

日本惑星科学会

1995年

秋季講演会予稿集

1995年11月13日(月)～14日(火)
於：北海道大学学術交流会館



Abstracts

1995 Fall Meeting
of
The Japanese Society for Planetary Sciences

目次

’95 秋季講演会プログラム

’95 秋季講演会アブストラクト

セッション 1

セッション 2

セッション 3

セッション 4

セッション 5

ポスター講演

著者索引

日本惑星科学会1995年秋季講演会

プログラム

11月13日（月）

- 9:00- 9:30 受付
9:30-12:00 セッション 1
12:00-13:00 昼食
13:00-14:00 ポスターセッション
14:00-15:30 セッション 2
15:30-16:30 シンポジウム「近未来の月惑星探査」
16:30-16:40 休憩
16:40-17:40 特別講演「気候変動と地球温暖化研究の現状」
松野太郎教授（北大・地球環境科学研究所）
18:00-20:00 懇親会(百年記念会館「きやら亭」)

11月14日（火）

- 9:00-11:00 セッション 3
11:00-12:00 ポスターセッション
12:00-13:00 昼食
13:00-15:00 セッション 4
15:00-15:30 休憩
15:30-17:30 セッション 5

11月13日（月）午前

09:00-09:30 受付

セッション1

[座長：佐々木 晶]

09:30-101 微粒子集合体の光散乱特性の構造・化学組成への依存性

小笠 隆司（神戸大・理），渡邊 豊*（神戸大・自然）

09:45-102 惑星間塵の光散乱：al-term methodとmodal analysis

岡本 創*（神戸大・自然），Yu-lin Xu（フロリダ大・天文）

10:00-103 黄道光のドップラーシフトの観測

向井 正*，渡辺 豊（神戸大・理），
J. F. James (Univ. Manchester), I. Mann (MPI Aeronomy)

10:15-104 ジェットを伴う原始惑星系円盤の非定常進化

渡邊 誠一郎（名大・理）

10:30-105 フラクタルダストに働くガス抵抗

—原始惑星系円盤内での凝集成長・沈降への影響—

中村 良介（神戸大・自然）

10:45-106 太陽系星雲内のダスト層の重力不安定性 I. 軸対称モード

関谷 実（九大・理）

11:00-107 SL9木星衝突：赤外観測からのplumeの運動の検出

竹内 覚*（九大・理/国立天文台），長谷川 均（アステック）

渡部 潤一（国立天文台），山本 直孝（東京理科大・理）

11:15-108 シューメーカー・レビー第9彗星の衝突痕跡の幾何学モデル

渡部 潤一*（国立天文台），長谷川 均（アステック），

竹内 覚（九大・理/国立天文台）

11:30-109 Mars Imaging Cameraによる科学観測計画

中川 直彦*（神戸大・自然），向井 正（神戸大・理）

11:45-110 低密度物質を用いたダストコレクターの開発（その1）

今川 吉郎（宇宙開発事業団），藤原 顯（宇宙研），
吉田 博夫（機械研），伏木 克美，北澤 幸人*
(石川島播磨重工業)

12:00-13:00 昼食

11月13日（月）午後

13:00-14:00 ポスターセッション

セッション2

[座長：渡邊 誠一郎]

14:00-201 小惑星探査計画検討作業の現状報告

藤原 顯（宇宙研）

14:15-202 小惑星探査計画（MUSES-C）：サンプリング装置

飯島 祐一*，安部 正真，中村 昭子，藤原 顯，澤井 秀次郎，
川口 淳一郎（宇宙研），加藤 学，藤波 慎司，増田 忠志，
三輪治代美（名大・理），サンプラーワーキンググループ

14:30-203 Muses-C計画における小惑星質量及び重力の計測

荒木 博志*，花田 英夫（国立天文台），安部 正真（宇宙研），
大江 昌嗣（国立天文台），藤原 顯（宇宙研）

14:45-204 LUNAR-A月震計の開発

水谷 仁*，藤村 彰夫，早川 雅彦，田中 智（宇宙研），
山田 功夫（名大・理），小山 順二（東北大・理），
伊藤 潔（京大・理），村上 英記（高知大・理），荒木 博志
(国立天文台)，高木 義彦（アカシ）

15:00-205 LUNAR-Aペネトレータ搭載衝撃加速度センサーの開発

白石 浩章*，田中 智，早川 雅彦，藤村 彰夫，水谷 仁
(宇宙研)

15:15-206 月ペネトレータによる熱流量計測計画

田中 智*，水谷 仁，藤村 彰夫，早川 雅彦，安部 正真
(宇宙研)，宝来 帰一（気象研），平井 研一（日産自動車）

11月14日（火）午前

セッション3

[座長：永原 裕子]

09:00-301 爆発現象時における軽元素合成と酸素同位体比

吉田 敬*, 榎森 啓元, 中澤 清 (東工大・理)

09:15-302 隕石・月試料のアルカリ元素存在度の比較

木多 紀子 (地質調査所)

09:30-303 オーディナリコンドライト中のW, Moの分布とその宇宙化学的意味

孔 屏, 海老原 充* (都立大・理)

09:45-304 微小宇宙物質の化学分析（2）

福岡 孝昭* (学習院大・理), 田澤 雄二 (京大・理)

10:00-305 ロシア宇宙船ミール船内より採取した放射線耐性微生物の検討

樺島 麻理子*, 小池 悠平 (東工大・生命理工),
斎藤 威 (東大・宇宙線研), 河崎 行繁 (三菱生命研),
小林 憲正 (横浜国大・工)

10:15-306 模擬星間塵中での陽子線照射による有機物の生成

笠松 隆志*, 金子 竹男, 小林 憲正 (横浜国大・工),
小池 悠平 (東工大・生命理工), 斎藤 威 (東大・宇宙線研)

10:30-307 火星上の有機物：その生成と検出法

小林 憲正*, 笠松 隆志, 佐藤 忠, 金子 竹男
(横浜国大・工), 石川 洋二 (大林組・環境生物研),
斎藤 威 (東大・宇宙線研)

10:45-308 MPDアーケッジットによるアミノ酸の短時間大量合成

宮川 伸*, 田村 英樹, 澤岡 昭 (東工大・工材研),
小林 憲正 (横浜国大・工)

11:00-12:00 ポスターセッション

12:00-13:00 昼食

15:30-16:30 シンポジウム

[司会：藤原 顯]

「近未来の月惑星探査」

16:30-16:40 休憩

16:40-17:40 特別講演

[座長：山本 哲生]

「気候変動と地球温暖化研究の現状」

松野太郎教授（北大・地球環境科学研究所）

18:00-20:00 懇親会（百年記念会館「きやら亭」）

11月14日（火）午後

セッション4

[座長：安部 正真]

13:00-401 比較惑星河川学 V

門田 晃典*，水谷 仁（宇宙研）

13:15-402 暴走温室状態における熱収支

石渡 正樹*（北大・地球環境），中島 健介（九大・理），
林 祥介（東大・数理科学）

13:30-403 ^{40}Ar からみた火星のマグマ生成とマントル分化

田近 英一*，佐々木 晶（東大・理）

13:45-404 月の揮発性元素の散逸

倉本 圭（東工大・理）

14:00-405 高圧下での金属鉄-H₂O反応生成物の形状と組織について

奥地 拓生（東工大・理）

14:15-406 粉体の塑性変形

城野 信一*，山本 哲生（北大・理）

14:30-407 宇宙塵の氷マントル表面上での水素原子の運動

増田 耕一*（神戸大・自然），向井 正（神戸大・理）

14:45-408 外惑星固体アンモニア水中のNH₂ラジカルのESR年代測定

金森 博*，平井 誠，彼末 一則，池谷 元伺（阪大・理）

15:00-15:30 休憩

セッション5

[座長：飯島 祐一]

15:30-501 氷球の反発係数のサイズ依存性に関する実験

比嘉 道也*, 荒川 政彦, 前野 紀一 (北大・低温研)

15:45-502 天王星氷円リングの維持機構の検証

梶山 徹*, 榎森 啓元, 井田 茂 (東工大・理)

16:00-503 土星リングにおける空間密度構造の形成

台坂 博*, 榎森 啓元 (東工大・理)

16:15-504 火星のダストリングの自己保持機構

佐々木 晶 (東大・理)

16:30-505 衝突による小惑星の自転進化

柳澤 正久*, 長谷川 直 (電通大)

16:45-506 玄武岩中の衝撃波の伝播速度と減衰

中澤 晓*, 清野 龍也, 白井 慶, 渡邊 誠一郎,
加藤 學 (名大・理), 飯島 祐一 (宇宙研)

17:00-507 氷球の斜め衝突により形成されるクレーターのその場観察

小野瀬 直美*, 荒川 政彦, 比嘉 道也 (北大・低温研)

17:15-508 氷-氷衝突破壊における放出物の速度計測

荒川 政彦*, 比嘉 道也 (北大・低温研)

ポスター講演

P01 衝突破壊による暴走成長の加速

稲葉 知士*, 田中 秀和, 中澤 清 (東工大・理)

P02 応力緩和を伴う衝撃波の減衰の数値シミュレーション

三谷 典子* (東大・理), 渡邊 誠一郎 (名大・理)

P03 衝突破片速度の質量依存性

高木 靖彦* (東邦学園短大), 中村 昭子 (宇宙研), 藤原 顯 (宇宙研)

P04 高速衝突により発生するガス雲の温度

門野 敏彦* (京大・理/宇宙研), 藤原 顯 (宇宙研)

P05 その場観測による氷の衝突蒸発実験

杉 紀夫*, 荒川 政彦, 香内 晃, 前野 紀一 (北大・低温研)

P06 大氷衛星の内部構造：体積変化モデル

山岸 保子*, 栗田 敬 (東大・理)

P07 不純物を含むアモルファス氷の熱的性質

香内 晃 (北大・低温研)

P08 彗星における有機化合物の形成を模倣した光化学反応

村江 達士*, 平山 隆博 (九大・理)

P09 彗星塵からの散乱光の角度分散：

凝集体の構成要素粒子がサブミクロンの場合

亀井 秋秀*, 岡本 創 (神戸大・自然), 向井 正 (神戸大・理)

P10 不規則形状塵の非等方的熱放射による軌道進化に与える摂動

木村 宏*, 向井 正 (神戸大・自然)

P11 惑星間磁場中を運動する塵粒子の軌道進化

古荘 玲子* (神戸大・自然), 向井 正 (神戸大・理)

P12 黄道面外でユリシーズによって観測されるベータ・メテオロイド

山本 聰* (神戸大・自然), 向井 正 (神戸大・理)

P13 粉体の統計熱力学

山本 哲生*, 城野 信一 (北大・理), 万代 英俊 (北大・低温研)

P14 冷たいガス円盤における自己重力不安定(Ⅰ) 計算法

中本 泰史 (筑波大・物理学系)

P15 隕石中の炭素同位体比測定—装置開発

鈴木 敦子*, 杉浦 直治, 比屋根 肇 (東大・理)

P16 Midplane Shock Heating によるコンドリュール形成モデルの検証

北神 今日子* (東工大・理), 中川 義次 (神戸大・理)

P17 SiC グレインの構造と赤外吸収スペクトルの関係

塙内 千尋*, 畑山 康幸, 木村 誠二, 阪本 剛正 (立命館大・理工), 小池 千代枝 (京都薬大), 齊藤 嘉夫 (京工織大)

P18 かんらん石蒸発の異方性

永原 裕子*, 小澤 一仁 (東大・理), 森岡 正名 (東大・RIセンター)

P19 いくつかの難揮発性親鉄及び親石元素に関する太陽系元素存在度の評価

海老原 充*, 尾崎 大真, 篠塚 一典, 日高 洋 (都立大・理)

P20 最近落としたユレライトを含む3個のモンゴル産石質隕石について

矢内 桂三 (岩手大・工)

P21 大規模熔岩流のシミュレーションによる惑星表面における熔岩流の噴出条件の推定

宮本 英昭*, 佐々木 晶 (東大・理)

P22 地球・月系潮汐進化と月のQ

安部 正真* (宇宙研), 大江 昌嗣 (国立天文台)

P23 LUNAR-A月震計のイベントトリガーシステム

水谷 仁*, 藤村 彰夫, 早川 雅彦, 田中 智 (宇宙研), 山田 功夫 (名大・理), 小山 順二 (東北大・理), 伊藤 潔 (京大・理), 村上 英記 (高知大・理), 荒木 博志 (国立天文台)

P24 MICによる火星の砂嵐の観測について

吉田 浩之*, 中川 直彦(神戸大・自然), 向井 正(神戸大・理)

P25 小惑星の蛍光X線観測と小惑星探査: V-XRSの室内模擬実験-

岡田 達明*, 田中 智, 飯島 祐一, 藤村 彰夫, 水谷 仁
(宇宙研), 加藤 学, 鳥居 龍晴, 鈴木 和司, 増田 忠志(名大・理)

P26 近地球小惑星のレーダー観測; 小惑星6489 (=1991JX)の試験観測

中村 昭子*(宇宙研), 小山 泰弘, 吉川 真(通総研), 西掘 俊幸
(都立航空高専), 中村 士(国立天文台), 岡田 達明, 安部 正真,
平林 久(宇宙研), 布施 哲治(日大), 岩田 隆浩,
中島 潤一, 関戸 衛(通総研), 水谷 仁, 藤原 顯(宇宙研),
S. J. Ostro, D. K. Yeomans, D. Choate, R. A. Cormier, R. Winkler,
R. F. Jurgens, J. Giorgini, and M. A. Slade (JPL/Caltech)

P27 ロシア宇宙船ミール船内より採取した微生物試料の検討

小池 慎平*, 横島 麻里子, 有坂 文雄(東工大・生命理工),
斎藤 威(東大・宇宙線研), 河崎 行繁(三菱生命研),
小池 和子(茨城県立医療大), 西村 和子, 田口 英昭
(千葉大・真核微生物研究センター), 清水 一史(日大・医),
小林 憲正, 笠松 隆志(横浜国大・工), 大島 泰郎, 越田 智宏
(東京薬大), 笹田 正明(TBS)

P28 ロシア宇宙船ミール船内より採取された微生物

-顕微蛍光法による細胞の観察、測定-

河崎 行繁*(三菱生命研, 宇宙研), 大島 泰郎(東京薬大),
小池 慎平(東工大・生命理工), 小林 憲正(横浜国大・工),
斎藤 威(東大・宇宙線研), 笹田 正明(TBS),
辻 勇(三菱生命研), 山下 雅道(宇宙研)

P29 火星表層物質-その圈外生物学的な意味

石川 洋二*(大林組・技術研究所), 小林 憲正(横浜国大・工),
斎藤 威(東大・宇宙線研)

日本惑星科学会
1995年秋季講演会アブストラクト

セッション 1

(11月13日(月)午前:No.101~110)

微粒子集合体の光散乱特性の構造・化学組成への依存性

Dependence of scattering properties of dust aggregates on
their structure and chemical composition

小笠 隆司（神戸大・理） 渡邊 純^o（神戸大大学院・自然科学）

Abstract

The dependence of scattering properties of dust aggregates on their structure and the chemical composition has been investigated, using the discrete dipole approximation method. Based on the result of calculations we shall discuss how the scattering properties of dust aggregates reflect the differences of their structure and the chemical composition of their constituent particles.

原始太陽系星雲中に存在し我々の太陽系諸天体の原料物質であるチリや太陽系始源天体である彗星から放出されたチリは、惑星間塵に見られるようにサイズや組成の異なった微粒子の集合体で、微粒子集合体の光学特性等の諸物性の系統的な研究の重要性は言うまでもない。特に、微粒子集合体の光散乱特性の研究は、観測結果の解釈や惑星間塵の性質を明らかにする上だけでなく、将来行われるであろうサンプルリターンにより持ち帰られるであろう彗星塵や惑星間塵などの資料を非破壊で分析する上での基礎的な知見を与える。

従来、我々は計算機で生成された単一組成の構成粒子から構成された構造の異なる微粒子集合体の光学特性を discrete dipole method を用いて調べてきた。微粒子集合体の光散乱特性、すなわち散乱光の強度や偏光度の度合の角度依存性は集合体の全体的な大きさやその内部及び表面構造だけでなく、集合体を構成する微粒子の化学組成にも依存する。今回は、化学組成の違いが集合体の構造の違いとともにどの様に光散乱特性に反映するかを明らかにするために、5種の異なった充填率を持つ微粒子集合体に対して、化学組成の異なる2種類の構成粒子を考え、組成比を系統的に変化させて光散乱特性の計算を行った。計算に用いた構成微粒子は珪酸塩とガラス質炭素であり、集合体の構成粒子の総数は8192個である。

同一のサイズ・構造を持つ微粒子集合体では、化学組成の変化に応じて散乱光の強度や偏光の度合、更には干渉パターンの現れる散乱角度が系統的に変化することが示される。計算結果に基づいて、微粒子集合体の光散乱特性が集合体の構造や化学組成をどの様に反映するかについて議論する。

惑星間塵の光散乱

: a1-term method と modal analysis

○岡本 創 (神戸大・自然) 、 Yu-lin Xu (フロリダ大・天文)

Light scattering by interplanetary dust particles

: the a1-term method versus modal analysis

○Hajime Okamoto¹⁾ and Yu-lin Xu²⁾

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

2) The Department of Astronomy, Univ. of Florida, U.S.A.

Recently we have developed the a1-term method to calculate the scattering properties of interplanetary dust particles. In this method, a spherical monomer is replaced by a single dipole and the dipole polarizability used in the Discrete Dipole Approximation (DDA) is determined by the first scattering coefficient (a1-term) in Mie theory. Recent investigations have studied the exact solutions to Maxwell's equation for cluster of spheres. Such a modal analysis provides a unique opportunity to test the accuracy of the a1-term method applied to the cluster of spheres. We report comparisons of light scattering computations for cluster of spheres based on the a1-term and the exact modal analysis. We show the a1-term method gives reasonable accuracy for the cross sections.

惑星間塵の光散乱過程を調べる上で現在大きな問題の一つは、ダストの半径と波長の比で定義されるサイズパラメーター X が 1.0 以上の場合、任意の散乱の形状の散乱体（ダスト）に適応できる理論がないということであった。つまり X が 1.0 以下の粒子に対しては、Discrete Dipole Approximation (DDA) が適応できるが、計算機の容量及び計算速度の制限からそれ以上のサイズの粒子の散乱計算は、事実上不可能であった。この問題を克服するため、近年我々は dipole の分極率をミー理論から求めることで、構成要素粒子が球であるクラスター系について、計算領域を大幅に拡げる方法を示した (a1-term 法)。一方このような凝集体については、構成要素粒子の個数が少ない場合には、正確な解を与える理論が存在する (modal analysis)。ここでは、a1-term 法と modal analysis との比較について報告する予定である。

黄道光のドップラーシフトの観測

Measurements of Doppler Shift of the Zodiacal Light向井正⁰、渡辺毅（神戸大・理）、

J.F. James(The Univ. of Manchester ,England) ,

I. Mann(MPI für Aeronomy, Germany)

T.Mukai, T.Watanabe(Kobe Uni.),

J.F.James(The Univ. of Manchester), I.Mann(MPIA)

To test various models of the interplanetary dust clouds, photometry and spectro-photometry of the zodiacal light have been done by using a Fabry-Perot spectrograph with refrigerated charge-coupled-device camera at the observatory at 3049 m on the summit of Haleakala, Maui, Hawaii in August-September 1995. Doppler shifts of deep Fraunhofer lines around 5180 Å (Mg triplet lines) have been detected. The results and their scientific importance will be summarized.

黄道光のドップラーシフトの測定から、惑星間塵の運動を調べることができる。

1970年代、様々なグループによってドップラーシフトの観測が行われた。しかし、その低い観測精度のため、唯一の結論は、“惑星間塵の大部分が、順向軌道にある”ということだけだと言われてきた。今回新たな観測を実施した背景は、

(1) 理論計算によって、ドップラーシフトの観測が、惑星間塵の物理特性の日心距離依存性を反映するという予測がでたこと (Mukai and Mann 1993, A&A 271,530)、と (2) 冷却CCDカメラによって、従来精度の50倍の高精度観測が可能となったこと(James et al. 1995, IAU Col.150) がある。

ドップラーシフト量は当然のこと、視線方向が太陽に近づくにつれて増加する(太陽離角40度で~0.6Å)。この増加量の太陽離角依存性が、単純なケプラー速度を描く塵による散乱の重ね合せでは説明できない。塵に働く太陽放射圧をケプラー速度に導入し、かつ、この放射圧の効き方が日心距離に依存するとすれば、従来の観測結果が説明できる。この事は、塵の構造が日心距離によって変わることを示唆する。より精度の良い観測によって、この塵特性の日心距離依存性を明らかにすることが、今回の観測の一つの目的であった。

観測は大気光の混入を抑えるために、ハワイ・マウナケア山頂観測所で1995年夏期(8月から9月のおよそ40夜)に実施した。得られたデータは現在解析中であるが、その結果を速報すると共に、その科学的意義について報告する。

ジェットを伴う原始惑星系円盤の非定常進化

渡邊 誠一郎（名大理）

Non-Steady Evolution of Protoplanetary Disks with Jets

Sei-ichiro Watanabe

Dep. of Earth and Planetary Sciences, Fac. of Science, Nagoya University

High-velocity jet from a young star plays a significant role in the evolution of the central star and the surrounding protoplanetary disk. According to the recent observations by the HST, these jets show remarkable beaded structures, which may be produced by machine-gun-like blasts of dense gas from the central region of the disks. We explain the cataclysmic behavior as follows: Suppose the jet blows at a rate less than the equilibrium value, then the star would gradually spin-up. By the dynamo effect the rapid rotation would nonlinearly strengthen the magnetic field, the jet would gain in power, and the star would gradually spin-down.

HST の観測により、原始星や若い星に伴うジェットは、極く狭い中心領域から非常に良くコリメートされて放出されていることが明らかになった。これは、Shu 等 (1994) によって提案されているジェット放出のメカニズム（中心星の磁場に貫かれたディスクの最も内側の領域からの磁気遠心力風モデル）と整合的である。しかし、HST の観測に見られるもう一つの特徴であるジェット放出の間欠性は、Shu 等の定常モデルでは扱えない。

星の進化のこの段階では、星をとりまくアクリーション・ディスクから質量が供給され、一部がジェットとして放出され、残りは中心星に落下している。ジェット放出の間欠性は、このディスクからの集積率が間欠的に変化することに起因していると考えるのが一般的であるが、問題点も多い。本研究では、ディスクからの集積率は一定であるが、ジェットへの配分率が変動する可能性を考察した。

我々は、まず、中心星磁場に貫かれた幾何学的に薄いディスクの構造を計算した。そして、ディスクからのジェットの放出量と運び出される角運動量を求めた。重要なパラメタは、ディスク中心面でのアルフヴェン速度 v_a と音速 c_s との比とケプラー時間 t_K と中性ガス粒子とイオンのカップリング時間 t_B との比である。計算結果によれば、集積する質量フラックスの 1%以上のフラックスを持つジェットが放出されるのは、両パラメタが比較的限られた領域にある場合だけであることがわかった。

これらのパラメタに影響を与えるのは、ディスクを貫く磁場の強さ、ディスクのガス密度、および温度である。このうち磁場は、中心星でのダイナモ作用によって生じるため、中心星の自転速度に依存する。

ダイナモ作用の非線形的な応答により、以下のようにジェットの間欠的な放出が実現されると考えられる。まずジェットが弱い状態を考える。このときジェットによる角運動量の十分な除去ができなくなり、質量の集積と共に中心星は次第にスピンドアップする。自転がある程度早くなるとダイナモ作用で磁場は急激に強化される。それによってジェットは強くなり、角運動量が運び去られ、中心星は次第にスピンドウンする。

フラクタルダストに働くガス抵抗

--- 原始惑星系円盤内の凝集成長・沈降への影響 ---

中村良介（神戸大・自然）

The effect of fractal geometry on dust growth and settling in
protoplanetary disks

R.Nakamura

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

Taking into account of the correlation between the rate of molecular collision and the efficiency of momentum transfer explicitly, we performed computer simulations of the collisions of gas molecules with fractal aggregates to estimate the drag force in the free molecular regime. Quasi Monte Carlo method made it possible to calculate multivariate integrations with sufficient accuracies. It was found that the gas drag force on fluffy aggregates can be approximated by that on area-equivalent sphere in a wide range of relative velocity of the aggregate to the ambient gas. The influences of this result on coagulation and settling of the aggregates are investigated.

原始惑星系円盤内のダストの成長、彗星核や晚期星からのダストの放出などをあつかう場合、自由分子領域におけるガス抵抗則は最も重要なパラメーターである。一方、固体微粒子の付着成長によって形成された凝集体は、従来仮定してきたような単純な球ではなく、一般に不規則な構造を持っている。そこで我々は、不規則な構造を持った凝集体に働くガス抵抗を、数値シミュレーションによって調べた。その結果、こうした凝集体に働くガス抵抗は、同じ断面積を持つ球に働く抵抗でよく近似できることが明かになった。これは、特にスケール不变性をもったフラクタルな凝集体を考える場合、ガス抵抗のサイズ依存性が非常に弱まるこことを意味する。この結果を用いて、原始惑星系円盤内のガスとダストの相互作用、特に凝集と沈降のフィードバック効果について再検討を行なう。

太陽系星雲内のダスト層の重力不安定性 I. 軸対称モード

Gravitational instabilities in a dust layer in the solar nebula. I. Axisymmetric modes

° 関谷実 (九大・理)

Axisymmetric modes of gravitational instabilities of a dust layer in the solar nebula obtained by Sekiya (1983) are generalized for an arbitrary dust density distribution in the direction perpendicular to the equatorial plane of the solar nebula. Linear perturbation equations are obtained on the assumptions that dust and gas behave as one fluid due to strong drag forces and the dust layer is nearly incompressible. Numerical calculations of the eigenvalue equations are performed. Several examples of numerical results are presented.

太陽系星雲内に初期には一様に分布していたダストから微惑星が形成される過程はまだ十分には判っていない。これを明らかにすることはコンドライトの母天体・小惑星や彗星などの起源を論じるのに不可欠である。関谷(1983)は太陽系星雲の赤道面付近に一様な密度のダストとガスから成る層があり、その外部にはガスだけから成る層があると仮定して、非圧縮近似の下で摂動方程式を導き、解析的に解いた。しかし、太陽系星雲中のダストの分布はダストの集合体の互いの衝突の際の合体や破壊、赤道面に向かっての沈澱過程などのプロセスにより決まっていて、必ずしも階段関数的な分布をしているわけではない。ダストの密度の z 方向の分布によって、ダスト層が不安定になって微惑星が形成されるときの臨界密度が異なる可能性がある。そこで今回、 z 方向の任意のダストの密度分布に対して一般的に成立する摂動方程式を導いた。ただし、(1) 軸対称性、(2) ダストとガスの摩擦による結合が強くて一流体として扱えること、および(3) ダスト層はほとんど非圧縮であること、などを仮定した。得られた固有値方程式を数値計算で解いた。いくつかの計算例を紹介して、関谷(1983)との比較検討をする。

Reference

Sekiya, M. (1983) Progr. Theor. Phys. 69, 1116-30.

SL9 木星衝突: 赤外観測からの plume の運動の検出 Near-IR detection of motion of the SL9 impact plume

竹内覚 (九大理 / 国立天文台), 長谷川均 (アステック),
渡部潤一 (国立天文台), 山本直孝 (東京理科大 理)

Satoru Takeuchi (Kyushu Univ./NAO), Hitoshi Hasegawa (Astec, Inc.),
Jun-ichi Watanabe (NAO), Naotaka Yamamoto (Tokyo Univ. Science)

Sudden and rapid brightenings, called as Main Event, were observed by infrared wavelength from about 6 minutes after the impacts of many fragments of comet Shoemaker-Levy 9 (SL9) with Jupiter at July 1994. Source of the Main Event is unknown. While splash back of impact plume is most famous theory, we propose that dust formation in the plume enhanced infrared radiated from the plume.

We attempt to detect motion of the impact plume caused by the impact of fragment K at July 19 from near-IR imaging observation of OASIS/OAO. Analysis of motion of the plume help us to reveal evolution of the plume and the source of the Main Event.

1994年7月後半に起きたShoemaker-Levy第9彗星の木星衝突では、衝突してから約6分後に突然の急激な増光(Main Event)が、赤外線の広い波長領域にわたって観測された。このMain Eventの原因として、現在多くの研究者は衝突直後に発生したplumeの大気への再落下による衝撃、加熱を、考えている(splash説)。しかし我々は色々な観測結果を総合してみた結果、splash説だけでは説明できないと考えている。そしてplume内のダストの形成によって、Main Eventの開始が説明できると主張してきた。現在のところ、両説とも決定的な証拠はなく、Main Eventの原因是解明されていない。

この問題を解決する一つの方法は、Main Eventの前後において、観測された赤外発光点の位置の変化を調べることである。充分な空間分解能があれば、これはMain Eventの原因を明らかにするであろう。我々は今回、岡山で行ったK核衝突時の近赤外観測から、このような発光点の位置測定を行い、それよりMain Eventの原因に関する考察をおこなう。

観測中望遠鏡は恒星時追尾をしていたため、時間とともに木星は画像内をゆっくりと動いていく。そのため、まず木星の中心位置を正確に決定する必要がある。我々は、同じ画像に写っているイオとガニメデを用いて、これを決めた。

シューメーカー・レビー第9彗星の衝突痕跡の幾何学モデル

Geometrical Model for Impact Spots of D/Shoemaker-Levy 9

渡部潤一（国立天文台）、長谷川均（アステック）、竹内覚（九大理／国立天文台）

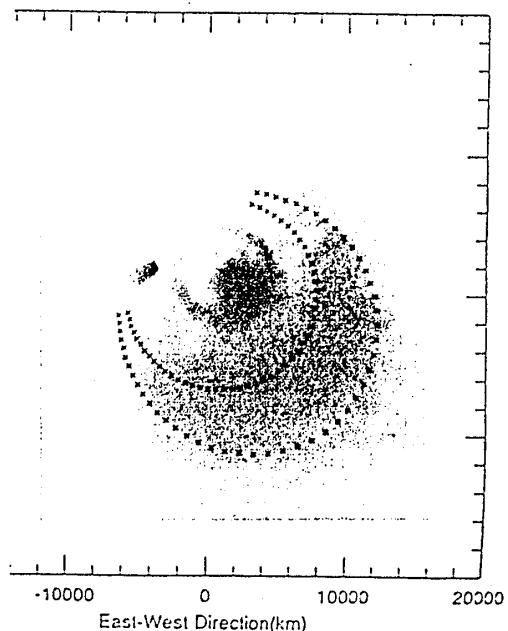
Junichi Watanabe(National Astron. Obs.), Hitoshi Hasegawa(Astec Co.), and Satoru Takeuchi(Univ. Kyushu/National Astron. Obs.)

Abstract. Crescent shape of large spots originated by the impacts of Comet D/Shoemaker-Levy 9 is reproduced by a simple model by dust particles travelling ballistically in the Jovian gravitational field. Although some properties of the shape cannot be explained by this model, such trial allows us to reveal the origin of the bright flare observed at about 6 min after each impact with ground-based telescopes in near-infrared light.

シューメーカー・レビー第9彗星の衝突によって生じた痕跡の主要部分（三日月型の部分）は、衝突爆発により吹き上がったきのこ雲が冷却し、生成された塵が落下してできたものである。この痕跡の形成メカニズムは、岡山などの地上の近赤外線観測で捉えられた明るい発光と密接に関連しているといわれている。

われわれは、この関連を探る第一歩として、痕跡の幾何学形状を、放出物質量の異方性および塵の弾道飛行、コリオリ力という組合せによって説明を試みた。その結果、ある種のパラメーターを採用すると三日月模様がよく再現されることがわかった（右図）。

ただ、実際の三日月模様の異方性は彗星核の突入方向とも、われわれのパラメーターともずれている。観測された異方性を説明するには、痕跡の塵が最終的には弾道軌道でない運動（例えば、大気と共に横滑り、リバウンド等）をした可能性が示唆される。



図：HSTの撮影したG核の衝突痕跡と、幾何学モデルによる三日月部の再現（点線部）

Mars Imaging Camera による科学観測計画

○中川直彦（神戸大・自然）、向井正（神戸大・理）

The plan of observation by Mars Imaging Camera

○N.Nakagawa ⁽¹⁾, T.Mukai ⁽²⁾

- 1) The Graduate School of Science and Technology, Kobe Univ., Japan
- 2)Dept. of Earth and Planetary Sci., Kobe Univ., Japan

PLANET-B will be launched by ISAS in 1998. Mars Imaging Camera (MIC) on board is a CCD camera to take various images on Mars and its satellites. PLANET-B will arrive at Mars in October 1999, and MIC will have taken pictures for two years.

In MIC science meeting, we have discussed about the targets observed by MIC. The scientific objectives of MIC are briefly summarized as geological objective, meteorological objective, and Martian satellites. In this study, we will summarize objectives of MIC, and report each observation plan and scientific meaning.

MIC (Mars Imaging Camera) とは、1998年に宇宙科学研究所が打ち上げを予定している、火星探査機PLANET-Bに搭載される可視画像撮影用CCDカメラのことである。PLANET-Bは1999年10月に火星に到達し、それから2年間、撮像、観測が行われる予定である。

MICの運用については、これまで主にMICサイエンスミーティングにおいて議論されてきた。MICが十分な成果を上げるためにには、MICの特性を理解してその能力を最大限に活用し、観測提案に基づいて効率的に運用されなければならない。また、PLANET-Bが火星を訪れる90年代後半には、他の火星探査機も相次いで火星を訪れる。それらの探査機にもカメラは搭載されるので、これらのこととも考慮に入れる必要がある。

MICによる撮像、観測の対象としては、火星表面の様々な地形、大気現象、衛星などが提案されている。これらの提案をもとに、MICサイエンスチームのメンバーを中心にして1次観測案がまとめられた。今回の講演では、これまでに提案された観測対象についてまとめを行い、その観測項目、科学的意義などについて報告する。

低密度物質を用いたダストコレクターの開発（その1）
Preliminary Study of Development of Dust Collector Using Low Density Material

今川吉郎（宇宙開発事業団），藤原顯（宇宙研），吉田博夫（機械研），
伏木克美・[○]北澤幸人（石川島播磨重工業（株））

K. Imagawa (NASDA), A. Fujiwara (ISAS), H. Yoshida (MEL),
K. Fusegi and [○]Y. Kitazawa (IHI)

Retrieval of Japanese space vehicle will increase, so opportunity to capture dust samples will also increase. Purpose of this study is to develop dust collector for retrievable space vehicles. Capture type collector using silica-aerogel is feasible for dust collection on orbit. So, we had performed hypervelocity impact tests to estimate performance of the collector. As results of tests, silica-aerogel is effective for intact capturing of dust. And, Captured dusts were picked out from silica-aerogel without any defects. Correlation data between crater shape of silica-aerogel and impact energy were also obtained.

現在の宇宙開発において JEM や JFD 等の回収型宇宙機が計画されており、日本においても地球軌道上でのダストの捕獲・回収の機会が増えると考えられる。そこで、宇宙機搭載用のダストコレクターを開発する為の基礎研究として、コレクターのテストモデルを製作し、模擬ダストの衝突試験を行って捕獲特性を評価した。コレクターの構造としては低密度物質を用いた捕獲タイプとし、低密度物質には Silica-Aerogel を採用した。Silica-Aerogel は低密度のものが製作でき、ダスト衝突の衝撃を緩衝してインパクトキャプチャを行なう為に効果的である。また、透明なためダストの捕獲状態やクレーターの形状を確認しやすい。但し、脆いため捕獲ダストの抽出には技術課題がある。テストモデルは $10\text{cm} \times 10\text{cm} \times 2\text{cm}^3$ の Silica-Aerogel を 2 枚重ねて製作した [Fig.1]。2 種類のモデルを製作し、一方のモデルについては Silica-Aerogel の層間に金箔（厚さ $20\mu\text{m}$ ）を挟んだ。

衝突試験条件を Table 1 に示す。衝突試験の結果、Silica-Aerogel 層間のフォイル上もしくは Silica-Aerogel 内にダストを捕獲できた [Fig.2]。また、ミクロトーム等を用いることにより Silica-Aerogel 内からの捕獲ダストの回収にも成功した。クレーターの形状の特徴は速度域により異なり、この成因についての検討が課題である。今後、更に試験パラメータを充実させてコレクターの性能等を評価し、実機製作に適用する。

[謝辞]

Silica-Aerogel は高エネルギー物理学研究所住吉孝行博士に御製作頂いた。厚く御礼申し上げます。

Table 1 Test Condition

Items	Requirements	Note
Environment	Vacuum Level Temperature	Better than 0.1 [Torr] Room Temperature
	Shape Diameter	Spherical $20[\mu\text{m}] \sim 100[\mu\text{m}]$
Dust Particle (Projectile)	Material	Al_2O_3 Simulate Exhaust Material of Solid Rocket Motor
	Velocity Angle	$1[\text{km/sec}] \sim 8[\text{km/sec}]$ 8km/sec: • Nominal Impact Velocity of Dust onto JEM • Upper Limit of Accelerator of Test Facilities $90[\text{deg}]$ Vertical to Collector Surface

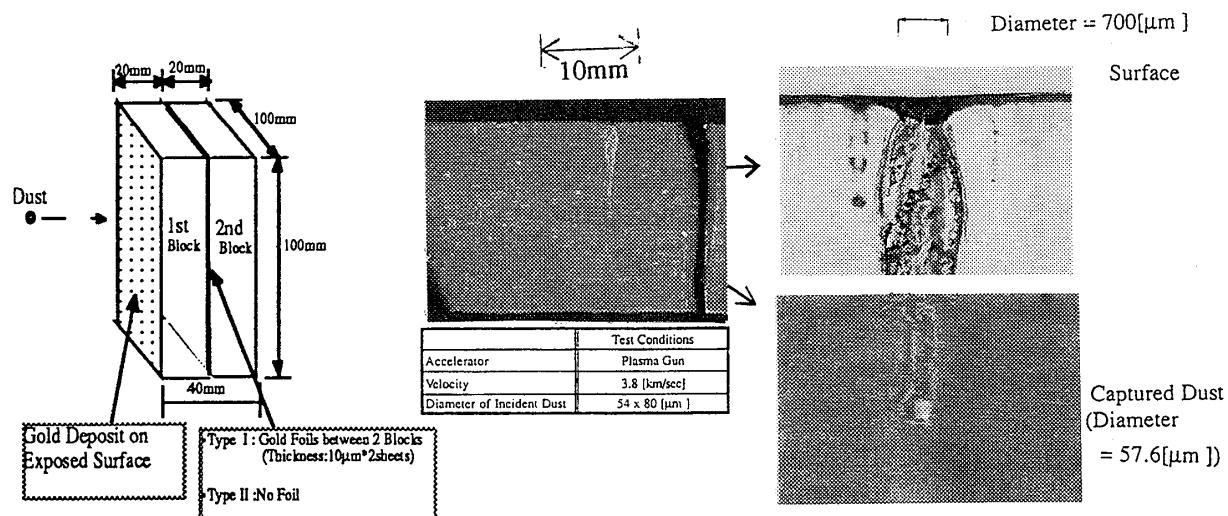


Fig.1 Construction of Test Model of Dust Collector

Fig.2 Example of Captured Dust

セッション 2

(11月13日(月)午後:No.201~206)

小惑星探査計画検討作業の現状報告

Present Status of Study on Japanese Asteroid Mission Project

藤原 顕 (宇宙研)

FUJIWARA, Akira (Institute of Space and Astronautical Science)

An asteroid mission to a near earth asteroid Nereus is being studiesd by Japanese astoiod working group. It includes sampling from Nereus surface as well as testing of several fundamental engineering items required for future sample-return mission. The current status of the study is reported.

これまで小惑星探査計画検討グループ、小惑星探査ワーキンググループで進められてきた小惑星探査計画案を紹介し、現状と今後の見通しについて報告する。

対象天体はサイズが約 1 km程度の近地球型小惑星4660 Nereusである。地球に最も接近する2002年1月に宇宙科学研究所で現在開発中のM5型ロケットによって打ち上げられ。2003年9月にNereusに到着、約2カ月間周辺で観測を行う一方小惑星表面の3カ所から試料の採集を行った後2006年に地球に帰還する。地球帰還においては試料を入れた小カプセルを探査機本体から切り離し、カプセルのみを地球大気に直接突入させた後に地上回収する。このミッションの重要な技術開発要素は（1）電気推進機の開発（2）自律制御による航行（3）小惑星表面でのサンプリング技術（4）回収カプセルの地球大気への高速リエントリーによる回収、などである。このミッションではこれらの技術を習得するための工学ミッションと位置付けられている。

工学ミッションとはいえ、本来の目的がサンプルリターンという明確な理学的目的をもったミッションであり、これにむかって理学側も最大限の理学的プロダクトを得るべく努力がなされている。理学のこの計画への直接的な関与は（1）サンプル収集装置の開発（工学サイドとの共同開発）（2）科学観測機器の開発と選択（3）サンプルの処理と分析体制の準備（4）ネレウスの地上観測、などの面からである。

サンプル収集方式としては、小弾丸を打ち出して衝突させ破片を回収する方法が検討され、岩石ターゲットへの打ち込み実験など、基本的なテストが行われつつある。科学観測機器にはカメラ、レーザー高度計、ガス蛍光比例計数管、重力計、ダスト計測器などが候補として上がっている。今までにこれら各パートでそれぞれに検討が進められており、サンプラー検討グループ（土屋、藤原）、カメラ検討グループ（中村）、サンプルの処理と分析に関する検討グループ（塙本）、観測のグループ（渡部、安部）などが発足している（（）内は世話人）。このプロジェクトに関心ある多くの学会会員諸氏の積極的な参加をえてミッションをぜひとも理学的に価値の高いミッションとなるようにしたい。

小惑星探査計画（MUSES-C）：サンプリング装置

・ 飯島祐一、安部正真、中村昭子、藤原顕、澤井秀次郎、川口淳一郎（宇宙研）
 加藤学、藤波慎司、増田忠志、三輪治代美（名大・理）
 サンプラーーウーキンググループ

The Exploration of Near-Earth Asteroid (MUSES-C): Sampler

Y. Iijima¹, M. Abe¹, A. Nakamura¹, A. Fujiwara¹, S. Sawai¹, J. Kawaguchi¹, M. Kato²,
 S. Fujinami², T. Masuda³, C. Miwa³, and Sampler Working Group

1: Institute of Space and Astronautical Science. 2: Department of Earth and Planetary Sciences, Nagoya Univ.
 3: Instrument Development Center of School of Science, Nagoya Univ.

The exploration of near-earth asteroid is carried out to clarify the relation between meteorites and asteroids. One of the purposes in this mission is the sample-return from the asteroid (NEREUS). We present the experiments for the development of sampler system.

これまで太陽系の形成・進化に関する物質科学的情報は、隕石を用いた研究から組み立てられてきた。しかし、隕石がどの様な天体に由来しているのかという情報が不足しており、隕石からだけで太陽系の起源を議論するには限界がある。小惑星は太陽系の初期の環境情報を現在まで保存していると考えられている。小惑星の構成物質を分析し、隕石と小惑星との関係を明らかにすることは太陽系の形成・進化の研究の新たな枠組みをつくる上で必要不可欠である。

サンプルリターンを一つの目的とした小惑星探査計画(MUSES-C)が遂行されている。現時点での目標天体は、近地球型小惑星NEREUSである（2002年打ち上げ）。小惑星物質のサンプリング方法として、これまで弾丸を衝突させエジェクタを回収する方法、超音波加工方式を利用してコアサンプルを獲得する方法などが提案されている。サンプリングに要する時間が短くてすむ等の理由によりエジェクタ回収型が有力である。以下にサンプル回収までのシーケンス（現時点）を示す。

1. 小惑星からの距離20～5kmでマッピング（2003年9から11月）

空間分解能、最高1mで撮像し、サンプリング地点を選定する。

2. サンプリング（エジェクタ回収型の場合）

・ 小惑星に接近。進展マストの先に取り付けられたサンプリング装置が接地する。

・ 円柱（もしくは円筒）型の弾丸を打ち込む。

弾丸の衝突速度は300m/s以下（衝撃応力は最大10GPa；弾丸、小惑星の物性に依存）

・ エジェクタをキャッチャーで回収。

キャッチャーは衝撃吸収材として低弾性の材料をボックスに入れたもの

エジェクタの量は昨年度の実験では玄武岩、凝灰岩のターゲットに対し5～20g（衝突速度200m/s）

円筒型の場合はコアサンプルの回収の可能性あり。

・ 搬送機構により回収カプセルへ

3. 最終帰還フェーズ（2006年）

回収カプセルを大気圏に投入（突入速度12～13km/s）

大気圏突入から回収までおよそ500秒、最高温度 150°C(ベースプレート)

秒速10m/sまで減速し着地後、回収

現在、エジェクタ回収型サンプラー開発のために、ターゲットの物性・強度、弾丸の形状など変化させてエジェクタの量、放出速度、放出角等の測定を行っている。今発表ではこの基礎実験の経過報告、さらにこれまでに寄せられたサンプルに対する理学的制約条件の紹介を行う。

Muses-C計画における小惑星質量及び重力の計測

Mass and gravity measurement of asteroids by Muses-C mission

○荒木博志¹⁾・花田英夫¹⁾・安部正真²⁾・大江昌嗣¹⁾・藤原 順²⁾

○Hiroshi Araki¹⁾, Hideo Hanada¹⁾, Masanao Abe²⁾, Masatsugu Ooe¹⁾, Akira Fujiwara²⁾

1) 国立天文台・水沢(National Astronomical Observatory, Mizusawa)

2) 宇宙科学研究所(Institute of Space and Astronautical Science)

Mass and gravity measurement of asteroids is important to investigate its bulk nature together with the results of surface explorations such as sample return or remote-sensing. In this paper, some methods of gravity measurement studied for Muses-C asteroid mission are presented.

現在宇宙科学研究所において、小惑星探査計画(Muses-C)の検討が進められている。小惑星の質量や重力を測定する事は、平均密度、密度分布のように内部物質の情報を得ることであり、サンプルリターン等の表層探査の成果を小惑星全体に拡張する意味でも重要である。従来質量、重力データは、探査機の地上からのトラッキングによって得られてきたが、Muses-Cの場合は対象が非常に小さいためこの方法は使えず、また探査機を周回衛星にすることも困難である。

この場合、1. 探査機の自由落下を軌道用レーザー高度計(LIDAR)で時々刻々小惑星との距離を観測することで質量、重力を求める、2. 何らかの重力計を複数個小惑星表面に設置して求める、の2方法が考えられる。1は新たな機器を乗せる必要がない点で有利であるが、自由落下運動に対する初期速度の影響が大きく(下図参照)、LIDARデータから初期速度、質量、小惑星形状などを同時決定する手法(ソフトウェア)が必要である。2は直接重力を測定できる利点がある反面、探査機用の機器開発が必要である。現在、サーボ加速度計、及び自由落下型重力測定器の2方法が検討されている。講演ではこれら微小天体の質量重力計測法及び機器開発の現状について報告する。

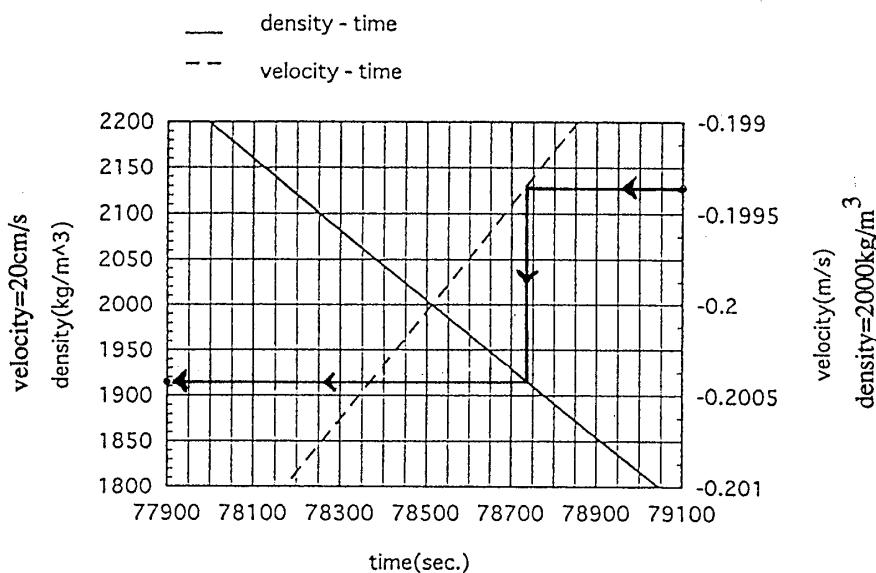


図 半径500mの球形の小惑星に対し上空20kmから3kmまで真下に落下する場合の落下時間。初速度、小惑星密度はそれぞれ20cm/s、 $2000\text{kg}/\text{m}^3$ を規準とした。どちらかを固定して他を変化させた場合、落下時間がどう変わるか、またそれぞれの変化がどの様に対応するかを矢印のように読むことができる。

LUNAR-A 月震計の開発
Development of LUNAR-A Seismometer

° 水谷 仁、藤村彰夫、早川雅彦、田中 智（宇宙研）、山田功夫（名大理）

H. Mizutani, A. Fujimura, M. Hayakawa, S. Tanaka (ISAS), I. Yamada (Nagoya Univ.)

小山順二（東北大理）、伊藤 潔（京大理）、村上英記（高知大理）、

J. Koyama (Tohoku Univ.), K. Itoh (Kyoto Univ.), H. Murakami (Kouti Univ.)

荒木博志（国立天文台水沢）、高木義彦（アカシ）

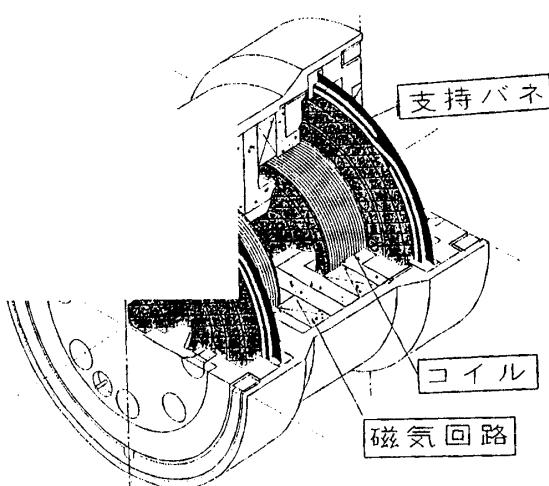
H. Araki (NAO, Mizusawa), Y. Takagi (Akasi Co.)

The present status of development of the seismometer to be used in LUNAR-A penetrator is presented. The LUNAR-A seismometer is essentially of electro-magnetic type. New development of technology of winding 20 μ wire in the coil, adoption of a new Rare-Earth magnet, new spring material of low-thermal expansion and others contributed to the success in building a light weight and highly sensitive seismometer.

1997年夏に打ち上げられる予定のLUNAR-Aミッションのペネトレータに搭載される地震計の開発がほぼ終了したので、この地震計の概要について報告する。地震計はペネトレータに搭載するために5000 G以上の衝撃に耐え、かつ10⁻¹¹ G程度の微少な月震を検知できるほどに高感度であり、かつ消費電力が少なく、かつ軽量でなくてはならない。これらの拘束条件を満足するような地震計を製作するために、これまで海底地震計として開発されてきた電磁地震計を抜本的に改良し、当初の目標をほぼ達成することが出来るに至った。これには耐衝撃性を高めるための各種の工夫の他に次のような新要素が取りいられている。（1）きわめて細い（20 μ ）銅線で巻かれたコイル、（2）新しい磁性体の採用、（3）磁気回路の改良、（4）恒弾性新素材による非線形スプリング、（5）スプリング力を補正するための小磁石の採用等である。この開発により1成分あたり地震計センサーの質量は350グラムまでに軽減できた。

地震計センサーはペネトレータ貫入後、正規の姿勢に設置するための回転機構の中に入れられている。回転機構はペネトレータ貫入後ステップモータ駆動で傾斜計、地震計のキャリブレーション信号をもとに地震計を回転し月面重力に垂直、平行にする。これらの機構についても説明をする。

LUNAR-A地震計センサー部の概観図
直径5 cm、長さ 5 cm、重量 350 g



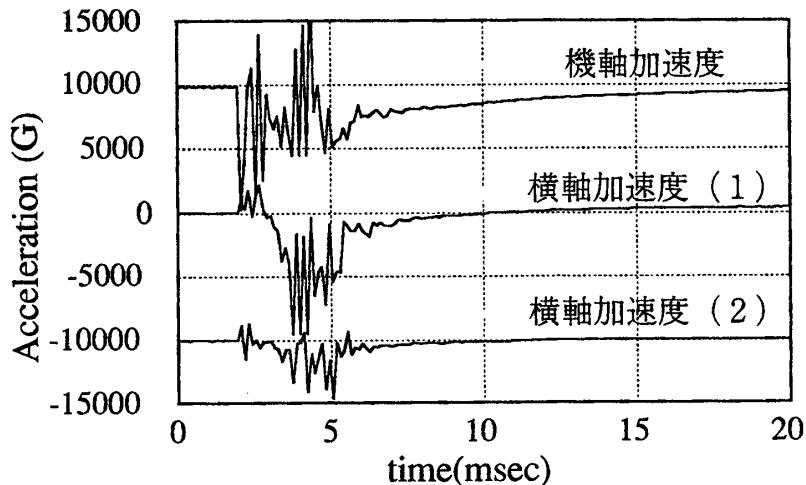
LUNAR-Aペネトレータ搭載衝撃加速度センサーの開発
 Development of Accelerometer onboard LUNAR-A Penetrator

°白石浩章、田中 智、早川雅彦、藤村彰夫、水谷 仁（宇宙研）

H. SHIRAIKI, S. TANAKA, M. HAYAKAWA, A. FUJIMURA and H. MIZUTANI
 (Institute of Space and Astronautical Science)

Abstract The accelerometer onboard LUNAR-A penetrator is developed to estimate the depth of emplacement and information on the physical properties of the lunar regolith. The deceleration record is also indispensable to design the structure of the outer case of lunar penetrator and to investigate quantitatively the shock-resistant capacity for the payload instruments. Investigation of several kinds of sensors' performance and improvement of the data acquisition system are made in order to design the most suitable accelerometer and its electronics for LUNAR-A penetrator. Using the piezoelectric type sensor with annular shear mode, the acceleration profiles with the sufficient accuracy are obtained under the actual flight conditions.

衝撃加速度センサーは、LUNAR-Aペネトレータの観測機器であり、月面レゴリス層に貫入する際の加速度を計測して、貫入距離を推定し、突入地点付近のレゴリス層の物性に関する情報を得るために搭載される。同時に搭載される傾斜計の結果と合わせてペネトレータの観測環境を把握することは、月震計と熱流量計の観測データを評価するうえで重要なことである。また、貫入実験で取得される衝撃加速度データは、搭載機器の耐衝撃性を定量的に評価したり、ペネトレータの構体設計と繊維装方法を最適化するために必要となる。そこで我々は貫入距離を±10%の精度で推定できる衝撃加速度計測システムを目指し開発を進めてきた。開発のためには、実機搭載に最適なセンサーの選定はもちろんのことだが、同時に約1万Gの衝撃に耐えつつ数十分間正常に動作することができる計測回路が必要である。室内落下実験での数種類のセンサーの性能評価や電子回路の試作を行ったり、小型モデルを用いた射出実験で各センサーの性能、最適な搭載方法、電子回路の耐衝撃性を評価してきた。その結果、ゼロシフトが小さくかつ突入時に発生する高周波数成分による共振の励起がないピエゾ圧電型環状シェア構造の加速度センサーを実機ペネトレータに搭載することに決定した。さらに、横荷重に対する耐衝撃性や低温下での性能試験も行い、月面突入条件下においても計測可能であることを確認した。実機貫入条件下で取得された加速度データ（下図）を解析したところ、適切なゼロシフト補正をすれば貫入距離の実測との誤差は10%程度であり、要求される精度をほぼ達成することができた。



実機貫入条件下で取得された3軸加速度プロファイル
 ペネトレータ重量：17.8kg 突入速度：295m/s 邪角：9deg

月ペネトレータによる熱流量計測計画

Concept of heat flow experiment by LUNAR-A penetrators.

田中智、水谷仁、藤村彰夫、早川雅彦、安部正真（宇宙研）、

宝来帰一（気象研）、平井研一（日産自動車）

S. TANAKA, H. MIZUTANI, A. FUJIMURA, M. HAYAKAWA, M. ABE (ISAS),

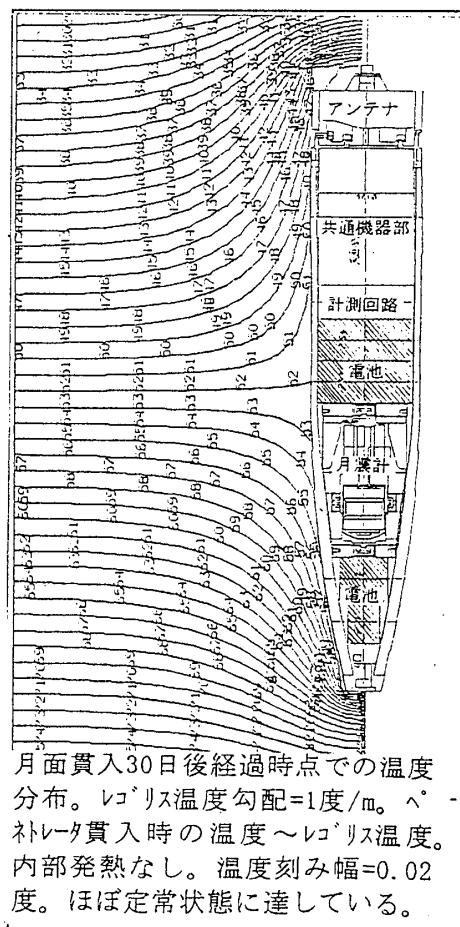
K. HORAI (Met. Res. Inst.), and K. HIRAI (Nissan Motor Co., LTD)

Abstract: Heat flow experiments are planned for the LUNAR-A penetrator mission. Each penetrator has 18 thermometers including 5 thermal conductivity sensors. Temperatures around the penetrator are disturbed due to the large difference of thermal properties and heat generation of the electronics. One of our strategy to obtain the data of temperature gradient with sufficient accuracy is to minimize the heat generation after the penetration into the regolith until quasi-steady state is realized. By numerical simulation, it is expected to take several weeks to attain this condition when the initial temperature difference between regolith and the penetrator is 10 degrees.

1997年夏打ち上げ予定のLUNAR-Aミッションでは3機のペネトレータが月の裏側を含む地点に投入される予定である。各ペネトレータには11台の相対温度計（この内5台は熱伝導率計兼用）そして7台の絶対温度計を搭載し、月レゴリスの温度勾配と熱伝導率を計測する。なお、絶対温度計の内4台は通信機や発振機の温度を計測する予定である（H. K計測）が残りはペネトレータ先端～後端までの構体表面近くに取り付ける。

通常計測は温度計測を1回／日、熱伝導率計測を1回／月を考えている。H. K計測は通信前後に頻繁に行うことを考えているが詳細については未定である。温度計測精度は相対温度計 $\pm 1/100$ 度、絶対温度計 $\pm 2/100$ 度である。

計測精度は熱流量を10%の精度で決定することを目標にしている。大きな障害はペネトレータがレゴリスに比べ10倍以上熱伝導率が大きく、周囲の温度場が乱されることである。数値計算の一例を図に示す。貫入後十分な時間放置した場合ではペネトレータ先端と後端での温度差は0.1～0.2度程度になると想定している。しかし通信や計測の発熱により温度場はさらに乱され、温度勾配計測が不可能になる可能性が高い。現在、解決策としてペネトレータをレゴリス温度にできるだけ等しい温度調節をして投入し、投入直後は計測可能になるまで通信や計測頻度を極力おさえることを考えている。この時間は数値計算によると月レゴリスとペネトレータ投入時の温度差が10度の時、計測可能になるまで約2週間かかる。現在ペネトレータを構成する物質の熱物性計測を行い数学モデルの高精度化を行いつつ、通信などによる発熱後の観測可能性などの検討を行っている。



セッション 3

(11月14日(火)午前: No.301~308)

爆発現象時における軽元素合成と酸素同位体比

°吉田 敬、榎森 啓元、中澤 清（東工大）

Explosive nucleosynthesis of the light elements and the oxygen isotopic ratios

Takashi Yoshida, Hiroyuki Emori, Kiyoshi Nakazawa (Tokyo. Tech)

The abundances and isotopic ratios of the light elements (Li,Be,B) in the meteorites bring us important imformations to the origin of the matter in the solar system. These light elements are considered to be synthesized by the cosmic ray processes or the explosive synthesis processes such as super novae. We numerically investigate the nucleosynthesis process of the light elements explosive models and the nuclear reaction network consist of 47 kinds of nuclei. The variations of the abundances and isotopic ratios of the light elements under the widely varied initial conditions are represented with the oxygen isotopic ratios. Moreover, we compare these results with the abundances and the isotopic ratios of the matter in the solar system and consider the origin of these elements.

隕石に含まれている Li、Be、B 等の微量軽元素の量及び同位体比を調べることは太陽系を形成している物質の起源を考察する重要な手掛かりである。そのためには隕石等の分析と同時にこれら星内部の元素合成過程では合成されない軽元素の合成過程の物理モデルの構築が不可欠である。現在までに宇宙線の照射による炭素、酸素の破碎反応軽元素合成が、星の表面の観測や隕石の測定から得られる元素量及び同位体比を説明するには至っていない。一方、超新星爆発時の星の外層部は高温高密度状態にあり、しかもその熱力学環境が爆発という極めてタイムスケールの短い現象によって変化させられるため、そこでは我々が通常予想しない元素の合成過程が進行している。我々は超新星爆発時の温度、密度の変化を簡単な断熱膨張によりモデル化し、その非定常な温度密度状態下での微量軽元素合成過程を数値シミュレーションにより再現した。核反応ネットワークには Ne まで含めた 47 種類の元素を取り入れてある。我々は爆発のパラメータ（初期の密度等）を変えた場合に合成される軽元素の量がどの程度変わり得るかを同時に合成される酸素同位体比との関係に注目しながらまとめた。この結果を太陽系物質に見られる酸素同位体比と軽元素合成量と対比することによりその起源に関する考察を行う。

隕石・月試料のアルカリ元素存在度の比較

Comparison of abundance of alkali metals in meteorites and lunar samples

°木多紀子（地質調査所）

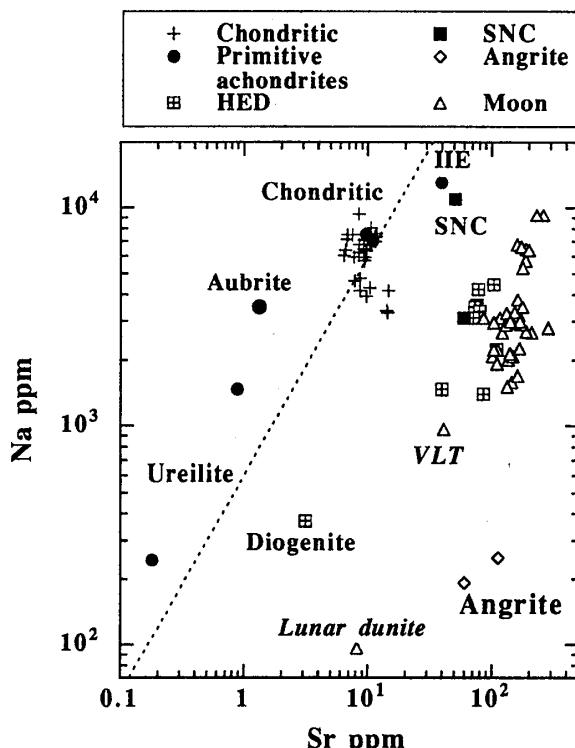
Noriko T. Kita (Geological Survey of Japan)

The alkali depletion in the bulk Moon is the important constraint on the origin of the Moon. To understand the process of alkali depletion of planetary bodies, the literature values of Na, K, Rb and Sr concentrations of meteorites and lunar rocks are summarized and compared. It seems likely that alkali in lunar rocks, angrites, and eucrites which were formed through large scale planetary differentiation are all highly depleted compared to chondrites, while Na contents of parent bodies of less evolved achondrites (aubrites, ureilites, and IIE inclusions) are comparable to chondritic abundance.

月のバルク組成にはアルカリ元素が欠乏していることが知られており、月の起源を考える上で大きな制約条件となっている。この欠乏が月の材料物質の性質を反映したものか、月の成長や進化の過程で生じたものかについては、議論が分かれている。今研究では月試料とさまざまな隕石のNa-K-Rb-Sr存在度を文献値から集め、隕石相互の比較を行った。月のバルク組成はしばしばコンドライト隕石の組成に比較されて議論されているが、今回は月よりは小さい天体に由来するエイコンドライトのデーターを含めて比較した。

アルカリ元素のなかでは二次的な母天体の活動で比較的変動しにくいNaに注目し、Naとは固液分配の挙動が似ているSrに対して各隕石・月試料のデーターを図のようにプロットした。

これまでにも、知られているようにアングライト、ユーライトなどの隕石母天体で大規模な活動を通して作られた隕石は月と同様NaがSrに対しても相対的に欠乏している。オーブライト、ユレイライト、IIE鉄隕石のインクルージョンなどは、コンドライト的な化学組成や鉱物組成は示さないが、比較的分化が進まなかった天体起源と言われている。これらはNaがSrに対してあまり欠乏していない。アルカリ元素の欠乏している天体はどれも天体の中で大規模な溶融が起こる比較的大型であったことが予想されるが、アルカリ元素の欠乏を熱く溶融した天体表面からの蒸発で説明することにはさまざまな困難がある。したがって、太陽系星雲の中で惑星の材料物質ができるとき、またそれらが集積を始めた段階での化学分別について考える必要があると思われる。



オーディナリコンドライト中のW、Moの分布とその宇宙化学的意味
 Distribution of W and Mo in ordinary chondrites and its cosmochemical implications

孔屏・[○]海老原充（都立大・理）

Ping KONG and Mitsuru EBIHARA

(Department of Chemistry, Faculty of Science, Tokyo Metropolitan University)

W and Mo abundances in the bulk metals of 10H, 5L and 6LL chondrites were determined by instrumental neutron activation analysis (INAA). Although W distributions are significantly different between EOCs and UOCs, no correlation is confirmed between the W distribution and the petrographic type for EOCs. Mo/W abundance ratios remain constant in EOC metals, but are variable in UOC metals, suggesting that the W solid equilibrium has not been achieved in UOCs. The W and Mo distribution in UOCs still preserve the characteristics of W and Mo in the nebula, which demonstrate that chondritic metals formed by melting before their accretion to the parent bodies.

比較的低温における固相中のタンクステン（W）、モリブデン（Mo）の挙動を実験室レベルで調べることはその変化量が極めて小さいことから事実上不可能である。一方、拡散係数のデーターも十分でないので計算によって予測するのも難しい。幸いなことに隕石は一億年以上にわたって固相での再結晶変成過程を経験していることから、そのような挙動を調べるのに格好の研究試料たりうる。本研究では21のオーディナリコンドライト（Hコンドライト10個、Lコンドライト5個、LLコンドライト6個）から金属相を分離し、W、Mo存在度を非破壊中性子放射化分析法によって求め、金属／非金属相間の分配を求めた。

Wの金属／非金属間の分配はEOCs、UOCs間で顕著な差が認められるが、EOCs間では岩石学的タイプとの間に相関はない。このことはWの平衡は比較的低い温度で達成され、さらにUOCs、EOCsを分ける変成温度を推定することが可能であることを示唆する。一方、EOCsの金属相中のW、Moの分布の度合いはHLLLと減少するが、Mo/W存在度比は化学的グループによらず一定である。このことはMoとWの酸化が同じ条件では似たように起こることを示唆する。また、EOCsにおいては、MoはWよりも金属相中の濃度が低いのに対して、UOCsのなかでもより非平衡なコンドライト中ではWの方がMoよりも金属相中の濃度が低い。このことは、コンドライト中の金属は星雲からの平衡凝縮物でなく、母天体に集積する前に溶融によって作られたものであることを示唆するものである。

微小宇宙物質の化学分析（2）

Analysis of Elemental Abundances in Micro-Cosmic Samples (2)

°福岡孝昭（学習院大・理），田澤雄二（京大・理）

T. Fukuoka (Gakushuin Univ.), Y. Tazawa (Kyoto Univ.)

Instrumental neutron activation analysis (INAA) for chemical compositions in micro-cosmic samples less than $10\text{ }\mu\text{g}$ weight have been reported. Glass chips made from the standard rocks such as JB-1 were used as standard materials for the ordinary lithophile elements. An alloy of Ni, Os, Ir, Au, Al, Cu and Pt has been made for standard material of siderophile elements. The chemical homogeneity of tiny chips ($>10\text{ }\mu\text{g}$) were checked by INAA etc.

深海底堆積物中あるいは南極水中から採集される宇宙塵をはじめ，LDEF，隕石の構成鉱物の一粒など，微小宇宙物質の研究が近年注目されている。現在，宇宙空間あるいは月，小惑星等の探査が計画されている。近い将来に，それら天体からの微粒子試料が手に入る可能性が強くなっている。これら微小宇宙物質の性質や起源を知るためには，化学，鉱物学，岩石学，物理学等のデータが必要である。特に元素組成は最も重要かつ基本的なデータである。しかし試料重量は μg (10^{-6}g) あるいはそれ以下なので，近年開発されたICP-MS法等の高感度分析法では，容器，試薬等からの汚染が問題となり，結果の信頼性は落ちる。これまで隕石，月試料等の元素組成の決定に貢献してきた機器中性子放射化分析法 (INAA) は， μg 以下の試料にも十分な感度があり，通常20元素以上の分析が可能である。INAAは非破壊法であるため，分析過程での汚染がなく，同一試料で岩石学的観察，同位体組成の決定等，他の情報を得られる大きな利点がある。

ここでは， μg オーダーの微小宇宙物質についてのINAAの概略を紹介する。すなわち，① $10\text{ }\mu\text{g}$ 以下の重量を精度よく測定できる天秤がないので，INAA後の試料を，EPMA法（重量は不要ない）で主成分分析を行い，両結果を対比し，試料重量とINAAの結果を修正する。②目視の困難な微小試料を約 $3 \times 3\text{mm}$ のポリエチレンフィルムに挟み込んで，迅速な取扱いを可能にする。③親石元素の標準として，岩石標準試料 (JB-1等) 粉末から作製したガラス破片 $10\text{ }\mu\text{g}$ 程度を用いる。一方，宇宙物質中に含まれることの多いAu, Ir, Osについては，これまで $10\text{ }\mu\text{g}$ オーダーでも均一な物質を得ることが，きわめて困難であった。今回，田中貴金属工業(株)の協力で，これら元素の標準物質として，Niをベースに，Os, Ir, Au, Al, Cu, Ptを含む合金を作製した。この合金の微小片 ($>10\text{ }\mu\text{g}$) の化学的均一性をINAA等で検討した結果を報告する。

ロシア宇宙船ミール船内より採取した放射線耐性微生物の検討

樺島麻里子、小池惇平（東京工大）、斎藤 威（東大・宇宙線研）、河崎行繁（三菱生命研）、小林憲正（横浜国大）、笹田正明（TBS）

Resistance to Proton Radiation on MIR Microorganisms

M. Kabashima and J. Koike (Tokyo Inst. of Technology), T. Saito (Univ. Tokyo),
Y. Kawasaki (Mitsubishi Kasei Inst. of Life Science), K. Kobayashi (Yokohama
National Univ.) and M. Sasada (TBS)

Abstract: Resistance to radiation on MIR microorganisms were examined by proton from Van de Graaff accelerator. An ability of resistance was shown 10-fold over.

概要：東京工業大学所有のヴァンデグラフ型加速器を用いて、ミール試料より分離した微生物のプロトン耐性を測定した。その結果、プロトン耐性は地球環境に生育している微生物と比較して十倍以上の耐性を獲得していることが判明した。

模擬星間塵中での陽子線照射による有機物の生成
 Formation of Organic Compounds in Simulated Interstellar Dusts
 by Proton Irradiation

○笠松 隆志・金子 竹男・小林 憲正（横浜国立大学・工）
 小池 慎平（東京工業大学・生命理工）
 斎藤 威（東京大学宇宙線研）

Takashi Kasamatsu, Takeo Kaneko, Kensei Kobayashi

Department of Physical Chemistry, Yokohama National University
 Junpei Koike

Department of Life Science, Tokyo Institute of Technology

Takeshi Saito

Institute of Cosmic Ray Research, University of Tokyo

In order to study the possibility of the formation of amino acids and other organic compounds in comets or interstellar dusts, we made several types of ice mixtures in a cryostat at 10 K and irradiated them with high energy (3MeV or 35MeV) protons from accelerators. After irradiation, volatile products were analyzed with a quadrupole mass spectrometer, and non-volatile products were collected with water. They were acid-hydrolyzed, and analyzed by ion-exchange HPLC. Some hydrocarbons were detected in volatile products and amino acids such as glycine and alanine were detected in acid-hydrolyzed products. These results suggest that the formation of "amino acid precursors" (compounds yielding amino acids after hydrolysis) in interstellar dusts by cosmic radiation is possible.

地球圏外にも種々の有機物の存在が知られ、彗星や、その原料と考えられている星間塵中の有機物は、地球上での生命の誕生や、他の惑星における生命の存在の可能性に関連して、興味を持たれている。

しかし、これまでの観測においては、アミノ酸などの生体有機物は、彗星中や、星間塵中には検出されていない。そこで、われわれは、実験室内で模擬星間塵をつくり、それに宇宙線の主成分である高エネルギーの陽子線を照射して、アミノ酸などの有機物の生成について検討した。

実験は、クライオスタット(10K)中の金属板に一酸化炭素あるいはメタン・アンモニア・水蒸気の混合気体を吹き付けて「氷」を作成し、東京工業大学のVan de Graaff加速器、あるいは東京大学原子核研究所のSFサイクロトロンから陽子線(3MeV,35MeV)を照射した。照射後、揮発性の生成物は質量分析計で分析を行ない、難揮発性生成物は水に溶かし、酸加水分解後、陽イオン交換HPLCで、アミノ酸分析を行なった。

どちらの場合においても、酸加水分解後の分析によって、グリシン、アラニンなどのアミノ酸の存在が確認され、「アミノ酸前駆体」の生成が示唆されたが、同様の成分の混合気体に照射したときと、グリシンのG値を比べた場合、炭素源にメタンを使った場合は、1から2桁低かった程度であったが、一酸化炭素を使った場合には、約4桁も低くなった。

この原因を調べるため、彗星中に存在していると考えられている、メタノール・アンモニア・水の混合気体、液体、固体に対しても同様の照射を行ない、各相についてのグリシンの収率の違いについても検討してみた。

火星上の有機物:その生成と検出法

Organic Compounds on Mars: Formation and Detection

○小林憲正・笠松隆志・佐藤 忠・金子竹男（横浜国大工）

石川洋二（大林組環境生物研）

斎藤 威（東大宇宙線研）

Kensei KOBAYASHI, Takashi KASAMATSU, Tadashi SATO, Takeo KANEKO

Department of Physical Chemistry, Yokohama National University

Yoji ISHIKAWA

Bio-Environmental Engineering Department, Obayashi Corporation

Takeshi SAITO

Institute for Cosmic Ray Research, University of Tokyo

It is probable that early Mars had the same type of atmosphere as early Earth, that is a mixture of carbon dioxide, carbon monoxide, nitrogen and water. Irradiation of high energy particles to such a gas mixture caused the formation of amino acid precursors. Less amount of amino acid precursors can be formed in the present Mars atmosphere. These organic compounds could be preserved in ices in polar caps and/or underground frozen soils. Detection methods for the organic compounds on Mars in the future Mars mission are discussed.

火星は46億年前の誕生以来、40億年前くらい前までは地球と似た進化をたどり、濃厚な大気と液体の水を有したと考えられる。このような環境下で生命もしくは生命の前駆物質が生成した可能性は高い。1976年のViking計画においては、火星の表土中には生命および有意量の有機物は検出できなかった。しかし、Viking計画における探査地点・探査方法には種々の問題点が指摘されている。われわれは火星における有機物の生成の可能性と、次期火星探査における有機物および微生物の検出法について検討した。

模擬原始火星大気（種々の組成の二酸化炭素・一酸化炭素・窒素・水蒸気の混合気体）に高エネルギー陽子線（宇宙線主成分）を照射した。生成物の酸加水分解物中に多種類のアミノ酸が検出された。このことは宇宙線により原始火星上で「アミノ酸前駆体」が生成したことを見出す。また、比較として現在の火星大気をモデルとし、CO₂以外の濃度を10倍にした「修飾火星大気」(CO: 0.7%; N₂: 27%; Ar: 16%; O₂: 1.3%; CO₂: balance)の照射生成物の分析も行ない、現在の大気中でも微量のアミノ酸前駆体が生成可能であることが示唆された。

Viking計画の結果を踏まえた日米欧の国際協力による新たな火星の有機物・生命探査が計画中である[1]。生命探査法としては現在、蛍光画像法が候補に上がっているが、試料は地表のレゴリスではなく、地下凍土を採取する必要がある。有機物検出法としては熱分解GC/MS法の他、水抽出（あるいは加水分解）後、質量分析法または他のアミノ酸に特異的な分析法が考えられる。現在、陽子線照射生成物などを用いて、上記手法の評価を試みている。

[1] D. Chernavskii, et al., *J. Biol. Phys.*, in press (1995).

MPDアーキエットによるアミノ酸の短時間大量合成

(Huge Momentary Synthesis of Amino Acids with MPD arcjet)

○宮川 伸・田村 英樹・澤岡 昭（東工大・工材研）

小林 憲正（横国大・物質工）

Shin Miyakawa · Hideki Tamura · Akira B. Sawaoka

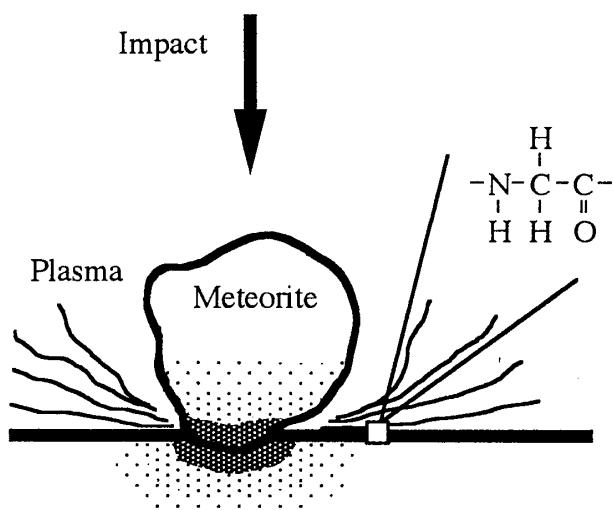
(Res. Lab. of Engineer. Material., Tokyo Inst. of Tech.)

Kensei Kobayashi (Depart. of Phys. Chem., Yokohama National Univ.)

In general, the prebiotic synthesis of amino acids has been conducted by means of supplying low energy for long time^{1,2)}. In this study, however, the total energy of 524 kJ was introduced to gas mixture composed of H₂ : CO : N₂ = 5 : 4 : 1 in molar ratio only for 1 ms with a Magneto-Plasma Dynamic (MPD) pulse arcjet used 2000 times, and the high-temperature and high-density plasma was produced. The total amount of the injected gas corresponded to 4 l under normal state. A huge amount of precursors of amino acids (4.7 μmol) were momentary synthesized, which suggests the possibility that precursors of amino acids were produced in high density on the primitive earth by high energy activation, e.g. a big meteoritic impact.

原始地球上で機能性タンパク質が生成するためにはある程度の濃度でアミノ酸もしくはその前駆体が存在しなければならない。しかし、従来のアミノ酸の合成は低エネルギーを長時間にわたって与えることで数万年の現象を模擬して行われてきたため、高濃度でアミノ酸が存在できたかどうかは確かではない。そこで本実験ではMPDアーキエットと呼ばれるパルス型プラズマ発生装置を用い、1 ms という短い時間の間に全エネルギー量 524 kJ を

標準状態で 4 l の混合ガス (H₂ : CO : N₂ = 5 : 4 : 1 モル比) に注入し、高温・高密度プラズマを生成した。この値は 2000 ショット分の総量に相当する。これにより、4.7 μmol という大量のアミノ酸前駆体を瞬時に合成することに成功した。このことは、原始地球上において巨大隕石の衝突時に形成されるような高エネルギー状態下でアミノ酸前駆体が高濃度に生成した可能性を示唆する。



Reference

1) R. Stribling and S. L. Miller: *Origins of Life* **17** (1987) 261-273

2) K. Kobayashi, M. Tsuchiya, T. Oshima, H. Yanagawa: *Origins of Life* **20** (1990) 99-109

セッション 4

(11月14日(火) 午後 : No.401~408)

比較惑星河川学 V

・ 門田 晃典 ・ 水谷 仁 (宇宙科学研究所・惑星研究系)

Comparative Planetary Potamology

・ Akinori Kadota ・ Hitoshi Mizutani (Institute of Space and Astronautical Science)

Abstract The objective of this study is to examine whether Martian valley networks are formed by fluvial valleys as has been widely accepted so far. Although morphology of the Martian valley networks is similar to that of terrestrial valley networks, it does not necessarily mean that the Martian valley networks are landforms eroded by liquid-water flow. The landforms eroded by flows driven by gravity are controlled by viscosity of fluid, gravity, discharge of the flow, inclination, and others. In this study, we will attempt to assess what parameter is the most important for fluvial landforms on the Earth.

本研究では、現在の地球のような降水活動が火星で起きた場合、どんな形態をもつ河川地形が生じるか推定し、Valley networkが水の表面流出によって浸食されたのか否か明らかにすることを目的とする。今回、重力で流れ滑面乱流の速度則が成り立つ等流の開水路の底に球形の掃流土砂を置いたとき、平衡状態で流れに流されない土砂の最小粒径 (d) が

$$\frac{d}{H} = \frac{9}{4} \times 5.84 \left(\frac{\rho_s}{\rho} - 1 \right)^{-1} \frac{I}{\mu_0 \cdot I} \equiv 14 \times I \quad (1)$$

と表せることを明らかにした。但し、 H は開水路の深さ、 I は斜面の傾斜角で、土砂と水の密度比を2.6、静止摩擦係数 (μ_0) を0.6と仮定した。粒径の小さい土砂ほど数が多いと考えると、河床堆積物の代表粒径は式(1)の最小粒径 d に等しいと予想される。実際、北海道から九州までの58河川の河床の代表粒径と摩擦速度 (u^*) の関係は、代表粒径1 cm以上の河床土砂についてこの予想が正しいことを示す。一方、多量の土砂移動を伴った平坦河床の平均年最大流量時の流速 (V_m) は、

$$V_m = u^* \varphi \quad ; u^* = \sqrt{gH} \quad ; \varphi = \frac{1}{\kappa} \ln \left(\frac{H}{8d} \right) + 6.0 \quad (2)$$

と表せる [山本 晃一, 1994]。ここで、 κ はカルマン定数、 g は重力加速度である。したがって、平坦河床の平均年最大流量時のフルード数 (F) は、式(1) (2) より、

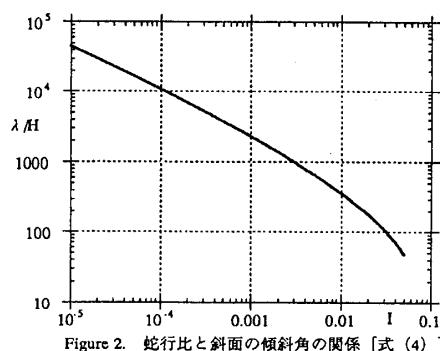
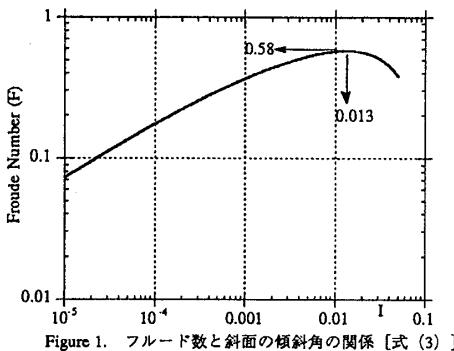
$$F = \frac{V_m}{\sqrt{gH}} = \sqrt{I} \cdot \varphi(I) \quad (3)$$

となり、斜面の傾斜角 (I) にのみ依存することがわかった (Figure 1)。また、Ikeda et al. [1981]に従い導いた、開水路の蛇行波長 (λ) と深さ (H) の比 (以下、蛇行比と呼ぶ) は

$$\frac{\lambda}{H} \equiv 2\pi \frac{1}{C_f \cdot F} = 2\pi \frac{\varphi(I)}{\sqrt{I}} \quad ; C_f = \frac{1}{\varphi(I)^2} \quad (4)$$

と表せ、フルード数と同様斜面の傾斜角 (I) にのみ依存することも明らかにした (Figure 2)。

講演では、日本の一級河川について蛇行比を測定し理論曲線 (4) から推定される値と比較してモデルの妥当性を確かめる、さらに火星Valley networkについて同様の解析を行う予定である。



暴走温室状態における熱収支

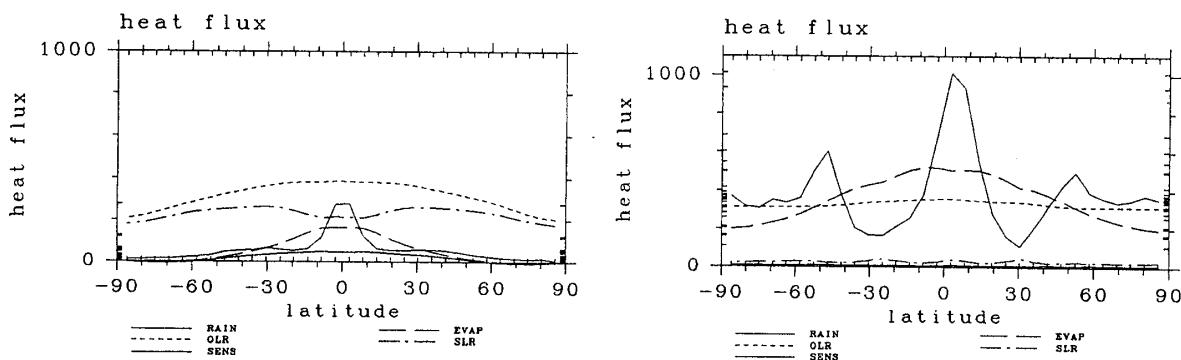
The heat budget in the runaway greenhouse state.

- 石渡 正樹(北大・地球環境), 中島 健介(九大・理),
林 祥介(東大・数理科学)
- M. Ishiwatari(Hokkaido University), K. Nakajima (Kyushu University), Y.-Y. Hayashi (University of Tokyo)

The heat budget is analyzed in the runaway greenhouse state of three-dimensional atmosphere. The system considered here is based on the one-dimensional model of Nakajima et al. (1992), but includes the atmospheric dynamics. The Rayleigh damping and Newtonian cooling are introduced in the upper layers in order to make long time integrations possible. 2000 day integration are performed under the condition that the solar constant is 1800 W/m^2 . In the runaway state, atmospheric heat budget is determined only by the condensation heating and radiation cooling. The atmosphere is cooled only in the mid-latitude and heated in the rest part. The whole atmosphere is continuously heated.

惑星への入射エネルギー量が暴走限界と呼ばれる臨界値を越えてしまうと大気海洋系の平衡状態は存在しなくなる。これは暴走温室状態の発生と呼ばれ、従来は1次元系を用いて研究されてきた。我々は、3次元系において暴走限界はどのようにして決まるのかといった問題を考察するための大気モデルの設計を行なってきた。これまででは、暴走温室状態において長時間の積分が不可能な状態にあったが、上層に減衰層を導入することによりそれが可能となった。今回は、減衰を導入したモデルの結果を用いて、熱収支の観点から、暴走している状態と暴走していない状態の差異について論じる。

左下図には太陽定数 S が 1380 W/m^2 の場合(現在の地球での値に相当)における凝結熱フラックス(rain), 蒸発量(evap), 大気上端の放射フラックス(OLR), 大気下端の放射フラックス(SLR), 顕熱フラックス(sens)の東西平均値の南北分布を示す。大気の熱収支は凝結熱・地表放射フラックス(以上加熱分)と大気上端放射フラックス(冷却)で決まる。低緯度では正味の加熱・高緯度では正味の冷却となっており全球的には熱バランスしている。右下図には $S = 1800 \text{ W/m}^2$ の場合(この値では暴走温室状態が発生する)についての図を示す。この場合の熱収支は、凝結熱と放射冷却でほとんど決まるようになる。左図と異なり、中緯度だけが冷却となるが、残りの部分は正味で加熱される。暴走温室状態では、現在の地球で見られる低緯度加熱・高緯度冷却という描像は成り立たず、大気全体で見れば加熱され続けていく。



^{40}Ar からみた火星のマグマ生成とマントル分化

Magma Generation and Mantle Differentiation of Mars Based on ^{40}Ar Abundance

○田近 英一、佐々木 晶（東大・理）

Eiichi Tajika and Sho Sasaki (Univ. Tokyo)

Magma generation and mantle differentiation of Mars after the formation of the planet are estimated from the atmospheric abundance of ^{40}Ar and the erupted volume of volcanic materials. The present amounts of ^{40}Ar in the atmosphere and of the volcanic materials on Mars suggest that the volume fraction of the erupted magma to the original mantle materials averaged over the history should be about 0.02–0.05. The integrated volume of mantle materials that produced the observed volcanic materials and atmospheric ^{40}Ar is estimated to be about $(4\text{--}11) \times 10^{18}\text{m}^3$, hence the extent of mantle differentiation after the formation of Mars is only 0.03–0.08.

惑星内部におけるマグマ生成は、マントルの分化をもたらすと同時に、溶岩や揮発性物質を惑星表層へ供給することによって、地殻の成長と大気の進化をもたらす。とりわけ、初期脱ガスの影響が少なく、マグマ生成時にメルトへ濃集しやすく、大気へ放出された後に大気中で凝結したり地表物質と反応したりすることがないと考えられる放射壊変起源の希ガス ^{40}Ar は、惑星形成後の火成活動度を測る良いトレーサーであると考えられる。火星表面には46億年に渡る地質記録がほぼ残されており、火星形成後に地表へ噴出した溶岩の量とその時間的な変動が推定されている。また、そのような火成活動によって供給されたと考えられる現大気中の ^{40}Ar の量と、 ^{40}Ar の親元素であるマントル中の K の存在度も推定されている。そこでこれらの情報を基に、火星史におけるマグマ生成とマントルの分化に関する簡単な推定を行なった。

K の放射壊変による ^{40}Ar の生成、 ^{40}Ar のメルトへの濃集、および地表へのメルトの噴出と ^{40}Ar の脱ガスを考慮したモデルに対して、上述の制約条件（マグマ噴出率の時間的変動、大気中の ^{40}Ar 量、マントル中の K 存在度）を与えることによって、以下の量に関する情報を得ることができる。マグマ生成に関与したマントル物質の全体積を V_{plume} すると、(1) 地表へ噴出したマグマの全体積に対する V_{plume} の比 X は 0.02~0.05、(2) V_{plume} は $(4\text{--}11) \times 10^{18}\text{m}^3$ 、(3) 火星のマントル全体の体積に対する V_{plume} の比 ϕ は 0.03~0.08 である。ただし、X はマグマ生成におけるメルトフラクションと、生成された全マグマに対する噴出岩 (= 実際に地表へ噴出したマグマ) の体積比の積として定義する。以上のことから、火星形成後におけるマントルの分化の程度は小さい (< 10%) ことが推定される。

月の揮発性元素の散逸

Volatile Loss from the Moon

倉本 圭

東工大・理・地球惑星科学科

The Moon is depleted in volatiles such as K much severer than the Earth. Possibility of volatile loss from the lunar magma ocean is investigated, taking K as an example because of its geochemical significance. Thermal escape of K-vapor and degassing of K from a convective lunar magma ocean are theoretically examined. It is concluded that thermal escape can hardly cause loss of significant amount of K. A boundary layer theory of thermal convection suggests that degassing of K could proceed to a moderate degree during convective cooling of the magma ocean, but its degree may be still too small to explain the strong K depletion from the Moon.

月は地球に比べ、K に代表される揮発性元素に極めて欠乏した組成を持っている。従来から、巨大衝突による加熱や、高温のマグマ・オーシャンの形成を月の揮発性元素の減少の理由とする説が提案されている。しかしその詳細については不明な点が多く、揮発性元素の減少が月の起源について何を語るのか、まだ分かっていない。

今回は月マグマ・オーシャンからの揮発性元素の散逸の可能性について、地球化学的に重要な K を例にとり、調べてみる。気体の K の熱速度が月の脱出速度を上回るには、約 9000 K 以上の高温が必要である。これはマグマ・オーシャンの温度 (おそらく <~3000 K) としては非現実的である。したがって、K の蒸気が一斉に熱的過程で月から流出することは考えにくく、熱的な散逸メカニズムとしては Jeans Escape がもっともらしい。その流量を評価すると、表面温度 3000 K 下で、K の散逸流量は $1.5 \times 10^{10} \text{ mol/yr}$ である。月全体の K 量は 10^{21} mol のオーダーであり、宇宙年齢をもっても Jeans Escape では月の K 存在度を大きく変化させることはできない。しかし太陽風の効果などで、効率よく K 蒸気が散逸する可能性があるかもしれない。その場合にはマグマ・オーシャンからの K の脱ガスが律速過程となるだろう。熱対流の境界層理論の考えを適用すると、マグマの熱拡散係数と K の物質拡散係数の比が K の脱ガス効率を支配するキーパラメタとなる。熱拡散係数、物質拡散係数として $10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$ 、 $10^{-9} \text{ m}^2/\text{s}$ をそれぞれ採用し、初期温度 3000K を仮定し、斜長岩地殻の浮上する 2000 K 弱までマグマ・オーシャンが冷却するとした場合、脱ガス効率は約 40–50 % と評価される。これは月の K の減少度 ($\sim 1/15 \times \text{CI}$, $\sim 1/5 \times \text{地球}$) を説明するには不十分である。結局、月マグマ・オーシャンの形成で K の欠乏を説明するのは、かなり困難と言えよう。

高压下での金属鉄-H₂O反応生成物の形状と組織について
**Shape and texture of the reaction product between metallic iron
and water under high pressure up to 10 GPa**

奥地拓生[°] (東工大・理)
Okuchi Takuo (Faculty of Science, Tokyo Institute of Technology)

Metallic iron reacts with water to form iron hydride under above 5 Gpa. Shape and texture of the reaction products, obtained as metallic iron at 1 atm, was studied up to 10 GPa. Melting temperature of iron hydride up to 10 GPa was roughly estimated.

初期地球の材料物質には、金属鉄とシリケイトの他に、かなりの量の揮発性成分が含まれていた可能性が高い。この揮発性成分が、集積に引き続いて起きた核とマントルの分化時に、それぞれにどう分配されるのかは、その後の地球内部の進化や表層環境を考える上で重要である。また揮発性成分の混入は、金属鉄・シリケイトとともに融点を下げるよう働くので、初期地球の核形成のダイナミクスを考える上でも重要なとなる。

始源的な隕石中に大量に存在する揮発性成分のうち、炭素と硫黄については、高压下で主として金属鉄に分配されることが、これまでに実験的に確かめられている。また水素は圧力約5GPa以上で、金属鉄と反応して安定な鉄水素化物(FeHx)を形成することが、Fukai(1984)らにより明らかにされている。初期地球の形成時には、水素は主にH₂Oとして供給されたと考えられる。このH₂Oを含むシリケイト-金属鉄-H₂Oの系では、Suzuki et al. (1984; 1992)などによって、圧力約5GPaまでの実験的研究が行われている。その結果、実験中に金属鉄粒子が多数集合して、最大で直径300 μm程度の金属球を形成すること、急冷した金属球中に多数の気泡がみられることが明らかにされた。このような金属鉄の実験後の形状は、融解したシリケイトに含まれるH₂Oと金属鉄が反応してFeHxを形成し、融解を起こした結果だと考えられる。

本研究では、同じシリケイト-金属鉄-H₂O系について、圧力10GPaまでの範囲で実験を行い、金属鉄粒子の形状・組織の変化を詳しく追跡した。金属鉄粒子の形状は、鉄水素化物の各実験圧力での融点の目安を与えるものと考えられる。初期地球表層に形成されたであろうマグマオーシャン中には、かなりのH₂Oが融解していた可能性が高い。その中では金属鉄とH₂Oが反応して、融けた状態の鉄水素化物が形成されたであろう。この鉄水素化物は液体なので、その沈降による核形成のスピードは、鉄が固体の場合よりも速かったと考えられる。

粉体の塑性変形

城野信一[○] 山本哲生 (北大理)

Plastic deformation of powders

SHIRONO Shinichi YAMAMOTO Tetuo

Department of Earth and Planetary Sciences, Hokkaido Univ.

It is expected that a planetesimal consists of micron-sized grains and has porous structure. Knowledge of mechanical property of powder is necessary to understand evolution of planetesimals. We propose constitutive equation of powders which can be applied to plastic deformation process of porous powder and calculation of energy dissipaiton.

現在の太陽系形成理論においては、微惑星と呼ばれる天体が衝突合体して現在の惑星を形成したものと考えられている。微惑星の空隙率は80%程と見積もられている(城野、95年月惑星シンポジウム)。このように porous な天体の進化を理解するためには、構成物質である粉体の挙動を明らかにする必要がある。そのために本研究では粉体の構成方程式(歪増分テンソル du_{ik} と応力増分テンソル $d\sigma_{ik}$ の関係式)を求めた。

粉体中の弾性エネルギーがある限界に達すると粒子間のすべりが生じ、塑性変形が始まると考える。相対密度 ψ を見かけの密度と真密度の比とするとき、限界エネルギー、体積弾性率、せん断弾性率がそれぞれ $E_c(\psi), K(\psi), \mu(\psi)$ と ψ の関数として表せるものとする。これらを用いて降伏関数 f は次のように表すことができる。

$$f = \frac{1}{2}\sigma_{ik} \left[\frac{1}{9K} \delta_{ik} \sigma_{ll} + \frac{1}{2\mu} (\sigma_{ik} - \frac{1}{3} \delta_{ik} \sigma_{ll}) \right] - E_c \quad (1)$$

$f = 0$ になったときに塑性変形がおこり、 $f < 0$ のときは弾性変形を行う。粉体の歪増分を $du_{ik} = du_{ik}^e + du_{ik}^p$ と弾性部分 du_{ik}^e と塑性部分 du_{ik}^p とに分割する。粉体において法線則が成立しているものとすると、 $du_{ik}^p = \partial f / \partial \sigma_{ik} d\lambda$ と書ける。 $d\lambda$ は $df = 0$ の条件から決定することができ、また $d\psi = du_{ll}^e - \psi(du_{ll}^e + du_{ll}^p)$ であることに注意すると du_{ik}^p は

$$\begin{aligned} du_{ik}^p &= \frac{1}{2} \left[\sigma_{ll} \delta_{ik} \left(\frac{2}{9K} - \frac{1}{3\mu} \right) + \frac{1}{\mu} \sigma_{ik} \right] d\lambda \\ d\lambda &= - \frac{3K \left[\sigma_{ll} \delta_{ik} \left(\frac{2}{9K} - \frac{1}{3\mu} \right) + \frac{1}{\mu} \sigma_{ik} \right] d\sigma_{ik}}{2\psi \sigma_{ll} \left[E' + \frac{\mu'}{4\mu^2} \sigma_{ik}^2 - \frac{\sigma_{ll} \sigma_{kk}}{2} \left(\frac{\mu'}{6\mu^2} - \frac{K'}{9K^2} \right) \right]} + \frac{1-\psi}{\psi \sigma_{ll}} d\sigma_{kk} \end{aligned} \quad (2)$$

(2) 式が粉体の構成方程式である。(2) 式によりエネルギー散逸量も $\sigma_{ik} du_{ik}^p$ から計算することができる。

宇宙塵の氷マントル表面上での水素原子の運動

増田耕一（神戸大・自然）、向井正（神戸大・理）

The motion of a hydrogen atom on icy mantle of a dust grain

○Koichi Masuda¹⁾, Tadashi Mukai²⁾

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

2) Dept. of Earth and Planetary Sci., Kobe Univ., Japan

It is widely accepted that most of molecules in space are produced by the surface reactions on dust grains rather than by the gas phase reactions. Such grains have generally the icy mantles accumulated on the solid particles inside the dark clouds. Moreover, such mantle has not crystal structure but amorphous one. We have investigated the dynamical behavior of hydrogen atom impinging on the mantle consisting of amorphous water ice based on the computer simulation of MD (Molecular Dynamics). We have found that the hydrogen atoms impinging on the surface of amorphous water ice were easily trapped in a dent of the surface and, consequently they have been fixed there firmly. Our results suggest that the migration of hydrogen atoms over a large region of the icy surface of a dust grain seems to be inactive.

宇宙空間での分子は、気相での反応より、むしろ宇宙塵上での表面反応によって生成されるのが主であると思われている。また、dark cloud中では、この宇宙塵は水でできたマントルを持っており、このマントルはきれいな結晶構造ではなくアモルファス構造をしていることが観測から推測されている。今回の研究では、周期的境界条件によって作りだした無限の広さを持つ板状のアモルファス氷を、塵表面状のマントルと見立てて、その上での水素原子の運動をMD (Molecular Dynamics)を用いることによりシミュレートした。この計算法は、たんに多体の運動方程式を解くだけで、量子効果は考慮されていない。この結果、ダスト表面に投入された水素原子はほとんど散乱、再放出されることはなかった。また、付着した水素原子はダスト表面を広い範囲にわたって拡散することはできず、ダスト表面状のポテンシャルの溝に溜まるてしまうことが判った。

外惑星固体アンモニア水中のNH₂ラジカルの ESR年代測定

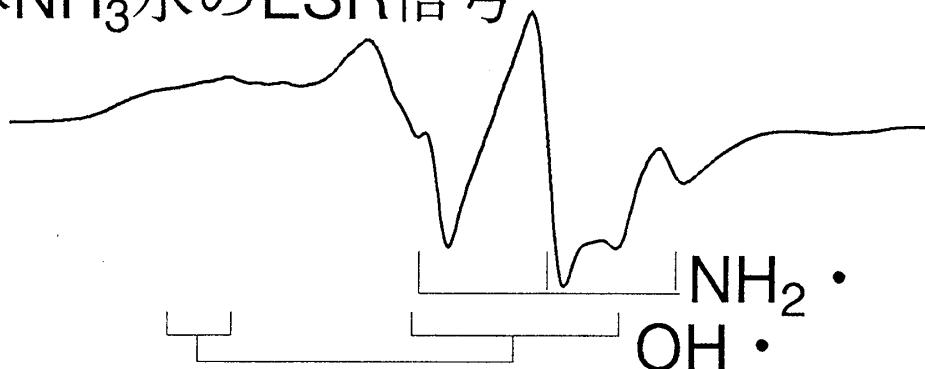
ESR dating of NH₂ radicals in NH₃-doped ice
of outer planets

° 金森 博, 平井 誠, 彼末一則, 池谷元伺 (阪大理)

NH₃-doped ice irradiated by γ -ray at 77K were measured to electron spin resonance(ESR) dating of the surface materials of outer planets. Signals of OH and NH₂ radicals were observed in these samples with X-band ESR measurement as shown in Fig. 1. Micro wave power and temperature dependence of the spectrum at both X- and Q-band frequencies have been examined to separate NH₂ signal from other overlapping signals. Annealing process of NH₂ radicals and future possibility of ESR dating of icy planet and satellites using NH₂ in ice are noted.

外惑星の氷は宇宙放射線等に曝されており、放射線効果によるラジカルが存在していると考えられる。我々は既にH₂Oの分解生成物であるOHラジカルを用いた彗星の氷のESR年代測定が可能であることを示唆してきた。ここでは、不純物として含まれるNH₃の効果を調べるために、77Kで γ 線照射した固体アンモニア水のX-band ESR測定を行った。そのスペクトルをFig. 1に示す。これはOHラジカル、NH₂ラジカルの信号が重なっていると考えられる。これらの信号について、パワー特性、熱安定性を調べ、またQ-band ESR測定を行って、信号分離をした。以上の知見より、ラジカルの焼鉋過程を考察し、外惑星等の表面物質として存在する氷中のアンモニア不純物を用いた氷のESR年代測定の可能性について検討する。

Fig.1 固体NH₃水のESR信号



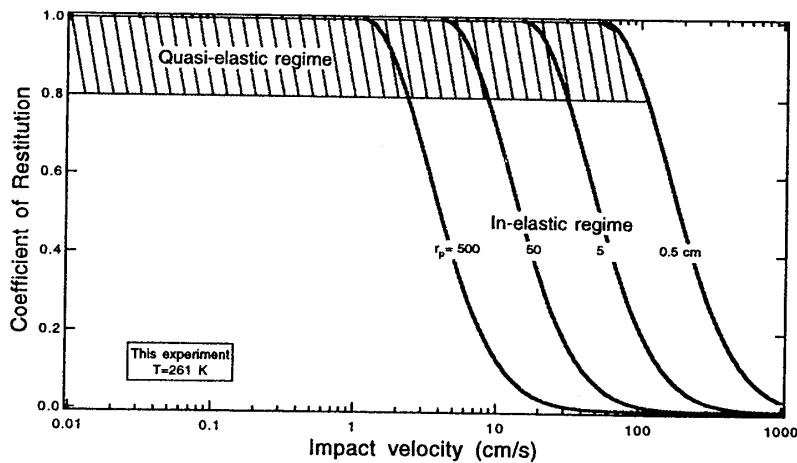
セッション 5

(11月14日(火)午後: No.501~508)

氷球の反発係数のサイズ依存性に関する実験
 Experiments on size dependence of restitution coefficients for ice spheres
 ° 比嘉道也、荒川政彦、前野紀一（北大低温研）
 ° M. Higa, M. Arakawa and N. Maeno
 (Institute of Low Temperature Science, Hokkaido University)

Measurements of the restitution coefficient (ε) of a water ice sphere were made in a wide range of radii ($0.14 \leq r_p \leq 3.6$ cm) and impact velocities ($1 \leq v_i \leq 1000$ cm/s) at 261 K. The impact velocity dependence of ε was expressed by a critical velocity (v_c). v_c corresponded to a velocity at which fracture deformation occurred at the impact point. In the quasi-elastic regime ($v_i \leq v_c$), the value of ε was almost constant cross to 1 and ice samples showed no fracture deformations showed. In the in-elastic regime ($v_i > v_c$), ε decreased with increasing v_i and ice samples have fracture patterns. ε was fitted as $\varepsilon = (v_i/v_c)^{-\log(v_i/v_c)}$, where $v_c = 37r_p^{-(0.46-0.66)}$. v_c decreased with increasing the radius.

土星のリングは、半径1cmから5mのサイズ分布を持つ氷(H₂O)粒子で構成されている。氷粒子は衝突(反発・破壊・合体)によりその軌道を変化させ、現在のリングの構造を形成している。特に氷の反発係数はリングの構造を決めている重要な物性でありその速度、温度、サイズ依存性を解明する必要がある。これまで、我々は氷球(半径1.5 cm)を氷ブロックに衝突させて鉛直方向の反発係数(ε)の温度依存性(269-113 K)について測定を行ってきた(Higa et al. 1995)。本実験では、反発係数(ε)のサイズ依存性(半径0.14-3.6 cm)について温度261 K衝突速度1-1000 cm/sで測定を行ったので報告する。図1に実験結果のまとめを示した。 ε はこれまでと同様に衝突破壊の起り始める臨界速度(V_c)を用いて整理できた。(1)衝突速度(V_i)が V_c 以下の場合には V_i に関係なく、 ε は一定であり準弾性衝突が起こる。また、反発係数は半径の増加とともに増加する弱いサイズ依存性が見られた(0.95 ± 0.04 ($r_p=3.6$ cm)、 0.70 ± 0.09 ($r_p=0.14$ cm))。しかし、このサイズ依存性は用いた氷球表面が半径の減少とともに不規則性を増すことに起因していると考えられる。表面の凸凹によって並進のエネルギーだけでなく、回転や振動のエネルギーにも分配が起こるようにならうためである。(2)一方、 $V_i > V_c$ の場合には、破壊を伴う非弾性衝突により反発係数は V_i とともに減少する。反発係数はこれまでの実験と同様に実験式 $\varepsilon = (v_i/v_c)^{-\log(v_i/v_c)}$ で表される。この時 V_c は半径の増加とともに減少し、 $v_c = 37r_p^{-(0.46-0.66)}$ となる。土星リングの観測と理論からリング粒子の反発係数は、非弾性的(例えば、 $V_i < 1$ cm/sで $\varepsilon \sim 0.6$)であることが予想されている。しかし今回得られたサイズ依存性を考慮しても、氷球の反発係数は予想される反発係数より弾性的である。この事実は土星リングが粒子の破壊を伴った衝突とそれに伴う粒子表面の粗さ形成によって反発係数を小さくしながら進化した可能性を示唆している。



天王星橢円リングの維持機構の検証

° 梶山 徹、榎森 啓元、井田 茂（東工大）、

A verification of the mechanism for the maintenance
of the Uranian elliptical rings

Toru Sugiyama, Hiroyuki Emori, Shigeru Ida (Tokyo. Tech)

There are seven elliptical rings around Uranus. A perihelion of a particle which orbits around Uranus moves due to the oblateness of Uranus. Because apse precession rate depends on a semimajor axis of each particle, inner and outer edges of the ring with some km width have different apse precession rate. Differential precession destroys apse alignment, so the elliptical shape of the ring is disrupted. To maintain apse alignment two mechanisms are proposed, one is self-gravity of the ring, the other is gravitational interaction of the shepherd satellites with elliptical orbit. But both of these two mechanisms are investigated only by rough analytical calculations with some bold approximations. This work is to ascertain the mechanism which uses gravitational interaction of the shepherd satellites through accurate numerical orbital integration.

天王星には橢円リングが存在している。しかし天王星が極方向につぶれているため、天王星の周りを回っている小天体の軌道の近点が動くことがわかっている。近点移動の速度が軌道長半径に依存するために、数kmの幅をもつリングの内側と外側では近点の位置がずれていき、そのために短期間で橢円形状が崩れるはずである。そこで今まで橢円に保たせている機構として、リング粒子同士の自己重力によって保持している説と、橢円軌道を持つ羊飼い衛星とリング粒子との重力相互作用によって維持されているという2つの説が出されている。しかし、どちらの説についても大胆な、時には不適当な近似を用いた粗い解析的研究しか行なわれていない。本研究では、羊飼い衛星によって橢円リングを維持する説について、厳密な軌道計算を行なうことにより、その可能性について調べた。

土星リングにおける空間密度構造の形成

・台坂 博、榎森 啓元（東工大）

Formation of spatial density structure in saturnian ring

Hiroshi Daisaka, Hiroyuki Emori (Tokyo Tech)

In the saturnian B-ring, infinite concentric bright and dark stripes like a record are observed. These stripes are caused by the inhomogeneity of particle densities. Since the discovery of these density structures in the B-ring by the space craft Voyager, the origin of these structures is left unsolved until now. In our study, we investigate the statistical behavior of ring particles and try to explain the origin of the formation of spatial structures by N -body simulations. We developed a numerical simulation code which enables us to simulate the behavior of more about 1000 ring particles, with taking into account the mutual gravitational interaction exactly. We report the results of our numerical investigations carried out by this simulation program.

土星のリングには、レコード盤の溝に例えられる、同心円上の細かい明暗の縞模様が存在する。その模様はリングを形成している粒子の密度の濃淡の結果である。現在までに、この密度構造の成因に関して多くの研究が行なわれてきたが、それらの研究では、多粒子系の強い非線形性を避けるために不適当な簡単化等を行なっているものが多く、この密度構造の成因に関しては未だ十分な説明がなされていない。

本研究では、リング粒子の相互重力、非弾性衝突を考慮した N 体シミュレーションを行ない、密度構造を持つ土星のリングと同程度に高い粒子密度を持つ粒子系の統計的性質と空間構造を調べる。

現在までに 1000 体程度の粒子を用いたシミュレーションを行ない、粒子集団の性質については、例えばそのランダム速度分布が密度の薄いリング粒子集団について得られているガウス分布からずれることを確認するなどいくつかの結果を得たのでこれを報告する。

上図：ある時刻における粒子分布のスナップショット



火星のダストリングの自己保持機構

Self-Sustaining Mechanism of Martian Dust Ring

佐々木晶 (東大理)

Sho Sasaki (U. Tokyo)

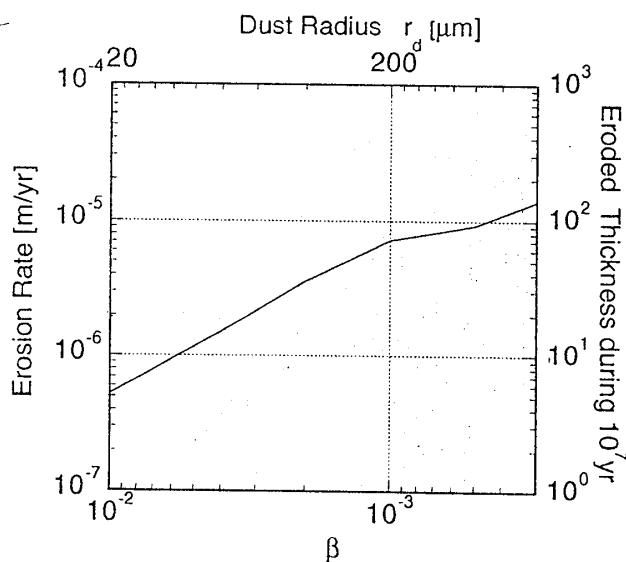
Dust ejection efficiency from Phobos/Deimos controls dust abundance of Martian dust ring. Martian oblateness together with solar radiation pressure enhances abundance of particles with radius 20-200 μm of Phobos' dust ring. This is compatible with typical size of Phobos' surface regolith. Collision between ring particles and satellites is the most important dust source. Surface erosion of satellites should constrain the dust ejection efficiency at collision.

火星の衛星フォボス、ダイモスの質量は小さく、脱出速度は10m程度である。宇宙空間の微粒子や隕石の衝突で放出されたダスト粒子は、火星の周囲にリングもしくはトーラスを形成していると考えられてきた。

放出されたダスト粒子の火星まわりの軌道離心率、軌道傾斜角が小さいと、ダストは衛星への再衝突のため存在時間は短い。しかし太陽放射圧のため、ダストの離心率は始めは0でも増加して周期的な変動をする。さらに、火星の偏平による重力ポテンシャルの高次項は近火点の位相を動かして、この効果を強める(Ishimoto 1995, Hamilton 1995)。フォボスから放出された粒子の内200ミクロン以下のものは、離心率が大きく増大する。22ミクロンより小さなダストは火星と衝突するため、ほとんど存在しない。ダイモスから放出された粒子は、火星の偏平の効果のため、軌道傾斜角が大きく増大する。

一方でダストが衛星と再衝突するときに、新たなダストを放出する。この効率 η が1より大きな場合は、ダストの存在度は大きく増加して、最終的な数密度は、ダストどうしの衝突によって決定される。Sasaki(1994)はこの自己保持機構のため、フォボスの表面のレゴリスの粒度(50-100ミクロン)に対応するような大きな粒子からなるダストリングが存在して、PLANET-Bに搭載されるダスト計測機で十分観測できることを予測した。この場合でも、ヴァイキング観測で得られている光学的厚さの上限よりは、小さい。

しかし、ダストの継続的な放出は、衛星に取っては質量損失の機構である。現在のフォボス、ダイモスの表面には10mスケールのクレーターが数多く見られる。衛星の表面が数m以上、ダスト放出で削れたとは考えにくい。ダストの放出効率 $\eta=2$ のとき、フォボスについて、侵食率(もしくは10⁷年の間での削れた厚さ)を図に表わす。侵食率は $\eta-1$ に比例する。フォボスは潮汐進化で軌道が火星へ落ち込んでいる。離心率が大きく増大してダストリングが発達するのは、軌道が火星半径の3.5倍から内側にはいったときで、そのときは数千万年が経過している。そのため、ダストの放出効率がもっと小さくないと($\eta-1<1$)、フォボス表面の細かいスケールの地形はなだらかにされてしまうはずである。



衝突による小惑星の自転進化

Collisional evolution of asteroid rotations

° 柳澤正久、長谷川直（電通大）

M. Yanagisawa and S. Hasegawa (Univ. Electro-Communications)

We made a series of impact experiments to figure out the efficiencies of momentum transfer. Momentum vector is divided into two components, that is, the one normal to the target surface at the impact point and the other that is tangential to the surface. We have defined the efficiencies, η and ζ , as the fraction of projectile momentum acquired by the post-impact target in the two components, respectively. We show that ζ_L is expressed by η and ζ for small cratering impact. Here, ζ_L is the efficiency of angular momentum transfer from projectile's orbital motion to target rotation. The impulse in the normal component with the efficiency, η , may dominate the rotational evolution of non-spherical asteroids.

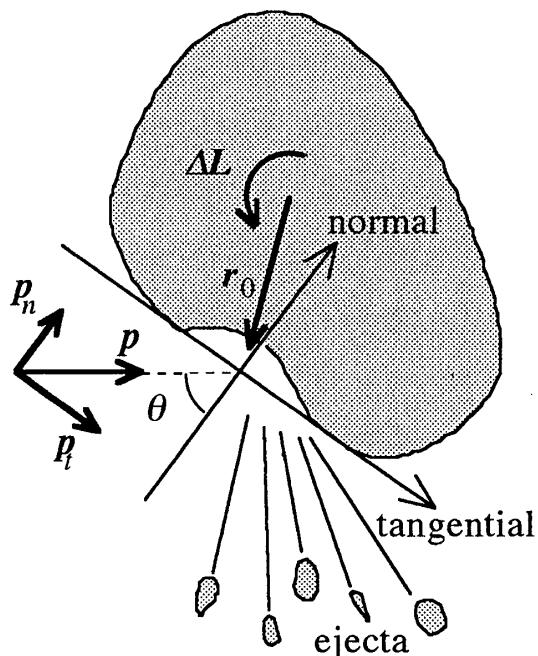
我々はカタストロフィックな破壊を伴わない室内衝突実験によって、プロジェクタイル(弾丸)の運動量の何%がターゲットの運動量に移るかを測定した。運動量ベクトルをターゲット面に垂直な成分と平行な成分に分け(図参照)、それぞれの成分での効率を η , ζ と定義する。一方、それぞれの成分で p_n , p_t の運動量を持つプロジェクタイルがターゲットの質量中心から r_0 の位置に衝突したときのターゲットの回転角運動量の変化を ΔL とすると、次の近似が成り立つ (Yanagisawa et al. 1995)。

$$\Delta L \approx \eta(r_0 \times p_n) + \zeta(r_0 \times p_t)$$

右辺第1項は衝突面に垂直な力積が角運動量に与える影響、第2項は平行な力積が与える影響を表わす。小惑星(あるいはターゲット)が球形の場合には、第1項の2つのベクトルがほぼ平行なため、衝突面に垂直な力積の影響は小さい。しかし、Galileo探査機によって撮影された小惑星 951 Gaspra は球形ではなく、長軸と中間軸の比は 1.7 もある。243 Ida も 50 km サイズながら更に球形からは遠いようだ。我々の実験結果は η が ζ の 6 倍程大きいことを示している。第1項は無視できなくなり、これらの小惑星では衝突面に垂直な力積が自転の進化を支配してきた可能性がある。言葉をかえて言うならば、「面に平行にこするようにして小惑星を回すより、垂直に押すことによって回す効果のほうが大きいかもしれない」ということになる。

参考文献

Yanagisawa, M., S. Hasegawa and N. Shirogane, submitted to *Icarus*.



玄武岩中の衝撃波の伝播速度と減衰

中澤 晓、清野 龍也、白井 慶、渡邊 誠一郎、加藤 學（名大、理）
飯島 祐一（宇宙研）

Shock wave velocities and attenuation in basalt

S. Nakazawa, T. Kiyono, K. Shirai, S. Watanabe, M. Kato (Nagoya Univ.), Y. Iijima (ISAS)

Abstract Using Manganin gauge we measured directly shock wave in Basalt as an analog material of planetesimal. The signal of Manganin gauge was taken in oscilloscope with high sampling rate 250MHz. With the pressure waveform the Hugoniot Elastic Limit (HEL) was measured 0.5 GPa, and using impact sensor the precursor wave velocity was measured 4.7 km/sec and the main shock wave velocity 4.2 km/sec. Peak pressure was measured with various sample thickness (3-25 mm), and the size of isobaric core was estimated at 11mm.

はじめに 固体の衝突破壊現象を理解するためには衝撃波の伝播速度と減衰についてまず知る必要がある。これらの伝播過程との対応に基づいて衝突破壊のメカニズムを解明することによりはじめてスケーリング則を構築する事ができ、室内実験の結果を天体の衝突破壊現象に応用することが可能となる。

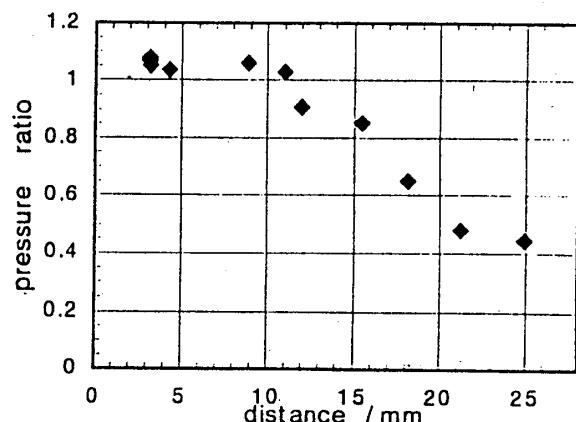
これまで小天体の模擬物質である玄武岩の衝突破壊実験が行われてきた。しかし、衝撃波伝播過程の定量的な実験はあまりなく、ユゴニオ弾性限界などの衝突物性は詳しく分かっていない。今回我々はピエゾ抵抗効果を利用した圧力センサーを用いて衝撃波速度と伝播距離の増加に伴う衝撃圧力と圧力波形の変化を直接測定した。

実験方法 弾丸には円柱形のジュラコンまたはポリカーボネイト(直径30mm,高さ30mm)の前面にflyerplateとして音響インピーダンスの高い銅板(直径28mm, 厚さ3mm)をつけたものを用いた。圧力センサーとしてマンガニンゲージを用い、平行に研磨した二枚の玄武岩の間に挟んでオシロスコープ(sampling rate 250MHz)によって圧力を測定した。また玄武岩の前面に貼った接触センサーと後面の三カ所に貼ったピエゾ素子によって衝撃波速度を測定すると同時に衝撃波面の傾きもモニターした。衝突発生圧力はほぼ一定(6.6~7.2 GPa)にし、玄武岩の厚さを変化させ伝播距離の増加に伴う衝撃波の変化を測定した。

実験結果 得られた圧力波形からユゴニオ弾性限界はおよそ0.5GPaであった。接触センサー、マンガニンゲージ、ピエゾ素子の時間差から先行弾性波速度=4.7km/s、衝撃波速度=4.2km/sであった。伝播距離に伴う衝撃圧力の変化を図1に示す。

縦軸はゲージで測定された圧力を衝突速度から計算される衝突発生圧力で規格化している。今回の弾丸の形状の場合(厚さ3mm)、衝撃圧力が一定に維持されている領域が衝突面から11mm付近まで広がっていることがよく分かる。

図1 伝播距離の変化に伴う衝撃圧力の変化。横軸は伝播距離(mm)、縦軸は衝突速度から計算される発生圧力で規格化してある。



氷球の斜め衝突により形成されるクレーターのその場観察

In Situ Observations of the Cratering by Oblique Impacts on Ice

° 小野瀬直美, 荒川政彦, 比嘉道也 (北大・低温研)

° Naomi Onose, Masahiko Arakawa, Michiya Higa

(Institute of Low Temperature Science, Hokkaido University)

There are many icy satellites with craters on their surface in the outer solar system. These observed craters are the evidence of collisions among icy bodies in their growth processes. These collisions were usually oblique one. Thus, we made cratering experiments using the ice spheres projectiles and the cubic ice target at variable impact angles. The purpose of this study is to clarify the effect of obliquity of the impact on the crater sizes and shapes, and the ejecta curtain shapes and the growing speed. The crater made by the oblique impact with the impact angle larger than 60° has an elliptic shape. The ejecta curtain grows at 1190m/s along the direction of impact. And the crater volume (V), impact velocity (v_i), and the impact angle(θ) have a relation of

$$V \propto (v_i \cos \theta)^3$$

外惑星領域には、天体の主要構成物質が氷である様な氷衛星が多数存在しており、その表面には衝突に因ると思われる無数のクレーターが発見されている。これらのクレーターの存在は、氷衛星が氷微惑星の度重なる衝突の結果形成されたものであることを示している。理論的には惑星形成過程での衝突のほとんどは斜め衝突であると予想されるが、現時点では、斜め衝突に関する実験は少なく、それも、破壊強度を持たない物質に対するもののみである。そこで、本研究では氷の弾丸と標的を用いて氷天体に対する斜め衝突実験を行い、形成されたクレーターの形状、噴出物の速度を計測し、クレーターに関するスケール則の拡張を試みた。

クレーター形成実験は、北大低温研の低温室 (-18°C) 内に設置した縦型一段式軽ガス銃を用いて行った。弾丸には直径15mmの氷球を、標的には20cm角の立方体の氷を用いた。この標的を0° ~ 80° の間に傾けて固定し、弾丸を鉛直方向に速度100m/s~700m/sで撃つことにより斜め衝突を実現した。衝突時の弾丸の変形とクレーターからの噴出物の様子はシャドーグラフ光学系を用いてイメージコンバーターカメラ (20万コマ/秒) で撮影した。標的是回収し形成されたクレーターの形状を計測した。

図1は、撮影した画像を解析した結果である。弾丸と噴出物が形成する影の輪郭を重ね、時間に伴う発達を示したものである。原点Oは弾丸の推定衝突点を、矢印はそれぞれの輪郭が発達する方向を表している。図から、弾丸の入射方向では噴出物は標的に添って発達し、速度は衝突速度の4倍にも及ぶ事が判った。一方、逆の方向では噴出物は標的の表面から約30° の方向に発達し、その速度は衝突速度の0.6倍程度である。標的に形成されたクレーターは、衝突角度が45° 以下ではほぼ円形で、60° 以上では弾丸の入射方向に直行する軸の長い橢円形になる事、また、クレーターの体積 V 、衝突速度 v_i 、入射角 θ の間には次の様な関係にある事が判った。

$$V \propto (v_i \cos \theta)^3$$

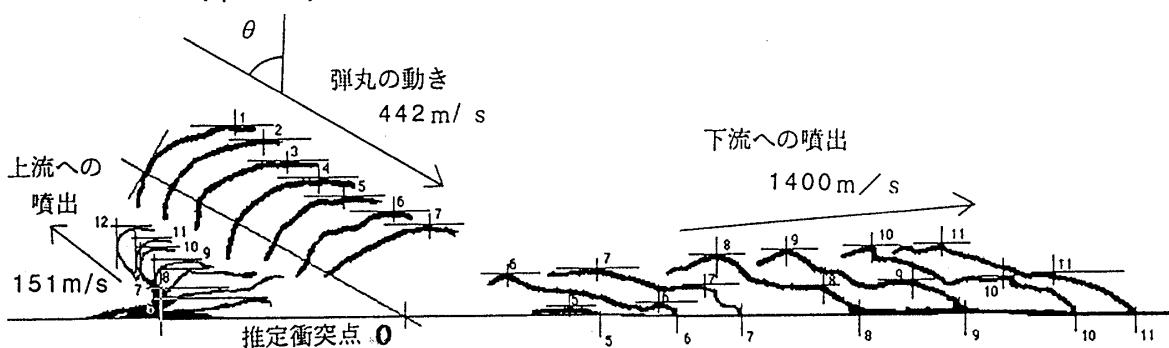


図1 斜め衝突における弾丸の変形及びクレーターからの噴出物の発達（図中の数字は写真のコマ番号）

実験条件 ; $v_i = 571 \text{ m/s}$, $\theta = 60^\circ$

氷-氷衝突破壊における放出物の速度計測

Measurements of Ejection Velocities in Collisional Disruption of Ice Spheres

°荒川政彦, 比嘉道也 (北海道大学 低温科学研究所)

Masahiko Arakawa and Michiya Higa,

Institute of Low Temperature Science, Hokkaido University

We performed impact experiments on ice spheres to measure the velocity field of ejected ice fragments and considered the conditions under which the fragments would reaccumulate during accretion in the outer solar system. The ejection velocity of fine fragments formed by the jetting process near the impact point was determined to be 1.9-3.1 times as large as the impact velocity irrespective of the target size and the impact velocity. The ejection velocity of fragments at the rear side of the target (V_e) varied with distance from the impact point according to a power law relation, $V_e = V_a(l/D)^{-n}$, where V_a is the antipodal velocity, l and D are the distance and the target diameter, and n is 2 ± 0.6 .

(はじめに) 外惑星領域には、氷を主な構成物質とするような氷衛星が数多く存在する。それらの天体の形成過程を定量的に吟味し、その進化過程を明らかにするためには氷微惑星の集積過程を知る必要がある。そこで我々は、惑星集積の素過程として重要である氷微惑星の衝突破壊過程を実験的に調べている。惑星成長は、衝突により起こるが、もしも天体が破壊した場合には、その破片の速度が天体の脱出速度を越えないもののみが再集積してその成長に寄与することになる。よって衝突破壊片の速度分布は、惑星の成長速度を左右する重要なパラメータである。本研究では、氷-氷の衝突破壊実験を行い、その時に生ずる破片の速度を超高速度カメラを用いて計測し、惑星の成長が起こるための衝突条件を求めた。

(実験方法と結果) 衝突実験は低温室内 (-18 °C) に設置した軽ガス銃を用いて行った。氷球(質量 1.5 g ~ 172 g) どうしを 100 ~ 700 m/s の速度で正面衝突及び斜め衝突させ(衝突角度 0-48 °), その結果を超高速度イメージコンバーターカメラで 20 万 ~ 10 万駒/秒の速度で撮影した。その画像をもとに、衝突時に起こる氷球の変形や高速度放出物の速度分布を計測した。その結果、衝突点付近から吹き出すジェットは衝突速度の 1.9 ~ 3.1 倍に達することがわかった。この値は、ほとんど衝突速度やターゲットの大きさによらない。また、ターゲット側では細粒破片からなる放出物の飛び出し速度 (V_e) は、衝突点から遠くなるに従って徐々に減少し、その変化は $V_e = V_a \left(\frac{l}{D}\right)^n$ で書けることがわかった。ここで、 V_a は反対点での速度、 D はターゲットの直径、 l は衝突点から計測した破片の初期位置までの距離である。本実験から、 n は 2.2 ± 0.6 と求めることができた。氷球の質量比が 0.1 の場合の V_a は、 $V_a = 0.1V_i$ と書くことができ、これは重心の移動速度とほぼ一致する。

これらの結果から、氷球の質量比が 0.1 の場合、反対点付近の破片速度は重心速度とほぼ一致するので、破片は再集積する可能性が高いことがわかった。また、半径が 150 km 以上の氷天体では 500 m/s の相対速度で衝突が起こった時、反対点付近に限らず広い範囲で破片が再集積して天体の成長に寄与することが考えられる。

ポスター講演

(No.P01～P29)

衝突破壊による暴走成長の加速

稻葉 知士、田中 秀和、中澤 清（東工大）

The acceleration of the runaway growth due to collisional disruption

Satoshi Inaba, Hidekazu Tanaka, Kiyoshi Nakazawa (Tokyo. Tech)

Runaway growth makes the growth of a protoplanet faster. However, in the late stage of the planetary accretion, as the mass of the protoplanet becomes larger, the protoplanet can make the random velocities of planetesimals larger. Then, the collision probability between the protoplanet and planetesimals becomes smaller and we cannot explain the growth time of Jupiter. However, in this estimation, the effect of disruption is not considered. In the late stage of the planetary accretion, the velocity between planetesimals can become so large by gravity of the protoplanet that planetesimals are broken. Therefore the effect of disruption must be considered. In this study, we analytically calculate the growth of planets with due regard to the effect of the disruption in the study of asteroids and show quantitatively that the growth of the protoplanet become several times faster by disruption. Then we use the evolution of the mass distribution function in the collisional system which is known by the investigation of asteroids.

原始惑星の成長は暴走成長によって速められる。しかし、ある程度原始惑星の成長が進むと原始惑星が微惑星のランダム速度を十分に大きくすることができるようになるため、原始惑星の微惑星に対する衝突確率が減少し原始惑星の成長が遅くなる。その結果、木星型惑星の成長時間を説明するのは困難になる。しかし、この成長の計算には破壊の効果が考慮されてない。実際には、原始惑星の成長が進むと微惑星のランダム速度を破壊が起きる位十分大きくなる。故に、惑星の成長を考える上で破壊の効果は必ず考えなければならない。一方、破壊が十分に進んだ系における質量分布の進化については小惑星の研究においてなされている。それ故、本研究では惑星の成長を小惑星の研究における破壊の効果を取り入れて計算し、原始惑星の成長が破壊によって促進されることを解析的かつ定量的に示す。ここで、破壊が十分に進んだ系における質量分布の進化については小惑星の分布を用いた。

応力緩和を伴う衝撃波の減衰の数値シミュレーション
Numerical Simulation of Attenuation of Shock Wave
with Stress Relaxation

° 三谷典子(東大・理), 渡辺誠一郎(名大・理)

We investigate the effect of stress relaxation in attenuation of shock wave propagating in solids. Attenuation of shock wave is one of the most important processes on considering the scaling law of impact fragmentation. Many studies of shock wave attenuation by numerical simulation or dimensional analysis have been done. However, considering the elastic-plastic change, we have obtained a numerical result different from those previous studies in material strength dominant region. This is due to the fact that the previous studies neglect or treat insufficiently the material strength. By the way, as being pointed out by some laboratory experiments, the shear stress tends to relax in plastic regime. Considering more realistic solid model, we will report this stress relaxation effect on shock attenuation.

固体中の衝撃波の減衰における応力緩和の影響を数値計算によって検討する。衝撃波の減衰は衝突破壊のスケーリング則を考える上で重要なプロセスの一つである。固体中の衝撃波の減衰についてはこれまで次元解析および数値計算による研究が多くなされてきた。しかし、前回、我々は弾塑性の性質をとりいれて数値計算を行ない、物質強度が効く領域で、これまでの結果とは大きく異なる結果を得た。これは、これまでの研究では物質強度を無視していたり、扱いが不適切であったためである。ところで室内実験によると塑性領域においてシアー応力が緩和することが指摘されている。そこでより現実的な固体モデルを考えるために今回はこの応力緩和の効果を検討する。

衝突破片速度の質量依存性

Velocity Dependence on Mass of Fragment Produced by Impact Fragmentation

○高木靖彦（東邦学園短大）・中村昭子（宇宙研）・藤原顯（宇宙研）

衝突破壊時の破片の速度分布は、微惑星から惑星への成長過程を研究するうえで、重要なポイントとなる。そのため、今までに多数の研究がなされてきたが、その中で浮かび上がった問題の一つに、衝突破片速度の破片質量依存性の有無がある。すなわち、*Nakamura and Fujiwara* (1991) は、破片速度と質量の間に明確な負の相関があると主張したのに対し、*Takagi et al.* (1991) は、破片速度は破片質量に依存せず一定であると主張した。しかし、これらは、大きく異なる条件で行われた実験を基にしていた。そこで、本研究では、統一した条件で実験を行い、上記の依存性の有無を検証することを第一の目的とした。

衝突破壊実験は、宇宙研の2段式軽ガス銃を用いて行った。標的には葉蝶石、弾丸にはナイロンを用い、形は共に球形とし、衝突速度は 1160 ~ 4040 m/sec であった。条件を単純にするため、今回は全て正面衝突とした。その破壊の様子を2台の高速度カメラで撮影し、そのフィルムの解析から、破片の3次元の速度を求めた。

一連の実験の内、今回は、衝突速度が 1470 と 4040 m/sec で、標的の単位質量当たりに与えられたエネルギーがほとんど等しい2つの実験を中心に解析した。得られた一方の結果を図1に示す。

この図に示された結果は、*Takagi et al.* (1991) あるいは *Nakamura and Fujiwara* (1991) 何れの主張とも異なり、「速度の上限に破片質量依存性がある」事を示唆している。講演においては、もう一方の実験結果の解析も含め、この傾向が衝突速度と共にどのように変化するかなど、より詳細な報告を行う予定である。

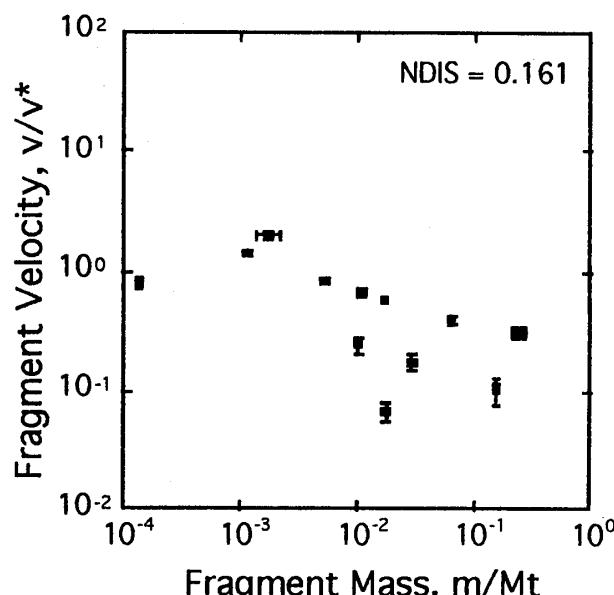


図1. 770 g の葉蝶石に 0.211 g のナイロン球を 4040 m/sec で衝突させてできた破片の質量と速度の関係。質量は、標的質量 M_t で規格化し、速度は、弾丸—標的の重心系を基準にして、
 $v^* = Y/C_o \rho_o$ (Y, C_o, ρ_o は、それぞれ標的物質の強度、バルク音速、密度) で規格化している。葉蝶石の場合は、 $v^* = 8.98$ m/sec である。NDIS は、無次元衝突応力。

高速衝突により発生するガス雲の温度

Temperature of vapor cloud generated by hypervelocity impact

○門野敏彦¹⁾, ²⁾・藤原顕¹⁾

○Toshihiko Kadono¹⁾, Akira Fujiwara²⁾

1)Institute of Space and Astronautical Science,
2)Department of Physics, Kyoto University

We have measured the temperatures of the vapor cloud produced by the hypervelocity impact using three filtered PIN-photodiodes.

これまでの衝突実験で発生するガスのふるまいをおもに高速度カメラを用いて、膨張速度や光度の変化などを調べてきた。しかし、高速度カメラによる研究は未知の現象に対して直感的な理解をすることについては非常に役立つが、定量的な議論を行うことは難しい。そこで、今回は光ダイオードを用いて発生後膨張するガスの温度が時間とともにどのように変化していくのかを調べた。

三つの光ダイオードにはそれぞれ異なる波長の光を通すフィルターを装着し、得られた各時刻での出力を黒体輻射の式でフィットし、温度を算出する。ここでは各フィルターが通す波長域に強力な輝線がないことと、各時刻で熱平衡が成り立っていることを仮定している。

その場観測による氷の衝突蒸発実験

Experimental studies on impact vaporization of ice

° 杉 紀夫, 荒川 政彦, 香内 晃, 前野 紀一 (北大 低温研)

Norio Sugi , Masahiko Arakawa , Akira Kouchi , Norikazu Maeno

(Institute of Low Temperature Science , Hokkaido University)

Impact vaporization of ice was an important physical process in the accretion of icy satellites because this process could cause the varieties of the bulk density of these satellites. Thus, we have developed a new experimental equipment to measure the mass of H₂O gas generated from H₂O-ice target by the impact vaporization. This equipment contained the electro-magnetic accelerator, ice target and the mass-spectrometer within the ultra-high vacuum chamber; it enables us to measure the quantity and the species of degassing vapors. In the closed vacuum chamber, the copper projectile was launched to the ice target at velocities of 97-142 m/s and the target was cooled at -140°C during the impact. The vapor pressure of H₂O increased just after the impact by the impact vaporization of ice. The latent heat energy required for the observed vaporization corresponded to 8-15% of the initial kinetic energy of the impacts.

木星以遠の外惑星領域では惑星および衛星は、揮発性物質の氷 (H₂O, NH₃, CH₄等)と岩石を構成物質とする微惑星の衝突集積によって形成された。この形成期における衝突の際、衝突エネルギーの一部は氷の蒸発に使われることが予想される。氷の衝突蒸発は原始大気を形成したり、構成物質のうち氷だけを系外に散逸させることにより天体のバルク組成にも影響を与えたと考えられ、氷衛星の進化を考える上で重要である。従って、この現象を詳しく調べる必要がある。そこで我々は衝突エネルギーのうち、氷の蒸発に使われる割合を実験的に求めるために、新たに実験装置の開発を行い、惑星形成環境をシミュレートした低温、高真空中で氷 (H₂O) に対して衝突実験を行った。

本実験の特色は、高真空中で加速装置、標的試料を設置して、その中で衝突実験を行うことである。衝突時にはチャンバーは閉鎖系にして、発生したガスに対して電離真空計、質量分析計を用いて、発生量、分子種が測定される。加速装置にはガスの発生が少ない電磁力推進式のものを開発して用いた。この装置により、真空中度 3×10^{-4} Torrにおいて、液体窒素で冷やされた -140°C の氷標的に対して 97~142 m/s の速度で銅 (230mg) の飛翔体を衝突させたところ、0.03~0.07mg の氷の蒸発に相当する H₂O 分圧の上昇を観測した。この蒸発に要するエネルギー (潜熱) は 0.10~0.19 J であり、飛翔体が運動エネルギーとして元々持っていた衝突エネルギーのうち、8~15% が蒸発のエネルギーに変換されることになる。

大氷衛星の内部構造：体積変化モデル
Internal Structures of Large Icy Satellites:Models of Volume Change

°山岸保子（東大・理）、栗田敬（東大・理）
YASUKO YAMAGISHI (Dept. of Earth and Planet. Physics, Univ. of Tokyo)
AND
KEI KURITA (Dept. of Earth and Planet. Physics, Univ. of Tokyo)

Many of the satellites of the outer planets have the surface features caused by extentional stresses. It is inferred that these stresses were generated by global expansion of the satellites. The large icy satellites like Ganymede must have vast magma ocean of H₂O by accretional heating. Freezing of the magma ocean plays a most important role as the volume change of the satellites. We estimate the rate of the volume change by freezing of the magma ocean of the large icy satellites, and propose a possibility that the extentional failures on the surface of the moons were attributed to the volume change caused by freezing of the magma ocean.

外惑星の衛星（氷衛星）の多くには、引張力によって形成されたと考えられる線状地形が、その表面に存在するということが、既によく知られている。また、そのような地形を造りだす応力場は、過去、氷衛星が経験した体積変化によって発生したと考えられている。氷衛星の体積変化の要因としては、分化、放射性核種の壊変加熱による熱膨張、冷却による熱収縮、またはH₂Oの相変化（氷 \rightleftharpoons 水、氷 \rightleftharpoons 氷）等、様々な現象が推測されるが、どの現象によって、表面地形を造りだすことが可能な応力を発生させる体積変化が得られるのかは、衛星のサイズや、密度、熱源などに依存する。

氷衛星のうち、比較的サイズが大きいもの（大氷衛星）は、上述の要因のうち、分化現象が、最も大きな体積変化をもたらす。均質に氷と岩石が分布している場合、大氷衛星の内部には、密度の高い高圧氷が多く存在しているが、分化によって、この高圧氷が表面付近に移動すると、密度の低い低圧氷に相変化し、体積は膨張する。木星衛星のガニメデとカリストは、氷と岩石の均質分布から、岩石核と氷殻の完全分化によって、その表面積は5.5%～6.5%増加する（Squyres,1980）。しかし、ガニメデサイズの氷衛星では、集積エネルギーが大きいため、分化現象は、集積中におき、さらに分化した氷殻は融解してしまう（Lunine and Stevenson,1982 : Kuramoto and Matsui, 1994）。よって、分化プロセスによる体積変化と、観測されている表面地形の形成とを関連づけるのは、非常に困難である。

集積と同時に分化し、マグマオーシャンが存在する、サイズの大きな氷衛星では、集積完了後の体積変化には、マグマオーシャンの固化が重要な役割を果たす。しかし、マグマオーシャン（融解氷殻）の完全固化による総合体積変化は、そのサイズ故、密度の高い高圧氷が発生するために、収縮の傾向を示す。ガニメデ、カリストでは、固化によって、その表面積が0.1%～1%減少し（Squyres,1980）、観測結果と矛盾する。

氷衛星の体積変化の問題は、現状においては、未だ未解決の問題である。本講演では、大氷衛星について、融解・固化を考慮した熱史の計算（1995春合同学会）に基づき、各相の氷の固化による体積変化を求め、その時間変化により、体積が膨張傾向を示す時代が存在するか否かを求める。さらに、衛星表面に、この体積変化によって発生する応力求め、融解氷殻（マグマオーシャン）の固化によって、観測される地形を造りだすことが可能かを示す。

不純物を含むアモルファス氷の熱的性質

Thermal Properties of Impurity-doped Amorphous Ice

香内 晃 (北大・低温研)

Akira Kouchi (Inst. of Low Temp. Sci., Hokkaido Univ.)

We have measured the thermal conductivity and heat of crystallization of impurity-doped amorphous ice. We found that the thermal conductivity of amorphous H₂O-CO-CO₂ ice is two to three orders of magnitude smaller than that estimated by Klinger and one to two orders of magnitude larger than that of pure amorphous H₂O ice measured by Kouchi et al. We confirmed that the crystallization of pure amorphous H₂O ice is exothermic as previously acknowledged. In the case of impurity-doped amorphous ice, on the other hand, it is found that crystallization is not exothermic but endothermic!

不純物を含むアモルファス氷の熱的性質、たとえば、熱伝導率や結晶化熱などは彗星の熱史を議論する上で重要である。しかし、これまでにそれらの測定はなかつたので新たな実験を行った。

アモルファスH₂O-CO-CO₂の熱伝導率を10~20 Kで測定した。アモルファス氷薄膜の表面温度は水素のアモルファス氷表面への吸着量の温度依存性から推定し、熱伝導率の計算はKouchi et al. (1992)の解析法を用いた。アモルファスH₂O-CO-CO₂の熱伝導率はKlinger (1980)の推定値より2~3桁小さく、Kouchi et al. (1992)の高温での測定値を10Kに外挿した値より1~2桁大きいことがわかった。COやCO₂などの不純物がアモルファス氷に含まれる欠陥を埋めるために純粋なアモルファス氷よりも熱伝導率が大きくなつたと考えられる。

不純物を含むアモルファス氷、H₂O-CO、H₂O-CO₂、H₂O-CO-CH₄-CO₂および純粋なアモルファス氷の熱的振る舞いを示差熱分析法(DTA)で10~200 Kの範囲で調べた。純粋なアモルファス氷の結晶化はこれまでに測定された結果と同じ発熱反応であった。いっぽう、不純物を含むアモルファス氷では結晶化は発熱反応ではなく見かけ上吸熱反応であった！これは次のように解釈できる。アモルファス氷自体の結晶化は発熱反応である。しかし、アモルファス氷が結晶化する際にはアモルファス氷に取り込まれていた不純物が蒸発し、この時に蒸発熱を奪う。前者の発熱量よりも後者の吸熱量が多いため、この反応は見かけ上吸熱反応となる。見かけ上の吸熱量はアモルファス氷に含まれる不純物の種類や量に大きく依存することがわかった。

今回得られた実験結果から、これまでの彗星の熱史に関する議論はすべて修正されなければならないことは明白である。特に、アモルファス氷の結晶化がトリガーになる連鎖反応的結晶化は起こり得ないことに注意すべきである。

彗星における有機化合物の形成を模倣した光化学反応

Photochemical Reactions Simulating Formation of Organic Compounds in Comet

○村江達士、平山隆博（九大・理）

Tatsusi Murae and Takahiro Hirayama (Faculty of Science, Kyushu University)

Photochemical reactions of ice containing formaldehyde, ammonia, and water have been investigated in order to simulate the formation of organic compounds in comets. Each starting material was sublimated under reduced pressure into a glass reaction vessel cooled in liquid nitrogen. The ice was formed on the wall of the vessel in layers which were irradiated from inside with a high pressure mercury UV lamp for about one hour. The vacuum and the temperature were maintained during the irradiation. After the irradiation, the reaction vessel was warmed to room temperature. Aqueous components and solid materials were corrected separately and freeze dried. The reaction products were investigated by FT-IR directly, and acid hydrolysis products were also examined by GC in order to confirm the formation of amino acids.

彗星が有機化合物を初期地球に外部から持ち込んだ可能性が挙げられている。彗星が含んでいる有機化合物は、原始太陽系星雲に存在している有機化合物がそのままトラップされているものと彗星の中で新たに形成されたものとが存在すると考えられる。ハレー彗星の観測結果などから、彗星には高濃度に有機化合物が含まれていることが示されているが、濃度が高いということは、その殆どが彗星内で合成された可能性を示唆している。

彗星内の有機化合物の合成の原料物質としては、炭素源として一酸化炭素、二酸化炭素、ホルムアルデヒドが有力で、窒素源としてはアンモニア、それに主成分として水が存在し、それらが太陽から遠いところでは、氷として存在していると推定される。この氷は、太陽に近づくに従って、紫外線や宇宙線にさらされ、固体の状態で光反応が起こって有機化合物が形成されたと考えられる。この反応では、高分子化合物が主成分として合成される可能性が高い。

我々は、上記の反応でどのような化合物が形成されるかに興味を持ち、第一段階として、入手と取り扱いが容易なことから、アンモニアとホルムアルデヒドと水を材料に、液体窒素で冷却したガラスの反応容器の内壁に層状に氷を作り、内側から高圧水銀灯で光照射した。1時間光照射後、室温に戻し、溶液部分と固体部分を別々に凍結乾燥して、それぞれの赤外スペクトルを観察した。また、生成物はそれぞれ加水分解し、アミノ酸などが形成されていないかどうかも、ガスクロマトグラフィーでチェックした。

彗星塵からの散乱光の角度分散

：凝聚集体の構成要素粒子がサブミクロンの場合

○亀井秋秀、岡本創（神戸大・自然）、向井正（神戸大・理）

Angular distribution of the scattered light by the cometary dust particles

：When the size of the monomer in the cluster is sub-micron.

○A.Kamei⁽¹⁾,H.Okamoto⁽¹⁾,T.Mukai⁽¹⁾⁽²⁾

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

2)Dept.of Earth and Planetary Sci.,Kobe Univ.,Japan

The discrete dipole approximation (DDA) has been widely used for calculations of scattering and absorption by irregularly shaped particles. However due to the large memory requirements, it is not possible to apply DDA to the large particles compared to the wavelength. In order to overcome this practical problem, we have proposed the a1-term method. In this paper we have investigated the angular dependence of light scattering by cometary dust particle where the size of the monomer in the particle is sub-micron. The accuracies of the a1-term method are tested by comparison between this method and the exact modal analysis. The results might be useful for the analysis of light scattering by cometary dust particles in the Rosetta mission.

惑星間空間に存在するダストは一般的に不規則形状をしている。このような不規則形状をしたダストの散乱微分断面積や偏光度を調べることで、ダストの大きさや形、組成についての情報が得られると期待される。Discrete Dipole Approximation (DDA)とは、立方格子状に並べた微小電気双極子の集団で不規則形状体を近似し、これらの双極子の集団と外部からの電磁波の相互作用を数値計算によって求めていく手法で、任意の形をした散乱体に適応できる。しかし彗星塵、惑星間塵のようにその構成要素粒子のサイズがサブミクロンと考えられている場合、可視光に対しては、そのサイズパラメーターが1近くになる。このため従来のDDAでは、個々の構成要素粒子である球を多数のダイポールを用いて置き換えねばならず、計算機の能力の点から、波長に対して大きい粒子に適用できないという問題点があった。これを克服するため近年我々によってa1-term methodが提案された。

a1-term法により、 $0^\circ \sim 180^\circ$ の散乱角での散乱光強度を求め、その誤差評価をした。また誤差を小さくするためにある角度おきに平均値をとることを試みた。これらの結果はRosetta missionで計画されている、レーザー光を利用したダストの光散乱データの解析に役立つと期待される。

不規則形状塵の非等方的熱放射による
軌道進化に与える摂動

Orbital perturbation by thermal emission
of the anisotropic shaped dust particle

° 木村宏、向井正（神大・自然）

Hiroshi Kimura and Tadashi Mukai (Kobe Univ.)

Interplanetary dust grains collected upper Earth's atmosphere have irregular shapes with fluffy structure. Such irregularly shaped particles will emit the thermal energy an-isotropically. The resulting reaction forces perturb the dynamical behavior of the grain. We will report the effect of such perturbation forces on the dynamical evolution of interplanetary dust grains.

惑星間空間に存在するミクロンサイズの固体微粒子（塵）は、太陽光を吸収・散乱することによって、太陽重力場の中で放射圧を受けて運動している。吸収及び散乱光の非等方性から生じるポインティング・ロバートソン効果によって、塵の運動には常に抗力が摂動として働いている。

これまで固体微粒子に関する研究は、塵の形状は球であるという仮定のもとに行われてきた。従って、塵からの熱放射は等方的であるという暗黙の了解がなされてきたわけである。しかし、NASAのU2機によって成層圏で採取された惑星間起源の塵は、電子顕微鏡写真によって不規則形状をしていることが明らかになっている。不規則形状塵の表面には多数の凹凸があり、そのため熱放射の非等方性が生じるであろう。その反作用として生じる摂動力は、塵の運動を論じる上で重要な役割を果たす。

本研究では、不規則形状塵モデルとしてフラクタルダストを用い、熱放射の非等方性によって生じる摂動力の大きさを見積る。その結果に基づいて、惑星間空間における不規則形状塵の力学進化についての議論を行う。

惑星間磁場中を運動する塵粒子の軌道進化

○古莊玲子（神戸大・自然）、向井正（神戸大・理）

The orbital evolution of the dust particle moving in the interplanetary magnetic field

○R. Furusho⁽¹⁾, T. Mukai⁽²⁾

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

2)Dept. of Earth and Planetary Sci., Kobe Univ., Japan

Nongravitational forces act on the dust particle moving in the interplanetary magnetic field. The Lorentz force by magnetic field is one of the important perturbing forces on them. Since the direction of this force is perpendicular to both the dust velocity and the magnetic field, the force may change distribution of inclination.

Recently, three-dimensional structure of the interplanetary magnetic field was observed by the Ulysses space craft directly for the first time. And interstellar dust particles, were assumed to be prevented by the interplanetary magnetic field, seemed to be detected inside of the Jupiter orbit. These observations by the Ulysses suggest that it is necessary to correct the model of the perturbation by the interplanetary magnetic field.

By performing computational simulation of orbital evolution of dust particles, we report the variation of orbital elements and influence of the perterbing force due to the minterplanetary magnetic field on the spatial distribution of interplanetary dust particles.

惑星間空間を運動する塵には、太陽重力以外の様々な摂動力が働く。太陽の作る磁場によるローレンツ力もまた、重要な摂動力のうちの一つである。この力は塵粒子の速度と惑星間磁場の両方に垂直な方向に働くので、塵粒子の軌道傾斜角を変化させる力となりうる。

ところで、最近惑星間磁場の3次元的構造が探査機 Ulysses によって初めて直接観測された。そして、これまで星間塵は惑星間磁場によって侵入を妨げられているだろうと考えられていたが、木星軌道より内側での星間塵らしい dust の観測が報告された。Ulysses によるこれらの観測は、これまでの惑星間磁場による摂動のモデルに修正を加える必要性を示唆している。

今回の講演では、惑星間磁場中を運動する塵粒子の軌道要素の変化や、磁場による摂動力が塵粒子の空間分布に与える影響を、軌道計算シミュレーションを用いて調べ、報告する。

黄道面外でユリシーズによって観測されるベータ・メテオロイド

○山本 聰（神戸大・自然）、向井 正（神戸大・理）

The β -meteoroids found by Ulysses in out of ecliptic plane○S.Yamamoto⁽¹⁾, T.Mukai^(1,2)

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

2) Dept. of Earth and Planetary Sci., Kobe Univ., Japan

The dust detector onboard the Ulysses spacecraft has measured many Interplanetary Dust Particles (IDPs) in the region of out of ecliptic plane. It is thought that among these observed dust particles there is a large amount of beta-meteoroids, which are accelerated away from the circumsolar space by radiation pressure.

The IDPs supplied from comets and asteroids are drifting slowly toward the Sun owing to the Poynting-Robertson drag forces. In the circumsolar region, these particles begin to sublime. Consequently, their sizes become the critical ones, below which the radiation pressure is significant. Due to the effect of radiation pressure, the sublimated dust grains move on more eccentric orbits, and finally they take the hyperbolic orbit, which are named “ β -meteoroids” observed near the Earth.

We have checked the possibility to produce the β -meteoroids owing to the anisotropic gas flows from the grain due to sublimation. In addition, we have investigated the orbital properties of the β -meteoroids observed in the region of out of ecliptic plane. Our results will be compared with the data of the Ulysses.

1990年に打ち上げられた、太陽極探査衛星ユリシーズは、黄道面の外側において、多くの惑星間塵を観測した。これらの黄道面外で観測された惑星間塵の中に、太陽近傍から太陽放射圧で飛ばされてきた、ベータ・メテオロイドと呼ばれるダスト群が混ざっている、という仮説がたてられている。

彗星から吹き出したダストや、アステロイドの衝突などから生成されたダストは、ポインティング・ロバートソン効果により、ゆっくりと太陽方向に落ち込んでいく。太陽近傍に達したダストは、高温領域（～数太陽半径）で昇華を始める。昇華によって小さくなったダストでは、太陽放射圧の影響が増加する。その結果、ダストの軌道が歪み、最終的に双曲線軌道になる。このダストが探査機で捕獲されると、太陽方向から来たように観測される。パイオニア8、9号に搭載されたダストセンサーヤ我が国初のダスト測定機（Hitenn）においても、地球近傍でこれらの双曲線軌道をとるダストが数多く観測されている。

今回の研究では、まず、ベータ・メテオロイドの特徴的な軌道が、昇華によって生成可能かどうかを検討した。次にそれらのダストが黄道面の外側に飛び出すかどうかの検証を行なった。その結果とユリシーズで観測されたデータを比較し、黄道面外のダスト群について言及する。

粉体の統計熱力学 Statistical Thermodynamics of Powder

山本哲生[°], 城野信一(北大理), 万代英俊(北大低温研)

Tetsuo Yamamoto, Shin'ichi Shirono

Department of Earth and Planetary Sciences, Hokkaido University
and

Hidetoshi Mandai

Institute of Low Temperature Science, Hokkaido University

Thermodynamic quantities of a grain aggregate are derived from statistical mechanical consideration. An equation of state is presented that is analogous to the Mie-Grünesen equation of state.

微惑星は少なくともその成長の初期段階において、グレインの集合体として、porousな構造をもっていると考えられる。このようなporousな粉体の強度や Hugoniotなどの力学的性質は、微惑星の衝突の物理過程や彗星核の構造を解明するうえでの基礎となる。シューメーカー・レビー第9彗星の核分裂をもとに、彗星核の引っ張り強度は mb 程度の小さい値であると見積もられている (Greenberg, Mizutani, and Yamamoto, 1995)。引っ張り強度はグレイン半径の 2 乗に反比例する。今回は圧縮強度や Hugoniot を求める基礎として、まず静的な場合について、粉体モデルを立てることによって考察し、種々の熱力学量と状態方程式を求めた。

粉体をある grain-grain interaction potential (例えば van der Waals potential) で結合したグレインの集合体とする。モデル粉体の状態は、その体積 V , 個々のグレインの体積 V_i , 個々のグレイン i 内の原子の振動状態を特徴づける振動量子数 n_{ik} , 粉体中でのグレインの配置を表すパラメータ σ , および個々のグレイン i の運動エネルギーを表す E_{il} で指定される。これをもとに、統計力学的手法にしたがって、モデル粉体のヘルムホルツ自由エネルギー、内部エネルギー、圧力を求め、状態方程式 (EOS) を導いた。得られた EOS は固体でよく知られた Mie-Grünesen EOS を拡張した式になっていることがわかった。得られた粉体 EOS の性質、および衝突などの動的な問題に適用する際の問題点について議論する。

References

- J. M. Greenberg, H. Mizutani and T. Yamamoto, *Astronomy and Astrophysics*, **295**, L35 - L38 (1995)

冷たいガス円盤における自己重力不安定 (I) 計算法

Gravitational Instability in a Cool Gas Disk
(I) Numerical Procedure

中本泰史 (筑波大学 物理学系)

Taishi Nakamoto (Univ.of Tsukuba)

A new two-dimensional numerical hydrodynamics code is developed to study the gravitational instability in a cool gas disk. The code can simulate the gravitational instability in a cool gas disk with (a) no rotation, (b) rigid rotation, and (c) linear differential rotation. Especially, the linear differential rotation code (c) is quite unique. The results of the gravitational instability, e.g., the excitation of the spiral density wave in a disk, will be investigated precisely with this code.

ガス円盤における自己重力不安定の結果を調べるために、2次元の流体計算コードを作成した。このコードでは、冷たいガス円盤の自己重力不安定をシミュレートすることができる。

太陽の周囲に存在する原始惑星系円盤やその中に形成されると考えられているダスト層円盤の自己重力安定性は、太陽の重力、円盤の自己重力、円盤内の温度、の三者の関係によって決まる。これまでの研究によれば、原始惑星系円盤はその質量が太陽質量よりも小さいにもかかわらず温度が低いために自己重力不安定になりやすいらしい (Nakamoto & Nakagawa 1994)。しかし、不安定の結果については詳しいことはわかっていない。本研究の最終的な目標は、自己重力不安定の結果を明らかにすることである。

温度が低い小質量の円盤には、次のような特徴がある：(1)幾何学的に薄い形状をしている、(2)現象は円盤内の局所的な状態によって決まる。これらの特徴を利用して円盤の自己重力不安定を調べるために2次元局所近似を用いることとし、それを実現した計算コードを作成した。円盤の回転に関しては、(a)回転無し、(b)剛体回転、(c)線型差動回転の3つの場合を扱う。特に(c)の場合は他に類例を見ない計算コードであるが、これを用いると、円盤内の渦状密度波の励起などについても詳しく調べることができるだろう。

隕石中の炭素同位体比測定－装置開発

Carbon-isotope measurement of meteorites
– Development of a new system

鈴木敦子、杉浦直治、比屋根肇（東大・地球惑星）
Atsuko.S , N.Sugiura , H.Hiyagon
(Dep.of Earth and Planetary Physics : Univ.of Tokyo)

Presence of presolar grains in chondrites had been inferred from the rare gas isotopic anomalies. Later, they were confirmed by isotopic anomalies of carbon and nitrogen. Carbon isotopic anomaly will be useful for detecting new presolar grains by itself. For this purpose, we need a new system for measuring $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ ratios for a very small abundance($\sim\text{nmol}$). It requires " static measurement techniques ".

現在、隕石中に見つかっている主な presolar grainsとしてSiC, Diamond, Graphite がある。これらの carbon-rich grains は、もともとは希ガスの同位体異常の担体として隕石から分離されたものであるが、後に炭素・窒素についても同位体異常をもつことが報告されている。さらに、結晶構造をもたない炭素の多くが希ガス元素に比べて、より" 難揮発性" であることから、希ガス同位体比測定では見つけられなかった presolar grain を炭素同位体の測定により発見することが可能であると考えられる。

しかし実際のところ、隕石中では他の炭素化合物が多量に存在するため、たとえわずかに presolar grain が存在していても、その同位体異常は Bulk 測定では他の炭素の影響下にかくれてしまう。よって、隕石中で炭素同位体のanomalyを見つけるためには、隕石をごく少量ずつ取り出し測定する必要がある。

従来の測定方法は Dynamic 方式を用いており、測定には μmol の試料が必要であった。そこで本研究では $\sim\text{nmol}$ での測定が可能な Static 方式を採用することにした。この方式の問題点として、装置中の熱源で試料ガス(CO_2) が測定中に分解されてしまうことが上げられる。他にも、試料ガス中に含まれている水素の影響が無視できないことが確認されつつある現状だが、これらの影響をある程度取り除くことで、 $\sim\text{nmol}$ の炭素同位体比測定が可能となる。

Midplane Shock Heating による コンドリュール形成モデルの検証

°北神 今日子 (東工大)・中川 義次 (神戸大)

The midplane shock heating and the chondrule formation

Kyoko Kitakami (Tokyo. Tech), Yoshitsugu Nakagawa (U. Kobe)

Shock heating and subsequent cooling in the early solar nebula are widely believed to give a preferable environment for chondrule formation. We investigate shocks occurred in the solar nebula in a framework of a local one-dimensional gas dynamics problem in order to clarify the possibility of chondrule formation through shock processes. We consider two cases of shocks; nearly steady shock case which occurs at nebular formation phase and nonsteady shock case which is raised by gas clumps infalling on the disk nebula. In nonsteady shock case, we found ranges of clump mass and size which can make the disk temperature rise to the dust evaporation temperature ($\sim 1500\text{K}$) and also found corresponding gas heating time.

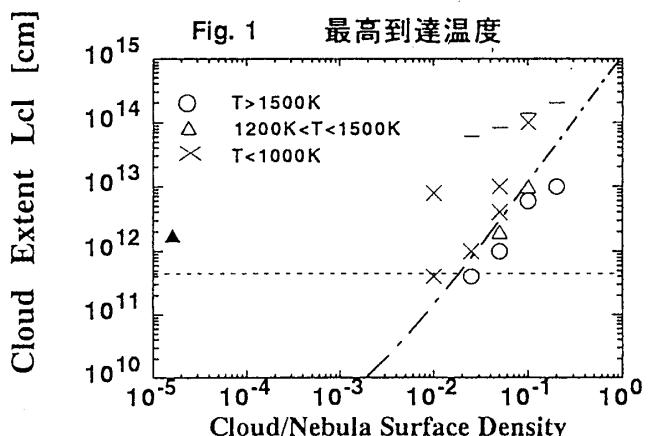
はじめに

いん石中のコンドリュールは、融解を経験し、その後急冷した太陽系内の始源的物質と考えられているがその成因については未解決の問題であり、現在まで様々な起源説が挙げられている。それらの中で最近有力な説の一つとして midplane shock モデル (原始太陽系星雲中のダスト沈澱領域への衝撃波の伝播により、ダストがガス抵抗を受けて溶解するというモデル) がある。このモデルに関しては、ガスとダストの相互作用を調べることで、ダストが融けるための衝撃波の強さ、及びその他の条件が求められている。本研究ではこの衝撃波の起源として、cloud がディスクに自由落下することで形成されるという clumpy cloud accretion を考え、その gas dynamics を数値的に解くことにより、どれくらいの衝撃波が中心面に到達しうるか、また温度上昇するための cloud の条件等について求めた。

計算方法、及び結果

考えている描像は静水圧平衡なディスクに clumpy cloud (分布はガウシアン) をケプラー速度で落下させる、というモデルでディスクの

垂直方向の運動について解いた。計算手法は 1 次元の流体方程式と、輻射輸送の式を解くことで求める。パラメータは clumpy cloud の広がり L_{cl} と clump surface density Σ_{cl} である。各計算結果から得られた disk の最高到達温度を図 1 に示す。観測から得られる clumpy cloud (図中の▲) と比較すると高温になることは期待できずコンドリュール形成の環境を作るのは難しいように思える。しかし、現在得られている観測については不定性もあり、今後は観測のみならず、星間中のゆらぎ、wind との interaction 等、より詳しい解析が必要であり今後の課題である。



SiC グレインの構造と赤外吸収スペクトルの関係

Correlation between structure of SiC grains and their IR spectra

塙内千尋[○]，畠山康幸，木村誠二，阪本剛正（立命館大理工），
小池千代枝（京都薬大），齋藤嘉夫（京工織大）

C. Kaito, Y. Hatayama, S. Kimura, T. Sakamoto(Ritsumeikan Univ.)
C. Koike(Kyoto Pharmaceutical Univ.), Y. Saito(Kyoto Institute of Technology)

In order to elucidate the correlation between structure of SiC grains and spectra, various grains were analyzed electron microscopically. It becomes evident in the present study that the change of the absorption peak took place by the crystal structure and defects including the particle.

カーボンスターで見られる $11.5 \mu\text{m}$ 付近の吸収は SiC であるといわれている。一方、実験室で測定した粒子の吸収は $11\sim13 \mu\text{m}$ の間にバラついている。SiC の構造は基本的にウルツ鉱 (α -type) とセン亜鉛鉱 (β -type) であるが、この物質には非常に多くの多形がある。我々の最近の SiC 粒子生成実験により、カーボンの量によって α 、 β 相の生成率が異なることを見い出した¹⁾。吸収位置は試料によって非常に異なっている。我々の作製した α (2H) 構造の粒子の赤外吸収位置は、 12.6 および $11.3 \mu\text{m}$ であって、これはエピタキシャル成長で作られた薄膜による値とよい一致を示した。種々の方法で作られた α および β -SiC 粒子の電子顕微鏡法による解析結果から、同じ β 構造でも積層欠陥が多く含まれると吸収位置が変化することを見い出した。また、多形が異なれば（構造の違い）、吸収位置が変化することも明らかになった。以上のことより、粒子の構造、欠陥が吸収に影響することが明らかになった。これまで欠陥と赤外吸収の関係を示した例はほとんどない。小さな粒子中では存在する積層欠陥が重要になってくるものと考えられる。大きさ数 μm 径の粒子中では点欠陥、転位等が含まれるようになり、これらの効果をも考える必要がある。

1) C. Kaito, et al., Planet. Space Sci. (1995), in print.

かんらん石蒸発の異方性

永原裕子[°]・小澤一仁（東大・理）・森岡正名（東大RIセンター）

Evaporation Anisotropy of Forsterite

H. Nagahara, K. Ozawa (Geol. Inst., Univ. Tokyo), and
M. Morioka (Radio Isotope Center, Univ. Tokyo)

The surface structure and dependence of evaporation rate on crystallographic orientation were experimentally studied for synthetic forsterite single crystal. They are essentially controlled by dislocation. The evaporation rate obtained with two techniques is largest on (001), followed by (100), and smallest on the (010) plane. Presence of other atoms than Mg and Si enhances the evaporation rate.

鉱物および珪酸塩メルト蒸発のメカニズムを理解するため、結晶軸に平行な面に切り出したかんらん石単結晶を用いて蒸発表面の観察と蒸発速度の結晶方位への依存性を求めた。

蒸発表面は(100)面では、長方形のピットで特徴づけられ、ピットを中心に300μm程度のドメインにわかれている。ピットの中心にはa軸方向に深い穴がある。ピットサイズは定常状態ではc軸方向に100μm程度、b軸方向に40μm程度である。蒸発は選択的にこのピットからおこっている。(010)面はごく小さなピットからc軸方向に開く浅い蒸発面と、1mm程度まで発達するc軸方向に長くa軸方向に短い箱形のへこみで特徴づけられる。蒸発は平面的に進行する。(001)面ではa軸方向に数100μm程度のびる線状のへこみとはるかに少ない結晶面と斜交するする100μm程度の菱形のへこみで特徴づけられ、ほぼ全面が線状のへこみでおおわれ、蒸発は全面からおこっている。これらのピットやへこみは転位にそうものと考えられ、転位の存在により蒸発が著しく促進されていることがわかった。これらはまた、同様な結晶を用いておこなわれた dissolution の実験の結果見られたエッチピットの形とも類似している。

蒸発速度の結晶方位への依存性を、結晶の厚さの減少と(100)面上のピットおよび(010)面上の箱形のへこみのアスペクト比から求めた。実測では蒸発速度の軸方向の比はa:b:c=2.8:1:3.2、表面構造から求めたものはおよそ2:1:4であった。後者の比は表面カイネティクスが結晶方位に強く依存することを示している。蒸発速度の実測と表面構造から求めた軸方向の速度比の結果から、蒸発は自由表面によるものと転位による効果の合成として表される。

表面にAlやCaが付着するとメルトが生じ、その部分の蒸発が促進される。このことは太陽系星雲において鉱物が蒸発する際、AlやCaが存在する場合には蒸発速度が大きくなることを示している。

いくつかの難揮発性親鉄及び親石元素に関する太陽系元素存在度の評価
 Evaluation of solar system abundances for several refractory siderophile and lithophile elements

○海老原充・尾崎大真・篠塚一典・日高洋（都立大・理）
 Mitsuru EBIHARA, Hiromasa OZAKI, Kazunori SHINOTSUKA and Hiroshi HIDAKA
 (Department of Chemistry, Faculty of Science, Tokyo Metropolitan University)

We have accurately analyzed Antarctic ordinary chondrites for Re, Os and Ir by radiochemical neutron activation analysis and for rare earth elements (REE) by inductively coupled plasma mass spectrometry (ICP-MS). It was found that Re, Os and Ir were fractionated among chondritic meteorites and that CI-normalized REE abundance patterns for ordinary chondrites were not completely smooth. Based on their analytical data, the solar system abundances of Re, Os, Ir and rare earth elements (REE) are evaluated and newly suggested values for these elements are presented.

レニウム(Re)、オスミウム(Os)、イリジウム(Ir)や希土類元素(REE)はいずれも難揮発性元素に分類され、太陽系組成を持つ星雲ガスから平衡凝縮が起こったと仮定すれば、かなり高温でガスから固体に凝縮する元素群である。Re、Os、Irは親鉄元素に分類されるのに対して、REEは典型的な親石元素であり、それぞれ凝縮相は異なる。コンドライト隕石中におけるこれらの元素の存在度(特に相対存在度)は一様であり、凝縮前の星雲ガスの組成を反映するものと考えられてきた。本研究では、オーディナリコンドライト中のこれらの元素の存在度を、放射化学的中性子放射化分析法(Re、Os、Ir)と誘導結合プラズマ質量分析法(REE)を用いて精度よく求めた。

Re、Os、Irは南極隕石の、主として非平衡(岩石学的分類でタイプ3に属する)オーディナリコンドライト中における存在度を各化学グループごとに系統的に求めた。その結果、OsとIrの相対存在度はどのグループにおいてもCIコンドライトの値に等しいものの、Re/Os、Re/Irの両比とともにオーディナリコンドライトの方がCIの値よりも系統的に大きいことがわかった。南極隕石であることの特異性も完全には否定できないが、CMやCVなどのグループでもCIからのずれが認められることから、コンドライト隕石間で明らかに分別を生じていることを示唆する。

REEは南極・非南極隕石のオーディナリコンドライトを中心に定量した。その結果、テルビウム、ホルミウム、ツリウムのCIコンドライト規格値で系統的に小さい値が得られた。また、Allende(CV3)コンドライトで分別したREEパターンが得られた。明らかにREEにおいてもコンドライト隕石中で分化が生じていることを示唆する。これらの結果をもとに、いくつかの元素に関して従来の太陽系存在度を見直し、改定値を提示する。

最近落下したユレライトを含む3個のモンゴル産石質隕石について
矢内桂三(岩手大学、工)

Three Stones in Mongolian Meteorites Including Ureilite in the Recent Fall
Keizo Yanai (Faculty of Engineering, Iwate University)

Three stones in six Mongolian meteorite collections are identified and classified as LL, H6 and ureilite. Adzhi-Bogdo I, 910g, is LL chondrite with typical brecciated texture consisting of various fragments of LL3 to LL6, fell in south-west of Mongolia in Oct. 30, 1949. Tugalin-Bulen was three fall about 10 kg, is very fresh specimen classified as H6 with trace of chondrules. Tugalin Bulen fell on the plane of Central Gobi in Feb. 13, 1967. Jalanash ureilite is the most recent fall in Mongolia, almost 1 kg as one fall. It fell on the plane in the westend of Mongolia in Aug. 15, 1990. The specimen is fragile stone consisting of coarse-grained olivine (Fa19.4) and pigeonite (Fs17.2 Wo7.7) with a large amount of black-colored carbon material fill in grain boundaries. A lot of fine-grained Fe-Ni metal occur in black material after reduction. Jalanash ureilite might be differed from all known ureilites those of their texture, bulk and mineral compositions.

モンゴル人民共和国には歴史上12の隕石(落下、発見を合わせ)が記録されている。このうち隕石が実在するのは6個で、鉄隕石、石質隕石それぞれ3個である。最も最近(1990年)モンゴル西端に落下した隕石はエコンドライトのエレイライトであるが、ほとんど知られていない。1949年10月30日 同国の南西端(中国との国境近く)に落下したAdzhi-Bogdo I隕石(910g)は、LLタイプの典型的な角レキ岩で、LL3～LL6など岩石学的タイプの異なる角レキからなる。他のタイプのコンドライト片は含まない。1967年2月13日モンゴル中央、マンダラコビ西方の草原に落下したTugalin-Bulen隕石は、3個が回収され、総重量は約10kgであるが、3個以上落下したと言われる。Tugalin-Bulenはきわめて新鮮で、コンドルールが僅かに認められるH6コンドライトである。Jalanash隕石は1990年8月15日モンゴル西端のウルゲイの草原に落下したもので、1個体で原重量は約1kgと言われる。本体は現在西モンゴル博物館に所蔵され、今まで全く研究がされていなかった。Jalanash隕石はユレイライトに分類され、モンゴルで唯一のエコンドライトである。岩質は粗粒、塊状で大変に脆く壊れやすいが、落下直後に回収されたため全く風化していない。主要な構成鉱物は粗粒のカンラン石とピジョン輝石で、これらの粒間を多量の炭素物質が充填している。炭素による還元で生じたと思われるFe-Ni金属の微粒子が暗黒部に多量に認められる。カンラン石、輝石とも非常に均質な組成をもち、カンラン石(Fa19.4, 最大値Fa20.21、組成巾: Fa18.2-21.4)、ピジョン輝石(平均En85.1Fs17.2Wo7.7、組成巾: En74.3-75.8 Fs16.6-17.9Wo7.3-8.2)。主化学組成のうち、SiO₂(39%)とFe(金属鉄 2%)の高いのが目立ち、組織はYamato-74123に割と近いかも知れない。また、鉱物組成は均質でALH-78019及びALH-78262隕石に似ている。しかし、主化学組成や組織、鉱物組成を比較するとJalanashユレイライトは従来知られているいずのユレイライトとも異なるようである。今後、trace elements、希ガス、同位体、年代測定などを行って詳しく比較検討する必要がある。

大規模熔岩流のシミュレーションによる 惑星表面における熔岩流の噴出条件の推定

°宮本英昭・佐々木晶（東大・理）

Estimation of eruption condition of lava flows on planets from numerical simulations of large-scale lava flows.

Hideaki Miyamoto & Sho Sasaki (Univ. of Tokyo)

The final lava flow morphology is determined by viscosity, yield strength, eruption rate, total mass and other various factors. So it is difficult to deal with these in a simple model. We made a numerical flow model, considering non-isothermal laminar Bingham flows. The calculation method is a kind of cellular automata, and similar to Ishihara's model (Ishihara et al., 1990). We take self gravity and cooling mechanisms into account, eliminate the dependence of mesh direction. Different from other previous works, we can calculate large size lava flows (several hundreds kilo meters).

溶岩流の長さや幅、高さなどから、その物性 (粘性・yield strength) や噴出時の物理条件 (eruption rate・eruption temperature) を推定する試みは数多くなされてきた。例えば Hulme は、溶岩流の幅や高から yield strength を見積もる方法を提案している (Hulme, 1974)。しかし、viscosity や yield strength が強い温度依存性を持っていることはよく知られた事実であるにもかかわらず、この手法は温度変化を考慮していないため、単純に違う環境下での溶岩流に応用することは難しい。さらに、最終的な形態は、viscosity、yield strength、eruption rate、eruption temperature、total mass、その他に依存しており、それらが互いに有機的な関係を持つことから、例えば溶岩流の最終的な長さは、eruption rate が決める (Walker, 1973)、溶岩の体積が決める (Malin, 1980)、溶岩流の速さが決める (Griffin, 1976)、といったように、どのパラメーターによって規定されるのか、単純なモデルでは一概には言えないとされている。

Dragoni は、傾斜のある地形を流れる溶岩流の力学的なモデリングを行った (Dragoni, 1986)。これを用いて Ishihara は、傾斜のある地形上の数 km 程度の basaltic flow をうまく再現しうるシミュレーションコードを開発した (Ishihara, 1990)。しかし、このモデルには、傾斜のごく小さな時の非妥当性や、自重の効果の欠如という欠点がある。また、Huppert

は、傾斜のない水平面上での溶岩の挙動のモデリングを行った (Huppert, 1982) が、対象性の高い溶岩ドームのみを対象にしていること、傾斜を考慮に入れていないことから、溶岩流への応用はできない。そこで本研究では、その 2 つの効果、つまり地面の傾斜の効果及び自重の効果、を考慮した、新しいモデルを構築した。さらに、このモデル及び Ishihara の手法を基として、地形データを与え、レオロジーのパラメータを適当に仮定することで溶岩流をシミュレートできるような数値計算コードを開発した。

小規模な (~数 km) 溶岩流のこのコードによる再現の妥当性については、本年度春の惑星科学会や月惑星シンポジウムで既に報告した。大規模な (数百 km) の溶岩流を計算するためには、cellular automaton の持つメッシュ依存性を克服することが第一に必要であった。また、冷却の効果は、小規模な溶岩流に関しては、radiation の効果でほぼ規定されるということがわかっている (Crisp & Baloga, 1990) が、大規模な溶岩流については、地面への conduction、表面の crust の形成等が無視できないので、その効果を考慮にいれる必要がある。

測定された物性値をもとに、現実の溶岩流をうまく再現できるなら、逆に現存する溶岩流の物性値を推定することが出来ると考えられる。本講演では、実際に物性値の推定を試みた結果を報告する。

[1] Hulme, G. *Geophys. J. R. astr. Soc.*, 39, 361-383, 1974. [2] Walker, G. P. L. *Phil. Trans. R. Soc. London, Ser. A*, 274, 107-118, 1973. [3] Malin, M. C. *Geology*, 8, 306-308, 1980. [4] Dragoni, M. J. *Vol. Geotherm. Res.*, 30, 305-325, 1986. [5] Ishihara, K. *IAVCEI Proc. in Volcanol.*, 2, 174-207, 1990. [6] Huppert, H. E. *J. Fluid. Mech.*, 121, 43-58, 1982.

地球・月系潮汐進化と月のQ

Tidal Evolution in the Earth-Moon System and Lunar Q

○安部正真（宇宙研）・大江昌嗣（国立天文台・水沢）

○Masanao Abe (Institute of Space and Astronautical Science)

Masatsugu Ooe (National Astronomical Observatory, Mizusawa)

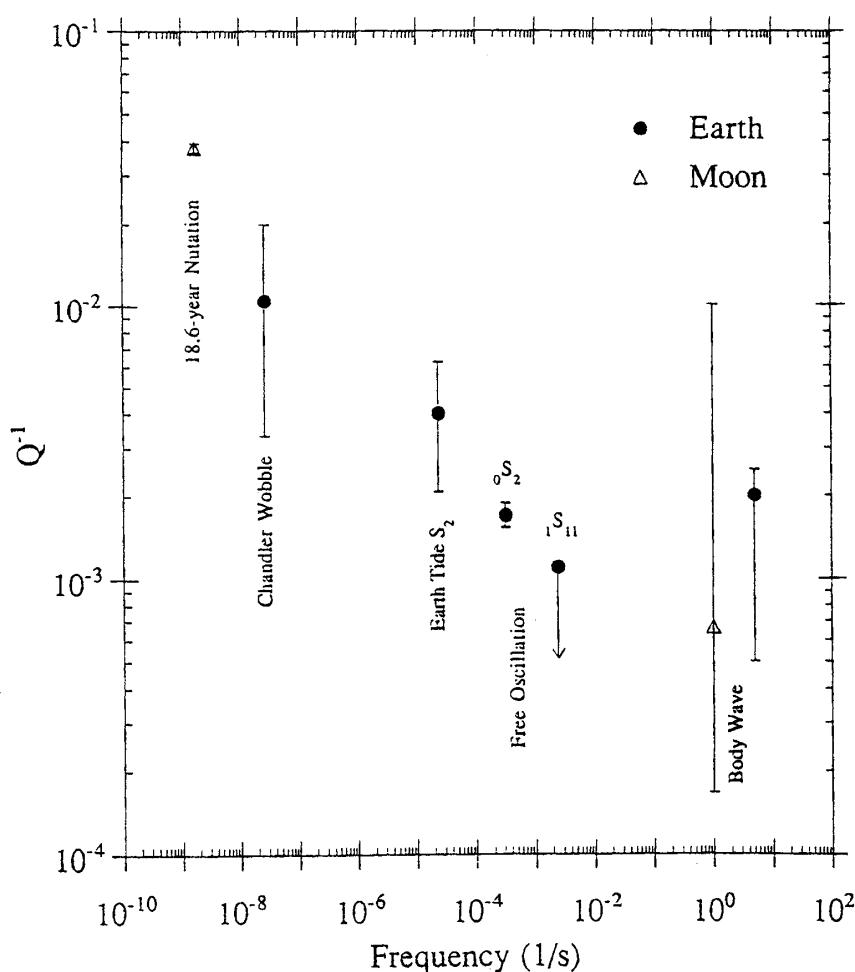
Qs of Earth and Moon for various frequencies are recompiled. The figure shows that frequency dependencies of Q are similar between Earth and Moon.

地球・月系は潮汐作用によって生じるトルク（潮汐トルク）で各々の自転角運動量を公転角運動量と交換し力学的な進化をしている。潮汐トルクは地球内部および海洋と月の内部で潮汐摩擦によるエネルギーの散逸が起こることによって生じている。この潮汐摩擦によるエネルギーの散逸を表す指標にQ（クオリティーファクター）なる量がある。

現在月の自転は公転と同期（周期が一致）しているため、月の自転に対して働く潮汐トルクは地球の自転に働くトルクに比べて非常に小さい。しかし地球・月系初期に月の自転と公転が同期していなかった頃には地球に働くトルクと同程度であった可能性がある。また月のQの大きさが月軌道の離心率の進化の方向（増加か減少か）に大きく影響を与えることがわかつており（9年合同大会集録参照）、月のQの大きさを知ることは地球・月系の潮汐進化を考える上で非常に重要である。

これまで地球のQについては図で示したような周波数依存性があることがわかつていていた。この図に月で求められている18.6年章動と実体波にともなうQの値をプロットした。地球および月のQはほぼ同一の直線上にのった周波数依存性があることが図より読みとれる。このことは、地球や月のQはそれぞれの天体の大きさや内部の温度の違いよりも周波数の違いに大きく依存して決まっていることを示唆していると思われる。

Frequency Dependency of Q



LUNAR-A 月震計のイベントトリガーシステム

Event Trigger System of LUNAR-A Seismometer

水谷 仁、藤村彰夫、早川雅彦、田中 智（宇宙研）、山田功夫（名大理）

H. Mizutani, A. Fujimura, M. Hayakawa, S. Tanaka (ISAS), I. Yamada (Nagoya Univ.)

小山順二（東北大理）、伊藤 潔（京大理）、村上英記（高知大理）、

J. Koyama (Tohoku Univ.), K. Itoh (Kyoto Univ.), H. Murakami (Kouti Univ.)

荒木博志（国立天文台水沢）

H. Araki (NAO, Mizusawa)

The LUNAR-A seismometer adopts an event-trigger system in which we record only the seismic signals having the wave large enough for analysis. The event-trigger system is required to reduce the consumption power and the data rate to be transferred to the ground station. Ground motion monitored continuously is judged to be a true seismic signal by examining that the short-term average (STA) of the signals becomes larger than the long-term average (LTA) by a certain threshold value. Once the STA/LTA ratio exceed a threshold level, then seismic signal including the signal 256 sec before the trigger is transferred to CPU and then after another 256 sec, reexamination of the signal is made to judge the record length of the signal. The event-trigger system is being successfully tested at Inuyama Observatory of Nagoya University.

LUNAR-A 地震計は省電力のためとデータ転送量を減らすために、いわゆるイベントトリガー方式を採用している。これはある基準を満たす信号が来た場合だけ、CPUその他を起動させ、地震記録を記録するシステムである。このようなシステムを信頼性の高いものにするには多くの困難があることが地球の地震計測から知られているが、LUNAR-A地震計では複雑な方式を採用するわけには行かないので、単純かつ有効な方式を編み出す必要があった。

アポロ地震計の記録の解析により、次のような方式を採用することにした。まず有意義な月震を検知するには信号の短時間平均値と長時間平均値をくらべ、短時間平均値がある閾値以上に長時間平均値を越えるとこれを月震と認知する。短時間、長時間の時間間隔はアポロ地震記録からそれぞれ 60、600 秒程度にするのが適当であることがわかる。これらの判定はアナログ回路だけで行われ、判定が月震と下された段階から A/D が始まり、データが CPU に転送されるようになる。さらに 256 秒後に波形の消長、振幅を判定し、さらに振幅の増加が見込まれると思われるならば、イベントの大きさを推定した上で記録時間を設定し、波形の記録を続ける。

この方式の有効性をテストするために現在名大犬山地震観測所で観測を継続中である。これらのテスト結果を含めて報告を行う。

MICによる火星の砂嵐の観測について

○ 吉田浩之（神戸大・自然）、中川直彦（神戸大・自然）
向井 正（神戸大・理）

Martian Dust Storm Observation by MIC

○ H.Yoshida ⁽¹⁾, N.Nakagawa ⁽¹⁾, T.Mukai ⁽²⁾

- 1) The Graduate School of Science and Technology, Kobe Univ., Japan
- 2) Dept. of Earth and Planetary Sci., Kobe Univ., Japan

In 1998 PLANET-B will be launched by ISAS. MIC (Mars Imaging Camera) onboard PLANET-B is a CCD camera, which has three color filters (red, green, blue), to take various images on Mars and its satellites. The phenomenon of dust storms is one of our targets observed by MIC. The best periods of these dust storms during PLANET-B observations are from October to December in 1999 and from July to September in 2001, because dust storms frequently occur in these periods rather than in other ones. Moreover, they likely occur in low latitudes of southern hemisphere on Mars. In this region, MIC can take some images with high resolutions. In this paper we describe the procedure to estimate the size distribution of dust particles in the dust storms on Mars.

1998年に、宇宙科学研究所から火星探査機PLANET-Bが打ち上げられる予定である。PLANET-Bには、可視画像撮影用CCDカメラMIC(Mars Imaging Camera)が搭載され、MICはRED(650nm), GREEN(550nm), BLUE (450nm)の3色のフィルターを備えている。

MICの観測対象の一つに砂嵐(Dust Storm)があげられている。砂嵐は火星の大気循環と密接な関係があり、ダスト粒子は大気の温度構造に大きな影響を与える。PLANET-Bの観測期間中では1999年10月から12月頃と2001年7月から9月頃が、砂嵐がよく発生しやすく、撮影の好機である。また、砂嵐は南半球の低緯度（南緯30°付近）で頻発することが分かっており、この付近では高分解能の撮影が可能である。

今回は、砂嵐を可視領域の3波長（赤、緑、青）で撮影することにより、砂嵐の粒子のサイズ分布を得られる可能性について述べる。

小惑星の蛍光 X 線観測と小惑星探査：V ～XRSの室内模擬実験～

○岡田達明、田中 智、飯島祐一、藤村彰夫、水谷 仁（宇宙研）
加藤 学、鳥居龍晴、鈴木和司、増田忠志（名大理）

XRF Spectrometry of NEAs and Asteroid Exploration (V) : Laboratory Experiments of XRS

Tatsuaki Okada, Satoshi Tanaka, Yu-ichi Iijima, Akio Fujimura, and Hitoshi Mizutani
Div. Planetary Science, Institute of Space and Astronautical Science
 Manabu Kato, Tatsuharu Torii, Kazuji Suzuki, and Tadashi Masuda
Dep. Earth and Planetary Sciences, Nagoya Univ.

XRF spectrometer using a large-area GSPC is being developed for future planetary explorations such as a sample-return mission to Asteroid Nereus(4660). As inferred from the Apollo missions, XRF spectrometry from a spacecraft will provide us with major elemental composition (e.g. Mg, Al, Si, Ca, Fe) quantitatively of the planetary surface, which has importance in determination of bulk chemistry of the planets and in understanding relationship between surface materials and asteroid taxonomy. We have developed and improved an XRF spectrometer and a system of analysis through laboratory experiments.

小惑星ネレウスへの探査計画が提案されており、その衛星搭載機器として蛍光 X 線スペクトロメーターの開発が進められている。小惑星の昼側表面から太陽 X 線によって励起された蛍光 X 線を、探査機からのリモートセンシングによって観測することで、表層部の主要元素組成を定量的に決定することができる。小惑星のような小型天体では、表層物質がバルク組成を代表する可能性が高く、天体の材料物質又は進化の程度を知る手がかりとなる。また、スペクトル型と実際の表層物質を対応付ける重要な情報となる。探査機搭載用の観測装置は、小型・軽量・省電力かつ高性能を有するものが選択される。そこで、X 線センサーとしてGSPC（ガス蛍光比例計数管）を採用し、その設計・製作を行い、室内実験を通して性能アップや改良に努めてきた。図 1 に室内実験で得られたX線スペクトルの例、図 2 にエネルギー分解能を示す。

GSPC : XRF spectra

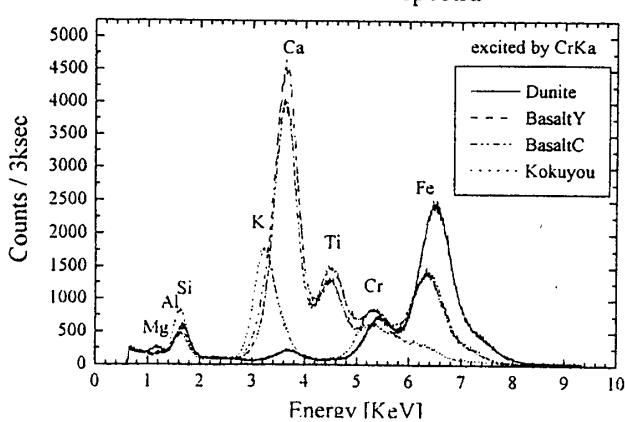


図 1 X 線スペクトル

GSPC Test : Energy Res.

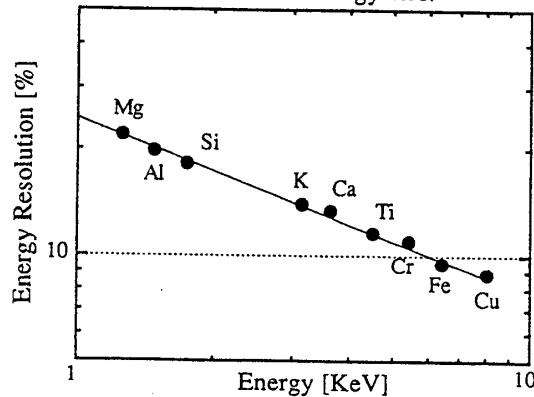


図 2 エネルギー分解能

近地球小惑星のレーダー観測；小惑星6489 (=1991JX) の試験観測

Radar observation of NEA; A test observation of 6489 (=1991JX)

中村昭子（宇宙研），小山泰弘・吉川 真（通総研），西堀俊幸（都立航空高専），
 A. M. Nakamura (ISAS), Y. Koyama, M. Yoshikawa (CRL), T. Nishibori (Tokyo Met. Col. Aero. Eng.),
 中村 士（国立天文台），岡田達明・安部正真・平林 久（宇宙研），布施哲治（日本大学），
 T. Nakamura (NAO), T. Okada, M. Abe, H. Hirabayashi (ISAS), T. Fuse (Nihon Univ.),
 岩田隆浩・中島潤一・関戸 衛（通総研），水谷 仁・藤原 順（宇宙研），
 T. Iwata, J. Nakajima, M. Sekido (CRL), H. Mizutani, A. Fujiwara (ISAS),
 S. J. Ostro, D. K. Yeomans, D. Choate, R. A. Cormier, R. Winkler,
 R. F. Jurgens, J. Giorgini, and M. A. Slade (JPL/Caltech)

The first intercontinental radar astronomy experiments were carried out between Goldstone 70-m antenna and antennas in Ukraine and Japan for asteroid 6489(=1991JX). We succeeded in receiving the echoes with Kashima 34-m antenna.

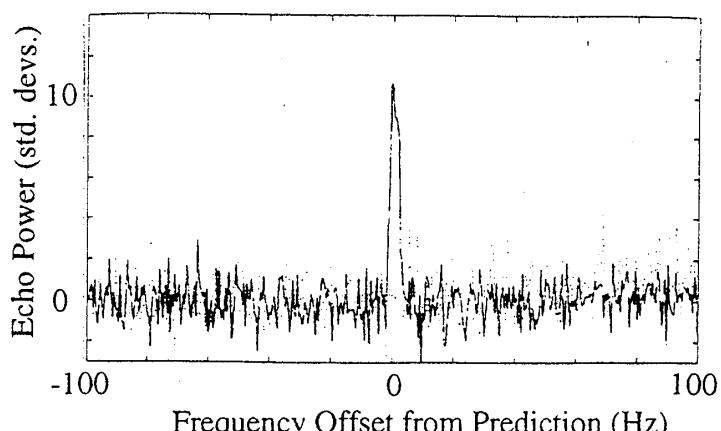
地球に近づく小惑星の30個余りについて，Ostroらのグループによりレーダー観測が行われており，小惑星の軌道・自転速度・自転軸・表面物性（反射率）・かたち・表面凹凸に関するデータが得られている。レーダー観測は，地球に近づく小天体を調べる有効な手段である。

小惑星6489は1991年にパロマー山天文台で発見された天体で，その近日点は約1AU，遠日点はメインベルトに達する。同年にはレーダーの観測もなされており，直径1km程度の天体と考えられていた。この小惑星は今年6月に地球に0.032AUまで接近し，この機会に，アメリカから小惑星に向けて送信された電波をウクライナと日本で受信する実験が行われた。

実験では，臼田64mアンテナでの受信周波数が8510.0001MHzに固定されるように周波数を制御されたCW信号が，JPLのGoldstone 70mアンテナから送信された。臼田と鹿島の位置の差から，鹿島では観測時で約1Hz/secのドップラーによる周波数シフトが生じる。このシフトを補正した結果，鹿島34mアンテナで記録されたデータに小惑星からの反射波が検出された。本実験は，将来の本格的な観測を計画するための試験的な観測であるが，小惑星で反射されたレーダーエコーが日本でとらえられたのはこれが初めてであり，今後的小惑星研究にとって意義が深いものと考えられる。

通総研鹿島の34mアンテナで得られた，
小惑星6489のレーダーエコー。

観測は，1995年6月15日15:30-16:30 (UT)。



ロシア宇宙船ミール船内より採取した微生物試料の検討

小池惇平・樺島麻里子・有坂文雄（東京工大）、齊藤 威（東大・宇宙線研）、河崎行繁（三菱生命研）、小池和子（茨城県立医療大学）、西村和子・田口英昭（千葉大・真核微生物研究センター）、清水一史（日大・医）、小林憲正・笠松隆志（横浜国大）、大島泰郎、越田智宏（東京薬科大）、笹田正明（TBS）

M i c r o b e s i n M I R S t a t i o n .

J. Koike, M. Kabashima and F. Arisaka (Tokyo Inst. of Technology), T. Saito (Univ. Tokyo), Y. Kawasaki (Mitsubishi Kasei Inst. of Life Science), K. A. Koike (Ibaraki Pref. Univ. of Health Sciences), K. Nishimura and H. Taguchi (Chiba Univ.), K. Shimizu (Nihon Univ.), K. Kobayashi and T. Kasamatsu (Yokohama National Univ.), T. Oshima and T. Koshida (Tokyo Univ. of Pharmacy and Life Science) and M. Sasada (Tokyo Broadcasting System)

Abstract: Samples of microbs were harvested from MIR station by Progress M-26 on Feb. 15, 1995. Microorganisms were isolated from air and wall surface in MIR station. The population of microorganisms were analysed by agar plate method and fluorescence microscopy method.

目的：ロシアの有人宇宙船『ミール』はすでに9年半にわたり地球周回軌道を運行している。こうした特殊な閉鎖系環境で、しかも長期間有人飛行を行っている例は、現在のところミール以外にはない。今回、TBSの全面的な協力によりミール船内より貴重な試料が入手できたので、その微生物学的解析を行った。

試料の採取：1995年2月15日プログレスM-26にミール船内の微生物を採取するための小形集塵器（船内の浮遊有機物を採取する）とスタンプ（壁面に付着した有機物を採取する）を搭載した。3月上旬採取実行、3月22日地上帰還。

解析：蛍光顕微鏡画像法による微生物の直接計測、寒天平板法による微生物の分離同定、ウイルス、ファージの分離同定を行った。

結果：解析はまだ続行中であるが、現在までに得られた結果は以下のとくである。

- 1) ウィルス、ファージは検出されなかった。
- 2) ミール船内は地球環境と比較して、壁面は微生物学的には十倍から百倍クリーンであったが、空中浮遊微生物は十倍以上多いことが判明した。

ロシア宇宙船ミール船内より採取された微生物
— 顕微蛍光法による細胞の観察、測定 —

河崎行繁（三菱生命研、宇宙研）、大島泰郎（東京薬科大）、小池惇平（東京工業大）、小林憲正（横浜国立大）、斎藤 威（東京大）、笹田正明（TBS）、辻 勇（三菱生命研）、山下雅道（宇宙研）

Microbes in MIR Station
— Direct detection of microorganisms by fluorescence microscopic method -

Y.Kawasaki(Mitsubishikasei Inst. Life Sci., Inst. Space Astro. Sci.),
T.Ohshima(Tokyo Univ. Pharmacy), J. Koike(Tokyo Inst. Technol.),
K.Kobayashi(Yokohama Natl. univ.), T.Saitoh(Univ. Tokyo),
M.Sasada(Tokyo Broadcasting Sys.), M.Yamashita(Inst. Space Astro. Sci.)

Abstract: Microorganisms in Mir station trapped on membrane filters were subjected to direct detection by fluorescence microscopic techniques. Cells on the filters were made visible by staining with two fluorescence dyes, one ethidium bromide for nucleic acid, the other CFDAAM for esterases. Many microorganisms were found in aggregated states. Vital cell density was less than ten/cm². This value was smaller than that of standard ground experimental room.

結果：我々は自然環境下における微生物の生態を調べるため微生物検出法の開発を行っている。顕微蛍光法は自然界の試料を蛍光染色し、そのまま顕微鏡測定によって細胞の生態や密度を調べるものである。この方法では、培養不可能な細胞や、死んだ細胞も検出できるので、微生物生態に関して多様な情報が得られる。

今回はMir宇宙船中の微生物の状況を調べるためにこの方法を応用した。Mir船内の壁には数個/cm²程度の微生物がいた。これは地上の平均的実験室に比べて数分の一程度であり、Mir船内は比較的清潔であることが解った。

火星表層物質—その圈外生物学的な意味

Martian Surface Materials: Its Implication for Life on Mars

○石川洋二（大林組技術研究所）

小林憲正（横浜国大）

斎藤威（東大宇宙線研）

Yoji Ishikawa

Technical Research Institute, Obayashi Corporation

Kensei Kobayashi

Department of Physical Chemistry, Yokohama National University

Takeshi Saito

Institute for Cosmic Ray Research, University of Tokyo

The surface materials of Mars have been investigated through the observation from Earth and the orbiter, several types of detailed analyses by Viking landers, and the analyses of SNC meteorites of possible Martian origin. Water and carbonates are two important features among all the findings from the analyses by Viking and of SNC meteorite to help understanding whether life might have originated on Mars. The isotopic ratio of carbon in the carbonates, however, fails to show its relevance to biological origin. The methods and instrumentation to reconfirm the existence of water and carbonates and to detect any type of reduced carbon in Martian surface materials are proposed for the future Mars exobiology mission.

火星の表層物質は、これまで、地球や火星周回プローブからの分光学的観測、ヴァイキング着陸機による各種の実験、そして、火星起源と推測される数種類のSNC隕石の分析を通して、ここ20年ほどの間に明らかになりつつある。

ヴァイキング着陸機による分析では、表層物質の機械学的な、あるいは、物理学的な性質も幾つかは推測されているが、それにもまして、化学組成が正確に見積もられた。SNC隕石の分析結果を援用して、現在、表層物質中には二次鉱物が存在したこと、およびその中には、水分は別として、炭酸塩鉱物、硫酸塩鉱物、塩、酸化鉄等が存在していると推測されている。ただし、生物起源であることの証拠を示すと考えられていた炭酸塩中の炭素の同位体比の分析（SNC隕石）では、肯定的な結果は得られていない。ヴァイキング着陸機の生物学的な実験では、表面での過酸化物、超酸化物の存在を示唆したにとどまり、充分なデータが得られていないわけではない。

最近、国際協力による火星の生命探査が計画中であるが、state-of-the-artな有機物質および微生物の検知法と同時に、火星の環境条件についての状況証拠を集めるための表層物質の解析も重要であると考えられる。圈外生物学的に見て、表層物質の分析で重要な項目としては、含水量、炭酸塩鉱物濃度、炭素の同位体比、粘土鉱物の分析、塩類や各種イオンの含量、どんな形であれ幾分でも還元した炭素、窒素等である。これらの項目を計測する方法を比較検討し、軽量および省エネルギーを旨とせざるを得ない火星探査に最適な方法、装置について予備的に考察する。

著者索引

(あいうえお順)

あ

安部正真(宇宙研) 202、203、206、P22*、P26

荒川政彦(北大・低温研) 501、507、508*、P05

荒木博志(国立天文台) 203*、204、P23

有坂文雄(東工大・生命理工) P27

飯島祐一(宇宙研) 202*、506、P25

池谷元伺(阪大・理) 408

石渡正樹(北大・地球環境) 402*

石川洋二(大林組・環境生物研) 307、P29*

井田 茂(東工大・理) 502

伊藤 潔(京大・理) 204、P23

稻葉知士(東工大・理) *P01

今川吉郎(宇宙開発事業団) 110

岩田隆浩(通総研) P26

海老原充(都立大・理) 303*、P19*

榎森啓元(東工大・理) 301、502、503

大江昌嗣(国立天文台) 203、P22

大島泰郎(東京薬大) P27、P28

岡田達明(宇宙研) P25*、P26

岡本 創(神戸大・自然) 101*、P09

奥地拓生(東工大・理) 405*

尾崎大真(都立大・理) P19

小澤一仁(東大・理) P18

小野瀬直美(北大・低温研) 507*

か

塙内千尋(立命館大・理工) P17*

笠松隆志(横浜国大・工) 306*、307、P27

加藤 學(名大・理)

202、506、P25

門田晃典(宇宙研)

401*

門野敏彦(宇宙研)

P04*

金子竹男(横浜国大・工)

306、307

金森 博(阪大・理)

408*

樺島麻里子(東工大・生命理工)

305*、P27

亀井秋秀(神戸大・自然)

P09*

彼末一則(阪大・理)

408

川口淳一郎(宇宙研)

202

河崎行繁(三菱生命研)

305、P27、P28*

木多紀子(地質調査所)

302*

北神今日子(東工大・理)

P16*

北沢幸人(石川島播磨重工業)

110*

木村誠二(立命館大・理工)

P17

木村 宏(神戸大・自然)

P10*

清野龍也(名大・理)

506

倉本 圭(東工大・理)

404*

栗田 敬(東大・理)

P06

小池和子(茨城県立医療大)

P27

小池惇平(東工大・生命理工)

305、306、

P27*、P28

小池千代枝(京都薬大)

P17

孔 屏(Ping Kong)(都立大・理)

303

香内 晃(北大・低温研)

P05、P07*

小笹隆司(神戸大・理)

101

越田智宏(東京薬大)

P27

小林憲正(横浜国大・工)

305、306、307*、

308、P27、P28、P29

小山順二(東北大・理)

204、P23

小山泰弘(通総研)

P26

さ

齊藤 威 (東大・宇宙線研)	305、306、307、 P27、P28、P29	田中秀和 (東工大・理)	P01
齊藤嘉夫 (京工織大)	P17	田村英樹 (東工大・工材研)	308
阪本剛正 (立命館大・理工)	P17	辻 勇 (三菱生命研)	P28
佐々木晶 (東大・理)	403、504*、P21	鳥居龍晴 (名大・理)	P25
笹田正明 (TBS)	P27、P28	な	
佐藤 忠 (横浜国大・工)	307	中川直彦 (神戸大・自然)	109*、P24
澤井秀次郎 (宇宙研)	202	中川義次 (神戸大・理)	P16
澤岡 昭 (東工大・工材研)	308	中澤 清 (東工大・理)	301、P01
サンプラーワーキンググループ	202	中澤 曜 (名大・理)	506*
篠塚一典 (都立大・理)	P19	中島健介 (九大・理)	402
清水一史 (日大・医)	P27	中島潤一 (通総研)	P26
白井 慶 (名大・理)	506	永原裕子 (東大・理)	P18*
白石浩章 (宇宙研)	205*	中村昭子 (宇宙研)	202、P03、P26*
城野信一 (北大・理)	406*、P13	中村 士 (国立天文台)	P26
杉 紀夫 (北大・低温研)	P05*	中村良介 (神戸大・自然)	105*
杉浦直治 (東大・理)	P15	中本泰史 (筑波大・物理)	P14*
楫山 徹 (東工大・理)	502*	西堀俊幸 (都立航空高専)	P26
鈴木敦子 (東大・理)	P15*	西村和子 (千葉大・真核微生物研究センター)	P27
鈴木和司 (名大・理)	P25		
関戸 衛 (通総研)	P26	は	
関谷 実 (九大・理)	106*	長谷川均 (アステック)	107、108
		長谷川直 (電通大)	505
た		畠山康幸 (立命館大・理工)	P17
台坂 博 (東工大・理)	503*	花田英夫 (国立天文台)	203
高木靖彦 (東邦学園短大)	P03*	早川雅彦 (宇宙研)	204、205、206、P23
高木義彦 (アカシ)	204	林 祥介 (東大・数理科学)	402
田口英昭 (千葉大・真核微生物研究センター)	P27	比嘉道也 (北大・低温研)	501*、507、508
竹内 覚 (九大・理/国立天文台)	107*、108	日高 洋 (都立大・理)	P19
田澤雄二 (京大・理)	304	比屋根肇 (東大・理)	P15
田近英一 (東大・理)	403*	平井研一 (日産自動車)	206
田中 智 (宇宙研)	204、205、206、P23、P25	平井 誠 (阪大・理)	408

平林 久 (宇宙研)	P26	山岸保子 (東大・理)	P06*
平山隆博 (九大・理)	P08	山下雅道 (宇宙研)	P28
福岡孝昭 (学習院大・理)	304*	山田功夫 (名大・理)	204、P23
藤波慎司 (名大・理)	202	山本 聰 (神戸大・自然)	P12*
藤村彰夫 (宇宙研)	204、205、206、P23、P25	山本哲生 (北大・理)	406、P13*
藤原 顯 (宇宙研)	110、201*、202、203、 P03、P04、P26	山本直孝 (東京理科大・理)	107
布施哲治 (日大)	P26	吉川 真 (通総研)	P26
伏木克美 (石川島播磨重工業)	110	吉田 敬 (東工大)	301*
古莊玲子 (神戸大・自然)	P11*	吉田博夫 (機械研)	110
宝来帰一 (気象研)	206	吉田浩之 (神戸大・自然)	P24*

わ

ま			
前野紀一 (北大・低温研)	501、P05	渡部潤一 (国立天文台)	107、108*
増田耕一 (神戸大・自然)	407*	渡邊誠一郎 (名大・理)	104*、506、P02
増田忠志 (名大・理)	202、P25	渡邊 賀 (神戸大・自然)	101*、103
万代英俊 (北大・低温研)	P13		
水谷 仁 (宇宙研)	204*、205、206、 401、P23*、P25、P26	(ABC順)	
三谷典子 (東大・理)	P02*	Choate D. (JPL/Caltech)	P26
宮川 伸 (東工大・工材研)	308*	Cormier R. A. (JPL/Caltech)	P26
宮本英昭 (東大・理)	P21*	Giorgini J. (JPL/Caltech)	P26
三輪治代美 (名大・理)	202	Jurgens R. F. (JPL/Caltech)	P26
向井 正 (神戸大・理)	103*、109、407、P09、 P10、P11、P12、P24	Kong Ping (孔 屏) (都立大・理)	303
村江達士 (九大・理)	P08*	Ostro S. J. (JPL/Caltech)	P26
村上英記 (高知大・理)	204、P23	Slade M. A. (JPL/Caltech)	P26
森岡正名 (東大・RIセンター)	P18	Winkler R. (JPL/Caltech)	P26
		Xu Yu-lin (Univ. Florida)	102
		Yeomans D. K. (JPL/Caltech)	P26
や			

矢内桂三 (岩手大・工)	P20*
柳澤正久 (電通大)	505*

平成7年度日本惑星科学会秋季講演会組織委員会

組織委員長： 山本哲生

組織委員： 前野紀一， 橋元明彦， 城野信一， 荒川政彦， 比嘉道也，
杉紀夫， 香内 晃， 石渡正樹

組織委員会連絡先：

〒060 札幌市北区北19条西8丁目
北海道大学低温科学研究所
香内 晃

TEL:011-706-5469, FAX: 011-706-7142

E-mail:kouchi@orange.lowtem.hokudai.ac.jp

編集・製本： 日本惑星科学会事務局

〒152 目黒区大岡山2-12-1
東京工業大学理学部地学内

TEL: 03-3720-9885, FAX: 03-3727-4662