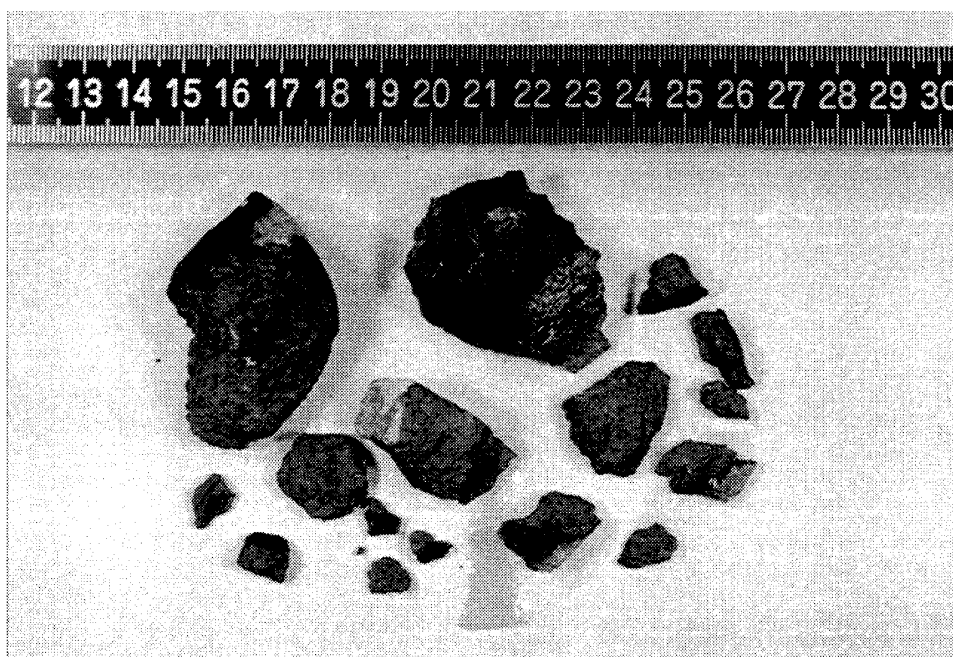


日本惑星科学会
1999 年
秋季講演会予稿集

Abstracts

1999 Fall Meeting of the Japanese Society
for Planetary Sciences



神戸隕石（仮称）

（兵庫県警科学捜査研究所提供）

1999 年 11 月 13 日（土）～15 日（月）

於：東北大学工学部青葉記念会館

表紙の写真：神戸隕石（仮称）

1999 年 9 月 26 日、兵庫県神戸市北区の民家に落下した隕石。写真は兵庫県警科学捜査研究所が撮影したもの。

日本惑星科学会秋期講演会プログラム

11月13日(土)

9:30-10:30 受付

10:30-12:00 セッション1(座長:田近英一)

12:00-13:00 昼食

13:00-15:00 セッション2(座長:井田茂)

15:00-15:15 休憩

15:15-17:00 セッション3(座長:渡邊誠一郎)

11月14日(日)

9:30-10:42 セッション4-A(ポスタープレゼンテーション)

(座長:岡田達明)

10:38-10:52 休憩

10:52-12:00 セッション4-B(ポスタープレゼンテーション)

(座長:春山純一)

12:00-13:00 昼食

13:00-14:00 ポスターセッション

14:00-16:00 シンポジウム「惑星科学会に未来はあるか？」

16:00-17:00 総会

17:30-19:30 懇親会

11月15日(月)

9:00-11:45 セッション5(座長:高田淑子)

11:45-13:00 昼食

13:00-14:45 セッション6(座長:大竹真紀子)

14:45-16:45 セッション7(座長:橋爪光)

9:30-10:30 受付

10:30-12:00 セッション 1 (座長：田近英一)

10:30 101 ダストの沈殿に微惑星形成～ガス-ダスト 2 相流体モデルによる数値計算～
○山多隆宏, 渡邊誠一郎 (名大・理)

10:45 102 乱流中の原始太陽系円盤内での微惑星形成について
○石田修一, 田中秀和, 井田茂, 中澤清 (東工大・地惑)

11:00 103 木星型惑星のサブディスクを通じた成長
○谷川享行, 渡邊誠一郎 (名大・理), 竹内拓 (ストックホルム天文台)

11:15 104 カイパーベルトにおける永年共鳴の移動
○長沢真樹子, 井田茂, 田中秀和 (東工大・地惑)

11:30 105 Upsilon Andromedae の惑星系の安定性
○木下宙, 中井宏 (国立天文台)

11:45 106 金星赤道域の雲-放射-力学フィードバック
今村剛 (宇宙研)

12:00-13:00 昼食

13:00-15:00 セッション 2 (座長：井田茂)

13:00 201 月の可視・近赤外マルチバンド画像の位相角補正法
○横田康弘, 本田親寿, 飯島祐一 (宇宙研), 本田理恵 (高知大・数理情報), 水谷仁 (宇宙研)

13:15 202 すばる望遠鏡による小惑星の衛星探し
○柳澤正久 (電通大), 中村良介 (神戸大・情報), 長谷川直 (宇宙研), 佐藤勲 (渡辺技研), 布施哲治 (国立天文台), 宮坂正大 (東京都庁)

13:30 203 Mare Imbrium の地質解析
○大嶽久志, 平田成 (宇宙開発事業団)

13:45 204 SELENE のレーザ高度計側方視の測定精度
○河野宣之, 荒木博志, 坪川恒也, 大江昌嗣 (国立天文台・水沢)

14:00 205 レゴリス表面の光散乱測定値を用いた小天体多色カメラ画像の模擬
○川股正和 (神戸大・自然), 中村良介 (神戸大・情報), 中村昭子, 亀井秋秀, 向井正 (神戸大・自然)

14:15 206 I R A S による小惑星の表層状態の推定
○長谷川直, 安部正真 (宇宙研)

- 14:30 207 **波長依存性から得られる火星の霧粒子の光学特性**
○稲田愛, 中村昭子 (神戸大・自然), 中村良介 (神戸大・情報), 向井正 (神戸大・自然)
- 14:45 208 **黄道光の測光観測と惑星間塵雲の 3 次元モデル**
○石黒正晃, 藤井康正, 吉下千秋 (神戸大・自然), 中村良介 (神戸大・情報), 向井正 (神戸大・自然)
- 15:00-15:15 **休憩**
- 15:15-17:00 **セッション 3 (座長: 渡邊誠一郎)**
- 15:15 301 **有機物の糊効果によるエコンドライト母天体の急速成長**
○香内晃, 工藤達行, 中野英之 (北大・低温研)
- 15:30 302 **高速微粒子衝突により形成されたクレーターの解析**
○濱邊好美, 佐々木晶 (東大・理), 大橋英雄 (東京水産大), 河村亨, 野上謙一 (獨協医大) 矢野創, 長谷川直 (宇宙研), 柴田裕実 (東大・原セ)
- 15:45 303 **Impactor の衝突頻度と小惑星レゴリスの厚さ**
○道上達広, 安部正真, 藤原 顕 (宇宙研)
- 16:00 304 **高速度衝突における衝撃波減衰の数値シミュレーションおよび室内実験の結果との比較**
○三谷典子 (東大・理), 渡邊誠一郎 (名大・理), 吉田正典 (物質研)
- 16:15 305 **シリカエアロジェルへの宇宙ダストの超高速度衝突に関する実験的研究**
○北澤幸人 (宇宙研/茨城大学/石川島播磨重工業 (株)), 藤原顕 (宇宙研), 門野敏彦 (物質工学工業技術研究所), 今川吉郎, 鎌倉千秋 (宇宙開発事業団), 岡田豊, 上松和夫 (石川島播磨重工業 (株))
- 16:30 306 **国際宇宙ステーション (ISS) に於けるダスト捕獲実験 (MPAC) の概要**
○北澤幸人, 河内啓輔, 萩原和広 (石川島播磨重工業 (株)), 宮寺岳仁, 中村龍太 (石川島ジェットサービス (株)), 今川吉郎, 鎌倉千秋, 中山陽一, 館義昭 (宇宙開発事業団)
- 16:45 307 **自転による小惑星の破壊の可能性**
○疋田肇, 石橋之宏, 水谷仁 (宇宙研)

- 9:30-10:38 **セッション 4-A (ポスター) (座長：岡田達明)**
- 9:30 P401 **画像データによる Tycho クレーター周囲の impact melt 分布解析**
○平田成, 大嶽久志, 春山純一 (宇宙開発事業団)
- 9:34 P402 **クレメンタイン画像を用いた月面クレーターの形状分布解析**
○南雲浩一郎, 中村昭子 (神戸大・自然)
- 9:38 P403 **月面画像解析による Mare Moscovienne の地質構造調査**
○堀忍, 高田淑子 (宮教大・地学)
- 9:42 P404 **LUNAR-A ペネトレータによる月熱流量計測; 通信・計測による発熱の影響**
○吉田信介, 田中智, 宝来帰一, 水谷仁, 藤村彰夫, 早川雅彦 (宇宙研), 平井研一 (日産自動車)
- 9:46 P405 **次期月探査に向けての質量分析ミッション**
○杉原孝充, 大竹真紀子, 比嘉道也 (宇宙開発事業団), 石原盛男, 豊田岐聡 (阪大・理)
- 9:50 P406 **月重力場計測のための SELENE リレー衛星の開発研究**
○岩田隆浩, 長柄泰博, 小川美奈, 米倉克英 (宇宙開発事業団), 並木則行 (九大・理), 花田英夫 (天文台水沢)
- 9:54 P407 **SELENE 搭載地形カメラの開発研究**
○春山純一, 比嘉道也, 平田成, 白石篤史 (宇宙開発事業団)
- 9:58 P408 **Petrography of PCA91467: Aggregates of interstellar grains? and in-situ partial hydration?**
杉浦直治 (東大・理)
- 10:02 P409 **木星大気の雲対流の数値計算：一般風の鉛直シアの効果**
○中島健介, 竹広真一 (九大・理), 石渡正樹 (北大・地球環境), 林祥介 (北大・理)
- 10:06 P410 **惑星リングの N 体計算 -角運動量輸送機構の解明-**
○台坂博, 田中秀和, 井田茂 (東工大・地惑)
- 10:10 P411 **火星古環境下における極冠の形成**
○横島徳太, 倉本圭, 小高正嗣, 渡部重十 (北大・理)
- 10:14 P412 **火星大気放射対流の数値計算**
○小高正嗣 (東大・数理), 中島健介 (九大・理), 石渡正樹 (北大・地球環境), 林祥介 (北大・理)
- 10:18 P413 **原始月円盤の進化に伴う熱収支について**
○武田隆顕, 井田茂 (東工大・地惑)
- 10:22 P414 **マントル対流による混合過程の基礎数値実験: 幾何効果と粘性率の温度依存性**
○中川貴司 (東大・理), 本多了 (広大・理)

11 月 14 日(日)(続き)

- 10:26 P415 超新星爆発時における軽元素合成—ニュートリノ照射モデルによる影響—
○吉田敬, 榎森啓元, 中澤清 (東工大・地惑)
- 10:30 P416 巨大衝突後の地球と月の共成長進化: Lunar impact ejecta の脱出による角運動量の減少
○森島龍司, 渡邊誠一郎 (名大・理)
- 10:34 P417 Evidence for early stellar encounters in the orbital distribution of Edgeworth-Kuiper Belt objects
○井田茂 (東工大・地惑), John Larwood (Queen Mary & Westfield College), Andreas Burkert (Max-Planck Institute fur Astronomie)
- 10:38-10:52 休憩
- 10:52-12:00 セッション 4-B (ポスター) (座長: 春山純一)
- 10:52 P418 火花放電・陽子線照射によって模擬原始大気中で生じるプラズマの分光診断
○坂上恵一郎, 松井孝典(東大・理), 杉田精司(東大・理, NASA), 小林憲正, 潮賢太郎(横浜国大・工)
- 10:56 P419 固体細粒層による散乱光の偏光測定実験
○亀井秋秀, 中村昭子 (神戸大・自然)
- 11:00 P420 南極ドーム Fuji の非溶融マイクロメテオライトの中性子放射化分析
○福岡孝昭 (立正大学・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), 野口高明 (茨城大・理)
- 11:04 P421 温度変化に伴うオリビンの反射スペクトルの変化
○比嘉道也, 大嶽久志, 大竹真紀子, 杉原孝充 (宇宙開発事業団)
- 11:08 P422 小惑星表面の光散乱特性—porosity 依存性についての実験的研究
○中山博喜, 川股正和, 亀井秋秀, 中村昭子, 向井正 (神戸大・自然)
- 11:12 P423 Enstatite Chondrite の C L 累帯構造
○遠藤 実, 蜷川 清隆 (岡山理科大)
- 11:16 P424 原始太陽系円盤内でのダスト成長
酒井 辰也 (神戸大・自然)
- 11:20 P425 原始太陽系星雲での有機星間塵の蒸発過程
○中野英之, 香内晃 (北大・低温研)
- 11:24 P426 固体粒子の付着成長に対する有機物の効果
○工藤達行, 荒川政彦, 香内晃, 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)

- 11:28 P427 トロヤ群小惑星から放出されるダストの生成量と空間分布
○宮田一孝, 向井正 (神戸大・自然)
- 11:32 P428 小惑星パラスによる恒星食の観測結果
○佐藤勲(渡辺技研), 柳沢正久(電通大)
- 11:36 P429 Mars Dust Counter : はじめの 1 年のデータ
○佐々木晶 (東大・理), E. Igenbergs (ミュンヘン工科大), 大橋英雄 (水産大), 藤原顕 (宇宙研), 野上謙一 (獨協医大), 向井正 (神戸大), 宮本英昭 (東大・工), 森重和正 (宇宙研), 濱邊好美 (東大・理), G. Faber, F. Ficsher, R. Muenzenmayer, G. Hofschuster, W. Naumann (ミュンヘン工科大), H. Iglseder (STMS), E. Gruen (MPI-K), H. Svedhem, G. Schwehm(ESTEC), A. Glasmachers (U. Wuppertal), 山越和雄
- 11:40 P430 H-IIA ロケットによる火星サンプルリターンミッションの提案
○佐藤恵一, 太田豊彦, 北澤幸人, 今井良二, 岡利春 (石川島播磨重工業), 北村勝英 (アイテック), 斎藤潤 (西松建設)
- 11:44 P431 固体惑星探査のための X 線 CCD を用いた蛍光 X 線分光計の校正装置開発
○山本幸生, 白井慶, 岡田達明, 松田智規, 加藤學 (宇宙研)
- 11:48 P432 Muses-C 搭載 XRS の電子回路の設計
○岡田達明, 白井慶, 山本幸生, 松田智規, 加藤學 (宇宙研), 塚原文夫, 村尾一, 田口孝治 (明星電気)
- 11:52 P433 彗星・惑星探査用マルチターン飛行時間型質量分析計
○豊田岐聡, 山口真一, 伊藤啓行, 石原盛男 (阪大・理)
- 11:56 P434 顕微蛍光法による火星生命探査法の開発
河崎行繁 (三菱化学生命研), 宮川厚夫 (浜松ホトニクス), 斉藤威 (東大・宇宙線研), 船津幸永, 金子竹男, ○小林憲正 (横浜国大・工)
- 12:00-13:00 昼食
- 13:00-14:00 ポスターセッション
- 14:00-16:00 シンポジウム「惑星科学会に未来はあるか？」
- 16:00-17:00 総会
- 17:30-19:30 懇親会 (東北大学生協工学部キャンパス)

11月15日(月)

9:00-11:45 **セッション5 (座長：高田淑子)**

9:30 501 **炭酸カルウム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 (九大・理)

9:45 502 **高エネルギー粒子線による二酸化炭素・一酸化炭素・窒素・水混合気体からのアミノ酸・核酸塩基の生成**

○小林憲正, 山梨洋人, 大橋暁弘, 潮賢太郎, 増田仁美, 金子竹男 (横浜国大・工), 斉藤威 (東大・宇宙線研)

10:00 503 **氷の結晶化度の凝縮速度依存性**

○西願寺善彦, 山本哲生 (名大・理)

10:15 504 **固体二酸化炭素のレオロジー**

○山下靖幸, 藤波慎司, 加藤學 (宇宙研)

10:30 505 **DTA によるアモルファス氷の結晶化潜熱測定：彗星核からのガス放出率への影響**

香内晃 (北大・低温研), ○城野信一 (神戸大・自然)

10:45 506 **地球の氷惑星化現象：全球凍結の物理化学的プロセスと時間スケール**

田近英一 (東大・理)

11:00 507 **SIMS による月表土試料中の窒素同位体分析-太陽風組成の探求**

○橋爪光 (CRPG-CNRS, Nancy, France, 阪大・理), Marc Chaussidon, Bernard Marty (CRPG-CNRS, Nancy, France)

11:15 508 **綫状鉄鉱生産の量的見積もりとその地球史的な意義**

萩谷宏 (巣鴨高)

11:30 509 **強親鉄元素からみた地球の集積過程**

○大谷栄治, 佐藤仁 (東北大・理), 平田岳史 (東工大・地惑)

11:45-13:00 **昼食**

13:00-14:45 **セッション6 (座長：大竹真紀子)**

13:00 601 **南極産 Asuka-881467 ユークライトの岩石学的特徴について**

矢内桂三 (岩手大・工)

13:15 602 **Allende (CV3) 隕石母天の磁化機構と熱史**

○船木實 (極地研), P. Wasilewski (NASA)

13:30 603 **CM コンドライトの炭素質物質と熱変成**

○北島富美雄, 中村智樹, 高岡宣雄, 村江達士 (九大・理)

- 13:45 604 マスケリナイトのカソードルミネッセンス
○佐藤暁子, 蜷川清隆 (岡山理科大), 兵藤信博 (自然科学研究所)
- 14:00 605 リターンサンプルへの XTM (X 線トモグラフィ顕微鏡) の応用
○土' 山明 (阪大・理), 上杉健太郎 (東工大・理), 中野司 (地調), 鈴木芳生, 八木直人, 梅谷啓二 (JASRI)
- 14:15 606 X 線 CT 法によるコンドリュールの 3 次元構造解析
○川畑俊晴, 土' 山明, 近藤真弘 (阪大・理)
- 14:30 607 1999 年 9 月 26 日神戸に落下した隕石について (速報)
○中村昇 (神戸大・理), 小村和久, 井上睦夫 (金沢大・理), 土' 山明, 松田准一 (阪大・理), 米田成一 (国立科博), 小島秀康, 三澤啓司 (極地研) 留岡和重, 小島知子 (神戸大・理)
- 14:45-16:45 セッション 7 (座長: 橋爪光)
- 14:45 701 気相化学反応による珪酸塩鉱物の核生成実験
○平家勉, 平原靖大 (名大・理)
- 15:00 702 宇宙風化作用のシミュレーションと小惑星の反射スペクトル
○佐々木晶 (東大理), 廣井孝弘 (ブラウン大), 山田真保 (宇宙フォーラム)
- 15:15 703 月面反射スペクトルと表面粒子サイズの関係
○大竹真紀子, 大嶽久志, 比嘉道也, 杉原孝充 (宇宙開発事業団)
- 15:30 704 宇宙塵表面上の水素分子生成点付近での局所的な温度上昇と化学的蒸発機構
○高橋順子 (国立天文台), David A. Williams (University College London)
- 15:45 705 コア/マントルプレソーラーグレインの不均質凝縮
○千貝 健 (名大・理/北大・理), 山本 哲生 (名大理), 小笹 隆司 (北大理)
- 16:00 706 $\text{Na}_2\text{O-SiO}_2$ メルトからの Na 蒸発速度
○白井智子, 橋省吾, 土' 山明 (阪大・理)
- 16:30 707 炭素質物質から生成するマイクロダイヤモンドの成長
○木村誠二, 堀内千尋 (立命館大理工), 和田節子 (電通大)

日本惑星科学会秋季講演会 アブストラクト

11 月 13 日 (土)

セッション 1

No. 101-106

セッション 2

No. 201-208

セッション 3

No. 301-307

ダストの沈澱に微惑星形成
 ～ガス-ダスト 2 相流体モデルによる数値計算～
Numerical Simulations of Gas-Dust 2-Phase Flows
in the Solar Nebula

○山多 隆宏、渡邊 誠一郎 (名大・理)

Takahiro Yamada and Sei-ichiro Watanabe

Dept. of Earth and Planetary Sciences, Nagoya Univ.

In order to clarify dust settling in the solar nebula we numerically simulate dust-gas 2-phase flows in rotating equilibrium under the solar gravitational potential. We obtain that (1) gas flows in the horizontal direction are mainly induced in dust-poor regions just above the dust-rich layer; (2) At each time the dust density in the vertical direction has the maximum value not at but above the midplane. The Kelvin-Helmholtz instability affects little about dust settling because most of dust has already passed below these regions. We expect that the Rayleigh-Taylor instability occurs in the dust-rich layer. However, the turbulence due to this instability does not occur in our simulations.

ダストが原始惑星系円盤の赤道面に沈澱することによって、ダストの抵抗力を受けるダスト層と、ダストが殆んどなくなった領域の間に強い速度シアが生じる。このためガス流が Kelvin-Helmholtz 不安定により乱流状態となり、ダストは十分薄い層に沈澱できないと考えられてきた。本研究では、抵抗力によりダストの沈澱がガスの流れに影響を与えることを考慮して、ガス-ダストの 2 層流体の数値計算を行なった。計算では原始惑星系円盤は軸対称であると仮定している。

ガスはダストから角運動量を得て公転速度が増加する。やがてダスト密度が沈澱により急激に減少すると、抵抗力が失われガスは円盤に水平な方向に慣性振動による流れを生じる。この流れはダストがこの領域を落下した後に励起されるため、ダストの沈澱を妨げない。今回の計算では、半径が 1cm 以上のダストは十分に薄い層に沈澱することが確認できた。

またダストの落下速度はガスが静止している場合の終端速度にほぼ一致する。終端速度は赤道面に近づくにつれ急激に減少するため、ダスト密度の鉛直分布は赤道面より高いところに最大値を持つことが判った。しかし、ダスト層の中がその様な密度分布にも関わらず、計算では Rayleigh-Taylor 不安定による乱流は生じていない。そのため Rayleigh-Taylor 不安定の成長速度を見積もり、ダストの沈澱速度と比較する事によって、ダスト層の中に乱流が生じダストの沈澱が妨げられる時のダスト密度を検討する。

乱流中の原始太陽系円盤内での微惑星形成について

Formation of planetesimals in the turbulent solar nebula

°石田 修一、田中 秀和、井田 茂、中澤 清 (東工大・地惑)

° Shuichi Ishida, Hidekazu Tanaka, Shigeru Ida, and Kiyoshi Nakazawa

(*Department of Earth and Planetary Sciences, Tokyo Institute of Technology*)

One of the problem of the origin of planets is how planetesimals were formed from small dust particles in turbulent solar nebula. Planetesimals are thought to be formed by gravitational instabilities of dust layer or direct collisional growth of dust particles. In the case of direct collisional growth, there are two problems. One is how dust particles stick together by collision, and the other is that meter-sized particles might move to the central star. Stepinski & Valageas(1997) proposed that planetesimals could be formed by direct collisional growth, by considering the radial drift and the coagulation between two particles with the same masses. We investigate the validity of the condition of planetesimals formation obtained by them by considering the distribution of the mass.

惑星形成の問題点の1つに、微惑星がどのように形成されたのかが挙げられる。原始太陽系円盤内は乱流状態になっていたと考えられているが、乱流中での微惑星形成のメカニズムはまだはっきりとはわかっていない。現在提唱されている微惑星形成のモデルは大きく分けて2つあり、1つはダスト層の自己重力不安定性による形成モデル、もう1つはダスト粒子同士の直接合体成長による形成モデルである。重力不安定モデルの問題点は、ダストが円盤の水平面上に沈殿してくるとダスト層とガス層の間に速度差が生じ、その結果 Kelvin-Helmholtz 不安定が生じ、重力不安定が起こるほどには薄く沈殿できない可能性があるというものである。他方、直接合体成長モデルの問題点は、まずダスト粒子同士の合体のメカニズムが未解明な点が上げられる。また、ダストが成長してメートルサイズになり、ガスとのカップリングが解かれるような大きさになると中心星方向への落下が促進されるが、それによって微惑星が形成される前にダスト粒子が全て中心星に落ちてしまう可能性がある。Stepinski & Valageas (1997) は、ガス抵抗による中心星方向への移動を考慮したダストの進化を計算して、直接合体成長で微惑星が形成される可能性があることを示唆した。しかし、彼らの計算ではダスト粒子の質量分布は考慮しておらず、平均質量のみによって合体成長が決定されている。彼らの計算結果から得られる微惑星形成のための条件が、質量分布を考慮した場合にも妥当であるかどうかを検証することが我々の研究の目的である。今回はその中で、質量分布を考慮した粒子の合体成長について紹介する。

木星型惑星のサブディスクを通じた成長

Growth of Jovian Planet with Subdisk

○谷川 享行、渡邊 誠一郎（名大・理）、竹内 拓（ストックホルム天文台）

○ Takayuki Tanigawa¹, Sei-ichiro Watanabe¹ and Taku Takeuchi²¹Department of Earth and Planetary Science, Nagoya University²Stockholm Observatory

We investigate gas flows around protoplanets in a gas disk with Keplerian rotation using 2-D hydrodynamic simulations in order to understand the accretion flow structure and accretion rate. We find that (1) An accretion subdisk with two spiral shock waves induced by the solar tidal potential was formed around the protoplanet. (2) The accretion rate of adiabatic gas is about one fifth of that of isothermal gas, and the growth time-scale with adiabatic gas and isothermal one are about 500 and 2500 years respectively when planet mass is 130 Earth masses at 5.2 AU.

木星型惑星は、1 から 10 地球質量程度の固体コアの周りに大量のガス成分 (H_2 , He) からなる。これらの形成には、過去の研究によりコア不安定モデルで説明されている。それは、惑星固体コアの成長に伴い惑星重力が強くなるので大気が厚くなり、大気が重力的に不安定を起し、周囲のガスを一気に捕獲する、というものである。しかし、これらの研究では 1 次元球対称・準静的進化という仮定の下で行なわれていた。そのため、コア不安定が起こった後の動的なガスの捕獲ステージについては知ることができない。そこで我々は木星型惑星のガス捕獲ステージの描像を得るために、2 次元数値流体計算を行なった。

今回、惑星周囲の流れの構造、惑星へのアクリーションレートを、熱の逃げない極限として断熱の場合について調べたので報告する。我々はこれまでに熱が逃げやすい極限として等温変化しかしないガス ($\gamma = 1$) についての計算を行なっていた。しかし、木星型惑星のガス捕獲ステージの原始惑星系円盤のオパシティーが良く分かっていないため、断熱と等温の両極限を調べることにした。

従来の等温の計算により、ガスが惑星の周りに 2 本の螺旋状の衝撃波を伴ったディスク（サブディスク）を形成し、2 本の衝撃波を伴い惑星へスパイラルを描きながら落下することが分かっていた。今回新たに行なった断熱の計算でも流れの基本的な構造は変わらなかったが、等温に比べて衝撃波が弱くなり、サブディスクのスパイラルショックのピッチアングルはきつく立つ傾向が見られた。これは、断熱にしたことによる温度上昇にともなって音速が大きくなりマッハ数が減少することが原因と考えることができる。また、ガスのアクリーションによる成長のタイムスケールは、5.2AU、130 地球質量の場合、等温では約 500 年であったのが、断熱の場合約 2500 年となった。これらの計算結果を下に木星型惑星のガス捕獲ステージの描像を議論する予定である。

カイパーベルトにおける永年共鳴の移動

Sweeping Secular Resonances in the Kuiper Belt Region

長沢真樹子[°], 井田茂, 田中秀和 (東京工業大学地球惑星科学専攻)

Makiko NAGASAWA[°], Shigeru IDA, Hidekazu TANAKA (Tokyo Institute of Technology)

Sweeping secular resonances due to a depletion of a solar nebula in the Kuiper belt was studied. We estimated analytically that regions where the secular resonances sweep, and that increments of eccentricities and inclinations of Kuiper belt objects. We used following three types of nebula depletion models: (1) outside-in depletion model, (2) inside-out depletion model, (3) uniform depletion model. In the first model, the secular resonances do not pass through the Kuiper belt region. On the other hand, in the second and third models, the secular resonances pass through the region and pump up the eccentricities and the inclinations of Kuiper belt objects.

カイパーベルト領域では、最近続々と新しい小天体が発見され、現在では 100 個以上の小天体の軌道が確定されている。これらの小天体は、太陽系進化の情報を残していると考えられ、太陽系の形成過程や進化を調べる上でこれらの小天体の研究が重要である。

カイパーベルト天体の軌道の特徴は、軌道長半径 41AU 付近を境に二つに分かれている。軌道長半径が 41AU 以下のカイパーベルト天体は平均で 0.2 程度の離心率、軌道傾斜角 (radian) を持ち、そのほとんどが海王星との 3:2 の平均運動共鳴の位置に存在している。一方、軌道長半径が 41AU 以上の天体は軌道傾斜角の平均は 0.2 程度であるが、離心率の平均は 0.1 程度しかなく、平均運動共鳴の位置とは無関係に分布している。この大きな軌道要素とその分布がどのようにして得られたものであるかについてはいくつかの研究がなされてはいるが、いまだ結論は出ていない。

本研究ではカイパーベルト天体の軌道分布の起源として原始太陽系星雲が散逸に伴う永年共鳴の移動に注目した。これは、カイパーベルト領域を永年共鳴が移動すれば、その領域で微小天体の離心率、軌道傾斜角が大きく跳ね上げられるからである。そこで今回我々は、永年共鳴がカイパーベルト領域でどのように移動するか、どの程度小天体の離心率、軌道傾斜角を上昇させるかを解析的に研究した。

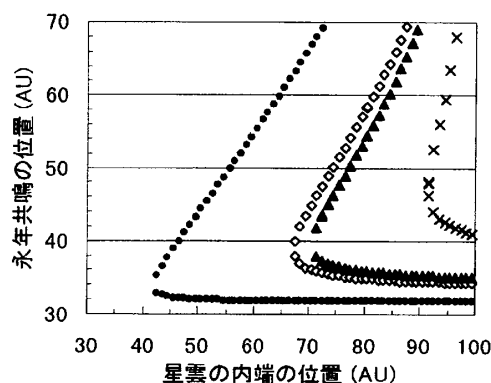


Fig.1 離心率を上昇させる永年共鳴の位置と星雲の内端の位置の関係。4つの木星型惑星と太陽の系で星雲が内側から散逸するモデルの場合。

我々は外側からの散逸、内側からの散逸、一様散逸の3種類の星雲散逸のモデルをたて、それぞれについて、永年共鳴の移動する範囲と上昇する離心率、軌道傾斜角の大きさを調べた。本研究の結果、離心率、軌道傾斜角がどの範囲でどの程度上昇するかは、星雲の散逸方法に大きく依存していることがわかった。外側から星雲が散逸する場合は、永年共鳴はカイパーベルト領域を通過しない。一方、内側から散逸する場合と一様散逸の場合は、永年共鳴が通過し、特に内部カイパーベルト領域で離心率、軌道傾斜角が上昇することがわかった。

このように、本研究は、よくわかっていない太陽系外縁部での星雲の散逸形式にも制限を与えることができる。

Upsilon Andromedae の惑星系の安定性
Stability of the Upsilon Andromedae Planetary System

木下宙、中井宏 (国立天文台)
Hiroshi Kinoshita and Hiroshi Nakai
(National Astronomical Observatory)

Three planets are detected around υ Andromedae and three sets of orbital elements are determined (1999, Butler et al., submitted to AP. J.). Lissauer (1999 Nature, **398**, 659-660) announced that the planets orbits, which are computed from one set of orbital elements, become unstable within a million years. We carried out the orbital integration with the same orbital elements as Lissauer used and found that the planetary system is very stable by the alignment of the pericenters of outer two planets.

ドップラー観測を用いて υ Andromedae に質量が木星の 0.7 倍で公転周期が 4.6 日である惑星が 1996 年に発見された。最近さらに 2 個の惑星が υ Andromedae に存在する可能性が報告され、それらの惑星の軌道要素が 3 組発表された。Lissauer (1999 Nature, **398**, 659-660) は、これらの軌道要素を用いて惑星軌道を数値的に追跡し、2 組の軌道要素は安定軌道を与えるが、AFOE (Advanced Fiber Optics Echelle) データのみを用いて決定された軌道は数十万年で不安定であると発表した。我々も Lissauer 達と同じ軌道要素を用いてこの惑星系の運動を 110 万年間計算した。我々の計算によると、上記の 3 組のどの軌道要素を用いても惑星系は安定であった。外側の 2 個の惑星は相互作用が大きく軌道離心率が各々 0.3 と 0.5 にも達し 2 つの軌道は互いに近接する可能性があるが、この 2 個の近星点は連動していて 2 個の惑星が実際に近接することはない、惑星系は安定となっている。この近星点の連動現象は永年摂動論を用いて説明する。

金星赤道域の雲 - 放射 - カ学フィードバック Cloud formation and dynamics in the equatorial atmosphere of Venus

今村 剛 (宇宙科学研究所)
IMAMURA, Takeshi (ISAS)

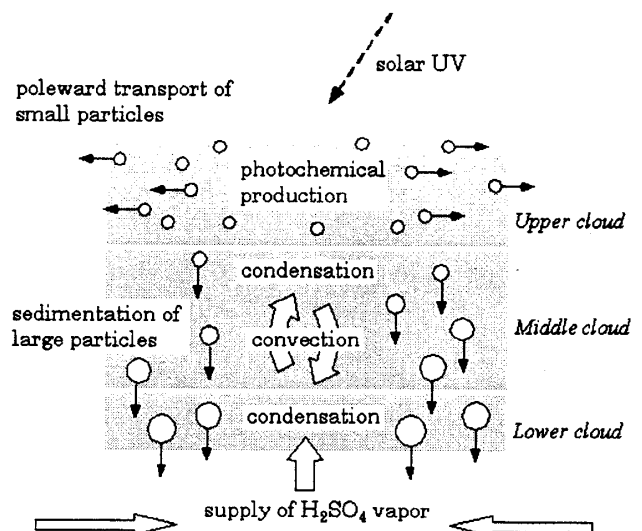
近年、近赤外光リモートセンシングにより、金星の下層雲の激しい変動の様子が明らかになってきた。高度 60-70 km の上層雲が光化学的に作られた硫酸エアロソル層なのに対し、高度 45-60 km の中層/下層雲は硫酸蒸気が上昇流の中で凝結してできた雲とされている。Vega 気球の観測では対流や重力波と思われる強い鉛直風が高度 54 km 付近で常に観測されており、そのような小規模な鉛直風が雲の凝結/蒸発を支配して近赤外画像に見られるような激しい変動をもたらすのはありそうなことである。また Imamura and Hashimoto (1998) によれば、ハドレー循環に伴う赤道域での平均的上昇流による凝結雲生成を考えると、雲や硫酸蒸気の平均的な全球分布をうまく説明できる。本研究では、鉛直 1 次元の雲物理モデルを用いて、鉛直風が雲の鉛直構造に及ぼす影響を明らかにし、雲構造の変化から大気運動へのフィードバックについても議論する。

数値計算の結果、次のことが示唆された。

1. 上層雲では、光化学的に作られた硫酸蒸気がその場の凝結核の上に凝結して雲粒の成長が起こる。それに対して下層雲では、大気運動により下層から運ばれてきた硫酸蒸気が（定常モデルでは）上層から運ばれてきた雲粒の上へ凝結して大粒子が生成する。これはサイズが大きいほど飽和蒸気圧が低いからである。一時的に強い鉛直風を導入すると、下層雲領域でも凝結核の上へ凝結が起こって中型粒子が生成し、凝結核と大粒子を含めて 3 モードのサイズ分布が出現する。これはプローブで観測された 3 つのモードに対応するかもしれない。
2. 高度 60 km 付近を境に雲の質量の多くを占めるサイズが急激に変化し、それより上の上層雲領域ではサイズが小さいため雲粒は子午面循環により上方に除かれ、それより下ではサイズが大きいため効果的に沈降する。

3. 中層/下層雲や雲底付近の硫酸蒸気層が維持されるためには、硫酸蒸気が雲層の下へ何らかの方法で供給されねばならない。おそらく、高緯度で沈み込んだ雲粒が蒸発してできた硫酸蒸気が、雲層の下の赤道向き循環で低緯度まで運ばれてくるものと思われる。
4. 一時的に強い鉛直風を与えたときの下層雲の光学厚み変動は、下層からの上向き熱放射フラックスを塞ぎ止めるのに十分である。その結果、下層雲の上では冷却、下では加熱が起こり、対流を強化、もしくは成層が弱いこの領域において対流不安定を生じさせる。

金星気象/気候の解明を目指して現在検討中の金星探査計画が実現すれば、高い時間/空間分解能の下層雲撮像や気温/硫酸蒸気分布モニターにより、上記のような雲 - 運動フィードバックについても実証的研究が可能となる。



金星赤道域の雲粒の動き

月の可視・近赤外マルチバンド画像の位相角補正法 Phase angle calibration for multi-band images of the moon

○横田康弘¹ 本田親寿¹ 飯島祐一¹ 本田理恵² 水谷仁¹

1 宇宙研 2: 高知大数理情報

Y. Yokota¹, C. Honda¹, Y. Iijima¹, R. Honda², H. Mizutani¹

1: Institute of Space and Astronautical Science, 2: Kochi University

Prior to analyze the reflectance spectra of the moon, it is necessary to calibrate the phase angle effect on the observed light intensity by phase functions. The phase functions have the dependencies on the terrain type and wavelength. These dependencies make difficult to calibrate the phase angle effect precisely, especially at small phase angles ($0-10^\circ$). We developed a new method to calibrate the phase angle effect on the Clementine UV-VIS camera images at relatively small phase angles ($0-30^\circ$). The applicability of this method were examined by using the Clementine images of some characteristic region on the moon.

月の反射スペクトルデータの解析においては、位相角に応じた反射光強度変化の正確な校正が必要である。月の反射光強度変化を記述する位相関数については多くの研究があるが、観測波長や地質タイプによって異なることが、反射スペクトルの定量的な解析の上で障害となっていた。特に小さい位相角 ($0-10^\circ$) では、定性的な画像解析を行うにも不十分な精度でしか位相関数が得られていなかった。そこで我々は Clementine 衛星の可視・近赤外マルチバンド画像 (波長帯 415・750・1000 nm) を用いて、小さい位相角まで適用可能な位相角補正法の検討を続けてきた。月の高地 (デカルト高地)、海 (静の海)、両者の中間的な反射率をもつ地域 (フラマウロ、Sinus Asperotatis-高地境界) の画像を解析した結果、位相角 30° での反射率 R_{30} と R_{30} に対する他の位相角での相対反射光強度との関係を 1 次式で近似できることがわかった。さらにこの結果を応用して、任意の地質タイプ・波長帯において位相角 $0-30^\circ$ で撮像された Clementine 画像に対して適用可能と考えられる補正式が得られた。本講演では、月面上の様々な地域において新補正式の適用性を検証した結果を報告する。

すばる望遠鏡による小惑星の衛星探し Search for Asteroidal Satellites by SUBARU Telescope

○柳澤 正久(電通大)、中村 良介(神戸大)、長谷川 直(宇宙研)、
佐藤 勲(渡辺技研)、布施 哲治(国立天文台)、宮坂 正大(東京都庁)

M. Yanagisawa (Univ. Electro-Comm.), R. Nakamura (Kobe Univ.),
S. Hasegawa (Inst. Space Astronaut. Sci.), I. Sato (Watanabe Res. Develop. Inc.),
T. Fuse (National Astro. Obserbat.), S. Miyasaka (Tokyo Metrop. Gov.)

We are planning survey for asteroidal satellites by the SUBARU telescope on Mauna Kea. The telescope can detect dark satellites located close to their parent asteroids if exist, which can not be observed by the other telescopes. If many satellites are discovered, we can discuss statistically the origin and evolution of asteroids and their satellites. Asteroidal mass and density can be derived from the orbital analyses of the satellites.

小惑星の衛星は現在までに二つ発見されている。Galileo探査機が発見した243 IdaのDactyl (Belton et al. 1996) と、最近発見された45 Eugeniaの衛星 (Merline et al. 1999) である。その起源としては、母天体の衝突破壊で生じた破片の二つが、小惑星とその衛星になったという考えが有力である (Durda 1996)。衛星の軌道がわかると小惑星の質量がわかる。大きさは、明るさとalbedo (反射率) などの観測からかなり正確にわかっているの、これから平均密度を計算することができる。243 Idaは 2.7g/cm^3 、45 Eugeniaは 1.3g/cm^3 である。

小惑星の衛星探しは、1980年代後半、0.9-2.2mの望遠鏡を使って行われたが衛星は見つからなかった (Gehrels et al. 1987, Gradie and Flynn 1988)。1990年代後半には、ハッブル宇宙望遠鏡によって、より小惑星の近くが探索された (Storrs et al. 1999)。ただし、この観測は宇宙望遠鏡が検査ミスのためにピンぼけだった時に行われた (画像復元のための計算機処理は行われている)。予測されている大きさと小惑星からの距離が正しければ見つかるはずの対象を三つ狙ったが、発見できなかった。すばる望遠鏡と恒星コロナグラフ、補償光学系 (SUBARU-CIAO) を使うことによって、これまで観測できなかったより近くのより暗い衛星を探すことができる。

引用文献

Belton et al., *Icarus*, **120**, 185-199, 1996; Durda, *Icarus*, **120**, 212-219, 1996; Gehrels et al., *Icarus*, **70**, 257-263, 1987; Gradie and Flynn, *Lunar Planet. Sci. Conf.*, **XIX**, 405-406, 1988; Merline et al., *Asteroids, Comets, and Meteors* (abstract), 1999; Storrs et al., *Icarus*, **137**, 260-268, 1999.

Mare Imbrium の地質解析

Geological analysis of Mare Imbrium

大嶽久志, 平田成 (宇宙開発事業団)

Hisashi Otake and Naru Hirata (National Space Development Agency of Japan)

Abstract: We made the TiO₂ maps of both surface and vertical distribution in Mare Imbrium using Clementine multi-spectral images. And we found that very low-Ti basalt was erupted at Imbrian age (400-800m depth), and following this event, low-Ti basalt appeared at Eratosthenian age (0-400m depth). Small scale of eruption of high-Ti basalt was also occurred later at some place.

月表層に見られる溶岩流は地下のマグマやマグマ溜まりの組成を反映しているため、その組成分布を調べることは月内部の構造・組成やその進化を把握する上で重要な手掛かりとなる。本研究では雨の海 (Mare Imbrium) を解析対象とし、溶岩流中の TiO₂ 存在量の分布、および年代との関係について考察した。

解析用にクレメンタインの可視近赤外域バンド画像を輝度補正・モザイク処理したものを用いた。そして Lucey (1998) の手法に従って TiO₂ 分布図を作成し、クレータ年代によって得られている年代図と比較した。その結果、High-Ti (6 wt%以上) は年代が古く、TiO₂ 量が低いと年代が新しい傾向にあることが分かった。

また、Mare Imbrium に存在する約 700 個の新鮮なクレータ (直径 15km 以下) について底部に見られる溶岩の TiO₂ 量も求めた。クレータのサイズ、つまり深さは様々であるため、これにより地下にある溶岩流の組成分布を推定することが可能である。その結果、地下 400m より浅いところは Low -Ti 溶岩流 (1.5~6 wt%) が主に分布し、400m 以深では Very low-Ti 溶岩流 (1.5%以下) が主であることが分かった。また、High-Ti はほぼ表層にしか見られなかった。地下深い溶岩流ほど年代が古いと考えられるため、年代が新しくなるにつれて TiO₂ 量が増える傾向にあると言える。この結果は上述のクレータ年代との比較結果と同じである。

今後は FeO 量と鉱物種類の情報も使い、それらの結果を高圧下での元素分配実験結果と合わせてマグマの組成・進化過程の推定を試みる予定である。

SELENEのレーザ高度計側方視の測定精度

Accuracy of slant range measured with the laser altimeter onboard SELENE

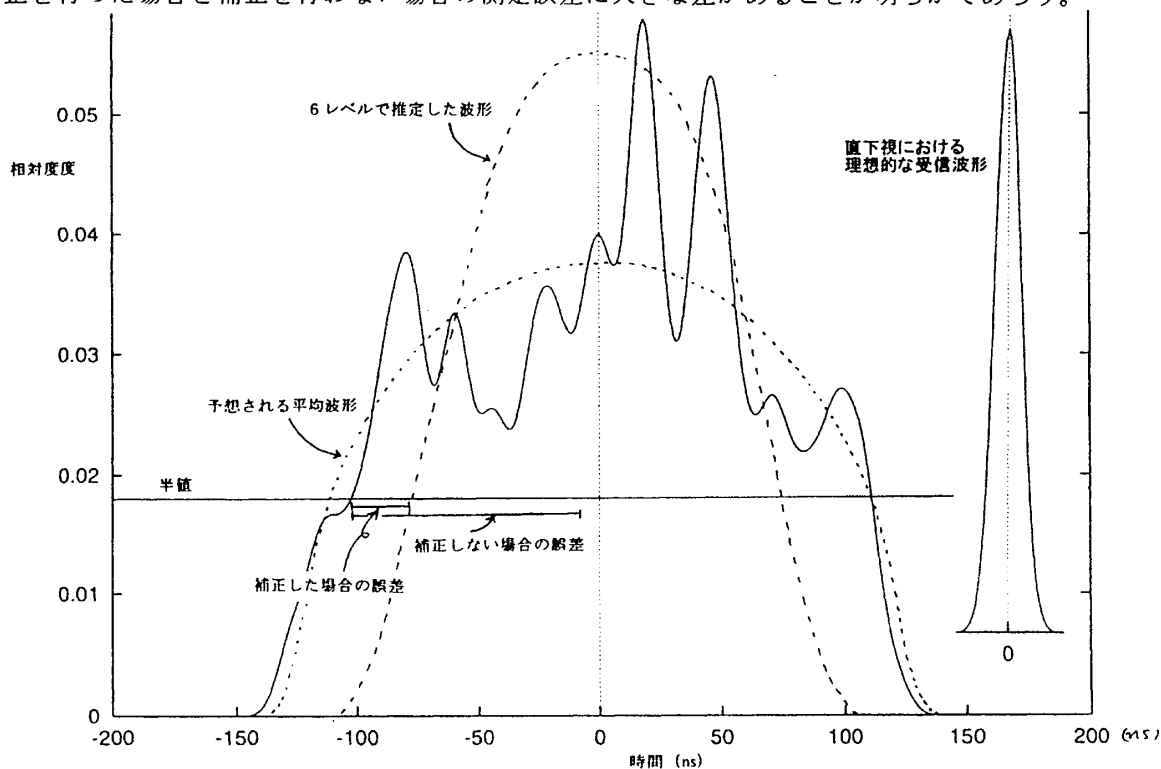
○河野宣之、荒木博志、坪川恒也、大江昌嗣

Nobuyuki Kawano, Hiroshi Araki, Tsuneya Tsubokawa and Masatsugu Ooe

国立天文台：National Astronomical Observatory

LALT(Laser ALTimeter onboard SELENE) is planned to carry out slant ranging in the direction of 40 deg. aside from nadir as well as altimetry at nadir. The width of a received pulse is estimated to be a few ten times as wide as that of a transmitted pulse, because the received pulse is the sum of return pulses from points at different range. The wide pulse causes a large error of measured range, therefore, the data of peak level are required to improve the accuracy in slant ranging.

SELENEの周回衛星に搭載予定のレーザ高度計は直下視に加えて、極域の地形を測るために40度側方視も実施する。側方視の場合は送信レーザパルスが月面に斜め入射するため、受信されるパルスは異なった遅延のパルスが合成され、パルス幅は数十倍にもなることが予想される。更に、パルス高も数十分の1になる。その結果、距離測定精度は著しく劣化する事が予想される。レーザ高度計による距離測定では、ひずみの少ない送信波の一定レベルを通過した時刻から、月面で反射して受信されるパルスが、決められたレベルを通過する時刻までの時間から距離が推定される。そこで、受信パルスの大凡の形はあらかじめ知ることができ、月面の反射率を±0.03の誤差で予測できると仮定すると、受信パルスのピークレベルのみのデータを追加するだけで、測定精度を大きく改善できる。つまり、受信波の形、月面の反射率及び測定されるパルスのピークレベルから実際に測定したパルスの波形をかなり予想でき、従って距離測定精度の改善が可能となる。下図はレーザビーム照射径約40m、この領域での月面の凸凹約3mを仮定した時の40度側方視の受信パルスの計算例である。簡単のために、パルスの半値の時間を測定する場合を想定している。ピーク値を用いた補正を行った場合と補正を行わない場合の測定誤差に大きな差があることが明らかであろう。



レゴリス表面の光散乱測定値を用いた小天体多色カメラ画像の模擬

○川股正和、中村良介、中村昭子、亀井秋秀、向井正
(神戸大・自然)

A simulation of camera images of small body based on the laboratory measurements of light scattering by asteroid surface analogue

○M. Kawamata, R. Nakamura, A.M. Nakamura, A. Kamei and T. Mukai
(Grad. Sch. of Sci. and Tech., Kobe Univ.)

We have performed the laboratory experiments of light scattering by rough surface (asteroid surface analogue) by using He-Ne lasers and a photomultiplier. Here we show the raw photometric data for various samples, and will present the expected camera images simulated for the digital asteroid models rendered with Hapke parameters retrieved from the experimental results.

2002年に小惑星探査機「MUSES-C」が打ち上げられ、本格的に小惑星探査が始められる。サンプルリターンのほか、CCDカメラによる小惑星の全体形状や大きさを調べる形態学的観測が予定されている。また、異なる位相角での多バンドの測光、偏光観測といった科学観測も行われる。

その中でも、形態学的観測は、小惑星の密度やサンプリング場所を決定するために重要である。この観測については現在さまざまな検討、模擬が行われているが、これらの地上シミュレーションで用いる小惑星モデルは、実際の小惑星に近いモデルを使う必要がある。

今回の発表では、実験室で粒子サイズや組成の異なるレゴリス表面をいくつか模擬し、異なる波長のレーザー光をそれぞれ照射して反射光を測定した結果を報告する。反射光特性が波長や位相角に依存する様子を明らかにする。また、その測定値から得られる Hapke パラメータをもとに、完全拡散反射の表面をもつ小惑星モデルではなく、より実際に近い表面反射特性の小惑星モデルについて、カメラ模擬画像を紹介する。

I R A S による小惑星の表層状態の推定

An Estimate of Surface Regolith Conditions
for IRAS Asteroids

長谷川直、安部正真（宇宙研）

Sunao Hasegawa and Masanao Abe (ISAS)

The Infrared Astronomical Satellite (IRAS) which was launched in 1983 observed about 2000 asteroids (Matson 1986, Tedesco 1992). We recalculate albedos and diameters of IRAS observed asteroids with three simple thermal models, recent H, G parameter, and Hapke emissivity, without band-to-band correction. We found that abundance of the asteroid with the near-Earth asteroid thermal model (NEATM) and the isothermal latitude model (ILM) increases and abundance of asteroid with the standard thermal model (STM) decreases, as asteroid diameter decreases. It is shown that thermal conductivity of asteroids increases with the diminution of asteroid size. This result observationally leads that regolith particle size on asteroid surfaces increases as asteroid diameter decreases.

1983年に打ち上げられ、全天の96%をサーベイを行った世界初の赤外線天文衛星であるIRAS（Infrared Astronomical Satellite）は地上の中間赤外望遠鏡による観測数を遥かに上回る2000個近くの小惑星を観測し、そのアルベドと直径のデータを得た（Matson 1986, Tedesco 1992）。但し、アルベドと直径を求める時に使用したモデルは1つのモデルのみであった。今回、我々は3つの簡易熱モデルにて再計算し、その中から最適なものを選び出し、新たにアルベドと直径を求めた。3つのモデルについて、小惑星の直径依存性を調べたところ、小惑星の直径が小さくなるにつれて、表層物質が簡単に暖まりにくい熱モデルの割合が増加する傾向にあることが判明した。この原因としては小惑星表層上の熱慣性の変化が考えられる。この熱慣性の変化に寄与しているのは、構成物質の変化よりもレゴリスの粒径の変化と考えられる。レーダーの観測からの間接的推定や衝突実験データと天体脱出速度からの推定から、小惑星の大きさが小さければ、その表層に構成しているレゴリスの粒径が大きくなると考えられてきたが、我々の結果は観測的にそれと同様な傾向を示した。

REFERENCES

- Matson, D. L. (Ed.) 1986. Infrared Astronomical Satellite asteroid and comet survey: preprint ver. No. 1, JPL Internal Document No. D-3698, JPL, Pasadena.
 Tedesco, E. F. (Ed.) 1992, The IRAS Minor planet survey, Tech. Rep. PL-TR-92-2049. Phillips Laboratory, Hanscom, AF Base, MA.

波長依存性から得られる火星の霧粒子の光学特性

○ 稲田 愛¹, 中村 昭子¹, 中村 良介², 向井 正¹

¹神戸大学自然科学研究科 ²神戸大学総合情報処理センター

Optical Property of Martian Fog Particles

○ A. Inada¹, A. M. Nakamura¹, R. Nakamura² and T. Mukai¹

¹ The Graduate School of Science and Technology, Kobe University

² Information Processing Center, Kobe University

We present a two-layer model for the Martian fog, i.e. the upper layer consisting of the fog particles and the lower layer of the Martian surface. The fog particle is assumed to be a sphere with core-mantle structure, where the core is a Martian dust particle and the mantle consists of the water-ice. We calculate the reflectance of Martian fog based on the Hapke's equations for the bi-directional reflectance. Our results show that the reflectance at the different wavelength depends on the optical depth of the fog, as well as the optical properties of the fog particles. We will show the potential ability to estimate the radii of the fog particles, as well as the column density of the water component, by using the color ratio of the reflectance of Martian fog in terms of the in-situ photometric observations.

はじめに

火星では早朝の反射光強度が非常に高くなる現象がある。これは大気中の水蒸気の凝縮（霧）によるものと考えられている。メカニズムとして、夜間に夜霧として発生していたものと、地表面に凝縮した霜が蒸発し、大気中で再凝縮したものが挙げられる。夜間に成長した霧粒子のサイズは大きく、早朝大気中で急冷した霧粒子は小さい。このため、霧粒子のサイズを知ることと、その量を求めることは発生メカニズムを知る上で重要である。

手法

火星地表面に霧の層が接している 2 層モデルを考え、Hapke モデルからその反射光強度の波長依存性を調べる。このとき多重散乱は等方に反射するとしている。霧粒子は火星大気中に多く含まれているダストを核とし、水の氷をマントルとする粒子である。ダストの光学定数は火星の観測から計算された値 (Ockert-Bell, 1997) を用い、氷の光学定数は実験によって求められた値を使って、霧粒子のアルベド、位相関数を Mie 理論から計算した。計算では、適当なサイズ分布をもつダストに対して凝縮する氷の量を変化さ、霧粒子のサイズと量による波長毎の反射光強度を求める。

結論

上層がダストのみを含むとき、赤の波長域で反射率が高いが、氷のマントル部分が厚くなるに従って波長依存性がなくなる。波長毎の反射光強度の比から霧粒子の核とマントルの比が計算可能である。霧の光学的厚さから霧粒子の数密度を計算することによって、仮定したダストのサイズ分布をもとに大気中で凝縮した氷の量を見積もることができる。

208 黄道光の測光観測と惑星間塵雲の 3 次元モデル

石黒正晃[○]、藤井康正、吉下千秋（神戸大自然）、

中村良介（神戸大情報処理センター）、向井正（神戸大自然）

Photometric Observations of Zodiacal Light and Three-Dimensional Structure of Zodiacal Cloud

M.Ishiguro[○], Y.Fujii, C.Yoshishita, R.Nakamura, T.Mukai(Kobe Univ.)

We present the observational results of the visible zodiacal light obtained at Mauna Kea, Hawaii (4200m) on December 15, 1998 by using a cooled CCD camera. The observation has been done in the region of a helioecliptical longitude ϵ of $50^\circ \leq \epsilon \leq 120^\circ$ and an ecliptical latitude β of $-25^\circ \leq \beta \leq 25^\circ$, which extends the region observed previously by the infrared satellites (IRAS and COBE), as well as our previous observation (Ishiguro et al. 1999), especially towards $\epsilon \leq 75^\circ$. New data have revealed that the feature of the Eos bands detected at $\beta = \pm 10^\circ$ becomes faintly with decreasing the helioecliptical longitude, and finally disappears in $\beta \leq 60^\circ$. Such a ϵ dependence of band feature found by our observation can be explained by taking into account the band structure with increasing a dispersion of inclination angle of the orbits of band particles as the particles approaching the Sun.

黄道光とは惑星間塵によって散乱された太陽光である。一般に、惑星間塵の空間分布構造は非常になめらかであると考えられてきた。ところが赤外線観測衛星 IRAS や COBE によって小惑星ファミリー起源と考えられるダストバンドや、短周期彗星の軌道上に分布するダストトレイルなどが検出された。更には地球軌道付近に分布する太陽を取り巻くリング（レゾナンスリング）も見付かっている。これらの惑星間塵雲の微細構造は、惑星間塵がどのようにして生成され、どのように軌道進化してきたかを知る上で非常に重要な手がかりである。

われわれのグループでは、97年11月のハワイ・ハレボハクでの観測から、地上観測ではじめてダストバンドの観測に成功した。ここでは、フィルターを改良して98年12月15日にマウナケア山頂（4200m）で行った黄道光観測の結果を報告する。用いた測定器は、16mm魚眼レンズに冷却CCDカメラを取り付けたものである。今回の観測では、大気光の寄与を極力避けるために、波長4390–5240 Åの広帯域フィルターを用い、前回97年の観測（太陽離角 $75^\circ \leq \epsilon \leq 90^\circ$ ）よりも広い領域（ $50^\circ \leq \epsilon \leq 120^\circ$ ）を観測することに成功した。

その結果、太陽離角 $\epsilon \leq 60^\circ$ では、小惑星Eosファミリーを起源とするダストバンドがなくなっていることがわかった。この観測結果を説明するためのモデル計算を行なった結果、ダストバンドとして観測されるダスト粒子は、小惑星ファミリーで生成された後、単純にポインティング・ロバートソン効果によって太陽に向かってまっすぐに落ち込むのではなく、軌道面傾斜角の分散を大きくするような軌道進化が起こっていると予想される。この軌道進化は、ダスト同士の衝突によって、引き起こされたと思われる。

有機物の糊効果によるエコンドライト母天体の急速成長

Rapid growth of achondrite parent bodies
due to the effect of sticky organic materials

○香内 晃, 工藤達行, 中野英之 (北大・低温研)
Akira Kouchi, Tatsuyuki Kudo and Hideyuki Nakano
Inst. of Low Temp. Sci., Hokkaido Univ.

We suggest based on heating and collision experiments of organic materials that parent bodies of achondrites had grown very rapidly compared with those of ordinary and carbonaceous chondrites. This rapid growth was due to the occurrence of very sticky organic materials in 2-3.5AU. Achondrite parent bodies melted by ^{26}Al and then differentiated. While, chondrite parent bodies did not melt because of the lack of ^{26}Al .

エコンドライト母天体だけがなぜ火成作用をおこして分化し、普通コンドライトや炭素質コンドライトではなぜ火成作用がおこらなかったのだろうか？ここでは、この問題に答える仮説を提案する。

モデル星間塵有機物の蒸発変成実験（中野，香内 本予稿集参照）から，原始太陽系星雲内では2-3.5AUの領域に有機物が存在したと考えられる．衝突付着実験（工藤ほか 本予稿集参照）からは，有機物粒子は6m/sの衝突速度でも合体がおこることが示される．いっぽう，ケイ酸塩鉱物や氷粒子では，数10cm/sの衝突速度でも反発することが知られている．したがって，有機物粒子が存在する領域(2-3.5AU)では，有機物の糊効果により，他の領域に比べて急速に粒子の合体成長が進んだと考えられる．その領域で急速に成長し， ^{26}Al によって火成作用がおこって分化したのが，エコンドライト母天体である．

いっぽう，有機物の存在しない領域(2 AU より内側)では普通コンドライト母天体が，有機物微粒子の上に氷が凝縮した領域(3.5 AU より外側)では炭素質コンドライト母天体が形成された．両コンドライト母天体とも成長が遅く， ^{26}Al が少なくなってしまったので，火成作用はおこらなかった．しかし，わずかに残った ^{26}Al により，普通コンドライト母天体ではタイプ4-6の変成作用がおこった．同様に，炭素質コンドライト母天体では氷がとけ，タイプ1-2の水質変成作用がおこった．

高速微粒子衝突により形成されたクレーターの解析

Analysis of Crater Formed by Hypervelocity Impact of Micrometeoroid

○ 濱邊 好美、佐々木 晶 (東大・理・地質)

大橋 英雄 (東京水産大)、河村 亨、野上 謙一 (獨協医大)、
矢野 創、長谷川 直 (宇宙研)、柴田 裕実 (東大・原セ)

Yoshimi Hamabe¹, Sho Sasaki¹, Hideo Ohashi², Tohru Kawamura³, Ken-ichi Nogami³,
Hajime Yano⁴, Sunao Hasegawa⁴, and Hiromi Shibata⁵.

1) Geological Institute, University of Tokyo 2) Tokyo University of Fisheries

2) Dokkyo University School of Medicine 4) ISAS

5) Research Center for Nuclear Science and Technology, University of Tokyo

A new type reflectron mass spectrometer is being developed to analyze *in situ* dust particles and identify their origins. To simulate hypervelocity impact phenomena of micrometeoroids in space, preliminary experiments are performed, where impact projectile is silver and iron particles of around 1 μm in diameter and target is aluminum, molybdenum and gold plates. Observations of the impact craters as well as mass analysis of ions generated by hypervelocity impacts have been carried out. The differences of target material and impact velocity cause the different type of impact crater in shape and size.

宇宙空間に存在するダストの化学組成をその場分析するため、ダストの高速衝突を利用した質量分析器の開発を行なっている。宇宙空間におけるダストの高速衝突を実験室で再現するため、東大原子力センター(東海村)にあるヴァン・デ・グラーフ静電加速器を用いて、数 km/sec (約 3–4 km/sec) に加速した微粒子 (Ag: $\sim 1\mu\text{m}$) を、金属ターゲット (Al, Mo, Au) に衝突させた。この場合、衝突粒子・ターゲット物質がそれぞれイオン化・加速され、自由空間中を飛行し、検出器までの到達時間の違いを用いて質量分析を行なうが、ターゲットによって微粒子のイオンが検出されないという結果が得られた。そこで金属ターゲット上に形成されたクレーターの解析を行なった。形成されるクレータ(形・サイズ)の違いやクレータ内の衝突粒子の残存を統計的に調べたところ、アルミターゲットの場合には衝突粒子がターゲットに埋め込まれているのが観察され、十分にイオン化されていないことが分かった。これは飛行時間型質量分析器により得られた結果(銀イオンが検出されない)に一致する。

また、東海村にある加速器では加速された微粒子の速度を決めることができないため、ドイツのマックスプランク核物理学研究所で鉄微粒子($\sim 1\mu\text{m}$)を用いた高速衝突実験を行なった。速度領域を決めて同様の実験を行なったところ、同じ速度領域でもターゲット物質の違いによってクレータ内の衝突粒子(Fe)の残存に違いが見られた。クレータサイズは衝突粒子のサイズに関係するが、衝突粒子のイオン化にはその物性と、ターゲットと微粒子との密度差などが関連していると考えられる。

Impactorの衝突頻度と小惑星レゴリスの厚さ

The impact frequency of impactor and asteroid regolith depth

○道上達広、安部正真、藤原顕（宇宙科学研究所）

○Tatsuhiko Michikami, Masanao Abe, Akira Fujiwara (ISAS)

Depth of the regolith layer on the asteroid is investigated from a statistical point of view. Even though the impactor flux drops sharply with increasing impactor size, the largest impacts on an asteroid can excavate more material than the numerous small impacts. So regolith growth tends to be controlled by the larger impacts. We argue the uncertainties raised by the large impact. It is demonstrated that for old asteroids the probability distributions of regolith depth has the Gaussian distributions, while for young asteroids small deviations of regolith depth are expected. As the results of calculations, regolith depth has approximately an exponential probability density function among equally sized asteroids.

小惑星表面の衝突によって形成されるレゴリスの厚さを見積もることは、小惑星の衝突進化を考える上で重要なパラメーターとなる。しかしその見積もりは、impactorの衝突頻度、escapeするejectaの割合、小惑星の強度、クレーターの大きさなど不確定な要素が多い。過去の研究においてレゴリス層の見積もりは一応は行われてはいるが、最近の探査機による小惑星観測からの結果を十分満たしているとは言えない。そこで本研究では、impactorの衝突頻度など不確定な要素を統計的に扱うことによって、小惑星レゴリスの厚さを求めた。

衝突頻度を考えたときのレゴリスの厚さは、衝突頻度が少ない比較的大きなimpactorで決まる。十分に古い小惑星のレゴリスの厚さは、同じ大きさの小惑星でもばらつきがあり、その分布形はガウス分布になる。一方比較的新しい小惑星は、レゴリスの厚さにばらつきはあまりない。小惑星の数が定常状態になっていけば、新しい小惑星ほど多く、古い小惑星ほど数は少なくなる。したがってその場合、現在存在している同じ大きさの新旧様々な小惑星レゴリスの厚さのばらつきは、指数分布に近い形になる。この分布形は太陽系初期のimpactorの衝突頻度が現在よりも大きくてもほとんど変わらないと考えられる。

高速度衝突における衝撃波減衰の数値シミュレーション および室内実験の結果との比較

Numerical Simulations of Shock Attenuation Induced by Hypervelocity Impact and Comparison with Experimental Results

○ 三谷 典子 (東大/理)、渡邊 誠一郎 (名大/理)、吉田 正典 (物質研)

Noriko K. Mitani¹, Sei-ichiro Watanabe², and Masatake Yoshida³

1. Dept. of Earth and Planetary Physics, Graduate School of Science,
University of Tokyo, Tokyo 113-0033, Japan

2. Dept. of Earth and Planetary Sciences, Graduate School of Science,
Nagoya University, Nagoya 464-8602, Japan

3. National Institute of Materials and Chemical Research,
Ibaraki 305-8565, Japan

In order to obtain the scaling laws on impact fragmentation, the attenuation of shock waves induced by impact events is numerically simulated not only in the strong shock regime where the targets deform like plastic materials but also in more moderate regimes where the peak shock stresses are comparable to the Hugoniot-Elastic-Limit of the target material. The simulations are performed by an axis-symmetric 2D code using the CIP method. The stress distributions and the attenuation of the shock stress in the target are investigated. The numerical results are compared with the experimental results.

高速度衝突による衝突破壊のスケーリング則において固体中を衝撃波がどのように減衰するかは重要な問題である。たとえば Mizutani *et al.* (1990) では衝突点に対する対極点での無次元応力がスケーリングパラメータとなる。ここで無次元応力とは標的の物質強度で規格化した衝撃波応力である。

衝撃波減衰の数値的研究はこれまでもいくつか行なわれているが、応力が標的のユゴニオ弾性限界 (HEL) より十分大きい場合のみである。衝突破壊で重要となるのは応力が HEL より十分大きい場合から HEL と同程度の場合まで広い応力範囲での衝撃波減衰である。

そこで我々は、広い応力範囲での固体中の衝撃波の減衰のしかたおよび応力分布を二次元軸対称系数値シミュレーションで調べている。構成方程式は弾塑性モデル (*e.g.*, Nicholas 1982) を用い、差分法は CIP 差分法を用いている (*e.g.*, Yabe and Wang 1991)。減衰の要因としては、弾丸および標的の自由表面で発生する希薄波の効果と、波面が広がる効果に注目する。本講演では衝突点からの距離に対する衝撃波応力の減衰の数値計算結果を室内実験の結果と比較する。

参考文献

- [1] H. Mizutani, Y. Takagi, and S. Kawakami, New scaling laws on impact fragmentation. *Icarus* **87**, 307-326, 1990.
- [2] T. Yabe and P. Y. Wang, Unified Numerical Procedure for Compressible and Incompressible Fluid, *J. Phys. Soc. Jap.*, **60**, pp. 2105-2108, 1991.
- [3] T. Nicholas, Elastic-plastic stress waves, in *Impact Dynamics* (J. A. Zukas, T. Nicholas, H. F. Swift, J. B. Greszczuk, and D. R. Curran, *Ed.*), 95-104. Willey Interscience, 1982.

シリカエアロジェルへの宇宙ダストの超高速衝突に関する実験的研究

Experimental Study on Hypervelocity Impact of Dust Particles into Silica Aerogel

○ 北澤幸人 (宇宙科学研究所/茨城大学/石川島播磨重工業 (株)) 藤原 顯 (宇宙科学研究所)
 門野敏彦 (物質工学工業技術研究所) 今川吉郎、鎌倉千秋 (宇宙開発事業団)
 岡田 豊、上松和夫 (石川島播磨重工業 (株))

○ Yukihiro Kitazawa (ISAS / Ibaraki Univ./ IHI), Akira Fujiwara (ISAS), Toshihiko Kadono (NIMC)
 Kichiro Imagawa and Chiaki Kamakura (NASDA), Yutaka Okada and Kazuo Uematsu (IHI)

- ABSTRACT -

Silica aerogel collectors (density : 0.03 g/cm³), were impacted at velocities ranging from 1 to 14 km/s with projectiles of aluminum oxide, olivine or soda-lime glass, with diameters ranging from 10 to 400 μm. At impact velocities below 6 km/s, the projectiles were captured without fragmentation by the aerogel collector, and in many instances without complete ablation even at 12 km/s. The shapes and dimensions of the penetration tracks left in the aerogel collector were correlated with the impact parameters, and the results permitted derivation of a series of equations relating the track dimensions to incoming projectile size, impact energy and other projectile parameters. A simplified model, similar to meteor entry-phenomena, was used to predict the trends in experimental penetration track lengths and the diameters of captured projectiles.

ダストを模擬した粒径10μm~400μmのプロジェクトイル (アルミナなど) を超高速でエアロジェルに衝突させ、ダスト捕獲性能を実験的に評価するとともに、衝突孔の形状と衝突パラメータとの相関を研究した結果を報告する。特に本研究では、これまで実験されたことがない広範囲の速度域 (衝突速度 : 1-14km/sec) の実験を行い、衝突孔形状の速度依存性に着目した。

超高速衝突実験の結果、149 個の衝突データを取得した。主要な結論は次の通りである。

1. シリカエアロジェル (密度 : 0.03g/m³) を用いたダストコレクタにより、衝突速度約 6 km/sec までプロジェクトイルをほぼ非破壊で捕獲でき、最高12km/s程度までのプロジェクトイルの捕獲が可能であった。捕獲可能なプロジェクトイルの粒径範囲は概ね以下の条件を満たす範囲となった。

$$D_p \leq 1.2 \cdot 10^7 / \delta V_{imp}^2$$

ここで、 D_p 、 δ 、 V_{imp} は、各々プロジェクトイルの粒径[m]、密度[kg/m³]、衝突速度[m/s]である。

2. 捕獲されたプロジェクトイルは、衝突前と比較して化学組成に変化はみられない。また、光学顕微鏡を用いての観察では衝突孔の中にプロジェクトイルが確認できない場合でも、EDXにより衝突孔の壁面からプロジェクトイルの成分が検出可能な場合がある。
3. エアロジェルに生じた衝突孔の形状と、衝突パラメータ (速度、粒径など) との間には緩い相関がみられた。これらの相関は、ダストコレクタの宇宙飛翔後の回収後検査において、衝突孔の形状の計測から、コレクタに衝突したダストの衝突パラメータを推定することが可能であることを示唆している。
4. 流星の運動理論を基にした簡易解析法は、衝突孔の深さや捕獲粒子径の衝突速度に対する変化を良く説明する。この簡易解析法は、プロジェクトイルがエアロジェルの中を貫通する際に、ダイナミックなドラッグと熱的なアブレーションを被ると仮定したものである。

国際宇宙ステーション (ISS) に於けるダスト捕獲実験 (MPAC) の概要

Mission Plan of Dust-Particles Capture Experiments on ISS

○北澤幸人、河内啓輔、荻原和広 (石川島播磨重工業 (株))
 宮寺 岳仁、中村 龍太 (石川島ジェットサービス (株))
 今川吉郎、鎌倉千秋、中山陽一、 館 義昭 (宇宙開発事業団)

○ Yukihito Kitazawa, Keisuke Kawachi and Kazuhiro Ogiwara (IHI)
 Takehito Miyadera and Ryuta Nakamura (IJS)
 Kichiro Imagawa, Chiaki Kamakura, Youich Nakayama and Yoshiaki Tachi (NASDA)

- ABSTRACT -

MPAC (Micro-Particles Capturer) performs dust particles capture experiments on ISS (International Space Station). Silica-aerogels and micropore foams are used as the dust capturing material, and metal plates are used as dust flux measuring material. MPAC is passive device that needs no electrical power and no communication. Three MPAC units are installed on the outside of Russian SM (Service Module) on orbit. Exposure duration of each unit is about 1, 2 and 3 years respectively. Another one unit is installed on a front surface of JEM (Japanese Experiment Module). After the exposure duration, MPAC units are retrieved to the earth.

国際宇宙ステーション (ISS : International Space Station) において、ダスト (メテオロイド&スペース・デブリ) 環境データの取得を目的としたダスト捕獲実験を行う。ダスト捕獲のための「微小粒子捕獲実験装置」(MPAC : Micro-Particles Capturer) には、インタクト・キャプチャーのためのシリカエアロゲルとマイクロポアフォーム、また、ダストフラックスを計測するための金板、アルミニウム板を用いる。MPAC はロシアのサービスモジュール (SM: Service Module) の外壁、および日本の実験モジュール (JEM: Japanese Experiment Module) の曝露部に取り付けられて実験を行なう (図1)。

1. SM 用 MPAC

SM 搭載用 MPAC はプログレス補給機により 2000 年 12 月に打上げる。3 式の MPAC を、船外活動によって、サービスモジュール(SM)外壁に取付け、各々およそ 1~3 年間宇宙環境に曝露させる。曝露後、MPAC からダスト捕獲材料を取外し、ソユーズにより地球へ回収する。回収は 2002 年 1 月、2003 年 1 月、2004 年 1 月の予定である。なお、MPAC は宇宙ステーションの進行方向及び反対方向の両面にダスト捕獲面を向ける。

2. JEM用MPAC

JEM 搭載用 MPAC は、曝露部に設置される宇宙環境計測ミッション装置 (SEDA/AP) の下面に取付けられる。なお、MPAC は宇宙ステーションの進行方向にダスト捕獲面を向ける。スペースシャトルによって 2003 年に打ち上げられ、1~3年間曝露させた後、シャトルにより地上に回収する。

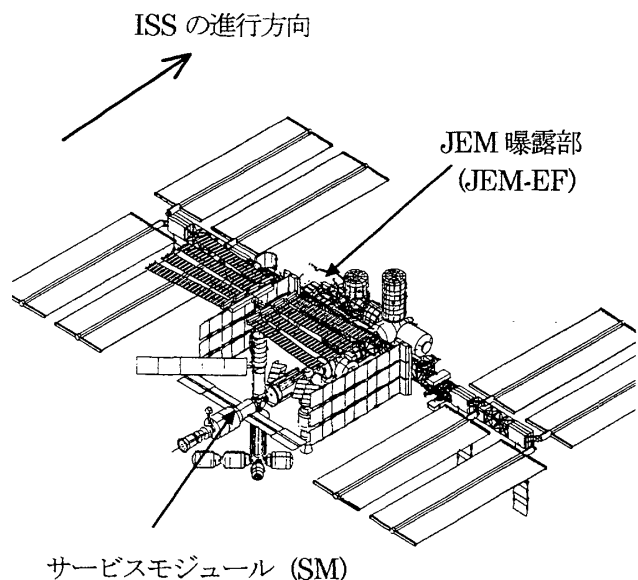


図1 国際宇宙ステーション (ISS)

自転による小惑星の破壊の可能性

Examination of Asteroid Disruption Caused by its Rotation

○疋田 肇、石橋 之宏、水谷 仁（宇宙研）

○Hajime Hikida, Yukihiro Ishibashi, and Hitoshi Mizutani (ISAS)

An asteroid with a shorter rotation period seems to have a smaller aspect ratio than that with a longer rotation period. We study the relationship between the rotation period and shape of asteroids by examining possibility of asteroid disruption by centrifugal force associated with its rotation. We calculated numerically the stress distribution within asteroids with various shapes, sizes, and rotation periods, using the finite element method. The stress is found to be always the largest in the center of the asteroid and proportional to the square of the length of the longest axis, as is inferred from a simple dimensional analysis. The results indicate that a fast spinning asteroid may be disrupted by centrifugal force to become more rounded shape, if the tensile strength is comparable to a cometary nucleus.

小惑星の衝突による進化の過程を考察するためにはそれらの Rotation Parameter が有用である。最近の観測結果から小惑星の自転速度と形状とに有意義な相関があるように見える。例えば小惑星のアスペクト比は自転速度の大きいものほど小さい可能性がある。これを説明する理由のひとつとして遠心力による小惑星の破壊が考えられる。様々なアスペクト比(a 軸/b 軸比)をもつ簡単な小惑星モデルを作り、遠心力による応力分布を有限要素法を使って計算した。形状が回転軸対称なものについては回転楕円体を、回転軸に非対称な形状のものには直方体や円柱をモデルとして用いた。計算結果の精度については、球についての理論的計算と比較して推定した。これらの結果はいずれの形状の場合でも、遠心力による小惑星内部の応力は中心部で最大であり、Von Mises 応力は小惑星の回転軸に垂直な方向の最長軸の長さのおよそ二乗に比例することがわかった。応力の絶対値から考えると、小惑星の引っ張り強度が彗星核程度に小さい場合には、早く回転するアスペクト比の大きな小惑星は破壊されて、アスペクト比の小さな小惑星に変化するものと考えられる。これらの計算結果と観測事実を比較し、小惑星の形状と自転速度について検討した結果を報告する。

日本惑星科学会秋季講演会
アブストラクト

11 月 14 日 (日)
セッション 4
No. P401-P434

画像データによるTychoクレーター周囲のimpact melt解析
○平田成, 大嶽久志, 春山純一 (NASDA)

Analysis of the impact melt around Tycho crater using
Clementine imaging data

○Naru HIRATA, Hisashi OTAKE and Jun-ichi HARUYAMA
(National Space Development Agency of Japan)

We analyzed ejecta distribution of Tycho crater using Lunar Orbiter and Clementine imaging data. Tycho has three types of ejecta materials; glassy radial ejecta, non-glassy blocky ejecta and melt pool. The radial ejecta and the blocky ejecta were ejected and deposited during the excavation stage, and The melt of pools were ejected during the modification stage.

月の表側で最も新鮮な大型クレーターの一つであるTycho (D=85km) を対象として、周囲のクレーター-ejectaの分布について解析を行った。使用したデータはLunar Orbiter V (LO V)とClementine探査機による画像データである。解析にあたっては特にimpact meltの分布に着目した。impact meltの生成と輸送はクレーター形成過程の重要な側面のひとつであるほか、impact meltは特にClementine探査機のマルチバンド画像において容易にその存在を確認できる。

Tychoクレーターの周囲にはdark ringと呼ばれる低アルベドかつ高750/415 nmの領域が存在する。これは地上実験で取得されたガラスに富んだ物質の特徴と一致しており、急冷されたimpact meltが主にクレータ周囲に広がっていることを示すと思われる。また、このdark ringはその分布領域からLO V画像と地質図で類別されている2つのejecta (radial ejecta, blocky ejecta) のうち、radial ejectaに対応していることがわかった。これに対してもう一方のejectaであるblocky ejectaはradial ejectaよりクレーターのリムに近い領域に分布しているが、Clementine画像からはガラス成分をさほど含んでいないことがわかった。ガラス質のimpact meltとは別にクレーターの周囲には低地にmeltが溜まった非ガラス質のmelt poolが多数認められた。これはmeltがある程度まとまった結果、急冷が起こらずに結晶質の岩石になったものと考えられる。

これらの3種類の物質 (ガラス質radial ejecta, 非ガラス質blocky ejecta, melt pool) はそれぞれ以下のような過程でクレーター内部から放出され、堆積したと思われる。radial ejectaとblocky ejectaはいずれもクレーター形成の掘削段階での放出物である。両者の違いはmelt成分の量とブロックサイズであるが、これはクレーター内部での衝突中心からの距離の違いによるものと考えられる。中心近くの物質はより多くのmeltを含み、破碎も顕著になっている (radial ejecta)。これに対し、blocky ejectaは主に衝突中心から離れた物質に由来し、meltをさほど含まず、破碎もやや穏やかでブロックサイズが大きくなっている。melt poolはその産状から明らかに前二者よりは後に堆積したものである。また、主として分布する地域が前二者とは異なることから放出形態も異なっていたことが予想され、おそらくはクレーターの変形段階でクレーター内部から移送されたimpact meltであると思われる。

クレメンタイン画像を用いた月面クレーターの形状分布解析

Crater shape statistics from Clementine images of the lunar surface

○南雲 浩一郎、中村 昭子 (神戸大・自然)

○K.Nagumo, 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. One of previous studies has suggested that such steepening in smaller diameter range is caused by effects of secondary craters. If the statistical ratio of secondary craters among the all craters in the above size range was obtained, we can get more precise crater size-frequency curve, which could be applied to the crater chronology of the lunar surface. In this study, we use the ellipticity as the key parameter in order to get the statistical ratio of secondary craters. We will get the ellipticity distribution from Clementine image data.

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。この原因の1つとして、2次クレーターの影響が考えられている。故に、直径4km以下サイズのクレーターの中で、2次クレーターの割合を出すことが出来たならば、より精度の高い1次クレーターサイズ頻度分布曲線を、月面のクレーター年代学に適用できるものと期待される。今回、統計的に2次クレーターの割合を出す手段として、月面上のクレーターの楕円率(縦横比)を用いる。これまで、衝突速度数kmの衝突実験においては、縦横比1.2以上の楕円クレーターは、 10° 以下の極端な斜め衝突でしかできないとされていたが(Gault, 1978)、Keplerクレーターの周囲の予備的解析によれば、楕円クレーターが多く存在することが分かった(安藤 ほか、1998)。低速度の衝突では、入射角 45° ぐらいの衝突で形成されることが室内実験(小野瀬・藤原, private communication)により示されている。そこで、本研究では、Clementine画像から楕円率分布を求めることを試みた。

月面画像解析による Mare Moscoviense の地質構造調査

Clementine image analysis of Mare Moscoviense

○ 堀忍, 高田淑子 (宮城教育大学地学教室)

○ Shinobu Hori, Toshiko Takata

(Miyagi University of Education)

Clementine UV/VIS images and Lunar Orbiter photographs of Mare Moscoviense are analyzed to investigate the lava distribution and its relation to the geological structure. 3-color composite images show that the mare region consists of two color areas. It indicates the existence of two types of lava flows. It may result from the differences of eruption age, composition, or the depth of magma reservoir.

月の海と呼ばれる火山性地域はほとんどが月の表側に存在しており、月裏側の北半球では、モスクワの海が唯一存在する中規模な火成活動領域として存在する。地殻の厚い北半球で、モスクワの海を形成する火成活動を引き起こした要因、逆に、モスクワの海以外の火成活動を抑制した要因を探ることは、月の過去の内部構造や進化を紐解く上で重要である。そこで、我々は、クレメンタインの月面分光画像解析やルーナーオービターの写真判読により、モスクワの海の溶岩噴出形態や、それらの構造地形との関連等を調査した。

モスクワ盆地は、外輪の直径が 445km で、中心が東経 147° 北緯 24° に位置し、39-41 億年前に形成されたと推定されている [Wilhelms, 1987]。クレメンタイン UV/VIS カメラが撮像した 415nm, 750nm, 950nm の波長のモスクワの海周辺域の画像に、ブラウン大学提供の補正を施し、各波長で合成画像を作成した。さらに、地形の起伏の影響を取り除くために、赤に 750nm/415nm, 青に 415nm/750nm, 緑に 750nm/950nm の比演算画像をあてた 3 色合成画像を作成した [Pieters, et al. 1994]。

USGS 地質図 [Stuart-Alexander, 1978] によると、インブリアンの溶岩が海盆の北東領域に広がっており、南西部には、クレーター密度の高く衝突盆地形成から溶岩流出の間に形成された岩石が露出している。しかし、インブリアンの溶岩地域も、3 色合成画像で、青緑を帯びた北東部地域 (1) と黄色を帯びた中心部地域 (2) の 2 領域に分類される。有色鉱物の多く含まれる玄武岩のような岩石で構成される表層は、3 色合成画像では、緑・黄色を呈することから、これらの 2 地域の違いは、溶岩流出の年代、溶岩組成の違い、あるいは、マグマだまりの深さの違いを反映している可能性が高い。

LUNAR-Aペネトレータによる月熱流量計測；

通信・計測による発熱の影響

Lunar heat flow measurements of Lunar-A penetrator;
the effect of heating by communication and measurements

○吉田 信介、田中 智、宝来 帰一、水谷 仁、藤村 彰夫、早川 雅彦（宇宙研）、
平井 研一（日産自動車）

○Yoshida Shinsuke, Tanaka Satoshi, Hourai Kiichi, Mizutani Hitoshi, Fujimura Akio, Hayakawa Masahiko(ISAS),
Hirai Ken'ichi(Nissan)

In situ heat-flow measurements will be carried out in Lunar-A mission. Detailed analysis of the temperature field within and around the penetrator is required, because penetrator is composite material and heat itself during communication and measurements. The opportunities of communication with LUNAR-A orbiter will come about 10 days and another every two weeks after penetration onto the lunar surface. On the basis of the amount of heating obtained by experiments, we improved numerical simulation to estimate the effect of constant power on heating of 13mW after penetration and heating of 2.4W for 8hours by first communication. The results show that the former makes the temperature difference of the top and bottom of penetrator, which will be the order of 0.1K with no constant heating, about 0.1K lower two weeks after penetration, and the latter makes it about 0.02K lower two weeks after first communication.

ペネトレータによる月熱流量計測は、通信・計測による発熱の影響を考慮して推定をする必要がある。本研究では、これまでに得られた実測発熱量に基づき、発熱の効果を導入した数値シミュレーションを用いて月熱流量計測精度に対する影響を見積もった。考慮したのは、貫入後の動作電源発熱（13mW）、10日後の母船との最初の通信による発熱（約2.4W×8時間）である。定常解析によると、ペネトレータ構体の温度センサーが搭載された上端と下端の温度差は0.1Kオーダーであるが、その値は前者により貫入2週間後において約0.1K減少し、後者により通信実施2週間後（次回の通信時）において約0.02K減少することが確認された。発熱の効果は定常解析では無視できず、非定常解析で補正することが不可欠である。

次期月探査に向けての質量分析ミッション

Science mission using the mass spectrometer for future lunar exploration

○杉原孝充、大竹真紀子、比嘉道也（宇宙開発事業団）

石原盛男、豊田岐聡（大阪大）

Takamitsu SUGIHARA, Makiko OHTAKE, Michiya HIGA (NASDA)

Morio ISHIHARA, Satoshi TOYODA (Osaka University)

Mass spectrometer having laser sampling system have been developed to investigate distribution of age and chemical composition of the rocks on the moon. Age determination needs precise isotopic ratio measurement for noble gas elements, therefore, the MS must have high sensitivity and mass resolution. So, the Mattauch-Herzog double focusing mass spectrometer with line detector or image sensor is adopted. The MS will achieve mass resolution $m/dm = \sim 400$. In situ age determination is a difficult technique, but modified Ar-Ar method would be possible.

我々のグループでは次期月探査計画におけるローバーに搭載する観測機器としてレーザーサンプリング装置を持つ質量分析計を用いたミッションを提案している。今回の講演ではこのミッションの目的と機器の概要について報告する。

このミッションは月岩石の揮発性元素同位体比を精密測定することにより月の起源と進化の謎に迫ることを目的としている。特に希ガス同位体比測定に重点を置いており、その場測定による年代情報の所得を目指している。よってこのミッションでは高精度な同位体比分析を可能にする高分解能質量分析計と周辺システムそしてその場での同位体比分析から年代情報を抽出するための年代測定法の開発が重要な課題となっている。また、レーザー照射時に発生する発光スペクトルを用いた主要元素化学組成分析も検討している。

現在検討中である質量分析計は EI をイオン源とする Mattauch-Herzog 配置二重収束型質量分析計である。磁場セクターには永久磁石を用いるため、質量走査は加速電圧を変化させることにより行う。質量分解されたイオンビームは MCP を用いた 1 次元ライン検出器もしくは 2 次元イメージセンサを用いることにより同時検出される。このとき、質量分解能 $m/dm = \sim 400$ を達成する。これは同位体比測定精度向上と質量走査時の加速電圧の変化を可能な限り小さくするためである。本装置はレーザー加熱によって発生したガスを捕集するサンプリング部、ガスを質量分析計に導入するガスライン、心臓部である質量分析計、これに電源などを含む電気回路部を含めて、リソースとして総重量 8 kg、電力 20 W を見積もっている。現在、特に質量分析計に関して試作に向けての準備を開始している。

レーザーについては Nd-YAG パルスレーザーが有効であると思われるが、まだ決定していない。限られたリソースとサンプリングの効率を考慮しつつ、現在実験によって検討している。また、年代測定法についても Ar-Ar 法の変形による手法で予備実験を行いながら開発を行っている。可能であればその途中経過についても触れたい。

月重力場計測のための SELENE リレー衛星の開発研究

System Design of SELENE Relay Satellite for Lunar Gravity Field Measurements

○岩田隆浩、長柄泰博、小川美奈、米倉克英（NASDA）、
並木則行（九州大学）、花田英夫（天文台水沢）

T. Iwata, Y. Nagae, M. Ogawa, K. Yonekura (NASDA), N. Namiki (Kyushu U.), and H. Hanada (NAO)

We report the system design of the SELENE Relay Satellite for selenodesy mission. Four-way Doppler measurements and two-way ranging measurements relayed by the Lunar Polar Orbiting Satellite and the Relay Satellite will be made to determine the precise orbits. Differential VLBI observation will also be made using radio sources on the relay satellite and the lunar surface. The Relay Satellite is designed to be minimized the mass of 40kg with the octagonal prism structure of 1x1x0.7m and the spin stabilization of about 16rpm. It is expected that our system enables the highest-precise mapping of the lunar gravity field in global area including the far side of the moon.

月の重力場は、Clementine や Lunar Prospector などの月周回の衛星のレンジングによる軌道決定から計測されてきたが、裏側の軌道を低高度で測定できないため表側と比べて精度や分解能が劣っていた。これに対して SELENE では、重力場計測用のミッション機器として、「リレー衛星搭載中継器（以下、機器・ミッションを総称して RSAT）」を用いたドプラ計測（距離変化率計測）及び測距と、「相対 VLBI 用衛星・月面電波源（同、VRAD）」を用いた相対 VLBI（超長基線電波干渉計）観測から、リレー衛星と周回衛星の高精度軌道決定を行い、その解析から月の重力場の裏側を含むグローバルな観測を行うことを計画している。

RSAT では、周回衛星が月の裏側を飛行中に、宇宙研臼田局（UDSC）より送信される搬送波を、リレー衛星→周回衛星→リレー衛星経由の4ウェイでUDSCに折り返して、これをドプラ計測する。同時にリレー衛星から2ウェイでUDSCに折返し、その測距及びドプラ計測を行う。また、周回衛星が月の表側の時、NASDA 宇宙通信所（TACS）と周回衛星による2ウェイの測距及びドプラ計測を行う。月の全球の重力場を約15kmの分解能でのマッピングを行い、70次までの重力場展開係数を明らかにする。

VRAD は、リレー衛星に搭載される衛星電波源（VRAD-1）と推進モジュールに搭載される月面電波源（VRAD-2）から構成され、推進モジュールが月面に軟着陸した後に搬送波を送信する。リレー衛星と月面の電波源からの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桁の精度向上を達成する。

SELENE リレー衛星は重力場計測のための電波の送信・中継を目的とした超小型衛星で、軽量化を実現するために、軽量・高効率のシステムを構築すると共に、観測においても効率的な運用を行う。リレー衛星は高度約2,400km×110kmの月周回楕円軌道に投入され、能動的な軌道・姿勢制御を行わないで、約16rpmのスピンのままスピン安定を図る。各機器の軽量化、消費電力低減及び電源系の運用工夫により、衛星構体サイズ1×1×0.7m（形状：八角柱）、衛星本体質量約40kgの超小型化を達成する。

SELENE 搭載地形カメラの開発研究

Development Study on Terrain Camera (TC) for SELENE mission

○春山純一 (NASDA)、比嘉道也 (NASDA)、平田成 (NASDA)、白石篤史 (NASDA)

○ Jun'ichi HARUYAMA (NASDA), Michiya HIGA, Naru HIRATA (NASDA),
and Atsushi SHIRAISHI (NASDA)

The nearest celestial body to the Earth is the Moon. The investigation of the Moon by space explorer is one of the most effective way to know the origin and evolution of not only the Moon itself, but the Earth.

The Japanese moon mission SELENE (SELEnological and ENgineering Explorer) managed by ISAS and NASDA cooperately, is now in phase D (Proto Model design phase) to be launched in 2003. We are developing a high resolution (10m/pxl) camera named "terrain camera (TC)" for SELENE mission. In this paper we introduce TC current status.

地球に最も近い天体、それは月である。探査機による月の調査は月それ自身だけでなく地球の起源と進化を知る手段として最も有効な手段の一つであろう。宇宙研と NASDA が中心となって進めている我が国の月探査機 SELENE は、フェーズ D (プロトフライトモデル (PM) 設計段階) にあり 2003 年の打ち上げをめざしている。SELENE には、高解像度カメラ TC (Terrain Camera) が搭載される。本稿では、我々は TC の開発研究を紹介する。

地形カメラの主目標は、水平分解能 10m/画素という高解像度撮像を月の全球について行い、月のサブ km サイズの地形を完全把握することである。地形カメラは、前方視と後方視二本を持つ。その B/H (基線/高度) 比は 0.6 であり、立体視によって理想的には 20m 程度の高度分解能が達成される。また、刈り幅はノミナルで 35km であり、一周回後に赤道域でも観測ストラップに重なりを持つように設計されている。画像圧縮は、jpeg 圧縮を用い、ノミナルで 1/3 程度までの圧縮を考えている。

キロメートルサイズのクレーター形状把握は、その地域の相対年代を調べる有効な手段となることを期待している。また、TC の高解像度地形データは、SELENE に搭載される MI (マルチバンドイメージャー) や SP (スペクトルプロファイラ) のデータ解釈の上で貴重な地形斜度情報を提供する。溶岩ドームの形状把握も重要な観測対象である。また、低太陽高度での観測することで、厚みが薄くなかなか同定できない溶岩流の壁を調べ、その噴出規模を調査することも可能であろう。

アポロ計画は人を月に降ろすことが目的であったため、その高解像度画像の取得は、主に赤道域に限られていた。全球では実際には良くても 300m 程度の解像度である (たとえば、Willhelms, "The Geologic History of the Moon", 1987)。アポロ画像は写真画像であるのに対して、TC は CCD デジタル画像でありその処理は格段に行いやすくなると期待される。月の CCD 画像探査としては、クレメンタイン衛星によるものがあるが、その解像度も大体において数百 m/画素である。さらにクレメンタインの場合には太陽光度が高く地形の解析には不向きである。地形カメラは、過去の探査で得られなかった貴重なデータをもたらすであろう。

Petrography of PCA91467

Naoji Sugiura

Department of Earth and Planetary Physics, Univ. of Tokyo, Tokyo, Japan

PCA 91467 is a CH chondrite which is petrographically slightly different from previously studied CH chondrites (ALH85085 and Acfer182). Here, the petrographic features unique to the PCA91467 are described.

First, PCA91467 is not a regolith breccia while both ALH85085 and Acfer182 are regolith breccias. This means that the PCA91467 may provide much clearer evidence on processes that occurred on the parent body.

Second, PCA91467 appears to have been partially hydrated in-situ, while both ALH85085 and Acfer182 contains hydrated materials as clasts. This is one of the consequences that the latter chondrites are breccias. Partial hydration is meant to indicate that there are still a lot of metallic grains while there are hydrated areas. In contrast, in many CM chondrites, hydration is nearly complete leaving only small amounts of metallic grains which are present in chondrules and are protected from hydration by enclosing silicates. Thus, PCA91467 is a rare meteorite which shows an early stage of hydration.

Third, PCA91467 contains C-rich aggregates. A typical shape of these aggregates is spherical, indicative of nebular origin. The largest aggregates are about 60 micrometers in diameter. Such large aggregates have not been reported in other CH chondrites, which may be another consequence of being breccias. The C-rich aggregates consist of organic (or graphitic) carbon and silicates which are hydrated (probably in-situ). These aggregates are carriers of large N isotopic anomalies and considered to be of interstellar origin.

It is concluded that PCA91467 preserves nebular and planetary processes much better than the other CH chondrites.

木星大気の雲対流の数値計算：一般風の鉛直シアアの効果

Numerical simulation of moist convection in Jovian atmosphere: sensitivity to vertical wind shear

○中島 健介, 竹広 真一 (九大院・理),
石渡 正樹 (北大院・地球環境), 林 祥介 (北大院・理)

○K. Nakajima, S. Takehiro (Kyushu University),
M. Ishiwatari, Y.-Y. Hayashi (Hokkaido University)

The sensitivities of the Jovian cloud convection and the structure of the Jovian atmosphere to the vertical shear of basic horizontal wind presumably associated with the zone-belt pattern are examined using a two-dimensional cloud convection model. It is found that convective motion exhibits significant deformation when the velocity difference between the bottom and the top of the convection layer exceeds the velocity scale of convection. In such a case, compared with the case without vertical shear, the relative humidity of the convection layer is much higher, and the static stability in the lower part of the convection layer is smaller.

1. 研究目的及び手法

木星大気には縞・帯に対応した一般東西流が存在するが、これが相当の鉛直シアアを伴っている可能性がある。そこで、鉛直シアアが雲対流および大気構造に及ぼす影響を、単純化した雲微物理を含む高分解能の二次元対流モデルを用いて調べた。対流圏上部を一定の割合で冷却することによって雲対流を駆動し、長時間の時間積分を行なう。

2. 結果

湿潤対流層全体にわたる鉛直風速差が雲対流の渦運動の速度スケールを越えると、対流が著しく変形される(図1)。この様な場合、対流層の平均構造は以下二つの影響を受ける。第一に、雲対流層中部に存在する相対湿度最小層における湿度が、数倍に増大する(図2)。第二に、雲対流層下部の温度勾配が大きくなり、対流不安定の度合も大きくなる。

3. 考察

上のようにシアアは個々の対流雲の生成・発達を妨げるが、放射強制が固定されていることは、対流熱輸送の総量がシアアによらず一定である事を要請するので、対流を促進する場の変化が必要になる。上の大気構造変化は、まさに対流雲の生成を促す傾向のものである。



図 1: シアアがある実験での鉛直速度のスナップショット。上昇しつつある対流雲を拡大している。正の値を白、負の値を黒のグレイスケールで示す。

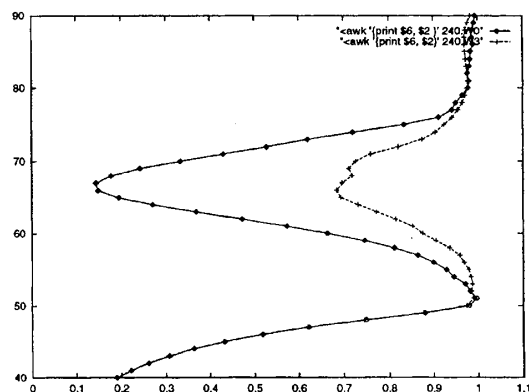


図 2: 相対湿度の鉛直分布。鉛直座標 50-90 が湿潤対流層。丸印はシアア無し、十字はシアアあり。

惑星リングの N 体計算 -角運動量輸送機構の解明-Local N -body simulations in planetary rings

-understanding of angular momentum transport process-

° 台坂博、田中秀和、井田茂 (東工大・地惑)

° Hiroshi Daisaka, Hidekazu Tanaka, and Shigeru Ida (*Tokyo Inst. Tech.*)

Planetary rings such as Saturn's B-ring are one of disk systems in which angular momentum transport is physically important property in order to understand the evolution and the stability of the system. We have investigated the mechanism of angular momentum transport in a ring with self-gravitating, inelastic particles by the local N -body simulation. Our simulation result shows that the rate of angular momentum transport due to self-gravity is comparable to the rate due to other transport mechanisms (local and collisional contributions) in the case where inhomogeneous, non-axisymmetrical structure is strongly developed by gravitational instability, whereas self-gravity is less significant in the case where gravitational instability does not arise.

土星や天王星に見られるような惑星リングは、多数の粒子からなるディスク系である。角運動量輸送率はディスク系の重要な物理量であり、土星 B リングにみられるレコード盤状の構造の起源やリングの寿命の問題を議論する上で、どのような輸送機構によりどの程度の角運動量が輸送されるかを知る必要がある。特に自己重力が角運動量輸送に与える効果については分かっていない。リング粒子系は非弾性衝突によるランダムエネルギーの散逸のため、その散逸の割合が大きくなると自己重力不安定が生ずる可能性がある。自己重力不安定は非一様な粒子分布構造を形成し、それによって角運動量の輸送が効率的に行なわれると考えられるが、どの程度輸送に重要な役割を果たしているのか定量的に求められていない。本研究では、自己重力相互作用のある、非弾性球の粒子からなるリング系の中で輸送される角運動量輸送を、局所系の N 体計算によって求め自己重力粒子ディスク中での輸送メカニズムを明らかにする。

粒子ディスク系の角運動量は主に、粒子の直接の移動による輸送 (local), 衝突による輸送 (collisional), 自己重力による輸送 (gravitational) の 3 つに分類される。mean free path と粒子半径が同程度になると衝突による輸送が効く。重力による輸送は銀河に見られスパイラルアームのような非軸対称構造が形成されると重要な効果になる。重力による角運動量輸送の詳しい解析から、ある着目した粒子の角運動量輸送に大きく影響を与えているのは、その粒子を中心とした、半径が重力不安定の典型的な波長程度の領域の中にいる粒子であり、それ以上遠い領域に存在する粒子からの寄与は小さいことが分かった。また粒子数密度を変えた計算を行ない角運動量輸送の粒子数密度依存性を調べた結果、粒子数密度が小さい場合は重力不安定による構造が発達していないので自己重力による輸送の割合は他の輸送プロセスに比べてかなり小さいが、粒子数密度の増加に伴い重力不安定が生じ、それによって非一様な空間構造が形成されると重力による角運動量輸送率は他のプロセスによる輸送率と同程度になっている。このように自己重力は角運動量の輸送メカニズムにおいて重要な役割を果たしている。

Formation of Polar Cap under Martian Paleoenvironment

○横畠徳太, 倉本圭, 小高正嗣, 渡部重十 (北大・理)

○Tokuta Yokohata, Kiyoshi Kuramoto, Masatsugu Odaka, and Shigeto Watanabe
(Division of Earth and Planetary Sciences, Hokkaido University)

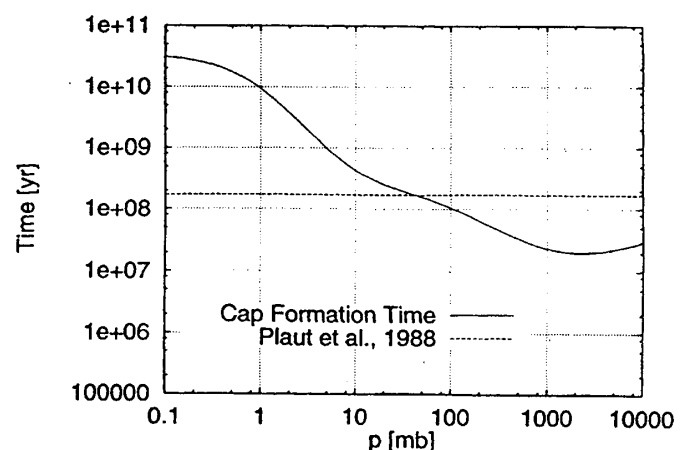
Fluvial surface features strongly suggest that a lot of H_2O was distributed globally over the Martian surface. However, at present, a large quantity of H_2O is observed only in the north and south polar caps. How, and under what conditions did globally distributed H_2O gather to the polar caps? To answer this question, we simulated formation of the Martian polar cap under various atmospheric CO_2 pressures, using a climate model modified from Gierasch and Toon (1973).

As a result, we found that 1) the equator-to-pole H_2O transport depends strongly on the atmospheric pressure, and 2) the time for cap formation becomes shorter as the atmospheric pressure becomes higher, because of the high polar temperature.

流水地形の存在から、火星表層にはかつて大量の H_2O が全球的に存在していたと考えられている。しかし現在は、大量の H_2O は南北の極冠においてのみ観測されている。全球に分布していた H_2O はどのような気候のもとで、いかにして極冠に集まったのだろうか? この疑問に答えるために、本研究では極冠の形成をシミュレートする。そのために Gierasch and Toon (1973) による極および赤道域の大気・地表面におけるエネルギーバランスモデルを改良し、極への H_2O の輸送を取り入れたモデルを構築した。

このモデルを用いて、過去の火星において想定される様々な大気圧のもとでの極冠形成時間を計算した。その結果、次のことが明らかになった。1) 大気中の水蒸気輸送量は大気圧に強く依存する。2) 大気圧が高いほど赤道から極への熱輸送量により極域の温度が上昇し、極冠形成時間は短くなる。

このモデルでは、大気の温室効果、大気と地表面の H_2O のやり取り、アイスアルベドフィードバックなど、極冠形成に重要な役割を果たすと考えられる過程がまだ取り入れられていない。これらのプロセスを考慮に入れ、現在のような極冠が形成される条件を詳しく求めることにより、火星気候の進化に関して新たな知見が得られることが期待される。



(右上図) [実線] 様々な大気圧に対する現在の極冠(体積 $\sim 10^6 km^3$)の形成時間。

[点線] クレーター地形から推定される堆積率 (Plaut et al., 1988) によって求めた極冠形成時間。

火星大気放射対流の数値計算

A numerical simulation of Martian atmospheric convection driven by radiative forcing

° 小高 正嗣 (東大・数理科学), 中島 健介, (九大・理), 石渡 正樹 (北大・地球環境), 林祥介 (東大・数理科学)

° M. Odaka (University of Tokyo), K. Nakajima (Kyushu University),
M. Ishiwatari (Hokkaido University), Y.-Y. Hayashi (Hokkaido University)

Martian atmospheric convection driven by radiative forcing is examined by the use of a 2-dimensional anelastic model. As for the radiation process, only the CO_2 15 μm band is considered. Absorption of solar radiation and radiative processes due to dust particles are not implemented. The surface temperature is given to be a simplified form of observational diurnal change. The activity of convective plumes is suddenly intensified when the inversion layer near the surface disappears. At day time, the convective mixed layer extends to 15 km height and both of the horizontal and vertical wind velocities reach the maximum value of about 20 m/sec.

1. 目的と手法

火星大気における放射対流の自然な姿を観察するために, 簡単な放射過程を含んだ非弾性系二次元モデルを用いて火星大気放射対流の数値計算を行なった. 放射過程として CO_2 15 μm バンドの赤外放射だけを扱い, ダストの効果は考慮しない. 地表面温度は日変化を簡単に表現するような形で境界条件として与えた. 計算領域は水平に 51.2 km, 鉛直に 20 km である.

2. 計算結果

計算開始後 6 日目の LT=10:00 以降の対流の時間変化の様子を図 1 に示す. 対流は夜間に形成された逆転層を解消すると急激に発達する. 日中時の対流は高度 15 km 付近にまで及び, 平均的な風速の大きさは鉛直, 水平風ともに 20 m/sec 程度となった.

3. 考察

高度 15 km 以上の領域は 6 日目以降も放射冷却されていた. したがって対流プルームの貫入できる高度はさらに高くなると予想される. 今後は計算時間をさらに延長し, 自然な対流層の厚さとその日変化を明らかにする予定である.

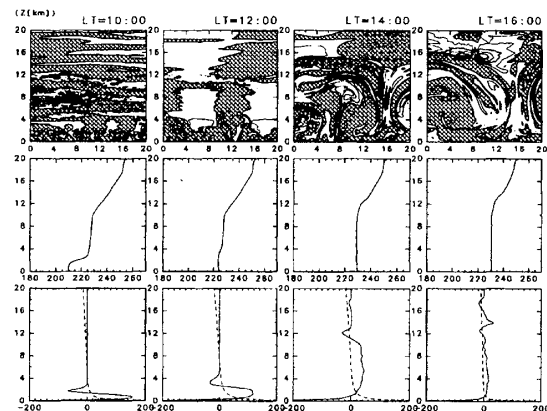


図 1: LT=10:00 から 2 時間おきの対流の時間変化. (上段) 温位偏差の水平鉛直分布. 軸の単位は km. 等値線間隔は 1 K. 負の領域にトーンを貼ってある. (中段) 水平平均温位の鉛直分布. 横軸単位は K. (下段) 温位に対する水平平均加熱率の鉛直分布. 横軸単位は K/day. 実線は対流による加熱, 点線は放射による加熱/冷却を表す.

原始月円盤の進化に伴う熱収支について About Heat Generation in the Evolution of Protolunar Disk

○武田 隆顕、井田 茂 (東工大・地惑)

○Takaaki Takeda, Shigeru Ida

Dept. of Earth and Planetary Science, Tokyo Institute of Technology

We have investigated the heat generation during the lunar accretion process from proto-lunar disk. Recent N-body simulations showed that the time scale of the lunar accretion process from protolunar disk is quite short within a month to a year. However, this rapid lunar formation may generate a large amount of heat due to energy dissipation of colliding bodies and release of gravitational energy. We followed the heat generation by direct N-body simulations, and we present the results of these simulations.

本研究では、原始月円盤から月に集積する過程に発生する熱を考慮した月集積過程について調べた。巨大衝突説に基づいた月形成シナリオでは、原始地球に火星程度の微惑星が衝突することにより地球のまわりに原始月円盤が形成され、そこから月が集積したと考えられている。原始月円盤が固体の粒子から構成されているとして、全ての粒子の運動を追ったN体シミュレーションの結果によれば、初期に原始月円盤が地球のロッシュ半径内に分布していても、原始月円盤が拡散することでロッシュ半径の外に物質が供給され、1ヶ月から1年程度という短い時間で、ロッシュ半径のすぐ外に月が形成されるという結果が得られている (e.g. Ida et al. 1997)。

しかし、このような速い原始月円盤の進化が起きる場合には、原始月円盤の進化に伴うエネルギーの散逸や、月の集積による重力エネルギーの解放により大きな熱が発生するであろう。原始月円盤の熱的な進化は、月の化学組成にも影響を及ぼすことが考えられる (Abe et al. 1998)。また、固体粒子の気化などが起これば、原始月円盤が固体粒子からなるとして行なったN体計算にも再検討が必要となるであろう。今回、N体シミュレーションによって原始月円盤の進化に伴うエネルギー散逸と重力エネルギーの解放により発生する熱を追う計算を行ない、その結果を報告する。

マントル対流による混合過程の基礎数値実験 ：幾何効果と粘性率の温度依存性

中川貴司（東大院・理）

本多了（広大・理）

We investigate the pattern of mantle convection with the effect of chemical heterogeneity at the bottom of mantle that is called by D" layer. We carry out numerical experiments of thermo-chemical convection which we improve a numerical model of thermal convection with variable viscosity in a cylindrical shell. Our improved model assumes tracer particle method to calculate chemical heterogeneity. Results of our simulations are shown that time scale of keeping heterogeneity at the base is short in low chemical buoyancy parameter and this is long in high chemical buoyancy parameter. Assuming temperature dependent viscosity, time scale of keeping heterogeneity in uniform viscosity is shorter than that in temperature dependent viscosity.

本研究ではコア-マントル境界の直上数百 km 付近に存在している D"層が熱化学境界層とした場合に生じるマントル対流のパターンへの影響を熱化学対流の数値シミュレーションモデルを用いて調べた。D"層は地震波の観測から周囲のマントルより S 波速度が 10% 程度遅くなっていることが分かっている。またその低速度域の分布は球関数展開の次数 2 のパターンを持つことが知られている。これは D"層が熱化学境界層として取り扱えば説明できると考えられている [Lay et al, 1998]。D"層を熱化学境界層として取り扱える根拠の候補は 3 つある。1 つは D"層が初期地球の分化の途中段階で作られた。もう一つはコア-マントルの化学反応がコア-マントル境界付近の温度圧力状態で生じコアの鉄がマントル側に分配されて D"層が形成されている。最後はスラブがコア-マントル境界まで沈み込んで作られた、つまりスラブ物質の残骸であると考えられている [Tackley, 1998]。

この効果を考えたマントル対流の研究はいくつかある。それらの結果をまとめて述べると、熱化学対流の対流パターンの理解に必要なものでは化学浮力パラメータ $B = \Delta\rho_c/\Delta\rho_T$ の存在である。このパラメータの物理的な意味は化学浮力が熱浮力に対してどれだけ強いかをあらわしている。D"のような化学不均質が長時間マントル中に残るために必要な B の値は $B \geq 1 \sim 2$ であると考えられている [Kellogg and King, 1993]。また粘性率の温度依存性の効果も重要な要因である。これは粘性率が表面に行く程高くなることから、ある程度大きな化学浮力パラメータと粘性率の温度依存性をもつ熱化学対流では化学不均質を表面に持っていきにくくする役割がある。つまり D"のようなマントル底部のたまっている不均質をより安定化させる方向に働かせる [Christensen, 1984; Tackley, 1998]。しかしこれらの研究では実際の地球の形に近い幾何形状が与える効果についての議論はあまりなされていない。

そこで本研究では地球に近い幾何形状として、球殻の断面として取り扱える 2 次元極座標系において粘性率の変化する熱対流モデルを熱化学対流モデルに改良したものを用いる。化学組成の計算には粒子追跡法をもちいて計算した。計算に用いたパラメータは化学浮力パラメータ ($B = 0.3, 0.5, 1.0, 1.5$) と粘性率の温度依存性の強さ $E = \ln \Delta\eta$ である ($E = 0, \ln 500$)。

計算結果について述べる。 B の効果については従来からいわれている通り、 $B = 1$ という値がマントル底部に化学不均質が長い時間残ることができるかどうかの境界である。次に粘性率の温度依存性の効果について述べると、粘性率が一樣の場合と粘性率の温度依存性を考えた場合において化学不均質がマントル底部にとどまることのできる時間スケールをくらべると一樣粘性の場合の方が短い時間で不均質が対流層全体に広がっている。これらの結果より、D"がマントル底部で存在するためには B が 1 以上の値を取るほかにある程度粘性率の温度依存性の強さが必要であることが分かった。

超新星爆発時における軽元素合成 — ニュートリノ照射モデルによる影響 —

Light Elements Synthesized in a Supernova
- Influence of Neutrino Emission Models -

◦ 吉田 敬、榎森 啓元、中澤 清（東工大・地惑）

Takashi Yoshida, Hiroyuki Emori, Kiyoshi Nakazawa

Dept. of Earth and Planetary Sciences, Tokyo Institute of Technology

In order to establish a suitable manner for finding presolar grains of supernova origin, we simulated the explosive nucleosynthesis of light elements, i.e., the CNO-elements and the X-elements (Li, Be, B) in the He-layer and the H-rich envelope of a $16.2 M_{\odot}$ supernova and calculated their final abundances and isotopic ratios.

In this study we investigated the influence of a variety of the adopted neutrino emission models, i.e., the decay time of the neutrino flux and the total energy carried by neutrinos. We also propose useful diagrams between two isotopic ratios, which help us to find presolar grains of supernova origin.

プレソーラーグレインは数桁にわたる同位体異常を持つことからさまざまな星の元素合成過程の痕跡を残していると考えられている。本研究では超新星爆発起源のプレソーラーグレインを判別する手法を確立するため、超新星爆発時にヘリウム層と水素層で生成される Li、B という微量軽元素と CNO 元素の生成量と生成量比のとりうる範囲を求めた。今回は特に、これら軽元素生成量と生成量比のニュートリノ照射時間、全照射量による影響を調べた。爆発モデルは Shigeyama and Nomoto(1990) の $16.2 M_{\odot}$ presupernova の構造を基に密度構造を半径のべき乗で近似した球対称爆発モデルを用いた。ニュートリノ照射モデルは Woosley *et al.* (1990) のモデルを用い、ニュートリノ照射時間は 1, 3, 10 秒、ニュートリノによって運ばれる全エネルギーは 1×10^{53} 、 3×10^{53} 、 6×10^{53} erg として計算を行なった。

得られた結果は以下の通りである。超新星爆発時に生成される ${}^6\text{Li}$ と ${}^9\text{Be}$ の量は非常に少ない。得られた ${}^6\text{Li}/{}^7\text{Li}$ 比、 ${}^9\text{Be}/{}^7\text{Li}$ 比は 2×10^{-4} 以下で、太陽系元素存在度における比よりも非常に小さい。それ以外の Li、B は主にヘリウム層で生成されるがその生成量はニュートリノ照射モデルによって 5 桁程度変わり得るなどモデル依存性が強い。しかし、 ${}^{11}\text{B}/{}^7\text{Li}$ 比については 1 桁程度という狭い範囲に収まった。 ${}^{12}\text{C}$ と ${}^{16}\text{O}$ を除く CNO 元素はヘリウム層の中において主に質量座標やニュートリノ照射モデルに依存する。一方、CNO 元素の同位体比はニュートリノ照射モデルに対して 1 桁程度しか変わらない。これらの結果をふまえ、ポスターでは超新星爆発起源のプレソーラーグレインを判別するのに有用な同位体比相関図を示し、超新星爆発起源のプレソーラーグレインがとり得る同位体比の範囲について議論する。

巨大衝突後の地球と月の共成長進化;
Lunar impact ejecta の脱出による角運動量の減少

○森島龍司 渡邊誠一郎 (名大・理)

Co-accretional evolution of the Earth-Moon system after the giant impact;
reduction of the angular momentum by escaping of Lunar impact ejecta

○Ryuji Morishima and Sei-ichiro Watanabe

Department of Earth and Planetary Sciences, Nagoya University

Recently, the giant impact is considered to have occurred in the course of the Earth's accretion. In co-accretional stage after that, much of Lunar impact ejecta would be ejected to circumterrestrial orbit due to high velocity impact. Orbital calculations of the ejected particles with various mass ratio and semi-major axis of the satellite show 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 giant impact occurred at $0.6 - 0.7$ Earth's mass as about $1.2 - 1.3$ times larger than that of the present Earth-Moon system.

月起源説の最有力である巨大衝突説は、地球月系形成の様々な力学的、地球化学的制約条件を説明するのに好都合な説と考えられている。しかし、SPH 法による衝突のシミュレーションや、原始月ディスクの集積の N 体計算 (e.g. Cameron and Benz 1991, Ida et al. 1997) の結果、原始地球とインパクトの質量和が $1M_E$ (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、月ほどの大きな衛星の形成は困難であることが指摘された。その問題に対し、Cameron and Canup (1998) は質量和が $0.6 - 0.7M_E$ で角運動量が $1.0 - 1.25L_{EM}$ の衝突のシミュレーションを行い、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を示した。

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、衛星の質量比が小さく軌道半径が小さいほど、Ejecta の衛星への再集積率は大きくなる傾向はあるものの、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たした、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 $0.6 - 0.7M_E$ の時に起こった巨大衝突の角運動量は、 $1.2 - 1.3L_{EM}$ 程度であったと考えられる (太陽潮汐の寄与は $0.1L_{EM}$ 以下)。Cameron and Canup (1998) の結果によると、質量和が $0.6 - 0.7M_E$ の $1.0L_{EM}$ の衝突と $1.25L_{EM}$ の衝突では、形成される原始月ディスクの質量が倍も異なるので、本研究の角運動量減少のメカニズムは非常に重要であると考えられる。

Evidence for early stellar encounters in the orbital distribution of Edgeworth-Kuiper Belt objects

○ 井田 茂 (東工大地惑)

John Larwood (*Queen Mary & Westfield College*)

Andreas Burkert (*Max-Planck Institute fur Astronomie*)

We have investigated effects of early stellar encounters on a proto-planetary disk (planetesimal disk) and found that they can explain the high eccentricities and inclinations observed in the outer part ($> 42\text{AU}$) of the Edgeworth-Kuiper Belt (EKB). The proto-sun is considered as a member of a stellar aggregation that undergoes dissolution on a timescale $\sim 10^8\text{yrs}$, such that a planetesimal disk experiences a flyby encounter at pericenter distance (q) on the order of 100AU . We simulated dynamical evolution of a planetesimal (test particle) disk perturbed by a passing star. We show that the stellar encounter pumps the velocity dispersion in the disk in the outer parts ($> 0.25q$). Planet formation is forestalled in that region. We also find that a stellar encounter with pericenter distance $q \sim 100 - 200\text{AU}$ could have pumped up the velocity dispersion of EKB objects outside 42AU to the observed magnitude while preserving that inside Neptune's 3:2 mean-motion resonance (located at 39.5AU), which allows for the efficient capture of objects by the sweeping of the 3:2 resonance during orbital migration by proto-Neptune.

火花放電・陽子線照射によって模擬原始大気中に生じるプラズマの分光診断

○坂上恵一郎*, 松井孝典*, 杉田精司*, 小林憲正**, 潮賢太郎**

*東京大学大学院理学系研究科地球惑星物理学専攻

**横浜国立大学工学部物質工学科

Spectroscopic analysis of chemical gas species in the plasma produced by electric discharge and proton irradiation

○Keiichirou Sakagami*, Takafumi Matsui*, Seiji Sugita*, Kensei Kobayashi**, and Kentarou Ushio**

*Graduate school of Science, University of Tokyo

** Faculty of Engineering, Yokohama National University

The synthesis of amino acids by electric discharge (or proton irradiation) in the simulated proto-earth atmosphere has been tried experimentally since the first success by Miller and Urey(1953). However, the formation process of amino acids has not been understood well. In this study, we made spectroscopic analysis of chemical gas species in the plasma produced by electric discharge and proton irradiation in order to reveal the mechanisms of amino acids formation.

原始地球上でどのような様にして無生物的に生体関連分子が生成されたかを検証するために、原始地球環境を模した条件下で様々な有機物合成実験がなされてきている。例えば原始地球大気を模した混合ガス中で火花放電や陽子線照射を行うと種々のアミノ酸が生成されることが確認されている。これまでの研究では出発材料として様々な組成の混合ガスを与え、それに放電などのエネルギーを加えることによって最終的に生成される有機物を確認してきた。しかし、どのような過程を経て原始大気から有機物が生成されるに至るかその反応のプロセスについては明らかにされていない。そこで本研究では原始地球上での有機物の生成過程を検証するために、火花放電や陽子線照射によって生じるプラズマ中の発光分子種を分光器を用いてその場分光観測した。

放電実験に関しては710ml フラスコ中に模擬原始大気として700TorrのCH₄(またはCO)-N₂の1:1混合ガス、及び水20mlを封入しフラスコ内に挿入した一対のタングステン電極間で火花放電を行った。放射光はレンズで集光され、光ファイバーを通り分光器に入り、回折格子で回折されたあとCCDカメラで検出された。陽子線照射実験に関してはガラス容器中に模擬原始大気として700TorrのCH₄(またはCO)-N₂の1:1混合ガス、及び水20mlを封入し、van de Graaff 加速器(東京工業大学)からの3MeV陽子線を照射した。放射光は放電実験の場合と同様、レンズで集光され光ファイバー、分光器を通りCCDカメラで検出された。

放電実験ではCH₄-N₂-H₂O系、CO-N₂-H₂O系ともにC₂、CN、CH、H、N₂など複数の発光分子種が観測されたが、陽子線照射実験ではCH₄-N₂-H₂O系、CO-N₂-H₂O系ともにCN分子が観測された。

固体細粒層による散乱光の偏光測定実験

Polarimetric Measurements of Scattered Light by Particulate Layer

○亀井秋秀、中村昭子（神戸大・自然）

○A. Kamei and A. M. Nakamura

The Graduate School of Science and Technology, Kobe University

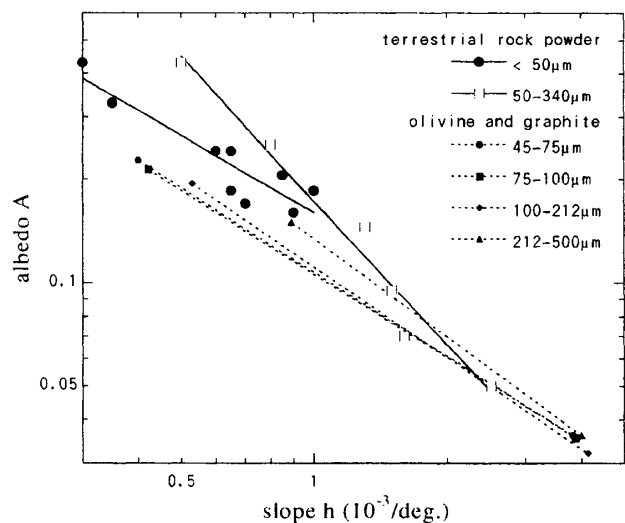
The Japanese mission for asteroid sample return (MUSES-C) launched in 2002 will perform polarimetric measurements by using a CCD camera. It is known that the polarization phase curve contains information about the physical properties of planetary surfaces. Here we concentrate on how the empirical relationship between the slope and the albedo is dependent of the size distribution of the regolith particles, referring to our laboratory measurements on varieties of pulverized samples.

近年探査機による小惑星など太陽系内小天体のその場観測が行なわれるようになって、小天体表面の詳細な情報を得ることができるようになった。2002 年に打ち上げが予定されている小惑星探査計画「MUSES-C」では、表面の一部に偏光子を貼り付けた可視 CCD カメラ (AMICA) を用いて偏光観測を試みようとしている。過去に行われた地上観測や隕石、地球の岩石試料による偏光測定実験の結果から、小天体表面はレゴリスと呼ばれる数十～数百 μm サイズの細粒層で覆われており、偏光位相曲線からその表面状態を推定できることが知られている。

MUSES-C の偏光観測では探査機の運用上の問題で高位相角での測定による極大偏光度の決定が困難であり、また、低位相角での測定による極小偏光度や偏光度が 0 になる位相角などの決定もカメラのデータの精度上難しいかもしれない。そこで我々は、偏光位相曲線の勾配 (h) とアルベド (A) の関係からレゴリス粒子の粒径に制限が与えられるかどうかの検討を行う。一般的にこの勾配とアルベドの関係は slope-albedo law (Lupishko *et al.* 1996) と呼ばれ、以下のような関係式で表されるが、

$$\log A = C_1 \log h + C_2$$

右図のような地球の岩石試料 (Greake *et al.* 1986) や我々のオリビン (Mg_2SiO_4) やグラファイト (C) の微粒子による室内実験の結果 (古我知 1999、亀井他 1999) から C_1 、 C_2 と粒径には関連性があるように思われる。さらに実験データを増やしてこの関連性について詳しく検討することが目標である。



南極ドームFujiの非溶融マイクロメテオライトの中性子放射化分析

Instrumental neutron activation analysis for unmelted
micro meteorites 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 (独協医大),
横田裕子 (青山学院大理工), 野口高明 (茨大理)

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

Unmelted micro meteorites (UMM) were separated from deposit in water tank of the dome Fuji station, Antarctica. Chemical compositions in 4 UMMs have been analyzed by instrumental neutron activation analysis (INAA). The results show high Au and Ir contents. This suggests that possible origin of 4 UMMs are extraterrestrial. We will also discuss technical problems of INAA for $1\sim 10\mu\text{g}$ weight of UMM samples.

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から分離した非溶融マイクロメテオライト (UMM) 4 試料 ($1.9\sim 10.7\mu\text{g}$) について, 機器中性子放射化分析 (INAA) で化学組成を求めた. その結果, どのUMMからも高濃度のAu, Irが検出された. すなわち, これら4試料が宇宙起源であることが証明された.

本研究で, $2\sim 10\mu\text{g}$ といった超微小試料についても, その化学組成をINAAで分析可能であることが証明された. しかし, UMM試料は球粒宇宙塵 (spherule) に比べて, 大きさ (直径数 $10\mu\text{m}$ 以上) の割りに軽く (spheruleにくらべ, 約10分の1) こわれやすい. このようなUMM試料のINAAでは, 従来のspherule試料の分析法にくらべ, 試料の取扱を中心に, 技術的改良が必要である. ここではUMM試料のINAA特有の技術的問題点も議論する.

温度変化に伴うオリビンの反射スペクトルの変化

The influence of temperature on the spectra of olivines

○比嘉道也, 大嶽久志, 大竹真紀子, 杉原孝充 (NASDA)

○Michiya Higa, Hisashi Otake, Makiko Ohtake, and Sugihara Takamitsu (NASDA)

Remote sensing analysis of common mafic silicates on small bodies like asteroids and moons may be in error unless temperature effects are considered. In this paper, we have systematically investigated the influence of temperature from 50 to 500 K on the visible and near-infrared diffuse spectral reflectance of Fo40 and Fo60 olivines. The position of the reflectance minimum in the $1\ \mu\text{m}$ absorption band region remained fairly constant. On the other hand, the bandwidth of this band narrowed with decreasing temperature. The temperature effect on the bandwidth change was larger with increasing Fe-content.

1. はじめに：可視-近赤外反射スペクトル観測は、月や小惑星等の大気のない小天体の表層鉱物分布やその鉱物組成を知るための重要な観測手法の一つである。これまでに地上観測や惑星探査衛星による小天体のスペクトル観測が多く行われている。観測データを解釈するために、様々な鉱物の反射スペクトルが室内実験で測定され、観測データの比較解析が行われている。これまで反射スペクトルは、鉱物組成・粒径依存性に着目して測定が行われてきた。しかし、惑星表層の温度環境は 100-500 K まで幅広いので、スペクトルの温度依存性は観測データを解釈する上で無視できない可能性がある。本研究では月惑星表層の主鉱物の一つであるオリビンの反射スペクトルの温度依存性について測定した。

2. 測定：試料は、粒径約 $50\ \mu\text{m}$ 以下のオリビンの粉体を用いた。オリビンの組成は、Fo60 ($(\text{Mg}_{0.6}, \text{Fe}_{0.4})_2\text{SiO}_4$) と Fo40 ($(\text{Mg}_{0.4}, \text{Fe}_{0.6})_2\text{SiO}_4$) を用いた。反射スペクトルは、試料温度 50-500K の範囲で変化させ、光源の入射角（試料面の法線方向と光源のなす角）30 度、出射角 0 度で、波長領域 250-2600nm における相対拡散反射率（Spectraron, Labsphere 社、からの反射光強度と試料からの反射光強度の比）を真空下 (10^{-2} - 10^{-4} Pa) で測定した。

3. 結果：オリビンの反射スペクトルには、 Fe^{2+} の電子エネルギー遷移に関連した特徴的な吸収が $1\ \mu\text{m}$ 付近に見られる。測定の結果、この吸収の位置は温度・組成によらずほぼ一定であった。しかし、吸収の幅は温度及び鉄含有率の減少とともに減少した。この温度変化に伴う吸収の幅の変化量は、鉄の含有率が多いほど大きくなる組成依存性があることが本測定により初めて明らかになった（Fo40 の幅の変化量は、Fo60 に比べ 2 倍大きい）。以上から、可視-近赤外反射スペクトル観測データを解析するためには、反射スペクトルに及ぼす組成依存性と温度依存性を独立のパラメータとして考慮する必要があると結論される。

小惑星表面の光散乱特性

—porosity 依存性についての実験的研究

○中山博喜、川股正和、亀井秋秀、中村昭子、向井正（神戸大・自然）

Experimental study of opposition effect, due to porosity of regolith layer

○H.Nakayama, M.Kawamata, A.Kamei, A.M.Nakamura, and T.Mukai

(Grad. Sch. of Sci. and Tech., Kobe Univ.)

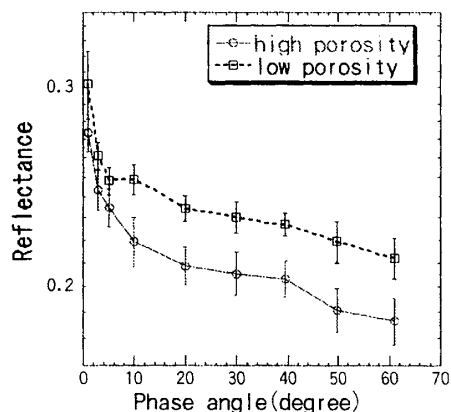
The intensity of the reflected light generally depends on the structure of asteroid surface (*i.e.* porosity, roughness, etc.). We have done the laboratory measurements of light scattering for the asteroid surface analogue by using a He-Ne laser ($\lambda = 0.6328 \mu\text{m}$) as the light source. The samples are made of olivine particles with the same size distribution and the different porosities. We will discuss the relationship between the porosity and the opposition effect, which is a sharp surge in brightness around zero phase angle.

小惑星表面からの反射光強度は小惑星表面の構造、すなわち空隙率（porosity: $1 - \phi$ ）や凹凸等によって変化する。位相角（太陽—小惑星—観測者のなす角）が小さいとき反射光強度が大きくなるという opposition effect という効果があるが、Hapke によって

$$h \equiv -\frac{3}{8} \ln(1 - \phi)$$

という関係が提唱されている。ここで h は angular width parameter、すなわち opposition effect が見られる角度の幅を表す。

我々は porosity を変えた試料を用いて opposition effect を実験的に調べている。図は olivine 粒子（サイズ $45 \sim 53 \mu\text{m}$ ）の試料を用いて porosity の異なる層を作り、これに光源として波長 $0.6328 \mu\text{m}$ のレーザー光を照射して、その反射光の位相角依存性を測定した結果を示す。講演では、サイズ分布の異なる試料を用いた結果とあわせて詳しく検討する。



Enstatite Chondrite の CL 累帯構造

CL Zoning of Enstatite Chondrite

○遠藤 実, 蛭川 清隆

Minoru Endoh and Kiyotaka Ninagawa

岡山理科大学応用物理学科

Department of Applied Physics, Okayama University of Science

We measured Cathodoluminescence (CL) of three paired impact EH melt rocks, Y-8404, Y-8414, and Y-86004. We found zoning of three phases, red, blue, and purple in the thin sections. We couldn't find any difference in compositions for the red, blue, purple enstatite. All these three phases have the same CL peaks at 445, and 660nm, however the peak ratios are different, 10:1, 4:1, and 1:10, respectively. The cause of these zoning would be heating in the atmosphere because fusion crust exists in outer region.

ペアリングされている3つの impact EH melt rocks、Y-8404、Y-8414、Y-86004 について、Cathodoluminescence (CL) 写真撮影、EPMA による定量分析、CL スペクトル分析を行った。

まず、Y-86004 について、加速電圧 15kV、電流値 0.2mA の電子線を試料全体に照射し、CL 写真を撮影した所、境界のはっきりとした三層に分かれている事が判明した。層は外側から、赤、青、紫の色層を呈しており、Y-8404、Y-8414 についても、同様の層構造が確認出来た。

この3つの試料の中で三層の領域が最も広い Y-86004 において、それぞれの色を発光している鉱物についての定量分析を、EPMA (JXA8900: 日本電子製) を用いて行った。その結果を下表に示す。測定の際の加速電圧は 15kV、電流値 12nA、数字の単位は wt% である。

Y-86004 の CL 発光鉱物の組成 (wt%)

	SiO ₂	Cr ₂ O ₃	FeO	MnO	MgO	Total
赤部	60.1	—	0.54	—	39.6	100.32
青部	60.3	—	0.31	—	40.9	101.47
紫部	60.4	—	0.44	—	40.1	101.01

この結果から、それぞれの発光している鉱物は、全て、Enstatite であるが、CL 発光中心となる Cr や Mn 等の微量元素の差については確認出来なかった。

次に、各層の Enstatite について、MonoCL2 (Oxford 製) を用いて CL スペクトルの測定を行った。三層は、ほぼ同じピークを持ち、ピーク波長は、445nm と 670nm 近傍にある。色調の異なるこれら3つの部分の相違点は、強度比に差がある事で、445nm : 670nm の比は、青部が約 10 : 1 なのに対して、紫部が約 4 : 1 である。また、赤部に関しては、670nm の強度が強く、445nm : 670nm が約 1 : 10 となっていた。

これら3つの試料は、一番外側に、CL は示さないが、大気圏に突入した際の加熱により熔融した fusion crust を持っている。この事から、大気圏突入時の最高到達温度が、Enstatite の CL に反映され、三層の累帯構造を作ったのではないかと考えられる。

原始太陽系円盤内でのダスト成長

Coagulation of Dust Aggregates in the Protoplanetary Disk

○酒井 辰也 (神戸大・自然科学研究科)

Tatsuya Sakai (The Graduate School of Science and Technology, Kobe University)

We have investigated the dust coagulation in the turbulent protoplanetary disk, considering the collisional destruction of aggregates. The solid bodies in the protoplanetary disk grow through the collisional accretion of the microscopic grains. Whereas two aggregates are wrecked into fragments of several sizes upon high velocity collisions. These processes depend on several parameters - material of grain, temperature, magnitude of turbulence etc.

We have simulated the dust coagulation numerically and have examined the influences of these parameters on the dust coagulation. In numerical simulation for a time evolution of the size distributions of aggregates, the Wetherill's scheme was used.

原始太陽系星雲中での乱流攪乱によるダストの衝突成長を調べた。原始太陽系円盤内の固体微粒子が集積することによって微惑星ができ、それが更に集積することによって惑星が形成されたと考えられている。微粒子は相互の衝突時に表面力によって付着しあいながら成長するため、この成長過程は、衝突時の速度や、その時の温度、微粒子を構成する物質などに影響されると考えられる。近年、太陽系外の惑星系の観測結果が出てきているが、まだ数が少ない。そこで、様々な惑星系の環境を仮定して、固体微粒子の衝突成長を数値的にシミュレートし、温度、微粒子の物質、系内の乱流の強さなどによってどうえいきょうされるのかを発表する。

原始太陽系星雲での有機星間塵の蒸発過程

Evaporation of interstellar organic materials in the primordial solar nebula

○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

Experiments on the evaporation metamorphism of model interstellar organic materials have been performed from 24 to 500°C under vacuum. Elemental composition and mass of residues were analyzed. It was found that the interstellar organic material evaporates completely at 2 AU during active disk stage. We compared the elemental compositions of the residues with those of organic materials in carbonaceous chondrites.

分子雲には鉱物・氷・有機物からなる星間塵が存在する。星間塵の有機物は原始太陽系星雲生成時に熱変成を受けるが、これまで有機物に着目した蒸発変成実験はおこなわれてこなかった。モデル有機物を用いた蒸発変成実験をおこなった。

星間有機物の生成実験で得られた分析値などを参考に、モデル有機物を試薬を用いて調合し、それを出発物質とした。ここで、A:分子雲で生成された有機物、B:低密度雲で変成を受けた有機物とすると、A:B=10:3 となる。試料約 30mg を真空チェンバー内(10^{-6} Torr)で 24°C から 500°C まで加熱した(加熱速度 1°C/min.)。また、一定温度で長時間加熱する実験もおこなった。蒸発残渣の質量測定後に、元素分析計を用いて元素分析(H, C, N)をおこなった。図 1 に蒸発残渣の質量と加熱温度の関係を示す。最高加熱温度が 100-200°C の実験では、加熱速度が 1°C/min. の場合と 80 時間一定温度で加熱した実験で結果に差はなかった。いっぽう、100°C 以下と 200°C 以上では時間の経過とともに蒸発量が増加したがある値に漸近する傾向がみられた。図 1 には active disk 中心面の温度分布(渡邊 1997) もあわせて示した。以上の結果から、星間塵の有機物は 2AU で大半が蒸発し、2~2.5AU では低密度雲の有機物が、2.5AU 以遠では分子雲起源の有機物が星間塵中に存在していたと考えられる。図 2 には蒸発残渣と炭素質コンドライト中の有機物の C, N 含有量を比較したものを示した。星間塵中の有機物と炭素質コンドライト中の有機物との関連については発表時に述べる予定である。

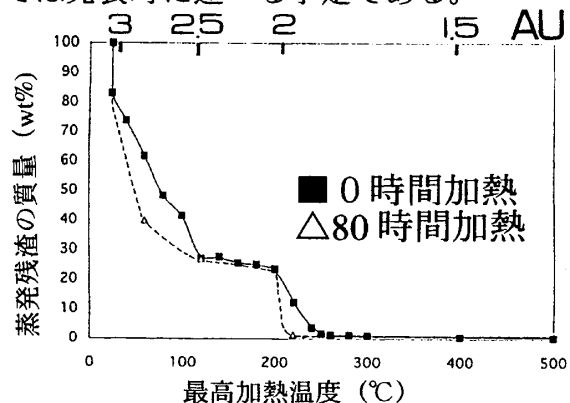


図1 蒸発残渣の質量と加熱温度との関係

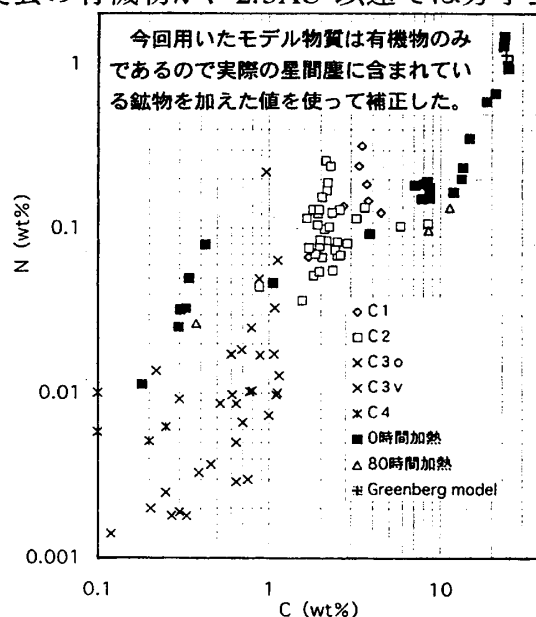


図2 蒸発残渣と炭素質コンドライトのC, N含有量

固体粒子の付着成長に対する有機物の効果

Effects of organic materials on the coagulation of solid particles

○工藤達行¹, 荒川政彦¹, 香内晃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, M. Arakawa¹, A. Kouchi¹, 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 organic materials on the coagulation of solid particles. Experimental results clearly show that organic materials are very effective on the coagulation of solid particles. We suggest that the coagulation of solid particles proceed rapidly by organic materials in 2-3.5AU compared with < 2AU and > 3.5AU.

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。本研究は、固体微粒子表面を覆う有機物に着目し、その存在が衝突・付着・凝集成長過程において与える効果およびその特性を実験的に調べることを目的とした。

実験では宇宙有機物の代わりに、比較的物性が明らかなグリセリンを用いた。銅球（直径 1cm）を銅板上のグリセリンの層（1mm）に数 cm/s～数 m/s の速度で衝突させた。銅球およびグリセリンの温度は 200K～300K の温度領域で制御した。衝突速度および反発速度は、レーザーと 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、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。

付着の起きる温度・衝突速度条件を図に示した。有機物の付着に対する効果は、250K 付近において最大となり、付着の起こる衝突速度は最大 600cm/s に達した。原始太陽系星雲において固体微粒子表面に存在する他の物質を考えると、氷では 0.1cm/s、鉱物では数 10cm/s の衝突速度でも付着は報告されていない。よって、固体微粒子表面を覆う有機物の存在は、氷や鉱物と比べて固体微粒子

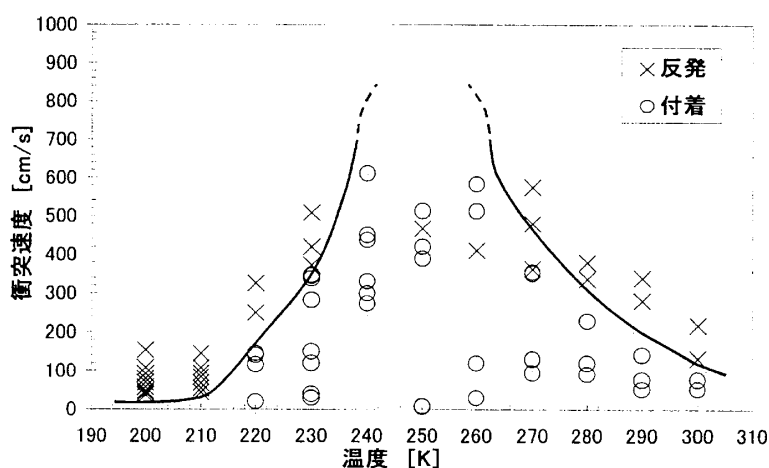


図. 付着の起こる温度・衝突速度条件

の成長を非常に効率的なものとするのがわかった。以上から、原始太陽系星雲において、有機物が固体微粒子の表面に存在した領域（小惑星領域）では、他の領域（地球・木星領域）より固体微粒子の成長が速く進行したと考えられる。

トロヤ群小惑星から放出されるダストの生成量と空間分布

宮田 一孝, 向井 正 (神戸大, 自然)

Dust production rate by impacts of interstellar dust on Trojan asteroids and their mass spatial density

Kazutaka, Miyata. Tadashi, Mukai.

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

惑星間空間には、様々な供給源から放出された惑星間塵（ダスト）が存在する。それらの惑星間塵は、太陽重力と惑星からの摂動力の他に、太陽放射圧、ポインティング・ロバートソン効果、太陽風効果、ローレンツ力などを受けて、太陽系内で軌道進化をしている。最近の赤外線衛星や、地上からの CCD 撮像観測によって、従来、一様とされていたダストの空間分布にムラがあり、様々な種類のダストの空間集積が存在することが、明らかになってきた。一方、飛翔体 Ulysses の観測により、木星軌道付近では、高速度（ $\sim 26\text{km/s}$ ）で太陽系に流入してくる星間塵が発見された。

惑星間空間には、太陽と惑星が作るラグランジュ点と言われる力学的に安定な領域が存在する。特に木星のラグランジュ点には、トロヤ群と呼ばれる小惑星が存在する。本研究では、太陽系外からの星間塵が、トロヤ群の小惑星表面に高速度で衝突し、その際に放出される固体微粒子の生成量を求めた。さらに軌道計算シミュレーションを実施して、放出されたダストの軌道進化を調べ、ラグランジュ点近傍でのダストの存在確率の時間変化を推定した。その結果に基づいて、木星のラグランジュ点近傍で期待されるダスト雲の濃度を推定し、その観測可能性について言及する。

We estimate the production rate of dust grains in the Trojan asteroid region due to the impact of interstellar dust on the surface of Trojan asteroids. Furthermore, the orbital evolution of resulting micron-sized dust ejecta, trapped in the 1:1 mean motion resonance with Jupiter, has been investigated by taking into account the planetary gravitational perturbation, solar radiation pressure, Poynting-Robertson drag and solar wind drag forces. It is found that the grain with a radius of 10 micron takes the quasi-equilibrium orbit around the Lagrangian point for $10^{(6)} - 10^{(7)}$ years after its ejection from the parent Trojan asteroid. The spatial density of such trapped dust grains has been estimated based on the simulation results of dynamical evolution of ejecta.

小惑星パラスによる恒星食の観測結果
佐藤 勲(渡辺技研)、柳澤 正久(電通大)

9月26日と10月2日に相次いで小惑星パラスによる恒星食が日本で起こった。

9月26日のACT2381070(10.22等)の掩蔽は、低空でわずか0.3等の減光しかない厳しい条件であったが、群馬県千代田町の小島卓雄氏によって、CCDカメラによる流し撮りによって減光が捕らえられた。結果は、現在解析中である。

10月2日のHIP035217(7.73等)の掩蔽は、好条件だったが、現象が見られるはずの北日本を気圧の谷が通過して天気が悪く、現象を捕らえた所はなかった模様である。

Mars Dust Counter : はじめの 1 年のデータ

Mars Dust Counter: Result of the First Year

○佐々木晶 (東大理) [Sho Sasaki, U. Tokyo], Eduard Igenbergs (Technical U. Munich), 大橋英雄 (東京水産大) [Hideo Ohashi, Tokyo U. Fisheries], 藤原顕 (宇宙研) [Akira Fujiwara, ISAS], 野上謙一 (獨協医大) [Ken-ichi Nogami, Dokkyo U. School Med.], 向井正 (神戸大) [Tadashi Mukai, Kobe U.], 宮本英昭 (東大工) [Hideaki Miyamoto, U. Tokyo], 森重和正 (宇宙研) [Kazumasa Morishige, ISAS], 濱邊好美 (東大理) [Yoshimi Hamabe, U. Tokyo], Georg Faber, Franz Ficsher, Ralf Muenzenmayer, Gerd Hofschuster, Walter Naumann (Technical U. Munich), Henrich Iglseider (STMS), Eberhard Gruen (MPI-K), Hakan Svedhem, Gerhard Schwehm (ESTEC), Albrecht Glasmachers (U. Wuppertal), 山越和雄 [Kazuo Yamakoshi]

Japanese Mars Mission NOZOMI has a light-weight dust detector Mars Dust Counter (MDC). Although the main purpose of MDC is to detect a Martian dust ring, it can detect interplanetary and interstellar dust particles during the cruising phase. During one-year operation after the launch, MDC has detected 40 secure dust impacts. Since the orbital plan of NOZOMI has been changed, MDC will continue measure interplanetary/interstellar particles by the end of 2003. Then MDC will measure Martian environment at least for two years.

日本の火星探査機「のぞみ」は1998年7月4日に打ち上げられた。「のぞみ」には、火星周囲のダストリングを検出することを主目的として、ダスト計測器MDC(Mars Dust Counter)が搭載されている。この730gという軽量の衝突電離型ダスト計測器は、高速ダスト衝突で発生したプラズマの電荷シグナルの立ち上がりと高さから、ダストの衝突速度と質量を求めることができる。

「のぞみ」は1998年12月20日の地球離脱時の燃料消費が大きかったため、火星到着が当初予定の1999年10月11日から、2004年1月1日に延期された。この間に、地球と火星の間を3周まわり、最後に2回の地球のfly-byの後に、火星へ向かうことになる。この期間、MDCは、太陽系内のダストおよび星間起源のダストを継続して検出する計画である。2004年からは最低2年間、火星周囲を計測し、PhobosもしくはDeimos起源のダストリング・トーラスの検出を行なう。

打ち上げ後の1年間で、MDCは約40個の確実な高速衝突シグナルを記録している。低速衝突のシグナルも含めれば、この数値は大きくなる。1999年11月18日のレオニド流星群の遭遇予定時の直前に、2つの明確な高速の(>20km/s)ダストを検出したが、衝突方向はレオニド群の粒子とは異なっていた。ただし、衝突速度を考えると星間起源粒子である可能性はある。

現在、MDCの運用に際しては上記のメンバーの他に、矢野創 (宇宙研)、河村亨 (獨協医大)、直井隆浩 (東大理) も参加している。

H-ⅡA ロケットによる火星サンプルリターンミッションの提案

Mars Sample Return Mission by H-ⅡA Rocket

○佐藤恵一、太田豊彦、北澤幸人、今井良二、岡 利春 (石川島播磨重工業)

北村勝英(アイテック)、斎藤 潤 (西松建設)

○K.Sato, T.Ohta, Y.Kitazawa, R.Imai, T.Oka (IHI)

K.Kitamura(ITECH), J.Saito (Nishimatsu Construction)

The H-ⅡA launch vehicle which has performance to inject 3ton payload on GEO can produce Mars sample return mission. A 4ton Spacecraft injected to trans-Mars orbit by H-ⅡA at September,2007, will land on Mars at September,2008. It will return to Earth with 0.5kg martian soil samples at May,2010.

静止軌道に3トンのペイロードを投入する能力を有するH-ⅡA ロケットを使用し2007年9月に4トンの探査機を火星への遷移軌道に載せれば、2008年9月に火星着陸、2010年5月に地球帰還というスケジュールで0.5kgのサンプルを地球に持ち帰ることができる。

探査機はCarrier Vehicle (CV) と Sample Return Vehicle(SRV)から構成される。SRVは火星離着陸機である。CVは2段ロケットで、SRVやサンプルを地球/火星間で運ぶ役目をはたす。(図1参照)

図2にフライトシーケンスを示す。まず、地球周回軌道からH-ⅡA ロケットの2段目の再着火により探査機が火星への遷移軌道に投入され、1年間の飛行の後火星に到着する。CV主エンジンの噴射により火星を周回する超楕円軌道に入り、CV1段目を切りはなした後、約半年間かけてエアロブレーキによって火星周回円軌道に遷移する。次にSRVが切り離され火星の大気に突入し着陸する。SRVは火星の地表でサンプルを採取する。その間CVは火星周回軌道にありSRVと地球との通信の中継などの役目をはたす。SRVの一部(Ascent Vehicle)はサンプルを積んで火星表面を離昇し、CVとドッキングしてサンプルをCVに移す。CVは火星周回軌道を離脱し、地球への遷移軌道に入る。CVは地球近傍でサンプルを載せたカプセルを切り離し、カプセルは地球大気にDirect Entryする。

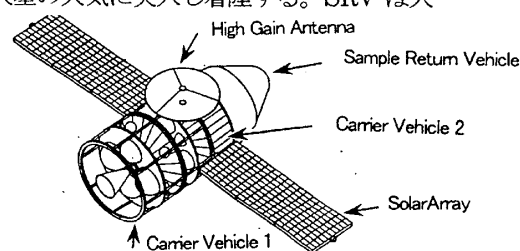


図1 探査機概念図

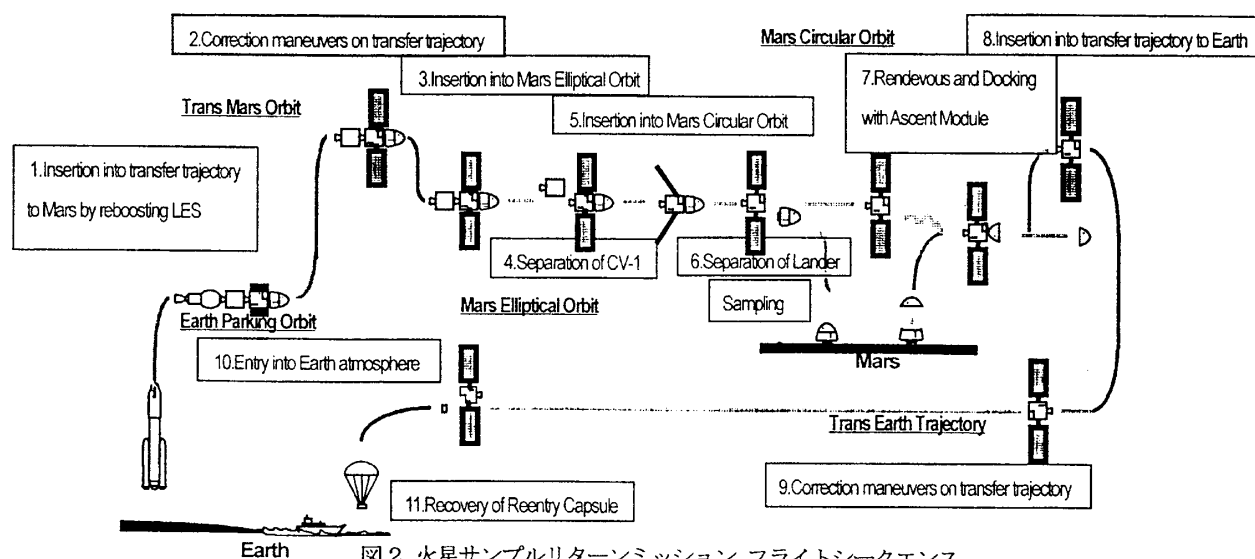


図2 火星サンプルリターンミッション フライトシーケンス

固体惑星探査のためのX線CCDを用いた蛍光X線分光計の校正装置開発

Development of the calibration system for the X-ray CCD based

X-ray fluorescence spectrometer on-board spacecraft

○山本幸生 白井慶 岡田達明 松田智規 加藤學 (宇宙科学研究所)

Yukio Yamamoto, Kei Shirai, Tatsuaki Okada, Tomoki Matsuda, Manabu Kato (ISAS)

We develop the calibration system of X-ray CCD based X-ray fluorescence spectrometer, XRS, on-board spacecraft. Two Japanese missions, MUSES-C and SELENE, will use X-ray CCD-based XRS, and will develop global maps of the elemental composition of the surface of the moon and the asteroid, 1989ML. X-ray CCD has higher energy resolution than that of detectors used in the past planetary missions. This calibration system enables X-ray CCD-based XRS to drive under the optimum driving conditions. We report here the outline of our system and the constructed cooling-system to control the temperature of X-ray CCD.

現在、惑星探査用のX線CCDをX線の検出器として用いる蛍光X線分光計(XRS)の校正装置を開発している。日本では月周回探査ミッションのSELENE、小惑星サンプルリターンミッションのMUSES-CがこのX線CCDを用いたXRSを搭載することを予定している。これらのミッションでは、XRSを用いてそれぞれ月の表面、小惑星の元素組成のグローバルマッピングを行う。X線CCDは従来の比例計数管ベースのX線検出器に比べて5~10倍のエネルギー分解能を持っている。その一方で比較的新しい素子であるため、ミッションに最適化されたX線CCDの駆動条件を決定するための情報が少ない。そこで我々はX線CCDを用いたXRSの校正装置を開発し、校正実験を通して幾つかの重要なパラメータに対してX線CCDのエネルギー分解能をデータベースとして持つことを目標とする。X線CCDのエネルギー分解能に大きく影響するパラメータはX線CCDの駆動電圧、駆動周波数、温度である。またCCD特有の複数のピクセルをまとめるビニング操作についても調べる必要がある。そこで我々はまず駆動電圧、温度をパラメータとして変化させるためのシステム開発を行っている。X線CCDは通常-40℃以下に保って使用されるため、本発表では校正装置の概要の他に現在開発中の冷却機構について報告する。

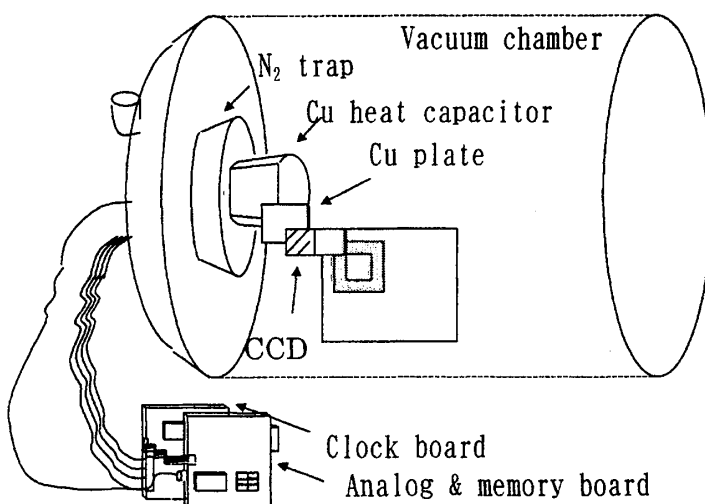


Fig. 1 X-ray CCD driving system

Muses-C搭載XRSの電子回路の設計

○岡田達明、白井 慶、山本幸生、松田智規、加藤 學（宇宙研）

塚原文夫、村尾 一、田口孝治（明星電気）

Design of Electronics of the X-ray Fluorescence Spectrometer onboard Muses-C

T. Okada, K. Shirai, Y. Yamamoto, T. Matsuda, and M. Kato

Institute of Space and Astronautical Science, Sagami-hara, Kanagawa, 229-8510,

F. Tsukahara, H. Murao, and K. Taguchi

Meisei Electric Co., Moriya, Ibaraki, 302-0192.

We designed the electronics of the x-ray fluorescence spectrometer (XRS) onboard the Muses-C orbiter which will be launched in 2002 to return the materials from an near-earth asteroid 1989ML. The electronics has the driving unit for the array of charge-coupled devices which are used as x-ray detectors, the data acquisition and handling unit to extract x-ray events, and the control unit. They are improved versions of the previously designed ones used for the S310-28 sounding rocket experiment, and based on FPGA circuit to much reduce the weight budget. Its specification and the performance in the laboratory will be briefly presented.

小惑星探査機Muses-Cに搭載する蛍光X線スペクトロメータ（XRS）のオンボード用電子回路の設計を新規に行った。これは検出器のCCD（電荷結合素子）の駆動系、信号取得・処理系、及び制御系から構成される。この主な機能は、コマンドで可変のクロックパターンを作りだし、検出器のX線CCDに配信して駆動させること、CCD付属のプリアンプから出力されるアナログ信号を取得し、A/D変換させること、さらに効率よく、かつ適正にX線信号を抽出すること、FIFOメモリに蓄積すること、CCDの状態及び特性の変化をモニタするための機上校正を行うこと、CCDの読み出し域を指定すること（CCDに欠陥が発生した場合に重要である）、温度・電圧等の状態モニタを行うこと、及びそれらの制御である。

この回路系は、ロケット実験（S310-28号機）で試験した蛍光X線分光計の制御回路として開発したものをベースに、改良を加え、さらに機能アップしたものである。回路はプログラム可能なFPGAをベースとしており、小型・軽量化に努めている。本講演では、その電子回路系の概要と、X線検出を行った初期試験時における特性及び性能について報告する。

彗星・惑星探査用マルチターン飛行時間型質量分析計

A Multi-turn Time-of-Flight Mass Spectrometer for Cometary and Planetary Investigation

○豊田 岐聡, 山口 真一, 伊藤 啓行, 石原 盛男
大阪大学大学院理学研究科物理学専攻

○Michisato Toyoda, Sin-ichi Yamaguchi, Hiroyuki Ito, Morio Ishihara
Department of Physics, Graduate School of Science, Osaka University

Abstract

A new type of multi-turn time-of-flight (TOF) mass spectrometer (named “MULTUM Linear plus”) was constructed. This small TOF mass spectrometer is suited to cometary and planetary investigation. It was demonstrated that the mass resolution can increase according to the number of cycles of the ions through the ion optical system.

概要

彗星・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、イオン源のパルス幅およびイオン加速エネルギーが同一ならば、そ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。昨年の秋季講演会において、マルチターン飛行時間型質量分析計 (MULTUM Linear plus) の装置概要および初期実験結果について報告した (予稿集 p.63)。その後の実験で、10周回させても 1/3 以上のイオンが周回しており、また分解能も周回数に応じて向上していくことが確かめられた。図1に半周回後と 13.5 周回後の Xe^+ の TOF スペクトルを示す。本講演では得られた実験結果について詳しく議論する。

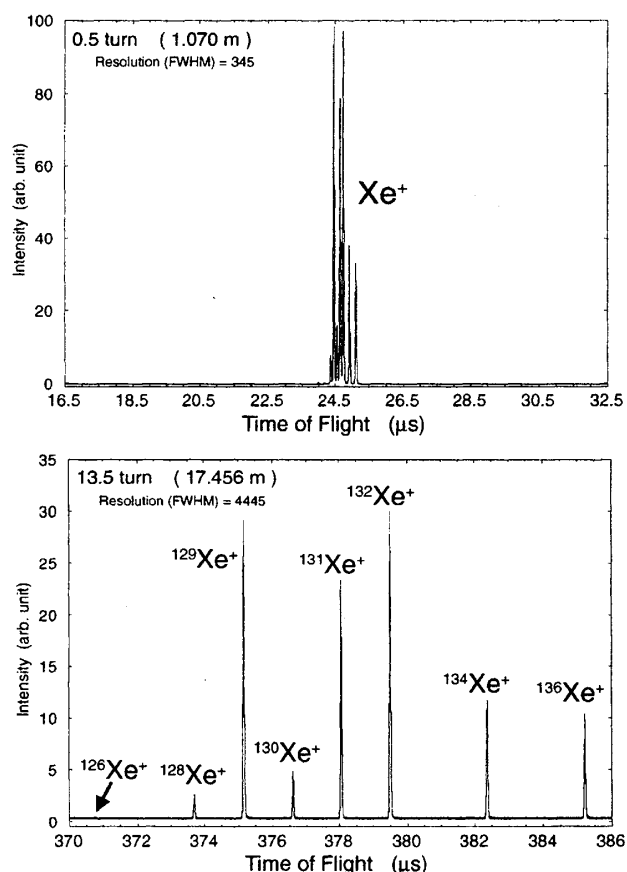


図1 Xe^+ の 0.5 周 (上) と 13.5 周 (下) の TOF スペクトル。

顕微蛍光法による火星生命探査法の開発
Developement of a Novel Detect Method of Life on Mars
with a Fluorescence Microscopic System

河崎行繁（三菱化学生命研），宮川厚夫（浜松ホトニクス），
 齊藤威（東大宇宙線研），船津幸永，金子竹男，○小林憲正（横浜国大工）
 Yukishige Kawasaki (Mitsubishi Kasei Inst. Life Sci.), Atsuo Miyakawa (Hamamatsu
 Photonics Co.), Takeshi Saito (ICRR, Univ. Tokyo), Yukihiisa Funatsu, Takeo Kaneko
 and ○Kensei Kobayashi (Yokohama Natl. Univ.)

A fluorescence microscopic system (FMS) has been developing to detect possible organisms and organic compounds on Mars. Several fluorescent dyes have been selected to identify microorganisms in soil samples (the wet method). Such organic compounds as PAHs and chlorophyll could be detected without using dyes (the dry method). We here propose a new strategy to detect life on Mars by using both the dry and wet methods with FMS. We are constructed a light prototype of FMS for exobiology missions.

火星など，地球以外の天体に生物はいるのだろうか？1976年のヴァイキング探査機が火星に着陸し，数種の「生命探査実験」が行われたが，生命存在に関するポジティブな結果は得られなかった。しかし，このヴァイキング計画では，分析地点（表土）および検出法に問題が多い。われわれは，「顕微蛍光法(FMS)」による地球圏外微生物検出法について検討し，装置を試作した。

FMSの原理 土壌などの試料に対してある蛍光試薬を添加した時，特定の分子が存在する時のみ蛍光を発する。例えば，CFDA-AMというエステラーゼ基質を添加した時，エステラーゼが存在すると，この基質を分解して蛍光を有するCFを生じるため，この酵素を有する生きている細胞は蛍光を発する。この蛍光をCCDカメラにより画像化することにより試料中の微生物の分布がわかる。このような試薬を用いる方法(wet method)により，大腸菌などの培養可能な菌のほとんどを検出できるのに加え，未知の菌も検出できることがわかった。また，試薬を用いず，試料中の物質由来の蛍光を検出する方法(dry method)により，多環芳香族炭化水素類(PAH)などのバイオマーカーの検出も可能である。

小型FMSを用いた火星生命探査の戦略 ヴァイキング探査により火星表土は超酸化物を含む過酷な環境であることがわかった。このため，微生物の検出のためには地下を探査する必要がある。そこで，まずドリルして光ファイバーを挿入し，蛍光試薬なしで地下試料の蛍光を観察する(dry method)。もし，有意な結果が得られない場合は，探査場所を変更する。PAHなど，生命の痕跡があった場合，別のファイバーで蛍光試薬を注入し，wet methodにより微生物の検出を試みる。以上のデータを地球に送信する。本法のため，われわれは光源にLEDを用い，電源等を別として70 mm x 70 mm x 190 mm，重量2.3 kgのプロトタイプを試作した。

1) T. Saito, Y. Kawasaki, T. Kaneko, K. Kobayashi, A. Miyakawa, *Proc. SPIE*, **3755**, in press.

日本惑星科学会秋季講演会 アブストラクト

11 月 15 日 (月)

セッション 5

No. 501-509

セッション 6

No. 601-607

セッション 7

No. 701-707

炭酸カルシウム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 calcium carbonate on high
temperature heating and cooling step

○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)

In the initial earth, it is considered that the surface becomes over 1200°C to form what is called magma ocean. In this temperature, all of usual organic compounds seemed to decompose. Afterwards, the earth was cooled, and the surface solidified, and then liquefying water formed the ocean. It is estimated that various and complicated organic compounds concerning origin of life were formed for this stage. In this study, the reaction using the simple system with formaldehyde and calcium carbonate was tried using a test equipment which reproduces such magma ocean situations. The products and their acetyl derivatives were analyzed by IR, ¹H-NMR, and GC/MS. The results indicated formation of various compounds including several sugar derivatives. The components were depend on cooling rate.

生命体が地球上で誕生したとすると、初期生命体の起源物質となった有機化合物は原始地球環境で化学進化したことになる。初期の地球では、微惑星の衝突などによるエネルギーの蓄積により、地表が1200℃以上になり、いわゆるマグマオーシャンが形成されたという説が有力である。この温度では、通常有機化合物は全て分解したと考えられる。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。この時期に、生命の起源に関与する様々で複雑な有機化合物が形成されたと推定される。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炭酸カルシウムを用いた単純な系での反応を試みた。この系の反応では、100℃前後の加熱では、いわゆるホルモース反応として生命現象の必須化合物である糖類を与えることで重要な反応である。

実験では、ホルムアルデヒド2%溶液にCaCO₃を加え、装置に入れて、系全体を窒素置換して900℃まで加熱し、高温状態を2時間維持した後冷却した。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。特に、GC/MSでの分析の結果、生成物が他種類の化合物の混合物であることが判った。また、冷却時の温度変化の条件を変えた場合に異なる有機化合物が生成されることが示された。

**高エネルギー粒子線による二酸化炭素・一酸化炭素・窒素・水
混合気体からのアミノ酸・核酸塩基の生成**
**Formation of Amino Acids and Nucleic Acid Bases from Mixtures of CO₂, CO,
N₂ and H₂O by Irradiation with High Energy Particles**

○小林憲正, 山梨洋人, 大橋暁弘, 潮賢太郎, 増田仁美, 金子竹男 (横浜国大工)
 齊藤 威(東大宇宙線研)

○Kensei Kobayashi, Hiroto Yamanashi, Akihiro Ohashi,
 Kentaro Ushio, Hitomi Masuda and Takeo Kaneko
Department of Chemistry and Biotechnology, Yokohama National University
 Takeshi Saito
Institute for Cosmic Ray Research, University of Tokyo

Major constituents of primitive Earth atmosphere is supposed to be carbon dioxide, carbon monoxide, nitrogen and water. We examined the possible formation of bioorganic compounds from such gas mixtures. A wide variety of amino acids are detected in the hydrolyzed products of proton irradiation of the gas mixtures. Uracil, one of the RNA bases, were also identified in the products. Yields of these bioorganic compounds were decreased when CO₂/CO ratio was increased when CO < N₂. The present results suggest that formation of bioorganic compounds were possible even if major components of the primitive atmosphere was CO₂, but that the formation rate greatly depended on molar ratio of CO and N₂.

原始地球大気の組成は不明であるが、メタン・アンモニアを主とする「強還元型大気」ではなく、二酸化炭素・一酸化炭素・窒素・水蒸気を主とする「弱還元型大気」とする説が主流である。われわれは、一酸化炭素・窒素・水を含む混合気体からのアミノ酸やウラシルの生成には高エネルギー粒子線（宇宙線成分）の照射が極めて有効であることを報告した[1]。今回は、種々の組成比の二酸化炭素・一酸化炭素・窒素・水混合気体に高エネルギー陽子線を照射した時のアミノ酸、核酸塩基の生成について調べ、原始大気中の二酸化炭素のモル分率の生体有機物生成への影響について考察した。

実験 模擬原始大気 (CO+CO₂ 350-560 Torr, N₂ 350-140 Torr, H₂O 20 Torr の混合気体) に van de Graaff 加速器(東工大理)からの3 MeV 陽子線を照射した。生成物中のHCNはイオン電極法および吸光光度法により定量した。生成物水溶液は酸加水分解後、陽イオン交換HPLC法(島津LC-6A アミノ酸分析システム)によりアミノ酸の定量を、逆相及び陽イオン交換HPLC法により核酸塩基の定量を行った。

結果 混合気体中に一酸化炭素および窒素を含む場合は、グリシンなどのアミノ酸およびウラシルが生成した。他の塩基は検出されなかった。一酸化炭素分圧が窒素分圧よりも低い場合、アミノ酸およびウラシルの収量はCO/CO₂ 比に大きく依存した。しかし、一酸化炭素分圧が窒素分圧に近い場合、アミノ酸収量はCO/CO₂ 比にあまり依存しなかった。これらの結果は原始大気中での生体有機物生成を見積もる場合、CO₂, CO, N₂ の比の推定が極めて重要であることを示している。

[1] Kobayashi et al., *Origins Life Evol. Biosphere*, 28, 155 (1998).

氷の結晶化度の凝縮速度依存性

Crystallinity of H₂O ice:
Dependence on Deposition Rate

○ 西願寺 善彦, 山本 哲生 (名大・理)

Yoshihiko Saiganji, Tetsuo Yamamoto

Department of Earth and Planetary Sciences, Nagoya University

Crystallinity of astrophysical ices is of great importance because it acts as a probe for understanding the formation conditions and thermal histories of astrophysical ices and icy bodies in the solar system. Kouchi et al. (1992, 1994) obtained the results from their experiments that 1) the crystallization degree θ increases with increasing the deposition rate F when F is large, and that 2) θ decreases as F increases when F is small. We investigate quantitatively the formation conditions of crystalline ice by exploring a wide range of the deposition rate.

アモルファス氷の結晶化度は星間塵の氷マントルや太陽系氷天体の形成環境と熱史を知る上で重要な手がかりとなる。Kouchi et al. (1992, 1994) は実験室で水分子を金属基盤に蒸着させた。その結果、氷薄膜の結晶化度 θ は、水蒸気の蒸着速度 F が小さい極限では F の減少関数となり、一方、 F が大きい極限では F の増加関数になることがわかった。

本研究では結晶化度 θ を広い範囲の蒸着速度 F にわたって求め、アモルファス氷の形成条件を明らかにする。

結晶化は、(1) 結晶化に伴って解放される潜熱を熱源とする熱伝導方程式、および (2) 温度の関数としての結晶化速度をを与える方程式で記述される。(1) は以下 2 つの境界条件 (a), (b) を満足する：(a) 基盤表面における氷の温度は基盤の温度と等しい、(b) 氷表面における heat flux の連続。 F は凝縮の際に解放される潜熱という形で境界条件 (b) の中に取り込まれ、 θ に反映される。

発表では実験との比較およびアモルファス氷の形成条件について議論する。

References

- A Kouchi, J. M. Greenberg, T. Yamamoto, and T. Mukai, Extremely Low Thermal Conductivity of Amorphous Ice: Relavance to Comet Evolution, *ApJ*, 388, L73, 1992
- A Kouchi, T. Yamamoto, T. Kozasa, T. Kuroda, and J. M. Greenberg, Conditions for Condensation and Preservation of Amorphous Ice and Crystallinity of Astrophysical Ices, *A&A*, 290, 1009, 1994

固体二酸化炭素のレオロジー

° 山下靖幸、藤波慎司、加藤 學（宇宙研）

Rheology of Solid Carbon Dioxide

° Yasuyuki Yamashita, Fujinami Shinji and Manabu Kato,
Institute of Space and Astronautical Science

To investigate the evolution process of planetary surface in outer solar system, inelastic properties of non-water ice were measured by low temperature uniaxial deformation system. Constant strain rate tests of polycrystalline solid carbon dioxide were performed at temperatures 150 - 185 K and strain rates 10^{-4} - 10^{-2} sec $^{-1}$. Ductile behavior of solid carbon dioxide was observed over 180 K and brittle fracture was observed at 170 K. This result implies that solid carbon dioxide could be able to support the uneven feature in Triton.

太陽系の天体、特に外惑星領域には固体窒素・固体メタン・固体二酸化炭素・固体一酸化炭素といった H₂O の固相以外の「氷」である Non-Water Ice が存在することが、地球上からの赤外分光や惑星探査機の観測によって知られている。海王星の衛星であるトリトンにも代表されるような外惑星系の天体の奇妙な表層地形及びその内部構造の進化あるいは衝突現象を伴う形成過程を知るための手がかりとして Non-Water Ice の物性を知ることは非常に重要である。特に、火星極冠の形成や季節変化を知るためには極冠に多く存在している固体二酸化炭素の物性を知ることが必要である。しかしこれまでに Non-Water Ice の物性についての研究はほとんどなされていない。二酸化炭素は常圧では 195 K で固体になるがこれは固相 - 気相反応である。我々はこれまでに固体二酸化炭素の弾性定数を音速測定法により見積もっている。今回は固体二酸化炭素の変形実験を行い、その非弾性的性質を見積ったので報告する。

測定には極低温一軸圧縮実験装置を用いた。固体二酸化炭素の試料は装置内に設置した円筒型のガラスセル（鋳型）を用いて作成した。ガス圧によりセル内を10気圧程度にした後、温度をゆっくりと下げていくことにより、セル内に充填した炭酸ガスを液相を通してゆっくりと固化させた。そののちガラスセルのみを上方に引き抜くことにより直径 10 mm、長さ 6 - 7 mm の円筒形の試料を作成した。変形実験はパルスモータによって駆動するピストンによって行なった。本研究における実験温度は 150 - 185 K で歪速度は 10^{-4} - 10^{-2} sec $^{-1}$ である。

今回の温度・歪速度の領域では固体二酸化炭素の試料は塑性変形と脆性破壊の両方が観察された。固体二酸化炭素は 180 K 以上で歪速度が小さな領域では塑性変形をすることがわかった。これに対して 170 K 以下では今回おこなった歪速度では脆性破壊が見られた。このことから火星極冠では固体二酸化炭素は塑性変形と脆性破壊の両方を起こしうることがわかった。また、トリトンの表層温度である 30 - 45 K では固体二酸化炭素は脆性的な変形をすると予測できるので、表層に存在する「カントロープ平原」の様な高低差の大きな地形を固体二酸化炭素のみで出来た地殻では支えることは可能であろう。

DTA によるアモルファス氷の結晶化潜熱測定 彗星核からのガス放出率への影響

**Determination of latent heat of crystallization of amorphous ice by DTA:
implication for out-gassing rate from a cometary nucleus**

香内晃（北大低温研），城野信一（神戸大自然）

Akira Kouchi (Institute of Low Temperature Sciences, Hokkaido U.)

Sin-iti Sirono (Graduate School of Science and Technology, Kobe U.)

Latent heat of crystallization of amorphous H_2O ices containing CO , CO_2 , and CH_4 molecules were measured with the use of DTA (Differential Thermal Analysis). It has been shown that the crystallization is endothermic process when the ice contains more than 2% of impurities, in contrast to the pure amorphous H_2O ice resulting in exothermic crystallization. Out-gassing rate of CO from the cometary nucleus was numerically computed. In the case of endothermic crystallization, there is no distant activity of cometary nucleus, which is observed as outbursts if the crystallization is exothermic.

アモルファス H_2O 氷の結晶化潜熱は、彗星核の熱的進化およびガス放出率に対して重要な物理量である。純粋なアモルファス H_2O 氷の結晶化潜熱は正であり、結晶化は発熱過程であることが知られている。温度上昇に伴うアモルファス H_2O 氷の暴走的結晶化が彗星核からのアウトバーストの形成メカニズムであると考えられてきた。

しかし、ISO による観測からも示唆されるように、彗星核に含まれる氷は純粋な H_2O 氷ではなく CO 等の揮発性分子を不純物として取り込んでいることが予想される。そこで CO , CO_2 , CH_4 を含むアモルファス H_2O 氷の結晶化潜熱を DTA 法を用いて測定した。その結果、 CO 等の不純物は結晶化潜熱を低下させることが明らかとなった。特に、不純物の存在量が 2% を越えるとアモルファス氷の結晶化は吸熱過程へと変化する。

この実験結果を基にして彗星核からの CO 放出率を数值的に計算した。結晶化が発熱過程であると、太陽から 4AU 付近で CO のアウトバーストが現れる。しかし、結晶化が吸熱過程であるならばアウトバーストはおこらないことが明らかとなった。したがって、彗星核からのアウトバーストはアモルファス氷の結晶化以外のメカニズムで発生していると考えられる。

地球の氷惑星化現象：全球凍結の物理化学的プロセスと時間スケール

A Snowball Earth:
Physical and Chemical Processes and Timescales

田近英一 (東大・理)

Eiichi Tajika (Univ. of Tokyo)

Recently, geological evidence for low-latitude glaciations during the early and late Proterozoic has been confirmed and provided a "snowball Earth" hypothesis. However, it is not known whether a snowball Earth corresponds directly to the globally ice-covered Earth predicted by energy balance climate models. In this study, a theoretical model of energy balance coupled with carbon cycle is developed and used to investigate dominant processes and their timescales in this phenomenon.

地球が取り得る安定な気候状態として、全球凍結状態が知られている。気候が極端に寒冷化して地球全体が氷で覆われてしまえば、その高いアルベドのために太陽放射の大部分が反射されてしまう。一方、この条件下においては地球放射も非常に小さくなっているため、全球凍結状態は放射収支がバランスした安定な状態となる。大気中の二酸化炭素濃度を変数とした南北1次元エネルギーバランス気候モデルを用いると、太陽放射が現在よりも5-10%程度低下するか、または現在の太陽放射条件下で二酸化炭素濃度が現在の1/10程度以下になると、大氷床不安定が生じて一気に全球凍結状態に落ち込む可能性が示される。しかしながら、現実の地球はこのような極端な気候状態には決して陥らなかった、と従来考えられてきた。

ところが、最近、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(雪玉地球仮説)。このことは、地球が実際に全球凍結を経験した可能性があることを示唆しているように見える。しかしながら、実は全球凍結現象に関する理論的研究はこれまでほとんどなされておらず、実際にどのような現象が生じるのかについてはよく理解されていない。このため、地質記録を解釈するに際にも想像に頼った定性的な議論をせざるを得ないのが現状である。

そこで、今回、全球凍結現象に関する一連のプロセスについて、南北1次元エネルギーバランス気候モデルに炭素循環モデルを結合させて検討を行った。その結果に基づき、全球凍結現象を(1)暴走的寒冷化段階、(2)全球凍結段階、(3)大陸氷床・凍結海洋融解段階、(4)気候回復段階の4段階に分け、それぞれにおける支配的な物理化学プロセスとそれらの特徴的時間スケールについて議論を行う。

SIMS による月表土試料中の窒素同位体分析-太陽風組成の探求

Nitrogen isotope analyses of lunar regolith using the ion microprobe: in search of the solar wind component. 橋爪 光⁰/Hashizume Ko (*1, *2), Marc Chaussidon (*1), Bernard Marty (*1) *1: CRPG-CNRS, Nancy, France *2: 阪大・理 Dept. Earth & Space Sci, Osaka Univ.

月表土試料は火成作用を経ているにもかかわらず揮発性元素が大量に含まれている。その主な起源は太陽風、あるいは、月に落下した隕石・彗星等の惑星物質ではないかと考えられている。試料中の窒素を段階加熱法という手法を用いて抽出しその同位体比を分析すると複数の同位体比の異なる成分が観測される。窒素同位体比 $^{15}\text{N}/^{14}\text{N}$ の標準試料(地球大気)からの偏差を千分率で示した $\delta^{15}\text{N}$ という指標を用いて表現すると、月表土試料中のその変動幅は-200‰から+100‰に及ぶことが知られている。その同位体比異常の存在は 1970 年代前半には既に知られていたが、その解釈 - 異常の原因については月からのサンプルリターンからほぼ 30 年を経た今なお決着がついていない。ある人は太陽風中の窒素同位体比が過去数 10 億年の間に変動したのではないかと主張する (e.g., Kerridge, 1993)。これは月試料の推定露出時期とその試料の平均 $\delta^{15}\text{N}$ 値の間に見られる相関に基づいた仮説である。他方、微少隕石・彗星その他の惑星物質からの太陽風とは異なる同位体比を持った窒素の寄与により同位体比異常が見えるのではないかと主張する者もいる (Hashizume et al., 1999)。結局、これまでの手法による分析結果からはどの成分をもって月表土に記録された太陽風成分と呼ぶべきか明らかに出来ず、太陽組成の窒素同位体比は未知のままなのである。

我々は CRPG-CNRS (Nancy, France) に備わる SIMS (Cameca ims-1270) を用いて月表土試料中の窒素・炭素同位体の深さ方向分析を行った。この場合の SIMS による分析のメリットは nm 単位の深さ方向の元素・同位体分布がわかるので、太陽風のようにあるエネルギーを持って鉱物表面に打ち込まれた成分を他と区別することが可能な点である。標準物質 (Kerogen) を用いた実験では CC^+ 及び CN^- イオンから得られた $\delta^{13}\text{C}$ 及び $\delta^{15}\text{N}$ 値の再現性はそれぞれ 1.7, 4.2 ‰ (1σ , 150 秒毎の値) であった。但し、窒素・炭素を十分 (1000 ppm 以上) 含む珪酸塩標準試料がまだ準備中のため測定が間に合っていないので同位体 Matrix 効果の程度は未だ不明である。Apollo17 号により持ち帰られた 2 種類の試料を用いた。最近 1 億年に表面に露出した試料 71501 と 10 億年以上前に照射され、その後角礫岩化して照射を受けていない 79035 である。約 30 個の比較的粒径の大きい (500 μm -1mm の) 粒子を用いて分析を行った。6 個の粒子から有意な窒素同位体比異常が観測された。その範囲は $-250\text{‰} < \delta^{15}\text{N} < +140\text{‰}$ である。負の $\delta^{15}\text{N}$ 値を示す成分は 71501, 79035 の両試料で観測された。量的には表面の数 10 nm に濃集しており、指数関数的にイオン強度は減衰し、約 100nm で全く見えなくなった。同位体比異常がひとたび観測されると同じ粒子内で場所を移動させて分析しても同じ Depth profile が再現された。10-100 nm という成分の存在深度が 1keV/nuc 程度のエネルギーを持ったイオンが鉱物に打ち込まれた時に期待される打ち込み深度と調和的であること、また、成分が粒子の表面に均質に存在していることから、我々は $\delta^{15}\text{N}$ が負であるこの成分が太陽風成分と考えるのがもっともらしいのではないかと考えている。 $\delta^{15}\text{N}$ が正 (+140 ‰) の異常成分は 71501 に 1 例しか観測されなかった。この成分は $\delta^{13}\text{C}$ の異常 (+60 ‰) と相関して観測された。上述の負の $\delta^{15}\text{N}$ 値を持つ成分とは対照的に同一粒子内でこの成分は 30 μm 以下の範囲に局在していた。

Depth profiling of N and C isotopic composition in lunar regolith minerals has been performed using an ion microprobe, Cameca ims1270 equipped in CRPG, Nancy, France. The purpose of this study is to characterise the anomalous N isotopic components ($-200\text{‰} < \delta^{15}\text{N} < +100\text{‰}$) observed among the lunar regolith by their location, and to identify the solar wind component. Among grains of Apollo 17, soils 71501 and 79035, we observed nitrogen isotopic anomaly in a range of $-250\text{‰} < \delta^{15}\text{N} < +140\text{‰}$. The negative anomaly exist at the surface several tens of nm, and disappears at 100 nm depth. This component seems to exist homogeneously at the surface 100 nm layer of the grain. We consider that this component is the most likely candidate as the solar wind N component.

縞状鉄鉱生産の量的見積もりとその地球史的な意義

Estimation on the production rate of banded ironstone. -Role of subducted banded ironstone in early history of the Earth.

萩谷 宏(巣鴨高)

Hiroshi HAGIYA (Sugamo high school)

The production rate of free O_2 , estimated by the thickness of banded ironstone of Archean to early Proterozoic greenstone belt, is $\sim 10^{10}$ kg/year. Banded ironstone deposited on the oceanic plate had been subducted to mantle for 2×10^9 year, and if organic carbon kept to surface, free O_2 had been consumed by mantle. The "missing O_2 " problem can be explained by considering this process, and it suggests that there were widespread photosynthetic activity in the very early stage of earth's history.

地球史前半の海洋における特徴的な堆積物である縞状鉄鉱層は、酸素の少ない大気・海洋の状態の指標であると同時に、酸素放出型光合成生物の出現時期や酸素生産の量的見積もり、地球大気の組成的変遷を考える上で重要な存在である。

縞状鉄鉱の生産量は、これまでは大気・海洋と地殻だけの閉鎖系のモデルで議論され、地表に残された縞状鉄鉱床の時代と規模から、その量や変遷が推定されてきた。しかし、地球史初期から海洋底堆積物を載せたプレートの沈み込みが継続していたことは確実であり、閉鎖系のモデルは現実的ではない。2Ga までの多数のグリーンストン帯で縞状鉄鉱層がみられるので、これらが沈み込むプロセスにより、鉄イオンと結びついた大量の酸素が継続して表層から除去され続けていた可能性がある。

現在の地球表層に存在する有機炭素の総量に対し、大気中の酸素と酸素の消費者である縞状鉄鉱や硫黄の量が足りず、 10^{19} kg に達する"失われた酸素"の問題が指摘されている。各地のグリーンストン帯の地質柱状図から推定した、プレートの沈み込みに伴ってマントルに持ち込まれる縞状鉄鉱の量から、酸素の除去量を計算すると 10^{10} kg/year 程度と見積もられ、説明可能である。

化石記録から 3.5Ga に酸素放出型の光合成生物が現れたと考えられる一方、大気・海洋が 2.2Ga まで酸素の多い条件にならなかったという古土壌のデータは、生産された分子状酸素の除去システムとして、縞状鉄鉱のマントルへの沈み込みが継続したことで説明できる。それが超大陸形成などの要因で一時中断することがあれば、酸素の多い表層環境が突然出現することがありうる。

Constraint of highly siderophile element abundance on accretion of the Earth

○大谷栄治、佐藤 仁（東北大理）平田岳史（東工大理）

E.Ohtani, J. Sato (Tohoku Univ.) and T. Hirata (Tokyo Inst. Tech.)

Highly siderophile element abundances in the mantle provide an important clue to understanding the core formation and accretion of the Earth. We have conducted the partitioning experiments of Re and Pd between metallic and silicate liquids at 20–25 GPa and 2500°C in order to examine a possibility that the abundance of highly siderophile elements in the mantle is caused by the metal-silicate equilibrium in the deep magma ocean during core formation. The experimental results imply that the excess abundances of Re and Pd in the mantle can be accounted for by the equilibrium partitioning between the deep magma ocean and the sulfur bearing metallic iron. Thus the late veneer may not be needed to explain the abundances of at least Re and Pd in the mantle.

Ptグループの元素やReなどの強親鉄元素は、常圧では鉄とケイ酸塩間の元素の分配係数が非常に大きく、両者が共存すると金属鉄中にほとんどが分配される。上部マントルにおいてこれらの元素はコンドライト的な相対存在度を持ち、コンドライト中の濃度の0.003倍程度存在する。この量は核マントル平衡にあった場合に強親鉄元素の平衡分配から予想される存在度に比べてはるかに過剰である。このようなマントル存在度は初期地球において核形成後に始源的なコンドライト様物質（Late stage veneer）が上部マントルの約0.77%に程度に集積したものと解釈されている。また、このLate veneerのはちょうど現在の海洋に相当する量の水を地球にもたらす点からも海洋の起源を説明する点で都合がよい。他方、このようなLate veneerの痕跡は月や火星（火星起源隕石）には明瞭に認められないことはLate veneer説の弱点である。

本研究ではLate veneerで説明されているマントルの特徴が深いマグマオーシャン内部での金属とケイ酸塩の化学平衡で説明できるか否かを検討するために、マグマオーシャンの深部条件での金属鉄とケイ酸の強親鉄元素分配を明らかにする実験を行った。本実験では、熔融金属鉄とマグマの間のレニウムとパラジウムの分配係数を測定した。高温高压実験はマルチアンビル高压装置を用いて15 GPa及び20 GPaで2500°Cの条件で行った。高温高压条件を急冷凍結し回収した試料の主要元素分析には、EPMA（JEOL8800 Superprobe）を用い、ケイ酸塩中の微量のReとPdの測定には東京工業大学のレーザーICP-MS装置を用いた。

イオウを含まない系では、15 GPa、2500°CにおいてはReとPdの分配係数はそれぞれ $D(\text{Re}) \sim 1700$ 、 $D(\text{Pd}) \sim 11000$ となり、この値は圧力の増加とともに減少する。イオウを含む系では、15 GPa、2500°Cにおいては $D(\text{Re}) = 180$ および $D(\text{Pd}) = 430$ となる。したがって、少なくともマントルの過剰なReとPdの存在量は、イオウを含む深い（深さ450–600 km）マグマオーシャンの中で鉄とケイ酸塩が平衡分配したあと分離したという核形成モデルで説明することができ、Late veneerの存在が否定される可能性がある。

Petrological features of Asuka-881467 eucrite from Antarctica Keizo Yanai,
Faculty of Engineering, Iwate University, 4-3-5, Ueda, Morioka 020-8551, Japan.

Abstract: There are many eucrites in Asuka-88 meteorites collection recovered from Antarctica, in which Asuka-881467 have been identified as crystalline eucrites. The Asuka(A)-881388, A-881394 and A-881467 are collected in limited area at same site in the Nansenisen bare ice field, and they are an unbrecciated eucrites with complete crystalline in texture, but they are quite different lithologies and compositions each others. Especially A-881467 is more unique in all Antarctic eucrites because it contains many large porphyritic silica minerals.

Asuka-881467: The Asuka-881467 is 38g, medium-grained eucrite with shiny-black fusion crust. The eucrite is porphyritic texture of yellowish-brown pyroxene and porphyritic plagioclase with fine opaque set in fine grained-yellowish groundmass. The thin section shows the unbrecciated and porphyritic texture consisting of granular pyroxene with exsolution lamella, porphyritic plagioclase and silica mineral. A-881467 is heterogeneous texture characterized by porphyritic plagioclase and large amount of elongated silica mineral (~20% in volume) set in fine grained pyroxene and plagioclase groundmass.

The both A-881388 and A-881467 eucrites show a quite different in their textures, nevertheless both are very similar mineral compositions of orthopyroxene (~En35Fs60Wo5) with augite and augite lamella (~En30Fs30Wo40), calcic-plagioclase (An85.1-89.9Or0.1-0.9) and SiO₂. Other hand, A-881394 is more Mg-rich orthopyroxene (~En53Fs44Wo3) and Ca-rich plagioclase (An96-99), Therefore A-881394 eucrite differ from A-881394 and A-881467 eucrites.

Bulk chemical compositions: Both of A-881388 and A-881467 are very similar in their bulk compositions as same as mineral compositions. Their compositions are 18.1-18.7%FeO and 6.3-7.0%MgO. But A-881394 is more Mg-rich (9.5%MgO), Al-rich (15.4%Al₂O₃) and Fe-poor (12.7%FeO) than those of A-881388 and A-881467. The A-881394 is higher SiO₂ (~50%) than those (46%SiO₂) of others. Other elemental compositions are almost same among the 3 eucrites.

Summary: Three unbrecciated and complete crystalline eucrites A-881388, A-881394 and A-881467 were collected in very limited area of the bare icefield, Sor Rondane Mountains, Antarctica. They are quite different in their texture such as fine-grained, coarse-grained and prophyritic textures respectively. The A-881388 and A-881467 show similarities on their bulk and mineral compositions. But A-881394 eucrite differ from two other eucrites for its compositions that are Mg-rich orthopyroxene (~En55Fs42) and Ca-plagioclase (~An98). Therefore, the three eucrites are not paired but three separate falls originally.

Allende(CV3)隕石母天体の磁化機構と熱史

Mechanism of the magnetization and thermal history of Allende (CV3) parent body

°船木 實¹、P. Wasilewski²、1:極地研、 2: Goddard Space Flight Center, NASA
 °M. Funaki¹ and P. Wasilewski², 1:National Institute of Polar Research, 2: GSFC, NASA

An acquisition mechanism of NRM of Allende (CV3) was investigated to understand the complicate magnetic behavior reported by previous investigators. Thermomagnetic properties of a sulphide phase, NRM carrier minerals by magnetotactic bacteria and magnetic anisotropy were studied. The results indicated that the nonstoichiometric pentlandite carries the stable NRM which is demagnetized thermally at 320°C. An oblate ellipsoid of the magnetic anisotropy was observed resulting from the uniaxial compression. From these experimental results, Allende probably acquired the NRM by the formation of pentlandite during thermal metamorphism in the parent body. Thermal history of the parent body was discussed.

1. はじめに

本研究の主要部分はMeteoritical Society (1999)で報告したが、未公表のデータも含めて再考察した。Allende隕石の磁気的特徴として、Curie Pointが600°Cであるにもかかわらず、自然残留磁気(NRM)は320°Cで消磁される。この理由として(1)部分熱残留磁化の獲得と、(2)Pyrrhotiteが磁気を担っている、という説が提案されている。しかし(1)では600-320°C間で無磁場、320°C以下で磁場の発生を想定しなければならず不自然であり、(2)では600°CのCurie PointがPyrrhotiteでは説明できない問題点があった。このようにAllendeのNRMを担う鉱物がはっきりせず、NRM獲得機構が完全に理解されていない状況にある。

2. 実験結果

AllendeのNRMを担う鉱物を決定するため保磁力の温度依存性、走磁性バクテリアによる磁性鉱物の決定、磁性鉱物の化学組成の検討、磁気異方性の測定を行なった。これらの測定の結果、Nonstoichiometric PentlanditeがAllendeの主要なNRMを担う鉱物で、この鉱物は330°CでCurie点を通じた後も560°C付近まで磁化を持ち得ることが判明した。本来Pentlandite (FeNi)₉S₈は反強磁性で磁化を持たないが、Sの割合が増加することにより、Pyrrhotiteのように、フェリ磁性を示すと考えられる。

外部磁場0.3mTと1.3Tで磁化率の異方性を調べた結果、Allendeは一軸性磁気異方性(oblate)を示した。この様な異方性は一軸圧縮によって形成される。Allendeはほとんど衝撃変成を受けていないので、圧縮は重力によるものと考えられる。

Allende母天体では水質変成、脱水作用、それに硫化作用があり、最高400°Cの熱変成を受けたことが明らかになっている。実験結果は硫化作用でPentlanditeが形成された時に外部磁場があったことを示している。隕石母天体内部で、²⁶Al→²⁶Mgや重力加熱等により温度が上昇すれば、水質変成、脱水作用、硫化作用が一連の現象として理解できる。もし母天体中心部の温度が900°Cを越えるとFeSは熔融し、Sは外部に、金属は中心部に集まりコアを作る可能性が考えられる。金属コアの形成により磁場の発生も説明できる。そして、母天体表面が冷却する過程でAllendeは磁化した可能性が考えられる。

CM コンドライトの炭素質物質と熱変成
Relationships between the pyrolytic features of
CM chondritic carbonaceous matter and thermal metamorphism

○北島富美雄、中村智樹、高岡宣雄、村江達士（九大院・理）

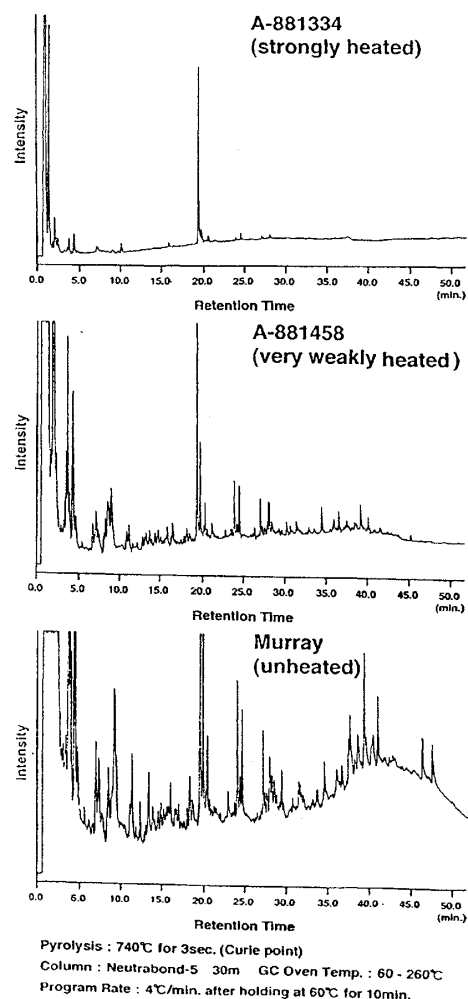
○F. Kitajima, T. Nakamura, N. Takaoka, and T. Murae

(Graduate School of Science, Kyushu University)

The observed pyrolyzates from strongly heated chondrites, A-881334, Y-86695 were quite poor compared with the unheated chondrites, Murray, Y-791198. The two weakly heated chondrites, A-881458 and Y-793321 yielded intermediate amounts of pyrolyzates. The amounts of pyrolyzates decrease when the chondrites have experienced higher degree of heating. The pyrolyzates from Y-86789, which has been strongly heated sample, may be a trace of terrestrial weathering, based on the pyrogram signature.

炭素質コンドライト中の高分子状炭素質物質は、縮合芳香環に C-C、C-O などの主に単結合からなる構造が結合し、この単結合を主体とする構造（未組織部分）が縮合芳香環を架橋したり、または高分子の末端部分を形成しており、その所々に酸素などを含む置換基が結合している構造を持つとおおよそ考えられている。この物質が熱を受けると縮合芳香環部分がグラファイト様の巨大芳香環に発達していき、最終的にはグラファイトに近い物質となる。また、この物質を熱分解すると、生成物は主に未組織部分から発生すると考えられる。この時、グラファイト様巨大芳香環部分は相対的に分解しにくく、僅かな熱分解生成物しか発生しない。このため、熱分解生成物がどれだけ発生するかによって、隕石の熱変成の進行と共に、炭素質物質の炭素化・グラファイト化がどの程度進行しているのかがわかると予想される。

そこで、熱変成度の異なるいくつかの CM コンドライトの熱分解-GC による分析を行った。結果の一部を右図に示す。A-881334、Y-86695 などの比較的強い熱変成を受けた形跡のある隕石からの熱分解生成物は、Murray、Y-791198 などの未変成の隕石からの熱分解生成物よりも非常に少なく、上記の予想と合致する結果となった。また、弱い熱変成を受けたと推定される A-881458、Y-793321 は中間的な特徴を示した。Y-86789 は熱履歴から予想されるよりも多くの熱分解生成物を与えたが、これらは、風化の影響を反映している可能性がある。



マスケリナイトのカソードルミネッセンス

Cathodoluminescence of Maskelynite

○佐藤 暁子, 蜷川 清隆, 兵藤 博信*

Akiko Satoh, Kiyotaka Ninagawa and Hyodo Hironobu*

岡山理科大学応用物理学科, 岡山理科大学自然科学研究所*

Department of Applied Physics, Okayama University of Science

Research Institute of Natural Sciences, Okayama University of Science*

We measured cathodoluminescence (CL) image, composition and X-rays diffraction of maskelynites in Etter (L5, Shock stage S5). Maskelynite was observed homogeneously on a polarization microscope, however it showed inhomogeneous CL emission. CL intensity of maskelynite inversely correlated to K content. We also recognized feldspar in the maskelynite.

普通コンドライトに分類されている Etter (L5, Shock stage S5) は、30~35GPa 以上の非常に強い衝撃を受けており、斜長石がガラス化したマスケリナイトが多く存在する。

試料薄片中のマスケリナイト片を偏光顕微鏡で観察すると均一に見えるが、Cathodoluminescence (CL) 写真撮影を行うと、濃淡の激しい不均一な発光を示した。これに伴い、同一部分において EPMA による面分析を行うと、CL 発光と同じ様相で、Ca と K が分布していることが認められた。また、この結果から、CL 発光部分は Ca が多く分布し、無発光部分は K が多い事が判明した。EPMA による定量分析の結果を下表に示す。測定条件として、加圧電圧 15kV、電流値 12nA、数値の単位は wt% である。

Maskelynite の CL 発光、無発光部分の組成 (wt%)

	SiO ₂	Al ₂ O ₃	FeO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	Total
CL 発光部	65.5	20.9	0.3	2.5	10.3	0.2	99.7
CL 無発光部	64.5	20.2	0.3	1.3	9.4	2.4	98.1

また、マスケリナイトは、完全な非晶質だと考えていたが、微小部 X 線回折分析を行った結果、斜長石の微小な結晶が残存していた。

近年の ⁴⁰Ar/³⁹Ar 年代測定法においては、レーザービームによる微小部の年代測定が可能となってきた。今回、マスケリナイト中の K の多い部分をレーザープローブ(φ 約 100 μm)を用いて、衝撃年代を測定する試みも紹介する。

リターンサンプルへの XTM (X 線トモグラフ顕微鏡) の応用

Application of an XTM (X-ray tomographic microscope) to studies of extraterrestrial samples returned by a space mission.

○土山明 (阪大理)、上杉健太郎 (東工大理)、中野司 (地調)、鈴木芳生、八木直人、梅谷啓二 (高輝度光科学研究センター)

Akira Tsuchiyama¹⁾, Kentaro Uesugi²⁾, Tsukasa Nakano³⁾, Yoshio Suzuki⁴⁾, Naoto Yagi⁴⁾, and Keiji Umetani⁴⁾

1) Osaka University, 2) Tokyo Institute of Technology, 3) GSJ, 4) JASRI

Uesugi *et al.* (1999) developed an XTM (X-ray tomographic microscope) at Spring-8 (Synchrotron radiation facility in Nishiharima), which can give information of the three-dimensional distribution of materials of different X-ray linear attenuation coefficients with spatial resolution of about 10 μm by non-destructive manner. This XTM must be available for curation and studies of extraterrestrial samples, such as those which will be returned from the asteroid by MUSES-C in 2006.

大型放射光施設である Spring-8 において、X 線トモグラフ顕微鏡(XTM)の開発に成功した (Uesugi *et al.*, 1999)。コリメートされた単色光源 (7-50keV) を用いることにより、物質の X 線の線吸収係数(LAC)の 3 次元分布を、非破壊で撮影することができる。現状の X 線検出光学系では、最大 5mm のサンプルを、 $6 \times 6 \times 6 \mu\text{m}^3$ の画素サイズという空間分解能で、撮影可能である。1 サンプルに要する撮影時間は 3-4 時間、さらに画像再構成には 3-4 時間を要する。小さいサンプルでは、複数個の同時撮影も可能である。

本発表では、MUSES-C 計画による小惑星からのリターンサンプル (2006 年回収予定) を始めとする貴重な地球外サンプルに関しての、XTM を用いたキュレーションや研究の有用性について提案する。XTM 撮影により、空隙や LAC の異なる鉱物の量とその 3 次元分布が求められる。LAC は密度と化学組成および透過する X 線のエネルギーによって決まるので、鉱物同定もある程度可能である。これにより、肉眼観察以上の精度で、サンプルの記載・分類が十分可能であると思われる。非破壊法なので、サンプル分析フローのかなり初期に XTM を用いたサンプルの記載・管理が可能となる (均一性のチェック、薄片作成などのための切断位置の決定など)。また得られる 3 次元構造からは、2 次元組織観察では得られないユニークな情報が得られる。サンプルホルダーを工夫することにより、サンプル保持用の接着剤を用いることなく、撮影をおこなうことも可能である。今後は、X 線検出系を改良して、空間分解能の向上をめざしたい。得られた画像データ処理ソフトの改良も今後の課題のひとつである。また、サンプル撮影中に、蛍光 X 線分析(XRF)や X 線回折(XRD)を同時におこなうことも可能である。この All-round X-ray Analyzer とでも呼ぶべき装置が実現すれば、平均組成と構成鉱物の情報も同時に得られるので、XTM 像の解析にも大いに役立ち、今後の装置開発が望まれる。

X線CT法によるコンドリュールの3次元構造解析

○川畑俊晴、土山明、近藤真弘（阪大・理）

Analysis of Three Dimensional Structure of A Chondrule by X-ray CT Method

○Toshiharu KAWABATA, Akira TSUCHIYAMA, and Masahiro KONDO (Osaka Univ.)

Three dimensional structure of a chondrule from Allende was observed by a high resolution X-ray computed tomography (CT) system (Kawabata et. al., 1999). The CT images show that this chondrule is not a complete sphere, but is oblate, and most voids are aligned nearly along the minor axis of the oblate chondrule (Fig.1). This suggests that the chondrule might be spinning when it was formed. Based on the equilibrium shape of a melt droplet, which considers the surface tension and the centrifugal force, the aspect ratio of the oblate chondrule suggests that the angular velocity was about 20 ~ 30 rps.

コンドリュールの3次元的な形状や内部の構造を知ることは、コンドリュールの起源を知る上で重要である。Kawabata et. al.(1999) は、Allende隕石中のコンドリュールをX線CTスキャナーで観察した（空間分解能約 $10\mu\text{m}$ ）。CT像の観察より、コンドリュールは斑状で、内部には空隙が数多く存在することが確認された。得られたCT像の解析を行ったところ、コンドリュールは球が潰されたような形、つまりオブレート状の外形をもつことがわかった。その長軸は約2.8mmで、短軸は約2.6mmであった。また、空隙は14箇所に約 $30\mu\text{m}$ ~ $200\mu\text{m}$ のサイズのもので存在し、いずれもオブレートコンドリュールの短軸付近に沿って位置していることがわかった（図1）。これらの事実は、コンドリュールが熔融時、スピンしていたことを示唆する。おそらく熔融時、内部には気泡が存在し、それらがスピンにより回転の中心軸に集まったものと考えられる。

今回は、このオブレートコンドリュールの偏平率から、このコンドリュールが熔融時経験したと思われる回転速度を見積もった。メルトの表面張力と遠心力がつりあっているときの平衡外形はChandrasekhar (1964) によって求められている。珪酸塩メルトの代表的な値として、表面張力を $250\sim 400\text{dyn/cm}$ (Murase & McBirney, 1973) とし、メルトの密度を 2.8 g/cm^3 とすると、このコンドリュールはおよそ20~30 rpsの角速度で回転していたことが推測される。

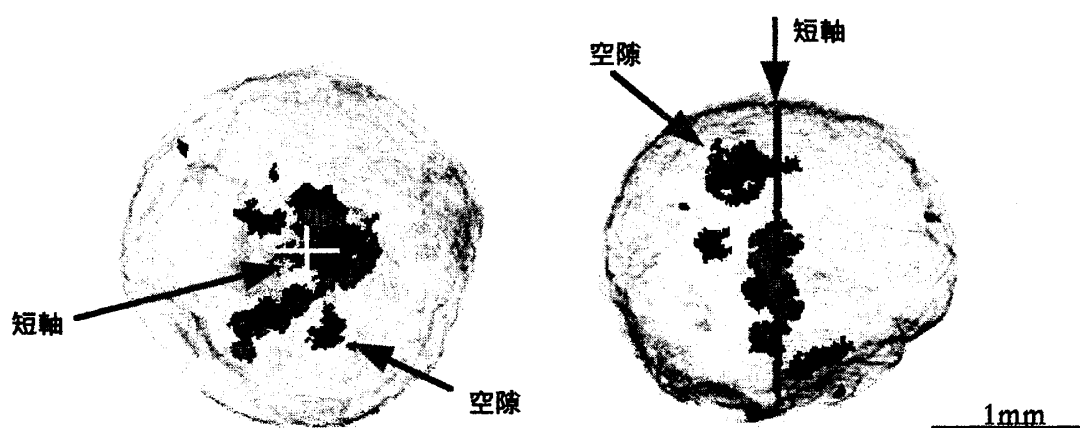


図1 コンドリュールの3次元像の一例。画像処理でリムを取り除いた後、全体を透過させ、内部の空隙が見えるように加工してある。左が軸の上方から見た透過図、右が横から見た透過図。

1999年9月26日神戸に落下した隕石について (速報)

A tentative report on the meteorite fell at Kobe on September 26, 1999.

○中村昇 (神戸大理)、小村和久・井上睦夫 (金沢大理)、土山明・松田准一 (阪大理)、米田成一 (国立科博)、小島秀康・三澤啓司 (極地研)、留岡和重・小島知子 (神戸大理)

Noboru Nakamura¹⁾, Kazuhisa Komura²⁾, Mutsuo Inoue²⁾, Akira Tsuchiyama³⁾, Jun-ichi Matsuda³⁾, Shigekazui Yoneda⁴⁾, Hideyasu Kojima⁵⁾, Keiji Misawa⁴⁾, Shigekazu Tomeoka¹⁾ and Tomoko Kojima¹⁾

1) Kobe University, 2) Kanazawa University, 3) Osaka University, 4) National Science Museum, 4) National Institute of Polar Research

The meteorite, which fell at Kita-ku Kobe on September 26, 1999, is totally about 136 g in weight, and was broken into several pieces. The meteorite is dark gray in color, and has a fusion crust. Observations by naked eyes and under a binocular microscope and tentative XRF and EPMA analyses show that this might belong to a carbonaceous chondrite although precise analysis is inevitably required. More than 10 cosmogenic nuclides were detected including ^{24}Na , ^{43}K , and ^{28}Mg . ^{28}Mg was found for the first time in the world.

1999年9月26日午後8時30分頃、神戸市北区筑紫が岡3丁目に隕石が落下した。隕石は2階建民家の屋根を貫通して、2階の部屋で発見された。総重量は約136gで、5cm程度を最大とするいくつかの破片にわかれていた。肉眼および実体顕微鏡下での観察では、ヒュージョンクラストが認められる。破断面は暗灰色を示し、コンドリュールと思われるものも、少数ではあるが認められる。白色包有物とおぼしきものも少数認められるが、多くの部分を占めるマトリックス部は粗粒である。兵庫県警科学捜査研究所における暫定的な分析では、蛍光X線分析によりMg, Al, Si, S, Ca, Ti, Cr, Fe, Niの元素が検出され、EPMAによる面分析(エネルギー分散および波長分散)ではさらに、Oおよび少量ではあるがCのピークも認められた。小さな破片の密度(静水法による)は、 3.447g/cm^3 であった。薄片観察や詳細な化学分析をおこなっていない現時点では確実なことはいえないが、我が国に落下した隕石でははじめての、炭素質隕石である可能性もある。

最大破片(約5cm)について、金沢大学理学部低レベル放射能実験施設において、宇宙線放射核種の測定がおこなわれた。 ^{24}Na , ^{43}K , ^{28}Mg を始めとする、十数種類の核種が見いだされた。とくに ^{28}Mg はこれまで報告がなく、今回落下した隕石で始めて見いだされたものである。

現在、分類を確定するために、詳細な薄片観察や化学分析をすすめている。また、Monahans隕石に発見されたhalite (Zolenski *et al.*, 1999)のように、これまで存在があまり予期されてこなかった相の発見の可能性なども含めて、この隕石に関する今後の詳細な研究が望まれる。

気相化学反応による珪酸塩鉱物の核生成実験

Experimental heterogeneous nucleation of silicate mineral in vapor phase

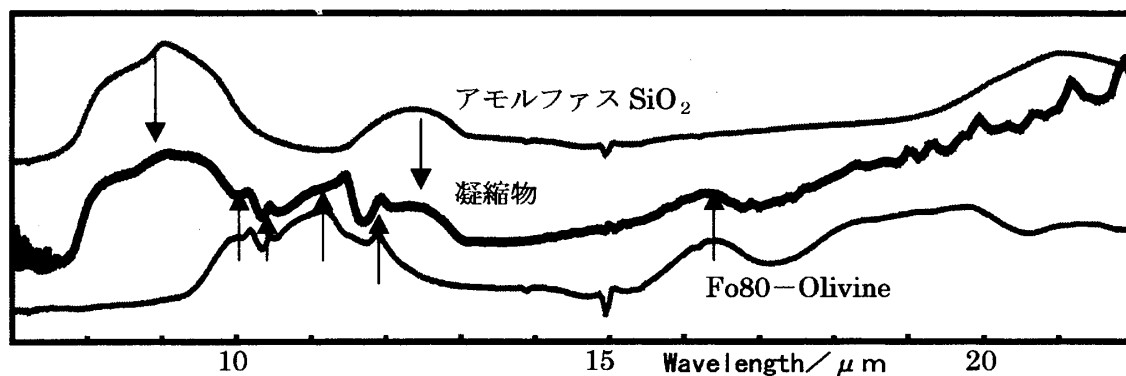
○平家 勉¹⁾ Tsutomu Heike
 平原 靖大¹⁾ Yasuhiro Hirahara

Abstract

Recent studies of astronomical observation revealed that the dust particles consist of silicate minerals called "Astronomical silicate". To clarify the heterogeneous nucleation process of astronomical silicate, we conducted evaporation experiment by using microwave plasma reactor (Nakazawa *et al.* 1994). We characterized the condensation product by electron microscope, fluorescence X-ray, infrared spectroscopy and electron diffraction. Our analysis showed the product consists of Forsterite as well as amorphous SiO₂. We confirmed the first synthesis of Forsterite through heterogeneous nucleation process in vapor phase.

概要

近年の赤外天文観測により、星間塵の構成要素としていわゆる"Astronomical Silicate"の存在が明らかにされた(ex. Molster *et al.* 1999.)。これらの鉱物微粒子は高温、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考えられるが、その生成メカニズムには不明の点が多く、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(到達温度 6000K、Nakazawa *et al.* (1994)を用い、石英ガラス及びPericlase(MgO)粉末を蒸発し、得られた凝縮物を種々の手法により分析した。電子顕微鏡観察及び特性X線元素マッピングから凝縮物の組成は Mg:Si 原子数比で1:5であることがわかった。図1に凝縮物およびアモルファス SiO₂、Forsterite 成分比 80%の Olivine の赤外拡散反射スペクトルを示す。ピーク位置の一致から凝縮物はアモルファス SiO₂ および Forsterite の混合物と考えられる。凝縮物のスペクトルに対するアモルファス SiO₂ および Forsterite の寄与を最小二乗法により求めたところ、その寄与率の比はほぼ 1:2 である。凝縮物におけるアモルファス SiO₂ の髯状構造の直径 0.5 μm、および吸収強度と粒径との反比例関係を仮定すると、今回得られた Forsterite 微粒子の粒径は 0.1 μm程度と見積もられる。また、電子線回折像の解析の結果からも、Forsterite の存在が確認されたが、Periclase は見出されなかった。これらの結果から、今回の実験において得られた Forsterite 微粒子 は、蒸発気体中における SiO₂ と MgO の化学反応により生成したと結論される。



図ー 1 凝縮物と標準物質の赤外拡散反射スペクトルの比較

¹⁾名古屋大学理学研究科地球惑星理学専攻 Department of Earth and Planetary Sciences, School of Science, Nagoya University

宇宙風化作用のシミュレーションと 小惑星の反射スペクトル

Simulation of Space Weathering and Reflectance Spectra of Asteroids

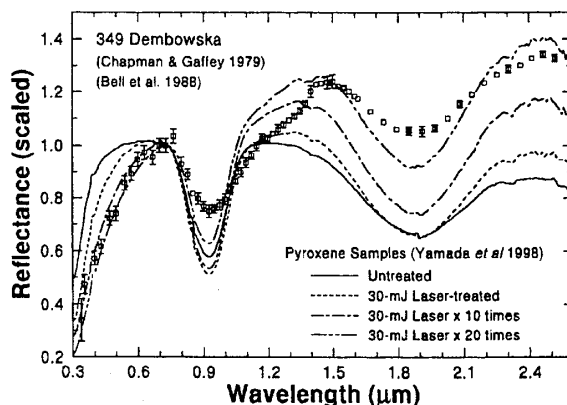
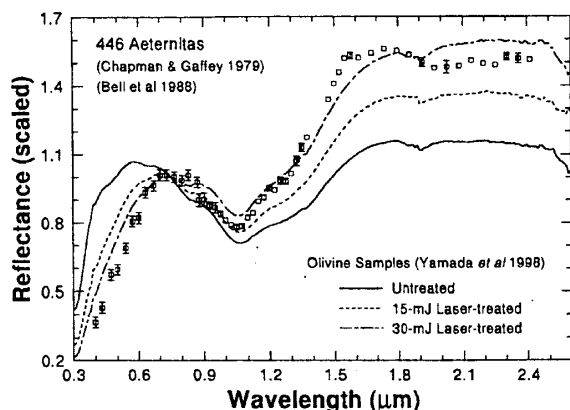
○佐々木晶（東大理）、廣井孝弘（ブラウン大）、山田真保（宇宙フォーラム）
Sho Sasaki (U. Tokyo), Takahiro Hiroi (Brown U.), Maho Yamada (Japan Space Forum)

In order to simulate space weathering, we performed nanosecond pulse laser irradiation onto olivine and pyroxene samples. Reduction of albedo and reddening are produced more easily in olivine samples than in pyroxenes. Spectra of two asteroids Aeternitas and Dembowska are reproduced by irradiated olivine and enstatite samples, respectively.

小惑星と隕石の反射スペクトルの間には大きな違いがあり、微小隕石衝突により、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。パルスレーザー照射を、微小隕石衝突による加熱の代わりに用いた研究を我々は開始している。

Yamada et al. (1999) [Earth, Planets, and Space, in press]は、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、鉱物サンプルの反射スペクトルの変化を調べた。PyroxeneよりOlivineの方がはるかに変化（反射率の低下と赤化）しやすいという重要な結果を得た。これは、宇宙風化作用において、鉱物組成の依存性があることを示している。我々はまた、宇宙空間ではolivineの多い小惑星ほど、赤化が進んでいることを明らかにしている(Hiroi and Sasaki, submitted)。

図は、小惑星のスペクトルとレーザー照射後のサンプルの反射スペクトルとの比較である。いずれも、 $0.75\mu\text{m}$ で規格化してある。左図は、A-type Asteroidに属する446 Aeternitasと、Olivineのレーザー照射後のスペクトルとの比較である。パルスエネルギー30mJの照射後のスペクトルは、可視域の傾きと $2\mu\text{m}$ 域の平坦な特徴とも、よく一致している。右図は、R-typeの349 Dembowskaのスペクトルと、Enstatiteのレーザー照射後の反射スペクトルとの比較である。30mJの照射を20回行った後のデータが、比較的よく一致している。両方の小惑星とも、スペクトルの赤化が見られる一方で、吸収帯の大きな変化がない、という特徴を、よく再現できている。



月面反射スペクトルと表面粒子サイズの関係 Evaluation of grain size effect on mineral reflectance

○大竹真紀子、大嶽久志、比嘉道也、杉原孝充

宇宙開発事業団 先端ミッション研究センター つくば市千現 2-1-1

Makiko Ohtake¹, Hisashi Otake¹, Michiya Higa¹, Takamitsu Sugihara¹

¹Advanced Mission Research Center, National Space Development Agency of Japan

2-1-1 Sengen Tsukuba Ibaraki, Japan

The purpose of this study is to evaluate a grain size effect on mineral reflectance spectra and to make clear the reason of reddening feature of small grain size fraction separated from a lunar sample. We made laboratory measurements both of fresh and simulated weathered olivine of different grain size. The results indicate that both samples show grain size effect on reflectance spectra and only the simulated weathered sample show reddening feature in small grain fraction.

月面の反射スペクトルは鉱物量比や化学組成のほか、宇宙風化作用の程度や粒子サイズなどさまざまな条件によって異なる。今回、我々は反射スペクトルに与える粒子サイズの影響を評価する試みを行った。粒子サイズについてはこれまでに、宇宙風化を受けた月試料の反射スペクトル測定結果より、粒子サイズの小さな物ほど強い赤化をすることが知られている (Pieters et al., 1998¹)。宇宙風化作用とは、太陽風にさらされたり微小隕が衝突する事によって起こる反射スペクトルの変化を指し、これによって反射率の低下、吸収ピークの深さ減少、波長の長い方向へ反射率が上昇する (赤化と呼ぶ)、という3つの変化が生じると言われている (Hapke et al., 1972²)。月試料において粒子サイズの小さな物ほど強い赤化を示す理由として、小さい粒子ほど強い風化作用を受けているためという解釈がなされている。一方、粒子サイズが反射スペクトルに与える影響をモデル計算で求めた研究 (Shkuratov et al., 1999³)からは粒子サイズが小さくなると赤化に似た反射スペクトル変化が起こることが示唆されている。

今回の研究では、月表面の粒子サイズが反射スペクトルに与える影響を実験的に求めるため、かんらん石を用い、風化を受けていない試料と月面上の宇宙風化作用を加熱によって模擬した試料の両方について異なる粒子サイズの試料を作成し、それぞれの反射スペクトル測定と解析を行った。その結果、風化を受けていない試料では粒子サイズが異なると反射率の違い、吸収バンド深さの変化は生じるものの赤化現象は見られなかった。一方、宇宙風化作用を模擬した物質では粒子サイズによって反射率の違い、吸収バンド深さ変化の上に赤化も起こることが明らかとなった。この結果より、風化作用を受けた物質では風化作用の強度には関係なく粒子サイズが小さくなると赤化が起こっている可能性があること、風化した物質としていない物質では粒子サイズの影響が異なることなどが確かめられた。今後、リモートセンシングによって得られるデータから月や小惑星など表層の鉱物分布を知る上では、このような粒子サイズを考慮した解釈が必要であろう。

¹ Pieters and Fischer (1993) J. Geophys. Res., 98, 20817 - 20824.

² Hapke (1977) Science, 195, 977-979.

³ Shkuratov, Starukhina, Hoffmann and Arnold (1999) Icarus 137, 235 - 246.

宇宙塵表面上の水素分子生成点付近での局所的温度上昇と化学的蒸発機構

○ 高橋 順子 (国立天文台)、David A. Williams (University College London)

The Local Heating and Chemical Desorption Mechanism in the Vicinity of H_2 Forming Sites on Cosmic Dust Grains

○ Junko Takahashi (National Astronomical Observatory of Japan) and David A. Williams (University College London)

The chemical desorption of an adsorbed CO molecule in the vicinity of H_2 forming sites on cosmic dust grains was investigated by a classical molecular dynamics (MD) computational simulation. As a model surface for icy mantles of dust grains, an amorphous water ice slab was generated at 10 K, and two H atoms were thrown onto the model surface to reproduce the H atoms' recombination process, $H + H \rightarrow H_2$. Then, the time and space dependence of the local temperature increase of icy mantles caused by the release of H_2 formation energy in the vicinity of H_2 forming sites was examined.

宇宙塵表面は、星間物質の化学進化にとって重要な場である。水素分子は、超低温・超低密度の宇宙空間中では気相反応によって生成することが困難であるため、宇宙塵表面上で生成する。宇宙塵表面では、それ以外にもさまざまな化学過程が起こっていると考えられている。従来、暗黒星雲内部では、宇宙塵表面で生成された分子や凝固した分子はそのまま凍結してしまうと言われてきたが、それでは説明のつかない量の分子が気相中にあるため、凍結分子が蒸発する何らかの機構があると考えられる。その機構の1つとして、宇宙塵表面上で水素分子が生成される際に生成エネルギーの一部が吸収されて宇宙塵マントルの局所的な温度上昇が起こることに伴う凍結分子の化学的蒸発機構がある。

本研究では、アモルファス構造の H_2O の氷の板を宇宙塵マントルのモデルとし、その表面上で2つの水素原子が反応して水素分子が生成する過程の分子動力学 (MD, Molecular Dynamics) シミュレーションを10 Kの温度下で行い、上記の機構を検討してみた。アモルファス氷上で入射された2つのH原子が出会った時、 H_2 分子が生成され、生成エネルギー (110 kcal/mol) の大部分は生成した H_2 分子の振動、回転、並進エネルギーへ分配され、残りの4.4 kcal/mol (4.0 %) がアモルファス氷へ吸収されることがわかった。次に、 H_2 分子生成点付近での宇宙塵マントルの局所的な温度上昇の時間変化を解析し、背景温度10 Kに対し、 $R < 6 \text{ \AA}$ で約 20 ~ 30 Kまで上昇することがわかった。この結果に基づいて、暗黒星雲内部で宇宙塵表面に凍結したCO分子が蒸発する臨界温度と、大きな塵及び小さな塵の極限での蒸発効率について考察した。

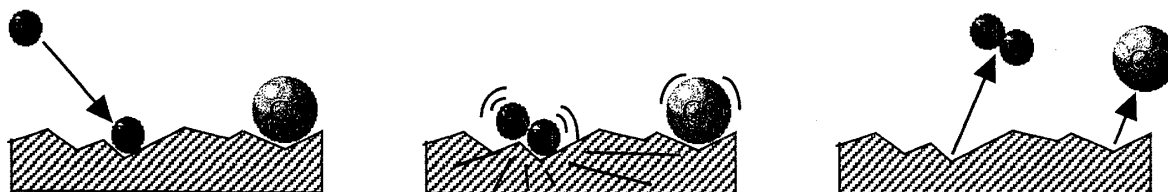


図1. 宇宙塵表面上での水素分子生成反応と、その近傍に凍結していたCO分子の化学的蒸発過程

コア／マントルプレソーラーグレインの不均質凝縮

Heterogeneous Condensation of Presolar Core-Mantle Grains

千貝健（名大理／北大理），山本哲生（名大理），小笹隆司（北大理）

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

Formation conditions of the presolar TiC core-graphite mantle grains observed in the Murchison meteorite are investigated for gas outflows from carbon-rich AGB stars taking into account of heterogeneous nucleation and growth. It has been found that wider stellar environment is allowed to reproduce observed characteristics of the presolar grains compared with Chigai et al. (1999).

TiC コア／graphite マントルプレソーラーグレインの分析によれば，コアとマントルの半径比は $r_{\text{mantle}}/r_{\text{core}} = 3\text{--}600$ である (Bernatowicz et al., 1996). 一方，宇宙元素存在度の Ti/C 比から期待される半径比は $r_{\text{mantle}}/r_{\text{core}} = 3.5\text{--}16.3$ (ただし，星の大気の C/O 比を 1.01–2.0 と仮定) である (Chigai et al., 1999). 理論と分析の差の原因として TiC 粒子の成長の途中で graphite が TiC 粒子表面に不均質凝縮し，TiC コアの成長を妨げたということが考えられる.

本研究は，2 成分系の heterogeneous nucleation and growth を炭素星の星周領域に応用し，どのような物理条件でどのようなコア／マントルグレインが形成されるかの計算を行なった. その結果，隕石中から抽出されたコア／マントルプレソーラーグレインの条件（コア半径，マントル半径，コア／マントル半径比，凝縮の順序）を再現する粒子が典型的な炭素星の星周領域で形成されることがわかった，また，これらの粒子は Chigai et al. (1999) の結果に比べて，広い範囲の物理条件で形成可能であることがわかった.

References

- Bernatowicz, T. J., Cowsik, R., Gibbons, P., Lodders, K., Fegley, B., Jr., Amari, S., & Lewis, R. 1996, ApJ, 472, 760
Chigai, T., Yamamoto, T., & Kozasa, T. 1999, ApJ, 510, 999

Na₂O-SiO₂ メルトからの Na 蒸発速度

○白井智子、橘 省吾、土山 明 (大阪大学・理)

Evaporation rates of Sodium from Na₂O-SiO₂ melt

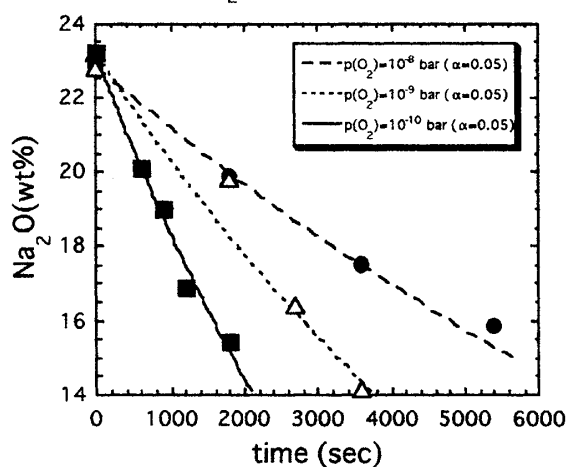
Tomoko SHIRAI, Shogo TACHIBANA and Akira TSUCHIYAMA (Osaka Univ.)

Chondrules were formed as isolated molten droplets in the primitive solar nebula. Volatile alkali elements evaporate easily from silicate melts at high temperatures. However, contents of Na in chondrules are not so depleted compared with the solar abundance. This problem has been one of the important restrictions for discussing chondrule formation. However, evaporation rates of Na have not been known systematically under different conditions with different composition. In this study, we examined evaporation rates of Na from silicate melts, in which the activity of Na was known, in order to discuss its evaporation kinetics. The measured evaporation rates of Na were about 0.05 times smaller than the ideal ones.

コンドライト中のコンドリュールはその形状などから高温で熔融したと考えられている。高温の珪酸塩メルトからは揮発成分が速やかに蒸発してしまうことが予想されるが、中程度揮発性元素である Na はコンドリュール中からあまり失われていないことが知られている。そのため、現在までに Na 蒸発量からコンドリュールの生成条件を求める試みがなされてきている。しかし、コンドリュールメルト中の Na 活動度データの不足から蒸発カインेटイクスがすべて明らかになっているわけではない。本実験では活動度が既知の出発物質を用いたメルトからの Na 蒸発実験を行い、Na の蒸発カインेटイクスを調べることでコンドリュール形成時の Na 蒸発への応用を目指す。

実験は、出発物質として Na₂O-SiO₂ ガラス (Na₂O = 22~23 wt%, SiO₂ = 77~78 wt%: 融点約 800℃) を用いておこなった。15mg 程度の Na₂O-SiO₂ ガラスを直径約 2mm の白金ワイヤループでスーパーカンタル炉の炉中につり下げ、様々な条件下で加熱した。実験後、サンプルの EPMA 分析をし、各条件ごとの Na₂O 濃度の変化を測定した。実験条件は温度が 1300℃、1400℃、圧力は 1atm、雰囲気ガスは H₂/CO₂、酸素分圧は 1.0×10^{-8} 、 1.0×10^{-9} 、 1.0×10^{-10} bar、加熱時間は温度と酸素分圧に応じて様々で行った。Hertz-Knudsen 式による理論上の蒸発速度、 j_{the} と実験による蒸発速度、 j_{exp} との違いを蒸発係数 α ($\alpha = j_{exp}/j_{the}$) で表すと、 α は約 0.05 であった。

加熱時間とNa₂O濃度の関係 (1400℃)



炭素質物質から生成するマイクロダイヤモンドの成長

Growth of micro-diamond produced carbonaceous materials

木村誠二、牆内千尋（立命館大理工）、和田節子（電通大）

Seiji Kimura, Chihiro Kaito (Ritsumeikan Univ.),

Setsuko Wada (University of Electro-Communications)

By heating a quenched carbonaceous composite which shows absorption peak similar to interstellar 217.5nm extinction curve, growth of micro-diamond with a size of about 1 nm was found by means of in-situ observation with high resolution electron microscopy. The growth is discussed on the basis of a specific configuration of sp^3 hybridization existing on the surface of QCC particles.

炭化水素プラズマから作られる急冷炭素質物質（QCC）は星間塵の 220nm のこぶを含めた減光特性によく似た吸収を示し、炭素質星間塵の候補として有力な物質である。その構造は高分解能電子顕微鏡法による解析の結果、220nm に吸収ピークを示す QCC にはタマネギが乱れたような層状構造が存在し、それを加熱すると吸収ピークの位置が長波長側にシフトすることをこれまでに報告した[1]。その QCC の構造変化を見るために高分解能電子顕微鏡法によるその場観察をおこなった結果、真空中低温で加熱することによって大きさ約 1nm のマイクロダイヤモンドが成長することを見いだしたので報告する。

電子顕微鏡の中、100℃で QCC を加熱すると、乱れていた層状構造がそろってくるとともに、粒子の界面から黒いものが生成し、やがて QCC グレインの表面にダイヤモンドに対応した格子像を示す黒い物が見られるようになった。そのようなダイヤモンドの大きさは非常に小さく(1nm)、ほぼそろっていた。これまでにダイヤモンドの成長には、水素原子でターミネートされた sp^3 カーボンの存在が重要な働きをしていると報告されている[2]。QCC グレインは炭素を主とした層状構造から構成されているが、その表面には水素を含んだアモルファス状のものが存在している[1]。今回、低温加熱で非常に簡単にダイヤモンドが成長したことから、QCC グレインの表面に成長の核になるような構造のものが存在しているのではないかと考えられる。

References

- [1] Wada et al. (1999), *Astron. Astrophys.*, 345, 259-264.
- [2] Yugo et al. (1995), *Diamond Relat. Mater.*, 4, 903-907.

著者索引

A

安部正真 206, 303
荒川政彦 P426
荒木博志 204

B

A. Burkert P417

C

M. Chaussidon 507
千貝健 **705**

D

台坂博 **P410**
大東佳奈 **501**

E

榎森啓元 P415
遠藤実 **P423**

F

G. Faber P429
F. Ficsher P429

G

A. Glasmachers P429
E. Gruen P429

H

G. Hofschuster P429
萩谷宏 **508**
濱邊好美 **302**, P429
花田英夫 P406
春山純一 **P407**, P401
長谷川直 **206**, 202, 302
橋爪光 **507**
早川雅彦 P404
林祥介 P409, P412
平家勉 **701**
比嘉道也 **P421**, P405, P407
P426, 703
疋田肇 **307**
平原靖大 701
平井研一 P404
平田成 **P401**, 203, P407
平田岳史 509

廣井孝弘 702
本田親寿 201
本田理恵 201
本多了 P414
堀忍 **P403**
宝来帰一 P404
藤井康正 208
藤村彰夫 P404
藤波慎司 504
藤原顕 303, 305, P429
福岡孝昭 **P420**
船木實 **602**
船津幸永 P434
布施哲治 202
兵藤信博 604

I

井田茂 **P417**, 102, 104
P410, P413
E. Igenbergs P429
H. Iglseider P429
飯島祐一 201
今川吉郎 305, 306
今井良二 P430
今村剛 **106**
稻田愛 **207**
井上睦夫 607
石橋之宏 307
石田修一 **102**
石黒正晃 **208**
石原盛男 P405, P433
石渡正樹 P409, P412
伊藤啓行 P433
岩田隆浩 **P406**

K

門野敏彦 305
塙内千尋 707
鎌倉千秋 305, 306
亀井秋秀 **P419**, 205, P422
金子竹男 P434, 502
加藤學 P431, P432, 504
川畑俊晴 **606**
河内啓輔 306
川股正和 **205**, P422
河崎行繁 P434

河村亨 302
河野宣之 **204**
木村誠二 **707**
木下宙 **105**
北島富美雄 **603**
北村勝英 P430
北澤幸人 **305, 306**, P430
小林憲正 **P434, 502**, P418
小島秀康 607
小島知子 607
近藤眞弘 606
香内晃 **301**, P425, P426
505
工藤達行 **P426**, 301
倉本圭 P411

L

J. Larwood P417

M

前野紀一 P426
増田仁美 502
B. Marty 507
松田准一 607
松田智規 P431, P432
村江達士 501, 603
松井孝典 P418
道上達広 **303**
三澤啓司 607
三谷典子 **304**
宮寺岳仁 306
宮川厚夫 P434
宮本英昭 P429
宮坂正大 202
宮田一孝 **P427**
水谷仁 201, 307, P404
森重和正 P429
森島龍司 **P416**
向井正 205, 207, 208
P422, P427, P429
R. Muenzenmaye P429
村尾一 P432

N

長柄泰博 P406
 長沢真樹子 **104**
 南雲浩一郎 **P402**
 中川貴司 **P414**
 中井宏 105
 中島健介 **P409**, P412
 中村昭子 205, 207, P402
 P419, P422
 中村昇 **607**
 中村良介 202, 205, 207
 208
 中村龍太 306
 中村智樹 603
 中野英之 **P425**, 301
 中野司 605
 中山博喜 **P422**
 中山陽一 306
 中澤清 102, P415
 並木則行 P406
 W. Naumann P429
 蜷川清隆 P423, 604
 野上謙一 302, P420, P429
 野口高明 P420

O

小高正嗣 **P412**, P411
 小川美奈 P406
 萩原和広 306
 大江昌嗣 204
 太田豊彦 P430
 大橋暁弘 502
 大橋英雄 302, P429
 大嶽久志 **203**, 703, P401
 P421
 大竹真紀子 **703**, P405, P421
 大谷栄治 **509**
 岡利春 P430
 岡田達明 **P432**, P431
 岡田豊 305
 小村和久 607
 小笹隆司 705

S

西願寺善彦 **503**
 斎藤潤 P430
 齊藤威 P434, 502
 坂上恵一郎 **P418**

酒井辰也

佐々木晶
 佐藤暁子
 佐藤勲

佐藤恵一

G. Schwehm

柴田裕実
 白井慶

白井智子

白石篤史

城野信一

杉原孝充

杉田精司

杉浦直治

鈴木芳生

H. Svedhem

T

館義昭

橘省吾

田近英一

田口孝治

高田淑子

高橋順子

高岡宣雄

武田隆顕

竹広真一

竹内拓

田中秀和

田中智

谷川享行

田澤雄二

留岡和重

豊田岐聡

坪川恒也

土'山明

塚原文夫

U

上松和夫

上杉健太郎

梅谷啓二

潮賢太郎

P424

P429,702, 302

604

P428, 202

509

P430

P429

302

P431, P432

706

P407

505

P405, P421, 703

P418

P408

605

P429

306

706

506

P432

P403

704

603

P413

P409

103

102, 104, P410

P404

103

P420

607

P433, P405

204

605, 606, 607

706

P432

305

605

605

P418, 502

W

和田節子 707

P. Wasilewski 602

渡部直樹 P426

渡部重十 P411

渡邊誠一郎 101, 103, 304

P416

D. A. Williams 704

Y

八木直人 605

山田真保 702

山多隆宏 **101**

山口真一 P433

山越和雄 P429

山本幸生 **P431**, P432

503, 705

山梨洋人 502

山下靖幸 **504**

柳澤正久 **202**, P428

601

矢内桂三 302

矢野創 **P411**

横島徳太 P420

横田裕子 **201**

横田康弘 607

米田成一 P406

米倉克英 304

吉田正典 **P404**

吉田信介 **P415**

吉田敬 208

吉下千秋

日本惑星科学会 1999 年秋季講演会組織委員会

組織委員長：大谷栄治（東北大学）

組織委員：近藤忠、鈴木昭夫、久保友明（東北大学）
高田淑子（宮城教育大学）

組織委員会連絡先：〒980-8578 仙台市青葉区荒巻字青葉
東北大学大学院理学研究科・地学専攻
鈴木昭夫

TEL 022-217-6663

FAX 022-217-6675

e-mail: akio@ganko.tohoku.ac.jp