

日本惑星科学会

1996年

秋期講演会予稿集

1996年10月2日(水)～4日(金)

於：九州大学国際ホール



Abstracts

1996 Fall Meeting

of

The Japanese Society for Planetary Sciences

目次

1996年 秋期講演会プログラム	1
1996年 秋期講演会アブストラクト	
10月2日 セッション 1	13
特別セッション	21
10月3日 セッション 2 & 3	35
ポスターセッション 1	45
セッション 4 & 5	55
10月4日 セッション 6 & 7	69
ポスターセッション 2	81
セッション 8 & 9	93
著者索引	105

表紙写真：直方隕石

福岡県直方市の須賀神社に社宝として奉納されているもので、添付の古文書には西暦861年5月19日に落下したことが記されている。この年代は納められている木箱のC-14年代でも確認され、落下年代が明らかになっている隕石としては世界最古のものである。普通コンドライト隕石(L6)に属し、重量は472g。(表紙の写真は直方市在住の舌間信夫氏による)

目次

1996年 秋期講演会プログラム	1
1996年 秋期講演会アブストラクト	
10月2日 セッション 1	13
特別セッション	21
10月3日 セッション 2 & 3	35
ポスターセッション 1	45
セッション 4 & 5	55
10月4日 セッション 6 & 7	69
ポスターセッション 2	81
セッション 8 & 9	93
著者索引	105

表紙写真：直方隕石

福岡県直方市の須賀神社に社宝として奉納されているもので、添付の古文書には西暦861年5月19日に落下したことが記されている。この年代は納められている木箱のC-14年代でも確認され、落下年代が明らかになっている隕石としては世界最古のものである。普通コンドライト隕石(L6)に属し、重量は472g。(表紙の写真は直方市在住の舌間信夫氏による)

日本惑星科学会1996年秋期講演会 プログラム

10月2日（水）

- 10:00-10:20 受付
- 10:20-10:30 開会挨拶及び事務連絡
- 10:30-12:00 セッション1
- 12:00-13:00 昼食
- 13:00-17:00 特別セッション「HIIロケットによる月探査」
- 17:10-18:10 特別ポスターセッション「HIIロケットによる月探査」
(国際ホール・ロビー)

10月3日（木）

- 09:30-10:45 セッション2
- 10:50-11:51 セッション3
(ポスターセッション1の宣伝を含む)
- 11:51-12:50 昼食
- 12:50-13:50 ポスターセッション1 (国際ホール・ロビー)
- 14:00-15:00 特別講演
- 15:10-16:40 セッション4
- 16:50-18:20 セッション5
- 18:30-20:30 懇親会 (生協農学部食堂)

10月4日（金）

- 09:30-10:45 セッション6
- 10:50-12:08 セッション7
(ポスターセッション2の宣伝を含む)
- 12:08-13:10 昼食
- 13:10-14:10 ポスターセッション2 (国際ホール・ロビー)
- 14:20-15:35 セッション8
- 15:40-16:40 セッション9

10月2日（水）午前

10:00-10:20 受付

10:20-10:30 開会挨拶及び事務連絡
村江達士（九大・理）

10:30-12:00 **セッション1**（座長：中村智樹）

10:30 101 **融けた宇宙塵がもつ precursor の情報**
矢田達^o，野崎航，中村智樹，関谷実，…………… 15
高岡宣雄（九大・理）

10:45 102 **深海底堆積物中の宇宙起源球粒**
福岡孝昭^o（学習院大・理），田澤雄二（京大・理）…………… 16

11:00 103 **粒子同士の衝突破壊を考慮した，太陽近傍での惑星間塵サイズ分布**
石元裕史^o（神戸大・自然），I. Mann (MPI) …………… 17

11:15 104 **Gegenscheinの測光データ解析**
石黒正晃^o，渡邊毅（神戸大・自然），…………… 18
向井正（神戸大・理），中村良介（神戸大・情報処理センター），
田鍋浩義（八王子市），J.F. James (Univ. Manchester)，
木村宏，P. Hillebrand, I. Mann (MPI)

11:30 105 **惑星間塵による光散乱：偏光特性**
岡本創^o（東大・気候センター），…………… 19
亀井秋秀（神戸大・自然），Y.L. Xu (Univ. Florida)

11:45 106 **SFU 衛星上の超高速衝突痕飛行後検査（1）**
矢野創^o，北澤幸人（宇宙研），木部勢至朗，…………… 20
S.P. Deshpande, M.J. Neish（航空宇宙技術研），
山本聡（神戸大・自然）

12:00-13:00 昼食

10月2日（水）午後

13:00-17:00 特別セッション「HIIロケットによる月探査」

*レビュー講演 月の科学（座長：山本哲生）

- 13:00 S01 地球物理学的見地からみた月の科学の諸問題
水谷仁（宇宙研） 23

- 13:50 S02 月の科学：鉱物学的、化学的見地から
武田弘（千葉工大・付属研） 24

14:40-14:50 休憩

*月探査周回衛星計画（座長：佐々木晶）

- 14:50 S03 月探査周回衛星計画で目指すサイエンス
飯島祐一^o，佐々木進（宇宙研）， 25
月周回衛星プロジェクトチーム

- 15:40 SP1 月探査周回衛星による月面分光観測
月探査周回衛星可視近赤外分光計検討グループ 26
代表 大嶽久志^o（NASDA），松永恒雄（地質調査所）

- 15:42 SP2 蛍光X線観測による月表層物質の化学組成探査計画
岡田達明^o（宇宙研），加藤学（名大・理），藤村彰夫， 27
田中智（宇宙研），増田忠志，鈴木光一（名大・理），
水谷仁（宇宙研），XRSグループ

- 15:44 SP3 γ 線分光計
長谷部信行^o，谷端良次（愛媛大・工）， 28
柴村英道（埼玉衛生短大），道家忠義，
菊池順（早大・理工総研），五家健夫（NASDA），
西村純，柏木利介（神奈川大・工）

- 15:46 SP4 月探査周回衛星搭載用ダスト分析器
大橋英雄^o（東京水産大），佐々木晶（東大・理）， 29
野上謙一（獨協医大），石元裕史，山本聡（神戸大・自然），
三浦弥生（東大・地震研）

10月2日（水）午後（続き）

- 15:48 SP5 月探査周回衛星の地形カメラとその科学目標
春山純一[°] (NASDA), 白尾元理 (惑星地質研), 30
LISM検討グループ
- 15:50 SP6 レーザ高度計による月の全域の地形測定
大江昌嗣[°], 坪川恒也, 荒木博志, 花田英夫, 日置幸介, ... 31
河野宣之, 唐牛宏 (国立天文台), 古宇田亮一 (地質調査所),
寺藺淳也, 石井重夫 (NASDA), 並木則行 (九大・理),
丸山弘通 (国土地理院)
- 15:52 SP7 月探査周回衛星による月地下探査並びに太陽・惑星電波観測
計画
小野高幸[°], 大家寛, 森岡昭 (東北大・理), 32
橋本弘蔵 (京大・工), 山路敦 (京大・理),
山口靖 (名大・理), 佐々木晶 (東大・理)
- 15:54 SP8 RISE計画における月重力係数の推定精度
荒木博志[°], 日置幸介 (国立天文台), 33
吉川真 (郵政省通信総研),
花田英夫, 大江昌嗣, 河野宣之 (国立天文台)
- 15:56 SP9 リレー衛星をもちいた月裏側重力場の観測
リレー衛星検討グループ: 飯島祐一, 市川勉, 高野忠, 34
矢野創 (宇宙研), 小川美奈, 名村栄次郎, 春山純一 (NASDA),
河野宣之, 日置幸介 (国立天文台), 細川瑞彦,
吉川真 (郵政省通信総研), 阿部豊, 佐々木晶 (東大・理),
林理三雄, 安田茂 (鹿児島大・工), 杉田精司 (Brown Univ.),
立原裕司, 中田正夫, 並木則行[°], 湯元清文 (九大・理)
- 16:00-17:00 * 総合討論 (座長: 佐々木晶)
- 17:10-18:10 特別セッション(ポスター)
SP1-SP9

10月3日(木) 午前

09:30-10:45 **セッション2** (座長：向井正)

09:30 201 **彗星シリケートダストの結晶化**
山本哲生[°] (北大・理), 小笹隆司 (神戸大・理), 37
城野信一 (北大・理), J.M. Greenberg, A. Li (Univ. Leiden)

09:45 202 **彗星核再現実験のためのアモルファス氷微粒子作製法の開発**
香内晃[°], 荒川政彦 (北大・低温研) 38

10:00 203 **衝突による氷の蒸発の速度、温度依存性**
杉紀夫[°], 荒川政彦, 香内晃 (北大・低温研) 39

10:15 204 **塑性変形をする微惑星衝突の数値実験**
万代英俊[°], 城野信一, 山本哲生 (北大・理), 40
渡邊誠一郎 (名大・理)

10:30 205 **高速衝突実験の小天体への応用**
山本聡[°] (神戸大・自然), 中村昭子 (宇宙研) 41

10:45-10:50 休憩

10:50-11:51 **セッション3** (座長：香内晃)

10:50 301 **The Influence of the Spin and the Ellipsoidal Shape of an Asteroid on the Regolith Formation**
圓山憲一[°], 石元裕史 (神戸大・自然), 42
向井正 (神戸大・理)

11:05 302 **小惑星表面モデルによる光散乱実験**
亀井秋秀[°] (神戸大・自然), 中村昭子 (宇宙研), 43
岡本創 (東大・気候センター), 向井正 (神戸大・理)

11:20 303 **CGを用いたPhobos表層の反射特性の推定(1)**
秋山演亮[°], 齋藤潤 (西松建設・技術研), 吉川真, 44
木村和宏 (郵政省通信総研)

11:35 P11 **彗星起源塵の軌道進化**
大垣内るみ[°], 石元裕史 (神戸大・自然), 47
向井正 (神戸大・理)

10月3日（木）午前（続き）

- 11:37 P12 彗星核の熱史におけるパーコレーションの影響
城野信一^o，山本哲生（北大・理）…………… 48
- 11:39 P13 斜め衝突における氷破片の速度計測
荒川政彦^o，一戸理樹（北大・低温研）…………… 49
- 11:41 P14 弾塑性体の衝突による温度分布の数値計算
三谷典子^o（東大・理／東工大・理），…………… 50
渡邊誠一郎（名大・理）
- 11:43 P15 クレータのデグラデーションの定量化に向けて
山岸保子^o，栗田敬（東大・理）…………… 51
- 11:45 P16 偏光ガラスのプロトン照射による透過率変化の測定
中村昭子^o（宇宙研），田沢雄二（京大理），…………… 52
布施哲治（総研大／国立天文台），中村士（国立天文台），
藤原顕（宇宙研）
- 11:47 P17 小惑星ライダーによる小惑星表面の推測
白崎太郎^o（神戸大・自然），…………… 53
岡本創（東大・気候センター），
向井正（神戸大・理）
- 11:49 P18 地球近傍小惑星1989MLの地上観測
安部正真^o（宇宙研），佐藤勲，荒木博志（国立天文台）…… 54
- 11:51-12:50 昼食

10月3日(木) 午後

12:50-13:50 **ポスターセッション1**
P11-P18

14:00-15:00 **特別講演** (座長: 村江達士)
大循環モデルによる大気運動シミュレーション
宮原三郎 (九大・理)

15:00-15:10 休憩

15:10-16:40 **セッション4** (座長: 中村明子)

- 15:10 401 月の重力場から求めた月内部構造の推定
神田和亮^o, 岡田達明, 水谷仁 (宇宙研) 57
- 15:25 402 LUNAR-Aペネトレータ観測運用システム
早川雅彦^o, 白石浩章, 田中智, 飯島祐一, 藤村彰夫, 58
水谷仁 (宇宙研), 山田功夫 (名大・理), 小山順二 (北大・理),
村上英記 (高知大・理), 石原靖 (横浜市大・理),
伊藤潔 (京大・理), 須田直樹 (名大・理),
LUNAR-Aペネトレータサイエンスグループ
- 15:40 403 LUNAR-Aペネトレータ実機貫入実験(2)
白石浩章^o, 田中智, 早川雅彦, 藤村彰夫, 石井信明, 59
水谷仁 (宇宙研), LUNAR-Aペネトレータ開発グループ
- 15:55 404 LUNAR-Aペネトレータ熱流量観測システムの開発
田中智^o, 水谷仁, 藤村彰夫, 宝来帰一, 早川雅彦, 60
安部正真, 白石浩章 (宇宙研), 平井研一 (日産自動車),
LUNAR-Aペネトレータサイエンスグループ
- 16:10 405 クレーター放出物の画像解析による月地殻垂直構造推定の試み
横田康弘^o (宇宙研), 本田理恵 (高知大・情報), 61
飯島祐一, 田中智, 藤村彰夫, 水谷仁 (宇宙研)
- 16:25 406 チクチュルブ・クレーターにおける地殻熱流量測定
松井孝典, 中野陽一郎^o, 宝来帰一, 62
田近英一 (東大・理), O. Campos (Univ. Nacional Autonoma Mexico), R. Hernandez (Geoproyecto Tepetl),
P.H. Shultz (Brown Univ.)

10月3日（木）午後（続き）

- 16:40-16:50 休憩
- 16:50-18:20 **セッション5** （座長：倉本圭）
- 16:50 501 **暴走温室状態の数値計算と暴走限界の決定**
石渡正樹[○]（北大・地球環境），中島健介，…………… 63
竹広真一（九大・理），林祥介（東大・数理科学）
- 17:05 502 **金星 Beta-Atla-Themis Regio における応力場方位とその時代変遷**
永澤千明[○]（東大・理），小山真人（Univ. Neuchatel），…………… 64
佐々木晶（東大・理）
- 17:20 503 **火星の北極雲の形態と光学的特徴**
赤羽徳英[○]（京大・飛騨天文台），…………… 65
岩崎恭輔（京都学園大），斉藤良一（力丸ビル）
- 17:35 504 **火星環境の寒冷化に伴う地下氷の成長**
末吉哲雄[○]，浜野洋三（東大・理）…………… 66
- 17:50 505 **火星火山の噴火スタイル**
草薙誠徳[○]，松井孝典（東大・理）…………… 67
- 18:05 506 **Varieties of the Martian Meteorites Based on Their Lithologies, Compositions and Ages**
矢内桂三（岩手大・工）…………… 68
- 18:30-20:30 **懇親会（生協農学部食堂）**

10月4日（金）午前

09:30-10:45 セッション6 （座長：関谷実）

- 09:30 601 初期太陽系における磁場と小天体の相互作用
齊藤智子^o，水谷仁（宇宙研） 71
- 09:45 602 天王星楕円リングの維持機構の検証
梶山徹^o，榎森啓元，井田茂（東工大・理） 72
- 10:00 603 暴走成長のシステムサイズ依存性
中村良介^o（神戸大・情報処理センター）， 73
酒井辰也（神戸大・自然）
- 10:15 604 原始惑星の寡占的成長Ⅱ
小久保英一郎^o（東大・教養），井田茂（東工大・理） 74
- 10:30 605 原始惑星の動径方向の移動と暴走成長
田中秀和（東工大・理） 75

10:45-10:50 休憩

10:50-12:08 セッション7 （座長：田中秀和）

- 10:50 701 地球核中の水素存在度と初期地球の融解度
奥地拓生（東工大・理） 76
- 11:05 702 集積期の地球の熱史と水素・炭素の分配
千秋博紀^o，松井孝典（東大・理）， 77
倉本圭（東大・気候センター）
- 11:20 703 地球初期の大気・マンツルの酸化状態の進化
倉本圭（東大・気候センター） 78
- 11:35 704 地球の窒素・アルゴン分布と分配過程—最新の分配データを用いた考察
宮崎明子^o，比屋根肇，杉浦直治（東大・理） 79

10月4日（金）午前（続き）

11:50	P21	火星マルチローブタイプ Rampart Crater の ejecta fluidization — Yuty Crater を例にとって — 出村裕英 ^o , 栗田敬（東大・理）	83
11:52	P22	大気擾乱による固体惑星の振動 小林直樹（東工大・理）	84
11:54	P23	PLANET-Bによる火星の砂嵐の観測 吉田浩之 ^o , A.D. Toigo（神戸大・自然）, 向井正（神戸大・理）	85
11:56	P24	Jovian dust streams について 岩崎杉紀 ^o （神戸大・自然）, 向井正（神戸大・理）	86
11:58	P25	大氷衛星の内部進化 山岸保子 ^o , 栗田敬（東大・理）	87
12:00	P26	微惑星衝突による惑星表面組成の進化 戸田康史 ^o , 阿部豊（東大・理）	88
12:02	P27	融解実験による原始惑星の核-マントル分離過程の推定 加藤工 ^o , 寺崎英紀, 矢田士朗（筑波大・地球）	89
12:04	P28	SIMSによる隕石中の酸素同位体比のスポット分析 比屋根肇（東大・理）	90
12:06	P29	Carbon and nitrogen in iron meteorites 杉浦直治（東大・理）	91
12:08-13:10		昼食	

10月4日(金) 午後

13:10-14:10 **ポスターセッション2**
P21-P29

14:20-15:35 **セッション8** (座長: 杉浦直治)

14:20 801 **星間塵の蒸発と元素の分別**
永原裕子^o, 小澤一仁 (東大・理) 95

14:35 802 **原始太陽系星雲での Fe, FeS ダストの蒸発について**
橘省吾^o, 土山明 (阪大・理), 渡邊誠一郎 (名大・理) ... 96

14:50 803 **Naの蒸発からみたコンドリュール生成条件の再検討**
— Closed system evaporation の可能性
土山明^o (阪大・理), 関谷実 (九大・理) 97

15:05 804 **MDを用いた氷表面での分子吸着シミュレーション**
増田耕一^o (神戸大・自然), 高橋順子 (基礎化学研) 98

15:20 805 **太陽系星雲内のダストの最小エネルギー分布**
関谷実 (九大・理) 99

15:35-15:40 休憩

15:40-16:40 **セッション9** (座長: 北島富美雄)

15:40 901 **模擬星間塵中での放射線・紫外線による有機物の生成**
笠松隆志, 小林憲正^o, 金子竹男 (横浜国大・工), 100
香内晃 (北大・低温研), 斉藤威 (東大・宇宙線研)

15:55 902 **模擬原始地球型惑星大気実験により生成した有機物のキャラクタリゼーション**
小林憲正^o, 梶嶋茂, 金子竹男 (横浜国大・工), 101
石川洋二 (大林組), 斉藤威 (東大・宇宙線研)

16:10 903 **原始惑星系円盤における分子組成の化学進化 —宇宙線にさらされた領域での C, N, O の存在形態—**
相川祐理^o (東大・理/国立天文台), 梅林豊治 (山形大・理),
観山正見, 中野武宣, 渡部潤一 (国立天文台) 102

16:25 904 **地球外高分子炭素質化合物の形成条件**
村江達士^o, 平山隆博 (九大・理) 103

日本惑星科学会

秋期講演会アブストラクト

セッション 1

10月2日(水) 午前

No. 101-106

融けた宇宙塵がもつprecursorの情報

The information on precursors of melted cosmic dust

○矢田 達、野崎 航、中村 智樹、関谷 実、高岡 宣雄 (九大・理)

Spherule is one of cosmic dust, which have once melted during their atmospheric entry and thought to occupy most of cosmic dust collected on the Earth. Though other unmelted cosmic dust, IDP(interplanetary dust particle) and micrometeorite, are thought to be cometary or asteroidal origin, it is difficult to guess the origin of the spherules because they lost most of their precursor mineralogies due to melting during their atmospheric entry.

We focus on stony type spherules including relict mineral grains and compared concentration of minor elements in the relict mineral grains with those in minerals of each types of chondrites. We also performed numerical simulation for atmospheric entry of cometic dust to realize a cooling rate of the relict grains estimated by a profile fitting method and constrained entry speed of their precursors.

地球大気圏突入時に融けた宇宙塵、即ちスフェルールは、地球上で採集できる宇宙塵の中でもかなりの部分を占めていると考えられる。他の溶融するに至らなかった宇宙塵、即ちIDP(Interplanetary dust particle), Micrometeoriteの研究が進む今日でも、これらスフェルールは継続的に研究が進められるべき試料である。IDPについては主に含水鉱物から成るもの、主に無水鉱物から成るものに大別され、前者は炭素質コンドライトとの鉱物組成の類似から小惑星起源の塵、後者はHalley彗星とFe/(Fe+Mg)比の一致などから彗星起源の塵と考えられている(留岡、1991)。Micrometeoriteの中でも層状珪酸塩鉱物を含むものについては、その鉱物組成がCI, CMコンドライトに似ており(Kurat et al., 1994)、これらもまた小惑星を起源に持つのではないかと考えられている。しかし、スフェルールについては一旦溶融しているため突入前の鉱物についての情報はかなり損なわれており、その起源をさかのぼるのは難しい。

我々はシリケート質のスフェルールの中でも、融け残り鉱物粒子を含むものに着目し、その粒子中の微量元素の濃度についてコンドライトのものとの比較を行った。また、融け残り粒子中の陽イオンのプロファイルから求められる冷却速度が、どのような条件による大気圏突入によって実現されるかについて、宇宙塵の大気突入の計算機シミュレーションを行った。その結果、そのスフェールのprecursorの大気突入速度をかなり限定でき、発表ではその起源について言及する予定である。

(引用文献)

Kurat et al., *Geochim. Cosmochim. Acta*, 58, 3879-3904, 1994.

留岡, 鉱物学雑誌, 第20巻, 105-122, 1991.

深海底堆積物中の宇宙起源球粒 Cosmic Spherules in Deep-Sea Sediments

福岡孝昭[○] (学習院大・理), 田澤雄二 (京大・理)
T. Fukuoka[○] (Gakushuin Univ.) and Y. Tazawa (Kyoto Univ.)

More than 10 elemental abundances in 6 spherules (9-152 μ g) separated from deep-sea sediments of the northern Pacific Ocean have been analyzed by instrumental neutron activation analysis (INAA). A chip of newly produced alloy has been used as standard sample of Ni, Os, Ir and Au elements for precise INAA. The results strongly suggest that the spherules are cosmic origin, because they have high abundances of siderophile elements. X-ray diffraction and SEM/EDX analyses have been carried out on the spherules after INAA.

南極氷床を融解することにより大量の宇宙塵を採集する計画が進んでいる。一定年代の氷床中の宇宙塵の存在量を比較することにより、宇宙塵の降下率の変化についての情報が手に入る可能性がある。深海底堆積物中の宇宙起源球粒の量から推定した値、宇宙空間で直接採集した量からの値との比較は重要な研究課題の一つである。宇宙塵の起源が micro-meteorite か、彗星か、それともその他か、また、南極氷中の宇宙塵と、これまでに研究されてきた深海底堆積物中の宇宙起源球粒が同質の物であるか、といった問題を論じるうえでも、その化学組成は重要である。これらの問題を議論する前に、氷床中より得られた固体粒子が真に宇宙起源であるかを明かにすることが、第一に必要である。

南極氷中の固体粒子についてその化学組成を知る方法に機器中性子放射化分析法 (INAA) がある。その化学組成から宇宙起源かどうかをチェックする方法として、Ni, Os, Ir, Auといった親鉄元素の存在度による方法と、コンドライト隕石の値で規格化した希土類元素存在度による方法がある。一般に氷中の宇宙起源固体粒子の大きさは100 μ mオーダーあるいはさらに小さい。このような微小宇宙物質のINAAには、迅速な取り扱いと微小で均質な標準物質が必要である。本研究に先立ち、我々は微小宇宙物質の迅速取り扱い法を開発し、親鉄元素用標準試料としてNi, Os, Ir, Auを含む合金を作製した。

本研究では南極氷床中宇宙塵試料の研究の比較対照として、北部太平洋の深海底堆積物中より分離した6球粒 (9~152 μ g) について、我々の開発したINAAを適用した。その結果6球粒全てについて、親鉄元素が検出され、宇宙起源球粒であることが明かになった。6球粒のうち5球粒についてはさらにX線回析、SEM観察、EDXによる局所の組成分析を行った。これらの結果を含めて考察する。

粒子同士の衝突破壊を考慮した、太陽近傍での惑星間塵サイズ分布

○石元裕史 (神戸大学・自然科学)

イングリッド・マン (マックスプランク研究所)

Model calculation for particles' size/mass distribution inside IAU

○Ishimoto Hiroshi¹⁾, Ingrid Mann²⁾,

1) The Graduate School of Sci. and Tech., Kobe University

2) Max-Planck Institute

We have numerically estimated the particles' flux and number density distribution inside IAU taking into account the particles' collisional evolution and Poynting-Robertson orbital decay. It is found that the large particles with masses of $m \geq 10^{-7} \text{ g}$ are destroyed before they approach near the sun by Poynting-Robertson effects. Furthermore, it is found that the flux of particles with $10^{-15} \text{ g} < m < 10^{-13} \text{ g}$ turn to decrease near the sun if these particles are in hyperbolic orbits. For the middle mass range of particles ($10^{-13} \text{ g} \leq m \leq 10^{-8} \text{ g}$), the flux increase continuously. Our results indicate that the dust particles inside IAU form a hump in their size/mass distribution in this mass range.

これまで、比較的よく受け入れられてきた惑星間塵のモデルは、塵の数密度が太陽からの距離に対して $r^{-1.3}$ で変化するとしたものである。これは、純粋なポインティング・ロバートソン効果による数密度の依存性 $r^{-1.0}$ に塵の軌道離心率による効果、及び塵粒子同士の衝突破壊による数密度の上昇が影響したものと考えられてきた。ポインティング・ロバートソン効果が、粒子軌道長半径を減少させるタイムスケールにおいて、粒子同士の衝突は有効に起こりうる。数密度に対する $r^{-1.3}$ 依存性は、Helios 1 / 2 や近年の Galileo、Ulysses による塵の直接計測の結果とも矛盾しないが、黄道光の観測から導出した数密度の依存性 ($\sim r^{-1.0}$) とは一致しない。

本研究では、ポインティング・ロバートソン効果と粒子同士の衝突破壊を考慮して、粒子のサイズ分布の r 依存性についての数値シミュレーションを行った。その結果、粒子のフラックス／数密度は、太陽距離の減少に伴ない、 $m \geq 10^{-7} \text{ g}$ の粒子で衝突破壊により、急激に減少する。又、 $10^{-15} \text{ g} < m < 10^{-13} \text{ g}$ の範囲では、太陽に近づくにつれ、粒子の衝突破壊による生成量が増大することにより、逆にフラックス／数密度の上昇が抑制される。一方、 $10^{-13} \text{ g} \leq m \leq 10^{-8} \text{ g}$ ではフラックスは単調に増大する。このため粒子のサイズ／質量分布は太陽に近づくとともに $10^{-13} \text{ g} < m < 10^{-8} \text{ g}$ の粒子が卓越するような傾向を示す。さらに、 $10^{-13} \text{ g} \leq m \leq 10^{-8} \text{ g}$ の粒子は、太陽距離に対して、 $r^{-1.0}$ よりも急な傾きで増加するが、単位体積中の粒子の総断面積は、 $r^{-1.0}$ の依存性を保ったままであることがわかった。このことは、探査機による惑星間塵の直接計測と黄道光の解析結果との間の矛盾をうまく説明できると考えられる。

Gegenscheinの測光データ解析

○石黒正晃、渡邊毅、向井正（神戸大・自然）、中村良介（神戸大・情報処理センター）、田鍋浩義（八王子市）、J.F.James (The Univ. of Manchester, UK)、木村宏、P.Hillebrand、I.Mann (MPI für Aeronomie, Katlenburg, Germany)

Analysis of Gegenschein photometry

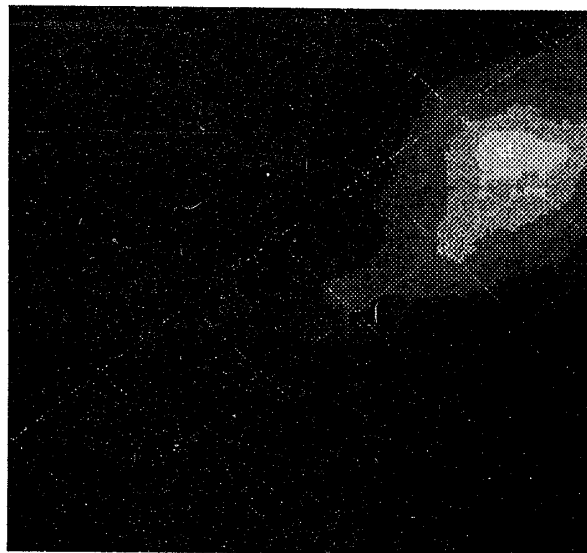
○M. Ishiguro¹, R. Nakamura¹, T. Watanabe¹, T. Mukai¹, H. Tanabe², J. F. James³, H. Kimura⁴, P. Hillebrand⁴, I. Mann⁴
1) Kobe Univ., Japan, 2) Hachioji-shi, Japan 3) Univ. of Manchester, 4) MPI für Aeronomie, Katlenburg

We have analyzed the photometric data of zodiacal light and the Gegenschein obtained at Mt. Haleakala, Hawaii, between the 19th August and the 25th September in 1995. The instrument consists of 16mm fish-eye lens attached to cooled CCD camera with B,G,R filters. We will report the results, (i) a center position of the maximum brightness, (ii) an excess brightness of the Gegenschein, and (iii) a comparison with model calculations.

Gegenschein (対日照)とは、太陽光が惑星間塵によって後方散乱されたものである。

今回、我々が解析するのは、1995年8月19日から9月25日にかけてハレアカラ (3055m, ハワイ) の観測で得られたGegenscheinの測光データである。使用した測定器は16mm魚眼レンズに冷却CCDカメラを取付けたものでB、G、Rの3色のフィルターで測光を行った。

この解析の目的は、Gegenscheinの (i) 中心の位置 (ii) 明るさ (iii) モデル計算との比較である。(i) に関しては、最も明るいところが太陽離角180度の点と一致するかどうか議論されてきたが、我々の観測結果では黄道面より南に約2度ずれているとわかった。この観測結果とモデル計算との比較についても報告する。



観測されたGegenschein
(9月21日 9時30分・Gフィルターを使用)

惑星間塵による光散乱 : 偏光特性

岡本 創 (東大・気候システム研究センター), 亀井 秋秀 (神戸大・自然),

ユーリン スー (フロリダ大・天文)

Light Scattering by Interplanetary Dust Particles : Their Polarimetric Properties

°H. Okamoto (Center for Climate System Research, Univ. of Tokyo),

A. Kamei (The Graduate School of Science and Technology, Kobe Univ.)

and Y. L. Xu (The Department of Astronomy, Univ. of Florida)

Recent progress in the light scattering theory has been reported. This work has cleared the way for reliable scattering calculations for relatively large scattering target and provided the promising approach to model the interplanetary dust particles. Fluffy aggregates have been the focus of recent studies of astrophysical interest. The method, the a1-term method, can be applied to such particles. Firstly we have made comparisons of the results by the a1-term method with those by modal analysis, which is the exact method, for randomly oriented linear chains consisting a hundred of monomers. We have shown the a1-term method has a reasonable accuracy and is especially suitable when the target is oriented randomly.

The analysis of scattered light from the zodiacal cloud provides information on the micro-physical properties of interplanetary dust particles. The present study has been motivated by observations of the linear polarization. We have considered the following different types of large particles as a scattering target; linear chains, fluffy aggregates and rectangular solids composed of monomers as a candidate of interplanetary dust particles. It has been shown that both the monomer size parameter and the shape of the aggregated particle play a key role in establishing the linear polarization.

SFU衛星上の超高速衝突痕飛行後検査 (1)

Post Flight Analysis of Hypervelocity Impact Signatures on SFU Spacecraft: Part 1

○ 矢野創、北澤幸人 (宇宙研)、木部勢至朗、Sunil P. Deshpande、Michael J. Neish (航技研)、山本聡 (神戸大・自然)

○ Hajime Yano¹, Yukihito Kitazawa¹, Seishiro Kibe², Sunil P. Deshpande², Michael J. Neish² and Satoru Yamamoto³

1. Planetary Science Division, Institute of Space and Astronautical Science, Kanagawa

2. Space Technology Research Group, National Aerospace Laboratory, Tokyo

3. Graduate School of Science and Technology, Kobe University, Hyogo

The Space Flyer Unit (SFU) was retrieved by the space shuttle from its ~480 km operational altitude after the 10-month mission in January 1996. Here we report the findings from the initial visual inspection for hypervelocity impact signatures, especially on aluminised (Al) Kapton multi-layer insulation (MLI) and silverised (Ag) Teflon radiators. We logged a total of 337 impacts in nearly 18 m² of the various material surfaces. One of the largest impact damages was a crater on the Teflon coated Al body of an infrared telescope with the inner crater rim diameter (D_c) = 2.5 mm and the maximum damage extension (D_m) = 13.4 mm. On the Al Kapton MLI, whose twelve layered structure works as an effective "capture cell", 221 impact penetrations were counted in the area of 10.3 m² with the detection limit of hole diameter (D_h) = ~200 μ m. Some notable features include evidences of inclined impacts indicating impact directionality and embedded impactors in Velcro tapes, promising subsequent chemical analysis to conclude their origins. As for the Teflon radiators, a 4.5 m² scanned area marked 86 craters with shock wave induced ring features larger than D_m = ~700 μ m. Other components including painted Al plates and Teflon coated Al plates also counted 30 micro-craters.

Since the octagonal spacecraft was maintained mainly in the Sun-pointing attitude, each peripheral face flux should reflect its "meteoroid vs. space debris" preference. The data is not inconsistent with the EuReCa result favouring for the Earth's apex, which supports the meteoroid enhancement on the apex faces. The anti-Sun face flux exceeded the Sun face by a factor of 1.7. Causes of this bias are still under the investigation.

The size distribution index of the impact maximum damages on the Sun face Teflon surface agreed with the certain size ranges of the previous spacecraft (LDEF, EuReCa and HST solar array) data set. The cross impact calibration tests amongst Al, glass and Teflon are currently in progress. For Kapton films with various "projectile-diameter-to-target-thickness" ratios, we conducted the impact experiments at ISAS and the University of Kent at Canterbury, U.K. by using light gas guns at an impact velocity of 4~5 km/s. The results seem comparable to Teflon plates rather than metals (i.e. Al).

Furthermore, our current investigation leads to the whole area scanning with higher resolution: $D_{h,m}(\text{min})$ = ~200 μ m. We are using a scanning system combining a CCD camera for image capture and a laser microscope for dimension measurement including crater depth profile, essential for empirical laws to derive impactor density.

特別セッション
「HⅡロケットによる月探査」

10月2日（水）午後

No. S01-S03, SP1-SP9

地球物理学の見地からみた月の科学の諸問題**Key problems of lunar science from geophysical view point****水谷 仁 (宇宙科学研究所惑星研究系)****H. Mizutani (Research Division of Planetary Science,
Institute of Space and Astronautical Science)**

The lunar science data available now are not sufficient to understand the origin and evolution of the moon. Theoretical research on these problems is also insufficient to put the data into one scenario. In order to better understand the origin of the moon, we need to know the bulk abundance of the various elements in the moon, and the initial thermal state of the moon. The lunar bulk abundance of the elements requires the data of the internal structure of the moon; crust, mantle, and core. The initial thermal state of the moon requires the data leading to estimate the depth of the magma ocean and the abundance of radioactive heat generating elements. These data in turn are obtained by global mapping of the crustal thickness, heat flow measurement, seismological determination of mantle structure and composition. The origin of the lunar magnetism is also very important subject, which requires more general development of lunar magnetism research. This paper discusses how these problems should be resolved by future lunar exploration.

月の起源と進化の謎を解明するためには、現在我々が手にしている観測データは不十分であるし、理論的研究においても多くの問題が残されている。月の起源を明らかにするためには月が全体としてどのような元素で構成されているか、月の初期状態がどのようなものであったかを明らかにする必要がある。月の原料物質を明らかにするためには、まず月の地殻、マントル、コアの構造を明らかにする事が重要である。月の初期状態を明らかにするためには、マグマオーシャンの深さ、放射性発熱元素存在度などを知る必要がある。これらのためには地殻の厚さのグローバル分布、熱流量測定、マントルの組成と構造の解明などが地球物理学的な目標となろう。また月の磁場の起源も地球物理学的にはきわめて重要な問題であり、月磁気学の発展を必要としている。これらの課題は将来の月探査でどのようにして解決して行くべきかについて議論する。

月の科学：鉱物学的、化学的見地から

Mineralogical and Chemical Review on Lunar Science

武田 弘 Hiroshi Takeda (千葉工大・付属研Res. Inst., Chiba Inst. of Tech.)

Mineralogical and chemical topics on lunar science have been reviewed for mission planning employing NASA's H-II rockets. To establish a new concept on evolution of planetary materials, it is important to obtain samples from the far side, where key pristine samples of the original crust were preserved. Studies on Antarctic lunar meteorites and Clementine data suggest difference of the far side from the Apollo and Luna sites.

惑星科学において、月が重要なのは、隕石のような始原的な物質から地球のような大きな惑星に至る物質進化の過程の、空白な中間の情報を提供してくれるからである。月は、小惑星4ベスタ/HED隕石母天体と水星の間に相当する。日本の月周回探査で何が観測されるべきかは、月で何が未解決の重要問題であり、それはどのような研究で解決されるかを考えることである。アポロ計画で持ち帰られた試料による研究で、提唱された仮説のうち、月高地斜長岩の形成を説明するマグマオーシャン説は、アポロ探査の大きな成果といわれてきた。しかしその後、連続的マグマ活動説なども出され、マグマ大洋より大量に沈積したはずのカンラン岩も発見されていない。今までの月のバルク組成より期待されているマグマオーシャンの組成では、斜長石の晶出が始まるのは液が鉄に富む分化の後期であり、大量の斜長石の晶出は期待できない。月の裏側からの月隕石には、Mgに富む斜長岩がある。クレメンタインの探査で明らかになりつつある、月裏側北極近くにある、鉄の少ない大量の斜長岩と、南極エトキンスの巨大で深いクレーターの底のカンラン岩的サンプルの研究は、惑星物質の分化過程の基本的な説に再び生命をそそぐものと思われる。月表面の月初期の物質は、度重なる隕石衝突と熱変成のため、著しい変化を起こしている。これらの影響のない試料についての形成年代決定や微量元素組成分析などを、鉱物学的、岩石学的にも詳細にその原始的性質を特性化されたものについて行わなければならない。月試料を手にして、研究しなければ、飛躍的発展は望めない。リモートセンシングによる探査では、このようなサンプルリターンを行う場所を探すことに、主力を置くべきである。次に、項目別にテーマを絞ってみる。

1. 月の起源

すでに月試料にもとずく研究が進んでいる月について、さらなる発展を望むには、今まで試料の得られていない地域よりサンプルリターンする必要がある。月の起源についても、ジャイアントインパクト説など新しい説が提唱されているが、これを確かなものにするには、月のバルク組成を正確に知る必要がある。月の裏側から来た月隕石の分析によると、U, Th, Auなど1桁少ない。サンプルリターンによってのみ可能になる研究項目からも明らかのように、月裏側の試料研究は、後続の重要な課題である。

2. 月の地殻とマントルの進化過程

月の地殻の形成発展史や月のマントルなどについては、すでに上で述べた。これまで、発見された岩石で、月の最初にできた地殻そのものから導かれた岩石は数少ない。42億年を超える年代の月の岩石は10数個しか得られておらず、45億年近くの岩石はたったの2個である。アポロ16号はアポロで探査された唯一の高地であるが、クレメンタインのデータより、必ずしも代表的な高地ではないことが判明した。ガリレオ探査機や、クレメンタインのデータによると、マグネシウムに富むマントル物質は南極エトキンスなどの深いクレーターの下では採取の可能性がある。火山岩の組成からその源岩のマントルを推定するにも、月の裏側の玄武岩で満たされたクレーターの試料を採取できれば、表側と裏側の地殻のアンバランスと対応するマントルの違いを明らかにできる。惑星物質進化論の構築により、広く太陽系科学、惑星科学全般の発展に貢献すると期待される。

3. 月の大激変期

アポロで持ち帰られた試料のうち、高地の角レキ岩の年代、とくに衝突によりつくられた角レキ化した岩石の年代は38.5から39.5億年の間に集中する。その時期を月の大激変期と呼ぶ。この頃に月の主要な海の盆地(ベイスン)が隕石様物体の衝突でつくられたという説と、この年代はそれまで続いた隕石様物体の衝突の最後のものではあったという説がある。このミステリー解決には、神酒の海など、雨の海や晴れの海より古いと思われる盆地がつくられた時の角レキ岩試料の入手が必要である。

4. 月での火山活動史の解明とマグマ発生分化過程

最も古い溶岩と新しい溶岩がこの問題に制限を与えてくれる。これまで高Ti、低Ti、VLT玄武岩が知られており、TiとFe/(Fe+Mg)による分けと流出年代が問題となっていた。海から来た月隕石の研究は、このような見方は、単純過ぎることを明らかにした。雨の海形成以前に溶岩流出があり、Tiの量も中間的な物がある。

5. 月の水

アポロの試料では、本来なら水を含むべきリン酸塩鉱物の研究により、月には最初から水がなかったという証拠が存在する。極地の陰に水を発見する可能性が言われているが、あとから月に供給された可能性がある。

今後、月の研究では、上で述べたことのデータベースの構築、試料の特性化から、本格的な研究、資源利用まで、定常的に研究して成果を積み重ねていく研究施設や研究所の設置が望まれる。

月探査周回衛星計画で目指すサイエンス

飯島祐一、佐々木進（宇宙科学研究所）、月周回衛星プロジェクトチーム

Science Objectives of Lunar Polar Orbiter Mission

Y. Iijima, S. Sasaki (ISAS) and Lunar Polar Orbiter Project-team

A Lunar Polar Orbiter Mission is under study jointly by ISAS and NASDA. The mission consists of a main orbiter in polar circular orbit, a relay satellite, and a lander. The mission is expected to take place in 2003 using H-II Launch. The scientific objectives of the mission are: 1) study of the origin and evolution of the moon, 2) in-situ measurement of the lunar environment, and 3) observation of the solar terrestrial plasma environment from the lunar orbit.

宇宙科学研究所と宇宙開発事業団の共同による月探査周回衛星計画の準備が進行している。これは21世紀初頭にH-IIロケットを用い、周回衛星、着陸実験機、リレー衛星で構成される大型の探査計画である。この計画の概要を表1に示す。

表1、計画概要（96年8月現在）

探査機構成	周回衛星、着陸実験機、 リレー衛星
打ち上げロケット	H-II
打ち上げ	2003年頃
軌道	準極軌道 (i=95度) 高度100km
姿勢制御	3軸姿勢制御 (周回衛星)
ミッション期間	約1年間
データ電送速度	10 - 15 Mbps
重量	周回衛星 1500 kg 観測機器 311 kg 着陸実験機 410 kg

この月探査計画では月の起源と進化を解明する「月の科学」、月からの太陽・地球系環境の観測や将来の月面天文台構想を含む「月からの科学」、月面環境の解明とそれを利用する「月での科学」と3つの柱となるサイエンスを目指している。本探査計画における搭載観測機器(候補)を表2に示す。これらの観測機器により本ミッションでは次に上げるような科学データが得られると期待される。

1、月表面の地形、鉱物組成、元素組成、磁気異常のグローバルなデータ

2、表層付近の地下構造データ
3、重力場、電磁気応答観測などリモートセンシングによる月内部構造データ
4、プラズマ、高エネルギー粒子、ダストなどに関する月周辺環境の様相
5、月からの観測による地球電磁気環境の全体像などに関するデータ

この計画では上記項目の1～3に相当する「月の科学」がメインテーマである。この計画により、これまでの月探査で十分にしか行われなかった観測を質・量ともに格段に拡大し、月の起源と進化についての研究に飛躍的な発展をもたらすと期待される。講演では提案されている研究項目とその期待される科学成果について紹介する。

表2、科学観測機器（候補）

周回衛星搭載	着陸実験機搭載
蛍光X線分光計	月面電波源
ガンマ線分光計	
マルチバンドイメージャ	
スペクトルプロファイラ	
地形カメラ	
レーダサウンダー	
衛星電波源	
レーザ高度計	
磁力計	
ダスト分析器	
プラズマイメージャ	
粒子線計測器	
プラズマ観測器	
リレー衛星	

月探査周回衛星による月面分光観測

月探査周回衛星可視近赤外分光計検討グループ

代表 大嶽久志（宇宙開発事業団）、松永恒雄（地質調査所）

Spectroscopic Observation of Lunar Surface in Moon Exploration Observation Satellite Project

Lunar Imaging Spectrometer research group

PIs: Hisashi Ohtake(NASDA), Tsuneo Matsunaga(GSJ)

In our Lunar Imaging Spectrometer group, we are now considering the observation for mineral distribution on the lunar surface from the Moon Exploration Observation Satellite. The observation instruments consist of Multi-band Imager and Spectro-Profiler. The former takes almost whole lunar surface images with spatial resolution of 20 meters and 10 bands. The latter get reflectance spectra ($0.5 \sim 1.9 \mu\text{m}$) of the limited lunar surface with S/N ratio of more than 300. By using these instruments, horizontal and vertical structure of mare basalts or crusts can be estimated from observations of layered structure which can be seen on the wall of craters, material distribution of ejecta blankets, craters' central peaks, etc. so that we can get a clue to make the moon origin and evolution clear.

可視近赤外分光計検討グループでは、月探査周回衛星に可視近赤外域の分光計を搭載し、月表層の鉱物分布の観測を行うことを検討している。観測機器は、空間分解能20mで月面のほぼ全域を10バンドの波長で観測するマルチバンドイメージャと、波長域 $0.5 \sim 1.9 \mu\text{m}$ ・S/N比300以上の連続スペクトルを空間分解能500mで月面上を直線状に取得するスペクトルプロファイラの2つから構成される。高空間分解能・高波長分解能を持つそれらの機器によってクレーターや断層などの壁に見られる層構造やイジェクタの物質分布から溶岩流の成層構造を推定したり、クレーターの中央丘や壁を観測して地殻の成層構造を推定したりすることができ、月の起源・進化を解明するための手がかりが得られると期待される。

蛍光X線観測による月表層物質の化学組成探査計画

岡田達明¹、加藤 学²、藤村彰夫¹、田中 智¹、増田忠志²、鈴木光一²、水谷 仁¹、
XRS グループ (1:宇宙研、2:名大・理)

A Plan of Lunar Global Mapping through XRF Experiment

T. Okada¹, M. Kato², A. Fujimura¹, S. Tanaka¹, T. Masuda², K. Suzui², and H. Mizutani¹,
with XRS Group (1: Inst. Spac. Astron. Sci., 2: Nagoya Univ.)

X-ray fluorescence chemical mapping of the Moon from the orbiting satellite is being planned early in the 2000s, to cover about 90 % of the lunar global surface with 10 to 20 km spatial resolution, relative to only 9 % and 100 km, respectively, mapped by XRF experiments during the Apollo 15 and 16 missions. A large-area Gas Scintillation Proportional Counter with a 25 micro-meter thick beryllium window is being developed and improved as the device for this purpose, whose testing models show good performances in the laboratory.

来世紀の初頭に計画されている月探査周回衛星計画で、月面蛍光X線探査を提案している。太陽X線によって励起される蛍光X線を高度100kmの極周回軌道から観測することにより、月面のほぼ全域を10～20kmの空間分解能で主要元素組成分布を調べ、月地殻の広範囲な平均組成や各地質構造に対応する岩石タイプの決定、元素組成の分布パターンを調べる。主要元素組成の決定精度は10%を目標とする。

対月面速度1.5km/sで周回する探査機からの蛍光X線観測で目標の空間分解能を保つには、10秒程度の積分時間で十分な計数量が獲得できる、大口径のX線受光面積をもつ検出器が必要である。X線天文衛星に搭載実績のあるガス蛍光比例計数管(GSPC)を25 μ 厚のBe箔等を用いた大口径・薄膜入射窓に改良したタイプは、エネルギー分解能・重量・電力の点で最適であると考えられる。それを用いた蛍光X線分光計の構成を表1に示す。蛍光X線センサーはエネルギー帯域を2種類装備し、

表1：蛍光X線分光計の構成

蛍光X線	XRF-A	5 GSPCs (500cm ²): Be窓, 1.0-10.0 KeV
センサー系	XRF-B	3 GSPCs (210cm ²): Al/PI窓, 0.5-1.5 KeV
太陽X線	SM-A	PIN Photodiodes (直接測定)
センサー系	SM-B	PIN Photodiodes + 標準試料
高圧電源	HV-H	8.0 kV (ガスセル)
	HV-L	1.5 kV (PMT)
電子回路	XRS-E	取得・処理・制御・転送・電源系

表2：緒元

電力	23 W (XRF: 10W, SM: 2W, EC+HV: 11W)
重量	30 kg (XRF: 14.9, SM: 0.9, HV: 2.0, EC: 5.2, Protectors: 0.8, 他: 6.2)
サイズ	480×440×350 (XRFセンサー-他) 120×80×80 (SM) 230×300×100 (EC) 120×160×120 (HV)
FOV	7° (月面で12km)
テレメトリ	125 kbps max (7レモトで転送時間20min/revと仮定)
メモリ	270 MByte (9周分と仮定)

それぞれ3元素(Mg, Al, Si)のK線、FeのL線の定量に最適化する。また、励起源となる太陽X線を同時観測するために太陽モニターが必要だが、直接計測用と標準試料を用いた対照データ用をともに搭載する予定である。その他、高圧電源系、電子回路系から構成される。現システムにおける緒元を表2に示す。今後1年は入射窓の貼付などセンサー系の製作技術の向上や、センサーの性能確認を目的とする開発を主に行い、仕様の決定を目指す。

γ 線分光計 Gamma Ray Spectrometer

○長谷部 信行、谷端 良次 (愛大)・柴村 英道 (埼玉衛生短大)・
道家 忠義、菊池 順 (早大)・五家 健夫 (NASDA)・
西村 純、柏木 利介 (神奈川大)
○N. Hasebe, R. Tanibata (Ehime Univ.) E. Shibamura (Saitama College of Health)
T. Doke, J. Kikuchi (Waseda Univ.) T. Goka (NASDA)
J. Nisimura, T. Kashiwagi (Kanagawa Univ.)

Gamma ray spectrometer system including γ -ray spectrometer (GRS), α -ray spectrometer and high energy particle monitor, will be carried on the lunar mission scheduled to be launched in 2003. It provides fundamental information on the chemistry of the lunar surface and is essential for developing maps of the regional and global surface composition of the Moon. GRS consists of large Ge detector cooled by Stirling refrigerator. It measures γ -rays emitted from natural radionuclides (U, Th, K) and cosmic ray-induced nuclides (Fe, Mg, Si, Al etc) with an excellent energy resolution less than 3 keV, and a spatial resolution less than 60 km.

日本の大型月科学探査計画が現在進行中で、2003年には本格的な大型月探査衛星第1号機が打ち上げられる予定である。そこには月表面全体における元素のグローバルマッピングを行うものとして、 γ 線分光計が搭載される。月表面の元素組成を知ることは、月科学における様々な謎の解明に重要な手がかりとなる。

γ 線観測の科学目的としては、月の熱的歴史の解明、月の起源の解明、月の地殻とマントルの進化・分化の解明、月利用のための資源調査、将来の科学観測地点の選定のための調査等が挙げられる。これらの科学目的を達成するために γ 線分光計GRSSは、 γ 線検出器GRS、 α 線検出器ARSと高エネルギー粒子検出器LPMで構成し、月表面の元素成分をグローバルマッピングを行う。

GRSの主検出器は、エネルギー分解能がNaI(Tl)検出器に比べて格段に優れている大型高純度Ge検出器を使用する。副検出器としてはCsI(Tl)で構成して主検出器と反同時計数モードで動作させる。CsIは、コンプトン散乱に依る γ 線バックグラウンドを減らすだけでなく、探査機構体からの γ 線を遮蔽する役割を持つ。Ge検出器はスターリング冷凍機で100 K以下に冷却する。この γ 線分光計は100 kmの月極周回軌道から0.1~10 MeVの核 γ 線のエネルギースペクトルを3 keV以下の高分解能で精密測定し、月表面全域における元素分布を測定する。

アポロ15号、16号の月探査の領域は、赤道近傍に限られていたが、本計画では極域を含め月全域の元素分布の調査が可能である。U, Th, K, Fe, Si, Al, Mg, Ti, Ca, Na, O等の元素は月面全域にわたり半径60 km以下の空間分解能で元素分布のマッピングができる。

γ 線分光計システムには月表面の γ 線発生の源となる高エネルギー粒子(陽子、ヘリウム)強度をモニターするLPMが搭載される予定である。また、 α 線検出器ARSによって月の地殻活動に伴って放出されるラドンからの α 線を測定する。

月探査周回衛星搭載用ダスト分析器

Cosmic Dust Analyzer to be on board circumlunar orbiter

○大橋英雄(東京水産大学)、佐々木晶(東大・理)、野上謙一(獨協医大)

石元裕史・山本聡(神戸大・理)、三浦弥生(東大・地震研)

OHASHI Hideo, *Department of Ocean Science, Tokyo University of Fisheries*

SASAKI Sho, *Geological Institute, University of Tokyo*

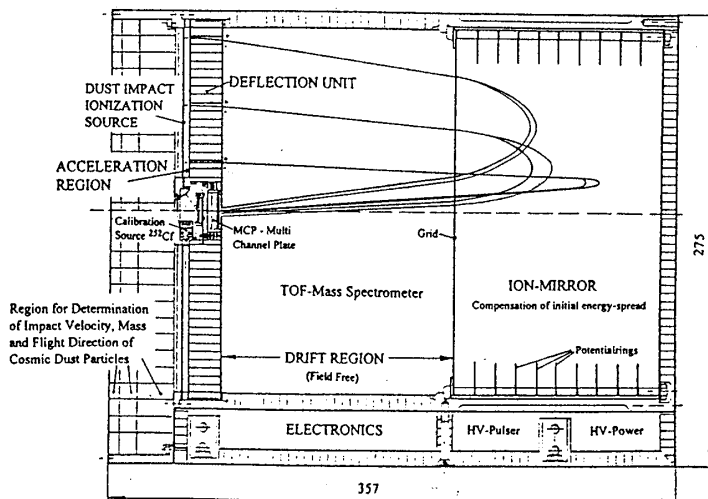
NOGAMI Ken-ichi, *Dokkyo University School of Medicine*

ISHIMOTO Hiroshi, YAMAMOTO Satoru, *Department of Earth and Planetary Science, Kobe University*

MIURA Yayoi, *Earthquake Research Institute, University of Tokyo*

LDA (Lunar orbiting Dust Analyzer; tentative) is proposed as one of the scientific instruments to be on board H-II launched circumlunar orbiter mission. It is a dust impact plasma detector with mass spectrometer with the opening area of about 600 cm^2 . We propose to mount two sets of LDAs to be on board, one to the moon side and the other anti-lunar side. The scientific aim of LDA detector is to measure the elemental composition of the impacting dust particle as well as dust flux, velocity, mass and impacting time. As a result we may clarify the mechanism of the lunar origin dust ejection, formation of the regolith, and the more various interplanetary and interstellar dust. We expect to deepen our understanding of the dust environment of the earth-moon system.

Lunar Orbiting Dust Analyzer(LDA)(仮称)は、月面と反月面方向それぞれに約 600 cm^2 の開口径の衝突プラズマ式のダスト計測器である。LDA は従来のダストディテクターが測定したフラックス、衝突速度、方向、質量、時間に加えて、月周回衛星としては世界で初めての質量分析機能によって、衝突物の組成も同時に明らかにすることが目的である。また、月面方向と反対方向に一台ずつ搭載することにより、月から飛び出すダストと、月へ衝突するダストを分離して計測することが可能である。過去に月起源ダストを明確に測定した例はない。さらに探査機は月周回極軌道を描くため、宇宙面の LDA は全天方向を測定することが可能である。その結果として、月起源ダストの排出や regolith 形成のメカニズムの解明や、様々な惑星間塵、さらには星間塵の特定を通して、月周回でのダスト環境の理解を深めることが期待される。



Lunar Orbiting Dust Analyzer の概要図

＜月探査周回衛星の地形カメラとその科学目標＞

Lunar Terrain Camera for Moon Exploration by Orbiting Spacecraft

・ 春山純一 (NASDA)、白尾元理 (惑地研) ; LISM検討グループ
Jun'ichi HARUYAMA (NASDA), Motomaro SHIRAO (JSPG); LISM group

We propose a camera as an instrument loaded on the Moon Orbiter which will be launched by H-II rocket around in 2003. This camera will take stereo imaging with high resolution of 5-10m/pixel. We are especially interested in mare regions. We will investigate such regions in detail with high resolution mapping. We are also planning to take global mapping under appropriate solar elevation conditions in long operation period of 1 year. In this paper, we will present our scientific goal and current status of consideration of the hardware of our proposing camera.

現在、2003年頃の打ち上げをめざして月探査周回衛星計画が準備されてきている。NASDA (宇宙開発事業団) の開発したH-IIロケットを用いて約2トンの探査機が打ち上げられ、ノミナル1年の月極軌道周回観測を行う予定である。探査機搭載機器は、ISAS (宇宙研)、NASDA、全国の大学・研究機関の研究者によって検討されてきており、我々のグループは、地形カメラ (LTC: Lunar Terrain Camera) を提案している。

LTCによって行おうとしているのは、(1) 高解像度画像による詳細な月面地形・構造探査、(2) 長期間の運用による適当な太陽高度条件での月全球規模の地形図作成、(3) 他の機器との同時運用による詳細な月物質・構造探査などである。我々がもっとも重要な探査対象のひとつとして考えているのは、月の海である。たとえば、月の海の溶岩流の厚さと広がり調べ、海を形成した月の内部活動がどの程度のものであったが知られる。また、高解像度の撮像によってより詳細な年代をクレータ年代学から求めることが可能である。

上記のような探査の目的達成を可能にするように、以下のようなLTC仕様のベースライン案が検討されてきている；解像度5-10m、B/H0.6のステレオ視、刈り幅17.5km、MTF0.2@ナイキスト周波数。今後は、科学目標やミッション要求の検討を更に進めるとともに、軽量化、省電力化、などを検討していく予定である。

本講演では、これまで検討されてきた科学目標や観測計画、ハード面も含めた問題点を論じる。

レーザ高度計による月の全域の地形測定

大江昌嗣，坪川恒也，荒木博志，花田英夫，日置幸介，河野宣之，唐牛宏（国立天文台），古宇田亮一（地質調査所），寺藺淳也，石井重夫（宇宙開発事業団），並木則行（九大・理），丸山弘通（国土地理院）

月探査周期衛星計画の一つであるレーザ高度計による月の地形の測定では、月のほぼ全域にわたっておよそ5メートル精度での高度測定を行う予定である。この測定は、月の表面形状の精密決定（特に裏側や極地方）による月内部のアイソスタシーと重力場のデータと合わせた内部密度分布や粘性率の推定を主な目的とするものであるが、同時に、各種スペクトル観測やレーダーサウンダーとの組み合わせによる、地殻プローブとしてのクレーター及び極域の永久暗黒域の探査を目的とし、また日食及び星食観測における月縁補正のための月の地形図の改良（数十mまで）と暦表時の高精度化のためにも大きな成果が得られるものと期待される。講演では、機器開発の現状、衛星運用に対する要求と測定精度の見積もり、また他のデータとの総合的な解析のためのソフト開発について述べる。

月探査周回衛星による 月地下探査並びに太陽・惑星電波観測計画

小野高幸、大家 寛、森岡 昭（東北大学・理）
橋本弘蔵（京大・工）、山路 敦（京大・理）
山口 靖（名大・理）、佐々木晶（東大・理）

Lunar Radar Sounder Experiment from a Moon Orbiter

*Takayuki Ono, Hiroshi Oya, Akira Morioka (Tohoku Univ.)
Kozo Hashimoto, Atsushi Yamaji (Kyoto Univ.)
Yasushi Yamaguchi (Nagoya Univ.) Sho Sasaki (Univ. Tokyo)*

Abstract

The Lunar Radar Sounder Experiment (LRS) is proposed to observe the subsurface structure of the Moon by using an extension of the plasma sounder technique which has been developed for the plasma observation of the Earth's and Martian plasma environments. The LRS experiment is also aimed to observe the characteristics of the Solar and Planetary radio emissions' spectrum in detail and to identify their source regions.

The main objective of the subsurface sounding is to study on the Moon's tectonics. A subsurface sounding of the Moon by using HF radio waves was initiated by the Apollo 17 ALSE experiment, however the recent technical advantages makes it possible to obtain global map of the moon's subsurface structures with high resolution and accuracy.

On the other hand, the main objectives of the radio wave observation are to investigate the origin of the solar and planetary radio emissions by identifying the source region of the radio emissions based on the radio occultation signatures of the Moon's body. Another importance has been pointed out for the plasma wave turbulence associated with solar wind and magnetosphere interaction at the Moon's distance and solar wind and Moon's body interactions making an wake signature in the downward region of the solar wind.

要旨

H2 ロケットを用いた科学衛星ミッションとして月探査周回衛星計画がスタートした。これは大型の科学衛星を月周回軌道に投入し、月の起源と進化、月の物理環境、及び太陽系内のプラズマ物理の解明に向けて総合的な観測研究を行うことを目的としている。ここでは月地下探査並びに太陽・惑星電波観測を行う月レーダサウンダー観測装置（LRS）が提案されている。LRSに関わる研究分野は従って、太陽地球系物理学分野と固体地球物理・惑星科学分野にまたがるものとなり、両研究分野の研究者が協同しての、観測計画の検討や機器開発に取り組む体制が求められている。LRS観測装置はこれまでに科学衛星 EXOS シリーズ並びに Planet-B 衛星開発を通じて確立されてきたプラズマサウンダーをベースに開発されることになる。ここではLRS観測計画の目的並びに観測方法などについて議論したい。

RISE計画における月重力係数の推定精度

Estimation accuracy of lunar gravity coefficients through the RISE project

○荒木博志¹⁾、日置幸介¹⁾、吉川 真²⁾、花田英夫¹⁾、大江昌嗣¹⁾、河野宣之¹⁾

1) 国立天文台(水沢)、2) 通信総合研究所(鹿嶋)

H.Araki, K. Heki(NAO)、M. Yoshikawa(CRL)、H. Hanada, M. Ooe, N. Kawano(NAO)

As a part of RISE(Research In SElenodesy) project in the moon-orbiting mission of Japan scheduled on 2002 or 2003, the differential VLBI observations of the satellite is now under investigation. The accuracy of lunar gravity model is expected to achieve the great improvement through the observations which enable us to measure positions of a moon-orbiting satellite with the accuracy of 1m. The method of analysis is analogous to GEODYN which uses covariance matrix for inverting the orbit data to lunar gravity coefficients.

現在検討が進められている月探査周回衛星計画では、RISE(Research In SElenodesy)計画の一環として衛星電波源、月面電波源及び背景クエーサーの相対VLBI観測を行う。これにより周回衛星の軌道決定精度は、従来の約100mから1m程度にまで減少することが期待されている。

相対VLBI観測とリレー衛星のドップラー観測と組み合わせれば、月重力係数をこれまでにない精度で決定することができる。図はRISEにより月周回衛星の3次元位置(x,y,z)が誤差1mで求められた場合の、月重力係数の共分散解析結果の一例である。

解析方法は衛星位置の3次元位置の時系列を、直接数値積分で得られた軌道の偏微分係数にもとづき、最小二乗プログラムにかけて重力係数を解く方法、すなわち基本的にはGEODYNの手法に倣った。

より現実的な観測条件での推定精度の見積もりは、軌道要素の変化から推定する手法も含めRISEソフトウェア開発における今年度の最重要課題として取り組んでいる。

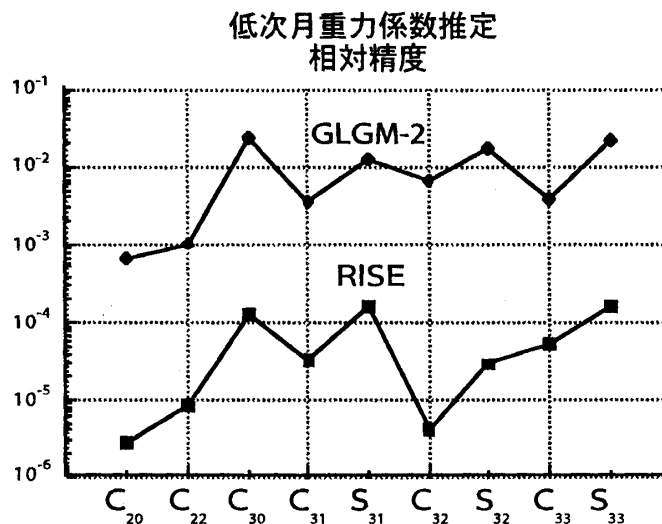


図 GLGM-2の重力係数決定精度とRISEの精度の比較。RISEの初期条件は月周回衛星高度100km、離心率0.01、軌道面傾斜角85°。軌道データは4次までの重力係数を用いて生成し、10分おきの3次元位置データ(x,y,z)40時間分を共分散解析した。

リレー衛星をもちいた月裏側重力場の観測

Gravity Measurement of the Lunar far Side by Using Relay Subsatellite

リレー衛星検討グループ： 飯島 祐一、市川 勉、高野 忠、矢野 創（宇宙研）、
小川 美奈、名村 栄次郎、春山 純一（宇宙開発事業団）、河野 宣之、日置 幸介
（国立天文台）、細川 瑞彦、吉川 真（通総研）、阿部 豊、佐々木 晶（東京大理）、
林 理三雄、安田 茂（鹿児島大工）、杉田 精司（ブラウン大）、立原 裕司、
中田 正夫、並木 則行^o、湯元 清文（九州大理）

RELAY SUBSATELLITE WORKING GROUP: Yuuichi IJIMA, Ben ICHIKAWA, Tadashi TAKANO,
Hajime YANO (ISAS), Mina OGAWA, Eijiro NAMURA, Jun'ichi HARUYAMA (NASDA),
Nobuyuki KAWANO, Kousuke HEKI (NAO), Mizuhiko HOSOKAWA, Makoto YOSHIKAWA
(CRL), Yutaka ABE, Sho SASAKI (Univ. Tokyo), Risao HAYASHI, Shigeru YASUDA
(Kagoshima Univ.), Seiji SUGITA (Brown Univ.), Yuji TACHIARA, Masao NAKADA,
Noriyuki NAMIKI, Kiyofumi YUMOTO (Kyushu Univ.)

Synchronous rotation and revolution of the Moon prevent us from direct Doppler observation of gravity field of the lunar far side. While Doppler data from Clementine has been integrated with those from previous Lunar Orbiter and Apollo missions and has been extensively studied by *Zuber et al.* [1995], the analyzed gravity anomaly map over the far side is likely to include serious uncertainties. We propose indirect Doppler measurements of the far side and over the limb of the Moon by using a relay subsatellite. Combined with geological observations from other instruments of this first ISAS/NASDA joint lunar mission, new gravity data will provide clues to the origin and evolution of the Moon.

月は自転周期と公転周期が一致しているために、常に地球に同じ面を向けている。探査機による惑星/衛星の重力測定は一般に、探査機と地上局の間での通信のドップラー観測によるので、月の裏側の重力場これまで直接に測られたことがない。*Zuber et al.* [1995] は Clementine のドップラー観測と軌道のデータを Lunar Orbiter や Apollo 計画のデータとあわせて解析することによって、月の全面の重力異常図を求めたが、直接観測データの無い高緯度地域や裏側の解析結果は信頼性が低いと考えられる。本計画では、高度 100 km 付近の極軌道をまわる月探査周回衛星に加えて、高々度リレー衛星を投入することによって、裏側に回り込んだ月探査周回衛星と地上局とのリンクをとり、高精度の重力観測を行うことを提案する。観測結果は他のデータとあわせて、月の地殻とリソスフェアの構造解析に用いられる。月の表側と裏側の組成・構造の相違を理解することが、月の二分性の起源を明らかにする重要な鍵である。

セッション 2 & 3

10月3日（木）午前

No. 201-205, 301-303

彗星シリケートダストの結晶化

Crystallization of the Silicate Component of Cometary Dust

山本哲生^o (北大理), 小笹隆司 (神戸大理), 城野信一 (北大理),
J.M. グリーンバーグ (ライデン大), A. リ (ライデン大)
Tetsuo Yamamoto (Dept. Earth & Planetary Sci., Hokkaido U.),
Takashi Kozasa (Dept. Earth & Planetary Sci., Kobe U.),
Sin-iti Sirono (Dept. Earth & Planetary Sci., Hokkaido U.),
J. Mayo Greenberg, A. Li (Huygens Lab., U. Leiden)

We propose a mechanism of formation of the crystalline silicate component of a cometary dust particle as observed in comet Halley (Campins & Ryan, 1989; Hanner et al., 1994, see also Greenberg et al., 1996). The mechanism proposed here is crystallization of the amorphous silicate core by the energy released in radical reactions in the organic mantle of cometary dust triggered by solar heating. The degree of crystallization is calculated by solving the equation of heat conduction and the rate equation of crystallization with taking account of latent heat deposition due to crystallization of amorphous silicate. It is shown that the crystallization degree higher than ~ 10 which can reproduce the observed infrared spectrum of C/Halley (Greenberg et al. 1996), is realized for the radical concentration larger than a few times 10% in the organic mantles of cometary grains.

References

- Campins, H. & Ryan, E., 1989, ApJ 341, 1059.
Greenberg, J.M., Li, A., Yamamoto, T. & Kozasa, T., 1996, in: Physics, Chemistry, and Dynamics of Interplanetary Dust, Proc. IAU Colloquium No. 150, eds. B.A.S. Gustafson & M.S. Hanner, (ASP Conference Series), in press.
Hanner, M.S., Lynch, D.K., & Russel, R.W., 1994, ApJ 425, 274.

彗星核再現実験のためのアモルファス氷微粒子作製法の開発

New methods of making an amorphous icy grains
for cometary nucleus simulation experiments

香内 晃, 荒川政彦 (北大・低温研)

A. Kouchi and M. Arakawa (Inst. of Low Temp. Sci., Hokkaido Univ.)

We have developed a new method of making an amorphous icy grains for cometary nucleus simulation experiments. When thin amorphous H_2O layer on the surface of thick CO layer was warmed, we observed a sudden evaporation of CO at temperatures between 30 and 35 K. This causes an instantaneous destruction of amorphous H_2O layer. As a results, amorphous icy grains were formed. This is a novel means of forming an impurity-doped amorphous icy grains.

彗星核で起こっている現象を実験室内で再現する場合、アモルファス氷微粒子を大量に作ってそれを堆積させる必要がある。しかし、アモルファス氷微粒子の作製法は開発されておらず、氷結晶が彗星核再現実験に使われてきた（例えば、KOSI）。いっぽう、アモルファス氷の物性研究では薄膜が使われてきた。その結果、氷結晶とアモルファス氷では種々の物性が大きく異なることが分かり、氷結晶を用いた実験は彗星核で起こっている現象を再現したとは言えないことが明らかになった。そこで、彗星核再現実験のためのアモルファス氷微粒子の大量作製法を開発した。

まず、真空チェンバー中の10 Kの金属基板上に厚さ10 μm のCOの薄膜を凝縮させる。次に、この上に厚さ1 μm の H_2O を凝縮させた。凝縮終了後、基板の温度を上げていくと、30-35 K でCOの急激な蒸発が始まり、上層のアモルファス氷薄膜が瞬間的に破壊されて微粒子が飛び出す過程が高速度ビデオで観察された。CO層を1 μm にしたり、 H_2O 層を0.1 μm にするとアモルファス氷薄膜の破壊はおこらなかった。

COのかわりに凝縮温度のより低いNeを用いると、CO等の不純物を含んだアモルファス氷微粒子を作ることができる。この様にして作製したアモルファス氷微粒子を大量に堆積させることにより、彗星核の熱伝導率や強度の測定、彗星核の焼結や揮発性分子の輸送過程などの再現実験が可能になるだろう。

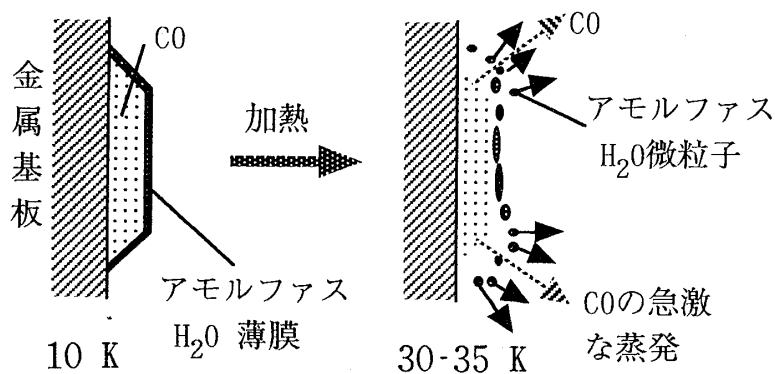


図 アモルファス
 H_2O 微粒子の作製法

衝突による氷の蒸発の速度、温度依存性

Measurement of Impact Vaporization of Water Ice:
Impact Velocity and Temperature Dependence

杉 紀夫, 荒川政彦, 香内 晃 (北大・低温研)

Norio Sugi, Masahiko Arakawa, Akira Kouchi

(Institute of Low Temperature Science, Hokkaido University)

Impact experiments of water ice were carried out to simulate the accretion of icy satellites. We developed a measurement system of H_2O gas vaporized from low temperature ice by impact. The system has an electro-magnetic accelerator, an ice sample and a mass-spectrometer in an ultra-high vacuum chamber. We studied impact velocity and initial temperature dependence on impact vaporization. The copper projectile was launched to the ice target at velocity range of 60-180 m/s and the target temperatures of 130-185K. As a result, it was found that 0.01% of the impact energy was distributed into vaporization of ice at the velocity lower than 130m/s, on the other hand, 25-30% of the energy was distributed at higher than 130m/s. The estimated shock pressure was 330MPa for the Cu-Ice impact at 130m/s, which is close to the pressure at the Hugoniot elastic limit for ice. Thus the drastic change of energy partition into impact vaporization may be caused by shearband formation at the Hugoniot elastic limit.

【はじめに】 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 (H_2O , NH_3 , CH_4 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。そこで我々は低温、高真空の惑星形成環境を実験室で再現し、衝突による氷 (H_2O)の蒸発を観測するシミュレーション実験を行った。

【実験方法】 衝突実験は閉鎖系の真空チェンバー内で行った。衝突前気体圧力は 1×10^{-3} Torr で、液体窒素で冷却した氷標的に対して銅の飛翔体 (250mg) を衝突させた。衝突と同時に発生したガスをサンプリングし、質量分析計を用いて発生量、気体分子種を測定した。ここで、発生したガスとチェンバー内に残留する水蒸気を区別するため、氷試料には重水 (D_2O) を凍結させたものを用いている。また加速装置にはガスの発生が少なく、かつ省スペースの電磁力推進式のものを開発して用いた。そして試料温度を130~180(K)、衝突速度を60~185(m/s)に変化させて、氷蒸発量の温度、速度依存性を調べた。

【結果と考察】 実験の結果、温度に関しては氷試料が高温になるに従って、衝突による氷蒸発量が増加する傾向が認められたが、本実験範囲では目立った変化はなかった。一方衝突速度に関しては、実験範囲内で速度の増加とともに蒸発量は4桁以上も増大した。この増加は運動エネルギーの増加に比べて急であった。これは氷蒸発に用いられるエネルギー分配が一定ではないことを示している。そこで、蒸発量に氷蒸発の潜熱をかけて蒸発エネルギーを求め、投入した運動エネルギーに対する割合 (エネルギー効率) を求めた。その結果、衝突速度がおおよそ130m/sを境に、それ以下では約0.01%、それ以上では25~30%とエネルギー効率が急激に変化していることが分かった。また銅と氷のユゴニオからエネルギー効率が急激に変わる速度における最大発生圧力を求めると330MPaとなった。この圧力は氷のユゴニオ弾性限界 (150-300MPa) にほぼ一致することから、衝突蒸発のエネルギー効率の変化はユゴニオ弾性限界を超える圧力で氷が弾性を失うメカニズムに関連して起きていることを示唆する。

塑性変形をする微惑星衝突の数値実験
Crystallization of the Silicate Component of
Cometary Dust

万代英俊°, 城野信一, 山本哲生 (北大理)

渡辺誠一郎 (名古屋大理)

Hidetosi Mandai (Dept. Earth & Planetary Sci., Hokkaido U.),

Sin-iti Sirono (Dept. Earth & Planetary Sci., Hokkaido U.),

Tetsuo Yamamoto (Dept. Earth & Planetary Sci., Hokkaido U.),

Sei-ichiro Watanabe (Dept. Earth & Planetary Sci., Nagoya U.)

Numerical simulation of collisions of two fluffy planetesimals composed of fine grains is carried out with taking into account of the effect of plastic deformation by the SPH method. The tensile stress of a planetesimal is inversely proportional to the square of the grain radius. It is shown that planetesimals composed of the grains with interstellar dust radius, $\sim 0.1 \mu\text{m}$, are broken into pieces when they collide with each other at speed higher than 20 m/s. Sticking after collision occurs only if the grain radius is as small as molecular diameter.

高速衝突実験の小天体への応用

○山本総（神戸大学・自然科学）、中村昭子（宇宙科学研究所）

Velocity Distribution of Impact Ejecta from Regolith Targets

○Satoru Yamamoto¹⁾, Akiko Nakamura²⁾

1) *The Graduate School of Sci. and Tech., Kobe University*

2) *Institute of Space and Astronautical Science*

We have performed new impact experiments onto regolith-like layers of glass spheres to investigate the spatial and velocity distributions of ejecta with a velocity higher than several hundred m/sec. Spherical nylon projectiles of 7.0mm in diameter were accelerated to about 4km/sec by using a two-stage light-gas gun (ISAS).

The high velocity ejecta concentrated toward downrange azimuth of impacting projectile, because of the oblique impacts of the projectiles into the targets. Though our results of the volume of ejecta with higher velocity lie below the extrapolation of the lower velocity data, the differences were within one order of magnitude.

これまでの粉体に対する室内衝突実験では、低速度領域（＜数100m/s）のejecta についてのみ研究が行われてきた。しかし、月からのダストや大きなアステロイドからのダストについて研究を行う上で、粉体からの高速度領域のejectaの特性を知る必要がある。そこで我々は宇宙科学研究所の2段式軽ガス銃を用いて、粉体に対する高速度衝突実験を行い、高速度領域（＞数100m/s）のejectaの空間・速度分布について調べた。その結果、高速度のejectaのfluxは低速度領域から補外した値よりわずかに下まわるが、しかしその差は1桁内であることがわかった。

The Influence of the Spin and the Ellipsoidal Shape of an Asteroid on the Regolith Formation

Ken-ichi Maruyama¹⁾, Hiroshi Ishimoto¹⁾, Tadashi Mukai^{1),2)}

¹⁾The Graduate School of Sci. and Tech., Kobe Univ.

²⁾Faculty of Science, Kobe University.

Ejecta generated at the impact of a small body on the asteroid are thought to fall on the asteroid's surface and then form the regolith layer. For the case of a small asteroid, however, it is thought that the most of ejecta cannot be captured because of the asteroid's little mass.

In this work, we investigate the effect of the spin and the ellipsoidal shape of the asteroid on the recapture rate of released particles and taking into account this recapture rate, we shall estimate the amount of the asteroidal regolith.

Craters on the surface of the asteroid and the Moon indicate the impacts of small bodies on them. Ejecta are generated at such an impact and released from the asteroid to the space. Then they return to the surface of the asteroid by the gravity of the asteroid and form the regolith layer.

The previous estimations show that the asteroids which diameters are around 1 km might have only thin regolith layers. This is because, considering the result of the hypervelocity impact experiment, we expect that the velocities of most of ejecta exceed the escape velocity of the asteroid. To estimate the amount of regolith layer more quantitatively and to derive the distribution of ejecta on the asteroid, we have to consider other effects like the spin of the asteroid, non-spherical shape of the asteroid, radiation pressure (if the sizes of ejecta are small).

In this work, the effect of the spin and the ellipsoidal shape of the asteroid on the recapture rate of ejecta are investigated by pursuing the orbits of 1,000 particles for several different hypothetical asteroids. The results show that some part of ejecta higher than the escape velocity could be recaptured by these effects, although some part of ejecta lower than the escape velocity would escape.

Using these recapture rates, we shall estimate the amount of the asteroidal regolith.

小惑星表面モデルによる光散乱実験

○亀井秋秀（神戸大・自然）、中村昭子（宇宙科学研究所）
岡本創（東大・気候システム研究センター）、向井正（神戸大・理）

Laboratory measurement of light scattering by rough surface analogues of asteroidal surface

○A. Kamei¹⁾, A. M. Nakamura²⁾, H. Okamoto³⁾, and T. Mukai⁴⁾

1) *The Graduate School of Science and Technology, Kobe University*

2) *Institute of Space and Astronautical Science*

3) *Center for Climate System Research, University of Tokyo*

4) *Department of Earth and Planetary Science, Kobe University*

Most airless bodies in the solar system are covered with regolith layer. The light scattering by regolith surface, therefore, is an important subject to study the surface materials/structure of such airless bodies. The Japanese asteroid mission for sample return from its surface (MUSES-C) will carry a camera to observe the surface of the target asteroid of NEREUS in 2002. Visible-polarimetry will be performed by this camera. The *in situ* measurements enables us to obtain the data in wide range of scattering angles. To study basic scattering properties of rough surface covered with regolith grains, especially its dependence on roughness, we have done laboratory measurements of light scattering by rough surface analogues of asteroidal surface. Anisotropic scattering feature observed in our measurements seems to be described by bidirectional reflectance in Hapke (1993).

Acknowledgement: We are grateful thankful to H. Koshiishi, T. Suzuki, and H. Kurosaki of National Aerospace Laboratory for their helps in the measurement.

2002年に打ち上げが予定されているMUSES-Cミッションとは近地球小惑星の1つであるNEREUSのサンプルリターン計画であるが、光学航法用カメラ(ONC-T)の搭載が予定されている。小惑星を偏光測光観測することにより、小惑星表面物質の光学定数、表面の粒子の粒径分布、表面の凸凹分布についての情報が得られる。そこで我々は小惑星のようにレゴリスで覆われた表面のモデルによる可視光の散乱光強度・偏光度を室内実験で測定した。その結果をHapke(1993)のレゴリス層による光散乱理論と比較検討した。

Acknowledgement: この実験は航空宇宙技術研究所で行い、興石肇さん、鈴木孝雄さん、黒崎裕久さんには数々のご指導をいただきました。

CG を用いた Phobos 表層の反射特性の推定 (1)

An estimation of the surface reflection characteristics of Phobos using Computer Graphics. (1)

秋山演亮、齋藤潤 (西松建設 (株))

吉川真、木村和宏 (郵政省通信総合研究所)

AKIYAMA Hiroaki, Jun SAITO (Nishimatsu Construction Co., Ltd.)

YOSHIKAWA Makoto, KIMURA Kazuhiro(CRL)

ABSTRACT

The changes of surface reflectance in response to changing illumination and viewing geometry, depends upon physical and optical properties of surface materials and overall shape of the body. We are trying to estimate the surface reflectance properties of Phobos using the computer graphic (CG) of detail model of Phobos, on which reflectance conditions can be freely changed. Here we report the system configuration and procedures of the simulation study.

物質に当たった光の反射光は、フレネル散乱・ランベルト反射の重ね合わせとして観測される。その強度は表層物質の粒度等の要素によって変化し、*phase angle* に依存することが知られている。小惑星においても、反射率の角度依存性を観測することで、地表についての情報を得ることができると考えられる。しかし従来の検討においては、小惑星の形状による *phase angle* の補正が十分に行われていないため、正確な反射率の角度依存性が算出されていないのが現状である。

火星に捕らえられた小惑星と考えられる Phobos に関しては、現在精密模型がすでに作成されている。このデータに基づいて、形状による *phase angle* の補正を行えば、より正確な反射率の角度依存性を求めることが可能と考えられる。そこで我々は、精密模型を3次元のデジタルデータ化し、CRLの軌道解析システムにCGとして組み込んだ。この軌道解析システムは、散乱強度・反射強度等のパラメータを変化させることができる。また、Phobosの形状による *phase angle* の補正が自動的に行われるため、組み込まれた物体の反射率の角度依存性を正確に再現できる。これにより探査機の得た Phobos の画像データに軌道解析システム中の Phobos 模型の反射率をフィッティングさせて、実際の Phobos 表層での反射率特性を推定する試みを行った。

本講演では第一段階目の報告として、システムの概要及びシミュレーション実験の手法について紹介を行う。

1) 齋藤潤 他 : 地球近傍小惑星研究会集録 87-96, 1992

2) AKIYAMA et al. : Proc. 29th ISAS Lunar. Planet. Symp. 1996, (in press)

ポスターセッション 1

10月3日(木)

午前(口頭), 午後(ポスター)

No. P11-P18

彗星起源塵の軌道進化

○大垣内 るみ（神戸大・自然）、石元 裕史（神戸大・自然）
向井 正（神戸大・理）

Orbital evolution of cometary grains

○R.Ohgaito¹⁾, H.Ishimoto¹⁾, T.Mukai²⁾

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

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

Some grains ejected from a parent comet cannot stay in the solar system due to the effect of radiation pressure and the Poynting-Robertson effect. The surviving grains are dragged into the Sun. Secular changes in perihelion distance and eccentricity are decided by the original orbital elements of the grain. They are controlled by the orbital elements of the parent comet, material, size and density of grains and the solar distance at which they are ejected from the parent comet. We will consider the orbital distribution of cometary dust from various comets, assuming that the ejection of grains from comets occurs mainly in the vicinity of the Sun.

彗星に起源を有する塵は、地球近傍の惑星間塵の30%を占めると考えられている。

太陽による放射圧を考慮すると、ミクロンサイズの彗星起源塵の一部は太陽系外に飛ばされる。一方、太陽系内に生き残る塵は、ポインティング-ロバートソン効果によって、長い時間をかけて、太陽に向かって落ち込んでいく。この時、どのような軌道を取りながら落ち込むかは、放出されたときに塵が獲得する新たな軌道要素によって決まる。放出されたときの塵の新たな軌道要素は、母彗星の軌道要素や、塵の化学組成、大きさ、密度、塵が放出されたときの太陽からの距離等で決まる。

ここでは、彗星から塵が放出されるのは、太陽近傍に彗星が来たときのみであることを考慮に入れて、軌道要素が既知の長周期・短周期彗星から放出された塵の、太陽系内での分布を示し、惑星間空間における飛翔体データとの比較を行う。

彗星核の熱史におけるパーコレーションの影響

城野信一 山本哲生

北海道大学理学部地球惑星科学科

Effect of percolation on the thermal evolution of a cometary nucleus

SIRONO Sin-iti and YAMAMOTO Tetsuo

Department of Earth and Planetary Sciences, Hokkaido University, Sapporo 060, Japan

Abstract

Thermal conductivity of a granular material which is believed to be constituent of a cometary nucleus is derived on the basis of the effective medium theory. Each of the grains has a silicate core with an icy mantle composed of a mixture of amorphous and crystalline H₂O ice. The theory is applied to derived the thermal conductivity of a mixture of amorphous and crystalline ice. The thermal evolution of a cometary nucleus modeled by Haruyama et al. (1993, *J. Geophys. Res.* **98** E8, 15079) is examined with the newly derived thermal conductivity. It is shown that the crystallization of H₂O ice proceeds completely independent of porosity and contact area between adjacent grains.

彗星核はミクロンサイズのグレインによって構成され、そのグレインはシリケイトコアと H₂O 氷のマントルから形成されていると考えられる。彗星核の熱史においては、構成要素である粉体の熱伝導率が重要な物理量である。本研究では、パーコレーション理論を用いて粉体の熱伝導率を計算し、その結果を彗星核の熱史に応用した。その結果、彗星核の温度は 150K まで上昇し、氷の結晶化は完全に進行することが明らかとなった。注目すべきことは、この結果は粉体の空隙率、またはグレイン間の接触面積にはよらないことである。この理由は次の通りである。

- 1) アモルファス氷の中に結晶氷のネットワークが形成されるまでは、粉体の熱伝導率は低いままであり、加熱は局所的に進行する。
- 2) 結晶氷のネットワークが形成されると、熱伝導率は上昇し始める。しかし、この時点では結晶化による潜熱が熱伝導による冷却の効果を大幅に上回っているため、暴走的に温度が上昇し、氷の結晶化は完全に進行してしまう。

また、温度上昇に伴うグレイン間の焼結の効果も議論した。

斜め衝突における氷破片の速度計測

Velocity Measurements of Ice Fragments made by Oblique Impacts

荒川政彦, 一戸理樹(北海道大学 低温科学研究所)

M. Arakawa and M. Ichinoe, (Inst. Low Temp. Sci., Hokkaido Univ.)

The accretional growth condition of icy satellites was investigated by laboratory experiments on ice collisions. The impact angle is an important parameter to affect the velocity distribution of fragments. Then the oblique impacts was made for the ice spheres with the mass ratio of 0.13 at temperature of -18°C , impact velocities of 150-650 m/s, impact angles of $0-50^{\circ}$. As a result, the minimum ejection velocity of the target was observed to decrease with increasing the impact angle (θ) and the relation was described as $V_{min} \propto (\cos \theta)^{3.4}$

(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。昨年の学会では、正面衝突によって発生する破片速度の計測結果を報告し、惑星の成長条件を求めた。しかしながら、実際の惑星衝突では斜め衝突の方がより支配的であると思われるので、今回は破片速度の衝突角度依存性を調べることにした。

(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。一定の質量比を持つ氷球(質量 1.5 g と 12 g) どうしを 150~650m/s の速度で斜め衝突させ(衝突角度 $0\sim 50^{\circ}$)、その結果を超高速度イメージコンバーターカメラで 20 万~1 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。

斜め衝突により観測される破片の速度分布は、正面衝突の場合とは異なり、衝突点とターゲットの中心を通る線に対して非対称的である。弾丸が通り抜ける側が、ジェット、ターゲットからの放出破片とも速くなっている。解析から、衝突点付近から吹き出すジェットの最大値は衝突速度の 1.6~3.1 倍に達することがわかった。この値は、衝突速度や角度にほとんどよらない。また、ターゲット側から飛び出す破片速度の最小値(V_{min})は、衝突角度が一定($\theta = 45^{\circ}$)の時、 $V_{min} = 3 \times 10^{-2} Q^{0.7}$ と書け、正面衝突の場合より約 2 倍速度が小さいことがわかった。ここで Q は弾丸の運動エネルギーをターゲットの質量で割ったエネルギー密度(J/kg)というパラメータである。衝突速度が一定($V_i=480 \text{ m/s}$)の時、 V_{min} は衝突角度が大きくなると減少し、 $V_{min} = 49(\cos \theta)^{3.4}$ となる。これらの関係から、 V_{min} は、 $Q' \equiv Q(\cos \theta)^5$ というパラメータで角度依存性をスケーリングできると思われる。スケーリングの結果得られる式は、

$$V_{min} = 0.092Q'^{0.65}$$

となる。

この実験から、斜め衝突の場合、反対点付近の破片速度は正面衝突の場合よりかなり遅く、惑星の成長が助長されることがわかった。しかしながら衝突点近傍から発生するジェットの速度は正面衝突の場合と変わらず高速なので、惑星には捕獲されにくいと思われる。

弾塑性体の衝突による温度分布の数値計算

Numerical Simulation of Temperature Distribution under Shock Compression with Elastic-plastic Model

。三谷典子 (東大・理/東工大・理), 渡辺誠一郎 (名大・理)

Temperature distribution due to the shock wave generated by an impact is investigated numerically using an elastic-plastic model. In a region near the impact point, the target material is heated violently and is vaporized or melted. As the shock wave propagates away, however, the stress and temperature decreases and the material suffers plastic deformation. We have studied the stress and temperature attenuation in this plastic region where the effects of the solid strength becomes important. In a spherical symmetry system, the temperature at a point of the peak stress decreases in proportion to r^{-3} or r^{-4} .

衝突によって発生した衝撃波はターゲット物質を加熱する。衝突点付近では数千度の高温になり、蒸発、融解が生じる。衝撃波が衝突点から離れるに従って応力、温度ともに減衰し、ターゲットは小破片を生じる塑性変形を受けるようになる。これらの温度分布は隕石の熱変成においても重要となる。蒸発物、融解物の量についての研究はこれまでもいくつかなされてきているが、塑性領域での温度分布についての研究はなされていない。

そこで本研究では、弾塑性モデルを用い、塑性領域での温度分布及びその時間変化を差分法による数値計算で求めた。モデルは応力が限界を越えたらある程度シア－応力を保持したまま固体は流体のように振るまうというもので、このシア－成分が圧力解放の波の進行速度を速くし、結果的に衝撃波の減衰を早くする。温度上昇は内部エネルギーと密度の変化から熱力学関係式を用いて求められる。結果の一例として、球対称系では、応力がピークの点での温度は衝突点からの距離の -3~-4 乗に比例することがわかった。

クレータのデグラデーションの定量化に向けて Towards a Quantification of Degradation of Craters

○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)

The aim of this report is to explore efficient methods to characterize the degradation of craters on the icy satellites. The final goal of our study is to establish a quantitative measure of degree of the degradation of craters, which can be used in crater chronology. Here, we demonstrate that a wavelet decomposition with multiresolution analysis is an efficient procedure in image processing to characterize the degradation.

近年の惑星探査により、現在われわれは、他惑星、および衛星の写真データを大量に入手することができる。しかし、逆を言えば、外惑星やその衛星に関して得られる情報のほとんどは、写真データの解析のみに依存している。特に、表面の年代等を知るために、クレータの解析は重要であるが、その密度分布に関しては研究がなされているものの、各々のクレータのデグラデーションの度合の定量化は、「見た目」以外には、あまりなされていない。この、クレータのデグラデーションの度合の定量化は、クレータ年代学にとって、基本的に重要な情報量である。

また一方、画像処理の分野において、ウェーブレット変換を用いた画像解析というものが、ここ数年で飛躍的に進歩してきている。このウェーブレット変換を用いた画像解析法は、もとの画像データを、様々な分解能データに分解することができ、また、局在的な構造の検出にも優れている。様々な分解能データに分解することとは、即ち、画像から様々な周波数成分を抽出することができるということである。このような分析法は、多重解像度解析（multiresolution analysis, MRA）と呼ばれる。

外惑星の衛星は、その表面が氷に覆われている「氷衛星」である。その為、存在するクレータは、時間の経過とともに、粘性緩和を受け、cavityが失われ、rimだけが残る。即ち、低周波成分が失われて、高周波成分のみが残る。即ち、氷衛星上のクレータ画像にウェーブレット解析を用いると、クレータのデグラデーションの度合によって、抽出された、ある周波数成分データにピークが存在するはずである。このピークを用いて、デグラデーションの定量化が可能と考えられる。

以上の様なことを踏まえて、本研究では、ウェーブレット変換を用いた画像解析の技術を、惑星、衛星の写真データに応用することによって、新たにどのような情報が得られるのかを模索する。

偏光ガラスのプロトン照射による透過率変化の測定 Measurement of proton radiation effect in glass polarizer

中村昭子^o（宇宙研），田沢雄二（京大理），布施哲治（総研大／国立天文台），
中村 士（国立天文台），藤原 顕（宇宙研）

A. M. Nakamura (ISAS), Y. Tazawa (Kyoto Univ.), T. Fuse (Grad. Univ. Advanced Studies),
T. Nakamura (NAO), and A. Fujiwara (ISAS)

Samples of glass polarizer were subjected to proton radiation to examine their acceptability for MUSES-C mission. Change of transmission was not detected. The contrast, *i.e.*, extinguishing efficiency, even after the irradiation is higher than 10^4 , which is sufficient for polarization measurement of asteroid surface.

2002年1月打ち上げ予定の宇宙研のMUSES-C：小惑星探査機には，光学航法用にCCD撮像カメラが搭載される．このカメラと偏光子を組み合わせ，小惑星Nereusの表面物質の光学定数，粒度分布，凸凹度を測定することが検討されている．

従来外国で搭載に用いられた実績のある偏光子はプリズムタイプであるが，小型・軽量の（線）偏光観測装置の実現のためには，偏光板タイプのガラス偏光子（ポーラコア）が有力である．このガラス偏光子は，ガラスを延伸することによってガラス中の銀粒子のアスペクト比を5:1以上にしたもので，'87年より実用化されレーザー実験用に用いられている．ガラス中の不純物による放射線照射着色，アルカリ-アルミノ-ボロシリケートガラスにハロゲン化銀を加えたものに特有のフォトリソグラフィ効果，プロトン照射による銀コロイド増減と熱変形等による透過率や消光比の変化等が懸念される．そこで，ガラス偏光子に搭載環境を模した放射線を照射し，透過率と消光比が劣下しないかどうかを調べた．

MUSES-Cのノミナル計画では小惑星遷移軌道への直接投入がおこなわれるため，地球放射線帯の影響は考えなくてよく，太陽フレア粒子の影響を評価すればよい．京都大学理学部のタンデム加速器でプロトンを10MeVに加速し，そのビームを金箔で散乱させ，800nm 観測用ガラス偏光子6つのうち1つを残し，5つに量を変えて照射した．ビームによるガラス偏光子表面でのチャージアップの影響の有無を確認するため，2つのガラス偏光子前面にはアルミ薄膜を置いた．

いずれの偏光子についても，照射前後で透過率に有意な差は見られなかった．照射後の消光比も，800nm 前後で 10^4 以上と十分に高く， 10^3 程度の偏光度の測定に使用できることが確かめられた．

小惑星ライダーによる小惑星表面の推測

○白崎太郎（神戸大・自然）、岡本創（東大・気候システム研究センター）
向井正（神戸大・理）

Measurement of light scattering by asteroid surfaces
using LIDAR

○T. Shirasaki¹⁾, H. Okamoto²⁾, and T. Mukai³⁾

1) *The Graduate School of Science and Technology, Kobe University*

2) *Center for Climate System Research, University of Tokyo*

3) *Department of Earth and Planetary Science, Kobe University*

The Japanese asteroid mission for asteroid surface sample return (MUSES-C) will observe the surface of the target asteroid, NEREUS. The LIDAR instrument is mainly for measuring the distance from spacecraft to asteroid, but it must also have the capability of measuring albedos.

In order to understand albedos measured by LIDAR, we have performed numerical simulations and will plan for measuring in the lab. The area revealed by LIDAR light ($1\mu\text{m}$) will be like a circle. Its diameter will change as the distance from spacecraft to asteroid changes, and its value from 20 km distance from NEREUS is often about 20m. The albedos reflected by large rough regolith were estimated by taking into account the roughness of surface, consisting of many small facets with different slope angles. Results will be shown as the albedo as a function of slope angle distribution.

2002年に打ち上げが予定されているMUSES-Cミッションとは、近地球小惑星の1つであるNEREUSのサンプルリターン計画である。探査機の測距用の機器として、LIDARの搭載が予定されている。LIDARとは光を小惑星に照射し、その光の反射を感知し、その時間間隔から距離を測るものである。同時に照射する光の強度と反射光の光の強度を測定すれば、アルベドも測定できる。アルベドを測定することで、小惑星表面物質の光学定数、表面の凸凹分布等についての情報が得られる。そこで我々はレゴリスで覆われた小惑星表面を、異なる勾配分布をもった微小表面要素の集合体としてモデル化した。この集合体に照射するLIDARレーザー光（ $\approx 1\mu\text{m}$ ）の反射光強度を推定し、表面アルベドと勾配分布との相関を求めた。

地球近傍小惑星 1989ML の地上観測

Ground based observation of Near-Earth-Asteroid 1989ML

安部正真 (宇宙科学研究所)
佐藤 勲、荒木博志 (国立天文台)

Masanao ABE, (The Institute of Space and Astronautical Science)
Isao SATO and Hiroshi ARAKI (National Astronomical Observatory of Japan)

Asteroid exploration is planned in the Institute of Space and Astronautical Science, and it will be launched in 2002. The Exploration candidate body is (4660)Nereus, and now 1989ML is regarded as the back up body of it. Because observation opportunity of 1989ML is few than Nereus, the orbit of 1989ML is not still settled.

We succeeded in observing 1989ML which had opposition in January, 1996 with 1.05-m Schmidt telescope of Tokyo University, Kiso Observatory. We carried out position observation and light variation observation. It is understood that as a result this asteroid was very irregular shape and its rotation period was long.

宇宙科学研究所では2002年打ち上げ予定の小惑星探査計画が進められている。探査候補天体は(4660)ネレウスであり、そのバックアップ天体としては現在1989MLが考えられている。ネレウスへの打ち上げウインドウは2002年1月であるが、1989MLへは2002年の8月に打ち上げることができ、探査対象が変更された場合の探査機重量の変更もほとんどないため、1989MLはネレウスのバックアップ天体として非常に有望な小惑星である。しかし1989MLはネレウスに比べて発見されてからの観測数が少ないため、表面スペクトルや自転周期に関するデータが得られていないだけでなく、軌道が確定していないという大きな問題があった。

1989MLは1996年1月に衝を迎え予報最大光度は18.9等級であった。我々は東京大学木曽観測所の1.05mシュミット望遠鏡を用いて1月12、13、16、17日の4日間観測する事に成功した。観測では位置観測と同時に変光観測も行った。位置観測については他の観測所でも行われ、これらのデータもあわせて1989MLの軌道が改良された。この結果軌道がほぼ確定し今後の位置予報の精度が格段に向上した。変光観測については12日と13日のデータから周期が5時間以上で変光幅約1等級という結果が得られた。周期はおそらく20時間程度と通常の小惑星に比べて長く、また変光幅が大きいことから形が非常にいびつである可能性が高いと予想される。

なお1989MLの次の衝は1999年で予報最大光度は18.0等級である。2002年の打ち上げウインドウ以前ではこの時が最も明るく、探査計画にフィードバックできる地上観測としては最後のチャンスである。今回の観測で自転周期および変光幅に関する予備的な結果が得られたことは、1999年の観測を成功させる上で非常に意義が深いことである。

大循環モデルによる大気運動シミュレーション

宮原三郎（九大・理）

地球大気はその鉛直温度分布の違いによって、対流圏・成層圏・中間圏・熱圏に分類されている。対流圏以外の成層圏・中間圏・下部熱圏はひとまとめにして中層大気と呼ばれている。日常我々が経験する気象現象と直接関わっているのは対流圏であり、気象学は主に対流圏の現象を対象として発展してきた。しかし、60年代の後半より中層大気（当初はその名は未だなかったが）の研究が盛んとなり、その中で大気力学の基礎を成す概念が幾つか提唱され、それらの概念に基づいて中層大気の基礎的な理解が可能な段階にまで達した。現在ではこれらを基礎として、より総合的な中層大気の理解に向けて研究が進展している。

我々の研究室では中層大気の総合的理解に向けて九州大学中層大気大循環モデルを開発し、中層大気大循環や力学の研究、中層大気と下部熱圏電離大気とのカップリング、成層圏オゾン変動と大循環変動などの研究を行っている。本講演ではこれらの研究の一端を紹介したい。大気大循環モデルは大気の大循環シミュレートすることによって大気の循環・力学・気候などの研究を行うことを目的にした数値モデルであり、計算機的能力が許す限り可能な諸般の物理過程が導入されている。中層大気大循環モデルはその名の通り中層大気のシミュレーションを行うことによって中層大気大循環や力学の研究を行うことを目的としている。中層大気の循環には対流圏から伝播してきた種々の波動によるエネルギー・運動量の輸送や対流圏からの赤外放射が重要な役割を演ずる。これらを正しく表現するためには中層大気大循環モデルといえども対流圏を正しく表現する必要がある。モデルは必然的に対流圏から下部熱圏までを含む膨大なものにならざるを得ない。そのうえ、下部熱圏ではそれより下層の大気では無視できた過程が無視できなくなる。放射過程については局所熱平衡の仮定が破れ非局所熱平衡の放射過程を考慮する必要がある。また、地球磁場の影響を受けるイオンと中性大気の衝突による運動量交換も無視できず、これはイオン抗力、ローレンツ力の形でモデルに取り入れられている。さらに、分子粘性分子熱伝導による鉛直混合が渦運動によるそれを上回り、それらの効果も取り入れる必要がある。

図1にこれらを考慮した大循環モデルによりシミュレートされた平均帯状風と帯状平均温度の緯度高度分布を示す。この結果を現実大気中での分布との比較すると、中層大気での風速が現実のものより強すぎる。また、成層圏極夜の温度も低すぎる。これらの不一致の原因は、モデルでは表現できない小さな空間スケールを持つ波動による運動量輸送が不足していることに起因する。詳しいことは講演の中で説明する。

太陽活動が静穏な日には地球磁場の日変化(Sq)が観測され、この磁場変化は高度120 km付近の中性大気の運動と荷電粒子および地球磁場との相互作用によって生じるダ

イナモ電流に依ることが知られている。この磁場変化も決して規則的なものではなく、太陽活動の変動とは無関係に日々変動することが知られている。この変動が下層から伝播してきた波動の変動にともなう下部熱圏中性風の変動と関係している可能性を探るために、中層大気大循環モデルでシミュレートされた中性風による磁場変化の日々変動について調べた結果の一例を図2に示す。この結果は、 Sq の日々変動が下層から伝播してきた波動の日々変動に大きく依存していることを示している。

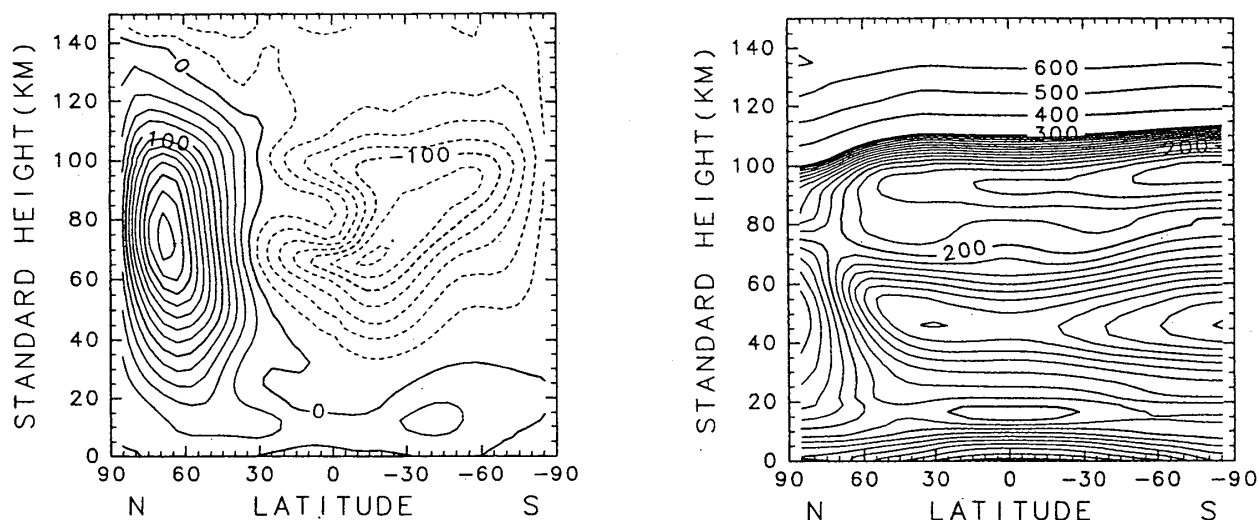


図1 (左) 12月の帯状平均東西風。実線は西風、点線は東風を表す。単位はm/s。等値線間隔は20m/s。 (右) 12月の帯状平均温度。単位はK。高度100Km以下の等値線間隔は10 K。

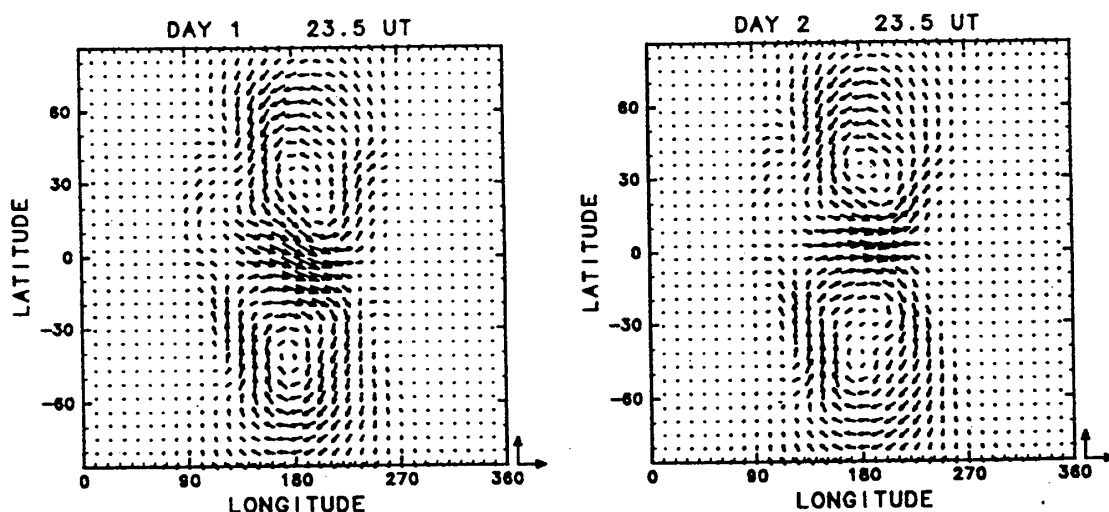


図2 DAY 1, DAY 2の23.5 UTに於ける水平電流の緯度経度分布。基本的には昼の経度域に北半球では反時計回り、南半球では時計回りの電流が分布している。しかしながら、各日毎に電流の分布が変動していることがわかる。

セッション 4 & 5

10月3日(木) 午後

No. 401-406, 501-506

月の重力場から求めた月内部構造の推定

○神田 和亮、岡田 達明、水谷 仁
(宇宙科学研究所・惑星研究系)

Estimation of internal structure of the Moon from lunar gravity field

○Kazuaki Kanda, Tatsuaki Okada, Hitoshi Mizutani

(Division of Planetary Science, Institute of Space and Astronautical Science)

Crustal thickness of the Moon is an important factor on estimation of lunar internal structure. We estimated global crustal thickness of the Moon as the first step to study on lunar internal structure, by using the new data sets of lunar gravity field (GLGM-2) and lunar topography (GLTM-2B) obtained during the Clementine mission. We subtracted gravitational perturbation caused by surface topography from lunar gravitational potential, and performed the estimation assuming that the residual potential perturbation comes from the regional variation of the crustal thickness.

平均密度と慣性モーメントは、月の内部構造に対する基本的な制約条件である。慣性モーメントは重心からの距離の2乗に比例するので、最も外側に位置する地殻の密度と厚さは、内部構造の推定に大きく影響する。例えば、地殻の厚さが数十km違うと、推定される金属コアの半径は数百km違ってくる。本研究では、月の内部構造を研究するための第一歩として、月の地殻の厚さを推定した。

月の地殻の厚さは、局所的にはアポロ計画で設置された地震計のデータから推定されているが、グローバルな地殻の厚さは、重力異常のデータから推定する外には手段がない。

最近、米国のクレメンタイン探査機によって、月のグローバルな重力場と地形のデータが新たに得られた。地形のデータは $0.25^\circ \times 0.25^\circ$ 刻みで求められており、重力場のデータは球面調和関数展開の70次の係数まで求められている。Zuber *et al.* (1994) は、地形と重力場のデータから、地殻の密度を仮定してブーゲ重力異常を推定し、さらに、地殻とマントルの密度差を仮定して、ブーゲ重力異常が全て地殻-マントル境界の起伏に起因するとしたときの地殻の厚さのグローバルなモデルを作成した。ただし、これらの計算は、月面が曲率を持たない平板だという近似をして行われている。

本研究では、月の地形が球体からずれていることによる重力ポテンシャルの乱れを、球面調和関数を使った計算で求めた。こうして求めた重力ポテンシャルの乱れを月の重力ポテンシャルから差し引き、残った重力ポテンシャルの乱れを引き起こすような地殻-マントル境界の起伏を、インバージョンを用いて計算し、地殻の厚さ分布を推定した。

LUNAR-A ペネトレータ観測運用システム

Operation System of LUNAR-A Penetrator

○早川雅彦, 白石浩章, 田中智, 飯島祐一, 藤村彰夫, 水谷仁(宇宙研), 山田功夫(名大・理),
 小山順二(北大・理), 村上英記(高知大・理), 石原靖(横浜市大・理), 伊藤潔(京大・理),
 須田直樹(名大・理), LUNAR-Aペネトレータサイエンスグループ

M. Hayakawa, H. Shiraishi, S. Tanaka, Y. Iijima, A. Fujimura, H. Mizutani (ISAS),
 I. Yamada (Nagoya Univ.), J. Koyama (Hokkaido Univ.), H. Murakami (Kochi Univ.),
 Y. Ishihara (Yokohama City Univ.), K. Ito (Kyoto Univ.), N. Suda (Nagoya Univ.)
 and LUNAR-A Penetrator Science Group

The scientific objective of the LUNAR-A mission is to explore the internal structure of the moon using seismometers and heat-flow probe loaded within the penetrator. Owing to a limited capability of battery power and data transmission, design of the efficient operation plan and construction of the powerful ground support system are required. The current status of LUNAR-A penetrator operation system is reported.

月探査機LUNAR-Aは宇宙科学研究所が新たに開発したロケットM-Vの2号機によって1997年度に打ち上げが予定されている。現在はフライトに向けて母船およびペネトレータモジュールの機械的／電氣的噛み合わせ試験による機能性能確認を行っている段階である。

LUNAR-A計画では、月を周回する母船から3機のペネトレータを投下し、月面に科学観測ステーションのネットワークを設置する。これらのペネトレータには超高感度月震計、熱流量計などが搭載されており、電池がなくなるまでの約1年の間、月震および熱流量の観測を行う。ペネトレータの観測により取得されたデータはペネトレータ内部のメモリに格納された後、約2週間ごとに各ペネトレータの上空を通過する周回衛星(母船)を経由して地上局(宇宙研臼田局)に伝送される。ペネトレータ搭載電池の容量、母船との通信タイミングやデータ伝送量には厳しい制約があり、これらの限られた中でいかに効率的なデータ取得をするかがLUNAR-Aの科学的成果を左右するといつてよいであろう。そのためには有効なデータのみを取得し、欲しいデータのみ迅速に地上に伝送する観測運用システムおよびデータ処理システムを構築することが必須となる。

本講演では、新しい地上設備として整備されるワークステーション群上に構築しつつあるLUNAR-Aペネトレータの観測運用システムおよび地上支援システムの現状について報告する。

LUNAR-Aペネトレータ実機貫入実験 (2)

・ 白石浩章 田中 智 早川雅彦 藤村彰夫 石井信明 水谷 仁 (宇宙研)

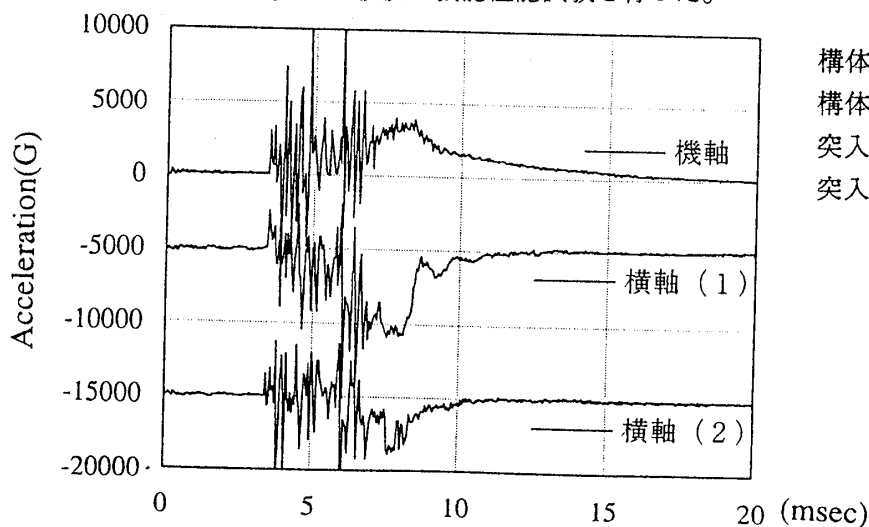
LUNAR-Aペネトレータ開発グループ

LUNAR-A penetrator impact experiment with flight model

H. Shiraishi, S. Tanaka, M. Hayakawa, A. Fujimura, N. Ishii, H. Mizutani (ISAS),
and LUNAR-A Penetrator Group.

Experimental equipment system for the final design of LUNAR-A penetrator is developed and the impact tests are being made at flight conditions. The flight models of lunar penetrator are shot at the velocity more than 300m/s and penetrate into the lunar analogue target with the finite attack angle due to aerodynamic instability. According to the acceleration record, LUNAR-A penetrator will experience a shock more than 5000G at impact. To achieve the scientific objectives, both the scientific instruments and the other supporting equipments must survive such a high impact load. We report the current status of development.

97年度打ち上げ予定のLUNAR-Aミッションでは地震計と熱流量計を搭載したペネトレータを月の裏側を含む3地点に設置し、月内部構造を調べる。現在、ペネトレータを月面突入条件下で貫入させる試験装置によりフライト品製作に向けて確認試験を継続して行っている('96地球惑星関連合同学会)。本試験では -20°C に冷却されたペネトレータを速度300m/sec以上で射出し、 $6^{\circ}\sim 18^{\circ}$ の迎角(ペネトレータの速度ベクトルと機軸方向のなす角)を持った状態で月面疑似砂に突入させる。下図は耐衝撃性確認モデルに搭載したデータレコーダで計測した貫入時の衝撃加速度データである。この結果から、LUNAR-Aペネトレータは迎角の影響で機軸方向だけでなく、それに垂直な方向にも5000G以上の高衝撃を受けていることを示している。すべての搭載機器はこのような過酷な環境条件においてもその機械的/電気的性能を維持し、その後の科学観測が可能なシステムであることが要求される。これまでの試験で、貫入特性(潜り込み距離、停止姿勢)の確認および炭素繊維強化プラスチック(CFRP)製構体の耐衝撃性を確認した。さらに、アルミ製構体あるいはCFRP製構体内に科学観測機器、計測回路およびデータ処理系、電源系、通信系等を搭載して、各コンポーネントレベルでの耐衝撃性確認試験および貫入試験後の機能性能試験を行った。



構体重量: 12.70kg
構体材質: CFRP
突入速度: 305m/sec
突入迎角: 11deg

LUNAR-Aペネトレータ熱流量観測システムの開発

Development of heat flow measurement system by LUNAR-A penetrator

° 田中 智 水谷 仁 藤村彰夫 宝来帰一 早川雅彦 安部正真 白石浩章 (宇宙研)

平井研一 (日産自動車) LUNAR-Aペネトレータサイエンスグループ

S. Tanaka, H. Mizutani, A. Fujimura, K. Horai, M. Hayakawa, M. Abe, H. Shiraishi (ISAS),

K. Hirai (Nissan Motor Co., LTD) and LUNAR-A Penetrator Science Group

Heat flow measurement is designed by using the LUNAR-A penetrator with seven absolute and eleven relative temperature sensors (including 5 thermal conductivity sensors). Recent real-size penetration experiment confirmed shock durability of sensors, and EMC experiment have verified the resolution of temperature within $\pm 1/100$ degree. These results strongly support to be able to measure the seleno heat flow with 10~20 percent in precision. We proceed further experiment to obtain thermal properties of penetrator constituent materials to refine the thermal model.

LUNAR-Aペネトレータには7個の絶対温度計と11個の相対温度計(うち5個は熱伝導率計兼用)が搭載され、月表層の熱流量観測(月レゴリスの温度勾配と熱伝導率の計測)を行う。ペネトレータは速度約300m/secで月面に突入し、その際に約10000Gの衝撃を受けながら構体表面が激しく擦られる。このことから構体表面(または表面付近)に搭載されるセンサーの耐衝撃性の確立は他の搭載機器と同様に第一の開発課題である。しかし、熱流量観測にはそれ以外にも成果を左右する要因がある。(例えば、)月レゴリスの温度勾配は1~2度/mであるが、その熱伝導率がペネトレータ自身の熱伝導率よりも10倍~数10倍小さいためペネトレータの先端から後端までの温度差はわずか0.1~0.3度程度になると推定される。さらに、月レゴリスの熱伝導率が非常に小さいため、ペネトレータ貫入後に周囲の温度場が定常状態になるには長時間を要する。温度計測を行う面から定常状態に達するまでは内部発熱をもたらす通信などは行わないことが望まれるが、地震観測も行う関係上限られたミッション期間の多くを温度計測のみに割り当てることはできない。このような厳しい環境条件と限られた観測時間のなかで熱流量観測を成立させるためには、以下のような課題について検討する必要がある。

- (1) 温度勾配を誤差20%以内の精度で求めるため、 ± 0.01 度の温度計測精度を達成すること。
- (2) 運用計画で予定している貫入後2週間の温度計測期間中に計測を成立させるため、ペネトレータ貫入時の温度を月レゴリスの温度(-20度程度)にできるだけ近い状態にすること。
- (3) 非定常状態のデータを用いて温度勾配を推定できる高精度な数値モデルを構築すること。

最近1年間に耐衝撃性およびシステム確立を確認するための試験(実機貫入試験、電磁環境試験、熱構造試験、一次噛み合わせ試験)を通じて、熱流量計測システムの成立性が評価された。その結果、センサーは十分な耐衝撃性を有し、温度計測精度は ± 0.01 度を達成できそうなこと、さらに貫入時のペネトレータと月レゴリスの温度差を20度程度まで達成できることが確認された。現在、数値モデルを高精度化するため、ペネトレータ構成物質の熱物性測定試験を進めている。

クレーター放出物の画像解析による月地殻垂直構造推定の試み

横田康弘^{*} (1) 本田理恵 (2) 飯島祐一 (1) 田中智 (1) 藤村彰夫 (1) 水谷仁 (1)
 (1) 宇宙研 (2) 高知大・情報

Investigation of Lunar stratigraphy by image analysis of ejecta deposits

Y. Yokota^{*} (1), R. Honda (2), Y. Iijima (1), S. Tanaka (1), A. Fujimura (1), H. Mizutani (1)
 (1) ISAS (2) Kochi Univ.

The stratigraphy of the lunar crust is investigated by analyzing the Fe content and its spatial variations of the oblique impact crater ejecta deposits. The distribution of Fe content around some large craters are derived from the Clementine UV-VIS images by applying the method of Lucey et al. (1995) to them. The result of Tsiolkovskiy crater (diameter=180 km), which is one of the samples, represents that the iron content of the subsurface layer increases from about 3.3 wt% to 5.3 wt% with depth and that the iron depleted material (Fe content : 3.6 wt%) exists below that.

斜め衝突によるクレータからの放出堆積物は「もとの深さ」と「入射角」に依存した分布形態をとることが実験で示された (Iijima et al., 1994)。逆に、分布形態の解析から放出堆積物中のある部分の「もとあった深さ」を推定することが可能である。クレメンタイン衛星による月地表の近紫外・近赤外反射光のマルチバンド画像は、上記の深さ推定法を開発・適用するのに適している。

本研究の目的は、クレメンタインの画像データを用いて、斜め衝突によって形成されたクレータからの放出堆積物の分布形態から「もとあった深さ」を推定し、月地殻鉛直方向の構造と組成を探ることである。横田ほか(1996年春期学会)では、いくつかの斜め衝突月クレータ周辺について、異なるバンドの画像相互の比をとり地質区分を行ったが、鉱物・元素の定量的議論をすることが次の課題であった。

今回の解析では、Lucey et al., (1995)の方法を用いて750・950nmバンドの画像からFe存在量[wt%]の分布図を作成した。これは高地において精度が高い(相対誤差1 wt%以内)方法なので、本研究の解析対象は高地のクレータとした。高地では鉛直方向の急激なFeの変化は少ないと予想されるため、有意なFe存在量の違いが解析結果に現れるように大きなクレータを選んだ。大きなクレータ周囲の大量のデータを処理するために一連の作業の自動化プログラムを作成した。処理の手順は(1)画像校正(Brown大アルゴリズム)、(2)異なるバンド画像上の同一点を緯度経度情報を用いて算出(中野・田中, 1995)、(3)データ量縮小のために画像の平均縮小化、(4)反射率からFe存在量に変換、(5)モザイク化、となっている。

解析対象のひとつ、Tsiolkovskiy クレータ(直径180km)では、クレータ周囲のFe存在量が2.0~6.5wt%の範囲で変化することがわかった。近傍の新鮮な小クレータ(直径30km)のエジェクタのFe存在量から、周辺の地殻の上部約5kmまでのFe存在量の代表値は3.3wt%と推定される。作成した広範囲(900km四方)のFe存在量モザイク地図からは、低角斜め衝突特有の、エジェクタの飛んでこない「禁止領域」らしきものが見られた。「禁止領域」の平均Fe存在量が3.3wt%であるのに対し、エジェクタ内の「禁止領域」に近い部分の平均Fe存在量は4.0wt%であった。クレータのdownrange側(「禁止領域」の反対側)には、よりFeに富んだ物質が堆積している。特にFeの濃集している領域では、Fe存在量は平均5.3wt%であった。衝突実験での深いところのものほどdownrange側に放出されるという結果との比較により、この部分の堆積物はTsiolkovskiyの深い部分(10-20km)から出てきたものであると考えられる。一方、さらに深いところの物質が出ていると考えられる中央丘では、Fe存在量はむしろ低く、平均3.6wt%となっていることがわかった。このことには、地殻最上部から深さとともにFeが増加しているが、その下(20km以深)にFeの少ないものがあったという解釈などが考えられる。

チクチュルブ・クレーターにおける地殻熱流量測定
Heat flow measurement at Chicxulub crater

松井孝典, 中野陽一郎, 宝来帰一, 田近英一 (東大・理)

O. Campos (メキシコ自治国立大)

R. エルナンデス (Geoproyecto Tepetl)

P.H. シュルツ (ブラウン大)

T.Matsui, Y.Nakano, K.Horai, E.Tajika (Dept. of Earth and Planet. Physics, Univ. of Tokyo)

O.Campos (Universidad Nacional Autonoma de Mexico)

R.Hernandez (Geoproyecto Tepetl)

P.H.Shultz (Brown University)

Using the 14 boreholes for seismic refraction study of Chicxulub crater, Yucatan, Mexico, we measured the heat flow in and around the crater. This crater was found in 1991 and has been considered to cause the extinction of dinosaurs. The preliminary estimate of heat flow suggest the trend that the heat flow is high at central region and decrease with distance from the center. The central region of the crater shows the heat flow value about three times higher than the outer region of the crater. This suggest that the central uplift just after the impact affects significantly the mantle. To interpretate this observation, we may need to consider that the depth of the transient crater penetrate through the crust and reach the mantle.

我々は恐竜を絶滅に至らしめた原因と考えられているメキシコ、ユカタン半島のチクチュルブ・クレーターの地震屈折波探査を計画している。人工地震の爆破用に掘削された14本の孔は1本100mのものもあるがいずれも50mである。この孔を用いてこの夏、爆破前に地殻熱流量の測定を行った。

この付近はいずれの観測地点も石灰岩の堆積層で、土壌の部分は10cmから厚い所で1m程度である。ただしいくつかの孔は30mより深部で地下貯水層に達し、空洞となっている。このため実際に測定したのは10本で、このうち意味のある温度分布が測定されたのは5本である。孔はいずれも地表付近で水でおおわれ、従っていくつかの孔では地下で水の循環が起こっているらしく、この下の温度勾配が0になる。温度勾配はクレーターの中心部付近、あるいは縁の内部と外部とで大きく変化する。中心あるいは内部では36℃/kmの勾配が測定され、これはこの付近で採集した石灰岩の熱伝導率を用いると109mW/m²の地殻熱流量に相当し、クレーターの縁の外部領域では44mW/m²程度なのでクレーター中心付近では2.5倍の地殻熱流量をもつ。

このような高い地殻熱流量は、一般には火山や温泉、地熱地帯などで観測される値で、ユカタン半島にはそのような地域は存在しない。従ってこの高い地殻熱流量は、チクチュルブクレーターに固有のものと考えられ、その原因は衝突時に形成されるクレーターが地殻を突き抜けマントルまで達し、高温のマントルが地表付近まで持ち上げられたことによると考えられる。

暴走温室状態の数値計算と暴走限界の決定

The integration of the runaway greenhouse state and determination of the runaway limit

○石渡 正樹(北大・地球環境), 中島 健介(九大・理),
竹広 真一(九大・理), 林 祥介(東大・数理科学)

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

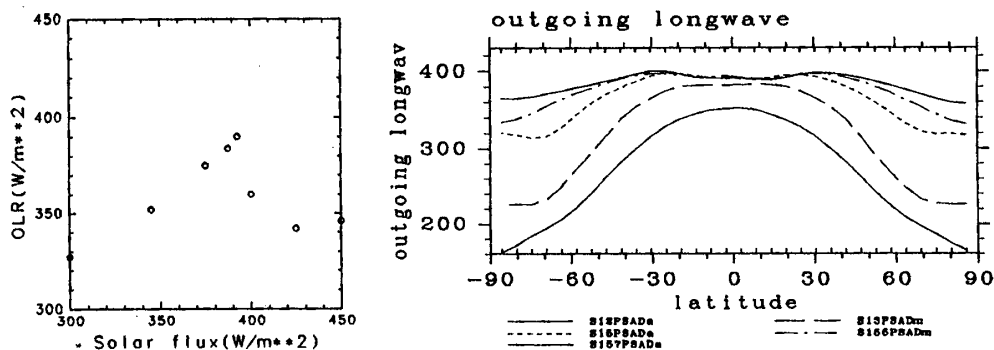
The runaway greenhouse state occurs when the value of solar constant exceeds the critical value called runaway limit, according to the results of one-dimensional model. In this study, the long term integrations of three-dimensional atmospheres for various solar constants are performed. The results show that the runaway greenhouse state occur in three-dimensional system and that the value of runaway limit is 400 W/m^2 . This value corresponds to the upper limit of OLR (Outgoing longwave radiation) of one-dimensional radiative-convective system in which relative humidity is considered.

1. 研究目的及び手法

本研究の目的は, 3 次元系において暴走温室状態が発生する臨界値 (暴走限界) の決定・暴走温室状態における循環構造の解明である。そのために, Nakajima *et al* (1992) の 1 次元系に運動を組み込んだモデルを用いて数値計算を行なった。通常の大気大循環モデルとは異なり, 鉛直 2 grid-noise を抑えるため, 上層においてレイリー摩擦及びニュートン冷却, 更に全層に u, v, T について鉛直フィルターを導入してある。

2. 暴走限界の値

左下図は, 横軸に入射放射の全球平均値を, 縦軸に 1000 日程度走らせたときの OLR の全球平均値をプロットしたものである。入射放射が 400 W/m^2 未満の場合では, OLR はほぼ入射放射量と等しくなり平衡に達しているのに対して, 400 W/m^2 以上になると大気は入射量に比べてずっと低い値しか射出できなくなる。これより, 入射放射の全球平均値が 400 W/m^2 を越えると暴走温室状態が発生することがわかる。暴走限界が, 入射放射の全球平均値で決まってしまうのは, 入射放射が増加すると OLR の値は緯度によらず 400 W/m^2 に漸近するためである (右下図)。ここで得られた OLR の漸近値は相対湿度を考慮した 1 次元放射対流平衡解の射出限界に対応している。3 次元計算で得られた対流圏の相対湿度の値 (65 %) を持つ 1 次元大気の OLR 最大値を求めると, 上の漸近値とほぼ一致することが示された。



左図: 種々の太陽定数における OLR 全球平均. 右図: 平衡状態における OLR 南北分布.

金星Beta-Atla-Themis Regioにおける応力場方位とその時代変遷

永澤千明¹・小山真人²・佐々木晶¹¹東大・理, ²University of Neuchatel

Crustal stress field and a change of its orientation in Beta-Atla-Themis Regio of Venus

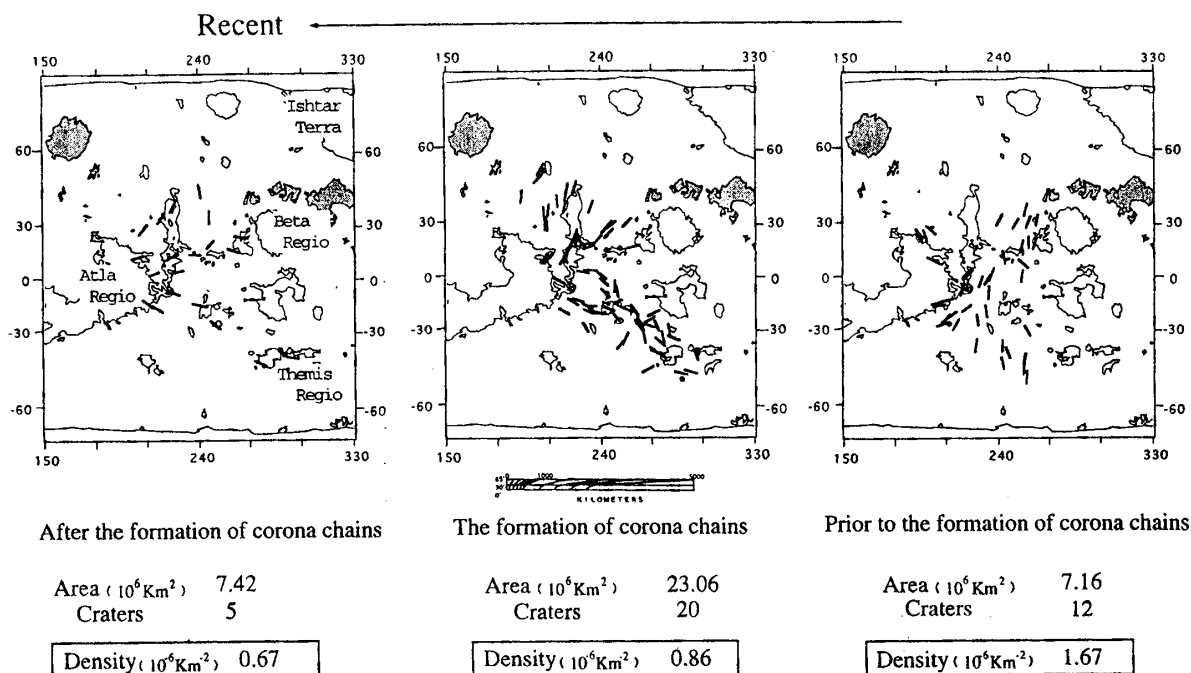
Chiaki Nagasawa¹・Masato Koyama²・Syo sasaki¹¹University of tokyo, ²University of Neuchatel

Using Magellan SAR images, we estimate the crustal stress field on Venus from surface geometry of dikes. The stress field does not show a uniform pattern at the Beta-Atla-Themis Regio (BAT), where a major concentration of volcanic features is observed. On the basis of stratigraphy of lavas and crater density, we have found a change of stress orientation in BAT.

本研究ではNASAが公表しているCD-ROMにおさめられた画像データを解析し、金星の火山地形を解析することにより、その周辺の地殻応力場の推定を試みている。応力場方位は、地域ごとにある程度そろった傾向がみられる。しかし、火山の分布密度の高いAtla Regio, Beta Regio, Themis Regio周辺では、応力場方位のばらつきが大きく、隣り合う火山同士で異なる方位を示すものもある。これらの火山を起源とする溶岩流の層序から火山同士の新旧関係を判断することができる。この手法でBeta-Atla-Themis Regioにおいて新旧を大きく3つに分けた。

こうした応力場の変遷はクレーター密度とも調和的である。それぞれ3つの時代が示すクレーター密度は時代が新しくなるにつれて小さくなっている。

Figure : Stress orientation in BAT



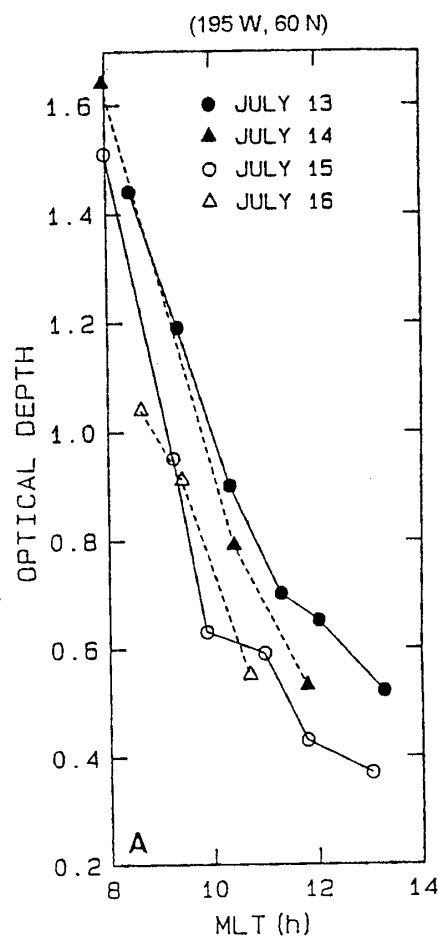
火星の北極雲の形態と光学的特長

Morphological features and photometrical properties of Martian north polar hood

赤羽徳英 (京大・飛騨天文台), 岩崎恭輔 (京都学園大), 齊藤良一 (力丸ビル)
 Tokuhide Akabane(Hida Observatory, Kyoto Univ.), Kyosuke Iwasaki(Kyoto Gakuen Univ.),
 Yoshikazu Saito(Rikimaru Build. Ltd.)

The north polar hood of Mars exhibits daily variation. It extends toward low latitudes in the early morning and retreats polewards in the afternoon. The optical thickness of the polar hood is more than unity in the early morning and less than half of unity in the afternoon. The mean optical thickness is about 0.6 near local noon around the latitude of 60°N . The declined polar hood regains its opacity during night. The visibility of the north polar cap through the polar hood suggests that the effective radius of hood particles is very small.

1969, 1975, 1986, 1992年の青色光での観測から, 火星北半球の初秋と晩冬における北極雲の活動を調べた。極雲の境界は緯度に平行でなく, 早朝には $30^{\circ}\text{N}\sim 40^{\circ}\text{N}$ にまで張り出し, 午後には 60°N 辺りまで後退する。火星の正午頃では, 極雲の縁は 40°N 付近にある。極雲の縁にはしばしば明るい斑点が出現する。斑点の寿命は1日程度のものが多いが, 数日間存続するものもある。長寿命の斑点からその動きを追跡してみると, それは緯度にはほぼ平行に約 700km/day の速さで東へ移動している。極雲の同一地点の光学の厚さは早朝で高い値を示す。それは時間と共に減少し, 夕方には極小になる。しかし, 翌朝には前日の朝とほぼ同じ値に回復している。極雲はかような日変化を初秋から晩冬まで繰り返していると推定される。また, 同一経度上の極雲の光学の厚さはその縁から 70°N 辺りまでは徐々に高くなっている。 60°N 帯での正午頃の光学の厚さは初秋でも晩冬でも 0.6 前後である。右図は1969年の極雲の日変化を示す。



火星環境の寒冷化に伴う地下氷の成長

° 末吉 哲雄・浜野 洋三 (東大・理)

Formation of ground ice under the Martian environment

Tetsuo Sueyoshi, Yozo Hamano (Tokyo Univ.)

Abstract.

We presented the result of the simulation on the process of formation of ground ice accounting the frost heaving under the cooling of Martian environment at the last spring meeting. This time, we report the relation between heat flux and ice formation, and some improvements of our model.

1. はじめに

前回 ('96合同大会、末吉&浜野) の報告では、土壌の凍結に際して地球上で一般に観察されるアイスレンズの形成が火星環境下でも起こる可能性があり、火星表層に氷が存在するならば、その形成メカニズムの一候補となり得ることを示した。

今回は続報として、前回からのモデルの改良点、そして熱流量と氷形成との関連について報告する。

2. 土壌の凍結過程

土壌の凍結が進む時には、土壌間隙水分の凝結に際して、凍結進行面の下層から水分を吸い上げて地中にアイスレンズ層を形成し、地表面を盛り上げる「凍上」現象が知られている。

本研究では、Harlan(1973)によって提案され、その後の検証により支持されている熱流と水流の結合モデルに従っている。今回は地表面冷却率、凍上効果の考慮の仕方について改良を加えた。

3. 氷の形成と熱流量

アイスレンズの形成量は初期土壌水分、地表面冷却率、熱流量によって大きく左右される。特に熱流量に関しては、大きすぎても小さすぎても氷の形成を妨げる。このため、地形学的な議論などから予測されている通り、火星表層に氷が存在していたとすると、氷が形成された時期の熱流量を制約できる可能性がある。この点についても検討する。

火星火山の噴火スタイル

Eruption Styles of the Martian Volcanoes

○草薙誠徳（東大・理）． 松井孝典（東大・理）

Tomonori Kusanagi (Dept. of Earth and Planet. Physics. Univ. of Tokyo)

and

Takafumi Matsui (Dept. of Earth and Planet. Physics. Univ. of Tokyo)

The style of volcanic activity depends on the gravity, atmospheric structure, physical and chemical properties of magma (including temperature, viscosity, gas content) and so on. This means that we can determine the amount of volatiles included in the magma based on the planetary imaging data if we know the atmospheric structure. Following this idea, we computed how much volatiles in magma is needed to reproduce the past volcanic activities on Mars and evaluated the amount of volatiles outgassed through such eruption to get some informations about atmospheric evolution of Mars.

火星の火山は、時代とともに噴火形態を explosive なものから、より effusive なものへと変化させてきたと考えられている。南半球に見られる、比較的年代の古い高地パテラと呼ばれるいくつかの火山は、多くが非常に浸食されている。これは火山体が、爆発的な噴火でできた火砕物質で出来ているためと考えられる。一方、タルシス・エリシウム地域に見られる、より新しい火山は、ほとんどが溶岩流でできていると考えられている。ただ、エリシウム地域にあるヘカテストルスと呼ばれる火山の山腹には、比較的最近できたと思われる火山灰堆積物が見られるという。

このような噴火スタイルの変遷を引き起こす原因としては、マグマの化学組成の変化、マグマ中の揮発性物質量の減少、そして火星の大気構造の変化等が考えられる。特に、惑星史に渡る長期的な火山の噴火スタイルの変化に大きな影響を及ぼすのは、大気構造の変化であろう。一方、火山噴火は惑星の主要な脱ガスプロセスなので、マグマ中に含まれる揮発性物質の種類と量が推定できれば、惑星大気の進化について、何らかの知見を得ることが期待できる。

本研究では、1次元・定常を仮定した火山の噴火モデル (Sugita and Matsui, 1996) を用いて、現在の火星の大気条件下で起こりうる火山噴火のスタイルを推定し、マグマ中に含まれる揮発性物質の量を評価した。計算によると、溶岩流を流すような噴火を起こすには、マグマ中に含まれる揮発性物質は、火星では約 10ppm 以下でなくてはならない。しかし、火星では、噴煙の上昇高度が低く、従って大気の巻き込み量が少ない火砕流が起こりやすいので、0.1wt% 程度までの揮発性物質質量であれば、実質的に溶岩流となると考えられる。また、マグマに含まれる揮発性物質の量から、火星史における比較的新しい時期に、どの程度の揮発性物質が火山噴火によって地表に供給されたかを見積もることができる。上の値と、Greeley and Schneid (1991) によるアマゾン期の火星表面に噴出したマグマの量の見積もりと比較すると、揮発性物質が H_2O なら厚さ約 1m, CO_2 なら約 1,000Pa に相当する。

Varieties of the Martian Meteorites Based on Their Lithologies, Compositions and Ages. Keizo Yanai (Faculty of Engineering, Iwate University)

Twelve specimens are well known as the Martian meteorites that is one of the most unusual meteoritic materials originated from Mars surface recently. They have been classified as SNC type achondrites following shergottites, nakhlites and chassignites respectively. Shergottites included Shergotty[1], Zagami[2], ALH-77005[2], EETA79001[3], ALH84001[4], LEW88516[4], Y-793605 and QUE94201 meteorite[5]. Nakhla[6], Lafayette[7] and Governador Valadares meteorite [7] are grouped to Nakhlites. Chassigny meteorite is only one specimen classified into chassignites[8]. Eleven Martian meteorites excepted ALH84001 meteorite are very young ages of 1.3-1.4 billion to 100~600 million years old [9]. But most of all known meteorites show the oldest ages of 4.0-4.6 billion years that is the earlier-earliest stage on the solar system evolution. The twelve Martian meteorites are over 78kg in original weights.

Those Martian meteorites are temporary divided into following four groups of different rock types for their lithologies, bulk and mineral compositions, and ages. The rock types are for the dunite, Martian mantle, gabbro and orthopyroxenite respectively. Chassigny is the dunite type of ultramafic composition consisting most of magnesian olivine. ALH-77005 and Y-793605 is the Martian mantle type because their compositions are very similar to those of the Martian mantle[10]. ALH-77005 and Y-793605 consist mostly of olivine and pyroxenes with plagioclase, and LEW88516 will be included in the Martian mantle type. Other SNC meteorites excepted ALH84001 belong to the gabbro type of mafic composition consisting of pyroxene and plagioclase. QUE94201 may be the gabbroic type, but it is showing shallow facies. ALH84001 meteorite grouped the orthopyroxenite type is quite different from above three types for its oldest age and Mg-orthopyroxene monomineral.

Formation of the dunite, Martian mantle and gabbro type rocks are expected in some igneous activities closely with genetic relationship each others at more recent stage on the parent Mars. Therefore some possible process for their genesis will be considered in the fairly evolved Martian mantle. Dunite type rocks are expected a residuals from partial melting or cumulates in the original magma of Martian mantle composition[10] in the earliest magma stage. ALH-77005 and Y-793605 including LEW88516 might be directly crystallized as an olivine-pyroxenite from the original magma, and they show closely-related to the composition of the original magma. Gabbro type rocks seem to be originated from fairly fractionated magma, because this type rocks are high iron, aluminum and silica so that consist mainly of intermediate plagioclase(An_{50}) and iron pyroxenes with and without iron olivine. ALH84001 will be one of igneous crust produced by the earliest stage magmatism on the parent Mars. ALH84001 is very similar to the ordinary diogenites which composed almost Mg-orthopyroxene and seem to be a primitive crust of the parent bodies.

References: [1] Laul J. C., *et al.* (1986) GCA, 50, 902-926. [2] Yanai K. and Kojima H. (1995) Catalog of Antarctic Meteorites. [3] McSween H. Y., Jr. and Jarosewich E. (1983) GCA, 47, 1501-1514. [4] Warren P. H. and Kallemeyn G. (1996) Meteoritics & Planet. Sci. 31, 79-105. [5] Score R. and Lindstrom M. (1995) Antarctic Meteorite Newsletter 18-2, 20. [6] Wood C. A. and Ashwal L. D. (1981) LPS XII 1359-1375. [7] Graham A. *et al.* (1985) Catalogue of Meteorites. [8] Floran R. J. *et al.* (1978) GCA, 42, 1213-1229. [9] Jones J. H. (1986) GCA, 50 969-978. [10] Wanke H. and Dreibus G. (1988) Phil. Trans. R. Soc. Lond., A325, 545-557.

セッション 6 & 7

10月4日（金）午前

No. 601-605, 701-704

初期太陽系における磁場と小天体の相互作用
 Interaction between a Small Body and the Magnetic Field
 in the Early Solar System

斉藤智子 水谷仁 (宇宙研)
 Tomoko Saito Hitoshi Mizutani (ISAS)

It is assumed that eddy current is induced in a small body by the interaction between an intense magnetic field of T Tauri premieval sun and the fast spin of the body. By this mechanizm, the rotational energy is changed into local temperature increment from joule heating. We investigate numerically the heating and the evolution of rotation of the body. The ratio of the time scales of rotational evolution and heat conduction determines the efficiency of heating of the body.

太陽進化の初期には、Tタウリ期とよばれる非常に活動が盛んな時期が $10^6 \sim 10^7$ 年続き、このとき、太陽からの距離 $R = 1 \sim 3$ AU 付近の天体は、 $1 \sim 10$ gauss ($1 \text{ gauss} = 10^{-4} \text{ T}$) の強い磁場にさらされていたと考えられる。本研究では、強磁場中で天体が自転をする場合に起こる相互作用を考え、半径 1000 km 以下の小天体について、加熱と自転進化に影響を与える新しいメカニズムを提案した。ここでは、相互作用のひとつである、渦電流の誘起について行った数値計算の結果を紹介する。

初期太陽磁場から小天体を受ける影響を考えるに際して、様々なパラメータ、特に、未分化の小天体の物性パラメータが、あまりよく決まっていないことが大きな問題である。ここでは、距離 R での磁場、天体の比熱・熱伝導率・熱拡散率・密度に一定値を用い、電気伝導度のみ、温度依存性を考えて計算を行った。

加熱について 半径 1000 km 以下の小天体は、多くの隕石の母天体となった可能性がある。この分化を説明するために、重力エネルギーの解放・ Al^{26} ・Tタウリ期の電磁誘導などのメカニズムが提案されてきたが、いずれも決め手がない。本メカニズムでは、渦電流が生じることによって、天体がもっていた回転エネルギーがジュール熱に変換される。このため、熱伝導と回転減衰のタイムスケールの比によって、系の加熱効率が決まる。熱伝導があまりきかないうちに回転が大きく減衰すると、回転エネルギーの損失分が効率よく熱に変換されて、天体の表面近くが局所的に加熱される。

自転進化について 磁場から $\sigma B^2 / \rho$ (σ : 電気伝導度 B : 磁場 ρ : 密度) に比例するトルクを受け、自転速度が指数関数的に減少する。この効果は、天体のサイズによらない。

以上のような渦電流のメカニズムが最大にはたらく場合について考察した。

天王星楕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）、

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 periapse of a particle which orbits around Uranus moves due to the oblateness of Uranus. Because precession rate depends on a semimajor axis of each particle, inner and outer edges of the ring with some km width have different precession rates. 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.

天王星には楕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、リング粒子の軌道の近点が動くことがわかっている。その移動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く。そのため、短期間でリング粒子の近点経度がバラバラになって、楕円形状が崩れるはずである。そこで現在まで楕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、楕円軌道を持つ羊飼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、羊飼衛星によって楕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。現在までに、羊飼衛星とリング粒子の間隔を表す初期パラメータ b を詳細にふって ($b = 3 \sim 20$ 重力半径を 1700 通り) 軌道計算したことにより、これまではっきりしていなかった近点経度がそろった領域がはっきりと区分することができるようになったので、その結果を報告する。

暴走成長のシステムサイズ依存性

○中村良介（神戸大・総合情報処理センター）、酒井辰也（神戸大・自然）

System size dependence of the onset of runaway growth

○R. Nakamura¹⁾ and T. Sakai²⁾

1) *Information Processing Center, Kobe University*

2) *The Graduate School of Science and Technology, Kobe University*

Using a scaling theory of coagulation processes, we show that runaway growth starts in a protoplanetary disk when the dust size exceeds the mean free path of gas molecules. Further, time development of Master equation is investigated by a rigorous Monte Carlo algorithm developed by Gillespie. It is found that the onset of runaway growth depends on the system size explicitly.

惑星形成過程において、暴走成長は重要な役割を果たすことが知られている。スケール理論に基づいた統計力学の手法によって、成長方程式の振る舞いを解析的に調べた。その結果、原始惑星系円盤においてダストの大きさがガスの平均自由行程を越え抵抗則がストークス則になると、暴走成長が起こることがわかった。さらに、マスター方程式の時間発展をモンテカルロ法によってシミュレートすることで、暴走成長の開始時間が考慮している系の大きさによって異なることが明らかになった。

原始惑星の寡占的成長 II

Oligarchic Growth of Protoplanets II

小久保英一郎 (東大教養) ・ 井田茂 (東工大理)

Eiichiro Kokubo (University of Tokyo)

Shigeru Ida (Tokyo Institute of Technology)

We investigate the growth of protoplanets after the runaway growth stage using N -body simulations. The growth of protoplanets slows down when protoplanets grow large enough to affect the spatial and velocity distribution of neighbor planetesimals. It is an open question how protoplanets grow after the initial rapid runaway growth where they interact with one another and, as a result, what kind of a system the planetesimal system would be in the post-runaway stage. We find that among protoplanets, larger ones grow more slowly than smaller ones, while the growth of protoplanets is still faster than that of planetesimals. As a result, in the post-runaway stage, protoplanets with the same order mass grow oligarchically, while most planetesimals remain small. Protoplanets are located at roughly constant radial intervals. We explain how this self-organized protoplanet-planetesimal system forms.

微惑星の集積成長は、全ての微惑星で同じように進むのではなく、質量の大きな微惑星ほど速く進む、すなわち暴走的成長になるということが知られている。しかし、原始惑星 (暴走成長微惑星) の成長はある程度成長すると周囲の微惑星の速度分布と空間分布に影響するために減速してしまう。暴走成長の減速以降、原始惑星は原始惑星どうし相互作用しながらどのように成長を続け、その結果、微惑星系はどのような系になっていくかはわかっていない。我々は N 体シミュレーションを用いて暴走成長期以降の惑星集積過程を調べている。その結果、暴走成長期以降の惑星集積過程では小数の原始惑星が寡占的に成長することがわかった。系の質量分布は原始惑星と微惑星に 2 極化する。原始惑星間の質量比は増加せず、局所的には同質量程度の原始惑星が形成される。原始惑星の軌道間隔はほぼ等間隔 (それぞれの Hill 半径で計って) である。本講演では、原始惑星の寡占的成長はどのように進むのか、なぜそうなるかを調べた結果を報告する。

原始惑星の動径方向の移動と暴走成長

Acceleration of Runaway Growth due to the Radial Migration of Protoplanets

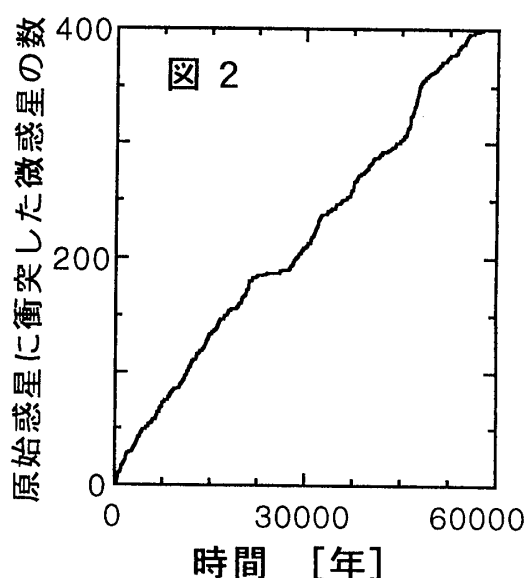
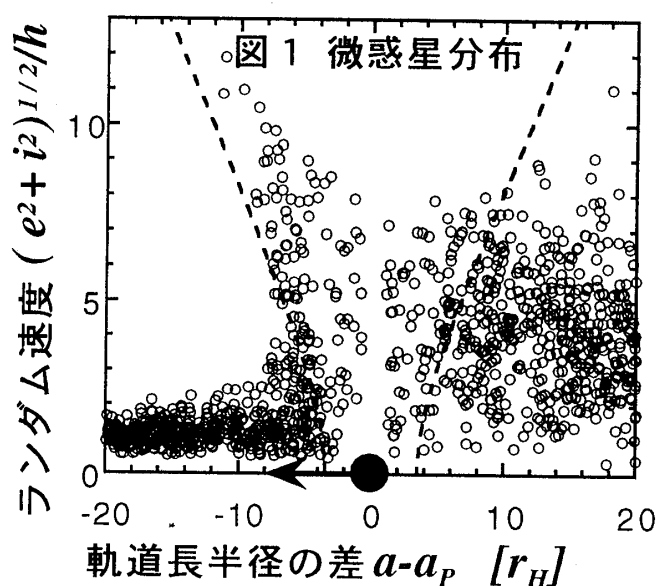
田中秀和 (東工大・理)

Hidekazu Tanaka

Faculty of Science, Tokyo Institute of Technology

Ward et al. (1985) showed that a protoplanet heavier than Moon rapidly migrate in the radial direction due to the tidal interaction with the solar nebula. We investigated the accretion rate of a migrating protoplanet, directly calculating the orbital evolution of 2000 planetesimals around a migrating protoplanet. Our results showed that the rapid migration of a protoplanet can enhance the accretion rate by the factor 20. This enhancement is due to supply of planetesimals with low random velocity to the migrating protoplanet. The obtained high accretion rate enables protoplanets to grow before their migration to the sun.

原始惑星が成長し月質量を超えると、ガス円盤との潮汐相互作用によって原始惑星は動径方向に非常に速く移動することが、Ward ら(1985)によって指摘されている。本研究では、移動する原始惑星のまわりにおける2000体の微惑星の軌道計算を通して微惑星の原始惑星への集積率を求めることにより、この移動が原始惑星の成長にどのような影響を与えるかを調べた。数値計算の結果、原始惑星の移動速度がある値より速い場合原始惑星への集積率は20倍以上上昇することが明らかになった。この上昇は、原始惑星の移動によって、そのまわりにランダム速度の小さい微惑星が常に供給されることによるものである。従来の集積率を用いると、原始惑星は成長するより速く太陽に落ちていってしまうという結果であった。本研究で得られた原始惑星の移動による集積率の大幅な上昇は、この問題を解決するものである。



地球核中の水素存在度と初期地球の融解度

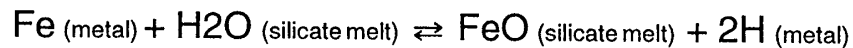
Hydrogen in the core and melting scale of the primordial Earth

奥地拓生(東工大・理)

Silicate-metal partitioning of hydrogen was thermodynamically studied using experimental results at 7.5 GPa.

初期地球内部の高圧下では、金属鉄とH₂Oが反応して大量の水素が鉄に溶解する。反応生成物である鉄水素化物融体は1気圧下に取り出すことができず、その場観察法も使えないことから、その水素定量法は全く存在しなかった。本研究では7.5GPaの圧力下で含水シリケイトメルトと金属鉄を共存させる実験を行い、急冷後に圧力を急速解放することにより、水素気泡を鉄中に生じさせ、水素の定量を初めて実現した(昨年本学会で発表)。この手法を用いて取得した水素溶解量データを用いて、金属鉄・シリケイトメルト間の水素分配反応の熱力学解析を行った結果について報告する。

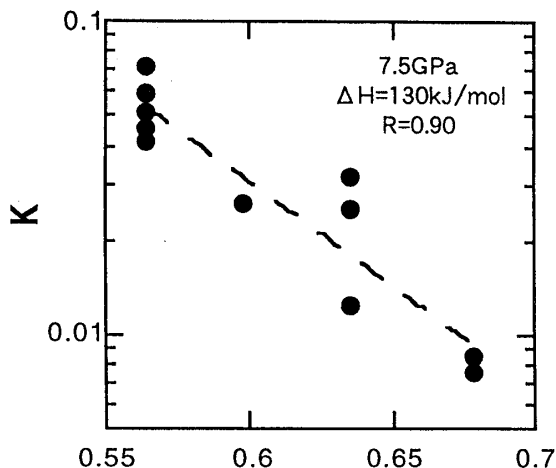
初期地球内部での平衡条件での鉄中水素溶解量は、下記反応によって決定される。



$$K = \frac{a_{\text{FeO}}^{\text{sm}} \cdot (a_{\text{H}}^{\text{m}})^2}{a_{\text{Fe}}^{\text{m}} \cdot a_{\text{H}_2\text{O}}^{\text{sm}}} \quad \ln K = -\frac{\Delta H}{RT} + \frac{\Delta S}{R}$$

実験によって得られた金属鉄・シリケイトメルトの化学組成と、各成分のactivityを定義するための適当なモデルを用いて各温度での平衡定数Kを求め、1/Tに対してプロットした直線の傾きから、上記反応の反応熱を得ることができる(図)。この反応熱をもとに平衡定数を高温側に外挿し、鉄への水素溶解度を計算した結果を下に示す。

シリケイトソリダス付近の温度では、シリケイトの融解度が低くa_{H2O}が大きいため平衡は右に移動し、水素は金属鉄に選択的に分配される。シリケイトトリキダス以上の温度ではa_{H2O}が小さくなるため、吸熱反応であるにも関わらず平衡は左に移動し、水素はシリケイトメルトに選択的に分配される。



T(°C)	silicate	a _{FeO}	a _{H2O}	H/Fe	$\frac{H_{\text{core}}}{H_{\text{total}}}$
1200	partial melt	0.12	0.22	0.31	80%
1500	partial melt	0.14	0.11	0.16	40%
2000	total melt	0.05	0.04	0.04	10%
2500	total melt	0.05	0.03	0.08	20%

集積期の地球の熱史と水素・炭素の分配

The thermal history and partitioning of H and C during accretion of the Earth

° 千秋博紀・松井孝典 (東京大学理学系研究科)

倉本圭 (東京大学気候システムセンター)

° Hiroki Senshu・Takafumi Matsui (Dept. of Earth and Planet. Phys., Univ. of Tokyo)

Kiyoshi Kuramoto (Center of Climate System Research, Univ. of Tokyo)

New numerical model is developed in order to simulate the thermal history and partitioning of H and C among atmosphere, mantle, and core during accretion of the Earth. This model takes into account the following partitioning processes: impact degassing, metal/silicate partitioning under high pressure and temperature, dissolution equilibrium of gaseous species between the proto-atmosphere and magma ocean. The numerical results suggest that the size distribution of planetesimals is a key factor controlling the final distribution of H and C among the volatile-reservoirs. The high H/C ratio observed for the present silicate Earth (hydrosphere, crust plus mantle) can be reproduced when large planetesimals supply a large portion of the volatiles.

はじめに

集積期の地球において、微惑星に含まれる H と C が、大気・マントル・コアへどのように分配されるのかを明らかにするために、熱史を考慮した地球の集積過程のシミュレーションを行なった。

H と C の分配は衝突する微惑星のサイズに依存すると考えられる。そこで今回は微惑星のサイズ分布の違いが、実際にどのような効果を持つのか詳しく調べた。

モデル

熱史を考慮した簡単な 3 box model (大気・マントル・コア) を用いる。微惑星衝突時の H と C の各リザーバーへの分配は、衝突の条件に依存するものとする。

微惑星のサイズは大小の 2 種類を仮定する。大きな微惑星が衝突する際には、H や C は惑星深部まで埋め込まれ、高圧下で熔融シリケイトと熔融金属との間での分配を受けるとする (Kuramoto and Matsui 1996)。それに対し微惑星が小さい場合には H や C は埋め込まれずに、まず大気へ分配されるとする。

微惑星の組成は Wänke (1981) に、質量集積率は Safronov (1972) に、それぞれ従った。

熱史の計算には、大気の保温効果を考慮する。大気は灰色・平行、断熱構造を仮定し、光学的厚さはその組成を考慮して求める。地表温度が岩石のソリダスを越えるとマグマオーシャンが形成され、大気との間で水蒸気の溶解平衡が成り立つものとする (Matsui and Abe 1986)。またマントル中の H と C は、それ以後の微惑星の衝突によって再分配を受けるものとする。

結果

「大きな」微惑星の惑星全体の質量に占める割合が大きいほど、シリケイト地球 (地球からコアを除いた部分: 大気+マントル) の最終的な H/C 比は大きくなる。これは高圧下での分配が生じる時、H に比べて C のほうがより優先的に熔融金属の中へ溶け込み、コアへと分配されるためである。

現在のシリケイト地球の H/C 比は、材料物質と考えられている隕石のそれに比べて大きいと推定されている (Kuramoto and Matsui 1996)。以上の結果は「大きな」微惑星の衝突によって高圧下における熔融シリケイト-金属鉄間の分配が集積期の揮発性物質の分配に主要な役割を果たしたことを示唆する。

地球初期の大気・マンツルの酸化状態の進化

倉本 圭

東大・気候センター

Evolution of the redox state of the early Earth's atmosphere and mantle

Kiyoshi Kuramoto

CCSR, Univ. of Tokyo

Subsequent to core formation, the earth's atmosphere and mantle should experience change in redox state: from a reduced state allowing coexistence of Fe-rich metal to more oxidized state where the atmosphere and mantle have H_2O - CO_2 -rich and Fe_2O_3 bearing compositions, respectively. Such oxidation may be an inevitable consequence of the partitioning of H_2O into the mantle during core formation.

地球の大気とマンツルは、少なくとも2度の酸化状態の変化を経験した。地球史の後半での変化は生物活動による。即ち光合成により、大気に自由酸素が蓄積した。地球史のより初期の変化は、コア形成期における還元的な酸化状態—Feに富む金属相が安定に共存できる—から、 H_2O - CO_2 が安定に存在する状態への変化である。これは海洋の化学的安定性や、生命の起源などに関わる重要な問題だが、その過程は良く分かっていない。

最近我々は、熱力学計算に基づきコア形成期に H_2O がマンツルへ選択的に分配され得ることを示した。このようにマンツルが‘初期に湿っている’と、還元的な条件から出発して、酸化的な条件への進化は必然的に進む可能性がある。即ちマンツルからの脱ガス時に、 H_2O の一部が FeO を還元剤として H_2 へ還元される。マンツルには Fe_2O_3 成分が蓄積するが、これはマンツルの酸化に他ならない。大気中の H_2 は宇宙空間へ選択的に散逸する。そのため大気は H_2O - CO_2 を主とする組成へと進化する。

講演では、現在の表層・マンツル系での H_2O ・親鉄性元素存在度を制約条件として、上記のシナリオの妥当性について検討する。また、その初期地球の表層環境の進化に対する意義について述べる。

地球の窒素・アルゴン分布と分配過程—最新の分配データを用いた考察

A study on the distribution of nitrogen and argon in the Earth based on the latest data on the Partition Coefficients

○ 宮崎 明子・比屋根 肇・杉浦 直治 (東大理)

○ A. Miyazaki, H. Hiyagon and N. Sugiura (Univ. of Tokyo)

There is more than two orders of magnitude difference in the $N_2/^{36}Ar$ ratio between the atmosphere (10^4) and the mantle ($> 10^6$). Such a difference couldn't be caused by the equilibrium distribution of nitrogen and argon between these two reservoirs even under a reducing condition in the early history of the Earth, because our experiments show that nitrogen solubility in silicate melt is essentially constant and comparable to that of argon for $fO_2 \geq IW-2$ (Miyazaki et al., 1996). Hence, 'imperfect core formation model' is preferred; metallic iron remaining in the mantle after the core formation could contain a substantial amount of nitrogen resulting in efficient fractionation of nitrogen from argon.

地球大気の $N_2/^{36}Ar$ 比は 10^4 、マンタルの $N_2/^{36}Ar$ 比は海嶺玄武岩ガラス中の N_2 、 Ar 分析から 10^6 以上であると推定されている (Marty, 1995, Miyazaki et al., 1996)。大気はそのほとんどが地球内部から脱ガスして来たとすると、この $N_2/^{36}Ar$ 比の 100 倍以上の違いはどこでどのようにして生じたのだろうか？

この違いは、Marty et al. (1996) が主張するように、地球史初期の頃のような比較的還元的な環境における窒素とアルゴンの熔融マンタルへの溶解過程では説明し得ない。なぜなら、 $fO_2 \geq IW-2$ の酸素分圧条件では窒素 (N_2) と希ガスの玄武岩メルトへの溶解度は温度にも酸素分圧にもほとんど依存せず、窒素/アルゴンの溶解度比はほぼ一定であるという実験結果を私達が示したからである (宮崎他, 1996 年合同大会)。

少なくとも火成作用による平衡分配で大気とマンタルの $N_2/^{36}Ar$ 比を分別させることは不可能である。なぜなら、窒素とアルゴンの固相-液相分配比が同程度であること (Hiyagon and Hirose, 1994) から、熔融マンタルの固化で $N_2/^{36}Ar$ 比が変化するとは考えにくく、またアンモニアが存在したとしてもその溶解度は考えうる fO_2 条件では小さいと推定されるからである。

私達は、「不完全な核形成モデル」が今のところいちばん有力な候補だと考えている。核へ沈降し損ねた金属鉄が窒素とアルゴンを分別吸収したままマンタルに残り、後の酸化に伴い、徐にそれらをマンタル中に放出するというモデルである。

希ガスは金属鉄にはほとんど分配されないことが Matsuda et al. (1993) で報告されている。一方、窒素のシリケイト-鉄メルト分配係数は酸素分圧が $fO_2 = IW$ での私達の窒素のシリケイトメルトへの溶解度のデータと既存の鉄メルトへの窒素の溶解度のデータから、気相、シリケイトメルト相、鉄メルト相の三相共存系における分配比として決めることができる。その結果、窒素は鉄メルトにシリケイトの 100-10000 倍濃集し、シリケイト-鉄メルト分配は窒素/アルゴン比を変化させる有効な過程であることがわかる。

ポスターセッション 2

10月4日(金)

午前(口頭), 午後(ポスター)

No. P21-P29

P21

火星マルチローブタイプ Rampart Crater の ejecta fluidization - Yuty Crater を例にとって -

° 出村裕英, 栗田敬 (東大・理・地惑)

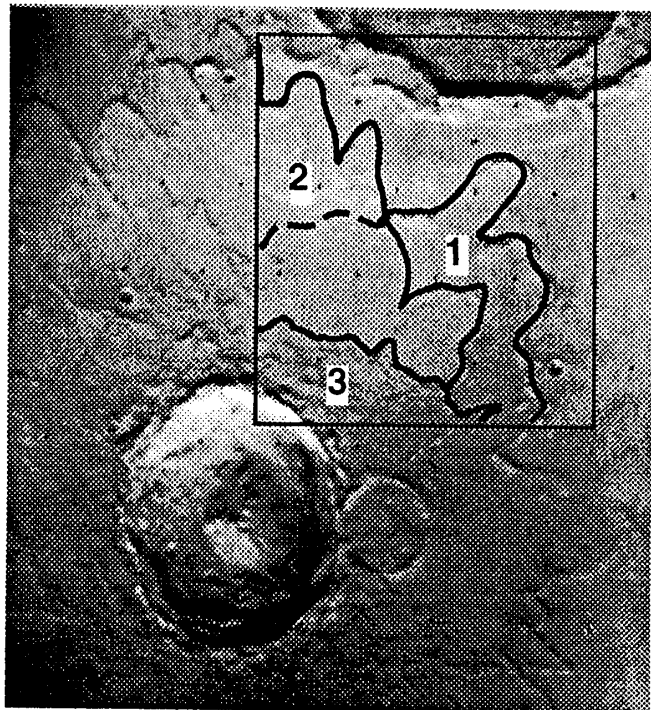
Ejecta fluidization of a multilobate rampart crater on Mars.

- A case of Yuty crater -

° Hirohide DEMURA and Kei KURITA (Dept. Earth and Planet. Physics, Univ. of Tokyo)

Martian rampart craters are peculiar ones which are different from ordinary craters on the Moon and Venusian fluidized craters. As to the origin of rampart craters, two mechanisms have been proposed; volatile effect and atmospheric effect. We consider that existence of multilobate rampart craters has a key of its formation. We report detailed distribution of multilobes based on the Viking images.

火星ランパートクレーターは月・金星などのクレーターと異なり、流動化した ejecta と末端嶺を持っている。また、流動化した ejecta が重なりあう場合 (右) もある。その火星特有の成因として、地下の揮発成分が関与しているとする説と、大気の効果説の2つが提案されている。本研究はいずれのメカニズムが正しいのか、地形から制約を課すことを目的とし、multi-lobe type の代表とされる Yuty Crater に着目した。fluidized ejecta の堆積順序と末端嶺の形態 (波数)、お互いの重なり方を調べることで、それらが大気の巻き込みによってできうるものか判断できる。また末端嶺の高さからは、ejecta が火砕流的な gas-supported flow だったのか、あるいは土石流的なものだったのかの手がかりが得られる。本ポスターでは、それらについて検討した結果を報告する。



Yuty crater (a stereographic pair: 3A07& 3A08),
location of crater center: 22.21°N, 33.99°W,
crater diameter: 18.7km,
numbers: order of deposition.

大気擾乱による固体惑星の振動

Oscillations of Solid Planets Excited by Atmospheric Random Motions.

小林直樹 (東京工業大学地球惑星科学科)

Naoki Kobayashi (Tokyo Institute of Technology)

Seismology is important to investigate into the interior structure of planets. I estimated amplitudes of oscillations of solid planets excited by temporal and spatial atmospheric random motions. The amplitudes are balanced between power induced by the random motion and dissipation of the elastic energy. Forcing by the atmospheric motions (pressure fluctuation) are determined using the Solar energy flux, pressure scale height and considering time scale. The estimated amplitudes are order of 100 ngal which are detectable using recent accelerometers.

固体マントルの振動を効率良く励起するには、大気擾乱に(球面調和関数 Y_l^m で表現される)振動の空間的パターン及び固有周波数成分が含まれていなければならない。しかし、同じ波長で比べた場合、大気運動の平均的な速度や波動の伝搬速度は固体のそれに比べて遅いため励起効率が悪い。そこで、大気の scale height (H_P) より長い波長の振動を考え、 H_P 以下の擾乱を空間的、時間的に乱雑な定常的な振動源として固体振動の振幅を見積もった。

振動数 ω の振幅は、大気擾乱によって固体に注入される power と非弾性による弾性エネルギーの減衰率が釣り合う定常状態として求められる。

$$\langle x \rangle \sim \frac{Q \langle f \rangle}{M \omega^2} \quad (1)$$

ここで、 Q は quality factor, M は振動の有効質量 ($4\pi R^2 \lambda \rho$) である。 $\langle f \rangle$ は入力で、圧力擾乱の(波長 λ , 角振動数 ω の成分) 振幅 $\langle \delta P \rangle$ を用いて $4\pi R^2 \langle \delta P \rangle$ で与えられる。

特殊な地熱地帯を除き大気運動のエネルギー源は太陽光であると考えて差し支えない。入射エネルギー流束 S , 大気の H_P と今考えている時間尺度 ($2\pi/\omega$) を使って、局所的な圧力変動を次式のように与える。

$$\delta P \sim \frac{2\pi S}{H_P \omega} \quad (2)$$

この程度の圧力変動が至るところで乱雑に起こっていると仮定する。

(2) 式を (1) 式に代入することで、振動振幅 $\langle x \rangle$ を求めることができる。

$$\langle x \rangle \sim \alpha \frac{Q S}{c \rho H_P \omega^2} \sim 3 \times 10^{-5} \text{ [m]} \quad (3)$$

ここで典型的な値として、 $Q = 200$, $S = 10^3$ [W/m²], 表面波位相速度 $c = 5 \times 10^3$ [m/s], $\rho = 4 \times 10^3$ [kg/m³], $H_P = 10^4$ [m], $\omega = 6 \times 10^{-3}$ 及び一様ノイズを Y_l^m で展開した場合の振幅因子 $\alpha = 10^{-3}$ を選んだ。これは加速度に勘算すれば、100 ngal 程度の振幅である。この値は地球上で 1 mbar の圧力変化(大気の質量変化)による重力加速度変動量と同程度の大きさである。これは近年の重力加速度計で十分観測可能な振幅である。

PLANET-Bによる火星の砂嵐の観測

○ 吉田浩之 (神戸大・自然)、Anthony D. Toigo (神戸大・自然)
向井 正 (神戸大・理)

Martian Dust Storm Observation by PLANET-B

○ H.Yoshida ⁽¹⁾, Anthony D. Toigo ⁽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 an instrument to take various images on Mars and its satellites.

The phenomenon of dust storms is one of our targets observed by MIC. There are still many unknown things about dust storms, so it is important to take their pictures. The great dust storms typically originate in any of several typical areas in southern temperate zone, such as Hellespontus, Isidis Planitia/Syrtis Major and Claritas Fossae/Solis Planum.

In this study, we searched for the date, when MIC can detect these regions, and the spatial resolutions, by taking into account a view direction of MIC and the planned orbit of PLANET-B.

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り、PLANET-Bには可視画像撮影用CCDカメラMIC(Mars Imaging Camera)が搭載されている。

現在MICの観測対象として様々なものが挙げられており、砂嵐(Dust Storm)もその一つである。今までに火星の砂嵐について多くの研究がなされているが、発生機構等まだ解明されていないことも多い。そのためMICによる砂嵐の撮影は大変重要であると考えられる。砂嵐はある特定の地域、季節に発生しやすい傾向があり、過去の観測から特にヘラス盆地の北西地域、クラルス水路の南西地域、イシデイス平原等がglobal dust stormとよばれる大砂嵐の発生地点としてよく知られている。これらの地域で砂嵐が発生した場合、効率的な撮影をするには事前にPLANET-Bの軌道とMICの視野方向を計算しておくことが重要である。

そこで今回は、今年の7月に宇宙科学研究所から発表されたPLANET-Bの予想軌道を使ってMICの視野を考慮し、大砂嵐の発生地域として知られているこれらの3地域が、いつどれくらいの分解能で撮影可能かを調べた。

Jovian dust streams について

○岩崎杉紀（神戸大・自然）、向井正（神戸大・理）

Jovian dust streams

○S.Iwasaki¹⁾, T.Mukai²⁾

1)The Graduate School of Science and Technology, Kobe University

2)Dept.of Earth and Planetary Sci., Kobe University

The origin of Jovian dust streams found by the Ulysses spacecraft, was considered as (I) remaining dust fragments from SL9, (II) gossamer ring of Jupiter and (III) ejecta from Io. Recently, (I) was neglected by new detection of dust streams by the Galileo spacecraft, and (II) or (III) are likely.

We propose the mechanism to produce such dust streams. Namely, the electric field occurred near neutral magnetic sheet of Jovian magnetosphere may accelerate the the charged dust grains trapped inside the magnetosphere, and result in the ejecta. Our simulation will be compared with observed evidence.

惑星探査機Ulyssesによって発見されたJovian dust streams（下表）の起源については、(I) S L 9 破片、(II) 木星のgossamer ring、(III) Ioからの放出物の3つが提唱された。その後の惑星探査機Galileoによる測定は (I) の可能性を否定した。現在のところ (II) か (III) と考えられている。

ここでは、磁気中性面に生ずる電場によるdustの加速を考えた。これによって放出されるdust streamsをモデル計算し、測定結果と比較する。

木星からの距離(R_J)	前回の stream からの期間 (d)	衝突持続期間 (d)	衝突した dust数(回)	木星からの距離(R_J)	前回の stream からの期間 (d)	衝突持続期間 (d)	衝突した dust数(回)
995		0.20	3	2160	38	5	18
562	27	0.25	4	1800	55	21	~1000
553	64	1.04	124	1600	32	12	26
1025	28	1.81	7	1340	39	40	145
1480	27	0.83	4	755	24	80	~4000
1980	31	0.68	4	220	70	20	5000

表 (左)Ulyssesと(右)Galileo (一部) の、特徴的な衝突事象。

大氷衛星の内部進化

Changes of Internal Structure of Large Icy Satellites

○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)

Ganymede, the largest icy satellite of Jupiter, has the linear features on the surface, called "groove". Which was already revealed by Voyager's missions. The surface features are interpreted to be indicative of extensional stresses generated by global expansion of the satellite. But the origin of the global expansion has not been clarified yet. Here we examine again the thermal evolution of the satellite, particularly we investigate variable effects of radiogenic heat sources contained in the silicate core. Development of the internal structure coupled with the thermal evolution gives clues to the origin of surface features.

木星衛星のガニメデには、何らかの内的要因による地殻活動の形跡が、その表面に存在することが、ボイジャーの外惑星探査により既によく知られている。また、その活動の応力源としては、過去、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が、この体積変化の要因がなんであるかは、今だ明らかにされていない。

ガニメデサイズの、巨大な氷衛星では、集積と同時に分化し、巨大な"内部海"が存在したと考えられている為、集積完了後の体積変化には、この"内部海"の固化が最も重要な寄与をする。しかし、この固化現象によるネットの体積変化は、そのサイズ故、密度の高い高圧氷が発生するため、収縮の傾向を示す。よって、固化現象による体積変化と、地表に観測されている、引張り力によって生じた地形を関連づけるには、"内部海"の固化による、衛星の内部構造の時間変化を、詳細に調べなくてはならない。

さらに、今回のガリレオミッションによって、ガニメデに関する新たな情報が、実に15年ぶりにもたらされつつある。

そこで、本研究では、シリケートコア中の放射性元素の存在量の許容幅と、それに伴う、コア内の温度上昇変化、"内部海"の寿命の変化に着目する。そして、大氷衛星の融解・固化を考慮した熱史の計算（1995年春合同大会）をさらに進歩させ、再び、詳細な、衛星の内部構造変化を計算する。その結果、どのような内部構造進化をたどれば、現在の観測事実に合うような衛星が得られるかを探究する。特に、シリケートコアの温度上昇の程度は、最近明らかにされたガニメデの磁場の存在を考える上で、重要な制約となるために、放射性元素の存在量とどのような関係にあるのかを述べる。

微惑星衝突による惑星表面組成の進化

The Evolution of Surface Chemical Composition Induced by the Impact of Planetesimals

戸田康史 (東大・理), 阿部 豊 (東大・理)

Yasufumi Toda, and Yutaka Abe

(Dept. of Earth and Planet. Phys., Univ. of Tokyo)

In the era of heavy bombardment, impact of planetesimals influenced mantle differentiation of the terrestrial planets in quantity (Toda and Abe, 1995). It is important to investigate chemical evolution of magma pond formed by impact to know the effect of the impact of planetesimals on mantle differentiation of the early terrestrial planets. We examined the surface chemical composition by the impact of planetesimals, as to both impact melting and excavation. By comparing our results with the remote sensing data of planetary surface, we can discuss the early evolution of surface chemical composition of the terrestrial planets.

地球型惑星は形成後も数億年間はheavy bombardment と呼ばれる頻繁な微惑星の衝突が起こっていたことが知られている。これまでの研究で、この微惑星の衝突が地球型惑星の初期数億年間のマントル分化に影響を与えた可能性が高いことが示されている(Toda and Abe, 1995)。しかしながら、衝突後惑星表面がどのような組成になるのかについてはまだ分かっていない。この微惑星衝突後の表層付近の化学組成を知ること、特にマントル対流のような惑星内部に起因する分化と組成がどのように違うのかを推定することは、地球型惑星の初期数億年間の分化を明らかにする上で非常に重要であるといえる。

本研究では、微惑星衝突後に表面がどのような組成になるのかをmelting, excavation のそれぞれについて検討した。melting に関しては過去の研究 (Toda and Abe, 1995)によって推定された微惑星衝突後の温度構造と岩石の熔融実験によって得られた組成のデータ (Takahashi et al., 1993)を利用して表面組成を推定する。微惑星が高速で衝突するとShock heating によりマグマポンドが形成される。このマグマポンドはほぼ半球状の全熔融層とその外側にある部分熔融層とからなる。ここでは、部分熔融層でできたメルトはすべて抜けて表面に出てくると仮定した。部分熔融状態のメルトの組成の圧力依存性は、Takahashi et al. の実験データを外挿することによって求めた。表面に出てくる組成の特徴は、いったん熔けたことによって周りとは比べてFeO rich になることに加えて、深いところから出てきたものはMgO成分に富むということがわかった。excavationに関しては、MaxwellのZ-model (Maxwell, 1977)を用いて推定する。このモデルは、微惑星の衝突後ある深さのものがどこまで遠くに飛ばされるのかが計算できるので、衝突する前の惑星の内部構造を仮定することによって表面に降り積もる岩石の組成が推定できる。発表では、得られた結果を月の表面組成データと比較し、微惑星の衝突が起こったときの表面組成の進化について議論する。

融解実験による原始惑星の核－マンツルの分離過程の推定

Inference of the core-mantle separation process from melting experiments

加藤 工, 寺崎英紀, 矢田士郎
(筑波大・地球科学系)

Takumi Kato, Hidenori Terasaki, Shiro Yada
(Geoscience Institute, University of Tsukuba)

Melting experiments on the primitive planetary materials (chondritic meteorite and synthetic equivalents) have been performed under confined pressures to clarify the internal differentiation process of the proto-planets. Coagulation of metallic iron and iron sulfide and their gravitational separation in the silicate matrix are believed to be a basic process of the core formation in the proto-planets. Accordingly our experimental studies are focused both on the chemical compositions of the metallic and silicate phases, and their geometrical distribution as a function of time and temperature. These results are applied to infer effect of the core-mantle separation at the proto-planet stage on the subsequent geochemical evolution of the terrestrial planets.

地球型惑星の化学進化において、最も大規模な分化は、形成時に生じた中心核の形成すなわち金属メルトと硅酸塩の重力分離である。この過程は、集積時に惑星がある程度の大きさを超えて内部の温度が十分高くなった後に効果的に働いたと考えられている。しかし、隕石母天体に想定されているように、微惑星から原始惑星の段階においても、金属メルトの発生と濃集が起きていたことが期待される。その場合、中心核の形成時間スケールや化学組成は、それ以前に規定された原始惑星中の金属メルトの分布と硅酸塩との元素分配の影響を受けるはずである。

本研究は、封圧下でのコンドライト隕石および合成試料に対する融解実験で得られる金属メルト相分布の進化と元素分配関係に基づき、原始惑星段階での核－マンツルの分離過程の推定を目的とする。温度、差応力、金属と硅酸塩の量比を実験パラメーターとして、検討する。また、これらの結果から、地球型惑星の中心核に関しても考察を行う。

SIMS による隕石中の酸素同位体比のスポット分析 *In situ* spot analysis of oxygen isotopic ratios in meteorites using SIMS

比屋根肇 (東大・理)

Hajime Hiyagon (Dept. Earth Planet. Phys., Univ. Tokyo)

A secondary ion mass spectrometer (SIMS) CAMECA ims-6f was used for *in situ* spot analyses of Fe/Mg ratios and oxygen isotopic compositions in olivine grains in Allende chondrules. San Carlos olivine and Burma spinel were used for oxygen isotope standards. The results of ~40 minutes analyses were reproducible within $\pm 3\%$ (1σ) for $^{17}\text{O}/^{16}\text{O}$ and $\pm 2\%$ (1σ) for $^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$. Preliminary results for an Allende chondrule show that there are two different oxygen isotope signatures even within a single chondrule: one has relatively ^{16}O -rich composition ($\delta^{17}\text{O} = -14$ to -4% and $\delta^{18}\text{O} = -10$ to -5%) and the other has relatively ^{16}O -poor composition ($\delta^{17}\text{O} = -6$ to -1% and $\delta^{18}\text{O} = \sim 0\%$). These signatures seem to be established after the formation of this chondrule.

昨年東大に設置された二次イオン質量分析計 (SIMS, ims-6f) を用いて Allende 隕石のコンドルールに含まれるオリビン結晶の酸素同位体比および Fe/Mg 比のスポット分析を試みた。一次イオンとしては Cs^+ 、チャージアップを防ぐために電子銃を用い、質量分解能 5000 で測定をおこなった。酸素同位体のスタンダードとしては、サンカルロス産のオリビンとビルマ産のスピネルをもちいている。現在、酸素同位体比の再現性は約 40 分の測定で $^{17}\text{O}/^{16}\text{O}$ 、 $^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$ がそれぞれ $\pm 3\%$ 、 $\pm 2\%$ (1σ) の程度である。SIMS を用いてほぼ同様の条件で Fe/Mg 比などの分析も試みた。さまざまな組成のオリビン結晶に対して SIMS 分析をおこない、それを EPMA のデータと比較しキャリブレーションをおこなった。応用の第一歩として Allende 隕石中のひとつのコンドルールについて分析をおこなったところ、酸素同位体組成にふたつの異なる成分が存在することがわかった。ひとつは相対的に ^{16}O の多い成分 ($\delta^{17}\text{O}$ が -14% から -4% 程度、 $\delta^{18}\text{O}$ が -10% から -5% 程度)、もうひとつは ^{16}O の少ない成分 ($\delta^{17}\text{O}$ が -6% から -1% 程度、 $\delta^{18}\text{O}$ が 0% 程度) である。ひとつのオリビン結晶にこれらふたつの成分が混在していることから、おそらくこれらの酸素同位体比の特徴はコンドルール形成後につくられたと思われる。しかし現段階ではそのメカニズムまでは不明である。

Carbon and nitrogen in iron meteorites

杉浦直治 (東大・理)

Naoji Sugiura (Faculty of Sci., Univ. of Tokyo)

Distributions, concentrations and isotopic compositions of carbon and nitrogen in iron meteorites were measured. The major carrier of C and N is taenite. In taenite, the highest C concentration is about 500 ppm, while the highest N concentration exceeds 3000 ppm. There are two types of distributions of C and N. In the first type, C and N are enriched in the rim of taenite, while in the second type they are enriched in the center of taenite. Carbon isotopic anomaly of nearly -90 permil was observed in a IIICD iron meteorite.

鉄隕石中の炭素・窒素の分布、量、同位体比を二次イオン質量分析計によって測定した。テーナイトが炭素・窒素の主なキャリアーであり、炭素の濃度は最高で500 ppmぐらい、窒素の濃度は最高で3000 ppmを越えるものが見つかっている。テーナイト中の炭素・窒素の分布には2種類あり、炭素・窒素が縁に濃集しているものと、炭素・窒素が中央に濃集しているものがある。後者はニッケル濃度に勾配のある鉄ニッケル合金中の炭素・窒素の平衡分配によって説明されるが、前者の分布の説明は明らかではない。いくつかの鉄隕石中にはnitrideが見つかる。この場合はテーナイト中の窒素濃度は非常に高く、金属相が窒素に過飽和になってnitrideが形成されたことが解る。一方でテーナイト中の炭素濃度が高い時、多くの場合グラファイトあるいは炭化物が見つかるが、このような析出物が見つからない場合もあり、グラファイトあるいは炭化物の形成については未知の要因があるのかもしれない。

窒素同位体比の測定はテーナイトとnitrideについて可能である。結果はFranchi et al., 1993と矛盾しないものである。硫化物などに窒素同位体比の異常があることが報告されているが、今回の測定では確認できなかった。炭素同位体比の測定はテーナイト、グラファイト、炭化物、nitrideについて可能である。これらの鉱物の中で同位体比の分別がみられる。テーナイトだけのデータをみるとIIICD隕石に-87 permilの同位体比異常が見つかっており、IABとIIABの間にもわずかであるが違いがみられる。

セッション 8 & 9

10月4日（金）午後

No. 801-805, 901-904

星間塵の蒸発と元素の分別 Evaporation of interstellar dust and elemental fractionation

°永原裕子・小澤一仁 (東大・理)

°Hiroko Nagahara and Kazuhito Ozawa (Geol. Inst., Univ. Tokyo)

Evaporation of interstellar dust and subsequent fractionation of gas and residual dust determine the chemical composition of dusts that formed planets and small bodies. Degree of chemical fractionation depends on the maximum heating temperature and also on the heating rate when chemical equilibrium was not achieved. Because Mg and Si are the most abundant elements in stellar environments and forsterite is the most dominant Mg- and Si-bearing solid species, evaporation behavior of forsterite is simply regarded as the major process bearing planetary fractionation. Based on evaporation experiments in the system $\text{Mg}_2\text{SiO}_4\text{-H}_2$ including high temperature conditions where silicate melt is present, degree of Mg/Si fractionation in the solar nebula was considered.

Mg, Si, Fe は惑星を構成するもっとも主要な元素であり、惑星間の化学組成の違いはそれらの分別の程度に起因している。Mg と Si のもっとも主要なキャリアはフォルステライトであり、星間塵であるフォルステライトの蒸発が惑星の珪酸塩部分の化学組成を支配する。蒸発の程度を支配するのは加熱温度、系が平衡に到達しない場合は加熱速度と高温保持時間である。水素の存在する場合としない場合、および液相の存在する場合としない場合のフォルステライトの蒸発実験に基づき、太陽系におけるMg/Si 分別の程度を考察した。フォルステライトは広い条件下で一致蒸発するため、フォルステライトが固相としてのみ存在している場合は元素の分別はおこらない。他の元素が存在する場合は結晶表面がミクロに融解し、その場合はSiが選択的に蒸発するため、蒸発残渣はMgに富み、顕著な分別がおこる。蒸発時には液相不安定領域でも固体内部で融解がおこり、分別を可能とする。この結果、Mg/Si分別のおこる領域とおこらない領域が不連続となる。

原始太陽系星雲での Fe, FeSダストの蒸発について

橘 省吾・土山 明（阪大理）・渡邊誠一郎（名大理）

隕石母天体や惑星のできる以前の原始太陽系星雲は、中心星（原始太陽）の周りに乱流状態の原始惑星系円盤が存在していたと考えられる。原始惑星系円盤にはガスやダストが降り積もり、それらは中心星に向かって落下していく。中心星に近づくにつれ円盤の温度は上昇し、ダストは蒸発を始める。ダストの蒸発により固相-気相間で元素分別が起こる可能性がある。中心星からの距離の違いによる原始太陽系星雲中での元素分別に関しては、Lewis[1]が、平衡凝縮モデルをCameron[2]の原始惑星系円盤力学モデルを用いて議論している。しかし、原始惑星系円盤の力学モデルも最近のモデルとはかなり異なっており、また、非平衡な系、すなわち反応のカイネティクスを考えた議論はおこなわれていない。

今回は、最新の原始惑星系円盤の力学モデルを用い、蒸発反応のカイネティクスを考慮に入れて数値計算をおこない、原始太陽系星雲内でのFe-S系での元素分別について議論する。蒸発反応のカイネティクスについては、これまで報告されている鉱物の蒸発実験のデータ（例えば、[3]）を参考にした。

原始惑星系円盤内のダストの面密度や円盤内の温度分布などの物理条件は、渡邊による原始惑星系円盤モデルに基づき決定した。ダストは成長しサイズが大きくなるとガスとの抵抗によって角運動量を失い、ガスより速く中心星へと落下していくが、sub-mmサイズのダストはほぼガスと同じ速度で中心星へと落下していく。今回の計算ではダストの成長の影響は考慮に入れず、sub-mmサイズのダストが円盤内のダストの大半を占め、それらの蒸発挙動が円盤内での元素分別に寄与すると仮定して計算をおこなった。

講演では、これらの計算および原始太陽系星雲内でのFe-S系での元素分別について、より詳細に議論する予定である。

[1] J.S.Lewis, *Earth Planet Sci.Lett.* **15**, 286-290, 1972.

[2] A.G.W.Cameron, *Meteorite Research*, ed. P.M.Millman, 1969.

[3] S.Tachibana *et al.*, *21th Symp. Antarct. Meteorites (abstract)*, 164-166, 1996.

Naの蒸発からみたコンドリュール生成条件の再検討

- Closed system evaporation の可能性

土山 明 (阪大・理)、関谷 実 (九大・理)

コンドリュール生成時の加熱により、コンドリュールからNaなどの揮発性元素が蒸発すると考えられる。一方実際のコンドリュールでは、Naの蒸発はほとんど認められず、コンドリュール生成時の加熱は瞬間的であったと一般には考えられている (flash heating, 例えば [1])。本研究では、Naの蒸発を系の閉鎖性から見直し、コンドリュール生成条件の再検討をおこなった。これにより、必ずしも flash heating でなくても、閉鎖系における蒸発 (closed system evaporation) により、コンドリュールで観測される斑晶のサイズ (加熱温度と関連) とNaの欠損の程度との関係[2]を説明できることがわかった。

まず最初に、原始太陽系星雲内での珪酸塩メルトからの Na_2O 成分の蒸発について、理論的な考察をおこない、蒸発には次の3つのモードがあることを明かにした。(1) 自由蒸発 (高温低圧条件)、(2) 原始太陽系星雲中の酸化還元状態 ($p(\text{H}_2\text{O})/p(\text{H}_2)$ 比) に支配された蒸発 (低温高圧条件)、(3) 星雲中の H_2 ガスとの反応による蒸発 ((1), (2) の中間的な条件)。 (1), (2) では蒸発速度は星雲の全圧には依らず温度のみの関数となるが、(3) では蒸発速度は全圧の1/3乗にほぼ比例することが予想される。従来の Na_2O の蒸発実験[3]をもとに、各蒸発モードの出現する温度-圧力条件と、それぞれの蒸発速度を推定した。一方、普通コンドライトや炭素質コンドライトに含まれるコンドリュール中のFe-Mg珪酸塩鉱物の化学組成は、solar abundance よりも酸化的な条件でそれらのコンドリュールが生成されたことを示している。このような酸化的な条件では、(2)の蒸発モードが支配的であることが予想される。

次に、コンドリュールの数密度、 N 、を系の閉鎖性を表すパラメータとしてとり ($N=0$ で系は開放系)、(2)の蒸発モードにおけるコンドリュール中の Na_2O 量、 M 、の蒸発による時間変化を求めた。いくつかの仮定により、 M は次式のように簡単に表すことができる; $M/M_0 = 1 - (1 - M_e/M_0)(1 - e^{-t/\tau})$ 。ここで、 M_0 と M_e はそれぞれ M の初期値と平衡値、 τ は平衡化過程における蒸発のタイムスケールである。 M_e と τ は、 N と蒸発速度の関数である。Hewins *et al.* [2] によって示されたコンドリュール中の斑晶のサイズ (加熱温度と関連) とNaの欠損の程度を説明するための条件は、open system evaporation では、 $N \leq 10^{-8} \text{ cm}^{-3}$, $t \approx 1 \text{ min}$ となり、flash heating が必要となる。しかしながら、closed system evaporation では、 $N \approx 10^{-4} - 10^{-5} \text{ cm}^{-3}$, $t \approx 1 - 10 \text{ min}$ となり、必ずしもflash heating を必要としないことがわかる。最近の同位体質量分別($\delta^{41}\text{K}$)の研究結果[4]も、closed system evaporation と調和的である。一方、closed system evaporation での N の値は大きく、コンドリュールの重力不安定[5]がおこる可能性が高い。いずれにせよ、従来の Na_2O の蒸発実験のみではデータは不完全であり、より定量精度の高い議論のためには、より精度の高い蒸発実験が今後必要である。

- [1] Yu *et al.* (1996) in "Chondrules and the protoplanetary disk", pp.213-219. [2] Hewins *et al.* (1996) *Antarctic Meteorites* **XXI**, 42-44. [3] Tsuchiyama *et al.* (1981) *G.C.A.*, **45**, 1357-1367. [4] Humayun and Clayton (1995), *G.C.A.*, **59**, 2131-2148. [5] Sekiya (1983) *Prog. Theor. Phys.*, **69**, 1116-1130.

MDを用いた氷表面での分子吸着シミュレーション

○増田耕一（神戸大・自然）、高橋順子（基礎化学研究所）

MD simulation for adhering molecules on icy surface

○K. Masuda¹⁾, J. Takahashi²⁾1) *The Graduate School of Science and Technology, Kobe University*2) *Institute for fundamental Chemistry*

In solar nebrae, it is known that the number of dust grains found from infrared observations is much more than that estimated from the amount of observed molecules. This is caused by a lot of the gas molecules which adhere on the dust grains.

In this study, we simulate the sticking probability for a hydrogen molecule onto the dust surface covered with amorphous icy water mantle. The result of this simulation is that the sticking probability is about unity.

It is concerned that the adhering atoms would be made eject to space by irradiation of cosmic ray. But we found that hydrogen molecules created from two hydrogen atoms on the dust surface can also take off by reaction heat.

原始太陽系星雲内において、赤外観測によって推測されるダストグレインの量は、気体分子の存在量から推定されるダストの量に比べて遥かに多く見積もられている。これは多くの気体分子がダスト表面上に付着しているためであると考えられている。ここでは、コンピューターによる分子動力学法 (Molecular Dynamics) を用いることによって、アモルファスの氷でできたマントルを持つ塵の表面上での水素原子の付着確率を調べた。その結果、付着確率はほとんど1であることが分かった。

付着した水素原子は宇宙線などの照射によって再び宇宙空間へ放出されることが考えられているが、ここではこれらの原子が表面上で反応を起こし、水素分子が生成され、その反応熱によって水素分子が宇宙空間に放出される過程についても、同様のMDシミュレーションを行なった。その結果、いくつかの水素分子が、反応熱によってうまく氷表面から放出されることが分かった。

太陽系星雲内のダストの最小エネルギー分布

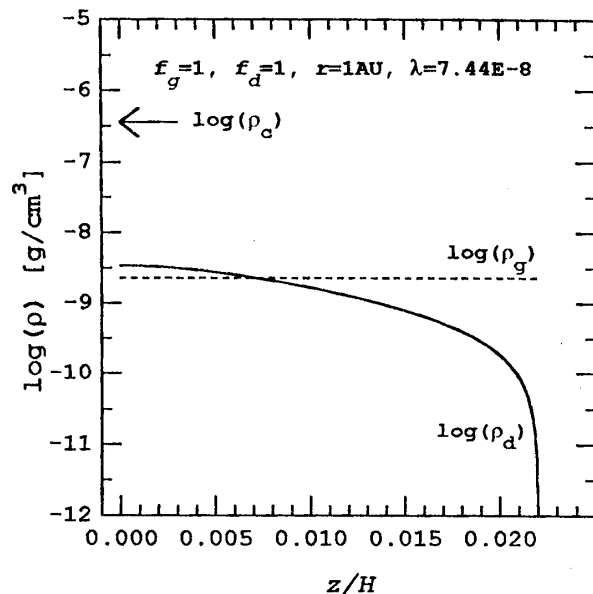
The Minimum Energy Distribution of Dust in the Solar Nebula

関谷実 (九大・理)

M. Sekiya (Faculty of Science, Kyushu University)

The minimum energy state of the vertical density distribution of dust in the solar nebula is derived. It is considered that the midplane dust density at the minimum energy state gives the upper limit of the dust density which could be attained in the solar nebula. This value is smaller than the critical density of the gravitational instability as far as the ratio of the surface density of dust to that of gas is smaller than about 10 times the solar composition dust to gas ratio where water condenses. Two alternative scenarios of planetesimal formation are proposed: Planetesimals were formed by (1) mutual sticking of dust aggregates, or by (2) gravitational instabilities when the nebula gas dissipated and the surface density of gas decreased and/or when surface density of dust became large due to radial transportation of dust.

太陽系星雲内のダストの鉛直分布の最小エネルギー状態を導いた。最小エネルギー状態での中心面での密度が太陽系星雲内で達成されるダスト密度の上限を与えると考えられる。ダストとガスの面密度比が水が凝結する領域での太陽組成でのダスト・ガス比の約10倍以下ならば、最小エネルギー状態での中心面でのダスト密度は重力不安定性の臨界密度よりも小さい。2つの微惑星形成のシナリオが考えられる：(1)ダストどうしの付着、(2)星雲ガスが散逸してガスの面密度が減少したとき、またはダストの動径方向の輸送によりダストの面密度が増加したときの重力不安定性。



ダストとガスの面密度比が水が凝結する領域での太陽組成でのダスト・ガス比に等しい場合のダストの密度分布（実線）。ガスの密度分布（破線）や重力不安定性の臨界密度（矢印）も描かれている。ここで f_g と f_d はそれぞれガスとダストの面密度の林モデル(1981)に対する比、 r は太陽からの距離、 z は星雲の中心面からの距離、 H は星雲のスケールハイト。

模擬星間塵中での放射線・紫外線による有機物の生成

Formation of Organic Compounds in Simulated Interstellar Dusts
by Irradiation with Particles or Ultraviolet Light

笠松隆志, 小林憲正[○], 金子竹男(横浜国大工), 香内晃(北大低温研), 齊藤威(東大宇宙線研)
Takashi Kasamatsu, Kensei Kobayashi, Takeo Kaneko (Dept. Phys. Chem, Yokohama Natl. Univ.)
Akira Kouchi (Inst. Low Temp. Sci., Hokkaido Univ.)
Takeshi Saito (Inst. Cosmic Ray Res., Univ. Tokyo)

Abstract: Mixtures simulating ice mantles of interstellar dusts (ISDs) were irradiated with high energy protons, electrons or ultraviolet light in order to examine possible formation of organic compounds in space. Alcohols and hydrocarbons were found in the proton irradiation product from a mixture of carbon monoxide, ammonia and water. Amino acids were detected in most of the irradiation products after acid-hydrolysis. The present results suggest that amino acid precursors could be formed in both ISDs. These organic compounds could be used in the generation of life on the earth.

約38億年前に原始海洋中で誕生したと考えられる地球生命の素材として彗星中の有機物が注目されているが、これは宇宙空間において星間塵ダスト中で宇宙線や紫外線の作用によって生じた有機物が基になっていると考えられている。このような星間塵環境下での有機物の生成を確認するため、星間塵アイスマントルを模した氷に紫外線もしくは陽子線を照射し、その生成物を分析した。

一酸化炭素・アンモニア・水の混合気体をクライオスタット(10 K)中の金属基板に吹き付けて「氷」を作成した。これに Van de Graaff 加速器(東工大)からの陽子線(約 3 MeV)もしくは紫外線を照射した。照射後、金属基板温度を徐々に室温まで上昇させ、この時発生する揮発性生成物を四重極質量分析計で測定したところ、炭化水素類、アルコール類の生成が認められた。また、残渣の加水分解物中に数種のアミノ酸が検出された[1]。

定量的な検討を行うため、メタノール・アンモニア・水の混合溶液(モル比1:1:3)をガラス製チューブに入れて封管し、これを(i)液体窒素中で固体(氷)にした状態、(ii)水浴中で液体状態、(iii)湯浴中で気体の状態で、SF cyclotron(東大核研)からの陽子線(35 MeV)もしくは線形加速器(東大核研)からの電子線(15 MeV)を照射した。照射生成物を酸加水分解した場合、いずれの系からでも、グリシン・アラニンなどのアミノ酸生成が確認された。このことは、一酸化炭素・水から生じたメタノールを炭素源としても、アミノ酸前駆体が生成しうることを示す。

加水分解後のアミノ酸の収率(G値)は、気体への照射時が 10^{-2} オーダーであるのに対し、固体・液体の場合は $1 - 2$ 桁低く、 10^{-4} オーダーであった。この差の原因としては、陽子線照射の場合、液体・固体で単位長あたりのエネルギー吸収量が多くなり、効果が飽和した可能性が考えられたが、より透過力の強い電子線を用いた場合も陽子線との差異はほとんどなく、前述の説明は成り立たないことがわかった。残る要因としては、気相においては生成物(固体または液体)はガラス壁に付着し、粒子線ビームによる分解を免れるのに対して、固相・気相の場合は生成物がさらなる照射により分解を受けることが考えられる。

本結果は、星間塵環境で生成した有機物が彗星、または微隕石などの形で地球に供給され、生物圏の素材となった可能性を強く示唆する。また、生命の起源における圏外有機物の寄与が大きいとすれば、惑星固有の素材のみから生物圏を形成する場合と比較して、生命の発生の可能性を有する天体の範囲が広がることも考えられる。

[1] K. Kobayashi, T. Kasamatsu, T. Kaneko, J. Koike, T. Oshima, T. Saito, T. Yamamoto and H. Yanagawa, *Adv. Space Res.*, **16**, 21-26 (1995).

模擬原始地球型惑星大気実験により生成した有機物のキャラクターゼーション Characterization of Organic Compounds in the Products of Experiments Using Simulated Primitive Atmospheres of Earth-Type Planets

小林憲正[○], 梶嶋茂, 金子竹男(横浜国大工), 石川洋二(大林組), 斉藤威(東大宇宙線研)
 Kensei Kobayashi, Shigeru Kajishima, Takeo Kaneko (Dept. Phys. Chem, Yokohama Natl. Univ.)
 Yoji Ishikawa (Obayasi Corporation), Takeshi Saito (Inst. Cosmic Ray Res., Univ. Tokyo)

Abstract: When gas mixtures simulating primitive earth atmosphere were irradiated with high energy protons, hydrolysates of the products contains amino acids. We characterized the "amino acid precursors." The products have molecules which appeared the very early part of cation-exchange chromatogram. They disappeared after mild hydrolysis, and basic compounds which appeared in the latter part of the chromatogram were formed. Further hydrolysis caused conversion of the basic compounds to amino acids. These amino acid precursors might have been preserved in Martian underground frozen soils and/or polar cap areas. Detection methods for these compounds are now in consideration.

原始地球は二酸化炭素、一酸化炭素、窒素、水などからなる弱還元型大気を有していたと考えられる。このような混合気体に陽子線等のエネルギーを与えた際の生成物を加水分解すると様々なアミノ酸が得られるということが知られている[1]が、加水分解によりアミノ酸を生成する物質(アミノ酸前駆体)についてはStrecker型前駆体、シアン化水素重合物などが提唱されているものの、まだよく調べられていなかった。本研究では、模擬実験で生成した陽子線照射生成物を種々のクロマトグラフ法等により分析し、“アミノ酸前駆体”のキャラクターゼーションを試みた。

試料には、ガラス容器に一酸化炭素、窒素、水の混合気体(模擬原始大気)を封入したものに、東京工業大学のヴァンデグラフ加速器から約3MeVの陽子線を照射した際の生成物(水溶液)を用いた。試料を6M塩酸で24時間加水分解後イオン交換HPLC法で測定することにより様々なアミノ酸の生成が確認された。

加水分解前の試料(X)を同じイオン交換HPLC法を用いてその保持時間により5つ(A~E)に分画し、各画分を加水分解後アミノ酸分析行なうと、比較的分子量の大きな成分を含むと考えられるA画分からアミノ酸の大部分が、生成することがわかった。同じ試料(X)をゲルろ過HPLC法により測定したところ、分子量約700に相当するピークが認められた。

次に、試料(X)を0.5M塩酸を用いて、1分~24時間加熱し、部分加水分解を行ない、その変化をイオン交換HPLC法により調べた。その結果、A画分のピークの多くは1時間程度で消失し、E画分(塩基性の物質が含まれる)のピークが増大したが、それも更に加水分解することにより減少し、それに伴いアミノ酸量が増加することがわかった。

以上の結果、模擬原始大気実験により、まず分子量数百の物質(A画分)が生成し、これが部分加水分解によりまず塩基性物質(E画分)となったのち、アミノ酸となることが示唆された。このようなアミノ酸前駆体は地球上での生命の起源を解く鍵となると考えられるので、今後、さらにキャラクターゼーションを進めていく予定である。

原始火星も原始地球と類似した大気と液体の水をその表面に有したと考えられる。最近、火星隕石の分析から、原始火星上に生命が誕生した可能性が示唆された[2]が、少なくとも、アミノ酸前駆体などの有機物は存在した可能性は極めて高い。このような有機物が凍土や極冠中で比較的熱変成を受けず保存されている場合、今回の模擬実験で得られたようなアミノ酸前駆体などの有機物の存在する可能性が生じる。そのような有機物および微生物の現地分析法を現在検討中である。

【参考文献】[1] K. Kobayashi et al., *Origins Life Evol. Biosphere*, **20**, 99 (1990), *Adv. Space Res.*, **15**, 127 (1995). [2] D. McKay et al., *Science*, **273**, 924 (1996).

原始惑星系円盤における分子組成の化学進化
---宇宙線にさらされた領域でのC,N,Oの存在形態---

相川 祐理^{*} (国立天文台, 東大・理), 梅林 豊治 (山形大・理)
観山 正見, 中野 武宣, 渡部 潤一 (国立天文台)

Chemical Evolution of Gas and Ice
in the Formation Region of Comets and Icy Satellites

Aikawa, Y. (National Astronomical Observatory), Umebayashi, T. (Yamagata Univ.),
Miyama, S. M. (NAO), Nakano, T. (NAO) & Watanabe J. (NAO)

We investigate the evolution of molecular abundance in protoplanetary disks. We found that CO, CO₂, H₂O, N₂, NH₃ and HCN are the dominant component in the region of radius R>10AU. Our model would provide a vital tool for understanding the formation process of comets and icy satellites.

原始惑星系円盤における化学組成進化は惑星系物質と星間物質をつなぐものとして興味深いだけでなく、惑星系形成過程をさぐる有効なプローブとなりうる。例えば、原始惑星系円盤における化学組成分布やその進化を理論的に解明することができれば、彗星の化学組成と比較することによって彗星の形成領域や集積過程が明らかになるであろう。また、すばる望遠鏡などによる原始惑星系円盤の氷やガス分子の観測から円盤の物理的な進化・構造を読みとるうえでも化学組成進化の理解が必要となる。

原始惑星系円盤の化学組成についての過去の研究はPrinnらによるものがある。彼らによると円盤内では炭素は主にCO、窒素はN₂ガスであったと考えられている。しかしこの議論は実際の非平衡な化学進化過程をおうのではなく、化学平衡論を基礎にしているなど理論的に不十分な点が多い。また彼らは隕石から推定される円盤モデルを用いているがこれは現在の赤外での観測から推定されるよりかなり高温なモデルになっている等の問題点がある。そこで我々は観測結果と比較的良好一致をみせるminimum-mass solar nebulaモデルを用い、原始惑星系円盤における非平衡な化学進化を数値計算によって調べている。

今回は中心星から10AU~100AU離れた領域での化学組成進化について報告する。この領域では星間空間からの宇宙線が円盤の中心面まで入り込み、これが化学反応のエネルギー源となる可能性がある。そこで我々は星間分子雲で調べられている化学反応ネットワークを用いて原始惑星系円盤の化学組成進化を調べた。主な結果は以下のとおりである。

- 炭素は主にCOとCO₂として存在する。特に60Kよりも低温ではCO₂がice mantleに取り込まれることにより、10⁷年程度で炭素がほとんど気相からぬけてしまう。またほとんどの酸素がH₂OやCO₂に取り込まれてしまうと、還元的な反応が効きhydrocarbonが多く生成されるようになる。
- 酸素は主にO₂やH₂Oとして存在する。100Kよりも低温な領域ではH₂Oはice mantleを形成する。
- 窒素は主にN₂, NH₃, HCNとして存在する。NH₃は60K、HCNは約100K程度以下でice mantleに取り込まれる。これによって低温では10⁷年程度でNH₃ iceが最も主要な窒素の存在形態となる。

講演では以上の結果と彗星、氷衛星の組成との比較を行いこれら天体の形成過程についても議論したい。

地球外高分子炭素質化合物の形成条件

Conditions for Formation of Extraterrestrial High-molecular Carbonaceous Compounds

村江達士○, 平山隆博 (九大・理)

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

Type of organic compounds in carbonaceous chondrites can be classified into two main groups. One is the group of usual organic compounds (low molecular organic compounds) and the other is the group of kerogen-like organic compounds (high molecular organic compounds). Type of terrestrial natural organic compounds can be classified into three main groups, single molecular compounds, polymeric compounds (not kerogen), and kerogen. Although terrestrial kerogens are derived from single molecular compounds via polymeric compounds, the two types of organic compounds in carbonaceous chondrites possibly synthesized independently.

炭素質コンドライト中の有機化合物のタイプは、通常有機化合物（低分子有機化合物）とケロジェン様化合物（高分子有機化合物）の2種類の主なグループに分類できる。地球上の天然有機化合物は、低分子化合物、高分子重合物およびケロジェンの3つのタイプに分類でき、生物が生産した糖やアミノ酸といった低分子化合物が、生体中の重合反応でセルロースや蛋白質の様な高分子に変換され、それらが、地球化学的な条件下で変換されてケロジェンが形成される。ところが、隕石中の2つのタイプの化合物は、それらを結び付ける中間の高分子重合物が現在のところ発見されていない。また地球上のケロジェン形成に関与する続成反応を進行させる堆積環境に相当する条件が、炭素質コンドライトの形成環境下で存在したと考えるのには困難がある。

隕石中の有機化合物のうちでケロジェン様化合物については、我々の提出した赤色巨星のマスロス過程でのCHを原料とした重合説や、シリコンカーバイドを芯にしたPAHの集合説等では、中間に存在を仮定している化合物は、芳香族炭化水素のみであり、アミノ酸や脂肪酸等の存在は仮定していない。従って、地球上の堆積作用や続生過程に相当する反応条件を考えなくともケロジェン様化合物は形成される。

この場合には、通常低分子有機化合物の形成条件をケロジェン様化合物の形成とは独立に考える必要がある。種々のアミノ酸が、原始地球環境を仮定した模擬実験で合成されている。しかし、炭素質コンドライトの形成過程でこれらの実験条件と類似の条件を想定するためには、隕石の母天体に海洋の存在を仮定する必要があり、現在のところその様な形跡は示されていないので、炭素質隕石中の低分子有機化合物の形成に、この様なモデル実験の条件を直接は摘要できない。我々は、氷の状態で炭素源、水素源、酸素源、窒素源となる比較的簡単な分子をトラップした天体を想定し、そこに適度のエネルギーを与えることで形成される分子について検討しているので、その場合の有機分子の形成条件について述べる。

著者索引

A

- 安部正真 (宇宙研) 54, 60
 阿部豊 (東大・理) 34, 88
 相川祐理 (東大・理/国立天文台) 102
 赤羽徳英 (京大・飛騨天文台) 65
 秋山演亮 (西松建設・技術研) 44
 荒川政彦 (北大・低温研) 38, 39, 49
 荒木博志 (国立天文台) 31, 33, 54

C

- O. Campos
 (Univ. Nacional Autonoma Mexico) 62

D

- 出村裕英 (東大・理) 83
 S.P. Deshpande (航空宇宙技術研) 20
 道家忠義 (早大・理工総研) 28

E

- 榎森啓元 (東工大・理) 72

F

- 藤村彰夫 (宇宙研) 27, 58, 59, 60, 61
 藤原顕 (宇宙研) 52
 福岡孝昭 (学習院大・理) 16
 布施哲治 (総研大/国立天文台) 52

G

- 五家健夫 (NASDA) 28
 J.M. Greenberg (Univ. Leiden) 37

H

- 浜野洋三 (東大・理) 66
 花田英夫 (国立天文台) 31, 33
 春山純一 (NASDA) 30, 34
 長谷部信行 (愛媛大・工) 28

- 橋本弘蔵 (京大・工) 32
 早川雅彦 (宇宙研) 58, 59, 60
 林理三雄 (鹿児島大・工) 34
 林祥介 (東大・数理科学) 63
 日置幸介 (国立天文台) 31, 33, 34
 R. Hernandez (Geoproyecto Tepetl) 62
 P. Hillebrand (MPI) 18
 平井研一 (日産自動車) 60
 平山隆博 (九大・理) 103
 比屋根肇 (東大・理) 79, 90
 本田理恵 (高知大・情報) 61
 宝来帰一 60, 62
 細川瑞彦 (郵政省通信総研) 34

I

- 市川勉 (宇宙研) 34
 一戸理樹 (北大・低温研) 49
 井田茂 (東工大・理) 72, 74
 飯島祐一 (宇宙研) 25, 34, 58, 61
 石黒正晃 (神戸大・自然) 18
 石原靖 (横浜市大・理) 58
 石井信明 (宇宙研) 59
 石井重夫 (NASDA) 31
 石川洋二 (大林組) 101
 石元裕史 (神戸大・自然) 17, 29, 42, 47
 石渡正樹 (北大・地球環境) 63
 伊藤潔 (京大・理) 58
 岩崎恭輔 (京都学園大) 65
 岩崎杉紀 (神戸大・自然) 86

J

- J.F. James (Univ. Manchester) 18

K

- 梶嶋茂 (横浜国大・工) 101
 亀井秋秀 (神戸大・自然) 19, 43

K (続き)

神田和亮 (宇宙研)	57
金子竹男 (横浜国大・工)	100, 101
唐牛宏 (国立天文台)	31
笠松隆志 (横浜国大・工)	100
柏木利介 (神奈川大・工)	28
加藤学 (名大・理)	27
加藤工 (筑波大・地球)	89
河野宣之 (国立天文台)	31, 33, 34
木部勢至朗 (航空宇宙技術研)	20
菊池順 (早大・理工総研)	28
木村宏 (MPI)	18
木村和宏 (郵政省通信総研)	44
北澤幸人 (宇宙研)	20
小林憲正 (横浜国大・工)	100, 101
小林直樹 (東工大・理)	84
小久保英一郎 (東大・教養)	74
香内晃 (北大・低温研)	38, 39, 100
古宇田亮一 (地質調査所)	31
小山順二 (北大・理)	58
小山真人 (Univ. Neuchatel)	64
小笹隆司 (神戸大・理)	37
倉本圭 (東大・気候センター)	77, 78
栗田敬 (東大・理)	51, 83, 87
草薙誠徳 (東大・理)	67

L

A. Li (Univ. Leiden)	37
----------------------	----

M

万代英俊 (北大・理)	40
I. Mann (MPI)	17, 18
丸山弘通 (国土地理院)	31
圓山憲一 (神戸大・自然)	42
増田耕一 (神戸大・自然)	98
増田忠志 (名大・理)	27

松井孝典 (東大・理)	62, 67, 77
松永恒雄 (地質調査所)	26
三谷典子 (東大・理/東工大・理)	50
三浦弥生 (東大・地震研)	29
観山正見 (国立天文台)	102
宮崎明子 (東大・理)	79
水谷仁 (宇宙研)	23, 27, 57, 58, 59, 60, 61, 71
森岡昭 (東北大・理)	32
向井正 (神戸大・理)	18, 42, 43, 47, 53, 85, 86
村江達士 (九大・理)	103
村上英記 (高知大・理)	58

N

永原裕子 (東大・理)	95
永澤千明 (東大・理)	64
中田正夫 (九大・理)	34
中島健介 (九大・理)	63
中村昭子 (宇宙研)	41, 43, 52
中村士 (国立天文台)	52
中村良介 (神戸大・情報処理センター)	18, 73
中村智樹 (九大・理)	15
中野武宣 (国立天文台)	102
中野陽一郎 (東大・理)	62
並木則行 (九大・理)	31, 34
名村栄次郎 (NASDA)	34
M.J. Neish (航空宇宙技術研)	20
西村純 (神奈川大・工)	28
野上謙一 (獨協医大)	29
野崎航 (九大・理)	15

O

大橋英雄 (東京水産大)	29
大垣内るみ (神戸大・自然)	47

0 (続き)

小川美奈 (NASDA)	34
大嶽久志 (NASDA)	26
岡田達明 (宇宙研)	27, 57
岡本創 (東大・気候センター)	19, 43, 53
奥地拓生 (東工大・理)	76
小野高幸 (東北大・理)	32
大江昌嗣 (国立天文台)	31, 33
大家寛 (東北大・理)	32
小澤一仁 (東大・理)	95

S

齋藤潤 (西松建設・技術研)	44
齊藤智子 (宇宙研)	71
齊藤威 (東大・宇宙線研)	100, 101
齊藤良一 (力丸ビル)	65
酒井辰也 (神戸大・自然)	73
佐々木晶 (東大・理)	29, 32, 34, 64
佐々木進 (宇宙研)	25
佐藤勲 (国立天文台)	54
P.H. Shultz (Brown Univ.)	62
関谷実 (九大・理)	15, 97, 99
千秋博紀 (東大・理)	77
柴村英道 (埼玉衛生短大)	28
白崎太郎 (神戸大・自然)	53
白石浩章 (宇宙研)	58, 59, 60
白尾元理 (惑星地質研)	30
城野信一 (北大・理)	37, 40, 48
須田直樹 (名大・理)	58
末吉哲雄 (東大・理)	66
杉紀夫 (北大・低温研)	39
杉田精司 (Brown Univ.)	34
杉浦直治 (東大・理)	79, 91
梶山徹 (東工大・理)	72
鈴木光一 (名大・理)	27

T

橘省吾 (阪大・理)	96
立原裕司 (九大・理)	34
田近英一 (東大・理)	62
高橋順子 (基礎化学研)	98
高野忠 (宇宙研)	34
高岡宣雄 (九大・理)	15
武田弘 (千葉工大・付属研)	24
竹広真一 (九大・理)	63
田鍋浩義 (八王子市)	18
田中秀和 (東工大・理)	75
田中智 (宇宙研)	27, 58, 59, 60, 61
谷端良次 (愛媛大・工)	28
田澤雄二 (京大・理)	16, 52
寺崎英紀 (筑波大・地球)	89
寺蘭淳也 (NASDA)	31
戸田康史 (東大・理)	88
A.D. Toigo (神戸大・自然)	85
土山明 (阪大・理)	96, 97
坪川恒也 (国立天文台)	31

U

梅林豊治 (山形大・理)	102
--------------	-----

W

渡部潤一 (国立天文台)	102
渡邊誠一郎 (名大・理)	40, 50, 96
渡邊毅 (神戸大・自然)	18

X

Y.L. Xu (Univ. Florida)	19
-------------------------	----

Y

矢田士朗 (筑波大・地球)	89
矢田達 (九大・理)	15
山田功夫 (名大・理)	58

Y (続き)

山岸保子 (東大・理)	51, 87
山口靖 (名大・理)	32
山路敦 (京大・理)	32
山本聡 (神戸大・自然)	20, 29, 41
山本哲生 (北大・理)	37, 40, 48
矢内桂三 (岩手大・工)	68
矢野創 (宇宙研)	20, 34
安田 茂 (鹿児島大・工)	34
横田康弘 (宇宙研)	61
吉田浩之 (神戸大・自然)	85
吉川真 (郵政省通信総研)	33, 34, 44
湯元清文 (九大・理)	34

謝辞

本講演会の実施に際して、一部、福岡県産業・技術振興財団の助成を受けました。
また、九州航空宇宙開発推進協議会（九州・山口経済団体連合会）、八坂哲雄氏
（九州大学工学部教授）、黒木博憲氏（黒木工業所技術研究所長）には、組織委
員会顧問としてご協力を頂き、福岡観光コンベンションビューローにも、ご後援
を頂きました。ここに記して感謝の意を呈します。

日本惑星科学会 1996 年秋期講演会組織委員会

組織委員長： 村江 達士

組織委員： 高岡 宣雄， 関谷 実， 中牟田 義博，
中島 健介， 北島 富美雄， 並木 則行，
竹広 真一， 中村 智樹

組織委員会連絡先：

〒812-81 福岡市東区箱崎 6-10-1

九州大学理学部地球惑星科学科

村江 達士

Tel: 092-642-2660, Fax: 092-642-2684

E-mail: murae@planet.geo.kyushu-u.ac.jp

謝辞

本講演会の実施に際して、一部、福岡県産業・技術振興財団の助成を受けました。
また、九州航空宇宙開発推進協議会（九州・山口経済団体連合会）、八坂哲雄氏
（九州大学工学部教授）、黒木博憲氏（黒木工業所技術研究所長）には、組織委
員会顧問としてご協力を頂き、福岡観光コンベンションビューローにも、ご後援
を頂きました。ここに記して感謝の意を呈します。

日本惑星科学会 1996 年秋期講演会組織委員会

組織委員長： 村江 達士

組織委員： 高岡 宣雄， 関谷 実， 中牟田 義博，
中島 健介， 北島 富美雄， 並木 則行，
竹広 真一， 中村 智樹

組織委員会連絡先：

〒812-81 福岡市東区箱崎 6-10-1

九州大学理学部地球惑星科学科

村江 達士

Tel: 092-642-2660, Fax: 092-642-2684

E-mail: murae@planet.geo.kyushu-u.ac.jp