日本惑星科学会
秋季講演会予稿集
2008

2008年11月1日(土)～3日(月)

九州大学箱崎キャンパス

主催：日本惑星科学会

２００８年日本惑星科学会秋季講演プログラム

日時　２００８年１１月１日（土）、２日（日）、３日（月）
場所　九州大学箱崎キャンパス
〒812-8581　福岡県福岡市東区箱崎 6-10-1

プログラム概要

１１月１日（土）		
8：15-	受付	文系講義棟 207 室２F
9：00-10：20	１　惑星の形成進化および惑星大気	文系大講義室１F
10：30-12：01	２　最優秀発表賞選考	
14：00-15：00	ポスターセッション　１ (P001-P007, P101-P130)	文系講義棟 305 室３F 文系講義棟 401 室４F
15：10-16：50	３　かぐや最新データから発展する月科学 I	文系大講義室１F
17：00-18：30	４　かぐや最新データから発展する月科学 II	
１１月２日（日）		
8：30-	受付	文系講義棟 207 室２F
9：00-10：30	５　火星と水星の科学	文系大講義室１F
10：40-12：00	６　衝突現象および関連室内実験	
14：00-15：00	ポスターセッション 2　(P201-P233)	文系講義棟 305 室３F 文系講義棟 401 室４F
15：10-16：40	７　始原天体探査および流星と彗星	文系大講義室１F
16：50-17：50	総会	
18：00-18：40	最優秀研究者賞特別講演	
19：00-	懇親会	生協中央食堂１F
１１月３日（月）		
8：30-	受付	文系講義棟 207 室２F
9：00-10：40	８　微惑星と原始惑星	文系大講義室１F
10：50-11：50	９　コンドリュール	
14：00-15：20	１０　原始惑星系円盤　I	
15：35-16：55	１１　原始惑星系円盤　II	

発表者へのお願い

口頭発表は 7 分講演 (ただし最優秀発表賞選考は 10 分講演)、3 分質疑応答です。発表者は時間を厳守下さるようお願いいたします。口頭発表では、液晶 PC プロジェクタ 1 台、OHP プロジェクタ 1 台、書画カメラ 1 台のうち、いずれか 1 台のみご利用いただけます。液晶プロジェクタ使用の際は、ご自分の PC を接続していただきます（会場では PC を用意しません)。OHP プロジェクタ、書画カメラをご利用予定の方は、10 月 24 日（金曜日）17:00 迄に下記までご連絡ください。

〒812-8581　福岡市東区箱崎６－10－１
九州大学　　大学院理学研究院　地球惑星科学部門内　　岡崎隆司
TEL: 092-642-2668, FAX: 092-642-2684
Email: aloc@wakusei.jp

ポスターセッションは張り替え制です。ポスターセッション 1 のポスター（P001-P007, P101-P130）は 1 日 14 時までに掲示し 1 日 19 時までに撤去してください。ポスターセッション 2 のポスター(P201-P233)は 2 日 14 時までに掲示し 2 日 19 時までに撤去してください。
ポスター発表用ポスターボードは、縦 180cm×横 90cm のサイズを予定しています。このサイズに収まるようにポスターをご用意ください。ポスター貼り付け用ピンは会場にて用意しています。

プログラム

氏名右上に*が付けられているのが講演者です。

●11 月 1 日(土)

オーラルセッション 1　(101－108)

惑星の形成および惑星大気　(座長：関谷実，千秋博紀)

9:00　101　地球内外物質の炭素と塩素を含む微細物質の循環

三浦保範* (山口大)

9:10　102　形成期の微惑星降着で獲得する原始ガス惑星 エンベロープの重元素量

堀安範*，生駒大洋，井田茂 (東工大)

9:20　103　原始衛星系円盤への固体物質の供給：周惑星ガス円盤による微惑星捕獲

谷川享行* (東工大)，大槻圭史 (コロラド大)，町田正博 (京大)

9:30　104　金星下層大気の加熱率に対する超回転の依存性

山本勝* (九大)，高橋正明 (東大)

9:40　105　後期隕石重爆撃期に形成されたマグマオーシャン

千秋博紀* (サイバー大)

9:50　106　溶岩チューブを模擬した衝突実験

道上達広* (福島工業高専), 春山純一 (JAXA)

10:00　107　同期回転惑星大気における循環構造

石渡 正樹* (北大), 中島健介 (九大), 森川靖大 (北大), 高橋芳幸 (神戸大), 小高正嗣, 倉本圭 (北大), 林 祥介 (神戸大)

10:10　108　潮の干満は月の引力ではなく，海底隆起によって起こる

佐野雄二* (総合科学研究所)

10:20　休憩

オーラルセッション 2　(109－115)

最優秀発表賞選考 (座長：倉本圭)

10:30　109　火星極冠における大気質量変化が大気運動に与える影響

小郷原一智*, 里村雄彦 (京大)

10:43　110　隕石構成鉱物，水および窒素の衝撃反応による有機分子の生成

古川善博* (東北大), 関根利守 (物質・材料研究機構), 大庭雅寛, 掛川武 (東北大), 中沢弘基 (物質・材料研究機構)

10:56　111　Transitional Disk の偏光モデル

福江翼* (京大), 工藤智幸 (国立天文台), 山本哲生, 木村宏, 小林浩 (北大), ズブコ エブゲニ (東北大), 田村元秀, 神鳥亮, 日下部展彦, 中島康 (国立天文台), 長田哲也 (京大), SIRPOL/HiCIAO チーム (国立天文台)

11:09　112　M型星における中心星近傍領域での惑星集積N体シミュレーション

荻原正博*, 井田茂 (東工大)

11:22　113　磁気回転不安定性の非一様成長の効果による微惑星形成

加藤真理子* (東工大), 藤本正樹 (ISAS/JAXA), 井田茂 (東工大)

11:35　114　ダスト落下を考慮した原始惑星系円盤の固体面密度分布の進化

福井隆*, 田中秀和, 倉本圭 (北大)

11:48　115　月および小惑星表面反射スペクトルによる宇宙風化度・組成推定モデル

二村徳宏* (東大, ISAS/JAXA), 廣井孝弘 (ブラウン大), 安部正真 (ISAS/JAXA), 松永恒雄 (国立環境研究所), 大竹真紀子, 春山純一(ISAS/JAXA), 小川佳子 (国立環境研究所), 横田康弘, 本田親寿, 諸田智克, 岩田隆浩 (ISAS/JAXA), ピータース カーリ (ブラウン大)

12:01　昼食

14:00　ポスターセッション 1

15:00　休憩

オーラルセッション 3　(116－125)

かぐや最新データから発展する月科学 I　(座長：平田成，並木則行)

15:10　116　「かぐや」の現状と月の科学

加藤学*，滝澤悦貞，佐々木進 (JAXA)

15:20　117　SELENE(KAGUYA)搭載地形カメラによるこれまでの成果について

春山純一*，大竹真紀子 (JAXA)，松永恒雄 (国立環境研究所)，LISM ワーキンググループ (LISM ワーキンググループ)

15:30　118　かぐや搭載スペクロルプロファイラによる月面衝突クレーターの連続分光観測と鉱物分布の推定および深部物質への制約

小川佳子*，松永恒雄 (国立環境研究所)，中村良介 (産総研)，大竹真紀子(JAXA)，廣井孝弘 (ブラウン大学)，荒井朋子 (極地研)，佐伯和人 (阪大)，武田弘 (千葉工業大)，杉原孝充 (海洋研究開発機構)，春山純一，横田康弘，本田親寿，諸田智克，鳥居雅也，二村徳宏，安部正真 (JAXA)，児玉信介 (産総研)，平田成，出村裕英，浅田智朗，寺薗淳也 (会津大)

15:40　119　月周回衛星かぐやによる分光データを用いた月初期地殻組成の研究

大竹真紀子* (ISAS/JAXA)，武田弘 (千葉工業大)，荒井朋子 (極地研)，横田康弘 (ISAS/JAXA)，松永恒雄 (国立環境研)，春山純一 (ISAS/JAXA)

15:50　120　かぐや搭載 Multi-band Imager によって明らかになった鏡面反射成分が月クレータ中央丘岩相判別に及ぼす影響

長澤健一*，川邊聖司，佐伯和人 (阪大)，大竹真紀子，横田康弘，春山純一 (JAXA)，松永恒雄 (国立環境研)，本田親寿，諸田智克 (JAXA)

16:00　121　かぐやスペクトルプロファイラ及びマルチバンドイメージャによる月の斜長岩質高地の鉱物探査

荒井朋子* (極地研)，松永恒雄 (国立環境研)，大竹真紀子 (JAXA)，中村良介 (産総研)，小川佳子 (国立環境研)，佐伯和人 (阪大)，廣井孝弘 (ブラウン大)，春山純一，諸田智克，本田親寿，横田康弘 (JAXA)

16:10　122　月地殻深部物質の特徴：かぐや搭載 LISM での観察

杉原孝充* (海洋研究開発機構)，大竹真紀子，春山純一 (JAXA)，松永恒雄 (国立環境研)，平田成，出村裕英 (会津大)，横田康弘，諸田智克，本田親寿 (JAXA)，小川佳子 (国立環境研)

16:20　123　格子法による３次元ジャイアントインパクトシミュレーション

森薗宏太*，阿部豊 (東大)，小久保英一郎 (国立天文台)

16:30　124　かぐや搭載地形カメラによる嵐の大洋の溶岩流の年代決定

諸田智克*，春山純一，大竹真紀子 (JAXA)，松永恒雄 (国立環境研)，横田康弘，本田親寿 (JAXA)，平田成，出村裕英 (会津大)，児玉信介 (産総研)，宮本英昭 (東大)，佐伯和人(阪大)，小川佳子 (国立環境研)，中村良介(産総研)，杉原孝充 (海洋研究開発機構)，荒井朋子 (極地研)

16:40　125　LISM/かぐやデータを用いた月の蛇行谷 Vallis Schroteri の熱浸食説の妥当性の検討結果

本田親寿*，春山純一，大竹真紀子 (JAXA)，松永恒雄 (国立環境研)，宮本英昭 (東大)，諸田智克，横田康弘 (JAXA)，小川佳子 (国立環境研)，出村裕英，平田成 (会津大)

16:50　休憩

オーラルセッション 4　(126－134)

かぐや最新データから発展する月科学 II　(座長：中村良介，小林直樹)

17:00　126　ＬＲＳデータから推定される月西部海域/地下境界面の特徴

押上祥子*，山口靖，望月憲悟 (名大)，山路敦 (京大)，小野高幸，熊本篤志，中川広務 (東北大)，小林敬生 (韓国地質資源研究所)，笠原禎也 (金沢大)

17:10　127　月面重力計を用いた深発月震の月震波解析と震源の再検証

川村太一* (東大，ISAS/JAXA)，田中智，斎藤靖之 (ISAS/JAXA)，小林佑輔 (東大，ISAS/JAXA)，アクセル ハーガマン (オープン大)

17:20　128　かぐや搭載 LALT による地形データおよび RSAT/VRAD ミッションによる重力異常モデルでみる月衝突地形の特徴

石原吉明*，野田寛大，佐々木晶 (国立天文台)，並木則行 (九大)，荒木博志 (国立天文台)，岩田隆浩 (ISAS/JAXA)，杉田精司 (東大)，田澤誠一 (国立天文台)

17:30　129　かぐや搭載 Spectral Profiler による月の多重リングクレーターの組成探査

中村良介* (産総研)，松永恒雄，小川佳子 (国立環境研)，諸田智克，大竹真紀子，本田親寿，春山純一，横田康弘 (JAXA)，佐伯和人 (阪大)，荒井朋子 (極地研)，平田成 (会津大)，廣井孝弘 (ブラウン大)

17:40　130　かぐや LISM による月オリエンターレ衝突盆地の地質マッピングの試み

出村裕英*，平田成，浅田智朗，柴田祐人 (会津大)，佐伯和人 (阪大)，杉原孝充 (海洋研究開発機構)，横田康弘，諸田智克，本田親寿，鳥居雅也(JAXA)，小川 佳子，松永恒雄 (国立環境研)，大竹真紀子，春山純一(JAXA)

17:50　131　月周回衛星「かぐや」に搭載された電子分析器（MAP-PACE-ESA）による月の磁気異常測定

山本忠輝* (東大)，斎藤義文，横田勝一郎，浅村和史 (ISAS/JAXA)，田中孝明 (東大，ISAS/JAXA)，西野真木 (ISAS/JAXA)，綱川秀夫，寺沢敏夫 (東工大)，かぐや MAP LMAG TEAM，かぐや MAP PACE TEAM (かぐや MAP)

18:00　132　かぐや電波科学による月電離層の観測

今村剛*，岩田隆浩，山本善一，望月奈々子 (JAXA)，河野裕介，松本晃治，劉慶会，野田寛大，花田英夫 (国立天文台)，二穴喜文 (スウェーデン宇宙物理研究所)，小山孝一郎 (台湾国立中央研究所)，ナバトフ アレキサンダー (ウクライナ科学アカデミー)，齊藤昭則 (京大)，安藤紘基 (東大)

18:10　133　「かぐや(SELENE)」の定常運用およびデータ処理成果

星野宏和*，祖父江真一，加藤學，滝澤悦貞 (JAXA)

18:20　134　IPDAにおける月惑星探査データの相互運用

山本幸生*，篠原育，安部正真，祖父江真一 (JAXA)，寺薗淳也 (会津大)，笠羽康正 (東北大)

18:30　1日目終了

●11月2日(日)

オーラルセッション5　(201−209)

火星と水星の科学　(座長：佐伯和人，岡田達明)

9:00　201　火星大気における渦を伴う鉛直対流の三次元数値計算

小高正嗣*，山下達也 (北大)，杉山耕一朗 (国立天文台)，中島健介 (九大)，石渡正樹 (北大)，林祥介 (神戸大)

9:10　202　大気主成分の凝結を考慮した二次元雲対流モデルによる火星大気の数値計算

山下達也*，小高正嗣 (北大)，杉山耕一朗 (国立天文台)，中島健介 (九大)，石渡正樹 (北大)，林祥介 (神戸大)

9:20　203　無人観測飛行機による火山観測 -火星探査ツールとなるか-

佐伯和人* (阪大)

9:30　204　衝突起源の渦輪と地表との相互作用は火星クレーターのエジェクタ地形を作れるか？

鈴木絢子*，栗田敬 (東大)，バラトゥ ダヴィッド (トゥールーズ第三大)

9:40　205　シャーゴッタイト火星隕石の鉱物学的特徴と化学的特徴の関係

三河内岳*，栗原大地，佐竹渉 (東大)，マッケイ ゴードン (NASA/JSC)

9:50　206　巨大天体衝突による水星の起源について

玄田英典* (東工大)，小久保英一郎 (国立天文台)，井田茂 (東工大)

10:00　207　火星の常時自由振動

小林直樹* (東工大)，須田直樹 (広島大)，西田究 (東大)

10:10　208　日本の次期火星探査計画：オービターのサイエンス

佐藤毅彦*，今村剛，松岡彩子 (JAXA)，寺田直樹 (情報通信機構)，関華奈子 (名大)，上野宗孝 (東大)，尾川順子 (JAXA)

10:20　209　日本の次期火星探査計画：ランダーのサイエンス

岡田達明* (JAXA)，出村裕英 (会津大)，杉田精司，栗田敬 (東大)，小林直樹 (東工大)，橘省吾 (東大)，久保田孝 (JAXA)

10:30　休憩

オーラルセッション 6　(210－217)

衝突現象および関連室内実験　(座長：中村昭子，山本聡)

10:40　210　レーザー加速弾丸の岩石への高速衝突によるエジェクタの観察

中村昭子* (神戸大)，門野敏彦 (阪大)，竹内拓，高澤晋，町井渚，瀬藤真人 (神戸大)，荒川政彦 (名大)，大野宗祐 (岡山大)，弘中陽一郎，大谷一人，境家達弘，藤原隆史，寶田圭司，藤岡慎介，佐野孝好，重森啓介 (阪大)

10:50　211　石膏球の衝突破壊に関する実験的研究：ラブルパイル天体形成との関連

岡本千里*，荒川政彦 (名大)

11:00　212　衝突過程への遠心力の効果に関する実験的研究：回転する焼結体への衝突破壊実験

山下靖幸*，中村昭子 (神戸大)

11:10　213　シリカ微粒子集合体へのミリメートルサイズガラス粒子の衝突実験

町井渚*，中村昭子 (神戸大)

11:20　214　クレーター形成過程のその場観測２：衝突角度依存性

山本聡*，杉田精司，松井孝典 (東大)

11:30　215　ラブルパイル模擬天体への衝突反対点粒子速度測定実験

瀬藤真人*，中村昭子，山下靖幸 (神戸大)，ミッシェル パトリック (コートダジュール天文台)

11:40　216　高速度衝突蒸発現象の発光分光観測:シリケイト蒸気の発生

黒澤耕介*，杉田精司 (東大)，門野敏彦 (阪大)，関根 康人 (東大)，弘中陽一郎，大谷一人，佐野孝好，境家達弘，藤原隆史，寶田圭司，城下明之，宮西宏併，尾崎典雅，藤岡慎介，重森啓介 (阪大)，大野宗祐 (岡山大)，橘省吾 (東大)

11:50　217　発光輝線形状解析によるレーザー生成蒸気雲の圧力測定

横山聖典*，黒澤耕介，杉田精司，松井孝典 (東大)

12:00　昼食

14:00　ポスターセッション 2

15:00　休憩

オーラルセッション 7　(218－226)

始原天体探査および流星と彗星　(座長：高木靖彦，春日敏測)

15:10　218　惑星物質試料受入設備の機能と性能

藤村彰夫*，矢田達，安部正真，田中智 (ISAS/JAXA，JAXA 月惑星探査プログラムグループ)，惑星物質試料受入設備検討委員会 (ISAS/JAXA)

15:20　219　はやぶさ後継ミッションの進捗状況について

吉川真*，はやぶさ２プリ プロジェクトチーム，小天体探査 ワーキンググループ (JAXA)

15:30　220　はやぶさ後継ミッションの科学目標および搭載機器

高木靖彦* (愛知東邦大)，安部正真，はやぶさ２プリ プロジェクトチーム，小天体探査 ワーキンググループ (JAXA)

15:40　221　17P/Holmes の偏光分光および偏光撮像観測

古荘玲子* (国立天文台)，新井彰，植村誠，川端弘治，笹田真人，山下卓也，大杉節 (広島大)，佐藤修二，木野勝 (広島大)，加藤英行 (明星大)，渡部潤一 (国立天文台)

15:50　222　アウトバーストによるホームズ彗星のダスト放出

猿楽祐樹* (東大)，石黒正晃 (ソウル大)，上野宗孝 (東大)

16:00　223　シュヴァスマン－ヴァハマン第３彗星と百武彗星の分裂現象

石黒正晃* (ソウル大)，猿楽祐樹 (東大)，臼井文彦 (ISAS/JAXA)，上野宗孝 (東大)

16:10　224　惑星間塵中の有機物と生命の起源：国際宇宙ステーション暴露部での捕集計画

小林憲正*，伏見英彦，藤崎健太，谷内俊範，金子竹男 (横浜国立大)，三田肇 (福岡工業大)，山岸明彦 (東京薬科大)，たんぽぽ ワーキンググループ (JAXA)

16:20　225　ふたご座流星群母天体における分裂/崩壊現象の可能性

春日敏測* (国立天文台)，ジェウィット　デイビッド (ハワイ大)

16:30　226　2007 ふたご座流星群による月面衝突閃光

柳澤正久*，池上裕美 (電気通信大)，石田正行 (滋賀県守山市)，唐崎秀芳 (東京都練馬区)，阿部新助，高橋隼，木下克之 (神戸大)，大西浩次 (長野高専)

16:40　休憩

16:50　総会

17:50　休憩

最優秀研究者賞特別講演　(座長：荒川政彦)

18:00　227　円盤散逸と永年共鳴

長沢真樹子* (東工大)

18:40　2 日目セッション終了

19:00　懇親会

●11 月 3 日(月)

オーラルセッション 8　(301－310)

微惑星と原始惑星　(座長：長沢真樹子，癸生川陽子)

9:00　301　非常に最近分裂した小惑星(1270)Datura の自転位相ごとの反射スペクトル

高遠徳尚* (国立天文台)

9:10　302　未分類 C2 コンドライト WIS91600 隕石が経験した母天体変成過程の有機化学的研究

薮田ひかる* (阪大, カーネギー研究所), アレクサンダー コーネル, フォーグル マリリン, コーディ ジョージ (カーネギー研究所)

9:20　303　近接場赤外分光法を用いた炭素質コンドライト中有機物の空間分布

癸生川陽子*，中嶋悟 (阪大)，中村メッセンジャー 圭子，ゾレンスキー マイケル (NASA/JSC)

9:30　304　あかり衛星による準惑星エリスの遠赤外線測光観測

関口朋彦* (北海道教育大), 大坪貴文, 長谷川直 (ISAS/JAXA), 上野宗孝 (東大), 臼井文彦 (ISAS/JAXA), 石黒正晃 (ソウル大)，松浦周二，白旗麻衣 (ISAS/JAXA)，向井正 (神戸大)

9:40　305　小惑星ベスタの地殻発達史

山口亮* (極地研)

9:50　306　微惑星との相互作用による惑星移動の素過程

高橋啓介* (名大)，小林浩 (北大)，渡邊誠一郎 (名大)

10:00　307　惑星散乱と潮汐力による高離心率の短周期惑星の形成

長沢真樹子*，井田茂 (東工大)

10:10　308　ガスの効果を入れた地球型惑星集積の高精度 N 体計算

森島龍司*，シュミット マックス (スイス工科大)，スタッデル ヨアキム，ムーア ベン (チューリッヒ大)

10:20　309　氷・シリカ微粒子混合物の圧密実験と氷小天体の密度進化への応用

保井みなみ*，荒川政彦 (名大)

10:30　310　海王星トロヤ群の起源と軌道進化

ソフィア　リカフィカ パトリック* (神戸大)，ホーナー ジョナサン (オープン大)，向井正 (神戸大)，ジョーンズ バリー (オープン大)

10:40　休憩

オーラルセッション 9　(311－316)

コンドリュール　(座長：三浦均，上椙真之)

10:50　311　再現実験と天然コンドリュールの観察から得られたコンドリュール中の空隙の成因

岡真由美*，上椙真之，土山明 (阪大)

11:00　312　コンドリュール形成時の金属鉄ー珪酸塩メルトの分離過程

上椙真之*，佐伯和人，岡真由美，土`山明 (阪大)

11:10　313　エンスタタイトの液体ー結晶間の界面エネルギーの導出：エンスタタイトコンドリュールの結晶化過程

田中今日子*，山本哲生 (北大)，長嶋剣 (阪大)，塚本勝男 (東北大)

11:20　314　リム付きコンドリュールの衝突付着と跳ね返りに関する実験的研究

内山陽一朗*，荒川政彦 (名大)

11:30　315　複合コンドリュール形成のための衝突条件 II:形状保持条件

保田誠司* (筑波大，東工大)，中本泰史 (東工大)

11:40　316　コンドリュールに見られる棒状凝固組織の再現：フェーズフィールド法に基づく数値実験

三浦均* (東北大)，横山悦郎 (学習院大)，塚本勝男 (東北大)，長嶋剣 (阪大)

11:50　昼食

オーラルセッション 10　(317ー324)

原始惑星系円盤　I　(座長：本田充彦，脇田茂)

14:00　317　HD142527 原始惑星系円盤表層における水氷ダストの検出

本田充彦* (神奈川大)，井上昭雄 (大阪産業大)，岡明憲，中本泰史 (東工大)，深川美里 (阪大)，石井未来，寺田宏，高遠徳尚 (ハワイ観測所)，河北秀世 (京都産業大)，岡本美子 (茨城大)

14:10　318　星周フォルステライトダストの形状変化に関する実験的研究

瀧川晶*，橘省吾，永原裕子，小澤一仁 (東大)

14:20　319　赤外吸収におけるフォルステライト微粒子の形状効果

今井悠太*，小池千代枝，茅原弘毅，村田敬介，土`山明 (阪大)，野口高明 (茨城大)

14:30　320　原始惑星系円盤におけるスノーラインの進化：氷ダスト粒子による光吸収の影響

岡明憲*，中本泰史，生駒大洋，井田茂 (東工大)

14:40　321　原始惑星系円盤における金属鉄の非平衡凝縮カイネティクス

野村龍一*，永原裕子，橘省吾 (東大)

14:50　322　３次元ダストアグリゲイトの焼結分裂

城野信一* (名大)

15:00　323　焼結分裂領域に流入するダストアグリゲイトのサイズ分布

杉野巧*，城野信一 (名大)

15:10　324　氷ダストアグリゲイトの昇華による微惑星形成

斎藤悦子* (名大)

15:20　休憩

オーラルセッション 11　(325−332)

原始惑星系円盤　II　(座長：和田浩二，小林浩)

15:35　325　合体成長過程におけるダスト構造進化の数値計算：斜め衝突の効果

陶山徹*，和田浩二，田中秀和 (北大)

15:45　326　衝突によるダストの破壊と成長

和田浩二*，田中秀和，陶山徹，木村宏，山本哲生 (北大)

15:55　327　ダスト合体成長による微惑星形成と惑星集積の初期条件

田中秀和*，小林浩，和田浩二，陶山徹 (北大)

16:05　328　原始惑星系円盤内の渦におけるダストのサイズ分布

河村恵里*，渡邊誠一郎 (名大)

16:15　329　デブリ円盤における衝突の効果

小林浩*，田中秀和，山本哲生 (北大)

16:25　330　断熱ディスク内でのタイプ I 惑星移動

山田耕*，稲葉知士 (早稲田大)

16:35　331　微惑星円盤内での連星形成　I，等質量微惑星円盤

台坂淳子*，牧野淳一郎 (国立天文台)，台坂博 (一橋大)

16:45　332　極低温表面原子反応 O2+H による水分子生成　ーアモルファス氷の触媒効果ー

大場康弘*，宮内直弥，千貝健，日高宏，渡部直樹，香内晃 (北大)

16:55　3 日目終了

●ポスターセッション 1　11 月 1 日（土）　14:00 – 15:00

(最優秀発表賞選考エントリーポスター)

P001　火星極冠における大気質量変 が大気運動に与える影響

小郷原一智*，里村雄彦 (京大)

P002　隕石構成鉱物，水および窒素の衝撃反応による有機分子の生成

古川善博*(東北大)，関根利守 (物質・材料研究機構)，大庭雅寛，掛川武 (東北大)，中沢弘基 (物質・材料研究機構)

P003　Transitional Disk の偏光モデル

福江翼* (京大)，工藤智幸 (国立天文台)，山本哲生，木村宏，小林浩 (北大)，ズブコ エブゲニ (東北大)，田村元秀，神鳥亮，日下部展彦，中島康 (国立天文台)，長田哲也 (京大)，SIRPOL/HiCIAO チーム (国立天文台)

P004　M型星における中心星近傍領域での惑星集積N体シミュレーション

荻原正博*，井田茂 (東工大)

P005　磁気回転不安定性の非一様成長の効果による微惑星形成

加藤真理子* (東工大)，藤本正樹 (ISAS/JAXA)，井田茂 (東工大)

P006　ダスト落下を考慮した原始惑星系円盤の固体面密度分布の進化

福井隆*，田中秀和，倉本圭 (北大)

P007　月および小惑星表面反射スペクトルによる宇宙風化度・組成推定モデル

二村徳宏*　(東大，ISAS/JAXA)，廣井孝弘　(ブラウン大)，安部正真　(ISAS/JAXA)，松永恒雄　(国立環境研究所)，大竹真紀子，春山純一(ISAS/JAXA)，小川佳子　(国立環境研究所)，横田康弘，本田親寿，諸田智克，岩田隆浩(ISAS/JAXA)，ピータース カーリ　(ブラウン大)

（ポスター：一般）

P101　アモルファスシリケイトの低温結晶化過程

田中今日子*，山本哲生 (北大)

P102　anhydrous IDPs に存在する Enstatite Whiskers の形成環境

山田 淳也*，塚本勝男，小畠秀和，三浦均 (東北大)，長嶋剣 (阪大)

P103　非晶質シリケイトから結晶化させたエンスタタイトの遠赤外ピークの挙動

村田敬介*，茅原弘毅，小池千代枝，今井悠太，土山明 (阪大)

P104　LIME オリビンの赤外線吸収スペクトル

安藤健人* (阪大)

P105　ダスト循環モデルによる原始惑星系円盤内縁領域でのダストの動径方向移動

藤原大輔*，渡邊誠一郎 (名大)

P106　星雲衝撃波に伴う過飽和珪酸塩ダスト蒸気の生成：凝縮物のサイズと形態の多様性

三浦均* (東北大)，田中今日子，山本哲生(北大)，中本泰史 (東工大)，野澤純，塚本勝男，山田淳也 (東北大)

P107　衝突電離型宇宙塵計測機器の開発

柴田裕実* (京大)，大橋英雄，平井隆之 (東京海洋大)，佐々木晶 (国立天文台)，野上謙一 (獨協医科大学)，藤井雅之 ((株)ファムサイエンス)，岩井岳夫，尾亦孝男 (東大)，グリュン エバハルト，スラマ ラルフ (MPI)

P108　宇宙は地球を中心に原子型とダルマ型の二重構造をしている（予稿無し）

佐野雄二* (総合科学研究所)

P109　宇宙の始まり，宇宙の出産（予稿無し）

佐野雄二* (総合科学研究所)

P110　海王星以遠天体の長期軌道進化:断続的な平均運動共鳴捕獲の効果

ソフィア　リカフィカ パトリック*，向井正 (神戸大)

P111　若い小惑星 832 Karin の光度曲線と形状

伊藤孝士*，吉田二美 (国立天文台)，ジョセフ デュレク (チャールズ大)

P112　木星トロヤ群小惑星のサイズ分布から探る太陽系史

吉田二美* (国立天文台)，中村士 (帝京平成大学)

P113　はやぶさ 2 探査ターゲット (162173) 1999JU3 はどんな小惑星か？

川上恭子* (東大，JAXA)，安部正真，長谷川直 (JAXA)，黒田大介 (国立天文台)，吉川真 (JAXA)，春日敏測 (国立天文台)，北里宏平 (神戸大)，猿楽祐樹 (東大)，木下大輔 (國立中央大)，宮坂正大 (東京都庁)，浦川聖太郎，奥村真一郎 (日本スペースガード協会)，高木靖彦 (愛知東邦大学)，フェイス バイラス (MMT)，ポール ワイスマン，ヨンジュン チョイ (JPL)，アラン トクナガ，ショルティ バス (ハワイ大)，スティーブ ラーソン (アリゾナ大)，トーマス ミュラー (MPI)

P114　小惑星の自転周期と太陽の自転周期との共鳴関係を示す音楽情報モデルと数理モデルについて

林大雅*，林佐千男 (長構造研究会)，田中敏幸 (慶應義塾大)

P115　あかり衛星による黄道光放射の中間赤外線分光観測

大坪貴文* (ISAS/JAXA)，上野宗孝 (東大)，石黒正晃 (ソウル大)，臼井文彦 (ISAS/JAXA)，向井正 (神戸大)

P116　南極やまと HED 隕石中 26Al 含有量と 26Al 生成率の関係

楠野葉瑠香*，福岡孝昭 (立正大)，松崎浩之 (東大)，小島秀康 (極地研)

P117　Ningqiang 炭素質コンドライトの希ガス組成に基づいたプレソーラー粒子の存在度

山本征生* (東大)，中村智樹，岡崎隆司 (九大)，長尾敬介 (東大)

P118　Yamato-74442 (LL4) 中に含まれるアルカリ元素に富む岩片の形成機構

横山立憲* (総研大)，三澤啓司 (極地研)

P119　炭素質コンドライトにおけるクロム同位体異常

藤谷渉*，杉浦直治，高畑直人 (東大)

P120　非晶質珪酸塩の水質変成実験:非晶質珪酸塩の化学組成がその水質変成過程に与える影響

野口遼*，村田敬介，土`山明 (阪大)

P121　イトカワの岩塊に見られる高輝度スポット：形態の分類と岩塊のサイズ分布

竹内洋人*，宮本英昭，奥元良 (東大)

P122　高解像度画像を用いた小惑星イトカワ・エロス表層のボルダーサイズ頻度分布

奥元良*，宮本英昭，竹内洋人 (東大)

P123　高出力レーザーによる弾丸飛翔体加速：秒速１０ｋｍ以上での衝突による LiF の蒸発

門野敏彦*，重森啓介，弘中陽一郎，大谷一人，佐野孝好，境家達弘，藤原隆史，寶田圭司，城下明之，藤岡慎介，宮西宏併，尾崎典雅 (阪大)，黒澤耕介，杉田精司，松井孝典 (東大)

P124　氷ードライアイス２相系の塑性流動実験

久保友明*，梶原由美 (九大)，ダーハム ウイリアム (マサチューセッツ工科大)，加藤工 (九大)

P125　衝突クレーターリングの SPH シミュレーション:岩石強度モデルの効果

高田淑子*，伊藤友美 (宮城教育大)

P126　宇宙における氷およびハイドレートの強誘電性に関する研究

深澤裕* (日本原子力研究開発機構)，星川晃範 (茨城大)，チャコウマコフ ブライアン，フェルナンデスベイカ ハイミ (オークリッジ国立研究所)

P127　N体シミュレーションによる，微惑星集積段階での微惑星スピン及び地球型惑星スピンについて（予稿無し）

松倉大士* (東工大)

P128　レーザー加速弾丸を用いた高速度衝突クレーター形成実験

荒川政彦*，土肥弘嗣 (名大)，中村昭子 (神戸大)，門野敏彦，弘中陽一郎，大谷一人，佐野孝好，境家達弘，藤原隆史,寶田圭司，藤岡慎介，重森啓介 (阪大)

P129　宇宙における強誘電体氷の存在と構造推定 -赤外分光法及び中性子回折実験を用いて-

荒川雅* (東大，日本原子力研究開発機構)，深澤裕 (日本原子力研究開発機構)，鍵裕之 (東大)

P130　高軌道傾斜角の微小メインベルト小惑星を対象とした高黄緯広域サーベイ

寺居剛*，伊藤洋一 (神戸大)

●ポスターセッション 2　11 月 2 日（日）　14:00 – 15:00

P201　月重力場観測のための小型衛星「おきな」「おうな」の軌道上特性

岩田隆浩* (ISAS/JAXA)，並木 則行 (九大)，花田英夫 (国立天文台)，今村剛 (ISAS/JAXA)，野田寛大，松本晃治，石原吉明，鶴田誠逸，菊池冬彦，劉慶会，河野宣之 (国立天文台)，南野浩之，佐々木健，小川美奈 (JAXA)

P202　月探査計画かぐやにおける相対 VLBI 観測ミッション

菊池冬彦* (国立天文台)

P203　かぐや (SELENE) の子衛星の高精度位置決定 : 多周波数同一ビーム法に基づく相対 VLBI 観測

菊池冬彦，劉慶会，花田英夫，河野宣之，松本晃治 (国立天文台)，岩田隆浩 (ISAS/JAXA)，ホーセンス サンダー，浅利一善，石原吉明，鶴田誠逸，石川利昭，野田寛大 (国立天文台)，並木則行 (九大)，ペトロバ ナタリア (カザン州立大)，原田雄司* (国立天文台)，平勁松 (中国科学院)，佐々木晶 (国立天文台)

P204　月裏側重力場計測にもとづく内部構造の推定

並木則行* (九大)，岩田隆浩 (ISAS/JAXA)，松本晃治，花田英夫，野田寛大，ホーセンス サンダー (国立天文台)，小川美奈 (ISAS/JAXA)，河野宣之，浅利一善，鶴田誠逸，石原吉明，劉慶会，菊池冬彦，石川利昭，佐々木晶 (国立天文台)，青島千晶 (富士通)，杉田清司 (東大)，高野忠 (日本大)，黒澤耕介 (東大)，松村瑞秀 (ISAS/JAXA)，横山聖典，鎌田俊一 (東大)，久保公央，佐藤麻里，森朝子 (九大)

P205　「かぐや」における局所重力加速度データによる月の裏側の高分解能重力場解析

松村瑞秀* (東大), 岩田隆浩 (ISAS/JAXA), 松本晃治 (国立天文台), 菅野貴之 (東大), 並木則行 (九大), 石原吉明, フーセンス サンダー (国立天文台)

P206　かぐや搭載 LALT による月大規模衝突地形の探索

野田寛大*, 石原吉明 (国立天文台), 並木則行 (九大), 杉田精司 (東大), 岩田隆浩 (JAXA), 荒木博志, 佐々木晶, 田澤誠一 (国立天文台)

P207　レーダーサウンダデータのマイグレーション処理の試み

渡辺志穂*, 渡辺俊樹, 押上祥子, 望月憲悟, 山口靖 (名大), 山路敦 (京大), 小野高幸, 熊本篤志, 中川広務 (東北大), 小林敬生 (韓国地質資源研究院), 笠原禎也 (金沢大)

P208　アポロ月震データの再解析：バンドパスフィルタ処理によるイベント検出の試み

小林佑輔* (東大, ISAS/JAXA), 田中智, 斎藤靖之 (ISAS/JAXA), 川村太一 (東大, ISAS/JAXA), ハーガマン アクセル (オープン大), 小林直樹 (東工大)

P209　SELENE(KAGUYA) 搭載地形カメラによって明らかにされた月の裏側の海の活動史

春山純一*, 大竹真紀子 (JAXA), 松永恒雄 (国立環境研), 諸田智克, 本田親寿, 横田康弘, 安部正真 (JAXA), 小川佳子 (国立環境研), 宮本英昭, 岩崎晃 (東大), ピータース カーリ (ブラウン大), 浅田智朗, 出村裕英, 平田成, 寺薗淳也 (会津大), 佐々木晶 (国立天文台), 佐伯和人 (阪大), 山路敦 (京大), ジョセ ジャン=リュック (スイス宇宙探査研究所)

P210　月周回衛星かぐや搭載マルチバンドイメージャによる初期成果

大竹真紀子*, 横田康弘 (ISAS/JAXA), 杉原孝充 (海洋研究開発機構), 廣井孝弘 (ブラウン大), 平田成, 出村裕英 (会津大), 諸田智克, 本田親寿 (ISAS/JAXA), 小川佳子, 松永恒雄 (国立環境研), 春山純一, LISM ワーキンググループ (ISAS/JAXA)

P211　月周回衛星かぐや搭載マルチバンドイメージャデータの輝度校正・幾何補正

大竹真紀子*, 横田康弘 (ISAS/JAXA), 松永恒雄 (国立環境研), 春山純一 (ISAS/JAXA)

P212　かぐやマルチバンドイメージャの測光補正：位相角補正と地形傾斜補正の波長依存性検討

横田康弘*, 大竹真紀子 (JAXA), 松永恒雄 (国立環境研), 春山純一 (JAXA), 小川佳子 (国立環境研), 本田親寿, 諸田智克(JAXA), 北里宏平 (神戸大), 佐伯和人, 川邊聖司, 長澤健一 (阪大), 中村良介 (産総研)

P213　かぐや搭載スペクロルプロファイラによる swirl 構造の連続分光観測と鉱物分布の推定および成因への制約

小川佳子*, 松永恒雄 (国立環境研), 春山純一 (JAXA), 中村良介 (産総研), 大竹真紀子 (JAXA), 廣井孝弘 (ブラウン大), 荒井朋子 (極地研), 佐伯和人 (阪大), 横田康弘, 本田親寿, 諸田智克, 鳥居雅也, 二村徳宏, 安部正真 (JAXA)

P214　かぐや搭載 Spectral Profiler を用いた月の玄武岩溶岩流の吸収波長シフトの検出

佐伯和人*, 川邊聖司, 長澤健一 (阪大), 荒井朋子 (極地研), 児玉信介 (産総研), 松永恒雄 (国立環境研), 中村良介 (産総研), 廣井孝弘 (ブラウン大), 小川佳子 (国立環境研), 大竹真紀子, 春山純一,

横田康弘，本田親寿，諸田智克 (JAXA)

P215　月の 20km クレータ Giordano Bruno：かぐや搭載地形カメラによる 1178 年形成仮説の検証

諸田智克*，春山純一，本田親寿，大竹真紀子，横田康弘 (JAXA)，松永恒雄 (国立環境研)，平田成，出村裕英 (会津大)，武田弘 (千葉工大)，小川佳子 (国立環境研)，二村 徳宏，安部正真 (JAXA)，廣井孝弘 (ブラウン大)

P216　LISM で見る月クレーターエジェクタの分布

平田成*，出村裕英，浅田智朗 (会津大)，宮本英昭(東大)，杉原孝充 (海洋研究開発機構)，横田康弘，諸田智克，本田親寿 (JAXA)，小川佳子 (国立環境研)，大竹真紀子 (JAXA)，松永恒雄 (国立環境研)，春山純一 (JAXA)

P217　ＳＥＬＥＮＥ／ＭＩを用いた月の海の岩相マッピング

奥野信也* (名大)，児玉信介 (産総研)，山口靖 (名大)，大竹真紀子，春山純一 (JAXA)，松永恒雄 (国立環境研)

P218　かぐやスペクトルプロファイラ及びマルチバンドイメージャによる月の非玄武岩質火山活動探査

荒井朋子* (極地研)，松永恒雄 (国立環境研)，大竹真紀子 (JAXA)，中村良介 (産総研)，小川佳子 (国立環境研)，佐伯和人 (阪大)，廣井孝弘 (ブラウン大)，春山純一，諸田智克，本田親寿，横田康弘 (JAXA)

P219　かぐや TC/MI データに基づく画像分類のための統計的特徴量抽出

柴田祐人*，斉藤亮祐，出村裕英，平田成，浅田智朗 (会津大)，横田康弘，諸田智克，本田親寿，鳥居雅也 (JAXA)，小川佳子，松永恒雄 (国立環境研)，大竹真紀子，春山純一 (JAXA)

P220　LISM 運用管理アプリケーションの開発と成果

菊地正太*，平田成，出村裕英，寺薗淳也，浅田智朗 (会津大)，横田康弘，諸田智克，本田親寿，鳥居雅也 (JAXA)，小川佳子，松永恒雄 (国立環境研)，大竹真紀子，春山純一 (JAXA)

P221　かぐや（SELENE）搭載ハイビジョンカメラによる月表層の科学ー新しい観測結果と解析支援環境ー

本田理恵* (高知大)，山崎順一，三橋政次 (日本放送協会)，太刀野順一 (NHK エンジニアリングサービス)，白尾元理 (惑星地質研究会)

P222　初等・中等教育における授業中の天体観察のための天体ライブ配信システムの構築

千島拓朗(気仙沼市立松岩中学校)，齋藤弘一郎*，高田淑子(宮城教育大)，木村雄太，鈴木雄太 (宮城教育大卒)，三浦宏明，伊藤友美，桑原永介 (宮城教育大)，星空観察ネット勉強会

P223　月探査データを用いた GIS ベース協働環境システムの構築

寺薗淳也*，浅田智朗，出村裕英，平田成(会津大)，佐伯和人 (阪大)，岩崎晃 (東大)，岡隆一，林隆史，鈴木大郎 (会津大)，宮本英昭(東大)，春山純一，大竹真紀子 (JAXA)，松永恒雄 (国立環境研)，サハシュ バーラ (会津大)

P224　XML をベースとした月・惑星科学共通データフォーマットの考え方

寺薗淳也* (会津大)，山本幸生，篠原育，安部正真，祖父江真一 (JAXA)，笠羽康正 (東北大)

P225　月は地球の母だった

佐野雄二* (総合科学研究所)

P226　月は超電導体として，磁界レールの軌道を回っている（予稿無し）

佐野雄二* (総合科学研究所)

P227　火星における表層質量荷重による真の極移動：タルシス地域の進化に与える示唆

原田雄司* (国立天文台)

P228　火星の表層環境を時間変化する模様から知る

豊田丈典*，川口康太，栗田敬 (東大，地震研究所)

P229　国際共同木星探査計画

佐々木晶* (国立天文台)，藤本正樹，木村淳，高島健 (ISAS/JAXA)，笠羽康正 (東北大)，山路敦 (京大)，長沼毅 (広島大)，桜庭中 (東大)，高橋幸弘 (東北大)，栗田敬(東大)，生駒大洋 (東工大)

P230　火星のナクトンバリス周辺地域の谷地形の同定によって明らかにされた谷密度と地形の傾斜の相関

山口優夢*，宮本英昭　(東大)

P231　土星衛星イアペタスのアルベド二分性とその時間変化

森戸久貴* (東大，ISAS/JAXA)，木村淳，諸田智克，本田親寿 (ISAS/JAXA)，川村太一，小林佑輔 (東大，ISAS/JAXA)，岡田達明 (ISAS/JAXA)

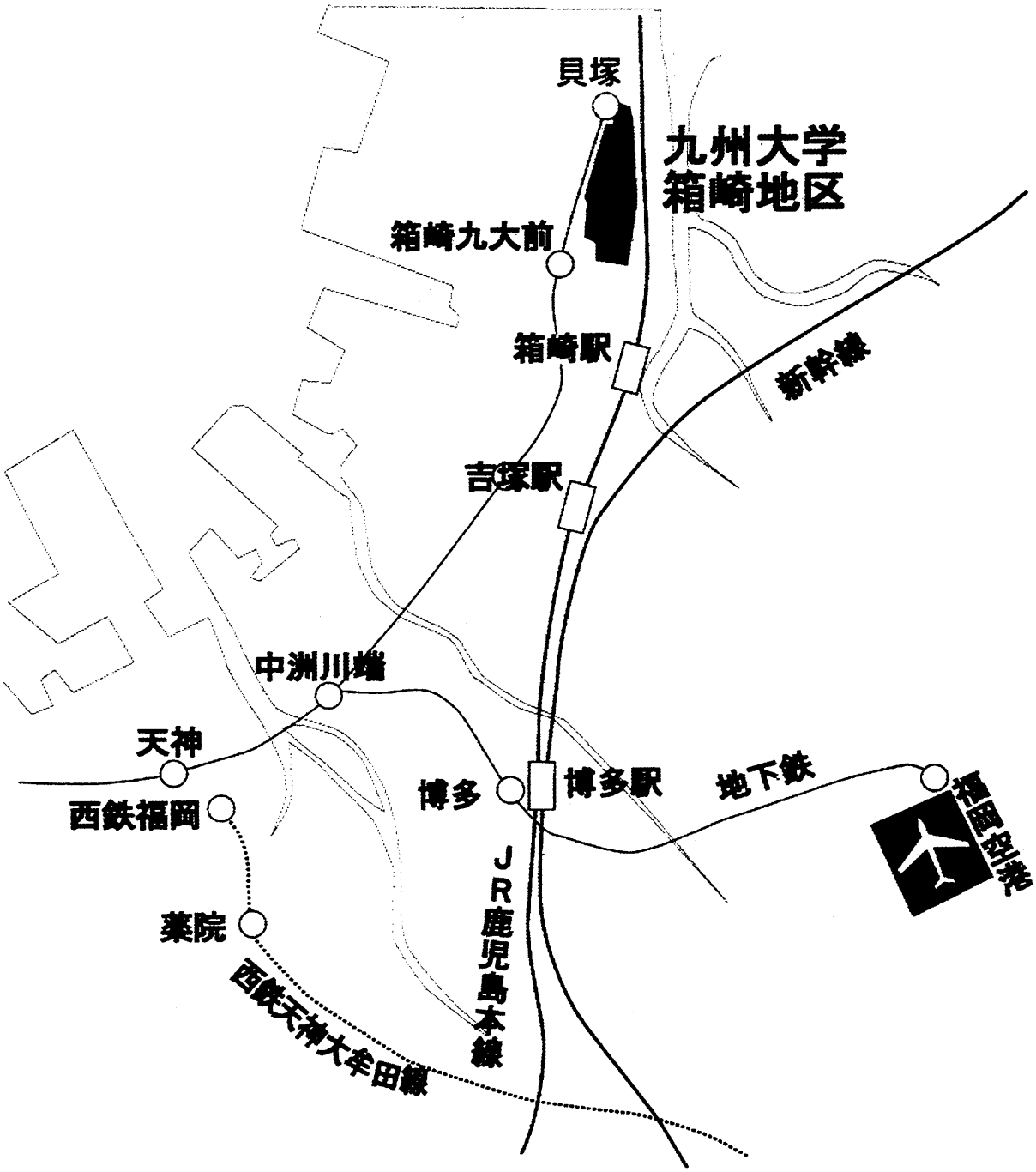
P232　木星大気大規模渦の数値モデリング

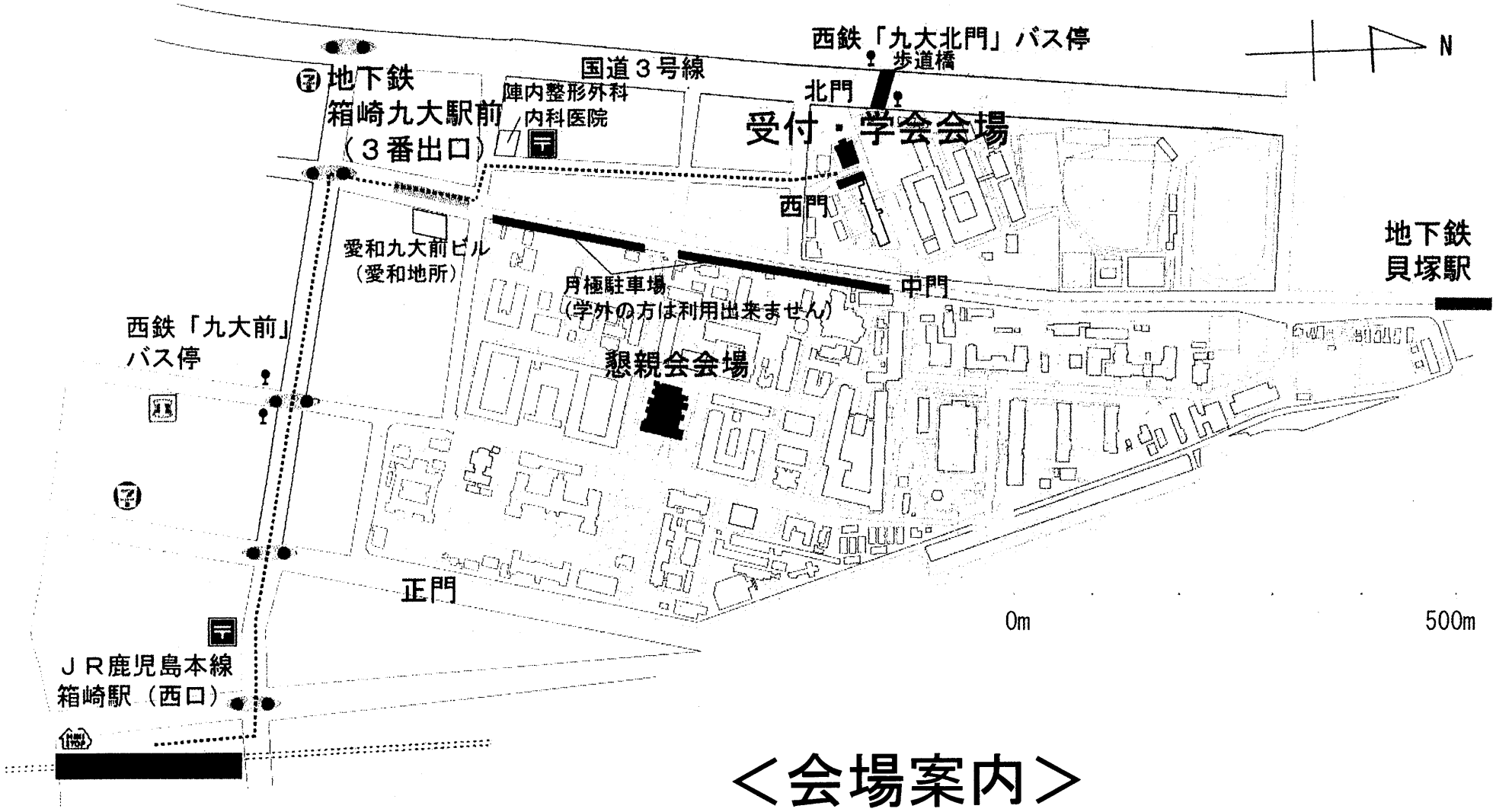
加藤亮平* (九大)，杉山耕一朗 (国立天文台)，中島健介 (九大)

P233　2 次元数値モデルで得られた木星雲対流の間欠性に関する考察

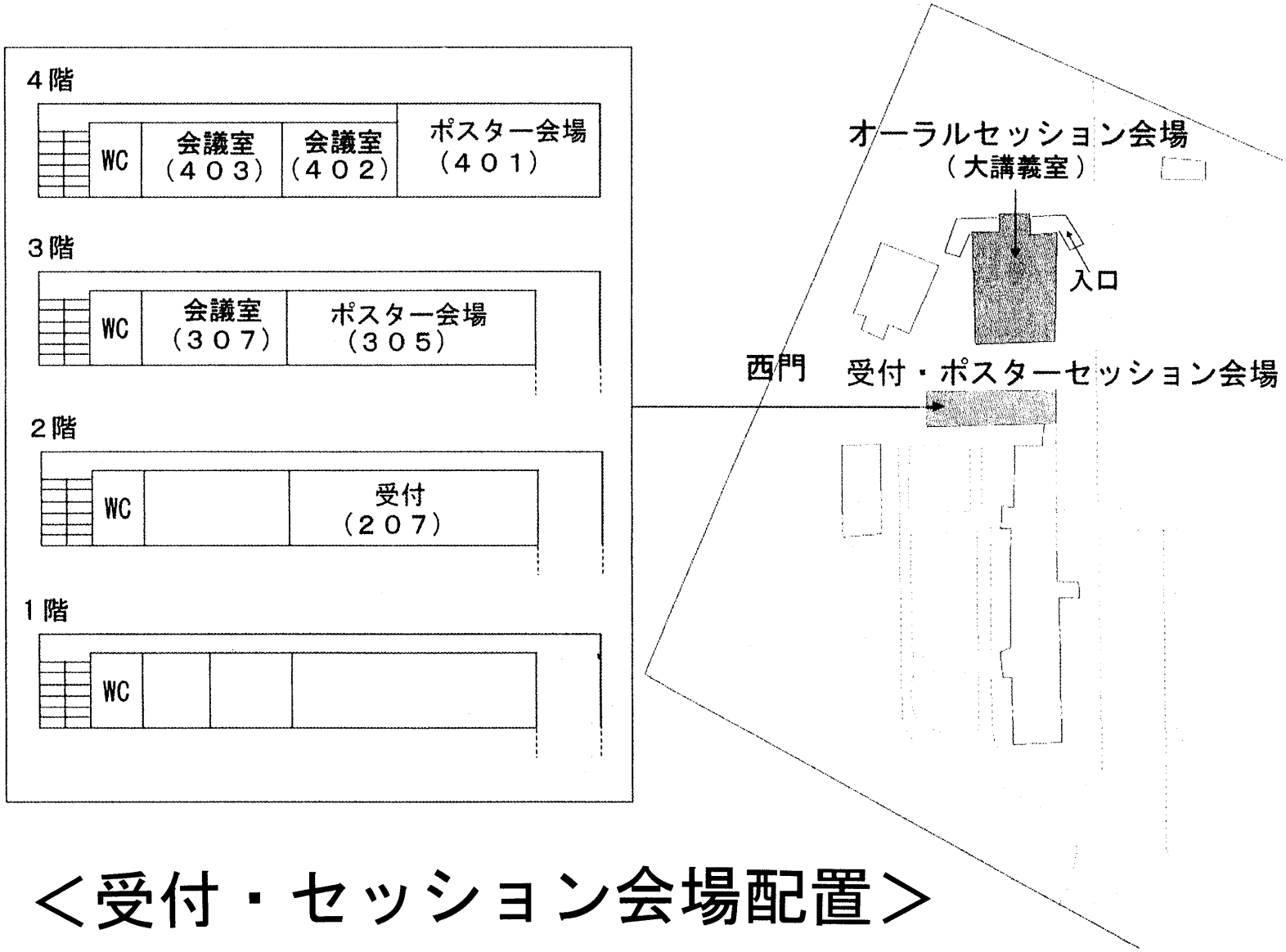
杉山耕一朗* (国立天文台)，小高正嗣 (北大)，中島健介 (九大)，林祥介 (神戸大)

＜会場へのアクセス＞


貝塚
九州大学
箱崎地区
箱崎九大前
箱崎駅
新幹線
吉塚駅
中洲川端
天神
西鉄福岡
博多
博多駅
地下鉄
福岡空港
JR鹿児島本線
薬院
西鉄天神大牟田線


西鉄「九大北門」バス停
歩道橋
N
国道３号線
地下鉄
箱崎九大駅前
（３番出口）
陣内整形外科
内科医院
北門
受付・学会会場
西門
地下鉄
貝塚駅
愛和九大前ビル
（愛和地所）
月極駐車場
（学外の方は利用出来ません）
中門
西鉄「九大前」
バス停
懇親会会場
正門
0m
500m
ＪＲ鹿児島本線
箱崎駅（西口）

＜会場案内＞



＜受付・セッション会場配置＞

秋季講演会予稿集

101

地球内外物質の炭素と塩素を含む微細物質の循環

○三浦保範[1]・田野崎隆雄[2]・高取祐貴[1]・末吉祐貴[1]
[1]山口大・理・地球・[2]太平洋セメント中央研究所

1.はじめに

地球内外物質において、元素分子の移動や鉱物結晶の形成に関する研究報告は多いが、詳細な物質循環の考えの観点からの研究成果はない。本研究では、炭素と塩素を含む物質の循環（微粒子固体を含む）を地球内また地球内外間移動の観点から報告する。

２．炭素の状態変化

物質循環を効率的に行う元素は、３状態（気体･液体・固体）間を容易に移動しなければならない。原始地球から存在する主要な大気成分で４元素（酸素･炭素･水素･窒素）では、炭素が固体状態で単独で安定な鉱物結晶を生成するのが特徴である。炭素は資源としても重要であるが、大気成分を変化させる元素でもある。それを循環的な観点から応用すると効率的な地球環境が迅速にエコ的に制御できることを意味している（三浦,2007,2008）。

３．炭素を含む物質の特徴

地球内で炭素を含む鉱物結晶が384種あり、そのうち炭素（＞5%C）を含む鉱物 は215種である。炭素は、酸素・水素と結合しやすいが、窒素とは結合しない。炭素が鉱物固体と結合するのは、Caとが最も多く（炭酸塩鉱物形成）、ついでNa（海水形成）、そしてMg･Fe（苦鉄質）、Si･Al（上部地殻）の順に結合しやすい（図１）。

４．塩素の状態変化

塩素も３状態（気体･液体・固体）間を変化しており、地球内で塩素を含む鉱物結晶が315種も生成する。炭素と同様に気体は有害物で、液体固体は無毒で岩塩結晶を形成する。

５．微粒子の形成

炭素と塩素が固体状物質に迅速に状態変化するのは、電子顕微鏡オーダーの微細な組織を形成できるためである。地球内外に電子顕微鏡オーダーの微細な塵状物質（隕石、惑星間塵、衝突孔、地質境界等）が存在するのは、これらの元素が状態変化していることを示す。

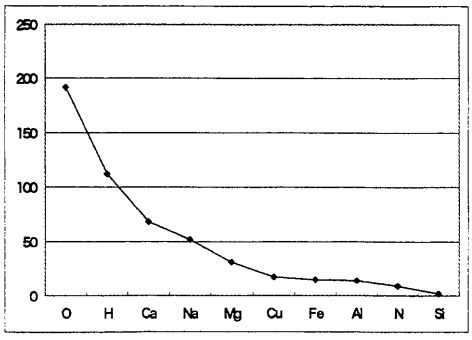


図１．炭素と結合する元素の鉱物数.

102

形成期の微惑星降着で獲得する原始ガス惑星エンベロープの重元素量

○堀 安範、生駒大洋、井田 茂

東京工業大学　地球惑星科学専攻

近年のトランジット観測（惑星が恒星の前面を通過する際に生じる見かけの減光をとらえる観測）によって、系外惑星の半径が測定されるようになった。既に測定されている質量と合わせれば、その惑星の平均密度を知ることができる。これまでに平均密度が確定している系外惑星はすべて巨大ガス惑星であるが、その値に有意なばらつきが見られる。その一つの原因は、重元素（水素とヘリウム以外の元素）の含有量の多様性であると考えられる。

巨大ガス惑星の内部において、重元素は中心コアだけではなく、エンベロープにも多量に含まれているだろう。実際、木星や土星のエンベロープも太陽組成に比べて重元素に富んでいる。系外惑星における重元素含有量の多様性は、エンベロープの重元素含有量の多様性である可能性が高い。それらは恐らく、巨大ガス惑星の形成後期（円盤ガスの暴走的な集積が起きている時期）に取り込んだ微惑星を起源とするが、その獲得プロセスに関しては十分な理解が得られていない。

最近の力学計算（Shiraishi & Ida 2008）によれば、その時期の微惑星の獲得量は、原始惑星の半径および（暴走的なガス集積による）質量増加率に強く依存する。しかしながら、暴走ガス捕獲段階での原始惑星の質量増加率および半径の時間変化は十分には調べられていない。そのため、Shiraishi & Ida が形成後期にガス惑星（木星・土星）が獲得する微惑星の量を見積もった時、暴走ガス捕獲段階での惑星の質量増加率および半径の不確定性が問題となっていた。

そこで、本研究ではまず、暴走ガス捕獲段階の原始ガス惑星の進化を数値シミュレーションし、質量増加率および半径の時間変化について系統的に調べた。次に、得られた結果を Shiraishi & Ida の微惑星降着率の半経験式に適用して、ガス惑星が形成後期に獲得できる微惑星の量、すなわち重元素量を再評価した。本発表では、これらの結果を踏まえて、巨大ガス惑星の重元素量について議論する。

103

原始衛星系円盤への固体物質の供給：周惑星ガス円盤による微惑星捕獲

○谷川　享行（東工大）、大槻　圭史（コロラド大）、町田　正博（京大）

従来の衛星系形成理論は、太陽系形成理論と同様に、現在の姿から逆算する形で円盤モデルが立てられ、その結果、現在の木星・土星などの衛星系の特徴、例えばガリレオ衛星の密度・分化の公転半径依存性を説明できていない (Canup and Ward 2002)。しかし過去の研究により、木星型惑星成長後期のガス降着段階では惑星へ流れ込むガスが周惑星円盤（惑星を取り囲む円盤状構造）を形成することが示された (e.g., Tanigawa and Watanabe 2002)。これにより、衛星系形成の基盤となる原始衛星系円盤構造は、ガス惑星形成過程の中で演繹的に決められるべきものであることが明らかになった。そこで本研究では、衛星形成環境としての周惑星円盤（＝原始衛星系円盤）構造、特に衛星材料物質となる固体成分の分布を求めることを目的とする。

太陽周りを回転する微惑星などの小天体が惑星に近接遭遇した時に、惑星周りに形成している周惑星円盤とのガス抵抗によって円盤に捕獲される過程を考える。周惑星円盤のガス密度分布は、面密度が惑星中心からの距離のべき関数として与えた。太陽の周りを回転する微惑星の軌道は、離心率・軌道傾斜角は一様分布を仮定した。今回はまず解析的な見積もりを行った。

得られた周惑星円盤中の固体面密度$\Sigma_{\rm s}$は、惑星中心からの距離をrとすると、$\Sigma_{\rm s} \propto r^{-3}$から$\propto r^{-8}$となり、仮定したガス密度分布の勾配$(\propto r^{-1})$より急であることが分かった。これは、衛星材料物質である固体面密度分布は、ガスに比べて惑星近傍により集中していることを示唆する。このことは、木星の衛星系においてガリレオ衛星以遠で急激に物質が減少していることと関連しているかもしれない。また、固体面密度勾配に大きな幅があり得るが、この幅は微惑星のサイズ分布に非常に敏感に依存することが分かった。今後は、周惑星円盤ガスとのガス抵抗により取り込まれる微惑星の軌道を数値計算によって求め、今回行った面密度分布の確認を行い、得られた円盤モデルを用い、形成される衛星系の姿を予想する。

104

金星下層大気の加熱率に対する超回転の依存性

○山本勝[1]　高橋正明[2]

[1]九大応力研 [2]東大気候システム

本研究では，下層大気の加熱率を変えることによって，金星超回転の形成条件を調べた．加熱率に対する多重平衡の分岐は，Matsuda (1980)や Suarez & Duffy(1992)によって研究されている．国内外の金星 GCM でも，安定な多重平衡解が得られている(例えば，城戸・和方 2008)．Yamamoto & Takahashi (2007)では，強超回転状態と弱超回転状態の振動解が報告されているが，多重平衡の形成条件や解の特徴（安定解 or 振動解）はわかっていない．そこで，今回は金星超回転の形成条件と多重平衡条件の両方を明らかにすることを目標としている．

Yamamoto & Takahashi (2006)の T21L52 の金星型 AGCM (CCSR/NIES AGCM 5.6, Numaguti et al. 1995)を用いて，高度 90 km 付近までの領域を計算した．放射過程は，雲頂で極大になるような非断熱加熱とニュートン冷却を用いた．これに乾燥対流調節を組み込んだ簡略化 AGCM となっている．本研究では，Tomasko et al.(1985)の加熱率を用いて，太陽直下における下層大気の加熱率 Qmin を様々に変化させる実験をおこなった．中層大気で「80m/s の剛体回転」と「静止状態」の２つの初期値を用いて平衡解の Qmin 依存性を調べた．

Qmin = 0.005 K/day では，雲層で弱いながら超回転が形成されるが，下層で観測されているような超回転は形成されない．このように，子午面循環の存在下では，潮汐波による下層大気の超回転は形成されなかった．Qmin = 0.05 K/day では，強超回転と弱超回転の二つの安定平衡解が存在する．この強超回転と弱超回転は Matsuda(1980)と異なり，昼夜循環が支配的な解は見られず，Yamamoto & Takahashi (2007)で見られた２つの状態に似ている．強超回転状態の方が，子午面循環による角運動量鉛直輸送が大きく,南北流の極大高度が高い(強超回転状態では 4 m/s の極向き南北流の極大が高度 83 km, 弱超回転状態では 73 km に位置する).

Qmin が大きいと，下層で強い超回転が形成されるが，雲頂では 100m/s の超回転が形成されない．また，多重平衡ではなく，単一平衡解が得られる．Qmin = 0.5K/day では，初期段階で急激に増大した後，徐々に減少し，単一解が得られる．Qmin = 5.0K/day では，振動しながら，単一振動解に向かう．

上で述べたように，下層の加熱率が小さいと下層の超回転が再現できない．これは，他の金星 GCM でも共通の問題である．現在のところ，下層の加熱率が小さい状況では，子午面循環や潮汐波のみで金星超回転を再現するのは困難であり，金星超回転を再現するには Yamamoto & Takahashi (2006)で与えた加熱率や地表面温度の南北コントラストが要求される．赤外や近赤外による付加的な加熱が，Yamamoto & Takahashi (2006)で要求される下層の加熱率を説明するかもしれない．あるいは，Ikeda et al. (2007)で議論された重力波パラメタリゼーションのような「波による東西流加速」も考慮しなければならないかもしれない．

Qmin のパラメーター実験では，10 万日時間積分において，Suarez & Duffy (1992)と同様な多重平衡解もみられた．さらに振動解もみられた．金星の場合は，多重平衡解(Matsuda 1982)か？単一平衡解(Del Genio & Zhou 1996)か？を決定する要因として，下層の加熱が重要であることが明らかになった．

105

後期隕石重爆撃期に形成されたマグマオーシャン
Second magma ocean due to late heavy bombardment

○千秋博紀[1,2,3]
[1]サイバー大学ＩＴ総合学部,
[2]北海道大学大学院理学院宇宙理学専攻,
[3]東京工業大学大学院地球史研究センター
○Hiroki Senshu[1,2,3]
[1] Faculty of Information Technology and Business, Cyber University
[2] Department of Cosmosciences, Hokkaido University
[3] Research Center for the Evolving Earth and Planet, Tokyo Institute of Technology

月や火星，水星の表面は多くのクレーターで覆われている。これは太陽系形成初期に頻繁に起きていた天体衝突の痕跡だと考えられている。特に月の場合には，アポロ計画によって試料が持ち帰られているため，クレーターがいつ，どのような頻度で作られたのかの推定がなされており，その結果，クレーター形成頻度は時間を遡るほど大きいという傾向に加えて，今からおよそ３８億年前に，突発的にクレーターの形成頻度が大きくなった時期（後期隕石重爆撃期）があったことがわかっている。最近の研究では，後期隕石重爆撃は天王星・海王星の移動の影響で太陽系外縁部の天体が太陽系の内側にまで運ばれたために生じたとして説明されている。つまり後期隕石重爆撃は，太陽系内惑星が等しく受けた現象だと考えられている。一方，地球表層には，隕石重爆撃の後が残されていないばかりか，当時の鉱物もほとんど発見されていない。このことはプレートテクトニクスによる表層物質の循環だけでは説明できない。

そこで本研究では、後期隕石重爆撃によって地球表層（上部マントル）が融かされたしまった可能性について議論する。またこれを受けて，当時の地球と月，火星，水星の環境がどのように異なっていたのかについても議論する予定である。

106

溶岩チューブを模擬した衝突実験

○道上達広[1]、春山純一[2]
[1]福島工業高等専門学校、[2]ISAS・JAXA

最近、火星において深いピットクレーターが複数個発見された(Cushing et al. 2008)。それらの直径は100-260m程度で、深さは直径以上の大きさのものもある。一般にピットクレーターの形成起源として、溶岩チューブ、ダイク、マグマチャンバーの崩壊、カルスト、断層などが考えられる。いずれの起源にせよ、すべて空洞と関係しており、空洞の構造、起源を調べることは火星活動を調べる上で重要であると考えられる。Wyrick et al. 2004は火星の西半球でのピットチェインクレーターをマッピングし、これらは断層起源であると結論付けた。しかしながら、彼らが調べたピットクレーターは大きさが平均2km程度であり、今回発見された直径260m以下の深いピットクレーターも断層起源かどうかはよく分かっていない。しかも深いピットクレーターの形は、一般的に観測される円錐形ではなくて、円柱形である。そのため、深いピットクレーターは断層起源以外の可能性も十分考えられる。

今回は発見された深いピットクレーターの起源の一つとして、地下空洞の天井に小天体の衝突によって穴ができる可能性を考えた。そもそも空洞があったときに衝突でどのような形のクレーターが形成されるかはよく分かっていない。そこで今回の実験の目的は、空洞を持った標的を作り、衝突実験を行うことでクレーターがどのような形状になるのかを調べることにした。空洞の形状については、地球で観測される溶岩チューブ構造を参考に決めた。

今回行った実験の概要について述べる。実験装置はJAXA宇宙研究本部にある2段式軽ガス銃を使用し、弾丸に直径7mmのナイロン球を用いた。質量は0.213gである。標的の大きさは、直径約15cm高さが6cmの円柱形を用いた。標的の材料としては平均粒径0.2mmの豊浦砂をセメントで固めたものを使用し、かさ密度は約1550kg/m^3、圧縮強度は3.2±0.9MPaである。標的の衝突反対面を長方形の形にくりぬいた。空洞の横幅は、4cmと8cmの2種類、空洞の天井の厚さは1-6cmの範囲で作成した。衝突速度は標準1.2km/sで行い、衝突角度は標的面に対して垂直である。衝突の際の真空度は0.40Torr以下で、全部で20ショット実験を行い、破片が飛び出す様子を高速度カメラで撮影した。

今回の実験では、天井厚さ3cm以下のとき衝突反対面にクレーターが形成され、天井厚さ4cm以上ではそのようなクレーターは形成されなかった。穴は天井厚さ2cm以下で形成された。今回の実験で分かったことは、大きく分けて３つある。１つめは、衝突面にできるクレーターの大きさは空洞の大きさ（すなわち天井厚さ、横幅）には関係なく一定であること。２つめは衝突反対面にできるクレーターの大きさは衝突面にできるクレーターよりも大きく、天井厚さが大きくなるにつれて、大きくなる傾向にあること。３つめは穴の大きさは天井厚さが大きくなると小さくなる傾向にあることである。衝突反対面に形成されたクレーターと衝突面に形成されたクレーターがつながったときに、穴が形成されると考えられる。衝突反対面にクレーターができる条件は、衝突反対面から飛び出す破片の速度から見積もることができる。その条件を見積もったところ、今回の実験では、衝突反対面での圧力が標的の圧縮強度を超えたときに衝突反対面にクレーターができることがわかった。今回の実験結果は、火星で発見された深いピットクレーターの円柱形を再現することはできなかった。実験結果は天井部分にあたるクレーターの形が、円柱形よりも横長の砂時計形に近いことを示している。詳細な議論については本学会で発表する。

107

同期回転惑星大気における循環構造

○石渡 正樹[1], 中島 健介[2], 森川 靖大[1], 高橋 芳幸[3], 小高 正嗣[1], 倉本 圭[1], 林 祥介[3]
[1] 北大・理, [2] 九大・理, [3] 神戸大・理

1. はじめに

近年の系外惑星探査では, 太陽よりも光度の低い M 型星の周囲に惑星が発見されている. 大気の鉛直 1 次元的な考察によれば, 光度が低い恒星の周囲の惑星が海洋を持つためには, 惑星が恒星の近傍に存在しなければならない. 恒星のごく近傍に存在する惑星は, 強い潮汐力により同期回転をしており, 永続的な昼半球と夜半球を持つことになる. 本研究では, 系外惑星の気候の多様性を探ることを目的として, 同期回転する地球型惑星大気の 3 次元数値計算を行っている. 石渡ら (2007, 惑星科学会秋季講演会) では, 自転角速度, 惑星半径, 太陽定数, 表面気圧などを地球の値に設定した実験結果に基づき, 赤道付近の東西熱輸送において赤道波が重要な役割を果たしていると議論した. ここでは, 自転角速度の値を変化させた数値実験を実行し, 赤道波の振舞い, ひいては大気の熱構造と循環構造がどのように変化するかを調べる.

2. モデルと計算設定

用いるモデルは簡略化した物理過程をもつ 3 次元プリミティブモデル (地球流体電脳倶楽部 AGCM5 と惑星大気循環モデル DCPAM) である. 地表面は全て海洋とし, その熱容量と水平熱輸送は考慮しない. 経度 0 度から 180 度の領域に入射放射を与え, それ以外では 0 とする. 経度 90 度の赤道上で入射放射量が最大となる. 入射放射は全て地表面まで到達するとし, 地表面アルベドは 0 とする. 地球の値で規格化した自転角速度 Ω^* として, 1 を与えた場合 (石渡ら, 2007 と同じ場合) と 1/8 を与えた場合, 1/13 を与えた場合の計算を行った. これまでに発見されている小質量の系外惑星を念頭におき, 地球よりも自転角速度が小さい場合を考えた.

3. 計算結果: 表面温度分布

図 1 に $\Omega^* = 1, 1/8$ の場合それぞれの表面温度分布を示す. ともに, 昼半球から夜半球へ高温領域が伸びているが, その形態は異なっている. $\Omega = 1/8$ の場合では, 昼半球から東方向に伸びる高温域は, 赤道から高緯度に至る 1 つの領域として存在している. 熱帯域において高温領域の緯度幅が $\Omega = 1$ の場合より広くなることは, 赤道ケルビン波の緯度幅の変化を反映していそうである. (成層構造の変化を無視して赤道変形半径を見積もると $\Omega = 1$ の場合の $\sqrt{8}$ 倍になる). 中・高緯度域に関しては, $\Omega = 1/8$ の場合では傾圧擾乱による熱輸送が弱い. この問題に関しては, 大気構造と循環構造を詳細に検討し考察する必要があり, 講演で論じる予定である.

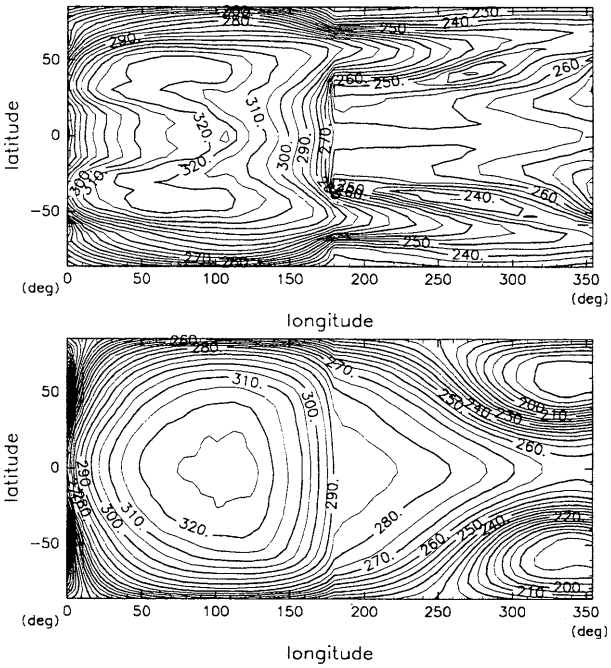


図 1: 地表面温度 [K] の水平分布. (上) $\Omega^* = 1$ の場合, (下) $\Omega^* = 1/8$ の場合, 150 日から 200 日の時間平均を示す. 等値線間隔は 5 K.

【潮の干満は月の引力ではなく、海底隆起によって起こる】

発表者　　佐野 雄二　（総合科学研究所）

潮の干満は月と太陽の引力で起きるというが、疑問は数多い。その例を挙げると、

(1) 満月と新月では月と太陽の方向が違う。月の引力を１、太陽からの引力を0.5とすると、新月では両方が合計されて1.5、満月では相殺されて0.5となり、引力が３倍も違うのに同じ程度の満潮が起こっている。

(2) 月が天頂に来る都度、地球の反対側も満潮になるが、それは、地球が月に引っ張られて、地球の反対側の海水が置き去りにされるためだと言う。この説明では、地球は絶えず月側に移動し続けなければならないが、あり得ない話である。

(3) 海水は固体ではないから、水の１分子ごとに月と太陽と地球からの引力が働く。計算すると海水１分子ごとに働く月からの引力は、地球からの引力の約２８万分の１である。これでは月からの引力は働きようがないはずである。

(4) そもそも宇宙は無重力の空間である。無重力の空間では人は宙に浮き、水も玉になって宙に浮く。このような空間を経て月や太陽の引力が地球に働くことはない。

(5) 互いの重力を伝えるのは重力波だとされるが、重力波は波であるから、宇宙空間を伝わるには媒質を必要とする。だが、宇宙空間に波を伝える媒質は存在しないことは、マイケルソンとモーリーの実験により証明されている。もっと言うと、空間を伝わる波は縦波しかないが、それでは圧力となって押し出してしまうから引力とはならないのである。

(6) 月と地球の間に引力が存在しない証拠に、月と地球の１億分の１のミニチュアをつくって実験をする。相互のミニチュアを約3.8m離してプールやお風呂に浮かべれば、それで充分に無重力状態となる。この実験で、ニュートンやアインシュタインの重力理論が正しければ、ミニチュアの月は地球に引き寄せられるはずであるが、そんなことは全く起こらない。

結局、潮の干満は月や太陽の引力で起きているのではない。では、どのような力によるのかと言うと、単純な「海底隆起」によって起きていると考えられる。その理由は、

(1) 潮の干満は月や太陽の引力で起きるのではないこと。

(2) 空中電位と水中電位の静電気の引力により起きるのかと調査したが、それも違うこと。

(3) 現実に１日２回の満潮の時には、海の近くの陸地は約２０センチも隆起している。これは地球潮汐という。従って海底はもっと隆起しているものと推定される。

なお、なぜ月の引力があるかのように潮の干満が生ずるのと言うと、「月は地球の母だった」。その母子関係の証明として、潮の干満が起きていると考えられる。月を母とする母子関係の証明としては、他に、①月がきれいな表側しか見せないこと　②月が衛星として大きいこと　③月震が特定の時期に限って起きていること　③女性の生理や出産が月のリズムに同期すること　④地球上の生物の生殖や食欲が、月のリズムに同期すること―などが挙げられる。

109
P001

火星極冠における大気質量変化が大気運動に与える影響

○小郷原一智[1]、里村雄彦[1]

[1]京都大学理学研究科地球惑星科学専攻

1. Introduction

火星では大気主成分である CO_2 が冬極周辺で大規模に凝結する。これは大気質量が季節変化することを意味し、火星大気が地球大気と大きく異なっている点の一つである。故に、大気質量が増減する環境での大気力学は、今までの地球の気象学では扱われてこなかった。過去の研究には、極冠形成時に極における大気質量変化が、周辺の風速にどれほど影響するか見積もったものはあるが、簡単化のため非現実的であった(Read and Lewis 2003)。そこで、本研究では火星大気大循環モデルを用い、火星冬極での CO_2 凝結による大気質量変化が、風速の空間分布に与える影響をより詳細に理解することを目指した。

2. Model

我々が使用したモデルは Ogohara and Satomura (2008)が用いているものを基本として、若干の変更を加えたものである。分解能は T21L34(5.6°x5.6°で鉛直方向には 34 層)で、対象季節は Ls=180°～Ls=270°である。今回は CO_2 の凝結の大気運動に対する影響のみに着目するため、地形は除去し、ダストの鉛直分布は Conrath (1975)と Forget et al. (1999)に従い時間的に変化しないようにしている。CO_2 の相変化過程は Forget et al. (1998)にのっとって計算する。大気温度が CO_2 の昇華温度を下回れば大気温度を昇華温度に変更し、それに応じた質量を極冠に加算し、地表気圧を変更する。本研究では、この地表気圧の変更を行わない実験を case 1、行う実験を case 2 とし、それらを比較することで、CO_2 凝結による大気質量変化が風速に与える影響を評価する。

3. 結果

図 1 は東西時間平均された南北質量フラックスの case 1 と case 2 の差(case2-case1)である。北緯 60 度付近の高度 1km 以下の領域では、case 2 のほうが 0.015 $kgm^{-2}s^{-1}$ ほど大きいことがわかる。図 1 には北緯 60 度付近における北向き質量フラックスの鉛直プロファイルも示してあるが、高度 1km 以下で圧倒的に大きな値をとっている。このような大気下層の卓越した北向き質量フラックスは、西風ジェットの下のエクマン輸送に関連していると考えられる。

4. まとめ

我々の計算で得られた、大気質量変化が風速に与える影響は、定性的にも定量的にも過去の研究と異なっている。この違いは過去の研究が火星の自転の効果を無視していたことに主に起因していると考えられる。

References

Conrath, B. J. (1975) *Icarus, 24,* 36—46.

Forget, F. et al. (1998) *Icarus, 131,* 302—316.

Forget, F. et al. (1999) *JGR, 104,* E10, 24,155—24,175.

Ogohara, K. and T. Satomura (2008) *Geophys. Res. Lett., 35,* L13201, doi: 10.1029/2008GL034546.

Read, P. L. and S. R. Lewis (2003) *The Martian Climate Revisited,* Springer.

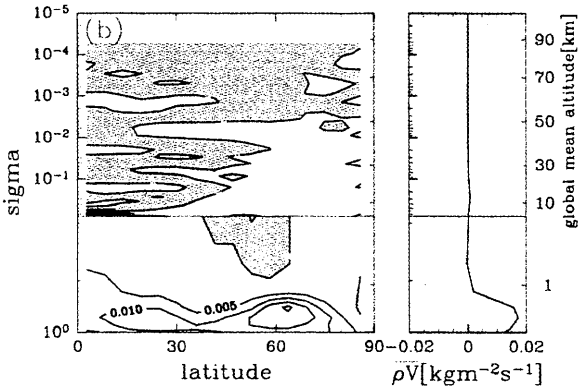


図 1 Ls=180°～270°で東西時間平均された南北質量フラックスの case 1 と case 2 の差(case2-case1)。陰影は負の領域(南向き)を示している。等値線間隔は 0.005 $kgm^{-2}s^{-1}$。右図は 60°N 付近で緯度平均された鉛直プロファイル。

110
P002

隕石構成鉱物、水および窒素の衝突反応による有機分子の生成

○古川善博[1]、関根利守[2]、大庭雅寛[1]、掛川武[1]、中沢弘基[2]
[1]東北大学大学院理学研究科地学専攻
[2]物質材料研究機構

地球には生命誕生前にその前駆体となる多量の有機物が存在したと考えられている。これまで、この有機物の生成過程は、炭素質隕石の母天体での水とメタンなどの低分子有機物の反応、地球の海底熱水における鉱物と二酸化炭素および熱水の反応が研究されてきた。しかし、海底熱水条件で生成する有機分子はメタン等の単純な炭化水素に限られる上、炭素質隕石中に含まれる有機分子の初期海洋への衝突安定性は疑問が呈されている。近年、普通コンドライトの海洋への衝突反応による有機物の生成反応という新たな説が提案された[1]。この説は多種の有機物生成とその survivability において上記の海底熱水説、隕石飛来説に対して利点を持っているが、有機物生成の実験的証拠は報告されていない。本研究では模擬隕石物質、窒素ガス、水/アンモニア水との衝突回収実験とその分析により、この実験的証拠を示す。

実験は一段式火薬銃を用いて衝突回収実験を行った[2]。サンプルは金属鉄、ニッケル、無機炭素(^{13}C)の混合粉末に水またはアンモニア水を加え、窒素ガスと共にステンレス気密容器に封入した。この容器に約 1 km/s でステンレス飛翔体を衝突させ、内部のサンプルを回収し、液体クロマトグラフィー/質量分析計（LC/MS）およびガスクロマトグラフィー/質量分析計（GC/MS）により同位体有機物の分析を行った。有機物合成実験においては生成物とコンタミネーションの識別が大きな問題になるが、本研究においては炭素源に ^{13}C を用いることにより、生成物とコンタミネーションを明確に区別した。

分析の結果、アンモニア含有試料、非含有試料の両方において種々のカルボン酸、アミンの生成を確認した。また、アンモニア含有試料においては最も単純なアミノ酸であるグリシンの生成も確認した。これらの結果は初期地球における普通コンドライトと水、窒素の衝突反応によってアミノ酸などの有機物が生成し得ることを示唆し、生命起源有機分子の新たな供給源を示すことができた。

Refarences

1. Nakazawa, H. *Origin of Life Scenario Written by the Earth*, Shin-Nihon Shuppan Ltd., Tokyo, 113–160 (2006).
2. Furukawa, Y., Nakazawa, H., Sekine, T. & Kakegawa, T. Formation of ultrafine particles from impact-generated supercritical water. *Earth Planet. Sci. Lett.* **258,** 543–549 (2007).

111
P003

Transitional Disk の偏光モデル

○福江翼[1]、工藤智幸[2]、山本哲生[3]、木村宏[3]、小林浩[3]、Evgenij Zubko[4]、田村元秀[2]、神鳥亮[2]、日下部展彦[2]、中島康[2]、長田哲也[1]、SIRPOL/HiCIAO チーム

[1]京都大学大学院理学研究科　[2]国立天文台

[3]北海道大学低温科学研究所　[4]東北大学大学院理学研究科

近赤外３色同時偏光撮像装置 SIRPOL による直線偏光観測により、ある若い星の星周構造が得られた。すばる望遠鏡での CIAO による高解像度撮像観測から示唆される disk の延伸方向と、disk の中心部分での偏光方向がほぼ平行であることがわかった。しかも SED からは星が見えていることが示唆されるが偏光度が比較的大きく、従来の単純なモデルでは説明できない。一方、Spitzer 望遠鏡による SED 観測からは、当該天体は星惑星形成進化の class 間の transition 状態にある可能性が示唆されている。

現在、偏光状態まで取り扱えるモンテカルロ輻射輸送計算の応用により、SIRPOL による 1" 解像度の表面輝度や偏光度の波長依存性と、CIAO による 0.1" 解像度のカラーの観測データを新しい視点で統一的に理解できるモデル構築を進めている。本講演では、このような異常偏光天体のデータを紹介し、これまで蓄積されてきた観測と合うような総合的な解釈を行いながら、新しいモデルに基づく議論を行う。

112
P004

M型星における中心星近傍領域での惑星集積 N 体シミュレーション

N-body simulations of planetary accretion in the vicinity of M dwarf stars

○荻原 正博　井田 茂
東京工業大学大学院理工学研究科

近年の観測技術の発展に伴い、視線速度法を用いた地上観測によって $10M_{\oplus}$ 程度の低質量惑星（スーパーアース）の発見が増加している。今後は、Kepler や TESS などのトランジット法を用いた系外惑星探査を目的とした宇宙望遠鏡が次々と打ち上げられるが、これらにより地球質量程度の惑星も数多く発見されていくだろうと考えられる。光度の低い恒星では、ハビタブルゾーンが中心星に近く、地上からの視線速度法でも低質量の地球型惑星が観測可能なため、ハビタブルプラネットの観測可能性などの観点から光度の低いM型星が注目を集めている。今後の宇宙望遠鏡観測においても断面積が小さいためトランジット法に有利なM型星が一つの大きなターゲットとなっている。

本研究では、M型星まわりでのハビタブルプラネットの形成に着目し、中心星近傍領域にて惑星集積の N 体シミュレーションを行った。そのような領域では円盤面密度が高く、また原始惑星系円盤の寿命に比べて惑星集積時間が短いこともあり、円盤ガスの効果が惑星形成に重要な役割を果たすと考えられる。原始惑星は円盤との重力的相互作用により中心星に向かって落下する（タイプ I 惑星移動）が、円盤内縁まで達したところで移動が止まり、そこで惑星が形成することが指摘されている。Terquem & Papaloizou (2007) は太陽型星のまわりでタイプ I 惑星移動を考慮にいれて原始惑星 10 体程度の軌道計算を行い、最終的に円盤内縁付近に数個の平均運動共鳴に入った惑星が形成されることを示した。ところで、惑星移動速度は円盤ガスの性質（面密度やその勾配）によって変化し、不定性が大きい。そこで本研究では、惑星移動速度を変えて N 体シミュレーションを行い、惑星形成を追った。

計算の結果、惑星は互いに平均運動共鳴に捕獲されることにより円盤内縁から動径方向に並んで形成していくが、その並ぶ個数は移動速度が遅い程増加することがわかった。並ぶ惑星の個数が少ないと、円盤ガス散逸後も共鳴に入ったまま安定に存在するのに対して、並ぶ惑星の個数が多くなると系は円盤ガス散逸後に軌道不安定になり、惑星同士の巨大衝突を引き起こす。この場合は最終的な惑星は共鳴関係からはずれ、軌道離心率も大きめになる。つまり、最終的に形成する中心星近傍惑星の性質（分布・共鳴関係・離心率）は、惑星移動速度によって大きく左右されるといえる。これら中心星近傍の惑星系の性質は、今後の観測で明らかになっていき、観測から惑星形成のシナリオに制限がつけられるであろう。

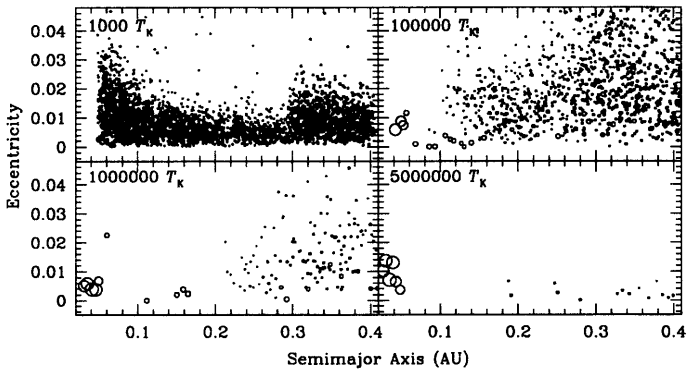


図 1: N 体計算の例。軌道長半径-離心率について各時間のスナップショット。初期固体質量分布は太陽系最小質量モデルとし、円盤ガス面密度分布も同様に与え、惑星移動速度はタイプ I 惑星移動の線形計算と合わせた。内縁 (~ 0.05 AU) 付近に集中して惑星が形成している。

113
P005

磁気回転不安定性の非一様成長の効果による微惑星形成

加藤真理子[1]、藤本正樹[2]、井田茂[1]
1 東京工業大学地球惑星科学専攻、2 ISAS/JAXA

概要

3 次元 CIP-MOCCT 法による MHD シミュレーションに粒子を加え、原始惑星系円盤における磁気回転不安定性と、その乱流中でのダストの振る舞いを調べた。特に、ダストが急速に中心星へ落下し微惑星が形成されなくなるという「ダスト落下問題」に取り組む。円盤内に磁場が存在するとき、磁気回転不安定性（Magneto Rotational Instability; MRI）が起きることが知られており、角運動量輸送のメカニズムとして注目されてきた（Balbus & Hawley, 1991）。また、近年では MRI が引き起こす乱流中でダストが集積し、微惑星形成を示唆する結果も出てきている（Johansen et al. 2007）。しかし、原始惑星系円盤のガス電離度は十分に高くないことも示唆されており（Gammie, 1996）、このようなとき MRI は電離度や垂直磁場の大きさによって大きく性質が異なることが Sano & Miyama(1999)の線形解析からわかっている。そこで本研究では（１）一様電離度のもと、垂直磁場が強く MRI が起きる（不安定）領域と垂直磁場が弱く MRI が起こらない（安定）領域とが存在する場合　（２）一様磁場のもと、電離度が高く MRI が起きる（不安定）領域と電離度が低く MRI が起きない（安定）領域とが存在する場合　について数値シミュレーションを行った。その結果、二つの場合において、ガスは不安定領域内で剛体回転をし、ある領域ではケプラー回転速度より速く回転する、という状態で準定常になることがわかった。したがって、ダスト（テスト粒子）はガス高速度回転領域内では外側へ移動し続け、どのサイズのダストでも完全に落下が防がれる。さらに、その領域外側でダストは著しく集積し、その集積量は微惑星形成を十分に示唆するものであった。また、不安定・安定領域の大きさによる結果の違いや、ガスとの相互作用を考慮に入れた粒子計算の結果についても紹介する予定である。

114
P006

ダスト落下を考慮した原始惑星系円盤の固体面密度分布の進化

○福井 隆[1], 田中 秀和[2], 倉本 圭[1]
[1] 北海道大学 大学院理学院 宇宙理学専攻
[2] 北海道大学 低温科学研究所

背景　原始惑星系円盤の内側領域 (中心星からの距離 $r \lesssim 50$ AU) における固体面密度分布は惑星形成の初期条件として重要であるが, 現状では分解能の問題から観測による制約が困難である. このため, より外側の領域における固体面密度分布の観測結果と, ダストの円盤内輸送過程の理論モデルを用いた推定が必要となる.

観測によれば, 円盤外側領域の固体面密度分布を r のベキ関数でフィットした場合, そのベキ指数の典型値は $\gtrsim -1$ である [1]. この観測結果の標準的解釈は, 固体面密度分布がガスの粘性降着に伴うダストの輸送により決定されたとするものである. すなわち, 乱流粘性の α パラメータが一定の場合には, ガス面密度分布は r^{-1} にほぼ比例した分布となる [2]. このときダストが小さくガスとよく連動するならば, 固体面密度分布も同様のベキ分布となる. しかし, このモデルが円盤内側領域でもそのまま成り立つとすると, この領域の固体面密度は惑星形成が困難なほど小さいことになる.

目的　上記のモデルでは, ダストがガスの運動によく連動することを仮定していた. しかし, ダストはガス乱流中で互いに衝突合体を繰り返し, 少なくとも mm 程度のサイズまでは成長していることが観測的に示唆されている [1]. ダストがこの程度の大きさまで成長すると, ガス抵抗力を受けることによる中心星方向への落下が顕著となり始め, 固体面密度分布はガスのそれとは異なる進化を遂げると考えられる. 本研究では, この落下運動をも考慮したダスト輸送過程を数値的に解き, 円盤全域における固体面密度分布の進化を調べる.

モデル　ダストの落下速度はダストサイズに強く依存する. 本研究では, ダスト模擬物質を用いた衝突実験 [3] に基づき, 円盤各位置における典型的ダストサイズの決定機構を次のようにモデル化した. ガス乱流により励起されるダスト間の衝突速度はダストの成長とともに増加する [4]. やがて衝突速度が実験的に求められた閾値 (付着限界速度) に達すると, ダストの跳ね返りや破壊が生じ, それ以上成長が進まなくなる. ダストの成長時間が中心星方向への落下時間に比べ十分短い場合, この成長阻害過程がダストサイズを決定する.

結果　典型的な円盤条件下での数値計算の結果, 以下のような固体面密度分布の進化の描像が得られた. 円盤内側領域ではダストの成長時間が非常に短く, ダストは付着限界速度により決まる上限サイズまで成長する. そのサイズは最大で $\sim$ cm であるが, m s^{-1} 程度の衝突速度で合体成長したダスト粒子の充填率がかなり小さいことを考慮すると [3], 質量はコンドリュールの典型的な値と同程度となる. また, ダストの落下速度は外側ほど大きくなることが分かった. このため, ダストはより内側のダストに追い付きながら落下することとなり, 固体面密度の著しい上昇をもたらす. その結果, 内側領域の固体面密度分布は $r^{-3/2}$ に比例した分布となる. 一方, 円盤の外側領域ではダストの落下に伴い固体面密度が減少し, ダストの成長時間が徐々に長くなる. このため, やがてダストは付着限界速度により決まる上限サイズまで成長する前に, より内側へ落下するようになる. このときのダストサイズは $\sim$ mm で, このダストの落下によって実現される固体面密度分布は $r^{-3/4}$ に比例する. これは円盤外側領域における固体面密度分布の観測と整合的である.

議論とまとめ　ダストの中心星方向への落下により実現される固体面密度分布は, 円盤の内側領域では $r^{-3/2}$, 外側領域では $r^{-3/4}$ にそれぞれ比例することが示された. この結果は, 外側領域における観測結果と矛盾することなく, 内側領域に惑星形成に必要な量のダストが存在し得ることを示す. 一方, ガス面密度は円盤全域でほぼ r に反比例した分布となる. 円盤内側領域では, 固体面密度の増加によりダスト/ガス比が太陽組成の 10 倍程度まで増加する可能性があるが, これは微惑星形成に有利な環境である. また, 外側領域で観測と整合的な固体面密度分布が実現されるのは, ダスト/ガス比が太陽組成の数分の 1 程度に増加した段階である. 従来, ガス面密度は主に外側領域における固体面密度の観測値と太陽組成におけるダスト/ガス比から推定されていたが, 本研究の結果はこうした見積りが実際のガス面密度を過小評価している可能性を示唆する.

[1] Andrews & Williams, 2007, *ApJ*, 659, 705. [2] Lynden-Bell & Pringle, 1974, *MNRAS*, 168, 603. [3] Blum & Wurm, 2008, *ARA&A*, 46, 21. [4] Mizuno et al., 1988, *A&A*, 195, 183.

115
P007

月および小惑星表面反射スペクトルによる宇宙風化度・組成推定モデル

○二村徳宏[1,2]、廣井孝弘[3]、安部正真[2]、松永恒雄[4]、大竹真紀子[2]、春山純一[2]、
小川佳子[4]、横田康弘[2]、本田親寿[2]、諸田智克[2]、岩田隆浩[2]、Carle M. Pieters[3]

[1] 東京大学大学院　地球惑星科学専攻、[2] 宇宙航空研究開発機構　宇宙科学研究本部　固体惑星科学研究系、
[3] 米ブラウン大学　地質学専攻、[4] 国立環境研究所　地球環境研究センター　地球環境データベース推進室、

○　背景

固体天体の岩石、それを構成する鉱物とその化学組成、レゴリスの粒径分布、および宇宙風化作用等の物質科学に関する研究は、固体天体の起源、および進化の過程で固体天体が経験した熱、圧力、化学環境、および表面の宇宙環境への被爆年代を理解するために必要不可欠な研究課題である。そして、探査機からのリモートセンシングにおいては、この物質科学的特徴を解明するための最も重要な観測手段は可視・近赤外反射スペクトル測定である。本研究の目的は、小惑星探査機はやぶさ、および月探査衛星かぐやの可視・近赤外反射スペクトルデータを解析して、物質科学調査を行う方法を構築することである。

○　研究方法

はじめに、宇宙風化作用（大気のない固体天体表面に宇宙線、太陽風、および（微小）隕石が衝突することにより生じる効果の総称）が可視・近赤外反射スペクトルに与える効果（スペクトルの暗化・赤化・吸収帯の弱化 (e.g., [1])）による、鉱物の光吸収係数への影響のモデル[2]をもとに、その鉱物粒子の境界反射率に対する影響をも取り入れたモデルを構築した。

次に、可視・近赤外反射スペクトルから様々な鉱物組成とその化学組成を同定するモデルを構築した。固体天体表面の主要な鉱物である、カンラン石、低 Ca 輝石、高 Ca 輝石、および斜長石について、それぞれの可視・近赤外反射スペクトルおよび鉱物中の化学組成の関係性を導き、各鉱物の吸収帯の特徴を調べて、モデルを構築した。この関連性を導くために本研究では、横軸を波長、縦軸を吸収係数で示した可視・近赤外反射スペクトルに対して、コンティニウムと呼ばれる関数、および吸収帯を複数のガウス関数でフィッティングを行う修正ガウス関数モデル（MGM）[3]を用いた。

○　研究の特色、およびまとめ

本研究の宇宙風化モデルにより、固体天体の可視・近赤外反射スペクトルから宇宙風化の影響を取り除くとともに、さらに宇宙風化の度合いも定量的に導くことが可能になった。宇宙風化の度合いは、固体天体表面の露出時間に関係があるので、ここから表面の年代を明らかにすることができる。

鉱物同定については、現在までの MGM 解析では、固体天体表面の可視・近赤外反射スペクトルには多くの鉱物に起因するさまざまな鉱物内のサイトの吸収が重なり合って存在するために、吸収帯を単に数学的なガウス関数でフィッティングすると、それぞれの吸収帯を分離して、岩石中の構成鉱物を同定することが困難であったが、本研究のモデルは、鉱物の吸収帯の特徴を組み込んでいるために、固体天体表面の可視・近赤外反射スペクトルの複数の吸収帯が重なり合って存在する複合吸収帯から、構成鉱物を同定することが可能になった。

参考文献

[1] Pieters et al. (1993) *JGR* **98**, 20,817-20,824.
[2] Hapke (2001) *JGR* **106**, 10,039-10,073.
[3] Sunshine et al. (1990) *JGR* **95**, 6,955-6,966.

116

「かぐや」の現状と月の科学

○加藤學、滝澤悦貞、佐々木進、「かぐや」プロジェクトチーム
宇宙航空研究開発機構

昨年9月14日に打上げられた月探査機「かぐや」は、本年10月末に定常観測を終了し延長ミッションに入る。１４の観測機器中いくつかに不調が見られるが、ほとんどの観測機器はおおむね順調で予定の観測を完了する。延長ミッションではノミナル高度で取得できなかったデータの再取得のための100 km軌道運用の延長、50 km低高度観測運用が検討されている。またNASAのLunar Reconnaissance Orbiterとの共同観測、LROと同時に打ち上げられるインパクターであるLCROSSとの共同観測が議論・検討されているが、LROの打ち上げが来年2月末に延期されたため、大きな見直しが必要となっている。「かぐや」は来夏には燃料を使い果たし月の表側に衝突して観測を終了する予定である。

定常観測期間中にも多くの科学観測成果が得られている。世界で初めての試みである月の裏側の重力場観測RSAT、月周回環境の太陽風観測PACE、およびアポロ計画ではわずかの領域に限定されていた地下地質構造探査LRSは狙い通りの大きな科学的インパクトをもたらしている。また従来より格段の高性能高分解能機器で実行している観測も新しい月科学の展開をもたらしている。MI/SPによる月表面の鉱物分布観測ではクレメンタイン計画で明確化できなかった地殻の鉱物種の同定がまぎれもなくできている。TCによるクレータの高分解能撮像データを用いた地質形成年代の決定は、月の火成活動の歴史に新しい知見を得ている。全球高度データは極域の実測データを世界で初めて示したのみならず、高分解能観測により地形モデルの各段の明確化を行っている。「かぐや」衛星全体の電磁ノイズの低減により100km高度の観測でも明確な磁力異常がLMAGにより特定されている。また相対VLBI法による表側重力場の改訂VRADや惑星電波の観測LRS、地球プラズマ圏の月軌道からの観測UPIが進行している。従来よりエネルギー分解能が一桁以上高く、元素の同定と定量化に格段に有効なガンマ線分光計GRSの観測も継続されている。

個々の観測機器による従来にないデータの取得によって以上のような新しい知見がこれからも得られると推測されるが、これらデータを統合して次のレベルの月の科学に挑まなければならない。SELENE計画開始時には、１．月の原料物質、２．月の内部構造、３．月の二分性、４、マグマオーシャンの分化と進化、５．月の磁場の起源、および６．月のテクトニクスについての科学解明が、最終科学目標である「月の起源と進化の解明」に至る研究の中間に設定されており、これらの科学成果を得る研究を今後推進する。国際公約の来年10月の「かぐや」データの一般公開に臨むようにしなければならない。

117

SELENE(KAGUYA)搭載地形カメラによる これまでの成果について

○春山純一，大竹真紀子（JAXA），松永恒雄（国立環境研究所），LISMワーキンググループ

はじめに：SELENE（KAGUYA）搭載地形カメラ(TC)は、前方・後方±15°の二本の光学系からなる立体視データ取得が可能な可視域パンクロマチックカメラである。月表面高度100kmから、1素子あたり10mの分解能で月面を撮像する。1年のノミナルミッションを終了した段階での、これまでの成果を簡単に紹介する。

1. **運用結果**：1年の運用を終え、地形カメラは当初予定通り、3つの緯度サイクルにかけての立体視撮像、ならびに朝方低太陽高度観測、夕方低太陽高度観測を行い、ほぼ当初予定の被覆率を達成している。CCD劣化等の問題も起きていない。今後は、運用制約のために被覆を満たせていない地域についての補完観測、ならびに、太陽高度条件や圧縮条件を異ならせての質の高いデータの補完観測をエクステディッドミッションで行う予定である。地上系ついては、ノミナル観測データを使っての一次校正係数決定作業も終了し、全量DTM、オルソ作成処理を行い、年度内にはノミナル期間取得のDTM、オルソシーンデータを作成し終わり、さらにはモザイク化（マップ）作成作業に移る。

2. **科学的成果**：これまでに、地形カメラによって、多くの新しい情報が集積されつつある。裏を含む月全球の海の年代情報はクレータ累積個数から求められるつつある。裏の年代については、Moscoviense BasinやApollo Basinの海の一部、あるいは、Antoniadi Craterの中の玄武岩噴出領域（海）の一部に、25億年頃の噴出を発見している。極域については、Shackleton Craterなどの永久影内の様子の撮像に成功し、温度情報やアルベド情報の抽出に成功している。Giordano Bruno Craterについては、周りのエジェクタ上にクレータが初めて確認され、中世における月面発光との関係を否定を示唆する情報が得られた。このほか、マルチバンドイメージャや、スペクトルプロファイラなどの情報と合わせて、WGで数多くの地域の地形・地質解析が行われている。

3. **啓蒙活動**：今年度に入り、WGでは広報体制を整え、地形カメラデータの詳細画像、立体視アナグリフ画像、立体視動画、などを「かぐや」画像ギャラリー（※）に、に科学的な解説を付し掲載し、啓蒙活動に取り組んできている。（※ http://wms.selene.jaxa.jp/）

謝辞：SELENE（「かぐや」）の開発・運用・データ解析活動に支援いただきましたプルジェクト関係者、メーカ各位、学生諸氏に、感謝いたします。

118

かぐや搭載スペクトルプロファイラによる月面衝突クレーターの連続分光観測と鉱物分布の推定および深部物質への制約：-裏側bright ray craters-

○小川佳子[1], 松永恒雄[1], 中村良介[2], 大竹真紀子[3], 廣井孝弘[4], 荒井朋子[5], 佐伯和人[6], 武田弘[7], 杉原孝充[8], 春山純一[3], 横田康弘[3], 本田親寿[3], 諸田智克[3], 鳥居雅也[3], 二村徳宏[3], 安部正真[3], 児玉信介[2], 平田成[9], 出村裕英[9], 浅田智朗[9], 寺薗淳也[9]

[1]国立環境研 [2]産総研 [3]ISAS/JAXA [4]ブラウン大 [5]極地研 [6]大阪大 [7]千葉工大 [8]海洋研究開発機構 [9]会津大

月探査衛星かぐや(SELENE)に搭載されているスペクトルプロファイラ(SP)は約一年間月面を可視・近赤外域(500-2600 nm)で連続分光観測を続けている。高い波長分解能(6-8 nm)と高いSN比(~2300@810-860 nm) から月の鉱物組成に関する情報が得られつつある。本講演では、SP初期成果論文の概略と共に月面裏側の明るい光条(ray)を伴うクレーターについての解析結果を報告する。

一般的に、rayを持つクレーターは、比較的風化を受けていないためにアルベドが明るく、その形成年代は比較的新しい(Copernican年代に形成)と判断されてきた。しかし、月面表側のいくつかのクレーターについては、組成差が影響し、実際にはCopernicanよりも古いことが指摘されている[Hawke et al, 2004]。rayの明るいアルベドは、風化度の差のみではなく、アルベドの高い物質の混入によるケースがある可能性が高い。

本研究では、比較的古い月地殻が保存されている月面裏側に着目する。キャビティ直径9-22km程度で明るいrayを伴うクレーター約20個についてそれぞれ、TC/MI同時観測画像を参照しながらアルベドの異なる区分：バックグラウンド部、ray部、イジェクタ部、クレーター内部(内壁部、フロア部)、を同定し、SPデータから各区域におけるスペクトル特徴を抽出する。代表的な4つのスペクトルパラメータは、鉄元素(あるいは輝石・かんらん石)に由来する1μm吸収帯の深さ、中心波長、半値幅、continuumの傾きである。また、主に斜長石に由来するものと思われる1.25μmの吸収帯のも顕著に観測されており、1μm吸収帯への相対値としてパラメータ化する。さらに、LeMouelic et al., 2002のアルゴリズムをSP連続スペクトルデータに適用し、鉄量も試算する。これらのパラメータをバックグラウンド部のものと比較し、また各エリア間での変化量を定量的に算出した。

結果、rayをもつクレーターのスペクトル特徴について2つのタイプがあることがわかった。1つはLentsC東のクレーターに代表される、組成がバックグラウンドとほとんど変化がなく、風化度だけが顕著に異なることでアルベド変化として見えているタイプで、多くのクレーターがこれにあたる。一方、Giordano Brunoを含めたいくつかのクレーターにおいては、バックグラウンドと比べて明らかに組成が異なるレイやイジェクタが見られている。これらはアルベドの変化に、風化度のみの差ではなく、物質の違いが寄与している可能性を示している。アルベドコントラストからの見かけ以上に風化を受けている(形成年代がより古い)可能性がある。物質による風化度の違いの検討も必要である。また2つのタイプの棲み分けは地下構造と関連している可能性が高い。上記のスペクトル特徴の面的分布をMI分光画像から探る。裏側地殻の鉱物分布を推定し、月地殻進化に制約を与えることを試みる。

119

月周回衛星かぐやによる分光データを用いた月初期地殻組成の研究

○大竹真紀子[1)]、武田弘[2)]、荒井朋子[3)]、横田康弘[1)]、松永恒雄[4)]、春山純一[1)]
1)宇宙航空研究開発機構、2)千葉工業大学、3)国立極地研究所、4)国立環境研究所

はじめに：従来、アポロサンプルの研究から月上部地殻は主にFAN(Ferroan Anorthosite)と呼ばれる鉄に富む有色鉱物を含む斜長岩で構成されると考えられてきた。一方、アポロミッション以降に行われたLunar Prospectorによる観測からは、月の表と裏に組成の違いが存在し、表側で採取されたアポロサンプルの分析結果から従来考えられていた月上部地殻の組成が必ずしも月全球に当てはまらないことが示された。また近年、月隕石中にマグネシウムに富む有色鉱物を含む斜長岩の岩片が発見されたことから、月の裏側に、表側で見られるFANとは異なる組成の上部地殻が存在している可能性が示唆されるようになった。本研究では、月周回衛星かぐやにより新しく取得した月裏側の高地物質の分光データ（主にマルチバンドイメージャデータ）から、このようなFANと異なる組成（マグネシウムに富む有色鉱物を含む斜長岩）の地殻物質が月裏側に存在するのかどうかを明らかにする。

MIデータ：マルチバンドイメージャ(Multiband Imager; MI)は2007年に打ち上げられ、現在運用が続けられている月周回衛星かぐや（SELENE）に搭載されているLISM（月面撮像/分光機器）観測機器の１つである。MIは高度100km±30kmの軌道から、415nm～1550nmの可視・近赤外波長域において合計9バンドの月表層分光画像を取得し、太陽光入射に対する月面の反射特性を観測する。可視近赤外波長域の月面反射光には表層に存在する鉱物種に起因した特徴的な吸収帯が存在する。これら鉱物の吸収帯を識別する目的で設定したMIの9バンド分光画像を用い、全球にわたり月表層の鉱物分布を知り、鉱物分布から月の化学組成と進化過程を調べることがMIによる観測の目的である。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UVVISカメラによる観測と比較して、MIでは1桁高い月面空間分解能(可視域約20m/pixel、近赤外域約60m/pixel)と高いS/N(可視域100以上、近赤外域300以上)、バンド間視差を用いた地形モデル作成および反射率地形補正が可能となる点が優れている。2008年9月14日のかぐや打ち上げ以降、MIの定常的な観測を2009年1月18日より開始している。現在までに観測性能等に大きな問題は生じておらず、予定していたノミナルミッション中の観測のうち約80%を終了している。

解析：今回の解析では、従来の研究により最も純粋な月初地殻物質が存在すると考えられている月裏側の北半球に分布する領域（FHT: Feldspathic Highlands Terrain）の中でも、特に鉄に乏しい領域（30°N～20°N、185°E～210°E）を選定し、選定した領域について有色鉱物の吸収がある1μm付近の反射スペクトル形状を詳細に調べた。マグネシウムに富む有色鉱物が存在した場合、1μm付近の吸収は鉄に富む組成のものに比べて短波長側にシフトすることが知られており、対象領域中で最も短波長側にある反射スペクトルにおける吸収の中心波長を求める事で、鉄とマグネシウムの両比を推定することが出来る。発表ではこれら解析結果とアポロサンプル中のFANとの組成比較結果について紹介する。

120

かぐや搭載 Multi-band Imager によって明らかになった鏡面反射成分が月クレータ中央丘岩相判別に及ぼす影響

Influence of the specular reflection on spectroscopic identification of the lithologies of central peaks of lunar craters revealed by Multi-band Imager onboard SELENE

○長澤健一[1]，川邊聖司[1]，佐伯和人[1]，大竹真紀子[2]，横田康弘[2]，春山純一[2]，松永恒雄[3]，本田親寿[2]，諸田智克[2]

[1]大阪大学，[2]宇宙航空研究開発機構，[3]国立環境研究所

月面地質を全球的に推定するため，これまで人工衛星の分光観測データと，実験室での鉱物粉末の分光測定データとが比較されてきた．鉱物粉末の反射は，拡散反射のみとみなされ観測幾何による反射スペクトルの形に変化はないと考えられている．一方，クレータ中央丘は，月の内部を推定する手がかりとなる深部岩石が露出しており，レゴリスがほとんど覆いかぶさっていない部分もあると考えられる．このため拡散反射だけでなく鏡面反射の寄与もあると考えられるが，これまではクレータ中央丘も粉体の実験室データを元に議論されてしまっている．

我々が実験室で，ハワイの含オリビン玄武岩試料の分光測定をしたところ，鏡面反射の寄与が大きくなる鏡面反射角付近では，鉱物の分光学的特徴が見えにくくなり，斜長岩的みかけになることがわかった．測定した試料は，サイズが 16 mm × 16 mm × 4 mm で，表面粗さが，鏡面，最大凹凸約 1000 nm，最大凹凸約 2000 nm の 3 種類のものである．測定波長は 650 nm，750 nm，900 nm，950 nm，1000 nm である．測定の結果，すべての粗さの岩石試料において，鏡面反射角付近では長波長ほど反射率が高くなることがわかった．この現象により，950 nm 付近に 2 価鉄の吸収帯を持つ玄武岩試料を測定しても，鏡面反射角付近ではその吸収帯がないかのように見えて，斜長岩的なスペクトルに見えてしまうことになる．

本研究ではさらに月のリモートセンシングデータで，観測幾何による反射スペクトルの形に変化がないかを調べた．月面リモートセンシングでは，クレータ中央丘の日向側などには鏡面反射角に近い傾きを持った箇所が存在すると考えられる．月周回衛星「かぐや」に搭載されている可視近赤外分光装置 Multi-band Imager は測定波長ごとの視差を使って標高データを得ることができる．この標高データを用いて，観測幾何が鏡面反射に近い箇所を抽出するソフトを作った．そして，その箇所の鏡面反射からのずれ角と反射率の関係を調べた．その結果を報告する．

121

かぐやスペクトルプロファイラ及びマルチバンドイメージャによる月の斜長岩質高地の鉱物探査

○　荒井朋子[1]、松永恒雄[2]、大竹真紀子[3]、中村良介[4]、小川佳子[2]、
佐伯和人[5]、廣井孝弘[6]、春山純一[3]、諸田智克[3]、本田親寿[3]、横田康弘[3]
[1]極地研、[2]環境研、[3]JAXA、[4]産総研、[5]阪大、[6]ブラウン大

従来の月地殻形成モデルは、アポロ探査機が月表側高地から持ち帰った鉄に富む斜長岩(Ferroan Anorthosite, 通称 FAN)を月の代表地殻岩石と仮定し説明されたきた。「マグマオーシャンモデル」は、月全球数 100km の深さに及ぶマグマの海が全球均質に結晶化していき、結晶分化過程の後期に生じる鉄に富むマグマから、密度の軽い斜長石が浮上し、月地殻を形成するというものである。しかし、近年、月裏側高地起源の月隕石(Dhofar489 グループ)の中に、ﾏｸﾞﾈｼｳﾑに富む斜長岩(Magnesian Anorthosite, 通称 MAN)が見つかったことで、従来の「マグマオーシャン均質固化モデル」の見直しが迫られている。

MAN と FAN と対照的な化学組成及び鉱物組成を持つ。FAN は 90%以上を占める斜長石に少量の鉄に富む(50<Mg/(Mg+Fe)[=mg#]<70)輝石が含まれる。一方、MAN も、斜長石が 90%以上を占めるが、ﾏｸﾞﾈｼｳﾑに富む(75<mg#<88)かんらん石を含む。岩石学的実験より、マグマ結晶化過程の初期は、マグネシウムにかんらん石が結晶化し、マグマの温度が下がり、結晶分化が進むと、鉄に富む輝石が結晶化することがわかっている。従って、FAN と MAN がともにマグマオーシャンから結晶化したと仮定すると、高温では MAN から成る地殻が形成し、低温になると FAN からなる地殻が形成したと解釈できる。従って、月裏側地殻はマグマオーシャンからの高温結晶化成分から、表側地殻はより低温結晶化成分から構成されている可能性がある。この地殻組成二分説は、米国クレメンタインに搭載されたスペクトル分光器データから見積もられた、表裏の月地殻の化学組成(mg#)及び鉱物組成(かんらん石または輝石)分布と一致する。

これまでクレメンタイン衛星により月全球表層の鉱物分布が大まかに特定されているが[1,2]、その精度は低い。月面に分布する主要鉱物である斜長石、輝石、かんらん石は、可視近赤外波長域(400-2500 nm)で各々特徴的な吸収を示す。415-1000nm という限られた波長域のクレメンタインデータは、上記の鉱物分布を正確に決定するためには不十分であった。特に、1000 nm より長い波長に吸収がある斜長石やかんらん石の検知や存在度決定は極めて困難であった。本研究では、かぐやスペクトルプロファイラ及びマルチバンドイメージャが取得した、高空間解像度・広波長域の分光データに基づき、月の斜長岩質高地の鉱物分布を精度良く決定し、月地殻組成の二分性モデルの実証を目指す。

[参考文献] [1] Tompkins S., Pieters C.M. (1999) MAPS 34, 25-41. [2] Lucey P.G. (2004) GRL 31(8) doi:10.1029/2003GL019406.

122

月地殻深部物質の特徴：かぐや搭載 LISM での観察

○杉原孝充[1]，大竹真紀子[2]，春山純一[2]，松永恒雄[3]，平田成[4]、出村裕英[4]、横田康弘[2]、諸田智克[2]、本田親寿[2]、小川佳子[3]

[1]海洋研究開発機構、[2]宇宙航空研究開発機構、[3]国立環境研究所、[4]会津大学

Clementine 以降の月周回軌道からの月面リモートセンシング探査により、月地殻には、大きな物質科学的不均質があること明らかになっている。そして、この地殻組成の不均質が、それまで「月の二分性」と呼ばれていた月の特徴の成因にも影響していることが示されつつある。Apollo などで採取されている月の地殻物質についての放射年代値により、月地殻は月生成まもない 45 億年前には、各放射性同位体の閉鎖温度を下回る程に冷却し、固結していたことが示されている。つまり、月地殻の成因そしてその不均質性の成因は、月生成直後に発生したダイナミックな現象に起因しているということができる。このような観点により、月地殻の組成構造を正確に復元することによって、月の初期進化過程について重要な理解を生むことができる。現在、「かぐや」に搭載されている LISM/Multiband Imager（MI）によって得られた高空間分解能の分光画像データを用いて（VIS～20m、NIR～60m）、クレータ内部物質の構造を明らかにし、月地殻の物質構造について、より精密に理解する研究を進めている。本講演では、その予察的な結果について報告する。

月の表側、特に雨の海、嵐の大洋付近には、10ppm を超える Th 濃度を持つ地殻物質 Procerallum KREEP Terrane（PKT）が存在している。Clementine、Lunar Prospector までの研究で、この地域の地殻物質は Th 濃度が高い（～KREEP 質物質が濃集している）という共通点以外には、岩石学的には多様性が大きいことが明らかになっていた。しかし、Clementine / UVVIS の空間分解能（>200m）では、起伏の激しいクレータの内部の構造を精密に復元しながら、物質分布を把握することができなかった。しかし、MI では VIS と NIR の各バンドは数度程度の視差があり、MI のデータだけで数値地形図を生成し、地形補正をすることができる。今回 PKT 内で特に Th 濃度が高くなっている Aristarchus と Aristillus の各クレータについて、地形補正も含めた MI 画像による解析を行った。Aristarchus の内部は大きく分類すると、北部と南部で 2 つの構成物の違いが確認される。MI の各バンドによるスペクトル解析から、この組成的な相違は、含まれる苦鉄質鉱物の違いに対応していることが分かる（北部はより輝石に富み、南部はよりかんらん石に富む）。さらに詳細に観察すると苦鉄質鉱物に富む岩相の中に、パッチ状に非常に斜長石に富む岩相も確認される。Arisutillus の内部を同様に調べると、やはりクレータ内部に大規模な不均質が確認される。しかし、Aristarchus と比較して、より苦鉄質鉱物に富む特徴が見られる。双方のクレータに見られる相違は、PKT 内の平面的な物質の不均質を反映しているのかもしれないが、Aristillus クレータの地域は、地殻形成後 Imbrium Basin 形成による大規模な掘削の影響を受けているので、その効果も加味して議論する必要がある。しかし、PKT 周辺でも高地のクレータには、PKT 内のクレータ程の不均質は見られないことが多い。

123

格子法による３次元ジャイアントインパクトシミュレーション
3-D Giant impact simulations by Grid base method

森薗宏太[1]、阿部豊[1]、小久保英一郎[2]
Kota Morizono[1], Yutaka Abe[1], and Eiichiro Kokubo[2]

[1]東大・理, [2]国立天文台
[1]Univ. Tokyo, [2]National Astronomical Observatory of Japan

現在、月形成の理論としてはジャイアントインパクト説（巨大衝突説）が有力である。この説は火星サイズの原始惑星が原始地球に衝突しそれらの破片が円盤状にばらまかれ、それが集積して月ができたとするものである。この説を確かめるために主に数値シミュレーションで研究が行われており、主に生成されうる円盤について議論されている。

現在、ジャイアントインパクトのシミュレーションは主にSPH法(Smoothed Particles Hydrodynamics method)で行われており(Cameron, 2001; Canup and Asphaug 2001;Canup, 2004)、これらの数値シミュレーションにより円盤が形成される過程やパラメータなどがだんだん明らかになってきている。しかし、SPH法は粒子法であるため中心星から離れた場所の結果が不鮮明であり、円盤をよく表してないという問題がある。具体的には、円盤を形成する領域には全体の粒子数の数%しか粒子がなく、さらにそれらの粒子の広がりはディスクの半径のオーダくらいあるので解像度が低いことが問題である。

この問題を解決するためには数値計算方法に粒子法ではなく格子法を用い空間全体で等しい解像度を実現し、円盤部分での解像度をあげることが考えられる。よって円盤領域の高解像度を得るために本研究の先行研究である Wada, Kokubo and Makino (2006)により格子法でのジャイアントインパクトシミュレーションが行われた。その結果、円盤領域ではSPH法の10-20倍の解像度を得ることができ、円盤領域での詳しい様子をシミュレーションすることが出来た。それによりSPHのシミュレーションでは見られなかった円盤領域でのスパイラル状の衝撃波や、円盤領域での物性の違いにより円盤が維持できるかどうかが変わることなどが分かってきた。
本研究ではこの結果をさらに発展させるために格子法の計算に精度の高いCIP法を用いて流体コードを作成しジャイアントインパクトをシミュレーションした。本講演ではその結果を発表する。

124

かぐや搭載地形カメラによる嵐の大洋の溶岩流の年代決定
Age determination of mare basalts in Oceanus Procellarum using SELENE Terrain Camera

諸田智克[1]、春山純一[1]、大竹真紀子[1]、松永恒雄[2]、
横田康弘[1]、本田親寿[1]、平田成[3]、出村裕英[3]、児玉信介[4]、宮本 英昭[5]、佐伯 和人[6]
小川佳子[2]、中村 良介[4]、杉原 孝充[7]、荒井 朋子[8]

1. ISAS/JAXA、2. 国立環境研、3. 会津大、4. 産総研、5. 東京大
6. 大阪大学、7. JAMSTEC、8. 極地研

月の溶岩噴出の期間や噴出量の時間変化は、月の熱史に制約を与えるための重要な情報である．これまでに層序関係やクレータ数密度を使った年代決定によって個々の溶岩流の年代は調べられており [e.g., Wilhelms 1987; Hiesinger et al. 2003]、おおまかな噴出量の時間・空間変化の理解はなされてきた．しかし特に 30 億年前以降に形成されたと考えられる若い領域ではクレータ数の統計量が不足しており、クレータ数密度による年代決定精度が悪いため、溶岩噴出の終焉時期の特定はできていない．

月周回衛星かぐや (SELENE) は 2007 年 9 月に打ち上げられ、12 月より定常運用フェーズへと移行した．現在まで、かぐや搭載地形カメラ (TC) は月の広範囲にわたって高解像度(10m/pixel) の画像データを取得してきている．この高解像度画像を用いることで、より小さいクレータ、つまりより多くのクレータのカウンティングが可能となり、年代決定精度を向上することができる [Morota et al. 2008]．本研究では TC 画像を用いて、これまでに若いとされてきた嵐の大洋における溶岩流の年代決定を行い、溶岩噴出の終焉時期の特定を目指す．

Aristarchus クレータ南部に位置するユニットは、Hiesinger et al. [2003] によって最も若い年代 (1.2 Ga) が与えられている溶岩流である．それに対し、本研究の再年代決定の結果ではやや古い年代 (1.7 Ga) が得られた．同様に、過去に 2.0 Ga 以下に年代決定されているその他の若いユニットでも相対的に古い年代が得られる傾向がみられた．これらの結果から、月の溶岩噴出の終焉は過去に見積もられていたよりも古いと考えられる．

125

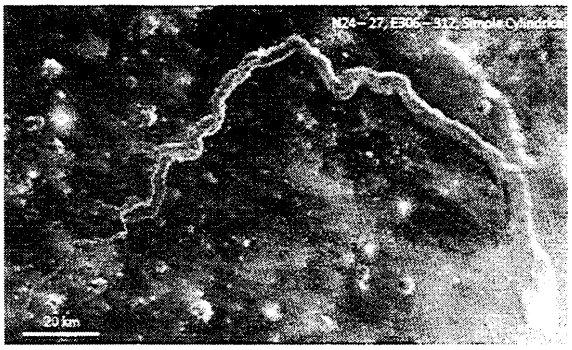
LISM/かぐやデータを用いた月の蛇行谷 Vallis Schröteri の熱浸食説の妥当性の検討結果

○本田親寿[1]、春山純一[1]、大竹真紀子[1]、松永恒雄[2]、宮本英昭[3]、諸田智克[1]、横田康弘[1]、小川佳子[2]、出村裕英[4]、平田成[4]

[1] ISAS/JAXA, [2] NIES, [3] Univ. Tokyo, [4] Univ. Aizu

月の高地である Aristarchus Plateau には月最大級の蛇行凹地形である Vallis Schröteri が存在する。Sinuous rille の成因については、主に（1）constractional 起源説、（2）浸食説が考えられてきた。高地に存在する蛇行凹地形であることから、溶岩流による浸食説が有力な仮説であると考えられる。また、Vallis Schröteri は巨大な Primary rille 構造の中に、Inner rille と呼ばれる蛇行凹地形を含んでいる。おそらく、Inner rille は二度目の溶岩流噴出によって形成された蛇行凹地形だろうと推測される。我々は LISM/かぐやデータより作成された DTM を用いて、Vallis Schröteri の Primary rille の地形的特徴を定量的に導出した。過去の研究によると Vallis Schröteri の全長は 125 km、幅は最大で 4 km、深さは平均で 400 m であることが推定されていたが（*Gorniz*, 1973）、DTM データを用いることによって、全長 155 km、幅は最大で 6 km、深さは平均で 500 m であることが明らかになった。Vallis Schröteri の Primary rille の幅及び深さの情報は、Cobra head クレーターと呼ばれる噴火口跡と考えられる場所からの道のりの関数で導出し、我々の溶岩流の熱侵食数値モデル計算と比較した。その結果、月表層での一回の火山活動としてノミナルな体積と考えられている値（約 1000 km^3）を超えない溶岩流で Vallis Schröteri の Primary rille が形成したと仮定すると、その火成活動の噴火条件は、噴出率約 2.6×10^6 m^3/sec、噴火温度 1600℃以上であることが示唆された。揮発性物質の非常に少ない月において、現在月面で見られるような mafic な玄武岩質溶岩が噴出するためには *Wieczoreck et al.* (2001)によると噴火温度は 1600℃以上でなければ噴出できないとする研究とも調和的な結果である。

Gornitz V., *Earth, Moon, and Planets, 6,* 337-356, 1973. Wieczorek, M. A., M. T. Zuber, and R. J. Phillips, *Earth Planet. Sci. Lett., 185,* 71-83, 2001.



図、Vallis Schröteri。TC/LISM データのモザイク画像。

126

ＬＲＳデータから推定される月西部海域/地下境界面の特徴

○押上 祥子[1], 山口 靖[1], 望月 憲悟[1], 山路 敦[2],
小野 高幸[3], 熊本 篤志[3], 中川 広務[3], 小林 敬生[4], 笠原 禎也[5]
[1]名古屋大学大学院環境学研究科地球環境科学専攻
[2]京都大学大学院理学研究科地球惑星科学専攻
[3]東北大学大学院理学研究科地球物理学専攻
[4]韓国地質資源研究院
[5]金沢大学総合メディア基盤センター

Lunar Radar Sounder (LRS) は月探査機 KAGUYA に搭載された 15 のサイエンスミッション機器の一つである．LRS サウンダ観測では，地下に向けて HF バンドのレーダを射出し，岩石の誘電率が不連続に変化する面からのエコーを検出する．エコーの反射深度は地下物質の誘電率を仮定することによって推定される．これまでに，LRS データから Mare Serenitatis をはじめとする海の領域で地下境界面を示すエコーが検出されている．本講演では月西部海域の LRS データ解析結果について報告する．

まず，月西部海域の LRS データから検出される地下エコーの反射深度と，過去にフレッシュクレータの直径とリム高との関係などを用いて見積もられた海の玄武岩の厚さとを比較する．地下物質の誘電率の不確定性を考慮しても，地下境界面由来と考えられるエコーの反射深度の方が全体的に浅いため，地下境界面の多くは，海の基盤ではなく海に堆積した玄武岩の層構造中の不連続面（層）である可能性が高い．これらの面（層）は，その上下の玄武岩層を形成した火成活動の合間に堆積した，イジェクタを含むレゴリス層であると考えられる．

次に，月西側の海の中で，地下エコーが確認できる領域と確認できない領域の違いについて考察する．過去の研究に基づくと，地下エコーが認められない領域でも，LRS データから十分に検出可能な厚さの玄武岩が堆積していると考えられる．地下エコーが検出されない原因として主に次の３つが挙げられる．レゴリス層が薄い，境界面下のラフネスが大きい，そして境界面上の伝播媒質中での入射波のエネルギー損失が大きいことである．ラフネスが大きいほど入射波が散乱されるため，地下境界面からの反射波が検出されにくいはずである．そして境界面下のラフネスとレゴリス層の厚さは共に，その境界面の形成時期の地質学的環境，あるいは上下の玄武岩層の年代差に関連していると考えられる．一方，伝播媒質中の入射波のエネルギー損失は主に媒質の組成に依存している．月の海の玄武岩では，特に FeO と TiO_2 の含有量との相関が高いとされる．これら３つの可能性について検討し，月西側の海に対する新たな地質学的考察を試みる．

127

月面重力計を用いた深発月震の月震波解析と震源の再検証

[1,2]川村太一、[2]田中智、[2]斎藤靖之、[1,2]小林佑輔、[3]アクセル・ハーガマン
[1]東京大学、[2]ISAS/JAXA、[3]Open Univ.

月の起源や進化を考える上でその内部構造は重要な情報であり、アポロの月震波観測はその有力な情報源のひとつである。我々はアポロ 17 号に搭載されたLunar Surface Gravimeter(LSG)が月震計として機能していたことに着目し、ノイズ成分は多いものの適切な処理をすることで月震波解析が十分可能であることをHFTと呼ばれる比較的規模の大きい月震を用いて示した[1] 。本研究では、内部構造決定に重要な深発月震のLSGを用いた月震波解析を試みた。

深発月震の震源は深さ約 1000kmであるといわれており、特定の震源で周期的に起こっていることが指摘されている[2]。これまでに 7245 個の深発月震が報告されており、これらが 165 個の震源に分類されている[3]。本研究ではLSGを用いることで 5 観測点のデータを用いた解析が可能となり、これまでよりも有利な条件での震源決定を行うことができる。これにより、より確度の高い震源決定、さらにはこれまでは震源を決定することができなかった深発月震に対しても震源決定が可能となることが期待できる。そこで 5 観測点の観測データを用いて震源決定を行い、過去の深発月震の分類の再検証を行った。

初期解析としてアポロ 17 号着陸地点に近く、イベントの数も多い A06 と呼ばれる深発月震の震源に着目し、解析を行った。1976 3/1 ～ 1977 9/30 の 21 例の A06 深発月震の解析を行い、そのうち LSG で到達時刻の読み取りが可能であった 8 例で震源決定を行った。その結果、検証した 8 例中 7 例で過去の分類と一致する結果を得られた。これよりこれらの 7 つのイベントについて過去の分類の妥当性を 5 観測点の観測からも示すことができた。1 例についてはこれまでとは異なる震源が得られた。これはこの深発月震が A06 深発月震でない可能性を示唆するがこのイベントがアポロ 15, 16 号の月震計と LSG の 3 つでしか検出できてないこと、他のイベントと比較して S/N 比が悪いことが影響していることも考えられる。

このように LSG を用いた解析から過去の深発月震の分類の再検証を行うことができた。今後はさらに観測データの少ない深発月震、および未分類月震についても解析を進めていく。

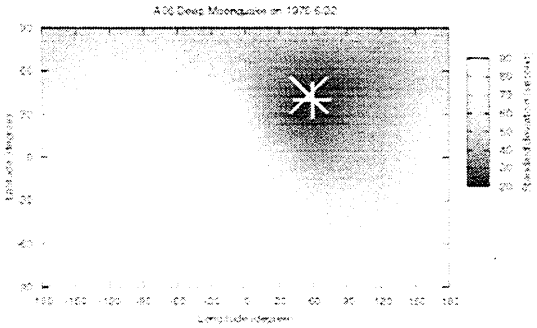


図 1976 6/22 の深発月震の震央。アポロ 12, 14, 15, 16 の月震計と LSG でシグナルが検出されている。縦軸：経度、横軸：緯度を表している。Nakamura 2005 ではこの深発月震は震源、A06 に分類されており、A06 の位置を×印で示した。十字が本研究で求めた震央であり、LSG を加えた 5 観測点のデータを用いた震源決定からも過去の分類を支持する結果を得られた。

Reference

[1] Kawamura et al., (2008) , *Proc. Lunar Planet.Sci. 39th,* 2069

[2] Lammlein et al., (1974), *Rev. Geophys. Space Phys. 12*, 1-21.

[3] Nakamura, (2003), *Phys. Earth Planet Inter.*, 139, 197-205

[4] Nakamura, (2005), *J. Geophys, Res.*, *110*, E01001

128

かぐや搭載 LALT による地形データおよび RSAT/VRAD ミッションによる重力異常モデルでみる月衝突地形の特徴

○石原吉明[1]・野田寛大[1]・佐々木晶[1]・並木則行[2]・荒木博志[1]・岩田隆浩[3]
・杉田精司[4]・田澤誠一[1]
[1]国立天文台 RISE 月探査プロジェクト [2]九大 [3]ISAS/JAXA [4]東大

月周回探査機かぐやには測月観測機器として、月地形を計測するレーザ高度計（LALT）が主衛星に、月重力場計測を目的として、ドップラ中継器（RSAT）および VLBI 電波源（VRAD）が子衛星に搭載されている。LALT ミッションでは波長約 1 ミクロンの Nd:YAG レーザを用い、1 秒サンプリングで月地形を計測し、Clementine-LIDAR や ULCN2005 に比べ、圧倒的に高密度・高精度の地形データを取得した。RAST ミッションでは主衛星の掩蔽時に、ドップラ信号をおきな経由でリレーすることにより月裏側での軌道を世界で初めて追跡し、裏側の重力場を初めて精度よく決定する事に成功した。おきな・おうなの軌道を VRAD 用いて相対 VLBI 観測により高精度で推定し、重力場モデルの得に低次側の改善に貢献している。

月には大小様々な衝突地形が存在するが、一般的に直径 300km より大きなものはベースン（衝突盆地）と呼ばれる。これまで Woods(2004)らが ULCN2005 等の地形データや画像、重力データをもとに、記載を行なってきた。我々は、LALT による高詳細な月地形図、RSAT/VRAD による新しい月重力場モデルを用い、衝突盆地の探索や記載をすすめている。衝突盆地探索については野田ほか（本講演会）の報告を参照して頂き、ここでは月裏側の衝突盆地の特徴、特にモスクワの海盆地を取り上げる。

モスクワの海盆地は、ネクタリアンに形成された衝突盆地である。今回新たに第一・第二リングを取り囲む第三のリング構造が同定された。第三のリング構造は、第一・第二リングと中心を共有しておらず、単一の衝突によって形成されたとは考え辛い。すなわち、第一・第二リングを形成した衝突以前に、別の大衝突によって形成された構造だと思われる。第三のリング構造とほぼ同規模の衝突盆地として、モスクワの海盆地の南東に隣接して、プレネクタリアンに形成されたフレデリック・シャラノフ盆地が存在する。モスクワの海盆地ではアッパーインブリアンに玄武岩の噴出が起こっているが、この盆地では玄武岩の噴出は起きていない。球関数展開した地形モデルと重力場モデルから地殻/マントル二層モデル（海玄武岩無考慮）を仮定し地下構造を推定すると、両盆地とも周囲より約 20km のモホ面上昇がみられる。モスクワの海盆地については、地殻と比較して高密度な海玄武岩の影響により、モホ面を浅く見積もっているはずであるが、このマントルアップリフトのすべてを玄武岩の影響で説明する事は困難である。また、アップリフトの中心軸は、第三のリングの中心とほぼ一致する。これらの点を考慮すると、モスクワの海盆地は、一度目の大規模衝突により現在第三のリングと呼んでいる構造が作られモホ面の上昇がおこり、その後、ネクタリアンに入って二度目の大衝突により第一・第二リングという構造が形成され、その後、アッパーインブリアンに玄武岩が噴出したという形成史辿ったと推定される

129

かぐや搭載 Spectral Profiler による 月の多重リングクレーターの組成探査

○中村良介[1]（産総研），松永恒雄[2]，小川佳子[2]，諸田智克[3]，大竹真紀子[3]，本田親寿[3]，春山純一[3]，横田康弘[3]，佐伯和人[4]，荒井朋子[5]，平田成[6]，廣井孝弘[7]

[1]産総研，[2]国立環境研，[3]JAXA，[3]大阪大，[5]極地研，[6]会津大，[7]ブラウン大，

クレーターはサイズが大きくなるにつれ、お椀型の simple クレーター → 中央丘を持つ complex クレーター → 環状の丘を持つピークリングクレーターへと、その形態が変わっていく。中央丘やピークリングはもともと下部地殻にあった物質が表面に持ち上げられたと考えられており、月地殻の組成や進化を考える上で重要な情報を提供する。Tompkins and Pieters (1999)はクレメンタイン UVVIS データを用いて、109 個の中央丘クレーターの組成のサーベイを行い、中央丘のほとんどは斜長石が支配的なもの（A），比較的単斜輝石に富んだもの(G)，斜方輝石にとんだもの（N）、その中間のもの（GNTA1, GNTA2, AN, AGN, AG, GN）に分類され、かんらん石に富んだもの（T）は、109 個のうち 6 個のみであることを示した。この結果は、月の地殻はマグマオーシャンから浮上した上部斜長石地殻と、より有色鉱物に富んだ下部地殻から成るという従来の描像と矛盾しない。しかし、上部／下部境界の深さや、具体的な下部地殻の組成については、まだはっきりしないことが多い。中央丘には、もともとクレーター直径の 1／10 程度の深さに存在していた物質が出ていると考えられている。ピークリングの元々の深さについても、シミュレーションや地球のクレーターのデータなどから様々な評価が行われているが、中央丘よりもさらにはっきりしない点が多い。しかし、衝突の規模を考えれば、中央丘よりもさらに深部の物質が露出していると考えられる。従来の中央丘やピークリングの岩相分類は、限られた波長域（@415, 750, 900, 950, 1000 nm）の多色撮像データに基づいていたのに対し、「かぐや」搭載のスペクトルプロファイラー（SP）では、500-2500 nm での連続スペクトルデータを取得できる。月で最も巨大な 盆地である、South-pole Aitken 周辺に存在する、いくつかのの中央丘およびリングのスペクトルを解析したところ

- Tsiolkovsky の中央丘は、従来言われていたようなかんらん石ではなく、輝石／斜長石の混合物である
- Antoniadi 中央丘／リングには斜方輝石の量が抜きん出て多く、またその Mg/Fe 比が高い
- Schroedinger の中央丘には、かんらん石が支配的な部分が存在する

といったことが明らかとなった。これらの中央丘／リングの組成に基づき、SPA 形成後の周辺地殻の深化について議論する。

130

かぐやLISMによる月オリエンターレ衝突盆地の地質マッピングの試み

○出村裕英[1]，平田成[1]，浅田智朗[1]，柴田祐人[1]，佐伯和人[2]，杉原孝充[3]，横田康弘[4]，諸田智克[4]，本田親寿[4]，鳥居雅也[4]，小川 佳子[5]，松永恒雄[5]，大竹真紀子[4]，春山純一[4]
[1]会津大学，[2]大阪大学，[3]海洋研究開発機構，[4]JAXA，[5]国立環境研

オリエンターレ（Orientale Basin）は巨大衝突盆地の中で最も若いもののひとつで、形成年代は3.85Gaと記載されている。6重の多重リング構造を持ち、それぞれの直径は320, 480, 620, “930”, 1300, 1900 kmである。そのうち、930kmのものがクレータリムとされているが、その内外にある環状構造がどのようにして生じたのか、それぞれどの深度の物質を反映しているのか、そして中央丘・ピークリングがどのようにして形成されるのか、まだ決着がついていない。その手がかりを得るため、現在もっとも高分解能高精度なかぐや月撮像分光機器のマルチバンドイメージャ／地形カメラデータに基づいて、環の断崖を中心に詳細な解析を続けており、その経過を報告する。

Orientale Basin is one of the youngest impact basin on the moon, 3.85Ga. This shows multiring structure (6 rings), the ring of 930 km in diameter is regarded as the crater rim. Nobody has had definitive views of origin and mechanism for procesing other rings, their uplift, and central peaks/peak ring. We report ongoing status of detailed analysis based on Multiband Imager and Terrain Camera on LISM/Kaguya.

131

月周回衛星「かぐや」に搭載された電子分析器（MAP-PACE-ESA）による月の磁気異常測定

山本　忠輝[1]，齋藤　義文[2]，横田　勝一郎[2]，浅村　和史[2]，
田中　孝明[1,2]，西野　真木[2]，綱川　秀夫[3]，寺沢　敏夫[3]
かぐや MAP LMAG TEAM[4]，かぐや MAP PACE TEAM[4]

[1]東京大学，[2]宇宙航空研究開発機構・宇宙科学研究本部，[3]東京工業大学，[4]かぐや MAP

月にはグローバルなダイポール磁場は存在しないが、表面磁場は存在することが明らかになっている。月周回衛星「かぐや」に搭載された電子分析器（MAP-PACE-ESA）及び磁力計(MAP－LMAG）は電子反射計として使用することで、月表面の磁気異常を測定することができる。今回我々は、MAP-PACE-ESA の1秒あるいは2秒の時間分解能のデータを利用して、これまでの観測より高い空間分解能の磁気異常マップを作成した。その概要を紹介する。

The Moon has no global magnetic field. However, measurements by magnetometers on the Apollo subsatellites and the returned samples showed the existence of extensive crustal magnetism. According to Lunar Prospector data covering the whole lunar surface, strong magnetic anomalies were located radial, or antipodal to the Impact basins. These results suggest how the magnetic anomalies were made. These anomalies also correlate with albedo markings on the lunar surface. This is because structure like “mini-magnetosphere” around the anomalies and related shock will deflect solar wind ions. Lunar Prospector also observed electron heating near the anomalies.
We have observed the lunar magnetic anomaly by electron reflection method using the data obtained by MAP-PACE-ESA and MAP-LMAG (Lunar MAGnetometer) onboard Kaguya. Since May 2008, MAP-PACE-ESA has been operated with high time resolution (1~2s) mode. We will present the mapping of the lunar magnetic anomaly using the high time and spatial resolution data.

132

かぐや電波科学による月電離層の観測

○今村剛[1]，岩田隆浩[1]，山本善一[1]，望月奈々子[1]，河野裕介[2]，松本晃治[2]，劉慶会[2]，野田寛大[2]，花田英夫[2]，二穴喜文[3]，小山孝一郎[4]，A. Nabatov[5]，齊藤昭則[6]，安藤紘基[7]
[1]宇宙航空研究開発機構，[2]国立天文台，[3] Swedish Institute of Space Physics，[4]台湾国立中央大学，[5] Ukrainian Academy of Science，[6]京都大学，[7]東京大学

「かぐや」の電波科学ミッション（RS）は月面近傍の荷電粒子層の検出に挑戦している。これまでにパルサーを用いた電波掩蔽観測が何度か試みられているが、一例を除いては月面近傍に有意な電子密度は観測されていない。その一方で、旧ソ連の月ミッションでの電波掩蔽観測から、比較的高い電子密度（～1000 cm^{-3}）の領域が月面から高度数十 km にわたって存在することが報告されている。理論的には、月面近傍の希薄な中性ガスが電離して作られた荷電粒子は太陽風によって速やかに取り去られるため、特別なことを考えないかぎり電子密度は 1 cm^{-3} 程度、つまり惑星間空間と同程度のはずである。そのため、ソ連の月ミッションの報告にも関わらず、多くの研究者が月電離層の存在に関しては懐疑的である。そのような観測がなされたこと自体、あまり知られていない。

もしも月に電離層が存在するとすれば、(1)月面の残留磁場がプラズマを太陽風から保護する、(2)これまで知られていないような高い濃度の中性ガスが局所的に地面から供給される、(3)月面から静電場で巻き上げられているらしいダストに伴って電子が存在する、などのシナリオが考えられる。いずれも月面環境に関する人類の認識に変更を迫るものである。月のダストについては月面利用の観点からも近年注目が集まっており、その存在形態について電離層観測から新たな情報が得ることには意義がある。

今回我々は、「かぐや」の子衛星のひとつである VRAD 衛星が月の背後に回りこみ、その送信電波が月の荷電粒子層を通過して地上局に届く機会を利用する。月に電離層があれば、このとき地上局で受信する電波の周波数がごくわずか変動するはずである。VRAD の送信周波数の揺らぎの影響を取り除くため、共通の発振器から作られた S 帯（2.2GHz）および X 帯(8.4GHz)電波を同時に受信して、これら 2 波が荷電粒子に対して異なる感度を持つことを利用して荷電粒子の影響だけを抽出する。地球電離層の影響も同時にとらえてしまうため、地球電離層に時間変化があると誤差要因となる。そのため、多数回の観測により統計的に月電離層の寄与を取り出す、もう一つの子衛星（リレー衛星）の電波を用いて地球電離層を別途モニターする、GPS 受信機網による地球電離層データを用いて補正する、などの方法を試みている。観測開始から現在に至るまで 100 回を超える観測を行い、特定の地方時で電子密度が増加する傾向が見られるなど、月の荷電粒子層の存在形態が明らかになりつつある。

133

「かぐや(SELENE)」の定常運用およびデータ処理成果

○星野宏和、祖父江真一、加藤學、滝澤悦貞[1]

[1]JAXA

2007年9月に打上げられた月周回衛星「かぐや(SELENE)」の定常運用が2008年10月に終了するのに合わせて、初期機能確認が終了した2007年12月から約10ヶ月間の定常観測運用およびデータ処理状況と、ハイビジョンカメラHDTV(High Definition Television)による地球、月面映像をはじめ、地形カメラTC(Terrain Camera)によるモザイク画像、レーザ高度計LALT(Laser Altimeter)による月全球地形図など、これまでの広報用データの公開成果を紹介する。また、以降の後期運用の概要と定常運用終了1年後を予定している観測データの一般公開に向けた準備状況を紹介する。

合わせて、定常観測運用およびデータ処理のために整備された「かぐや」地上系システムの機能概要と運用状況を紹介する。

「かぐや」地上系システムは、大きく追跡管制システム、ミッション運用・解析システムに分類され、追跡管制システムは、「かぐや」「おきな」「おうな」の運用計画立案やテレメトリ／コマンド運用により衛星状態の監視／制御を行う衛星管制系システムと、軌道決定、軌道生成および軌道制御計画立案と結果評価を行う軌道力学系システムを中心に構成される。

ミッション運用・解析システムは、研究者チーム向けにミッションデータを作成、配付するミッション運用・レベル0/1 処理システム、研究者チームが観測データの処理、解析を行うためのセンター内ユーザシステム、「かぐや」のデータを保存、検索、提供するL2DB・公開系システムそして可視化処理システムから構成される。ここでは、L2DB・公開系システムのうち、特に観測データの一般公開を行う研究者向けの機能概要を中心に紹介する。

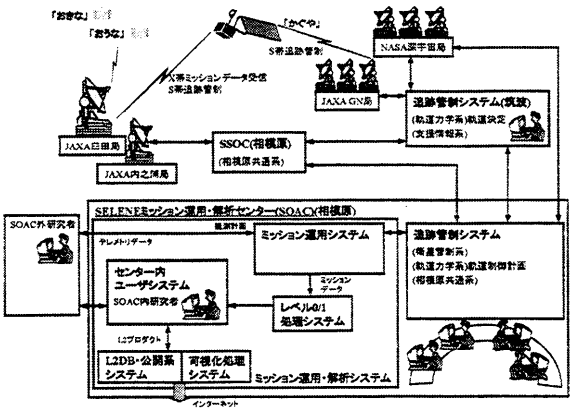


図1. 「かぐや」地上系システム概要図

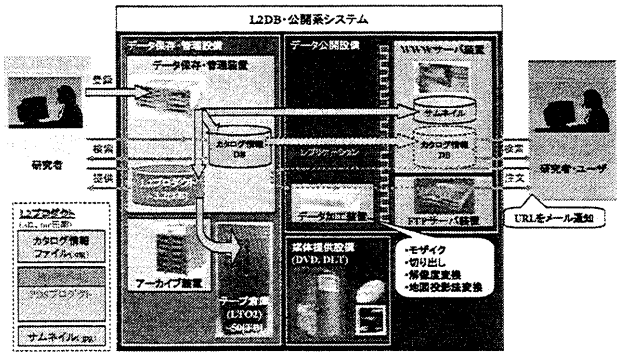


図2. 「かぐや」L2DB・公開系システム概要図

134

IPDAにおける月惑星探査データの相互運用

○山本幸生[1] 篠原育[1] 安部正真[1] 祖父江真一[1] 寺薗淳也[2] 笠羽康正[3]
[1]宇宙航航空究開発機構 [2]会津大学 [3]東北大学

International Planetary Data Alliance(以後IPDA)では、国際的なデータアーカイブの標準化への取り組みと、科学的成果の共有を目指した惑星科学データシステムの相互利用を促進している。惑星探査の分野では大きく二つのフォーマットが存在しており、一つはNASAの開発したPDSフォーマット、もう一つはESAの開発したPSAフォーマットである。

研究者がデータを利用する場合には、各々に適したツールを選択もしくは開発した上で解析を行う必要がある。惑星探査データを利用する上で、異なるミッションで取得された同じ天体の同じ地域の同じ種類のデータ(画像,スペクトルなど)を、ユーザがデータフォーマットを意識することなく有効活用するためのプラットフォームは現在のところ存在していない。IPDAではネットワーク上のプロトコルとしてPlanetary Data Access Protocol (PDAP)を開発し、データをシームレスに扱うための国際共通化を進めている。

PDAPが最も有効に利用される対象の一つとして月が挙げられる。月探査計画は世界の中でも注目すべき計画の一つとなっている. 2007年9月に打ち上げられた日本の月周回衛星「かぐや」を始めとして, 2007年10月には中国による「嫦娥」が打ち上げられた。また2008年10月にはインドの「Chandrayaan」が打ち上げを予定しており、その後もアメリカのLunar Reconnaissance Orbiterや日本のSELENE-II, 中国の嫦娥IIなど月データの拡充が計られ、観測データの相互利用性が一層求められることになる。

新しいデータだけでなく、過去に取得したApolloやClementine、Lunar Prospectorのデータも相互参照する必要があり、これらのデータをどのように保持し検索するのかを、IPDAではデータモデルを定義し仕様検討を行っている。

IPDAの活動の一環として日本ではSELENEによるテストベットの開発を行い、実装方式の検討を行った。今後はユースケース分析及び複雑形状を持つItokawaを観測したHayabusaデータのPDAP試験実装を行い、PDAPの利用者にとって本当に使い易いプラットフォームを開発していく予定である。

201

火星大気における
渦を伴う鉛直対流の三次元数値計算

○小高 正嗣[1], 山下 達也[1], 杉山 耕一朗[2], 中島 健介[3], 石渡 正樹[1], 林 祥介[4]
[1] 北大・理, [2] 国立天文台, [3] 九大・理, [4] 神戸大・理

1. はじめに

高橋 他 (2007) による水平格子間隔を 22 km 程度とした高解像度火星大気大循環モデル計算には, 太陽直下点の地表付近に日変化にともない数十 km サイズの渦が多数生じていること示されている. これらの渦の生成には日変化にともない生じる鉛直対流などの km スケールの循環が寄与していると想像されるが, 実体はよくわかっていない. 本研究では, 上記の日変化にともなう数十 km サイズの渦の成因を 3 次元非静力学モデルを用いた数値シミュレーションによって明らかにすることを目標とし, まず定常な熱強制を与えた場合の鉛直対流の強度と生成される渦の時空間スケールについて調べた.

2. 数値モデルと計算設定

モデル方程式として準圧縮系方程式を用い, 乱流混合は Klemp and Wilhelmson (1978) の 1.5 次のクロージャで表現する. 熱強制の与え方は Odaka *et al.* (1998) の 2 次元モデル計算のそれにならい, 温度一定 (270 K) とした地表からの熱と運動量のフラックスはバルク法で評価し, 高度 5 km 以下に水平一様な 50 K/day の冷却を導入する. 計算領域は水平に 20 km, 鉛直に 10 km, 格子間隔は水平鉛直ともに 100 m とする. 水平境界は周期的とし, 上下境界で鉛直流なしとする. 初期の地表気圧は 6 hPa, 鉛直温度分布は高度 5 km までは等温位 (245 K), それより上空では等温度 (220 K) とする. この初期温度場に最大振幅 1 K の温位擾乱を地表付近に与え対流を発生させる. 積分時間は 12 時間である. 数値計算は, ISAS/JAXA PLAIN センターの NEC SX-6 を用いて行った.

3. 計算結果

計算開始から 2 時間経過すると地表付近に多数の孤立した鉛直渦が現れるようになる. 12 時間後に観察される鉛直渦のスケールは鉛直方向に 1-2 km, 水平方向に 200-400 m 程度であった (図 1). これらの孤立渦は対流領域中層で上昇流の強い場所で生じ, 渦の中心には正の温位偏差が存在していた. したがって, 何らかの原因でモデル大気下層に形成された弱い渦が, 鉛直対流にともなう上昇流の引き延ばしにより強化され, これらの孤立渦へと発達したと考えられる.

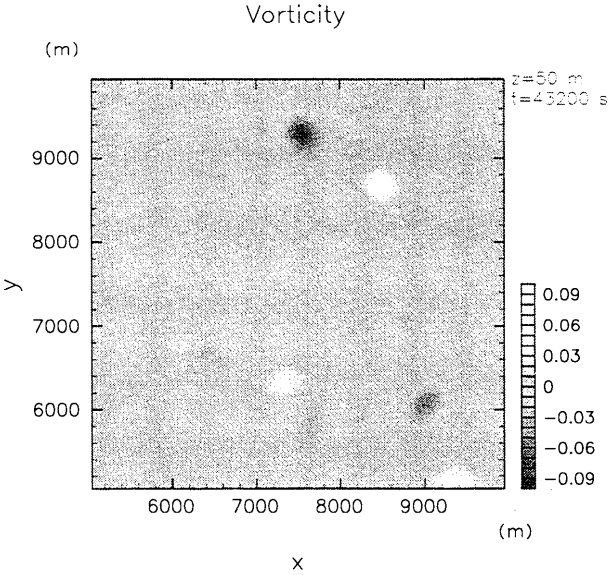


図 1: 計算開始後 12 時間後の高度 50 m における渦度の鉛直成分の分布. 5 km $\leq x \leq$ 10 km, 5 km $\leq y \leq$ 10 km の範囲の拡大図.

202

大気主成分の凝結を考慮した二次元雲対流モデルによる火星大気の数値計算

○山下達也[1], 小高正嗣[1], 杉山耕一朗[2], 中島健介[3], 石渡正樹[1], 林祥介[4]
[1] 北大・理, [2] 国立天文台, [3] 九大・理, [4] 神戸大・理

1. 序

現在の火星では冬極付近で大気主成分である CO_2 の凝結にともなう雲が観測されている (Pettengill and Ford, 2000). また, 過去の火星では冬極付近にかぎらず大気中で CO_2 の凝結が生じていた可能性が指摘されている (Kasting, 1991). しかし大気主成分が凝結する系での雲の生成とそれにともなう流れ場の構造についてはこれまであまり調べられていない. 我々は, 大気主成分が凝結する系での対流の流れ場と雲の構造を明らかにすることを目指し, 主成分凝結を考慮した二次元雲対流モデルを用いて現在の火星を念頭に置いた数値計算を行なった.

2. モデルと計算設定

支配方程式として準圧縮方程式 (Klemp and Wilhelmson, 1978) に大気主成分の凝結を考慮したものを用いる (小高他, 2006). 乱流拡散は 1.5 次のクロージャモデルで表し, 地表面フラックスは係数を一定としたバルク法で評価する. 雲物理過程は拡散による雲粒の成長のみを考慮し, 併合成長と重力沈降は考慮しない. 雲粒の凝結数密度は一定とした. 凝結の判定に用いられる臨界飽和比はパラメータとし, その値は 1.0 と 1.35 とする. 放射過程については陽に計算せずに高度 0 – 15 km で 5.0 K/day の一様冷却を与える. 計算領域は水平 50 km, 鉛直 20 km の矩形領域とし, 格子間隔は 200 m とする. 境界条件として水平方向に周期境界条件, 鉛直方向にすべり無し条件を適用する. 初期温度分布は火星の極冠周縁で観測される温度分布を参考に, 地表から高度 4 km までを等温位 (165 K), 高度 4 – 15 km は湿潤断熱的, 高度 15 km 以上を等温 (135K) とし, モデル最下層の格子点には最大振幅 1.0 K のランダムな温位擾乱を与える. 数値積分は 12 時間行なった.

3. 計算結果

臨界飽和比が 1.0 の場合, 計算開始約 1 時間後に複数の雲が高度 5 km 付近に形成され, その厚さは 1 – 4 km である. 雲内部の上昇流の大きさは 10^{-1} m/s 程度であった. 一方臨界飽和比が 1.35 の場合, 計算開始約 7 時間後に凝結が始まり, 厚さ 10 km に及ぶ巨大な雲が 1 つだけ形成される (図 1). このときの雲内部の上昇流は数 m/s 程度に達する (図 2). 以上の結果は, 大気主成分が凝結する場合, 形成される雲の分布は臨界飽和比によって大きく変わることを示唆する.

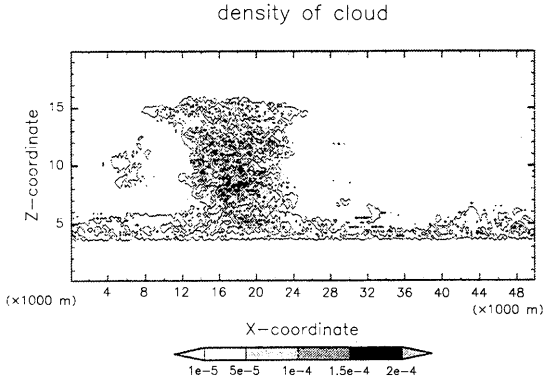


図 1: 臨界飽和比が 1.35 の場合の計算開始 12 時間後における雲密度の分布.

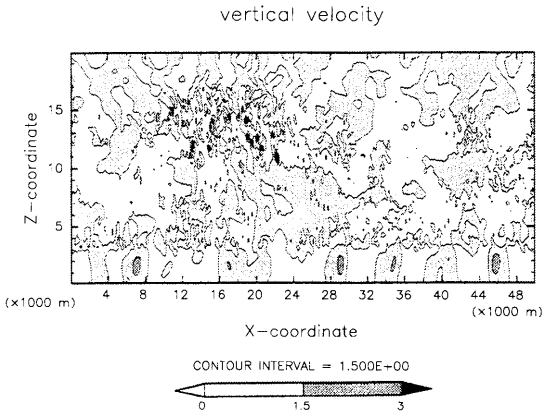


図 2: 臨界飽和比が 1.35 の場合の計算開始 12 時間後における鉛直流速の分布.

203

無人観測飛行機による火山観測
-火星探査ツールとなるか-

○佐伯和人
大阪大学　大学院理学研究科　宇宙地球科学専攻

地質学研究者や自治体職員が単独で火山や峡谷等の危険な地域を調査する時の補助ツールとして活用できる、便利な無線操縦無人観測飛行機 SKY-1 を開発した。SKY-1 の特徴は、その安全性と経済性である。一機分のコストは約 3 万円なので、研究費への負担は少ない。機体の大部分は弾力性のある発泡ポリプロピレンでできており、また、推進装置として、プロペラが外部に露出しない電動ダクテッドファンを採用しているので、人に衝突しても怪我を負わせる心配がなく、手で受け止めて回収することもできる。翼幅 92cm の機体の重量は動力バッテリ込約 500ｇで、300g の観測機器を搭載することができる。安価で安全な特性を活かして、火山の噴気や砂嵐に突入させるような大胆な運用も可能であるので、火星探査飛行機に搭載するセンサーの地上試験モデルの地球での試験や、運用ノウハウの蓄積にも、大いに役立てることができると考える。2008 年 5 月に、東京工業大学草津白根火山観測所の大場武博士にご協力いただき、草津白根山での実証飛行試験を行った。現地実証試験では、（１）一人で 3 機分の機材を徒歩で運ぶことができること、（２）標高 2000m以上でも飛行性能がほとんど変わらないこと、（３）上空から尾根をはさんだ反対側の火口の撮影が可能なこと、（４）電送カメラを利用した上空硫化水素ガス濃度測定が可能なことなどが確認できた。2008 年 8 月には、大阪大学 SKY-1 製作・飛行講習会を開催した。これは、SKY-1 のユーザーが自分で運用するためには、修理や操縦が自分でできなくてはならないという思想にもとづく。参加者は桐蔭学園高等学校・鈴木邦彦教諭（理科教育、防災分野での活用を検討）、京都大学・安部祐一さん（火山観測検討）、熊本大学・小島知子博士（エアロゾル採取を検討）、であった。参加者は 1 日目に大阪大学で SKY-1 設計協力者の中西信明氏の指導の下に自分専用の SKY-1 を組み立て、2 日目に KMA 京都模型飛行場（京都府宇治市）にて、操縦訓練を行った。全員、自分の機体を完成させ、操縦を体験することができた。さらに、将来 SKY-1 に GPS やジャイロコンパスを使った自動航行機能を追加するために、まずは、GPS 情報を元に自動操舵し、太陽電池発電でモータにより航行する、ロボットボートを作成した。実証試験として、8 月にびわ湖で行われた、第 12 回クルーレスソーラボート大会に参戦し、悪天候を味方につけ初参加で準優勝することができた。会場では、これら SKY-1 開発をめぐる活動を動画を交えて紹介する。
紹介サイト http://astrosis.ess.sci.osaka-u.ac.jp/MBO.html もご覧ください。

204

衝突起源の渦輪と地表との相互作用は火星クレーターのエジェクタ地形を作れるか？

○鈴木絢子[1]・栗田敬[1]・David Baratoux[2]
[1]東京大学・地震研究所、[2]トゥールーズ第三大学（フランス）

火星クレーターのエジェクタは、月などの他の天体のエジェクタとは異なる形状を持つ。これまでの研究で、エジェクタは地表下にある揮発性物質（水や二酸化炭素）や大気によって流動化を起こし、地面を這う重力流として堆積してできたと考えられるようになった。このため、火星クレーターのエジェクタの形成過程を明らかにすることは、クレーターが形成された当時の火星の地表・大気環境を類推する手がかりとなる。

中でも我々は、Double Layered Ejecta (以下、DLE)と呼ばれるタイプのエジェクタに注目している。DLE はその名の通り、二重の連続的なエジェクタ（inner lobe / outer lobe）を持つ。Inner lobe は厚くて体積が集中しているように見え、終端は崖となっているのに対し、outer lobe は非常に薄く、終端ははっきりしない。DLE の２つのエジェクタは、１つのクレーターに付随するにもかかわらず、非常に異なる様相を呈している。これは１回の衝突イベントで２回の異なる堆積過程が起こったと考えられ，ballistic なエジェクタ堆積過程では説明できない。

先行研究の仮説に則り、inner lobe は ballistic な堆積過程とそれによって励起される表面流でできたと仮定し、outer lobe の形成過程に注目した。そして、outer lobe は ballistic なエジェクタ堆積に続く大気の渦輪が、inner lobe から物質を削り取って形成したという仮説を立てた。渦輪は、大気のある天体に衝突が起こった際に一般的に発生すると考えられている[e.g. Shultz, 1992; Nemtchinov et al., 2002]。

この仮説を検証するため、以下の２種類のデータを取得した。1) 室内アナログ実験を行い、水の渦輪の並進速度と、渦輪が水槽底の粒子層を削り取る体積を測定した。2) 探査衛星データを用い、火星 DLE クレーターの outer lobe の体積を測定した。

1), 2) の関係のベキ乗の値を比較した。Barnouin-Jha&Schultz,1998 のモデルを用いて火星クレーター形成時にでき得る渦輪の循環を見積もると、outer lobe の体積は循環の(1.51±0.30)乗に比例する。実験室では、Kelvin の公式により渦輪の並進速度と循環の関係が与えられる。これにより、実験室系で渦輪が粒子層の表面を浸食し、運搬した体積は、循環の(1.25±0.17)乗に比例することがわかった。ベキ乗の値の比較から、大気のある天体への衝突現象によって引き起こされる渦輪は、outer lobe の形成プロセスとして可能性があることがわかった。

ただし、ベキ乗の値の比較だけでは、他のプロセスでできた可能性を否定できない。outer lobe の粒子サイズの測定、1), 2)の各関係の比例係数の比較などからさらに形成過程に制約を与える。

205

シャーゴッタイト火星隕石の鉱物学的特徴と化学的特徴の関係

○三河内　岳[1]、栗原　大地[1]、佐竹　渉[1]、Gordon McKay[2]
[1]東大・理・地球惑星科学、[2]NASA ジョンソン宇宙センター

火星隕石の中で最大のグループであるシャーゴッタイトは、岩石学的・鉱物学的特徴により３つのサブグループに細分されている。主に輝石とマスケリナイトからなる玄武岩質シャーゴッタイト、カンラン石の数ミリ大の斑晶を含み、石基部分に輝石と小量のマスケリナイトを含むカンラン石フィリックシャーゴッタイト、数ミリ大の輝石結晶がカンラン石を取り囲む組織を示すレールゾライト質シャーゴッタイトの３種類である。近年、これら３種のシャーゴッタイトは、形成時の酸化還元状態、各種同位体組成などの化学的特徴の違いにより、別の３種類のサブグループに分けられることが分かって来た。この化学的分類による３つのサブグループは、還元的環境下で形成されたディプリーティッドなサブグループ、酸化的環境下で形成されたエンリッチドなサブグループ、それに両者の中間的なインターミディエイトなサブグループの３つである。このような化学的分類は、鉱物学的特徴による３つの分類とは全く独立しており、火星マグマ源の違いに起因すると考えられている。これらの化学的分類では、玄武岩質とカンラン石フィリックの２つの鉱物学的サブグループに属するサンプルは、３つの化学的サブグループのいずれにも対応する試料が存在しており（表１）、鉱物学的にも化学的にも多様である。一方で、これまでに８個体が見つかっているレールゾライト質シャーゴッタイトは、いずれもよく似た鉱物学的、化学的特徴を持っており、化学的サブグループでは、インターミディエイトな試料しか存在していなかった。我々は、最近新しく見つかった火星隕石 RBT04262 と NWA4468 の２つが、鉱物学的にはレールゾライト質シャーゴッタイトに分類されるものの、化学的な特徴はエンリッチドなサブグループに相当する初めての試料であることを発見した。これらの隕石には、球状のカンラン石（最大１ミリ）が数ミリの輝石単結晶（オイコクリスト）に取り囲まれたポイキリティックな組織が部分的に見られ、鉱物学的にはレールゾライト質シャーゴッタイトと最も似ている。これらポイキリティックな組織の間は、カンラン石、輝石、マスケリナイトなどから成る玄武岩質の組織をしている。Fe,Ti 酸化物の化学組成から得られる結晶化時の酸化還元状態は、他のレールゾライト質シャーゴッタイトよりも明らかに酸化的である。これらの結果から、火星には、酸化的、還元的、及び両者の中間的な異なったマントル部分があり、各部分で形成したマグマから、いずれも似たような結晶化過程を経て、マグマの固化が起こったと考えられる。そのため、鉱物学的特徴が似ていても、異なったマグマ源を起源とする岩石が存在しており、火星マントルの多様性を示唆している。このことから、将来的には、化学的にディプリーティッドなサブグループに分類されるレールゾライト質シャーゴッタイトが見つかることが期待される。また、レールゾライト質シャーゴッタイトに分類される試料には、今回新しく見つかった RBT04262 と NWA4468 を初めとして、岩石学的には「レールゾライト」ではない隕石が存在する。そのため、正確を記すには、輝石に特徴的なポイキリティックな組織が共通に見られることから、「輝石オイコクリスティックシャーゴッタイト」と呼ぶことを提唱する。

表１：シャーゴッタイトの鉱物学的・化学的分類

鉱物学的分類＼化学的分類	ディプリーティッド	インターミディエイト	エンリッチド
玄武岩質	☺	☺	☺
レールゾライト質	*To be found...*	☺	☺ ***New!!***
カンラン石フィリック	☺	☺	☺

206

巨大天体衝突による水星の起源について

○玄田英典[1]、小久保英一郎[2]、井田茂[1]
[1]東京工業大学、[2]国立天文台

水星はその高い平均密度から、質量の６～７割が金属コアであると推定されている。他の地球型惑星の金属コアが３割程度であることを考えると、水星の存在は大変興味深く、同時に、惑星形成論に対する挑戦状でもある。

巨大金属コアの成因の１つとして、巨大天体衝突説がある。原始水星に天体が高速で衝突しマントルがはぎ取られたとする説である。この可能性を数値計算によって初めて示したのはBenzら(1988)である。彼らは、原始水星(ターゲット)に、質量約1/6の天体(インパクター)が高速で衝突する計算を行った。計算例は12例と多くはなかったが、正面衝突では、脱出速度の4倍以上、斜め衝突では、7倍以上で、ターゲットのマントルの大部分が吹き飛び、金属コアが6 割を超えることを示した。しかしながら、そのような超高速度衝突が、地球型惑星形成段階で起きる確率は極めて低く、我々の計算によると、太陽系を50回作ったとしても1回も起こらないものであった。

一方、我々は、地球型惑星形成の最終段階で起こる原始惑星の衝突現象を系統的に調べるという目的で1000通りを超える様々な衝突条件で巨大天体衝突のシミュレーションを行ってきた。それらのデータを解析したところ、マントルのはぎ取りに関する新たな発見をした。それは、Benzらが注目したターゲット側のマントルではなく、相対的に質量の小さいインパクター側のマントルのはぎ取りである。高速斜め衝突の多くの場合、２つの天体は合体しない。つまり、インパクターは衝突によってマントルがはぎ取られ、そのままターゲットから離れていく。最終的にインパクターの金属コアが６割以上となる衝突条件が、2.5倍の脱出速度以上で、30±15度であることがわかった。

このような衝突は、太陽系を50回作ったとすると、20回程度起こる。その他に２天体の質量比や衝突後に再衝突しない条件などを考慮すると、太陽系を50回作った場合、水星に似た惑星が２つほど形成されることがわかった。４％という確率が希であるかどうかはよくわからないが、少なくとも我々の研究によって、従来Benzらが提唱した条件よりも容易に巨大コアを持つ水星のような惑星が形成されることがわかった。

207

火星の常時自由振動

○小林直樹[1]，須田直樹[2]，西田究[3]

[1]東工大・理・地惑，[2]広島大・理・地惑，[3]東大・地震研

現在諸外国，日本の火星探査が盛況をみせつつある状況である．その探査候補の一つとして地震学的内部構造探査がある．しかし現在のように沈静化したテクトニクスでは大きな火震は期待できない．そこで，近年地球で発見された常時自由振動に着目する．常時自由振動は大地震以外のメカニズムで常時励起されていることが分かっている．今回，解析を更に進め常時自由振動で分かる火星構造について議論する．

小林(1996)は大気擾乱による惑星の固体振動が現在の広帯域地震計の能力で観測できること，そしてその振動を使った固体惑星探査について提唱した．予測された励起振幅は地球，火星，金星ともナノガル程度であった．その後，実際に地球では非地震性の自由振動が検出された．我々が発見した「常時自由振動」はノイズレベルの低い3から7mHzにおいて顕著に見られ，0.5ナノガル程度の伸び縮み基本振動であった．また，3.7，4.4，5.1 mHzにおいて振幅の増大が見られる．これらの周波数は伸び縮み基本モードと大気の音波モードとの分枝交差にあたる．異説も唱えられてはいるが，こうした特徴は大気境界層スケール程度の相関距離を持つ大気圧力変動で最も自然に説明することができる．

励起振幅は大気擾乱の大きさとサイズ(相関距離)に比例し，惑星の質量に逆比例する．これらのパラメータの内，相関距離の不定性が最も大きい．小林(1996)では相関距離として大気スケール高を用いたが，地球常時自由振動の解析からはスケール高より一桁小さい境界層程度の相関距離であることが分かって来た．火星では境界層のサイズが不明なため見積の際にはその値を振って見積もった．擾乱の大きさは太陽放射と惑星アルベドで概ね決まると考えてよいが，これもMars Pathfinderによる気圧の記録を元にして値を振って計算した．

励起の計算に用いた火星内部構造モデルはSohl and Spohn (1977)のModel AとModel Bである．前者はSNC隕石から得られた地球化学情報を制約条件として求めたもので，後者は慣性能率などの地球物理学的制約から求めたものである．両者のモデルではコアサイズにして200 km程の違いがある．これらのモデルに対して伸び縮み基本振動を求めた．8 mHz 以上では両者のモデルの固有周波数に数%程度の違いが見られた．これは主にマントルから地殻にかけての構造の違いを反映している．一方，6 mHz 以下の固有周波数に関しても10%程度の違いが見られた．この違いはコアのサイズの違いを反映している．これらのモードは大気擾乱の大きさとサイズにもよるが，1年程度の観測で検出できる範囲にある．1年以上の長期的観測が可能となれば火星のコアサイズに大きな制約を与えることができよう．火星に於ける広帯域地震観測は火星深部を探る挑戦的なテーマである．

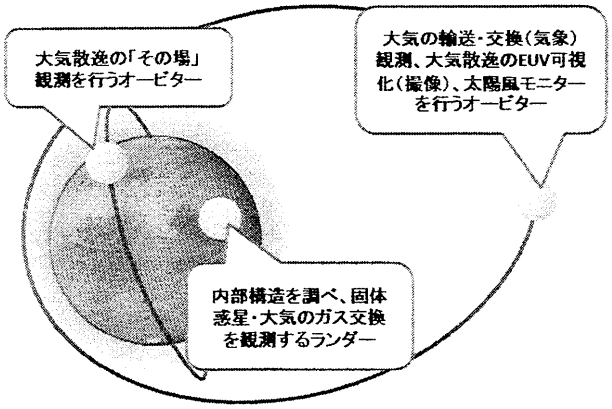
208

日本の次期火星探査計画： オービターのサイエンス

○佐藤毅彦・今村剛・松岡彩子・尾川順子[1]・寺田直樹[2]・関華奈子[3]・上野宗孝[4]
[1]宇宙航空研究開発機構・[2]情報通信機構・[3]名古屋大学・[4]東京大学

日本の次期火星探査のためのワーキンググループが立ち上がり、科学目標やミッション構成についての検討を開始した。次期火星探査（2010年代後半の打ち上げ）は、オービターとランダーを組み合わせた複合探査により、火星大気・水の進化解明につながる科学探査を行う。オービター部は二機編成であり、各々、「のぞみ」の目標であった大気散逸科学を目指すオービター、PLANET-C金星探査を受け継ぎ地球型惑星気象学の完成を目指すオービターという役割を担う。全体の科学目標に対する位置づけは、以下の通りである。

- 大気散逸の素過程、特に「変動する太陽風へのレスポンス」を詳細に調べ、惑星形成以来、大気散逸が火星大気の進化にどのように寄与してきたかを精密に論じられるようにする（大気散逸オービター）。太陽風変動のモニター、散逸大気の「全体像」は、気象オービター搭載機器がそれを受け持つ。
- これまでまばらにしか調べられていなかった火星気象の精密連続観測を行い、気象が大気・水をどのように輸送し、それらの大気・地面（極冠）間の交換がどのように行われているかを明らかにする。それにもとづき、大気進化への寄与を論じられるようにする（気象オービター）。



これらと、ランダーによる地表付近でのガス交換の様子（大気組成や地表面物質組成の季節変化モニター）、低層大気乱流の測定（気象の精密な理解）、内部構造の精密化（大気の変化に、固体惑星がどのように関わってきたか）が加わることで、より確定的に、火星の過去へ遡ることができるようになると期待している。その小ささゆえに熱的進化を速く駆け抜けたと思われる火星、その歴史をつまびらかにすることで、我々の地球についてもより深い知見を得られるはずである。

本講演では、主に火星気象学と大気散逸科学を目指すオービターの検討状況について紹介する。

209

日本の次期火星探査計画：ランダーのサイエンス

○岡田 達明[1], 出村 裕英[2], 杉田 精司[3], 栗田 敬[4], 小林 直樹[5], 橘 省吾[6], 久保田 孝[1]
[1]JAXA, [2]会津大, [3]東大・新領域, [4]東大・地震研, [5]東工大, [6]東大・地惑

われわれは次期火星探査における火星表面への着陸や降下を利用した科学探査について検討しており、その検討状況について報告する。

火星は固体惑星科学の探査対象として興味深い天体であり、現在も諸外国の多数の火星探査が実施、または計画されている。その主目的は火星の古気候や生命活動の有無、生命誕生の可能性を探ることに焦点をあて、特に生命活動に関連の深い水の存在とその存在形態、水質変成鉱物が主要探査項目となっている。

一方、火星にはオリンポスをはじめとする火山地形やマリネリス峡谷に代表される浸食地形、堆積地形があり、かつて大規模な地殻形成や表層進化過程があったことは明らかである。火星のサイズが現在も活動的な地球と、20億年以上前に活動を終えた月との中間的であることからも、火星の熱史や内部構造、マントルのダイナミクスを理解することは重要である。また、表層水と火山活動の熱によって起きる熱水反応は火星表層の物質進化を特徴づける重要な特徴である。さらに火星表層で起きた諸現象の年代や物質進化を構成鉱物の詳細観察や同位体の微量物質分析等によって探ることは重要である。また、オービタによる気象や大気散逸過程と連携し、表層での大気密度や成分の変化をモニタすることは重要である。

日本の火星探査は世界的にみて後発であり、技術的優位性、科学的独自性をもつ探査を優先して進めることが有意義だろう。そこで、現時点の検討では火星内部構造の探査や、表層物質の進化、大気進化の手がかりとなる大気モニタに主目的を置いている（今後の科学的議論、技術的検討により修正される可能性もある）。

以下に、現時点の検討案を示す。

(1)火星着陸機による火星内部構造の探査：火星のリソスフェアの厚さ、コアのサイズや下部マントルの有無など、深部密度・温度構造を探る。火星着陸機に地震計を搭載し、隕石衝突や火星の風が巨大火山に衝突することによって生じる微動や励起される自由振動を検知する。海外の火星着陸機と同時観測できれば、２点で相互相関処理、３点以上でネットワークを構成できる。また、熱流量計測によって地殻熱流量を調べ、内部熱源量や、地下温度を調べる。熱流量は火星の熱史の理解や地下滞水層の有無の解明にも重要な情報となる。

(2)着陸機による大気成分・密度変化のモニタ：火星の大気成分は地表と「呼吸」をしており、密度や成分の季節変化を示す。オービタで観測する火星の気象や大気の宇宙空間への散逸と同時に地表でモニタすることで、火星大気進化の手がかりとなる情報を得る。

(3)火星移動探査機による周辺地質構造の探査：着陸後に飛翔型移動探査により、至近距離からの周辺崖面の地質構造や物質探査を行う。峡谷やクレータの崖面には地層が露出しており、分光・撮像によって複数年代の地質活動の特徴が変遷する様子を探査する。

(4)火星表層物質のサンプルリターン：火星の表層進化を理解するには詳細な鉱物分析と同位体年代測定が必要であるが、その場探査では分析機器の種類や精度が不十分なため、サンプルリターンが必須である。火星隕石は掘削物質であるため表層物質の代表試料になり得ず、現時点で表層進化の情報は皆無である。探査機を着陸させるのではなく、火星大気をかすめて飛行する自由帰還軌道で、高度40kmまで降下する際に大気中に巻き上げられたダストと大気成分を捕集し、再浮上して地球に帰還する手段も検討中である。

210

レーザー加速弾丸の岩石への高速衝突によるエジェクタの観察

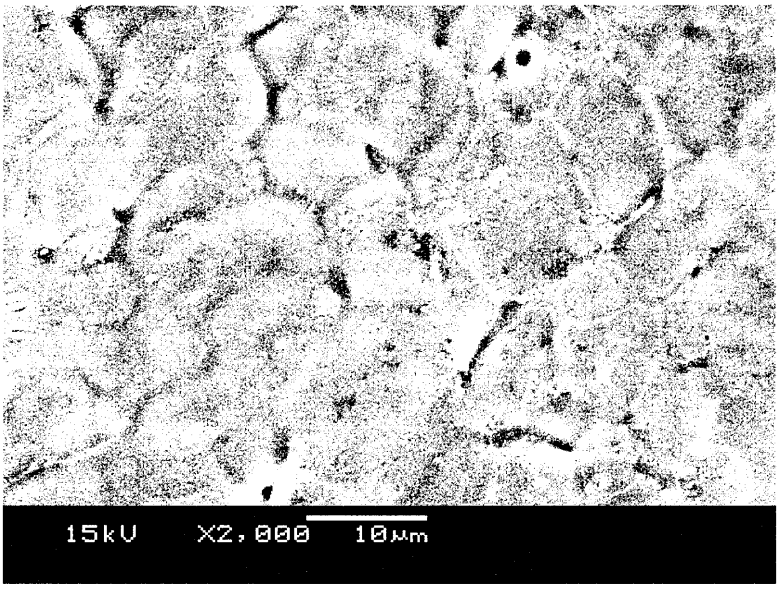
Experimental Observation of Ejecta
from Hyper Velocity Impact of Laser Accelerated Projectile into Rocks

中村昭子[1], 門野敏彦[2], 竹内拓[1], 高澤晋[1], 町井渚[1], 瀬藤真人[1], 荒川政彦[3], 大野宗祐[4], 弘中陽一郎[2], 大谷一人[2], 境家達弘[5], 藤原隆史[2], 寶田圭司[2], 藤岡慎介[2], 佐野孝好[2], 重森啓介[2]
([1]神戸大理, [2]阪大レーザー研, [3]名大環境, [4]岡山大地球物質科学研究センター, [5]阪大理)

惑星間空間での固体-固体高速衝突からの放出物の速度とサイズを研究するため、レーザーを照射して加速した金属およびガラス弾丸を岩石に衝突させ、放出物を二次標的を用いて観測する実験を行った。

今回は、本年6月末に行った実験の結果について速報を行う。一次標的である岩石には、無水石膏とかんらん岩および玄武岩を用いた。二次標的としては、厚さが6、9、15、60ミクロンのアルミフィルおよびアルミ板を用いた。アルミフォイルの背面にエアロジェルを設置した。合計6発の実験について、弾丸速度は4～10km/sであった。

アルミフォイルには、厚みの10分の1程度までの小さな貫通孔が観察されている（下図）。アルミフォイルについてなされた過去の高速衝突実験をもとにした経験式（Horz 1995）を適用すると、速度1km/s以上の放出破片によるものと考えられる。



直径380ミクロン、速度約8km/sのガラス球を、無水石膏に衝突させた実験で設置してあった厚さ15ミクロンのアルミフォイルの電顕写真。

211

石膏球の衝突破壊に関する実験的研究：ラブルパイル天体形成との関連

○岡本千里[1]，荒川政彦[1]

[1]名古屋大学大学院環境学研究科

はじめに

大望遠鏡による地上観測や惑星探査機により、多くの小惑星は低密度であり、その内部に多くの空隙を保持すると考えられている。このような天体中に存在する空隙が、天体衝突過程に及ぼす影響を調べるために、高空隙天体模擬物質を用いた衝突実験が行われてきた[1, 2]。実験の結果から、そのような高空隙天体は、衝撃波が減衰しやすく、衝突破壊強度が大きくなるため、空隙をほとんど持たない様な天体とは異なる衝突破壊過程をたどると考えられている。しかし、高空隙天体の衝突破壊の素過程はまだよく分かっていない。そこで、高空隙天体の衝突破壊過程を理解するために、空隙率～50%の石膏球を天体模擬試料として衝突破壊実験を行い、石膏球の衝突破壊強度および破片速度分布を調べた。得られた実験結果から、高空隙天体の衝突破壊・再集積条件を明らかにし、ラブルパイル天体形成の条件を考察する。

実験方法

高空隙天体模擬試料として、大きさを変化させた、空隙率 53 ± 4%、密度 1100 ± 100 kg/m^3 の石膏球形試料を作成した。衝突実験は名古屋大学に設置された 2 段式軽ガス銃を用いて行った。用いた弾丸はナイロン製で、長さが 2.5 mm，重量は 7 mg であった。本研究では、すべての実験で衝突速度を 3.4 ± 0.4 km/s とし、試料と弾丸を正面衝突させた。破壊の様子は Image-converter camera または high-speed digital video camera により撮影した。

結果および考察

石膏の衝突破壊強度を得るために、試料の最大破片の質量(m_l/M_t)を計測し、エネルギー密度(Q_t)との関係を調べた。本研究で得られた石膏の衝突破壊強度は、先行研究で得られた値とよく一致した[1]。また、本研究の石膏の衝突破壊強度(Q_t*)は ~2000 J/kg であり、玄武岩の衝突破壊強度(Q_t*= ~700 J/kg)よりかなり大きいことが分かった[3]。

高速度カメラから得た、石膏試料の衝突の反対点における破片速度(V_a)は、エネルギー密度 3×10^3-5×10^4 J/kg の範囲で、エネルギー密度の増大とともに、5 m/s から 40 m/s まで増加した。石膏の反対点破片速度は、玄武岩の破片速度より数倍遅いという結果が得られた。

ここで、ラブルパイル天体の形成条件を議論する。ラブルパイル天体は、天体に衝突破壊が起こったのち、重力的な再集積により、瓦礫が集合したような内部構造を持つ高空隙率天体である。本研究で得られた高空隙天体模擬試料の実験結果をもとにして、天体の完全破砕後、ラブルパイル天体を形成するその母天体の最少サイズを計算した。本研究の見積もりの結果から、ラブルパイル構造を持つとされる小惑星イトカワのような小天体(535 ×294 × 209m)[4]は、数十kmよりも大きな母天体を起源とすると考えられる。

[1] Kawakami et al. (1991) *Astron. Astrophys.*, *241*, 233–242. [2] Love et al. (1993) *Icarus*, *105*, 216–224. [3] Fujiwara and Tsukamoto (1980) *Icarus*,*44*, 142–153. [4] Mukai et al. (2007) *Advances in Space Research*, *40*, 187–192.

212

衝突過程への遠心力の効果に関する実験的研究：回転する焼結体への衝突破壊実験

○山下靖幸、中村昭子
神戸大学大学院理学研究科

はじめに

近年の観測技術の向上によって高速で自転している小惑星が発見されており、その回転によって生じる遠心力は衝突破壊に影響を与えていると考えられる。この影響を調べるためには回転する標的に対する衝突実験が必要となるが、小惑星を模擬した空隙率の高い試料を高速で回転させることが困難なために十分な測定が行われていないのが現状である。そこで本研究では衝突に対する遠心力の効果を検証するために、回転する非常に低強度な標的試料への衝突実験を行った。

実験方法と結果

実験には神戸大学設置の一段式軽ガス銃を使用し、弾丸は直径 3.2 mm のガラス球を用い、衝突速度は 230 m/s で実験を行った。標的試料は 50 μm のガラスビーズに水を質量比 4 対 1 で混合したものを直径 25 mm、高さ 20 mm に成形したものを用いた。モーターによって標的試料を最大 2000 rpm まで回転させた状態で衝突実験を行った。高速ビデオカメラで撮影した動画を解析することにより最大破片のサイズを見積もった。その結果、標的の回転数が増加すると共に最大破片質量は減少し破壊の度合いは増大することが分かった。

考察

試料密度及び回転数から遠心力によって生じる最大内部応力を算出して試料強度で規格化し、荷重を掛けた標的試料への衝突実験（山下他 2008 日本地球惑星科学連合大会）及び先行研究である Housen 2004 の結果と比較した。遠心力による内部応力が試料強度の 10%程度でも破壊の度合いはかなり増大し、回転による破壊への影響はかなり大きいことが示唆される。内部応力の増加に伴う変化は荷重を掛けた標的試料への衝突実験の傾向と一致し、Housen 2004 の結果とは異なった傾向を示すこと分かった。これらの差異は標的試料の形状の効果や保持方法の違いが反映されていると考えられる。講演では標的試料としてガラスビーズ焼結体を用いた実験結果についても併せて議論する予定である。

参考文献

山下靖幸, 井上裕史, 中村昭子, 2008. 応力適応下での衝突実験. 日本地球惑星科学連合 2008 年大会予稿集. P136-P004

Housen, K. R. 2004. Collisional Fragmentation of Rotatiing Bodies. Proc. Lunar. Planet. Sci. XXXV. 1826

213

シリカ微粒子集合体へのミリメートルサイズガラス粒子の衝突実験

○町井　渚[1]、中村昭子[1]
[1]神戸大学大学院理学研究科

地球に落下する隕石の約 80%はコンドライトである。コンドライトは小惑星が衝突した時にできた破片である。また小惑星は微惑星が集積して惑星にまでは成長しなかった天体であり、したがって、コンドライト母天体の形成過程を研究することで、微惑星形成過程に制約を与えられることが期待できる。これまでに隕石の化学特性や鉱物特性、物理特性に関する研究が行われている。しかし、コンドライト母天体形成に関する物理過程に着目した研究はほとんど行われていない。本研究ではコンドリュール模擬物質とマトリックス模擬物質である微粒子を用いて、コンドライト母天体の合体成長のための衝突上限速度を求めるための衝突実験を行うことを目標としている。

従来のガス銃を用いた衝突実験では、発射時にプロジェクタイルを加速させるためのガスにより、微粒子の振る舞いが影響を受けると考えられる。そのために微粒子を用いた衝突実験は数〜10 数 m/s の衝突速度を要する場合、バネ銃を用いて行われてきた。我々は、ガス銃によって加速された弾丸をチェンバー壁を仮定した金属薄板に衝突させて、板の反対側に設置したガラスビーズを飛ばすことにより、弾丸を 20m/s 以上の速度で飛ばすことを達成した。
実験に用いたのは弾丸として直径 3mm のステンレス球とガラスビーズ、厚さ 0.3 と 0.5mm のステンレス薄板である。予備的な実験において、ステンレス球の速度が約 185m/s のときのガラスビーズの発射速度は 28- 66m/s という結果を得た。講演では更なる実験結果も加えて発表する予定である。

214

クレーター形成過程のその場観測２：衝突角度依存性

○山本聡、杉田精司、松井孝典
東京大学 大学院新領域創成科学研究科

天体衝突現象は様々な衝突角度で起こることから、天体衝突に関わる研究においては斜め衝突時のクレーター形成過程の解明が重要である。しかし、斜め衝突時のクレーター形成過程についてはまだまだ分かっていないのが現状である。例えば、これまで行われてきた斜め衝突実験[1]により、水平方向からの衝突角度が30度以上では、クレーターの最終形状は円形を保つ事が知られている。一方で、この結果は高速衝突の場合にのみ成り立ち、低速衝突の場合は30度以上であっても楕円になると考えられている[e.g.,　2参照]。このことから例えば、固体天体表層のクレーター分布の解析において、一次クレーター（天体外から標的天体に直接衝突することで形成されるクレーター）　であるのか、二次クレーター（一次クレーター形成によって衝突破片が周辺にまき散らされ、それにより形成されるクレーター。一次クレーターの場合に比べて低速度でぶつかる）であるのかの判別基準として、クレーター形状の楕円率が使われる場合がある。しかし、実際にどの程度低速であれば楕円になるのか、また楕円率が具体的にどうなるのかはよく分かっていない。また高速衝突であっても、標的の種類によっては30度以上で楕円になることが報告されており[1]、必ずしも速度の大小だけで楕円率が決まるものでもないと考えられる。いずれにせよ、クレーター形状の衝突速度および標的依存性を解明する上では、最終クレーター形状を調べるだけではなく、クレーター形成過程について直接観測を行い、それに基づいて物理的解釈を行うことが重要である[3, 4]。そこで本研究では、レーザー光を用いて斜め衝突におけるクレーター形成過程のその場観測を行った。一段式ガス銃を用いてポリカーボネイド弾丸を加速し、標的に斜め45度で衝突させた。標的にはあらかじめ7本のレーザー光が等間隔で照射されており、掘削領域が広がるにつれて照射レーザー光の形状が変化する（図1）。このレーザー光の時間変化を高速ビデオカメラを用いて調べることにより、掘削領域の形状（楕円率）の時間変化を調べた。その結果、衝突直後の掘削領域は楕円形状を示すが、時間と伴に掘削領域が広がるにつれ円形に近づくことがわかった。また、過渡クレーター形成後の崩壊過程では楕円率は大きくは変化しなかった。本発表では、これらの結果を基にして、斜め衝突時におけるクレーター形成過程について物理的考察と議論を行う。

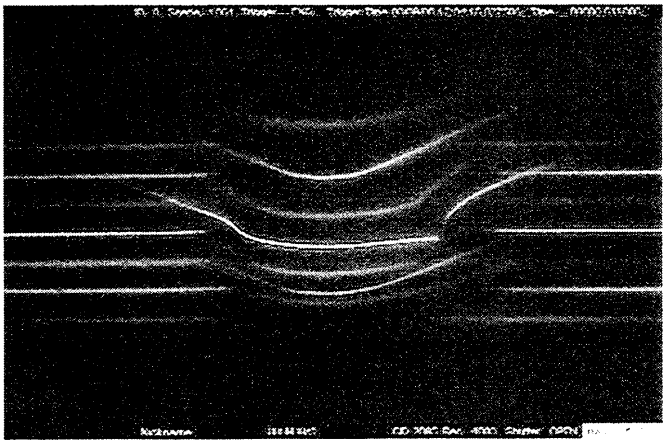


図１：レーザー光を用いたクレーター形成過程のその場観測（高速ビデオカメラからの映像。衝突から0.011秒後）。7本のレーザー光が等間隔に照射されている。弾丸は左上から45度で衝突。

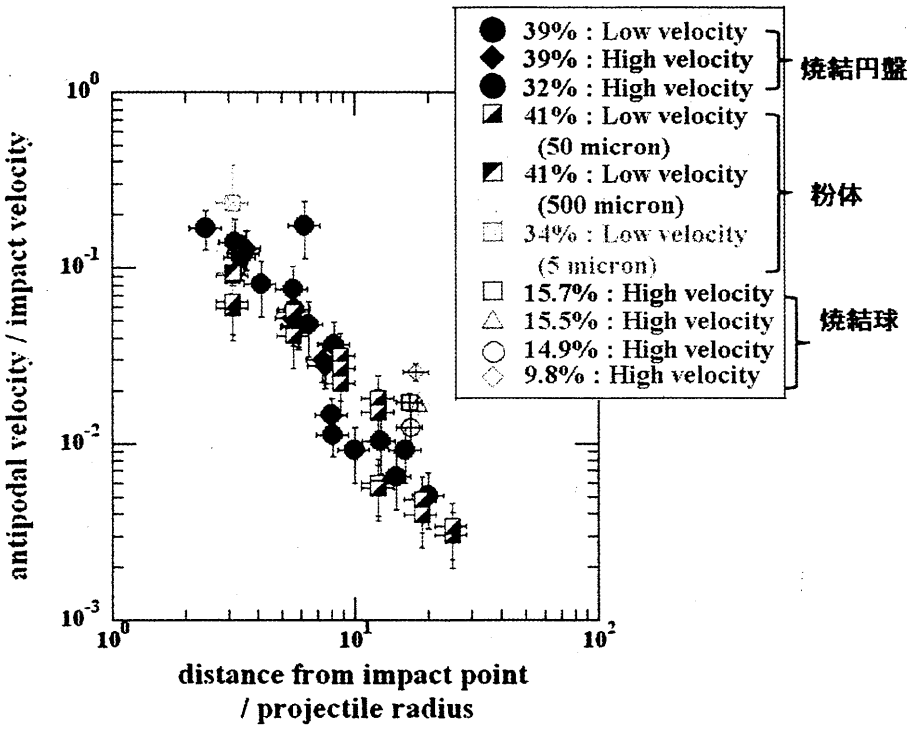
[1] Gault, D.E. & Wedekind, J.A., 9th LPSC proc. 3843, 1978. [2] Melosh, H.J. Impact Cratering, Oxford Univ. Press, 1989.
[3] Barnouin-Jha et al. 2007, Icarus, 188, 506. [4] Yamamoto et al. 2007, 38th LPSC #1452.

215

ラブルパイル模擬天体への衝突反対点粒子速度測定実験

○瀬藤真人[1] 中村昭子[1] 山下靖幸[1] Patrick Michel[2]
[1]神戸大学理学研究科 [2]Observatoire de la Cote d'Azur

近年、太陽系内の小天体の中に空隙率の高いものが続々と発見されており、それらの構造と熱・衝突進化の過程を研究することが重要となっている。我々はこれまでに、ガラスビーズ焼結体への衝突破壊実験を繰り返した結果、衝突破壊強度の決定のためには標的内での衝撃圧力減衰率を求める必要があると考え、衝突実験によって飛び出すターゲット粒子の速度を測定することで空隙を持つ模擬天体内での粒子速度減衰率を求めた（瀬藤他、2007 年秋期講演会）。今回は新たに未焼結のガラスビーズ粉体を標的にした粒子速度減衰率測定実験を、低速度、高速度の両方で行った。また、粒径の異なるガラスビーズ粉体を用いた衝突実験から、同様に粒子速度減衰率を測定し、これまでの結果と比較した。



粒子速度の衝突速度に対する割合と、衝突点からの距離の関係。

216

高速度衝突蒸発現象の発光分光観測：シリケイト蒸気の発生

黒澤耕介[1]，杉田精司[1]，門野敏彦[2]，関根康人[1]，弘中陽一郎[2]，大谷一人[2]，佐野孝好[2]，境家達弘[3]，藤原隆史[2]，寶田圭司[2]，城下明之[2]，宮西宏併[4]，尾崎典雅[4]，藤岡慎介[2]，重森啓介[2]，大野宗祐[5]，橘省吾[6]

[1]東大・新領域，[2]阪大・レーザー研，[3]阪大・理，[4]阪大・工，[5]岡山大・地物研，[6]東大・理

要旨:

秒速１０km/sを超える速度の天体衝突が起きた場合、惑星及び衝突天体物質を構成するケイ酸塩も蒸発すると言われている[e.g., Ahrens & O'keefe, 1972]。ケイ酸塩蒸気の発生は月形成過程や衝突蒸気雲内での化学反応を議論する上で極めて重要な問題である[e.g., Pahleven & Stevenson, 2007]。しかし実験の困難さのため、今まで秒速 10 km/sを超える高速度衝突実験は行われていない。宇宙速度での衝突が起こると、衝突直下点のケイ酸塩は >100 GPa, >10^4K という超高温高圧の熱力学状態に達すると予想される。しかし、そのような高温高圧のケイ酸塩の物性データは揃っておらず、実際にどのような熱力学に達するかは未解明である。従って実際にケイ酸塩試料への宇宙速度衝突実験を行い、ケイ酸塩の蒸発を確認し、衝撃加熱温度を実測する必要がある。

我々は阪大レーザー研にある高出力レーザー、 激光 12 号を用いて、金属箔(Ta, 厚さ:50 μm, 密度: 16.6 g/cc)を～10 km/s まで加速し、代表的なケイ酸塩鉱物(Forsterite, Diopside, Quartz)への高速度衝突実験を行っている。弾丸に密度の大きい Ta を用いているのでケイ酸塩同士が衝突した場合よりも高い衝撃圧を達成することができる（ケイ酸塩同士の衝突では～15 km/s の衝突に対応)。今回は第一ステップとして超強力な閃光を捉え、発光スペクトルを取得する光学系の構築とケイ酸塩蒸気の発生を確認することを目的とした。長時間露光分光器(露光時間: 1 秒)を用いて標的背面から発光分光観測を行った。透明な鉱物試料を用いているため、標的背面からでも、衝突直下点からの発光を捉えることができる。その結果 Diopside への衝突の場合、Ca の輝線が確認された。このことは Diopside が衝突によって蒸発したことを強く示唆している。

今後、より高時間、高波長分解能を持つ分光器で発光スペクトルを取得し、宇宙速度衝突の際のケイ酸塩の熱力学状態を推定する予定である。

参考文献:

Ahrens & O'keefe, Shock melting and vaporization of lunar rocks and minerals, *The Moon*, 4, 214 – 249, 1972.

Pahlevan & Stevenson, Equilibration in the aftermath of the lunar-forming giant impact, *EPSL*, 262, 438-449, 2007.

217

発光輝線形状解析による レーザー生成蒸気雲の圧力測定

○横山 聖典，黒澤 耕介，杉田精司，松井孝典[1]

[1]東大・新領域・複雑理工

惑星の大気形成・進化の過程において、衝突蒸発現象とそれに引き続いて起こる蒸気雲中の化学反応は大きな役割を果たしてきたと考えられている。蒸気雲中の化学反応について議論する上で蒸気雲の温度・圧力などの熱力学量の理解が不可欠である。蒸気雲はきわめて短いタイムスケールで膨張するために、その熱力学量の測定は高い時間分解能で行う必要がある。発光分光法は高い時間分解能でデータを取得することが可能なため、ここから温度・圧力などの物理量を求めることができれば、それは物理量測定のきわめて有効な手段となりうる。中でも圧力は温度と並びもっとも重要な物理量のひとつである。

発光分光法による温度測定は(Sugita et al. 1998) によって測定法が確立されている。一方、発光分光による圧力測定に関してはシュタルク効果によって電子密度を求め、そこから電離度などを考慮して圧力を推定する方法が有望であり、これまでにいくつかの研究でこの方法を用いた圧力の推定が行われてきたが、まだ数々の問題があり、圧力測定法として確立するには至っていない。

本研究では、このシュタルク効果を利用した圧力測定法を蒸気雲の圧力測定法として確立するために、固体試料にレーザーを照射して蒸気雲を発生させ、その温度・圧力を発光分光的手法で測定する実験を行った。

固体試料は衝突蒸気雲で観測できる Ca などの金属輝線と電子密度の指標となる H の輝線の両方を観測するために水酸化物である Ca(OH)2 を押し固めたペレットを使用し、これに真空チャンバー内で Nd:YAG レーザーを照射することで蒸気雲を発生させた。発生した蒸気雲を分光器と ICCD カメラによって観測し、これを解析することで膨張する蒸気雲の温度・圧力を求めた。

以上の手法を用いて実験を行った結果、蒸気雲の膨張に伴い、共鳴線以外の輝線から求めた圧力について時間とともに圧力が低下していく様子が見られ、また、この温度圧力変化について断熱膨張を仮定して比熱比を求めたところ、妥当な値が得られた。本発表では、この実験結果について報告する。

218

惑星物質試料受入設備の機能と性能

○藤村彰夫[1,2]、矢田達[2,1]、安部正真[1,2]、田中智[1,2]、惑星物質試料受入設備検討委員会[1]
宇宙航空研究開発機構 / 宇宙科学研究本部[1]、月惑星探査プログラムグループ[2]

2010年6月に帰還するはやぶさ試料の受入に向け、2008年4月より惑星物質試料受入設備が稼動を開始した。設備はクリーンルームに設置されたクリーンチャンバーを主体とし、その他いくつかの付帯装置からなる。

クリーンチャンバーは地球環境による汚染を極力防止した状態で衛星搭載試料カプセルを開封し貴重な試料を失うことなく回収するために製作された。試料カプセル内の微細試料を巻き上げることなく安全に開封するため、クリーンチャンバーは～1E-7Paの真空から1気圧、高純度（不純物1ppb以下）窒素雰囲気を実現できる。このクリーンチャンバー内で試料カプセルを開封し、試料回収、秤量、分配、容器封入などの操作を行う。また長期保管用容器へ移動も行う。カプセル開封操作は必要に応じて真空など減圧環境でも外部操作により可能であり、また1気圧環境ではグローブ操作により上述の種々の作業操作ができる。

これまでにクリーンチャンバーの以下4点の機能について確認したので報告する。

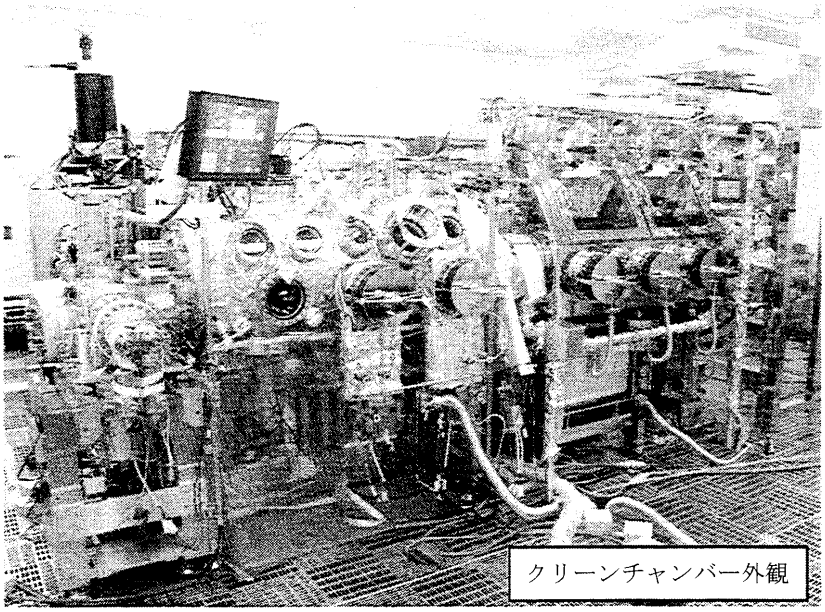
1）ガス漏れを生じることなく、試料カプセルから押さえバネやラッチなど駆動部を除去し蓋開封機構に組み込める。

2）蓋開封機構をクリーンチャンバーに取り付け、真空及びガス圧雰囲気で外部遠隔操作により蓋開封操作が可能。

3）試料回収に関連する器具については、試料回収の基本操作ができる

4）試料封止に関しては予備試験を実施し、高周波誘導過熱によって短時間で石英製容器に試料を溶融封止できる。

現在、2008年度内を目処にクリーンチャンバーの更なる詳細な機能・性能試験を実施中である。その後2009年度のリハーサル運用を経て2010年の「いとかわ」試料の帰還に備える。



クリーンチャンバー外観

219

はやぶさ後継ミッションの進捗状況について

○吉川 真[1]、はやぶさ２プリプロジェクトチーム、小天体探査ワーキンググループ
[1]宇宙航空研究開発機構

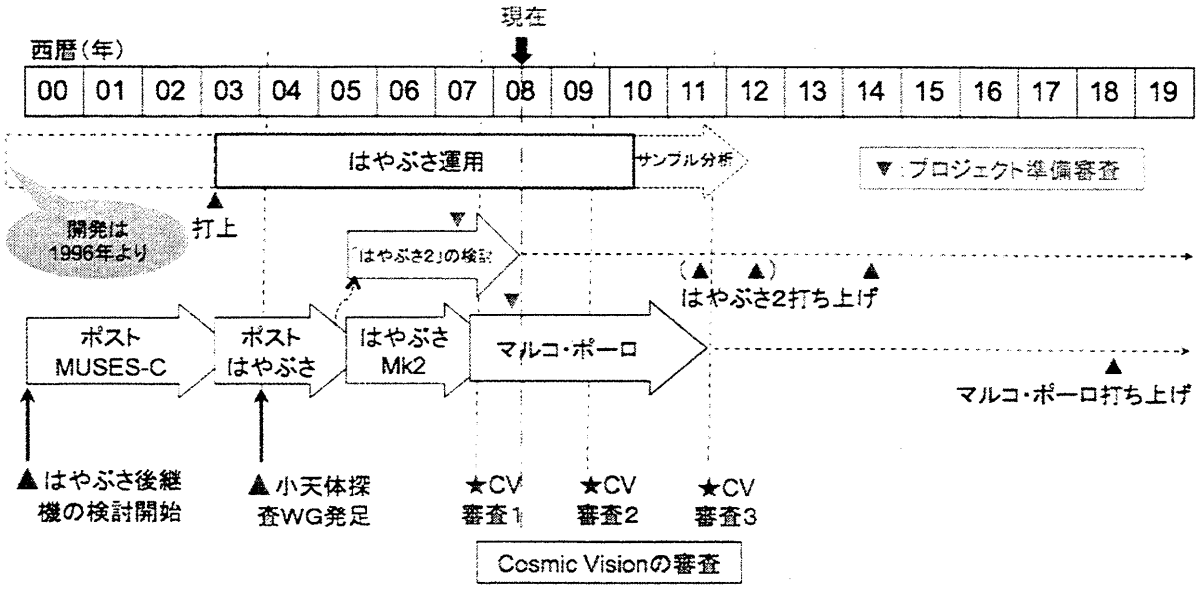
小惑星サンプルリターンミッションである「はやぶさ」の後継となるミッションについての検討を進めているが、現在の進捗状況について報告する。

昨年までの講演会でも報告してきているように、「はやぶさ後継機」としては、「はやぶさ２」と「はやぶさ Mk2」を検討してきた。「はやぶさ２」は「はやぶさ」とほぼ同等な探査機で C 型小惑星の探査を行うもので、「はやぶさ Mk2」の方は新規開発の探査機でより始原的な天体である D 型小惑星や涸渇彗星核を探査しようとするものである。両方ともサンプルリターンミッションとなる。

ここ 1 年間の大きな動きとしては、「はやぶさ Mk2」について、ヨーロッパの研究者や ESA 関係者との協議を進めて、共同ミッションとして ESA の Cosmic Vision (CV) というプログラムに提案し、その 1 回目の審査を通過したことである。提案のミッション名は「マルコ・ポーロ」である。「マルコ・ポーロ」については、2009 年に CV の 2 回目の審査があり、これを通過すれば、さらに 2011 年に 3 回目の審査がある。この 3 回目の審査まで通過すると、ようやくミッションとして認められることになる。以上の経緯をまとめると、下の図のようになる。

我々は、「はやぶさ２」も念頭に置きながら、「マルコ・ポーロ」に向けた技術検討作業を行ってきた。これまでの主な検討課題は、サンプリング機構、3μm 帯分光器、紫外蛍光検出器、マクロカメラ、航法誘導制御、イオンエンジン、リエントリカプセル、そしてアウトリーチ等である。また、平行して探査候補天体やその他の小天体について、地上望遠鏡を用いた観測や赤外線天文衛星「あかり」などからの観測も行ってきた。

これらの活動によって、「はやぶさ２」については、いつでも実行に移すことが可能な状態である。また、「マルコ・ポーロ」については、更なる検討を進めて、来るべき CV の審査に備えたい。



図「はやぶさ」後継機に関連する経緯

220

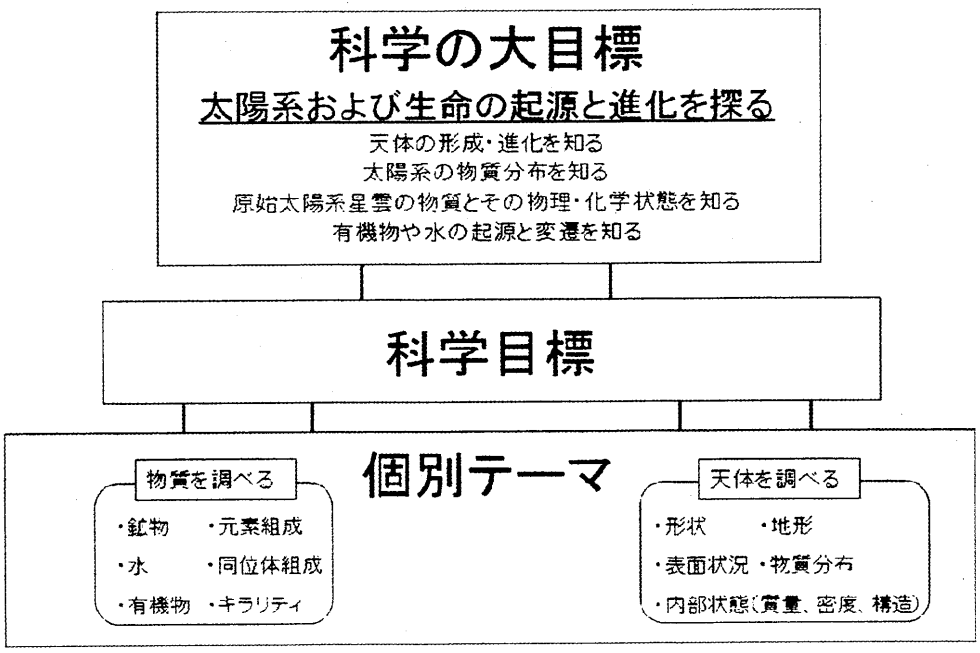
はやぶさ後継ミッションの科学目標および搭載機器

○高木靖彦[1], 安部正真[2], はやぶさ2プリプロジェクトチーム[2], 小天体探査WG[2]
[1]愛知東邦大学、[2]JAXA

2005 年に小惑星イトカワを探査し、その表面サンプルを入れたカプセルが 2010 年に地球へ帰還する予定の探査機「はやぶさ」に続く小天体探査として、「はやぶさ 2」と「マルコポーロ」という 2 つの計画が現在検討されている。本公演では、それらの計画の科学目標と搭載科学機器の検討状況を報告する。

「はやぶさ 2」は「はやぶさ」と同型の探査機を用いるという計画であり、科学機器に関しても「はやぶさ」と同じ、光学カメラ、ライダー、蛍光 X 線分光器、近赤外線分光器を搭載することを前提に検討が進められている。ただし、探査対象が S 型から C 型に変わることに伴い、近赤外線分光器の観測波長の長波長化、カメラの多色フィルターの最適化などの検討が行われている。

「マルコポーロ」に関しては、根本的科学目標の明確化、個別目標の具体化が終了し、それを元にした個別のテーマの検討、それを可能にするための搭載機器の選定、仕様の検討が進められている。また、ヨーロッパ側チームとの間の協力、あるいは競争による機器の分担に関する検討も進められている。具体的な候補機器の紹介等は発表で行う。



221

17P/Holmesの偏光分光および偏光撮像観測

Polarimetric Spectroscopy and Imaging of 17P/Holmes

○古荘 玲子[1], 新井 彰[2], 植村 誠[2], 川端 弘治[2], 笹田 真人[2], 山下 卓也[2], 大杉 節[2],
佐藤 修二[3], 木野 勝[3], 加藤 英行[4], 渡部 潤一[5]

[1]国立天文台天文データセンター
[2]広島大学宇宙科学センター
[3]名古屋大学光赤外線天文学研究室
[4]明星大学大学院理工学研究科
[5]国立天文台天文情報センター

17P/Holmesは、2007年10月23日から24日にかけて、日心距離2.4AUという遠方にありながら17等台から2等台へという急激な大増光を示した(e.g., J. A. Henriquez Santana, IAUC 8886)。増光初期の可視低分散分光観測ではガス分子輝線は殆ど受からなかったことが報告された(Kobayashi et al., IAUC 8887)ことから、この大増光はバースト現象によって大量の塵が放出されたために明るくなったものと推測された。

そこで我々は、このバーストで放出された塵の特性を調べるため、次の2つの観測システムを用いて偏光観測を中心とした観測を行った。一方は、広島大学東広島天文台1.5mかなた望遠鏡と可視赤外線同時撮像分光装置(TRISPEC)による、可視・近赤外広帯域多色撮像、可視偏光分光、および可視偏光撮像観測であり、他方は国立天文台50cm社会教育用公開望遠鏡と広視野偏光撮像装置(PICO)による偏光撮像観測である。観測は、増光直後の2007年10月25日～11月8日の期間に行われた。特に10月27日～30日のかなた望遠鏡/TRISPECによる観測では、輝度中心近傍に見られた放出物と思われる構造が中心から反太陽方向へ約130 m/sの速度で遠ざかっていく様子を捉えており、また、輝度中心付近の平均の偏光度は −0.7 ～ −0.5% 程度であった(Arai at al., CBET 1118)。さらに、三鷹50cm/PICOによる観測では、ほぼ球対称に広がるコマの拡散の様子も捉えられている。

講演では、偏光観測の結果を中心に報告し17P/Holmesの塵の特性について他の彗星との比較と議論も行う。

222

アウトバーストによるホームズ彗星のダスト放出

○猿楽祐樹[1]、石黒正晃[2]、上野宗孝[3]
[1]東大天文センター木曽観測所、[2]ソウル大物理天文、[3]東大総合文化

2007年10月、ホームズ彗星が大アウトバーストを起こした。それにより放出されたダスト雲の形状は、一般に彗星に観測されるダスト雲(ダストテイル)とは、全く異なる形をしていた。本研究では、様々な条件で計算したダスト粒子の軌道と観測されたダスト雲の形状(輝度分布)を比較し、バースト時のダスト放出について議論する。

観測は、2007年10月27日2008年2月28日にかけて、東京大学木曽観測所1.05mシュミット望遠鏡(検出器は2kCCDカメラ)を用いて行った。今回、使用しているデータはすべてRバンドで観測したものである。木曽シュミット望遠鏡に2kCCDカメラを取り付けた時の視野は約50x50分角である。バースト後のホームズ彗星のダスト雲は、徐々に拡散していき、11月中旬には、満月の大きさを超え、12月には2kCCDの視野にもおさまらなくなった。

ホームズ彗星のダスト雲にはふたつの特徴的な構造が見られた。ひとつは球状に広がった構造(特徴A)で、もうひとつは彗星核から離れた位置に集光した部分(特徴B)である。太陽の輻射圧の影響でダスト雲の形状は次第に崩れて行くが、バースト後しばらくの間、特徴Aは等速で広がっており、バースト時に四方八方に放出されたダストと考えられる。一方、特徴Bは、移動方向が輻射圧の働く方向と一致しているものの、輻射圧の影響だけでは、移動量を説明できない。また、移動量から特徴Bが核を離れた時間を推定すると、バーストの推定時刻と一致しないため、バースト後に放出されたダスト雲の可能性もある。

本講演では、特徴Bに着目する。放出時刻、放出方向、放出速度、ダストのサイズ(輻射圧の効果)をパラメータとして、放出後のダストの軌道を計算し、特徴Bの移動量を説明できる放出条件を求める。

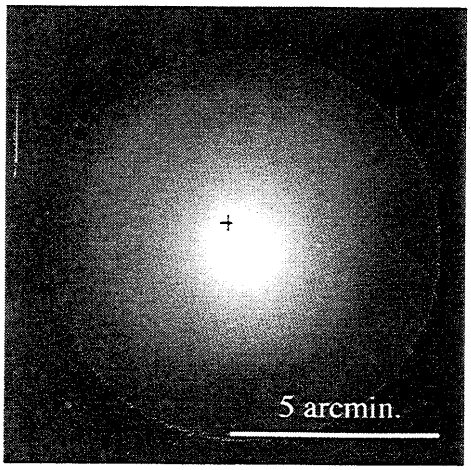


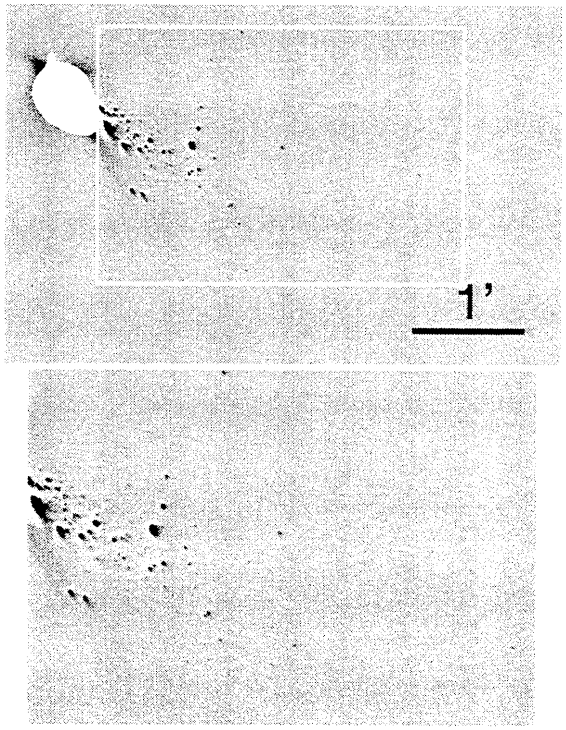
図1. 木曽シュミット望遠鏡を用いて観測したホームズ彗星(2007年10月30日)。
+ は彗星核の位置

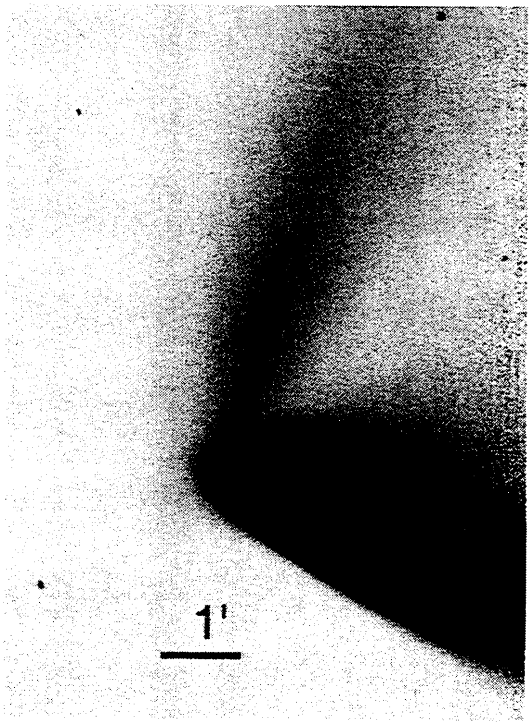
223

シュヴァスマン－ヴァハマン第３彗星と百武彗星の分裂現象

○石黒正晃[1]、猿楽祐樹[2]、臼井文彦[3]、上野宗孝[4]
[1]国立天文台天文情報センター、[2]東京大学木曽観測所、
[3]宇宙航空研究開発機構宇宙科学研究本部、[4]東京大学大学院総合文化研究科

彗星画像には、過去に起った彗星の活動履歴が刻み込まれています。私たちはインターネット上で公開されている彗星画像を解析することによって二つの彗星の分裂現象について調べました。シュヴァスマン－ヴァハマン彗星Ｂ核は、すばる主焦点カメラによって２００６年５月３日に取得され、SMOKA(Subaru Mitaka Okayama Kiso Archive)で公開されています（下図左上と左下）。分裂核がジェット効果によって空間的に拡がったと仮定すると、分裂現象を起こした時刻や分裂核のサイズの見積もりが可能です。解析の結果、Ｂ核から放出された１５０個以上に及ぶ分裂核は、２００６年４月上旬に一斉に放出され、各々の分裂核の大きさは約１０ｍと推定されます。百武彗星は、MSX(Midcourse Space Experiment)によって中間赤外波長域で撮像されており（下図右）、PDS(Planetary Data System)で公開されています。定常的に放出されているダストによって形成されているチリ雲（ダストテイル）だけでなく、異なる方向に伸びるダスト雲が検出されました。同様の解析手法により、１９９６年３月下旬の分裂現象に起因することがわかりました。





224

惑星間塵中の有機物と生命の起源：国際宇宙ステーション暴露部での捕集計画

○小林憲正[1]，伏見英彦[1]，藤崎健太[1]，谷内俊範[1]，金子竹男[1]，三田肇[2]，山岸明彦[3]，たんぽぽWG

[1]横浜国大院工，[2]福岡工大，[3]東京薬大生命

生命の起源に関して、地球外から生命の胚種が届けられたとする「パンスペルミア」説が提唱されているが、その検証は十分になされていない。一方、炭素質コンドライトや彗星中に多様な有機物が検出されており、これらが地球に届けられて地球上で誕生した生命の素材となった可能性は現在、広く認められている。近年、炭素質コンドライト中の有機物や、スターダスト計画により持ち帰られた彗星試料中の有機物の同位体比分析などから、これらの有機物が極めて低温で生成したことが示唆されており、その生成機構として分子雲中の星間塵上での生成が注目されている。

われわれは、星間塵アイスマントル中に検出されている一酸化炭素、メタノール、アンモニア、水などの混合物に宇宙線の作用を模して陽子線（東工大、高崎原研）または重粒子線（放医研）を照射し、その生成物の分析を行った。液体窒素中で凍結したメタノール・アンモニア・水の混合物に炭素線（290 MeV/u）を照射した時、生成物を酸加水分解すると種々のアミノ酸が検出された。グリシンのエネルギー収率（G値）は0.007であり、室温（液体）で照射した時の1/2であった。加水分解前の生成物は、分子量2000程度であり、熱分解GC/MSで分析すると複素環化合物やニトリルが検出された。また、一酸化炭素、アンモニア、水の混合物に陽子線照射した場合も同様な複雑な構造を有する高分子状アミノ酸前駆体が生成する。これに円偏光放射光(NTT)を照射した後、加水分解するとアミノ酸のエナンチオ過剰が検出された。また、TEMにより有機構造体が観察された。高分子状アミノ酸前駆体は放射線・熱・衝撃などに対し、遊離アミノ酸よりもはるかに安定であった。

以上のことから、分子雲中で宇宙線などにより生成した高分子状アミノ酸前駆体が中性子星からの円偏光によりエナンチオ過剰を生じたのち、彗星・隕石・惑星間塵などにより原始地球海洋に届けられたというシナリオが描かれる。特に惑星間塵（微隕石）の場合、地球進入のおりの分解が少ないという利点があるが、地球軌道近くでは太陽紫外線などによる変成の可能性が考えられる。これまでに採集された惑星間塵や微隕石は地球生物圏内で集められたため、生体関連有機物の評価が困難であった。

われわれは、パンスペルミア仮説の検証を目的として、2011年から国際宇宙ステーション日本実験モジュール(JEM)暴露部を利用した「たんぽぽ計画」を計画中である。この計画においては、(1)地球外環境下で低密度エアロジェルを用いてダストを捕らえ、その中の微生物や有機物を評価すること、(2)微生物や隕石関連有機物などを実際の宇宙環境に暴露し、その安定性・生存可能性を調べることなどを目的としている。これまで、成層圏で生きている微生物が検出されており、微生物の生存範囲が宇宙ステーション高度まで拡大されれば、微生物の惑星間伝搬の可能性がより高まる。また、ダスト中の有機物に、炭素質コンドライトに見られるような生体関連有機物が確認されれば、宇宙由来の有機物の地球生物圏の素材としての重要性がさらに増すことになる。現在、宇宙実験の準備として、超低密度エアロジェルを用いて高速で飛来するダストの捕捉実験等を行っている。

225

ふたご座流星群母天体における分裂/崩壊現象の可能性

○春日　敏測[1]、David Jewitt[2]
[1]国立天文台 RISE月探査プロジェクト、[2]ハワイ大学 天文科学研究所

アポロ型近地球型小惑星1999YCに、フェートン－ふたご座流星複合群との力学的相関が示唆された。大口径光学望遠鏡により観測された1999YCの物理的特徴を示す。また、関連のある他の天体（小惑星3200フェートン、2005UD)の物理的特徴と比較することにより、ふたご座流星群の母天体における分裂・崩壊の可能性について議論する。

Apollo asteroid 1999 YC may share a dynamical association with the Phaethon-Geminid stream complex. Here, we present photometric observations taken to determine the physical properties of 1999 YC. The object shows a nearly neutral reflection spectrum, similar to but slightly redder than related objects 3200 Phaethon and 2005 UD. Assuming an albedo equal to 3200 Phaethon's we find that the diameter is 1.4+/-0.1 km. Time-resolved broad-band photometry yields a double-peaked rotational period of 4.4950+/-0.0010 hr while the range of the lightcurve indicates an elongated shape having a projected axis ratio near 1.9:1. Surface brightness models provide no evidence of lasting mass loss of the kind seen in active short periodcometary nuclei. An upper limit to the mass loss is set at about 0.001 kg/s, corresponding to an upper limit on the fraction of the surface that could be sublimating water ice of 0.001. If sustained over the 1000 yr age of the Geminid stream, the total mass loss from 1999 YC (3e7 kg) would be small compared to the reported stream mass (1e12 - 1e13 kg), suggesting that the stream is the product of catastrophic, rather than steady-state, breakup of the parent object.

This work is published in The Astronomical Journal (2008) 136, 881-889.

226

２００７ふたご座流星群による月面衝突閃光

○柳澤正久[1]、池上裕美[1]、石田正行[2]、唐崎秀芳[3]、
阿部新助[4]、高橋隼[5]、木下克之[5]、大西浩次[6]
[1]電通大、[2]滋賀県、[3]東京都、[4]国立中央大(台湾)、[5]神戸大、[6]長野高専

流星の正体が、秒速数 10 km という速度で地球大気に飛び込み発光する微粒子(流星体)であることは広く知られている。一方、流星体が大気のない月面に直接衝突すれば閃光(普通 0.1 秒以下)を発すると考えられる(月面衝突閃光)。しかし、大きな流星体(例えば 1 kg 以上)でないと地球から容易に観測できる明るさにはならないと予測され、そのような流星体は数が少ないことから観測できるような月面衝突閃光は非常に稀であろうと考えられてきた。最初の閃光は、1999 年のしし座流星群活動期に観測された[1, 2, 3]。以後、2001 年のしし座流星群[4]、2004 年のペルセウス座流星群[5]の活動期にも閃光が観測され、最近では、NASA の観測システムにより多くの閃光が報告されている[6]。

2007 年 12 月のふたご座流星群活動期に、国内の多くの観測者やグループが月面衝突閃光を捉えるための観測を行った。その結果、10 個以上の閃光が報告されたが、その内４つは離れた多地点から同時に観測されており、月面上での現象であることは間違いない。また、1 つについては、一地点からではあるが 2 台のカメラで捉えられており残光も観測されているのでノイズでないことは確かである。本講演ではこれらの閃光についての最新の解析結果について述べる。

参考文献

[1] Dunham, D. W. and 13 colleagues 2000. The first confirmed videorecordings of lunar meteor impacts. Lunar Planet. Sci. XXXI No. 1547.
[2] Ortiz, J. L., P. V. Sada, L. R. Bellot Rubio, F. J. Aceituno, J. Aceituno, P. J. Gutierrez, and U. Thiele 2000. Optical detection of meteoroidal impacts on the moon. Nature 405, 921-923.
[3] Yanagisawa, M. and N. Kisaichi 2002. Lightcurves of 1999 Leonid impact flashes on the moon. Icarus 159, 31-38.
[4] Ortiz, J. L., J. A. Quesada, J. Aceituno, F. J. Aceituno, L. R. Bellot Rubio 2002. Observation and interpretation of Leonid impact flashes on the moon in 2001. Astrophys. J. 576, 567-573.
[5] Yanagisawa, M., K. Ohnishi, Y. Takamura, H. Masuda, Y. Sakai, M. Ida, M. Adachi and M. Ishida 2006. The first confirmed Perseid lunar impact flash. ICARUS 182, 489-495.
[6] Suggs, R. M., Cooke, W. J., Suggs, R. J., Swift W. R., and Hollon, N., The NASA Lunar Impact Monitoring Program, Earth Moon Planets, DOI 10.1007/s11038-007-9184-0.

227　最優秀研究者賞特別講演

円盤散逸と永年共鳴

○長沢 真樹子
東京工業大学・グローバルエッジ研究院

天体の近日点や昇交点の移動周期が，他の天体の近日点や昇交点の移動から導かれる系の固有振動の周期と一致したときに，永年共鳴が生じる．通常，他の惑星の重力は，中心星の重力に比べてごく小さいために，数回のケプラー周期では，近日点や昇交点は，動いて見えない．その移動は，極めて長い時間の変化であるため，永年変化である言われ，これに関係する共鳴が永年共鳴と呼ばれる．永年共鳴の場所では，天体の離心率や軌道傾斜角が非常に大きくなる．現在の太陽系では，永年共鳴の場所は，例えば小惑星帯の端などにあって，動くことはない．

永年共鳴の場所は，基本的に系の重力ポテンシャルから決定される．そこで，原始惑星系円盤の散逸のように，大きな重力変化が起きると，永年共鳴の場所も移動する．そして，どのように重力ポテンシャルが変化したかによって，永年共鳴がどのように通過するのかが決定される．例えば現在 2AU 付近にある，土星の固有振動に近い離心率を上昇させる永年共鳴は，林モデルのガス円盤を考えると 4AU あたりにあったことがわかる．

ガス円盤の散逸の方法や惑星形成の時期との関連は，厳密にはわかっていない．しかし，永年共鳴が太陽系を横切ってゆっくり移動をすると，その通過した領域では，天体の離心率(あるいは軌道傾斜角)の平均値が軒並み上昇する．例えば，小惑星の大きな離心率や軌道傾斜角は，この共鳴の通過で説明することができる．つまり，小天体の現在の軌道を見ることで，永年共鳴の通過経路をある程度推測ができ，そこからガス円盤の散逸方法がわかるという仕掛けである．小惑星帯の軌道傾斜角は，木星よりも外側のガスの散逸に先んじて小惑星帯のガスが薄くならないと一切上昇しない．また，原始惑星の衝突を永年共鳴がうながしたのであるとすれば，まず，(1)木星が形成され，(2)内側領域で粘性散逸などで 5 百万年程度以上かけてガスが薄くなって地球型惑星の最終形成が行われ，(3)その後，木星軌道より外側のガスが 1 千万年程度以上かけて光蒸発などが失われて，小惑星の軌道が跳ね上げられた，というシナリオを描くことができる．外縁天体の領域でさらに散逸に時間がかかったとすると，それらの軌道も説明がつけられる(ただし外縁部では恒星遭遇や惑星による散乱などの方が有力である)．

永年摂動は，惑星が複数ある系外惑星系でも，見逃せない効果をもっている．例えば，アンドロメダ座ウプシロン星の惑星 c，d のように，外側の惑星が重い場合には，円盤散逸によってふたつの惑星の離心率の大小関係が入れ替わるような現象が起きる．また，中心星の自転速度の変化は J2 ポテンシャルを変化させるため，ある種の短周期の系外惑星の存在には，円盤散逸と中心星の回転速度の関係に制約が課せられることもある．

講演では，これら円盤の散逸による永年共鳴の移動が，惑星系の進化にどのような影響を及ぼすかを，上記のシナリオに沿って見ていくことにする．

301

非常に最近分裂した小惑星(1270)Daturaの自転位相ごとの反射スペクトル

○高遠徳尚[1]

[1]国立天文台ハワイ観測所

普通コンドライトの母天体はS型小惑星と考えられているが、その反射スペクトルはS型小惑星の方が可視光域で赤く、また波長0.9−1.0 μmに見られるシリケートの吸収が浅いという違いがある。この違いは「宇宙風化」が重要な働きをしていると考えられている。宇宙風化によるスペクトルの変化は、宇宙線や微小隕石が衝突し、天体表面にある鉱物の表面付近に微小な鉄粒子が形成されることが原因と考えられている。宇宙風化は小惑星スペクトルを解釈する上で非常に重要な作用であるが、宇宙風化がどのくらい時間をかけて進行するのか、現在のところわかっていない。

最近Nesvornyら(Nesvorny *et al.* 2006) は数値計算によって、非常に最近（＜1 My）分裂した小惑星クラスターをいくつか同定した。その中で(1270) Daturaは450±50k年前に分裂してできた小惑星クラスターの最大メンバーである。直径は約11 kmで軌道半長径2.2 AUのメインベルト天体である。Daturaクラスターの他のメンバーは6天体同定されているが、いずれも直径3 km 以下であり、(1270) Daturaは飛びぬけて大きい天体である。

我々は、(1270) Daturaの表面にまだ宇宙風化が進んでいない領域があることを期待して、自転の各位相ごとの反射スペクトルを観測した。観測はすばる望遠鏡のFOCASを用い、自転周期の約3/4周期分の反射スペクトル（波長0.5〜1.0μm）を得ることができた。分光観測に先立ち、(1270) Daturaの自転位相を決めるために、ライトカーブの観測をやはりすばる望遠鏡のMOIRCSを使って行った（望遠鏡エンジニアリング中に取得）。

その結果、(1270) Daturaのスペクトルは自転位相による相違は非常に小さく、どの面もほぼ同じスペクトルを示していることがわかった。またそのスペクトルは典型的なS型小惑星のものであった。このことは、宇宙風化が450k年という非常に短いタイムスケールで進行することを表している。

参考文献

Nesvorny, D., Vokrouhlicky, D., & Bottke, W. F. *Science* **312**, 1490 (2006).

302

未分類 C2 コンドライト WIS91600 隕石が経験した母天体変成過程の有機化学的研究

○薮田ひかる [1,2], Conel M.O'D. Alexander [2], Marilyn Fogel [2], George D. Cody [2]
[1] 阪大理, [2] Carnegie Institution of Washington

【序論】未分類 C2 コンドライトの WIS91600 隕石は、その反射スペクトルが D- 又は T-タイプ小惑星のものに似ていることや、鉱物学的特徴が CM コンドライトとは異なるが Tagish Lake および CI コンドライトに似ていること (Hiroi et al. 2005)、その一方で熱変成を受けた証拠を有すること(Tonui et al. 2002; Moriarty et al. 2007) が報告されており、共通の見解が得られていないことから、その起源や進化については未解決である。そこで本研究では、WIS91600 隕石中の有機物の同位体・構造分析から WIS91600 隕石が経験した化学過程に関するより詳しい情報を引き出すことを試みた。

【実験】隕石試料には WIS91600、および比較として数種の CM2、CI、変成を受けた CM2、CV コンドライト、そして Tagish Lake を用いた。各隕石試料に CsF-HF 処理を施して不溶性有機物を精製し、元素および同位体分析、そして固体 ^{13}C NMR 分析を行った。

【結果と考察】*元素・同位体組成* WIS91600 の不溶性有機物の H/C 比は、穏やかな熱変成（400 – 500°C）を受けた CM の PCA91008、および Tagish Lake のものに近かった。また同位体組成（δD = 349‰、δ^{13}C = 11.19‰）の値は PCA91008 のもの（δD = 243‰、δ^{13}C = 11.38‰）に最も近く、WIS91600 と PCA91008 は同種の化学過程を経験した可能性が示された。

固体 ^{13}C NMR ^{13}C NMR スペクトルから、WIS91600 の不溶性有機物の主要な割合を芳香族炭素が占めることが明らかとなったが、この特徴は PCA91008 および Tagish Lake の両方と酷似しており、スペクトルだけではどちらの隕石と似ているのか区別がつけ難かった。そこで、NMR 測定における接触時間に対する各不溶性有機物のシグナル強度の変化を調べた。得られた変化のパターンより、各分子構造中の C-H 間の平均距離は；

CM ~ Tagish Lake ≤ **WIS91600** ≤ PCA91008 < CV (Vigarano)

と評価することができる。この順番はおそらく熱変成の度合を反映すると考えると、WIS91600 は PCA91008 に比べると弱い熱変成を受けた隕石であることが示された。

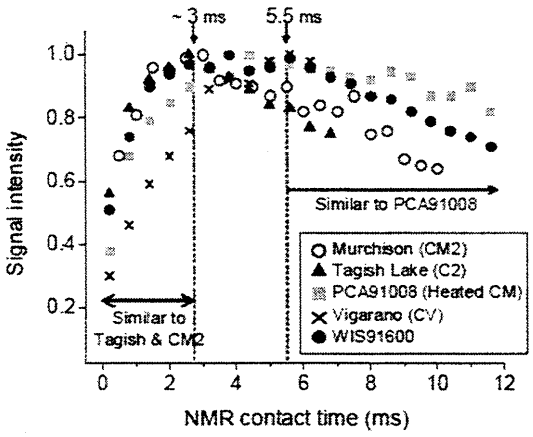


Figure. Change in signal intensity of aromatic carbon of insoluble organic matter from carbonaceous chondrites with NMR contact time with VACP MAS.

303

近接場赤外分光法を用いた炭素質コンドライト中有機物の空間分布

○癸生川 陽子[1], 中嶋 悟[1], Keiko Nakamura-Messenger[2], Michael E. Zolensky[2]
[1]大阪大学 大学院理学研究科 宇宙地球科学専攻
[2] Astromaterials Research and Exploration Science, NASA Johnson Space Center

始源的な炭素質コンドライトには質量で数%程度の有機物が含まれており，抽出・酸処理することにより，これらの有機物のさまざまな分析がなされてきた．しかし，有機物を分離せずにコンドライトにおける有機物の空間分布や鉱物との共存状態を調べた研究は少ない．例えば，ラマン分光法によるイメージング[1]や，Os でマークした有機物の走査型電子顕微鏡による観察[2]などによって，コンドライト中有機物の分布が調べられている．また，透過型電子顕微鏡により，数 100nm から 1μm 程度の有機球状粒子が観測されている[3,4].

そこで本研究では，新しく開発中の手法である近接場赤外分光法を用いて，従来の顕微赤外分光法では成し得なかった高分解能の面分析を行った．試料表面を先端径 1μm のプローブで走査し，プローブ先端に赤外光を照射し，試料表面に発生する近接場赤外光を検出し，赤外スペクトルを得ることができる．有機球状粒子が多数見つかっている Bells 隕石(CM2)[5]のウルトラミクロトームによる厚さ 300nm の薄片を，Al 板上に乗せたものを試料として用いた.

近接場赤外分光法により，Bells 隕石の約 4×2 μm を 200nm ステップで面分析を行ったところ，主にフィロシリケイトが分布している部分に，1 μm 程度の領域に有機物(脂肪族CH)の集中がみられた．これらは有機球状粒子を反映している可能性がある.

このような方法により，従来の顕微赤外分光の分解能(~10μm)では見ることのできなかった微小領域(<~1μm)での有機官能基の分布を調べることができる．また，サンプルリターンなどによる微小な試料の分析にも有効であることが期待される.

参考文献: [1] C. E. Amri et al., Spectrochim. Acta A 2005, 61, 2049. [2] V. K. Pearson et al., Meteorit. Planet. Sci. 2002, 37, 1829. [3] K. Nakamura et al., Int. J. Astrobiol. 2003, 1, 179. [4] L. A. J. Garvie, and P. R. Buseck, Earth Planet. Sci. Lett. 2004, 224, 431. [5] S. Messenger et al., 39th Lunar and Planetary Science Conference, 2008, Abstr., No. 2391.

304

あかり衛星による準惑星エリスの遠赤外線測光観測

○関口朋彦[1]、大坪貴文[2]、長谷川直[2]、上野宗孝[3]、臼井文彦[2]、石黒正晃[4]、松浦周二[2]、白旗麻衣[2]、向井正[5]

[1]北海道教育大学、[2]宇宙航空研究開発機構 宇宙科学研究本部、[3]東京大学 大学院総合文化研究科、[4]ソウル大学、[5]神戸大学

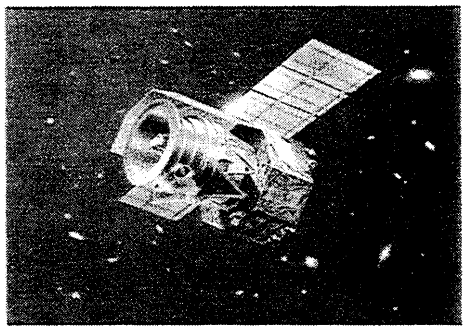


図１：赤外線衛星あかりの観測風景想像図（ISAS/JAXA）

赤外線衛星あかり(ASTRO-F)は太陽同期極軌道（高度750km）を取る有効口径 68.5cm の天文観測衛星である。我々は液体ヘリウムによる冷却が有効な2006－2007年の第二観測期に「あかり太陽系天体観測グループ」のミッションプロポーザル(MP)および主幹裁量提案(DT)として太陽系外縁部天体の遠赤外線測光観測（設定中心波長63, 80, 149, 161μm）を行った。この波長域では数十Kの表面温度の天体からの黒体放射強度がピークになるが、大気を通した地上からの観測は完全に不可能である。天体のサイズ・アルベド・熱特性を得るべくここでは準惑星のエリス(2003 UB313)、マケマケ(2005 FY9)、ハウメア(2003 EL61)を始め、可視光域で明るいカイパーベルト天体（KBOs）：Huya（2000 EB173)、Orcus（2004 DW)、2005 RM43、2005 RN43、2005 RR43、2002 TX300、2004 GV9、2002 UX25）及びケンタウルス天体：Chiron、Chariklo、2003 C01、Thereus（2001 PT13)の観測を遂行し、その暫定解析ではエリスなどの準惑星はいずれの波長でも検出できていないが、一部のカイパーベルト天体とケンタウルス天体は主として 80μm 帯(50-110μm)での検出に成功した。本講演ではこの解析結果を一部紹介する。

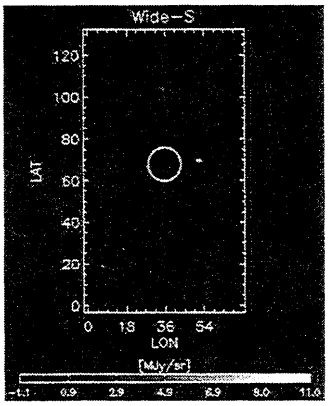
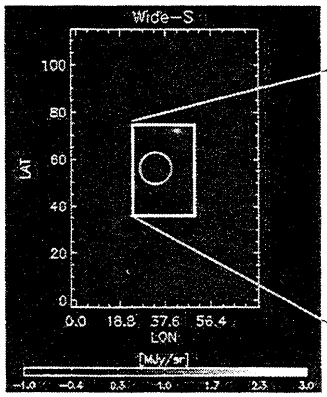


図２：波長80μmの準惑星エリス（○印）。暫定解析では背景光ノイズレベル以下（上限値のみ）。



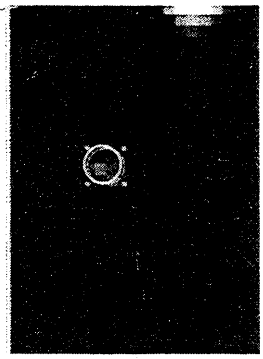


図３a 図３b：波長80μmのKBO-Huya（○印）の熱放射を検出した。右はその拡大画像

305

小惑星 Vesta の地殻発達史

○山口　亮[1]
[1]国立極地研究所

HED(ホワルダイト・ユークライト・ダイオジェナイト)隕石は、分化した隕石の中で最大のグループであり、その母天体は小惑星 4Vesta（直径約 500km）だとされる。ユークライトは玄武岩もしくはガブロ、ダイオジェナイトは輝岩、ホワルダイトは主にユークライトとダイオジェナイトの岩石片からなる衝突角礫岩である。HED 母天体は形成直後の数百万年から千数百万年以内に大規模な火成活動を経験し、数億年にわたって熱変成作用や衝撃変成作用を受けた。小惑星 Vesta は、ユークライトとダイオジェナイトからなる地殻を現在も保持しており、層構造を持っている唯一の原始惑星である。

HED 隕石の酸素同位体組成の均質性や親鉄元素組成の事実から、母天体は集積直後に形成したマグマ大洋に覆われていたとされる。金属コアの分離の後、かんらん石と輝石が晶出しマグマ大洋底部に沈積した。この中で輝石が沈積してできた集積岩がダイオジェナイトであり、結晶分化後の残液が地表に噴出して固まったものがユークライトと考えられていた。

しかし、このような単純なモデルでは HED 隕石の岩石学的特徴をすべて説明することができない。地殻の形成は数段階のプロセスを経たらしい。全岩微量元素の事実からダイオジェナイトの母マグマは数種類あるとされる。これはダイオジェナイトがマグマ大洋から直接結晶化したというモデルと調和的ではない。最近の研究によると、ダイオジェナイトはマグマ大洋から晶出沈積したマフィック鉱物の層が再溶融して形成されたマグマから晶出した可能性が高いことがわかった。ユークライトも地殻形成中に再溶融やマグマ汚染を経験したとされる。このように、小さな天体ながら、初期の地球の月が経験したような複雑な地殻発達史を経験していたことがわかりつつある。

我々が手にしている HED 隕石は Vesta の地殻物質を代表しているのだろうか。Vesta の南極付近には巨大なクレータ(直径 480km)が見つかっており、もしこのクレーターからの破片が HED 隕石として地球に到達したならば、我々が手にする隕石試料はローカルな地殻起源である可能性が高い。最近砂漠から発見されたホワルダイトの中に非常に K に富む岩石片が見つかるなど、Vesta の地殻の岩石は HED 隕石単体としてみられるよりはるかに多様性に富むことがわかった。2011 年に Vesta に到達するアメリカの探査機 DAWN からの観測データーや砂漠や南極から回収されつつある隕石の岩石鉱物学的研究から、原始惑星や小惑星 Vesta の地殻発達史の詳細が明らかになるだろう。

306

微惑星との相互作用による惑星移動の素過程

高橋 啓介○, 小林 浩, 渡邊 誠一郎

名古屋大学大学院環境学研究科

微惑星との相互作用による原始惑星の移動は、完成した惑星系の姿を決める重要な力学過程である。本研究では微惑星形成の素過程を明らかにすること、原始惑星の移動速度を円盤面密度の関数として表す式を得ることを目的とし、微惑星円盤中の原始惑星の移動を数値計算を用いて調べた。円盤面密度に対する原始惑星の移動速度は図 1 に示されるように、面密度に対して冪の依存性を持つことが分かった。また、計算開始直後を除けば原始惑星の移動はほぼ定常状態であるため、定常的に移動している状況における移動速度を表す式を以下の順で求めた。

1. 惑星と微惑星が重力相互作用によって角運動量を交換する主な領域を重力圏とし、その a-e 平面上における境界を Tisserand constant を用いて $J_{\mathrm{GS}} = \frac{a_{\mathrm{N}}}{2(a_{\mathrm{N}}+4.0r_{\mathrm{H}})} + \sqrt{\frac{a_{\mathrm{N}}+4.0r_{\mathrm{H}}}{a_{\mathrm{N}}}(1-e^2)}$ のように定義する。ここで、a_{N} は惑星の軌道長半径、r_{H} は原始惑星のヒル半径である。

2. 惑星が微惑星と単位時間あたりに交換する角運動量を、重力圏を通過する微惑星の質量流束と平均の Δh の積として以下のように表す。

$$\dot{L}_{\mathrm{N}} = 2\pi a_{\mathrm{N}}\dot{a}_{\mathrm{N}}\Sigma_0\left(\frac{a_{\mathrm{N}}}{a_0}\right)^{-p}\Delta h$$

   Δh は重力圏における微惑星の単位質量あたりの角運動量の変化で、原始惑星の移動速度に対して図 2 で表される依存性を持つ。

3. $\Delta h = \alpha\dot{a}_{\mathrm{N}}^{-\gamma}$ と表記し、数値計算結果から係数を求める。

4. 角運動量流束を $\dot{L}_{\mathrm{N}} = \frac{\dot{a}_{\mathrm{N}}L_{\mathrm{N}}}{2a_{\mathrm{N}}}$ に代入して原始惑星の移動速度について解き、以下の表式を得る。

$$\dot{a}_{\mathrm{N}} = \left(\frac{L_{\mathrm{N}}}{4\pi a_{\mathrm{N}}^2\Sigma_0\left(\frac{a_{\mathrm{N}}}{a_0}\right)^{-p}\alpha}\right)^{-\frac{1}{\gamma}}$$

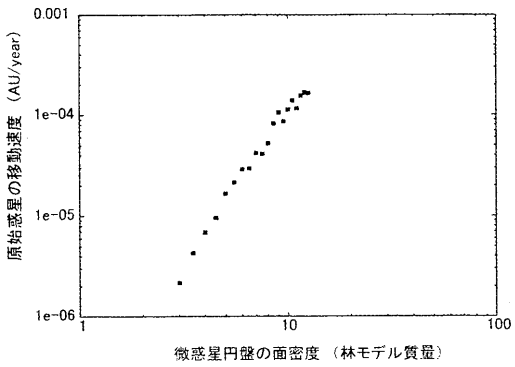


図 1: 原始惑星の移動速度

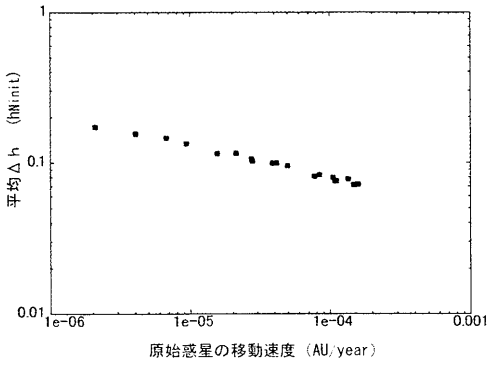


図 2: 移動速度に対する Δh

307

惑星散乱と潮汐力による高離心率の短周期惑星の形成

○長沢 真樹子[1]，井田 茂[1]

[1]東京工業大学

太陽系外で見つかっている系外惑星は300個程ある．その周期と離心率の分布を示したのが，右の図1である．大雑把に，周期が20日よりも短い惑星と周期が100日を越える惑星の一群とのふたつの分布に分かれていることが見て取れる．周期が20日から100日の間の惑星はあまり数が多くない．このうち周期が20日程度以下の惑星を，ここでは短周期の惑星として考える．

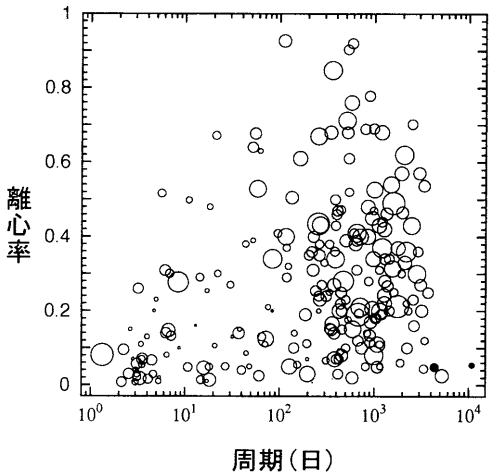


図1： 離心率のわかっている系外惑星の周期と離心率の分布．円の大きさは，惑星の半径，もしくは最低質量の1/3乗に比例．黒塗りの円は太陽系の惑星．

外側の惑星の離心率分布は，惑星散乱があったと考えるとうまく説明がつく．短周期の惑星は，近日点が中心星に近いために，潮汐力を受けて離心率が外側の惑星と比べ抑えられている．これらの短周期の惑星も，元は外側の方で形成されて，Type-II移動や，散乱によって移動したものだと考えられている．特に，離心率の比較的大きな惑星は，惑星散乱を経験したのちに，潮汐進化したものではないかと考えて，その形成の確率や経路を計算した．

内側に飛んだ惑星のその後の軌道進化を10^8年調べたところ，近日点が潮汐力を受けるほどに中心星に近づいて短周期化される現象は，全体の1/3程度の計算で生じていた．短周期化される惑星は，ほとんどの場合，ほぼ完全に円軌道化されていたが，10%ほどで離心率が0.1以上残されいた．これらは，潮汐進化の時間スケールが長いところに飛ばされた惑星である．中心星の質量や惑星の半径を変えた様々な系で潮汐進化の計算を繰り返したところ，離心率を残す惑星は，およそ近日点距離0.02AUから0.1AUの間に分布することがわかった．この過程では，近日点距離が0.1AU以上で軌道長半径が0.4AU以内の領域には，惑星は分布しない．これは観測の結果と似た傾向となっており，惑星散乱とその後の潮汐進化が，短周期の系外惑星の起源に大きく関与していることが確かめられたことになる．また，このような経路で形成された短周期惑星は，軌道傾斜角が等方的に分布する特徴を持っており，ある程度Type-II移動で形成された惑星と区別することが可能であろう．

この研究は，文部科学省の科研費(18740281)の助成を得て行われた．

308

ガスの効果を入れた地球型惑星集積の高精度N体計算

○森島龍司[1]、Max W. Schmidt[1]、Joachim Stadel[2]、Ben Moore[2]
[1]スイス工科大学、[2]チューリッヒ大学

地球型惑星の形成に関する制約条件として以下のようなものが挙げられる。(1)地球と金星の軌道離心率と傾斜角は小さい。(2)木星より内側の質量のほとんどが、空間的にも距離が近い金星と地球に含まれる。(3)W-Hf、U-Pb年代学が月形成の巨大衝突が太陽系誕生から約1億年後という遅いタイミングで起こったこと示す。

これらの制約条件がどのような物理条件下で満たされるかを明らかにするために、本研究では、高精度N体計算を広いパラメータ範囲で行なった。2000体の等質量微惑星を0.5-4.0 AUの範囲に分布させ、暴走成長のステージの計算を行い、t年経った所で木星と土星を導入し、集積が完了するまで計算を行う。ガスの効果として、(a)ガス抵抗、(b)惑星とガスディスクの潮汐相互作用(Type I migrationを含む)、(c)ディスク全体のポテンシャル、を考慮に入れる。(c)を導入することにより、ガスの散逸と共にガス惑星との永年共鳴の内側への移動が起こる。パラメータとして、ガスの散逸のタイムスケール(t = 1, 2 and 3 Myr)、微惑星ディスクの初期総質量(5および10地球質量)、ガス惑星の軌道(現在の軌道とNice model の軌道: Nice modelのガス惑星は軌道間隔が狭く、軌道離心率は0)を変化させた。

計算の結果、ガス惑星の軌道が最も重要なパラメータであることが分かった。現在の軌道の場合、永年共鳴により軌道離心率が大きく増加した微惑星がガス抵抗により短い時間で内側に移動する。ガスの散逸に伴い永年共鳴が3.0から0.6AUに移動することにより、大部分の質量が1AU付近に集まり、巨大衝突のタイミングは1000-2000万年と短い。一方、Nice model の場合の様にガス惑星の軌道離心率が小さいと、共鳴の影響は小さく小惑星帯にかなりの質量が長時間残されたままとなる。その結果、巨大衝突のタイミングは1億年程度となるが、2AU付近に地球サイズの惑星ができてしまう問題があることが分かった。多くの場合で惑星の軌道離心率は現在の値に比べやや大きくなってしまうが、その理由の一つとして、数値計算での微惑星が十分小さくないことが考えられる。

309

氷・シリカ微粒子混合物の圧密実験と氷小天体の密度進化への応用

○保井みなみ[1]、荒川政彦[1]
[1]名古屋大学大学院環境学研究科

はじめに：近年の探査によって、氷小天体(氷衛星、彗星等)の密度は多様であることが分かってきている。例えば Dione(1470kg/m^3)と Tethys(960kg/m^3)は同程度の直径(約 500km)を持つにも関わらず、密度は Dione の方が 2 倍近く大きい。また氷小天体の中には密度が H_2O 氷の密度より低いものも存在し、一般に氷小天体が氷・岩石混合物であることを考慮するとそれらは高空隙率天体であることが予想される。この様な氷小天体に残存している空隙率を見積もるには岩石の含有率が非常に重要となる。すなわち同サイズの氷小天体で密度が異なる原因は、空隙率と岩石含有率の両者が考えられるからである。つまり、同程度の天体内部圧力でも岩石含有率の違いで残存できる空隙率が異なれば、天体間の密度の違いを説明できることになる。これまで氷小天体の密度進化を考えるために、H_2O 氷や岩石といった単物質による圧密実験はされているが、氷・岩石混合物の圧密実験は少ない。そこで本研究では、このような氷小天体の密度多様性の原因を探るため、氷・岩石混合物の圧密実験を行った。

実験方法：圧密実験の出発試料は直径 700μm 以下の氷粒子と直径 1μm のシリカビーズを均等に混ぜて準備した。比較のため、純氷粒子試料も用意した。シリカ体積含有率は 0.004、0.15、0.22、0.29 の 4 種類とした。実験にはピストン・シリンダー型の封圧装置を用いた。北大・低温研に設置された変形圧縮試験機を用いて、出発試料を入れたシリンダーを約 10kPa 以下まで減圧して空気を取り除きながら等速度(2mm/min.)で圧縮した。温度は-10℃、最大圧縮圧力は約 30MPa とした。実験後に取り出した試料は完全な円筒形固体試料となるため、空隙率測定は取り出した試料の質量、直径、長さから計算した値を用いた。また作成後の試料を顕微鏡で観察し、各シリカ含有率における内部構造の違いを調べた。

結果：図1は各シリカ含有率試料の圧縮曲線を示している。このグラフから、30MPa までの空隙率がシリカ含有率の増加と共に大きくなることが分かった。また、圧縮曲線の形もシリカ含有率によって異なる。単物質試料の圧密に関する先行研究より、低圧域と高圧域で圧密メカニズムが異なることが分かっている。先行研究を考慮すると、本研究で得られた圧縮曲線が圧密メカニズムの違いで3つの領域に分けられる。

①低圧(P<1MPa)：氷とシリカ粒子の再配列によるもので、シリカ含有率による違いはない。

②高圧(P>3MPa)：氷粒子の破壊・塑性変形・再結晶によるもので、シリカ含有率依存性がある。

遷移領域は①と②のメカニズムが両方働く領域と思われる。また、①と②の領域をベキ乗則でフィッティングしたところ、①の領域のベキは約-6 とほぼ一定になり、②の領域のベキ b とシリカ体積含有率 f は b=-0.9-7.9f という式で表されることが分かった。

両領域で求めたベキ乗則を用いると天体内部の空隙率分布を求めることができる。500km サイズの天体で空隙率分布を求め、これから天体の平均密度を調べると、岩石の体積含有率が 0 から 0.29 になると密度が約 800kg/m^3 から 1200kg/m^3 になった。この含有率と平均密度の関係から、Dione、Tethys の岩石体積含有率がそれぞれ 0.49、0.11 と見積もられた。

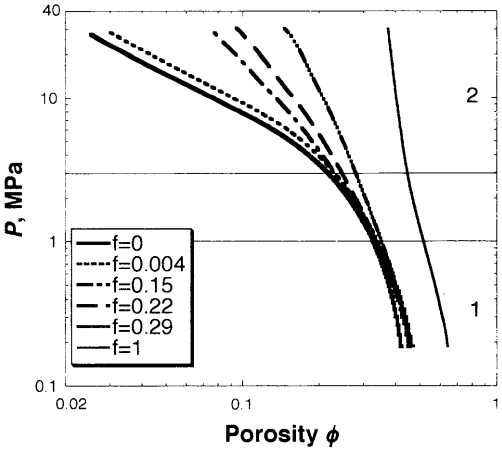


図1　氷・シリカ微粒子混合物の圧縮曲線

310

海王星トロヤ群の起源と軌道進化

Origin and Dynamical Evolution of Neptune Trojans

Patryk Sofia Lykawka[1], Jonathan Horner[2], Tadashi Mukai[1], and Barrie Jones[2]

[1] Kobe University, Graduate School of Science, Dept. of Earth and Planetary Sciences, Japan – patryk@dragon.kobe-u.ac.jp

[2] The Open University, Dept. of Physics and Astronomy, United Kingdom

Trojan objects are of great interest because they can be dynamically stable over billions of years, implying that they carry precious information about the early solar system. A total of six Neptune Trojans have been found to date. The origin and dynamical evolution of Trojans can be used to constrain the orbital architecture in the Kuiper belt, Trojan formation mechanisms and migration of the giant planets. In addition, we aim to answer the following questions: Did the Neptunian Trojans form locally or were captured during migration, or both? How do we explain the high inclination Trojans?

We performed numerical simulations of several thousand massless objects under the gravitational influence of the four giant planets. Firstly, we looked at the dynamics of Trojans with migrating giant planets using four main variants. In total, several 10^4 objects were placed in a cold disk stretching from 1AU beyond the initial position of Neptune to 30AU, and a cloud of several thousand objects at the L4/L5 points. The orbits were integrated for several Myr, after which the giant planets acquired their current orbits. From final Trojan populations obtained, we cloned hundreds of seeds obtaining 5.8×10^5 clones. These clones were integrated over billions of years to investigate their long-term behaviour.

A significant population of Trojans survived in each of the migration scenarios, including objects in horseshoe, L4 and L5 orbits. The distributions of these objects in element space *a-e-i*, and other resonant properties, were obtained. While Trojans captured from the cold disk yielded a wide range of orbital elements e=0–0.3 and i=0–50°, those from the pre-Trojan populations survived in general with e=0–0.1 and i=0–5° (except one variant, which showed e=0–0.35 and i=0–40°). However, most of these objects were unstable in long time scales.

Our results support the scenario in which Neptunian Trojans were captured from the primordial planetesimal disk during a slow and extended migration of the giant planet. However, a pre-formed Trojan population could also contribute to the observed population, provided particular conditions operated (e.g., Partial disruption induced by dynamical instabilities). We intend to provide detailed statistics about the properties and orbital evolution of Trojans, and make observational predictions.

This research was supported by "The 21st Century COE Program of Origin and Evolution of Planetary Systems" of Monbukagakusho. P. S. Lykawka is also grateful to a fellowship from the Japan Society for the Promotion of Science (JSPS).

311

再現実験と天然コンドリュールの観察から得られたコンドリュール中の空隙の成因

○岡　真由美、上椙　真之、土`山　明
大阪大学大学院、理学研究科、宇宙地球科学専攻

近年、X線CT法によって、コンドリュールの三次元内部構造が調べられ、コンドリュール中には空隙が普遍的に存在することが明らかになった[1]。この空隙がコンドリュールの形成時にできたものであるとすると、空隙の形成条件を調べることで、コンドリュールの前駆物質や、詳しい加熱条件（加熱時間、冷却速度など）を知ることができる可能性がある。

天然のコンドリュールは、空隙率と、空隙の連結度、数密度で特徴付けられる、様々な空隙の状態を示すが、空隙率については、どのコンドリュールも、約 3 vol.%以下と、低空隙率である。我々は、これまでに、天然コンドリュールに見られるこのような空隙の状態を再現し、空隙の形成条件を調べるため、様々な条件下において、鉱物粒子のダストボールの加熱を行ってきた[2]。これらの実験においては、ダストボールをliquidus付近の温度で長時間加熱した場合と、liquidus以上の温度で加熱した場合にのみ、低空隙率を再現できたが、連結度、数密度については、特定のものしか再現できず、また、porphyritic chondruleの加熱領域においては、低空隙率すら再現できなかった。このことは、コンドリュールの前駆物質を鉱物粒子のダストボールであると仮定したことに、問題があることを示唆しているのかもしれない。

そこで今回は、prphyritic chondruleの加熱領域においても低空隙率を再現するため、前駆物質をかえて、新たな実験を行った。具体的には、鉱物粒子のダストボールをliquidus付近の温度で長時間加熱した後、冷却させ、低空隙率にしたものを前駆物質とし、porphyritic chondruleの加熱領域で再加熱した。組成は、[2]と同様に、FeOに富んだバルク組成（liquidus:～1200°C）を採用し、olivine、pyroxene、plagioclaseの鉱物粒子（63μm以下）を用いてダストボールを作成した。それを、10^{-3} atmで加熱し（最高温度1160℃、加熱時間40分）、一度冷却させた後、再度加熱した（最高温度：1140℃、加熱時間：30秒－20分）。これらの実験生成物をCT撮影し、得られた画像を解析することで、実験生成物の空隙率を求めた。その結果、ダストボールをそのまま加熱した場合と比べて、実験生成物の空隙率が、約40 vol.%から約15 vol.%まで減少した。従って、低空隙率を再現するには、鉱物粒子のダストボールよりも今回の実験のような前駆物質の方が適しており、この結果は、現在みられるコンドリュールが複数回の加熱を経験したこと[3]を示唆している。しかしながら、今回の実験においても、天然のコンドリュールに見られるような約3 vol.%以下という低空隙率が再現できたわけではなく、更なる実験と検討が必要である。

Reference
[1] Tsuchiyama A. et al. 2003. Abstract #1271. 34thLPSC.
[2] Oka M. et al. 2008. Meteoritics & Planetary Science, 43, A121.
[3] Johns R.H. 1996. Chondrules and the Protoplanetary Disk, 163-172

312

コンドリュール形成時の金属鉄一珪酸塩メルトの分離過程

○上椙　真之[1]、佐伯　和人[1]、岡　真由美[1]、土`山　明[1]
[1]大阪大学　理学研究科宇宙地球科学専攻

隕石中のコンドリュールは太陽系の形成初期における物質進化、星雲中の加熱現象、惑星形成に対する重要な情報を持っていると考えられる[1]。 このコンドリュールには、太陽系の平均的な化学組成と比較して、コンドリュールの化学組成から親鉄性元素が大きく欠乏しているという大きな問題がある。Uesugi et al. (2008) では包有物が溶融したコンドリュールの表面にある状態の力学的安定性について調べた[2]。この結果、コンドリュール内部に鉄粒子が存在した場合、表面を通過する際の粘性散逸によるエネルギーのロスが十分に小さければ、鉄粒子はコンドリュールの内部から、表面を通過して外部に放出されることが判った。これは鉄粒子がコンドリュール内部に存在する場合のエネルギーが鉄粒子が外部に存在する場合に比べて高いことが原因である。

本研究ではこの数値計算の結果を検証するため、模擬物質の加熱実験を行った。模擬物質は試薬をもちいて作成した太陽組成の20mgのペレットで、鉄は200μmのFeOのパウダーを用いた。この試料をカーボンのカプセル容器に入れて白金線で固定し、10^{-3}atm、融点の1600℃で30秒〜5分加熱した。加熱した試料はCT装置で観察し、鉄の放出の程度を定量的に調べた。

この結果、初期模擬物質中の20-60%のFeが、加熱後溶融した試料の外部へ放出されていることがわかった。放出された鉄は金属鉄からなる粒子であり、還元反応によってFeOから形成されたと考えられる。また、これらの試料をより長い時間加熱すると、放出、あるいは表面に形成された金属鉄粒子は蒸発したが、内部のFeOは一部そのまま残っていた。

この結果は、コンドリュールの化学組成が、その加熱、形成時に特徴付けられた可能性があることを示している。

Reference:

[1]Jones et al., 2000 in Protostars and Plantes IV pp.927, []Uesugi et al. (2008) MAPS 43, 717-730.

313

エンスタタイトの液体ー結晶間の界面エネルギーの導出：エンスタタイトコンドリュールの結晶化過程

○ 田中今日子、 山本哲生（北大低温研）、長嶋剣（大阪大）、塚本勝男（東北大）
Kyoko K. Tanaka, and Tetsuo Yamamoto (ILTS, Hokkaido Univ.), Ken Nagashima (Osaka Univ.), and Katsuo Tsukamoto (Tohoku Univ.)

We derived the interfacial energy of enstatite ($MgSiO_3$) by comparing the crystallization model with the number of nuclei measured in the experiment. Using the obtained value ($430\pm50 ergcm^{-2}$), we calculated temperature evolutions for a variety of cooling rates of the enstatite liquid droplet. We found that the critical cooling rate for glass formation for enstatite melt is considerably low, i.e., $\sim 10^{-7}$K/s.

隕石の主要構成物であるコンドリュール（mmサイズの球粒子）の成因と熱史は、いまだ未解決の重要な問題である。近年、浮遊した珪酸塩メルトの結晶化実験が精力的に行われ、その結果、液滴からの非接触な状態のもとでのは、核生成が阻害されるため、結晶化が非常に起こりにくいことが明らかになってきた (Tsukamoto et al. 1999, Nagashima et al. 2006,2008)。Nagashima et al. (2006) は、シリケイトの主要鉱物であるフォルステライト (Mg_2SiO_4) が、(1-1000)K/s の冷却速度において、融点からおよそ 1000K も低い温度で結晶化することを明らかにした。さらに、エンスタタイト ($MgSiO_3$) にいたっては、実験条件下ではまったく結晶化が起こらずに、ガラス化してしまうことが見出された。隕石中ではエンスタタイトコンドリュールも見つかっているが、どのように結晶化するのだろうか？　本研究ではこの問題を明らかにすることを目指し、液滴からの結晶化を支配する液体-結晶間の界面エネルギーを導出し、エンスタタイトが結晶化するための臨界冷却速度を求めた。

浮遊法で得られたガラス中には、冷却中に核生成したが成長できなかったナノサイズの微結晶が多数あると考えられ、その微結晶の数は界面エネルギーに依存する (Tanaka et al. 2008)。本研究では微結晶の数を、結晶化理論から得られる値と比較することにより、エンスタタイトの界面エネルギーを導出した。まず、浮遊法により得られたエンスタタイトガラスを再加熱し、微結晶が測定可能な大きさまで成長してから、微結晶の数を測定し、核生成理論と比較することにより、エンスタタイトの界面エネルギー（$430\pm50 ergcm^{-2}$）を求めた。また、得られた界面エネルギーを用いて、完全溶融したエンスタタイト液滴のさまざまな冷却速度の場合の結晶化過程を計算した。この結果、エンスタタイト液滴が均質核形成により結晶化するには冷却時間が100 年以上（つまり冷却速度が $< 10^7$ K/s）も必要となることが分かった。実際にはコンドリュール前駆物質は冷却時間以内で、微小ダストと頻繁に衝突する。従って、エンスタタイトコンドリュールは微小ダストと衝突することにより、不均質核生成により結晶化した可能性が高いと考えられる。

References

Nagashima, K., K. Tsumamoto, H. Sato, H. Kobatake, and P. Dold, 2006 J. Crystal Growth, 293, 193.

Nagashima, K., Y. Moriuchi, K. Tsumamoto, K. K. Tanaka, and H. Kobatake, 2008, J. of Mineral. Petrological Sciences, 103, 204

Tanaka, K. K., T. Yamamoto, K. Nagashima, and K. Tsukamoto, J. Crystal Growth, 2008, 310, 1281

Tsukamoto, K., H. Satoh, Y. Takamura, and K. Kuribayashi, 1999, Antarctic meteorites, 24, 179.

314

リム付きコンドリュールの衝突付着と跳ね返りに関する実験的研究

○内山陽一朗[1]，荒川政彦[1]

[1]名古屋大学大学院環境学研究科

研究の背景および目的

地球に飛来する隕石のうち、約 90%は小惑星を起源とするコンドライト隕石である。コンドライト隕石は、太陽系形成当時の情報を保存した始原的物質であると考えられており、コンドリュールと呼ばれる直径がサブミリメートル程度のケイ酸塩の粒子と、ミクロンサイズの微粒子マトリックスから構成されている。普通コンドライト隕石は、体積含有率で 65－75%もコンドリュールを含む。このコンドリュールは、周囲に微粒子からなるリムを有することが多い。この事実から、原始惑星系円盤内に存在したコンドリュールの周囲にダストが付着し、リム付きコンドリュールが形成され、そのリム付きコンドリュール同士の衝突付着により、コンドライト隕石母天体が形成されたと考えられている。Ormel *et al.*(2008)は、理論的にリム付きコンドリュール同士が衝突速度 1m/s 以下なら付着することを示しているが、実験的な研究は皆無である。

そこで本研究では、リム付きコンドリュール同士が衝突付着してその複合体を形成できるかどうかを明らかにするために衝突実験を行い、付着する限界速度を調べた。さらに、衝突エネルギーの散逸をあらわす重要なパラメータである反発係数の衝突速度依存性を調べた。

実験方法

リム付きコンドリュール同士の衝突は、表面をシリカ層で覆った玄武岩にガラス球を衝突させることで模擬した。コンドリュールを模したガラス球のサイズは直径 10mm、リムを構成する微粒子を模したシリカ粉末のサイズは直径 0.25μm である。玄武岩上のシリカ層は層厚を 2,5,10mm と変化させた。この玄武岩にガラス球を衝突（10cm/s－20m/s）させ、ガラス球の衝突速度と反発速度を測定し、その比から反発係数を求めた。ガラス球の加速方法としては、衝突速度 10cm/s－2.5m/s を自由落下、3－20m/s をバネ銃による加速とした。速度の計測は、自由落下領域においてはレーザー変位計と AE センサー、バネ銃領域では高速度ビデオカメラの撮影（600,2000 フレーム/s）により行った。なお、今回はシリカ層の空隙率を約 90%に固定して実験を行った。

実験結果

（1）付着限界速度（v_c）：

この速度より衝突速度が遅い場合、ガラス球は跳ね返ることなく付着しているように見える。シリカ層の空隙率が約 90%の場合、v_c は以下のようにシリカ層の厚さごとに異なることがわかった。

層厚 mm	付着限界速度(v_c) m/s
2	0.33－0.49
5	0.41－0.53
10	0.69－0.73

（2）反発係数の衝突速度依存性：

v_c 以上の衝突速度においては、反発係数は速度の増加に伴って大きくなり、ある速度で層厚ごとに決まる上限値に達する（$v_{e\text{-max}}$）。この $v_{e\text{-max}}$ 以上の衝突速度では、層厚 5mm と 10mm において速度の増加に伴って反発係数が減少する。一方、層厚 2mm ではこの反発係数の減少は見られなかった。図 1 には層厚 5mm の結果を示す。$v_{e\text{-max}}$ 以上の衝突速度で反発係数が速度の増加とともに減少する理由としては、クレーター形成に必要なエネルギーと衝突エネルギーの比が、速度依存性を有するためであると考えられる。

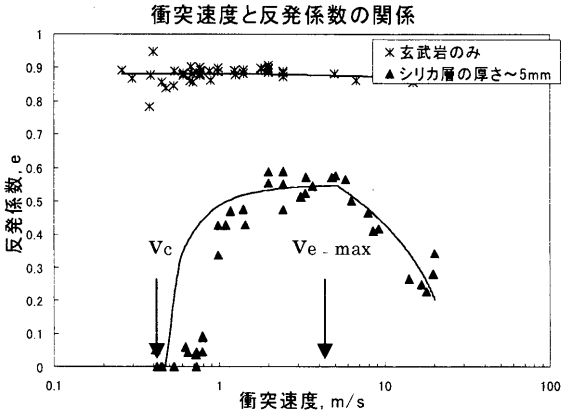


図 1　層厚 5mm における反発係数の衝突速度依存性

【参考文献】

Ormel *et al.*,2008, The Astrophysical Journal, 679, 1588-1610

315

複合コンドリュール形成のための衝突条件Ⅱ：形状保持条件

○保田　誠司[1,2]，　中本　泰史[2]

[1]筑波大学・数理物質科学研究科　[2]東京工業大学・理工学研究科

コンドリュールはコンドライト隕石に含まれる、大きさ約 1mm の球状ケイ酸塩物質であり、原始太陽系星雲中のダストが加熱溶融し再固化することで形成されたと考えられている。一方、コンドリュールの中には二つ以上の独立なコンドリュールが付着している複合コンドリュールが全体の数%存在する。これらの多くは、溶融現象を経験中に独立なコンドリュールが衝突することで形成されたと考えられているが、最小質量原始太陽系星雲モデルから見積られるダストの数密度は非常に小さく、衝突頻度は数%に遠く及ばないため、存在頻度を説明するための様々なモデルが提案されてきた(Wasson 1995, Sekiya and Nakamura 1996, Miura et al. 2007)。

ところが、これまでの研究では、衝突条件にはあまり目が向けられていなかった。高速の衝突や、かすめる衝突の場合、二つの液滴は付着しない。また、二つの液滴の粘性が低い場合には表面張力ですぐに変形してしまう。このように複合コンドリュール形成の衝突条件は「付着条件」と「形状保持条件」から成り、両者を満たした衝突が複合コンドリュールを形成する。そこで我々は、二つの液滴の衝突を三次元流体シミュレーションにより再現し、様々な衝突パラメータ（衝突速度、衝突角度、ダスト粘性、ダストサイズ）のもとで「付着条件」を調べ、この条件を運動エネルギー、表面エネルギー、粘性によるエネルギー散逸、回転エネルギーの大小により解析的に表現した（地球惑星連合大会 2008）。

我々は今回、「形状保持条件」について付着条件を満たす衝突パラメータのもとで調べた。衝突後、それぞれの液滴が自分の形を保つためには、変形を経験する前に固化（冷却）すればよい。冷却時間は複合コンドリュール形成モデルに依存するので、付着後の変形時間を調べることで形成モデルに対して、衝突時の液滴の粘性（温度）や衝突速度、衝突角度に制限をつける事ができる。数値計算によって変形時間を調べた結果、次のことがわかった。高速衝突の場合、変形は衝突の動圧に支配され、変形時間は二つの液滴の相対速度で液滴の直径を横切るのにかかる時間程度となる。低速衝突の場合、変形は表面張力により支配され、変形時間は液滴の粘性にのみ大きく依存する。例えば、液滴の粘性が 1poise（フォルステライトのリキダス温度付近）の時、変形時間は約 5×10^{-4} sec でこの値は粘性の大きさに比例して長くなる。また、両領域の境界は衝突の運動エネルギーと衝突時の粘性によるエネルギー散逸とのつり合いで表現できる。

以上で、複合コンドリュール形成の衝突条件が定量的にわかったことになる。この結果を用いて、複合コンドリュール形成モデルの検証ができる。

コンドリュールに見られる棒状凝固組織の再現：フェーズフィールド法に基づく数値実験

Reproduction of barred olivine texture in chondrules: Numerical simulation based on phase-field model

○三浦 均[1]，横山 悦郎[2]，塚本 勝男[1]，長嶋 剣[3]

Hitoshi Miura[1], Etsuro Yokoyama[2], Katsuo Tsukamoto[1], Ken Nagashima[3]

[1] 東北大 (Tohoku Univ.)，[2] 学習院大 (Gakushuin Univ.)，[3] 阪大 (Osaka Univ.),

We are proposing a new scenario for formation of barred olivine texture observed in chondrules based on a theory of a Mullins-Sekerka instability. To test our scenario, we carried out a numerical simulation of crystallization of a highly-supercooled silicate melt droplet by using a phase field model and succeeded to reproduce some bar-like structures.

コンドリュールとは，地球に落下する石質隕石に多く含まれる mm サイズ球状珪酸塩鉱物である．これは，46 億年前の初期太陽系において溶融した珪酸塩ダスト (メルト) が，浮遊・非接触状態で急冷し，過冷却状態から短時間のうちに結晶化したものだと考えられている．棒状の olivine 結晶 (barred olivine, 以下 BO) は，コンドリュールに見られる特徴的な凝固組織のひとつであるが，その形成過程はよく分かっていない．塚本ら [1] の浮遊実験によると，大きな過冷却度 (～数 100 K) のついた forsterite メルトから短時間 (～ 0.1 − 1 秒) で結晶化した結果，BO が得られた．BO の形成メカニズムとしては次の仮説が提唱されている：まず，メルト表面のみが結晶化し (rim 形成)，結晶化潜熱の開放 (リカレッセンス) によって rim からメルト内側に向かって温度勾配が生じ，rim の内側界面において Mullins-Sekerka (以下，MS) 不安定 [2] により棒状に結晶化が進行する (bar 形成)．横山らのフェーズフィールド法に基づいた数値シミュレーションにより，rim 形成については知見が得られつつある [3]．本研究では，フェーズフィールド法に基づいた数値シミュレーションにより，bar 形成の再現を目的とする．今回は簡単のため，メルト組成は単成分であるとし (濃度場は一定)，界面張力や結晶成長速度の異方性は考慮しない．

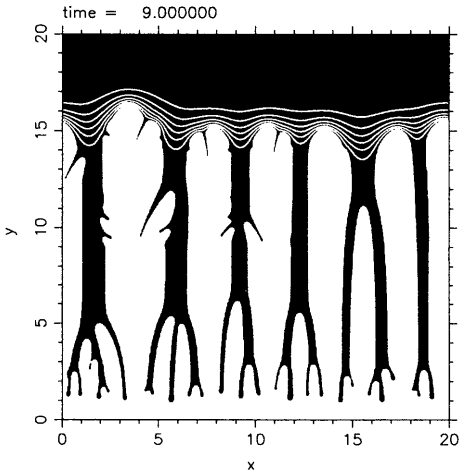


図 1: フェーズフィールド法に基づく過冷却珪酸塩メルトからの棒状凝固組織の再現．明るい領域が結晶，暗い領域が過冷却メルト．白線は等温線．

図 1 は，微小な凸凹を持つ rim 界面において MS 不安定が生じ，bar 状の凝固組織が再現される様子を示している．結晶化前の過冷却珪酸塩メルトの過冷却度は $\Delta T_\infty = 300$ K を想定した．結晶成長速度は界面における過冷却度に比例し，比例係数は kinetic 係数と呼ばれる．バーの幅や間隔は kinetic 係数 μ の値に依存し，μ が小さいほど太くて広く，μ が大きいほど細くて狭くなる．[1] で得られた BO のバーの幅は数 10 μm 程度であるが，それを再現するためには $\mu \sim 1$ cm s^{-1} K^{-1} 程度の値が適していることが分かった．これは，コンドリュール結晶化実験から評価される forsterite の μ の値 [4] と調和的である．これらの計算により，BO が MS 不安定によって形成されうることが理論的に説明できた．

[1] Tsukamoto et al. 2001. Lunar Planet. Sci. Conf. 32, 1846. [2] Mullins and Sekerka 1964. J. Appl. Phys. 35, 444-451. [3] Yokoyama et al., in prep. [4] Nagashima 2006. Doctor Theses.

317

HD142527 原始惑星系円盤表層における水氷ダストの検出

○ 本田充彦 (神奈川大学)、井上昭雄 (大阪産業大学)、岡明憲、中本泰史
(東京工業大学)、深川美里 (大阪大学)、石井未来、寺田宏、高遠徳尚
(ハワイ観測所)、河北秀世 (京都産業大学)、岡本美子 (茨城大学)、

原始惑星系円盤において、氷ダストは微惑星形成や巨大ガス惑星コアの形成に関して重要な役割を果たしていると考えられている。しかしながら、原始惑星系円盤における氷ダストの存在の観測例は限定的であり、ましてや円盤における空間分布の観測例はほとんど存在しない。

一方で近年、8mクラス望遠鏡により、原始惑星系円盤による近赤外線散乱光が空間分解されてきている。我々は、原始惑星系円盤表層に水氷ダストが存在すれば、その散乱光スペクトル中に、水氷ダストによる 3.1 μm 吸収フィーチャが表れることを、理論数値計算から示した (Inoue et al. 2008, PASJ, in press.)。このことは、原始惑星系円盤の散乱光を H2O 狭帯域フィルタおよび前後の波長において観測することで、円盤における水氷ダストの空間分布を観測的に探ることが可能であることを示している。

我々は、この観測手法を検証するため、Herbig Ae/Be 型星 HD142527 の原始惑星系円盤を H_2O 狭帯域フィルタで観測した。すでに観測・出版済みの H,K,L' バンドの観測画像 (Fukagawa et al. 2006) も用い、円盤の領域毎に散乱光の SED をプロットしたところ、理論予想通りに水氷による 3.1 μm 吸収が確認された。本講演では HD142527 原始惑星系円盤における H_2O 氷吸収量の空間分布を示し、今後のスノーラインの検出可能性について議論する。

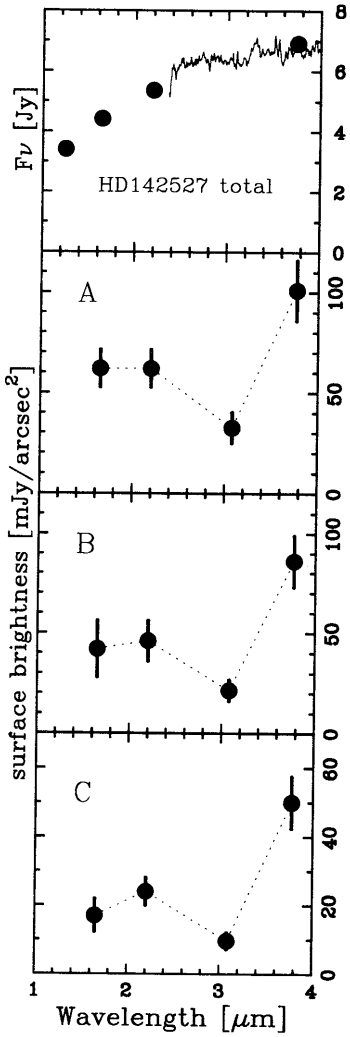


図 1: (上) HD142527 全体で光源の近赤外スペクトル。ここには 3 μm 吸収は見られない。(その他) 領域 A、B、C の散乱光の近赤外スペクトル。水氷ダスト (散乱体) に由来した 3 μm 吸収が存在していることが分かる。

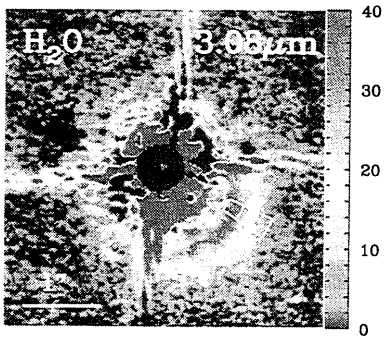


図 2: HD142527 星周構造の 3.1 μm コロナグラフ撮像画像

318

星周フォルステライトダストの形状変化に関する実験的研究

○瀧川 晶[1], 橘 省吾[1], 永原 裕子[1], 小澤 一仁[1]

[1]東京大学 大学院理学系研究科 地球惑星科学専攻

結晶質のケイ酸塩ダストは，太陽系のみならず，原始惑星系円盤や晩期型星周ダストシェルなどに広く存在する(Molster et al., 2002; van Boekel et al., 2005)ため，その形成過程や形成条件を理解することは，惑星形成の理解，宇宙における固体物質の進化を考える上でも重要である．フォルステライトのスペクトルはダスト温度や組成，サイズ，結晶度で変化するが，観測される赤外スペクトルのピーク位置には天体ごとにばらつきがあり，このばらつきの原因としてダスト形状の効果が指摘されている(Molster et al., 2002)．

我々はこれまでに，結晶質フォルステライトの異方的形状（結晶方位と関連した形状）と赤外スペクトルフィーチャー（ピーク波長，相対強度）の関係を系統的に調べ，10μm帯の観測スペクトルから，フォルステライトの異方的形状を推定できることを示した．また，星周環境で異方的形状を変化させるプロセスとして，フォルステライトの蒸発実験を行い，蒸発速度の異方性が温度・水素圧に依存して大きく変化することを明らかにし，星周フォルステライトの異方的形状が，温度や水素圧に依存して変化することを示した．

星周ダストの異方的形状を変化させうる主要プロセスは，異方的蒸発の他に，アモルファスシリケイトの結晶化，気相からの異方的凝縮過程が考えられ，星周ダスト形状を理解するためには蒸発だけでなく凝縮の異方性も明らかにする必要がある．フォルステライトの凝縮に関する過去の研究においては，金属基盤上での結晶形成実験(Tsuchiyama 1998)やガス中での微粒子形成実験(e.g., Nuth & Donn, 1983)などが行われてきたが，これまで凝縮速度の異方性を定量的に明らかにできるような実験は行われていない．そこで我々は，凝縮速度の異方性を明らかにすることを目的として，新たに凝縮実験を開始した．従来の金属ではなく，三結晶軸(a, b, c軸)に垂直な面をもつ三枚のチップ状単結晶フォルステライトを基盤として用いることで，結晶面ごとの凝縮物量の違いから結晶面の成長速度の違いを明らかにする．本講演では，凝縮実験の初期的な結果について報告する．

319

赤外吸収におけるフォルステライト微粒子の形状効果

Shape effects on infrared spectra of forsterite particles

○今井 悠太[1], 小池 千代枝[1], 茅原 弘毅[1], 村田 敬介[1], 土`山 明[1], 野口 高明[2]

[1]大阪大学大学院理学研究科宇宙地球科学専攻

[2]茨城大学理学部理学科

赤外分光天文観測と室内分光実験の比較によりダストの性質が推定され、晩期星や若い星の星周領域においてフォルステライト(Fo)をはじめとする結晶質シリケイトの存在が確認された。赤外線吸収スペクトルは、これらの鉱物の化学組成、温度などにより変化する。また、微粒子の赤外吸収は、粒子の形状や凝集状態などの影響を受けることが知られている。ダストの形成・進化過程における物理·化学条件を詳細に推定するためには、化学組成や温度だけでなく、形状や凝集の依存性に着目した分光実験による測定データが必要である。これまでに赤外吸収における化学組成や温度の依存性については室内実験により調べられている。しかし、形状や凝集による効果については理論的な研究は盛んに行われているが、実験的にはあまり詳しく解明されていない。

そこで、本研究では形状の異なる Fo 微粒子を用いて、赤外吸収における形状・凝集の影響について実験的に調べた。まず、バルクの Fo を粉砕することにより不規則形状の微粒子を得た。また RF プラズマを用いることにより球形の Fo 微粒子を作成した(今井ら, 2008)。これらの試料の形状を電界放出型走査電子顕微鏡及び透過型電子顕微鏡を用いて評価し、これらの赤外吸収スペクトルを測定した。さらに、赤外分光測定に使用した測定用ペレット中に試料が実際にどのように包含され、どのような形状・凝集状態であるかについて観察、評価した。これらの結果と光学定数を用いたモデル計算の結果とを比較することで、微粒子の赤外吸収における形状・凝集の効果について考察した。

その結果、測定された球形の粒子における赤外吸収スペクトルと、計算により得られた球粒子のスペクトルを比較すると、単一粒子の形状はどちらも球形であるにもかかわらず、両者のスペクトルは一致しなかった。しかし、不規則形状の粒子の測定結果よりは、球形粒子を測定したスペクトルの方が、ピーク位置やピーク形状が球粒子の計算スペクトルに近づく傾向が見られた。これらの結果は、測定用ペレット中では粒子が数個から数十個のアグリゲイトを形成していることを考えると、単一粒子だけでなく凝集体としての性質がスペクトルに現れているためと考えられる。

320

原始惑星系円盤におけるスノーラインの進化：氷ダスト粒子による光吸収の影響

○岡　明憲[1]、中本　泰史[1]、生駒　大洋[1]、井田　茂[1]

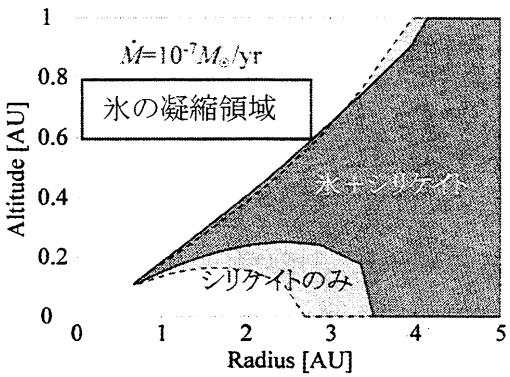
[1]東京工業大学

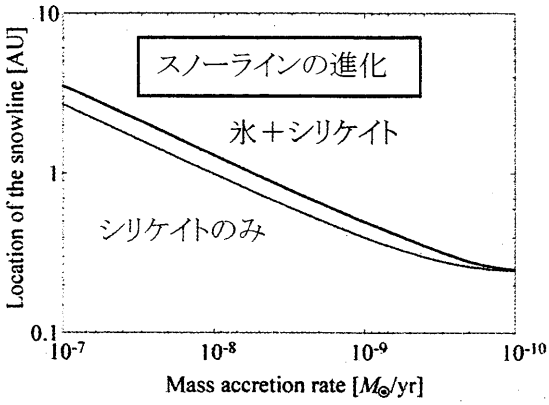
本研究では、原始惑星系円盤におけるスノーラインの進化について調べた。スノーラインとは、円盤における氷の存在領域の内側境界として定義されるものである。原始惑星系円盤では、固体成分の大部分を氷が占めるため、惑星形成の材料物質を考える上でスノーラインは非常に重要である。これまでいくつかの先行研究においてスノーラインの位置の計算はなされてきた（Davis 2005、Garaud & Lin 2007 など）が、温度構造に影響を与える可能性のある氷粒子による光吸収は考慮されてこなかった。そこで本研究では、光学的に厚い段階の円盤において、(1)スノーラインの位置やその進化に対する氷粒子による光吸収の影響を数値計算によって調べた。さらに、同様に(2)ダストによる光散乱の影響についても調べた。

円盤の加熱源として、中心星からの輻射と円盤ガスの粘性散逸による加熱を考慮した。ダストは 0.1μm サイズのシリケイト粒子と氷粒子の 2 種類を考慮し、沈澱・成長はしないものとした。また、ガスとダストは熱的にカップルしているものと仮定した。氷ダストの存在量は水の飽和蒸気圧曲線によって見積もった。吸収係数は Miyake & Nakagawa (1993)のものを使用。温度構造は波長・方向依存性を考慮した 1+1 次元平行平板輻射輸送コードを用いて求めた。ただし、散乱については等方散乱を仮定した。また、円盤進化のスケールは、時間の代わりに質量降着率を使って表した。

計算の結果、(i) $10^{-9}M_{sun}$/yr 以上の質量降着率においては、氷粒子による光吸収を考慮した場合には、シリケイト粒子による光吸収のみを考慮した場合よりも、スノーラインが約 1.3 倍遠くに位置することが分かった。その理由は、円盤上空で凝縮した氷粒子による毛布効果によって円盤内部からのエネルギーの輸送効率が低下し、中心面付近で発生した粘性加熱によって効果的に温度が上がるためである。また、(ii)ダストによる光散乱は円盤の温度構造に殆ど影響を与えないことも分かった。

これらの結果より、円盤の温度構造やスノーラインの位置を精度よく求めるためには、氷粒子による光吸収を考慮しつつ円盤の鉛直方向の構造を解く必要があるといえる。また、これまでの簡単な理論的予測では、スノーラインが地球軌道よりも内側に来ることが指摘され問題視されてきた（地球の水浸し問題）が、本研究の結果はその問題をやや緩和するものとなっている。





321

原始惑星系円盤における金属鉄の非平衡凝縮カイネティクス

○野村龍一[1], 永原裕子[1], 橘省吾[1]
[1]東京大学大学院理学系研究科地球惑星科学専攻

原始惑星系円盤の輻射場構造は、物質の組成やダストサイズ分布に依存する。円盤内では乱流や対流等により物質の移動が起こるため、蒸発、凝縮が起こり、輻射を担うダストの組成やサイズ分布に変化が生じる。よって原始惑星系円盤の温度構造を理解するためには物質の凝縮･蒸発メカニズムを知ることが重要である。特に金属鉄は太陽系存在度の組成をもつ高温ガスから最初に最も豊富に凝縮する物質の一つであり、また高い吸光度を持つことから円盤の温度構造に大きな影響を与えると予想される。

凝縮はカイネティックなプロセスであるため、実験によりそのカイネティックな障壁を決める必要がある。表面反応が律速となる場合、そのカイネティックスは凝縮係数α(ダスト表面に衝突したガスがダストに取り込まれる割合)で書き表せる(Hirth and Pound, 1963)。

これまで蒸発については様々な実験がなされてきた(e.g., Tsuchiyama and Fujimoto, 1995)が、技術的な難しさから定量的な凝縮実験をほとんど行われていない。現在、我々は様々な温度、過飽和比の環境下において金属鉄の凝縮実験を行い、異なる環境の凝縮係数αへの影響を調べており、異なる環境下で金属鉄の凝縮係数が異なった値をとることがわかってきた。

今回の講演では実験結果にもとづき、金属鉄の非平衡凝縮が円盤の温度構造に与える影響の評価をおこなう。

322

3次元ダストアグリゲイトの焼結分裂

°城野 信一[1]
[1]名古屋大学大学院環境学研究科

惑星形成理論において未解決である最大の問題の一つは微惑星形成問題である．これまで長く議論されてきた自己重力不安定によって微惑星を形成するためには，最小質量モデルに比べてダスト成分の面密度が10倍程度程度になる必要があると指摘されている (Sekiya 1998).

ガス抵抗によって太陽に向かって落下していくともに，ダストアグリゲイトの温度は上昇してゆく．Snow line よりも遠方に数多く存在している H_2O 氷が主成分であるアグリゲイトに着目すると，表面拡散によって焼結が進行する．表面拡散で焼結が進行すると，分裂が起こりうることが Nichols & Mullins (1965) による線形安定解析によって知られている． 分裂がおこるとサイズが小さくなるために太陽への落下速度が著しく低下する． したがって, 分裂が起こった領域に分裂片がたまってゆく. 結果としてダスト／ガスの面密度比が大きく上昇し, 重力不安定が発生して微惑星が形成されうる.

このシナリオで鍵となるのはアグリゲイトの分裂である．そこで三次元系における焼結分裂の数値シミュレーションコードを作成し，分裂するか否か検証を行った．アグリゲイトの形状としては，同一サイズの球を立方体の頂点および辺に配列したものを用い，辺に配置する球の数を変化させた．

辺に配置する球がゼロの場合は分裂は起こらなかったが，一つ配置すると分裂が起こることが数値シミュレーションにより明らかとなった．この結果から，かなり空隙率が低いアグリゲイトでも分裂が起こることが予想される．

323

焼結分裂領域に流入するダストアグリゲイトのサイズ分布

○杉野巧[1]、城野信一[1]
[1]名古屋大学大学院　環境学研究科

本研究では、1ミクロンのダスト微粒子からkmオーダーの微惑星が形成されるまでの微惑星形成過程について考える。従来この過程には2つの仮説が提案されている。重力不安定説では重力不安定に達する面密度の指標として、林モデルの10倍の面密度が必要であることが、Sekiya(1998)によって示されている。一方、付着成長説にはダストがガスの抵抗を受けて中心星へと急速に落下するという問題がある。

本研究では表面拡散によるダストの焼結とそれに伴う分裂に着目する。このような分裂は星間ダストのように粒子の空隙率が高いものほど起こりやすいと考えられている。この焼結分裂を基にして、次のような焼結分裂による微惑星形成モデルを提案する。

①ダストアグリゲイトが成長すると、太陽に向かって急速に落下する。

②太陽に近づくほど円盤内の温度が高くなり、ダストアグリゲイト自身の温度も上昇するので焼結が進行し、結果、円盤内の特定温度領域でアグリゲイトは小さな粒子へと分裂する。

③ダストの落下速度はサイズの小さなものほど遅くなるので、この付近でダストが滞留する。この滞留が局所的に面密度の上昇を引き起こす。

④重力的に不安定になったときに微惑星が作られる。

このモデルでまず考慮すべき点は③の、分裂による滞留が本当に面密度の上昇につながるのか、という点である。これは焼結分裂をおこす位置がダストのサイズに依存するという問題があるためである。したがって「どんなサイズのダストがどれだけ落下してくるか」ということを知る必要がある。そこで本研究では、ダストの落下とダストの合体成長を同時に計算する数値計算コードを開発し、ダスト面密度の時間進化を調べた。その結果、0.3AUほどの幅で初期ダスト面密度の数倍程度のダスト面密度上昇が見られた。

324

氷ダストアグリゲイトの昇華による微惑星形成

○齋藤悦子[1]
名古屋大学大学院 環境学研究科[1]

1 研究背景と目的

惑星形成過程において、微惑星形成過程が明らかでない。微惑星とは、~km サイズの天体であり、~μ m サイズのダストから形成されたと考えられている。過去の研究でダストから微惑星を形成するモデルが提唱されたが、どのモデルそれもぞれ問題を抱えていた。

Sekiya(1998) に依れば、ダストの面密度が初期値の数十倍になれば、中心面のダストの密度が、重力不安定を起こし得る密度に達することがわかった。一方、太陽系のガス-ダスト比は決定しているのでこれを覆すことはできない。しかし、局所的に面密度を上昇させることはできる。面密度を適切な時間スケールで局所的に上昇させ重力不安定により微惑星が形成されるメカニズムを提案する。

2 面密度上昇のメカニズム

ダストの面密度を上昇させるメカニズムとは、ダストアグリゲイトの昇華を考えることである。ダストグレインは、氷マントルとシリケイトコアからなる。小さなダストグレインが合体成長し、ダストアグリゲイトを作る。ダストアグリゲイトが中心星へ向かって落下していくと、ダストアグリゲイトの温度が上昇し、昇華する。このとき、シリケイトはダストグレイン、H_2O 氷はガスとなる。小さなダストグレインは落下速度が非常に小さいので、その場に留まる。このシリケイトダストグレインにより、局所的に面密度が上昇する。

3 結果と考察

ダストアグリゲイトの氷成分の昇華によってまき散らされたシリケイトダストにより局所的にダストの面密度が上昇した。 ダストの面密度が林モデルの面密度の 10 倍に達するまでにかかる時間は、ダストアグリゲイトの初期の半径が 100 cm の場合、2100 年である。ダストの面密度のピークの幅は、0.6AU 程度である。10 AUの範囲に相当する質量のダストアグリゲイトが落下して、昇華する領域でダストの面密度が林モデルのダストの面密度の 10 倍に達した。

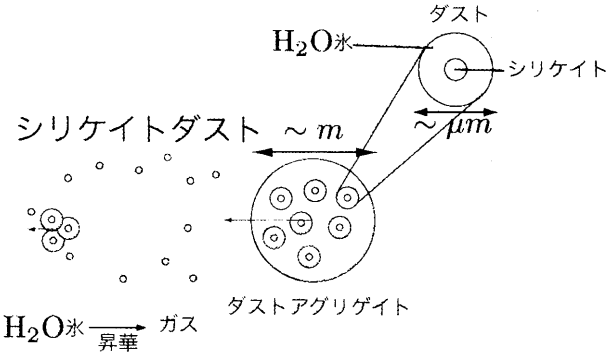


図1 ダストアグリゲイトが中心星に向かって落下しながら、昇華してく様子。まき散らされたシリケイトダストグレインが、溜まってゆき、ダストの面密度が上昇する。

ダストアグリゲイトの半径の変化を、太陽からの位置の関数としての近似式を解析的に求めた。また、ダストの面密度分布の近似式を求めた。

4 参考文献

Sekiya,M 1998, Quasi-Equilibrium Density Distributions of Small Dust Aggregations in the Solar Nebula ,Icarus,133,298-309

325

合体成長過程におけるダスト構造進化の数値計算 ：斜め衝突の効果

○陶山 徹[1,2]、 和田 浩二[2]、 田中 秀和[2]
[1]北海道大学 理学院 宇宙理学専攻
[2]北海道大学 低温科学研究所

微惑星は、原始惑星系円盤内で、重力不安定、または、合体成長によって形成されると考えられている。微惑星が重力不安定によって形成されるとしても、ダストは合体成長によりある程度（～cm サイズ）まで成長し、ガス抵抗を弱くする必要があるだろう。ダストはこの合体成長の際、衝突によって圧縮され、fluffy な構造を保つことができないと予想される。圧縮によりダストの断面積が変われば、運動を支配するガス抵抗力も変化する。そのため、ダストの圧縮がいつ、どのように起こるかは、ダスト進化を考える上で重要な問題となっている。

我々はこれまでにダスト衝突の N 体計算を行いダスト合体成長時の圧縮過程のモデルを構築した(Suyama et al. 2008)。しかし、これまでの我々の研究では正面衝突のみを扱っている。しかし、一般には、斜め衝突が多く起こる。斜め衝突においては、ダストが引き伸ばされて密度が減少すると予想される。そのため、より一般的な斜め衝突においてどのような構造のダストが作られるかを調べる必要がある。

本研究では、斜め衝突の衝突計算を行いダストの構造がどのように進化していくのかを調べた。我々の数値計算では、衝突により得られたダストを初期条件として再度衝突させるというように、衝突計算を繰り返し行うことで、ダストを合体成長させつつ、その圧縮過程を調べた。簡単のために衝突速度はダスト質量によらず一定とした。

衝突計算で得られたダストの構造を調べるために、その半径と断面積を求めた。その結果、半径と断面積は衝突速度によらないことがわかった。また、ダストの断面積はその質量にほぼ比例しており、ダストは非常に大きな断面積を持っていることがわかった。これはダストが斜め衝突によって引き伸ばされて、圧縮されていないためと考えられる。

本研究では等質量のダスト同士の衝突を扱っているが、実際は質量比のついた衝突が起こると考えられる。質量比のついた衝突では、大きなダストの隙間に小さなダストが入り込み、ダストの密度が増加すると予想される。そのため、質量比のついた衝突がどのようにダストの構造進化に影響を及ぼすかを調べる必要があるだろう。

326

衝突によるダストの破壊と成長

○和田浩二，田中秀和，陶山徹，木村宏，山本哲生
北海道大学低温科学研究所

原始惑星系円盤内での微惑星形成にとって、ダストアグリゲイトが衝突によって付着成長できるかどうか、ということが重大な問題の一つとなっている。原始惑星系円盤において、ダスト同士の衝突速度は数十m/sにも達する。例えば乱流を考えない場合の林モデル円盤では、その衝突最高速度は50m/sになる（乱流を考えた場合にはさらに大きくなる可能性もある）。このような高速衝突においてダストが付着成長できるか否か（ひいては微惑星がダストの直接合体成長で形成可能か否か）を明らかにする試みが本研究である。

これまで、我々は主にBallistic Cluster-Cluster Aggregation (BCCA) アグリゲイトの正面衝突の数値シミュレーションを行い、その衝突付着・圧縮・破壊の各過程を論じてきた。BCCAアグリゲイトはフラクタル次元がおよそ2の「ふわふわ」な構造をしている。結果として氷粒子からなるふわふわなBCCAアグリゲイトの正面衝突では、数十m/sという高速衝突であっても成長可能であることが示された[1]。また、室内実験においても、正面衝突するアグリゲイトは、10m/s以上の高速衝突でも付着成長できることが報告されている[2]。しかしながら、そのような高速衝突の状況下では、ダストはそれ以前の衝突等によって圧縮されていると予想される。また正面衝突は極めてまれにしか起こらず、一般にはオフセット（斜め）衝突となる。したがって、高速衝突におけるダストの破壊・成長過程を論じるためには、オフセット衝突まで含めたコンパクトなアグリゲイト同士の衝突過程を明らかにする必要がある。

そこで今回我々は、BCCA構造のみならずBallistic Particle-Cluster Aggregation (BPCA) 構造をもったアグリゲイト同士のオフセット衝突まで含めた衝突の数値シミュレーションを行い、その結果について議論する。BPCA構造はフラクタル次元がおよそ3であり、コンパクトな構造である。したがって、コンパクトな構造をもったアグリゲイトの極限としてBPCAアグリゲイトの付着成長基準および破壊基準を論じることが可能となる。結果として、付着できるかどうかの臨界衝突速度は、コンパクトな氷アグリゲイトの場合およそ60m/sとなった。さらにこの臨界速度には粒子数依存性はほとんど見られず、直接計算できない大きなダストに対しても適用可能であることが示された。このことはダストの直接衝突付着によって微惑星形成が可能であることを示唆する。講演ではBCCAとBPCAの違いなども踏まえ、ダストの高速衝突過程について議論する予定である。

[1] Wada, K., Tanaka, H., Suyama, T., Kimura, H., & Yamamoto, T. 2008, ApJ 677, 1296.
[2] Wurm, G., Paraskov, G., & Krauss, O. 2005, Icarus 178, 253.

327

ダスト合体成長による微惑星形成と惑星集積の初期条件

○田中 秀和[1]，小林 浩[1]，和田 浩二[1]，陶山 徹[1]

[1]北海道大学低温科学研究所

惑星形成の標準理論である京都モデルは，数 km の微惑星があつまることで惑星は形成されたという微惑星仮説にもとづき発展してきたが，微惑星をうまくつくれないという根本的な問題をのこしていた．これにたいし，最近北大低温研グループは，氷のダストであれば数十 m/sec の衝突においても合体成長が十分可能であることをしめした(和田らの講演参照)．本研究では，これをうけて，ダスト合体成長による微惑星形成過程の再検討のため，詳細なダスト成長の数値計算をおこなった．同様な計算は Brauer et al.(2008)によりすでにおこなわれているが，彼らの結果は，メータサイズダストの中心星への急速な落下のため 2AU より外側に微惑星をつくることは非常にむずかしいというものであった．これでは木星型惑星のコアをつくることができない．

本研究では，(1)日下モデルのような比較的温度の低い円盤において，(2)陶山ら(2008)により提唱されている空隙率が非常に高く密度の低いダストの成長をかんがえた．これらの２点の違いにより，Brauer et al.(2008)とはまったく異なる以下の結果がえられた:

1. 10AU 程度以内では，ダストはメータサイズの壁をこえ微惑星サイズまでに成長した．
2. 円盤外側のダストはメータサイズにまで成長できず内側へ落下するが，10AU 付近に到達するとそこで微惑星サイズにまで成長して落下はほぼ停止した．
3. 初期に円盤外側にあった大量のダストが落下してきて 10AU 付近で微惑星となるため，そこでは固体/ガス比が大幅にふえる．とくに，円盤面密度勾配が林モデルよりかなり緩やかな場合にはこの比が１程度にまで増大する(下図参照)．

本研究でえられた微惑星面密度の増大は，その後の惑星形成には大変都合がよい．(a)まず京都モデル以来の問題であった，長すぎる木星型惑星コア集積時間は大幅に短縮され，この問題は解決される．(b)さらに，緩やかな面密度勾配の円盤では，固体/ガス比が１程度まで増大することにより，惑星がガス円盤との重力相互作用で落下してしまうという Type I 惑星移動問題も同時に解決される．緩やかな面密度勾配の円盤は電波天文観測の結果とも調和的である．以上のように，我々の微惑星形成モデルではダストの落下で固体/ガス比が大きく変わるため，従来の京都モデルとは多くの点で定性的に異なる結果が導かれる．今後，この方向での惑星形成過程の全面的な見直しが必要であろう．

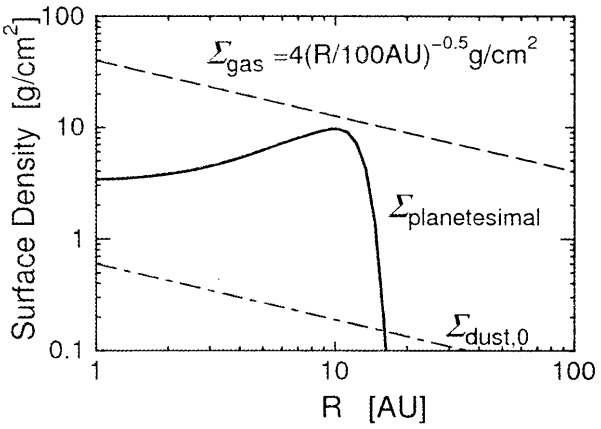


図:ダスト合体成長計算でえられた微惑星初期分布の一例．電波観測と調和的な緩やかなガス面密度勾配の円盤の場合．ダスト内部密度は陶山ら(2008, ApJ 684)にしたがい 10^{-4} g/cm^3 とした．微惑星の面密度(実線)は 10 AU 付近にピークを持ち，その値は初期のダスト面密度(一点破線)の数十倍に達している．

328

原始惑星系円盤内の渦におけるダストのサイズ分布

○河村恵里[1]、渡邊誠一郎[1]
[1]名古屋大学大学院環境学研究科

ダストから微惑星への形成過程がまだよくわかっていない。直接合体成長や自己重力不安定による形成が提案されているが、ダスト落下問題やサイズが成長するに従って付着成長確率が低下する効果よって、直接合体だけで微惑星まで成長することは難しいと考えられ、さらに林モデルのダストの面密度分布では自己重力不安定を起こすほど十分にダストは沈殿できない。よって、ダストの落下が防がれ、かつダストの面密度が上昇する微惑星形成モデルが必要である。

一方、微惑星がどのようなサイズ分布の粒子から構成されたかに関しては、微惑星の特徴を保持していると考えられるコンドライト隕石の粒子サイズ構成が示唆を与える。コンドライト隕石は主にマトリクスとコンドリュールからなり、隕石のタイプによってそれらの量比はさまざまであるが、単純な成長過程で期待されるよりも粒子サイズが大きなものに富む特徴がある。微惑星形成モデルは、このような構成粒子サイズ分布も説明するものでなければならない。

以上のことから、ダスト落下を防ぎ、ダストの面密度も上昇させられ、かつ、構成粒子に特徴的なサイズ分布を生むことが考えられる微惑星形成モデルとして、本研究では原始惑星系円盤（ガス円盤）中に形成される円盤のスケールハイト程度の水平サイズを持つ渦による微惑星形成を考える。渦による微惑星形成は、次のように三段階で考えられる。１．中心星の周りを公転するダストが渦に捕まる、２．渦の中心にダストが濃集する、３．渦の中心部でダストの面密度が上昇して微惑星が形成される。この１によってダストの中心星への落下が防がれ、２によってダストの面密度が上昇する。さらに、この１や２の渦によるダストの捕獲や濃集の効率は、大きなサイズのダストほど高くなるので、できる微惑星を構成する粒子には初期の場におけるダストのサイズ分布に比べて大きな粒子に富むようになると期待される。

上記の三段階のうち２に関して、円盤の赤道面上二次元で、ケプラーシアに挟まれた、円盤の回転に逆行でかつ高気圧性の渦を成すガスの流れを定常（ダストによる影響を受けないと仮定）として、渦の中でダストの運動を解いた結果、定常状態では渦中心へのダストの落下速度が渦の中心からの距離に比例するということがわかった（ダストのサイズが大きいほど落下速度は大きい）。このことから、十分長時間持続する渦の中で定常状態に達したダストの面密度分布は渦の形（ガス流の楕円軌道の縦横比）やダストの大きさに関わらず渦の中心からの距離の－２乗に比例し、渦の中心部では初期の１００倍程度にまでダストの面密度を上昇すると見積もられた。また、この結果から、渦の中で形成される微惑星を構成する粒子のサイズ分布に関する議論も行う。

329

デブリ円盤における衝突の効果
～ 惑星形成時の衝突による質量損失 ～

○小林浩、田中秀和、山本哲生
北海道大学低温科学研究所

太陽系の小惑星や外縁天体は相対速度が非常に大きく、お互いが衝突すると破壊される。このような衝突・破壊により放出される破片は、太陽系外でも主系列星周りでデブリ円盤として観測されている。このような衝突・破壊が卓越した系では、天体のサイズ分布や数密度は何度も天体が衝突し破壊されることにより決まっているが、そもそも一回の衝突による放出される破片の分布やその最大質量は破壊される天体の物質や構造によって非常にばらつきがある。この一回の衝突により放出される破片の分布や最大質量の不定性が、多数の衝突・破壊の結果できる全体の天体のサイズ分布や数密度の減少にどのような影響をもたらすかについて調べた。その結果、全天体のサイズ分布や総質量の減少には、一回の衝突により放出される破片の分布やその最大質量の依存性は非常に小さいことを示した。一方で、天体の強度は全体の天体のサイズ分布に強く影響をもたらす。総質量の減少には最大質量の天体の強度がだけにより決まる。その理由は、このような衝突による質量の変化は大きな天体から小さい天体への質量輸送率がサイズによらない定常に達するために、質量減少は最大質量の天体が破壊される時間で進化するためである。そのため、最大天体の質量が十分に大きければ、天体の総質量の減少は重力で決まる強度により決まるため、物質に依らないだろう。

このような破壊による質量の損失の過程は惑星形成の過程でも起こる。惑星は微惑星が衝突合体を繰り返して形成される。初期に微惑星が衝突するときは衝突速度が小さいため、破壊による破片の放出はほとんどない。しかし、半径数100 kmの惑星が形成されると強い惑星の重力により微惑星同士の相対速度が大きくなり、微惑星は衝突により壊れて大量の破片を放出する。このような惑星の成長過程に我々の結果は適用することができる。暴走成長によって微惑星が成長して惑星ができるときは天体の総質量のほとんどは微惑星のまま残っているため、惑星が形成され微惑星同士の衝突による破壊が始まったときの破壊の最大質量は微惑星と見ることができる。我々の結果から、微惑星同士の衝突時間で天体の総質量の減少していくことがわかる。そのため、微惑星が消失してしまう時間以内に惑星が微惑星または衝突によって生じた破片を集積できなければ、惑星は成長が止まってしまう。我々の結果を用いれば、形成される惑星の質量に制限が与えられるかもしれない。

断熱ディスク内でのタイプＩ惑星移動

Type-I Planetary Migration in an Adiabatic Disk

○山田耕[1]，稲葉知士[2]

[1]早稲田大学大学院政治学研究科

[2]早稲田大学国際教養学術院

原始惑星系円盤中にある惑星の軌道は，円盤ガスとの重力相互作用によって変化する．一般に，この重力相互作用で発生した円盤ガス中の密度波により，惑星は軌道角運動量を失い，中心星へと落下する．この過程は，タイプＩ惑星落下問題として知られており，巨大ガス惑星形成に対して非常に大きな障壁となっている．これまでこの問題を扱った多くの研究は，等温の状態方程式を用いていたが，最近，Baruteau & Masset(2008)や Paardekooper & Papaloizou(2008)によって断熱ディスクと惑星の重力相互作用が調べられた．その結果，惑星付近におけるエントロピー分布の非対称性が共軌道上の密度変化を引き起こし，共回転共鳴の大きさを大幅に変えることが明らかになった．例えば，正の傾きのエントロピー分布をもつ円盤では，惑星前方の共軌道に沿って運動してきたガス密度は周りのガス密度より小さくなり，後方の共軌道に沿って運動してきたガス密度は周りよりも大きくなる．そのため，惑星にかかる共回転トルクは負を示す(図 1:惑星質量は 5 倍の地球質量である)．

本研究は，エントロピー分布が惑星とガス円盤との重力相互作用で生じるトルクをどのように変えるかについて調べた．そのために，断熱と等温のリーマンソルバーを用いたグローバルな流体計算プログラムを開発した．等温の計算において，惑星が円盤から受けるトルクは Tanaka et al.(2002)の解析解とほぼ一致した．図 2 は，正の傾きのエントロピー分布を持つ円盤内での惑星の受けるトルク分布と惑星の落下速度である．この時，共回転共鳴が正に強く出るため，惑星は外に移動する．一方，等温円盤の場合は内側に惑星が移動するという結果となる．

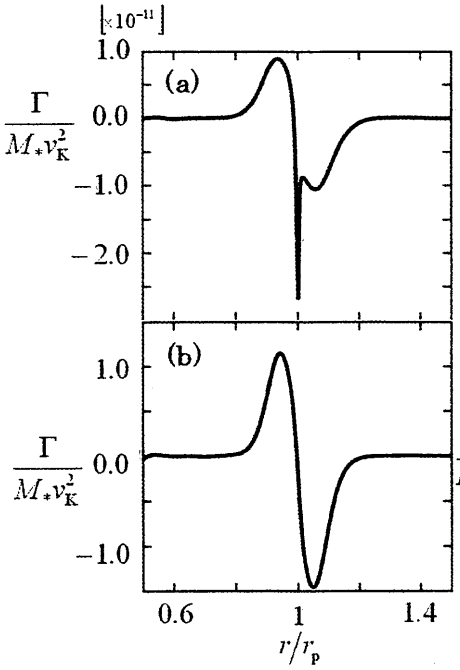


図 1：(a)断熱の場合の惑星にかかるトルク密度．(b)等温の場合のトルク密度．正の傾きをもつエントロピー分布の場合．r_p は惑星軌道，M_* は中心星質量，v_K は 1 AU でのケプラー速度．この場合，中心星質量は太陽質量．

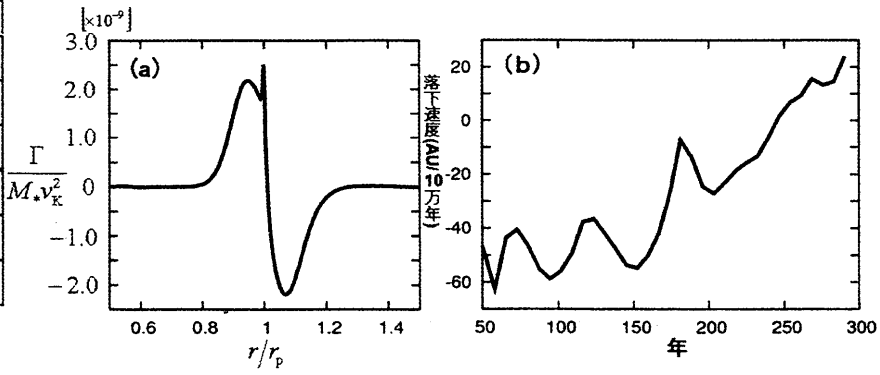


図 2：(a)負の傾きのエントロピー分布の円盤内の惑星にかかるトルク密度(時間は 290 年の時)．(b)落下速度の時間進化．正の値が外に行く．

331

微惑星円盤内での連星形成Ｉ等質量微惑星円盤

○台坂淳子[1]、牧野淳一郎[1]、台坂博[2]

[1]国立天文台、[2]一橋大学

海王星以遠天体（TNO）の中で約５０個の連星が発見されている。現在まで発見されているTNO の中で約6% が連星ということになる。しかし、広く認められている惑星集積理論では連星形成は考慮されていない。本研究ではＮ体計算を行い、連星形成が惑星集積に無視できない影響を与えることを示した。

本研究では軌道長半径を固定し、物理半径を変化させた計算、同じく軌道長半径を固定し、面密度を変化させた計算、そして面密度を林モデルに合わせ軌道長半径を変化させた計算の３種類の計算を行った。それぞれ4 - 6 の計算を走らせ、連星の形成率、その集積に与える影響を調べた。その結果、円盤の外側ほど連星は形成さやすいことが確認でき、微惑星連星形成を考慮すると、集積率が従来の値の約２倍になる可能性があることがわかった。

332

極低温表面原子反応 O_2+H による水分子生成　－アモルファス氷の触媒効果－

○大場　康弘、宮内　直弥、千貝　健、日高　宏、渡部　直樹、香内　晃
北海道大学　低温科学研究所

【序論】

星間塵アイスマントルで最も多く存在する水分子は、アモルファス氷として存在することが知られており、その生成メカニズムに興味が持たれてきた。星間分子雲に存在する水分子の量は気相反応のみでは説明することができない。そこで星間塵表面での原子反応が水生成に関与していると考えられてきた [1]。Miyauchi et al. [2]は Tielens and Hagen [3]が提案した O_2 分子への水素原子逐次付加反応 $O_2 + H \rightarrow HO_2$ (1)、$HO_2 + H \rightarrow H_2O_2$ (2)、$H_2O_2 + H \rightarrow H_2O + OH$ (3)を実験的に検証し、10K に冷却された擬似星間塵表面上で効率的に水分子が生成されることを明らかにした。また、反応(3)はトンネル反応で進行することを示した。我々のグループではこれまでに、星間塵アイスマントル上での CO 分子への水素原子付加反応に関する研究を行ってきたが、反応基板上にアモルファス氷があるときに、より効果的に反応が進行することが明らかになった [4]。そこで本研究では、O_2 分子への水素原子付加反応に対してアモルファス氷がもたらす効果を検証した。

【実験操作】

実験装置内は 10^{-10}Torr 程度まで減圧され、その中心に設置されたアルミニウム基板を 10-40K に冷却した。O_2 分子をアモルファス D_2O (a-D_2O)氷上、もしくは基板上に直接に蒸着させた。その後、マイクロ波放電によって H_2 分子を解離させて作成した H 原子 ($\sim 2\times10^{14}$/cm^2/s)を 100K に冷却して、基板上 O_2 分子へ照射した。反応生成物はフーリエ変換型赤外吸収分光計 (FT-IR)でその場観測された。

【結果】

時間の経過とともに FT-IR スペクトルが変化し、H_2O_2、H_2O の生成が確認された。基板上に a-D_2O 氷がない場合、基板温度が 23K を超えると水素付加反応が進行しなかったのに対し、a-D_2O 氷上に O_2 分子を蒸着させた場合には 40K まで反応が進行した。反応(1)にエネルギー障壁がないため[3]、反応(1)-(3)は $O_2 \rightarrow H_2O_2 \rightarrow H_2O$ と単純化することができる。各反応 ($O_2 \rightarrow H_2O_2$、$H_2O_2 \rightarrow H_2O$)の有効反応速度定数をそれぞれ k'_1、k'_2 とすると、それらの値は a-D_2O 氷上での反応で、温度に関して図 1 のような変化を示した。講演では反応に対するアモルファス氷の影響を議論する

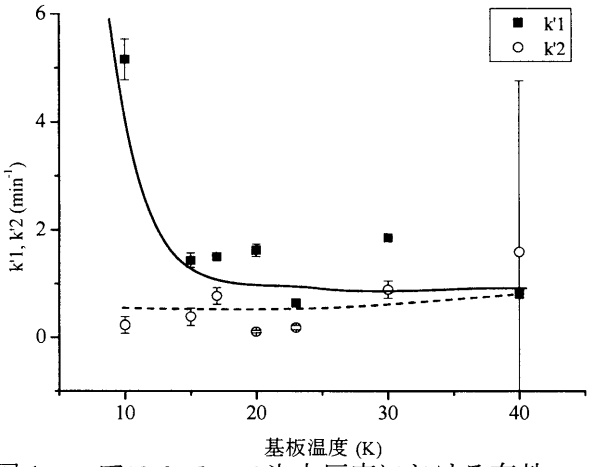


図 1　アモルファス氷上反応における有効反応速度定数 k'_1、k'_2 の温度に対する変化。

References

[1] L.B. d'Hendecourt, L.J. Allamandola, & J.M. Greenberg, 1985, A&A 152, 130.
[2] N. Miyauchi, H. Hidaka, T. Chigai, A. Nagaoka, N. Watanabe, & A. Kouchi, 2008, Chem. Phys. Lett. 456, 27.
[3] A. G. G. M. Tielens & W. Hagen, 1982, A&A 114, 245.
[4] H. Hidaka, N. Miyauchi, A. Kouchi, & N. Watanabe, 2008, Chem. Phys. Lett. 456, 36.

P101

アモルファスシリケイトの低温結晶化過程

○ 田中今日子、 山本哲生 （北大低温研）
Kyoko K. Tanaka, and Tetsuo Yamamoto （ILTS, Hokkaido Univ.）

We derived crystallization conditions of amorphous silicate by comparing theoretical model with three different kinds of crystallization experiments: annealing experiments of (1) an amorphous silicate with forsterite composition, (2) an amorphous silicate covered with a carbonaceous layer, and (3) an amorphous silicate covered with a carbonaceous layer consisting of reactive molecules (e.g., CH_4). From the experiments (1) and (2), we obtained the activation energies of diffusion in the amorphous silicate and amorphous carbon. From these values and the comparison with the experiment (3), we derived the constraints on the energy density stored in the mantle layer and the chemical reaction time to occur the crystallization of amorphous silicate.

近年の赤外観測により、原始惑星系円盤や彗星の一部で、シリケイトが結晶化していることが明らかになってきた。結晶化は高温（ 1000K) で進行すると考えられる一方で、彗星が作られる領域は低温（数百度以下）であり、その成因については良く分かっていない。成因説として中心星付近の高温領域で結晶化した物質が円盤外側に運ばれたとする説 (e.g.,Gail 2001) や、ダストに含まれるラジカル分子の反応熱等により、低温環境でも結晶化する低温結晶化説 (Yamamoto and Chigai 2005, Yamamoto et al. submitted) などが挙げられる。一方、近年シリケイトダストの結晶化実験が多数行われている。宇宙ダストのアナログである (1) アモルファス（非晶質）フォルステライトシリケイト粒子 (Fabian et al. 2000, Kamitsuji et al. 2005)、(2) アモルファスシリケイトの表面にカーボン層をまとった粒子 (Kaito et al. 2006)、(3) カーボン層に反応分子を含めた粒子 (Kaito et al. 2007) についての結晶化実験が行われ、それぞれの場合について、結晶化温度が大きく異なることを見出された。特に、(3) の場合は常温 (300K) でシリケイト粒子の表面が一部結晶化することが示され、低温結晶化説を裏付ける結果を得ている。本研究では実験と理論モデルを比較することにより、(1) から (3) の実験結果を統一的に説明できる理論モデルを構築した。その比較から、結晶化を支配するアモルファスシリケイトおよびアモルファスカーボン中の分子拡散の活性化エネルギーを求めた。また、これらの物性値を用いて、化学反応によるアモルファスシリケイトの低温結晶化条件を明らかにした。得られた条件をもとに、彗星や円盤環境における、アモルファスシリケイトの低温結晶化の可能性について議論する。

References

Fabian, D. C. Jäger, Th. Henning, J. Dorschner, and H. Mutschke, 2000, A&A, 364, 282

Gail H. -P., 2001, A&A, 378, 192

Kaito, C., Sasaki, S., Miyazaki, Y., Kumamoto, A., Kurumada, M., Yokoyama, K., Saito, M., Kimura, Y., & Suzuki, H. 2006, Advances in Geosciences, 7, 125

Kaito, C., Miyazaki, Y., Kumamoto, A., & Kimura. Y.2007, ApJ. 666, L57

Kamitsuji, K., Suzuki, H., Kimura, Y., Sato, Y., & Kaito, C. 2005, A&A, 429, 205

Yamamoto, T., & Chigai, T. 2005, Highlights Astron., 13, 522

Yamamoto, T., Chigai, T, Kimura H, and Tanaka K. K. submitted.

P102

anhydrous IDPs に存在する Enstatite Whiskers の形成環境

Crystallization of Enstatite Whiskers from Highly Supersaturated Silicate Vapor

○山田淳也，塚本勝男，小畠秀和，三浦均，長嶋剣
東北大学・理，東北大学・多元物質科学研究所，大阪大学・工
○Junya Yamada[1], Katsuo Tsukamoto[1], Hidekazu Kobatake[2], Hitoshi Miura[1], and Ken Nagashima[3]
○[1]Graduate School of Science, Tohoku University,
[2]Institute of Multidisciplinary Research for Advanced Materials, Tohoku University
[3]Graduate School of Engineering, Osaka University

We have synthesized enstatite whiskers and platelets from silicate vapor to study the growth mechanism of the enstatite particles in condritic porous interplanetary dust particles (CP-IDPs) and Antarctic micrometeorites (AMMs). These enstatite particles are found to be formed in an extremely supersaturated condition (σ=70-150).

はじめに

宇宙から飛来する IDPs (Interplanetary Dust Particles) には whisker や非常に薄い板状の Enstatite 結晶が存在する[1]。これらの Enstatite 結晶の形態は地球や月の岩石には見られない形態であり、その形態や微細な構造から気相からの凝縮によって形成されたと考えられている[2]。また、最近の報告では、これらの特徴的な形態を持つ Enstatite 結晶が南極の氷床より採取した宇宙塵 (Antarctica Micrometeorite : AMM) にも存在することが確認されている[3]。それらの IDPs は彗星起源と考えられており、太陽系形成初期にできた、極めて始原的な物質の１つである。結晶の形態は、その成長環境の影響を非常によく反映している[4]。「天からの手紙」である雪結晶の形態から、中谷ダイアグラムによってそのときの上空の環境が推定できる。そのためこれらの特徴的な形態を持つ Enstatite 結晶の形成条件が実験的に明らかになれば、その形成環境である初期太陽系の環境に関する情報を得ることができる。そこで我々は蒸発凝縮実験を行い、Enstatite 結晶形態の形成条件依存性を明らかにした。

実験方法

出発試料には直径１mm 程度の合成した多結晶 Enstatite 球を用いた。この Enstatite 多結晶球を蒸発源とし、炭酸ガスレーザー(100W)によって加熱を行い蒸発させ、凝縮した粒子をモリブデンワイヤーを用いて回収した。実験は真空チャンバー内で行い、雰囲気は Ar100Pa とした。結晶の成長環境の温度は R 熱電対(ϕ=0.1mm)を用いて周囲の雰囲気温度分布を測定し、蒸発源の温度は放射温度計を用いて測定した。また過飽和度は蒸発源の実験前後の重量変化から求めた。回収した凝縮粒子の形態および構造観察には FE-SEM (電界放射型走査型電子顕微鏡) および TEM (透過型電子顕微鏡) を用いた。

実験結果および考察

気相から凝縮した Whisker および板状の Enstatite 結晶を得ることができた。Enstatite 結晶の形態は比較的高温・低過飽和度条件では板状(σ=50-80, T=1000-1200K)となり、温度が下がり過飽和度が上がるにつれてリボン状(σ=90-100, T=900-100K)、Whisker(σ=100-140, T=750-900K)へと変化した。よって IDPs に見られる Whisker や板状といった、非常に特徴的な形態を持つ Enstatite 結晶は、従来考えられてきたような平衡に近い環境ではなく、急激な冷却に伴うような、かなり非平衡な環境下で形成されたと考えられる。

引用文献

[1] J. P. Bradley, 2004. In: Treatise on Geochemistry, Vol. 1, Elsevier, Amsterdam, p689.
[2] J. P. Bradley, D. E. Brownlee, D. R. Veblen, Nature 301, 473 (1983).
[3] Noguchi et al., JGU meeting 2008
[4] Sunagawa I. 2005. Crystals, Growth, Morphology and Perfection, Cambridge Univ. Press.

P103

非晶質シリケイトから結晶化させた エンスタタイトの遠赤外ピークの挙動

○村田敬介，茅原弘毅，小池千代枝，今井悠太，土`山明
大阪大学大学院理学研究科宇宙地球科学専攻

エンスタタイト（Mg_3SiO_4）は原始惑星系円盤に塵として存在し，フォルステライト（Mg_2SiO_4）と並ぶ重要な構成固体物質である．一方，希薄な星間空間では，そのような結晶質シリケイトの欠乏が主張されており，星間塵を構成するシリケイトは，ほぼ完全に非晶質であると考えられている．すなわち非晶質シリケイト塵が，原始惑星系円盤，あるいは我々の太陽系星雲における結晶質シリケイトの原材料物質であり，円盤に取り込まれた非晶質シリケイトが何らかの加熱プロセスを経て結晶化しているということが考えられる．これら結晶質シリケイトは比較的高温環境で形成されるため，塵が存在した環境の熱史を記録していることが期待される．また，隕石や小惑星，惑星などのより大きいスケールの固体物質・天体への物質進化過程を考えると，その原材料物質としての塵自身を理解することは重要である．

本実験では非晶質シリケイトからエンスタタイトを加熱結晶化させ，温度や時間などその形成条件について，主に赤外吸収分光法を用いて調べた．結晶化の活性化エネルギーを求めた結果，結晶化速度はこれまでの報告よりも大きな温度依存性を持つことが分かった．これは円盤の外側の低温の領域では結晶化速度が遅すぎてエンスタタイトが結晶化できないことを示唆している．さらに，結晶化させたエンスタタイトの赤外スペクトルは，これまでに報告されている結晶性のよい試料のデータとは異なった特徴を示した．本実験で得られたスペクトルは，赤外線観測スペクトルとよく似た特徴を持つことから，観測で見えているエンスタタイト塵の結晶性の低さが示唆される．

P104

LIME オリビンの赤外線吸収スペクトル

Infrared absorption spectra of LIME olivine

○安藤 健人[1]

[1]大阪大学大学院理学研究科・宇宙地球科学専攻

宇宙空間の固体物質の大部分を占める宇宙塵は、エネルギー散逸や、隕石・微惑星の原材料としての役割を担い、その物性や周辺環境を調べることは、星形成や原子惑星系円盤の形成など、天体現象の過程を知る上で重要である。これまでの赤外線天文観測によると、これら宇宙塵のほとんどは非晶質のシリケイト鉱物であるが、晩期星や若い星の周りの星周塵には結晶質シリケイトも存在することが確認されている[1][2][3]。また、Fe が少なく Mn に富む LIME と呼ばれるオリビンが anhydrousIDP やStardustミッションのサンプルなどの始原的太陽系外物質から見つかっている[4][5]。今回はこの LIME オリビンを合成し、その赤外線吸収スペクトルを測定した。LIME オリビンは、MnO、MgO,SiO_2 粉末を混合した後、1220℃で 70 時間加熱することで合成した。Mn の割合は、Mn 原子の金属原子全体に対する割合を#Mn=Mn/(Mg+Mn)とし、#Mn=1、0.1 の2種類を合成した。赤外線吸収スペクトルを測定した結果は図１のようになった。

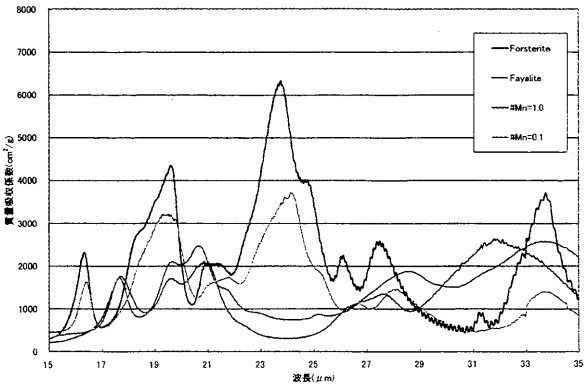


図１ 測定されたスペクトル

#Mn=1.0 のスペクトルは Fayalite[6]に似たスペクトルが得られた。これは、Fe と Mn の質量数が近いことに起因する。また、Fayalite に比べピークが長波長側にシフトしているが、これは Mn が Fe よりイオン半径が大きく、そのため結晶の格子間隔も大きくなり、原子同士の結合力が小さくなるためと考えられる。#Mn=0.1 のスペクトルは、Forsterite[6]から長波長側にピークがシフトすることが確認された。今後、実際の LIME に近い#Mn=0.06 程度の合成や、観測との比較を行っていく。

参考文献

[1] Kemper,F., Vriend,W.J.,Tielens,A.G.G.M.,et al.,2004,ApJ 609,826
[2] Wters,L.B.F.M.,Molster,F.J.de Jong,T.,et al.,1996, A&A 315,L361
[3] Honda,M.,Kataza,H.,Okamoto,K.Y.,et al.,2003, ApJ 585,L59
[4] Klock,W.,Thomas,K.L.,McKay,H., et al.,1989,Nature 339,126
[5] Zolensky,M.E.,Thomas,J.Z.,Yano,H.,et al.,2006,Sci 314,1735
[6] Chihara,H.,Koike,C.,Tsuchiyama,A.,et al.,2002,A&A391,267

P105

ダスト循環モデルによる原始惑星系円盤内縁領域でのダストの動径方向移動

○藤原大輔[1]、渡邊誠一郎[1]

[1]名古屋大学大学院環境学研究科

ダストから微惑星への形成過程はいまだよくわかっていない。なぜなら、ダストがmサイズまで成長するとガス抵抗により急速に中心星へと落下して、微惑星材料物質が枯渇してしまうダスト落下問題があるためである。この問題の解決案の１つとして我々は輻射圧によりダストを循環させることを考えた。円盤内縁は中心星光を直接受けるのでダストの蒸発温度に達することが予想され、そのため内縁付近に落下してきたダストの一部は蒸発し、細粒化する。また、円盤内縁付近は非常に高温なので熱電離による磁気回転不安定（以下MRI）が起こっていると考えられる。そこではMRIによる乱流により細粒化されたダストが光を直接受ける円盤表面層へと巻き上げられ、輻射圧により外側へ飛ばされる。このようなダスト循環により十分な量のダストが再び円盤内に戻ればダストは円盤内に維持される。よって、ダスト循環を考える上で円盤内縁構造は非常に重要な領域となる。

円盤内縁構造は中心星へのガス降着や中心星由来のダスト外向き輸送に影響を与えるが、その内縁構造は最近のSED観測などによりわかってきている。Herbig Ae/Be型星のSEDでは近赤外線領域に中心星放射以外の超過放射が見られ、この超過はモデル計算からダスト蒸発半径で決まった円盤内縁の放射によるものと考えられている。特にDullemond et al. (2001)らが提案した円盤内縁構造が中心星の直接輻射により“puffed-up”しているという円盤モデルは多くの観測結果とよい一致を見せている。しかし、“puffed-up”円盤内縁モデルでも中心星・円盤パラメータによっては中心星からの距離、中心面から高さなど様々に変化する可能性があり、ダストの運動に対するそのような円盤内縁構造の影響はよくわかっていない。

そこで本研究では円盤内縁構造がダストの動径方向移動にどのように影響するか調べるために、“puffed-up”円盤内縁モデルでダスト循環シミュレーションを行った。本発表では中心星、円盤パラメータにより異なる円盤内縁構造でのダストの動径方向フラックスについて報告する。

P106

星雲衝撃波に伴う過飽和珪酸塩ダスト蒸気の生成：凝縮物のサイズと形態の多様性

Production of supersaturated silicate vapor by nebula shock: sizes and morphologies of condensates

○三浦 均[1]，田中 今日子[2]，山本 哲生[2]，中本 泰史[3]，野澤 純[1]，塚本 勝男[1]，山田 淳也[1]

Hitoshi Miura[1], Kyoko K. Tanaka[2], Tetsuo Yamamoto[2], Taishi Nakamoto[3], Jun Nozawa[1], Katsuo Tsukamoto[1], Junya Yamada[1]

[1] 東北大 (Tohoku Univ.), [2] 北大 (Hokkaido Univ.), [3] 東工大 (Tokyo Institute of Technology),

We carried out a numerical simulation of shock-wave heating event in early solar system. A shock wave heats and evaporates micron-sized silicate dust particles and generates a dust vapor. We found that the dust vapor cools to be supersaturated behind the shock front. The typical size and the morphology of condensates were discussed based on the classical nucleation theory.

様々な地球外物質には，気相からの直接凝縮によって形成された可能性が示唆されている珪酸塩の微結晶が含まれている [1, 2]. Allende 隕石マトリクスに含まれている 1 nm ~ 10 μm 程度の微小なグレインは，急冷に伴う非平衡ダスト蒸気からの凝縮を示唆している [3]. また，近年の原始惑星系円盤観測からも結晶質珪酸塩の存在が確認されてきており，結晶化過程の候補として気相からの直接凝縮の可能性が議論されている [4]. 我々は，このような気相からのダスト凝縮を引き起こしうるダスト加熱過程として衝撃波加熱モデルに注目している. 本研究では，ガス円盤中で楕円運動をする微惑星による bow shock を想定し，衝撃波における珪酸塩ダストの加熱・蒸発過程，及び，ダスト蒸気の温度進化を定量的に評価するための数値シミュレーションを行なった.

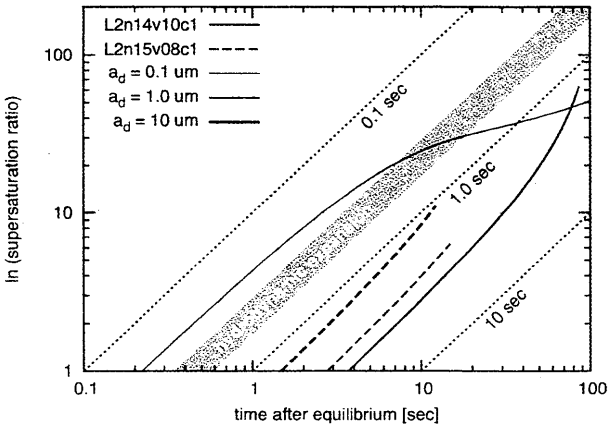


図 1: 衝撃波後面におけるダスト蒸気過飽和度の時間進化.

図 1 は，半径 30 km の微惑星を想定した場合の bow shock 後面における，ダスト蒸気の過飽和度の時間変化を示している. 横軸は過飽和状態になってからの経過時間，縦軸が過飽和度の対数である. 実線と破線は，空間 1 次元定常平行平板衝撃波モデル [5] を適用した場合の計算結果であり，線種の違いは衝撃波条件の違いを示す. また，線の太さは初期ダストサイズ a_d を反映している. 点線は過飽和度増加のタイムスケールスケール 0.1, 1.0, 10 秒を表しており，計算条件に依存して過飽和度増加のタイムスケールが異なることが分かる. また，グレーの領域で表したのは，衝撃波後面の高温ガスが微惑星進行方向に対して垂直方向に膨張する (hydrodynamic expansion) 際の断熱膨張の場合を評価したものである. 講演では，今回得られた過飽和ダスト蒸気の時間進化に対して古典的核形成理論を適用し，凝縮物のサイズと形態の多様性について議論する.

[1] Bradley et al., (1983). Nature 301, 473-477. [2] Nozawa et al., submitted to Icarus. [3] Toriumi (1989). EPSL 92, 265-273. [4] Bouwman et al., (2008). ApJ 683, 479-498. [5] Miura and Nakamoto (2006). ApJ 651, 1272-1295.

P107

衝突電離型宇宙塵計測機器の開発

○柴田裕実[1]、大橋英雄[2]、佐々木 晶[3]、野上謙一[4]、藤井雅之[5]、岩井岳夫[6]、尾亦孝男[6]、グリュン エバハルト[7]、スラマ ラルフ[7]

[1]京都大学、[2]東京海洋大学、[3]国立天文台、[4]獨協医科大学、[5]（株）FAM サイエンス、[6]東京大学、[7]マックス・プランク原子核物理学研究所

宇宙空間より飛来する宇宙塵の起源を探るためには、その飛来方向、衝突速度、質量、フラックス、化学組成を「その場」で分析することが要求されている。そのために人工衛星に搭載可能な小型・軽量で広い衝突領域（検出領域）をもつ衝突電離型検出器や飛行時間（TOF：Time of Flight）型質量分析器の開発を行っている。

衝突電離型検出器（IID：Impact Ionization Detector）は金属プレートに宇宙塵が衝突する際に、電離により金属プレートに誘起される電荷や、放出されるイオンや電子を金属プレート上方に設置されたグリッドや周りの壁に流入する電荷を測定することにより宇宙塵の速度、質量、電荷を計測する。この計測原理を図１に示す。この計測においては、経験式に基づき速度、質量等を決定するため、加速器からの超高速微粒子によるシミュレーション実験を必要とする。超高速微粒子シミュレーション実験は東京大学・工学系研究科･重照射研究設備及びドイツ・ハイデルベルクのマックス・プランク原子核物理学研究所のバン･デ･グラーフ静電加速器で数～数 10 km/sec で加速された炭素、鉄、銀、ラテックスなどの微粒子（直径 1μm 前後、電荷 $10^{-13\sim-15}$C） を用いて行われた。 次に TOF 質量分析器については、静電レンズを用いて反射領域を形成し入射イオンを減速・反射させるリフレクトロン方式を採用し、さらにその反射領域を曲面電場にすることにより時間収束作用と空間収束作用とを併せ持った高分解能質量分析器の開発を行なってきた。これまで衝突標的として金属（銅、アルミニウム、モリブデン、金など）を用いた TOF 質量分析器を試作してきたが、新たに衝突標的にピエゾ素子（ＰＺＴ）を用いたものを開発しているので報告する。

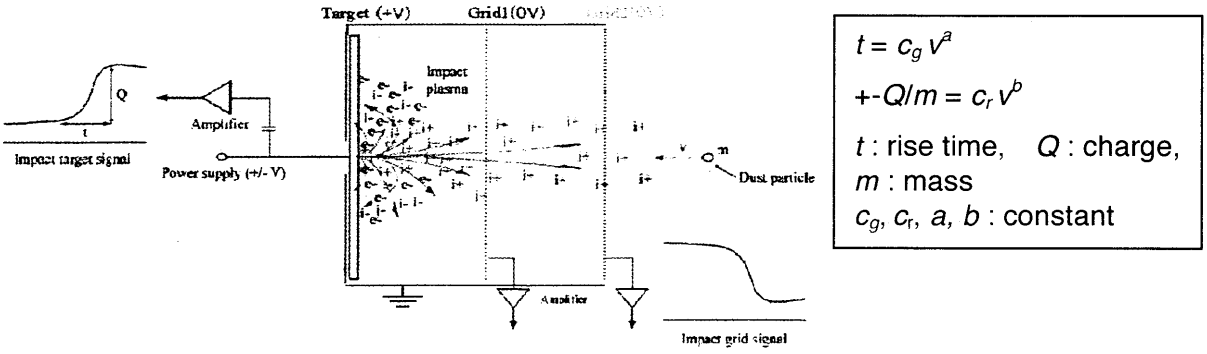


図１ 衝突電離型検出器における計測原理

P110

海王星以遠天体の長期軌道進化：断続的な平均運動共鳴捕獲の効果

Long-term evolution of trans-Neptunian objects: Effects of multiple temporary captures in mean motion resonances

Patryk Sofia Lykawka and Tadashi Mukai

Kobe University, Graduate School of Science, Dep. of Earth and Planetary Sciences, Japan – patryk@dragon.kobe-u.ac.jp

The study of trans-Neptunian objects (TNOs) offer important clues about the origin and evolution of the solar system. In particular, TNOs in typical scattered orbits (scattered TNOs) contribute to several distinct populations of minor bodies in the solar system, including the Centaurs (objects crossing the orbits of giant planets), and Jupiter-family, Halley-type and Oort cloud comets. We investigate the evolution of scattered TNOs over 4Gyr by conducting simulations using several thousand particles lying initially on Neptune-encountering orbits. We focus our work on resonance sticking, a phenomenon characterized by multiple temporary resonance captures ('resonances' refers to external mean motion resonances with Neptune, which can be described in the form r:s, where the arguments r and s are integers). Our main results are:

1) All scattered TNOs evolve through intermittent temporary resonance captures and gravitational scattering by Neptune. Each scattered TNO experiences tens to hundreds of resonance captures over a period of 4Gyr, which represents about 38% of the object's lifetime (mean value).

2) Resonance sticking plays an important role at semimajor axes a<250AU, where the great majority of resonance captures occurred. In fact, the stickiest/strongest (i.e., dominant) resonances beyond 50AU are located within this distance range (resonances with smaller s).

3) The r:1 and r:2 resonances played the greatest role during resonance sticking evolution, often leading to captures in several of their neighboring resonances.

4) The timescales and likelihood of temporary resonance captures are roughly proportional to resonance strength.

In summary, resonance sticking has an important impact on the evolution of scattered TNOs, contributing significantly to the longevity of these objects. This in turn would yield important consequences for the influx of Centaurs and comets in the inner solar system.

This research was supported by "The 21st Century COE Program of Origin and Evolution of Planetary Systems" of Monbukagakusho. P. S. Lykawka is also grateful to a fellowship from the Japan Society for the Promotion of Science (JSPS).

P111

若い小惑星 (832) Karin の光度曲線と形状

Lightcurve and shape of a very young asteroid, 832 Karin

○伊藤孝士・吉田二美 (自然科学研究機構国立天文台),
Josef Durech (Charles University in Prague)

We present current results of our long-term campaign of photometric observations of the largest member of a new-born asteroid family, (832) Karin. This is an S-type main belt asteroid that is likely a large fragment of a disruption event in the main asteroid belt about 5.8 million years ago. We obtained multicolor photometric observations of this asteroid in 2003, 2004, and 2006. We have reported potential surface color variation of this asteroid that indicates the existence of both mature and fresh surfaces on this asteroid as of September 2003. However, as of September 2004 and as of March 2006, this asteroid apparently did not show a strong surface color difference, which might give us some insight into its spin axis orientation and shape.

2002 年に確認された極く若い小惑星族の筆頭構成員 832 Karin はその表面に特異な色変化を持つなど、太陽系小天体の研究にとり極めて重要な意義を持つ。私達は Karin 族の確認直後から 832 Karin に関する多色測光観測を実施して来た。2003 年 9 月の衝での観測により特定位相に於いて相対反射率の傾きの増加すなわち赤化を検出した。しかしこの赤化部位が 2004 年 9 月の観測では再確認されなかったために、2006 年 2 月末の衝に近い時期に於いて近赤外領域に於ける三色同時測光を行い、この小惑星が衝突前の母天体表面の名残りとされる赤い表面を本当に持つのかを検証した。今回はそうしたデータをまとめ、この小惑星の可能な形状および自転軸の傾きのモデル計算結果についても示したい。

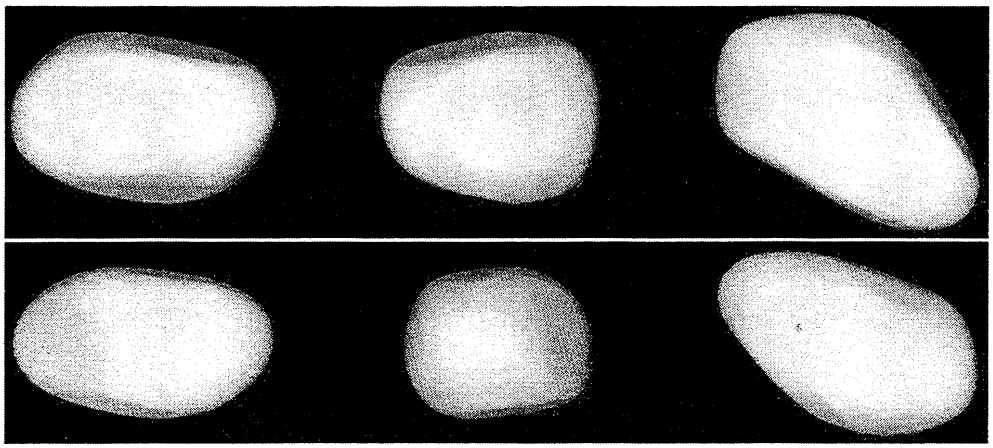


図 1: 2003 年 9 月と 2004 年 9 月の光度曲線から推定された (832) Karin の形状モデルの一例。Karin の赤道方向から見たもの。極の位置はそれぞれ (上) 黄経 58°, 黄緯 +40°, (下) 黄経 232°, 黄緯 +38°.

P112

木星トロヤ群小惑星のサイズ分布から探る太陽系史

○吉田二美[1]、中村 士[2]

[1]国立天文台、[2]帝京平成大学

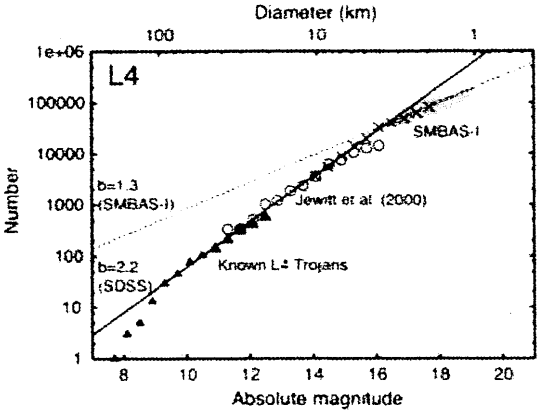
トロヤ群小惑星は現在火星、木星、海王星軌道に発見されているが、ここでは木星トロヤ群について扱う。木星のトロヤ群は2008年8月10日現在2538個が確認されているが、これらは太陽から遠くて暗いので、物理的観測が難しく、十分には行われてこなかった。そのため最初の発見（1906年）から約百年が経つ今でもこれらの天体に関する我々の知識は乏しく、起源や総質量・組成等わかっていないことが多い。

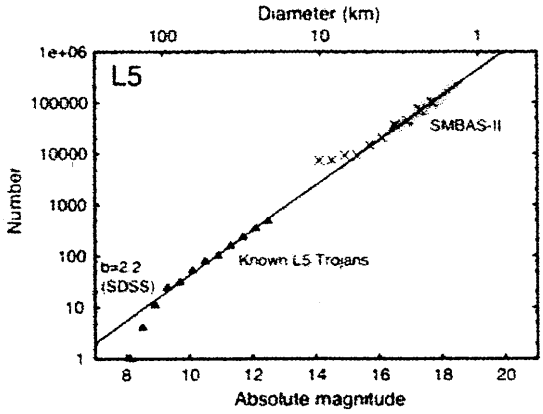
そこで我々はすばる望遠鏡を使った小惑星サーベイ（SMBAS: Subaru Main Belt Asteroid Survey）の画像データに多数の木星トロヤ群小惑星を検出し、L4群、L5群のサイズ分布を調べた。また、両群の小惑星の総数の見積もりも行った。

我々の調査で検出された大部分の木星トロヤ群小惑星は直径2-5kmの大きさの小惑星であり、これまでの系統的サーベイの中で、木星トロヤ群小惑星に対して検出限界が最も深い。我々の最新のデータと既知の木星トロヤ群小惑星、他のサーベイで得られた木星トロヤ群小惑星を結合させて全体のサイズ分布を描いてみると、L4群、L5群の累積サイズ分布の傾きは、直径5km以下の小さい小惑星でのみ異なっていることがわかった。具体的にはL4群の直径5km以下の小惑星で累積サイズ分布の傾きは1.3、それ以外は2.2前後であった。

また、小惑星の総数の見積もりではL4群がL5群より1.3-2.5倍多いことがわかった。

小さい小惑星でのみサイズ分布が違っていること、及び、L4群がL5群よりも多いことは、先に行われたいくつかの数値シミュレーションの結果と合わせて考えると、木星集積期の原始太陽系星雲の存在や太陽系初期の惑星移動の結果の現れとも解釈でき、非常に興味深い。ポスターでは我々の観測結果をもとに、木星トロヤ群形成プロセスについて考察した。





全体の累積サイズ分布。L4群が上、L5群が下。SMBAS-I, SMBAS-II, Jewitt et al. (2000), SDSSからのデータとH=12.3 mag (D~20km相当。Szabo et al. (2007)の見積もりによれば、これより大きい木星トロヤ群小惑星は全部発見されている)より明るい既知のトロヤ群小惑星のデータをあわせて、広いサイズ範囲（直径2kmから100km）での累積サイズ分布を得た。それぞれの累積サイズ分布を結合する際には、上のグラフではH=9.7, 12.1, 14.1等での縦軸の値が一致するように合わせた。下のグラフではH=9.7と16.1等での縦軸の値が一致するように合わせた。

P113

はやぶさ2探査ターゲット（162173）1999JU3はどんな小惑星か？

○川上恭子[1),2)]、安部正真[2)]、長谷川直[2)]、黒田大介[3)]、吉川真[2)]、春日敏測[3)]
北里宏平[4)]、猿楽祐樹[1)]、木下大輔[5)]、宮坂正大[6)]、浦川聖太郎[7)]、奥村真一郎[7)]
高木靖彦[8)]、Faith Vilas[9)]、Paul R. Weissman[10)]、Young-Jun Choi[10)]
Alan Tokunaga[11)]、Schelte J. Bus[11)]、Steve Larson[12)]、Thomas G. Mueller[13)]

[1)]東京大学、[2)]宇宙航空研究開発機構、[3)]国立天文台、[4)]神戸大学
[5)]國立中央大學、[6)]東京都庁、[7)]日本スペースガード協会、[8)]愛知東邦大学
[9)]MMT observatory、[10)]JPL、[11)]ハワイ大学、[12)]アリゾナ大学、[13)]Max Planck Institute

1. 研究目的

はやぶさ」に続く小惑星サンプルリターンミッションとして、「はやぶさ2」の検討が進められており、探査対象はC型小惑星の（162173）1999JU3である。この天体は2007年の夏から2008年の春にかけて観測好機を迎えたため、我々は、2007年5月から観測を始め、2008年4月に観測を終了した。

探査機の打ち上げ前にこの小惑星の自転周期、形状、自転軸の傾きなどを地上観測によって推定することはミッションの策定のためにも重要であり、これらを推定することが本研究の目的である。

2. これまでに行われた可視測光観測

・台湾鹿林天文台(鹿林1m望遠鏡)	2007年7月、12月、2008年2月、4月に計13晩
・木曽観測所(1.05mシュミット望遠鏡)	2007年9月、11月、2008年2月に計13晩
・石垣島天文台(1.05m望遠鏡)	2007年8月～11月に計10晩
・美星スペースガードセンター(1m望遠鏡)	2007年8月～9月に計6晩
・ハワイ大学UH88(ハワイ大学2.2m望遠鏡)	2007年7月、9月に計2晩
・アリゾナ州Steward天文台(1.55m望遠鏡)	2007年9月に計4晩

3. 可視測光観測からわかった自転軸の向きと軸比

上記の可視測光観測結果から、Amplitude法、Epoch法（どちらもMagnusson 1986）を用いて、自転周期、自転軸の向き、軸比を推定した。図1に示すのは、自転軸の向きを仮定した時の、観測値と理論値のズレ（単位は回転数）である。観測値と理論値のズレが小さいところが自転軸の向いていると推測される方向である。

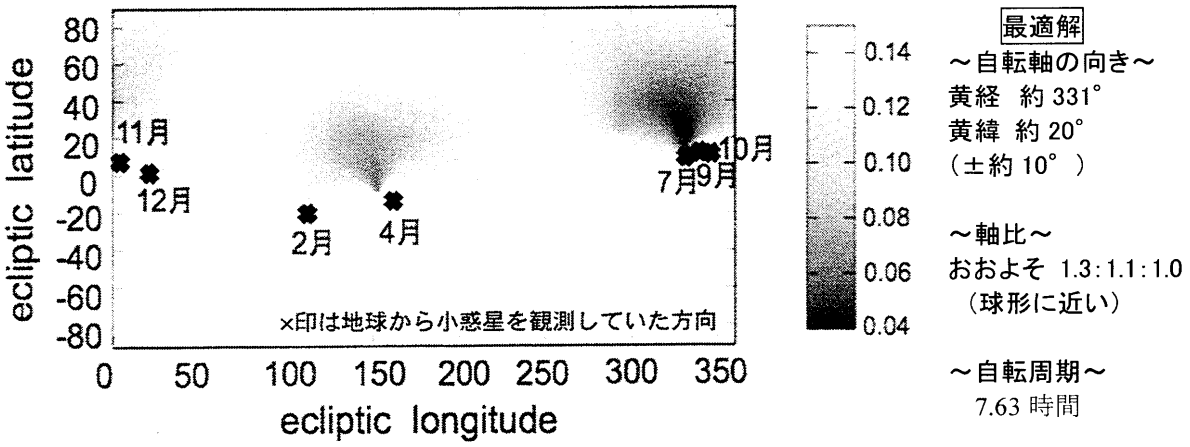


図1. Amplitude法、Epoch法の計算結果

4. その他

H=18.82（±0.02）、G=-0.110（±0.007）であり、アルベド0.063±0.02、直径920±120mであることがわかった。
また、分光観測、多色測光でもC型と確認された。

P114

小惑星の自転周期と太陽の自転周期との共鳴関係を示す音楽情報モデルと数理モデルについて

○林 大雅，林 佐千男[1]
[1]長構造研究会 研究開発グループ
田中 敏幸[2]
[2]慶應義塾大学 理工学部

太陽系での小惑星の自転周期と太陽の自転周期との共鳴関係を示す音楽情報モデルとＨＨ（仮想フラフープ）数理モデルについて、物理的な意味付けを考察したい。
尚、音楽情報モデルとＨＨ数理モデルは、太陽の自転周期と惑星の公転周期や惑星の自転周期との共鳴関係についても当て嵌まる。

仮想フラフープ（ＨＨ）の公転周期が，小惑星の自転周期（Ｄ）に共鳴していると想定して，太陽の自転周期（Ａ）＝２５．３８日を基準として音階を想定する。 音名（Ａ－２６）とする。

TITLE : The Musical scale Model and HH Model indicate Resonance relation between Rotation of the Minor Planet (Asteroid) and of the Sun.

The Musical scale Model and HH (Hula-Hoop Rotation-Revolution) Mathematical Model indicates Commensurability or Resonance relation between Rotation of the Minor Planet (Asteroid) and Rotation of the Sun. Also between Rotation of the Sun and Revolution of the Planet, and also Rotation of the Planet.

The HH (Hula-Hoop) Model on Rotation of the Minor Planet harmonized to observed Sun's Rotation Period : (A) = 23.38 days. That should be (A-26) musical note.

Hiromasa HAYASHI, Sachio HAYASHI (Long Range Structure Research Laboratory)
Toshiyuki TANAKA (Keio University Faculty of Science and Engineering)

P115

あかり衛星による黄道光放射の中間赤外線分光観測

○大坪貴文[1]，上野宗孝[2]，石黒正晃[3]，臼井文彦[1]，向井正[4]
[1]ISAS/JAXA、[2]東京大学、[3]国立天文台、[4]神戸大学

太陽系内の惑星間空間には惑星間塵と呼ばれる固体微粒子が広く分布している。黄道光放射は惑星間塵による太陽光の熱再放射であるが、1990 年代の IRTS/MIRS や ISO など赤外線衛星による分光観測で、黄道光放射スペクトルに 5-15%程度のシリケイトの超過放射が見つかり、さらには結晶質フィーチャの存在も示唆されている。一般に、黄道面付近では小惑星の族起源の惑星間塵の寄与が大きく、一方高黄緯は彗星起源の寄与が大きいと考えられてきたが、黄緯によるスペクトルの違いを知ることは惑星間塵の起源について大きな情報を得ることにつながると考えられる。我々は、2006 年 2 月 22 日に打ち上げられた日本の赤外線天文衛星「あかり」で黄道光放射の分光観測をおこなった。「あかり」の 10 μm 帯の黄道光スペクトルでも超過成分の強度は 10%程度であり、結晶質シリケイト・フィーチャの存在に関しても IRTS、ISO の観測を裏付ける結果が得られたことを確認した。黄道光は全天に広がる拡散光であるため、正確なスペクトルの導出にはまだ慎重な較正が必要ではあるが、その結果をもとに、黄道光放射スペクトルの超過成分中の細かいフィーチャとその起源について議論する。

P116

南極やまとHED隕石中 ^{26}Al含有量と^{26}Al生成率の関係

○楠野葉瑠香[1], 福岡孝昭[1], 松崎浩之[2], 小島秀康[3]
[1]立正大学地球環境科学部, [2]東京大学大学院工学系研究科, [3]国立極地研究所

隕石の落下頻度の時間変化からは, 隕石が定常的に落下したか, ある時期に集中して落下したかを知ることができる, 本研究では, 落下頻度の時間変化を求める対象として, 小惑星Vestaが母天体といわれるHED(Howardite, Eucrite, Diogenite)隕石に注目した. HED隕石の落下頻度の時間変化は, 小惑星Vestaにおける衝突の履歴を知るひとつの情報源になると考えられる. 隕石の落下年代を測定する方法として宇宙線生成核種である^{26}Alを用いた. 試料は日本が保有する, 南極大陸やまと山脈地域で採集された隕石(やまと隕石)のうち, 50個のHED隕石(7個のHowardite, 27個のEucrite, 16個のDiogenite)を用いた.

50個のやまとHED隕石中^{26}Al含有量をAMS(加速器質量分析)法を用いて測定し, 以下の結果を得た. 各隕石種中^{26}Al含有量はHowardite:55-95(平均値 80)[dpm/kg], Eucrite:60-100(平均値 85)[dpm/kg], Diogenite:50-85(平均値 75)[dpm/kg]を示し, Eucrite, Howardite, Diogeniteの順に^{26}Al含有量が低くなる傾向が表れた. このことは一見, Diogenite隕石の落下年代が最も古いことを示すようにみえる. しかし, 落下年代0年であるfalls隕石(落下が目撃された隕石)中^{26}Al含有量を測定したところ, 南極隕石と同じ傾向を示すことがわかった. これは, 地球に落下したとき既に隕石種による^{26}Al含有量の差が生じていたことを示す.

隕石の落下年代は, 落下時の^{26}Al含有量から測定時(現在)の^{26}Al含有量に減衰した量から求めることができる. よって, 落下年代未知である南極隕石の年代を求めるためには隕石試料ごとに落下時の^{26}Al含有量を知る必要がある. 種類によって^{26}Al含有量に差が生じたことから, 本研究では宇宙空間における^{26}Alの生成率が隕石の化学組成, すなわち宇宙線の標的になる元素組成の違いに制約されると考え, fallsの隕石の化学組成を利用した落下時の^{26}Al含有量を推定する経験式を作成した. 経験式を用いてfalls隕石中^{26}Al含有量を推定した結果, 実測した^{26}Al含有量とほぼ一致することがわかった. この経験式を用いれば, 落下年代未知の隕石中^{26}Al含有量から落下年代を求めることができる.

P117

Ningqiang 炭素質コンドライトの希ガス組成に基づいたプレソーラー粒子の存在度

Abundance of presolar grains in Ningqiang carbonaceous chondrite based on the noble-gas composition

○山本征生[1]、中村智樹[2]、岡崎隆司[2]、長尾敬介[3]

[1]東京大学・環境安全研究センター、[2]九州大学・理・地球惑星、[3]東京大学・理・地殻化学

Signatures of noble gas compositions in meteorites reflect the history of materials and there are a lot of noble-gas components. Exotic gases are contained in presolar grains such as diamond, graphite and silicon carbide (SiC). We analyzed mineralogy and noble gas compositions in acid residue of Ningqiang charbonaceous chondrite and discussed the precursor materials of meteorite parent bodies. Neon, Krypton and Xeon in acid residue were dominated by HL component. S component was not observed in all noble gas elements. These are consistent with that CV chondrite. Our results suggest that the parent body of Ningqiang had contained presolar grains that have similar ratio of diamond, graphite and SiC with CV chondrite.

隕石中の希ガスにはその成因によってさまざまな成分が存在する。それらのうち、Ningqiang 炭素質コンドライトを酸処理して得られたプレソーラー粒子中に含まれる希ガス組成から、Ningqiang 隕石中のプレソーラー粒子の存在度を見積もった。またその存在度を他のコンドライトと比較することにより、隕石母天体の材料物質について考察した。

プレソーラー粒子は、503 mg の Ningqiang 隕石を酸処理することにより取り出した。酸処理の方法は Huss and Lewis (1995) の手法を用いた。酸処理後に得られた物質は、放射光 X 線回折 (KEK、BL-3A) により鉱物組成分析を行い、また希ガス質量分析計 (東大・地殻化学、MS-II) にて希ガス濃度、同位体比測定を行った。

鉱物組成分析によって、プレソーラー希ガス成分の担体であると考えられている物質のうち、ダイアモンド、グラファイトが存在しているのが確認された。

希ガス分析の結果、軽い希ガス (He、Ne) が Ningqiang 全岩に比べて 2 桁高い濃度で含まれていることがわかった。重い希ガス (Ar、Kr、Xe) の濃度は全岩組成の数倍程度であった。プレソーラー希ガス成分のうち、HL 成分が Ne、Kr、Xe において卓越していた。HL 成分の担体であると考えられているダイアモンドは鉱物組成分析により存在が確認されている。一方、^{22}Na の放射改変 ($T_{1/2}$ = 2.6 年) により生成する Ne-E 成分は見られなかった。鉱物組成分析でも Ne-E の担体の一つと考えられているシリコンカーバイド (SiC) の存在は確認できなかった。Ningqiang 隕石の酸処理物質中の希ガス分析結果は、CV コンドライトの酸処理物質 (Huss and Lewis, 1995) と一致していた。これらより、Ningqiang 母天体は、CV コンドライト母天体と同じようなプレソーラー粒子組成をもっていたと考えられる。

引用文献: Huss G. R. and Lewis. R. S. (1995) Geochim. Cosmochim. Acta, 59, 115-160.

P118

Yamato-74442（LL4）中に含まれるアルカリ元素に富む岩片の形成機構

[1]○横山立憲　[1,2]三澤啓司
[1]総研大極域科学　[2]国立極地研究所

角礫化した普通コンドライトの中には K に富む岩片を含むものが報告されている。例えば Krahenberg と Bhola では数 cm に達する岩片が見つかっている（Wlotzka et al., 1983）。Wlotzka et al. (1983) は微量元素を含む全岩化学組成をもとに、Krahenberg と Bhola において認められるアルカリ分別が、LL コンドライト母天体上で起きたアルバイト質斜長石とカリ長石の間での、Na と K の気相交換反応によって起きたと結論した。しかしながら、この反応が母天体上でのショックメルトや衝突による角礫化(Ikeda and Takeda. 1979)など、具体的にどのような形成過程に対応しているかについては不明な点が多い。本研究では、K に富む岩片を含む Yamato-74442 (Yanai et al., 1978; Yanai, 1979; Ikeda and Takeda. 1979) の岩石組織観察と鉱物やガラスの主成分元素分析を行い、Krahenberg, Bhola との分析値の比較をした。さらに、岩片の形成を含めた母天体でのアルカリ分化過程の解明を試みた。

本研究では研磨薄片 2 枚(Yamato-74442,101-3, 101-4)を用いた。このコンドライトは、火成岩的特徴を示す K に富む暗色岩片、コンドリュール、鉱物片、ホストから成る。本研究に用いた薄片中のコンドリュールには斜長石も確認できるため、タイプ 4 と断定はできなかった。

暗色岩片の主要構成鉱物は自形のオリビン、及び茶色のガラス質石基であり、大きさには数十 m~数 mm までの幅がある。ホストとの境界は明瞭であるが、コンドリュールに存在するようなリムは存在しない。岩片のガラス質石基中には数　m 以下の急冷組織を示すクロム鉄鉱、シリケイトの結晶及びトロイライトが見られた（図 1）。暗色岩片中のオリビンの Fa は 25.2~30.2 で、これはほぼ平衡 LL コンドライトの組成範囲に収まる。岩片の主要構成鉱物、ガラスの組成について Na+K+Al-oxides－Ca+Mg+Fe-oxides－SiO_2 図に組成をプロットした結果、Krahenberg, Bhola の K に富む暗色岩片の分析値と非常に良い一致を示した（図 2）。

暗色岩片は火成岩組成を示すため、母天体上での形成過程において、もしくはそれ以前に K に富む前駆物質の溶融・急冷を経験したことは明白である。

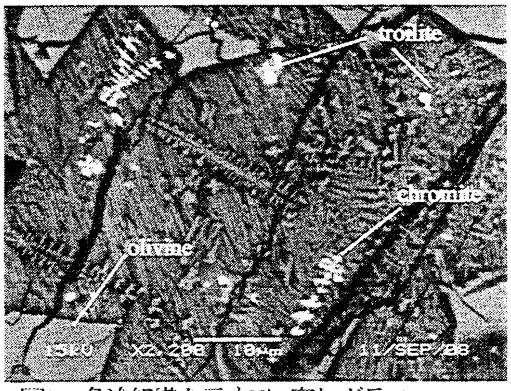


図1: 急冷組織を示すKに富むガラス。

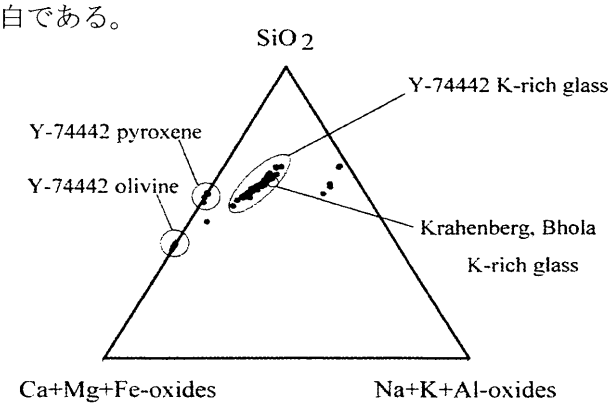


図2: Y-74442とKrahenberg, Bholaとの組成の比較。Krahenberg, Bholaにいては平均値を示す。

References:
Wlotzka et al. (1983): Geochim. Cosmochim. Acta, 47, 743-757
Yanai et al. (1978): Mem. Natl Inst. Polar Res., Spec. Issue, 8, 110-120
Ikeda and Takeda. (1979): Mem. Natl. Inst. Polar Res., Spec. Issue, 15, 123-139

P119

炭素質コンドライトにおけるクロム同位体異常

○藤谷渉[1]、杉浦直治[1]、高畑直人[2]
[1]東京大学大学院理学系研究科　地球惑星科学専攻、[2]東京大学　海洋研究所

クロム(Cr)の同位体組成を隕石全岩で分析した結果、隕石グループごとに系統的に異なった $^{54}Cr/^{52}Cr$ 比を示すことが知られている。特に炭素質隕石においては正の $\delta^{54}Cr/^{52}Cr$ を示し、その他のコンドライトおよびエコンドライトは標準値あるいは負の $\delta^{54}Cr/^{52}Cr$ を示すことがわかっている。このことは、初期太陽系においてそれぞれの隕石の母天体が形成されたときに、太陽系物質の同位体組成は少なくとも部分的には不均質であったことを意味し、太陽系物質がよく混ざり合っていないことを示唆する証拠の一つであると考えられる。
このような Cr の同位体異常が生じる理由として、同位体異常をもった粒子（おそらくはプレソーラー粒子）が混在しているというのが現在支持されている説である。このような同位体異常のキャリアが存在することは、炭素質コンドライトの全岩試料を酸で部分溶解したときに、特定のフラクションにおいて大きな(~20‰)同位体異常が見られることから支持される。しかしながら、そのような同位体異常のキャリアは未だに特定されていない。
そこで今回我々はマーチソン隕石(CM2)において、同位体異常が報告されている酸溶解残渣を抽出し、それに含まれる微細な粒子に対して二次イオン質量分析計(NanoSIMS)によって Cr 同位体分析することを試みた。二次イオン質量分析法は試料のその場分析が可能なため、同位体異常をもつ物質を発見し、その鉱物を特定できる可能性がある。
^{54}Cr の同位体分析は妨害イオンの存在などの難点が多く、このような SIMS を用いた分析はこれまでにほとんど行われてきていない。そこで我々は今回の分析で、妨害イオンである ^{54}Fe を ^{56}Fe によって補正することを試みた。その結果、Cr に富む鉱物の $^{54}Cr/^{52}Cr$ 比を数%の誤差で求めることができた。Cr 同位体異常をもつプレソーラー粒子は隕石の全岩分析からかなり大きな同位体異常をもっていると考えられるので、この程度の測定誤差ならば十分に Cr の同位体異常を識別できると思われる。今回分析した粒子はいずれも Cr に富み、大きさはミクロン～サブミクロン程度である。その総数は 100 個ほどに及ぶが、いずれも誤差の範囲で有意な同位体異常は確認できなかった。このことから次の可能性のうちいずれかであることが示唆される。1)存在度は小さいが非常に大きな同位体異常をもつ物質が存在する。2)同位体異常をもつ物質は Cr に富む物質ではない。3)同位体異常をもつ物質は非常に粒子サイズが小さい物質である。

P120

非晶質珪酸塩の水質変成実験:
非晶質珪酸塩の化学組成がその水質変成過程に与える影響

Hydrothermal alteration experiments of synthetic amorphous silicates: effect of chemical composition of amorphous silicates on its aqueous alteration process.

○野口遼[1], 村田敬介[1], 土`山明[1]
[1]大阪大学大学院理学研究科宇宙地球科学専攻

炭素質コンドライトは最も始原的な隕石であり、太陽系初期の情報を記録している。中でもCI,CM,CR,TLに分類されるグループは水質変成作用を受けており、その水質変成過程は太陽系始原物質の進化を考える上で重要である。炭素質コンドライトの母天体での水質変成条件や過程を理解するために、これまでenstatiteやolivineなどの結晶質試料や隕石を出発物質とした水質変成実験が行われてきた(e.g. [1])。一方、赤外線天文観測によると、星間空間の珪酸塩ダストは非晶質である(e.g. [2])。太陽系の進化過程において星間塵は分子雲に取り込まれ、熱変成などの様々なプロセスを経た後にコンドライト母天体として集積する。このようなダストの履歴を考慮すると、水質変成の出発物質として結晶質珪酸塩だけでなく、より始原的な非晶質珪酸塩の存在を考慮することが必要である。

我々は過去に、炭素質コンドライト母天体での珪酸塩の水質変成過程や水質変成条件を明らかにする為に、全体としてCIコンドライトの組成を持った非晶質珪酸塩と結晶質珪酸塩の混合物を出発物質とした水質変成実験を行った[3]。その実験においては、まず非晶質珪酸塩と純水の反応によってsaponiteが生成し、その後forsteriteとsaponiteからserpentineが生成し、saponiteは消滅してしまうという結果が得られた。この実験においては、非晶質珪酸塩の組成がsaponiteに近い化学組成であった事が、saponiteが生成しやすかった要因として考えられた。しかし非晶質珪酸塩からの変成過程を考える上では、saponiteに近い組成からの変成のみでなく、最も始原的と考えられるCIコンドライト組成をもった非晶質珪酸塩からの変成も考える必要がある。

そこで今回我々はCIコンドライト組成をもった非晶質珪酸塩及び、その一部を結晶化させた珪酸塩を作成し、それらを出発物質とした水質変成実験を行った。まず初めに出発物質のCIコンドライト組成(Na_2O-MgO-Al_2O_3-SiO_2-CaO)を持った非晶質珪酸塩をゾルゲル法によって作成した。作成した非晶質珪酸塩を、大気圧下で様々な温度時間条件で焼成する事によって、殆どが非晶質であるものからforsteriteが多く結晶化したものまで様々な珪酸塩を作成し、これを水質変成実験の出発物質とした。水質変成実験はテフロン製容器を内装したSUS-316製耐圧容器を用いて行った。試料は純水と共に大気圧下で容器に封入し、様々な温度時間条件(150°C、3 ～14 日間)で加熱し変成させた。実験生成物は粉末X線回折、電界放出型走査型電子顕微鏡、赤外分光光度計を用いて分析した。

本発表では、様々な出発物質からの生成鉱物を比較する事で、水質変成過程における出発物質の結晶化度依存性を考察する。また、コンドライトの鉱物組み合わせと比較する事で、コンドライトの変成条件、変成過程について考察する予定である。

[1] Ohnishi I. & Tomeoka K. 2006. *Meteoritics & Planetary Science* 42:49-61
[2] Honda M. et al. 2003. *The Astrophysical Journal* 585:59-63
[3] Noguchi R. et al. 2008. *Meteoritics & Planetary Science* 43:A117

P121

イトカワの岩塊に見られる高輝度スポット:形態の分類と岩塊のサイズ分布

○竹内洋人, 宮本英昭, 奥元良

東京大学総合研究博物館

ハヤブサが取得した高解像度画像に見られるいくつかの岩塊の表面には、特徴的に高いアルベドを示す箇所が点在している。本研究では、こうした高解像度画像に写る岩塊の表面に確認することのできる高輝度の点、もしくは傷のようなものをbright spot と呼ぶことにする。その成因は、例えば流星塵の衝突や岩石同士の衝突・摩擦などによる擦痕、または化学的に異なる成分の濃集などが考えられるが、良くわかっていない。そこで本研究ではbright spot の成因を理解するために、近接画像を用いてその分布を調べた。

解像度が22mm/pixel 以上の画像から合計394 個のbright spot を確認した。なお解析に用いた近接画像は、ハヤブサが着陸時に撮像したものであるため、コマバクレーター付近に限られている。また、Muses-C スムーズテレーン内部の画像には、そもそも岩塊が散在している程度のため、解像度の割にほとんどbright spot を確認することができない。本研究では bright spot の形態に応じて、(A) 比較的丸い形をし、はっきりと確認できるもの、(B) 高輝度の点がクラスター状になっているもの、(C) 不明瞭であるが輝度の違いが確認できる丸い形状もの、(D) 細長い形をしたもの、(E) bright spot が複数連なっているように見えるもの、の計5種類に分類し、それぞれの分布に地域的な偏りが存在するかどうか調査を行った。さらに近接画像を用いて岩塊のサイズ分布を調べた。

Muses-C 領域付近の画像を除いた他の5枚の各画像では、確認することのできるbright spot の数は、解像度が高い画像ほど多い。すなわち各解像度において、解像度以下の大きさでbright spot が存在している可能性がある。しかし詳しく調べると、この傾向はグループA、C において顕著であるが、グループD とEに関しては確認できない。さらにbright spot の分布は岩塊表面の形状に関係している。例えば、近接画像のうち2 枚において確認できるどこか波打ったような表面の岩塊には多数のグループB のspot がある。岩塊のサイズ分布に関してはbright spot の有無によってその傾向に違いが見られ、高輝度スポットの形成が岩塊の大きさに影響を受けている可能性が高いことが分かった。以上から、bright spot の形成過程は少なくとも2種類存在し、その形成と岩塊の形成過程との間に何らかの関係が存在することが示唆された。

P122

高解像度画像を用いた小惑星イトカワ・エロス表層のボルダーサイズ頻度分布

奥　元良[2]
宮本　英昭[1,2,3,4]
竹内　洋人[2]

[1] Department of Museum Collection Utilization Studies, The University Museum, University of Tokyo
[2] Department of Earth and Planetary Science, University of Tokyo
[3] Department of Geosystem Engineering, University of Tokyo
[4] Planetary Science Institute

小惑星のレゴリスがどのような過程を経て形成されてきたか理解することは、小惑星の起源や進化、そしてスペクトル型との関連の意味で重要である。また内部構造は、イトカワではラブルパイルであると示唆されているが、他の小惑星も含めて、定かに判ってはいない。この様に謎に包まれている小惑星の、物理的特性や地質進化を知る手がかりを得る為、講演者らはイトカワ・エロス表層のレゴリスを構成するボルダーに着目した。イトカワは以前の小惑星探査にはない高解像度（最高 6 mm/pixel）で撮影され、解像度の制約からイトカワとそれに次ぐ解像度が得られたエロスでのみ、ボルダーの観測は可能である。観測された高解像度画像を用い、数 10 m の大きさのボルダーから cm 単位の解像度限界に至るまで礫の抽出を試みた。そして、合計 2 万個超のボルダーのサイズや形をデータベース化し、ボルダー分布の地域差や天体間の差異などを明らかにした。

P123

高出力レーザーによる弾丸飛翔体加速：秒速１０ｋｍ以上での衝突によるＬｉＦの蒸発

○門野敏彦[1]，境家達弘[1]，弘中陽一郎[1]，大谷一人[1]，佐野孝好[1]，藤原隆史[1]，寶田圭司[1]，城下明之[1]，宮西宏併[1]，尾崎典雅[1]，藤岡慎介[1]，重森啓介[1]，黒澤耕介[2]，杉田精司[2]，松井孝典[2]，

[1]大阪大学，[2]東京大学

はじめに

惑星集積過程末期には，小天体が惑星や衛星の表面に頻繁に秒速１０ｋｍ以上の速度で衝突しており，これが惑星表層環境に大きな影響を与えていたと考えられている．しかし，このような高速度での天体衝突現象が地球環境に具体的にどのような影響を与えていたのかは，よく分かっていない．このような研究の遅れの第一の原因として，秒速１０ｋｍ以上の衝突速度における衝突実験が非常に困難であり，実証的な実験研究がほとんどなされてこなかった点があげられる．

現在，阪大レーザー研の GXII レーザーを用いて弾丸飛翔体の加速実験を行い，秒速１０ｋｍ以上の速度で隕石物質が衝突する際に生成されるクレーター，飛散する破片の解析，発生するガスの分光測定・質量分析，行うことを目指している．

実験・結果

GXII-HIPER レーザーを直径１００－３００ミクロンのガラスおよび金属製のプロジェクタイルに照射し加速した．プロジェクタイルの形状は球および円柱である．Ｘ線バックライト法によりＸ線フレーミングカメラおよびＸ線ストリークカメラを使ってプロジェクタイルの速度を計測した結果，速度１０km/s 以上への加速が確認された．プロジェクタイルは最終的に透明な LiF 板に衝突する．LiF 板の衝突した際に発生する光を分光した結果，Li ガスからと考えられる輝線が観測された．LiF は速度１０km/s 以下の衝突速度では蒸発が難しいとされており，この分光結果は衝突速度が１０km/s の場合は確かに LiF が蒸発していることを示している．

まとめ

高出力レーザーを使ってサブミリサイズの弾丸を加速した．１００〜３００ミクロンのガラス及びアルミニウムのプロジェクタイルが１０〜５０km/s に加速された．これらのプロジェクタイルが LiF へ衝突したことにより発生したと考えられる Li ガスの輝線が確認された．

P124

氷—ドライアイス２相系の塑性流動実験

○久保友明、梶原由美（九大理）、William Durham (MIT)、加藤工（九大理）

Plastic deformation experiments of two-phase mixtures of H_2O and CO_2 ices

T. Kubo*, Y. Kajiwara (Kyushu Univ.), W. B. Durham (MIT), T. Kato (Kyushu Univ.)

We have carried out compaction and deformation experiments on two-phase mixtures of H_2O and CO_2 ices at 170-220K and up to 120 MPa, and 160-190K and up to 50 MPa, respectively. The flow strength of two-phase mixtures is near the average between uniform stress and uniform strain rate models. When the stiffer H_2O ice contains 20 vol.% of the weaker CO_2 ice, the viscosity of the two-phase mixture decreases by less than half of that of the pure H_2O ice.

固体二酸化炭素は火星南極氷床とともに、数多くの氷天体(Ganymede, Callisto, Europa, Enceladus, Phobe, Iapetus, Ariel, Triton など)表面や Comet など太陽系外縁部で観測されている。固体二酸化炭素は water ice に比べ非常に軟らかい[1]ため、water ice に少量の固体二酸化炭素が混ざっただけでも流動応力を大きく減少させる可能性がある。少量の固体二酸化炭素が混ざったときにどの程度粘性が減少するかを明らかにし、氷天体地殻や火星南極氷床のテクトニクスを検討する必要がある。また太陽系外縁部の氷天体表面には固体窒素や固体メタンも発見されているが、それらの流動応力も water ice に比べて非常に小さいことが指摘されている[2,3,4]。太陽系外縁部の氷天体表面は非常に低温なため、water ice のみでは観測されているような活発なテクトニクスは起こりにくい。固い water ice に軟らかい non-water ice（固体二酸化炭素、固体窒素、固体メタン）が少量混ざったときの挙動に着目した２相系レオロジーの系統的な理解が必要である。

本研究では、固体二酸化炭素と water ice の２相系において 170-220K, 120MPa までの圧密実験を行い、空隙率がほぼ０の出発物質を作成した。それを用いて常圧下および高圧下(50MPa)においてそれぞれ定応力および定歪み速度の塑性変形実験を行った。これまでの実験条件は温度 160-190K, 歪み速度 10^{-7}-$10^{-5}s^{-1}$, 応力 0.7-30MPa である。

固体二酸化炭素成分比が増えるほど圧密に必要な圧力は減少した。固体二酸化炭素成分比が 20vol%、40vol%、100vol%の場合、それぞれ約 120、70、40MPa において空隙率が 0 に達した。現在のところ常圧下での定応力変形実験は未だ問題点が多く定量的な実験データは得られていない。低温ガス圧装置を用いた低温高圧下における定歪み速度変形実験では、 固体二酸化炭素と water ice の２相系において転位クリープと予想される非線形流動則(応力指数 n 値 4.7-5.2)が得られた。water ice に 20 vol.%の固体二酸化炭素が含まれると、pure water ice に比べ粘性率が半分以下に低下する。これまでの予備的結果によれば固体二酸化炭素−water ice２相氷の流動応力は、歪み一定および応力一定モデルの平均に近い挙動を示している。今後特に固体二酸化炭素の体積比が小さい条件において、回収試料組織の観察も含めたさらなる実験、検討が必要である。

[1] Durham et al. (1999) GRL26, 3493
[2] Eluszkiewicz and Stevenson (1990) GRL17, 1753
[3] Yamashita and Kato (1997) GRL24, 1327
[4] 山下靖幸, 1999, 遊星人 8, 34

P125

衝突クレータリングのSPHシミュレーション：岩石強度モデルの効果

高田 淑子、伊藤 友美（宮城教育大学）

惑星表層に見られる大型クレーターには、中央丘や多重リング構造が見られる。これらのコンプレックスクレーターの形成条件として、数値シミュレーションから、[惑星物質強度]/[最大掘削深度での静水圧]<0.15、というスケーリング則が示されている（O'Keefe and Ahrens, 1999）。

コンプレックスクレーター形成の一連の過程では、中央丘のように短時間で岩石上昇するため惑星物質の流動化'softening'と、最終的に地形保持のために物質強度に支えられる、固化'frozing'が必要である。このような物質をモデル化するためには、物質強度のモデルの選択が鍵となる。過去に行われたシミュレーション（e.g. O'Keefe and Ahrens、1999,2003）では、降伏強度に、温度依存性や圧力/密度依存性、ダイラタンシー・断層形成の効果等を加味し、実質的な降伏強度は常温常圧での測定値より小さくしている。最小物質強度が～10^1KPaのオーダーの例もある(Wunnemann and Ivanov, 2003)。これらの実質的な降伏強度を考慮すると、コンプレックスクレーター形成のスケーリングパラメーター、[惑星物質強度]/[最大掘削深度での静水圧]の値は、0.15より小さくなる可能性が高い。そこで、単純な降伏強度応力を用いてコンプレックスクレーターの形成条件をテストするためにSPH法を用いた数値シミュレーションを実施した。

約200万粒子を用いた3次元シミュレーションで、衝突体の直径：10-50km、速度：3-5km/s、降伏強度：50KPa-100MPaの範囲でシミュレーションを実施した。衝突体・標的にTillotson状態方程式を用い、弾塑性体で剛性率80GPa、Von-Mises降伏条件を適用した。降伏強度の違いによる、コンプレックスクレーターの形成、トランジェントクレーターのクレーター底の上昇、中央丘の形成の有無を検証した（図）。

プレリミナリーな結果では、スケーリング則範囲内でクレーター底の上昇は確認できたが、衝突体が中央部に残り観察される中央丘の形成物質となり現実と反する。これらは、衝突体の物性モデルとして弾塑性体を適用したためと考えられる。 また、標的の外端は反射境界としたため、標的外端に達した弾性波の反射波に由来した粒子の不安定があり、地上に突出した中央丘が確認できるまでの期間のシミュレーションには至らず、今後シミュレーション条件を再考する必要もある。

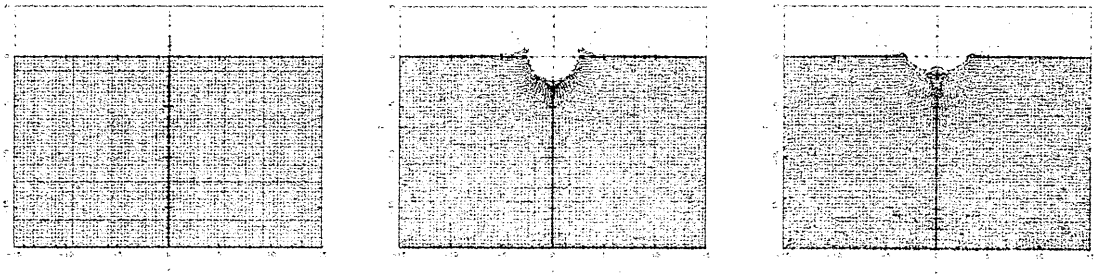


図　衝突体(R=50km, V=5km/s)が地球重力下の標的(Y=5MPa)に衝突した場合。$Y/\rho gd$比、1.5×10^{-3}。左からt=0、最大深度(t=12)、計算終了時(t=22)。

謝辞：本研究では東京大学地震研究所地震予知情報センターの計算機を利用した。

P126

宇宙における氷およびハイドレートの強誘電性に関する研究

○深澤 裕[1]　星川 晃範[2]　B.C. Chakoumakos[3]　J.A. Fernandez-Baca[3]
[1]日本原子力研究開発機構　[2]茨城大学　[3]オークリッジ国立研究所

中性子を用いれば、X線や電子線では詳しく調べることの出来ない水素の配置が極めて正確にわかる。最近、冷たい宇宙空間の氷を実験室で模擬しそれに中性子を当てて水素の位置を調べる研究をすすめている。これまで、天王星、海王星、冥王星等と同じ温度条件下（約－200℃）で、氷結晶中の水分子の水素が揃う様子を観測することに成功した。水分子の水素は正の電荷を帯びているので、これが揃うと氷が正負に分極して強誘電体になる。この結果に基づいて、氷XI相と呼ばれる強誘電体の氷が宇宙に存在することを提唱した（図、参考文献）。

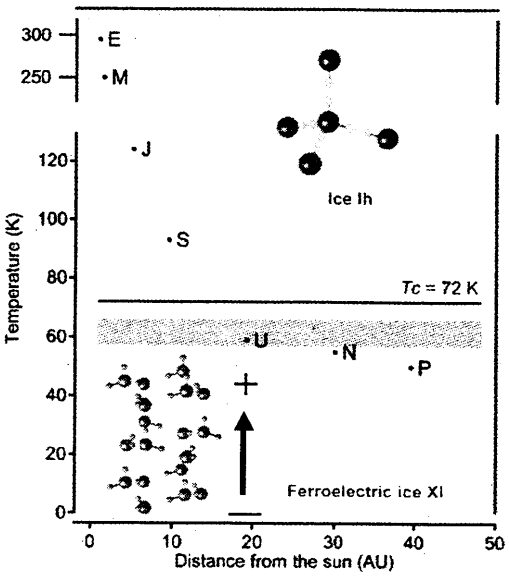


Figure　The area (below the line of *Tc* = 72 K) where ice XI exists in the solar system. E, M, J, S, U, N, and P indicate Earth, Mars, Jupiter, Saturn, Uranus, Neptune, and Pluto, respectively. The gray area represents temperatures (57–66 K) at which ice Ih is able to transform to ice XI. Solid and gray (small) circles show oxygen nuclei and protons.

本年度は、オークリッジ国立研究所にて、氷XIが発生可能な圧力範囲を詳しく調べた。0.4 GPaまでの圧力で氷XIが発生することが新たに解った。0.5 GPa以上の圧力を加えた場合、氷XIIIと呼ばれる別の水素秩序構造が発生した。1 GPa程度まで加圧すると、まず始めにアモルファス氷が発生したが、一定以上の時間が経過すると、次第に結晶化して水素が揃う様子が捉えられた。以上の結果から、非常に低い温度で存在する氷の天体は、表面から内部にかけてほぼ水素の秩序化した氷で構成されると思われる。ガス分子等を包摂したハイドレートでも同様の秩序化が観察されたので、大気の存在に関わらず水素は揃うのだろう。

氷XIと氷XIIIは宇宙に広く存在すると思われる。これらの氷を観測で発見したいと考えており、実験室で赤外スペクトルを測定している。その特長について報告する。

参考文献：Fukazawa H., Hoshikawa A., Chakomakos B. C., Fernandez -Baca J. A., Astrophys. J. 653, L57-L60, 2006; 日本惑星科学会誌 16, p.7, 2007; Science 315, p.18, 2007; 日本中性子科学会誌 Vol.18, No.2, p.97, 2008

P128

レーザー加速弾丸を用いた高速度衝突クレーター形成実験

荒川政彦*1、土肥弘嗣*1、中村昭子*2、門野敏彦*3、弘中陽一郎*3、大谷一人*3、佐野孝好*3、境家達弘*4、藤原隆史*3、寶田圭司*3、藤岡慎介*3、重森啓介*3
*1 名古屋大学環境学研究科、*2 神戸大学理学研究科、*3 大阪大学レーザーエネルギー学研究センター、*4 大阪大学理学研究科

はじめに

現在、大阪大学レーザーエネルギー学研究センターにおいて、激光 XII を用いたレーザーアブレーションによる弾丸加速実験が行われている。この実験では、これまでの衝突実験では未到達だった>10km/s での弾丸加速とその加速弾丸を用いた種々の衝突現象の研究を系統的に行っている。我々名大のグループでは、超高速度衝突により衝突融解を経たと思われるクレーターの形成過程に関する研究を行うことになった。クレーターの大きさは衝突条件により大きく変化するが、岩石上に作られる実験室スケールのクレーターにおいては、物質強度によりそのサイズが支配されている。例えば、クレーター深さは岩石の圧縮強度と試料内を伝播する衝撃波の圧力分布から決まると考えられ、圧縮剪断破壊を起こす領域がクレーター深さを決める。岩石中を伝播する衝撃圧力の減衰は、距離の-1.7~-1.8 乗であることが玄武岩の実験から分かっており（Nakazawa et al., 2002)、岩石の剪断強度を与えることにより、クレーター深さを見積もることができる。一方、数値シミュレーションにより>10km/s の衝突においては衝突点近傍で衝突融解が起こり、衝突圧力の減衰が激しくなることが示唆されている。しかしながらこれまで有意な大きさ（数 100μm）の弾丸を衝突融解が起こる衝突速度まで加速する方法がなかったため、衝突融解が引き起こす衝撃波の減衰過程については、ほとんど実験的に調べられて来なかった。そこで本研究ではレーザー加速弾丸を用いたクレーター形成実験を行い、衝突溶融が及ぼす衝撃波の減衰に対する影響を調べることにした。

実験方法

レーザー加速用の弾丸には直径 110μm のアルミニウム球を用いた。この弾丸を激光レーザーにより 13.5km/s まで加速し、玄武岩プレート（城之崎産、1.5cm×1.5cm×3mm）に衝突させて、鏡面研磨した表面にクレーターを形成させた。玄武岩プレートは、衝突の衝撃で過度に破壊・破損しないように銅板にエポキシ樹脂で貼り付け、表面を中央に穴を開けた銅板で挟み込んだ。回収した試料は、クレーター形状と表面状態を電子顕微鏡と光学顕微鏡で観察した。

実験結果

回収された玄武岩上に形成されたクレーターは、深さ/直径が 0.1 以下と非常に浅いものであった。また、クレーター外周はスポール破壊により形成されたように見える。形状は円よりも長方形に近く、これもスポール破壊による孔形成を示唆する。外周の一部に融解固結物が発見されたが、これは衝突によるものか、レーザーの直接照射によるものかは、今のところ不明である。クレーター直径と弾丸の運動エネルギーの関係を見ると、これまでの数km/s以下の衝突実験の結果と整合性があることがわかった（図1）。一方、クレーター深さに関しては、これまでの結果を外挿した値よりかなり小さくなった。これは、衝突点における融解により極端に圧力減衰が大きくなったためと推測される。

Nakazawa et al. (2002) *Icarus*, **156**, 539.

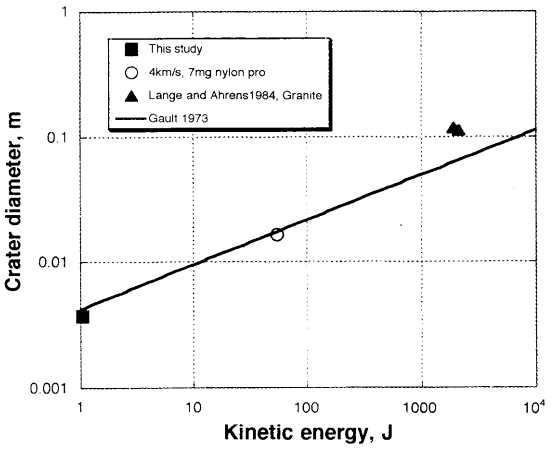


図1 弾丸の運動エネルギーとクレーター直径の関係. 玄武岩上にできるクレーターの比較

P129

宇宙における強誘電体氷の存在と構造推定
--赤外分光法及び中性子回折実験を用いて--

○荒川雅[1,2], 深澤裕[2], 鍵裕之[1,2]
([1]東京大学大学院 理学系研究科, [2]日本原子力研究開発機構)

氷は宇宙空間に豊富に存在する (e.g., Kouchi et al., 1994)。氷を主成分とするいくつかの天体が存在することも報告されている。さらに近年、宇宙における ice XI の存在が提唱されている (Fukazawa et al., 2005; 2006)。ice XI は、常温常圧で安定な ice Ih の水素原子が秩序化した構造を持ち、正負に分極した強誘電体である。この強誘電体氷 ice XI は、57–66 K で安定であると報告されている。太陽系において ice XI が存在すると考えられているのは、この温度条件を満たす、天王星、海王星及びこれらの惑星の衛星、土星の環の一部である。さらに、冥王星にも強誘電体氷 ice XI が存在する可能性が示唆されている (McKinnon & Hofmeister, 2005)。

冥王星は薄い大気をまとった氷天体である。表面の氷は大気圧であるが、中心に近づくほど圧力は高くなる。つまり、冥王星の内部には高圧低温条件の氷が存在する。冥王星の内部の氷がどのような状態で存在しているかは、非常に興味深い。近年、氷の低温高圧低温条件における新たな安定相 ice XIII, XIV が報告された (Salzmann et al., 2006)。ice XIII, XIV は、水分子の水素が秩序化した氷である。この温度圧力条件を冥王星の内部に当てはめると、中心付近は ice XIV, その外側に ice XIII, さらに表面までの外側は ice XI として存在することになる。しかしながら Salzmann et al. (2006)では、相転移を促進させるための不純物として DCl を添加した試料から ice XIII, ice XIV が生成し、KOD を添加した試料からは生成しなかったと報告している。宇宙におけるこれらの氷の存在を考えた場合、ice XIII, XIV は不純物の違いによらず普遍的に生成するべきである。そこで、極微量の NaOD を不純物として用いて低温高圧条件の氷を生成し、粉末中性子回折測定を行った。本発表では、測定結果及び、構造解析を行った結果について報告する。

また、高圧条件を保ったまま粉末中性子回折を行うために、小型マルチアンビルセルの開発を行っている。このセルを用いることで、約 10 GPa までの高圧下における粉末中性子回折実験が可能となる。このマルチアンビルセルの現状についても発表する。

さらに、赤外分光法を用いた強誘電体氷 ice XI の測定も行っている。近い将来、惑星探査や電波望遠鏡による観測により、宇宙に存在する氷の赤外スペクトルが得られる予定である。宇宙における強誘電体 ice XI を調べるには、実験室において ice XI の赤外スペクトルを測定し、その特徴を詳しく観察することが必要である。そこで、ダイヤモンドの基盤上に ice XI を生成し、赤外吸収スペクトルを測定する。600–800 cm^{-1} 付近に強誘電体氷特有のピークが観測されると考えられる。また、氷の強い赤外吸収に対処することで伸縮振動、変角振動に由来するピークを観測し、ice Ih との違いを詳しく調べる予定である。

Kouchi et al., 1994; Fukazawa et al., *J. Cryst. Growth* **281,** 251–259, 2005; Fukazawa et al., *Astrophys. J.* **653,** L57–L60, 2006; McKinnon & Hofmeister, 2005; Salzmann et al., *Science* **311**, 1758–1761, 2006.

P130

高軌道傾斜角の微小メインベルト小惑星を対象とした高黄緯広域サーベイ

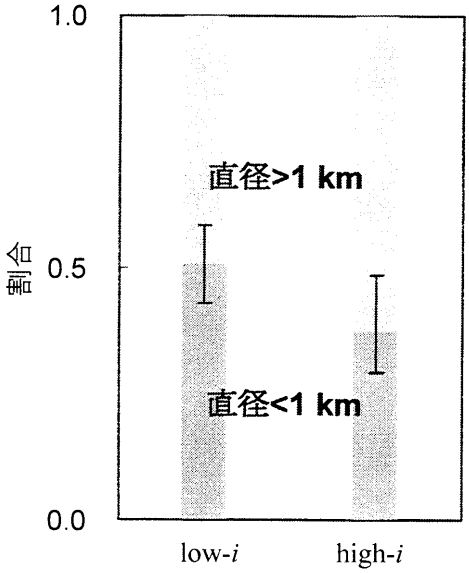
○寺居 剛[1]（terai@stu.kobe-u.ac.jp），伊藤 洋一[1]

[1]神戸大学 大学院理学研究科

メインベルト小惑星（MBAs）の一部は黄道面に対して大きく傾いた軌道をもつ．そのような大きな軌道傾斜角を獲得するには，強い重力作用を受けて軌道が力学的に励起されなければならない．その機構として，木星や原始惑星によって重力散乱された微惑星が衝突破壊を繰り返して小惑星を形成するとともに，軌道励起されて軌道傾斜角が引き上げられたと考えられている（Petit et al. 2001，Bottke et al. 2005）．この過程でもし十分な量の円盤ガスがメインベルトの領域に残存していれば，sub-km サイズの微小小惑星はガス抵抗を受けて軌道傾斜角が減衰する．この効果により，高軌道傾斜角の MBAs は黄道面領域の MBAs に比べて微小小惑星の割合が小さくなる可能性が考えられる．この現象が実際に起こったことが示されれば，太陽系内側部から円盤ガスが散逸したタイミングに制限を与えることができる．

以上のような理由から，我々は sub-km MBAs のサイズ分布が軌道傾斜角の高低で異なるかどうかを調べるため，すばる望遠鏡主焦点カメラ Suprime-Cam を用いて高軌道傾斜角の sub-km MBAs をターゲットとする高黄緯広域サーベイを行ない，黄緯 +25° 付近の 22 領域（5.6 平方度）を撮像した（*r'*バンド，240 秒露出）．さらに，データアーカイブシステム SMOKA から様々な黄緯領域の観測データを取得し，26 領域分を解析した．その結果，計 8.2 平方度から 550 個の MBAs を検出した．限界等級 23.8 等に相当する検出限界直径は 0.7km であり，それより大きな直径の MBAs をサンプル天体とした．

得られたサンプルから軌道傾斜角 15° を境に２つのグループに分け，それぞれで直径が 1km 未満の微小小惑星の割合を求めた．その結果，低軌道傾斜角 MBAs では 0.508±0.077，高軌道傾斜角 MBAs では 0.373±0.081 という値が得られ，高軌道傾斜角 MBAs のほうが微小小惑星の含まれる割合が小さいという傾向が見られた．これは MBAs の軌道進化にガス抵抗の関与があった可能性を示唆している．



低軌道傾斜角 MBAs，高軌道傾斜角 MBAs それぞれの微小小惑星（直径<1km）の割合

P201

月重力場観測のための小型衛星「おきな」「おうな」の軌道上特性

○岩田隆浩[1], 並木則行[2], 花田英夫,[3] 今村 剛[1], 野田寛大[3], 松本晃治[3], 石原吉明[3],
鶴田誠逸[3], 菊池冬彦[3], 劉 慶会[3], 河野宣之[3], 南野浩之[4], 佐々木健[4], 小川美奈[4]

[1)]JAXA 宇宙研、[2)]九州大学・理、[3)]国立天文台、[4)]JAXA

SELENE の主衛星「かぐや」は、２機の子衛星：(1) リレー衛星「おきな（Rstar）」、(2) VRAD 衛星「おうな（Vstar）」の分離に成功した。これによって「おきな」は 2007 年 10 月 9 日に高度 2,395-120km の初期軌道に、「おうな」は同 12 日に 792-129km の軌道に投入された。これらの子衛星は、リレー衛星中継器（RSAT）の 4-way ドプラ計測と、VLBI 電波源（VRAD）の多周波・位相遅延相対 VLBI による月重力場の高精度全球マッピングを開始した。これにより従来の月重力場モデルを改善して、特に縁辺部～裏側の内部構造及びコアの物理を解明しつつある。

「おきな」と「おうな」は測月ミッションに特化した 45kg 級の小型衛星であり、重力場推定精度の向上と軽量化のために能動的軌道・姿勢制御を行わない小型衛星である。両衛星では、4-way ドプラ計測と多周波位相遅延 VLBI が同時に可能となるよう、周波数回路を合成した。また、新規開発した軽量型分離機構に対して、通信と発生電力からの姿勢要求を満足することを、地上試験と Micro-Lab Sat による軌道上実証により確認した。これらを含む設計・開発・試験フェーズを経て、前項に述べた軌道上分離に至った。10 月から 11 月にかけての初期チェックアウトでは、バス機器、観測機器、及び地上局を含む観測システムの機能性能確認を行った。主な結果は、以下にまとめられる。

- 電源系：ニッケル水素（NiMH）蓄電池、高効率シリコン太陽電池、電力制御器は、ミッション遂行に必要な電力の発生・蓄積・分配が可能な性能を有している。
- 熱制御系：熱モデル設計は妥当であり、軌道上の熱環境に対して、搭載機器への適切な熱環境の維持・制御が可能である。
- 分離機構：ドプラデータから推定される分離時の姿勢とスピンは、S/X 垂直ダイポールアンテナによる通信リンク、並びに所要電力発生のための太陽入射角からの要求を満たしている。
- 通信機能：全てのテレメトリ・コマンド機能は、正常に動作する。また、通信回線における送受信レベルは回線設計と合致しており、通信電波は所要の重力場計測精度を達成するための特性を有する。

これらの結果から、各観測ミッションの科学目標からの要求を充分満足する性能を有することを確認した。

P202

月探査計画かぐやにおける相対VLBI 観測ミッション

菊池冬彦[1]

[1]国立天文台RISE月探査プロジェクト

惑星の内部構造はその起源と進化を探る上で重要な情報のひとつであり、また太陽系内の惑星の進化を解明するための大きな鍵となる。これまで月内部構造の推定には月内部の局所的な密度異常に起因する衛星軌道の擾乱から推定される重力場と、レーザー高度計観測等による表面地形が主に用いられてきた[Bratt et al.,1985、Konopliv et al.,2001]。重力場は衛星軌道に及ぼす擾乱から推定されるため、衛星の軌道を高精度で追跡することが重要となる。これまで月周回衛星の軌道決定には地上局-衛星間の視線方向距離および距離変化率を観測量とするRange & Range Rate (R&RR) 観測のみが行われてきたが、R&RR観測では視線垂直方向への感度が小さく、特に月縁辺部では重力場に起因する衛星の軌道の摂動をとらえることが出来なかった。そこで、月探査機かぐやの相対VLBIミッション (VRAD) ではVLBI技術を衛星軌道／重力場の推定に応用する[Kawano et al.,1997]。VLBIでは衛星搭載電波源から送信された電波を複数の地上局で受信し、その到達時間差（遅延時間）とその変化率（フリンジレート）を推定する。そのため、R&RR観測とは異なり，視線垂直方向の衛星の位置変化に感度を持つ[Antreasian et al., 2002, Thornton and Border 2003]。このようなVLBI観測を行うことにより、重力場の推定精度が全球的に向上し、特に月縁辺部の重力場をこれまでになく高精度で推定することが可能となる。

VRADミッションでは同一ビームVLBI観測法、スイッチングVLBI観測法という２種の観測法を用い、VLBI観測の最大の誤差要因である大気遅延、電離層遅延の相殺に成功した。その結果、多周波VLBI法を用いてX帯相対位相遅延時間を2πのアンビギュイティなく、1psの精度で推定することに成功した。現在、RSATミッションで取得した2-way&4-wayドップラデータと２-３ヶ月分のVLBIデータを用いた月重力場解析を実施しており、本講演では、最新の月重力場推定結果等について報告する。

P203

かぐや（SELENE）の子衛星の高精度位置決定：多周波数同一ビーム法に基づく相対 VLBI 観測

Precise Orbit Determination of the Two Sub-Satellites of SELENE (KAGUYA): Differential VLBI Measurements Based on Multi-Frequency and Same Beam Methods

菊池 冬彦 (1)，劉 慶会 (1)，花田 英夫 (1)，河野 宣之 (1)，松本 晃治 (1)，岩田 隆浩 (2)，ホーセンス サンダー (1)，浅利 一善 (1)，石原 吉明 (1)，鶴田 誠逸 (1)，石川 利昭 (1)，野田 寛大 (1)，並木 則行 (3)，ペトロバ ナタリア (4)，○ 原田 雄司 (1)，平 勁松 (5)，佐々木 晶 (1) [(1) 自然科学研究機構国立天文台 RISE 月探査プロジェクト，(2) 宇宙航空研究開発機構宇宙科学研究本部固体惑星科学研究系，(3) 九州大学大学院理学府地球惑星科学専攻，(4) カザン州立大学，(5) 中国科学院上海天文台宇宙地球ダイナミクス研究センター]

Fuyuhiko Kikuchi (1), Qinghui Liu (1), Hideo Hanada (1), Nobuyuki Kawano (1), Koji Matsumoto (1), Takahiro Iwata (2), Sander Goossens (1), Kazuyoshi Asari (1), Yoshiaki Ishihara (1), Seiitsu Tsuruta (1), Toshiaki Ishikawa (1), Hirotomo Noda (1), Noriyuki Namiki (3), Natalia Petrova (4), ○ Yuji Harada (1), Jinsong Ping (5), Sho Sasaki (1) [(1) RISE Project Office, National Astronomical Observatory of Japan, National Institutes of Natural Sciences, (2) Department of Planetary Science, Institute of Space and Astronautical Science, Japan Aerospace Exploration Agency, (3) Department of Earth and Planetary Sciences, Graduate School of Sciences, Kyushu University, (4) Kazan State University, (5) Center for Astro-Geodynamics Research, Shanghai Astronomical Observatory, Chinese Academy of Sciences]

月は，全球での重力場の推定が困難となる厄介な特徴を持つ．それは自転・公転が同期している事，つまり表側・裏側が存在する事である．その為，従来のドップラー観測では大きく二つの問題点があった．一つは裏側が見えない事（注），もう一つは表と裏の境界に相当する縁辺部で精度が劣化する事である．この内の後者の理由は，縁辺部の重力場を調べる為には視線に垂直な方向の運動を調べる必要があるからである．ドップラー観測は視線方向にしか感度を持たない為，縁辺部における精度は悪かった．この問題は特に重力場の低次項の精度，更には重力偏平率・潮汐ラブ数等の精度を改善する上で大きな障害となっていた．（注：裏側の問題とその解決については共著者の一人である並木氏の講演を参照の事．）

この問題を解決すべく「かぐや（SELENE）」の VRAD ミッションでは目下，VLBI 観測が実施されている．VLBI 観測はドップラー観測と異なり視線に垂直な方向に感度を持つ．従って重力場モデルの改善，取り分け低次項の改善に寄与する事が期待される．現時点までの子衛星の VLBI 観測は，国内観測に限って言えば約 8 ヶ月間の観測実績がある．但し相関処理・遅延推定等の一連のデータ解析の全てを自動化する事は困難である為，解析は観測に対してリアルタイムに進んでいないのが現状である．よって本発表では，同一ビーム観測のデータの一部を利用した S 帯における遅延推定の成功例に止める．今後，より多くの VLBI 観測データを軌道・重力場へ反映させる為，未だ処理されていないデータの解析を急ぐ．

Multi-frequency and differential VLBI (*i.e.* Very Long Baseline Interferometry) methods of the two sub-satellites of SELENE (KAGUYA) are demonstrated for purpose of precise orbit determination, and also precise gravimetry of the Moon. Accuracy of the differential VLBI measurements, especially same beam VLBI observation is much smaller than former VLBI results, revealing the possibility of precise gravimetry of the Moon.

P204

Far side gravity field of the Moon from four-way Doppler measurements of SELENE (Kaguya)

°Noriyuki Namiki, Takahiro Iwata, Koji Matsumoto, Hideo Hanada, Hirotomo Noda, Sander Goossens, Mina Ogawa, Nobuyuki Kawano, Kazuyoshi Asari, Sei-itsu Tsuruta, Yoshiaki Ishihara, Qinghui Liu, Fuyuhiko Kikuchi, Toshiaki Ishikawa, Sho Sasaki, Chiaki Aoshima, Seiji Sugita, Tadashi Takano, Kosuke Kurosawa, Mizuho Matsumura, Masanori Yokoyama, Syun-ichi Kamata , Naohiro Kubo, Mari Sato, and Asako Mori.

Abstract

The far side gravity field of the Moon is resolved from tracking data of the main spacecraft of SELENE via a relay sub-satellite. The new gravity field model, SGM90d, reveals distinctive differences between features on the near side, such as positive anomalies, and the far side, such as negative anomaly rings. Non-mascon basins, including those on the far side as well as the limb such as Hetzsprung, Mendeleev, Moscovience, Orientale, and Mendel-Rydberg, are classified into two types depending on the magnitude of central gravity high. The second type of those non-mascon basins reveal close association with mare volcanism. The crust-mantle boundary is flat for basins at the center of the far side and uplifted for basins along the border between the far and near sides. Variable styles of compensation on the near and far sides suggest that the lithospheric of the far side was more rigid than that on the near side at the end of heavy bombardment.

P205

「かぐや」における、局所重力加速度データによる月の裏側の高分解能重力場解析

○松村瑞秀[1]、岩田隆浩[2]、松本晃治[4]、菅野貴之[5]、
並木則行[3]、石原吉明[4]、Goossens Sander[4]

[1]東京大学、[2]JAXA・ISAS、[3]九州大学、[4]国立天文台、[5]東京大学地震研

はじめに

重力場研究により月の内部構造を知ることは、その起源や進化を議論する手がかりとなり、また正確な重力場を出すことは、将来の月探査ミッションにも貢献する。
重力場モデルは、探査衛星のトラッキングデータ(ドップラーデータ)の解析により得られる。月周回衛星「かぐや」では、主衛星の他に中継衛星を置き4wayドップラー観測を行うことで、初めて月の裏側の重力場を直接観測することに成功した。それにより月のグローバルな重力場のマップが作成され、月の表側と裏側での重力異常の差が明らかになった。それは、月の内部構造の二分性をあらわしており、さらには月の進化の二分性を議論する手がかりとなる。
本研究では、以下に述べる局所的な重力場を改善する手法を使い、地形とのより詳細な相関をみることで、月内部構造への新たな知見を与えていく。

目的

Lunar Prospectorミッションまでの重力場解析では、重力場は球面調和関数で展開した形として表されてきた。「かぐや」における月の重力場では、それに4way観測の機能が追加されており、球面調和関数で重力場を展開しグローバルなマップを作成するという手法は踏襲されている。衛星のドップラーデータから重力場を出すまでの計算はGEODYN IIというソフトウェアで行われる。GEODYN IIでは、まずアプリオリな重力場を与え、軌道推定することで得られるドップラーの計算値と、実際のドップラー観測値とを比べ、その残差を最小にするように重力場の球面調和展開係数を修正し新たな重力場として与えるという手法をとっている。しかし、球面調和展開での解析では得られた衛星の軌道の全体を最適化するような重力場を出すため、局所的な重力異常の情報が失われてしまうという問題がある。そこで本研究では局所重力加速度解析という手法を導入し、球面調和展開された重力場だけでは表しきれていないローカルな重力異常を出していく。

方法と評価

手法としては、GEODYN II内の計算における残差に着目する。GEODYN IIでは前述した重力場を出す計算において何度イタレーションをかけても、与えられた重力場からのドップラーの計算値と観測値との残差が観測精度以上に残ってしまう。残差はGEODYN II内で速度の次元に単位変換されいる。本研究では、4wayドップラー観測において中継衛星の軌道はGEODYN IIで正しく決定されているとし(軌道の高度が高いことより)、残差を主衛星の軌道の補正すべき量だと考える。具体的には、局所的な地域において残差を直接差分することで加速度を出し、その月中心方向の量をGEODYN IIの重力場に補正すべき重力加速度とすることで、球面調和展開により失われた局所的な重力異常を導出する。
局所的な地域のとり方としては、先行研究として[1]Sugano et al., 2004の手法を参考にする。具体的には、月面上でのある一定の範囲の地域に着目し、その上空での衛星の軌道は、その地域からの重力効果を受けると仮定する。
補正された重力を局所重力加速度として、地形との相関をみていき解析手法を検証する。またその結果に基づき、月内部での重力異常を引き起こす密度異常の深さの情報を議論していく。

References
[1]Sugano T.: Lunar Interior Studies using the Lunar Prospector Line-of-sight Acceleration Data, Dr. Thesis, Dept. Astron. Sci, Graduate Univ. for Adv. Studies, 2004.

P206

かぐや搭載LALTによる月大規模衝突地形の探索

○野田寛大[1]、石原吉明[1]、並木則行[2]、杉田精司[3]、岩田隆浩[4]、荒木博志[1]、佐々木晶[1]、田澤誠一[1]

[1]国立天文台　[2]九州大　[3]東大、[4]宇宙航空研究開発機構

月には風化作用がなく、重爆撃期にできた衝突盆地がそのまま残っているため、太陽系の歴史がそのまま保たれている。大規模衝突盆地の大きさと生成年代から累積サイズ分布が得られ、重爆撃期の情報を得ることができると考えられている。

月の大規模衝突盆地は過去の衛星ミッションのデータから多くが識別されているが、主にi)画像から構成されたデジタル高度モデル、ii)高度計による直接観測、iii)重力場モデル、から発見されてきた。これまでに複数の著者により同定された大規模衝突盆地について、C. Woodが2004/8/14付けでまとめてウェブページに公開している（[1]）。さらにFrey (2008) は自動判定で新たに92個の同定されていない盆地を発見したとしている([2])。

本論文では月探査衛星「かぐや」主衛星に搭載されたレーザ高度計（LALT）で得られた地形図、および主衛星および主衛星一子衛星Rstarによる衛星間追跡データを用いた全球重力場データを用いて、月の大きな衝突盆地の探索を行う。

精度とデータ点数においてこれまで得られた地形図をはるかに凌ぐLALTのデータを補間して作成した空間分解能1/16度のグリッドデータと、初めて直接観測で得られた月の裏側のデータを含む展開次数90次の重力場モデル（SGM90d）を用いて、視覚的に盆地を同定する。C.Woodのまとめにある53個の盆地のうち、これまでのデータでは確認が難しかったものについて本データセットで確認を行い、さらに新たな盆地を探索する。

参考文献：

[1] http://the-moon.wikispaces.com/Lunar+Basins+List

[2] Frey, H. V., LPSC XXXIV abstract (2008)

P207

レーダーサウンダデータのマイグレーション処理の試み

○渡辺　志穂[1]，渡辺　俊樹[1]，押上　祥子[1]，望月　憲悟[1]，山口　靖[1]，山路　敦[2]，
小野　高幸[3]，熊本　篤志[3]，中川　広務[3]，小林　敬生[4]，笠原　禎也[5]

1、名古屋大学大学院環境学研究科地球環境科学専攻
2、京都大学大学院理学研究科地球惑星科学専攻
3、東北大学大学院理学研究科地球物理学専攻
4、韓国地質資源研究院
5、金沢大学情報メディア基盤センター

Lunar Radar Sounder (LRS) は、月表層部の地下構造の推定を目的とした観測機器である。観測方法は、HF バンドの FM-CW パルスレーダを用い、月地下の誘電率の異なる境界面からの反射波を検出するというものである。LRS は、衛星直下の地表面や地下境界面からの反射波だけではなく、衛星の側方に強い反射を起こす地形があると、そこからの反射波も受信する。その代表例は衛星に向いたクレーターの内壁であるが、こうした孤立点からの強い反射は、画像化したとき、双曲線状のエコーとして現れる。これは、衛星と孤立点との距離が変化する間に、孤立点からの反射が連続的に受信されるためである。この双曲線状のエコーは、衝突クレーターの密度が高い高地で多く観測される。そのため、高地の画像では地下境界面が双曲線状エコーによって隠されている可能性がある。高地は月面の約 80%を占めるため、高地の地下においても地下境界面反射のエコーを抽出することは重要である。そこで本研究では、これらの双曲線状のエコーを除去するため、反射法地震探査のデータ解析に用いられるマイグレーション法を適用した。マイグレーション法とは、時間軸を逆にたどることによって、双曲線状の反射エコーを本来の孤立した反射点に戻す方法である。マイグレーション処理を行うために、Seismic Unix(SU)という反射法地震探査データ処理ソフトウェアを使用した。LRS は各観測パルス波形のパワースペクトルを記録しているのに対し、反射法地震探査では地下から反射した波形を記録しているという違いがある。そのため、LRS データをそのまま SU で処理しても良い結果が得られない。この点を解決するため、画像化した LRS データをまず飛行方向に 10 パルス分平均し、次にレンジ方向に移動平均したデータと元データとの差分を取ることによって、擬似波形データを作った。このデータに対してマイグレーション処理を行った結果、双曲線状のみかけのエコーを本来の反射点である孤立点に戻すことができた。マイグレーション法は、LRS データからの地下エコー検出のための前処理として、有効な手法となり得ると考えられる。

P208

アポロ月震データの再解析
：バンドパスフィルタ処理によるイベント検出の試み

○小林佑輔[1,2]、田中智[2]、斎藤靖之[2]、川村太一[1,2]、アクセル・ハーガマン[3]、小林直樹[4]
[1]東京大学、[2]ISAS/JAXA、[3]Open Univ.、[4]東京工業大学

アポロミッションで観測された月震イベント 12,558 の約 1/4 に当たる 3,243 イベントは震源が決まっていない。また、震源が 1000 -800 km の深発月震に分類された 7245 イベントのうち 1420 イベントは、1 点の月震計でしか受かっておらず波形の相関により決められたに過ぎない(Nakamura, 2003)。これは月震波形の S/N 比が悪く月震波到達時刻を決めれる程十分でない事が原因である。

先行研究として、Lunar Surface Gravimeter のデータにバンドパスフィルタ処理を行った結果、S/N 比を向上させることができ、月震波到達時刻を決めることができた(Kawamura et al., 2008)。この手法を用いて、これまで月震波形として認識されていないデータから、月震波形の抽出を試みた。

本研究では、観測波形を 60 s の時間ウィンドウでパワースペクトルを計算し、その時系列変化と月震イベントの対応に注目した。月震発生時に見られる長周期月震計 0.6-1.0 Hz、短周期月震計 1.5-2.0 Hz の特徴的な周波数領域におけるパワースペクトルの有無を確認することで、ノイズに隠れた月震波シグナルを見つけること可能となった。この特徴的な周波数領域には月震計の機器ごとに特徴があるが、深発月震においてシグナルの強さや、震源の違いによって変動せず一定であることを観測波形の周波数スペクトルを比較することで確認した。この周波数領域でのバンドパスフィルタをかけることで、観測波形の S/N 比を向上させ、月震波形の存在を確認することができた。

1976 年 3 月～1977 年 9 月の月震データ中、アポロ 12 号、14 号、15 号、16 号着陸地点の月震計のうち、これまで 14 号月震計では月震波を確認していない(Nakamura,1983 Nakamura,2003) 総 560 イベントの解析を行った。パワースペクトルの計算から 18 イベントに月震シグナルの存在可能性を見出した。このうち、77 年 7 月 8 日のイベントにバンドパスフィルタを掛けた結果、S/N 比を向上させ月震波を確認することができた。同イベントでは 15 号月震計データからも、これまでないとされていた月震波形を抽出することができた。結果 2 点でしか得られていなかった月震波形を、今回の解析により 4 点得ることができた。

バンドパスフィルタ処理による月震波形の抽出によって、これまでの震源決定の再検証や新たな震源決定の可能性がある。

P209

SELENE(KAGUYA) 搭載地形カメラによって明らかにされた月の裏側の海の活動史

○春山純一，大竹真紀子（JAXA），松永恒雄（国立環境研），諸田智克，本田親寿，横田康弘，安部正真（JAXA），小川佳子（国立環境研），宮本英昭，岩崎晃（東大），カーリ・ピータース（ブラウン大），浅田智朗，出村裕英，平田成，寺薗淳也（会津大），佐々木晶（国立天文台），佐伯和人（阪大），山路敦（京大），ジャン一リュック・ジョセ（スイス宇宙探査研究所）

概要：月の裏側については、これまで、100mより高精度の解像度データが不足していた。また、太陽高度の不適切さや、画質の悪さなどもあり、数100mのクレータの同定が困難であることが多かった。今回我々は、SELENE（KAGUYA）搭載地形カメラは、月の裏側において10m解像度においてデータを取得し、年代の推定を行った。結果、月の表側と同様に30億年頃までに、裏全域の多くの海のユニット形成が終了していることがわかった。一方で、裏の広範囲な領域に渡り、いくつかの領域においても、今までより若い（～25億年）海ユニットが同定された。これらのことは、月の内部活動を考える上で重要な制約となる。

表 1. 今回求められた裏の海の年代

Mare		Area [km^2]	Age [Ga]	Previous studies
Poincare	S	734.0	3.17	Im
	NW	490.6	3.46	Im
	E	1067.2	3.13	Im
			3.52	
Ingenii		1291.8	3.20	Im
			3.51	
Antoniadi		592.7	2.58	Im; EIm
Chretien		1183.1	3.28	Im
			3.46	
Jules Verne		815.2	3.34	Im
Aitken		1257.1	3.28	Im; 3.8Ga
			3.49	
Apollo N		1541.5	2.49	Im, 3.63Ga
			3.51	
Apollo S		778.4	2.44	Im 3.63Ga
Von Karman		1628.6	3.35	Im
Von Karman M		1220.6	3.38	Im
Leibnitz		926.0	3.44	Im
			3.50	
Rumford		239.0	3.35	Im
Maksutov		615.3	3.27	Im
			3.48	
Nishina		596.7	2.47	Im
			3.16	
			3.85	
Moscoviense	NW	1576.1	3.50	Im
	E	2543.5	2.57	Im
			3.55	

P210

月周回衛星かぐや搭載マルチバンドイメージャによる初期成果

○大竹真紀子[1)]、横田康弘[1)]、杉原孝充[2)]、廣井孝弘[3)]、平田成[4)]、
出村裕英[4)]、諸田智克[1)]、本田親寿[1)]、松永恒雄[5)]、小川佳子[5)]、春山純一[1)]
1)宇宙航空研究開発機構、2)海洋研究開発機構、3)ブラウン大学、
4)会津大学、5)国立環境研究所

はじめに：マルチバンドイメージャ(Multiband Imager; MI)は2007年に打ち上げられ、現在運用が続けられている月周回衛星かぐや（SELENE）に搭載されているLISM（月面撮像/分光機器）観測機器の１つである。MIは高度100km±30kmの軌道から、415nm～1550nmの可視・近赤外波長域において合計9バンドの月表層分光画像を取得し、太陽光入射に対する月面の反射特性を観測する。可視近赤外波長域の月面反射光には表層に存在する鉱物種に起因した特徴的な吸収帯が存在する。これら鉱物の吸収帯を識別する目的で設定したMIの9バンド分光画像を用い、全球にわたり月表層の鉱物分布を知り、鉱物分布から月の化学組成と進化過程を調べることがMIによる観測の目的である。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UVVISカメラによる観測と比較して、MIでは1桁高い月面空間分解能(可視域約20m/pixel、近赤外域約60m/pixel)と高いS/N(可視域100以上、近赤外域300以上)、バンド間視差を用いた地形モデル作成とその地形モデルを用いた入射・出斜角条件の違いによる反射率地形補正が可能となる点が優れている。

MIによる観測：2008年9月14日のかぐや打ち上げ以降、同年11月3日にLISM機器による最初の観測を実施後、機器の動作確認や基本的な性能評価を行う初期チェックアウト期間を経て、MIによる定常的な観測を2009年1月18日より開始している。現在までに観測性能等に大きな問題は生じておらず、予定していたノミナルミッション中の観測のうち約80%を終了している。

MIデータの処理：MIデータの処理は宇宙航空研究開発機構相模原キャンパスに設置されているデータ処理センターにて実施している。現在、暗時補正・フラットフィールド補正など校正係数決定および評価を実施中であり、かぐやノミナルミッション終了直後から定常的なMIデータ処理（ここでの処理プロダクトを将来一般公開に資する）を実施予定である。現在はLISMチームメンバーによる解析研究に用いる個別条件での処理を実施中。

MI初期成果：月表面に存在する比較的大型の複雑クレータには隕石衝突により地形が隆起して出来た中央丘と呼ばれる地形が存在する。この中央丘は、もともと地下に存在していた層が地表に現れたものであると考えられることから、中央丘を構成する物質の岩石種や中央丘に存在する鉱物の化学組成などを調べることにより、隕石衝突による攪拌の影響をあまり受けていない、より形成時の情報を保持したままの月地殻の組成を知ることができると考えられている。今回の研究では、いくつかのクレータ中央丘に着目し、MIデータを用いて中央丘に存在する岩石種や鉱物組成、鉄存在量などの情報から、各クレータが存在する領域での月地殻の組成を推定した。発表ではこれらMIデータによる解析結果と従来の月地殻推定値との比較結果について紹介する。

P211

月周回衛星かぐや搭載マルチバンドイメージャデータの輝度校正・幾何補正

○大竹真紀子[1)]、横田康弘[1)]、松永恒雄[2)]、春山純一[1)]
1)宇宙航空研究開発機構、2)国立環境研究所

はじめに：マルチバンドイメージャ(Multiband Imager; MI)は2007年に打ち上げられ、現在運用が続けられている月周回衛星かぐや（SELENE）に搭載されているLISM（月面撮像/分光機器）観測機器の１つである。MIは高度100km±30kmの軌道から、415nm～1550nmの可視・近赤外波長域において合計9バンドの月表層分光画像を取得し、太陽光入射に対する月面の反射特性を観測する。可視近赤外波長域の月面反射光には表層に存在する鉱物種に起因した特徴的な吸収帯が存在する。これら鉱物の吸収帯を識別する目的で設定したMIの9バンド分光画像を用い、全球にわたり月表層の鉱物分布を知り、鉱物分布から月の化学組成と進化過程を調べることがMIによる観測の目的である。現在までにMIの観測性能等に大きな問題は生じておらず、予定していたノミナルミッション中の観測のうち約80%を無事終了している。

MIデータの輝度校正・幾何補正：MIデータの処理は宇宙航空研究開発機構相模原キャンパスに設置されているデータ処理センターにて実施している。MIデータ処理は、衛星かぐやからダウンリンクされたデータのデパケット、LISMを構成する3機器の切り分け、観測時間順での並べ替え等を実施後、暗時およびフラットフィールドなどの輝度校正と画像間での観測位置あわせ、月面反射率への変換や幾何補正、地図投影という順で行う。

MIの輝度校正は主に暗時校正とフラットフィールド校正処理からなる（可視域データにはこれらに加えてフレームトランスファー校正を行う）。暗時校正用係数は月の日陰側での観測データ取得を毎周回行い、各データ取得時の観測機器温度と暗時出力値との関係式から求める。フラットフィールド校正は日照側での観測データを大量に加算し、画素毎の総和を画素間で比較することで実施する。一方、幾何補正は打ち上げ前の視線ベクトル情報と画像マッチング（各画素出力を用いて画像間での同一観測位置を検出・一致させる処理）により実施する。

MIデータの輝度校正・幾何補正評価：月面輝度絶対値（反射率絶対値）がこれまでに正確に得られていない事から、MIデータの輝度校正結果を定量的に評価することは難しい。ただし、月面校正サイト（アポロ16号着陸地点付近）を複数回観測した各データの輝度校正処理結果の比較から、少なくとも相対的な輝度校正精度は現状でも約±5%以内であることが解った。一方、アポロ画像や月面反射鏡情報を用いて従来作成されている月面数値地形モデルと、今回MIデータに対して実施した幾何補正結果（各画素間の距離と標高情報）の比較から、幾何補正精度はアポロ画像から作成した月面数値地形モデルの精度（画素間距離および標高とも約200m）以内であることが解った。これら評価結果から、MIデータ処理において、すでに充分な輝度校正・幾何補正精度が得られていると言える。

P212

かぐやマルチバンドイメージャの測光補正：位相角補正と地形傾斜補正の波長依存性検討

○横田康弘[1]、大竹真紀子[1]、松永恒雄[2]、春山純一[1]、小川佳子[2]、本田親寿[1]、
諸田智克[1]、北里宏平[3]、佐伯和人[4]、川邊聖司[4]、長澤健一[4]、中村良介[5]
[1]JAXA, [2]国環研, [3]神戸大, [4]阪大, [5]産総研

かぐやLISMマルチバンドイメージャ(MI)は、VISセンサで20m、NIRセンサで60mという高い空間分解能により月面を観測している。異なる観測時期のデータを比較する上では、測光関数を用いて観測幾何学条件を揃える補正が必要である。従来のClementine UV-VIS画像（空間分解能120～200m）補正では水平な月面が仮定されていたが、傾斜の大きいクレータ斜面・丘陵・中央丘等においては斜面の向きまで考慮しないと反射率算出結果が大きくずれる可能性がある。例えば、位相角30°の観測では3割程度、70°では倍程度ずれることがある。

LISM用に開発された輝度幾何補正システムでは地形の傾斜まで考慮した測光補正が可能である。MI用補正では、地形カメラ（TC）の地形データの他にMI自身のバンド間視差を用いたステレオ視の地形データも扱えて、画素ごとに観測角度（入射角i・射出角e・位相角α）が算出される。観測角度のうち傾斜で変わるのはiとeである。現状の測光補正式はClementineモデル（McEwen 1996, 1998）に基づいており、i・e補正項はLambert反射則(cos i)とLommel-Seeliger反射則(cos i/[cos i + cos e])の混合で表される。両者の重みはαの関数として与えられるが、従来モデルでは波長依存性は考慮されていなかった。そこで我々は測光補正改良の第1段階として、MI実データ自身を用いて経験的に、MI各バンドに最適な重み関数を求めようとしている。本講演ではその経過を報告する。

本研究では、位相角αを固定してi, eと反射光強度の関係だけを調べるために、以下のようなアプローチをとっている。

(1) 一画面内の傾斜変化のある小領域に注目することで、i, eのバリエーションを確保しつつαの変化は少なくする。

(2) 輝度幾何補正ソフトウェアが内部算出しているi, e, αを途中出力させる。

(3) 反射率の空間変化の影響を除くため、地質的に複雑でない場所を選ぶ。

これまでの検討では、従来曲線と比較して低位相角(約30°)ではよりLommel-Seeliger的で、高位相角(約70°)ではよりLambert的な振る舞いをする傾向が分かってきた。また、波長が短いほどLommel-Seeliger的となるが、短い波長では月面反射率が低く多重散乱の影響が小さいためと定性的には解釈できる。

P213

かぐや搭載スペクトルプロファイラによるswirl構造の連続分光観測と鉱物分布の推定および成因への制約

○小川佳子[1], 松永恒雄[1], 春山純一[2], 中村良介[3], 大竹真紀子[2], 廣井孝弘[4], 荒井朋子[5], 佐伯和人[6], 横田康弘[2], 本田親寿[2], 諸田智克[2], 鳥居雅也[2], 二村徳宏[2], 安部正真[2]

[1]国立環境研究所 [2]ISAS/JAXA [3]産総研 [4]ブラウン大 [5]極地研 [6]大阪大

月探査衛星かぐや(SELENE)に搭載されているスペクトルプロファイラ(SP)は約一年間月面を可視・近赤外域(500-2600 nm)で連続分光観測を続けている。高い波長分解能 (6-8 nm) と SN 比 (～2300) から月の鉱物組成に関する情報を得ることを目指している。本講演ではSPの連続反射スペクトルデータを用いて、swirlと呼ばれる磁気異常/アルベド構造について調べた結果を報告する。

月表面には、Airy, Reier Gamma, Mare Ingenii, Gerasimovichなどの"swirl"と呼ばれる畝ったような構造をもつアルベドコントラストが複数観測されている。これらはスケールや具体的な形状は様々だが、一般的にひどく滑らかで地形の少ない地域に存在し、いずれも強い磁気異常を示す。その成因については、彗星起源、隕石swarm衝突あるいは巨大ベイスンに伴うmagnetic shielding等の説があるが、ほとんどわかっていない。その理由の1つが、観測量の少なさである。特に月面裏側のswirlの分光データはほとんど得られていないのが現状である。アルベドコントラストの実体が風化度の違いを示すのか、組成差を示すのか、SPの連続分光データを用いて制約を与える。

まず、TC/MI同時観測画像を参照しながらアルベドの異なる区分：うねったような明るいアルベド部分、それに挟まれた暗い線状部分(ダークレイン)およびバックグラウンドを同定し、SPデータを用いて各区域におけるスペクトル特徴を抽出する。結果、ダークレーンでは明るい部分とバックグラウンドの中間的なに風化度を示すことがわかってきた。一方組成的に大きな変化は見られない。

またTC/MIの高解像度画像を用いて、明るい部分にある小さなクレーターとバックグラウンドにある小さなクレーター形状に差異がないか調査する。もし彗星起源等で明るいアルベド部が薄く積もった層に相当するのあれば、クレータの埋もれ方に違いが見られるはずである。

P214

かぐや搭載 Spectral Profiler を用いた月の玄武岩溶岩流の吸収波長シフトの検出

○佐伯和人[1]，川邊聖司[1]，長澤健一[1]，荒井朋子[2]，児玉信介[3]，松永恒雄[4]，中村良介[3]，廣井孝弘[5]，小川佳子[4]，大竹真紀子[6]，春山純一[6]，横田康弘[6]，本田親寿[6]，諸田智克[6]

[1]大阪大，[2]極地研，[3]産総研，[4]国立環境研，[5]ブラウン大，[6]JAXA

輝石のFe^{2+}による1ミクロン付近の吸収波長はカルシウム量や鉄マグネシウム比によってシフトすることが知られており，月のリモートセンシングでこのシフトを検出できると，月の岩石の生成環境を制約することができる．本研究では，「かぐや」搭載の Spectral Profiler(SP)の分光スペクトルデータより月の玄武岩溶岩流のFe^{2+}の吸収ピークのシフトを検出する試みを行った．このわずかな吸収ピークを捕らえるためのデータ処理方法とその結果の確からしさ，可能な地質学的解釈について議論する．

Fe^{2+}の吸収ピークのシフトはあまりにもわずかなものであるため，我々がハレアカラ山（マウイ島，米国）山頂で Advanced Lunar Imaging Spectrometer (ALIS)を運用するまでは，月面リモートセンシングとしてマッピングされることはなかった．ALIS の地上運用による月観測では，晴れの海のピークシフトマップをつくることに成功したが，このピーク位置は相対比較のみが可能なデータで，ピーク位置の絶対値は実験室データとは比較できないものであった．それは，大気の影響を取り去るためや，ALIS の測定波長の限界から，相対シフトに的を絞った特殊な解析方法を取らざるを得なかったためである．今回の研究では，「かぐや」搭載の SP のデータを使うことで，Fe2+の吸収ピークの位置の値を議論できるデータが取得できるようになった．しかし，そのシフトの量はわずかであるために，宇宙風化の影響を取り除くためのベースライン補正や，スムージングや統計処理を駆使しなくてはならない．こうして検出したピークデータの確からしさを議論する．ところで，検出されたピークの変化が主として Mg/Fe 比によるものであるとすると，玄武岩溶岩中のピークが短い方へシフトした地域は，Mg に富む地域と解釈することができる．この場合，最も単純な解釈として以下の二つが考えられる．一つは，この化学変化は，マグマ供給源の岩石の部分熔融度の変化を現しているという解釈である．Mg に富む部分は，高い部分熔融度の母岩から出てきた溶岩，すなわち末期の溶岩流であることが示唆される．もう一つは，この化学変化は，溶岩噴出後の化学進化を現しているという解釈である．溶岩が流れながら Mg に富むカンラン石や輝石を晶出・沈積させると，火口から離れるほど Fe に富むようになる．いずれの解釈でも Mg に富む地域は火口の位置を示唆していると言える．

P215

月の 20km クレータ Giordano Bruno
：かぐや搭載地形カメラによる 1178 年形成仮説の検証
How old is the lunar crater Giordano Bruno?

諸田智克[1]、春山純一[1]、本田親寿[1]、大竹真紀子[1]、横田康弘[1]、松永恒雄[2]、平田成[3]
出村裕英[3]、武田弘[4]、小川佳子[2]、二村徳宏[1]、安部正真[1]、廣井孝弘[5]

1. ISAS/JAXA、2. 国立環境研、3. 会津大、4. 千葉工大、5. ブラウン大

月のクレータ、Giordano Bruno（直径 22km、緯度 36N、経度 103E）は鮮明な光条を持ち、風化をほとんど受けていない、月面で最も新鮮なクレータである．この Giordano Bruno クレータの形成に関して、過去に興味深い仮説が提案されてきた．

カンタベリーのガーベイスによって書かれた中世の年代記に次のような記録が残されている．

> “この年、聖ジョン祭の前の日曜日、月がはじめて見えるようになった日の日没後、この月にむかって坐っていた５人以上の人が素晴らしい光景を目撃した．月の光は明るく、新月がいつもそうであるように、新月の弧は東に傾いていた．突然その月の弧の上半分が二つに分かれた．分裂した中心から、たいまつのような炎が舞いあがり、火焔と火の粉とスパークが遠くまで飛び散った．その間、月はあたかも心配事でもあるかのように、その体をもだえさせ、この事件を自分の目で見てそのことを私に報告してくれた人々の言葉を借りれば、その月は手負いの蛇のように体をふるわせた．その後は月は元の状態にもどった．しかしこの現象は 12 回以上も繰り返して起こり、いろいろな形をした炎が突発的に生じ、そしてその後平常にもどった．この変化が起きたあと、月の弧に沿って、あちらこちら暗く見える場所が生じた．” (和訳：水谷, 1977)

この現象は 1178 年に起こった．Hartung (1976)は、この記録は月面における天体衝突の目撃証言であると考え、その衝突で形成されたクレータを月面上で探索した．その結果、上記の中世の記録に最も適したクレータとして、Giordano Bruno を挙げている．月全球で直径 20km スケールクレータの平均的な形成間隔が30～40Myrであることを考えると、Giordano Brunoクレータがおよそ800年前に形成されたというのは考えにくく、最近のクレータ生成率を評価する意味で、この 1178 年形成仮説を検証することは重要である．今年２月、月周回衛星かぐや (SELENE) に搭載された月面撮像分光機器 (LISM) により、Giordano Bruno 地域の高解像度画像が初めて取得された．その画像から、Giordano Bruno の新鮮さがあらためて確認できる．例えば、rim のシャープさや、クレータ内部に存在するボルダーの数は他のコペルニカンクレータに比べても圧倒的であり、月面の数十 km スケールのクレータで最も若いことは間違いないであろう．一方で、ejecta blanket 上に数十 m サイズの小クレータが存在していることが確認された．本研究ではそれらの小クレータの数密度を用いた Giordano Bruno 形成年代決定の結果を報告する．

P216

LISMで見る月クレーターエジェクタの分布

○平田成[1]，出村裕英[1]，浅田智朗[1]，宮本英昭[2]，杉原孝充[3]，横田康弘[4]，諸田智克[4]，本田親寿[4]，小川佳子[5]，大竹真紀子[4]，松永恒雄[5]，春山純一[4]
[1]会津大学，[2]東京大学，[3]海洋研究開発機構，[4]JAXA，[5]国立環境研

月探査機「かぐや（SELENE）」に搭載された月撮像/分光機器（LISM）によって，月クレーターの内外に分布するエジェクタ（ejecta）の詳細な観測が可能となった．LISMは高解像度の地形カメラ（TC）と分光観測が可能なマルチバンドイメージャ（MI）および，スペクトルプロファイラ（SP）の三種類の機器を組み合わせた光学観測装置であり，エジェクタを形態学的にも物質科学的にも詳細に観測できる．大気や水のない環境で形成された月クレーターは，衝突クレーター形成過程の研究において標本的な存在であるといえる．エジェクタの種類と分布を調べることで，クレーター形成過程の再構築が可能となる．また，近年急速に発達しているクレーター形成の計算機シミュレーションや室内実験の結果と観測事実を比較することによって，クレーター形成の科学的理解がより深まるものと期待される．
上記のような観点のもと，本研究では代表的な月クレーターとしてTycho（直径85 km）を取り上げる．Tychoは約一億年前に形成された，このサイズのものとしてはもっとも新しいクレーターの一つである．また，光条や二次クレーターの分布から，西方からの斜め衝突によって形成されたと考えられている．
Tychoのejecta blanketは以下の三種のユニットからなっている．もっとも内側のユニットは，リムに平行な多数のテクスチャを持ち，反射スペクトルでは岩石の吸収帯の特徴が明瞭に見えている．その外側には放射状のテクスチャを持つユニットが存在する．このユニットの反射スペクトルは吸収帯があまり顕著ではない．このようなスペクトルは宇宙風化を強く受けた岩石やレゴリスにも類似しているが．このユニットの場合は風化ではなくガラス化した衝撃溶融物の影響を受けているものと考えられる．ガラスの多い層はこのユニットの表面を厚く覆っていることが，TCとMIの画像を比較することでわかった．このユニットはクレーターから離れるにつれ表面のガラス層の薄い（あるいはガラスの含有率の低い）ユニットへと次第に遷移してゆく．これらのエジェクタ上には衝撃溶融物が池状に集積したmelt pondが多数存在する．melt pondはエジェクタ上の他，クレーター内壁部のテラスゾーンにも存在している．Pondの分布を解析した結果，melt pondは斜め衝突の下流側に，衝突方向の軸を基準として線対称にV字型をした分布を呈することが明らかになった．これらの観測事実から，衝撃溶融物を含むエジェクタの移送と体積の過程における斜め衝突の影響について評価することができる．

P217

SELENE/MI を用いた月の海の岩相マッピング

○奥野信也[1], 児玉信介[2], 山口靖[1], 大竹真紀子[3], 春山純一[3], 松永恒雄[4]
[1]名古屋大学, [2]産業技術総合研究所, [3]宇宙航空研究開発機構, [4]国立環境研究所

1. はじめに

昨年の９月に我が国は、月の起源と進化を解明することを目的として月周回衛星かぐや(SELENE)を打ち上げた。これに搭載されている観測機器 Multi band Imager(MI)は、可視域から近赤外域にかけて９つのバンドの画像を取得する。月の初期進化を知る手がかりとして、月表面の鉱物分布を求めることが MI の一つの目的である。MI の空間分解能は、可視域で 20m、近赤外域で 62mであり、米国の月周回衛星クレメンタインよりも一桁高い。これにより、これまでにない詳細な岩相マッピングが可能となる。また、月の主要鉱物である輝石は、結晶分化作用により、マグマの温度が低下するにつれ、Ca に乏しい Orthopyroxene(Opx)から Ca に富む Clinopyroxene(Cpx)が晶出する。Opx と Cpx は反射スペクトルが組成に応じて変化するので月の岩相マッピングを行う際に重要である。

2. 岩相マッピング手法

岩相マッピングのための画像解析の手法の検討を行い、Shkuratov(2005)の多バンドでの解析が可能な座標変換手法を用いた。Shkuratov(2005)ではクレメンタインの可視域の４バンドを使用し、鉱物含有量を求めるのに最適なパラメータの決定を行い、鉱物マップを作成した。本研究では、アポロサンプルの鉱物組成を用いて、MI データ用に土壌中の Opx と Cpx 含有量を求めるためのパラメータの導出を行った。

さらに、FeO 量と TiO_2 量を求めるために Lucey(1998)の手法を用いた。これは反射率とバンド比を組み合わせた方法(FeO 量:R750(750nm の反射率)と R950/R750(950nm と 750nm の反射率の比)、TiO_2 量 : R750 と R415/R750)で、宇宙風化の影響を除去するのに有効な方法である。ただし、アポロ着陸地点の MI データを元に導出式の係数を変更した。

3. 結果

MI で観測された晴れの海と静かの海の境界地域に対し、Shkuratov 法(2005)と Lucey 法(1998)を用いて解析を行った。これらの方法により作成された鉱物・化学組成マップと標高データをもとに岩相分布図を作成し、Kodama and Yamaguchi (2003)の岩相分布図と比較を行った。その結果、Kodama and Yamaguchi (2003)の岩相区分による Sr3A と Tr3 岩相境界を確認し、より詳細に岩相境界を決定することが出来た。また、Opx と Cpx のマップよりこの境界地域の直径約 500m のクレータの噴出物は、Sr3A と Tr3 と異なり Cpx-rich であることから、表面には現れていない岩相が地下に存在する可能性が示された。さらに、晴れの海全域についての解析結果についても紹介する。

P218

かぐやスペクトルプロファイラ及びマルチバンドイメージャによる月の非玄武岩質火山活動探査

○ 荒井朋子[1]、松永恒雄[2]、大竹真紀子[3]、中村良介[4]、小川佳子[2]、
佐伯和人[5]、廣井孝弘[6]、春山純一[3]、諸田智克[3]、本田親寿[3]、横田康弘[3]
[1]極地研、[2]環境研、[3]JAXA、[4]産総研、[5]阪大、[6]ブラウン大

月面には、化学組成の異なるProcellarum KREEP Terrane(PKT), Feldspathic Highland Terrane(FHT), SouthPole-Aitken Basin Terrane (SPAT)の三つの地域が分布する。PKTは嵐の大洋や雨の海がある月表側西半球を中心とした地域で、Thなどの微量元素と鉄が濃集する。この地域は、ベーズンと呼ばれる直径数100kmの巨大クレータが存在し、そのベーズンの中を鉄に富む玄武岩が埋めている。高濃度のU, Th, Kなどの熱源元素の存在が、この地域に集中する海の玄武岩火山活動を引き起こしたと考えられている。一方、海の玄武岩中のTh濃度が通常2 ppm以下なのに対し、PKTの平均Th濃度が10 ppm以上であることから、海の玄武岩ではない物質がPKTの微量元素濃集に寄与していることがわかる。これらの物質の候補として、アポロ14号や15号で採取されたKREEP玄武岩(Th濃度12-13ppm)が挙げられるが、試料の数・質量ともに限られる。海の玄武岩は鉄に富み、Caに富む輝石を多く含むのに対し、KREEP玄武岩はMgに富み、Caに乏しい輝石を含む。

液相濃集元素に富む岩石がMgに富むのは、マグマ分化の観点からすると矛盾する。この矛盾を説明するべく、いくつかのPKT成因説が唱えられている。Mgに富む貫入岩が微量元素に濃集したマグマオーシャン残渣液固化物質と同化した説[1]、Mgに富むマントル物質と微量元素に富む地殻がインパクトにより機械的に混合したと説明する説[2]、揮発性元素に富むマグマの結晶分化の結果、Feに富む組成を持つ岩石が生じなかったとする説[3]などがあるが、PKTの成因は現状よくわかっていない。

これまで地上望遠鏡及びクレメンタインの反射スペクトルデータにより、KREEP玄武岩が分布すると考えられる地域 (Hansteen Alpha, Appennine Bench Formation等) について研究がされているが[4, 5]、データの空間解像度が低いことや、波長域が限られていたため、鉱物存在度や組成が正確に求められていなかった。本研究では、上記の地域について、かぐやのマルチバンドイメージャ(MI)、スペクトラルプロファイラ(SP)の反射スペクトルデータを用い、KREEP玄武岩火山活動の産状、鉱物存在度、鉱物組成を精度良く決定し、PKTの成因解明を目指す。

[参考文献] [1] Snyder G.A., et al. (1995) JGR 100, 9365-9388. [2] Korotev R.L. (2000) JGR 105, 4317-4345. [3] Arai T. et al. (2006) LPSCXXXVII, Abstract#2381. [4] Blewett D.T., Hawke B.R. (2001) MAPS 36, 701-730. [5] Hawke B.R. et al. (2003) JGR 108, doi:10.1029/2002JE002013.

P219

かぐやTC/MIデータに基づく画像分類のための統計的特徴量抽出

○柴田祐人[1], 斉藤亮祐[1], 出村裕英[1], 平田成[1], 浅田智朗[1], 横田康弘[2], 諸田智克[2], 本田親寿[2], 鳥居雅也[2], 小川佳子[3], 松永恒雄[3], 大竹真紀子[2], 春山純一[2]

[1]会津大学, [2]JAXA, [3]国立環境研

Multi-spectral images and digital terrain model of the Moon have been obtained by instruments of the lunar explorer "Kaguya", Terrain camera (TC) and Multi-band imager (MI). The purpose of this research is semi-automatic recognition of the geologic units by means of texture and spectral features for lunar geological mapping. Both features have been extracted from the data of Orientale basin and Pythagoras crater. We tried to compare our mapping results with existing geological maps of Orientale and Pythagoras.

月周回衛星「かぐや」に搭載されている地形カメラ(TC)およびマルチバンドイメージャ(MI)により、月面の地形画像、分光画像などが取得されている。本研究の目的はこれらの画像を用いて、テクスチャ特徴量とスペクトル特徴量に基づく地質区の半自動的な認識を行うことである。オリエンターレ盆地内部・周辺、ピタゴラスクレータ内部のデータからテクスチャ特徴量とスペクトル特徴量を抽出した。そして、これら２つの特徴量に基づく地質区の半自動的な認識を行った。また、マッピングの結果と既存の地質図[1]との比較を行った。

同種の地質区というのは、リモートセンシングデータから統計的特徴量を抽出した際に同じ特徴をもって表れる。クレメンタイン以前、月・惑星地質図の作成はテクスチャや地形の特徴に基づいて行われてきた[2]。クレメンタイン以後は、スペクトルの特徴に基づいて、岩石の種類や鉱物の構成について数多く研究されてきた[3]。しかし過去に、テクスチャ特徴量とスペクトル特徴量の両方に基づく地質図の半自動認識の研究は行われていない。

地質区の半自動的な認識において，地質区の認識に有望なテクスチャおよびスペクトルの特徴量が定義される必要がある。本研究では、テクスチャ特徴量として一定の領域内の画素の分散値等を、スペクトル特徴量として分光画像同士の比演算の値をそれぞれ抽出した。これらの特徴量に基づいてピクセル単位のクラスタリングを行い、地質区の認識およびマッピングを行った。クラスタリング手法としては、最も基本的な k-means 法を用いている。本研究では過去に「アポロ」、「クレメンタイン」のデータを用いて、本手法の可能性を示している[4]。今回はこれに、より高精細な「かぐや」のデータを用いた結果を示す。

References

[1] USGS; http://astrogeology.usgs.gov/Projects/PlanetaryMapping/DIGGEOL/index.html
[2] USGS; http://astrogeology.usgs.gov/Projects/PlanetaryMapping/
[3] C. M. Pieters, M. I. Staid, E. M. Fischer, S. Tompkins, G. He, "A Sharper View of Impact Craters from Clementine Data", Science vol. 266, pp. 1844-1847, Dec 16, 1994
[4] Shibata Y, Kimura K, Hirata N, Demura H, Asada N, "Preliminary Research for Image Classification with Texture and Spectral Features for Lunar Geological Mapping", LPSC, http://www.lpi.usra.edu/meetings/lpsc2008/pdf/1234.pdf

P220

LISM運用管理アプリケーションの開発と成果

○菊地正太[1], 平田成[1], 出村裕英[1], 寺薗淳也[1], 浅田智朗[1], 横田康弘[3], 諸田智克[3], 本田親寿[3], 鳥居雅也[3], 小川佳子[2], 松永恒雄[2], 大竹真紀子[3], 春山純一[3]
[1]会津大学, [2]国立環境研究所, [3]宇宙航空研究開発機構

かぐや搭載の月撮像分光機器（LISM）の全球観測実現をサポートするための、運用管理データベースシステムを開発した。このシステムはデータベース中にLISMのすべての観測計画と実績を蓄積している。ユーザーは任意の条件で観測計画・実績をデータベースから検索することができ、その観測形跡位置、観測条件などの観測に関わるさまざまな情報を取得、閲覧することができる。また、本システムは撮影場所を視覚的に表示するためのKML出力や観測の被覆率を管理することもできる。このシステムを使用することで、LISM観測の運用管理効率が向上し、月の表面全球の体系的な観測がより系統的に行うことができる。

During a one year operation of KAGUYA, LISM will observe the whole surface of the moon systematically. To obtain the systematic global coverage of the LISM observation, we develop a database system to manage LISM observation plans and logs. This system stores all observation plans and logs into the database. Users can query planned or finished observations from the database, and review footprint locations, observational conditions and other attributes relating those observations. This information is also useful to search available data matching to researcher's interests. This system provides functions for managing systematic observations of LISM. Main functions of the system are search function, management of coverage rate function, and KML export function. The Coverage Rate Management Function and the KML Export Function are implemented to visualize progress of the global observation.

P221

かぐや（SELENE）搭載ハイビジョンカメラによる月表層の科学ー新しい観測結果と解析支援環境ー

○本田 理恵[1]，山崎 順一[2]，三橋 政次[2]，太刀野 順一[3]，白尾 元理[4]
[1]高知大学，[2]日本放送協会，[3]NHK エンジニアリングサービス，[4]惑星地質研究会

Lunar Surface Observation by HDTV on board KAGUYA (SELENE)
- New Results and Scientific Analysis Support Environment -

JAXA の月周回衛星「かぐや(SELENE)」に搭載されたハイビジョンカメラ(HDTV)は、2007 年 10 月 28 日の月周回軌道での観測開始以来、月からの地球の出、ターミネータ付近で長く影を引く海のリンクルリッジや火山地形などの興味深い映像を多数取得している。2008 年 9 月 2 日現在、取得した動画の総数は 86、静止画は 210、総データ量は約 960GB（総フレーム数約 15 万）に及んでいる。さらに、2008 年 7 月 4 日には衛星が慣性航行を実施した際に、月面に対する相対的な姿勢変化を利用して、カメラの視野が深宇宙から月面方向へ徐々に移動するといった希少な映像を取得している(図 1)。

HDTV は、広視野、斜方視、連続取得といった従来の惑星表層カメラと異なる特徴を持ち、100km オーダーの地形の全容を直感的にとらえるのに優れているが、このような特徴を生かして、地形、特に崖やクレータ壁面の観測、光学的特徴の分析などへの利用が考えられる。ただし、広報用機器としての開発経緯より、校正情報が十分取得されておらずこの点については今後の検討が必要である。

このような用途には、映像を効率的に分析できる解析支援環境の構築が有用である。具体的には、映像から抽出した 2 次元のインデックスマップからスナップショットへの参照表示、軌道情報から計算される照明条件などの補助情報の表示が考えられる。また、インタラクティブに視点を変更できる 3 次元可視化も効果が高いと考えられる。

本講演では、最近の取得映像の紹介とともに、現在開発しているスナップショット提示支援環境、GFA ファイル、ならびに偏光プロジェクタとメガネを用いた Portable VR システム(KGT)による 3 次元可視化について報告する。

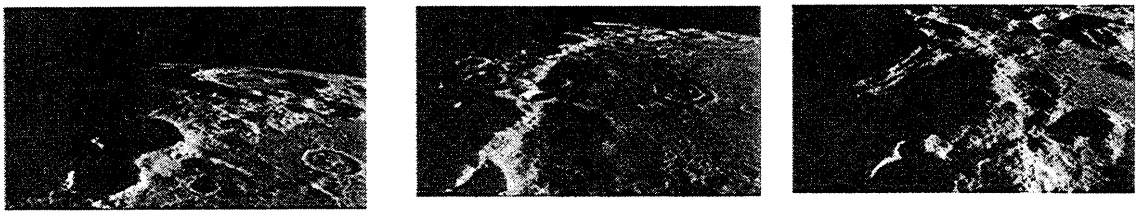


図 1　慣性航行中の取得映像例（スミス海 1.3N, 87.5E 付近）。月平線が連続的に移動する。（JAXA/NHK）

P222

初等・中等教育における授業中の天体観察のための天体ライブ配信システムの構築

千島 拓朗[1]，○齋藤 弘一郎[2]，高田 淑子[2]，木村 雄太[3]，鈴木 雄太[3]，三浦 宏明[2]，伊藤 友美[2]，桑原 永介[2]，星空観察ネット勉強会

[1]気仙沼市立松岩中学校，[2]宮城教育大学、[3]宮城教育大学卒

小・中学校における理科の学習において、惑星・天文分野は、主に夜観察できる1日、1年という長期にわたる事象を、授業という限られた時空間で学習しなければならず、天気にも左右され、観察が非常に困難な内容を取り扱っている。小中学校の理科の学習指導要領では、星座・月・太陽・金星等を「観察すること」と明記されているが、実際の教育現場では観察指導がほとんど行われずに授業が実施されている。そこで、教員が理科の授業中に活用できるように、天体望遠鏡等を通して、授業中に、今現在の「月」・「金星」・「太陽の天球上の位置」を撮像しホームページ上に公開し、誰でもどこからでも観察できる天体ライブ観察システムを構築した。

天体ライブ観察システムは、小中学校の学習内容に合わせて「月ライブ」、「金星ライブ」、「全天ライブ」から構成される。「月ライブ」、「金星ライブ」は、それぞれ天体望遠鏡の接眼部にウェッブカメラを設置し、月と金星の全景を撮像しストリーミング方式で配信する。「月ライブ」は、小学生の「月」の学習時期である夏休み前後の3ヶ月間、また、「金星ライブ」は、中学生の金星の学習時期である冬休み前後の3ヶ月間、登校日の授業時間中で‘観察可能な日’に実施している。これにより、天体望遠鏡等の共用が可能なほか、教員が高度な技術を使わずとも授業中に映像を通して天体の観察が可能となる。実際に「金星ライブ」を活用した理科の授業を大郷町立明星中学校、蔵王町立宮中学校で実施し評価した。天体望遠鏡を用いて観察ができない環境下での金星ライブ映像の観察は通信媒体を介してはいるが体験型授業であり、過去の金星の撮像画像と比較し金星の満ち欠けの変化が学習できる利点がある。

「全天ライブ」は、魚眼コンバータレンズをネットワークカメラに付設して全天に向けた撮像体により全天の映像を撮像・配信し太陽の天球上の位置を観察できるシステムで、高度5度以上の全天が常時撮像可能である。全天ライブ用カメラは仙台(北緯38度16分東経140度50分)と国立天文台VERA石垣島局（北緯24度24分、東経124度10分）に設置しており、緯度と経度の異なる地域で太陽の天球上の位置の違いが比較観察できる。さらに、全天画像は自動的に画像データサーバーに蓄積され、保存画像を1日単位で合成して映像化することで、1日の太陽の動きを映像として公開している。

ライブシステムの構築により、今現在の天体の様子をインターネット配信するだけでなく、映像データベースの構築により、太陽の天球上における軌跡が四季によって移り変わることや金星の満ち欠けの変化など、年単位の長期間の観察を要するような事象も短時間に短縮した映像として提供しており、学校教育での活用が望まれる。

ただし、これらの活動が実際の天体観察を軽んじるのではなく、実際の天体観察との隔たりを縮め最終的には天体観察へ結びつける働きかけも重要視している。また、現状とかけ離れた指導内容が学習指導要領に記述されている認識からも、今後の学習内容の精査も必要と考える。

P223

月探査データを用いた GISベース協働環境システムの構築

○寺薗 淳也[1]、浅田 智朗[1]、出村 裕英[1]、平田 成[1]、佐伯 和人[2]、
岩崎 晃[3]、岡 隆一[1]、林 隆史[1]、鈴木 大郎[1]、宮本 英昭[3]、
春山 純一[4]、大竹 真紀子[4]、松永 恒雄[5]、サハシュ バーラ[1]
[1] 会津大学、[2] 大阪大学、[3] 東京大学、[4] 宇宙航空研究開発機構（JAXA）、[5] 国立環境研究所

昨年(2007年)9月に打ち上げられた日本の月周回衛星「かぐや」は、現在(2008年9月末)も月を周回しながら膨大な量のデータを取得している。「かぐや」による月の探査は、無人探査としてはこれまでに世界でも例を見ない大がかりなものであり、また、データがディジタル化されて保存されるようになってからは月探査としては最も大量のデータを地球に送ることになるミッションである。実際、データ量としては受信データだけで20TB近くに及ぶと見積もられており、これに加え、解析途中や最終的な解析などで発生するデータ量を合わせると、本ミッションで発生するデータ量は数十～100TB程度になることも予想される。
また、「かぐや」には合計で14もの観測機器が搭載されており、さらには様々なサイエンステーマが提案されている。これらを達成するためには、1つの機器のみのデータではなく、複数の機器のデータを合わせて解析するという手法を用いなければならない。このような「統合サイエンス」という手法においては、複数の機器のデータをすばやく閲覧し、関連を明示できるような解析環境があると理想的である。
加えて、「かぐや」に携わっている研究者は全国に分散しており、簡単に集まって議論するということはなかなか難しい。ネットワークで会議を開くとしても、多くの会議システムはコミュニケーションをとることができるのみであり、データを実際にみながらの議論というのはなかなか難しい状況にある。
このような、大量のデータを複数種類組み合わせ、多くの科学者がネットワーク上で相互に議論し、科学的な知見を得られるようなシステムは、今後の月・惑星探査にも非常に重要なツールとなりうる。現在我々は、「かぐや」のデータを用い、そのようなツールの構築を続けている。
ツールのベースとなっているのは、月の地理的な情報を表すためのGIS(地理情報システム)であり、これらはウェブ上で閲覧できるようにする予定である(WebGIS)。また、このGISデータをベースとしたユーザ同士のコミュニケーションシステムの構築などが進められている。
本発表では、このGISベースの協働解析環境システムについて、その構築の経緯や状況、将来展望などについて述べる。

P224

XMLをベースとした月・惑星科学共通データフォーマットの考え方

○寺薗 淳也[1]、山本 幸生[2]、篠原 育[2]、安部 正真[2]、祖父江 真一[2]、笠羽 康正[3]
[1] 会津大学、[2] 宇宙航空研究開発機構(JAXA)、[3] 東北大学

月・惑星探査は、これまでのようにアメリカと旧ソ連(ロシア)の2国による探査が主であったが、21世紀に入り、ヨーロッパをはじめ、日本や中国などが乗り出し、全世界的な流れとなってきている。

また、これまでの探査に比べ、データ量は比較にならないほど多くなってきている。全探査データは数TB～数十TBの領域に達するのが普通であり、これに処理中の中間データや、科学解析によって生み出されるデータを加えると、探査に伴って算出されるデータ量は、実際にはその数十倍から数百倍にも達すると考えられる。

さらに、月・惑星探査の歴史はすでに数十年を経過しており、今後、過去のデータを再利用することが重要なステップとなることが予想される。このため、過去のデータであっても現代のシステムに合う形でのデータの再整備が必要である。

これまでの多くのデータの蓄積、そしてデータの大容量化によって、科学者が解析に必要なデータに迅速にたどり着くことは次第に困難となりつつある。

現在、月・惑星探査のデータフォーマットとして一般的に用いられているのは、PDS (Planetary Data System)フォーマットである。このフォーマットはNASAにより開発・メンテナンスされ、現在では日本をはじめとして世界の月・惑星探査のデファクトスタンダードとして用いられている。しかし、PDSフォーマットについては、現在のネットワークコンピューティングにおける月・惑星探査データ解析には適合しにくい点が多くみられる。

上記の問題点を解決する上では、コンピュータシステム(データベース等)をバックエンドとした、科学者のデータ探索を支援するシステムを作る、といった工夫が必要となるであろう。そのためには、このようなコンピュータシステムと親和性の高いデータフォーマットが策定される必要がある。

このような点から、次世代の月・惑星探査データフォーマットについての議論が始まっている。本講演では、科学者が扱いやすく、また永続性があるという観点から、どのような形態が適切か議論する。その上で、現在データ交換言語として広く使われているXMLを用いた場合に、どのようなデータフォーマットが考えられるか、例示しつつ述べる。

P225

【月は地球の母だった】

発表者：佐野　雄二　（総合科学研究所）

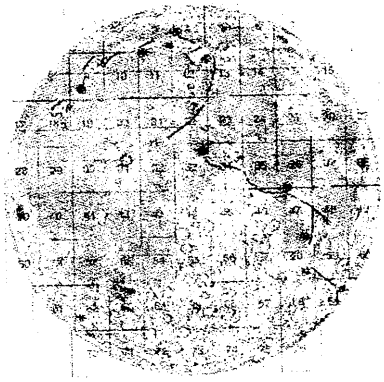
月と地球の関係につき、これまで地球を親とする月分裂説、兄弟説、月捕獲説、ジャイアント・インパクト説などが語られてきた。だが、これらの説にはそれぞれに致命的欠陥がある。その中で月の特徴を追っていくと、地球は宇宙に現われる前、月の胎内である時期を過ごし、やがて独立した星となった。つまり、「月は地球の母であった」と解釈できる。その根拠を挙げると、

(1) 月の石の最古の年齢は４６億年前と、地球の石より古いこと、これは月が地球の母であった可能性を示す。

(2) アポロ 12 号の時、月着陸船を故意に月面に衝突させると５５分間、１３号の時には３時間２０分も月震が続いた。アポロ 15 号の時は１１００ｋｍの遠くまで月震が伝わった。これらのことから月の内部は空洞である可能性が高い。その理由は、かって中に地球がいたからである。
なお、月震について、震源の深い所での月震があるとされる。しかし、月震計の波形を見ると、どれもよく似ており、広域的に振動しているもの、あるいはほぼ同時発生の月震を震源地の深い１つの月震と誤認している可能性がある。「内部空洞説」を念頭に、より詳細な調査が望まれる。

(3) 月に磁極はないのに、強い磁気を帯びた岩石が発見されている。これは、かって磁極を持った地球が中にいた時に月の岩は帯磁した。そして地球が抜けた後も磁気は岩に残った結果である。

(4) 月には長い断層がある。この断層はシュレーター谷を起点にして、山脈を含めてハーゼ谷までをつなぎ合わせると図のようになり、実に 6,435ｋｍほどにも及ぶ。月面南東端のハーゼ谷は月の裏側まで続いているようであるから、もっと伸びている可能性がある。これは地球が抜け出た時の割れ目と推定される。



(5) 月の表面には堅固で高熱に耐え、錆を寄せつけない金属物質の岩が多い。その生成の理由として、月は、その形成の一時期、太陽の中に潜った可能性がある。月が太陽の中にもぐってもなおかつ存在し続けるためには、表面を耐熱性の高い金属製の物質で覆う必要性があった。

(6) 月のクレーターの多さは隕石衝突説だけでは解けない。①月のクレーターの深さが一様なのは説明困難　②そのほとんどが３８億年前以前につくられたと云うのも極めて不自然　③地球の隕石跡と比べて、月のクレーターの数は膨大で、巨大なものが多すぎる―などの疑問がある。

では何故出来たかというと、かって月が太陽の中に潜っていた時、高温のため月の表面が溶けて液状化し、内部の水分がブクブクと泡となって蒸発した。その時の蒸発跡がクレーターとなっている。これは月の岩石に水分が全く含まれず、揮発性の物質がほとんどないこととも符合する。

その他、地球上の生物と月との間には「月を母とする母子関係」がみられる。その例は、
①月は地球に対して、きれいな表側の面しか見せない。人でも母親は、子供にきれいな面しか見せない。②月の母惑星（地球）に対する異常な大きさは、母なる星であるためである。
③女性の生理や出産のリズムはほぼ完全に月のリズムに同期しているが、これは月が地球の母である明確な証拠である。④潮の干満は月の引力ではなく、海底隆起によって起きていると考えられるが、これも母子関係の表われ（別稿）である。⑤いわゆる深発月震は、月が地球に最も近づいた時と、最も遠ざかった時に起きている。これは最も近づいた時には喜びで震え、最も遠ざかった時には悲しみで震える。月が地球の母だからこその月震である―などがある。

P227

火星における表層質量荷重による真の極移動：タルシス地域の進化に与える示唆

True Polar Wander Due to Surface Mass Loading on Mars: Implication to Evolution of the Tharsis Province

原田雄司（国立天文台 RISE）
Yuji Harada (RISE, NAOJ)

火星はかつて数 10 度程度の大規模な真の極移動を経験した，という事が幾つかの間接的な状況証拠から強く示唆されている．更に，この大規模な極移動を駆動した原因はタルシスと呼ばれる巨大な火山地域である，という事も重力異常から推定されている．その一方で，これらの状況証拠から推定された極移動のシナリオに関して，物理的に無理の無い現実的な力学モデルとの比較検討が十分に成されているとは言い難い．このような比較検討を行なう事は，タルシス地域の成長の歴史，ひいては火星内部の熱的進化に制約を課す上で重要である．又，大規模な極移動の力学モデル自体に関する先行研究は若干存在するけれども，リソスフェアに記憶された太古の遠心力ポテンシャル形状が全く考慮されていない．しかし火星は厚いリソスフェアを有する為，かつての静水圧形状が未だ残されていると考えられる．従ってこのような化石形状の影響を考慮した力学モデルを構築する必要がある．

そこで本研究では，火星におけるタルシス地域によって励起される極移動を想定し，長期的時間スケールの荷重成長に対する自転軸の永年的応答についてモデル計算を行なった．そして得られた計算結果について物理的解釈を与えると共に，現実の火星における極移動の状況証拠との比較も行なった．それを踏まえて，荷重としてのタルシスの完成時の最終的な大きさ，及びタルシスが完成するまでに要した時間を見積もった．

Long-term variation of a pole location driven by evolution of a volcanic province on a terrestrial planet is investigated in order to provide implication to evolution of Tharsis on Mars. The present modeling comprehends large-scale variation. Also, an elastic lithosphere is considered here to memorize a remnant rotational bulge. For this purpose, the previous formulation for the final state of true polar wander is simply expanded into that for long-term variation. Remarkable variations are those on a true polar wander angle for the following situations. The parameter Q' (*i.e.* a normalized magnitude of a surface mass load) is larger than or equal to one, and also is slightly smaller than one. In addition, the initial load co-latitude is less than about ten degrees. Under the situations of such Q' and initial load co-latitude, the results are as follows. If the initial load co-latitude is close to zero, extremely large and rapid variation like as inertial interchange is possible. If not close to zero, variation is relatively large but is much more gradual. These results would give us a possibility of reconstruction of volcanic history, such as the evolution of Tharsis on Mars.

P228

火星の表層環境を時間変化する模様から知る

○豊田丈典 1, 2、川口康太 1, 2、栗田敬 2
1) 東京大学大学院 理学系研究科 地球惑星科学専攻、2) 東京大学 地震研究所

本研究は、火星の火山である Pavonis Mons で観察できる"暗い輪のような模様"に注目した研究である。Pavonisi Mons は火星中緯度の Tharsis と呼ばれる領域にあり、頂上にカルデラを持つ。標高は約 14km である。Pavonis Mons を火星周回軌道上から可視光で観測すると、カルデラの周囲に"暗い輪のような模様"を見ることができる。

この"暗い輪"の存在は Viking 探査機の時代 (1970 年)から知られていたが、その形成過程の正確なところはまだ分かっていない。継続的かつ高解像度な最近の観測では新たに、

- "暗い輪"の形が時間変化する。
- 風によって火星表層ダストが侵食されるという過程では"暗い輪"の微細な構造を説明できない。

ということが判明した。

この"暗い輪"の形成過程を明らかにし、逆に火星表面の模様から表層環境についての情報を引き出せるようにしよう、というのが本研究の主なモチベーションである。

本研究では NASA の火星探査衛星である Mars Global Surveyor と 2001 Mars Odyssey・Mars Reconnaissance Orbiter が得た観測データを用いて、"暗い輪"とその周囲の輝度や温度・圧力の季節変動を求めた。その結果"暗い輪"の中心の明るい領域が Dust に覆われていること、"暗い輪"の形態変化と二酸化炭素の相変化の関連が薄いこと、そして"暗い輪"とその周囲の温度差が季節変化するということが分かった。

P229

国際共同木星探査計画

○ 佐々木晶[1], 藤本正樹[2], 木村淳[2], 高島健[2], 笠羽康正[3], 山路敦[4],
長沼毅[5], 桜庭中[6], 高橋幸弘[3], 栗田敬[6], 生駒大洋[7]

[1]国立天文台, [2]ISAS/JAXA, [3]東北大, [4]京大, [5]広島大, [6]東大, [7]東工大

木星とその衛星系は、パイオニア、ボイジャーのフライバイ探査の後、ガリレオ探査機が周回機として長期間観測を行った。しかし、ガリレオ探査機はアンテナ展開に失敗してデータ通信量に大きな制約を受け、取得した科学データ量は限定されたものであった。近い将来に、木星極軌道により木星大気や重力を観測するJUNO探査機が計画されているが、衛星や木星磁気圏の詳細探査は行われない。

国際共同木星探査計画は、2006年より日欧のグループが、水星探査計画BepiColomboをモデルにして、共同で木星およびその衛星（特にエウロパ）の総合的探査を行うために開始した計画である。2007年はじめに、JAXA宇宙科学研究本部にワーキンググループ設立が認められ、密接に欧州のグループと連絡を取り、ミッション実現を目指している。日欧協力で実現を目指している国際共同木星探査計画は、LAPLACE（ラプラス）という名称でESAのCOSMIC VISIONに提案され、厳しい１次選考を通過した。

その後は、アメリカNASAで計画しているEuropa Explorer計画とも連携した、３機体制の総合探査を行う計画(EJSM: Europa Jupiter System Mission)へと展開している。EJSMにおいては、

NASAが、JEO(Jupiter Europa Orbiter)（エウロパ周回機）
ESAが、JGO（Jupiter Ganymede Orbiter)（衛星フライバイ／ガニメデ周回機）
JAXAが、JMO（Jupiter Magnetosphere Orbiter)（磁気圏観測機）
を担当することになっている。さらに、ロシアが独自に同時期にエウロパ着陸機を到着させることを検討中である。エウロパやガニメデでは地下海の存在が確実視されており、生命の存在まで議論されていることなどから、EJSMではレーダーなどで地下海の姿を明らかにすることが大きな目的である。また複数機による多地点同時観測により、高エネルギーの木星磁気圏のダイナミックな姿を明らかにすることも重要である。

探査機の打上げは2020年以降で、6-7年かけて木星に到着する計画である。当初案では、日本のJMOはESAのJGOに相乗りの形で打ち上げられる計画であったが、現在は、日本独自の打ち上げ案の検討も行っている。

P230

火星のナクトンバリス周辺地域の谷地形の同定によって明らかにされた谷密度と地形の傾斜の相関

山口優夢[1], 宮本英昭[1]

[1]東京大学

火星の地表面には、過去に水が存在したことを示す多くの地質学的特徴が散見されるが、中でもバレーネットワークは古い地質構造であり、火星の過去の環境を知る上で重要なものと考えられている。しかし、その具体的な成因に関しては未だに議論が絶えない。これまでに、局所的に噴き出した地下水の浸食（サッピング）によるとするものと、地域全体に降り注ぐ雨が地表面を侵食したことによるとするものの、大きく分けて二つの学説が唱えられている。本研究は、従来の検討が、バイキングの取得した画像を除けば、主に地形高度データを基にした比較的荒い解像度で行われてきた事に注目し、近年取得されている高解像度画像を用いて丹念にバレーネットワークを抽出し、その成因と火星環境に与えた影響について定量的に把握することを目的としている。

講演者らは、バレーネットワークの地形的特徴を表す客観的指標として谷密度を設定し、その数値を調べた。谷密度は、谷地形の全長をその流域面積で割った値として定義され、谷地形の発達の度合いを示す。先行研究においては、地球の河川地形と火星のバレーネットワークの谷密度に明らかな相違が見られることから、それぞれの地形の成因も異なるとされていたが、谷密度は、気候・構成岩石の種類・地形の傾斜等様々な要因によって変化するため、数値自体を比較することで成因に迫る議論ができるかという疑問が生じる。そこで、講演者らは、谷密度と地形の傾斜との関係を定量的に分析し、そこから地形の成因について何らかの示唆を得ることを目指している。

本講演では、ノアキス代の典型的なバレーネットワークを持つナクトンバリス周辺地域の研究を通じて、バレーネットワークをマッピングする方法を確立したことを報告する。まずはバレーネットワークを同定する客観的基準として（１）くぼみになっている（２）谷底および谷の両側の壁が確認できる（３）谷の長さが谷の幅の２倍以上ある（４）谷の長さが5km以上ある、の4つを設けてマッピングを進め、さらに、THEMIS、MOLA、バイキングの３つの種類の画像を見比べ、そのうち何種類の画像でそのバレーネットワークを同定できたかに応じて色分けを施した。

マッピングの結果、10個のバレーネットワークが同定された。それらの総延長は36,000kmに達し、それぞれのバレーネットワークの流域は10,000から120,000km^{2}に及んだ。谷密度は、0.02から0.3km/km^{2}であり、流域の谷密度と平均傾斜の間には正の相関関係があることが定量的に示された。これは、バレーネットワークが形成されて以来、この地域の平均傾斜を大きく変えるような構造運動が存在しなかったことを示唆している。さらにこの相関は、先行研究でも示唆されているとおり、ある一地点から水が供給されたのではなく、地域全体に水が供給されたとする説と調和的である。そうでなければ、谷密度は地形の傾斜と相関を持つよりも、水が供給された一地点からの距離によって支配されるであろう。谷密度と地形の傾斜の相関は、地域全体に供給された水が、傾斜がきつくなるほど水の流速（$v \sim g^{0.5} \sin\alpha$）がより速くなり、それに伴ってより強く谷を浸食し（$\tau \sim v^2$）、谷地形が発達したという仮説と調和する。また、地形の傾斜が谷密度に強く影響しているということは、地表面の起伏が谷の形成に影響を与えていることを示唆しており、そのことと地表面を流れる水が谷を浸食したとする仮説は調和的である。

講演者らはさらに、主流の幅が上流から下流にかけてどのように変化してゆくかも調査した。すると一般的に、上流は幅が狭く、下流に行くにつれて広くなるという結果を得た。これは、サッピングでできた谷よりも、表層を水が流れてできた谷の特徴に近いのかもしれない。

以上の結果は、調査地域のバレーネットワークは地下水が一地点から噴出してできたものではなく、地域全体に雨が降り注ぐことで地表面が浸食され、形成されたという説を支持する。

P231

土星衛星イアペタスのアルベド二分性とその時間変化

○森戸久貴[1,2]、木村淳[2]、諸田智克[2]、本田親寿[2]、川村太一[1,2]、小林佑輔[1,2]、岡田達明[2]
[1]東京大学、[2]ISAS/JAXA

土星衛星 Iapetus は、構成成分の大部分が H_2O の氷であると考えられている。Iapetus は自転と公転が同期しているが、先行側半球の反射率（約 4 %）が後行側半球のそれ（約 60 %）に比べて著しく低いという明瞭な二分性があることが知られている（図 1）。分光観測によって、この二分性は暗い物質が先行半球に選択的に存在することによって作られていることが分かった。

この二分性の起源として、大きく分けて外因説と内因説の二つがこれまでに提案されている。外因説は、暗い物質が Iapetus へ飛来し表面へ降り積もったと考えるモデルであり、その起源として同じ土星の衛星である Hyperion や Phoebe、あるいは星間物質や彗星塵などが候補として挙げられている。一方で内因説は、Iapetus の赤道に沿って存在するリッジから暗い物質が噴出し、積もったとする説である。このように Iapetus のアルベド二分性は、古くからその存在を知られているにもかかわらず、その起源は未だ謎のままとなっている。

アルベド二分性の原因を明らかにするための一つの鍵は、暗い物質の表面分布を正確に知ることである。しかしながら、二分性が形成された時期と現在とでは物質分布が異なる可能性がある。昨年、土星探査機カッシーニが Iapetus 表面の温度を観測した結果、暗い地域では日中で 128 K に達していることがわかった。130 K での H_2O 氷の飽和蒸気圧が約 1.2×10^{-10} hPa であることから、Iapetus 表面の大気圧が月の夜側での値（10^{-12} hPa）程度であれば、H_2O 氷の昇華が起こるはずである。実際、明るい地域に存在するクレーターは、太陽光のあたる高緯度側斜面のみが暗くなっている。これはその部分の温度が周囲に比べて大きく上昇して氷の昇華が起こり、暗い物質だけが残った結果であると解釈できる。つまり Iapetus 上のそれぞれの地域で、暗い物質や氷の存在量が時間変化している可能性があり、二分性が作られた時期と現在とでは明暗分布が異なっていると考えられる。

二分性が作られた当時の物質分布が分かれば、Iapetus へ衝突した暗い物質の、Iapetus 軌道付近での分布に制約を与えることができる。また、先行半球と後行半球での暗い物質の存在量の違いから、暗い物質の土星系に対する相対速度に制約を与えることができる（違いが大きければ相対速度は小さくなる）。さらに、二分性の内因説に関わるリッジとの関係も示すことができる。

本発表では、Iapetus 表面が H_2O 氷と暗い物質との混合物からなると仮定し、表面の温度変化に伴う H_2O 氷の昇華率とその全球分布を見積もる。また氷と暗い物質の存在比が変化することによるアルベドの長期間変化をシミュレートし、Iapetus に二分性が作られた当時のアルベドの値とその表面分布を推定する。

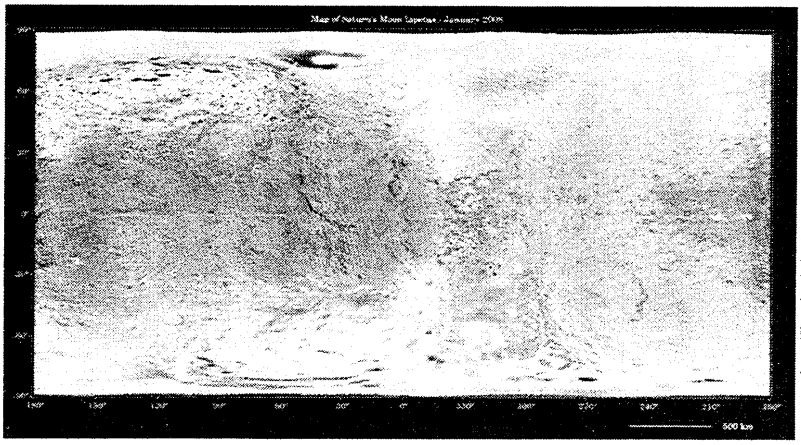


図 1　ボイジャー及びカッシーニが得た画像から作られた Iapetus の全体地図。先行半球（画像の左半分）側の低・中緯度域に暗い地域が帯状に広がっており、反射率の明瞭な二分性を作り出している（PIA08406）。

P232

木星大気大規模渦の数値モデリング

○加藤亮平 [1], 杉山 耕一朗 [2], 中島健介 [1]
[1] 九大院理・地球惑星科学, [2] 国立天文台

1 はじめに

木星大気には大赤斑・白斑などの大規模な渦が存在する。Williams(1996) は三次元モデルを用い、基本場の鉛直構造等のパラメータを広く変えつつ多数の数値実験を行い、大赤斑に匹敵する大きさの渦の生成・安定性について調べた。その実験の一つとして、南北に交互に変わる東西風（ジェット）を初期に与え、それが不安定を起こすことによって大赤斑のような大規模な渦が生じ、安定に持続するという実験があった。これは大赤斑がそのような基本場の不安定によって生成されたことを示唆する。しかし、長時間計算すると大規模渦の風速や温度偏差は小さくなっていった。この原因としては、初期に与えたジェットの風速と温度場を維持するような強制が加えられていなかったことが考えられる。そこで本研究では、初期のジェットと温度分布を維持するような強制として運動量や熱を与えたときに、ジェットから生成される渦の性質に変化が見られるのかどうかを調べた。

2 数値モデルと実験設定

ブジネスク近似をしたプリミティブ方程式系に基づく、球面 3 次元数値モデルを作成した。計算領域は経度方向に 180 度 (周期境界)、緯度方向は赤道 (南北対称性を仮定) から $40°S$、鉛直方向に深さ 10000km とし、格子点は (経度 × 緯度 × 高度)=100 × 40 × 20 とした。基本場の鉛直温度構造は、安定度が上部境界 ($z = 0$km) で最大で、下に行くにつれて小さくなり、約 -500km より下で中立となるよう与えた。初期のジェットは風速が南北に交互に変わるように与えた。ジェットの鉛直構造は、速度が $z = 0$km でゼロ、$z = -100$km で最大、$z \sim -500$km でゼロになるよう

に与え、ジェットに付随する温度構造は、温度風の関係を満たすように与えた。強制に関しては、強制を加えない場合 (No:N)、運動量強制として東西方向の運動方程式に $-\frac{u_i-\overline{u}}{\tau}$ の項のみを加える場合 (Momentum:M)、熱強制として熱の式に $-\frac{T_i-\overline{T}}{\tau}$ の項のみを加える場合 (Thermal:T)、両方の強制を加える場合 (Both:B) の実験を行った。ここで、u_i,T_i はそれぞれ初期の東西風速、温度を表し、バーは東西平均を表す。また、τ は緩和時間で 30 日、100 日、300 日、1000 日の 4 種類を用いた。以下では B30（両方の強制を緩和時間 30 日で加える）のような表記を用いる。計算は 0.02 日のタイムステップで 6000 日行った。

3 結果

基本場を維持するための強制の種類と緩和時間の違いによって、渦の振る舞いに違いが見られた。緩和時間が 1000 日程度である適度な強制を加えると、どの強制を加えた場合でも大規模渦は長時間持続した（図 1 左上は T1000 の場合)。一方、緩和時間が 30 日程度の強い強制を加えると大規模渦は持続しなかった。M30 の場合（図 1 右上）と B30 の場合（図 1 右下）は、次々と渦が生まれ、長期間持続するような孤立渦は存在できなかった。T30 の場合（図 1 左下)、coherent な渦自体が形成されなかった。これらの渦の振る舞いの違いは、長時間計算後の東西平均場の違いに起因する可能性がある。

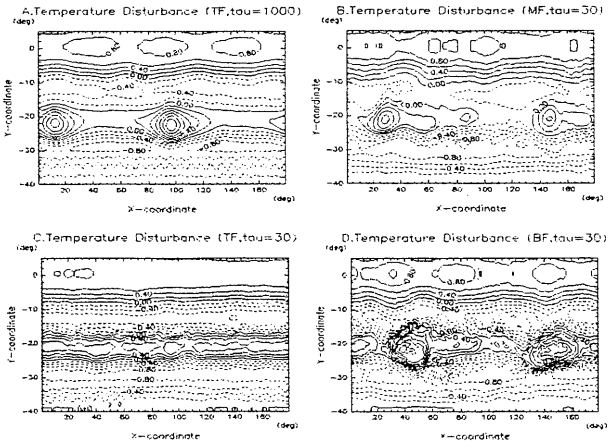


図 1 温度偏差 (5300 日,z=-200km).T1000(左上),M30(右上),T30(左下),B30(右下). コンター間隔:0.2K.

P233

2 次元数値モデルで得られた木星雲対流の間欠性に関する考察

○杉山 耕一朗[1], 小高 正嗣[2], 中島 健介[3], 林 祥介[4]
[1] 国立天文台, [2] 北大理・宇宙理学, [3] 九大理・地球惑星科学, [4] 神戸大理・地球惑星科学

1. はじめに

木星大気の雲対流は, 地球大気の場合と同様, 大気の成層構造と物質分布の決定に重要な役割を担い, ひいては大規模な循環構造にも深く関わっていると推測されている. 我々はこれまで, H_2O, NH_3, NH_4SH の雲微物理過程を考慮した数値流体モデルを開発し, 長時間の数値計算を行うことで統計的平衡状態として決まる雲対流構造を調べてきた. 得られた結果は従来の熱力学平衡を基にした理解と異なり, 間欠的生じる強い対流活動によって成分の異なる雲同士が混ざり合うものであった (日本気象学会 2007 秋季大会 B304). そこで本講演では, 雲対流を特徴づける間欠性の原因について考察を行う.

2. 計算設定

計算領域は鉛直方向に 300 km (30 bar – 0.001 bar), 水平方向に 1024 km とする. 下部境界においては, 大気深部の対流による速やかな熱と凝結成分気体の供給を念頭に, 下部境界での温位と凝結性成分気体の混合比は初期値に固定する. 放射過程は陽には計算せず, その代わりに観測された放射冷却を模した水平一様な冷却層を高度 140 km (2 bar) から 200 km (0.1 bar) の間に導入する. 冷却率の大きさは -0.01 k/day とする.

初期の鉛直温度構造は, 高度 200 km (0.1 bar) を対流圏界面とし, それより下層は等温位, 上層は等温とする. H_2O, NH_3, H_2S の大気下端での存在度は太陽組成 (Asploud *et al.*, 2005) の 1 倍とした.

3. 結果と考察

間欠性に伴う仮温位の時間変化を図 1 に示す. 仮温位は凝結成分を含む気塊を乾燥断熱過程に従って標準気圧まで下降させた時の温度であり, 湿潤大気に関する断熱不変量である. 図 1 は H_2O 凝結を伴う活発な雲対流に伴い, 仮温位が間欠的に上昇していることを示す ($t = 810, 842$ day; 以後, 活発期と呼ぶ). この原因は, 放射冷却率が H_2O 潜熱に比べて十分小さく, さらに放射冷却の働く高度領域が対流圏上層のみに限定されているからである.

放射の直接働かない高度 140 km から H_2O 凝結高度 ($z \approx 120$ km) は, 対流圏上層で凝結する NH_3 や NH_4SH の雨の蒸発に伴うプリュームと拡散によって冷却されている. 活発期以外の時期では, NH_3 雨の蒸発で生まれた冷たいプリュームは NH_4SH 凝結高度の安定層で降下を阻止され, この高度の直上を集中的に冷却する. なぜならば, NH_4SH 生成高度 ($z \approx 145$ km) で仮温位の勾配は正であり, その高度は成層しているからである. 結果として, 活発期の直前では, H_2O 凝結高度から対流圏界面の仮温位勾配は小さくなり, その高度領域の大気はほぼ中立となる. 活発期では, 対流圏上層から下降するプリュームが H_2O 凝結高度付近まで達し, その付近の H_2O を多量に含む気塊を押し上げて H_2O の雲対流を開始させる. H_2O 凝結高度より上空がほぼ中立成層となることが, 次の活発期が始まるための条件となっている.

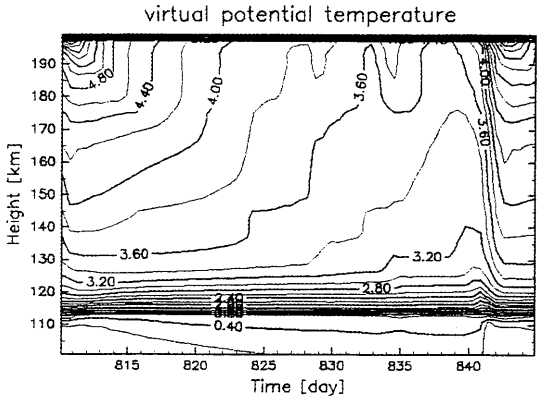


図 1: 雲対流層を含む $z = 100$–200 km における水平平均した仮温位偏差の時間高度断面. 大気深部での仮温位との差として記す.

＜賛助会員一覧＞

＝＝＝＝＝＝＝＝＝＝＝＝＝＝＝＝＝＝＝＝＝＝＝＝

ウシオ電機株式会社

宇宙航空研究開発機構

カメカインスツルメンツ株式会社

コニカミノルタプラネタリウム株式会社

シャープ株式会社

有限会社　テラパブ

株式会社ニュートンプレス

（財）リモート・センシング技術センター

＝＝＝＝＝＝＝＝＝＝＝＝＝＝＝＝＝＝＝＝＝＝＝＝

Lunch Map

① [定食]福岡貝塚食堂 11:00-23:00 🚶10席

② [定食]天ぷらのひらお 10:30-21:30 🚶5席

③ [ファミレス]ガスト 9:00-5:00 🚶15席

④ [イタリアン]クーリア貝塚店 (バイキング)
11:00-17:00 ￥1300 🚶30席

⑤ [中華]中華料理秀蘭 11:00-22:00 🚶10席

⑥楽市街道(片道徒歩6分)

⑥-1[定食]博多一番どり 11:00-15:00 🚶30席
⑥-2[定食] 韓々房 11:30-15:00 🚶30席
⑥-3[定食] なつかし横町 11:00-14:00 🚶30席
⑥-4[お好み焼き] 優の華 🚶15席
⑥-5 モスバーガー 10:00-2:00 🚶15席
⑥-6[中華] 大明担々麺 11:00-2:00 🚶5席
⑥-7[ラーメン] 味千ラーメン 11:00-2:00 🚶10席
⑥-8[洋食]びっくりドンキー 11:00-3:00 🚶30席

⑦ [中華]天天 11:30-15:00 (日曜休み) 🚶10席

⑧ [弁当]ほっともっと 24h

⑨ [中華]桃園酒楼 🚶10席

⑩ [うどん／そば]小麦治 11:00-24:00 🚶30席

⑪ [ラーメン]博多ラーメンはかたや 24h 🚶5席

⑫ 吉野家 24時間 🚶10席

⑬ [定食]やよい軒 24h間 🚶20席

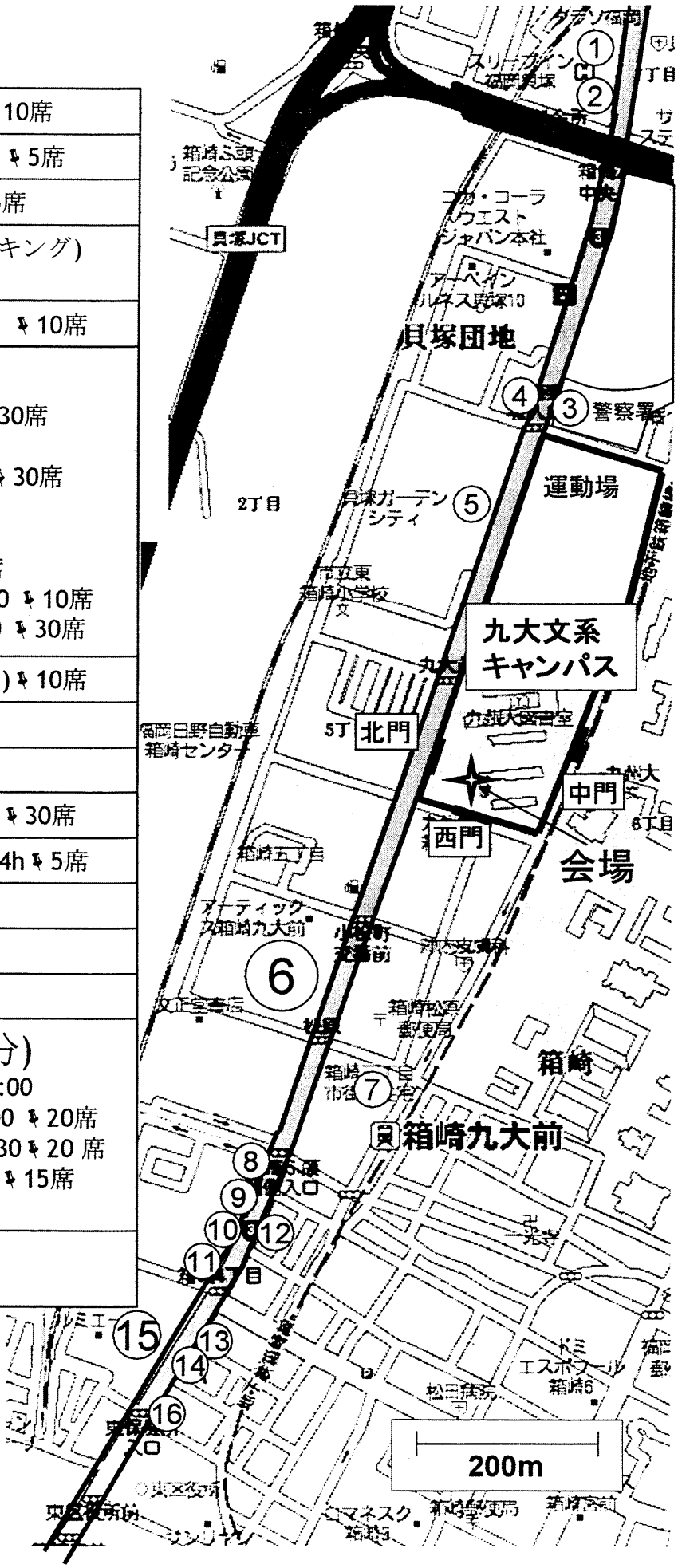
⑭ マクドナルド 🚶20席

⑮BOX TOWN(片道徒歩15分)

⑮-1 スターバックスコーヒー 8:00-25:00
⑮-2[定食／焼き肉] 清香園 12:00-15:00 🚶20席
⑮-3[回転寿司] しーじゃっく 11:30-21:30 🚶20 席
⑮-4[麺類] めんちゃんこ亭 11:00-5:00 🚶15席

⑯ [和/洋食] 那乃津(リーセントホテル内)
11:00-14:00 🚶30席

※🚶席数は土日祝日の平均空席数



日本惑星科学会 2008 年秋季講演会実行委員会

実行委員長　関谷 実
実行委員　加藤 工，奈良岡 浩，中村 智樹，久保 友明，
岡崎 隆司，北島 富美雄，中島 健介，並木 則行
下宿 彰，宮崎 明子，脇田 茂

印刷所：株式会社サガプリンティング
849-0936 佐賀市鍋島町森田 909 番地
TEL 0952-34-5100，http://www.s-print.co.jp