻射圧

Abstract: A new Solar radiation pressure model for spin stabilized satellites RSAT and VSAT in SELENE mission has been developed, so as to correct the effects of mean acceleration due to a small tip-off during the spin of spacecraft. The shape of the satellite was assumed to be a regular octagonal pillar. Radiation forces acting on each surface of the spacecraft were calculated independently and were summed vectorially during a total period of Euler's free nutation of the satellite to obtain the mean acceleration acting on the satellite center of mass.

Keywords: SELENE, Artificial satellite, Spin stabilized, Solar radiation pressure

月面探査支援技術としてのローバの研究

A rover as a lunar surface exploration equipment

○市川 誠, 金森 洋史, 佐々木 健, 飯島 純一 (NASDA)

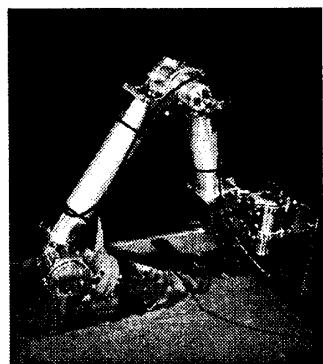
Makoto Ichikawa, Hiroshi Kanamori, Takeshi Sasaki, Jun'ichi Iijima

(National Space Development Agency of Japan)

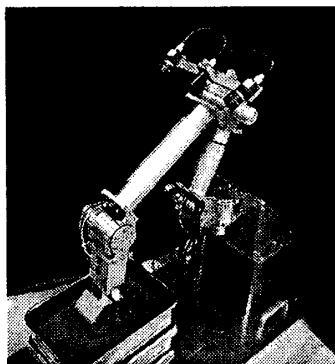
After completion of the remote sensing of the Moon by SELENE, the ground truth of the lunar surface becomes a candidate of the future lunar exploration mission. A rover is a mission device transportation vehicle on the Moon and its system design is directly related to the mission object. We here present a manipulator, end effectors and multi-task rover concept.

月のリモートセンシングを主体とした SELENE ミッションに続く次期月探査ミッションとして、月のグランドトルースがひとつの候補として考えられる。この移動の手段としてはローバが必要となる。ローバのシステム設計はミッションの内容に大きく左右される。探査距離とミッション期間はローバの移動能力に関係する。

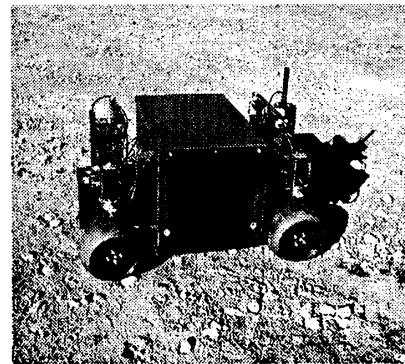
掘削のように作業に伴って反力が発生するものについてはこれを考慮した車両設計が必要となる。刃幅 58mm の掘削用エンドエフェクタを用いた掘削実験の、かさ密度 $2.0\text{g}/\text{m}^3$ に調整したレゴリスシミュラントのステップ掘削深さ 20mm において刃先反力の最大値として 17N が得られた。この他、岩の把持兼掘削用エンドエフェクタ、ポジショニング研究用 4 輪ローバ、複数ミッションに対応するためのマルチタスクローバコンセプトを紹介する。



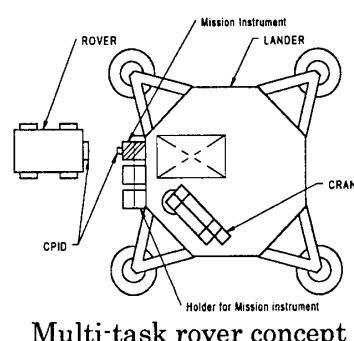
Manipulator with Excavation attachment



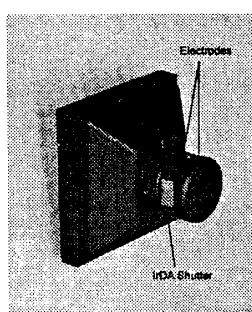
Gripper/Excavator



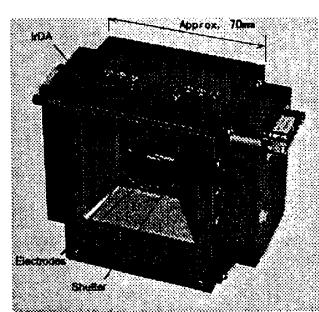
Four Wheel Rover



Multi-task rover concept



I/F (for Instrument)



I/F (for Rover)

Phobos / Deimos 着陸探査提案

Proposal of landing mission to Martian Satellites; Phobos and Deimos.

秋山演亮、出村祐英

AKIYAMA Hiroaki, DEMURA Hirohide

(Department of Earth & Planetary Science, University of Tokyo)

ABSTRACT

This is the proposal is one of the mission designs in Minor Body Exploration Forum. At first, the spacecraft will take image on the surface of the Deimos. (This is the activity which hasn't been finished yet at 2010 years.) Next, many modules for the survey of interior structures are dropped on both satellites, Deimos and Phobos. Each position of the module is defined by the mother ship. Seismometer, sources of artificial earthquake, thermometer and magnetometer are installed in the module. Sequential limb profiles of both satellites are taken for getting whole shape. The whole shapes of both are also keys for internal structures and evolution.

概要

約10年後に実施されるべきポストMUSES-C計画として、Phobos / Deimos 火星衛星の着陸機による内部構造探査を提案する。本提案は、現在インターネット上で有志によって運営されている小天体探査フォーラム(MEF)で議論されている。

これまで小惑星の表面に関して、いくつか分光探査や地形に関する研究が行われている。またMUSES-C計画の表面物質サンプルリターンにより、小惑星表層に関しての知見も深まるであろう。これに対して小惑星の内部構造探査は手つかずで、またその予定もない。内部構造探査は小惑星形成物質の真の密度を明らかにし、小惑星の集積・衝突過程に関して様々な知見を与えると期待される。また未暴露の岩石の分光観測、表面レゴリスの粒径及びパッキング（充填様式）の調査により、これまでの表面探査だけからはわからなかった小惑星の進化に関する知見が期待される。そのため、次の段階に於ける小惑星探査として内部探査は重要である。

探査対象として Phobos を提案する。Phobos は既に数多くの表面写真が撮影されてコントロールされた全体形状が明らかで、探査を行なうにあたっての位置決定が容易である。また、表面に観測されるグループはステイックニー形成時の開口性破壊面とされ、表面を覆っているレゴリス層の下深部まで伸びていると考えられている。また Phobos は、隕石として入手されていない未知の D タイプの小惑星と考えられており、現地に於けるその場分析、あるいはリソースに余裕があれば、サンプルを地球に持ち帰ることが待たれている対象である。

探査手順は以下の通りである。まず Phobos、あるいは Deimos とランデブーするような火星周回軌道に探査機を投入し、Deimos の未撮像領域を撮像する。また、この2つのランデブー軌道上から Phobos / Deimos のリム観測をおこない、両衛星の全球形状を計測する。次に内部構造探査モジュール群を Phobos, Deimos 表面に展開する。この内部構造探査モジュールは、各々人工地震波源、地震計、熱流量計、磁気計測器を搭載し、内部の構造、表面熱流量、残留磁化の計測を行う。各モジュールの位置は母船による位置計測により決定する。最後に母船より着陸機を降下させる。この着陸機はグループ等の亀裂から内部を光学的に観察する。着陸機には可動性で任意のグループまで移動する。サンプル採取は可能であれば宇宙風化の進んでいないグループの内部から行う。

近地球小惑星マルチフライバイ＆火星衛星サンプルリターン、ミッション提案

A mission design for “Minorbody Exploration Forum”: Near Earth objects multiflyby & Phobos sample return

◦出村裕英・秋山演亮（東京大学・理・地球惑星） demura@sys.eps.s.u-tokyo.ac.jp

◦Hirohide DEMURA & Hiroaki AKIYAMA (Dept. Earth & Planet. Sci, Univ. of Tokyo)

ポスト MUSES-C 計画として小天体探査フォーラム (MEF:Minor Body Exploration Forum) で議論された探査計画のひとつを紹介する。ここで提案するミッションデザインの特色は次の3点である。1)大位相角撮像に重点を置いた宇宙望遠鏡としてTholen 分光型とHapkeパラメタに基づく小惑星カタログを作成する、2)複数機のメリットを生かしてフライバイ観測の欠点を克服する、3)一機を衝突体として一天体試料を採取し地球に帰還する。遠隔探査に特化したマルチフライバイ偵察ミッションに最終目的地のサンプルリターンを組み込んだ。火星衛星フォボスは分光型Dで彗星小惑星遷移天体 (CAT天体) の可能性もあり、興味深い。 We will display a mission design for "Multi-flyby of Near Earth asteroids & Sample-return from Phobos", which has been discussed in the Minor Body Exploration Forum. This concept is argued with our feasibility studying. This mission design is characterized by the followings; 1) Carrying as a space telescope with large solar phase angle for making asteroids catalog based on the Tholen taxonomy & Hapke model parameters, 2) Covering of invisible regions with multi-flyby observations of a formation flight system, 3) Returning captured samples which are ejected by a suicide impact of the head of spacecrafts.

1. 目的

- 1)小惑星分光型多様性と表面不均質性の分光遠隔探査。
特に分化小天体を対象に、露頭観察で内部構造把握。
- 2)遠方で像が分解不能な小惑星で、地球近傍でできない
大位相角偏光 / 分光撮像を行い、Hapkeパラメタ決定お
よびレゴリス粒径を制約。まとめて小天体がわくを提出。
- 3)最終目的地の火星衛星フォボスは隕石と未対応なD型で、
その試料を回収、有機 / 無機地上分析。
- 4)フライバイでFeNi合金かもしれないM型及び他小惑星の
磁化とその偏在性から、宇宙風化への寄与を考察。

2. あらまし

地球周回軌道に試料回収機構を持つスピニン衛星を2機(同型)と近接撮像に特化した三軸衛星1機、を打ち上げ、2-3日間隔で近地球小惑星同軌道マルチフライバイを開始。3機で時間差を付けて1対象を狙うことで全位相角全球撮像できる。フライバイ以外の巡航中も遠方の小惑星の大位相角分光 / 偏光観測を続け、宇宙望遠鏡としての役割も果たす。最終目標フォボスに達し、三軸機で近接撮像と硬着陸、2スピニン機で飛散物を回収する。地球に帰還する。

3. アウトプット、重要性

- 1)フライバイ小惑星全球の詳細分光地図。
- 2)像の分解できない遠方小惑星のレゴリス特性。
- 3)隕石として未入手のD型小惑星試料、もしかしたら
CAT天体の有機化合物に関する直接の知見入手。
- 4)小惑星磁化獲得機構の制約条件、残留磁化の宇宙風化
への寄与。太陽系内磁場データの取得。
- 5)分化小天体深部の直接露頭観察。
- 6)太陽系内の磁場 & ダスト分布を系統的に取得。

4. 観測／計測項目・手段

遠隔探査機器

- スピニン機：可視 1D_CCD 分光
(LMIC型:CCD前にフィルタを挟んで複数ラインを組む)
スピニン機：近赤外分光器 (OD)
(フライバイでスピニンを利用してマッピング)
三軸機：可視2D_CCD(単バンド)+偏光フィルタ部分貼付
(MUSES-C 搭載、AMICA型)
三軸機：蛍光X線分析器 (オプション)

その場観測器

- スピニン機：磁力計
三軸機：ダストカウンター

5. 技術開発項目 (主要技術要素、開発課題)

- *スピニン衛星で飛散物を捕獲する傘状展開物
 - *試料回収・保存機構 * 地球帰還機構
 - *複数機同時運用 (可視時間資源の解決方法)
(衛星間距離の自動測定・相対位置自律決定)
- 1)スピニン衛星で飛散物を捕獲する傘状展開物 (新規)
 - 2)試料回収・保存機構
(MUSES-C試料回収機構の単室版設計変更で対応)
 - 3)地球帰還機構
(ハートは MUSES-C 帰還カプセルの設計変更で対応)。

4)一地上局複数機管制 (マスター/スレイブで編隊自律運用、等)

6. そのほか

時期: 蛍光X線分光器を搭載する場合は、太陽活動極大期に合わせた運用を前提とする。基本的に、分化天体破片と考えられる小惑星の観測と、フォボスの試料回収とが両立できる軌道設計を行う。

ファミリーミッション：

メインベルト小惑星族マルチフライバイ&サンプルリターン計画

“Family” Mission: Multiple Fly-bys and Sample Returns Mission to a Main-Belt Asteroid Family

○矢野創¹、安部正真¹、藤原顯¹、山川宏¹、吉川真¹、片山雅英²、小天体探査フォーラム³1. 宇宙研、2. CRC 総合研究所、3. <http://www.egroups.co.jp/group/minorbody>○ H.Yano¹, M.Abe¹, A.Fujiwara¹, H.Yamakawa¹, M.Yoshikawa¹, M.Katayama² and MEF³

1. ISAS, 2. CRC Res. Inst., 3. Minor Body Exploration Forum

Investigation of multiple asteroids that belong to a single family provides direct information about the interior of their parent body, a planetesimal disrupted by mutual collisions in the early stage of the solar system. We found technically feasible scenarios to send a spacecraft with ~250 kg scientific instruments to conduct fly-bys and sample returns of 3-5 asteroids in the Koronis family within 3-6 years in 2000's-2010's. Here we report scientific rationale, mission profile, trajectory, spacecraft configuration and model payloads for such a mission.

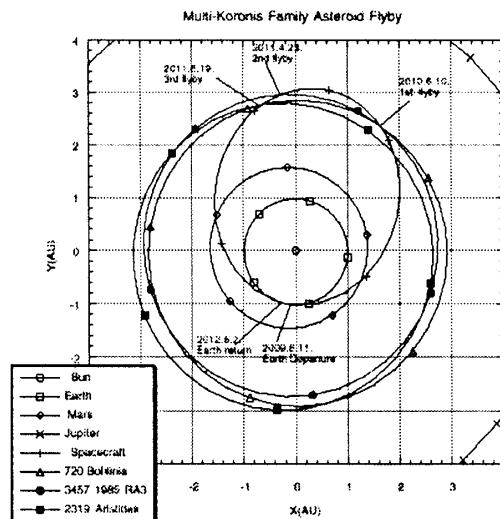
メインベルト小惑星内で似た軌道要素を持つ一群は「族（ファミリー）」と呼ばれ、同じ原始惑星が衝突破壊して形成されたと考えられる。また同一族に属するが、大きさ、軌道要素、自転速度、分光型サブクラスなどが異なる小惑星は、それぞれ母天体内の異なる深度で形成された可能性が高い。そこでそれらにフライバイ・サンプルリターンする探査案が、ポスト MUSES-C 時代の小天体探査計画の一つとして、会員制インターネットグループ「小天体探査フォーラム」にて現在提案・議論されている。その主な科学目標は以下の通りである。

- 1) 小惑星族の「衝突破壊起源」説の決着と、再凝集など進化過程の解明
 - 2) 原始惑星の内部構造の直接探査による、熱的分化の程度とサイズの相関の調査
 - 3) 原始太陽系での衝突破壊の時期の決定、エネルギーの推定、再凝集などの履歴の復元
 - 4) 惑星系の進化過程における普遍的な現象である衝突破壊の物理的素過程の実証
 - 5) 地上観測による小惑星のスペクトル型と実際の表面物質や隕石・宇宙塵試料との相関
 - 6) 族起源ダスト帯のフラックスと成分の解明
- 3 大ファミリーの中でもっとも軌道計画が立て易いコロニス族をベースモデルとした我々の検討結果によると、2000 年代後半あるいは 2010 年代初頭に H2A ロケットを使って、250 kg 程度の科学機器およびサンプリング装置を搭載した、合計 1t 強の化学推進探査機を打ち上げられる解が複数存在することが分かった。

具体的には、ミッション期間 3-6 年の間に、イダ・ダクティル系も含めて、コロニス族に属する小惑星のみ 3-5 個への訪問が可能であり、各々で測光・多波長分光観測、重力測定、周辺ダストバンドの検出・組成分析などを実行。また各小惑星への最接近直前に、自律航法機能を持つ「弾丸」子機を分離する。それは近接撮像を行いながら標的へ超高速衝突し、地下 1 m オーダーの深さから放出された試料を極低密度素材の大型捕集器で採集し、地球帰還カプセルによって回収する。3 次元ハイドロコードで S 型小惑星を模擬した場合、高度 30 km で 1 平方 m 1 秒あたり 10 ミクロン以上の放出物が 10 個程度、採集トレイに衝突する。高度 10 km まで下げられると、収量は 1 衍程度上昇する。

ミッションの成功の鍵を握る新規開発技術はフライバイ採集法であり、MUSES-C の自律航法の高精度化が求められる。しかしこれは「誘導・追尾ミサイル」技術および編隊飛行技術と類似しており、米国では既にクレメンタイン-2、ディープインパクト、アラジン計画などの惑星探査機で採用された。

図. 3 年で 3 個のコロニス族小惑星からサンプルリターンする軌道計画の一例



スペクトル型既知近地球型小惑星の複数サンプルリターンミッション

Multiple Sample Return Mission to Near Earth Asteroids of Known Spectral Types

○安部正真¹、野口高明²、出村裕英³、山川宏¹、吉田信介¹、矢野創¹、吉川真¹、
長谷川直¹、斎藤潤⁴、北澤幸人⁵、佐藤勲⁶、藤原顕¹、MEF メンバー

1 宇宙科学研究所、2 茨城大学、3 東京大学、4 西松建設、5 石川島播磨重工業、6 渡辺技術研究所

We are discussing about next minor body mission at a homepage "Minor Body Exploration Forum (MEF)" on internet. In this discussion, we are proposing the "multiple sample return mission of spectrum type known asteroids". In this mission, at the latter half of 2000's or the beginning of 2010, one or two spacecraft will make rendezvous with multiple near earth asteroids, sample their surface materials, and bring them back to the Earth.

現在インターネット上のホームページ「小天体探査フォーラム (Minor Body Exploration Forum (MEF))」にて次期太陽系小天体探査ミッションについての議論を開始している。そのなかで提案された「スペクトル型既知小惑星の複数サンプルリターン」ミッションについて報告する。

ミッションの概要は、「2000 年代後半あるいは 2010 年初頭に、1 機ないし 2 機の探査機を近地球型小惑星でスペクトル型既知の天体複数個にランデブーさせ、表面物質のサンプリングを行い地球に持ち帰る。また母船搭載観測機器によるリモートセンシング、およびランダによるその場観測を行う。探査する小惑星は、MUSES-C および海外で今後予想されるミッションで探査するものとは異なるスペクトル型小惑星を選び、全体として多種のスペクトル型の探査ができるように調整する。MUSES-C で開発した技術の継承、発展による開発期間の短縮、低価格化をめざす。」というものである。

このミッションでは、1) 小惑星スペクトル型と隕石種の対応関係の決着。2) 地上観測による小惑星スペクトル型と実際の表面物質および表面状態との対応関係の解明。3) 小惑星帯全体における物質分布の解明。といった目的を掲げている。

具体的な探査対象についてはまだ十分な検討ができていないが、M-V ロケットを使用する場合 Orpheus(V 型)、Nereus(C 型)や、1989ML(CEM 型)が探査可能である。また H-IIA を用いれば上記 3 天体以外に(2061)Anza(TCG 型)、(4015)Wilson-Harrington(CF 型)、(2340)Hathor(CSU 型)、(1943)Anteros(S 型)、(3757)1982XB(S 型)、(5797)Bivoj(S 型)、(7341)1991VK(S 型)、(433)Eros(S 型)、(3288)Seleucus(S 型)、(1627)Ivar(S 型)、(4179)Toutatis(S 型)、(3908)Nyx(V 型)、(3551)Verenia(V 型)、(8034)1992LR(Q 型)、(6611)1993VW(Q 型)、(4688)1980WF(Q 型)、(7474)1992TC(X 型)、(6178)1986DA(M 型)、(422)Beroina(DX 型)などからサンプルを持ちかえる軌道が存在しそうである。なお、E 型の小惑星では(4954)Eger の可能性があるが、かなり軌道に工夫が必要だと思われる。

今後多くの方に検討に加わっていただきより具体的な計画を立てていきたいと考えている。

ベスタ・大型小惑星ランデブーミッション計画
Rendezvous Mission to Vesta

佐々木晶（東大理）、大型小惑星探査グループ
Sho Sasaki (U. Tokyo), Large Asteroid Exploration Group

We propose a mission to Vesta. Vesta is one of the most intriguing large asteroids. It is considered as a parent bodies of HED meteorites. Hubble Space Telescope found layering structure on Vesta. Vesta should have experienced the early differentiation. Mission to Vesta will clarify processes as well as a heat source of the early planetary differentiation.

ベ스타は、反射スペクトルの類似性から HED 隕石の母天体と考えられている。HED 隕石は、Howardite, Eucrite, Diogenite というエンドライトの頭文字を合わせた隕石種で、母天体には太陽系初期に火成活動が存在した。最近では、ハッブル宇宙望遠鏡がベスターを撮像して、表面に不均質——衝突でできた巨大クレーターが内部を露出させている姿——を明らかにした。

形成後の惑星進化を考える点で、火成活動で分化した成層構造が観察できるベスターは最適なターゲットである。小惑星ベスターを訪れて、詳細に表面を観察することで、惑星分化過程の重要な知見が得られる。そのため、ベスターミッションを提案したい。ミッションの目的としては

- 1) 小天体進化の過程、特に加熱・物質分化の物理・化学過程を明らかにする
- 2) 小天体の熱源を明らかにする
- 3) 小天体上での火山活動（特に溶岩噴出・地殻形成過程）を解明する
- 4) ベスターの経験した巨大衝突現象の解明する
- 5) 小天体の金属核の存在の解明する
- 6) HED 隕石とベスターとの関連を解明する
- 7) 宇宙風化作用によるスペクトル変化の解明
- 8) ベスターから地球領域の物質輸送過程の解明
- 9) ベスターの衛星を探査する
- 10) 水質変成の証拠を探査する、
が挙げられる。

ベスターにランデブーを行い、徐々に軌道高度を下げて行き、解像度の高い観察を行う。重量

に余裕があれば、複数の小型ランダ（ローバ）を放出して、表面の観察を行う。搭載機器としては、可視撮像カメラ、近赤外分光装置、遠赤外ポロメータ（熱慣性測定）、レーザ高度計、X線分光、γ線分光、磁力計、ダストカウンタ、小型ローバ（分光カメラ、APX）が候補である。

この探査により、1) 層構造の詳細、マントルと地殻、2) 火成活動、溶岩流などの存否、3) 表層の不均質性、4) 表層の年代、巨大衝突の時期、5) 金属コアの存在などが明らかになる。また、隕石の加熱の問題は、重要であるにも関わらず、解決されていない。ベスターの内部が観察できれば、小天体での加熱・物質分化の過程が明らかになる。放射性同位元素の加熱か衝突加熱かは内部の構造を観察すれば決定できる。さらに、ベスターにコアが存在すれば、惑星集積の最終段階で集積した巨大惑星は、すでに鉄・シリケイト分化をしていた可能性が高い。

ミッションは、H-IIA を使えば化学推進で可能だが、軌道傾斜角が高く軌道長半径が大きいことから、電気推進が適している。チャンスは、おそらく数年に1回程度である。ベスター以外の大型小惑星も、ミッションのターゲットである。

(1) セレスは明るい G 型、(2) パラスは明るい B 型、(3) ジュノーは S 型で、(4) ベスターは V 型、(5) ハイギアは C 型で主なスペクトル型を網羅しているが、大天体の均質性については、議論されていない。このなかでは、分化している可能性の高い、セレス、パラスが面白い。

MUSES-C 搭載用近赤外線分光器の較正システムの開発

Development of Prelaunch Calibration System for Near Infrared Spectrometer on board MUSES-C

尾島隆信(宇宙研)、安部正真(宇宙研)、高木靖彦(東邦学園短大)、藤原顕(宇宙研)

Near infrared spectrometer (NIRS) on board MUSES-C spacecraft aims to observe reflect spectra of the target asteroid 1998SF36 in near infrared region. NIRS needs prelaunch calibration and inflight calibration in order to acquire more accurate data. Therefore we develop calibration system at the laboratory for prelaunch calibration of it. Our calibration system consists of a halogen lamp, monochromater and integrating sphere. In this work, we evaluated our calibration system.

小惑星探査計画(MUSES-C)に搭載される近赤外線分光器(Near Infrared Spectrometer : NIRS)の目的は、近赤外線の波長領域(850nm～2100nm)において、対象天体である近地球型小惑星 1998SF36 の表面における太陽光の反射スペクトルを測定し、表面鉱物種などを推定することである。NIRS で実際に得られたデータから精度良く反射スペクトルを推定するためには、地上および機上での NIRS の較正が必要不可欠である。そこで、本研究では実験室における NIRS の較正システムの開発することを目的とする。

NIRS の較正の内容としては、主に波長較正、感度較正の 2 種類がある。波長較正は、NIRS に入射した光が設計された波長分解能で分光され、各波長が検出器のどのピクセルに入射しているかを調べる。感度較正は、NIRS の検出器の各ピクセルから得られる出力電圧値と入射した光の強度の関係を求めて、NIRS の分光感度特性を調べる。波長較正、感度較正、それぞれにおいて NIRS の検出器の冷却温度、積分時間などを変化させて測定を行う。

以上の較正を行うために今回我々が開発したシステムは、ハロゲンランプ、モノクロメータ、積分球で構成される。ハロゲンランプの光をモノクロメータを用いて単色光にした後、積分球を用いて空間積分させることによって実際の観測と同じような一様な拡散反射面をつくる。この積分球の出力を NIRS で測定することによって、波長較正および感度較正を行うことにする。

この較正システムの評価として、モノクロメータの出力と積分球からの出力をそれぞれパワーメータとサーモパイアルの 2 種類の検出器を用いて測定した。モノクロメータの出力を 2 種類の検出器で測定した際の相対的な波長強度のはらつきは、±5 %以内で測定できていることが分かった。一方積分球の出力は、検出器前面にアパーチャーを置き、入射する受光量を変化させて測定した。その結果、積分球の放射輝度の絶対値として現時点で、±8 %以内の精度で見積もることができることが分かった。

今後、さらに上述の較正システムの精度を向上させて、実際に NIRS の較正を行う予定である。

小惑星探査計画 MUSES-C 搭載用近赤外線分光器(NIRS)の開発と製作

Development and manufacturing of near infrared spectrometer (NIRS) for MUSES-C

○安部正真¹、高木靖彦²、尾島隆信¹、及川拓也³、神田成治³、津野克彦³、藤原頤¹

1 宇宙科学研究所、2 東邦学園短期大学、3 株式会社東芝情報・システム社

Near-infrared spectrometer (NIRS) will be loaded on MUSES-C spacecraft. NIRS is at the flight model manufacturing phase. NIRS can obtain the solar reflected spectrum of the asteroid surface in near-infrared region which is useful to estimate the surface mineralogy of the target asteroid. Observable wavelength is from 850nm to 2100nm with about 20nm resolution. Field of view is about 0.1deg. At the rendezvous phase, slewing the spacecraft and using the rotation of asteroid itself, global mapping of the asteroid will be performed.

宇宙研の小惑星探査計画(MUSES-C)に搭載予定の近赤外線分光器(NIRS)は、現在プロトモデル(PM)の製作がほぼ終わり、PM の性能評価や搭載ソフトの開発を行うと同時にフライトモデル(FM)の製作に入っている。NIRS は固体惑星表面の観測を行う探査機搭載用として日本ではじめて開発製作された近赤外線分光器である。観測波長域は 0.85～2.1 ミクロンで波長分解能は約 20nm であり、観測データをもとに表面の鉱物組成に関する情報を得ることを目的としている。視野角は約 0.1 度で、現在想定されているランデブーフェーズでのホームポジションの高度約 10km からは小惑星の表面を 20m 以下の空間分解能で観測することが可能である。ホームポジションでは探査機の姿勢変化と小惑星の自転運動を利用して、小惑星表面の全面マッピングを行う。この観測を通して、表面物質の空間分布に関する情報を得ることができる。

NIRS はセンサ部である NIRS-S とエレキ部である NIRS-E とで構成される。NIRS を制御する CPU 部と電源部は、探査機に搭載される蛍光 X 線スペクトロメータ(XRS)と共通になっている。NIRS-E は CPU と NIRS-S との I/F 回路部としての役割を担っており、XRS の I/F 回路部である XRS-E、CPU 部、電源部、とともに NIRS/XRS 共通エレキ部である NIX-E としてまとめられている。NIRS-S は入射光を分光して検出器に集光させる光学系と検出器のほかに、波長較正および感度較正を目的とした較正用ランプと、暗信号を取り除くためのシャッタ機構を持っており、これらのドライバ回路と検出器からのデータの A/D 変換までを行う回路部までを含めて構成される。NIRS-S の筐体を含めた重量は 1.40kg、NIRS-E の重量は 0.288kg で、NIX-E 全体としては 2.94kg である。NIRS-S の消費電力は約 10W、NIRS の観測モードでの NIRS-S と NIX-E のトータル消費電力は約 20W である。

PM 品の性能評価は現在も継続中であるが、98 年の秋季講演会で報告した仕様・性能をほぼ満たしたものができる。本発表では NIRS の構成、PM の性能評価、今後の FM 製作スケジュールなどについて報告する。

微小重力下での MUSES-C サンプラー収率の評価実験
Validation Experiments of Microgravity Impact Sampling of the MUSES-C Sampler

○矢野創¹、藤原顕¹、長谷川直¹、安部正真¹、岡野康一²、高木靖彦³

宇宙研、2. 東北大学、3. 東邦学園短期大学

○H.Yano¹, A.Fujiwara¹, S.Hasegawa¹, M.Abe¹, K. Okano² and Y. Takagi³

1. ISAS, 2. Tohoku Univ., 3. Toho Junior College

MUSES-C, an asteroid sample return mission, will conduct “impact sampling” of ejected surface materials in a “touch & go” sequence to a small near-Earth asteroid 1998SF36 whose surface gravity level is micro-G. Here we report results of various validation tests of its sampling device, ranging from fire resistant bricks, lunar regolith simulants and glass beads as target analogs, in order to best design a flight model and maximize its collection efficiency under 10μG-1G gravity levels. The results will also affect strategies of initial analysis and contamination controls of returned samples, most of which are now expected to be dust grains, rather than a chunk of rocks.

2002 年打ち上げ予定の小惑星サンプルリターン探査機 MUSES-C は、直径 1 km 程度の近地球型小惑星 1998SF36 にランデブーし、グローバルマッピング終了後に、表面物質の採集を行う予定である。その表面重力は、1 万分の 1 G から 10 万分の 1 G 程度の微小なものだと考えられている。そうした環境に着陸する場合、反作用を相殺するための噴射用の燃料や探査機自身をつなぎとめるアンカー等が必要で、大掛かりな探査機になってしまう。また、試料採取場所における 1 m オーダーのローカルな地形や表面状態（例えば、路頭の硬い岩石かレゴリス層に覆われているか）は、現地でサンプリングをするまで分からぬ。

こうした表面状態が不明な微小重力環境に着陸せずに、一定量以上の表面物質の試料を採集するために MUSES-C 探査機は、(1) 自律航法による「タッチ&ゴー」（降下・接触・上昇）運用を行い、(2) わずか 1 – 3 秒の接触時間の間に、5g の金属製「弾丸」を秒速 300m で表面に撃ち込み（図 1）、放出される破片を筒と円錐を組み合わせた「ホーン機構」によって探査機内部の格納部（キャッチャ）に導く「インパクトサンプリング」方式を採用した。

プロジェクト、ホーン、キャッチャ、そしてそれを地球帰還カプセルに移動させる搬送機構を合わせて「サンプラー」と呼ぶ（図 2）。これまでに我々は耐火レンガや模擬月レゴリス、100 ミクロンオーダーのガラスピースなどを模擬小惑星表面物質として、(1) 地上（1 G）での要素試験と実寸スケールのサンプラーの収率（弾丸の衝突で放出された標的物質の全質量中、キャッチャまで導かれた分の比率）実験、(2) 航空機の弾道飛行による 1 % G 環境での円錐ホーン部のみの収率実験、そして (3) 垂直深度 140m の自由落下施設（MGLAB）による 10-100 μG 環境での縮小スケールホーンの収率・収量実験とその 1 G 対照実験を行ってきた。それらの結果から、平均収率の変化やばらつきが、サンプラー設計のどんなパラメータに影響しているのかを解析した。現在は、弾丸形状を含めたフライトイモデルの製作、回収試料の初期分析の戦略、微小分析技術の開発、試料の汚染抑制管理などにフィードバックをかけている。

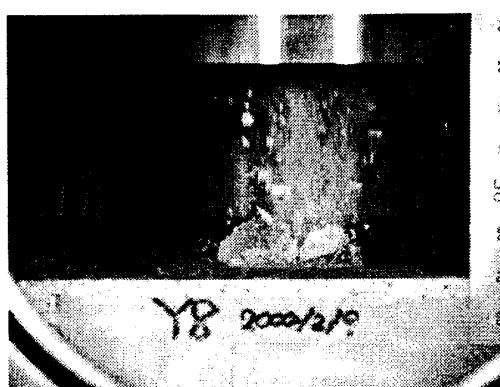
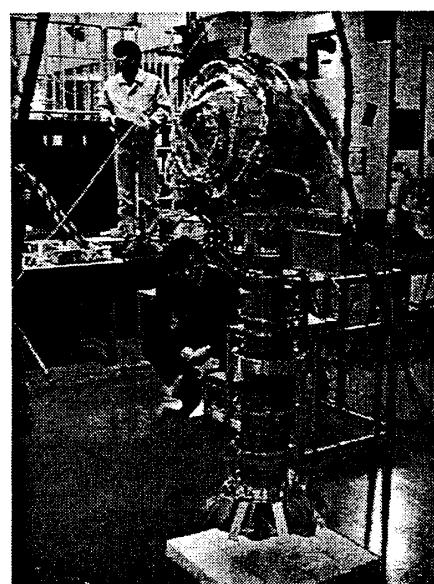


図 1.(上) 1G 下での実速・実寸スケールでの耐火レンガへの衝突実験。放出物がサンプラー ホーン部に入っていく。

図 2.(右) MUSES-C 動作試験用モデルに搭載されたサンプラーと地球帰還カプセル



日本惑星科学会
2000年秋季講演会
予稿

11月2日(木)
特別セッション
No. S101 - S107
セッション5
No. 501 - 507

惑星探査のための小型・高分解能質量分析計の開発

Developement of a Miniature and High Resolution Mass Spectrometer for Planet Survey

○豊田 岐聰, 奥村 大輔, 石原 盛男, 交久瀬 五雄 (阪大・理)

○ Michisato Toyoda, Daisuke Okumura, Morio Ishihara, Itsuo Katakuse

Department of Physics, Graduate School of Science, Osaka University

We are developing small and high resolution time-of-flight (TOF) mass spectrometers for planet survey. A new type of multi-turn TOF mass spectrometer 'MULTUM Linear plus' was constructed. It was demonstrated that the mass resolution can increase according to the number of cycles of the ions through the ion optical system. The mass resolution 350,000 ($m/z = 28$, FWHM) was achieved after 500 cycles.

惑星探査機への搭載に適した小型の高分解能飛行時間型質量分析計の開発を行っている。飛行時間型質量分析計の分解能は、イオンの飛行距離に比例する。したがって、小型・軽量で高分解能を得るには、同一軌道を多数回周回させるマルチターン型が唯一の可能性を有する。我々は、彗星探査ロゼッタミッションに搭載予定の質量分析計のラボラトリーモデルとして、マルチターン飛行時間型質量分析計「MULTUM Linear plus」(図1)を設計・製作し、性能評価を行ってきた[1]。分析部の大きさは $40\text{cm} \times 40\text{cm}$ と小型でありながら、イオンを 500 周回させることで質量分解能 35 万(半値幅で定義)を得ることができた(図2)。現在、さらなる小型・軽量化を目指した「MULTUM II」を製作中である。本講演では、これらの装置の概要およびその特徴について紹介する。

[1] 豊田岐聰, 奥村大輔, 山口真一, 石原盛男, 交久瀬五雄, 松尾武清, 遊星人, 9 (2000), 103.

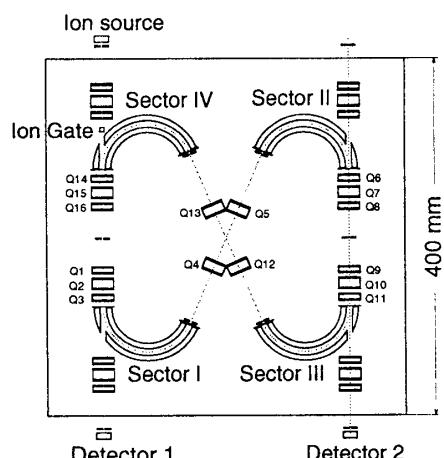


図1 「MULTUM Linear plus」の概略図

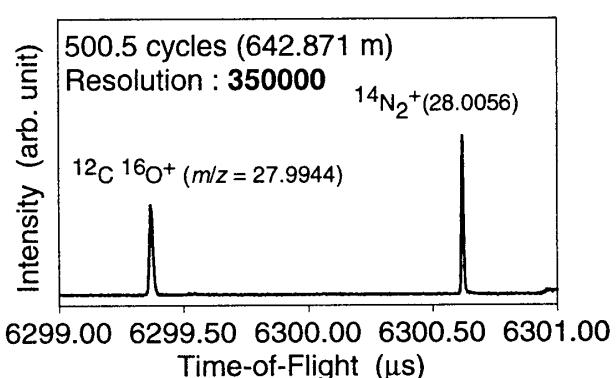


図2 「MULTUM Linear plus」による CO^+ と N_2^+ の 500.5 周回後の TOF スペクトル。飛行距離は 642.871m。質量分解能は 35 万。

S102

太陽系の構成員「宇宙塵」を宇宙空間で測定する

In-situ measurements of members of our solar system "dust particles"

○ 濱邊 好美（東大・理・地惑）

Yoshimi Hamabe (Department of Earth and Planetary Science, University of Tokyo)

The existence of microparticles in space has been known by dust detectors on board spacecraft or by observing the zodiacal light. Dust particles hold a clue to the evolution of the solar system. The detectors on board spacecrafs provide the information of dust particles mainly about the mass and the velocity. The information about the chemical compositions of dust particles is also required to constrain the properties, histories and origins of these microparticles. We started development of new type dust analyzer to measure chemical composition of dust particles in space.

宇宙塵とは、宇宙空間に存在するサブミクロン～ミリメートルの大きさの、天然の固体微粒子のことをいう。「宇宙塵」と言うと「宇宙人」を思い浮かべるかもしれないが、「ダスト (Dust Particle)」という言葉を用いる。誰もが「地球はどうやってできたの？」と考えたことがあるだろう。この答えのカギを握っているのがダストである。なぜならば、我々の太陽系内に存在する天体は、原始太陽系星雲のなかでダストが集積することによって形成され、さらに太古の地球上に生命の発生に不可欠な水や有機物をもたらしたと考えられているからである。そのようなダストがどのようなもので構成されているのかということはとても興味深い。ダストは宇宙空間に存在し、現在もなお地球上に降り注いでいる。これまで深海底や極地氷床などから採取・分析されてきたが、採集方法によってサイズ、形状、磁性などに偏りが生じ、さらに地球起源物質による汚染や物理・化学的変成を避けることができなかった。また、現在の太陽系は原始星の状態からかなり進化した段階にあり、原始太陽系星雲の形成時に集積したダストは、現在の太陽系内にはほとんど存在しないと考えられている。では、始原的なダストの分析はどのように行なうのか？

現在太陽系内に存在するダストは、彗星や小惑星、カイパーベルト天体などを起源としていることが惑星探査や数値計算などにより知られるようになった。これらの母天体は、地球のような変成を受けていないため、そこで生成されるダストはより始原的であるといえる。また、太陽系外から流入してくるダストも観測されており、これらを宇宙空間で測定することにより、原始太陽系形成時に近い状態のダストを調べることができる。その手法は2つに大別することができる。1) ダストの高速衝突を利用したアクティブなダスト計測器と2) 回収型衛星の飛行後検査やパッシブな捕集装置による衝突痕や残留物の分析である。しかし双方に、1) ダストの化学・鉱物的情報を十分に引き出すにはかなり大型な装置が必要、2) ダストの速度や質量、軌道が分からぬ、といった欠点がある。このような欠点を克服するため、ダストの物理・軌道情報をリアルタイムで計測しつつダストの組成分析が可能で、今後あらゆる探査機に搭載することのできる小型・軽量なダスト計測装置を開発している。

黄道面脱出计画～黄道光の測光観測～
Out-Of-Ecliptic Mission
～Photometric Observations of Zodiacal Light～
 ○石黒正晃（神戸大学自然）、長谷川直（宇宙研）

From observations on the ecliptic plane, zodiacal light/emission is a main component of diffuse night sky brightness at 0.3-60(μm). Out-of-Ecliptic Mission will provide us informations of not only three-dimensional distribution of the interplanetary dust cloud, but also circum-solar dust disk distributed in Edgeworth-Kuiper belt of our solar system, extra-galactic background light and coronal mass ejection(CME) of the Sun. In this work, we have examined an importance to observe the diffuse light from out-of-ecliptic plane by simulating the brightness distribution of zodiacal light/emission.

可視光から中間赤外域にかけて、地球軌道、もしくは惑星軌道平面から夜空の背景光を観測すると、その明るさの大半は、我々の太陽系の塵雲からの太陽散乱光（黄道光）や熱放射（黄道放射）によるものである。我々の銀河系内の暗い星の集積光や、宇宙初期に放出された遠くの原始銀河の集積光を観測する場合、黄道光／黄道放射を避けるために、高黄緯領域の観測が盛んに行なわれてきた。しかしながら、高黄緯領域すら夜空の明るさの半分以上が黄道光／黄道放射からくる為、如何に黄道光／黄道放射をモデルフィットするかが重要である。一方、これだけ明るい黄道光／黄道放射ですら、その空間分布については詳しく調べられていない。その理由としては、（1）地球はほぼ黄道雲の最も濃い部分（対称面付近）にある為、地球近傍の黄道光／黄道放射が非常に明るく、塵の起源の一つである小惑星帯まで見る事ができない（2）黄道面に張り付いて観測しているので、黄道雲の垂直方向の分布がわかり難い、などである。こうした理由から、我々は「黄道面を離れた将来探査計画」を提案する。

本研究では、代表的な黄道雲の空間分布モデルであるCOBEモデルを用いる事によって、任意の位置から観測した時の黄道光／黄道放射の輝度分布を調べた。その結果を踏まえて、探査に必要な軌道条件や測定器のスペックについて報告する。詳しくは以下のホームページを見ていただきたい。

http://zodi.planet.sci.kobe-u.ac.jp/~ishiguro/OUT_OF_ECL/



図1 モデル計算によって予想される地球軌道から観測した黄道光（左）と、黄道面から2AU離れて観測した黄道光（右）の全天輝度分布。明るい塵雲の中心部分に太陽が位置する。

MEF: 開かれたポスト MUSES-C 時代の小天体探査ミッションの検討 MEF: A Voluntary Forum Studying Minor Body Explorations in the Post-MUSES-C Era

○矢野創（宇宙研）、小天体探査フォーラム（<http://www.egroups.co.jp/group/minorbody>）
○Hajime YANO (ISAS) and Minor Body Exploration Forum

MEF, an internet-based group of >110 members has been active to propose Japan's next minor body mission after MUSES-C since this June. It has generated seven mission proposals including main-belt asteroid family, NEOs known their spectral types, CAT objects, Vesta, M-type asteroids, and Martian satellites. Though only one of them will be selected at the end, this activity benefits Japan's vision for future planetary explorations.

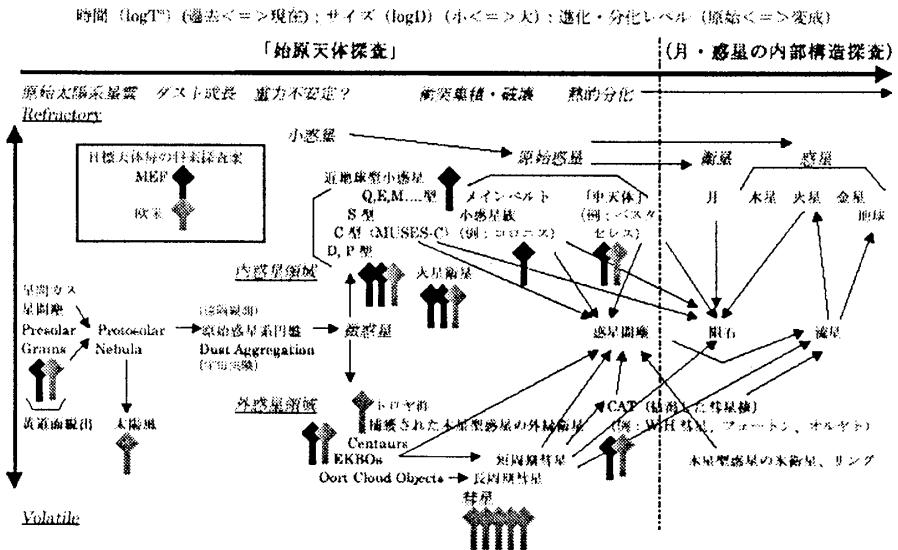


図. 始原天体探査のロードマップと MEF・欧米で提案されている探査案

始原天体を探査する目的は、原始太陽系星雲やダスト成長の時代から、微惑星や原始惑星から月などの大型天体への衝突成長と熱的分化に至る、太陽系初期の様々な事件に関する定点データを得ることだろう。従って、どの事件を知りたいかによって、多様な始原天体の中から探査対象が絞られる（上図）。米国は 2000 年代に小型の彗星探査を複数擁しておらず、欧州は彗星活動の総合探査を行うロゼッタを 2000 年代末に打ち上げる。一方日本は、MUSES-C により小惑星探査を開始するものの、小天体探査の予算・機会は 10 年に 1 回程度である。そこで 2000 年代末、「ポスト MUSES-C」時代の日本の小天体探査は、欧米の後追いではなく、10 年後でも価値のある科学目標を実現できる天体を選ぶことが大切である。また、隣接分野からの新規参入や、納税者や教育現場の支持を得ることも重要である。

こうした認識の元、6 月よりインターネット上で活動を開始した「小天体探査フォーラム」は、年齢、職業、所属、居住国などに関わらず参加できる、有志の惑星探査検討グループである。その目的は、我が国の次期小天体探査について、(1) 広くアイディアを募り、(2) 各案の科学的意義や工学的実現性を検討し、(3) 宇宙研が主導できる規模の有力なミッション候補を今秋までに創り出し、年度内にワーキンググループ (WG) を発足させることである。活動は、科学目的を議論する段階、探査案を提案する段階、各案を理工学両面から検討する段階、評価・選抜する段階など、幾つかのフェーズを経て進める。9 月末時点の登録メンバーは、研究者や院生以外にも、学校教師、アマチュア天文家、企業エンジニア、SF 作家など、幅広い層から 110 名以上を数える。質問コーナー、共有ファイル、参考資料へのリンクも充実して、初めて探査計画に触れる人でも、徐々に全容を理解できるよう配慮されている。

その結果、今回提案された探査案（詳細は各ポスターを参照）は、(1) 小惑星族マルチフライバイ & サンプルリターン (SR)、(2) スペクトル既知近地球型小天体 (NEO) SR、(3) 彗星・小惑星遷移天体 SR、(4) ベ스타(分化した巨大小惑星)ランデブー、(5) M型小惑星ランデブー、(6) NEO フライバイ & 火星衛星 SR、(7) 火星衛星ランデブー & ローバ地上観測、の 7 つであった。また、2010 年以降に期待される探査案として、黄道面脱出計画と EKBO・ケンタウルス天体フライバイ/ランデブーが挙がった。

今後は、本講演会での議論も踏まえた上で、各案をトレードオフ表に照らして評価・選抜する。最終的にミッションとして WG を設置できるのは 1 つだけである。しかし、宇宙研や NASDA ら宇宙機関の枠を超えた有志が検討した複数のミッション案をプールすることは日本初の試みであり、これに続く将来計画や海外ミッションとの連携の機会には、貴重な財産となるだろう。

S 105

金星オービターミッションの実現に向けて Venus orbiter mission

○今村剛（宇宙研）、高橋幸弘（東北大）、はしもとじょーじ（東大・気候システム）

A Venus orbiter mission is going to be proposed as one of the future Japanese planetary missions. The primary objective is to reveal the mechanism of the atmospheric general circulation. The mission will also observe lightning activity, active volcano and the upper atmosphere dynamics including plasma escape. The spacecraft will be launched in 2007 by a M-V rocket and inserted into an elliptical equatorial orbit around Venus. The configuration of the spacecraft is now under design and will be optimized to the remote sensing of the lower atmosphere.

金星の大気環境の理解を目指して、金星探査WGでは金星探査の様々なアイデアを理学工学の両面から検討してきた。その結果、近い将来に実行可能な計画として、大気大循環メカニズムの解明を主目的とするオービター計画が立案された。2007年6月にM-Vで打ち上げることを目指し、現在、軌道や衛星システムの設計を進めるとともに観測機器の開発を行っている。ミッションは今年度中に正式提案される。本講演ではミッションの目的や観測戦略について紹介する。

金星は固体部分の自転が極めて遅いため、大気循環は昼側の加熱に起因する昼夜間対流が予想されていた。しかし観測してみると全く予想外に、大気は地面の回転を遥かに追い越してあらゆる場所で西向きに循環していた。風速は高度70 kmで最大100 m/sに達する。スーパーローーションと呼ばれるこのような風系は、2004年にカッシーニが探査するタイタンにも存在することが示唆されており、自転の遅い惑星に普遍的な気象形態である可能性がある。大気の高速回転は速やかに東西方向に熱を運んで昼夜温度差を解消し、また大きな角運動量を保持することで子午面循環を抑制するなどして、大気構造に絶大な影響を与えていていると思われる。

この高速回転を維持するメカニズムおよび高速回転が大気構造に及ぼす影響を解明するため、本計画では、近年発見された近赤外の窓における撮像観測で下層雲の変動・運動を追跡する。また補助情報として、雲頂付近の変動を紫外撮像および赤外撮像で、上層大気の変動を大気光の撮像で、大気鉛直構造を電波オカルテーションで観測する。異なる高度領域の同時観測により大気運動を3次元的に可視化し、東西風や子午面循環など平均的循環はもちろん、赤道周回

惑星波、大規模水平乱流、大気潮汐、大気重力波、熱対流など様々な擾乱の時空間構造とそれに伴う角運動量輸送を明らかにする。

光学および電波による雷放電の検出も行う。雷は大気深部の大気活動度の指標となるので、上記の気象観測と合わせてメソスケール現象の解明に威力を発揮する。また、金星では地球の雷のような氷晶による荷電分離が働くないと考えられるため、金星における雷放電のメカニズムを解明することの意義は大きい。

本計画ではまた、地表面まで見通せる近赤外の窓で活火山探索も試みる。この波長では温度の上昇に対して急激に熱輻射が大きくなるため、金星地表における熔岩噴出イベントは熔岩から射出される過剰な輻射を観測することによって検出できる可能性がある（はしもと&今村の発表を参照）。

オービターの軌道、運用形態は気象観測に最適化する。遠金点10–20金星半径、近金点250 kmの西向き周回の長楕円軌道に投入し、数金星半径以上離れたところで大気の循環に同期しつつ、空間分解能10–20 kmで、金星ディスク全体の大気運動を連続的に追跡する。この金星版気象衛星とも言うべき観測に加え、近金点を通過するときに中性および電離上層大気の組成や運動の直接観測を行う。激しい変動の原因や下層大気との結合過程、また大気散逸メカニズムの解明が焦点になる。

(WGでは探査計画への協力者を求めています。関与のしかたは、機器開発、観測戦略検討、自由な意見交換まで、意欲や立場に応じて様々な形態が考えられます。関心のある方は身近なところのミッション関係者に問い合わせるか、あるいは今村 ima@bochan.ted.isas.ac.jp まで)

木星磁気圏探査の課題

On the research of the Jovian magnetosphere

°土屋 史紀、大矢 克（東北大学）

Jupiter is one of the most interesting science objects for us. Compared with the terrestrial magnetosphere, research of the Jupiter's magnetosphere lacks information of the upper atmosphere that is the inner boundary of the magnetosphere. Galilean satellites that interact with the magnetosphere produce significant plasma and energy in the magnetosphere and then affect the global structure of the magnetosphere and its phenomena. In order to progress the study on the Jovian magnetosphere, it is necessarily to understand the characteristics of Jovian upper atmosphere and satellite-magnetosphere interactions.

木星はご存知の通り、太陽系最大の惑星である。我々はこの惑星に、大きな興味を持ち、新しい研究領域として期待している。本講演では、木星磁気圏が持つ特徴と、地球と木星の磁気圏探査の比較から、興味のある探査項目について述べたい。

木星は、他の惑星圏には見られない特徴を持ち、例えば衛星の存在がある。磁気圏に埋もれる木星の衛星は、磁気圏との相互作用によりエネルギーを生成し、その結果は、衛星から磁力線に沿った電離層にスポット状に現れるオーロラとして観測されている。更に衛星からは大量の粒子が磁気圏に流出し、磁気圏プラズマの大半を供給している。地球のオーロラは昼間側より夜側で活動的であるが、これは太陽風によって引き伸ばされた磁気圏の構造を反映する。木星では、オーロラは木星表面に構造が固定し、木星と共に自転する。これは、衛星が供給するプラズマが木星磁気圏構造に多大な寄与を持ち、オーロラに対応する磁気圏構造が地球とは根本的に異なる事を意味する。このように、木星の場合、磁気圏とイオをはじめとする衛星との相互作用が磁気圏研究において重要な位置を占める。また、木星と地球の磁気圏研究の大きな違いは、我々人類が地球上に住んでいる事である。地球磁気圏探査は地上からオーロラを観ることによりに始まり、技術革新に伴って、低い高度領域から高い高度へ、磁気圏、惑星間空間へと探査領域を拡大し、理解を深めてきた。磁気圏は、太陽風との境界である磁気界面と、大気との境界である電離圏の2つの境界面に挟まれた空間であり、電磁場及びプラズマを介して結合しているが、地上には、磁場・光学・電波観測器による観測網が張られ、我々は磁気圏の内側境界をよく知り、詳細に観測する手段を持ち、これが地球磁気圏の理解に大きく寄与している。これは木星研究における地球との大きな相違点である。

今後の木星研究において、木星大気圏・電離圏と磁気圏一衛星相互作用の理解が、木星磁気圏研究の進展に繋がることをコメントしたい。このためには、これまで磁気圏探査に用いられてきた磁場・プラズマ・電波計測のみならず、大気及び衛星の観測に有効なイメージャ等の遠隔観測機器の搭載が必要である。実際の直接探査においては様々な問題点があるが、電力供給など一部の技術的な問題はすでに克服可能であると考える。その一方で、精度の高いデータが得られる反面、時間・空間変動の分離が困難で、広大な磁気圏を一点で観測しなければならない欠点と、磁気圏現象のエネルギー源の一つとなる太陽風のモニタができるないジレンマの克服も課題となる。このような問題に対しては、地上からの支援観測が有効な手段の一つとなる。

木星は磁気圏研究者の多くが興味を持つ研究対象であると同時に、大気圏、衛星といった研究対象を通して、より広い分野の研究者が共通の研究領域で Science を行える場となることを強調したい。(連絡先：土屋史紀 tsuchiya@pparc.geophys.tohoku.ac.jp、大矢 克 moya@stpp1.geophys.tohoku.ac.jp)

惑星観測用宇宙望遠鏡の提案

Space Telescopoe for Observation of Planets

・高橋幸弘（東北大）、倉本圭（北大）、今村剛（宇宙研）

A space telescope customized for remote sensing of planets is powerful method to put the planetary science forward. It enables us to handle a large amount of data relating to all heavenly bodies in the solar system without a degradation of spatial resolution and spectral resiriction caused by the earth's atmosphere. To observe the atmospheric phenomena in planets, such as aurora, airglow, corona and escaping particles, it is essential to develop a coronagraphic optics which masks the reflection of the solar radiation.

惑星の直接探査がデータを取得する上で有効な手段であることは改めて言うまでもないが、いくつかの決定的な問題がある。また地上からの光学観測は、地球の大気に阻まれて制限が大きい。今後惑星観測を進める上で、宇宙望遠鏡は双方の弱点を補うことができる有力な手段として、検討する価値のあるものである。

直接探査は、その場でしか測れない物理量やサンプリングでは必須の手段であるが、一方で昨今の内外の状況からも分かるように、大きなリスクを伴うことも事実である。トラブルが発生しても一度地球を離れてしまえば修復は極めて困難である。特に最近はチャレンジングなミッションが多くなり、一種の賭けのような傾向は強まっているともいえる。また、遠くの惑星まで行くために重量制限が厳しく、大型の観測器は持っていない。更に、遠距離になるほどテレメータ速度が落ちるので、単位時間に得られるデータ量は驚くほど少ない。こうした点をカバーできるのが地球近傍からの望遠鏡観測である。大気のゆらぎや散乱による空間分解能の低下、観測できる波長範囲の制約も、地球周回軌道にある宇宙望遠鏡ならば克服できる。

本講演では、主に宇宙空間物理・大気科学の立場から科学目標を議論をすすめる。しかしながら、望遠鏡の最大の特徴は汎用性であり、探査が一度に限られた数の天体しか調べられないのに比べ、全ての太陽系天体が対象になるという大きなメリットがある。またセンサーの一部を取り替えることで計測できる物理量も自由に変更が可能である。以下に観測対象の例をあげるが、これらに限らず新しいアイデアがあれば是非お教え願いたい。

a) 惑星オーロラ（木星、金星、火星、土星、など）、b) 大気流出・ルナーテール・惑星コロナ（全ての惑星、衛星、彗星など）、c) 大気光及び大気重力波（金星、火星、木星、など）、d) 雲構造の動態（金星など）、e) 雷放電発光（木星、金星など）、f) 活火山探索（金星）、g) 系外惑星探査

これらの観測を行うためには、1) 太陽光反射を押さえるためのコロナグラフ型光学系、2) 内惑星観測のための太陽光及び熱対策、3) 広い観測波長の確保、などが開発課題となる。宇宙望遠鏡の汎用性、自由度はこれまでの学会の枠を越えるものであり、各学会がこれまでの経緯に縛られず目標に向かって協力することで初めて成立するものである。従って今回のようなセッションを、学会を横断した形で続けること、他学会との密接な交流の推進が強く望まれる。本提案はまだ思いつきの段階であり、今後より広い分野の研究者の方と議論をすることで、ミッションとしての方向を摸索して行くつもりである。興味を持たれた方は高橋（yukihiro@pat.geophys.tohoku.ac.jp）までご連絡下さい。

近地球型小惑星(10302)1989ML の変光データの総合解析

Compiling the light variation data of (10302) 1989ML

・ 大場庸平^{1,2}、石橋之宏^{1,2}、安部正真²¹東大・理 ²宇宙研・ Youhei Ohba^{1,2}, Yukihiro Ishibashi^{1,2}, and Masanao Abe.²¹Univ. of Tokyo, ²Inst.of Space and Astronautical Sci.

Near-earth asteroid 1989ML, which is previous target body of MUSES-C mission, was observed in 1999. The kinds of performed observations are visible and near infrared colorimetry, the visible spectroscopy and light variation. In this study we compile all of the light variation data observed by four teams at various site. As a result, it is derived that the rotational period is 19.236 hours, the amplitude of light variation at the zero phase angle is 0.4 mag, the absolute magnitude in R-band is 19.23 mag and the slope parameter is 0.12.

本講演では宇宙科学研究所の小惑星探査計画、MUSES-C の探査対象天体であった近地球型小惑星(10302)1989MLに対する変光観測の結果について報告する。この小惑星は 1999 年に観測好機を迎えた世界的な観測キャンペーンによって変光観測、可視・近赤外での多色測光観測、可視詳細スペクトル観測などが実施された。変光観測は、著者らの観測グループを始めとして海外 4 グループ(安部等, Tholen et al., Weissman et al., and Hicks et al.)によって 2 月から 5 月までの計 29 晩のデータ(総データ数は約 500)が得られている。

今回我々は各グループからデータの提供をうけ、観測データの総合解析をおこなった。以下は、総合解析の主要な結果である。

- ・ 自転周期 : 19.236 ± 0.002 hour
- ・ $A(0) = 0.4$ mag
- ・ $H_R = 19.23 \pm 0.09$, $G = 0.12 \pm 0.05$

ここで H_R は R バンドにおける絶対等級、 $A(0)$ は位相角 0 度における変光振幅、 G は光度の位相角依存性を表すスロープパラメーターと呼ばれる量である。

上記の結果より以下の考察が得られる。

- ・ $A(0)$ の値より求められる小惑星の形状軸比は、1.5 以上
- ・ G の値と分光観測の結果との比較により推定されるスペクトルタイプは C 型
- ・ H_R の値と、反射率を 0.04 (スペクトルタイプは C 型に相当) と仮定した際の 小惑星の直径は、約 800 m

また 1996 年に我々が行った変光観測のデータとあわせてこの小惑星の自転軸が黄道面に対して比較的垂直に立っていること。得られた自転周期と小惑星のサイズから自転軸の才差運動が検出される可能性があることもわかった。

小惑星サンプルリターン計画 MUSES-C の変更と進捗状況

Change and current status of asteroid sample return mission MUSES-C

○ 藤原 顯 宇宙科学研究所 向井 正 神戸大学大学院自然科学研究科
川口淳一郎 宇宙科学研究所 上杉邦憲 宇宙科学研究所

MUSES-C is an engineering spacecraft, which approaches and samples from a near-earth asteroid 1998SF36.. It will be launched in Nov. to Dec. 2002. During three months stay near the asteroid, observations with remote sensing technique and sampling from the surface will be carried out. A micro-rover is used for close-up observation of the asteroid surface. The spacecraft with the sample will return to the earth in 2007.

MUSES-C は、近地球型小惑星の一つに接近し、表面から試料を採取し、地球に持ち帰る工学試験探査機である。従来の計画では対象天体 1989ML に向かって 2002 年打ち上げ、2006 年地球帰還の予定であったが、ASTRO-E の打ち上げ失敗にともなう対策実施のため、計画が変更され、探査小惑星は 1998SF36 となった ($a=1.32\text{AU}$, $e=0.28$, $i=1.63\text{deg}$ 、絶対等級 18.8 等、自転周期、スペクトル型不明、サイズは 1km 程度と推測される)，探査機は 2002 年 11-12 月に M5 型 5 号機により打ち上げられ、2003 年 5 月に地球スイングバイを行ったのち、電気推進で対象天体に接近する。2005 年に目標小惑星に到達、その近傍に約 3 カ月間滞在し、カメラ、レーザー高度計、近赤外線分光器、X 線分光器による表面の観測を行うとともに、表面に小弾丸を衝突させて、跳ね上がる破片約 1 g を捕集する。また表面には NASA/JPL によるマイクロローバーを投下し、カメラ、近赤外線分光器により表面の近接観測を行う。小惑星離脱後、再び電気推進により 2007 年に地球付近に到達し、試料を入れた容器が地表に回収される。

現在までに、試験モデルが製作され、振動衝撃試験、熱真空試験などが完了した。観測機器も一部を除いて、大きな遅れなく製作、試験が進められている。今回の計画の変更にともなってハードウェアの若干の変更や、運用面にも、熱や電力環境、観測時間などの変更が必要となり、現在見なおし作業が行われている。対象天体の軌道精度がまだ十分ではないので、これを確定するための地上観測が重要であり、これに基づいて、ミッションシナリオや観測運用計画が最終的に確定する。対象天体は年末から来年半ばにかけて観測の好機を迎える。軌道要素の測定精度を高めるとともに、自転周期、スペクトルなどの測定が必要で、各方面に観測の協力をお願いしたい。今後のスケジュールとしては、来年夏から来年夏からサブシステム環境試験が、年末からフライトモデルの組み立てと試験が開始される。採集されるサンプルの分析計画についてはサンプル分析検討委員会（久城育夫委員長）において検討されており、一次分析者選抜の公募がすでに実施された。

サブミリ波望遠鏡による地球中層大気中の有機物の観測可能性

宇宙開発事業団 地球観測データ解析研究センター

○中村良介、市沢俊介、辻丸詔、鈴木睦

Search for organic molecules in the Earth's middle atmosphere by submillimeter spectroscopy

Earth Observation Research Center, National Space Development Agency of JAPAN

○Ryosuke NAKAMURA, Shunsuke Ichizawa, Sho Tsujimaru and Makoto SUZUKI

Submillimeter spectroscopy is a very powerful method to study planetary atmospheres. Minor species in the middle atmosphere can be traced by the emission lines and we can retrieve the concentration and altitude profiles from the line intensities and widths. Actually, several submillimeter telescopes observed the increase of HCN concentration just after Leonid meteor shower in 1999. In this presentation, we examine the possibility to detect organic molecules in the Earth's middle atmosphere by using Mt.Fuji submillimeter-wave telescope and ASTE (Atacama Submillimeter Telescope Experiment) prototype telescope. Such observations have potential to discriminate two possible sources of organic molecules, i.e., injection by cometary materials or diffusion from the lower atmosphere.

地上望遠鏡による電波観測によって、成層圏上部から中間圏に存在する大気の組成を調べることができる。従来は、主にミリ波領域で水蒸気やオゾンといった比較的存在量の多い成分の観測が行われてきた。しかし、最近になって超伝導ミキサーを備えた大口径のサブミリ波望遠鏡が、水蒸気量の少ない高地に建設されるようになってきている。こうした観測装置を利用することで、より信号強度の小さな微量成分を検出し、その時間変動を捉えることが可能になると期待される。実際に昨年のしし座流星群の際、JCMT・CSO といったハワイ・マウナケア山頂のサブミリ波望遠鏡で、中層大気中の HCN 濃度の上昇が観測されている。この現象を、地表の Biomass burning によって発生した有機物の拡散によって説明することは難しい。むしろ、ハレー彗星の直接探査でその存在が確認された CHON 粒子(有機物で形成された彗星塵)が昇華し、直接中層大気に有機物を供給したと考えるのが自然である。

こうした仮説を検証するためには、より多くの正確で継続的なデータが必要となる。宇宙開発事業団地球観測データ解析研究センターでは、国際宇宙ステーションに搭載されるサブミリ波大気観測装置 SMILES (Superconducting Submillimeter wave Limb Emission Sounder) のデータから、様々な分子種の存在量・高度プロファイルを導出するための解析プログラムを開発している。このプログラムを応用し、近い将来に利用可能になる日本のサブミリ波望遠鏡を用いて、中層大気中に存在する有機物を検出することができるかどうかを検討する。

南極ドームFuji造水槽沈殿物中のガラス質球粒の由来

Possible origin of glassy spherules separated from
deposit in water tank of the dome Fuji station,
Antarctica

○福岡孝昭（立正大地球）、田澤雄二（京大理）、野上謙一（獨協医大）、
横田裕子（青山学院大理工）

○T. Fukuoka (Rissho Univ.), Y. Tazawa (Kyoto Univ.),
K. Nogami (Dokkyo Univ. Sch. Med.), and Y. Yokota (Aoyamagakuin Univ.)

Glassy spherules had been separated from deposit in water tank of the dome Fuji station, Antarctica which was collected by the 37th Japanese Antarctic Research Expedition team. Their chemical composition shows high Ca contents with low Si and Fe contents. The C1 chondrites normalized REE patterns show fractionated patterns with higher La values. Similar glassy spherules found in Hungarian strata. The possible origin of these glassy spherules will be discussed.

第37次隊によって供給された南極ドームFuji基地の生活水造水槽中沈殿物中には多数の透明なガラス質球粒が存在する。これらガラス質球粒の主成分化学組成はCa含有量が高く、SiO₂及びFe含有量が低い特徴を示す。C1コンドライト隕石の値で規格化したREEパターンはLa側が高い分化したパターンを示す。宇宙起源物質に特有であるIr, Au等の親鉄元素は検出されない。ハンガリーの地層中に見い出されるガラス質球粒の化学組成が、きわめて類似していることを考慮すると、汎世界的であるが、時代には関係しない物質である。宇宙化学の立場では、このような物質の起源として、まだその眞の正体が解明されていない彗星を考えたい。しかし、その起源はやはり、地球の人工物となりそうである。

宇宙風化作用のシミュレーション：微小鉄粒子の発見と反射スペクトル変化
 Simulation of Space Weathering: Nanophase Iron Particles and Change of Reflectance Spectra

○佐々木晶(東大理), 中村圭子(神戸大理), 濱邊好美, 倉橋映里香(東大理), 廣井孝弘(ブラウン大)
 Sho Sasaki (U. Tokyo), Keiko Nakamura (Kobe U.), Yoshimi Hamabe, Erika Kurahashi (U. Tokyo),
 Takahiro Hiroi (Brown U.)

In order to simulate space weathering, we irradiated nanosecond pulse laser beam onto olivine, and pyroxene samples. Reduction of reflectance and reddening are produced more easily in olivine samples than in pyroxene samples. TEM observation shows the formation of submicroscopic iron particles, which were predicted for the cause of the space weathering.

反射スペクトルがS型小惑星に対応する隕石は少なく、普通コンドライトのスペクトルに類似する小惑星は非常に少ない。これは微小隕石衝突により小惑星表面の光学的性質が変化した、宇宙風化作用によると考えられている。その特徴として、反射率の低下、とくに紫外・可視部の低下によるスペクトルの赤化、さらに吸収帯の弱化がある。Hapke(1973)は、この光学的性質の変化はサブミクロンスケールの微小鉄粒子の生成が原因であると考えた。Keller and McKay(1993)は実際に、月面のソイルで数10nmスケールの微小鉄粒子を発見している。しかし、微小鉄粒子とスペクトル変化の関係は、実験的には確認されていない。

我々は、ミクロンサイズの微小ダストの衝突現象の時間スケールに相当する6-8nsのパルスレーザー照射により、ダスト衝突加熱を模擬して、惑星構成鉱物試料の反射スペクトルの変化を調べた。粉末試料への照射では、反射率の低下と赤化が確認され、pyroxeneよりolivineの方がはるかに変化しやすいという重要な結果を得た(Yamada et al. EPS, 51, 1225, 1999)。今回さらに、TEM(透過電子顕微鏡)観察により、微小スケールの構造を調べた。olivine照射試料から色の変化している粒子をピックアップして、厚さ100nm以下の試料を作り、TEMで観察した。olivine粒子のリムには、多数の数10nmスケールの微小粒子が観察される(図)。元素分析ではこの領域は鉄に富んでいることがわかるので、これは微小鉄粒子と考えられ、

月ソイルで観察されたものと同じものであろう。スペクトル変化と微小鉄粒子の形成が実験で対応づけられたのは世界で初めてである。

一方、olivine結晶を磨いたものにレーザー照射を行った試料もTEMで分析した。照射時に蒸発の起きているにも関わらず、TEMでの観察では構造変化は確認できなかった。この原因として、粉末試料ではレーザー照射に伴う蒸発のときに、凝縮できる表面がすぐそばにあるため、そこで選択的な凝縮変成が起きたことが考えられる。小惑星表面でもおそらく、粒子状の表層レゴリス層の存在が宇宙風化作用にとって重要である。サイズが小さくレゴリス層がない小惑星では、宇宙風化作用は弱い可能性がある。



獅子座流星体の月面衝突による発光
Probable Leonid Impact Flashes on the Moon

○柳澤正久、私市成実、農澤健太郎（電通大）

M. Yanagisawa, N. Kisaichi, and K. Nozawa (Univ. Electro-Comm.)

We detected three flashes on the unilluminated part of the Moon's disk on Nov. 18, 1999 by means of CCD TV cameras attached to two small telescopes (20cm and 28cm in aperture). Lunar phase was nearly the first quarter. Observational site was Chofu, Tokyo (N $35^{\circ}39.2'$ in latitude, E $139^{\circ}32.64'$ in longitude, and 70.4m in altitude). The time for the flashes were 11h07m46.2s, 13h54m26.0s, and 14h14m31.0s, respectively, in UT (no correction for light travel time from the Moon to the Earth).

1999年11月の獅子座流星群活動期に、月面の夜の部分を口径20cm(F4)のニュートン式反射望遠鏡にモノクロCCDカメラを取り付けてモニター観測した。口径28cm(F10)のシュミットカセグレン望遠鏡にレデューサー(F3.3)とモノクロCCDカメラを取り付けてのモニター観測も一時的に行つた。観測地点は東京都調布市・電気通信大学(北緯35度39.2分、東経139度32.64分、標高70.4m)である。11月18日(月齢10日)に以下のような3回の短い発光を観測した。

発光開始時刻(JST)	発光継続時間	発光地点(月面上)
20時07分46.2秒	0.1秒	北半球中緯度月縁付近
22時54分26.0秒	0.1秒	南半球
23時14分31.0秒	0.4秒	北半球中緯度昼夜境界付近

明るさは数等級あり、急激に立ちあがりゆっくり減衰している。1番目の発光のみ2台の装置で同時に観測された。2、3番目の発光時には口径28cmの装置は観測を休止していた。少なくとも1つの発光が2台の装置で同時観測されていることからノイズや宇宙線の影響とは考えられない。望遠鏡で静止流星が観測される確率は極めて低く、また発光の時間変化が流星とは異なることから静止流星である可能性もない。人工衛星の太陽光反射による閃光については調査中であるが、現在のところ該当する人工衛星は見つかっていない。アメリカやメキシコでも獅子座流星群の極大時(地球との位置の違いを補正して)に月面発光が検出されたことが報告されている。以上により、上記3回の発光は、獅子座流星体の月面への衝突によるものである可能性が高い。ただし、時刻的に極大時から数時間遅れていることは注目に値する。

しぶんぎ座流星群のビデオ分光観測

Video spectroscopy of Quadrantid meteors

○塚本 登志夫、平原 靖大（名大・理）、
阿部 新助（総研大）、海老塚 昇（理研）

○Toshio Tsukamoto, Yasuhiro Hirahara (Nagoya University)
Shinsuke Abe (The Graduate University for Advanced Study)
Noboru Ebizuka(The Institute of Physical and Chemical Research)

We observed the visible spectra of Quadrantid meteors by the use of video equipped with Grism on 2000 January 4. Video images of more than 10 meteors were recorded at 30 frames per second, and the temporal variation of the spectra were recorded. The spectra lines of Na, Mg and Fe were identified. We analyzed the temporal variation of the spectra, the chemical composition and the structure of meteors. Compared with Leonids, Na drop in the temporal variation of the spectra was not observed in Quadrantids. The emissions of O and N are weaker than Leonids.

流星の発光物質の可視分光観測により発光原子の種類の知見を得ることができ、それによって流星物質の組成や流星と大気との反応の推定が可能である。

近年、ビデオカメラを用いた流星の観測により、スペクトルの時間変化を調べることが可能となり、流星の発光過程、組成、構造についてさらに詳しく調べることができるようになった。

本研究では 2000 年 1 月 4 日に出現したしぶんぎ座流星群についてグリズム（格子間隔 1/600mm）と共にビデオカメラを用いて観測を行なった。

そして時間分解能 1/30 s で合計 10 個以上の流星の出現から消滅に至る可視スペクトルの時間変化を記録することに成功した。

解析の結果、Na、Mg 及び Fe の発光線を同定し、そのスペクトルの時間変化をしふんぎ座流星群と比べると、しふんぎ座流星群に見られた Na の急激な減光傾向がしふんぎ座流星群では見られず、Na が流星物質に比較的多く含まれることが示唆される。また O や N の輝線がしふんぎ座流星群より弱く、大気への流星物質の突入速度が遅いことを反映している。

これらの結果からしふんぎ座流星群の流星物質について議論する。

日本惑星科学会2000年秋季年会実行委員会

実行委員長 : 下山晃 (筑波大)
実行委員 : 春山純一、大竹真紀子、大嶽久志、
比嘉道也、平田成、杉原孝充 (NASDA)
富樫茂子、木多紀子 (地質調査所)
石元裕史 (気象研究所)
加藤工、中本泰史 (筑波大)

連絡先 : 〒305-8505 茨城県つくば市千現 2-1-1
宇宙開発事業団 筑波宇宙センター
技術研究本部 先端ミッション研究センター
月利用推進研究室 春山純一
Tel: 0298-52-2406, Fax: 0298-52-2247
Email: JSPS2000@hope.tksc.nasda.go.jp