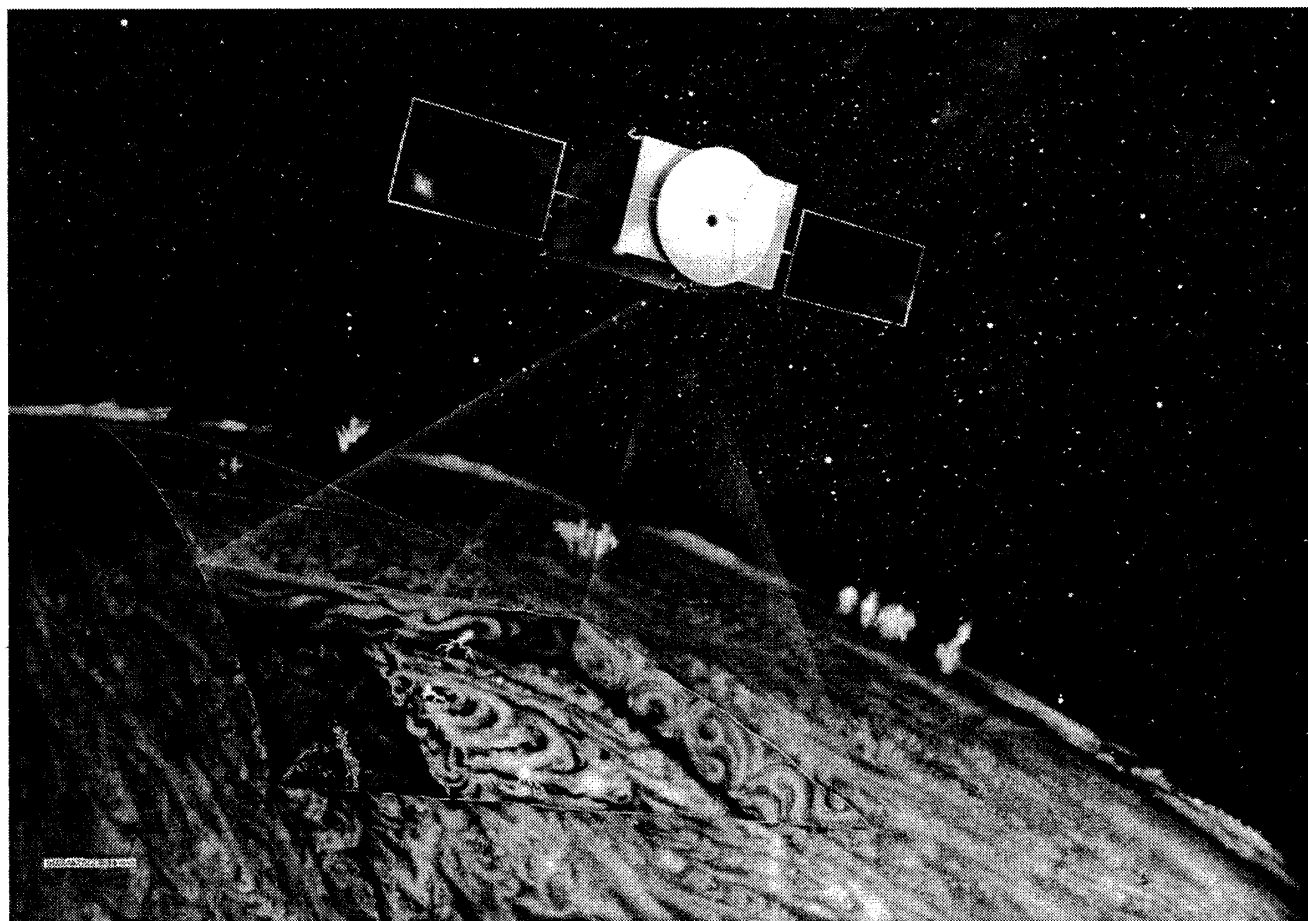


日本惑星科学会
2001 年
秋季講演会予稿集

Abstracts
2001 Fall meeting of
the Japanese Society for Planetary Sciences

2001 年 10 月 6 日～8 日
岡山理科大学



日本惑星科学会 2001 年秋季講演会プログラム

10月6日(土)

8:30 -	受付開始
9:15 - 12:15	金星探査特別セッション
12:15 - 13:00	昼食
13:00 - 14:24	セッション1
14:24 - 14:40	休憩
14:40 - 16:16	セッション2
16:16 - 16:30	休憩
16:30 - 17:42	セッション3

10月7日(日)

8:30 -	受付開始
9:15 - 10:51	セッション4
10:51 - 12:00	ポスターセッション
12:00 - 13:00	昼食
13:00 - 15:10	シンポジウム「惑星科学の魅力を探る ー理科教育との共同をいかに実現するかー」
15:10 - 15:30	休憩
15:30 - 17:00	総会
17:15 - 19:00	懇親会

10月8日(月)

8:30 -	受付開始
9:15 - 10:27	セッション5
10:27 - 10:45	休憩
10:45 - 11:45	セッション6
11:45 - 13:00	昼食
13:00 - 14:48	セッション7
16:00 - 17:00	林原自然科学博物館見学会

10月6日(土)

8:30 受付開始

9:15-12:15 金星探査特別セッション

- 9:15 S01 金星探査計画
小山孝一郎(宇宙研)
- 9:30 S02 金星周辺領域における高温プラズマ観測の意義
○町田忍、寺田直樹(京大院理)、品川 裕之(名大太陽地球環境研究所)
- 9:45 S03 金星並びに地球型惑星の高速中性粒子(ENA)撮像の科学と技術“Science and Technology of ENA imaging on Venus and the other Earth-type planets”
○山内正敏、S. バラバシュ、R. ルンディン(IRF, Sweden)、浅村和史(宇宙研)、渡部重十(北大理)
- 10:00 S04 金星探査計画で目指す電離圏プラズマ観測
○阿部琢美、小山孝一郎(宇宙研)
- 10:15 S05 金星電離圏撮像計画
○吉川一朗(宇宙研)、山崎敦(通総研)、中村正人(東大)、小山孝一郎(宇宙研)
- 10:30 S06 金星探査衛星搭載・中間赤外カメラ:科学目的と観測波長の検討
○はしもとじょーじ(東大気候システム)、今村剛(宇宙研)、岩上直幹(東大理)、中村正人(東大理)
- 10:45 S07 金星オービターからの光学大気観測
○岩上直幹、中村正人(東大)、今村 剛(宇宙研)
- 11:00 S08 Planet-C/近赤外線カメラ IR2 による黄道光の観測
○上野宗孝、中村正人(東大)、佐藤毅彦(熊本大)、石黒正晃、笠羽康正、矢野創(宇宙研)
- 11:15 S09 紫外イメージャ(UVI)による金星上層雲の観測計画
○渡部重十(北大理)、岡野章一(東北大理)、山田学(北大理)、岩上直幹、中村正人(東大理)
- 11:30 S10 探査機搭載高速フォトメータによる金星雷放電観測
○高橋幸弘、吉田純(東北大院理)、堤雅基(極地研)
- 11:45 S11 金星下層・上層大気の超回転
○小山孝一郎(宇宙研)、高橋幸弘(東北大理)、堤雅基(極地研)
- 12:00 S12 金星大気の電波オカルテーション観測計画
○今村剛(宇宙研)、野口克行(東大理)、小山孝一郎(宇宙研)
- 12:15-13:00 昼食

13:00-14:24 セッション1 (座長 白石浩章)

- 13:00 101 獅子座流星体の月面衝突による発光Ⅱ
○柳澤正久、私市成実(電通大)
- 13:12 102 月面撮像/分光機器(LISM)の地上処理とデータプロダクトの利用について
○平田成(科学技術振興事業団 科学技術特別研究員/宇宙開発事業団 月利用研究センター)、春山純一、大竹真紀子、杉原孝充、出村裕英(宇宙開発事業団 月利用研究センター) LISMチーム

- 13:24 103 MUSES-C搭載用X線検出CCDの単体性能評価
○青木美希、白井慶、岡田達明、加藤學（東工大/宇宙研）
- 13:36 104 MUSES-C搭載用XRSにおける太陽X線モニタリング法及び機上較正法の検討
○増田英二、岡田達明、山本幸生、加藤學（宇宙研）
- 13:48 105 ポストMUSES-C小天体探査:MEF統合2案の予備検討
○矢野創（宇宙研）、小天体探査フォーラム
- 14:00 106 MUSES-Cサンプラー実機製作:微小重力と汚染管理の観点から
○矢野創、藤原顕、長谷川直、樋口健、安部正真（宇宙研）、岡野康一（東芝）、高木靖彦（東邦学園大）
- 14:12 107 のぞみ搭載ダスト計測器MDCによる惑星間空間ダストの計測:3年間の結果
○佐々木晶（東大理）、Eduard Igenbergs（ミュンヘン工科大）、大橋英雄（東京水産大）、MDCグループ
- 14:24－14:40 休憩

14:40－16:16	セッション2	（座長 出村裕英）
-------------	--------	-----------

- 14:40 201 惑星水循環における海の影響:古火星への応用
○木村春奈、阿部豊（東大院理）
- 14:52 202 火星大気の安定性と気候変動
○横島徳太（北大理）、小高正嗣（東大数理）、倉本圭（北大理）
- 15:04 203 CCSR/NIES AGCMを用いた火星大気シミュレーション
○黒田剛史、高橋正明、橋本尚久（東大気候システム研究センター）
- 15:16 204 火星における極冠の季節変動とダストストームの発生
○橋本尚久、高橋正明、黒田剛史（東大気候システム研究センター）
- 15:28 205 火星気候システムに及ぼす自転軸傾斜の影響
○中村貴純、田近英一（東大院理）
- 15:40 206 透過微分干渉法による氷物質の融解曲線測定
○奥地拓生（名大環境）、栗田典明（名大理）
- 15:52 207 高速回転球殻中の貫入対流と木星の平均帯状流生成
○竹広真一（九大理）、John R. Lister（ケンブリッジ大）
- 16:04 208 木星型惑星大気の熱力学計算:大気の静的安定度に関する考察
○杉山 耕一朗（北大理）、小高 正嗣（東大数理）、倉本 圭、林 祥介（北大理）

16:16－16:30 休憩

16:30－17:42	セッション3	（座長 本田親寿）
-------------	--------	-----------

- 16:30 301 重力・地形データを用いた月地殻構造の推定
○疋田肇（東大理 / 宇宙研）、水谷仁（宇宙研）
- 16:42 302 熱侵食によるsinuous rilleの形成について
○本田親寿、藤村彰夫（宇宙研）

- 16:54 303 近地球型小惑星1998 SF36の測光観測
○大場庸平（東大地惑）、安部正真、長谷川直、石黒正晃、深井久史（宇宙研）
- 17:06 304 SUBARU／IRCSを用いたMUSES-C探査候補天体1998 SF36の近赤外測光・分光観測
○石黒正晃、安部正真、長谷川直（宇宙研）、後藤美和、Alan T. Tokunaga（ハワイ大）、臼田 知史、布施 哲治、寺田宏、小林尚人（国立天文台）
- 17:18 305 S型小惑星エロスのレゴリス層の厚さと力学的強度
○道上達広、安部正真、長谷川直、藤原顕（宇宙研）
- 17:30 306 氷・岩石混合物の衝突破壊強度とその空隙率依存性
○荒川政彦（北大低温研）、ヤチェック・レリワコピイスティンスキ（ワルシャワ大）、前野紀一（北大低温研）

10月7日(日)

9:15-10:51	セッション4	(座長 田中今日子)
------------	--------	------------

- 9:15 401 The effect of a stellar encounter on a planetesimal disk
○小林浩、井田茂(東工大理)
- 9:27 402 原始太陽系星雲中衝撃波によるコンドリュール形成:コンパウンド・コンドリュールの形成
中本泰史(筑波大計算物理学研究センター)
- 9:39 403 金属鉄を含むコンドルールの回転平衡形状
○上相真之、関谷実、中村智樹(九大理)
- 9:51 404 微惑星系から原始惑星系へ
○小久保英一郎(国立天文台)、井田茂(東工大理)
- 10:03 405 惑星円盤間重力相互作用による惑星軌道進化
○田中秀和(東工大理)、W.R. Ward (Southwest Research Institute)
- 10:15 406 原始月円盤の進化に対する乱流の影響
○町田亮介、阿部豊(東大理)
- 10:27 407 K/T境界における巨大衝突蒸気雲内のSO₂/SO₃比の推定
大野宗祐、杉田精司(東大理)、門野敏彦(東大地震研)、長谷川直(宇宙研)、五十嵐丈二(東大理)
- 10:39 408 Planar features のある石英:御池山はインパクト・クレーターか?
○坂本正夫(長野県:竜丘小学校)、渡辺暉夫、土屋篁(北大)

10:51-12:00	ポスターセッション
-------------	-----------

- P01 紫外線照射によるアモルファスD₂O-CO氷からのCO₂生成過程
○渡部直樹、香内 晃(北大・低温研)
- P02 最近日本に落下した隕石の軌道について
○浅田哲司、石原吉明、古本宗充(金沢大院自然)
- P03 熱ルミネッセンスによる衝撃を受けた普通コンドライトの研究
○山崎睦、藤本博通(岡山理大院理)、蜷川清隆、中川益生(岡山理大理)
- P04 普通コンドライト隕石の反射率測定
富田奈津美(神戸大)、中村 昭子(神戸大学)
- P05 少量隕石の²⁶Al測定:東京大学宇宙線研究所極低レベルγ線計測システム
○福岡孝昭(立正大地球)、大橋英雄(東京水産大)
- P06 Massive Starにおける元素合成と超新星爆発起源プレソーラーグレインへの応用
○吉田敬、橋本正章(九大理)
- P07 拡散律速する系での核生成
○山田耕、田中秀和、中沢清、榎森啓元(東工大院理工)
- P08 均質核生成理論の実験的検証法
○田中今日子、田中秀和、中澤清(東工大地惑)

- P09 微惑星の軌道進化における密度依存性
○樋口 有理可、向井 正（神戸大院自然科学）
- P10 原始惑星周りの原始惑星系円盤ガスの流れ
○谷川享行（名大理）、渡邊誠一郎（名大環）
- P11 巨大惑星による微惑星散乱と中心星表層の重元素量
○井田茂（東工大地惑）、D. N. C. Lin (Lick 天文台)
- P12 巨大天体衝突による大気散逸の可能性
○玄田英典、阿部豊（東大理）
- P13 連星系における惑星の軌道安定性
○森脇一匡（神戸大院自然科学）、中川義次（神戸大理）
- P14 小惑星の形状モデリング
○高橋茂、向井正（神戸大院自然科学）
- P15 小惑星模擬表面に対する室内偏光実験
○篠川弘司、中村昭子、向井正（神戸大院自然科学）
- P16 レゴリス層表面構造の実験的研究
○中村昭子、富田奈津美（神戸大）、中山博喜（神戸大→兵庫県）、亀井秋秀（通総研）
- P17 月面上の2次クレーター解析による、衝突放出物のサイズー速度分布の導出
○平瀬慶明、森秀治、中村昭子（神戸大自然科学）
- P18 嵐の大洋の地質解析
○児玉信介（名大）、山口靖（名大）
- P19 月の地殻構造の理解: "Lunar dome"の成因からの類推
○杉原孝充、倉田あゆみ（筑波宇宙センター 衛星総合システム本部 月利用研究センター）
- P20 湿潤対流が励起する地球と木星の自由振動
○中島健介（九大理）、野津原昭二（気象庁）
- P21 クレーターの形状変化のモデル化による地殻内部構造の推定
○山岸保子（海洋科学技術センター）、草薙誠徳（東大院理）、栗田敬（東大地震研）
- P22 The compositional heterogeneity in the lower mantle: Effects of viscosity structure and of "missing heat source"
○中川貴司（東大院・理）、Tackley, Paul J. (UCLA, ESS and IGPP)
- P23 炭素循環システムの変動とスノーボール・アース現象
田近英一（東大理）
- P24 火球衝撃波のエネルギー推定 ～人工衝撃波源を用いた衝撃波実験～
○石原吉明（金沢大院自然科学）、今井美央、平松良浩（金沢大理）、古本宗充（金沢大院自然科学）
- P25 火星のコア形成とテクトニクス
○千秋博紀（東大理）、松井孝典（東大新領域）
- P26 マグマ起源による火星の凍土融解と浸透流過程
－ 洪水イベントへのimplication －
○小川佳子（東大理地惑）、山岸保子（海洋科学技術センター 固体地球統合フロンティア研究システム）、栗田敬（東大地震研究所）
- P27 ガンマ線を照射した氷の熱ルミネッセンスと光ルミネッセンス
○矢田猛士、法澤公寛、山中千博、池谷元伺（阪大院理）

- P28 MUSES-C搭載用蛍光X線分光計の軌道上較正シミュレーション
○荒井武彦、山本幸生、岡田達明、加藤学（宇宙研）
- P29 惑星表面物質探査用XRF/XRDの開発
○伊藤知美（東大・宇宙研）、白井慶、岡田達明、加藤学（宇宙研）
- P30 SELENEリレー衛星分離機構の特性と月重力場観測への影響
○岩田隆浩、佐々木健（NASDA）、河野裕介、花田英夫、河野宣之（天文台水沢）、並木則行（九大）
- P31 SELENE搭載地形カメラの性能達成可能性について
○春山純一、大竹真紀子、平田成、杉原孝充、出村裕英、大嶽久志（宇宙開発事業団 月利用研究センター）
- P32 月周回衛星セレーネの月面マッピングデータベース
○出村裕英、平田成、春山純一（宇宙開発事業団 月利用研究センター）、加藤学（宇宙研）、SELENE地上データ処理ワーキンググループ
- P33 SELENE搭載マルチバンドイメージャの補正と校正
○大竹真紀子、春山純一、平田成、杉原孝充、出村裕英（宇宙開発事業団、月利用研究センター）
- P34 惑星探査機搭載に適した飛行時間型質量分析計「MULTUM II」の開発
○豊田岐聡、奥村大輔、石原盛男、交久瀬五雄（阪大理）、国広文夫（日本電子）、清水昌男（日本電子）
- P35 黄道光観測用広視野カメラWIZARDの開発と性能評価
○石黒正晃（宇宙研）、上野宗孝（東大総文）、藤野正則（神戸大理）、向井正（神戸大自然）、臼井文彦（東大総文）、中村良介（NASDA/EORC）、Kwon, Suk Minn（Kangwon University）、Lee, Changyong（Seoul National University）、関口和寛、宮下暁彦、中桐正夫（国立天文台ハワイ観測所）
- P36 連続した衛星雲画像から得られる風速ベクトルの誤差評価法について
○村地哲徳（東大院理）、今村剛（宇宙研）、樋口知之（統計数理研究所）、中村正人（東大院理）

12:00－13:00 昼食

13:00－15:10	シンポジウム 「惑星科学の魅力を探る－理科教育との共同をいかに実現するか－」
-------------	---

- 1 日本の理科教育の現状について－国際比較の視点から－
国立教育政策研究所 猿田祐嗣総括研究官：座長 野瀬重人 （30分）
- 2 大学と連携した理数科の実践報告
岡山県立岡山一宮高校 中山広文教諭：座長 野瀬重人 （20分）
- 3 “Hands On Universe(HOU)”を取り入れた天文学の授業実践
岡山県立鴨方高校 大島修教諭：座長 浜根寿彦 （20分）
- 4 太陽系の作り方
国立天文台 小久保英一郎氏：座長 浜根寿彦 （30分）
- 5 総合討論
座長 浜根寿彦 （30分）

15:10－15:30 休憩

15:30－17:00 総会

17:15－19:00 懇親会

10月8日(月)

9:15-10:27 セッション5 (座長 山本聡)

- 9:15 501 原始惑星系円盤におけるダストの化学組成
○森秀治、相川祐理(神戸大自然科学)
- 9:27 502 原始惑星系円盤のダスト層シア不安定性にコリオリ力、潮汐力が及ぼす影響
○石津尚喜、関谷実(九大院理)
- 9:39 503 衝突によるレゴリス粒子のサイズ選別効果
山本聡(北大低温研)
- 9:51 504 高速自転小惑星の自転運動の起源
○向井正、樋口有理可、SAKLAYEN MD ABU、富田奈津美(神戸大院自然科学)
- 10:03 505 すばる望遠鏡による太陽系外縁部サーベイ
木下大輔(総研大/国立天文台)、渡部潤一、布施哲治(国立天文台)、山本直孝(東京理科大)
- 10:15 506 SUBARU/IRCSを用いた冥王星/カロン系の近赤外分光観測
○菅野愛(東大院理)、中村良介(宇宙開発事業団地球観測センター)、石黒正晃(宇宙研)、木下大輔(総合研究大学院大学)、五十嵐丈二(東大院理)、寺田宏(国立天文台)
- 10:27-10:45 休憩

10:45-11:45 セッション6 (座長 平田成)

- 10:45 601 宇宙風化作用シミュレーション実験
○倉橋映里香(東大院理)、佐々木晶(東大院理)
- 602 講演中止
- 10:57 603 Step-scan FTIRによるアセチレンのモノマーおよびクラスターの吸収分光
○平林慎一、平原靖大(名大院環境)
- 11:09 604 Formation of SiC Core-Amorphous Carbon Mantle Grains
○木村勇気、中尾智子、上野洋(立命大)、齋藤義夫(京工繊)、堀内千尋(立命大)
- 11:21 605 mechanical properties of dust aggregates
湊 哲則(神戸大院自然科学)、城野信一(名大環)
- 11:33 606 粘弾性体の線型応答解析
山本哲生(名大環)
- 11:45-13:00 昼食

13:00-14:48 セッション7 (座長 矢田達)

- 13:00 701 氷中のラジカルの熱安定性の実験的研究
ー惑星物質や星間物質の化学進化ー
○法澤公寛、矢田猛士、池谷元伺(阪大院理)

- 13:12 702 モデル星間有機物の水質変成実験
○中野英之、香内晃（北大低温研）
- 13:24 703 原始地球上でのComplex Organics からの生命の起源へのシナリオ
○小林憲正、大橋暁弘、高野淑識、金子竹男（横浜国大院工）
- 13:36 704 星間環境におけるアミノ酸不斉創成の検証
高野淑識、○小林憲正、金子竹男（横浜国大院工）、高橋淳一（NTT）、S. Pizzarello、J. R. Cronin（Arizona State Univ.）
- 13:48 705 バードオリビンコンドリュールの再現実験
○長田祐一、土'山明（阪大院理）
- 14:00 706 X線CT法によるコンドリュールの3次元的な形状および内部物質の分布状態の解析
○重吉亮一（鹿児島大院理工）、土'山明（阪大院理）、中野司（産業総合研究所）、上杉健太郎（高輝度光科学研究センター）、野口高明（茨城大理）
- 14:12 707 アングライトAsuka-881371隕石に含まれるカンラン岩包有物
矢内桂三（岩手大工）
- 14:24 708 化学組成及び同位体組成から見た南極マイクロメテオライトの起源
○矢田達、中村智樹、高岡宣雄（九大理）、脊戸柳武彦（都立大理）、小島秀康（極地研）
- 14:36 709 Yamato 98隕石の分布について
○小島秀康、海田博司（極地研）、矢田達（九大理学府）

16:00－ 17:00 林原自然科学博物館見学会

1 0 月 6 日 (土)

金星探査特別セッション

S01-S12

セッション 1

101-107

セッション 2

201-208

セッション 3

301-306

金星探査計画

Venus Orbiter Mission

○小山 孝一郎（文部科学省宇宙科学研究所）

Venus orbiter mission was now officially approved as ISAS project. The main target of the mission is to try to solve the atmospheric super rotation around the cloud height region which has been first reported by one amateur astronomer in 1957 and finally confirmed by Mariner 10 in 1974. 5 cameras are planned to be installed. Two cameras of EUV and 2 μ m in wave length will be used to get cloud motions below and above the cloud, which are core instruments of this mission. Detection of lightning and volcanos will be tried by cameras of visible and 1 μ m in wave length respectively. Spacecraft design is being conducted for optimum instrumentation of camera imaging. Plasma instruments, including magnetometer are optional but will be seriously considered to be accommodated. The project will be initiated in April 2002 and the launch will be hopefully in Spring 2007.

金星探査計画が宇宙科学研究所の計画として正式に走りだそうとしている。本計画の主な目的は、雲層の上部、下部の二次元イメージを撮ることにより異なった高度での大気の運動を調べ、金星大気の超回転の謎に迫ろうとするものである。5つのカメラが搭載される予定である。探査機は、これらのカメラ観測に最適のように3軸制御方式をとる。今後探査機の安全運用を最優先としながら各サブシステムの重量軽減化をはかり、オプションとして考えられている幾つかのプラズマ測定器を収容する最善の努力をしたい。

探査機は2007年初めに宇宙科学研究所のM-Vロケットで打ち上げられた後、地球を周る待機軌道に投入され、2007年6月に地球を離脱、太陽の周りを一周した後、2008年に地球近傍を通過して軌道を変え、2009年9月に金星周回軌道に入る。

本計画は文部科学省、宇宙開発委員会の諸賢のご理解をえて、ようやく実現の目途がついたとはいえ、厳しい経済状況のもとでのスタートとなるが、大きな実を結ばせるべく、今後とも多くの方々の御協力、御助言をお願いする次第である。

なお本計画への研究者の参加については、扉は広く開けられており、関心のある方は <http://www.ted.isas.ac.jp/~venus/> をご覧頂きたい。

金星周辺領域における高温プラズマ観測の意義

Significance of Hot Plasma Observations around Venus

○町田忍、寺田直樹(京都大学大学院理学研究科地球惑星科学専攻)

品川裕之(名古屋大学太陽地球環境研究所)

The upper atmosphere of Venus directly interacts with the solar wind, which causes excitation of various kinds of waves as well as accelerations of particles. In this paper, we report on our plan to study such a plasma environment around the Venus with the onboard instrument on Planet-C mission.

金星には惑星固有の磁場が存在しないために、太陽風が直接、超高層大気と衝突をして相互作用を行う。超音速で惑星大気に吹きつける太陽風は、金星の前面にバウショックを形成し、さらに、その内側に惑星大気と太陽風の境界である Ionopause を形成する。太陽風と惑星のプラズマは、この境界を通して、質量や運動量、エネルギーのやり取りを行う。特に、金星大気から太陽風に向かう質量輸送は、金星の大気進化の過程を知る上で重要である。金星と地球の大気進化の相違を深く理解するために、現在いかなる量の電離大気が金星からはぎ取られて、太陽風によって持ち去られているのかを直接観測によって調べることを計画している。

金星の Ionopause 周辺では Cloud あるいは Streamer と呼ばれる特徴的な構造の存在することが知られている。これらは Kelvin-Helmholtz 不安定性の非線形的な発展として生成されと考えられているが、近年、われわれは、電磁ハイブリッドコードによるシミュレーションによって、この考えを支持する新たな結果を得ることができた。Cloud あるいは Streamer などは金星電離圏のプラズマが太陽風の作用によって、まさに持ち去られようとしている姿であると考えられる。また、電離圏の外に飛び出した非熱的中性粒子が、光電離されて生ずる電子・イオン対、および太陽風プロトンと荷電交換した結果生成されるイオンが、太陽風電場のピックアップ作用によって惑星間空間に散逸してゆく過程がある。両者はともに金星大気の構造と変遷を理解する上で重要である。

これらの現象を研究するためにはプラズマの3次元速度分布関数が物理過程の情報を与えてくれる観点から極めて有効である。例えば、イオンについて、3次元速度分布関数の計測をすると、太陽風電場によってピックアップされたイオンは、そのサイクロロン運動に伴い、リング状もしくはシェル(球殻)状の構造を呈するので、太陽風と分けて即座に識別できる。また、夜側電離層起源の散逸イオンは、温度が低く、主として磁力線に沿って惑星間空間に流れだしてゆくことが予想される。散逸イオン成分を分離・抽出して速度分布関数の1次モーメント量である粒子フラックスを計算すれば、それは、直ちに、本観測の主目的である粒子の散逸量を求めたことになる。さらに、イオンの速度分布関数の構造を詳しく知ることによって、散逸過程の物理機構を探ることが可能である。

以上の観点から、イオンに関して、 $5 \text{ eV} < E < 40 \text{ keV}$ 程度のエネルギー範囲で H^+ 、 He^{++} 、 O^+ などの3次元速度分布関数を計測できる質量分析器を用いた観測を実施することが Planet-C 金星ミッションの有効性をさらに高めるものとする。

Science and Technology of ENA imaging on Venus and the other Earth-type planets. (金星並びに地球型惑星の高速中性粒子(ENA)撮像の科学と技術)

Swedish Institute of Space Physics, Kiruna: **○M. Yamauchi, S. Barabash, R. Lundin**

Institute of Space and Astronautical Science: **K. Asamura**

Hokkaido University, Institute of Earth and Planetary Science: **S. Watanabe**

Energetic neutral atoms (ENA) imaging is a new and quickly developing technique to remotely diagnose space plasma. ENAs are atoms with energies well above the escape velocity of a planetary body. Since they travel a straight pass regardless of ambient electric or magnetic fields, ENAs carry information of the source conditions (energy, mass, angular distribution). ENA are categorized into four energy ranges depending on experimental technique: low energy ENA (LENA) at 0.01-1 keV, medium energy ENA (MENA) at 1-30 keV, high energy ENA (HENA) at 0.01-1 MeV, and relativistic ENA (RENA) at > 1 GeV.

Since the ENA flux at a given point is a result of a line-of-sight integration, interpretation of ENA data is not straightforward. Yet one can obtain the physical information from inversion models. Accuracy of such modelling as well as instrument developments in sensitivity and compactness have reached a level that ENA imaging technique can make significant contribution on studies of the Earth-type planets (Table 1). Venus is considered to be the best planet to use this technique because of the anticipated high production rate of ENA from the intense solar wind (except Mercury), dense atmosphere, and absent of the magnetic field that allows the solar wind penetrate deeply into the planetary exosphere.

The main mechanisms of the ENA generation in space environments are (1) charge exchange which operates at all the places where plasma and neutral gas co-exist, (2) recombination which can occur, e.g., in coronal mass ejection, (3) back scattering of the precipitating ions from atmospheres, which provides ENA albedo, (4) sputtering from solid surfaces, and (5) ion neutralization on the dust particles.

ENA imaging can reveal (a) morphology of bow shock and other solar wind interaction region, (b) plasma induced atmospheric escape (planetary ions converted to ENAs), (c) back scattered ENAs and resultant modification of the atmosphere via ion/ENA precipitation, (d) the surface information through the sputtering, and (e) quasi-trapped plasma and burst bulk plasma injections (cf. terrestrial substorms) which are charge-exchanging with exospheric neutrals. Table below provides summary of the application of ENA imaging technique for studies of the terrestrial-type planets.

Table 1. ENA production and its science for inner planets.

Planet	Mercury	Venus	Earth	Mars
Main production mechanisms	(4) + (1)	(1) + (3)	(1)	(1) + (3)
Main Scientific topics	(d) + (e)	(a)+(b)	(e)	(a), (b)

Keywords: ENA imaging, Venus, Terrestrial planet, Charge Exchange, Sputtering

高速中性粒子(ENA)は電磁場の影響を受けないので、その生成領域の情報を視線積分という制限付きながらも遠方から観測することが出来る。この性質を利用したENA撮像は近年急速に発展したプラズマ研究の技術である。ENA生成の主なメカニズムには、(1)荷電交換、(2)イオン再結合、(3)大気や(4)地表からの落下イオンの逆散乱、(5)微粒子を触媒とするイオンの中性化などがある。ENA撮像による研究対象には、惑星超高層の(a)各種境界や(b)大気散逸、(c)プラズマによる大気の影響、(e)捕捉イオンの動きなどがあり、大気の薄い場合は(d)地表の情報までも得る事が出来る。ここでは金星を中心に地球型惑星の外圏研究への応用を議論する。

S04

金星探査計画で目指す電離圏プラズマ観測

Observations of the ionospheric plasma by Venus Climate Orbiter

○阿部琢美、小山孝一郎（宇宙科学研究所）、Andrew Yau（カルガリー大学）

We present proposals for observing the plasma transportation and circulation processes and the dynamics of the thermal plasmas that are the important element on Venus ionosphere by instruments installed on Venus Climate Orbiter. Main purpose of the observation is to elucidate the following unresolved problems: 1) How the upper atmosphere interacts with the lower atmosphere. 2) How much the energy of the solar wind can enter to the Venus upper atmosphere. 3) How momentum and energy of particles are transported into the upper atmosphere from external regions through the coupling process. In the presentation, the observation target and strategy will be discussed in detail.

我々は金星電離圏中の荷電粒子運動エネルギーの起源と、上層大気との結合過程の解明を主たる目的とした観測の実現に向けて検討を行っている。金星超高層大気粒子の運動は、太陽輻射による昼側電離圏へのエネルギー注入によって駆動される昼夜間対流が支配的である他、上層大気との相互作用によると思われる運動が過去の観測から示唆されている。電離圏のような領域が、濃い密度の大気とどの程度の結合をなし得るのか、また太陽風プラズマからの運動量流入はどのようにどの程度行われるのか、運動量輸送により大気粒子が散逸しているとすればどの程度の量なのか、を調べるのが本観測の目的である。ここでは未解明の3つのテーマに注目し、周回衛星からの直接観測を通して問題の本質に迫ることを提案する。

(1) 大気散逸過程の観測

夜間電離圏では、低エネルギーのイオンが反太陽方向に流出しているとの報告が過去になされた。このイオン流出現象は上層大気から惑星間空間へとつながる領域間の物質輸送の一過程であり、惑星大気の長期的な変遷を議論する上で非常に重要な情報である。

(2) 熱圏と電離圏のスーパーローテーションの観測

米国の探査機の観測によって、熱圏電離圏中の質量の軽い中性粒子や荷電粒子が金星の周りを高速で循環する、すなわち下層大気と同様のスーパーローテーションが存在するとの可能性が指摘された。本格的な観測による実証と解明が強く望まれている。

(3) 金星熱圏中性大気、電離大気における大規模密度変動の観測

夜側電離圏において短時間に中性大気密度と荷電粒子密度が1桁程度低下するという現象が報告されている。中性・荷電粒子を同時に、しかも大きな空間スケールで変動させ得る結合過程が存在すると予想され、この現象の発生機構を解明する事が必要とされる。

講演では、これらの現象の解明に必要な観測とその戦略について発表を行なう。

金星電離圏撮像計画

Imaging of the Venusion ionosphere

○吉川一朗(宇宙科学研究所)、山崎敦(通信総合研究所)、中村正人(東京大学)、
小山孝一郎(宇宙科学研究所)

According to PVO observations, a significant amount of plasmas in the dayside flows to the nightside. This fact suggests that there should be an effective loss process in the Venus ionosphere. "Clouds" is considered to be one of the candidates which are related to plasma loss process. However, the global shape, formation and the dependence on the IMF of the clouds are still unknown, because the PVO obtained only local information on plasmas. Global imaging by using EUV technique is a promising means to investigate such a study. We propose the EUV telescope onboard Venus orbiter. This instrument has a imaging capability for He I, He II, O II, and H I emissions simultaneously. In this paper, we present our motivations for conducting EUV imaging. And also, the design of the telescope is shown.

金星の夜側電離圏の形成には、昼間側からのプラズマの輸送が寄与していることが PVO の観測により明らかになった(Knudsen et al., 1982)。しかし、定量的に夜側電離圏でプラズマ総量の収支を考えた場合、これは効率の良い損失過程がなければならないことを意味する。プラズマの総量に関する収支は、clouds と呼ばれる領域からプラズマが流出することによって成り立っていると現在では考えられている。ただし、clouds 形成と IMF の方向変動との関連は同時観測が行われていないため、まだ解明されていない。

太陽風の動圧が下がり ionopause 高度が上がると夕方側電離圏のプラズマ密度が減少する相関関係も PVO の観測が明らかにした。これは太陽風動圧が下ると電離圏が膨張し上昇流が起こると、水平方向の輸送量が少なくなり電離圏中で夕方側へ対流しにくいという解釈が有力である。しかし、電離圏中で上昇流が起こると水平方向の対流速度が遅くなり、夕方側への対流量が多くなるという研究結果もある。この解釈の検証には、PVO では達成できなかった太陽風の動圧と電離圏の膨張・縮小及び夕方・夜側電離圏のプラズマ密度を同時に観測することが必須である。

これらの問題を解決するためにはプラズマの空間分布を大局的に知る必要がある。それで我々は、金星探査衛星に極端紫外望遠鏡の搭載を提案する。我々が立案している観測で測光する波長は H I (121.6nm)、He II (30.4 nm)、He I (58.4nm)、O II (83.4nm)であり、それぞれ水素原子、ヘリウムイオン、ヘリウム原子、酸素イオンの共鳴散乱線である。本公演では、金星の GLOBAL IMAGING によって何を明らかにしようとしているかを中心に話す。また、具体的な観測機器のスペックについても提案する予定である。

金星探査衛星搭載・中間赤外カメラ: 科学目的と観測波長の検討

Long-wave infrared camera on Japanese Venus orbiter: Scientific objectives and selection of wavelength

○はしもとじょーじ (東大・気候システム)、今村剛 (宇宙研)、岩上直幹、中村正人 (東大・理)

The purpose of the Longwave IR camera onboard Planet-C is to observe the horizontal distribution of cloud top temperature. In this paper, the science objectives, the selection criteria of observation wavelengths and the required specifications are summarized.

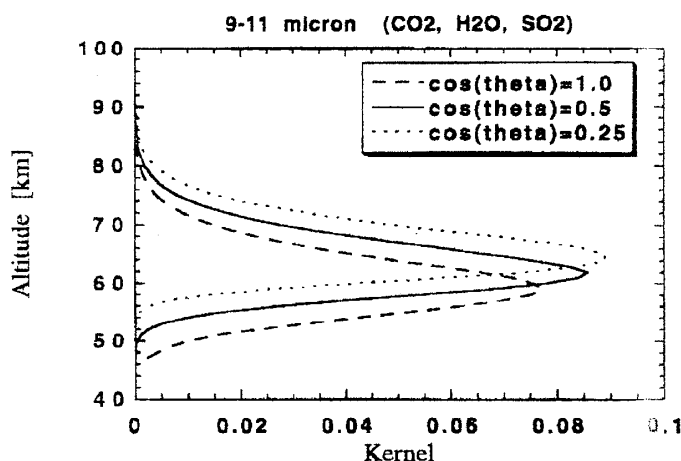
Planet-C 搭載 LIR (Longwave-IR camera) は $9\text{--}11\ \mu\text{m}$ の中間赤外域を狙う。金星の高度 $45\text{--}65\ \text{km}$ には濃硫酸から成る雲層が分布するが、LIR はその最上端から発せられる熱放射を撮影する。熱放射の強度は雲頂温度で決まるので、雲頂高度や雲頂付近の温度の水平分布が可視化されることになる。この波長域での観測は、探査機としては Pioneer Venus による北極域の分光撮像や Venera による分光があり、地上からも分光・撮像とも行われている。しかし我々が特に強く興味を持つ中低緯度が高い解像度でマッピングされたことはなく、未開拓の領域となっている。

LIR の目的としてはまず、雲力学の解明が挙げられる。金星の上層の雲を紫外光で見ると不可思議な濃淡模様が存在することが、約 30 年前から知られている。それらは、惑星スケールの「水平 Y 字」模様を始めとして、赤道域から中緯度に向かって多数伸びる「弓形」模様、サブソーラーに分布する水平スケール数百 km の細胞状構造まで、多岐にわたる。これらの模様は雲力学と上層の光化学に密接に関連すると思われるが、その成因は分かっていない。研究が滞っている最大の理由は、そもそも紫外の濃淡がどのような雲構造や大気状態と対応するのか知られていないことである。LIR で直接的に雲頂の凸凹(あるいは温度ムラ)を観察し、紫外カメラ UVI の画像と見比べれば、そこで何が起きているのか直ちに判明するだろう。さらに近赤外カメラ IR1・IR2 による雲層下部の構造と見比べることで、雲構造の鉛直スケールや、下層の気象現象との関連についても手がかりが得られると期待される。

LIR はまた、大規模な気象擾乱を立体的に診断することを目的として、多波長撮像の欠くべからざる一部分を担う。スーパーローテーションの駆動に関わるかもしれないプラネタリー波や潮汐波、子午面循環などの大気運動が、近赤外でカバーする高度 $50\ \text{km}$ 付近よりも高高度でどのような構造や振幅を持つか、また高度方向の位相変化はどうか、といった情報を得る。ここで、LIR が昼夜均質なデータを得ることは大きな利点である。

観測波長の決定においては、雲頂を見るために「雲がよく吸収し大気による吸収は小さい」ことが要請された。一方で機器設計上は、十分な S/N 比を達成するために「フィルタ波長幅を $1\ \mu\text{m}$ 程度以上とする」ことと、明るい光学系を実現できる屈折系を採用するので「波長分散の小さい Ge レンズを透過する」ことが望ましい。これらを考慮して $9\text{--}11\ \mu\text{m}$ を選択した。荷重関数を右に示す。

カメラ視野は $12\times 12^\circ$ の正方形で、この中を 240×240 画素に分割する。ピクセル解像度は 0.05° で、これは 1 金星半径の距離からは $5\ \text{km}$ 、遠金点 (13 金星半径) からは $65\ \text{km}$ に相当する。受光素子は近年発達の著しい非冷却ボロメータアレイを採用する。



波長 $9\text{--}11\ \mu\text{m}$ で金星大気を見下ろして観測される熱放射の荷重関数。異なる天頂角について示した。計算には雲の効果が入っていないが、この計算結果から、雲を入れると高度 $65\ \text{km}$ 付近の雲頂からの放射が卓越するであろうことがわかる。

金星オービターからの光学大気観測

Optical atmospheric sounding on board a Venus orbiter

○岩上直幹(東京大学)、中村正人(東京大学)、今村 剛(宇宙研)

A Venus orbiter to start observation in 2009 is planned by ISAS. Already at a previous meeting, Imamura (ISAS) discussed the scientific purposes. In the present talk, main optical instruments and their role for the scientific purposes are shown. The main purpose of this mission is to determine meteorological parameters by imaging whole night- and day-side Venus disk at various wavelengths.

2009 年金星軌道投入をめざした金星オービター計画が宇宙科学研究所を中心に進んでいる。本学会でもすでに、今村(宇宙研)などによってその科学目的が論じられてきた。ここでは、主要光学測器構成を中心に、その科学目的とのかかわりを述べる。このミッションの主要目的は「多波長での昼夜全球撮像・雲追跡による気象力学パラメータ定量」にあり、下表に示す 10 波長での測定に 5 台のカメラを用いる。

最重要領域は $2\mu\text{m}$ と $1\mu\text{m}$ の近赤外窓領域で、これらの波長では $\text{CO}_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$ 吸収、レーリー・ミー散乱をくぐり抜けてくる熱放射により雲層下部の大気運動情報を得ることができる。寄与関数中心高度は $2\mu\text{m}$ 域で 20-30km、 $1\mu\text{m}$ 領域では地表に近い。2.3 μm と 2.4 μm は差分吸光ペアで、雲下の CO 分布を狙う。 CO は化学反応を通して雲層と強く関わっており、雲層を含めた大気物質循環に関して重要な情報が期待される。 $1\mu\text{m}$ 域では大気最下層部の大気運動情報が得られるほか、地表も透けて見えるため火山活動の検出も期待できる。10 μm 域では雲頂(70km)からの熱放射を測定し、波動・対流を検出する。紫外域では雲頂部の雲の動きを昼面撮像によって定量するが、測定例の少ない 290nm 域も使って SO_2 吸収を検出し、硫酸雲化学理解の深化を図る。可視域は雲の検出と大気光を目的とし、雲の存在有無に関する長年の論争を解決したい。酸素原子 777.4nm 線は実験室での金星雲再現実験から最有力輝線成分とされている。酸素原子 557.7nm 線は地球オーロラ・大気光の代表であるにもかかわらず、1960 年代末のベネラにより金星での存在が否定されていたが、最近ハワイ望遠鏡を用いた観測で地球並みの強度が見いだされ、地球での励起過程を含めて 30 年の歴史が見直されている。酸素分子 551nm 帯との分離が重要。

これらの光学測定に加え、電波掩蔽法による大気密度・温度の測定を並行する。この方法は測定機会が周縁出沒時に限られるが高度分解能が高く、光学観測を補うことが期待できる。

測器構成

0.1μm			1μm				10μm		
- * - - - - - + + + - + + + - - - - -			- * - - - + + + - - - - -				- + + * + - -		
波長	29 38	55 56 77	1	17 23 24			9	11	
	UVI	LAC	IR1	IR2			LIR		
対象	SO ₂ 吸収	雷 大気光	地表放射 雲散乱光	大気放射			雲頂温度		
	昼	夜	昼夜	夜			昼夜		
検出子	CCD	PMT	CCD	PtSi			ボロメタ		
遠金点画素長	17km	2200km	17km	17km			73km		
●14Rv									
検出子冷却			270K	65K			270K		

Planet-C/近赤外線カメラ IR2 による黄道光の観測**ZODIACAL LIGHT OBSERVATIONS****WITH INFRARED CAMERA "IR2" ONBOARD PLANET-C**

○上野宗孝、中村正人（東京大学）、佐藤毅彦（熊本大学）
石黒正晃、笠羽康正、矢野 創（宇宙科学研究所）

We present an observational plan of Planet-C/IR2 (infrared camera) in cruising phase. The camera, which has very wide field of view (12×12 square arc degree) and good sensitivity ($1.8 \mu\text{W}/\text{m}^2$ with 2 minutes exposure without spatial binning), has potential to realize radial dependence of zodiacal light, detection of resonance ring of zodiacal cloud at the Venus orbit and its symmetric plane. The main purpose of the camera is observation of surface structure of the Venus at very lower altitude.

金星探査機 Planet-C に搭載される近赤外線カメラ IR2 を用いたクルージング中の観測について発表を行う。IR2 は、波長 $1\text{--}2.5 \mu\text{m}$ の波長帯に感度を持ち、金星周回軌道より金星大気を透過して地表から低高度の雲の構造を観測することを目的としている。しかし金星到達までのクルージング中にも、広視野（カメラの全視野 12 度角、画素あたりの分解能 42 秒角）で、高感度（ $2 \mu\text{m}$ 帯で 2 分間露出を行った場合の検出限界： $1.8 \mu\text{W}/\text{m}^2 \text{ sr}$ （最大空間分解能時）：画素情報のビンニングを行い空間分解能を下げることで感度の向上が可能）の観測を行うことができることから、黄道光の明るさの日心距離の依存性、金星レゾナンスリングの検出、金星軌道付近での黄道雲の対称面の決定などの観測を計画している。またアテン型小惑星および未発見の彗星ダストトレイルの検出の可能性についても検討している。本講演では、IR2 のハードウェアの紹介とその観測限界について詳しく報告する予定である。

紫外イメージャ (UVI) による金星上層雲の観測計画 Observations of Venus Clouds by Ultra-Violet Imaging Camera (UVI)

○渡部重十 (北海道大学大学院理学研究科), 岡野章一 (東北大学大学院理学研究科)
山田学 (北海道大学大学院理学研究科), 岩上直幹 (東京大学大学院理学研究科)
中村正人 (東京大学大学院理学研究科)

Ultra-Violet Imaging Camera (UVI) on Venus mission measures dayside airglow of Venus by using SiCCD as a detection element. UVI is specialized and used for an imaging of Venus dayside clouds to investigate the dynamics of Venus atmosphere at ~ 70 km altitude. The measurement wavelengths are 275 nm and 305 nm in the absorption bands of SO_2 . The spatial and temporal resolutions are ~ 10 km at a distance of 3.7 Rv from Venus and ~ 100 ms, which are much better than that of Orbiter Cloud Photopolarimeter on Pioneer Venus. From the observations by UVI and other Imaging Cameras with different wavelengths, we investigate the structure and dynamics of Venus clouds and atmosphere.

1978年に打ち上げられた Pioneer Venus に Orbiter Cloud Photopolarimeter (OCP) が搭載された。OCP は SO_2 による紫外吸収帯で金星の上層雲を観測し、Mariner10 で発見された惑星スケールの Y 構造を再確認した。水平分布パターンは約 4 日で惑星を一周するため、この高速回転は 4 日循環といわれている。Y 構造は 1 日から 1 年の時間スケールで大きく変化する。大きな構造は赤道に対して南北ではほぼ対称な構造になっている。極域は紫外光で見ると非常に明るく輝いていた。金星は周期 243 日という自転が極めて遅いにも関わらず、金星大気はあらゆる緯度で西向きに高速回転 (スーパーローテーション) している。風速は高度 70 km 付近で 100 m/秒に達する。大気の高速回転により、南北/鉛直方向の熱や物質の輸送を制限され、ロスビー波が伝搬可能となり惑星スケールの遠隔作用が起こる。土星の衛星タイタンも金星同様にスーパーローテーションする大気を持ち、自転の遅い惑星に普遍的な気象形態である可能性がある。大気波動、乱流、子午面循環がこの風系を作り上げるものと思われるが、検証するための確たる基礎データは存在していない。

宇宙科学研究所が計画している金星周回ミッションは、異なる波長帯で連続的に金星全球の撮像を行う。搭載機器の一つである紫外イメージャ (UVI) は、Pioneer Venus に搭載された OCP と同様に 65-70 km 高度の下部成層圏に存在する SO_2 の吸収による太陽散乱光から雲水平運動捉える。波長幅が 30 nm の干渉フィルターを用いて 275 nm と 305 nm の波長で測定する。太陽散乱光を測定するために昼間側の観測だけを行う。OCP によると金星上層雲による太陽散乱光のコントラストは 10% 程度であり、UVI による測定では何の支障もない。視野は 15 度あり、解像度は 0.015° である。検出素子には画素 1024×1024 の SiCCD を用いる。金星大気運動のダイナミクスを理解するためには、大気波動等による小さな構造を捉え、その運動をモニターする必要がある。OCP の空間分解能は ~ 30 km であり、かつ、1 画像を 4 時間で取得していたために大きな構造しか捉えることができなかった。我々の金星周回ミッションでは、空間・時間分解能を上げるために Pioneer Venus のようにスキャンニング方式は採用せず、2 次元撮像素子を用いて全球にわたるデータを短い露光時間で得る。この方式により UVI の空間分解能は金星から 3.7 Rv 離れたところで ~ 10 km、露光時間は ~ 100 ms 程度である。UVI 観測から、上層雲の大規模な構造からメソスケール構造の生成・消滅や、上層雲の運動の追跡から 65-70 km 高度の風速を捉えることができる。また、他の光学機器と組み合わせることにより、昼夜の雲構造の相違、運動や 3 次元的な大気運動を捉えることができる。このように今までの探査では得られていないデータを取得・解析することにより、金星や自転の遅い惑星の大気運動の本質に迫ることができるものと期待している。

探査機搭載高速フォトメータによる金星雷放電観測

Lightning observation in Venus with a hi-speed photometer on board
spacecraft

○高橋幸弘¹、吉田 純¹、堤 雅基²

¹ 東北大学・大学院理学研究科、² 国立極地研究所・北極圏環境研究センター

The existence of lightning in Venus is still controversial. Some observations strongly indicate the evidence of optical flash or electromagnetic pulse induced by lightning discharges while other observations show no clear signs of lightning. Radio wave measurements are sometimes contaminated by pulses generated around the satellite or by natural plasma waves due to some instabilities in space plasma. Optical measurements by Pioneer Venus Orbiter could not find out the flash. However, this results cannot to be conclusive since the analysis were carried out using just the star-tracker data, and the observation period is only ~80 sec. We propose the hi-speed photometer as an onboard instrument of Venus spacecraft mission which can detect very weak lightning flash under the clouds.

雷放電は惑星大気の力学と物性を強く反映する現象である。地球の雷雲における電荷分離は主として積乱雲中の鉛直対流に伴う氷晶生成とあられ（雨滴）の落下の過程で起こると考えられており、大気運動と密接な関係がある。雷放電がグローバル電流系を駆動することで維持される鉛直電場が、全球平均気温と高い相関を示すことも見出されている。これは、雷放電が対流活動を定量的に表す指標として、非常に優れていることを意味する。金星でも、雷放電は鉛直対流の活発な領域に発生していると推測される。

金星における雷放電現象については、光学および電波観測により少なからず観測の報告がある。電波観測では、Venera 11 号及び 12 号の Lander が高度 30km 以下で、数分から 15 分以上の VLF バースト現象を捕らえている。Pioneer Venus Orbiter (PVO) も、金星の夜側で発生する 100Hz が卓越するバースト現象を観測した。光学観測で初めて雷発光らしい現象を捕らえたのは、Venera 9 号に搭載されたスペクトロメータで、70 秒間に及ぶ発光からスペクトルを求めている。米国アリゾナ大学のグループは地上望遠鏡と高速 CCD カメラによる観測を試み、3 時間に 6 乃至 7 個の雷放電発光を捕らえたと報告した。このように、多くの観測が雷放電の存在を強く示唆しているにも関わらず、20 年に及ぶ雷放電存否の論争に決着がついていない。計画中の金星探査ミッションでは、確実な観測方法によって雷放電現象を抽出し、論争に終止符を打つ。講演では、探査機に搭載する高速フォトメータを紹介し、雷放電発光を捕らえるための戦略を議論する。

金星大気・上層大気の超回転

Superrotation of Venus upper and lower atmospheres

○小山孝一郎(宇宙科学研究所)、高橋幸弘(東北大学)、堤雅基(極地研究所)

Superrotation of the lower atmosphere of Venus is a well known phenomenon. Venus upper atmosphere seems to be also superrotating with a period of about 7 days. Possible effects of the lower atmosphere on the superrotation of the upper atmosphere has been discussed since Pioneer Venus Orbiter mission in 1978, although many scientists believe that both atmospheric regions are strongly coupled.

Main target region of the Japanese Venus mission which has been recently approved officially is lower atmosphere where the 4 day's superrotation is a dominant issue and 4 cameras will be installed for this study. As a visible camera of 777, 557 and 558nm in wavelength will be also onboard, the night time atmosphere at the height of 100-130km can be examined by detecting oxygen emission, which means that the use of both visible and other cameras makes it possible to study the effect of the lower atmosphere on the upper atmosphere.

金星下層大気の超回転はよく知られた現象であるが、上層大気の約7日の超回転があることが1978年に打ち上げられた米国の金星探査機 Pioneer Venus で見出された。地球と同じように多くの研究者が金星下層大気が上層大気に影響していると考えているが、これまで観測的に確認されていない。日本が計画している金星探査計画では下層大気力学研究用のカメラと共に金星雷検出用の光学観測器の搭載が予定されている。この装置は可視領域(551, 558, 及び 777 μm)に感度を持つマルチアノード(8×8)光電子増倍管である。この検出器により高度 100-130km に発光強度がある酸素分子の夜間の運動を知ることができる。即ち特別のカメラを搭載することなく下層大気の imaging のたすけにより下層大気の上層大気への影響を研究できることが期待される。

金星大気の電波オカルテーション観測計画

Radio occultation measurements in Venus atmosphere mission

○今村剛、野口克行、小山孝一郎（宇宙科学研究所）

In the Venus orbiter mission Planet-C, radio occultation technique will be used to obtain vertical profiles of temperature and H_2SO_4 vapor with high vertical resolution. Such information is complementary to the global data of clouds and trace gases obtained by imaging observations.

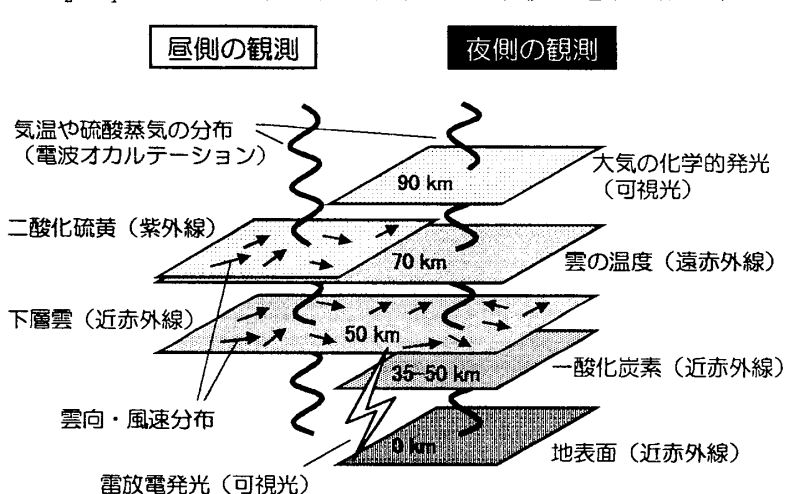
電波オカルテーションとは、探査機が惑星の背後に隠れようとする時に、探査機から送信されて惑星大気を通過したのち地上局へ届く電波の周波数や強度の変動を調べて、惑星大気の構造を探る手法である(下図)。宇宙研ではこの観測に適した受信局を臼田宇宙空間観測所に持っている。今回の Planet-C 計画においては次の物理量を計測する。

- (1) 気温の高度分布(静水圧平衡を仮定)
- (2) H_2SO_4 蒸気の高度分布
- (3) 乱流強度の高度分布
- (4) 電離圏プラズマの高度分布

(1)(4)は周波数変動から、(2)(3)は強度変動から得られる。観測点は、周回ごとに、主に低緯度で経度を180度隔てた2ヶ所である。この手法は金星では幾度も試みられているが、それにも関わらず今回の計画でも採用するのは次のような理由による。

気温分布の観測は、鉛直分解能 $<1\text{ km}$ で高度35-90 kmをカバーし、撮像の対象となる全ての高度面を縦に貫く(下図)。あたかも定期的に気象ゾンデを上げるようなものであり、撮像による水平構造の観測と極めて相補的である。気温分布に見られる波状構造は、撮像観測で捉えられるはずの各種大気波動と関連付けられて、それらの鉛直伝搬性の手がかりとなる。大気安定度の情報もまた、波動の伝搬性やグローバルな熱輸送の解明に欠かせない。電波オカルテーションの観測点を全く同時に撮像することはできないが、数時間以内の時間差でデータを重ね合わせられるので、主要な気象現象について問題は生じない。これまでのミッションでは、この手法で検出された擾乱の素性を同定することはほとんど不可能だった。今回の気象衛星計画ではこの手法の真価が発揮されるはずである。

H_2SO_4 蒸気の分布もまた画像データと関連付けられる。金星の雲は H_2SO_4 が主成分であり、金星の H_2SO_4 蒸気は地球の水蒸気に対応する。撮像で捉えられた雲の分布・運動と、 H_2SO_4 蒸気変動の関係から、雲の凝結・蒸発、ひいては雲の分布やアルベドを決めるプロセスの手がかりが得られる。また大局的な H_2SO_4 蒸気分布は、子午面循環など大規模な運動を推定するためのトレーサーとしても有用である。



十分な精度で観測するために、探査機には 10^{-12} クラスの高安定発振器を搭載することを検討している。X帯(8.4GHz)の受信波は多段ダウンコンバーターを通して20kHz程度にしたのち80kHzでサンプリングされ、記録データは実験終了後にオフラインで解析される。講演では、昨年末に行った「のぞみ」探査機による太陽風観測の結果を参考にして、信号解析の精度についても報告する。

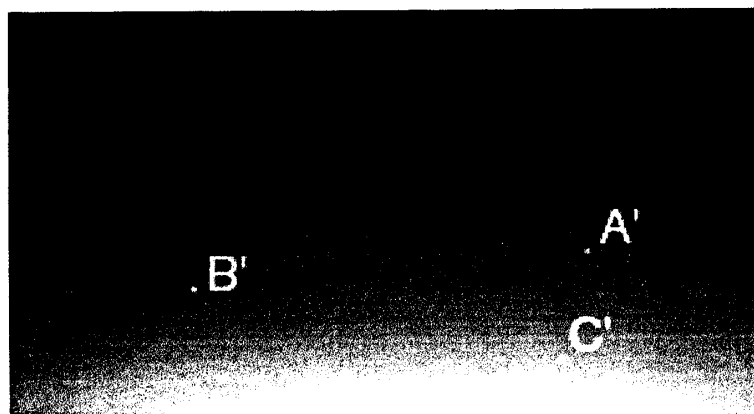
獅子座流星体の月面衝突による発光 II Leonid Impact Flashes on the Moon

○柳澤正久、私市成実（電通大）

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

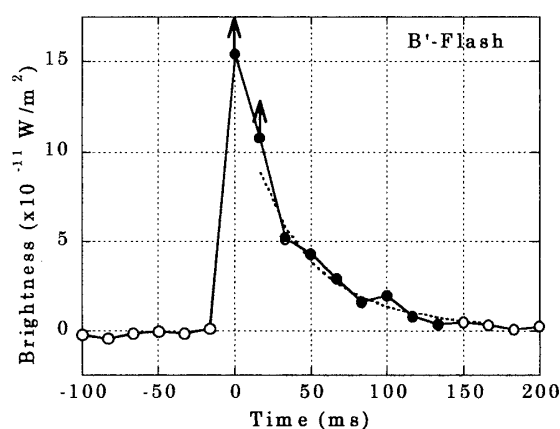
We detected three flashes on the unilluminated part of the Moon's disk on Nov. 18, 1999 by means of CCD TV cameras attached to two small telescopes (20cm and 28cm in aperture). Lunar phase was nearly the first quarter. Observational site was Chofu, Tokyo (N35°39.2" in latitude, E139°32.64" in longitude, and 70.4m in altitude). The time for the flashes were 11h07m46.2s, 13h54m26.0s, and 14h14m31.0s, respectively, in UT (no correction for light travel time from the Moon to the Earth).

1999 年 11 月の獅子座流星群活動期に、月面の夜の部分を口径 20cm(F4) と 28cm(F3.3) の望遠鏡に取り付けたモノクロ CCD カメラでモニター観測し、18 日（月齢 10 日）、図 1 の写真が示すような 3 回の短い発光を観測した。観測地点は東京都・電



気通信大学である。明るさは数等級あり、発光時間は 0.1–0.4 秒であった。

図 1. 右上が天の北。上弦の月の暗い部分での A', B', C', 3 つの発光を合成した画像。月の明るい部分が画面下に少し見えている。



発光光度の時間変化が世界で始めて得られた。B'-Flash について図 2 に示す。これらの発光は、獅子座流星体の月面への衝突によるものと結論した。ゆっくりした減衰は冷えていく高温の液滴からの熱放射で説明できるかもしれない。

図 2. 縦軸は、地球で受かった放射のエネルギー流量。矢印は下限を表し、点線は熱放射モデルによる。

月面撮像/分光機器 (LISM) の地上処理とデータプロダクトの利用について
Ground data processing system and data products of LISM

○平田 成 (科学技術振興事業団 科学技術特別研究員/宇宙開発事業団 月利用研究センター, naru@hope.tksc.nasda.go.jp), 春山 純一, 大竹 真紀子, 杉原 孝充, 出村 裕英 (宇宙開発事業団 月利用研究センター), LISM チーム

Abstract: The Lunar Imager/SpectroMeter (LISM) is an integrated optical instrument for imaging, multiband spectral mapping and profiling in the Selenological and Engineering Explorer (SELENE) project. The purpose of LISM is to gather lunar surface topographic and mineralogical data of the lunar surface with higher quality and greater coverage than previous missions. All LISM data will be processed and stored at the Center for Lunar Mission Operation and Research. The Center will also work as a data distribution center of all SELENE data. All raw images and controlled mosaics will be released to the worldwide science community one year after the mission end. Higher processing level products, such as DTM from TC stereo images, mineral distribution maps from MI and SP data, and mosaic maps based on a newly defined control network, are also planned.

概要: 月面撮像/分光機器 (LISM) [1]は月周回衛星 (SELENE) [2]に搭載される地形カメラ (TC), マルチバンドイメージャ (MI), スペクトルプロファイラ (SP) の三機器からなる複合型の光学センサである。LISM は SELENE の一年間の月周回観測期間中に膨大な量のデータを取得する。そのデータ処理は大きく分けて, level2a 処理, モザイク処理, 高次解析処理, の三段階からなる。

level2a 処理ではテレメトリデータから画像およびスペクトルデータを抽出し, 後の較正, 補正処理に必要な衛星の軌道情報, 機器情報を付加する。ここでは観測データそのものは取得状態のままであり、生データとして保持され, level2a データは以降の全ての処理の出発点となる。

モザイク処理では level2a データに対し, LISM チームが標準化した手順で輝度較正, 測光補正, 幾何補正を加えた月全球を覆う統一的なモザイクデータセットを作成する。本モザイクデータでは機器固有情報は補正され, ユーザが各自のテーマに沿った高次解析を簡単に行うことができる[3]。また, 月全球を統一されたグリッドで覆うため, 機器間のデータの比較が可能となる。この統一グリッドは SELENE 全体でも使用する構想となっており, SELENE 計画の複数のミッション機器のデータを横断する高次解析にも対応する。

LISM の全てのデータ処理, 解析は宇宙科学研究所内に設置される月ミッション運用解析センタにおいて行われた後, ミッション終了一年後に同センタを通じて惑星科学のコミュニティに対して公開される予定である。

References: [1] Haruyama, J. et al. (2000) *LPS XXXI* 1317.pdf. [2] Kato, M. et al. (2000) *ESA SP-462*, 119-123. [3] Demura, H. et al. (2001) *LPS XXXII* 1648.pdf.

MUSES-C 搭載用 X 線検出 CCD の単体性能評価

Evaluation of CCD for MUSES-C X-Ray fluorescence spectrometer

○青木美希^{1,2}、白井慶²、岡田達明²、加藤學²

(○M.Aoki^{1,2}, K.Shirai², T.Okada² and M.Kato²)

1. 東京工業大学 理工学研究科 地球惑星科学専攻 (Tokyo Institute of Technology)

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

We are developing X-Ray fluorescence spectrometer onboard MUSES-C which will be launched in 2002. Charge-coupled device (CCD) is used to detect X-Ray fluorescence from the surface of asteroid. We have made an apparatus to evaluate the CCD with various conditions. We will report about this apparatus and the performance of CCD itself when temperature and driving pulse voltage are varied.

我々のグループでは、2002 年打ち上げ予定の小惑星探査機 MUSES-C に搭載する蛍光 X 線分光計(XRS)の開発を行っている。

太陽 X 線が小惑星表面に照射することによって元素固有の蛍光 X 線が励起放射される。この蛍光 X 線を検出し、小惑星の表面物質の主要元素組成とその地域分布を決定することが、XRS の主な観測目的である。

主要元素(Mg, Al, Si など)は岩石の種類を特定し、物質進化の特徴を知るための鍵となる情報である。この主要元素からの蛍光 X 線を精度良く分離して検出するために、XRS では過去の蛍光 X 線探査で通常使われてきた比例計数管に変わり、よりエネルギー分解能の高い CCD を検出器として用いている。

CCD の出力信号には内因性、外因性の様々な要因の雑音に加わる。雑音としては、暗電流、読み出しノイズ、電荷転送効率の揺らぎ、信号処理回路等外部に起因する雑音、各ピクセルの個性などがある。これらの雑音を可能な限り抑えることが、CCD のエネルギー分解能の向上につながる。暗電流は温度に依存するものであり、読み出しノイズや電荷転送効率は CCD 駆動時の入力パルス信号の電圧値に依存する。また雑音レベルは CCD ごとに個体差もある。

現在、MUSES-C 搭載用の XRS のフライトモデル(FM)が出来上がっており、FM に取り付けられる CCD の製作も終わっている。我々は CCD 単体の性能評価を行うための実験装置を製作し、今回は FM 品と同等の TEC(Thermo-electric

cooler)内蔵型フルフレームトランスファー型 CCD の性能評価を行った結果を報告する。

Cu-K α X 線を照射して得た玄武岩試料の X 線スペクトルの 1 例を図に示す。動作条件、環境条件は図の脚注に記した。この場合でも主な元素の蛍光 X 線のピークは同定可能なことがわかる。このピークをガウスフィッティングした時の半値幅をより小さい値にするような設定条件を求めることが、本研究の目的である。

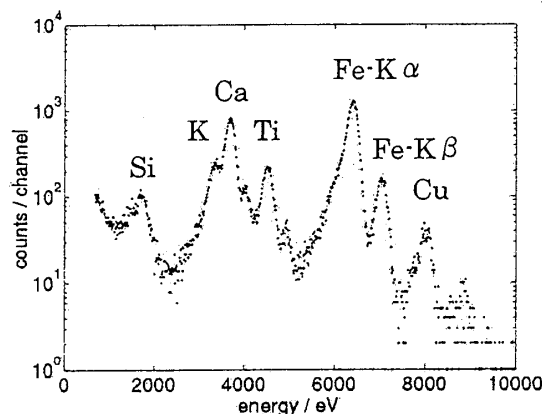


図1.

試料(玄武岩)に X 線(Cu-K α)を当て、CCD で蛍光 X 線を検出した時に得られるスペクトル例。

この場合のエネルギー分解能(FWHM)は、以下の通り。

Ca (3.7keV): 232eV

Fe-K α (6.4keV): 246eV

・動作条件

縦転送電圧: 2V / -8V, 横転送電圧: 6V / -4V

・温度条件 -50°C

MUSES-C 搭載用 XRS における太陽 X 線モニタリング法の検討 Method of solar X-ray monitoring for XRS onboard MUSES-C

○増田英二(宇宙研)、岡田達明(宇宙研)、山本幸生(宇宙研)、加藤學(宇宙研)

We are developing an X-Ray fluorescence Spectrometer (XRS) onboard the asteroid probe MUSES-C. Variation of solar X-rays must be considered to analyze major elements quantitatively. XRS observes solar X-rays indirectly using a standard sample. Therefore X-rays from a planetary surface can be calibrated with those from a standard sample in addition to investigation of the spectra and intensities of solar X-rays. We make a model of solar X-ray flux and simulate X-rays observed from a standard sample under various solar conditions. We estimate inversely solar X-rays with calculated emissions and investigate suitable integration times.

2002 年打ち上げ予定の小惑星探査機 MUSES-C は検出器に X 線 CCD を用いた蛍光 X 線分光計 (XRS) を搭載する。XRS は太陽 X 線によって小惑星表面から励起される蛍光 X 線を観測することで、その表面に分布する主要元素の組成を定量的に調べる。そのためには、励起源である太陽からの X 線スペクトル及び強度の変化を考慮する必要がある。

XRS では、太陽 X 線を直接観測するのではなく、元素組成が既知である標準試料を搭載し、その試料からの蛍光 X 線を観測する方法 (標準試料法) を用いる。これにより太陽 X 線スペクトルや強度を調べるだけでなく、惑星表面からの X 線との比較分析が可能になる。

本研究では標準試料法を用いた太陽 X 線の推定を行う。そのために、最初に太陽 X 線モデル[1]を使用し、コロナの温度 T 、Emission measure(EM)を太陽活動度のパラメータとして太陽からの X 線フラックスを計算した (図 1)。次にこのモデルを用いて、太陽活動度の変化に応じた標準試料からの X 線の推定を行った。推定には蛍光 X 線モデル[2]、散乱 X 線モデル[3]を用いた (図 2)。

これらを用いて太陽 X 線フラックスの見積もりを行い、標準試料法による太陽 X 線モニタリングの有効性、及び太陽活動度に応じた有効積分時間について検討する。

Reference

[1] Mewe, R. *et al.* (1986) *Astron. Astrophys. Suppl. Ser.* 65, 511.

[2] Jenkins, R. *et al.* (1995) *Quantitative X-ray Spectrometry* 2nd ed. *Mercel Dekker, Inc.*
[3] Okada, T. (1996) Doctor's Thesis, University of Tokyo.

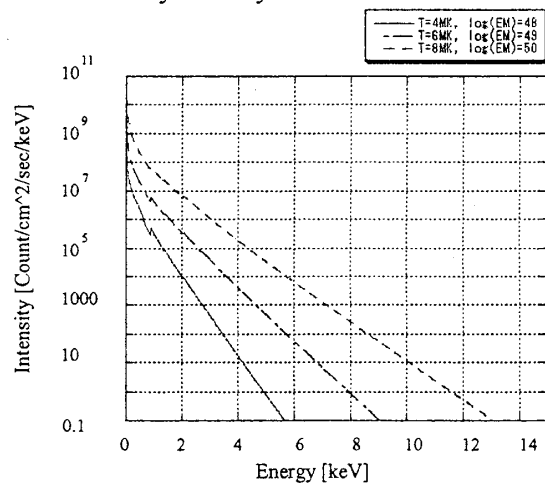


図 1 : 太陽活動度を変えたときの太陽 X 線フラックス。三段階の太陽活動について比較した。

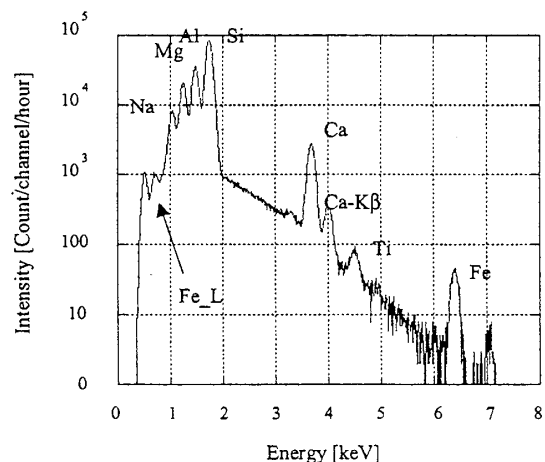


図 2 : XRS による標準物質からの予想検出スペクトル。積分時間は 1 時間、太陽 X 線は $T=8\text{MK}$, $\log(\text{EM})=50$ 、標準物質として MORB を仮定した。

ポスト MUSES-C 小天体探査：MEF 統合 2 案の予備検討
 Minor Body Explorations in the Post-MUSES-C Era:
 Preliminary Investigations for Two Integrated Mission Plans by MEF

- 矢野創 (宇宙科学研究所・惑星研究系)、小天体探査フォーラム
 ○ H. Yano (ISAS) and Minor Body Exploration Forum

Minor body mission plans in the post-MUSES-C era have been discussed since last year and the MEF has selected two finalists and integrated them with other candidates in terms of common scientific objectives and observational methods. These are the multiple rendezvous and sample return missions to spectral known near-Earth objects and the multiple fly-bys and sample returns to the main belt asteroid family members. We will discuss their preliminary mission plans, scientific objectives and expected results.

会員制 E グループ・「小天体探査フォーラム (MEF) (会員ページ、<http://www.egroups.co.jp/group/minorbody>; 公開ページ、<http://www.minorbody.com>)」は、全国に 170 名近いメンバーを持ち、「10 年後に日本が実施すべき次期小天体探査ミッションの有力候補を、ボトムアップ式に創り出す」ことを目的としている。今回、MEF が昨年来検討してきた 7 つの探査案を、共通する科学目的や観測手段などから、(1)「スペクトル既知 NEO マルチランデブー&サンプルリターン+着陸機+HERA ミッションとの国際連携」と(2)「小惑星族マルチフライバイ&サンプルリターン+編隊飛行技術」の 2 案に統合した。

両者に共通するのは、「小惑星への複数訪問」と「サンプルリターン物質分析」である。また両者によって標榜される、今世紀初頭の小天体探査における最重要科学目標は、(a)小惑星博物学の早期決着と、(b)分化・未分化小惑星の表面・内部構造探査の二つに集約されよう。今後はこれらをたたき台にしたレポートをまとめ、今年度中に宇宙科学研究所のワーキンググループの発足を目指したい。

(1) スペクトル既知 NEO マルチランデブー&サンプルリターン

2010 年初頭に、1~2 機の探査機を、複数個のスペクトル型既知 NEO にランデブーさせ、軌道上グローバルマッピングおよび着陸機または微小重力ローバによる表層・内部構造のその場計測をした後、表面物質を地球に持ち帰る。探査対象は、MUSES-C や HERA とは異なるスペクトル型を選び、全体として多種のスペクトル型小惑星のサンプルリターンを短期間で可能にする。MUSES-C で開発した技術の継承、発展による開発期間の短縮、低価格化も目指す。

(2) 「ファミリー」ミッション

共通した原始惑星を母天体に持つと考えられている小惑星帯天体の一群「族 (ファミリー)」に属しながら、異なるサイズ、軌道要素、分光特性を持つ複数の天体を訪問することで主に、(1)母天体の熱的分化を探る内部構造の直接探査と、(2)惑星系の進化過程に普遍的現象である衝突破壊・再凝集の履歴と、その物理・化学的素過程の解明を目的とする。現案では、探査機は 2010 年頃に打ち上げられ、3 大ファミリーの一つ Koronis 族の S 型小惑星 3-4 個へ 3-6 年間で接近、あるいは E、M、S、F 型など多様なスペクトル型を持つ Nysa-Polana 族の小惑星 2 個へ 3 年間で接近し、撮像、分光、重力測定、表面試料採集などを行った後に地球に帰還する。

MUSES-C サンプラー実機製作: 微小重力と汚染管理の観点から
 The MUSES-C Impact Sampler Flight Model
 Considered the Micro-gravity Condition and the Contamination Control

○ 矢野創、藤原顕、長谷川直、樋口健、安部正真（宇宙科学研究所・惑星研究系）、
 岡野康一（東芝）、高木靖彦（東邦学園大学）

○ H. Yano, A. Fujiwara, S. Hasegawa, M. Abe (ISAS),
 K. Okano (Toshiba, Co.), and Y. Takagi (Toho Gakuen Univ.)

The MUSES-C, the near Earth object sample return mission will employ the impact sampling device, which has recently completed its flight model design and manufacturing. It implemented results from collection efficiency tests under the microgravity condition as well as contamination control protocols for returned samples.

本講演では、世界初の小惑星サンプルリターン計画・MUSES-C サンプラー装置に、実機設計をした際の微小重力下での収率実験や、回収試料の汚染管理の条件がいかに反映され、その結果どのような成果が期待されるのかをまとめる。

MUSES-C で開発したホーン方式サンプラーは、対象物体に細長い漏斗状の円錐ホーンを被せ、その中でプロジェタイルを発射する。小惑星表面は微小重力下なので、円錐ホーンは破片を効率よく移動させ、破片密度を小さなキャッチャに向かって高めていく「収束器」の役割を果たす。収集効率と実機の最適形状を求めるために地上実験を行なった結果、(1) 真空度が同じならば、衝突エネルギーが上昇するにつれて収率が上昇、(2) 収率は大気圧下で最も低く、真空度と共に上昇、そして(3) 収率は衝突エネルギーが上昇するにつれ、ある臨界点(40%)に向かって収束することが分かった。

続いて重力効果を評価するため、航空機の弾道飛行による約20秒間の0.01G環境と、高さ140mの落下塔施設での自由落下による4.5秒間の $10^{-4}\sim 10^{-5}$ G環境で、射出・収率実験を実施した。なお、MUSES-Cの探査天体1998SF36の表面重力は 10^{-4} G規模である。その結果、以下に示すような特徴が解明された。まず標的が耐火煉瓦の場合、放出物はおおまかに、100m/s程度で鉛直方向に噴き出るサブミリサイズの微粒子雲の「ジェット」、より大きな立体角を持って10 m/s程度で拡散するmmオーダーの粒子群、そして標的表面から1 m/sオーダーで浮き上がる数mm以上の大きなスポレーション破片の3種に分別できた。ミッションではタッチ&ゴー運用時の工学的制約から、接地時間は3秒より短い必要があるが、最初の1秒で採集される試料はサブミリからmmサイズが主流になることが確かめられた。

次に1G下と微小重力下での収率を比較した。1Gでのキャッチャへの収率は数%から20%弱までと幅はあるが、微小重力環境下の最高値は約40%を記録した。一方、耐火煉瓦と模擬レゴリスおよびガラスビーズでは、収率が2-3桁異なった。しかし後者は放出総量が数10-100gもあり、実収量は数gから10gに達する。つまり採取地点が煉瓦のような一枚岩でも、レゴリス層でも、各種物質分析に十分な収量は見込める。ただしレゴリス層の場合、個々の試料のサイズは明かな微小粒子であり、微量分析技術の習熟が重要になる。従って、FM品製造工程・総合試験・打ち上げ作業・カプセル回収・初期分析の計5年以上にわたるサンプラー部の汚染管理でも、固体微小粒子試料の保護に着眼した部品管理・汚染防止・汚染モニター方法を準備している。また、初期分析手法の開発やキューレーション施設の設計でも同様に重点を置いて立案している。

のぞみ搭載ダスト計測器MDCによる 惑星間空間ダストの計測：3年間の結果

○佐々木晶（東大理）、Eduard Igenbergs（ミュンヘン工科大）、
大橋英雄（東京水産大）、MDCグループ

Measurement of interplanetary dust particles by Mars Dust Counter (MDC) on board NOZOMI: Three-year results

Sho Sasaki (Univ. Tokyo), Eduard Igenbergs (Technical Univ. Munich),
Hideo Ohashi (Tokyo Univ. Fisheries), MDC Group

Since July 1998, Mars Dust Counter (MDC) on board NOZOMI has been detected nearly 100 impacts of interplanetary and possibly interstellar dust particles. Change of dust detection frequency would be compatible with the change of aperture direction of MDC sensor.

1998年7月以来、火星探査機ののぞみ搭載のダスト計測器MDCは、惑星間ダストの計測を続けており、これまでに100個近い明確なダストの衝突を記録している。

図1, 2はそれぞれ1999年、2000-2001年のダスト衝突のイベントを示している。矢印の方向はダストの運動方向、長さは速さを表す。運動は黄道面(x-y)に投影してあり、+x方向が春分点の太陽方向である。1999年は高速の星間起源ダスト（-yに近い方向から来ると考えられている）を数個検知しているが、2000-2001年は少なくほとんどが太陽のまわりをケプラー周回しているダストである。この変化の原因として、のぞみのスピン軸の方向の違いからくる検出効率の違いが挙げられる。

今後、2003年の終わりまで、MDCは地球-火星軌道間の惑星間ダストを引き続き計測する。2004年からは火星周回の観測により、フォボスやダイモス起源の火星のダストリングの発見が期待される。

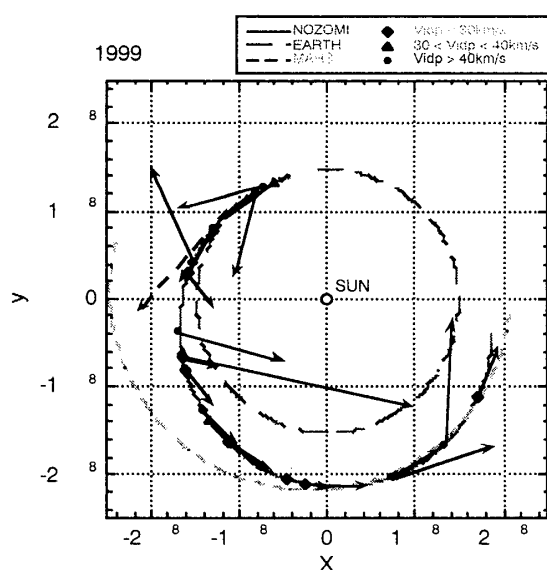


図1 1999年の衝突ダストと運動方向

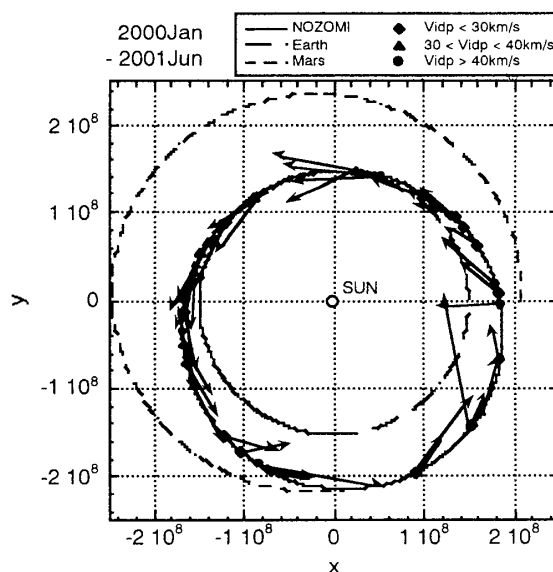


図2 2000-2001の衝突ダストと運動方向

惑星水循環における海の影響：古火星への応用

Effect of Ocean on Water Circulation : An Implication for Paleo-Mars

○木村春奈, 阿部豊 (東大・理)

○Haruna Kimura and Yutaka Abe

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

Many fluvial features on the surface of Mars indicate past active hydrologic cycle. A ocean may have existed on the northern plain of Mars, judging from present features. A ocean may affect the hydrologic cycle. Low latitude ocean induces precipitation of equatorial region, where it should be dry when the planet has no ocean and the inclination is small ($<30^\circ$). Oceans may also induce a monsoon-like circulation. We clarify the effect of the oceans on the atmospheric water cycle using a general circulation model (GCM).

火星には多くの流水地形が残っており、過去に活発な水循環が起こっていたことが示唆される。特にvalley networkは主に長時間持続する水の流れによって形成されたと考えられる。また、このような流水地形は全球的に分布していることから、水循環は全球的かつ継続的であったと考えられる。火星の北半球は低地であること、そして海岸を示すような地形を持つことから、北半球にはかつて海洋が存在していたという説がある。

惑星に海洋が存在せず、自転軸の傾きが小さい (30° 以下) 場合、大気が低緯度から高緯度へ水を輸送することによって低緯度地域が極度に乾燥する。しかし、北半球の海洋が低緯度まで達していると、海洋を通して極から低緯度への還流が起こり低緯度地域が湿潤に保たれる。また、海洋は陸地に比べ熱容量が大きく温度変化が小さいので、海洋の存在はモンスーン変動を起こす可能性がある。しかしながら、北半球だけに海洋が存在する状況において、海洋の存在や大きさが惑星大気の水循環にどのような影響を与えるかは、現在までの研究ではよくわかっていない。そこで我々は、大気大循環モデルを用いた数値実験により、北半球にのみ海洋を持つ、地形を除いた理想的な惑星での降水分布を検討した。

火星大気の安定性と気候変動

○ 横畠徳太 (北大理), 小高正嗣 (東大数理), 倉本圭 (北大理)

E-mail: yokohata@ep.sci.hokudai.ac.jp, URL: <http://www.ep.sci.hokudai.ac.jp/yokohata/work/>

In order to study the stability of climate on Mars, we constructed a 2-dimensional energy balance model which includes the atmosphere, regolith, CO₂ polar caps and H₂O ice covers. Longterm CO₂ exchange between the atmosphere and CO₂ polar caps are estimated by investigating the annual amount of CO₂ evaporation and condensation at the polar caps. From our numerical results, a scenario on the evolution of martian climate is proposed.

大気の元素同位体比やクレータ侵食率などから、初期火星 (4 ~ 3 Ga) は大気圧の非常に高い (現在の $> 10^2$ 倍), 温暖な気候を持っていたと考えられている。また, 液体の水が関与したと考えられる地形や氷河地形が幅広い年代に渡って存在することから, 中期以降 (3 Ga ~) の火星にも温暖な気候は度々実現した可能性がある。これら様々な証拠から示唆される火星の気候進化を理解することは, 惑星表層環境の普遍的性質を理解する上でも非常に重要である。しかしながらその原因や機構については, 未だ不明な部分が多い。

我々は 2 次元エネルギーバランス気候モデルを構築し, 火星の気候進化を理解する上で不可欠な気候システムの安定性について調べた。このモデルでは CO₂ 大気による温室効果, 緯度方向の水平熱輸送過程, 極冠における CO₂ の蒸発凝結過程, H₂O 氷の緯度分布が考慮されている。従来の研究では 1 次元放射対流平衡モデルや Box モデルによる気候進化の解析はなされているが, 鉛直-緯度方向の物理過程取り入れたモデルを用いて CO₂ 蒸発凝結過程を求めた研究はなされていない。火星では大気と CO₂ 極冠が質量交換をすることにより大気圧がコントロールされるため, 極冠における CO₂ の蒸発凝結過程は極めて重要である。また過去において H₂O 氷が広い領域に渡って存在していたならば, それらは地表面のアルベドを上げることにより気候状態に大きな影響を与えたはずである。本研究では H₂O 氷分布が極冠-大気間の質量交換過程に与える影響を調べ, 火星大気の安定性について議論する。

年間を通した夏極からの全蒸発量と冬極への全凝結量を引いた量を CO₂ 正味蒸発量 (E_{net}) と定義する。 E_{net} が正の場合には大気圧は増加し, 逆に E_{net}

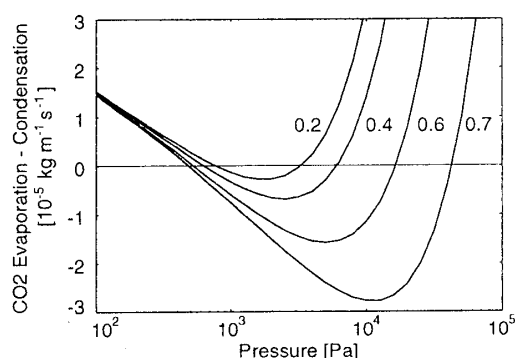


図 1: CO₂ 正味蒸発量. 横軸は与えた大気圧. 曲線の数値は地表面レゴリスアルベドの値. 現在のアルベドの観測値は ~ 0.2 .

が負の場合には大気圧は減少する。図 1 は, 様々な地表面レゴリスアルベド (A_r) に対する大気圧- E_{net} 曲線である。氷河や氷床などの H₂O 氷が地表に占める面積の割合が高いほど, 正味の地表アルベドは高くなる。このため A_r の値が大きいことは, H₂O 氷が広い領域に渡って存在することを意味する。図 1 から, A_r が大きいほど正味の CO₂ 凝結が起りやすいことが分かる。この効果は特に大気圧の高い場合に大きい。これは, 大気圧が高い場合には E_{net} が低緯度域から極域への水平熱輸送量で決まるためである。H₂O 氷が広い領域に分布するとその領域の気温は下がる。このため極域への熱輸送量が減少し, 極域における E_{net} は減少する。特に過去の大気圧の高い時期に, H₂O 氷の存在は気候変動に大きな役割を果たしたと考えられる。

[1] 横畠徳太, 倉本圭, 遊星人 10, No. 2, 74 (2001).

[2] Yokohata, T. and Kuramoto, K., *Proceedings of the 34th the ISAS Lunar and Planetary Symposium* (2001).

CCSR/NIES AGCM を用いた火星大気シミュレーション ～ダストストームの発生～

Simulation of Martian atmosphere using a CCSR/NIES AGCM ～ The occurrence of dust storms ～

○黒田剛史・高橋正明・橋本尚久（東大気候システム研究センター）

○Takeshi Kuroda, Masaaki Takahashi and Naohisa Hashimoto
(Center for Climate System Research, University of Tokyo)

We are performing the simulation of Martian general circulation based on a CCSR/NIES AGCM. We report the numerical results of the simulation, especially about dust storms which occur all the year round. Three large-scale dust storms and many local dust storms occurring from fixed several places are reproduced in the simulation. The process of occurring large-scale dust storms is consistent with the observed one, which the dust opacity increases rapidly at one place and later the dust opacity increases to the extent of the entire planet in 1 to 2 weeks. Two of these three large-scale dust storms occur from southern hemisphere in southern spring and summer, and the other one occurs from northern hemisphere in late northern spring.

CCSR/NIES AGCM を用いた火星大気のシミュレーションを行っている。その数値実験の結果、とりわけ火星大気中で年間を通して大小さまざまな規模で発生するダストストームの再現結果について報告する。

1970 年代にマリナーやバイキングは全球を覆い尽くすダストストームが決まって南半球の春から夏に発生するのを観測した。その後しばらくはそのような全球規模のダストストームは見られなかったが、2001 年 7 月に火星全球がダストストームで覆い尽くされている様子が実に 24 年ぶりに観測された。マーズグローバルサーベイヤーやハッブル宇宙望遠鏡はほかにも北半球の春から夏に北極冠付近で比較的大規模なダストストームがよく発生しているのを観測している。

この実験では 3 つの大規模なダストストームと、多くの局地的なダストストームの再現に成功した。3 つの大規模なダストストームのうち 2 つは近日点を挟んだ南半球の春～初夏に南半球のタルシス山脈の南部で発生したもので、まず局地的にダストの濃度が著しく濃くなり、その後 1～2 週間で火星全球に渡ってダストの光学的厚さが増加した。これは発生時期、場所、ダストストームの発達過程とも報告されている全球規模ダストストームの観測事実に対応するものである。もう 1 つの大規模なダストストームは北半球の晩春に北半球で発生しており、これはその発生の後北極冠上空のダストの濃度を増加させているという点では観測事実に対応していると言えるものである。

火星における極冠の季節変動とダストストーム

Seasonal Variation of the Polar Caps and Dust Storms on Mars

○橋本尚久、高橋正明、黒田剛史 （東大・気候システム研究センター）

Abstract

Mars has atmosphere mainly composed of CO₂. And many dust storms have been observed, which control the climate of Mars. Surface pressure varies about 25% of the mean pressure caused by sublimation and condensation of the polar caps, which affect the generation of dust storms. We have simulated the Martian atmosphere with CCSR/NIES AGCM which includes the process of seasonal variations of the polar caps, and investigated how dust storms feel the effect of the oscillation.

概要

火星には主成分が CO₂ の薄い大気が存在する。そして決まった季節に南半球から北半球までダストを輸送する大ダストストーム（砂嵐）が発生し、火星の気象はこの大気中に浮遊するダストによって支配されている。また火星の大気圧は、極域に存在するドライアイス（極冠）が季節とともに昇華・凝縮することにより約 25% も変動し、ダストストームの発生に影響を与えるといわれている。我々は地球用に開発された大気大循環モデル（CCSR/NIES AGCM）を火星用に修正し、ダストストームの発生メカニズムと気象に与える影響を調べてきた。今回は極冠の季節変動に注目し、モデルに組み込むことでその影響を調べてみた。現在のところ、昇華については極冠部分で CO₂ の凝結温度を超えた場合に大気最下層が飽和蒸気圧になるようにし、また昇華した分だけ大気中に CO₂ が供給されることにした。また凝結については大気中で過飽和になった分の CO₂ を取り除くことにした。本講演までには昇華、凝結による潜熱の効果も組み入れる予定である。

火星気候システムに及ぼす自転軸傾斜の影響

Analysis of the Martian climate system: effect of changes of the obliquity

◦ 中村貴純, 田近英一 (東大・理・地惑)

◦ Takasumi Nakamura and Eiichi Tajika

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

Many valley networks on the surface of Mars suggest existence of warm and wet climate in the distant past. We construct a one-dimensional energy balance climate model with CO₂-dependent outgoing radiation, changes of areal extent of CO₂ ice caps, and adsorption of CO₂ by regolith, under the condition of seasonal changes of solar radiation income. We have investigated behaviors of the Martian climate system and, in particular, examined the effect of obliquity variation of Mars. We found that a drastic change of the Martian climate (called a “climate jump”) due to decrease in the total amount of CO₂ might have occurred during the long-term evolution of the Martian climate. We also found that the climate jump could have occurred repeatedly in short-term cycles during the Martian history due to changes in the obliquity of Mars.

火星表面には数多くの河床地形が見られ、過去に温暖湿潤な気候が存在したことが示唆されている。火星の気候状態は、大気主成分である CO₂ の温室効果に強く影響されると考えられている。その場合、火星表層中の主な CO₂ リザーバに着目した大気-極冠-レゴリスシステムを考えると、大気 CO₂ 量の決定メカニズムを知る上で重要となってくる。そこで我々は以前から、南北 1 次元エネルギーバランス気候モデルを用いて大気-極冠-レゴリスシステムの解析を行ってきた。その結果、システム中の総 CO₂ 量の変化が、火星の長期的な気候進化に重要な役割を果たしていることがわかった。特に、かつて温暖な気候が存在したならば、システム中の総 CO₂ 量の減少に伴い、ある時点で寒冷な気候状態へと急激に変化した可能性を導いた。このような大規模かつ急激な気候変化を気候ジャンプと呼ぶ。

しかしながら、火星の自転軸傾斜角は、その歴史を通じて大きく変化してきた可能性が知られている。自転軸傾斜角の変化は惑星の気候状態に大きく影響すると考えられるが、それが大気-極冠-レゴリスシステムの進化に及ぼす効果を考察した研究は存在しない。そこで我々は、火星の自転軸傾斜を様々に変化させた場合の、南北 1 次元エネルギーバランス気候モデルの振る舞いを解析し、それが火星の気候進化に与える影響を考察した。その結果、自転軸傾斜角の変化が短い周期での大規模気候変動（気候ジャンプ）をたびたび引き起こしてきた可能性があることを導き出した。

透過微分干渉法による氷物質の融解曲線測定

Melting curve measurement of ices by differential interference microscope

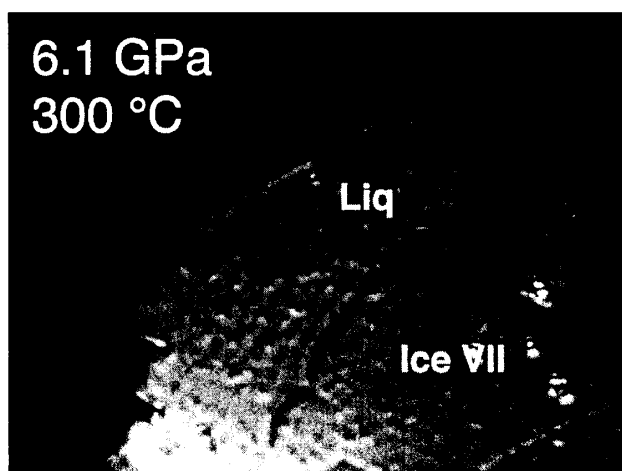
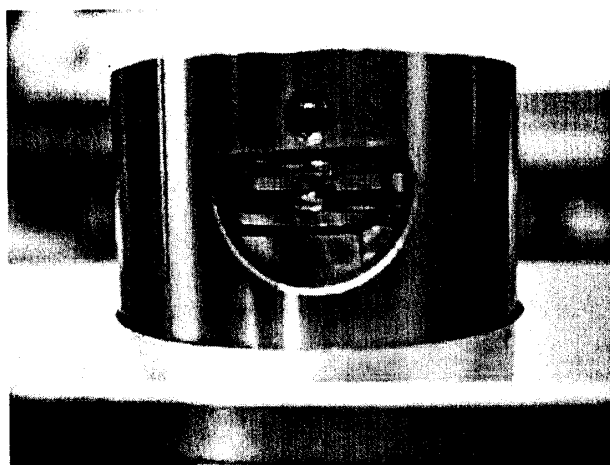
°奥地拓生（名大環境）・栗田典明（名大理）

Differential interference method was successfully applied on diamond anvil cell high-pressure experiments at temperatures up to 500°C. The melting curve of H₂O can be measured at pressures higher than previous studies with bright field microscopic observations.

ダイヤモンドアンビルセルを用いた高温高压下での顕微鏡観察実験に利用できる新しい手法として、透過微分干渉法の応用について報告を行う。試料は天王星・海王星および氷衛星の内部構造をつくる主成分であり、また固体地球科学の題材としても重要な H₂O である。

H₂O は、高压力下で多数の安定な結晶相を持つ物質である。その高压力下での物性の研究は、赤外・ラマン分光、電気抵抗測定、熱量測定等により活発に行われているが、最も簡単に行うことが可能な光学顕微鏡観察による研究は、あまり活発ではない。その主たる理由としては、H₂O の全ての相がともに無色透明であり、像にコントラストが付きにくいこと、相の違いによる屈折率差が小さいこと、そして圧力容器の光学窓を光線が通過するときの収差により、ただでさえ見えにくい像がさらに劣化すること、等が挙げられる。本研究ではこれらの問題を解決するために、微細な屈折率の変化を空間微分の形で強調することのできる、透過微分干渉法による観察を試みた。対物レンズには平板光学窓の収差補正環付きで透過微分干渉観察に対応したタイプの中から、最も長い作動距離を持つ Nikon Plan Fluor ELWD 20xC (N.A. = 0.45) を用いた。同レンズの 7mm という短い作動距離のもとで高温高压下での試料観察を行うためにダイヤモンドアンビルセルを製作した（写真左）。対物レンズの熱損傷を避けるために水冷ジャケットを製作した。さらにピストンに荷重を付加する加圧板についても、透過照明光(N.A. = 0.3)を遮らないように開口部を大きくしたものを製作した。

以上を用いて予備実験を行った結果、温度 500°C までの条件で、ダイヤモンドアンビルセルにより加圧された氷 VII 試料に対して観察を行い、透過微分干渉効果を得ることができた（写真右）。なお微分干渉効果が明瞭に得られる場合の試料の厚さは、約 20 μm 程度と薄く、このためにガasketの材質によっては、試料室形状を保持したまま安定に加熱することに問題があった。この問題を解決し、従来は光学観察による融解の判定が困難だった圧力 10 GPa 以上の領域において氷 VII の融解曲線を測定して、その結果について報告を行う。



高速回転球殻中の貫入対流と木星の平均帯状流生成

Penetrative convection in rapidly rotating spherical shells and generation of mean zonal flow of Jupiter

○ 竹広 真一 (九大・理), John. R. Lister (ケンブリッジ大)

○ S. Takehiro (Kyushu Univ.) and J. R. Lister (Univ. of Cambridge)

Penetration of columnar convection into a stably stratified layer near the outer boundary in rapidly rotating spherical shells is investigated in order to consider generation mechanism of the surface zonal flow of Jupiter. It is shown that the extent of penetration is weakened as the stratification is increased, however, mean zonal flow component penetrates the layer much deeply than the columnar convective motion. The results suggest that if the surface zonal flow of Jupiter is driven by the deep columnar convection, there are two possibilities: the underlying columnar convection can penetrate the stratified layer and drives surface zonal flow directly; otherwise, columnar convection cannot penetrate the layer, but drives a large scale deep zonal flow, which is able to communicate through the stratified layer.

木星大気表面の縞状の帯状流分布の成因として考えられているメカニズムの一つに、木星大気深部のテイラー柱型対流による説明がある。回転軸方向に伸びた 2 次元的な対流運動が外側境界の影響で傾くことにより、動径方向への運動量輸送が生じるというものである。ところが最近のガリレオ人工衛星の観測によると、5 bar から 16 bar にかけて安定成層が存在することが示唆されている。このような安定成層が存在すると、そこでは対流運動が抑えられるために上記のような運動量輸送による平均帯状流の生成が説明できなくなる可能性がある。そこで本研究ではテイラー柱型対流と平均帯状流が上層の安定成層にどの程度貫入するか調べるための数値実験を行った。

用いた数値モデルは 3 次元の回転球殻ブシネスク流体モデルである。球殻の内側ほぼ半分を成層不安定、外側を成層安定に設定している。境界条件は free-slip、温度固定条件である。回転の大きさを表すテイラー数を 10^8 、熱拡散と粘性拡散の比を表すプラントル数を 1、内外球殻半径比は 0.4 に固定した。内側の成層不安定性を表すレイリー数は対流が発生し始める臨界値の 3~4 倍程度の値を用いた。初期値状態として静止状態から 1 点に温度擾乱を加えたものを与えた。外側の安定成層の強さを何通りかに変えて時間積分計算を実行し、発生した対流運動が十分に発達し、運動エネルギーがほぼ定常となった状態を解析した。

その結果、全ての場合について回転軸方向にはほぼ一様なテイラー柱型の対流運動と平均帯状流速度分布が得られた。安定成層を強くすると流体運動の安定成層への貫入が次第に弱くなり、下層の不安定成層内にトラップされていく。しかしながら、テイラー柱型対流に比較して平均帯状流成分は大きく安定成層に貫入する傾向が見られる。これらの傾向は半無限平面モデルによる貫入距離の理論的な表現により説明することができる。安定成層内下面の水平渦運動が成層へ貫入する回転軸方向の距離 δ_Ω は系の回転角速度と安定成層のプラントサイラ振動数 Ω, N 、および渦の水平波数 $\sqrt{k^2 + l^2}$ を用いて、 $\delta_\Omega \sim 2\Omega/N\sqrt{k^2 + l^2}$ と表される。この表現から、テイラー柱型の流体運動が支配的な非帯状成分に比較して帯状成分は小さい水平波数を持つために貫入の程度が大きい、と解釈することができる。

この結果から、もしも木星表面の平均帯状流が深部の対流により生成されているならば、かならずしもテイラー柱型対流運動が安定成層をつき抜ける必要がないという結論が得られる。すなわち平均帯状流生成のメカニズムとして

1. 深部のテイラー柱型対流が安定成層を貫き、表面の帯状流を直接生成している場合
2. テイラー柱型対流は安定成層を貫いていないが、成層下で生成された帯状流が表面に達している場合の 2通りの可能性が示唆される。

木星型惑星大気の熱力学計算: 大気の静的安定度に関する考察

Thermodynamic Calculation of the atmosphere of the Jovian planets:
Consideration of the static stability of the atmosphere

○ 杉山 耕一朗 (北大・理), 小高 正嗣 (東大・数理), 倉本 圭 (北大・理), 林 祥介 (北大・理)

An equilibrium thermodynamic calculation method is newly developed to investigate vertical profiles of temperature and condensed species of the Jovian planetary atmospheres. Utilized is the method of minimizing thermodynamic function to obtain equilibrium composition. Its advantage is that we do not have to know the details of corresponding chemical reaction formulae. Assuming ideal gas and ideal solution, the calculation scheme is greatly simplified so that the atmospheric composition can be changed with ease.

By use of our new scheme, we demonstrate the dependence of adiabatic lapse rate and static stability on the atmospheric composition.

1. はじめに

凝結成分の存在する大気の大気対流構造を研究する際、空気塊の断熱変化を仮定して大気の温度圧力分布と乾燥静的安定度を見積もることは必須の手順である。木星型惑星においては複数の成分が凝結に関与し、それに付随する潜熱の放出は複雑な静的安定度をもった大気構造をもたらす可能性がある。ところがまさに複数の成分が凝縮するという理由によって、大気の力学的構造を研究するために必要な熱力学的な考察が十分に行われてこなかった。木星型惑星大気元素存在度はまだよくわかっていない。そこで本研究では元素存在度をパラメータとして与え、熱平衡状態における木星型惑星大気の温度圧力分布、凝縮物分布、断熱温度減率、そして乾燥静的安定度を計算する。

2. 計算手法

(1) 大気の平衡状態の記述: 熱力学変数として温度・圧力・物質存在量を選択する。この変数に対し大気の状態を与える適切な熱力学関数はギブス自由エネルギー G である。大気の平衡状態は、ギブス自由エネルギー G が最小化された状態であるとする。温度・圧力を与えると、 G は化学ポテンシャルと物質存在量の積の全物質に関する総和として表現される。 G の最小値は元素組成を固定し条件下において、与えられた温度圧力での各化学種の存在量を逐次近似的に最適化させることによって求めることができる。

(2) 大気の断熱変化の記述: 気塊のエントロピー S はギブス自由エネルギー G を温度に関して偏微分したものとして与えられる。温度・圧力空間で $dS = 0$ の曲線の通る軌跡を順にたどれば、気塊に加わる圧力を断熱的に圧力変化に伴う温度変化 (断熱温度減率) ならびに凝結物質の存在量の変化を求めることができる。計算の際、大気成分気体やその凝結物質を理想気体/液体/固体/溶液と仮定する。外部から与えるパラメータは大気

の元素組成と基準状態における大気成分の化学ポテンシャル、および計算開始温度と圧力である。

3. 計算結果

O の存在度を太陽系元素存在度の 0.1 倍, 1 倍, 10 倍させた場合に実現する木星大気の静的安定度を図 1 に示す。初期の温度・圧力は 245 K, 1.2×10^6 Pa とし, O 以外の元素の存在度は太陽系元素存在度とした。中立成層からの 3 つのずれは下から順に H_2O , H_2S , NH_4SH の凝結に伴うものである。大気の成層に与える影響は H_2O の凝結に伴うものが最も大きい。それゆえ木星型惑星大気の H_2O 存在量を左右する O の存在度の変化に対し、大気の成層状態は大きく変化する。静的安定度の値から判断するに、大気表層において、太陽系元素存在度の 10 倍程度に O が濃縮しておれば、そこでの対流は地球的な湿潤対流になっていると予想される。

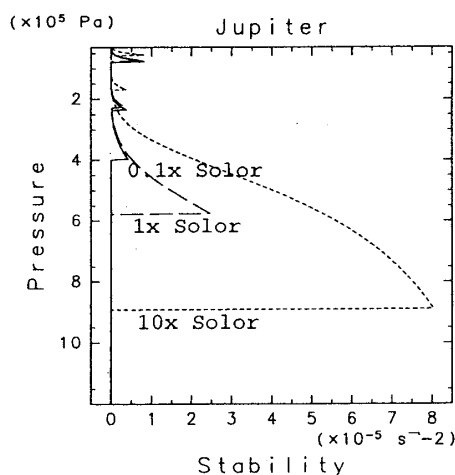


図 1: O の元素存在度を 0.1 倍 (実線), 1 倍 (破線), 10 倍 (点線) した時の木星大気の静的安定度。

重力・地形データを用いた月地殻構造の推定 Crustal Structure of Lunar from Topography and Gravity

○足田肇（東大理 / 宇宙研），水谷仁（宇宙研）

The mean density and moment of inertia are two major geophysical constraints when modeling the internal structure of a planet. Since the crustal structure of a planet occupies a significant fraction of the total moment of inertia, an accurate estimate of the crustal structure is important to infer the internal structure of a planet. In this study we construct a lunar crustal thickness model, assuming that the Bouguer gravity is solely due to the variation in the relief of a subsurface interface with a constant density jump.

惑星内部構造を推定するにあたって重要な観測的制限は惑星の平均密度と慣性モーメントである。特に地殻は惑星の最も外側に位置することから惑星全体の慣性モーメントに対する寄与が大きいと、地殻構造を正確に決定することは地殻以深の内部構造を知る上で重要だと考えられる。

内部構造を推定する方法のひとつとして月の形状と重力異常を利用することが考えられる。アメリカ Clementine・Lunar Prospector ミッション[1,2]により月の詳細な地形データ・重力データ[3,4]が得られた。

月も地球のように成層構造をしていると仮定すれば、重力異常はこれら密度境界層の凹凸が原因であると推測することができる。本研究では月の重力異常の原因を地形の起伏、地殻・マントル境界層の起伏、海の玄武岩の影響で説明できると仮定して、地殻・マントル境界層の起伏を重力・地形データに合うように全球で見積もる[Fig.]。海の玄武岩は主要な盆地のみを埋めていると仮定して円盤モデル[5]を用いた。

過去の月地殻モデル[6,7]は Apollo 12, 14 号地点の月震解析から得られた密度境界層の深さを制限として用いられてきた[8]が、最近、

月震解析による別の報告[9]がされていることから、これについてもあわせて報告する。

Reference

- [1] Nozette *et al*, *Science* 266, 1835 (1994).
- [2] Binder, *Science* 281, 1475 (1998).
- [3] Smith *et al*, *J.Geophys.Res* 102, 1591 (1997).
- [4] Konopliv *et al*, *Icarus* 150, 1 (2001).
- [5] Solomon and Head, *Rev.Geophys* 18, 107 (1980).
- [6] Neumann *et al*, *J.Geophys. Res* 101, 16841 (1996).
- [7] Wieczorek and Phillips, *J.Geophys.Res* 103, 1715 (1998).
- [8] Toksöz *et al*, *Rev.Geophys* 12, 539 (1974).
- [9] Khan *et al*, *Geophys.Res.Lett* 27, 1591 (2000).

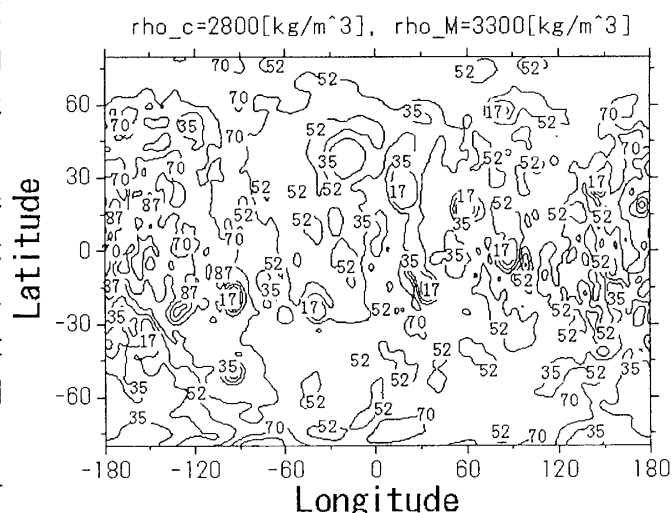


Fig. 月の地殻厚さの global map[km]

熱侵食による sinuous rille の形成について

Feasibility for the thermal erosive tube on the terrestrial planets and moon.

°本田親寿, 藤村彰夫 (宇宙研)

Chikatoshi HONDA and Akio FUJIMURA (ISAS).

On the moon and terrestrial planets, sinuous rilles are conspicuous and enigmatic features. For process of formation of sinuous rille, it has been suggested that, assuming sustained turbulent or laminar low-viscosity, the lava flow can erode into substrate with low-liquidus temperature. We evaluate the role of material assimilation thermal eroding into substrate. Whenever the substrate material that reveals a lower liquidus temperature than lava temperature, assimilates into a lava flow, the chemical composition of lava vary. We estimate the degree of thermal evolution of lava flow on the lunar surface quantitatively.

固体惑星表層において非常に特徴的な地形である sinuous rille は、その天体において過去に火山活動が存在したことを示す証拠となる可能性がある。特に Apollo のサンプルリターンによって大量の水の存在が否定された月では、sinuous rille が高温の低粘性溶岩の熱侵食によって形成できることが定性的に見積もられている (e.g., Hulme, 1973; Carr, 1974)。我々の研究の目的は、sinuous rille を形成した溶岩流の組成・温度・粘性等の物理過程を過去の研究に比べてより定量的に見積もることである。まず、sinuous rille が溶岩チャネルであったのか溶岩チューブであったのかは未だに議論として残っている。月表層における幾つかの地形的特徴が、部分的に天井が崩落した溶岩チューブを類似しているため今回我々は溶岩チューブを仮定する。

我々はこれまでの研究によって、Apollo と Luna 探査機によって得られた月の試料の主要化学組成から、月の海を覆っている玄武岩が溶融している状態の粘性を McBirney (1984)の方法によって見積もった。これにより月の玄武岩の平均的な粘性は地球上のソレアイト質玄武岩に比べて約一桁小さく、地球上の Archean に多く噴出した komatiite 質溶岩に比べて約一桁大きいことが分かっている。このことからレイノルズ数を見積もると僅か数 m の厚さの溶岩流であっても溶岩流は乱流であることが分かる。従って月面上を流れる典型的な玄武岩溶岩は乱流であると仮定し、溶岩流とその周辺岩石の間の熱収支を示す熱伝達係数 h_T [W/m²K]は、

$$h_T = \frac{0.027k_l \text{Re}^{0.80} \text{Pr}^{0.33}}{h}$$

で見積もることができる。ここで k_l は溶岩流の熱伝導率[W/mK], h は溶岩流の厚さ[m], Re と Pr はそれぞれレイノルズ数とプラントル数である。Willams et al. (2000)は溶岩の熱伝導率のモデルを二種類提案しているが、熱伝達係数の温度依存性はこの熱伝導率の種類によって大きく異なることが分かった。さらに我々は溶岩の熱伝導率モデルについてフォトン熱伝導率の効果を考慮した。熱伝導率は低温側ではフォノン熱伝導率、高温側ではフォトン熱伝導率が支配的であることが言われており、それぞれ理論上では T^{-1} と T^3 に比例する。鉱物や岩石の熱伝導率についての過去の実験結果と調和的な熱伝導率モデルを提案し、このモデルを用いた熱伝達係数等についての計算結果を紹介する。

近地球型小惑星 1998 SF36 の測光観測

Visible photometry of Near Earth asteroids 1998 SF36

°大場庸平¹、安部正直²、長谷川直²、石黒正晃²、深井久史¹、高木靖彦³

1 東大・理、2 宇宙研、3 東邦学園大学

Youhei. Ohba¹, Masanao. Abe², Sunao. Hasegawa², Masateru. Ishiguro², Hisashi. Fukai¹,
and Yasuhiko Takagi³

1 Univ. of Tokyo, 2 Inst. Of Space and Astronautical Sci

3 Toho Gakuen University

We performed visible photometry (B,V,R,I) of Near Earth Asteroid 1998 SF36, which is a target body of MUSES-C mission, in March and August 2001 at Kiso observatory. We got light curve and color index of this asteroids and compared it with others. As a result, we suppose taxonomy type of this asteroid is S-type, composition of surface is uniform and spin axis is perpendicular to ecliptic plane. We also detect the change of mean magnitude and rotational periods. We will mention about it in our talk.

近地球型小惑星 1998 SF36 は、宇宙科学研究所が計画している小惑星サンプルリターン計画 MUSES-C 計画のターゲット天体である。この小惑星の観測好機は今年はじめに訪れ、3月下旬には、地球に 0.04AU の距離まで近づき 14.8 等まで明るくなった。本講演では、この時期(3月末、8月下旬)に東京大学木曽観測所で行った多色測光(B,V,R,I)の結果について報告する。

現在得られている結果は、以下のとおりである。

- 1) この小惑星の色指数は、 $B-V=0.17$ 、 $V-R=0.15$ 、 $V-I=-0.02$ であった。この結果を既知の小惑星の色指数と比較すると、この小惑星は S-type であると推定される(Fig 1)。このことは、昨年末に我々がすばる望遠鏡をもちいて行った分光観測の結果と一致している。
- 2) 4色(B,V,R,I)それぞれのライトカーブを比較するとそれぞれ同様なライトカーブを描いている(Fig 2)。このことより、観測した位相部分の表面物質は、ほぼ一様であると推定できる。
- 3) 3月と8月の観測では、小惑星を異なる黄経から観測している。しかし、ライトカーブの振幅はともに約1等であった。このため、小惑星の自転軸は、黄道面にたいしてほぼ垂直であると考えられる。

また3月の観測期間中、小惑星と地球との距離と方位が日ごとに变化していたために、平均等級、自転周期にも変化が見られた。この結果と8月との観測結果との比較等も議論する。

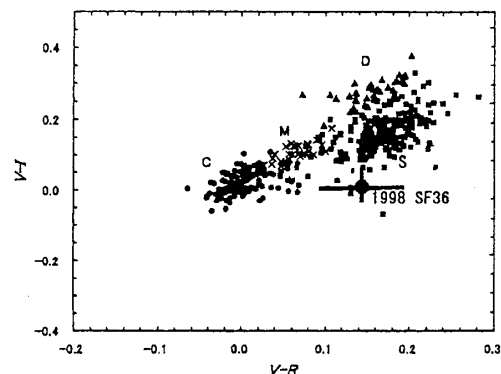


Fig 1 カラーダイアグラム

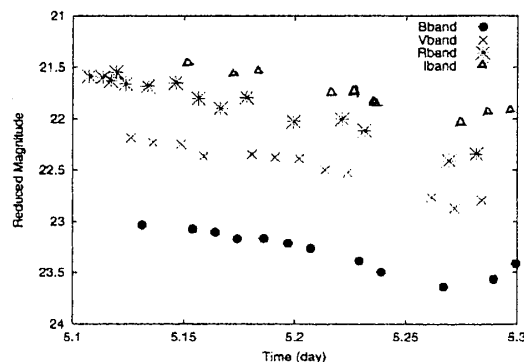


Fig 2 ライトカーブ

SUBARU/IRCS を用いた MUSES-C 探査候補天体

1998 SF36 の近赤外測光・分光観測

Photometric and Spectroscopic observations of MUSES-C Target

1998 SF36 by SUBARU/IRCS

○石黒正晃、安部正真、長谷川直（宇宙研）、後藤美和（ハワイ大）、
 臼田 知史、布施 哲治、寺田宏、小林尚人（国立天文台）

○M.Ishiguro, M.Abe, S.Hasegawa(ISAS), M.Goto(UH),
 T.Usuda, T.Fuse, H.Terada and N.Kobayashi (NAOJ)

We have performed near-IR photometric and spectroscopic observations of MUSES-C target object 1998 SF36 by SUBARU/IRCS during 10th and 11th on March, 2001. We obtained photometric data in JHKLM, and a spectroscopic data in L. JHK photometry reveals that 1998 SF36 is classified in S-type asteroid. Together with ML photometry and spectroscopy in L band, we discuss a surface temperature and albedo of 1998 SF36.

近地球型小惑星 1998 SF36 は、宇宙研の惑星探査計画 (MUSES-C) の探査候補天体である。我々の研究グループでは、2001年3月10日から11日にかけて、すばる望遠鏡（国立天文台ハワイ観測所）に取り付けられた近赤外線分光撮像装置 IRCS を用いて、1998 SF36 の観測を行った。取得したデータの種類の、J、H、K、L'、M'バンドの測光と L バンド（ $2.8\mu\text{m}-4.2\mu\text{m}$ ）の分光である。

J、H、K バンドの観測から、1998 SF36 は S タイプに分類される小惑星であると推測される（図1）。L'、M'バンドの測光値を元に小惑星の熱モデルを立てることにより、小惑星表面の温度やアルベドについても調べた。更に、L バンドのスペクトル（図2）についても言及する。

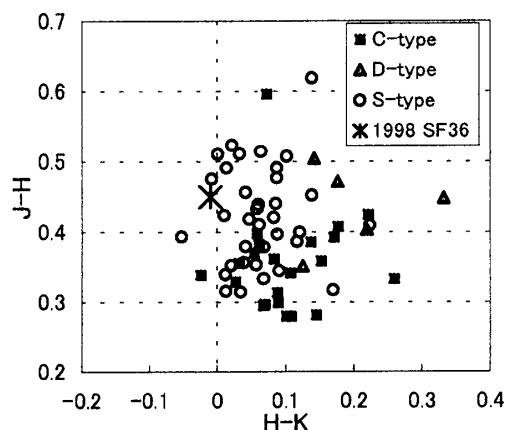


図1、2 MASS で観測された小惑星と 1998 SF36 の色の近赤外域での色指数の比較。

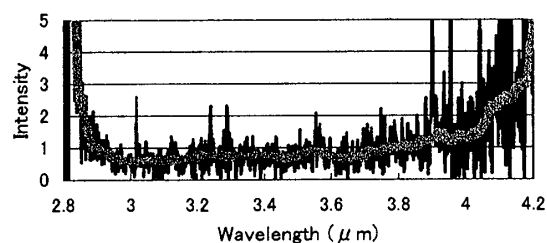


図2、L バンドスペクトル。3.8 μm で規格化している。

S 型小惑星エロスのレゴリス層の厚さと力学的強度

Regolith thickness and structural strength of S-type Asteroid 433Eros

○道上達広、安部正真、長谷川直、藤原顕（宇宙研）

Recent spacecraft observations indicate that 433Eros smaller than 20km in diameter is covered with regolith layers. According to Michikami (2001), for small asteroids smaller than 20km in diameter, the regolith thickness depends strongly on its material strength by one order of magnitude. The regolith thickness increases with decreasing the material strength. For example, the regolith thickness on a 20km-sized asteroid ranges from 25m to 250m in case the tensile strength varies from 100MPa to 0.001MPa. With the results of this work and the regolith thickness information from spacecraft, the tensile strength of a typical S-type asteroid was estimated.

米国の探査機ニアによる小惑星エロスの画像から、平均直径が 20km に満たない小さな小惑星でもレゴリス層が存在することが明らかになった。しかし、過去の理論的研究では、この大きさの小惑星にはレゴリスはほとんどないと考えられていた。これは小惑星の力学的強度を玄武岩程度(圧縮強度で数 100MPa)と大きく見積もっていたためであると考えられる。力学的強度と形成されるレゴリス層の厚さには、大きな相関があることがわかっており（道上 2001）、強度が小さいほど、レゴリス層は厚くなる。今回は、S 型小惑星エロスの画像の解析からレゴリスの厚さを推定し、典型的な S 型小惑星の伸張破壊強度を見積もった。その結果について報告する。

Reference

Michikami, T., 2001. Evolution of Asteroid Regolith Layers by Cratering. Ph.D. thesis. Univ. of Tokyo.

氷・岩石混合物の衝突破壊強度とその空隙率依存性

Impact strength of ice-rock mixture at various porosities

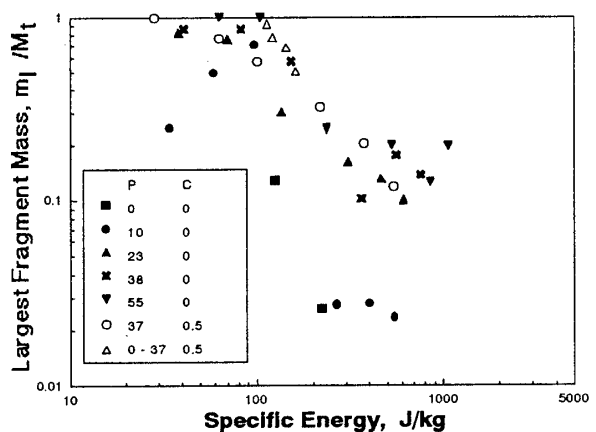
° 荒川政彦 (北大・低温研), ヤチェック・レリワコピスティンスキ (ワルシャワ大), 前野紀一 (北大・低温研)

Impact strength of porous ice-rock mixture was studied by laboratory experiments in a cold room. The porosity of the target was changed from 0 % to 55 %. Ice cylindrical projectile was impacted at the velocity from 150 m/s to 650 m/s. By means of the measurements of the largest fragment mass, the impact strength was determined for the target at different porosities and rock contents. The strength increases with decreasing the porosity for the snow target, however it increases with decreasing the porosity for the target of ice-rock mixture.

はじめに 太陽系外惑星領域には氷と岩石の混合物からなる小天体が多く存在する。特に氷衛星の中でもサイズが小さいものは観測された平均密度が小さく、内部に空隙を残していると思われるものが多い。氷微惑星もまたこのような小天体と同様に高い空隙率を持ち、岩石と氷の混合物からなると推測される。惑星の衝突成長条件を求めるためには、実験によりこれらの影響を明らかにしておく必要がある (空隙率と岩石含有率)。一方、実験から空隙を持つ物質の衝突破壊強度は真密度の物質より大きいことがわかっている。しかしながら、それらの実験では、空隙率、岩石含有率、衝突速度などを系統的に変化させていなかったため結果を氷微惑星に応用することは難しかった。そこで本研究では、特に空隙率に対する破壊強度の依存性を実験的に調べ、それをもとに氷天体の衝突捕獲条件を考察することにした。

実験方法 衝突試料は天然の雪とパイロフィライトを用いて準備した。雪のみ、もしくは雪とパイロフィライトの混合物 (質量比 1 対 1) を、材料試験機により圧密して空隙率を調整した。空隙率は 0, 12, 24, 38% の 4 種類である。雪の場合は焼結した自然積雪から切り出した 55% の試料もターゲットとした。ターゲットは、直径 10cm, 高さ 10cm または直径 7cm, 高さ 7cm の円筒形である。衝突実験は低温室 (-10°C) に設置した縦型一段式軽ガス銃を用いて行った。弾丸は直径 15mm, 質量 1.6g の円筒形の氷である。これを速度 150m/s から 650m/s に加速してターゲットの正面に衝突させた。衝突の瞬間は高速度カメラにより、コマ間隔 10 μ s~100 μ s で撮影し、クレーター形成に伴って放出されるイジェクタ速度を計測した。実験後は衝突破片を回収し、その質量分布を計測した。

実験結果 空隙率が 55% の雪試料では衝突速度が 200m/s 以下の場合ターゲットの破壊は起こらない。そして弾丸氷もほとんどは雪内に捕獲される。また、この時クレーター形成にともなうイジェクタの放出はほとんどなく、回収されたターゲットは質量が増加していた。試料の衝突破壊強度は空隙率の増加とともに大きくなるように見える (下図)。氷 (空隙率 0%) の破壊強度は 40J/kg であるが、55% の空隙率を持つ雪では 200J/kg と約 5 倍強くなる。一方、パイロフィライトを加えた雪の強度は (空隙率 38%), 空隙率 24% の雪の強度とほぼ同じである。空隙率を変化させると雪の場合とは反対に空隙率の増加とともに破壊強度が減少する。クレーター形成に伴うイジェクタの放出速度は空隙率やパイロフィライトの有無にかかわらず衝突速度に比例する。放出速度を衝突速度で割った値は、空隙率 0% の 1.4 から 55% の 0.1 まで空隙率に比例して小さくなる。



衝突エネルギー密度と最大破片の関係

P: 空隙率 (%) C: 岩石含有率

1 0 月 7 日 (日)

セッション 4

401-408

ポスターセッション

P01-P36

恒星遭遇を考慮した惑星形成

The effect of a stellar encounter on a planetesimal disk

○小林 浩、井田 茂

東京工業大学地球惑星科学科理工学研究科地球惑星科学専攻

We investigate the effects of a passing stellar encounter on a planetesimal disk through analytical calculations and numerical simulations, and derive the boundary radius outside which planet formation is inhibited by disruptive collisions with high relative velocities.

We study orbital eccentricity and inclination of planetesimals pumped up by perturbations of a passing single star. We show that stellar encounter result in high eccentricity and inclination of planetesimal in outer region of Solar system and the encounter parameter which can explain Kuiper Belt Objects.

恒星は生まれる時、星団の一員として生まれる。惑星形成を考える時、他の恒星の重力的影響はあまり考えられていなかったが、カイパーベルト天体などの惑星系の外縁部では大きな影響を受けたと考えられる。我々は、若い惑星系が他の恒星と遭遇した時、その惑星系の進化にどのような影響をもたらすかを調べた。恒星遭遇のモデルとして微惑星円盤を持つ恒星が単星と遭遇する系を考えた。

微惑星をテスト粒子として数値計算を行なった。その結果、恒星遭遇を経験した微惑星の軌道がわかった。系の外側の粒子の軌道離心率と軌道傾斜角は、跳ね上げられる。これは、観測されている太陽系のカイパーベルト天体と一致している。どのような恒星遭遇のパラメーターがこのような軌道をもたらすかを示す。

原始太陽系星雲中衝撃波によるコンドリュール形成： コンパウンド・コンドリュールの形成

Chondrule Formation due to Shock Waves in Solar Nebula:
Compound Chondrule Formation

中本泰史 (筑波大学 計算物理学研究センター)

Formation of compound chondrules is studied in a framework of shock-wave heating model. In the postshock region, particles with different sizes have relative velocities to each other. It was found that compound chondrules are hardly formed in collisions straightforwardly, whereas it is likely that the transverse velocity may lead a molten particle to a solid particle and make a compound chondrule.

背景 衝撃波加熱モデルでは、コンドリュールの持つ次のようないくつかの基本的な性質を説明することが出来る：コンドリュール粒子が経験した最高温度と冷却率 (Iida et al. 2001, Icarus in press), コンドリュールのサイズと回転数 (Susa & Nakamoto 2001, submitted), コンドリュールが原始太陽系星雲中でも液体状態として存在するために必要な圧力 (Miura et al. 2001, in preparation). コンパウンド・コンドリュールの存在など、これら以外の現象が衝撃波加熱モデルで説明できるのかどうかについては、さらなる研究が必要となっている。

目的とモデル 本研究では、多数の粒子が存在する衝撃波後面における粒子間衝突に着目し、破壊的衝突、合体的衝突、コンパウンド・コンドリュールを作るような衝突、などの衝突数を見積もった。粒子間相対速度を生み出す初期速度としては、衝撃波面に垂直な衝撃波突入速度(衝撃波速度, 縦方向速度)と、衝撃波面に平行な速度(横方向速度)を考慮した。衝撃波の代表的な状態としては、次のようなパラメータを用いた：衝撃波前面のガス密度 = $10^{14} \text{ g cm}^{-3}$, 衝撃波速度 = 10 km s^{-1} , 初期横方向速度 = 10 m s^{-1} (=音速の100分の1程度), 衝撃波前面でのガス・ダスト質量比 = 100:1, ダスト粒子のサイズ分布 $\propto (\text{サイズ})^{-3.5}$ 。

結果 縦方向速度に起因する衝突では、注目している粒子サイズの10分の1程度のサイズの粒子の衝突が効いて、破壊的衝突が起こる。一方、コンパウンド・コンドリュールを形成するような衝突はない。それに対し、横方向速度に起因する衝突では破壊的衝突はなく、コンパウンド・コンドリュールを形成するような衝突が存在する。すなわち、衝撃波加熱モデルにおいては、縦方向速度に起因する衝突は破壊に寄与し、横方向速度に起因する衝突がコンパウンド・コンドリュール生成に寄与する可能性があることがわかる。なお、破壊率とコンパウンド・コンドリュール生成率の定量的な解析については、今後行う予定である。

議論 破壊率と生成率が得られたところで、観測される頻度と定量的に比較する必要がある。また、コンパウンド・コンドリュール生成にとって重要かも知れない横方向速度の成因としては、衝撃波前面の乱流や、衝撃波内での粒子間衝突による散乱、破壊片の横方向運動、非対称な形状のダスト粒子や回転しているダスト粒子とガスとの流体力学的相互作用などが考えられる。これら横方向運動を生み出すような現象についても、今後、検討を進める必要がある。

金属鉄を含むコンドルールの回転平衡形状

○上相真之¹, 関谷実², 中村智樹²¹九州大学理学研究科地球惑星科学専攻²九州大学大学院理学研究院地球惑星科学部門

The equilibrium shape of a chondrule containing metallic iron

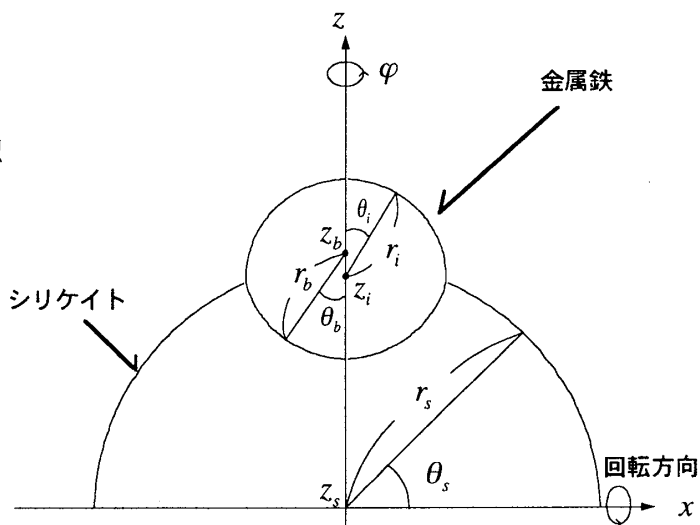
○Masayuki Uesugi¹, Minoru Sekiya², Tomki Nakamura²¹Department of Earth and Planetary Sciences, Graduate School of Sciences, Kyushu University²Department of Earth and Planetary Sciences, Faculty of Sciences, Kyushu University

Some of chondrules, a major component of ordinary chondrites, have distinctive shapes which indicate they were spinning during their formation with considerable angular velocities. We may add some new constraints to the chondrule formation model by analyzing these features. In this study, we formulate to calculate shapes of the chondrules with metallic iron spheres protruding their surface. We discuss the preliminary solutions of these analysis.

普通コンドライト中の主要な構成要素であるコンドルールの中にはその形成時にかなりの角速度で回転していたと考えられる特徴を持っている形状をしたものがある。特に金属鉄や硫化鉄がシリケイトの表面から突出している物がある。これが回転の遠心力に由来すると仮定して平衡形状の角速度を求める。これによりコンドルールの形成モデルに新たな条件を加えることが出来るかもしれないと考えている。

我々は下図のようにメタルの鉄が表面に突出しているコンドルールについてその回転による特徴的な形状の計算の定式化を行う。このコンドルールを金属鉄（添え字 i）、シリケイト（s）、その境界（b）の3つの要素にわけ、それを直交座標でそれぞれ $(0,0,z_i)$, $(0,0,z_s(=0))$, $(0,0,z_b)$ を中心とする r, θ, φ の極座標によって表す。全角運動量と、金属鉄・シリケイトそれぞれの体積が一定の元で、この系の全エネルギー、すなわち表面エネルギーと各要素の回転による運動エネルギーの和が最も低くなる形状を見つける。それぞれのパラメータは θ, φ をついて Fourier 展開し、最初の数項までの近似で計算する。

発表ではこのプレリミナリーな計算結果について議論したい。



微惑星系から原始惑星系へ

From Planetesimal Systems to Protoplanet Systems

○小久保英一郎 (国立天文台)・井田茂 (東工大理)

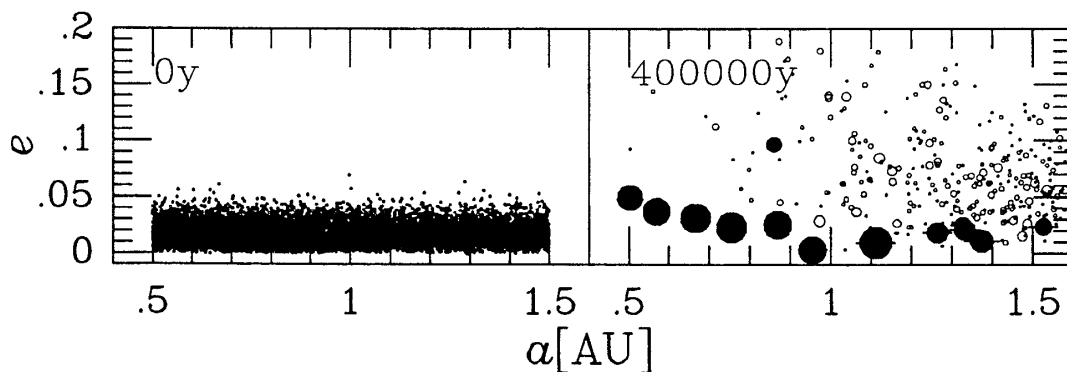
Eiichiro Kokubo (University of Tokyo), Shigeru Ida (Tokyo Institute of Technology)

In the standard scenario of planet formation, solid planets are formed through accretion of planetesimals. In the present paper, we present the latest results of large scale N -body simulations of planetary accretion with 10000 planetesimals in the whole terrestrial planet zone. We confirm the oligarchic growth of protoplanets. Protoplanets with predicted isolation mass are formed with orbital separation of about 10 Hill radius. We clarify how the structure of protoplanet systems (mass and spatial distributions) depends on the initial distribution of planetesimals.

惑星系形成の標準シナリオでは、地球型惑星や木星型惑星のコアは微惑星と呼ばれる小天体が衝突合体 (集積) して形成される。我々は微惑星数最大 10000 体を用いた、地球型惑星領域全域を含む大規模な惑星集積 N 体シミュレーションを行なって惑星集積過程を調べている。

まず、原始太陽系円盤の標準モデルの微惑星分布を使い、微惑星系から寡占的成長により原始惑星系が形成されることを確かめた (下図: 軌道長半径 a -軌道離心率 e 面での微惑星系のスナップショット。丸の大きさは微惑星の大きさに比例)。寡占的成長では、ヒル半径の約 10 倍の軌道間隔を保ちながら原始惑星が誕生する。

寡占的成長理論は一般の原始惑星系円盤用に拡張することができる。微惑星の面密度分布 Σ を $\Sigma \propto \Sigma_1 a^{-\alpha}$ とすると (Σ_1 は 1AU での面密度、 a は中心星からの距離)、寡占的成長により形成される原始惑星の質量 M とその軌道間隔 b は $M \propto \Sigma_1^{3/2} a^{-(3/2)\alpha+3}$ 、 $b \propto \Sigma_1^{1/2} a^{-(1/2)\alpha+2}$ と見積もられる。さまざまな微惑星分布を初期条件に使うシミュレーションを行ない、この寡占的成長理論が正しいことを確認した。そして、寡占的成長によって形成される原始惑星系の多様性についてまとめた。



惑星円盤間相互作用による惑星軌道進化

Orbital Evolution due to Disk-planet Interaction

○田中秀和 (東工大・地惑)、 W. R. Ward (サウスウェスト研究所)

Hidekazu Tanaka (Tokyo Inst. of Tech.) and William R. Ward (Southwest Research Institute)

Disk-planet interaction plays an important roll in the late stage of the planetary accretion process. We examined the orbital evolution of planets due to the three-dimensional disk-planet interaction. By calculating the force on a planet, we newly obtained the rotation speed of perihelial and ascending nodes as well as the damping rates of the eccentricity and the inclination. For example, at 1AU in the minimum-mass solar nebula disk, the evolutionary times of these orbital elements of earth-size planets are about $\sim 10^3$ years. The obtained forces would be useful for N-body simulation of the planet accretion process.

惑星集積過程後期において、原始惑星系ガス円盤との重力相互作用により、惑星軌道は急速に変化することが報告されてきた。例えば、標準的ガス円盤内に地球がある場合には、軌道半径は数万年、軌道離心率は数百年で減衰するとされている。一方、従来の研究では、この相互作用により惑星に働くトルクのみが計算され、力の3成分は算出してなかった。このため、軌道面傾斜角、近点経度、昇降点経度については求めることができなかった。本研究では、3次元線形流体計算から惑星に働くを時間の関数として求め、これらの軌道要素の変化率を得た。その結果、新しく求めたこれら3つの軌道要素の変化する時間も、離心率の減衰時間と同じオーダーであったことが明らかになった。我々が得たガス円盤との重力相互作用の効果は非常に強いため、惑星集積後期において標準的ガス円盤の千分の1程度のガスが残っていれば、この重力相互作用により惑星軌道の離心率、傾斜角を十分減少し得る。最近、惑星系ガス円盤との重力相互作用を近似的に考慮したN体惑星軌道計算がなされるようになってきたが、本研究で得られた惑星に働く力は、そのようなN体計算においても用いることができる。

原始月円盤の進化に対する乱流の影響

Effect of Turbulence on Evolution of the Proto-lunar Disk

○町田 亮介, 阿部 豊 (東大・地惑)

○Ryosuke Machida & Yutaka Abe

Department of Earth and Planetary Science, University of Tokyo

According to the giant impact hypothesis, the Moon is formed outside the Roche radius of the Earth by the accretion of the material transported from the inner part of the impact-generated disk through gravitational instability. There are two modes of gravitational instability; one is the instability of the dust-gas mixture caused by cooling of the disk, the other is the instability of the equatorial dust layer formed by the sedimentation of dust particles. If there is some turbulence in the disk, the following effects are expected: prevention of dust sedimentation through stirring up of dust particles, enhancement of dust growth through enhanced relative motion, and cooling of dust through convective heat transport. Here, we examine the preferred mode of instability and the effect of the turbulence on the Moon forming process.

ジャイアントインパクト説によれば、原始地球への火星サイズの天体の衝突により、原始地球の周りにダストとガスからなる高温の原始月円盤が形成される。その後、原始月円盤内の重力不安定により角運動量が輸送され、それに伴い、物質がロッシュ半径の外側に運ばれ、そこで月を形成する。原始月円盤内で起こりうる重力不安定には以下の2つのモードがある。

- ・ダスト・ガス混合物の重力不安定

原始月円盤の冷却がダストの沈降より速いとき、円盤の冷却に伴い凝縮物（ダスト）の量が増えてくると音速が下がり、円盤全体が薄くなって、原始月円盤を構成するダスト・ガス混合物の重力不安定が生じる。(Thompson & Stevenson, 1988)

- ・ダスト層の重力不安定

ダストの沈降が原始月円盤の冷却より速いとき、赤道面にダスト層が形成され、ダスト層の重力不安定が発生する。

2つのモードでは重力不安定発生のメカニズム、時期が全く違い、月形成のタイムスケール、月材料物質とも大きく異なる。

原始月円盤中の乱流を考慮しないシミュレーションをおこなった結果、円盤質量が月質量の2倍のとき、円盤中のガスの割合が0.97以上の場合には重力不安定は発生せず、0.97以下の場合にはダスト層の重力不安定が発生することが分かった。

原始月円盤中に乱流が存在すると、ダストが巻き上げられ沈降が妨害されるが、ダスト同士の相対速度が上昇しダストの合体成長が促進される。また、対流による熱輸送が起こり円盤が冷却する。従って、乱流によってどちらの重力不安定が促進されるのか、正しく見積もる必要がある。今回は、乱流を考慮した混相流体シミュレーションを行い、乱流が月の形成過程にどのような影響を与えるかについて議論する。

K/T 衝突蒸気雲内の SO_2/SO_3 比の推定：硫黄酸化物の反応則

Estimation of the SO_2/SO_3 ratio in the vapor cloud

produced by the K/T impact event: reaction kinetics of sulfur oxides

○大野 宗祐（東大・理）、杉田 精司（東大・理）、門野 敏彦（東大・地震研）、
長谷川 直（宇宙研）、五十嵐 丈二（東大・地殻化学）

The hypothesis for the mass extinction on the K/T boundary event is widely accepted now. However, its exact killing mechanism is still under controversy. One promising hypothesis is that sulfuric acid aerosols induced by impact-degassed sulfur oxides reduced the sunlight for a long period of time. Nevertheless, the oxidation state of the degassed sulfur is very crucial in the production of aerosol and has not been studied extensively before. Here we discuss our experiments to assess the oxidation state of the impact-degas sulfur.

今から 6500 万年前におきた K/T 境界事件における生物大量絶滅は、小惑星あるいは彗星の高速衝突が原因だと考えられている。また、大量絶滅の主要な原因は、衝突地点から大量に放出された硫黄が成層圏で硫酸エアロゾルを作り太陽光を長期間にわたって遮ることであると考えられている。硫酸エアロゾルの成層圏での滞留期間は、衝突蒸気雲の SO_2/SO_3 比に大きく左右される。

本研究では、 SO_2/SO_3 比の推定のため蒸気雲内での硫黄酸化物の反応について調べる。以前の実験では、 SO_2/SO_3 比が急激に減少する領域の上端付近でクエンチが起こっている。空間スケールの非常に大きな実際の K/T 衝突蒸気雲では、実験と比べより低温でクエンチすると考えられるため、 SO_2/SO_3 比が非常に低くなる可能性がある。しかし、クエンチがどのような条件でおきるかは、蒸気雲内での硫黄酸化物の反応則で決まる。今回は、これを決定することを目指した。そのために、YAG レーザーを anhydrite (CaSO_4 、硬石膏) に照射して生成した蒸気雲の四重極質量分析計による成分分析実験を行った。発表では、レーザー強度・ビーム径を変化させて実験を行った結果について報告する。

planar featuresのある石英：御池山はインパクトクレーターか？

Occurrence of quartz with planar features : Is the Mt.Oikeyama impact crater?
Akaishi Mountains, central Japan.

○坂本正夫（竜丘小学校）、渡辺暉夫・土屋 篁（北海道大学）

A semi-circular topography, about 900m in diameter, is found in the eastern side of Mt. Oikeyama in the southern Akaishi Mountains. Quartz grains characterized by planar features are found from veins in chert and sandstone in the circular structure. Occurrence of the planar structure is reported in detail. The most abundant angles between c-axis and poles to planar feature is oriented parallel to (0001). These facts suggest that the Oikeyama circular structure has been formed by impact cratering.

赤石山脈南部、長野県上村しらびそ高原の御池山(1907m)の斜面に、直径約900mの半円形地形が存在する。そのまわりを起伏に富んだ小地形が同心円状に取り巻いている。しらびそ高原一帯は秩父帯の砂岩・泥岩を主としてチャートを挟む比較的単純な地層からなっている。これらの地層内で planar features のある石英を多量に発見した。円形地形の内外で石英の変形の違いは次のようである。

1. planar features をもつ石英は円形地形内とその縁の部分にしか認められない。しかし、すべての石英に形成されているわけではなく、場所によって planar features の形成の程度は異なる。
2. planar features は密な部分では数ミクロン間隔で形成されていて1～3方向をもっている。多くの石英粒では1方向だが、場所によっては全体の2～3割程度が2方向で、3方向はまれである。
3. 円形地形外では、円形の中心から北東と南西に4～5km離れた所まで10数ヵ所ずつ採集して観察した結果、円形地形から2km付近までに未発達な planar features や planar features 状の fracture が多く形成されていた。この他、波動消光や微細密斑点・不規則斑点列が円形地形内外で際立って多く観察されたが、4～5km離れた場所でも多少観察され、円形地形を中心にした一連の変形と明確に識別できない。
4. 未発達 planar features は、単一の石英内に形成されている。また planar features 状の fracture は、単一石英粒を越えて形成されている。
5. 円形地形内の採集地点781301-Aでは、planar features がよく発達している。この部分の石英の planar features とC軸とのなす角度を304方向測定した。その結果(0001)に集中していた。
6. 円形地形の外縁には大小様々なチャート礫などが広くおおっている。この礫を無作為に12ヵ所から採集して調べた結果、多くの礫で planar features が形成されていた。その内4ヵ所では、円形地形内と同じ程度の強い形成が見られた。

以上のことから、planar features は世界のインパクトクレーターで報告されている物に似ている。また、planar features が円形地形内とその縁で形成され、しかも外縁をおおう礫にも形成されていること、石英のC軸とのなす角度が(0001)に集中していることなどを総合すると、御池山の円形地形はインパクトクレーターではなかろうか。

P01

紫外線照射によるアモルファス D_2O -CO 氷からの CO_2 生成過程 MEASUREMENTS OF CONVERSION RATES OF CO TO CO_2 IN UV INDUCED REACTION OF D_2O /CO AMORPHOUS ICE

○渡部直樹, 香内 晃 (北大・低温研)

The formation of carbon dioxide molecules from D_2O /CO binary ice induced by UV irradiation have been studied experimentally. The measured conversion rate of CO to CO_2 is about one order higher than previously reported ones. Our results imply that the CO_2 formation by the UV process can be efficient even in a quiescent dense cloud.

D_2O /CO 氷を使って、氷星間塵上における紫外線誘起 CO_2 生成のシミュレーション実験を行った。その結果、 CO_2 の生成速度はこれまで考えられていたものより 1 桁程度大きくなり、密度の濃い分子雲中でも十分起こりうる事が明らかになった。

実験の目的： D_2O /CO 氷を使って、紫外線による CO_2 生成過程を定量的に調べる。さらに、 D_2O の光解離、 D_2 の生成断面積を見積もり、純 D_2O 氷の結果と比較する。

実験の背景：ISO の観測により、これまで予想されていた通り、多量の CO_2 が氷星間塵中に存在することが確認された。氷マントル中の CO_2 の生成過程として、 H_2O /CO 氷の紫外線誘起反応が長年有力視されてきたが、 CO/CO_2 の量比が観測された分子雲の密度によらない、非常に密度の濃い分子雲中での CO_2 の発見、などのことから、上記反応に否定的な考え方が増えつつある。その傾向は $CO+O$ 反応による CO_2 生成実験の発表後、さらに強まっているようである。しかしながら、議論の根拠にもなっているこれまでの実験は必ずしも十分なものではない。紫外線誘起反応の実験では、大量の不純物を含む氷の使用、紫外線量の測定が不十分などの問題点を含み、 $CO+O$ 実験はまだまだ定量的な追実験が必要な現状である。我々の研究室では、できるだけ素反応に近い系での実験を通して、分子の生成過程を定量的に議論している。

実験：実験は 10^{-9} Torr に保たれた真空槽中で行った。10K に冷やされた基板上に D_2O /CO $\sim$ 10 の量比でアモルファス氷を作成し、126nm の紫外線を照射した。照射時間に伴う CO, D_2O , CO_2 の変化量を赤外分光装置で測定し、照射中と照射後の昇温時に脱離種を四重極質量分析器で観測した。

結果： D_2O の光解離断面積、 D_2 の生成断面積はそれぞれ以前に行った純 D_2O 氷の実験結果と一致した。 CO と CO_2 の変化率はこれまでの報告よりも 1 桁程度大きくなった。今回の結果は、星間空間の物質進化を議論する上で、分子生成素過程の実験による（正確な）定量化の重要性を改めて示している。

最近日本に落下した隕石の軌道について Orbits of meteorites that fell to Japan recently

○浅田哲司, 石原吉明, 古本宗充 (金沢大学大学院自然科学研究科)

○Tetsuji Asada, Yoshiaki Ishihara, Muneyoshi Furumoto,
Graduate school of natural science and technology, Kanazawa University

We have determined the trajectories of the 1998 Miyako Fireball and the 1999 Kobe meteorite in the atmosphere by analyzing seismic signals, which are generated by shock waves from the objects. We compute the parameters of the orbits in the solar system. The estimated orbits are Apollo types. To find their possible families, we search asteroids and meteors whose orbits are (or were) similar to those of the two meteoroids. Two and three asteroids have similar orbits of the Miyako and the Kobe meteoroids, respectively.

隕石の母天体である小惑星は太陽系の資源物質を保存していると考えられており、隕石が回収された場合、岩石学的な研究と合わせ、その隕石の太陽系内の起源を知ることが重要である。従来、火球の落下経路はアマチュア天文家によるパトロールカメラの画像や目撃証言により与えられている。しかし、最近落下した隕石及び火球の中で、1999年9月26日に落下した神戸隕石及び1998年3月30日に落下した宮古火球について、我々は、地震計に記録された衝撃波記録を用い、大気中における経路決定を行った(石原ほか 2001, 地震研究所彙報)。これをもとに本研究では、太陽系内における神戸隕石と宮古火球の軌道を求めた。軌道決定は、太陽と各惑星の重力効果を考慮に入れた制限多体問題により計算した。その結果、神戸隕石は、軌道長半径 2.03AU、離心率 0.59 のアポロ型の軌道を取り、その遠日点是小惑星帯内に位置することが、一方、宮古火球は軌道長半径 2.70AU、離心率は 0.66 である事が判明した。また、既知の小惑星、彗星、流星の中で、現在及び過去において神戸隕石及び宮古火球と同様の軌道を取る可能性が高い天体を調べた。判定基準に関しては、Halliday et al (1990) における判定基準、及び Babadzhanov and Oburubov (1992) における判定基準を用い軌道の同一性について検討した。その結果、同一軌道を取る天体は、神戸隕石では3個、宮古火球では2個見つかった。隕石タイプの比較からも、これらが神戸隕石、宮古火球と同族の天体であることが示唆される。

THERMOLUMINESCENCE STUDY OF SHOCKED ORDINARY CHONDRITES

°M. Yamazaki, H. Fujimoto, M. Nakagawa, and K. Ninagawa (Okayama University of Science)

abstract: We have found different TL spectra for Y-74190 (L6), Y-75108 (L6), Y-75102 (L6), Y-75097 (L6), and Sahara 98222 (L6) from usual TL peaks for ordinary chondrites. These five chondrites include maskeynite. This fact implies that the change of TL peak was produced by strong shock effect. This time we tried to identify to phosphors responsible to TL emission of Sahara 98222 (L6) by two-dimensional TL readout system. The mineral responsible to the unusual TL peak corresponds to plagioclase.

Collision is a fundamental process, which has taken place in the solar system, making craters, regolith and breccia in planetary surface and meteorites. Plagioclase is one of main minerals as well as olivine and pyroxene in ordinary chondrites. Shock accompanied with the collision makes deformations on plagioclase. The plagioclase is also a thermoluminescent mineral in ordinary chondrites. The thermoluminescence (TL) is a useful tool to detect difference of solid states, namely defects in the plagioclase, which cannot be clarified by optical observation and compositional analysis of minerals.

It is known that equilibrated ordinary chondrites have a peak of 450 nm at low temperature and 400 nm at high temperature near 350 °C. We have measured TL spectra of six Antarctic and thirteen non-Antarctic equilibrated ordinary chondrites. However we have found different TL spectra for Y-74190 (L6), Y-75108 (L6), Y-75102 (L6), Y-75097 (L6), and Sahara 98222 (L6) from above mentioned usual TL peaks. Bjuböle (L4) has usual peaks of 450 nm at low temperature and 400 nm at high temperature near 350 °C. On the other hand, a group of Y-75102 (L6), Y-74190 (L6), and Y-75108 (L6) have an additional 570 nm peak at high temperature. Another group of Sahara 98222 (L6) and Y-75097 (L6) have a 450 nm peak at high temperature. All five chondrites include maskeynite. This fact implies that the change of TL peak at high temperature was produced by strong shock effect. We measured TL glow curves with a band pass filter (600FS80-25). The five chondrites have relatively low intensities at low temperature. These relatively low intensities at low temperature correspond to decrease of TL sensitivity by shock effect. On the other hand TL intensities at high temperature are increased comparing to the usual glow curves. Remarkable increase in ratio of TL intensities at 380 °C to that at 220 °C is observed over shock stage S5. This fact implies that maskelynitization of plagioclase makes TL growth at high temperature. This time we tried to identify to phosphors responsible to TL emission at high temperature for Sahara 98222 (L6) by two-dimensional TL readout system. High TL intensity regions correspond to blue CL regions of plagioclase. The mineral responsible to the TL at high temperature would be also plagioclase in shocked ordinary chondrites.

普通コンドライト隕石の反射率測定

Measurements of bidirectional reflectance of ordinary chondrites

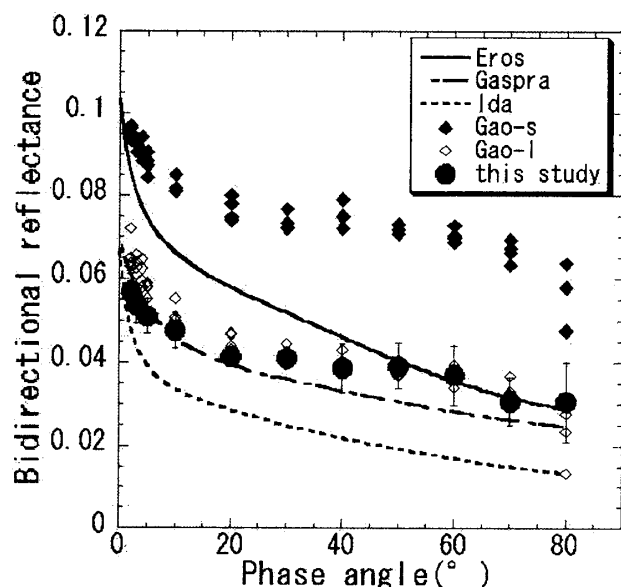
○富田 奈津美、中村 昭子 (神戸大学大学院 自然科学研究科)

Photometric studies of asteroids have been carried out by using ground-based telescopes. Recently, spacecraft observations have brought us more detailed photometric data, that is disk-resolved bidirectional reflectance data, of S-type asteroids (Gaspra, Ida, Eros). The target of MUSES-C, 1998SF36, is considered an S-type asteroid. The NEAR spacecraft found the surface composition of Eros is similar to that of ordinary chondrite meteorites.

In this study, we measured the bidirectional reflectance of the ordinary chondrite meteorites with a He-Ne laser (wavelength 633nm) and photomultiplier. We will compare our data with S and Q-type asteroids' data, and discuss on a comparison between ordinary chondrites and S and Q-type asteroids in terms of the bidirectional reflectance.

これまで多くの地上観測により小惑星のさまざまな位相角での測光観測が行われてきた。近年、探査機により Gaspra, Ida, Eros といった S 型小惑星表面のより詳細な光散乱特性、すなわち disk-resolved bidirectional reflectance も得られてきた。また、MUSES-C の対象天体 1998SF36 も Q に似た S 型であると考えられている¹⁾。Eros 探査でわかった表面組成から、S 型小惑星が普通コンドライト隕石の母天体であるという可能性がより高くなっている。ところが、探査機のデータと比較するための普通コンドライト隕石の bidirectional reflectance データは少ない。

そこで、今回、波長 633nm の He-Ne レーザーを用いて普通コンドライト隕石の測光測定を行った。入射角、射出角をそれぞれ 0°~80°の範囲で変化させてそれに伴う反射率の変化を調べた。



左図は測定したTuxtuac隕石(LL5, 粒子サイズ180–500 μ m)の入射角0°での位相角と反射率の関係を示す。探査機で得られたデータに Hapke の光散乱モデルを適用して求められた Gaspra, Ida, Eros の表面についてのモデル曲線とこれまでの実験結果²⁾の例 (Gao 隕石(H5) -s:45-75 μ m, -l: 180-500 μ m) も図に示す。講演では入射角や粒子サイズを変化させた結果と現在得られている S 型・Q 型小惑星のデータとを比較し、普通隕石と S 型・Q 型小惑星の対応を従来のスペクトルとは別の観点から議論する。さらに 1998SF36 について太陽光度一位相曲線や geometric albedo との比較も行う。

1) Dermawan, B. et al. 2001, 月惑星科学シンポジウム

2) Kamei A., and A. M. Nakamura 2001, *Icarus* submitted

少量隕石の ^{26}Al 測定：東京大学宇宙線研究所極低レベル γ 線計測システム

Determination of ^{26}Al in small meteorite samples using extremely low background γ -ray counting systems of the Institute of Cosmic Ray Research, University of Tokyo.

○福岡孝昭（立正大地球）、大橋英雄（東京水産大）

○T. Fukuoka(Rissho Univ.) and H. Ohashi (Tokyo Univ. Fish.)

Determination of terrestrial ages of Antarctic meteorites supplies useful informations for the frequency of meteorite fall, the mechanism of accumulation of meteorites and the age of ice. ^{26}Al (HL: 702,000y) is a useful tool for the dating of terrestrial age of meteorite. Antarctic meteorites are determined non-destructively by extremely low background γ -ray counting system for measurements of extremely low level radioactivities, Institute for Cosmic Ray Research, University of Tokyo. The counting system consists of three well type of large volume Ge detector. 1.5 to 4g of crushed samples are packed in plastic vials prior to put into the well of detector.

これまでに日本隊により採集された南極隕石の総数は2万個に及ぶ。一方、南極氷床の年代は40万年に及ぶと考えられている。従って、2万個の隕石は過去40万年間にわたって落下したものと考えることができる。隕石の地球上への落下年代（terrestrial age）の測定は、これら隕石が定常的に落下しているのか、ある時期に集中したのか、といった問題を解明する上で大変重要である。また、南極隕石はある地域に集積していると考えられているが、落下年代測定の結果は集積機構の解明にもつながると考えられる。

隕石の落下年代測定は隕石中に残留する宇宙線生成核種の放射線測定によって行われる。 ^{26}Al （半減期 702,000 年）の γ 線測定は、40 万年を超える落下年代測定を行える。しかし隕石中の ^{26}Al は極めて少ないため、放出される γ 線を測定するためには高感度の測定器が必要なほか、バックグラウンド放射線強度を下げる必要がある。

これまで東京大学宇宙線研究所の微弱放射能測定施設は千葉県鋸山地区の地下トンネルを利用し、井戸型大容量高純度 Ge 検出器一台が設置されていた。この装置により 1.5~2g 程度の隕石試料の ^{26}Al γ 線測定に成功、落下年代測定を行った。しかし遠隔地のため、施設の維持が大変で、田無キャンパスの 15m 地下室に移設された。この施設の管理は地下水の湧き出し等で手間取り、隕石試料の ^{26}Al γ 線測定は行えなかった。今回の東京大学宇宙線研究所の柏キャンパス移転にあたり、地下 20m の地下室が新設され、井戸型高純度 Ge 検出器も 2 台増設され、合計 3 台に強化された。維持管理が順調にいけば、これまで以上の data を輩出できるものと期待される。

施設は、地下 20m のおかげで宇宙線によるバックグラウンドの低下、地下室側壁からの Rn 放出をおさえる特殊塗装、低レベル鉛シールドの使用等により、バックグラウンドレベルは田無時代より低く、鋸山時代の 10 分の 1 以下におさえられている。増設の Ge 検出器の γ 線検出効率も 1.4 倍程度高いものが増設され、井戸の径も 11mm と 16mm の 2 台が増設されたので、ポリエチレン製容器に入れた 1.5~4g の粒状試料の γ 線測定が可能であり、測定時間の短縮も期待される。

Massive Starにおける元素合成と 超新星爆発起源プレソーラーグレインへの応用

Nucleosynthesis in Massive Stars and Application to Presolar Grains
from Supernovae

◦ 吉田 敬、橋本 正章 (九大・物理)

Takashi Yoshida, Masa-aki Hashimoto
Dept. of Physics, Kyushu University

In order to distinguish presolar grains of supernova origin, we pursue nucleosynthesis of elements in a $8 M_{\odot}$ He star from the He burning to the core collapse and the following supernova explosion. We investigate the paths of various reaction sequences of elements and clarify the isotopic ratios insensitive to uncertainties of the models of the stellar evolution and the supernova explosion. Based on the obtained results, we discuss the isotopic ratios useful for distinguishing presolar grains from the supernova and the ranges of the isotopic ratios.

これまで SiC や graphite などのプレソーラーグレインに超新星爆発起源のプレソーラーグレインが見つかった。これらグレインは主に ^{28}Si の過剰や放射性元素 ^{44}Ti の痕跡によって判別されているが、同時にこれらグレインの中に測定値と超新星爆発から予想される値とが一致しない同位体比も示されている。この一致しない原因としてはグレイン形成時から測定までの間の汚染の他、恒星進化や超新星爆発モデルの不定性による理論値の不定性も考えられる。そこで本研究では恒星進化と超新星爆発時の元素合成過程を解き、それぞれの元素の生成、消滅反応を調べることでモデルに依存しにくい元素同位体比を調べた。

今回は $8 M_{\odot}$ He star の進化と超新星爆発時の温度、密度進化にあわせて元素合成過程の計算を行った。He star の温度、密度進化は Hashimoto (1995) に示されているモデルの温度、密度進化を用い、超新星爆発時の温度、密度進化は Shigeyama, Nomoto, and Hashimoto (1988) で用いられた球対称爆発モデルを用いて求めた。これらの温度、密度進化にあわせて He star の進化では Ge まで含まれる 233 核種、超新星爆発時には Sr まで含まれる 414 核種からなる核反応ネットワークを用いて元素合成過程を計算した。その結果、He star 進化段階では主な元素の組成分布はヘリウム燃焼と炭素燃焼での元素合成過程により決まり、超新星爆発時には中心から約 $2.5 M_{\odot}$ よりも内側で多くの元素が爆発的元素合成の影響を受けた。ヘリウム燃焼では Si よりも軽い元素は主に α -capture により生成され、Si よりも重い元素は主に neutron capture により生成された。炭素燃焼では Si より軽い元素が neutron-, proton-, α -capture により生成された。ポスターではこれらの結果と爆発的元素合成過程の特徴を考慮して超新星爆発起源プレソーラーグレインの判別に適した同位体比を示す。

拡散律速する系での核生成

山田 耕、田中 秀和、中沢 清、榎森 啓之(東工大・理工・地惑)

Nucleation process in a system dominated by diffusion

Kou Yamada, Hidekazu Tanaka, Kiyoshi Nakazawa, Hiroyuki Emori
(Earth and Planetary Sci., Tokyo Inst. Tech.)

We improved the homogeneous nucleation theory in order to describe nucleation processes under a high density condition, where grain growth is dominated by diffusion process. We obtained the equations of grain growth and the number density in a high density condition. As a result, the obtained number density of grains is much higher than that given by the previous homogeneous nucleation theory. The results are applied to the formation of helium droplets inside Saturn. It is shown that the droplets are grown to about 1cm and sedimentation of helium toward the interior of Saturn can occur regardless of convection.

溶液など密な系における均質核形成においては、分子の自由行程が短いため、拡散による分子の輸送が重要となる。本研究では、この拡散律速輸送の系における核生成過程を調べ、最終的に形成される粒子のサイズや数密度を求めた。これにより得られた粒子数密度は、希薄な系を対象とした従来の核生成理論(Yamamoto & Hasegawa 1977)から得られる値に比べて、10桁以上も大きくなりうる事が明らかになった。

さらに、この拡散律速輸送の系における核生成理論を応用して、土星内部のヘリウム玉の形成と重力沈降現象について調べた。土星内部の水素-ヘリウム不混和領域において、ヘリウム玉が水素から相分離して形成される。このヘリウム玉が重力沈降することによって、土星表面の大きなエネルギー流束を説明することができると、Stevenson & Salpeter(1977)は提唱した。しかし、不混和領域における形成過程や生成されるヘリウム玉の半径などは未だ定量的に調べられていない。従来の核生成理論をこのヘリウム玉形成過程にそのまま適用すると、ヘリウム玉の半径は 10^3 km になるという非現実的な値となってしまう。それに対して、本研究で確立した拡散律速する系での核生成理論を用いると、ヘリウム玉の半径は 1cm 程度と見積もられる。この 1cm というサイズは、ちょうどヘリウム玉が対流から分離され、重力沈降するために必要な大きさである。従って、我々の結果はヘリウム玉の重力沈降が十分可能であることを示している。

均質核生成理論の実験的検証法

Experimental inspection method of homogeneous nucleation theory

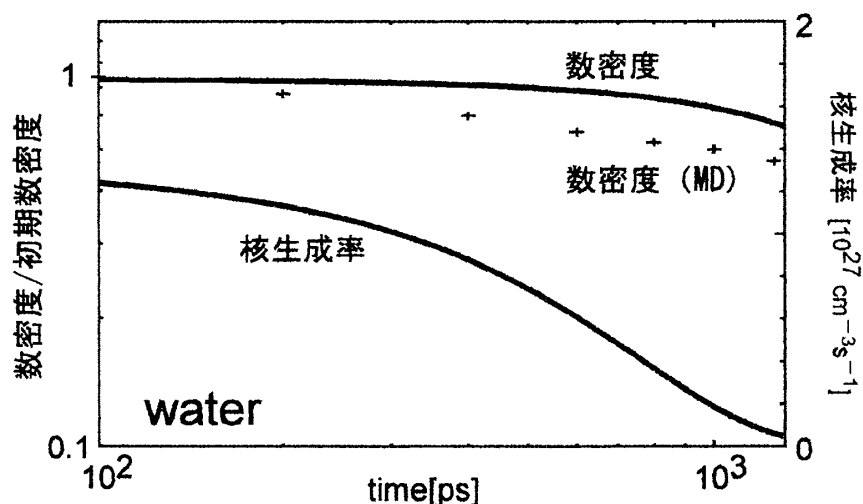
田中今日子、田中秀和、中澤清 (東工大、地球惑星)

Kyoko K. Tanaka, Hidekazu Tanaka, and Kiyoshi Nakazawa (Tokyo Inst. Of Tech.)

Recently, homogeneous nucleation process in the vapor phase has been investigated with molecular dynamics computer simulations. We propose a method of comparison of the homogeneous nucleation theory with results obtained by molecular dynamics simulations in order to inspect the validity of the theory.

惑星物質の起源を知る上で重要となる過程のひとつに凝縮過程がある。近年、凝縮による核生成現象を明らかにするため、分子動力学(MD)シミュレーションによる数値実験や、宇宙実験といった新しい手法が用いられてきている。本研究では、核生成理論を検証するために、核生成理論と実験との比較方法について提案する。

MD シミュレーション (Yasuoka and Matsumoto 1998, J. Chem. Phys. 109. 8463) では、初期過飽和度が1以上、温度が時間に依らず一定という状況のもとで、核の生成過程を再現し、ある時間幅に形成されるグレイン数という平均量から核生成率を得た。しかし、核生成率は時間変化する過飽和度に敏感なため、核生成理論と比較するためには系の時間進化を考慮することが必要である。本研究では数値実験と同じ状況の下で理論計算を行った。その結果、核生成率、分子数密度(又は過飽和度)、グレインの数密度及びサイズを時間の関数として得た。これらの結果は数値実験と比較することができ、又、グレインが成長するまでの待ち時間も予測することが可能である。



図：核生成理論から得られる分子数密度と核生成率の時間進化の計算例。+印はMDシミュレーションの結果。

微惑星の軌道進化における密度依存性

Density dependence on orbital evolution of planetesimals

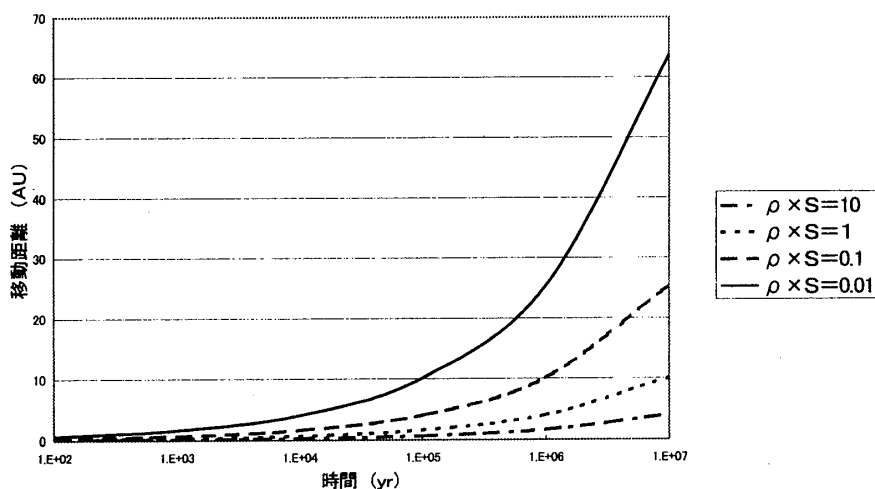
○樋口有理可 向井正

神戸大学大学院 自然科学研究科

In the protoplanetary nebula, the mutual collisions between the planetesimals with size of about a few hundred meters occurred. As a result, in the region far from the Sun, many planetesimals consisting of different ratio of compositions, i.e. volatile icy materials, non-volatile refractory materials and voids appeared. The differences in mass density among planetesimals suggest the different dynamical evolution of planetesimals. That is, the planetesimals with low mass density receive the relatively stronger gas drag, compared with high density bodies, and consequently, they spiraled into the planetary region faster. The proto-giant planet scattered them into towards the edge of the proto-solar system, as well as to the inner planetary region. The influence of mass density of planetesimals on their dynamical evolution will be shown in detail.

原始惑星形成領域の周辺部分では、まだガス／ダストの残る環境で、氷のマントルをもった微惑星が衝突を繰り返していた。その結果、揮発成分の氷、難揮発成分のダスト、空洞の存在量比の異なる微惑星が誕生した。こうして生まれた微惑星間の大きな密度差によって、ガス抵抗の効き方に差が生まれた。相対的に強いガス抵抗を受ける低密度微惑星が、原始惑星領域に落ち込んで、原始巨大惑星から強い摂動を受ける。重力摂動を受けた微惑星は軌道を変えられて、長周期彗星やその卵からなるオールト雲を形成する。本研究では、惑星領域に落ち込む微惑星の密度を推定し、その後の軌道進化について考察する。

微惑星の移動距離と時間の関係
 ρ : 微惑星密度(g/cm^3) S : 微惑星半径(km)



原始惑星周りの原始惑星系円盤ガスの流れ

Nebular Gas Flows around Protoplanets

○谷川 享行（名大・理）、渡邊 誠一郎（名大・環）

○ Takayuki Tanigawa¹, Sei-ichiro Watanabe²¹Department of Earth and Planetary Science, Nagoya University²Graduate School of Environmental Studies, Nagoya University

We investigate gas flows around protoplanets in a gas disk with Keplerian rotation using three-dimensional hydrodynamic simulations in order to understand the accretion flow structure and accretion rate. The three-dimensional flow we obtained is compared with two-dimensional one which was already obtained from our previous study, and consider the application of the flow for the formation process of the giant-gaseous planets.

木星型惑星は、1 から 10 地球質量程度の固体コアの周りに大量のガス成分 (H_2, He) をまとっている。その大量のガス成分は、固体コアの周りの原始大気が重力的に不安定を起し暴走的に捕獲された、と考えられている (Mizuno 1980, Pollack *et al.* 1996, Ikoma *et al.* 2000)。しかし、ガス捕獲が開始された後の動的なガス降着流については良く分かっていない。そこで、我々はこれまで原始惑星系円盤の厚みを無視した 2 次元計算により惑星へのガス降着流を求めてきた。しかし、惑星質量が大きい場合 (100 地球質量以下) は円盤の厚みが無視することができない。そこで本研究では、原始惑星系円盤から惑星へのガス降着の様子を 3 次元流体シミュレーションを用いて求め、惑星へのガス降着の描像を明らかにしていく。

まず、我々がこれまでに行った 2 次元計算から得られた降着流の性質をまとめる。(1) 惑星重力圏内にはスパイラルショックを伴ったほぼケプラー回転するディスク (サブディスク) が形成され、原始惑星系円盤ガスはこのディスクを通じて惑星へと運ばれる。(2) 惑星へのガス降着率は $\dot{M} = 8.0 \times 10^{-3} M_{\text{Earth}} (a/5.2\text{AU})^{-1.5} (M_p/10M_{\text{Earth}})^{1.3} \text{yr}^{-1}$ (ただし、 M_p は惑星質量、 a は軌道長半径であり、原始惑星系円盤は最小質量モデルを適応) で与えられ、この量を決めているのはサブディスク中のスパイラルショックの強さである。そこで、まずこの 2 つの性質について 3 次元計算と 2 次元計算について比較し、3 次元に特有の効果を見極める。そして、それが木星型惑星形成プロセスを考えるうえでどのように効いてくるかを考察する。

巨大惑星による微惑星散乱と中心星表層の重元素量

Stellar metallicity change caused by scattering of planetesimals
by a giant planet

○井田 茂 (東工大理)、D. N. C. Lin (Lick 天文台)

We investigate “shielding effect” in extrasolar planetary systems and discuss its relation with the metallicity of the host stars. A giant planet can eject cometary objects, planetesimals that are scattered into inner region by outer giant planets, and can protect inner habitable planets against the impacts of the cometary objects. We integrate orbits of test particles thrown into the inner part of a planetary system, under the gravity of a host star and a giant planet. We calculate the probability of ejection of the test particles by perturbations of the giant planet as a function of its mass and semimajor axis.

系外惑星系の多様性（特に巨大ガス惑星の軌道）と、その中心星の重元素存在度について議論する。基本となる考えは、(1) 中心星は巨大惑星形成後（主系列段階にはいった後）の微惑星の集積により、その対流層の重元素存在度（観測する値）がバルクの値にくらべ、有意に上がり得るということ、(2) ただし、巨大ガス惑星の軌道によっては、その微惑星の中心星への集積は阻害され、対流層の「汚染」は妨げられるということ、である。

これまでに約70個の系外惑星が発見されているが、それらの中心星は重元素存在度が高いことが知られている。特に短周期惑星をもつものは、太陽や太陽近傍の星の平均にくらべ、極めて高い。これらは、微惑星集積による「汚染」であり、高い重元素存在度が惑星存在の指標だとする解釈がある (e.g., Laughlin 2001)。微惑星は系の外縁領域に多くの質量が存在するが、ここに巨大惑星が形成されると、その重力で微惑星が放物線に近い軌道になり、中心星に激突する。一方、太陽系のように、巨大ガス惑星が外縁部だけでなく、中間部分にも存在する場合（木星）、その内側に存在する地球型惑星への微惑星の爆撃が食い止められるという効果 (“shielding effect”) がある (Wetherill 1994)。“shielding effect”は中心星への微惑星集積も阻害する。

本研究では、中心星と巨大惑星の系に次々と放物線に近い軌道の微惑星を打ち込むモンテカルロ計算を行なって、中心星集積の “shielding effect” は巨大ガス惑星の中心星からの距離と質量に強く依存することを示した。このことから、巨大惑星の中心星からの距離と、中心星の重元素存在度には相関があることが期待される。

巨大天体衝突による大気散逸の可能性 Possibility of atmospheric loss by a giant impact

○玄田英典（東大・理）、阿部豊（東大・理）

○Hidenori Genda and Yutaka Abe

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

There is the possibility that mars-sized planets impact each other at the last stage of terrestrial planets' formation. The terrestrial planets have degassed atmosphere and may have nebular gas. In this study, we will present the possibility of atmospheric loss by a giant impact and the numerical simulation of escape mass. Taking account of giant impacts, we will discuss atmospheric formation and evolution of terrestrial planet.

地球型惑星形成の現代的描像において、その集積末期には、火星サイズの天体衝突が複数回起きた可能性があることが知られている。それら火星サイズの天体衝突によって、地球型惑星の保持している大気（脱ガス大気、原始太陽系星雲ガス組成の大気）が吹き飛ばされる可能性がある。本研究では、衝突によって、惑星内部を伝播する衝撃波が、大気と接する惑星表面にどのような速度場を形成するかを見積もり、その表面速度で惑星の保持している大気が散逸してしまうかどうか数値シミュレーションする。また、衝突の規模と散逸量の関係を求める。得られた結果をもとに、巨大天体衝突を考慮した地球型惑星の大気形成および進化について議論する予定である。

連星系における惑星の軌道安定性

Stability of a planet in a binary system

○森脇 一匡 (神戸大・自然)、中川 義次 (神戸大・理)

Kazumasa Moriwaki (Graduate School of Science and Technology, Kobe University)

Yoshitsugu Nakagawa (Faculty of Science, Kobe University)

We estimate upper limits of binary and planetary eccentricities in the extrasolar planetary system, MACHO-97-BLG-41 lens system. The planet was detected by gravitational microlensing, and is considered to be the first observed one orbiting both components of the binary star system. This observational technique cannot determine binary and planetary eccentricities. However, these orbital elements may be estimated by long-term numerical integrations of binary and planetary orbital motions. We performed such long-term numerical integrations with various initial conditions in order to see what initial configuration produces the stable planetary orbits during the integration.

1999 年秋、連星の周囲を公転する惑星の存在が報告された。(Bennett *et al.* 1999) この惑星は重力マイクロレンズでの初めての発見であり、観測からは連星や惑星の離心率は分かっていない。本研究の目的は、この観測からは分からない連星、惑星の離心率を力学的な立場から推測することにある。

連星の周囲を公転するような惑星の安定軌道の寿命は、質量比、連星・惑星の離心率、惑星の軌道長半径といったパラメータに強く依存する。(Holman & Wiegert 1999) この点をふまえ、初期値として与える連星・惑星の離心率を様々に変えて運動方程式の数値積分を行なう。仮に惑星軌道が短い時間で不安定になってしまった場合、与えた初期値はこの系において適当ではなかったと判断できる。このような判断条件から惑星軌道が長時間安定を保つことのできる連星・惑星の離心率の推測を試みたので、これについて報告する。

小惑星の形状モデリング

Modeling of Asteroids

○ 高橋茂 向井正 (神戸大学大学院自然科学研究科)

S. Takahashi and T. Mukai (Graduate school of science and technology, Kobe University)

Asteroidal properties, such as the state of spin motion, the spatial distribution of the minerals on the surface of asteroid, would preserve the information of the collisional process of pristine bodies in the early Solar System. These properties have been derived from the ground-based photometry of asteroid based on the simple shape model for asteroid, i.e. the triaxial ellipsoidal shape model.

We carried out photometric and polarimetric observations of 3 Juno and 216 Kleopatra using HBS installed at Okayama observatory. We analyzed Juno data taken on Jul. and Aug. in 2000 and constructed the shape-albedo model based on triaxial ellipsoidal shape method. For Kleopatra, we compared photometric observations on Oct. in 1999 with the simulated light curves. The simulations were performed using polygon data offered by Hudson on the internet, and scattering properties of its surface were assumed as Lambert or Hapke model. We will report these results at this meeting.

小惑星は、太陽系形成期に始原的母天体の相互衝突により形成されたと考えられている。その時代の衝突過程の解明は、現在の小惑星の自転軸分布、自転周期分布、表面の物質分布などに基づいて行われている。小惑星の自転特性や表面物質分布は、主に小惑星の測光観測データを解析することによって得られてきた。

我々は、小惑星 3 Juno を 2000 年 7 月から 8 月にかけて、国立天文台岡山天体物理観測所に設置された偏光分光測光器 (HBS) を用いて観測した。得られたデータを、3 軸不等楕円体モデルを適用して解析を行い、小惑星 Juno の表面微細構造のモデルを作成した。本学会ではこの結果を報告する。

また、近年レーダーや探査機による小惑星の詳細観測により、ポリゴンによる形状データが公開されている。そこで 216 Kleopatra の形状データに、ランベルトおよびハプケによる散乱モデルを適用し、我々が 1999 年 10 月同装置を用いて実施した小惑星の測光観測との比較を試みた。この結果も合わせて報告する。

小惑星模擬表面に対する室内偏光実験

Laboratory measurements of polarization for the analogue surface of asteroid

○篠川 弘司、中村 昭子、向井 正 (神戸大学 自然科学研究科)

Koji Shinokawa, Akiko Nakamura, Tadashi Mukai

(Graduate School of Science and Technology, Kobe University)

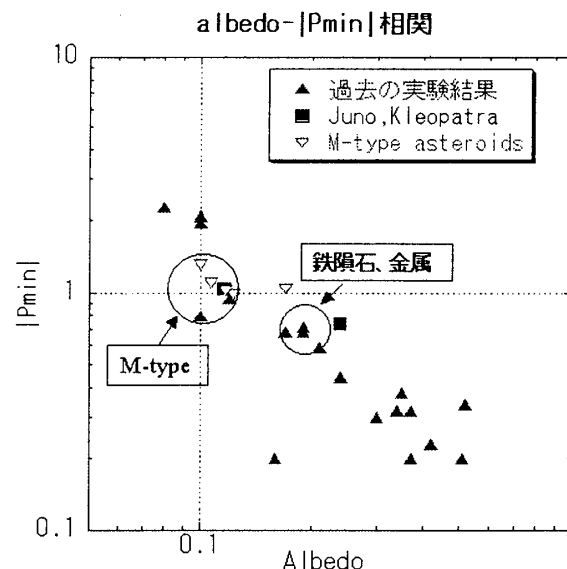
In our group, the photopolarimetric observations of asteroids have been continued using the telescopes at Dodaira and Okayama observatories. However, a lack of available experiments of light scattering by the actual meteorites prevented us from analysing the surface structures of asteroids from our photopolarimetric data. We have performed the experiment data of polarization for the meteorite samples, which are analogue of asteroid surface regolith. We present the outline of the equipment of this experiment, and show some results of polarization measurements, which include the information for the size and mineral composition of surface regolith analogue.

我々のグループでは、小惑星表面物質の構造を知るために、堂平と岡山の観測所で、小惑星の測光・偏光観測を行っている。偏光からは、対象表面上に分布する鉱物細粒の粒径や、鉱物組成が推定できる。一方、観測結果と比較するための室内光散乱模擬実験の例は少ない。特に、実際の隕石を用いた光散乱実験が少ないために、観測対象の表面構造を直接推定するに至っていない。本研究では、小惑星表面の偏光現象を解析するため、隕石試料と隕石の代表的な構成鉱物を用いた光散乱模擬実験を行なった。

装置の光源には、ハロゲンランプを使用し、波長域は $550 \pm 40 \text{ nm}$ 。試料には L4 の Saratov 隕石、鉄、Graphite、Dunite 粒子を用いて、位相角は、観測時の位相角をカバーした範囲を設定している。

右図は Lupishko and Belskaya が行った実験のプロットであるが、M-type 小惑星の観測値と M-type 小惑星が起源とされる鉄隕石の実験値 (D.F. Lupishko and I.N. Belskaya 1999, Icarus 78) が異なる点が非常に興味深く、M-type 小惑星表面の微細構造に制限を与えることが今後の研究課題である。

右図: 3 Juno (S-type)、216 Kleopatra (M-type) は観測から導出した値。



レゴリス層表面構造の実験的研究

Laboratory study on surface structure of regolith layer

○中村昭子¹, 富田奈津美¹, 中山博喜², 亀井秋秀³

(1:神戸大学大学院自然科学研究科、2:神戸大→兵庫県、3:通総研)

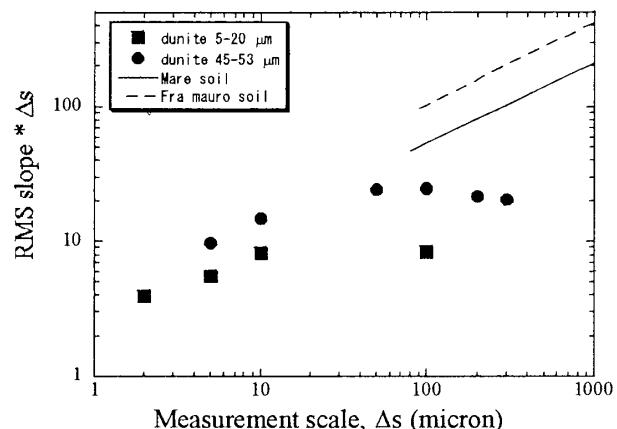
Surface structures and textures of airless planetary bodies are considered to be the results of the course of their evolution. Light-scattering and thermal-emission properties have been the clues of the nature of the surface material of the planetary bodies: however, these properties are also affected by surface conditions such as roughness, the size distribution of rocks and particles on the surface.

We performed a laboratory study of the topography and porosity of regolith-like surfaces. We examined the effect on surface roughness and porosity of the size distribution of constituent particles by using particles of various sizes, and mixtures of them.

大気をもたない太陽系天体（小惑星や衛星）の表面の構造やテクスチャは、それらの天体の進化過程をあらわすと考えられる。光散乱特性や熱輻射特性は天体表面物質を調べるための情報を担っているものの、これらの特性は、表面状態、すなわち粗さや表面の岩や粒子、すなわちレゴリス、のサイズ分布による(e.g., 中山、他、2000)。

われわれは、レゴリス表面を模擬した粒子層の凹凸や空隙率について、実験的研究を行ってきた。本発表では、粒子サイズを変えて凹凸や空隙率の測定をおこなった結果についてまとめ、議論する。

右図は、表面傾斜分布の測定結果例を示す。粒子を容器に入れて表面をへらで平らにした層についての結果である。直線と点線は、月面についてステレオ画像から得られている傾斜分布（測定スケール 85 μ m–85mm、フラクタル次元 $\sim$ 2.5、Helfenstein and Shepard, 1999）である。



参考文献

中山博喜、亀井秋秀、中村昭子、日本惑星科学会秋季年会、2000 年
Helfenstein, P., Shepard, M. K., *Icarus*, 141, 107-131, 1999.

月面上の2次クレーター解析による、衝突放出物のサイズ—速度分布の導出

Estimation of ejecta size-velocity distribution by analyses of lunar secondary craters

○平瀬 慶明、森 秀治、中村 昭子 (神戸大・自然科学)

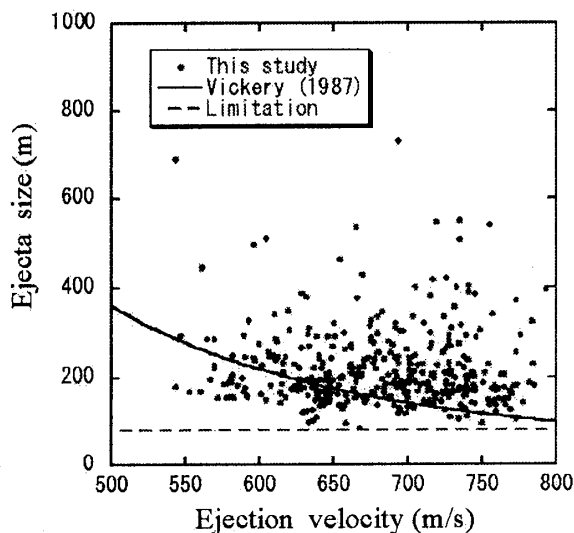
Y. Hirase, H. Mori, and A. M. Nakamura

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

Size-velocity distribution of ejecta by impact has been studied by laboratory experiments. However, it is unclear if the laboratory-scale results can be applied to the impact events on solar system bodies. On the other hand, size-velocity distribution of ejecta of lunar primary craters has been determined from the distribution of size and position of the secondary craters. We analyzed Clementine images of the lunar surface and distinguish the secondary craters from the primary ones by their ellipticity. Using these secondary craters, size and velocity of ejecta was determined by cratering scaling laws and we compared this data with the previous result of analysis of lunar surface and those of impact experiments.

これまで、室内実験により、衝突における放出物のサイズ—速度分布のデータが得られているが、実験規模を考慮すると、得られた関係をそのまま天体上の衝突に適用できるかは疑問である。他方、月面の2次クレーターのサイズと空間分布から、これを形成した1次クレーターの放出物のサイズ—速度分布が求められている。

本研究では、クレメンタインの月面画像を用いて、クレーターの形状の統計的解析を行い、新たに楕円率によって1次クレーターと2次クレーターを区別した。そうして抽出された2次クレーターから、クレータースケーリング則を用いて放出物のサイズ・速度を求め、過去の月面解析結果や衝突実験データとの比較を行った。



図は Aristarchus Crater (直径 40km) の衝突放出物のサイズ—速度分布。各点は、対応する2次クレーターから求めた ejecta の大きさと放出速度である。放出角度は $\theta = 45^\circ$ と仮定した。

図中の曲線は、Vickery (1987) によって示された Aristillus Crater (直径 55 km) 周辺の2次クレーターの分布から求められた関係式を示す。今回の結果において、サイズの小さい ejecta が少ないのは、クレメンタイン画像の解像度の限界が原因である。講演では、他地域での結果についても比較を行う。

嵐の大洋の地質解析

Geologic analysis of Oceanus Procellarum

○ 児玉 信介, 山口 靖 (名古屋大・環境)

Distribution of FeO and TiO₂ contents on the lunar surface was mapped by using Clementine UVVIS data to study mare volcanism and chemical composition of the lunar mantle materials. In Oceanus Procellarum region, TiO₂ content of mare basalt changed from low (late-Imbrian) to high (Eratosthenian), while FeO content stayed high through this period in all areas. These results help us to construct geologic and volcanic history of this region.

月の海の火成活動の時空変化を調べることは、月の熱進化を考える上で重要な手がかりとなる。月の表側の西部に広がる嵐の大洋は、様々な年代の玄武岩溶岩が分布しており化学組成も変化に富んでいることが知られている。また、この地域には玄武岩溶岩以外にも火山性ドームや DMD のような火山性堆積物が多数分布している。月の火成活動を理解するためにはこれらのユニットがどのような順序で形成されたかを把握することが必要である。そこで本研究では、クレメンタイン UVVIS データを用いて嵐の大洋の地質解析を行い、この地域の火成活動史を調べた。解析方法は、まずクレメンタイン UVVIS データから FeO・TiO₂ 分布図を作成し、化学組成の違いをもとに海の玄武岩の分類を行った。そして、分類したユニット間の層序関係をユニットの境界線や衝突クレータの底部の化学組成を参考に決定した。岩石の分類結果は、Wilhelms (1987)に示される地質図と概ね一致していた。各ユニットの化学組成は、FeO 量についてはユニット間でほとんど差がないが、TiO₂ 量は 1-2%のものから 10%以上のものまで存在し、上位のユニットほど TiO₂ 量が高いことがわかった。この地域の最上位に位置する高チタン濃度(TiO₂: 9%以上)の玄武岩は、Wilhelms (1987)ではエラステネス紀・コペルニクス紀の玄武岩に相当し、低チタン濃度(TiO₂: 6%以下)の玄武岩はインブリウム紀の玄武岩に相当する。この高チタン濃度の玄武岩の層厚は、比較的小さなクレータ(直径 1km 程度)でも底部には下位の低チタン濃度の玄武岩が露出しており、薄いことがわかった。しかし、この玄武岩溶岩は嵐の大洋東部から雨の海西部にかけて広範囲に分布しており、噴出量は月の表側東部の海に比べて多い。この地域の火成活動史を把握するためには、この高チタン濃度の玄武岩溶岩が噴出した時期をより具体的に知る必要がある。また、溶岩の噴出位置の変化と化学組成変化の関係を明らかにし、他の地域との比較を行うことも重要であり、今後はこれらの課題について検討する。

P19

月の地殻構造の理解: "Lunar dome"の成因からの類推

Lunar crustal structure: Implications from origin of the lunar dome

○杉原孝充(宇宙開発事業団)・倉田あゆみ(つくばエキスポセンター)

Takamitsu SUGIHARA (NASDA)

Ayumi KURATA (Tsukuba EXPO Center)

Origin of the lunar domes was investigated to understand lunar crustal structure using the Clementine multi band images. As a result of the investigation, the lunar domes are classified into three types based on their spectral features and morphology. Origin of each type is closely related to evolution of surrounding mare units in the lunar crust, and temporal changes of physicochemical characteristics of the magma would reflect heterogeneous crustal structure of the moon.

月の地殻はどのような構造になっているのだろうか？それは月の初期進化に密接に関係している。固体惑星におけるマグマの進化は周囲物質との密度差に大きく影響される。よって、マグマの組成分布、噴出形態の変遷を理解することにより、地下の物質構造に関する情報を得ることが出来る。月の“ドーム”は形態から火山性であると考えられており、海を形成した洪水玄武岩の活動に空間的に密接に伴って活動している。しかし、海の玄武岩溶岩との形態の違いから、異なる様式のマグマ噴出であることは明らかになっているが、なぜそのような噴出様式の変化が生じたのか、特にマグマの物質科学に注目した研究は無い。このような観点から、ドームの成因を知るために月の物質科学的理解を可能にする唯一の画像データである Clementine 可視-近赤外分光画像を用いて、ドームと周囲の海物質との噴出時間関係、化学組成の変化を整理した。

ドームは海の分布地域の中に限って見られ、規模、産状、スペクトル形状から、Dome cluster, Dome complex, Felsic dome の3タイプに分類される。Dome cluster は小型(直径数 km)で基底/

高度比が大きいドームである。一般に直線上に配置し、グラーベンと考えられるリニアメントに沿って分布することがある。Dome complex は複数の様々な規模のドームが重複し、巨大な山体(直径~80km)を形成していることが特徴である。Felsic dome は中規模(数 km~20km)なドームであり、急峻なリムといびつな外形が特徴である。これらは Oceanus Procellarum を中心に特徴的な分布を示す。先の2つのタイプはスペクトルから周囲の海の玄武岩とほぼ同物質と考えられ、最上位の溶岩ユニットと化学組成的に区別されない。それに対して、Felsic dome は形態的にも、スペクトル的にも斜長石に富む高粘性なマグマに由来しており、その成因に対して海の玄武岩とは異なる進化過程と上昇・噴出プロセスが要請される。これらドームタイプの分布は、海の玄武岩の噴出メカニズムについて重要な情報を与える。そして、最近明らかにされつつある月表層地殻の大局構造(Jolliff et al., 2000)とも密接に関係している。そのため、このリモートセンシングで確認される表層構造は下部地殻にまで達する、大規模な物質の不均質構造を反映していると考えられる。

湿潤対流が励起する地球と木星の自由振動

Free oscillations of the Earth and Jupiter excited by moist convection

○ 中島 健介 (九大院・理), 野津原 昭二 (気象庁)

○ K. Nakajima (Kyushu University),
S. Notsuhara (Japan Meteorological Agency)

It has been established that the earth's free oscillation is incessantly excited with amplitudes of nanogal. We demonstrate semi-quantitatively that moist convection in the atmosphere is a likely candidate for the source of the incessant excitation. Incessant free oscillation is presumably excited in Jovian planets, where similar type of convection is thought to be occurring. Kobayashi and Okuchi presented a similar argument in Japan Earth and Planetary Science Joint Meeting 2000 but with dry thermal convection, whose excitation properties differs significantly from those of moist convection. Amplitude and frequency distribution of free oscillation predicted with moist convection will be discussed.

1. はじめに

地震計や重力計の精度向上に伴って、地球自由振動が常時励起されていることがわかってきた。ここでは、その励起源として水蒸気の凝結を伴う大気対流（いわゆる積乱雲）が有力であることを半定量的に論証する。また、同種の対流は木星型惑星でも生じているので、木星型惑星でも同様の機構による常時自由振動についても考察する。

2. 地球の常時自由振動

積雲の時空間特性（空間スケールが数 km, 寿命が 1 時間程度）は、一見、観測される自由振動の特性（波長が数千 km, 周期が数分）とマッチしないように思われる。しかし、個々の雲は孤立した熱源なのでフーリエ変換すれば波長の長い成分を持つこと、および、雲の内部には短周期の揺らぎが存在しえることを考慮すると、有望な励起源の候補となる。

そこで次の手順で励起振幅を推定した。(1) 励起に必要な地面圧力揺らぎを推定。(2) 雲の加熱による地面圧力揺らぎの応答特性を調べる。応答関数（図 1 左）には幾つかの共鳴的なピークが見られ、観測される励起振幅がある波数でやや強いことを説明する。なお、加熱としては鉛直積分値を考えれば良い。(3) 雲の流体力学数値シミュレーションの助けを借りて、個々の雲による加熱の時間空

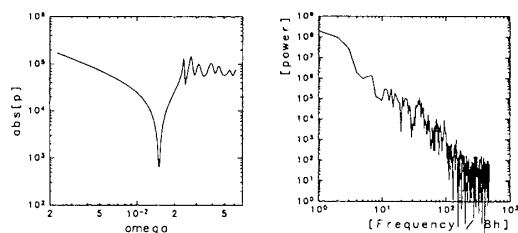


図 1: 左: 高度 4km に置かれた熱源 (強度 100 単位) に対する地表面気圧応答振幅の角周波数依存性。右: 数値モデル中の雲による全凝結量のパワースペクトル。周波数の単位は (1/8 時間)。

間スペクトルを推定する。その結果（図 1 右）、加熱揺らぎの PSD は高周波側では周波数の約 3 乗に反比例する。(4) 地球大気の熱収支の考察により地球上の雲の生成率をしらべる。

詳細は当日に示すが、推定される振幅は観測と矛盾しない。

3. 木星の常時自由振動

木星の場合については、小林と奥地（2000 年合同学会）などが議論して来たが、対流として単純な熱対流を想定しており、陽震学と同様、運動量強制に注目していた。これに対して湿潤対流では主に熱源が励起源となり、また、周波数特性としては、雲の生成消滅の時間である周期 1-10 時間程度で最も強いことになる。これが振幅などの特性にどう影響するか議論する予定である。

P21

クレータの形状変化のモデル化による地殻内部構造の推定

Effects of the crustal inner structures on the degradation of craters

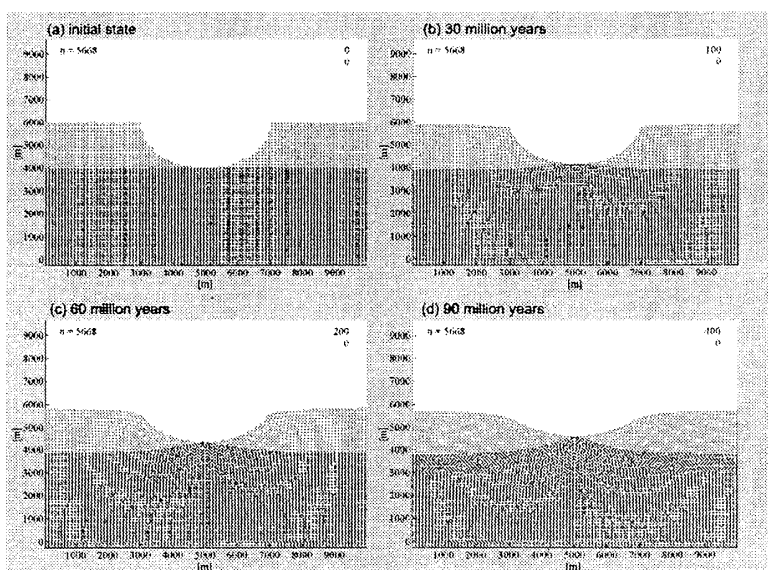
° 山岸保子 (JAMSTEC IFREE)、草薙誠徳 (東大・理)、栗田敬 (東大・地震研)

Yasuko Yamagishi (IFREE, JAMSTEC), Tomonori Kusanagi (Dept. of Earth & Plante. Sci., Univ. of Tokyo), Kei Kurita (ERI, Univ. of Tokyo)

The shape of an impact crater is greatly influenced by the surface environment of the astronomical body. And the later change of the shape depends on the inner structure. This means that a crater's shape and degree of degradation give some information on the interior of the target body. We modeled the degradation processes of craters and made numerical calculations to find how a crater formed on a crust with a certain structure changes its shape. We further tried to speculate the interiors of planets (or satellites) by comparing our results with images sent from spacecrafts.

隕石衝突の際にできるクレータの形状は、天体の表層環境に大きく左右され、特に後の形状変化は内部構造に強く依存する。よって探査衛星等から得られた画像を用いてクレータの形状、デグラデーションの度合いを調べることにより、内部構造に関してなんらかの示唆を得ることができる。一方で惑星や衛星には各々、固有の形状をしたクレータが存在し、さらにその形成過程はほとんど明らかになっていない。火星のランバートクレータや氷衛星の多重輪状クレータ、中央ドームクレータ、中央窪地状クレータ、およびパリムセスト等である。そこで、本研究ではクレータのデグラデーションの過程をモデル化し、数値実験を行うことによって、ある内部構造を持つ地殻に対して、クレータの形状がどのように変化するかを調べた。自由表面問題を扱う為に、数値計算手法として粒子法を採用した。天体固有のクレータが、この緩和過程のみによって造ることが可能か否かを判断する為、クレータ生成時に生じる熱的摂動の効果は無視した。さらに実際の画像データから得られるクレータの形状と計算結果を比較することにより、地球外天体の内部構造を推定した。

参考文献 越塚誠一 "数値流体力学" 培風館 (1997)



The compositional heterogeneity in the lower mantle: Effects of viscosity structure and of "missing heat source"

Takashi Nakagawa

Department of Earth and Planetary Sciences, University of Tokyo

Paul J. Tackley

*Department of Earth and Space Sciences, and Institute of Geophysics and Planetary Physics,
University of California, Los Angeles*

The heat loss from the surface due to mantle convection is assumed to be 44 TW. However, the heat production in the mantle is uncertain and quite different between BSE (Bulk Silicate Earth; 19.2 TW, whose composition is modified from chondritic) and the simple heat budget calculation of subtracting the contribution of heat generation in continental crust (6 TW), core-cooling (3-7 TW) and mantle cooling (10 TW). The heat production estimated from this heat budget (21-25 TW) is slightly larger than that from BSE. It is thought that the mantle is mostly composed of depleted, MORB source material, which requires an enriched, primitive reservoir, perhaps in the deep mantle. Here we consider the missing heat producing elements from BSE to exist in the lower mantle as primitive material, and the preferred distribution of compositional heterogeneity and seismological structure of the mantle are investigated using numerical models of mantle convection in a two dimensional cylindrical shell with moving heat sources and two profiles of depth dependent reference viscosity (simple layered and Double Humped). We have also investigated the effect of core-cooling and of self-consistently generated plate tectonics on the preferred distribution of compositional heterogeneity.

The preferred distribution of compositional heterogeneity is found to be a "blob" style rather than the "pile" style obtained from numerical modeling without moving heat sources. The blobs are distributed throughout in the lower mantle and inhibited from entering the upper mantle by an endothermic phase transition. The anomalies are found to be "hidden" by the cancellation of temperature and compositional contributions to seismic velocity when the coefficient relating composition to seismic velocity is between 0.65 and 0.9 of the coefficient relating (nondimensional) temperature to seismic velocity. This "hiding" of anomalies is more effective for the simple layered reference viscosity than the double humped viscosity structure. With core-cooling included, primitive blobs in the lower mantle are also obtained, but the scale of the blobs is larger than with no core-cooling. Here we will also show results including self-consistent generation of tectonic plates.

炭素循環システムの変動とスノーボール・アース現象 Carbon cycle and Snowball Earth phenomena

田近英一 (東大・理)

Eiichi Tajika (Univ. of Tokyo)

Earth may have been globally ice-covered several times during the Proterozoic. However, during the Phanerozoic, the Earth has never been globally ice-covered. This difference may be derived from difference in the solar constant between the two geologic ages. Analysis of a carbon cycle model coupled with a one-dimensional energy balance climate model suggests that influence of the solar constant in the carbon cycle system should be cancelled out owing to the difference in the soil biological activity between the two ages. Thus, the solar constant may not be responsible for the difference.

原生代(25億-約5.4億年前)における数度の大規模な氷河時代においては、赤道域にまで大陸氷床が発達していたらしい。これは、当時、地球全体が氷で覆われていた可能性(スノーボール・アース仮説)を示唆するものである。ところが、顕生代(約5.4億年前-現在)における数度の氷河時代には低緯度氷床の証拠は全く存在せず、一度もスノーボール・アース状態には陥っていない。この事実はきわめて興味深い。

原生代と顕生代において大きく異なる環境形成要因としては、太陽放射の強さの違いが考えられる。太陽放射は太陽の進化とともに時間的に増加しているとされており、標準モデルによれば、原生代における太陽放射の強さは現在の約94%-83%程度であると推定される。このことが、原生代においてはスノーボール・アース状態に陥りやすかった理由であるのかも知れない。そこで、本研究では、南北1次元エネルギーバランス気候モデルと炭素循環モデルを結合させて、この問題の検討を行った。

エネルギーバランス気候モデルによれば、大気中の二酸化炭素濃度がある臨界値(臨界条件)にまで低下すると、雪氷圏が中緯度にも張り出し、アイスアルベド・フィードバックが強く働くことによって、地球は全球凍結状態に陥る。大気中の二酸化炭素濃度の減少は、大気海洋系に対する正味二酸化炭素供給率の低下によってもたらされる。そこで、太陽放射を変えた場合に、臨界条件における正味二酸化炭素供給率が時代によってどのように異なるのかについて調べた。その結果、太陽放射が小さいと臨界条件における正味二酸化炭素供給率は大きくなり、より実現されやすい条件になることが分かった。ところが、原生代においては陸上植物が存在していなかったことにより、地表面の風化効率が現在と比べて著しく悪かったものと考えられている。このことを考慮すると、臨界条件における正味二酸化炭素供給率はむしろ現在よりも小さく、その実現はより厳しい条件になることが分かった。このことは、原生代において太陽放射が弱かったことによる影響は、当時陸上植物が存在しないために風化効率が低かったということによって、完全に打ち消されてしまっていた可能性を意味する。したがって、原生代と顕生代におけるスノーボール・アース現象の発生頻度の違いは、太陽放射の違いでは説明することができない。

火球衝撃波のエネルギー推定 ～人工衝撃波源を用いた衝撃波実験～

Estimation of the Fireball Energy

~An Experiment of Shock Wave using Artificial Shock Sources~

○石原吉明¹ 今井美央² 平松良浩² 古本宗充¹

1. 金沢大学大学院自然科学研究科, 2. 金沢大学理学部地球学科

○Yoshiaki ISHIHARA¹, Mio IMAI², Yoshihiro HIRAMATSU² and Muneyoshi FURUMOTO¹

1. Graduate School of Natural Science and Technology, Kanazawa University

2. Department of Earth Sciences, Faculty of Science, Kanazawa University

The shock waves generated by fireballs are often recorded on seismograms. The amplitudes of the shock waves depend on the energy release rate of fireballs. To estimate the source energy of shock waves, we observed ground motions generated by shock waves from fireworks. The fireball energy is estimated from the recorded ground motions with the correction of atmospheric pressure and the dependence of amplitude with travel distance. We estimate the energy release rates of the 1996 Tsukuba, '98 Miyako, and '99 Kobe meteorites by comparison with the firework shock waves.

火球・隕石の落下時には、メテオロイドが超音速で大気中を運動するため、衝撃波を励起することが知られている。この衝撃波が十分大きなエネルギーをもって励起され、減衰しきらず地表に到達すると、地表に配置された地震計にシグナルを残すことがある。これまで、数例の火球・隕石について、地震計に衝撃波シグナルが記録されている。我々はこれまで1998年の宮古火球、1999年の神戸隕石について、衝撃波到着時間を用いた落下経路の決定を行ってきた。地震計に記録された衝撃波シグナルからは、到着時間だけではなく、その振幅も読み取ることが出来る。衝撃波の振幅は、衝撃波として放出されるエネルギーにより決定されと考えられるが、実際にどの程度のエネルギーが衝撃波として放出されているのかは知られていない。そこで、本研究では、エネルギーが薬量として既知である花火を人工衝撃波源として用いた実験を行い、花火により励起された衝撃波による地動と、火球衝撃波により励起された地動を比較し、火球衝撃波のエネルギーを推定した。また、第一義的には、衝撃波のエネルギーは、メテオロイドの運動速度、大きさによって決定されと考えられる。そこで、実際に記録された火球衝撃波の振幅に、衝撃波が励起された場所の大気圧の影響、伝播距離による減衰、地表に対する入射角について補正を加えた結果、落下中にメテオロイドの大きさの変化を示すと考えられる振幅の変化を見いだしたので合わせて報告する。

火星のコア形成とテクトニクス Core formation and tectonics of Mars

○ 千秋博紀（東大・理），松井孝典（東大・新領域）

○ H. Senshu¹ and T. Matsui^{1,2}

1: Graduate School of Science, Univ. of Tokyo

2: Graduate School of Frontier Science, Univ. of Tokyo

According to the early thermal history model of Mars, Mars has a three-layered-structure at the end of accretion: the surface silicate layer, the central undifferentiated proto core, and the intermediate metallic layer. Because this structure is gravitationally unstable, the formation of metallic core due to Rayleigh-Taylor type gravitational instability will take place. During the metallic core formation the interior of the proto Mars is heated by released gravitational energy. We simulate the core formation of Mars numerically. Our model shows that the distribution of the temperature increment due to core formation has dichotomy. This may explain the crustal dichotomy of present Mars.

現在，火星の中心に金属コアが存在しているであろう事は，多くの研究によって示唆されている．ところが集積期の初期熱進化モデルによると，火星サイズの天体では集積中に金属コアを形成する事はできない．表層付近ではシリケイトと金属の分離が進むものの，分離した金属は集積中には惑星中心に到達する事ができず，結果として集積完了時の火星はシリケイト層と未分化コアに金属層が挟まれた，三層構造を形成する．この構造は重力的に不安定であるため，やがて金属層と未分化コアとの入れ替わりが生じ，金属コアが形成されると考えられる．コアの形成に伴って解放される重力エネルギーは熱となり火星内部を温めるため，火星の内部活動や，表面のテクトニクスに大きな影響を与えたはずである．

我々は，コア形成が火星の熱進化やテクトニクスにあたえる影響を調べるための数値モデルを構築した．このモデルでは，集積完了時の火星の3層を模擬した3種の非圧縮流体の，自己重力系での運動をシミュレートする．この際，粘性率の温度依存性や，粘性拡散による熱の発生を考慮する．

その結果，金属の沈降のモードは長波長成分が卓越すること，火星内部は粘性拡散による発熱で強く加熱されること，その加熱量の分布には強い非対称性が見られることが示された．この結果は，現在火星の地殻に見られる南北非対称性をうまく説明できる可能性がある．

P26

マグマ起源による火星の凍土融解と浸透流過程 — 洪水イベントへの implication —

Magmatic Origin for Melting of Permafrost and Permeable Flow on Mars — Implication for Flood Event Formation —

○小川佳子(東大・理)、山岸保子(JAMSTEC/IFREE)、栗田敬(東大・地震研)
Yoshiko Ogawa (Dept. of Earth and Planet. Sci., Univ. of Tokyo), Yasuko Yamagishi (IFREE,
JAMSTEC), Kei Kurita (ERI. Univ. of Tokyo)

The formation of outflow channels observed on Mars requires a huge amount of water flux. As for the origin of such huge water mass, melting of permafrost layer by dyke intrusion seems most probable. We simulate the process considering convection in porous media with phase change. The result is that for the suitable Rayleigh number on Mars ($>3 \times 10^2$) and presumed environment, focussing of heat transfer by convection can generate melt pool in a short time scale. We discuss the water release process in two cases; one is release from this water pool at once and second case considers gradual release. We will propose the formation process of chasma and chaotic terrain relating to the water release process.

火星のアウトフローチャンネル(洪水地形)の形成には巨大な流量が必要であるとされる。しかしその過程はほとんど明らかにされていない。水の供給過程としてダイクの貫入による凍土層の融解を考える。その凍土層融解過程を想定した相変化を伴う多孔質(熱)対流の数値計算を行った。結果、火星で想定されるレイリー数($>3 \times 10^2$)においては、伝導のみの場合に比べて、高い熱輸送効率が非常に短い緩和時間で実現されることが定量的にわかった。さらに、加熱源の非一様性、凍土層の浸透率の鉛直分布を考慮すると、熱輸送の集中が起き、局所的に効率良く大量の水が生成される様子が示された。

次に、融解で生じた水の解放過程について、ためて一気に流す場合とためずに徐々に流す場合において、実現する流量から議論を行う。観測されるアウトフローチャンネルの形状と照らし合わせ、制約される浸透率等についても言及する。また、カズマ(陥没地形)、カオス地形の形成に関して、凍土層融解過程と結び付けた考察が可能であることを示し、その形成過程を提案する。

ガンマ線を照射した氷の熱ルミネッセンスと光ルミネッセンス

Thermoluminescence and Optically Stimulated Luminescence of Gamma-rays Irradiated Ices

○矢田 猛士, 法澤 公寛, 平井 誠, 山中 千博, 池谷 元伺
大阪大学大学院理学研究科宇宙地球科学専攻

○Takeshi Yada, Kimihiro Norizawa, Makoto Hirai, Chihiro Yamanaka and Motoji Ikeya
Department of Earth and Space Science, Graduate School of Science, Osaka University

Icy bodies like Europa have surfaces of solid H_2O including impurities such as ammonia, methane and carbon monoxide. New molecular species might be created through reactions of free radicals and metastable molecules produced by solar winds and cosmic rays in solid H_2O . The reactions might be affected by thermally and optically stimulation. We made an apparatus for thermoluminescence (TL) and optically stimulated luminescence (OSL) to understand chemical evolution of molecules in icy bodies. Red LED's were used as stimulating source of OSL. TL measurements from 90 K to 260 K were carried out. Both TL and OSL were detected from solidified heavy water, distilled water and ammonia water irradiated by gamma-rays.

氷天体での分子の化学進化を考えるには、放射線により誘起されたラジカルや、準安定化学種の熱及び光刺激による変化を調べる必要がある。本研究では液体窒素温度から測定できる熱ルミネッセンス (Thermoluminescence, TL) および光ルミネッセンス (Optically stimulated luminescence, OSL) 測定装置を製作し、77 K で 15 kGy のガンマ線を照射した蒸留水、重水、アンモニア水の氷について測定を行った。Fig.1 に 90K において 28% のアンモニア水から得られた OSL を示す。発光は 600 秒以上続いた。

地球惑星科学関連学会 2000 年合同大会では、初めてアンモニア水氷の OSL の報告を行った。今回は OSL のアンモニア濃度依存性、重水の氷から得られた OSL などその後の研究の成果について発表を行う。

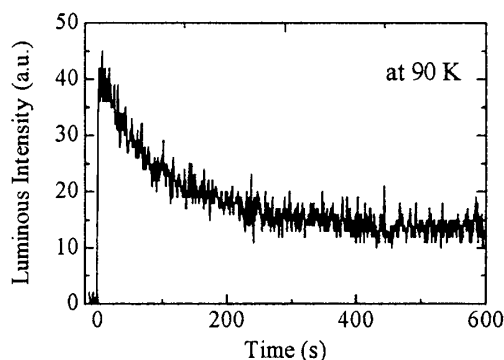


Fig.1: OSL from 28% ammonia water ice

MUSES-C 搭載用蛍光 X 線分光計の軌道上較正シミュレーション
Simulation of in-flight calibration for XRS onboard MUSES-C

° 荒井 武彦 [1], 山本 幸生 [1], 岡田 達明 [1], 加藤 學 [1]

° T. ARAI [1], Y. YAMAMOTO [1], T. OKADA [1], M. KATO [1]

[1]宇宙科学研究所, [1] ISAS

We are developing an X-Ray fluorescence Spectrometer (XRS) onboard the asteroid probe MUSES-C. XRS contains 5 CCD chips. XRS will not carry in-flight calibration sources. Therefore we will observe cosmic X-ray objects for the calibration with XRS during the cruise. We performed numerical simulation of observing some known X-ray objects. Those simulations were run with exposure time about 3 hours, based on the best-fit models to the ASCA SIS spectra.

2002 年打ち上げ予定の小惑星探査機 MUSES-C は、惑星探査機として初めて検出部に CCD を用いた蛍光 X 線分光計(XRS)を搭載する。XRS は常時、太陽 X 線が照射される標準試料をモニタする CCD1 枚と、小惑星ランデブー時に蛍光 X 線を観測する CCD4 枚からなる。前者 1 枚は既知の標準試料をモニタするため、軌道上でエネルギー較正ができる。しかし、後者 4 枚は較正用の試料を搭載しないため、軌道上で既知の X 線天体を観測して較正を行う必要がある。

MUSES-C は黄道面付近を航行する予定であり、XRS の観測方向は探査機の指向方向によって決まる。また、イオンエンジン使用中は観測を行えないため、連続観測時間は 3 時間に限られる。

本研究では、X 線天文衛星 ASCA SIS の観測データを用いて、MUSES-C の軌道航行中（トランスファ/リターン・フェーズ）における CCD の較正シミュレーションを行った。

まず、実際に観測予定の銀河系外の X 線源、及び超新星残骸のデータを用いた。ここでは、想定される XRS のエネルギースケール、検出効率、及びエネルギー分解能を用い、各天体の観測 X 線スペクトルに対する絶対強度と輝線位置を統計的に評価した。

また、XRS は探査機の指向方向に依らず、視野角 $3.5^\circ \times 3.5^\circ$ で宇宙背景 X 線(CXB)が観測できる。同じ様に、掃天サーベイのデータを用い、X 線の感度特性、ノイズ特性、及びバックグラウンドについて有意なデータを取得するために、必要な観測時間を評価した。

XRS CCD への各エネルギーに対する入射光子数 P_{XRS} [count/sec/eV]は、

$$P_{XRS} = \frac{C_{SIS}}{Q_{SIS}} \times \frac{S_{XRS}}{S_{SIS}} \times \frac{t_{XRS}}{t_{SIS}}$$

で見積もった。ここで、 C_{SIS} : SIS で検出した各エネルギーに対する光子数、 Q_{SIS} : SIS の検出効率、 S_{XRS} : XRS CCD の有効受光面積、 S_{SIS} : SIS の有効受光面積、 t_{XRS} : XRS の観測時間、 t_{SIS} : SIS の観測時間とした。

惑星表面物質探査用 XRF/XRD の開発

Development of XRF/XRD instrument for exploration of planetary surface materials

○伊藤知美 (東大・宇宙研)、白井 慶 (宇宙研)、岡田達明 (宇宙研)、加藤 学 (宇宙研)
 ○Satomi Ito (University of Tokyo・ISAS), Kei Shirai, Tatsuaki Okada, Manabu Kato (ISAS)

We are developing an XRF/XRD instrument for future planetary landing probes. Using this CCD-based device, major elemental and mineral composition is determined through x-ray fluorescence and diffraction method. We have designed and fabricated a miniaturized laboratory model with a two-dimensional CCD. We considered a geometric configuration of the CCD and samples to improve precision of measurement. We investigated a method of onboard data analysis to decrease an amount of telemetry data. We report results of measurements and analyses for XRF and XRD of major minerals.

我々は将来の月・惑星着陸探査機に搭載し固体惑星の表面物質を調査する小型化した X 線蛍光・回折分析装置 XRF/XRD の基礎開発を行っている。この XRF/XRD を用いると蛍光 X 線と X 線回折を 1 枚の CCD で測定でき、主要元素と鉱物の組成が同時に決定できる。今回は特に XRD に着目して、2 次元 CCD を用いた小型化した室内用の実験装置を設計・製作した。

図 1 に製作した実験装置内部の概念図を示す。この図は円柱型の真空チャンバーの装置内部を上から見たものである。照射 X 線をコリメーターで絞リサンプルに照射し、その回折線をコールドフィンガーによって冷却した CCD で測定する。測定精度の向上を目標として CCD や試料の配置、コリメーターの径などを考慮した。今回の実験ではサンプルと CCD の距離は 10 mm、CCD の中心の位置は X 線のサンプル照射点から照射方向に 16.3 mm、コリメーターの径は 0.3 mm とした。この配置で Al_2O_3 の X 線回折を測定したときに CCD に記録される回折像のシミュレーション結果を図 2 に示す。強度が大きい回折線に添えられた数値の括弧内はミラー指数、I は強度、 θ は回折角である。

測定データを解析するにあたって、さらに小型化した装置を実際に探査機に搭載したときに、地上に送信するデータ量が縮小できるような解析方法を考案した。CCD で測定したデータのうちあるエネルギー以上のものだけを取り出し、圧縮して地上に送信してから X 線回折の方は最小二乗法でフィッティングするという方法である。

これらの点を踏まえて、製作した実験装置を用いて主要な鉱物試料の X 線回折と蛍光 X 線を測定し解析した結果を報告する。

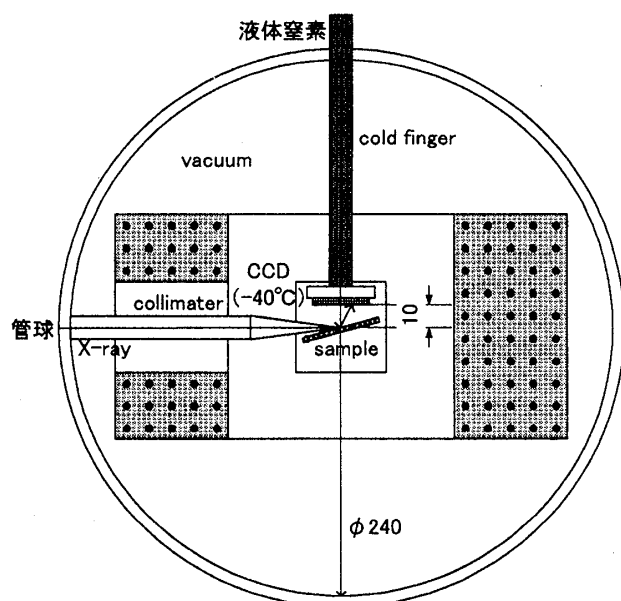


図 1 製作した XRF/XRD 装置内部の概念図

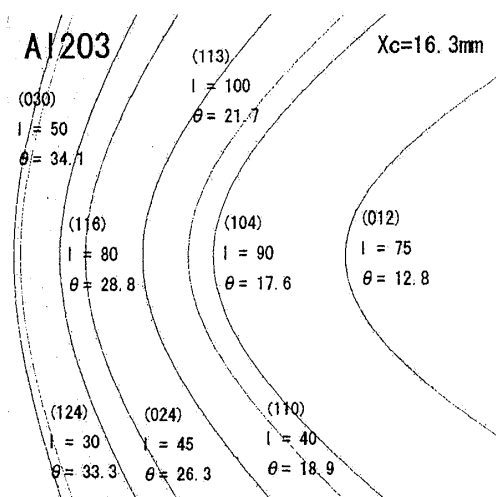


図 2 Al_2O_3 の X 線回折を測定したときに CCD に記録される回折像のシミュレーション結果

SELENE リレー衛星分離機構の特性と月重力場観測への影響

Properties of the Release Mechanism of SELENE Relay Satellite and its Influences
for the Lunar Gravity Observation

○岩田隆浩、佐々木健 (NASDA)、河野裕介、花田英夫、河野宣之 (天文台水沢)、
並木則行 (九州大学)

T. Iwata, T. Sasaki (NASDA), Y. Kono, H. Hanada, N. Kawano (NAO), and N. Namiki (Kyushu U.)

The Relay Satellite (Rstar) and the VRAD Satellite (Vstar) of SELENE will be used for the four-way Doppler measurements and the differential VLBI observation which derive the highly accurate global mapping of the lunar gravity. We have obtained the property of the Release Mechanism of Rstar and Vstar by the ground test using breadboard model. Our results suggest that gravity data can be calibrated by the estimated values of the spin rate and the attitude of Rstar.

月の重力場分布を明らかにすることは、月の地形やコアなどの内部構造の物理量の推定に重要である。SELENE (月周回衛星) では、主衛星及び2機の小型衛星であるリレー衛星 (Rstar) と VRAD 衛星 (Vstar) を用いて、4 ウェイドプラ計測及び相対 VLBI 観測による月重力場観測を行う (Iwata *et al.* 2001)。これにより、LP165P (Konopliv *et al.* 2001) を上回るグローバルかつ高精度な重力場データが期待される。

Rstar 及び Vstar は、新規開発される伸展リング方式の軽量型分離機構により、各々高度 2,400-100km と高度 800-100km の月周回楕円軌道に投入される。これらの小型衛星では、長期間の軌道アークの決定から重力場を求めること、及び小型・軽量を目標とすることから、能動的な軌道姿勢制御を行わずスピン安定のみとしている。

観測されるドプラ及び測距データと相対 VLBI データは、まず衛星軌道予報値に基づく粗い補正が行われ、次いで Rstar/Vstar の姿勢・スピン角速度・ニューテーション、電離層、中性大気、及び衛星・地上局内の遅延量が補正される。Rstar/Vstar の姿勢の長期変動要因には太陽輻射圧と重力傾斜によるトルクがあり、短期変動要因には分離時チップオフ、及び衛星機軸と慣性主軸に起因するニューテーションがある。特に分離時チップオフ起源のニューテーションの値が大きく、ミッション期間を通じて減衰させることができない。チップオフレートは分離機構の動作性能に大きく依存するため、衛星模擬構体、重力キャンセル用ショックコード、分離機構試作試験用モデル (BBM) を用いた地上試験により、分離特性を計測した。チップオフレートとスピン角速度の比は 0.1 以下であり、この時の分離時チップオフ起源のニューテーションの振れ全角は約 11 度となり、観測機器の通信及び電力に基づく姿勢要求を満足する。衛星のニューテーションはアンテナの運動としてドプラデータに加算され、ドプラ観測精度を大きく上回ることから観測値から推定して除去できる。また、スピン角速度はドプラデータの周期成分として現れることから、高速サンプリングしたドプラデータをローパスフィルタを通すことにより推定・除去する。

参考文献

- Iwata, T., Takahashi, M., Namiki, N., Hanada, H., Kawano, N., Heki, K., Matsumoto, K., and Takano, T., *J. Geod. Soc. Japan*, **47**, 558 (2001).
Konopliv, A. S., Asmar, S. W., Carranza, E., Sjogren, W. L., and. Yuan, D. N., *Icarus*, **150**, 1 (2001).

SELENE 搭載地形カメラの性能達成可能性について

Performance of Terrain Camera on SELENE

○春山 純一 (Haruyama. Junichi@NASDA. go. jp)、大嶽 久志、大竹 真紀子、杉原 孝充、出村 裕英 (宇宙開発事業団 月利用研究センター)、平田 成 (科学技術振興事業団 科学技術特別研究員/宇宙開発事業団 月利用研究センター)、LISM チーム

We will install a high-resolution camera called the Terrain Camera (TC) on SELENE as a subsystem of the Lunar Imager / SpectroMeter (LISM). For this purpose, we developed a prototype model (PM) of a TC optical head and tested it for vibration and optical performance. We concluded that there were no fatal problems in the PM. This year, we entered the TC flight model (FM) design and manufacturing phase and are collecting calibration data for it. In this paper, we will report the final performance of TC based on the FM test results.

概要 2005年度打上予定の月周回探査機 SELENE には、月地形データを取得するための高解像度のパナクロマチックの地形カメラ (TC, terrain camera) が搭載される。地形カメラは、衛星進行方向に対して $\pm 15^\circ$ 傾いた二つの光学系から成り、立体視可能なステレオペアを取得する。それぞれの光学系の解像度は、衛星高度 100 km から 10 m/画素であり、ステレオペアからは理想的には 20 m 程度という高い高度分解能のデジタル高度モデルの作成が期待できる。ノミナルで 1 年のミッション期間を通じて、水平方向と高さ方向に高解像度データが月全域について得られることになる。地形カメラのデータによって、クレーターの崩壊度を調べ年代を推定したり、溶岩流の広がりを決めたり、或いは溶岩チューブの端の開口部を探査発見することが期待される。

これまで地形カメラについて、我々はプロトタイプモデル (PM) を製作し、耐環境性や光学性能達成評価試験を行ってきた。その結果、PM 光学系単体では、焦点距離は、72.54mm であり、仕様の 72.5mm に対して +0.1% となっている。F 値は、3.98 となり仕様の 4 に対して -0.5% であった。MTF については、光学系単体では、中心画角 (半角 5°) について、で 0.41 (ナイキスト周波数) を仕様としているが、PM ではこの仕様を満足できる焦点深度を $35 \mu\text{m}$ とすることができ、実際検知器回路系を組み合わせると 0.2 以上の MTF 達成が中心画角 (半角 5°) で達成できることが確かめられた。ただし、それより外の $\pm 9.65^\circ$ では MTF は 0.1 程度までは下がる。周辺光量については、光学系単体で入射角 $+9.65^\circ$ で 87.9%、 -9.65° で 88.1% 等の性能達成をみた。

PM では致命的な欠陥は生じず、PM 実績を踏まえ、現在、FM 設計・製造段階に入っている。本公演では、これまでの試験結果などを踏まえ、地形カメラがどのような性能を達成できる見通しがついたかを詳細に報告する予定である。

月周回衛星セレーネの月面マッピングデータベース

○出村裕英・平田成・春山純一(宇宙開発事業団 月利用研究センター)、
加藤学(宇宙科学研究所)・SELENE 地上データ処理ワーキンググループ

SELENE Moon Mapping Database for the integration science

○H. Demura, N. Hirata, J. Haruyama (Lunar Mission Res. Center, NASDA),
M. Kato (ISAS), and the SELENE data processing working group

The SELENE (SELEnological and ENgineering Explorer) mission will bring data sets of Moon mapping. One of the advantages of SELENE data is the global coverage with systematic navigation parameters. The data needs the GIS (Geographical Information system) database functions in order to solve lunar standing issues. We will introduce the functions, which has been discussed by the SELENE data processing working group.

月周回衛星 SELENE 搭載の複数の機器によって、表面元素分布、表面鉱物分布、反射能、数値標高地図、磁気異常図、重力場分布、比誘電率地下構造といった様々な表層マッピングデータが月全球にわたって得られる。こうしたデータを相互に参照・分析・総合解釈して研究用の各種主題図や地質図を生み出すには、位置を鍵とした自由な横断検索が行えることが前提である。これについて、SELENE ミッションにおけるデータベースの具体的な基盤がどのようなものであるべきか、地上データ処理ワーキンググループにおいて検討を続けてきた。たとえば、地理情報システムに準拠した登録・検索・ブラウズ・投影法変換・切出配布等の機能などを取り込んだデータベースシステムが議論されている。本ポスターは、その検討結果を報告する。

WGで挙げられている主な月マッピングデータ内容(但し、チャレンジングな項目も含む)

★月表層(中解像度)マッピング 10km/pixel - 100m/pixel

(γ 線/X線/可視近赤外分光器・荷電粒子線検知器・磁力計・リレー衛星・レーダー)

表面元素分布: Mg, Al, Si, Fe, Na, Ca, Ti, Th, K, O, U, H, Rn, Po

表面鉱物分布: オリビン、輝石、斜長石、オリビンの鉄・マグネシウム比

表面スペクトル: 固溶体成分、宇宙風化度など

レーダーサウンディング: レゴリス層厚測定・断層把握の為の地中比誘電率鉛直分布
磁気異常図

月ジオイド(Selenoid)および全球形状(2km 刻み)の球面調和関数係数

★月表面(高解像度)マッピング 50-10m/pixel

(月撮像器 LISM の地形カメラ・分光多帯カメラ)

地質判読用パナクロマティック低太陽高度画像(朝・夕)

比演算解析用分光多帯高太陽高度画像(Clementine と同じ可視—近赤9帯)

→鉄チタン比等 Clementine プロダクトと同じ特性で一桁高解像度の図も生成する。

10m ステップの相対高度図

★総合成果(地形図・地質図)

(SELENE 総合データ解釈、複合科学)

SELENE 搭載マルチバンドイメージャの補正と校正

Correction and calibration of the Multiband Imager of SELENE mission

○大竹真紀子、春山純一、平田成、杉原孝充、出村裕英（宇宙開発事業団、月利用研究センター）

Multiband Imager (MI) is an instrument being developed for the SELENE project. MI is a high-resolution multiband imaging camera consisting of two visible and near infrared sensors. MI will obtain the global mineral distribution of the lunar surface in nine bands to understand the origin and evolution of the Moon. In this presentation we are going to introduce the correction and calibration procedures of the MI with the results of prototype tests, and the ability and scientific objectives of the MI instrument.

マルチバンドイメージャ(Multiband Imager; MI)は月周回衛星 SELENE に搭載され、高度約 100 km の軌道から可視・近赤外波長域の合計 9 バンドにおける月表層分光画像を取得することによって太陽光入射に対する月面の反射特性を観測する機器である。可視近赤外の波長域では月面反射光には各鉱物に起因した特徴的な吸収帯が存在する。これら吸収帯を識別する目的で設定した複数波長における分光画像から全球にわたり月表層の鉱物分布を知ることが MI による観測の目的である。MI は可視用・近赤外用の 2 本の望遠鏡とそれぞれの検出器からなる集光光学系と各種電気回路より構成され、これまでに同様の月面分光画像を取得したクレメンタインによる観測と比較して 1 桁高い月面空間分解能、可視域約 20m、近赤外域約 60m を達成している。

今回の発表では、これまで行ってきた検出器試験等の結果や検討の結果得られた補正、校正のためのアルゴリズム、今後行う予定の光学試験、地形効果の除去方法等について紹介し、MI 観測機器の性能と観測の意義について議論する。

これまでに MI のハードウェアは試作モデルの設計・製作・各種試験を経て衛星搭載モデルの設計までがほぼ終了している。我々のグループでは、それら各種試験結果や衛星搭載モデルの設計結果をもとに MI 画像データ取得後の解析に必要な補正および校正手法の検討を行ってきた。検出器試験の結果からは、可視用検出器では読み出し方法に起因する暗電流補正が必要であり、また近赤外用検出器については暗電流の温度依存性やリニアリティー補正、放射線による影響が画素毎に異なることから各種補正式を画素毎に求めることが必要であることが解っており、補正、校正のアルゴリズムはそれら結果を反映して作成している。また MI 独自のデータに基づく月面地形モデルを用いて、地形による反射特性変化の効果を取り除く事を検討しており、これら高い空間分解能と地形効果の除去、近赤外域の観測によって中央丘やクレータリムなど、重要ではあるが詳細な観察が必要でかつ地形効果も大きい地域において新たな情報が得られ、特に大きな成果が得られると期待できる。

惑星探査機搭載に適した飛行時間型質量分析計「MULTUM II」の開発

Development of a Multi-turn Time-of-Flight Mass Spectrometer

'MULTUM II' for Planetary Exploration

○豊田岐聡¹, 奥村大輔¹, 石原盛男¹, 交久瀬五雄¹, 国広文夫², 清水昌男²¹大阪大学大学院理学研究科物理学専攻, ²日本電子(株)

We have already constructed a multi-turn TOF mass spectrometer 'MULTUM Linear plus' which comprises four cylindrical electric sectors and 28 electric quadrupole lenses. It has been already demonstrated that the mass resolution 350000 could be achieved after 500 cycles. However, the development of more simple and compact system is necessary to carry on a spacecraft. The new multi-turn TOF mass spectrometer 'MULTUM II' consisting of only four toroidal electric sectors was constructed. The design parameters and initial experimental results of this new TOF mass spectrometer will be presented.

飛行時間型質量分析計の分解能は、イオンの飛行距離に比例する。したがって、小型・軽量で高分解能を得るには、同一軌道を多数回周回させるマルチターン型が唯一の可能性を有する。我々は、マルチターン飛行時間型質量分析計「MULTUM Linear plus」を設計・製作し^[1], 分解能 35 万が得られることを示した^[2]。しかし、惑星探査機に搭載するためには、さらに小型・軽量化する必要がある。この問題を解決するために、4個のトロイダル電場のみを用いた多重周回型イオン光学系を考案し、このイオン光学系をもとに新しいマルチターン飛行時間型質量分析計「MULTUM II」を製作した(図1)。「MULTUM II」においても、周回数に応じて分解能が向上することを確認した(図2)。装置の概要と得られた実験結果について詳しく議論する。

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

[2] 豊田岐聡, 奥村大輔, 石原盛男, 交久瀬五雄, 惑星科学会 2000 年秋季講演会予稿集, (2000), 79.

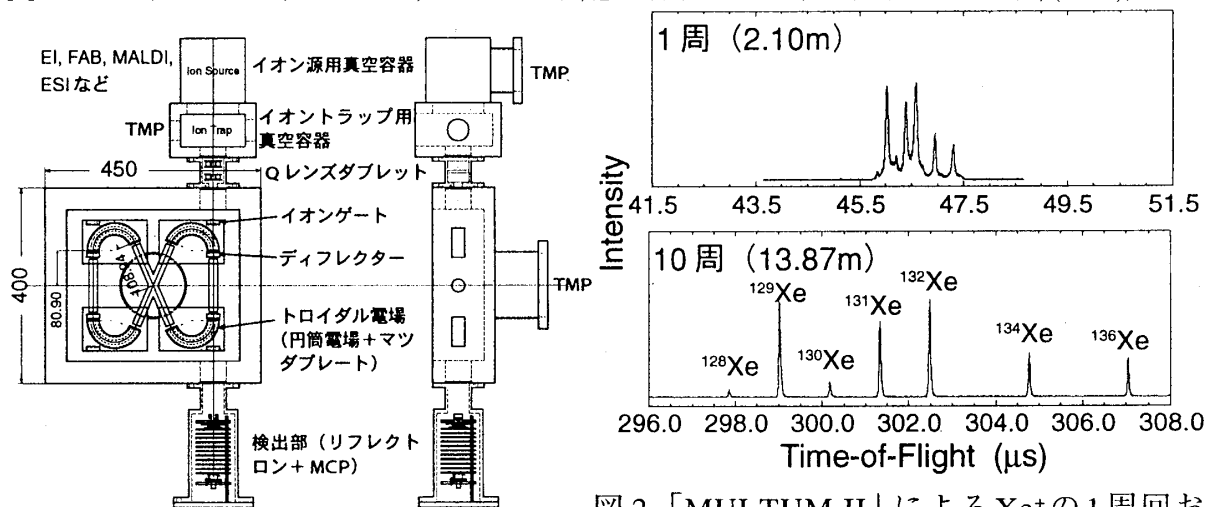


図1 「MULTUM II」の概略図

図2 「MULTUM II」によるXe⁺の1周回および10周回後のTOFスペクトル。

黄道光観測用広視野カメラ WIZARD の開発と性能評価

Development of WIZARD (Wide-field Imager of Zodiacal light with ARray Detector)

○石黒正晃 (宇宙研)、上野宗孝 (東大総文)、藤野正則 (神戸大理)、向井正 (神戸大自然)、臼井文彦 (東大総文)、中村良介 (NASDA/EORC)、Kwon, Suk Minn(Kangwon University)、Lee, Changyon(Seoul National University)、関口和寛、宮下曉彦、中桐正夫 (国立天文台ハワイ観測所)

○ M.Ishiguro(ISAS), M.Ueno(Univ. of Tokyo), M.Fujino, T.Mukai(Kobe Univ.), F.Usui(Univ. of Tokyo), R.Nakamura(NASDA), S.M.Kwon(Kangwon Univ.), C.Lee(SNU), K.Sekiguchi, A.Miyasita and M.Nakagiri(NAOJ)

Zodiacal light is a scattered sunlight by interplanetary dust. We have developed a new instruments, WIZARD(Wide-field Imager of Zodiacal light with ARray Detector), for the observations of not only widespread faint zodiacal light, but also NO₂ airglow. We have obtained the first images by WIZARD at Mauna Kea (Hawaii, 4200m) on March, 2001, under the collaboration of SUBARU. In this work, we report the detail specification of WIZARD.

黄道光とは惑星間塵による太陽散乱光である。黄道光を観測することによって、惑星間塵の起源や進化についての情報が得られる。同時に、地上観測データの解析から、NO₂ 起源の夜光の明るさも知ることができる。我々の研究グループでは、淡く全天に広がった黄道光の測光観測する為に、黄道光観測用広視野カメラ WIZARD の開発を行った。1999年5月より WIZARD の開発に取り組み、2001年2月に実験室ファーストライトに成功した。2001年2月と3月に国立天文台ハワイ観測所の御協力により、マウナケア山頂にて黄道光の観測を実施した。本研究では、観測データと実験室での測定を元に、WIZARD の性能評価について報告する。

観測波長	480nm
画素サイズ	13.5 μ m (4096x2048 画素)
撮像素子	EEV 42-80
口径	11.6mm
焦点距離	32.5mm
角度分解能	1.35 (arcmin./pixel)
視野	80x46(degree)
F 値	2.8

WIZARD の基本仕様



WIZARD (左) と、WIZARDで観測した夕方の黄道光 (右)

講演題目：連続した衛星雲画像から得られる雲移動ベクトルの誤差評価法について

英文講演題目：Error Estimation in deriving the Atmospheric Motion Vectors from cloud images.

著者名、所属：○村地 哲徳(東大院理)、今村 剛(宇宙研)、
樋口 知之(統計数理研究所)、中村 正人(東大院理)

英文要旨：The method of Atmospheric Motion Vectors (AMVs) derived from cloud features of successive satellite images is already established. The Error of AMVs is defined as a difference between AMVs and contemporaneously observed wind vectors in the case of Earth's AMVs. In the case of other Planets, whose wind vectors couldn't be contemporaneously observed, the Error of AMVs is a deviation of neighboring AMVs in the past researches, but this error includes a disturbance. A disturbance is an important signal. It must not be included in the error. In this presentation we suggest the method of error estimate derived from correlation coefficient, which eliminates a disturbance.

概要：2007年打ち上げ予定の金星探査計画(Planet-C)では、スーパーローテーションと呼ばれる西向き的高速流(高度70kmで約100m/s)の生成・維持メカニズムを解明することが大きな目標の一つである。地表から雲頂まで角運動量を運び上げるメカニズムは謎に包まれており、これを解明するには雲頂より下の大気の情報を得る必要がある。そのため金星探査計画では、金星の雲による太陽の散乱光(紫外:290、380nm)や、近赤外ウィンドウ(波長:1、1.7、2.3 μ m、雲で散乱されにくい下層大気や地面からの熱放射によって、相対的に厚い雲が暗い影として可視化される)から漏れる光を連続して撮像し、時刻が異なる2枚の画像を使って雲の追跡を行い、雲移動ベクトルを求める。異なる波長の画像からは、異なる高度の雲移動ベクトルが求まることが過去の観測から示されているので、多波長撮像を行うことで雲層内部の風速の立体構造を知ることができ、スーパーローテーションの解明に重要な情報が得られる。

また、スーパーローテーションの解明には雲移動ベクトルを精度良く大量に求めることが必要となる。過去の金星探査では観測時の空間分解能やデータ不足により、スーパーローテーションの解明には至らなかった。Planet-Cでは、過去の観測より高い空間分解能で、約2年間金星の雲を撮像することにより、このような問題点をクリアしている。

これで観測手法の問題点は改善したが、過去の研究で用いられた解析手法にも問題点があることが分かった。それは、雲移動ベクトルの誤差評価方法にあった。従来の雲移動ベクトルの誤差評価方法は以下のようなものである。連続した衛星雲画像から雲移動ベクトルを求める方法は、地球観測では既に確立されており、地球では、誤差を同時刻のラジオゾンデの観測値との差として評価している。しかし、同時刻にラジオゾンデやプローブによる観測が困難な金星などの惑星では、雲移動ベクトルの誤差はこの方法で評価ができない。過去の研究では近傍にあるベクトルの分散を誤差としていたため、近傍領域に存在する擾乱が誤差に含まれていた。ここで擾乱とは、雲移動ベクトルの地域変化のことであり、重要なシグナルである。そして誤差とは、解像度の制限や雲の形の変化などによって引き起こされる、雲移動ベクトルと実際の雲の移動量との違いである。従って、誤差と擾乱は全く別物である。雲惑星に見られる大気大循環のメカニズムは未だに解明されていない。これを解く鍵は擾乱にあると考えられているが、重要なシグナルである擾乱が誤差に含まれてしまうことは大変問題がある。そこで、我々はこの問題を改善する方法を考案した。

今発表では、誤差から擾乱を排除する誤差評価方法を提案する。また、カメラの性能を金星の雲に最適化するために、金星の雲の特長を押さえておく必要がある。従って、雲の形と誤差の大きさについても関連性を調査し報告する。

シンポジウム

惑星科学の魅力を探る ー理科教育との共同をいかに実現するかー

- 1 日本の理科教育の現状について
ー国際比較の視点からー
国立教育政策研究所 猿田祐嗣総括研究官
- 2 大学と連携した理数科の実践報告
岡山県立岡山一宮高校 中山広文教諭
- 3 “Hands On Universe(HOU)”を取り入れた
天文学の授業実践
岡山県立鴨方高校 大島修教諭
- 4 太陽系の作り方
国立天文台 小久保英一郎氏
- 5 総合討論

1 0 月 8 日 (月)

セッション 5

501-506

セッション 6

601-606

セッション 7

701-709

原始惑星系円盤におけるダストの化学組成

Chemical composition of dust grains in the protoplanetary disk

○森 秀治、相川 祐理 (神戸大・自然)

○Hideharu Mori and Yuri Aikawa

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

In planet formation, the formation of planetesimals from dust is an important process. What planetesimals, which form planets, are made of is of special interest. Furthermore, since planetesimals are formed through the collisional growth of dust grains, the chemical composition of dust grains is expected to play an important role in that of planetesimals. We have constructed the chemical reaction networks in gas-gas and gas-dust phases in the protoplanetary disk, and will show the chemical composition of dust grains by using numerical simulation.

惑星形成過程において、ダストから微惑星が形成される過程は重要である。特に、惑星の原材料である微惑星が、どのような物質からできていたかは興味深い。一般に、微惑星はダスト同士の衝突付着によって形成される。このため、相互衝突を繰り返すダストの化学組成が、微惑星の組成に大きく寄与するものと予想される。本研究では、原始惑星系円盤内の温度分布とダストのサイズ分布を仮定して、ダストがどのような化学物質で構成されるかを、gas-gas と gas-grain の化学反応ネットワークを構築し、その数値シミュレーションを行なうことで明らかにしていく。下表は、grain 表面反応を考慮した場合と grain 表面反応を考慮しなかった場合のシミュレーション結果である。Grain 表面反応がダスト表面におけるマントル層の化学組成に大きな影響を与えていることがわかる。

Species	Abundances [cm^{-3}] (grain 表面反応あり)	Abundances [cm^{-3}] (grain 表面反応なし)
CO	3. 0e-08	1. 3e+06
CO ₂	1. 3e+06	6. 0e+00
C ₃	9. 2e-09	3. 4e+04
C ₃ H ₄	7. 7e+03	2. 5e-02
CH ₄	3. 7e+02	5. 1e+02
CH ₃ OH	7. 9e+00	8. 4e-03
H ₂ O	9. 2e+05	2. 3e+04
O ₂	1. 9e-06	1. 1e+06
H ₅ C ₃ N	2. 1e+04	1. 0e-19
HC ₃ N	2. 0e-15	1. 2e+03
N ₂	1. 8e+05	1. 9e+05
NH ₃	4. 9e+01	7. 2e+00

表. 温度 $T=20[\text{k}]$ 、ガス密度 $n=2.0 \times 10^{10}[\text{cm}^{-3}]$ ($\sim 50\text{AU}$)

におけるマントル層の分子存在度。

原始惑星系円盤のダスト層シアー不安定性に

コリオリ力、潮汐力が及ぼす影響

Effects of the Coriolis and tidal forces on shear instabilities of the dust layer in a protoplanetary disk

○石津 尚喜 関谷 実 (九大・理)

In a protoplanetary disk, dust settles toward the mid-plane of the disk due to the gravitational force of the central star. Then, the velocity difference arises between the dust layer revolving with the Kepler velocity and the gas layer revolving slower than the former due to the pressure gradient.

Our previous researches where the Coriolis and tidal forces are neglected suggest instabilities grow up slower than the Kepler period in the dust layer if the Richardson number is larger than 0.1. In this case, we need to take these forces into account.

We carried out linear calculations including these forces and using the solid wall boundary condition. In case the Richardson number is equal to 0.1, rotational effects decrease the growth rate of the instability but do not come to prevent it.

原始惑星系円盤で中心星の重力により、ダストは円盤の中心面に沈殿する。このとき、ケプラー速度で公転しようとするダスト層と円盤の動径方向の圧力勾配分だけ遅く公転しようとするガス層とで速度差が生じる。これによって生じるシアーにより、ダスト層はシアー不安定になる可能性がある。

これまでの結果より、コリオリ力や潮汐力などの回転の効果を無視したとき、リチャードソン数が 0.1 以上のダスト層では、不安定性はケプラー周期に比べてゆっくり成長することが分かった。この場合には、コリオリ力や潮汐力を考慮する必要がある。

本研究では、円盤の動径方向に固体壁境界条件を与え、回転系の効果であるコリオリ力と潮汐力を入れた線形計算を行った。リチャードソン数が 0.1 のとき、回転の影響は固有関数に大きな変化を与え、不安定性の成長率を減少させたが、抑制するまでには至らなかった。

衝突によるレゴリス粒子のサイズ選別効果

Size-sorting of regolith grains in impact cratering

○山本聡、富塚大輔（北大・低温研）

We have performed impact experiments into regolith targets to investigate size-sorting of regolith grains in impact cratering. The regolith target was composed of soda-lime glass particles with mean sizes of 5 mm and 200 μ m. Projectiles with mass of 0.2g were accelerated by using the electromagnetic gun. The size distribution of the particles ejected outside the target container was measured. Our results show that the ejection velocity of ejecta from regolith targets depends on the particle size. Based on the results, we will discuss the hypothesis that frequent impact cratering produces size-sorted regolith grains.

小天体表面の衝突変成・構造進化やダストの起源等を検討するうえで、レゴリス層での衝突過程を明らかにすることは重要である。本研究では、クレーター形成過程での衝突放出物の速度とサイズの関係を明らかにするために、レゴリス層を模擬したターゲットに対して衝突実験を行った。レゴリスターゲットとして、直径 5mm と 0.2mm の二種類のガラスビーズを混合したものを用いた。レールガンを用いて重さ約 0.2 g の銅製プロジェクティルを約 200m/s に加速し、上記のターゲットに衝突させた。衝突によってターゲットを入れた入れ物の外に飛び出した粒子の回収を行い、2種類の粒子の体積比 f ($=5\text{mm}$ 粒子の総量 $\div$ 0.2mm 粒子の総量) を測定した。

その結果、ターゲット初期設定の f が 1 程度の場合（つまり、5mm と 0.2mm の粒子が同じ体積割合で存在する時）、入れ物の外に飛び出す粒子の体積比も 1 に近い値をとることがわかった。これは、クレーター形成過程で粒子の放出速度は粒子サイズに依らないことを意味している。一方、ターゲット初期値 f が大きくなるに連れて、回収される粒子の f の値は、ターゲットのそれに比べて、数倍大きくなる。つまり、0.2mm 粒子の方が 5mm 粒子にくらべて効率よく加速されることがわかった。これらの結果より、衝突によるレゴリス層のサイズ選別効果について議論する。

高速自転小惑星の自転運動の起源

Origin of rotation for the fast rotating asteroids

○向井 正、樋口有理可、Saklayen MD Abu、富田 奈津美
(神戸大学大学院自然科学研究科)

The asteroids with fast rotation periods have been detected recently, e.g. asteroid 1999SF10 with a size of 60 m has a rotation period of 2.5 min. Since the centrifugal effect on such asteroid is larger than the gravitational attraction, the asteroid with fast rotation seems to be the "monolithic body", and not the "rubble piles". The mechanism to yield such fast rotation on the asteroid has been examined. A hypothesis that such a high spin asteroid came from an extinct comet is presented.

1996 年頃までは、大きさが 10km 以下の小惑星で、自転による表面遠心力が、自己重力を超えるような高速自転小惑星は観測されていなかった (Harris, Lunar and Planetary Sci. 27, 493, 1996). このことと、測定された一部小惑星の小さな密度から、小惑星の内部構造として、自己重力によって集団化した碎片群 (rubble piles) という描像が提案されていた。

最近、自己重力による結合を破る周期 2 時間以内という高速自転小惑星が、地球近傍小惑星として相次いで発見された (Pravec et al. 2000, Icarus 147, 477; Whiteley et al. 2000, AAS-DPS meeting #32, #08-06)。

小惑星	自転周期 (min)	大きさ (m)
1998KY26	10.7	30
1995HM	(~) 97.2	130
1999TY2	7.3	80
1999SF10	2.5	60
1998WB2	18.8	120
2000AG6	4.6	80 x 35
2000DO8	10.4	85 x 40
2000EB14	107.4	150 x 50
2000HB24	13.0	75 x 60

これらの高速自転小惑星は、すべて大きさが 200m 以下で、遠心力が表面自己重力を超えているため、内部構造は、"rubble piles" ではなくて、"monolithic body" と考えられる。ここでは、これらの小惑星に高速自転を付与した機構と、高速自転の持続性について考察する。

(1) 母天体の衝突破壊時に獲得する自転速度、(2) 小惑星表面への隕石のランダム衝突による自転運動の加速と減速、(3) 消滅彗星核と仮定した場合の自転運動の獲得機構について、順次検討結果を報告する。

講演題目: すばる望遠鏡による太陽系外縁部サーベイ

英文講演題目: Outer Solar System Survey Using Subaru Telescope

著者名、所属 (発表者名の左に○を記入)

木下 大輔 (総研大/国立天文台), ○ 渡部 潤一 (国立天文台), 布施 哲治 (国立天文台), 山本 直孝 (東京理科大)

英文要旨 (100 語程度)

More than 400 objects are discovered in the outer solar system since 1992. These objects are called EKBOs (Edgeworth-Kuiper Belt Objects), and thought to be remnants of planetesimals. It is important to reveal the size distribution and the spatial distribution of these objects to understand origin and evolution of the solar system. The survey of outer solar system was carried out using 8.2-m Subaru telescope at Mauna Kea with prime focus camera (Suprime-Cam). We will report results of this survey.

概要

太陽系外縁部にこれまでに 400 個以上の小天体の存在が明らかになり、EKBO (Edgeworth-Kuiper Belt Object) と呼ばれている。これらは微惑星の生き残りであり、始源的な天体であると考えられている。そのためそのサイズ分布や空間分布を明らかにすることは太陽系の起源や進化を考える上で重要である。我々は国立天文台ハワイ観測所の口径 8.2-m すばる望遠鏡と主焦点カメラにより太陽系外縁部のサーベイを行った。このサーベイ観測の結果を報告する。

SUBARU/IRCS を用いた冥王星/カロン系の近赤外分光観測

Near-IR spectroscopic observations of Pluto-Charon system by SUBARU/IRCS

○菅野愛(東大理)、中村良介(NASDA/EORC)、石黒正晃(宇宙研)、木下大輔(総研大)、
五十嵐丈二(東大理)、寺田宏(国立天文台)

○Ai KANNO, Ryosuke NAKAMURA, Masateru ISHIGURO, Daisuke KINOSHITA,
George IGARASHI, and Hiroshi TERADA

Pluto is now the outermost planet in the solar system, which has the only satellite, Charon. We have done the near-IR spectroscopic observations of Pluto and Charon system by SUBARU/IRCS on June 17th and 18th, 2001. We obtained spectroscopic data of Pluto in H ($1.49\text{--}1.83\ \mu\text{m}$) band, K ($1.93\text{--}2.48\ \mu\text{m}$) band and L ($2.84\text{--}4.16\ \mu\text{m}$) band, and also obtained data of Charon in K band. We discuss about surfaces of Pluto and Charon, comparing the result of spectral analysis and the model spectrum.

冥王星は太陽系の9つの惑星のうち、唯一まだ科学探査機が一度も訪れたことのない太陽系外縁部の惑星である。冥王星の軌道は太陽系の他の惑星と比べ特徴的であり、冥王星以外の惑星がほとんど同一平面上でほぼ円軌道を描いているのに対し冥王星は17度も傾いた軌道を持ち、離心率の高い軌道の一部は海王星軌道の内側にまで入りこんでいる。冥王星唯一の衛星カロンは直径が1,200kmであり、直径2,360kmの冥王星に対して半分ほどの大きさの衛星である。近年、エッジワース-カイパーベルト天体(Edgeworth-Kuiper Belt objects; EKBOs)と称される太陽系外縁部で公転する小天体が相次いで発見され、これらEKBOsの特徴が冥王星とカロンの特徴と類似していることをきっかけとして、冥王星とカロンをEKBOsのひとつと考える流れがある。本研究では冥王星/カロンの起源の解明し、太陽系外縁部における熱史を考察することを目的として、冥王星/カロンの近赤外分光観測を行いその表面組成を調べた。

過去の近赤外分光観測により、冥王星の表面はメタン、窒素、一酸化炭素の氷に加え、エタンの氷が存在することが示唆された(Nakamura *et al.*, 2000)。また、カロンの表面は一様にH₂O氷で覆われていると考えられている(Nakamura *et al.*, 2000)。冥王星とカロンの表面組成をより詳しく調べるために、我々の研究グループは2001年6月17日から18日にかけて、国立天文台すばる望遠鏡を用い、冥王星/カロンの近赤外分光観測を行った。すばる望遠鏡の近赤外分光撮像装置IRCSを使用することにより、冥王星をH ($\lambda=1.49\text{--}1.83\ \mu\text{m}$)、K ($\lambda=1.93\text{--}2.48\ \mu\text{m}$)、L ($\lambda=2.84\text{--}4.16\ \mu\text{m}$)バンド波長域、カロンをKバンド波長域で分光観測した。特に、Lバンド波長域での観測は過去に例の無いものである。本講演では、今回の観測データの解析結果と表面反射スペクトルのモデル計算を比較し、冥王星/カロンの表面組成について議論する。

宇宙風化作用シミュレーション実験：鉱物混合試料のスペクトル変化

Simulation of Space Weathering: Spectral Change of Olivine-Orthopyroxene Mixtures

○倉橋 映里香、佐々木 晶 (東大・理・地惑)

○Erika KURAHASHI and Sho SASAKI

(Department of Earth and Planetary Science, The University of Tokyo)

The spectral mismatch between asteroids and meteorites is explained by a so-called 'space weathering' process where impacts of interplanetary dust altered the optical properties of asteroid surfaces. In order to simulate the heating by dust impacts, we irradiate nanosecond pulse laser beam onto planetary surface materials (powdered olivine + orthopyroxene mixtures). The laser-irradiated samples show significant reduction of overall spectra (250-2500nm) and reddening. Although the spectra of olivine-orthopyroxene mixtures are altered with mixing ratio, the alteration is not proportional to the ratio.

小惑星は太陽系初期の環境に関する情報を保持しており、太陽系の起源と進化を解明する上で大変重要な存在である。通常、小惑星は隕石の母天体であると考えられている。しかし、反射スペクトルによる分類で最も多いS型小惑星に対応する隕石はほとんど存在せず、また隕石の多くを占める普通コンドライトの反射スペクトルに対応する小惑星は非常に少ない。この原因として、星間塵や微小隕石の衝突などによって、レゴリスで覆われた天体表面が光学的に徐々に変化するという『宇宙風化作用』が挙げられる。

本研究では宇宙空間における宇宙風化作用を再現するために、惑星構成鉱物を粉砕してペレット状にしたものに真空中でナノ秒パルスレーザーを照射するという手法を用いている。レーザー照射によって、ミクロンサイズの微小ダストによる加熱が再現されている。レーザー照射後の試料の反射スペクトルを測定することで宇宙風化作用の影響を調べている。この手法によって現在までに、かんらん石は輝石よりも風化作用を受けやすいという重要な結果が得られている。また、透過型電子顕微鏡による観察で、赤化の原因として理論的に考えられていたナノメートルサイズの微小鉄をかんらん石粒子リム部に確認した。

実際のS型小惑星や普通コンドライトは主にかんらん石と輝石で構成されているが、これまでの鉱物混合シミュレーションは理論的計算しか行われておらず、実際に実験を行う必要がある。そこで、今回はかんらん石と輝石（エンスタタイト・ハイパーシン）の鉱物混合試料を用いて宇宙風化作用によるスペクトル変化を調べた。その結果、鉱物混合比によってスペクトルは変化するが、その変化は混合比に単純には比例しないという面白い結果が得られた。また、1 μ m吸収帯の面積に関しては、かんらん石+エンスタタイト混合試料においてかんらん石の効果がエンスタタイトよりも大きいことがわかった。一方で、1 μ m吸収帯のContinuum Slopeに関しては、かんらん石+ハイパーシン混合試料においてハイパーシンの効果がかんらん石よりも大きいことがわかった。さらに、スペクトルの傾きや吸収帯面積を詳細に調べることで、S型小惑星の鉱物組成や風化度のちがいを相対的に比較することができる可能性があることもわかった。今後は、鉱物混合試料の実験結果と理論的計算の結果の比較をも行う予定である。

Step-scan FTIR によるアセチレンのモノマーおよびクラスターの吸収分光 Step-scan Fourier transform infrared absorption spectroscopy of acetylene monomer and cluster

○平林慎一、平原靖大(名大院・環境)

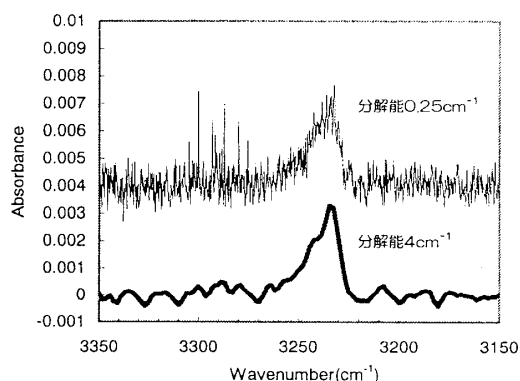
Shinichi Hirabayashi and Yasuhiro Hirahara

Division of Earth and Environmental Sciences, Nagoya University

The infrared spectra of acetylene monomer and cluster have been obtained in the $3\ \mu\text{m}$ using a supersonic free jet system with a pulsed nozzle combined with step-scan Fourier transform infrared spectrometer. Rotational temperature as low as 10 K has been determined from the monomer spectrum. A broad band was also observed between 3220 and $3260\ \text{cm}^{-1}$ with a dominant peak at $3232\ \text{cm}^{-1}$, indicating that this broad band is assignable to the high temperature cubic phase of solid acetylene.

低温 ($10\sim 100\text{K}$)、低密度 ($n(\text{H}_2)\leq 10^6\text{cm}^{-3}$) の分子雲では、紫外線や宇宙線の照射によるイオン・ラジカルが関与した気相反応や固相表面での反応等により、多種多様な星間分子や有機物、星間塵が生成されている。基本的分子であるアセチレンは、星間分子雲だけでなく、百武彗星やヘルボップ彗星で観測されており、土星とその氷衛星タイタンでも検出されている。固相アセチレンの分光学的研究は、星間塵や彗星コアの形成や進化を解明する上で重要である。そこで本研究では、極低温かつ分子間衝突のほとんどない環境を作り出すためにパルスノズルを用いて、星間塵の重要な成分と考えられるアセチレン氷を超音速ジェット中で生成させた。

実験では、10%のアセチレンを Ar 中に希釈し、背圧 3.5atm で直径 0.8mm のノズルからパルス的に真空中へ噴出させた。赤外吸収スペクトル測定は step-scan 機能を有するフーリエ変換型赤外分光器 (FT-IR) を用いて波数分解能 0.25cm^{-1} で行った。 $3270\text{--}3310\text{cm}^{-1}$ の領域に、モノマーの ν_3 モードと $\nu_2+\nu_4+\nu_5$ モードによるスペクトル線が見られ、スペクトル線の相対強度比から回転温度は約 12K であった。また、このバンドの低波数側の 3232cm^{-1} 付近にピークを持つ幅広いバンドが見られた。



アセチレンの小さなクラスター ($n<5$) は $3260\text{--}3285\text{cm}^{-1}$ に現れることがわかっており (Miller et al., 1984)、今回のスペクトルは小さなクラスターのスペクトルとはバンド位置が明らかに異なっている。バンド幅が広いことと個々の回転構造が分離できていないことから、このバンドは巨大なクラスターまたは固相のアセチレンではないかと考えられる。アセチレンは 133K に高温相の結晶構造である立方晶系 (cubic) から低温相の斜方晶系 (orthorhombic) への相転移を起こすことが知られており、アセチレンの 2 相は違った吸収特性を持っている。ピーク位置は高温立方晶系相の C_2H_2 の位置と一致した。アセチレン・モノマーの温度 ($\sim 12\text{K}$) が固体アセチレンの高温相と低温相の相転移温度 (133K) よりかなり低いにもかかわらず高温立方晶系相の C_2H_2 が検出されたことは、超音速ジェット中では衝突に伴うエネルギー変換の頻度が低いために過冷却が起こっていることで説明できる。

Young stellar objects (YSOs) の観測データと比較したところ、氷 H_2O の OH 伸縮バンドと重なり、今回の実験で得られた固体アセチレンの吸収スペクトルの単離の直接的な証拠はなかった。炭素星周辺等のアセチレン分子が豊富で、氷 H_2O が少量の領域での検出が期待される。

シリコン-カーボン系における構造とスペクトルの相関 Formation of SiC Core-Amorphous Carbon Mantle Grains

立命館大理工 京工繊大^A

○木村勇気、中尾智子、上野洋、齋藤嘉夫^A、塙内千尋

Carbon-mantle SiC grains with 0.2 volume fraction of carbon has been predominantly produced by evaporating of silicon from the special designed carbon boat in Ar gas. IR spectra showed the strong feature at 11.3 μm in agreement with data seen in circumstellar dusts. By the in situ observation by high resolution electron microscopy, it turns out that this carbon layer solved into SiC completely at 800 $^{\circ}\text{C}$ in vacuum. By cooling down SiC with the solved carbon, the carbon layer emerged to the SiC surface. The growth process of carbon-mantle SiC grains have been discussed on the basis of the result of the present in-situ observation.

カーボンリッチスターの中間赤外領域の観測における11~13 μm のブロードな吸収はSiCによるものだと考えられている。とくに注目されている11.3 μm のバンドがカーボンマントルで覆われた α 型のSiC粒子によるものであることを小笹等が示唆したが、実験的アプローチはまったくなされていない[1]。

従来のガス中でアーク放電を用いてSiCを作成する方法では、欠陥の導入やSiCの多形により吸収スペクトルが変化した[2]。また、カーボンの量により α と β 相の生成率が変化することをも明らかにした。今回、次に示すような実験により多量にカーボンコートされた離散性の良い β -SiCが生成することを偶然見出した。

小孔を空けたカーボン棒にSi粉末をのせたものを蒸発源として用い、不活性ガス中で抵抗加熱することで2 nmのカーボンマントルに覆われたSiC微粒子を多量に作成した。カーボンが多い状況でのSiC粒子の生成で、組成は β 型で前回の報告とよく一致している[2]。このような粒子の赤外吸収スペクトルは11.3 μm にシャープな吸収を示した。これは小笹等が示したマントル構造粒子に対応している。小笹等の計算では α -SiCのカーボンマントル層の厚さで吸収位置が変化することを示しており、11.3 μm にシャープな吸収を示した今回のデータは β -SiC上のカーボンマントル層であるが、 β -SiCとマントル層の体積比は計算値と良い一致を示した。

このような粒子を真空中で高分解能電子顕微鏡観察しながら加熱したところ800 $^{\circ}\text{C}$ でカーボン層がSiC粒子中に溶け込み $\text{SiC}_{1.7}$ 程度になっていることが分った。粒子の成長は高温領域で起こっていることから、このようなマントル粒子の成長はカーボン雰囲気中で成長した粒子中に溶け込んだカーボンが冷却とともに析出し、一様な厚さのカーボン層で覆われることで生成するものと考えられる。このような粒子の生成条件がカーボンスターで起こっているとみなされる。

[1] T. Kozasa et al., Astron. Astrophys. 307 (1996) 551-560

[2] C. Kaito et al., Planet. Space Sci., 43:10/11 (1995) 1271-1281

○湊 哲則（神戸大学、自然）、城野 信一（名古屋大学、環境）

Planets are formed by accumulation of sub micron-sized dust grains and their aggregates. Outcomes of dust aggregates collisions are determined by mechanical properties (elasticity, strength) of dust aggregates and their relative velocities.

We studied mechanical responses of two dust grains which are connected with a viscoelastic bridge. Elasticities of dust aggregates could be large because of the viscoelastic bridges. We can expect the existence of organic materials affects the outcome of collisions.

惑星系は、sub-micron サイズの固体微粒子（ダスト）やその集合体（ダストアグリゲイト）が衝突することにより形成、衝突進化する。ダストやダストアグリゲイトなどの固体同士の衝突の結果は、相対速度の大きさに加えて、その固体の力学物性（弾性率や強度等）に左右される。ダストは、主に珪酸塩鉱物、有機物、氷から構成されている（Greenberg 1998）。ダストに含まれる有機物は、弾性率、粘性率が温度とともに大きく変わる粘弾性体である（香内ほか 2001）。例えば弾性率 G (dyne cm^{-2}) は、温度 T (K) の低下とともに 10^{10} から 10^4 まで変化する。有機物は惑星系の形成や衝突進化に大きな影響を与えたと予想される。このことを受けて、われわれは粘弾性的な有機物を考慮したダストアグリゲイトの力学物性を明らかにするための理論を構築している。

ダストアグリゲイトのマクロな力学物性は、2 球のダスト粒子間の力学的相互作用をもとに導出できる。2 球のダスト粒子はその表面エネルギーにより有限の面積で結合する。氷が蒸発し、有機物が蒸発しない温度領域 ($170 < T < 400$) では、その結合部分の周囲に粘弾性体である有機物が架橋を形成する。この架橋の存在は、2 球のダスト粒子間の力学的相互作用を変化させると予想される。粘弾性体はその運動タイムスケールに応じて、弾性的ふるまい、粘弾性的ふるまい、流体的ふるまいをする。本研究では、粘弾性体架橋が流体的ふるまい、弾性体的ふるまいする 2 つの場合について 2 球間の力学的相互作用を調べた。

接触している 2 球のダスト粒子は、2 球間の微小変位（引っ張り、ころがり）に対してばね的ふるまいをする。そのばね定数は、架橋に存在によって以下になることが分かった。架橋のふるまいが弾性的であり、架橋の弾性率が $G < 10^4$ ($300 < T < 400$) の場合ころがりばね定数は変化せず、架橋の弾性率が $G > 10^4$ ($170 < T < 300$) の場合ころがりばね定数は架橋の弾性率 G に比例して大きくなる。架橋のふるまいが弾性的である場合、引っ張りばね定数は有機物が取り得る弾性率の範囲で変化しない。架橋のふるまいが流体的である場合、引っ張り、転がりばね定数は変化しない。ダストアグリゲイトの弾性率は主にくろがりばね定数で決まるので（sirono 2000）、有機物はダストアグリゲイトの弾性率を、その状況に応じて大きく変化させると考えられる。

粘弾性体の線型応答解析

Linear response analysis of viscoelastic bodies

山本哲生 (名大環)

Tetsuo Yamamoto (Dept. Earth & Planet. Sci., Nagoya U.)

In view of a problem of collisional sticking of dust grains, a linear response analysis for sinusoidal time variation of the stress loaded onto a viscoelastic body has been developed as a first step. The results have been applied to three types of model viscoelastic bodies, i.e. Maxwell, Voigt, and standard linear models. It has been found from an analysis of the energy dissipation that the features found in the experiment (Kudo 2000, Master thesis, Hokkaido University) are reproduced qualitatively by the Voigt and standard linear bodies.

ダストの衝突付着のこれまでの研究では、ダスト粒子を弾性体として扱っている (Chokshi et al. 1993, Dominik & Tielens 1997). この場合、衝突エネルギーの散逸は弾性波の散逸を通じて起こる. しかし一般にはダスト粒子は弾性体ではなく、弾性波の散逸によるエネルギー散逸から見積もった付着確率は過小評価となっている. ダスト粒子を粘弾性体として扱い、より一般的かつ現実的な観点から研究する必要がある. 粘弾性体は粘性率が充分大きい極限で弾性体に帰着する.

香内グループ (Kudo 2000, Master thesis) による有機物層への金属球の衝突実験から、次のことが明らかにされた: 1) 有機物層の温度 T を一定に保ち衝突速度を変化させたとき、付着が起こる最大速度 $v_{\max}$ が存在する. 2) 低温では $v_{\max}$ はゼロに近づく. 3) 一方、高温側では T が上昇するにつれて $v_{\max}$ は減少する. 4) 結果として、ある温度 T_m で $v_{\max}$ は最大となる. すなわち温度 T_m において、もっともくっつきやすくなる.

この実験に触発され、ダストの衝突付着の粘弾性理論を発展させつつある. 粘弾性体のエネルギー散逸の主因は粘性散逸である. 今回は第1歩として、線型な応力-歪み関係を仮定した場合の一般的な解析を行なうとともに、エネルギー散逸の応力振動数依存性を決定した. 結果を Maxwell, Voigt, および standard linear モデルに適用し、エネルギー散逸の温度依存性の具体的表式を求めた. その結果、Voigt および standard linear model の場合、上述の実験結果を定性的に再現できることがわかった.

References

- Chokshi, A., Tielens, A.G.G.M. & Hollenbach, D. 1993, ApJ 407, 806
 Dominik, C. & Tielens, A.G.G.M. 1997, ApJ 480, 647
 Kudo, T. 2000, Master thesis, Hokkaido University

氷中のラジカルの熱安定性の実験的研究
 – 惑星物質や星間物質の化学進化 –

Experimental study of thermal stability of free radicals in ice
 – Chemical evolution of planetary and interstellar dusts –

○法澤公寛、矢田猛士、平井誠、山中千博、池谷元伺
 大阪大学大学院理学研究科宇宙地球科学専攻

○Kimihiro Norizawa, Takeshi Yada, Makoto Hirai, Chihiro Yamanaka and Motoji Ikeya
 Department of Earth and Space Science, Graduate School of Science, Osaka University

Chemical evolution in protosolar nebula and molecular clouds occurs by photochemical and radiochemical reactions in H_2O ice and many thermochemical equilibrium models have been calculated. Recently, non-equilibrium models are also attempted to calculate final molecular compositions. Although the compositions strongly depend on lifetimes of free radicals, there are few model calculations using the exact lifetimes because of a little experimental knowledge. In this study, we will report the experimental study of thermal stability of the free radicals in H_2O ice using electron spin resonance (ESR) and thermoluminescence (TL) methods.

原始惑星系円盤や分子雲では、氷の中または表面での光化学・放射線化学反応によって物質の化学進化が起きていると考えられており、熱化学平衡を基にしたモデル計算がなされている。また近年では非平衡な化学進化モデルも考案されている。これらのモデル計算では、反応中間体であるラジカルの寿命が最終的な分子組成を決める鍵を握っている。しかし、ラジカルの寿命の重要性が認識されているにもかかわらず、実験データが少ないために正確なモデル計算がなされてこなかった。本講演では、氷中のラジカルの熱安定性について、電子スピン共鳴(ESR)法と熱ルミネッセンス(TL)法を用いた実験的研究をレビューする。

Table.1: Radicals in various icy matrices at 77K irradiated by γ -ray.

Ice	Impurity	Free radical
H_2O	—	$\text{OH}\cdot$ 、 $\text{HO}_2\cdot$
	CH_4	$\text{OH}\cdot$ 、 $\text{HO}_2\cdot$ 、 $\text{CH}_3\cdot$
	NH_3	$\text{OH}\cdot$ 、 $\text{HO}_2\cdot$ 、 $\text{NH}_2\cdot$
CO_2	—	CO_3^- 、 O_3^-
	H_2O	CO_3^- 、 O_3^- 、 $\text{HO}_2\cdot$
	CH_4	CO_3^- 、 O_3^- 、 $\text{CH}_3\cdot$
SO_2	—	SO_3^- 、 O_3^- 、 S_4^+ 、 SSO^-

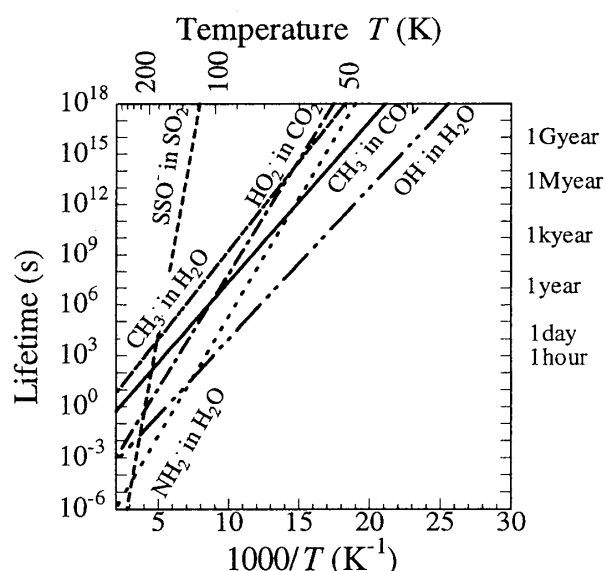


Fig.1: Arrhenius plot of radicals in various icy matrices.

モデル星間有機物の水質変成実験

EXPERIMENTS ON AQUEOUS ALTERATION OF MODEL
INTERSTELLAR ORGANIC MATERIALS

○中野英之、香内 晃（北大・低温研）

H. Nakano and A. Kouchi

We have performed hydrothermal experiments of interstellar organic materials analogue to investigate the effects of aqueous alteration on chemical composition of the organic materials. After experiment, samples were freeze-dried and elemental compositions of the samples were analyzed. We compared C, N compositions between freeze-dried samples and carbonaceous chondrites.

星間塵は鉱物・氷・星間有機物からなる微粒子であり（Greenberg,1998）、太陽系の原材料物質である。我々は、星間有機物と炭素質コンドライト中の有機物の関連性を明らかにするために、これまでモデル星間有機物（試薬を調合して作成したモデル物質）を用いた蒸発変成実験を行ってきた。モデル星間有機物の蒸発残渣と炭素質コンドライトの C, N 含有量を比較した結果、CO, CV コンドライトでは良い一致を示すが、CI, CM コンドライトでは一致しないことが分かった。このことから、星間有機物の蒸発変成だけでは CI, CM コンドライトの C, N 含有量を説明できないことが明らかになった。星間有機物は、蒸発変成の他に宇宙線による変成、隕石母天体での水質・熱変成などさまざまな変成を受けることが考えられる。蒸発残渣と炭素質コンドライトの C, N 含有量とのずれは蒸発変成以外の変成作用を考慮すると説明できる可能性がある。本研究では、炭素質コンドライト母天体での水質変成作用に着目して、水質変成作用が星間有機物の C, N 含有量に与える影響を調べるための実験を行った。

含水鉱物の酸素同位体の研究から、CI, CM コンドライト母天体にはかつて鉱物と同程度の質量の水が存在していたこと、また、水質変成はそれぞれ 140°C, 20°C の温度で起こったことが分かっている。実験では、このような炭素質コンドライト母天体で起こり得る水質変成の状況を再現する。モデル有機物と水を 2 : 3 に混合した試料 500mg をテフロン製容器に封入し、水を充填したステンレス製高压反応容器内で一定時間（3—250 時間）加熱（50—200°C : 1.2kPa—1.58MPa）する実験をおこなった。モデル有機物は蒸発変成をさせていない試料と、100°C で 80 時間蒸発変成をさせた試料を用いた。実験後、試料を -70°C で凍結乾燥させることにより氷を蒸発させ、乾燥試料の元素組成を元素分析計で調べた。その結果をもとに、モデル星間有機物の蒸発残渣の C, N 含有量が水質変成を受けてどのように変化するのかを検討し、炭素質コンドライトの C, N 含有量と比較した。

原始地球上での **Complex Organics** からの生命の起源へのシナリオ Scenario from Complex Organics to the Emergence of Life on the Primitive Earth

○小林憲正・大橋暁弘・高野淑識・金子竹男（横浜国大院工）

Kensei Kobayashi, Akihiro Ohashi, Yoshinori Takano and Takeo Kaneko (Yokohama Natl. Univ.)

In the conventional scenario of chemical evolution toward the origin of life, stepwise reactions from small monomers to oligomers were hypothesized. Finding of complex organics in both extraterrestrial environments and in products of experiments simulating primitive planetary environments suggests an alternative possible pathway to the life *via* complex organics. In the present study, structure and functions of complex organics formed by irradiation of primitive planetary atmospheres were examined to present a novel scenario to the emergence of life on the primitive Earth.

原始惑星上での生命の起源を化学進化により説明しようとする時、従来、小さいモノマー分子の重縮合により徐々に大きい分子が生成し、やがて触媒能などの機能を有するペプチドや RNA が生成するというシナリオが *a priori* に仮定されてきた。これまで模擬惑星環境を模した実験が数多く行われ、生体関連モノマー（アミノ酸・核酸塩基など）の生成が報告されてきた。しかし、これらのモノマーを無生物的に重縮合するには特殊な条件が必要であり、機能を有するようなペプチド・RNA の生成は極めて困難である。われわれはこのような模擬実験生成物が、比較的分子量の大きい分子の複雑な混合物（Complex organics）であることを見いだした。一方、地球外にも様々な有機物が存在するが、隕石や彗星中の有機物もまた、Complex organics であることが報告されている。本研究では、原始地球大気を模した一酸化炭素・窒素・水の混合物に陽子線を照射した際に生じる有機物の構造と機能を解析し、その結果をもとに、生命の起源に至る新たなシナリオを構築することを目的とした。

実験 Pyrex 製容器中に水(20 mL) および一酸化炭素(350 Torr)、窒素(350 Torr) の混合気体を入れ、これに van de Graaff 加速器（東工大）からの 3MeV 陽子線を 2mC 照射した。生成物（水溶液）は、以下の分析を行った：元素分析、FT-IR、紫外可視スペクトル、ゲル濾過 HPLC (GFC)、MALDI-質量分析(MS)、酸加水分解-イオン交換 HPLC（アミノ酸分析）。また、基質として二酢酸フルオレセインおよび 4-メチルウンベリフェリルリン酸を用いて、エステラーゼ活性およびホスファターゼ活性の測定も行った。

結果と考察 GFC および MALDI-TMS でも分子量 1000 以上の分子の存在が示され、原始大気成分から直接、分子量の大きい分子が生成しうることが確認された。元素分析結果は、C 26%, H 45%, O 20%, N 9%となり、多重結合や環を多く有することが示唆された。

アミノ酸分析の結果、Asp, Ser, Gly, Ala などの多種類のアミノ酸が検出された。また、出発物質に水を用いない一酸化炭素・窒素のみの系からも、生成物を加水分解することによっても Gly, Ala などのアミノ酸が生成した。この結果は、原始大気からのアミノ酸の生成が HCN, HCHO などの原始海洋中での反応によるものではなく、原始大気中で高分子量の「アミノ酸前駆体」が直接生成することを強く示唆するものである。また、生成物はエステラーゼ活性およびホスファターゼ活性を有することがわかった。

以上の結果より、次のようなシナリオを描くことができる：原始惑星上で、まず分子量の大きい分子の複雑な混合物が生成（もしくは供給）された。これは種々の触媒活性を有するとともに、加水分解によりアミノ酸などの生体分子の部品を供給した。この中で生じた自己触媒分子（自己増殖分子）をもとにまず Garbage world ともいうべき雑多な分子の集合系が成立し、これを橋渡しとしてやがて Protein world もしくは RNA world が生成した。このようなシナリオの検証のためには、さらなる模擬実験生成物や地球圏外有機物の解析が必要と考えられる。

星間環境におけるアミノ酸不斉創成の検証
Asymmetric formation of amino acid in interstellar dust environment

高野 淑識, ○小林 憲正, 金子 竹男(横浜国大院工), 高橋 淳一(NTT 通信エネ研),
 Sandra Pizzarello and John R. Cronin (Arizona State Univ.)

Yoshinori Takano, ○Kensei Kobayashi, Takeo Kaneko, Jun-ichi Takahashi*,
 Sandra Pizzarello** and John R. Cronin **

Department of Chemistry and Biotechnology, Yokohama National University,

**NTT Telecommunications Energy Laboratories,*

***Department of Chemistry and Biochemistry, Arizona State University*

Origins of biomolecular chirality, that is, one-handedness of bioorganics such as amino acids is an essential problem for origins of life. Enantiomeric excess in meteoritic L-form amino acids¹⁾ implies the origin of biomolecular chirality came from exogenous influence: Specific circularly polarized light generated from neutron stars may, for example, induce asymmetric synthesis. Remarkable L-excesses were found in meteoritic amino acids having no α -hydrogen atoms. Among them, isovaline (α -amino- α -methylbutyric acid) showed 8.4 % L-form excess. Here DL-isovaline was irradiated with circularly polarized continuous light by synchrotron radiation, and possible asymmetric formation of amino acids in interstellar space was discussed.

レイ・パスツール以来, 地球生命の生体分子光学活性の起源は, 未だに解明されていない謎の一つである. Murchison 隕石中からは L-体優位, すなわちエナンチオ過剰を持つアミノ酸が報告され, とりわけ, α 位の炭素に水素を持たないアミノ酸でのエナンチオ過剰が統計的に優位であり, L-イソバリンで 8.4%の過剰を示した¹⁾. このことは, 生命の誕生に先駆けて地球圏外での化学進化の段階で何らかの物理的不斉が寄与したことを示唆するものである. これらの生体有機物の不斉創成の起源として, 超新星爆発により生じた中性子星から放射される円偏光が有力視されている.

我々はこれまで NTT 放射光施設のシンクロトロン放射光を用いて, 生体有機物の生成機構及び波長依存性について定量的・定性的な議論を行ってきた²⁾. そのシンクロトロン加速器は, 強い指向性を持つことから左円偏光, 右円偏光を連続光として取りだすことができ, 生体光学活性の起源にアプローチを試みる上で重要である. そこで本研究は, 炭素質隕石中から検出された α -位水素を持たないアミノ酸 D,L-イソバリンを用い, 紫外線領域円偏光照射を行った. 照射試料は高速液体クロマトグラフィーにより, エナンチオ過剰と光分解率を評価した. 本発表では, これまでの実験結果および炭素質隕石から得られた情報から, 光学活性の起源について考察する.

1) J. R. Cronin and S. Pizzarello, *Science*, **275**, 951 (1997)

2) J. Takahashi *et al.*, *Appl. Phys. Lett.*, **74**, 877 (1999)

バードオリビンコンドリュールの再現実験

○ 長田祐一、土山明、茅原弘毅 (大阪大学・大学院理学研究科)

Experimental reproduction of barred olivine chondrules

Yuichi OSADA, Akira TSUCHIYAMA, Hiroki CHIHARA (Osaka Univ.)

The purpose of this study is to reproduce barred olivine chondrule textures in a laboratory to understand chondrule formation processes in the primordial solar nebula. Last year, we succeeded in reproducing barred olivine rims by partial evaporation of chondritic melts in a vacuum furnace and textures very similar to natural ones, which were composed of a few crystals by using small charges. In the present study, we found by using a universal stage that the crystallographic orientations of olivine plates of charges were also the same as the natural ones($\{100\}$).

バードオリビンコンドリュールを再現することは、コンドリュールの形成過程や条件を知る上で重要である。これまで様々なバードオリビンの再現実験によって、天然に近い棒状組織の再現がなされている。昨年我々は、真空下でメルトを蒸発させることによりバードオリビン結晶がもつリム部の再現に成功し、また試料のサイズを小さくすることにより、従来の実験生成物よりも更に天然に近いものができることを示した。

今回は、それら実験生成物の薄片をユニバーサルステージで観察し、結晶方位について天然のバードオリビンと比較した。a 軸と板状結晶の垂線のなす角度を測定したところ、実験生成物の場合、ほとんどのものが0度～5度の範囲に収まった。それに対し、天然バードオリビンの場合は数度～十数度の範囲に散らばった(図1)。これは、実験生成物の結晶に比べ、天然の結晶は厳密な結晶方位の決定が難しく、より大きな誤差が生じたものかもしれない。この結果、測定した実験生成物の結晶方位は、天然バードオリビンの結晶方位とほぼ一致し、組織を構成する各板状の結晶が a 軸にほぼ垂直な方向に広がっていることが分かった。

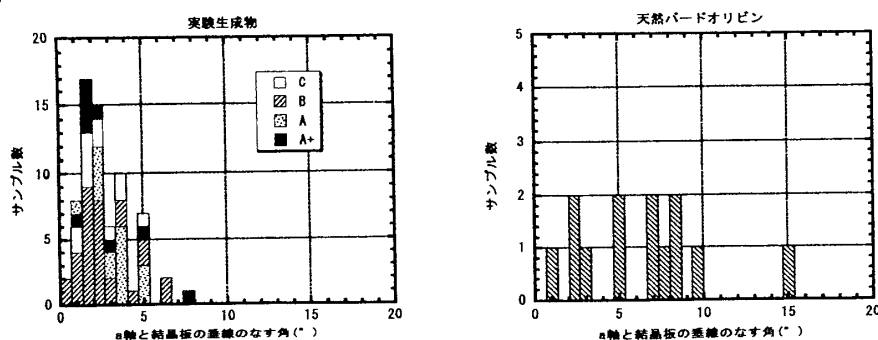


図1: 実験生成物と天然BOの結晶方位(a軸)と板状結晶の垂線のなす角度(ヒストグラム)

(A: バーが揃っている組織, B: AとBの中間の組織, C: バーが揃っていない組織, A+: 揃った数個のバー結晶から成る組織)

X線CTによるコンドリュールの3次元的な形状および内部物質の分布状態の解析
 Three-Dimensional Shape and Distribution State of Internal Materials (Voids, Metals and Sulfides) of Chondrules by X-ray CT Method

○重吉 亮一	鹿児島大学大学院 理工学研究科 物理科学専攻
土山 明	大阪大学大学院 理学研究科 宇宙地球科学専攻
中野 司	産業総合研究所 地球科学情報部門
上杉 健太朗	高輝度光科学研究センター
野口 高明	茨城大学理学部自然機能科学科

Chondrules have physical information, such as their shapes and internal textures, which can give knowledge about chondrule formation. We imaged chondrules removed from the Allende meteorite (CV3) three-dimensionally by using a micro X-ray CT system at SPring-8. We compared their external shapes with the internal structures (three-dimensional distribution of voids, metals and sulfides) quantitatively. Based on the results, we discuss a possibility of spinning of chondrules during their formation.

コンドリュールは、その化学的な情報だけでなく、形状や内部組織といった物理的な情報ももっている。これにより、形成時のコンドリュールの状態や周辺環境についての知見を得ることができる。Kawabata *et al.* (1999), Tsuchiyama *et al.* (2000) は、X線CT法による3次元的な解析により、外形が oblate 状のものがあることや、その短軸周辺に空隙が集まっている傾向があること、barred olivine chondrule においては olivine の板が短軸とほぼ垂直に交わっているものが多いことなど見出し、コンドリュールの形成時における回転を示唆した。今回我々は、Kawabata *et al.* (1999), Tsuchiyama *et al.* (2000) と同様、Allende 隕石中のコンドリュールの3次元構造を、SPring-8 の高分解能CT装置[Uesugi *et al.* (1999)]を用いたX線CT法によって撮影し、コンドリュールのもつ3次元的な外形を求め、外形と内部組織（空隙・金属鉄・硫化物の3次元的な分布）との比較を定量的におこなった。その結果、oblate 状のもののほかに、prolate 状のものもいくつか見つかった(図1)。その内部の金属鉄・硫化物は、長軸から離れて集まる傾向が見られた。以上のことから、コンドリュールが形成時の熔融状態において長軸を軸として回転していたということが推測される。

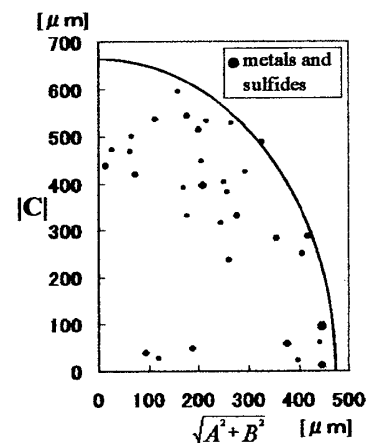


図1. prolate 状コンドリュールにおける金属鉄・硫化物の分布。

外形は楕円体近似をおこない、その長軸(C 軸)を軸として回転させた投影像の第1象限を表している。

DUNITE INCLUSION IN ANGRITE ASUKA-881371 METEORITE

YANAI Keizo (Faculty of Engineering, Iwate University)

Angrite Asuka-881371(A-881371) meteorite collected from Antarctica is 11 grams in weight. It is rounded stone almost completely covered with dull black fusion crust. Pale green, relatively large olivine crystals are seen on the exposed interior surface. A-881371 have been identified as angrite meteorite which is one of quite unique type of meteorite belong to achondrites, and it shows the oldest age almost 4560my in all meteorites. As the figure of the thin section of A-881371 shows an unbrecciated and typical ophitic(doleritic) texture with euhedral plagioclase, intergranular fassaite and relatively coarse Ca-olivine(kirschsteinite) with opaques and spinel. Pyroxene(fassaite) is the most abundant mineral and is relatively strong pleochroic halo, from near colorless in the core to brown in the rim. Olivine shows very wide compositional range of Fo2.8-90. Plagioclase is remarkably and virtually pure anorthite over An99.

Small inclusion(or fragment) consisting of fine olivine aggregate is recognized in A-881371 angrite. The aggregate at bottom of the thin section(Fig. 1) consists of fine-grained and almost equal granular olivine grains which are under 0.1mm in size. It is dunite inclusion. Compositions of aggregate olivine in the dunite inclusion are nearly homogeneous Fo85 with little variation of core(Fo89) to rim(Fo82). Olivine in the dunite inclusion are quite differ from those of olivine in host rock. Most olivine in host rock are large grain(max 5mm) and very wide compositional range from Fo90 to Fo3. Especially Fe content have been remarkably enriched in the most outer rim of large olivine grains. Unfortunately it is not sure whether the olivine aggregate(dunite inclusion) is xenolith(accidental) or cognate inclusion.

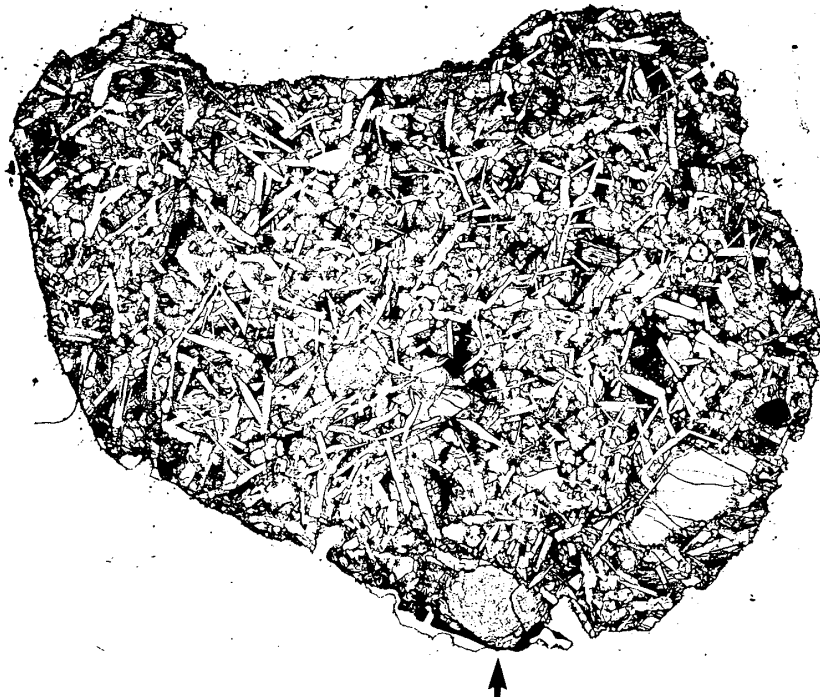


Fig. 1 Photomicrograph of thin section of angrite Asuka-881371 meteorite: Dunite inclusion indicate arrow mark : field view is 11mm.

化学組成及び同位体組成から見た南極マイクロメテオライトの起源

Origin of micrometeorites estimated from their chemical and isotopic composition

° 矢田達、中村智樹、高岡宣雄（九大院理）、脊戸柳武彦（都立大院理）、小島秀康（極地研）

Antarctic Micrometeorites are analyzed by electron microprobe for chemical composition of major elements and by ion microprobe for oxygen isotopic ratio. Results of both analyses indicate that micrometeorites are closely related to parent bodies of carbonaceous chondrites.

地球で採集される宇宙塵は、主に様々な種類の小惑星や彗星から惑星間空間に放出された塵が、ある期間の軌道運動の後に地球上に降下したものである。我々は1998年に日本隊により東南極のやまと山脈周辺の裸氷域で採集された南極マイクロメテオライト(Antarctic Micrometeorite: AMM)について、主要元素組成分析、酸素同位体分析を行い、その起源について考察を行った。まず、大気圏突入時の加熱により熔融しなかった AMM と熔融した珪酸塩質宇宙塵（スフェルール）の計170個余りについて片面研磨片を作製し、EPMA により組織観察及び主要元素組成分析を行った。その結果、非熔融 AMM のおよそ90%が層状珪酸塩が加熱により分解して形成されたと思われる細粒のかんらん石、輝石、磁鉄鉱から成る細粒部分により主に構成されていた。このことはこれらの AMM が CI, CM, CR コンドライト母天体のような、水質変成を受けた母天体を起源としていることを示唆する。また、非熔融 AMM とスフェールの化学組成を Ca/Si と Al/Si 比について比較してみると、非熔融 AMM の大部分の Ca/Si 比が太陽組成比より低いものに対して、スフェールのおよそ半分が太陽組成比の周辺に分布していることが分かった（表1）。Ca と Al は共に難揮発性元素で、大気圏突入時の加熱によりこの元素比が変化しないと考えられるので、この傾向はこれらのスフェールの前駆物質は非熔融の宇宙塵とは異なることを示唆する。次に、これらの非熔融 AMM とスフェールの中に見られる輝石とかんらん石について、九州大学理学部に新たに導入された2次イオン質量分析計CAMCA社製IMS 6f により酸素同位体の分析を行った。結果は表2に示すとおり、地球分岐線より低く、また炭素質コンドライトの無水鉱物のラインよりは若干高い領域にプロットされ、Engrand et al. (1999)による AMM の酸素同位体分析とよく似た結果となった。これらの値は炭素質コンドライトの鉱物の分布とほぼ重なり、元素組成分析の結果と矛盾しない。

表 1

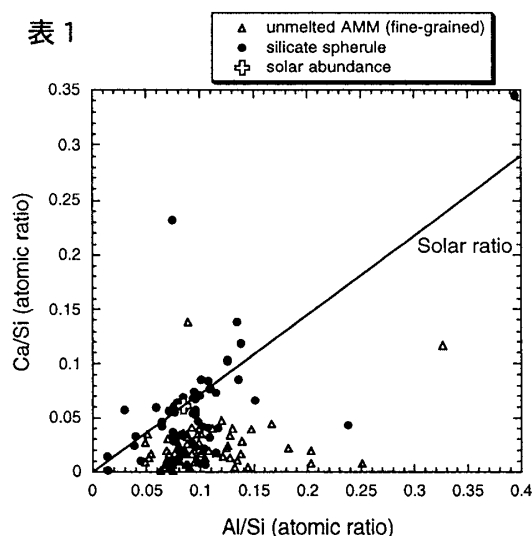
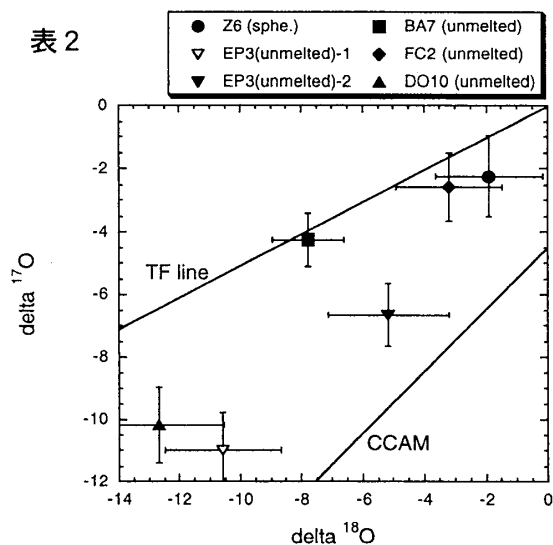


表 2

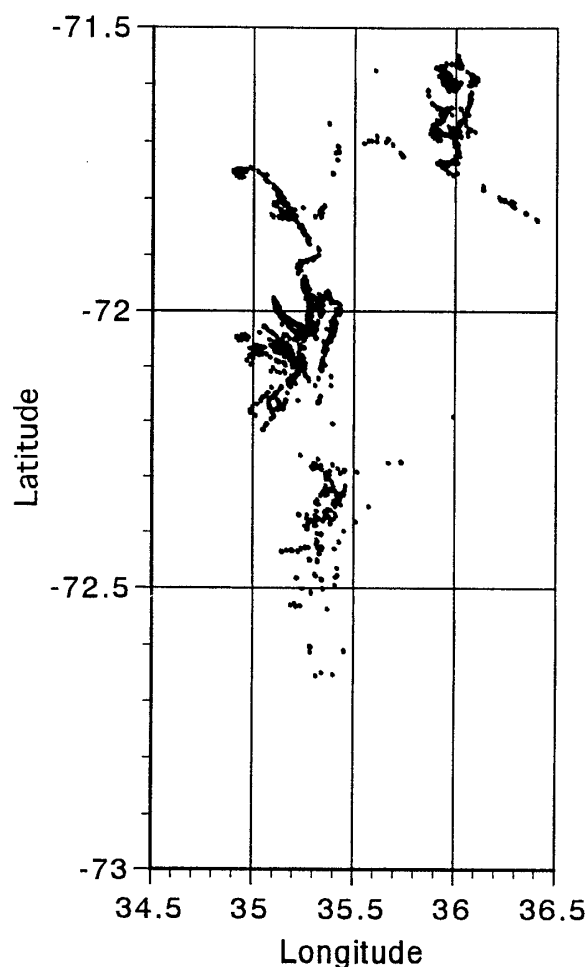


Yamato 98隕石の分布について

Distribution features of Yamato 98 meteorites

○小島秀康、海田博司（国立極地研究所）、矢田達（九大理学府）

Meteorite search party of the 39th Japanese Antarctic Research Expedition (JARE) have collected 4180 meteorites in bare ice fields around the Yamato Mountains and the Belgica Mountains from November 1998 to January 1999. Positions of all 4180 meteorites were recorded by Global Positioning System (GPS). Three meteorite concentrated fields are distinguished; around the JARE IV Nunataks, around the Minami Yamato Nunataks, and northern field of the Minami Yamato Nunataks from plots of the position all meteorites. 1800 meteorites were collected around the Minami Yamato Nunataks. 1000 meteorites were collected in northern field of the Minami Yamato Nunataks. 1000 meteorites were collected around the JARE IV Nunataks. Four meteorite showers are identified by field occurrences and petrographic features of meteorites.



第39次南極地域観測隊はやまと山脈及びベルジカ山脈周辺の裸氷から4180個の隕石採集に成功した。これらの隕石の採集位置はすべてGPSによって記録した。それらの記録と粗分類の結果から、やまと山脈周辺の裸氷上での全4148個の隕石分布の特徴として、3ヶ所の特に隕石が集中する地域が明らかになった（図）。最も多く集中しているのは南やまとヌナターク周辺で、ここでは1800個の隕石が採集された。また、南やまとヌナターク北部域、JAREVIヌナターク周辺ではそれぞれ1000個の隕石が採集された。また、いくつかの隕石シャワーが明らかになってきた。これらの分布の特徴とこれからの分類の結果から、実際の落下数を明らかにできる可能性が高い。

図 Y98隕石4148個の分布

表紙の図の説明

分厚い金星大気を近赤外線で立体的に透視する探査機の想像図. この図では, 明け方の上空から渦巻く雲や雷や地表面を観察している. 雲海の彼方の白い噴水のようなものは雷雲と電離層をつなぐ放電現象, 金星の縁で水平にたなびいているのはオーロラや上層大気の化学的発光現象(池松均氏による).

日本惑星科学会 2001 年秋季年会実行委員会

実行委員長: 蜷川清隆(岡山理科大学)

実行委員: 水野博(ノートルダム清心女子大)
野瀬重人, 西戸裕嗣, 豊田新
(岡山理科大学)

連絡先: 〒700-0005

岡山市理大町 1-1 岡山理科大学
応用物理学科 蜷川清隆

Phone 086-256-9468

Fax 086-255-7700

E-mail: ninagawa@dap.ous.ac.jp

印刷: (株)三浦印刷所 Phone 086-224-7247

表紙の図の説明

分厚い金星大気を近赤外線で立体的に透視する探査機の想像図. この図では, 明け方の上空から渦巻く雲や雷や地表面を観察している. 雲海の彼方の白い噴水のようなものは雷雲と電離層をつなぐ放電現象, 金星の縁で水平にたなびいているのはオーロラや上層大気の化学的発光現象(池松均氏による).

日本惑星科学会 2001 年秋季年会実行委員会

実行委員長: 蜷川清隆(岡山理科大学)

実行委員: 水野博(ノートルダム清心女子大)
野瀬重人, 西戸裕嗣, 豊田新
(岡山理科大学)

連絡先: 〒700-0005

岡山市理大町 1-1 岡山理科大学
応用物理学科 蜷川清隆

Phone 086-256-9468

Fax 086-255-7700

E-mail: ninagawa@dap.ous.ac.jp

印刷: (株)三浦印刷所 Phone 086-224-7247