

日本惑星科学会
1993年
秋期講演会予稿集

1993年10月15日（金）～16日（土）
於：大阪大学教養部



Abstracts

1993 Fall Meeting
of
The Japanese Society for Planetary Sciences

目 次

- ’ 9 3 秋期講演会プログラム
- ’ 9 3 秋期講演会アブストラクト
 - セッション I
 - セッション II , III
 - セッション IV
 - セッション V , VI
- 大阪大学豊中キャンパスへの交通機関
- 大阪大学豊中キャンパス内地図
- 秋期講演会会場案内図
- 著者索引

’93 日本惑星科学会秋期講演会

プロ グ ラ ム

10月15日

9:40-9:50 秋期講演会開催にあたって 中澤 清
10:00-11:00 特別講演 「宇宙の構造をめぐって(仮題)」
池内 了(阪大理・宇宙地球)
11:10-12:34 セッションI
12:34-13:30 ■■ 昼 食 ■■
13:30-15:54 セッションII
15:54-16:10 ■■ 休憩 ■■
16:10-18:34 セッションIII
18:45- ■■■■■ 謝親会 ■■■■■

10月16日

9:00-12:00 セッションIV
12:00-13:00 ■■ 昼 食 ■■
13:00-15:00 セッションV
15:00-15:30 ■■ 休憩 ■■
15:30-17:42 セッションVI

10月15日(金)

9:40-9:50 秋期講演会開催にあたって

中澤 清(日本惑星科学会会長)

10:00-11:00 特別講演

「宇宙の構造をめぐって(仮題)」 池内 了(阪大理・宇宙地球)

11:00-11:10

—————休憩—————

セッションⅠ

[座長: 植田千秋, 橋爪光]

- 11:10- [101] ダイヤモンドの衝撃合成実験と希ガスの捕獲機構
松田准一(阪大理), 久住晶子, 矢島春秋(神戸大理), 庄野安彦(東北大金研)
- 11:22- [102] 衝突における小破片の生成 水と葉ろう石の衝突実験
飯島祐一, 加藤学(名大理), 山本勝(名大水圈), 荒川政彦, 前野紀一(北大低温研), 中村昭子, 藤原顯, 藤村彰夫, 水谷仁(宇宙研)
- 11:34- [103] 高速衝突により発生するガス雲の膨張速度
門野敏彦(宇宙研; 京大理), 藤原顯, 中村昭子, 城野信一(宇宙研)
- 11:46- [104] 入射物質によるクレーターの形状のちがい
城野信一(東大理), 山越和雄(宇宙線研), 中村昭子(宇宙研)
門野敏彦(宇宙研; 京大理), 藤原顯(宇宙研)
- 11:58- [105] 低質量分解能S I M Sによる惑星始原物質の *in situ* 同位体分析-II
-イオウおよび酸素-
植田千秋, 高橋利夫, 土山明(阪大教養)
- 12:10- [106] 領石の赤色熱ルミネッセンス
蜷川清隆, 中川益生, 山本勲(岡山理科大), 和田俱典(岡山大)
松濤聰(宮城教育大)
- 12:22- [107] 微惑星の熱変成とその中の窒素の挙動について- 地球における窒素
Inventory解明への示唆
橋爪光(阪大理)

12:34-13:30

—————昼食—————

10月15日(金)

セッションII

[座長： 香内晃，石元裕史]

13:30-	[151] 鉄質スフェルールの含有元素パターン 松崎浩之，山越和雄，狩野直樹（東大宇宙線研）
13:42-	[152] 極低バックグラウンド放射線計測による深海底スフェルール中の宇宙線生成核種の定量－1 山越和雄，松崎浩之（東大宇宙線研）
13:54-	[153] 多成分フラクタル，ダストの構造 増田耕一，北田洋平，向井正（神戸大理），中村良介（神戸大自然）
14:06-	[154] 星間塵上での炭素質マントルの形成機構 P. Jenniskens (ライデン大), G. A. Baratta (シッタ大), 香晃 (北大低温研), M. S. de Groot, J. M. Greenberg (ライデン) G. Strazzulla (シッタ大)
14:18-	[155] カーボングレインの成長と光学スペクトル 堀内千尋，阪本剛正，木村誠二（立命館大理工），小池千代枝（京都薬科大），齊藤嘉夫（京工織大）
14:30-	[156] 炭素質隕石中のケロジェン様化合物の形成機構 村江達士（九大理）
14:42-	[157] ユリシーズ観測から見た小惑星帯以遠のダスト起源について 石元裕史（神戸大自然），向井正（神戸大理自然），E. Grün, M. Baguhl (Max-Planck-Inst.)
14:54-	[158] ガス分子からダスト粒子への平均運動量移行 中村良介（神戸大自然），北田洋平，向井正（神戸大理）
15:06-	[159] 惑星リング粒子の速度緩和過程 榎森啓元，井田茂，中澤清（東工大理）
15:18-	[160] 不規則形状塵の昇華 木村宏（神戸大自然），北田洋平（神戸大理），向井正（神戸大理自然）
15:30-	[161] フォルステライト (Mg_2SiO_4) の蒸発速度の測定 高橋利夫（阪大理），土山明，植田千秋（阪大教養）
15:42-	[162] Fe-S-II系における蒸発速度についての実験的研究 土山明（阪大教養），藤元清司（阪大理），植田千秋（阪大教養）
15:54-16:10	————— 休憩 —————

10月15日（金）

セッションIII

[座長： 向井宛生，安部正真]

16:10-	163 相対VLBIによる月の移動の観測 大江昌嗣，河野宣之，花田英夫，久慈清助，鶴田誠逸，岩館健三郎 亀谷収，原忠徳，佐藤克久，笹尾哲生（国立天文台），水谷仁，藤 村彰夫（宇宙研）
16:22-	164 地球-月力学系における歳差運動の進化 安部正真（宇宙研），大江昌嗣（国立天文台），水谷仁，荒木博志 (宇宙研)
16:34-	165 月震データベースの構築 寺脇淳也，荒木博志（宇宙研）
16:46-	166 月探査計画のための深発月震解析 寺脇淳也，荒木博志，水谷仁（宇宙研）
16:58-	167 リモートセンシングデータの画像処理，解析システムの作成 向井宛生，佐野到（近畿大理工）
17:10-	168 比較惑星河川学 II 門田晃典，水谷仁（宇宙研）
17:22-	169 Nano-Diamonds in Primitive Chondrites: (1) Theory. 小嶋稔，望月圭子（阪大理）
17:34-	170 Nano-Diamonds in Primitive Chondrites: Radiation-Induced Origin? (2) Experiment. 望月圭子，小嶋稔（阪大理），土山明（阪大教養），北村雅夫，下 林典正（京大理）
17:46-	171 小惑星探査のための磁気的および電気的サンプラーについて 杉浦直治（東大理）
17:58-	172 偏光観測から見た小惑星表面構造 岩田豊一郎，向井正（神戸大理），楠原徹（倉敷科学センター）， 衣笠健三（阪大理），菊池仙（国立天文台），平田龍幸（京大理） 及びトウタチス共同観測者
18:10-	173 原始的エンドライトの2種のS型小惑星的母天体 武田弘，佐伯和人，大槻まゆみ（東大理）
18:22-	174 Allende隕石中の前駆物質の累帯構造 札木充，北村雅夫（京大理）
-18:34	
18:45-	――懇親会（阪大生協食堂（福利センター4F）にて）――

10月16日(土)

セッションIV

[座長： 山中大学，渡邊誠一郎]

9:00-	[201] 3次元熱対流の数値シミュレーション 渡邊誠一郎，桑原徹也(名大理)
9:12-	[202] 軽い地殻はプレート運動を止めたのか? 戸田康史，阿部豊(東大理)
9:24-	[203] グリーンランド，イスア地方，先カンブリア紀の堆積岩中における白金族元素 内野智功，日高洋，海老原充(都立大理)，古田直紀(環境研)，増田俊明(静大理)丸山茂徳(東工大理)
9:36-	[204] コア形成と大気，地殻の起源 倉本圭，松井孝典(東大理)
9:48-	[205] 高圧下でのシリケイトと金属への希ガスの溶解度実験 柴田智郎，高橋栄一(東工大理)，小嶋稔(阪大理)
10:00-	[206] 凝結性成分を主成分とする大気の数値計算 石渡正樹，林祥介(東大理)
10:12-	[207] 金星の火山は噴煙をあげるか? 松井孝典(東大理)，杉田精二(ブラウン大)
10:24-	[208] 惑星大気の「相」としての熱圈，成層圈，対流圈(第2報) 山中大学(京大超高層)
10:36-	[209] 火星における上層-下層大気結合 品川裕之(通総研平磯)
10:48-	[210] マントル中のヘリウムとネオンは地球外起源ではなく始源的 比屋根肇(東大理)
11:00-	[211] 地球型惑星の火成活動と脱ガス史 田近英一，松井孝典(東大理)
11:12-	[212] 大気の軸対称的循環，非軸対称的循環の比較：角運動量収支と帶状風分布 佐藤正樹(埼玉工大)，塩原将行(東大理)，高橋正明(東大気候システム)
11:24-	[213] 回転球殻のビジネス対流～赤道加速に関する考察 竹広真一，林祥介(東大理)
11:36-	[214] 編状鉄鉱床のリズム解析；その1……地球史解説における役割 吉岡秀佳，熊谷博之，高野雅夫，熊沢峰夫(名大理)，磯崎行雄，丸山茂徳(東工大理)
11:48-	[215] 鐘乳石中のラジカル分布と編模様 細川浩二，池谷元伺(阪大理)
12:00-13:00	—————昼 食—————

10月16日(土)

セッションV

[座長： 山本哲生，関谷実]

13:00-	251	原始惑星系円盤形成の初期角運動量分布依存性 中本泰史(国立天文台), 中川義次(東大理)
13:12-	252	原始太陽系星雲中に成長する磁場の効果の数値シミュレーション 守屋卓, 大家寛(東北大理)
13:24-	253	原始太陽系星雲の二層モデル 関谷実(帝京大理工), 梅林豊治(山形大理)
13:36-	254	原始惑星のまわりの微惑星集団の統計的振舞 田中秀和, 井田茂, 中沢清(東工大理)
13:48-	255	カイバーベルト天体 1993QB ₁ と 1993FW は残存微惑星か? 山本哲生, 水谷仁, 門田晃典(宇宙研)
14:00-	256	低温下における氷球の衝突反発実験 比嘉道也, 荒川政彦, 前野紀一(北大低温研)
14:12-	257	巨大惑星形成にかかる初期物質集積過程のシミュレーション 大家寛, 飯島雅英, 守屋卓(東北大理)
14:24-	258	反磁性磁場整列と星間微粒子の整列機構 茅原弘毅, 植田千秋, 土山明, 山中高光(阪大教養)
14:36-	259	サイズと磁化の強さで分けた深海底堆積物の研究 野上謙一(獨協医大), 山越和雄, 狩野直樹, 松崎浩之(東大宇宙線研)
14:48-	260	Reversal Paths on the Earth and the Sun 斎藤尚生(東北大理), S.-I. Akasofu(アラスカ大)
15:00-15:30		————— 休憩 —————

10月16日(土)

セッションVI

[座長： 森岡昭，小林直樹]

- | | |
|--------|---|
| 15:30- | 261 木星磁気圏嵐の継続時間—デカーメータ電波データに基づく解析
森岡昭，大家寛，古川欣司(東北大，理) |
| 15:42- | 262 シューメーカー，レビュー第9彗星の分裂核と木星との衝突
渡部潤一(国立天文台)，長谷川均(アステック)，安部正真(東大理；宇宙研)，廣田由佳(東京学芸大) |
| 15:54- | 263 シューメーカー，レビュー彗星の衝突時に予想される木星デカーメータ電波異変
大家寛，森岡昭(東北大理) |
| 16:06- | 264 Shoemaker-Levy 9彗星の衝突による木星振動の励起
小林直樹，高田将郎，柴橋博資(東大理) |
| 16:18- | 265 シューメーカー，レビュー彗星(1993e)のダストの起源
谷川智康，向井正(神戸大理)，石元裕史(神戸大自然) |
| 16:30- | 266 小惑星斜め衝突の地球環境への影響：放出物へのエネルギー分配
柳澤正久(電通大) |
| 16:42- | 267 低温下における氷－アンモニア混合物の変形実験
荒川政彦，前野紀一，中坪俊一(北大低温研) |
| 16:54- | 268 ガンマ線照射したドライアイスのE S R
平井誠，池谷元伺，山中千博(阪大理)，塙本義朗(松下テクノリサーチ) |
| 17:06- | 269 宇宙空間でのアモルファス氷の形成条件
香内晃(北大低温研)，山本哲生，小笛隆司(宇宙研)，黒田登志雄(北大低温研)，J. M. Greenberg(ライデン大) |
| 17:18- | 270 彗星塵の形状と彗星コマの偏光
渡邊毅，向井正(神戸大理) |
| 17:30- | 271 衝突变成炭素物質のでき方
三浦保範(山口大理) |
| -17:42 | |

————— 解 散 —————

日本惑星科学会

秋期講演会アブストラクト

セッション I

(10月15日(金) 午前： No.101 ~ 107)

○松田准一（大阪大・理）、久住晶子、矢島春秋（神大・理）、庄野安彦（東北大・金研）

我々は、ダイヤモンドの気相合成を行い、ユレイライトのダイヤモンドが原始太陽系星雲内で気相成長したという説を提唱してきた(e.g. Matsuda et al., 1991)。その比較において、衝撃合成ダイヤモンドに取り込まれる希ガス量に対する衝撃圧、出発物質の空隙率等の影響をこの3年間にわたって調べてきた。

ダイヤモンドの収律は衝撃圧とも材料物質の空隙率とも正の相関があり、ダイヤモンドの衝撃生成は、マルテンサイト転移よりも溶融、再結晶の過程を経て生じるものであることを示唆している。材料物質の空隙の近傍の部分の温度が上がりダイヤモンドが生成するのであろう。

開放容器を用いて衝撃を与えた場合には、材料物質のグラファイトに吸着していた希ガスのみをダイヤモンド中に取り込む。密閉容器を用いた場合は、材料物質の空隙にあった大気の希ガスを主に取り込むようであるが、Xeに関しては吸着成分の影響もかなり認められた。密閉容器を用いた場合の希ガスの含有量は、Xe以外は衝撃圧と僅かに負の相関があるようであり、材料物質の空隙率とは全元素について正の相関が認められたが、実験の誤差を考慮すると、大きな希ガス含有量の変動はない。

材料物質の空隙にある希ガスの全量の何%がダイヤモンド中に取り込まれたかという量として「取り込み効率」を定義すると、取り込み効率は空隙率よりも衝撃圧に関係しており、希ガスの取り込みに関してはいわゆるshock implantation(衝撃打ち込み)であることを示唆している。

シリケイトの希ガスのshock implantationの実験(Bogard et al., 1987; Wien and Pepin, 1988)と比較すると、ダイヤモンドでは全般的に取り込み効率が低いこと、またシリケイトではXeの吸着の影響がみられないことなどがある。また、シリケイトではNeについて低い取り込み効率が得られたが、ダイヤモンドでは観察されなかった。

衝突における小破片の生成 氷と葉ろう石の衝突実験

・ 飯島祐一、加藤 学（名大・理）山本 勝（名大・水圏）

荒川政彦、前野紀一（北大・低温研）

中村昭子、藤原 顯、藤村彰夫、水谷 仁（宇宙研）

惑星間塵や星間塵は、固体微粒子の凝縮過程ばかりでなく固体どうしの衝突によっても形成されたと考えられる。衝突による小破片の生成では、そのサイズやサイズ分布は衝撃圧縮過程が支配的であると報告した（'93春合同学会）。固体物質中には、ユゴニオ弾性限界以上の応力パルスを受けた際、*microfault*や*lamellae*などの構造が形成されることが実験により確かめられている。そのような構造によりターゲット物質がマイクロドメイン化し、それが希薄波によって放出され、小破片に成ると考えた。今回は氷及び葉ろう石の衝突破壊実験を基に、小破片の生成量のスケーリングについて報告する。

氷の衝突実験は北大・低温研の一段式ガス銃、葉ろう石は京大（現宇宙研）の二段式軽ガス銃および名大の一段式火薬銃を用いて行った。氷の実験では特殊なセルを用いた衝突回収実験も行い、マイクロドメインのサイズなどを測定した。葉ろう石の実験ではそれぞれの銃の性能を活かし、衝突速度の効果（実験範囲は秒速4000～200m）、弾丸のサイズの効果（0.3～5g）、弾丸と標的のサイズ比の効果（質量比で0.02～10⁻⁴）などに着目した。生成された破片は標準ふるいを用いて、質量分布を求めた。

氷の破片の質量分布では、質量と個数が単純なベキ乗則でなく、約10⁻⁵g付近で飽和した。葉ろう石の質量分布は、氷の結果にみられたような飽和は見られなかった。このことは葉ろう石のマイクロドメインが標準ふるいの測定限界（30 μm）より細かいためであると考えられる。小破片の生成量のスケーリングは、ターゲット中を伝播する衝撃波の圧力がユゴニオ弾性限界以上の領域の大きさを見積ればよい。レートステージ有効エネルギーは、衝突発生圧力と高圧力領域の体積を掛けたものであり、ユゴニオ弾性限界を越える領域をスケーリングすることが可能であると考えた。結果は、レートステージ有効エネルギーに対して小破片の生成量は弾丸物質、衝突速度に依らず単純な関係になった。ただし氷の場合は約2乗、葉ろう石の場合は1.6乗に比例するという結果となった。

高速衝突により発生するガス雲の膨張速度

Expansion velocity of vapor cloud generated by hypervelocity impact

* 門野敏彦（宇宙研、京大・理）、藤原顕、中村昭子、城野信一（宇宙研）

惑星科学において高速衝突によるガスの発生と膨張は重要である。たとえばガスの膨張速度は微惑星の衝突よりもたらされたガスがどれほど原始惑星に残るかを決め、マグマオーシャンの形成 (Abe and Matsui, 1985) や原始惑星の熱史に影響を与えたと考えられるし、惑星大気の形成、進化についても、火星の原始大気のはぎとり (Melosh and Vickery, 1989) など様々な影響をもたらしたであろう。さらにK-T impactでもイリジウムに富む塵の地球全体へのばらまき、SNC隕石がいかにして火星を脱出できたかを説明するための、衝突後にクレーターから飛び出した破片の加速 (Vickery, 1986)，また火星サイズの天体が地球に衝突し、月の起源となったという説でもガス雲は重要な役割を果たす。これまでガスの膨張についての実験的研究はあまり行われていなかった。それはシリケート物質では衝突速度が 10 km/s を越えないと十分蒸発しないと言われていたこと、現象が速いため技術的に難しいことなどが理由である。しかし最近、ガス雲の性質や雲生成のメカニズムを探るために、ナイロン球を用いて高速衝突実験を行い雲が出す光を利用して特定の衝突速度でのガスの膨張速度が測定された (Kadono et al., 1993)。今回はパラメータとして衝突速度、および入射粒子のサイズと物質を変えて実験を行い、生成されるガス雲の膨張速度を測定した。

参考文献

- Abe, Y. and T. Matsui, 1985. *J. Geophys. Res., Suppl.* 90, c545, 126-140
 Kadono, T., A. Fujiwara and A. M. Nakamura, 1993, *Geophys. Res. Lett.*
 20 no. 15
 Melosh, H. J. and A. M. Vickery, 1989. *Nature*, 338, 487-489
 Vickery, A. 1986. *J. Geophys. Res.* 91, B14, 14139-14160

入射物質によるクレーターの形状のちがい

Morphology of crater with projectile of various materials

° 城野信一（東大・理），山越和雄（宇宙線研），中村昭子（宇宙研），
門野敏彦（宇宙研，京大・理），藤原顯（宇宙研）

地球周回衛星から回収された各種試料、たとえばLDEF(Long Duration Exposure Facility)の断片試料には、惑星間塵をはじめスペースデブリなどの衝突によるマイクロクレーターが数多く発見される。

惑星科学的観点からは、このような試料上にのこされたクレーターの形状から入射粒子の性質についての情報（大きさ、入射速度、密度など）をひきだせるのかどうかに興味がある。クレーターの直径Dとその深さTとの比は、入射粒子の物性を反映している量の一つと考えられる。

そこでわれわれは入射粒子の物質のちがいによってD/T比がどのように変わるかを実験室でのクレーター形成実験でしらべている。宇宙研の二段式軽ガス銃を用い、アルミニウムターゲットに直径3 mm程度の玄武岩、アルミニウム、鉄などの粒子を約3 km/sの速度で打ち込んでその結果できたクレーターの形状を計測している。一見して、主として入射粒子の密度のちがいによると思われる明らかなちがいがD/T比にみられる。この性質を積極的につかって、宇宙空間に露出した試料を回収することにより入射粒子の密度についての情報をえることが可能であると考えられる。

低質量分解能S I M Sによる惑星始原物質のin situ 同位体分析- II
 -イオウおよび酸素-

Isotope Line Analysis on Primitive Meteorites using Ion Microprobe II
 - Sulfur & Oxygen-

○植田千秋、高橋利男、土山 明（阪大教養部）

前回報告した、S I M SによるMg同位体比分布の測定法を、イオウ、酸素について試みた結果を報告する。一般に、炭素質隕石や地球深部物質にから、惑星形成の諸段階の情報を引き出す場合、 $100 \mu\text{m}$ 内外の微細組織の分析が必要となる。同位体比組成や微量元素の分析については、二次イオン質量分析法（S I M S）が有効な手段として注目され、in situ 分析法の確立が進められてきた¹⁾。しかしながら、現在実用化されているS I M Sの同位体分析法では、微細組織をサンプル全体から分離して行なうもので、開発当初の目的であった、試料面全体の同位体比分布を in situ で測定する手法は、必ずしも一般には定着していない。S I M Sを用いて同位体比分析を行なう場合、二次イオン生成時ににおける諸条件の違いに起因する質量分別のばらつきが、大きな問題となる²⁾。

上記の問題点は、一次イオンビームによる帶電効果を押えることで、回避できると考えられる。そこで分析線に沿って、幅 $200 \mu\text{m}$ 程度のmetal channel を作成し、絶縁試料・channel 境界線上のpoint to point分析を行なった。また、試料の両隣に、同一の標準試料を設置し、分析線の両端での標準試料の値を比較することにより、スパッタ位置変化に伴う、装置質量分別の大きさを評価した。

その結果、 $^{34}\text{S} / ^{32}\text{S}$ 比については、前回のMg同様、再現率3%程度の精度で、幅 4mm にわたる広領域での線分析が可能となった²⁾。空間分解能は、一次イオンビーム径と同程度の $100 \mu\text{m}$ である。同位体標準試料を用いた再現性の評価と、Allende Troilite相を測定した結果について報告する。酸素についても、同様の精度での線分析実現を目指して、計測システムの直線性の評価を進めつつある。

1) J. Okano & H. Nishimura (1974) j. Appl. Phys. Suppl. 2. Pt. 2. 339.

2) C. Uyeda, A. Tsuchiyama, H. Nishimura & T. Yamanaka. (1993) proc. SIMS IX to be pub.

隕石の赤色熱ルミネッセンス

蜷川清隆、中川益生、山本勲（岡山理科大）、和田俱典（岡山大）、
松涛聰（宮城教育大）

Red Thermoluminescence in Meteorites

K. NINAGAWA, M. NAKAGAWA, I. YAMAMOTO (Okayama Univ. Science), T. WADA (Okayama Univ.) and S. MATSUNAMI (Miyagi Univ. Education)

The thermoluminescence (TL) sensitivity of ordinary chondrites increases by a factor of 10^5 with metamorphism due to the crystallization of feldspar, so that the measurement of the TL sensitivity is an effective mean of classifying the type 3 ordinary chondrites into petrographic subtypes, 3.0-3.9. In this classification the TL detection wavelength has been limited in the wavelength region between 320 and 480 nm. However, last year we had found the intense TL at a spectral peak ~ 570 nm from normative-anorthite mesostases in primitive ordinary chondrites. We also revealed the formation process of a group A1 chondrule through a zoning of this yellow TL in a mesostasis together with the compositional studies.

This spring we reported red TL in an ordinary chondrite, Chainpur (LL3.4). This red TL had a peak at a wavelength of ~ 650 nm. It was revealed that this red TL was due to Fe-poor enstatites ($\text{En}_{98.4-99.4}\text{Fs}_{0.1-0.5}\text{Wo}_{0.4-1.2}$). The Fe-poor enstatite is also known as a mineral responsible for the red cathodoluminescence (CL). We observed the red CL for this sample and expected red TL from Fe-poor enstatite in Enstatite chondrites and Aubrites

This time we measured TL spectra of an Aubrite, Norton County, and found the same red TL in this meteorite. The red TL seems to be common characteristics in meteorites.

微惑星の熱変成とその中の窒素の挙動について
 - 地球における窒素Inventory解明への示唆 -

Nitrogen in planetesimals during their thermal evolution
 - a clue to the estimate of the terrestrial nitrogen inventory. -

橋爪 光 (阪大・理)

地球大気がなぜ今見られるような組成を持つに至ったのか？現時点ではこの問い合わせにあまり明確には答えられない。なぜなら、地球の形成史、ならびに、その各ステージでの元素の振る舞いが必ずしも明らかではないからだ。

地球大気の主成分は窒素である。そもそも地球に存在する全窒素のどの程度の割合が大気中に存在するのだろうか？ 地球が CIやE コンドライト隕石などのいわゆる始原隕石と同じ程度の窒素濃度を持つ材料物質からできたと仮定すると、大気中の窒素は全窒素の 0.1~1% を占めるに過ぎないことになる。地球における窒素のInventoryはいかに？私はこれを解くキーポイントは一次的には窒素の金属鉄への溶けこみ易さ（親鉄性）の見積もりにあるのではないかと思う。窒素が親鉄元素であるというのがどの程度の普遍性をもって言えるのかは今後の基礎実験（様々な状況での溶解／分配実験）を待たなければわからない。本講演ではある限られた場、普通コンドライト隕石母天体が熱変成された際の窒素の振る舞いに与えた金属鉄の重要な役割を中心に述べる。

セッションⅡ・Ⅲ

(10月15日(金) 午後: No.151 ~ 174)

鉄質スフェルールの含有元素パターン

Pattern of Elements Contained in
Iron Spherules

°松崎浩之、山越和雄、狩野直樹（東大・宇宙線研）

深海底堆積物中の鉄質スフェルールの起源について検討するため、中性子放射化分析によって鉄質スフェルールの元素分析を行った。まず、Fe、Ir、Ni の含有率、比重、外観などから宇宙起源であるものを判別し、それらについて Co、Cr に着目して検討した。その結果、鉄質スフェルールは Co/Fe 比の値によって大きく二つのグループに分かれることが分かった (Fig.1)。次に、Co/Fe = 5×10^{-3} (これは典型的な隕鉄の値である) 近辺であるグループについて Cr/Fe 比を調べると、隕鉄の値 ($\sim 5.5 \times 10^{-5}$) よりはるかに大きい値 (~ 500 倍) を示すグループがあることが分かった (Fig.2)。このことから、鉄質スフェルールのすべての母天体が隕鉄のサイズの小さい方のエンドメンバーとは限らない可能性と、小さいサイズの惑星間鉄質物質の中には隕鉄よりはるかに大量の Cr を含むものも存在する可能性とが考えられる。

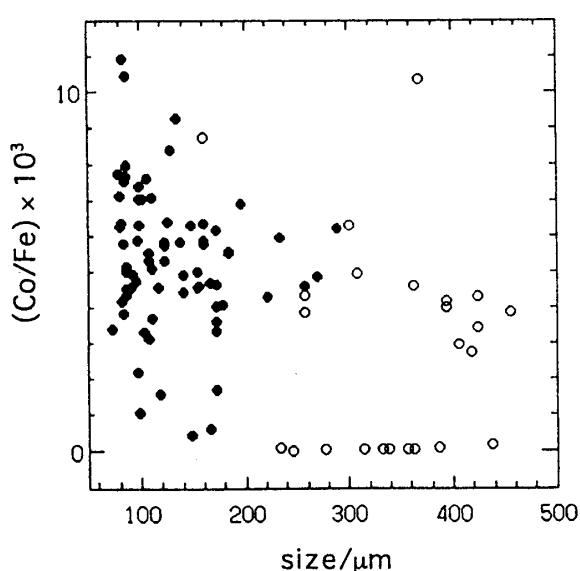


Fig.1 Co/Fe ratio in iron spherules

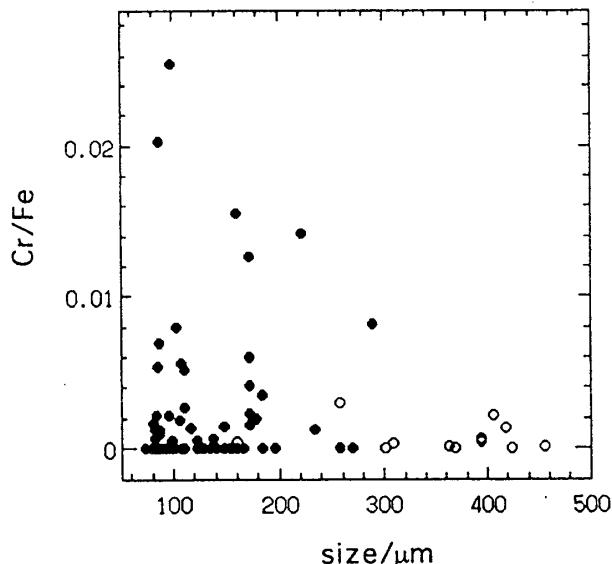


Fig.2 Cr/Fe ratio in iron spherules

極低バックグラウンド放射線計測による深海底スフェルール中の
宇宙線生成核種の定量 - 1

Measurements of Cosmogenic Radionuclide in Deep-sea Spherules
with Extremely Low Background Radiation Counting Techniques - 1

山越和雄、^o松崎浩之（東大・宇宙線研）

長半減期放射性核種²⁶Al（半減期 8.02×10^5 年）、⁵⁹Ni（半減期 7.6×10^4 年）、⁵³Mn（半減期 3.7×10^6 年）は、宇宙物質の太陽系内での運動履歴や宇宙線照射年代を知るための良い指標となる。本研究では、ハワイ沖水深 5000 m の深海底堆積物から採取した鉄質および石質スフェルール中のこれらの宇宙線生成核種を、極低バックグラウンド放射線計測技術を用いて測定する計画である。サンプル中の ²⁶Al は、宇宙空間において、Si, Mg, Al, Ca (solar p, x) 反応または、Fe (galactic p, y) 反応によって生成される。また、⁵⁹Ni は、⁵⁶Fe (solar α , n) 反応、⁵³Mn は、⁵⁶Fe (solar p, α) 反応によって生成する。サンプル中の宇宙線生成核種の量 N_R は、

$$d N_R = d t \int \sigma(E) f(E) d E \cdot N_T A(t) / r^2 - N_R \lambda$$

を積分して得られる。ここで $\sigma(E)$ は反応断面積、 $f(E) d E$ は反応を起こす宇宙線粒子フラックスのエネルギースペクトル、 N_T は標的原子数、 r は太陽からの距離、 λ は放射性核種の壊変定数である。 $A(t)$ は太陽宇宙線のフラックスの時間変動を表す係数である。実際には、 r は、ポインティング・ロバートソン効果等の、粒子の運動を支配する要因によって、 t の関数になるから、これらの要因を考慮することによって、地球に入ってくる粒子中の宇宙線生成核種の量を計算でき、それによって、スフェルールについての測定結果を解釈することができる。

⁵⁹Ni および ⁵³Mn の特性X線（それぞれ 6.9keV、5.4keV）の測定には予備処理として化学処理を必要とするため、本研究ではまず、非破壊で測定可能な ²⁶Al の特性 γ 線（511keV、1809keV）を、鋸山の極低バックグラウンド γ 線測定装置により、測定する。今回は、サイズで分けないスフェルール全体についての測定結果を報告する。

多成分フラクタル・ダストの構造

Structure of Multi-components Fractal Aggregate

○増田耕一、北田洋平、向井正（神戸大・理）、中村良介（神戸大・自然）

固体微粒子の付着成長過程は、原始惑星系円盤内での惑星形成の最も初期の段階である。原始太陽系円盤内は低密度のガスによって満たされているので、ここでの付着成長は弾道軌道を描く微粒子によって行われる。この様な現象を実際にコンピューターでシュミレーションするための基本的なモデルとして、BPCA (Ballistic Particle-Cluster Aggregation) というものが考えられている。これはまず一つの種になる粒子をおき、ランダムな方向から粒子を直線的に入射させ、もとの粒子に接触すると確率 β で付着させる。そしてさらに再びランダムな方向から粒子を入射させ、先ほどできた凝集体に接触するとまた、確率 β で付着させる。付着しなかった場合は弾性散乱を起こして反跳を起こす。そして反跳した微粒子がさらに凝集体の他の部分に衝突すると、再び確率 β で付着する。この入射・反跳・付着の作業を続けることによって、凝集体を成長させ、ダストをつくる。今までの研究では、同一の半径、密度を持つ剛体球により、数値シュミレーションを行ってきたが、実際の原始太陽系内では一種類の鉱物組成からなる微粒子の凝集ではなく、多くの種類の微粒子が異なった付着確率で凝集するはずである。以前の研究では一つの種類の鉱物組成からなるBPCAを様々な付着確率で数値シュミレーションし、その凝集体の密度分布 (Fig.1) とフラクタル次元という構造を特徴づける値 (Table 1) を調べた。その結果、付着確率が減少するに従って中がより詰まった構造となることが判った。ここでは鉱物組成の種類を二つに増やし、それぞれ異なった半径の剛体球として、それぞれの衝突の場合において付着確率を変えてシュミレーションを行い、その結果の凝集体の密度分布やフラクタル次元などを調べた結果について報告する。

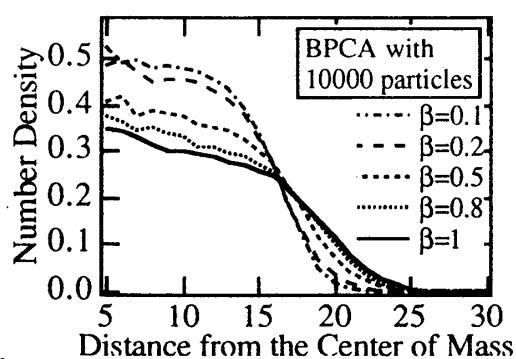


Fig.1
Number density of BPCA for $\beta=0.1, 0.2, 0.5, 0.8, 1$

β	Fract.dim.
0.1	2.856
0.2	2.824
0.5	2.800
0.8	2.757
1.0	2.758

Table 1
Fractal dimension of BPCA for
 $\beta=0.1, 0.2, 0.5, 0.8, 1$

星間塵上での炭素質マントルの形成機構

Carbonaceous mantle formation on interstellar grains

P. Jenniskens (ライデン大)、G. A. Baratta (シッタ大)、[°]香内 見 (北大・低温研)、

M. S. de Groot、J. M. Greenberg (ライデン大)、G. Strazzulla (シッタ大)

1. はじめに

炭素質星間塵の形成機構（凝縮、变成、化学組成など）については種々の考え方があるが不明な点も多い。筆者たちは、炭素質星間塵は分子雲で形成された有機物がさらに低密度雲（H I 領域）で紫外線による变成を受けて形成された可能性を、シミュレーション実験によって示す。

2. 実験方法

H_2O 、CO、 NH_3 、 CH_4 を含む氷を紫外線を照射しながら 10 K の金属板上に凝縮させる（分子雲での氷の凝縮と弱い紫外線照射に対応）。その後、基板温度を上昇させ氷を蒸発させると有機物が形成される（グレインが分子雲から低密度雲へ移動）。この有機物に紫外線または 3 keV の He イオン (MeV のプロトンに対応) を照射し（低密度雲での照射）、有機物の構造、組成などの変化を、赤外、ラマン、RBSなどの方法で調べた。

3. 実験結果

氷に紫外線を照射して形成された有機物の収量は紫外線照射量に比例し、氷の組成にはほとんど依存しないことがわかった。また、N/C は氷と有機物であまり大きな変化はないが、O/C は有機物のほうがかなり小さくなることがわかった。

このようにして作った有機物にさらに紫外線、He イオンを照射すると次のような変化が観察された。有機物に存在していた種々の官能基 ($\text{O}-\text{H}$ 、 $\text{C}-\text{H}$ 、 $\text{C}=\text{O}$ 、...) が照射によって大きく減少した。RBS によると O、N も減少し、C が主成分になっていることがわかった。ラマンスペクトルによると、できたての有機物は $1000 \sim 4000 \text{ cm}^{-1}$ で強い蛍光を示すが、わずかの紫外線、イオン照射により蛍光は消えてしまう。さらに照射を続けるとアモルファス C およびグラファイトのピークが強くなった。以上の実験結果の炭素質星間塵の起源と進化における意義は発表時に述べる。

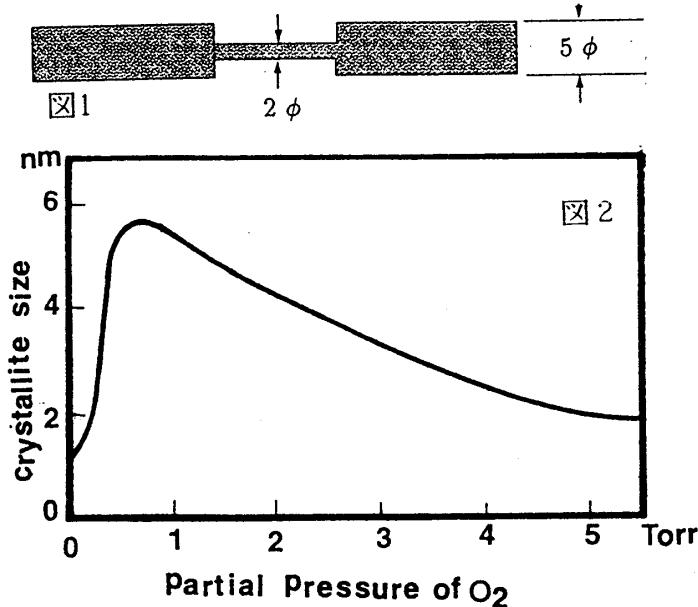
Experimental demonstration of formation of various size carbon grains with advanced gas evaporation technique and optical absorption spectrum of some carbon grains

○堀内千尋・阪本剛正・木村誠二(立命館大理工), 小池千代枝(京都薬科大), 斎藤嘉夫(京工織大)

実験室で簡単に得られるススのサイズは数十nm以上である。ベンゼンやトルエンの燃焼や、アーク放電法で得られたススの可視から遠赤外領域での吸収は λ^{-1} に比例するが、吸収の絶対値 Q/a は試料に依存する。この原因が数十nmのカーボン粒子が、1~5nmオーダーのグラファイトの微結晶からなる構造に起因していることが明かとなった。このような構造の違いが生成条件に依存していることを示すと共に、サイズが10nmオーダーのカーボン粒子の生成法を示す。

図1のように、直径5mmのカーボン棒の一部を2mmφに削り、Arと酸素の混合ガス圧中で、放電法によりカーボン超微粒子を作製し、日立H-7100電子顕微鏡で観察した。

生成したグラファイト結晶の平均サイズを酸素分圧に対してプロットしたのが図2である。酸素分圧の増加と共に粒子サイズも増加し、約0.6Torrで最大となり、さらに分圧が増加すると再度小さくなる。酸素分圧が低いと、酸化反応はゆるやかに起こり、粒子の温



度が上昇してグラファイト結晶を成長させる。温度は分圧と共に上昇し、グラファイト結晶もよく成長する。しかし、酸素分圧が更に増加すると酸化反応は急激となり、粒子の表面からCの蒸発が起こり、その蒸発潜熱により粒子内部の温度上昇は押さえられ、グラファイト結晶の成長も押さえられる。カーボン棒を細くすると粒径も小さくなり、径0.7mmのカーボン棒の場合、10nm程度のカーボン粒子が得られた。

炭素質隕石中のケロジエン様化合物の 形成機構

Formation mechanism of kerogen-like compound in carbonaceous chondrites

村江達士（九大理）

炭素質隕石は太陽系の始原的状態を反映している非常に貴重な試料である。その中に含まれる炭素は大半が地球上の類似化合物になぞらえてケロジエン様化合物（アモルファス炭素、有機高分子ポリマー）と呼ばれる構造が不明確な高分子有機化合物である。その他の炭素質物質としては低分子有機化合物、炭酸塩、ダイヤモンド、グラファイト、シリコンカーバイドがあるが、量的には微量である。炭素質物質の主成分をなすケロジエン様化合物は、その構造が明確にし難いと同時にその形成機構に関しても定説が無い。

現在までに提唱された生成機構の説としては、①太陽系内で一酸化炭素+水素の系とメタン+水の系の間の平衡が成立する中間の準安定状態で Fisher-Tropsh 反応で種々の低分子有機化合物が形成され、それらの分子が何等かの作用で集合し高分子化したとする説と、②太陽系外で、例えば赤色巨星の周辺で、まずシリコンカーバイド (SiC) が固体粒子として出現し、それを核としてアモルファスな炭素の集団ができ、そこに多環縮合芳香族炭化水素 (PAH) が蓄積して重合することによって形成されたとする説がある。これらの説では、これらの炭素質物質は最終的にはグラファイトを形成する過程にあると考えられている。一方、地球上のケロジエンは生命活動によって形成された高分子有機化合物が地球化学的な環境下に置かれて変成してできたものであるが、最終的にはグラファイトの形成に向かっており、その途中の種々の段階のものが存在する。

演者は、炭素質隕石中の主成分炭素質化合物の構造に関する研究を行い、その構造を推定し、その形成機構に関する説を提唱したが、最近になって地球上のケロジエンのあるものが非常によく似た赤外スペクトルを示すことを明らかにするとともに、グラファイトに衝撃圧を加えると隕石中のケロジエン様化合物と同じ赤外スペクトル示す化合物を与えることを示した。今回は、さきに演者らが提唱した隕石形成前のグラファイト様化合物の形成に、その化合物のケロジエン様化合物への変換を加えた機構を提唱する。この機構は今までの説とは逆の形成ルートを意味し、宇宙での炭素の挙動に新しい見方を提供する。

ユリシーズ観測から見た小惑星帯以遠のダスト起源について

Origin of dust particles outside the asteroid belt
deduced from Ulysses impact data^o石元裕史（神戸大・自然）、向井 正（神戸大・理、自然）

E. Grün、M. Baguhl (Max-Planck-Inst.)

1990年に打ち上げられた探査機ユリシーズは、ほぼ黄道面上を木星に向かい、1992年に木星フライバイを行った後、現在黄道面を離れた軌道で太陽に向かって航行している。ユリシーズには、 $10^{-16}g \sim 10^{-8}g$ のダストを検出できるimpact ionization detectorを搭載しており、打ち上げから木星フライバイまでに約350個のインパクトデータを記録した。この観測によれば、ダストのフラックスは2AU付近から、日心距離の増加につれて徐々に増加している。従来惑星間ダストの有力な起源とされてきた小惑星帯以遠でも、この傾向が保たれている。この様な小惑星帯以遠のダストには、太陽系外起源のダストと共に、短・長周期彗星から放出されたダストが多く含まれていると予想できる。特に、彗星から放出された氷ダストがこの領域で残っている可能性がある。本研究では、既知の彗星から放出されたダストが、ユリシーズ観測データに関与している可能性を検討する。ユリシーズが、IRASの観測でも確認されている彗星のダストトレールなどに遭遇していれば、そこでのダストフラックスは増大する。また、彗星から放出したダストは、太陽放射圧のために、ダスト質量のちがいによって母天体からはずれた軌道（空間分布）をとることになる。このような傾向が、ユリシーズの観測データから確認できるかも知れない。さらに、今回観測されたダストデータが、小惑星以遠の定常的なダスト環境を示しているとすれば、それら惑星間ダストの母天体についてどのような制約を与えることができるか検討する。

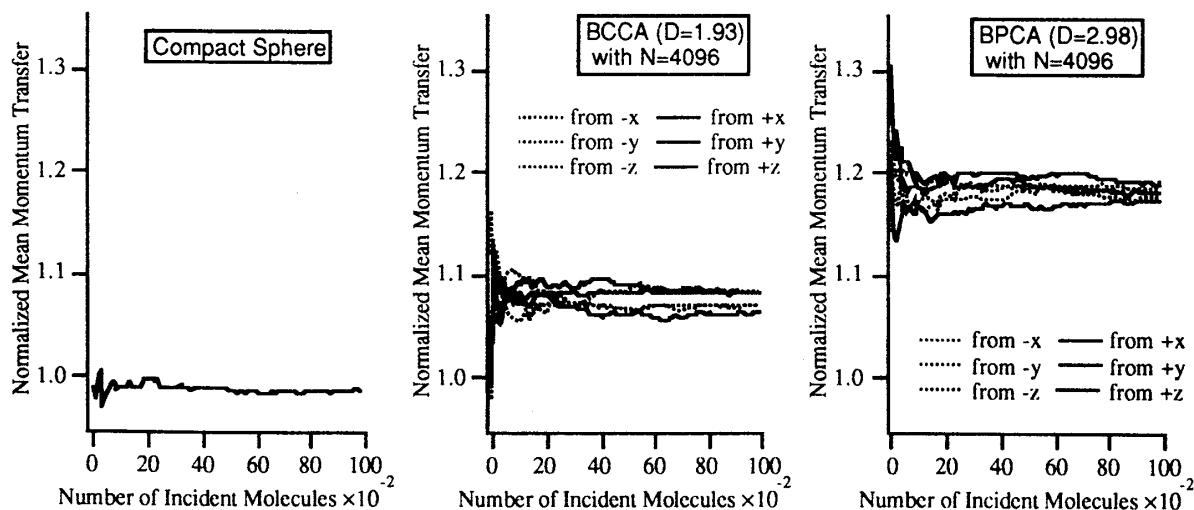
ガス分子からダスト粒子への平均運動量移行

Mean Momentum Transfer from Gas Molecules
to Dust Particle

○中村良介（神戸大・自然）、北田洋平、向井正（神戸大・理）

自由分子近似に基づいて、不規則な形状を持つダストに働くガス抵抗則を調べる。基本構成粒子の凝集によって形成されたフラクタル粒子を、ダストのモデルとして扱い、その次元がガス抵抗にどのような影響を与えるかを検討する。まず、モンテカルロ・シミュレーションによってフラクタルダストに単位時間に衝突するガス分子の数を求めた。その結果、ダストのフラクタル次元が低くなるにつれ衝突する分子数が増加することがわかった。次に、衝突が完全に弾性的であると仮定して、ガス分子がダストに与える平均運動量を求めた。図は、ガス分子がすべて同一方向に運動している場合の平均運動量移行である。平均運動量移行は、衝突する粒子が増えるにつれ、それぞれのダストの構造に応じた値に収束していく。例えば、フラクタル次元がほぼ3に近い値を持つダストへの平均運動量移行は、球形ダストに比べ20%程度大きいことがわかる。これらの結果から、フラクタルダストに働くガス抵抗が、同質量の球形粒子に比べどう異なるかを定量的に評価できる。

ダストがガス中を超音速で運動する場合や、彗星核表面のようにガスが真空へ蒸発する場合には、上記のようにガス分子がすべて同一方向に運動しているという近似ができる。しかし、より一般的にはガス分子のランダムな熱運動を考慮する必要がある。この場合にも適用できるように、シミュレーションを拡張する。



惑星リング粒子の速度緩和過程

Relaxation Process of Random Velocity of the Swarm of Ring Particles

†榎森啓元、井田 茂、中澤 清（東工大・理）

ボイジャーを代表とする外惑星探査は土星のリングの微細な構造を明らかにし、更に他の木星型惑星にもリングが存在することを発見した。この発見は、「リングは惑星形成過程に伴い必然的に生まれるものなのか」、「なぜ地球型惑星にはリングが無いのか」といった極めて興味深い疑問を我々に投げかけている。こうした疑問に対する解答は、「惑星リングが何年ぐらいの寿命を持っているのか」、「寿命までのあいだリングはその構造をどのように変えてゆくのか」といった惑星リング進化過程の解明無くしては得られない。このように惑星リング進化過程の解明は、惑星形成過程の研究においても重要な意味をもつ課題である。

惑星リングは、中心星の重力場内を互いに重力を及ぼしながら運動する、多数の粒子から形成されている。この重力多体系である惑星リングの進化過程においては、相互作用による速度緩和過程が最も基礎的かつ重要な素過程となっている。惑星リングを形成する粒子集団は、粒子同士の重力散乱・直接衝突による散乱を通じて、徐々にそのランダム速度（軌道離心率、軌道面傾斜角）を増加させ、ある速度分布を形成する。この速度分布は惑星リングの構造（例えば惑星リングの厚さ）や、惑星リングの進化を考察する上で重要なリング粒子同士の衝突頻度を決定する。

本研究は、N体数値計算を用いて惑星リングの速度緩和過程を解明することを目的とする。そのために、惑星リング粒子の進化において特に重要な粒子同士の直接衝突を考慮した数値計算コードを開発し、計算を行った。その結果、直接衝突が完全弾性衝突の場合はガウス型の分布に近い速度分布に緩和する様子を明らかにした。さらに、直接衝突が非弾性の場合についても計算を行っている。

不規則形状塵の昇華

Sublimation of Fractal Aggregates

○木村宏（神戸大・自然）、北田洋平（神戸大・理）、
向井正（神戸大・理、自然）

太陽近傍や高温度星のまわりにある塵は、昇華によってその質量・サイズが減少していく。塵による光の散乱・吸収特性は塵のサイズに依存するために、塵の温度や塵に働く輻射圧／太陽重力は、塵の昇華によって時間変化をすることになる。これらの変化は塵の運動に擾動を与えるために、軌道計算に基づいて空間分布を導くときには昇華の影響を考慮しなければならない。これまで塵は球形であるという仮定のもとで昇華は扱われてきた。昇華によって単位時間当たりに失われる質量は、塵の表面積や温度に依存する。一般に不規則形状塵は球形と同じ質量でもその表面積は大きく、また温度も異なる。このため不規則形状塵の質量・サイズが昇華作用によって減少する様子や消滅するまでの時間も球形のものとは異なると予想できる。

本研究では不規則形状塵モデルとして、N個の球形状構成粒子からなるフラクタル凝集体—BPCA（Ballistic Particle-Cluster Aggregate）とBCCA（Ballistic Cluster-Cluster Aggregate）—を用い、次の2種類の方法で昇華について考察を行なった。（1）BPCA、BCCA共に仮想球で近似する。塵の温度に応じてその仮想球の全表面から質量が失われていく。昇華の際には凝集体の構造と構成粒子の大きさは一定で、質量損失に伴い仮想球の質量が減少する。（2）フラクタル凝集体の表面積を考慮する。BPCAは、外縁にある構成粒子の表面は昇華に寄与するが、その他の内側にある構成粒子の表面はほとんど昇華に寄与しないと仮定する。一方、より開いた構造をしているBCCAでは、凝集体の全ての構成粒子が昇華を起こすと仮定する。したがって、BPCAに関しては外縁にある構成粒子が昇華したのち次に外縁になった構成粒子が昇華していく。また、BCCAに関しては凝集体の構造は変化せず、各構成粒子の表面から質量が失われる所以、構成粒子の半径だけが減少する。これら（1）、（2）について、シミュレーションによって時間を追い、形状が昇華に及ぼす効果を調べる。

フォルステライト (Mg_2SiO_4) の蒸発速度の測定

Measurement of Forsterite Evaporation Rates

○高橋利夫 (阪大・理)、土山 明、植田千秋 (阪大・教養)

地球およびコンドライト隕石の Mg/Si 比は solar abundance の値からずれ、Mg/Si の元素分別があったと考えられている。このような Mg/Si 分別は Mg 硅酸塩 (forsterite, enstatite など) の蒸発や凝縮に支配されたと考えられる。また炭素質コンドライト中の CAI には Si, Mg の同位体分別が認められている。これについても原始太陽系星雲中での蒸発、再凝縮が原因であると主張された。固体の蒸発における同位体分別について厳密に議論するためには分別係数だけでなく、(1) 蒸発速度と (2) 固体内の拡散とのかねあいを考慮に入れなければならない。同位体の質量分別係数については、実験により気体分子運動論に従うことが明かにされている [1]。従って (1), (2) を明かにすれば、上記の Mg/Si 分別の問題や同位体分別を起こしている隕石の履歴が解明でき、ひいては当時の太陽系星雲の状態を理解することも可能となるだろう。

そこで今回は地球型惑星の主要構成物質である forsterite (Mg_2SiO_4) の蒸発係数を実験により決定することを試みた。表面積のわかっている forsterite 単結晶を一定温度 (1450-1500 °C) において時間を変化させて (1 ~ 3 日) 加熱し、質量変化を測定した。forsterite 試料の質量は加熱時間に比例して減少した。表面積は加熱中実質的にはほとんど変化しないので、これより蒸発速度を求めることができる。蒸発理論より導かれる蒸発速度を j_0 、実際の蒸発速度を j_r とすると、これらは $j_r = \alpha j_0$ で関係づけられる。 α は蒸発係数と呼ばれ ($0 < \alpha \leq 1$)、1450°Cでの実験結果は $\alpha = 0.26$ となり forsterite 粉末を用いた蒸発についての Hashimoto の実験 [2] よりわずかに大きかった。

今後測定を増やすとともに、 H_2 霧囲気下での実験も行う予定である。また同時に (2) の拡散係数についても蒸発に伴う拡散プロファイルを SIMS で測定することを予定している。

[1] A.M.Davis, A.Hashimoto, R.N.Clayton, T.K.Mayeda. (1990) Nature, 347, 655 - 658.

[2] A.Hashimoto (1990) Nature, 347, 53 - 55.

Fe-S-H 系における蒸発速度についての実験的研究

Evaporation Experiments int the system Fe-S-H.

○土山 明 (阪大・教養)、藤元清司 (阪大・理)、植田千秋 (阪大・教養)

原始太陽系星雲における Fe-S-H 系の蒸発挙動とこれによる元素分別を明かにするために、硫化鉄と金属鉄の蒸発実験をおこなった。前者の実験では、出発物質としてピロータイト単結晶 ($\text{Fe}_{0.88}\text{S}$: Chihuahua, Mexico 産) を用い、これを 1 気圧 $\text{H}_2\text{-CO}_2$ ガス混合炉中で一定温度 (500-1300°C) 一定時間 (0.5-90 hrs) 加熱した。出発物質のピロータイトは分解蒸発して、残渣として金属鉄層がピロータイト単結晶の周りに形成された。 Fe-FeS の共晶点である988°C以上では、形成された金属鉄層と出発物質が反応して融解するが、共晶点以下では金属鉄層の厚さ, X , は時間, t , にはほぼ比例した。このときの反応速度, k , ($X = kt$) はアレニウスの関係を満足する ($k [\text{cm/sec}] = 1.98 \times 10^1 \exp(-27.7 [\text{kcal/mol}/RT])$)。

一般に分解蒸発が起こる場合には、蒸発残渣層中の元素の拡散によって反応が律速されるため、 X は $t^{1/2}$ に比例することが予想される (放物線則)。今回の結果 (直線則) はこの予想と異なるが、これは生成した金属鉄層がスポンジ状で、ガス分子が FeS-Fe 界面まで到達し、ここでの表面反応 ($\text{FeS}(\text{s}) + \text{H}_2(\text{g}) \rightarrow \text{Fe}(\text{s}) + \text{H}_2\text{S}(\text{g})$) が反応を律速しているためと解釈できる。このとき k は H_2S の平衡蒸気圧, $p(\text{H}_2\text{S})$, に比例すると考えられるが、 K を反応定数とすると $K = p(\text{H}_2\text{S})/p(\text{H}_2)$ なので、 k は雰囲気中の $p(\text{H}_2)$ に比例することになる。もし原始太陽系星雲において同様の機構で FeS の蒸発がおこるとすると、今回の実験結果から FeS の蒸発速度を推定することができる。

一方、 FeS との蒸発速度を比較するために、金属鉄の蒸発実験を真空中でおこなった。金属鉄の蒸発は $\text{Fe}(\text{s}) \rightarrow \text{Fe}(\text{g})$ という反応により進むとすると、蒸発速度は $p(\text{H}_2)$ などの圧力には依存しないことが予想される。実験は現在進行中であり、詳細なデータはまだ得られていないが。蒸発理論から予測した Fe の蒸発速度 ($\alpha=1$ とした) と今回の FeS の蒸発速度のデータとの比較によると、原始太陽系星雲において約700-800°C以上の高温ではカイネティックな原因により FeS が調和蒸発に近いモードで蒸発する可能性が考えられる。

相対VLBIによる月の秤動の観測

Study of the Lunar Libration by
Differential VLBI Observations

大江昌嗣、河野宣之、花田英夫、久慈清助、鶴田誠逸、岩館健三郎、亀谷 収、
原 忠徳、佐藤克久、笹尾哲夫（国立天文台）、水谷 仁、藤村彰夫（宇宙研）

月面上に複数個の人工電波源を設置し、地上から相対VLBI観測すれば、対流圏や電離層での電波伝搬遅延の影響が打ち消され、電波源間の距離の変化を数cmの精度で決定できる。2つの月面電波源間の距離の変化は月の物理秤動と潮汐によってもたらされ、物理秤動については約5桁、潮汐については約1桁の精度で知ることができる。この精度はアポロ計画で行われたALSEPと比較して1桁以上よく、この観測から月の内部構造に関する重要な情報が得られ、特に、秤動の振幅と周期からコアの密度や半径が求められ、異った周波数帯域をもつ月震観測による結果と合わせて、月の起源について一つの制限条件を与えるものと期待される。

人工電波源に要求される性能は月周回衛星から落下させ、月面から数十cm埋没することを想定しており、月面の砂による電波の減衰を小さくするため2GHz帯を選び、月面衝突時に予想される約1万gの衝撃に耐え、 10^{-6} 程度の周波数安定度及びタイマーによる間欠発信が可能等である。今回開発した電波源はこれらの性能を全て満足するものである。尚、この電波源と背景の電波源あるいは周回衛星との間で相対VLBI観測を行えば電波源の位置、周回衛星の軌道を精密に決定できるので、将来、惑星探査等にも応用を目指して実験研究を進めて行く予定である。

地球一月力学系における歳差章動の進化

Tidal evolution of the precessional motion in the Earth-Moon dynamical system

・ 安部 正真¹⁾、大江 昌嗣²⁾、水谷 仁¹⁾、荒木 博志¹⁾

1) 宇宙科学研究所、2) 国立天文台・水沢観測センター

・ Masanao Abe¹⁾, Masatsugu Ooe²⁾, Hitoshi Mizutani¹⁾, Hiroshi Araki¹⁾

1)The Institute of Space and Astronautical Science

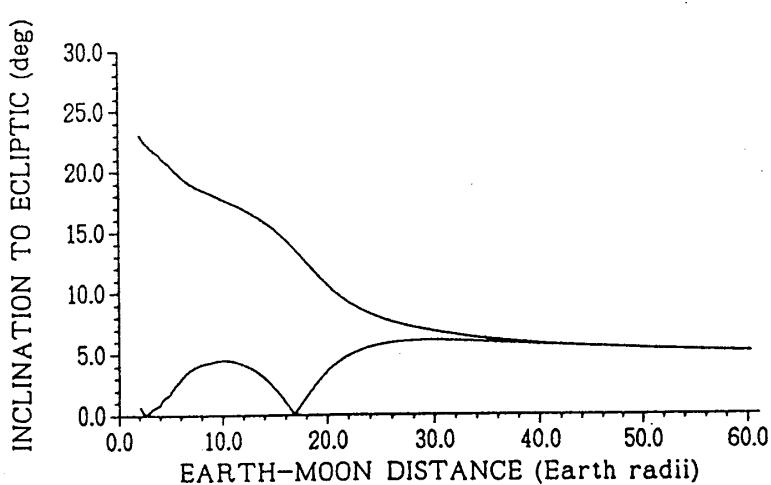
2)National Astronomical Observatory, Mizusawa

我々は潮汐作用による地球一月系の力学進化を明らかにしようと研究している。現在から過去数億年前程度までの進化を遡るには海洋潮汐の影響を正確に見積もることが重要であったが、より長いタイムスケールで計算を行う場合、さらに様々な影響を考える必要が生じてくる。特に地球一月系の3つの傾斜角（赤道面と黄道面のなす角、白道面と黄道面のなす角、赤道面と白道面のなす角）の進化を考える場合には、歳差章動によってそれぞれの値が短いタイムスケールで変化していることを考慮する必要がある。

今回 Goldreich (1966) の論文をもとに歳差章動の計算プログラムを作成した。その結果、歳差章動による3つの傾斜角の変化の振幅や、変化の周期が地球一月間の距離とともにどう変化するかを求めることができた。また、これまでに我々が求めている海洋潮汐の計算結果を合わせることにより、これらの要素が時間とともにどう変化するかについても議論が可能になった。

今回の講演では Goldreich の追試の結果（下図）に加えて、軌道進化のタイムスケールの問題や海洋潮汐の軌道進化に与える影響などについてもふれる予定でいる。

右図：白道面と黄道面のなす角（縦軸）と地球一月間の距離（横軸）の関係（太陽潮汐力を含んだ計算）。2本の実線は各時点での歳差章動における傾斜角の最大値と最小値を表している。



月震データベースの構築

Construction of Moonquake database

○寺園 淳也、荒木 博志（宇宙研）

Jun-ya Terazono and Hiroshi Araki (ISAS)

宇宙科学研究所では現在、1997年のLUNAR-A計画に向けた、月震解析システムの構築を始めている。そのための準備的研究としてアポロ月震データを基にした解析システムを構築しようとしている。

宇宙研に提供されたアポロ月震データは複雑なフォーマットをしている。また、データには多くのノイズが含まれており、そのまま解析に使用することは困難である。一方で、月震のデータ量はイベント部分だけで約13GBにも及ぶ膨大なものである。このため、月震データをデータベース化し、効率よい解析を行う計画を立てている。

データベースはUNIXシステム上に構築され、実際のデータ、データにアクセスするためのライブラリ群、及び解析ツールからなる。データベース化された月震データ自体は、1イベント、1観測点毎のデータであり、これをテキストファイルの形に整形する。個々のファイルには、観測点や最大振幅など、解析に頻繁に必要となる情報をヘッダとして書き込む。これらのファイルはイベント毎にアーカイブ化され、圧縮されて保管される。

データを読み出すために専用のライブラリルーチンが用意される。ライブラリは3層に構造化され、データベースを利用するユーザは、ライブラリを自分のプログラムにリンクさせるだけで、簡単にデータベースにアクセスできる。またデータベース自体がテキストファイル主体であるため、UNIX上に用意されているツールを使うことによって、メンテナンスを比較的簡単に行える。

このデータベース化手法は地震波に限らず、画像データなどにも有効な手段であり、今後のLUNAR-A計画をはじめとした惑星探査計画において獲得される、大容量データの処理、蓄積、管理という観点からみても重要なものである。

月探査計画のための深発月震解析

Deep Moonquake analyses for Lunar missions

○寺園 淳也、荒木 博志、水谷 仁（宇宙研）

Jun-ya Terazono, Hiroshi Araki and Hitoshi Mizutani (ISAS)

アポロ計画による月の地震波探査により、月にも地震活動が存在することが明らかになった。しかし、月震の波形は地球の地震波形とは全く異なるものであり、これまで月震の後続波解析はほとんど行われてこなかった。このため今回、深発月震の解析を行い、LUNAR-A計画におけるペネトレータ着陸点について検討した。

まず、深発月震のS/N比を向上させるため、4グループの深発月震についてスタッキング処理を行った。一方、これまでの月震解析の結果得られた月の内部構造モデル(Nakamura et al., 1982)を用い、月における理論的な走時曲線と、幾何学的な波線の拡がり(Geometrical spreading)を計算した。その結果、月内部にコアが存在した場合、コアを通過するP波(PKP)は震源の真裏で直達P波の数十～100倍程度の振幅を示し、コアを通過して裏側で反射され、再びコアを通って震央側の地表に戻る波(PKPPKP)が、震央距離が小さい場合にはかなりの振幅で観測される可能性が明らかになった。

そこでスタッキング処理を行った4グループの深発月震の波形について、走時曲線を参考にしてPKPPKPが存在するかどうか調査したところ、各波形についてPKPPKPと思われるフェーズが同定できた。これらがスタッキングの失敗や地表反射波である可能性は少なく、PKPPKPである可能性が現在のところ高い。

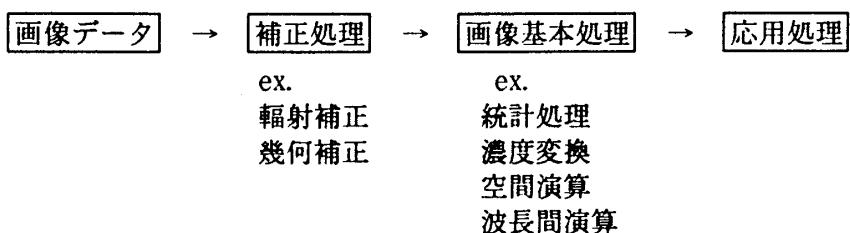
こういったコア由来の深発月震後続波を捉えるためにどのように地震計を配置すればよいかを考察した。1組はアポロとのデータの比較のためにアポロ12号着陸点付近に、もう1組は大振幅のコア通過波を捉るために、最も活動が活発な深発月震グループであるA1の震源の真裏付近に設置するとよいと思われる。残り1組については任意性が残されるが、候補として北緯49度、東経62度付近に設置すると、比較的幅広い震央距離分布が得られる。

リモートセンシングデータの画像処理・解析システムの作成
Image Processing System for Remote Sensing

○向井 苑生, 佐野 到 (近畿大学・理工学部)

惑星間飛翔体探査を目標として、リモートセンシングデータの処理システムを作成する。飛翔体観測は大規模で、様々な要素から成り立っている——観測システム、追跡・管制・運用システム、データ取得・処理システム、検証・支援システム等——。ここでは、紫外波長から赤外波長にわたる広い意味での「光」を手段として、天体表面や大気の情報を探る「光学リモートセンシング」データの画像処理システムを紹介する。即ち、リモートセンシング画像から、必要な情報を抽出するためのアルゴリズムの開発、及びコンピュータシステムの作成ということになる。

処理項目は下のようにまとめられる。



具体的には、人工衛星による地球観測データを用いて、一連の処理手順を示す。また、「光学センサー」を用いた小惑星探査、及び小惑星表層構造の推定法を考察する。全体の構成を図1に示す。小惑星鉱物のスペクトル特性の解析が主な作業となる。波長間演算のような基本的な画像処理の他に、散乱体の組成や形状が散乱光の強度や偏光特性に与える影響を考慮しなければならない。単なる画像処理システムに留まらず、光学現象の理論的な解析を反映したシステムの作成が必要である。

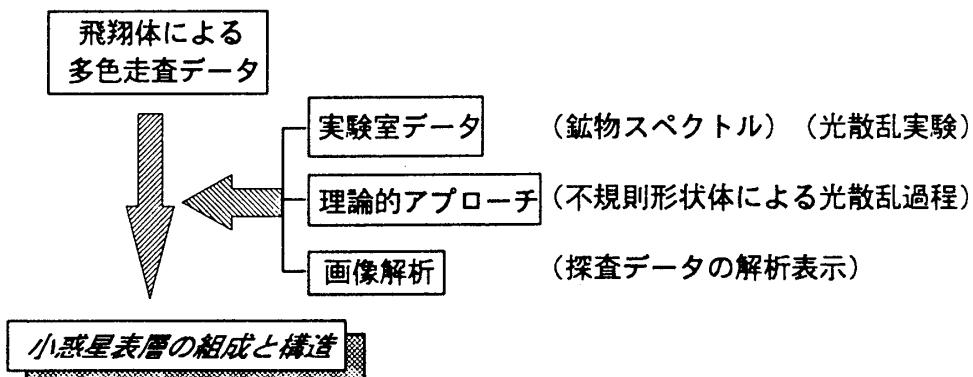


図1. システムフロー

比較惑星河川学 II

Comparative Planetary Potamology II

門田 晃典、水谷 仁
(宇宙科学研究所・惑星研究系)

(はじめに)

火星には地球の河川地形に酷似し、液体の水が流れてできたように見える地形がある。チャネル地形と総称されるこれらの地形は、その形態上直線状、蛇行状、網状の3種類に大きく分類される。特にこれらの内、流路が比較的単純でかつ興味深い、蛇行状チャネル地形をはじめの解析対象とした。そして、このような火星の蛇行地形を地球の蛇行河川地形と定量的に比較し、その地形を形成した流体が何であるか明らかにすることが本研究の目的である。

(考え方)

地球の河川地形学において、蛇行流路の地形的特徴を表す代表的指標が蛇行波長であることが明らかにされ、蛇行波長とその他の特徴量（川幅、蛇行振幅、年平均流水量など）を関係付ける経験式が数多く求められている。また、理論的にも浅水波近似から、蛇行波長がその河川を形成した流体の諸特性を反映していることが導かれている。

$\lambda = (2\pi / 1.5) \times H / C_f$ (但し λ ; 蛇行波長、 H ; 水深、 C_f ; 境界摩擦係数)
従って、蛇行地形を形成した流体が異なれば（例えば水と溶岩のように）、蛇行波長の取り得る値も違ってくると期待される。

しかし、これまでの河川地形学では、見た目で基準軸（デカルト座標系）を設定し卓越蛇行波長を測定してきた。その為、同一の河川地形でも軸の設定の仕方によって卓越波長の値が異なったり、地形によってはどのように座標軸を設定しても河川曲線が多価になってしまいスペクトル解析には不適当であるなど困難が生じる。そこで、これらの欠点を回避する為、我々は河川径路沿いに座標を設定しそれに沿って流路の曲率を測定しスペクトル解析する方法を考案した。講演では、我々の一般的な蛇行波長の測定方法に従って、火星の蛇行チャネル地形をいくつか解析した結果を考察する予定である。

NANO-DIAMONDS IN PRIMITIVE CHONDRITES : (1) THEORY.

M.Ozima and K. Mochizuki. (Department of Earth and Space Science, Faculty of Science, Osaka University)

Micro-diamonds in primitive chondrites are characterized by Xe-HL which was supposed to have formed in type II Supernova. We think that these diamonds were produced by irradiation of carbonaceous matter with energetic particles(including Xe-HL) around type II Supernova. The next paper (1) reports the discovery of nano meter size diamonds in a uranium-rich natural coal, and also the possibility of the production of nano diamonds in graphite which was irradiated with 50 MeV argon beam. All these studies strongly suggest our thought.

The energetic particles interact with the carbonaceous matter: most of the energy is dissipated through electronic interaction, and at the end of the journey the particles produce cascade displacement of target atoms. For an impinging energy E_0 , the number of cascade displacement atoms (n) in the target is given by a simple relation (2) $n = \frac{E_0}{2E_d}$, which gives $n \approx 250$ atoms for $E_0 = 0.01$ MeV(more than 0.01MeV particle must go through the interstellar material). The disturbed region, if formed a cubic shape diamond, would be about 1 nano meters. We show, from a simple energetic consideration, that diamond would be a more stable phase than graphite at a room temperature for a size smaller than a few nano meters. The estimation is made by comparing the excess pressure induced by surface energy of a small particle with the critical pressure above which diamond phase becomes stable. Hence, if the displaced region were to recrystallize, the region would recrystallize to form diamond. It is easy to see that the process necessarily leads to the association of Xe-HL with microdiamonds formed in this manner.

References. 1. Mochizuki,K., Ozima, M., Tuchiyama, A., Kitamura, M. and Shimobayashi, N. (1993) (this volume). 2. Lehmann, Chr. (1977) *Interaction of radiation with solids and elementary defect production.* North-Holland Publ. Amsterdam, page 172.

NANO-DIAMONDS IN PRIMITIVE CHONDRITES: RADIATION-INDUCED ORIGIN? (2) EXPERIMENT.

K.Mochizuki, M.Ozima (Department of Earth and Space Science, Faculty of Science, Osaka University), A.Tsuchiyama (College of General Education, Osaka University) , M.Kitamura and N.Shimobayashi (Department of Geology & Mineralogy, Faculty of Science, Kyoto University)

Ozima and Mochizuki (1) suggested that micro-diamonds in primitive meteorites were formed by irradiation of carbonaceous matters such as graphite, amorphous carbon or hydrocarbons with energetic particles emitted from Supernova. To test this hypothesis, we carried out the following experiments.

(i) We investigated a uranium rich coal from Cluff lake, Canada. Electron Microprobe Analysis of this sample showed that there are numerous uranium oxide grains of about 10-20 μm almost uniformly distributed in hydrocarbon matrix. A small amount of PbS was also identified by the EPMA analysis. If the U, Th-induced radiation were to produce diamonds, they must be found in radiation-damaged regions around the uranium oxide grains. Hence, we very carefully searched for micro-diamonds in the radiation-damaged regions by TEM (transmission electron microscope). We observed many crystalline particles of about 20nm. Electron diffraction analysis on the crystalline particles gave a powder ring pattern similar to diamond, but contain other diffraction spots. We conclude that the observed electron diffraction pattern is essentially due to diamond, but other components such as PbS may also be present.

(ii) We irradiated 50 μm graphite powder by argon beam of 50 MeV with a linear accelerator, and examined the irradiated sample with TEM. We observed a crystalline particle which showed a diffraction pattern similar to diamond. Though less likely, the diffraction pattern may also be attributed to graphite. Since we could not take the diffraction only from one direction, it is difficult to rule out the latter possibility. We are trying to make the electron diffraction analyses of the crystalline particle at least from two directions.

References:(1) M.Ozima, and M.Mochizuki (1993) Nano-diamonds in primitive chondrites: (1) Theory. (this volume).

小惑星探査のための磁気的および電気的サンプラーについて

Magnetic and electric sampling devices for asteroid missions

杉浦直治（東大・理）

小惑星の探査を21世紀の初めに実現させることができが検討されている。現在考えられているのは1kmぐらいの大きさのnear earth asteroidへ行ってhoverring中にサンプルを取って持ち帰るという案である。サンプルの採取方法についてはとりもち方式などが提案されているがcontaminationの問題が避けられない。ここでは小惑星の重力が小さいことを考慮して磁気的および電気的方法で採取する方法を検討する。

磁気的方法：電磁石と永久磁石を用いる方法があるが後者のほうが軽量で有利と思われる。3000Gauss程度の磁場を出す永久磁石は市販されており1ccの大きさのものを考えると距離Z(cm)における磁場の強さは $H=3000/Z^3$ ぐらいである。この磁場による誘導磁化はchondrite的なものを考えるとsusceptibilityを $\chi=0.01\text{emu/g/0e}$ として $m=\chi H$ である。従って磁気的な力は $F=(1/2)d(-mH)/dZ$ で与えられる。小惑星上の1gのものに働く重力は1dyn程度でありこれと磁力が釣りあうのは $Z=6\text{cm}$ である。このような領域に90%のporosityで試料がとれるとするとその重さは300グラムとなる。

電気的方法：今直径0.01mの球形の電極に1000Vの電位を与えると、距離 $r(\text{m})$ に於ける電場は $E=-5/r^2(\text{volt/m})$ である。誘電体(体積=v)に働く力は誘電率がある程度大きいとともによらずに $F=(3/4)vkE(dE/dr)$ 。ここでkは真空の誘電率である。これが重力と釣りあうのは $r=0.0065\text{m}$ であり、この領域に90%のporosityで試料が採取できたとするとその重さは0.18グラムとなる。

評価：量に関して言えば磁気的方法は十分であり、ここに示した電気的方法は不十分である。しかし小型の起電器をもって行けば10000Vの電位をつくるのはむずかしくない。

磁気的方法は採取された試料の磁気的情報を破壊してしまうのが欠点である。またどちらの方法も採取の際にfractionationが起きる可能性がある。

偏光観測から見た小惑星表面構造

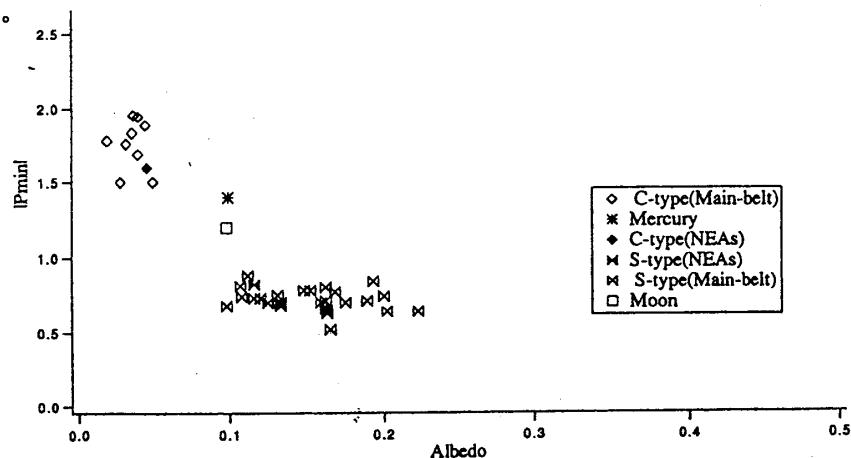
Surface structures of asteroids deduced from Polarimetric observations

° 岩田豊一郎、向井正（神戸大学・理）、楠原徹（倉敷科学センター）
衣笠健三（大阪大学・理）、菊池仙（国立天文台）
平田龍幸（京都大学・理）、及びトウタチス共同観測者

小惑星の偏光量を位相角 α に対してプロットしてみると、その共通の傾向として、(1) $\alpha < 0^\circ \sim 25^\circ$ で負の偏光を示し、(2) $\alpha = 10^\circ$ 付近で負の偏光量が最大となり（負の最大偏光量 $|P_{min}|$ ），(3) $\alpha = 20^\circ \sim 25^\circ$ で偏光が負から正へ反転するのが見られる（反転位相角 α_0 ）。また(4) α_0 付近から $\alpha \sim 90^\circ$ にかけて偏光量は、傾き h で一様に増加する。以上の傾向に加えて、 h や $|P_{min}|$ を、小惑星のアルベドや、タイプと比べると、アルベドの小さいCタイプ小惑星の方が、アルベドの大きいSタイプより、大きな h 、及び大きな $|P_{min}|$ の値を示す事が判っている。

ここでは、昨年の12月から1月中旬にかけて、我々が堂平観測所において観測した小惑星4179Toutatisの可視偏光の結果を報告する。観測は91cm鏡に取付けた多色偏光装置によつて行った。 α が $0.3^\circ \sim 101^\circ$ 、4波長 ($0.41, 0.46, 0.54, 0.70\mu\text{m}$) でデータが得られた。まだ簡易整約の段階ではあるが、その結果、(1) α_0 は、およそ 20° 。(2) h は約 $0.1\%/\deg$ 。

(3) 波長が長い程、偏光量は減少した。以上の結果は、Sタイプ小惑星のこれまでの観測結果と一致する。Toutatisの可視偏光は、クリミヤ天文台でも6夜にわたる観測が報告されている。その結果は、我々のものとよく一致する。ここでは、従来の小惑星の偏光観測にToutatisのデータを加えて比較検討した。これらに基いてToutatisの表面構造にも言及しながら報告する。



○武田弘、佐伯和人、大槻まゆみ（東大・理）

原始的エコンドライトと総称されるコンドライト類縁の隕石には、酸素同位体比から見ると、2つのグループに分けられる (Clayton et al., 1992)。この2つはアカプルコとロドランおよびウィノナとIAB鉄隕石中のケイ酸塩包有物で代表されるものである。それらのサブクラスは、アカプルコアイト (A) とロドラナイト (L) およびウィノナイト (W) などと呼ばれることがある。これらの隕石グループの起源とS型小惑星の関係については、すでにHiroi et al. (1993)により提出されたモデルがある。これによると、もしこれらの2グループが、2つの異なったS型小惑星から来たものだとすると、そのすべての試料を、我々は手に入れてないと思われる事実がある。本講演では、この疑問点に一つの説明を与えようとするものである。

AとWは、結晶化したコンドライト (H7, L7, LL7) と同じような組織を示し、化学組成も本質的にはコンドライト的である。AとWの差は、そのFeMgケイ酸塩鉱物が、一般にAよりもWの方がより還元された物が多いことである (Kimura et al., 1992)。しかし、Aの中にもALH81187のように、形成後の固体状態での還元により一見W的になったもの、EET84302のように、LとAの中間でW的鉱物組成のものもある。LはAよりも、Ca、Al、Fe、Ni、Sなどの低温溶融物が除かれた物であるが、その除去されたものから出来た隕石は見つかっていない。W/IABグループのIAB鉄隕石中には、Caddo Countyのように、上記の除去物が比較的濃集されたと思われる部分が発見された (Takeda et al., 1993)。しかしLに相当するものは、未だ発見されていない。

これらの関連物質の無いことを、原材料物質の違いと、形成過程の違いに求めるよりも、S型小惑星の反射スペクトルより見た多様性からすると、微惑星中での不均質な物質分布と、地球にもたらされる試料の偏りによって説明し得るものである。今後の関連物質の発見と、S型小惑星の探査が期待される。

Allende隕石中の前駆物質の累帯構造

Zonal structure of relict olivine in the Allende meteorite

○札木 充、北村雅夫（京大・理）

コンドルール中に前駆物質の融け残り組織が存在することから、現在では固体前駆物質の二次溶融が、コンドルールの起源として一般的に認められている。しかしながら、固体前駆物質の形成環境についての情報は、二次溶融のためにほとんど残っていない。先に我々は、カソードルミネッセンス法を用いて、Allende隕石のコンドルール中に生成環境の情報を保持していると見られる累帯構造を持った前駆物質の融け残りオリビン結晶を見いだした。今回は、この累帯構造の元素分布の詳細について述べる。

Allende隕石中のある斑状オリビンコンドルールに含まれるオリビン斑晶はルミネッセンス像の特徴により、コア部、内側マントル部、外側マントル部、リム部の4つにわけられる。特にコア部では累帯構造が観察された。その結晶学的方位がオリビンの成長面に対応していることから累帯構造は、オリビンの成長形を示していると考えられる。

オリビン中の微量元素(Al,Ca,Fe,Cr)の組成マッピングをしたところ、ルミネッセンス像に対応した組成変動がそれぞれの元素で観察された。組成分布の特徴から次のことがわかった。

(1)コアの累帯構造の消長からみると、従来考えられていた各元素の濃度プロファイルの変曲点までが融け残りではなく、溶解前線はもっと内側であると考えられる。

(2)コアの累帯構造はAlとCrの組成分布で見られた。特に、Alの分布はルミネッセンス像と一対一に対応している。このことからコア部のルミネッセンスの発光原因はAlであると考えられる。

(3)コンドリュールが形成されたときにできたメルトから成長した部分に比べて融け残り部分はFe,Crに富みAl,Caに乏しい。

(4)AlとCrの相関関係は、融け残り部分では正であるがそれ以外では負である。従って、前駆物質はコンドルール形成時と異なる酸素分圧かで形成したと考えられる。

セッション IV

(10月16日(土) 午前： No. 201 ~ 215)

3次元熱対流の数値シミュレーション

Numerical Simulations of Three-dimensional Thermal Convection

○渡邊 誠一郎, 桑原 徹也 (名大・理)

様々な惑星の様々な時期におけるマントル対流を記述するには、広いパラメータ範囲に対して熱対流の様相を知ることが重要である。熱対流としてのマントル対流の特徴は、(1) 動粘性係数 ν 、熱拡散係数 κ の温度依存性が強いこと、(2) Prandtl 数 $Pt = \nu_0/\kappa_0$ が非常に大きいこと、(3) 放射壊変による内部加熱 (単位質量・単位時間当たり Q) があること等があげられる。

そこで、可変の動粘性係数や熱拡散係数をもつ1相1成分系の Boussinesq 流体 (体膨張係数 α) に対して、3次元熱対流の数値シミュレーションを行った。計算に用いた基礎方程式は、無次元化された形で

$$\begin{aligned} \partial_j v_j &= 0 \\ Pt^{-1} d_t v_j &= -Ra(T - T_0) \mathbf{e}_z - \partial_j \left(\frac{P}{\rho_0} \right) + \partial_k [\nu(\partial_k v_j + \partial_j v_k)] \\ d_t T + D v_z T &= \frac{D}{Ra} (\partial_k v_j + \partial_j v_k) \partial_k v_j + \partial_j (\kappa \partial_j T) + q \end{aligned}$$

と書ける。ここで、 $Ra = \alpha g h^3 \Delta T / (\nu_0 \kappa_0)$ は Rayleigh 数、 $D = \alpha g h / C_P$ は散逸パラメタ、 $q = h^2 Q / (\kappa_0 \Delta T C_P)$ は内部加熱率パラメタ、 h は層の厚さ、 ΔT は上下面温度差である。また、添字 0 が付加された変数は、基準温度 T_0 における値を示している。

数値計算は、名大型計算機センターの汎用3次元流体解析システム α -flow を用いて行った。境界条件は、速度場に関しては slip か non-slip、温度場に関しては温度一定か熱流束一定かを組み合わせてつくった。無次元パラメタ Ra 、 D 、 q の値や ν 、 κ の温度依存性を変えてシミュレーションを行った。

動粘性係数などが一定の通常の Bénard 問題では、既に知られている Ra - Pt ダイアグラムが再現できた。また、動粘性係数に温度依存性をいれると、速度が大きく狭い上昇域と、速度が小さく広い下降域とが生ずることがわかった。講演では、境界条件に関する依存性やセルの形状に関しても議論する予定である。

軽い地殻はプレート運動を止めたのか？

Did light crust stop plate tectonics?

○戸田 康史、阿部 豊 (東大・理・地球惑星物理)

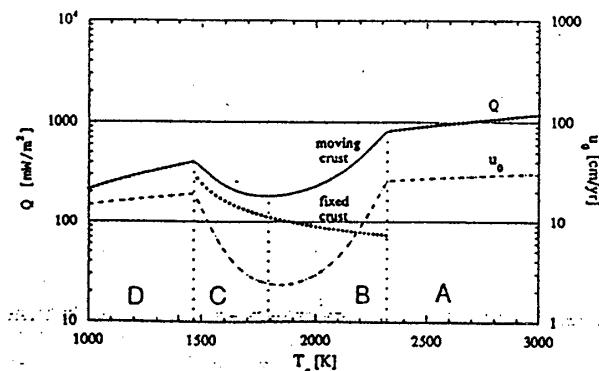
Yasufumi Toda, Yutaka Abe (Dapt. of Earth and Planetary Phisycs, Univ. of Tokyo)

はじめに 初期の地球において、マントルが熱いために表面に軽い地殻が大量に形成される結果、負の浮力が働くとなりプレート運動（サブダクション）が起らなくなってしまう可能性が指摘されている[Davies,1992]。今回、非常に簡単な定常対流モデルを用いて、地殻が表面に形成されたときの影響、特に表面での速度や熱輸送の効率の変化を検討する。

モデルと結果 対流は、Thermal boundary layer theoryに基づき、内部熱源で駆動する2次元矩形領域内の定常対流でモデル化し、地殻の影響を全く考えない場合と、表面に軽い地殻をのせた場合とで比較する。ここで、表面の地殻に関して密度と厚さはマントルの potential temperature T_c に依存すると仮定する[White & McKenzie,1989]。 T_c と、表面での熱流量 Q 及び表面速度の関係をまとめたものが図である。

考察 マントルが熱いとき表面に大量の地殻が形成されるため、地殻の影響を考えないときと比べてプレートの速度は遅くなる。しかし、熱いときには形成される地殻の密度も大きいので完全に止まってしまうということにはならない。

- ・このモデルでは、進化の過程に4つのステージ (A.完全溶融、B.地殻あり($dQ/dT_c > 0$)、C.地殻あり($dQ/dT_c < 0$)、D.火成活動なし) が存在する。
- ・地殻が形成されたあと、 T_c の低下とともに Q も下がっていくが、 Q には最小値が存在し、その近傍では T_c が下がっても Q の値がそれほど変わらない領域が存在する。



参考文献

- Davies,G.F., *Geology*, 20, 963-966, 1992
 White,R. and D.McKenzie, *J.G.R.*, 94, 7685-7729, 1989
 Turcotte,D.L. and G.Shubert, *Geodynamics*, 450pp, Wiley, New York

グリーンランド・イスア地方、先カンブリア紀の堆積岩中における白金族元素

Platinum-group elements in Precambrian sedimentary rocks at Isua, Greenland

- ・ 内野智功、日高洋、海老原充（都立大・理）、古田直紀（環境研）、増田俊明（静大・理）、丸山茂徳（東工大・理）

グリーンランド南西部に位置するイスア地域には、今から約38～39億年前に形成されたと考えられている、地球最古の表成岩が分布している。そこから採取された、深海堆積物であるチャート（chert）と縞状鉄鉱層（banded iron formation；BIF）の数十メートルに及ぶ連続試料から、それぞれ10～20個の試料を選び、機器中性子放射化分析（INAA）法とICP-質量分析（ICP-MS）法で全岩分析を行い、主要元素組成、微量元素組成の測定を行った。これらの分析結果をもとに、上記堆積物が生じた時代の地球環境についての考察を行った。特に、白金族元素の存在度からは、地球誕生以来、38億年前頃まで地球がある程度、深く関わりあったであろう地球外物質との相互作用の程度を探った。

ケイ酸塩と酸化鉄の互層からなるBIFについては、層（数ミリメートル）ごとに切断し、チャートにおいては約1～2センチメートル毎に切断した。分割した試料を粉碎し、各試料あたり40～60ミリグラムを標準試料（JB-1, Allende隕石）とともに、立教大学原子力研究所TRIGA型原子炉で中性子照射を行い、適当時間冷却後 γ 線測定を行った。ICP-MS法では同粉末試料を酸分解し、内標準元素を加えたのち直接、ICP-MSに導入した。又、ICP-MSを用いて、白金族元素であるRuの同位体希釈分析法も試みた。

分析の結果、チャート及びBIF試料中の希土類元素存在度パターン中には、いずれも先カンブリア紀の堆積岩にみられる特徴的なEuの正の異常が認められた。又、チャート中の希土類元素存在度は、BIFのそれと比較すると約1/10倍であった。

いくつかのチャート試料中において、白金族元素であるIrがINAA法により検出された（Ir : 1～6ppb）。残りの試料のIr含有量は0.2ppb以下であり、明らかに一部のチャートにIrが濃縮されていることを示す。この結果は、チャート形成時に少なからず地球外物質の寄与があったことを示唆する。Ir以外の白金族元素としてRuの分析を進めており、両元素の相関性に興味が持たれる。

コア形成と大気・地殻の起源

A role of core formation in the origin of atmosphere and crust

°倉本 圭・松井孝典(東大・理)

コア形成は地球型惑星の表層・内部の揮発性物質の存在量と分布を決定した重要な過程だと考えられる。本研究では惑星表層・内部における金属鉄、溶融珪酸塩及び気相間のC,Hの分配を熱力学的に推定し、その結果を基に大気・地殻の起源と進化について考察した。均質集積を考え、各惑星のC,Hの集積量やコア組成は Dreibus and Wänke(1986)の2成分モデルに依った。 [地球・金星] 集積C量は0.5%惑星質量と推定される。この場合Cは大部分コアに分配される。原始大気・マントル中には主にCO₂として分配される。原始大気中のCO₂分圧は数10~100気圧となる。原始マントル中のCO₂量は高々0.001wt%のオーダーとなり、全て脱ガスしたとしても数10気圧分にしかならない。現在の大気中の⁴⁰Ar量の違いから、全歴史を通じた脱ガス率が地球と金星で大きく異なっていることが示唆されるにも関わらず、現在の両天体の表層のCO₂量がほぼ等しく、数10~100気圧相当分であるという事実は今回の我々の結果と調和的である。一方、集積したHのうち少なくとも約7%は原始大気・マントル系に分配される。原始マントル中のH₂O初期量はseveral×0.01wt%以上と予想される。つまり原始マントルはH₂Oに富み、CO₂に乏しいと考えられる。したがって主にH₂Oに影響された、シリシックな地殻の生成が予想され、地球の大陸地殻の存在と調和的である。 [火星] 集積C量は、約1.4%惑星質量と推定される。コア中のS含有量が高いことから金属鉄相に対してCは飽和し、過剰分はグラファイトとして原始マントル中に分配される。その量はC集積量の約1/2である。一方、集積したHのうち約25%以上が原始大気+マントル系に分配され、原始マントル中のH₂O初期量は0.1~1wt%程度と推定される。つまり原始マントルはCにもH₂Oにも富んでいたと推定される。この場合、マフィックだが酸化的な地殻の生成が予想される。実際、現在の火星の地殻はこのような組成を持っている。またグラファイトの酸化によりH₂Oが分解され、大量のH₂の脱ガスとその散逸が期待される。

高圧下でのシリケイトと金属への希ガスの溶解度実験

Noble gas solubilities of silicate and metal under high pressures

°柴田 智郎(大阪大・理)、高橋 栄一(東京工大・理)、小嶋 稔(大阪大・理)

地球のマントル起源物質中の³He/⁴He比は、大気中のものと比べると高く、またNeの同位体比は太陽風組成のものに近い。このことは、始源的成分の希ガスがマントルに残っていることを示している。一方、大気形成時に上部マントルから大規模な脱ガスが行なわれるため、始源的成分の希ガスはほとんど上部マントルには存在しないと一般に考えられている。そのため、この始源的成分の希ガスは下部マントル、またはコアの中に存在していると思われる。しかし、高温高圧下でのシリケイトメルト、特に金属メルトへの希ガス溶解度の基本的データはほとんど得られていないので、下部マントル、特にコアの中に希ガスが入っているかどうかは明らかではない。したがって、本研究では、地球内部物質への希ガス溶解度を明らかにするために、また同時に、希ガスの高圧下での物理、化学的な基本現象を理解するために、高温高圧の希ガス雰囲気下でシリケイトメルト及び金属メルトへの希ガス溶解度実験を行なった。試料は玄武岩の粉末試料と金属(金、銅)を用いた。圧力媒体として混合希ガスを使い、圧力1~2 Kbar、時間1~2時間、温度1250°Cで溶融させた。以上の様にして得られた試料を四重極質量分析計で分析し、玄武岩および金属への希ガス溶解度を測定した。玄武岩、金とともにそれぞれの希ガスの分圧に対し軽い希ガスほど良く溶け込み易い。金は高圧状態の希ガス雰囲気下で溶融させたにもかかわらず、玄武岩に比べると希ガスはほとんど入っていない。詳しいデータ等の分析および解析は目下進行中である。またUhlig(1937)やBlander(1967)によると、簡単な近似ではあるが希ガスの溶解度は溶媒の表面張力と関係があり、その関係式を用いると希ガスの溶解度から溶媒の表面張力が求まる。今回のような高圧下での溶解実験から得られる溶媒の表面張力の値は粗い近似ではあるが、高圧下でのものとしてある程度の目安となることが期待される。

Blander M. et al. (1958) Solubility of molten fluorides. II. In the LiF-NaF-KF eutectic mixture. *J. Phys. Chem.* 63, 1164-1167. Uhlig H. H. (1937) The solubilities of gases and surface tension. *J. Phys. Chem.* 41, 1215-1225.

凝結性成分を主成分とする大気の数値計算

Numerical simulations of an atmosphere with a condensable component as the major element.

○石渡 正樹・林 祥介(東大 理)

○M. Ishiwatari, Y.-Y. Hayashi (University of Tokyo)

1. はじめに

平均入射太陽放射量がある臨界値 (300 W/m^{-2} 程度) を越えると海洋は存在できずにいわゆる暴走温室状態が引き起こされることが知られている (Nakajima *et al.* 1992 など). しかし、過去の研究は 1 次元放射対流平衡モデルを用いたものであり入射太陽放射量が緯度依存する場合でも同じような臨界値で暴走状態が発生するか否かは調べられていない. 本研究では、暴走温室状態に至る大気構造を 3 次元的循環構造をも含めて調べるための大気モデルの設計とその数値計算を行なう.

2. モデル

構築する系は、暴走温室状態を簡略に表現できる Nakajima *et al.* (1992) の 1 次元放射対流平衡モデルに運動を組み込んだものである. 彼らは、短波放射に関しては透明、長波放射に関しては灰色の仮定を用いていたが、3 次元大気では放射冷却・加熱の構造が運動構造を大きく支配すると予想されるので、短波・長波ともに数色の放射計算を行ない、大気による短波放射の散乱・吸収を考慮する. 放射冷却・加熱によって生じる大気循環は次の式によって記述されるものとする.

$$\begin{aligned} \frac{1}{p_s} \frac{dp_s}{dt} &= -\nabla_\sigma \cdot \mathbf{v}_H - \frac{\partial \dot{\sigma}}{\partial \sigma} + S_q, \quad \frac{dq}{dt} = S_q, \\ \frac{du}{dt} - fv - \frac{uv}{a} \tan \varphi &= -\frac{1}{a \cos \varphi} \frac{\partial \Phi}{\partial \lambda} - \frac{RT}{p_s a \cos \varphi} \frac{\partial p_s}{\partial \lambda} + F_\lambda + S_u, \\ \frac{dv}{dt} + fu + \frac{u^2}{a} \tan \varphi &= -\frac{1}{a} \frac{\partial \Phi}{\partial \varphi} - \frac{RT}{ap_s} \frac{\partial p_s}{\partial \varphi} + F_\varphi + S_v, \\ \frac{\partial \Phi}{\partial \sigma} &= -\frac{RT}{\sigma}, \quad c_v \frac{dT}{dt} = \frac{p}{\rho^2} \frac{d\rho}{dt} + Q + S_T. \end{aligned}$$

それぞれ、緯度、経度、 $\sigma \equiv p/p_s$ 座標 (p は圧力, p_s は表面気圧) における連続の式、水蒸気保存の式、水平運動方程式、静水圧の式、熱力学の式である. また、 q は比湿、 $\mathbf{v}_H = (u, v)$ は速度の水平成分、 T は温度、 a は惑星半径、 Φ は重力ポテンシャル、 R は水蒸気と乾燥空気から成る混合気体の気体定数である. F_λ , F_φ は乱流による運動量輸送、 Q は放射、凝結、粘性発熱による加熱率、 S_q は水蒸気の凝結・降水による大気質量の生成消滅、 S_u , S_v , S_T は降水に伴って起こる運動量、熱の鉛直輸送項を表す. σ 座標を用いているので、水の相変化によって大気量が大幅に増減した場合でも方程式の形を変える必要がないのが利点である. 水蒸気の凝結によって生じる液水の取り扱いは困難な問題であるが、ここではもっとも単純な過程を選ぶことにし、液体の水は瞬時に地面まで達するものとする.

現在、水平全波数 21、鉛直 16 層の場合について、太陽定数を現在の地球における値について計算を行なっている. 講演では、太陽定数を変化させた場合についての計算結果を紹介する予定である.

金星の火山は噴煙をあげるか?

Plinian eruptions on Venus

○松井孝典(東大・理), 杉田精二(ブラウン大学地質学教室)

火成活動はマントル中に含まれる揮発性物質の脱ガスを伴う。従ってその活動の歴史は大気・海洋の起源と密接に関連している。このことは例えば金星と地球の進化の違いを考える上で特に重要である。両天体はその大きさ、平均密度、太陽からの距離が殆ど同じで双子星と呼ばれるにも関わらず、現在の地表環境は大きく異なる。

最近のマジェランによる金星探査は金星の火成活動、テクトニクスの特徴が地球のそれとは著しく異なることを明らかにした。金星にはグローバルなプレートテクトニクスは存在せず、火成活動も全球的に分布し、コロナやテスラ、高地など金星に特有な地形が地表をおおう。これらの特徴は金星のマントルが地球に比べ揮発性物質が少ないと考えれば理解できる。

金星のマントル中の揮発性物質量の推定は従ってそれを通じて、その進化の描像について新たな知見が得られるという意味で特に本質的な問題といえる。本研究は火山活動のスタイルがそのマグマに含まれる揮発性物質量に強く依存すると予想されることからその両者の関係を理論的に明らかにしようとするものである。

火道中のマグマ上昇モデル及び安定な噴煙形成功学モデルから以下のことが結論される。マグマの温度が $1,500^{\circ}\text{K}$ の場合、重量にして2%以上の水、あるいは4%以上の二酸化炭素を含む玄武岩質マグマは爆発性噴火を生じる流紋岩質マグマの場合同数値はそれぞれ3%, 4%となる。上昇する噴煙の高さは火口の直径による。25mの場合40km、200mの場合80kmとなる。

マジェラン探査の画像データ及びEsposito(1984)による大気中の SO_2 濃度の上昇などから金星には爆発を伴う噴火の存在することが予想されるが、このことは少なくともこれらの火山の直下のマントルは揮発性物質に富むことを示唆している。金星のマントルが一部とはいえ wetだとすると、大気進化と couple したマントルの進化モデルの再構築が必要と考えられる。

惑星大気の「相」としての熱圈・成層圈・対流圏(第2報):
内部重力波による均質圏界面・対流圏界面生成・維持の一般理論

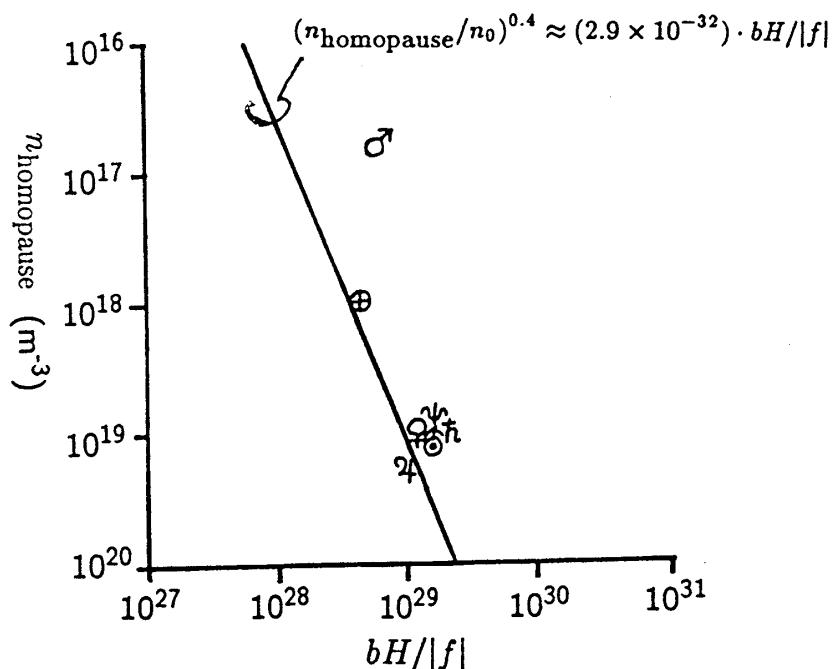
Thermosphere, Stratosphere and Troposphere
as "Phases" of the Planetary-Scale Gases, Part II:
Control of Homopause and Tropopause Levels by Internal Gravity Waves

中山 大学(京大・超高層)

前報(1992年春)で指摘したように、惑星大気中の均質圏界面(乱流圏界面)は平均気圧 $\bar{p} \sim 10^{-3 \pm 1}$ Pa(平均分子数密度 $\bar{n} \sim 10^{18 \pm 1} \text{ m}^{-3}$)、対流圏界面は $\bar{p} \sim 10^4$ Pa($\bar{n} \sim 10^{25} \text{ m}^{-3}$)にほぼ普遍的に存在している。このことを、やはり惑星大気中に普遍的に存在する内部重力波の碎波乱流の特性と結び付けて議論する。

均質圏界面は、鉛直渦拡散係数 K が分子拡散係数 ν と等しくなる高度として定義される。 K は内部重力波が飽和振幅(局所的不安定の臨界値)を保つのに必要な拡散係数 K_{total} から、 ν を差引いた値となると考えられるので、均質圏界面は $K_{\text{total}} = 2\nu$ となる高度である。内部重力波の飽和理論から $K_{\text{total}} \propto |\omega| \cdot |m|^{-3}$ となる($|m|, |\omega|$ は鉛直波数および周波数の卓越値の大きさ)が、 $|m|$ の鉛直分布のスケールハイトの \bar{n} のスケールハイト H に対する比(地球大気中での観測結果から $34/7$)、および $|\omega|$ と有効 Coriolis 因子 $|f|$ の大きさに対する比(同じく3倍)は、飽和(碎波)機構そのものと同様、惑星によらないものと仮定する一方 $\nu = b/\bar{n}$ となる(b は分子衝突係数)ので、結局均質圏界面高度における \bar{n} は、 $bH/|f|$ なる無次元パラメタのみの関数として普遍的に表わせる。多くの惑星大気観測における $bH/|f|$ の値はかなり似かよっており、均質圏界面が $\bar{n} \sim 10^{18 \pm 1} \text{ m}^{-3}$ の高度領域に普遍的に維持されていることと矛盾しない(下図参照)。

対流圏界面高度の維持についても、鉛直波長 $\sim H$ の波の碎波乱流(対流)を考えて同様に議論できそうである。そのような碎波乱流による鉛直渦拡散は、光学的深さ ~ 1 で $\bar{n} \sim 10^{25} \text{ m}^{-3}$ となる高度より下方の超断熱温度勾配を緩和するのに充分である。



火星における上層・下層大気結合

Coupling of the Upper and Lower Atmospheres at Mars

°品川裕之（通総研・平磯）

火星では非常に大規模なダストストームが時々起こり、それに伴い、下層・中層大気の加熱が起こることが観測されている。これにより火星大気全体が持ち上がり、電離圏のピークの高さが増加することが予想されている。実際、Mariner 9 の初めの観測期間ではダストストームが発生し、このときの電離圏のピークの高度は他の期間に観測されていたものより 10 - 30 km 程度高くなっていた。この高度の増加をダストストームによるものと解釈する報告もある。Mariner 9 は火星を周回し、radio occultation の観測によって、表面から高度数十 km までの温度、圧力分布、及び電離圏での電子密度の高度分布を同時に測定した。Mariner 9 の初めの期間では 大規模なダストストームが発生し、下層・中層大気の加熱が観測された。品川 [1993] は、これらのデータから、電子密度ピーク高度と表面近くでのパラメータ（温度、温度勾配、気圧など）との関係を調べたが、ほとんど相関は見いだせなかった。一方、太陽天頂角と電子密度ピーク高度の場合にははっきりした相関が見られ、その傾向は、理論的なモデル（Chapman モデル）に近いが、太陽天頂角からのばらつきも多少存在している。

今回は、表面付近のパラメータと、太陽天頂角の影響を差し引いた電離圏ピーク高度との相関を Mariner 9 のデータを用いて調べた。その結果、表面気圧と電離圏のピークの高度との間に良い相関があることがわかった。気圧が高い程電離圏高度が高くなる傾向が存在する。しかし、温度や温度勾配との相関は認められなかった。また、Mariner 9 の前期と後期の観測の電離圏のピーク高度の大幅な違いについてはまだ明らかではない。

参考文献

品川、「火星の電離圏」、平成 3 年度宇宙科学研究所磁気圏・電離圏シンポジウム集録、1992。

° 比屋根肇（東大・理）

最近、マントル中の太陽組成のヘリウムとネオンの起源を、海洋底に沈み込んだ惑星間塵（I D P s）中のヘリウムとネオンが、サブダクションによってマントルにもたらされた結果だという説が相次いで発表された〔1，2〕。しかしながら、この仮説が成り立つためには、スラブがマントルにもぐり込む際に、惑星間塵中のヘリウムとネオンが加熱により失われることなく保持されていなければならぬ。この可能性を検証するため、深海底堆積物から磁性成分（I D P s が濃縮していることが知られている）を分離し、そこに含まれている地球外起源のヘリウムとネオンについて拡散係数を調べる実験をおこなった。

用いた深海底堆積物は北緯 $9^{\circ}30'$ 、西経 $174^{\circ}17'$ の地点で第二白嶺丸により採取されたもの。まず、約300グラム（乾燥重量にして約85グラム）の試料から、マグネットで約200ミリグラムの磁性成分を分離した。得られた試料は、乾燥した後白金箔で包み、希ガス抽出用の真空ラインで、摂氏500度から1300度まで100度ステップの段階加熱をおこない、最後に1600度で融解させた。それぞれの温度で出てきたヘリウムとネオンのリリースパターンから拡散係数（D）を計算した。

結果は次の通りである。ヘリウム：99%のヘリウムが失われる条件は、摂氏500度で30日、わずか300度でも10年以内。ネオン：99%のネオンが失われる条件は、（見積りに幅があるが）摂氏500度で1年から10年以内、300度でも10年から1万年以内である。

この実験の結果、惑星間塵中のヘリウムとネオンの拡散は非常に早く、サブダクションの際に簡単に失われてしまうことがわかった。したがって、マントルのヘリウムとネオンはマントル固有の始源的なものと考えるべきである。

参考文献：1. Anderson, D.L., (1993) Science, 261, 170-176.

2. Allegre C.J., et al. (1993) Earth Planet. Sci. Lett., 117, 229-233.

地球型惑星の火成活動と脱ガス史

**Volcanic activities on the terrestrial planets estimated from
a degassing model coupled with thermal history**

○田近 英一、松井孝典（東大・理）

惑星大気の形成は、惑星形成期における衝突脱ガスに起因する可能性が高い。一方で、大気進化に関係するような惑星史にわたる脱ガスは、主として火成活動を通じて起こるため、惑星内部の熱的進化と密接な関係にあると考えられる。そこで、マントルの熱史と結合した⁴⁰Arの脱ガスモデルを用い、現在の地球・金星・火星大気中の⁴⁰Ar量を制約条件として、これら3つの地球型惑星における火成活動度の推定を試みる。モデルでは、(1)カリウムの放射壞変による⁴⁰Arの生成、(2)惑星内部の冷却過程（熱史）に基づくマントルの平均温度、熱流量、メルト生産率などの時間変化の推定、(3)マントル物質の断熱上昇によるメルトの生成、(4)メルト生成によるアルゴンおよびカリウムの固-液-気相分配、(5)マグマ噴出に伴う⁴⁰Arの大気への脱ガス、などについて考慮する。

地球の場合、現在の大気中の⁴⁰Ar量(6.6×10^{16} kg)を脱ガスさせるための46億年平均のメルト生産率は $35\sim40 \text{ km}^3/\text{yr}$ であり、現在の中央海嶺における火成活動によるメルト生産率($20 \text{ km}^3/\text{yr}$)とほぼ同程度である(このことは、もしも地球史を通じて現在のようなプレートテクトニクスが存在した場合、海洋底の生産率、すなわち海洋底拡大速度は現在と同程度であった可能性を示唆している)。金星の場合、大気中の⁴⁰Ar($=1.4 \times 10^{16}$ kg)を脱ガスさせるための平均マグマ噴出率は $5 \text{ km}^3/\text{yr}$ 程度、火星の場合(⁴⁰Ar= 0.045×10^{16} kg)は $0.1 \text{ km}^3/\text{yr}$ 以下程度と推定される。これらの結果は、金星表面のクレーター密度を説明するための地表面更新モデルからの推定値や、火星の地質図に基づくマグマ噴出率の推定値などと調和的である。したがって、地球型惑星では大気中の⁴⁰Ar量が多いほどマグマ噴出率が大きく、しかもその⁴⁰Arの脱ガス量を説明するためにモデルから要請される平均的なマグマ噴出率は、それぞれの惑星における観測値や理論的推定値と同程度であることが分かる。以上のことから、地球型惑星の火成活動史(平均マグマ噴出率)と脱ガス史(大気中の⁴⁰Ar量)との間には定量的な関係があると結論できる。

大気の軸対称的循環、非軸対称的循環の比較：角運動量収支と帶状風分布

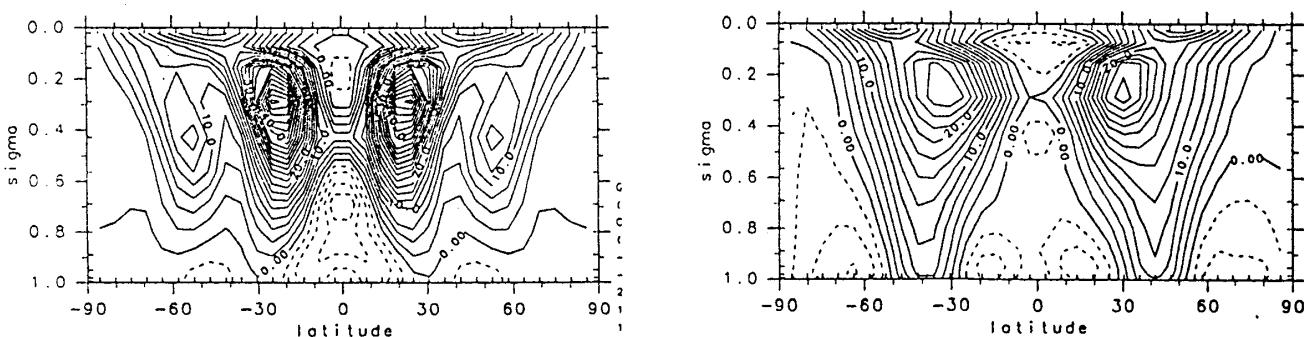
A comparison of angular momentum budget and zonal winds between symmetric and asymmetric atmospheres

佐藤 正樹 (埼玉工業大学機械工学科)
塩原 将行 (東大理学部), 高橋 正明 (東大気候システム)

地球大気における角運動量収支については多くの解析的な研究が行われており、東西風分布の維持にハドレー循環、傾圧波といった循環系が重要な役割を果たしているということは十分に認識されている (e.g. Palmen and Newton, 1969). しかし、現在の地球で見られるような角運動量収支がどのような条件において成立するかといったことは明かではない。ここでは、自転軸に対し軸対称性を仮定した2次元モデルと3次元モデルの結果を比較し、角運動量収支・東西風分布にどのような差異が現れるか調べることにする。

下図には、大気大循環モデルの2次元版と3次元版の平均東西風の子午面分布を示した (CCSR/NIES AGCM, T21 鉛直 12 層)。ただし静止状態から 100 日までの積分であるため、まだ平衡状態に達していないことを注意しておく。3次元モデルでは傾圧波の存在のため、中緯度では上層から下層に到るまで西風になっており、2次元モデルに比べて角運動量が有效地に下層に輸送されていることがわかる。極付近の地表風は東風となっているが、さらに積分をすすめると東風はほとんど消失する。このように3次元状況での角運動量収支は、低緯度東風域 (= ハドレー循環領域) での地表から大気への流入、ハドレー循環による上層への輸送、傾圧波による下層への輸送、中高緯度の西風帯における大気から地表への流出とのバランスからなっている。

自転角速度 (Ω) を変化させた実験を行った。2次元モデルでは Ω が大きいほどハドレー循環の幅が狭くなる。3次元モデルでは Ω が地球の3倍にすると中高緯度の地表には定常的な東風、西風帯が交互にならび、せまい緯度範囲で角運動量の流入、流出が生じていることがわかる。また多重ジェットになっていることも確認できる。傾圧波の存在する領域は、ハドレー循環によって強度が受動的に定まる部分と、傾圧波の事情だけでその性質が定まる部分とに類別できる。地球パラメーターでの傾圧帯はハドレー循環と密接な関係にあり、その強度は角運動量収支を鍵として見積もることができそうである。



平均東西風。(左)2次元、(右)3次元実験。等値線間隔 2.5 m/s.

回転球殻のブジネスク対流～赤道加速に関する考察

Boussinesq convection in rotating spherical shells
: a study on the equatorial superrotation

○竹広 真一・林 祥介(東大 理)

○S. Takehiro, Y.-Y. Hayashi (University of Tokyo)

1. はじめに

ポイジャー探査機などの雲追跡から得られた木星、土星の風速分布では赤道で自転速度よりも速く回転している「赤道加速」が見られる。このことは外惑星や太陽など、一様な内部熱源により大気運動が駆動されているとされる天体の大気運動の共通の特徴のように思われてきた。しかしながら、比較的最近に観測された海王星の風速分布は赤道周辺で自転速度より遅く回転している。このような外惑星、太陽の大気運動は回転球殻内のブジネスク流体の構組みで研究されてきているが、その振舞いのパラメーター依存性はまだ十分に調べられてはいない。そこで、回転球殻内のブジネスク対流によって引き起こされる平均帶状流の赤道での風向きに注目し、比較的取り扱いが簡単な回転が遅い場合についてのパラメーター依存性を調べて見た。

2. 弱非線形計算

一様熱源を持つ回転球殻内のブジネスク対流の臨界モードを求め、その非線形効果により励起される平均帶状流を数値的に計算したのが図1である。境界条件は温度固定、free-slipを用いている。いずれも回転の効果を表すテイラー数 Ta は同じである。図1b,c は図1a に対してそれぞれプランドル数 Pr 、球殻の厚み $\eta \equiv r_{in}/r_{out}$ を大きくした場合であり、どちらの場合も赤道加速から減速に変化している。

3. 角運動量輸送

角運動量輸送の定性的な性質を回転が遅い場合について考察してみる。回転が遅い場合に生じる球殻内の対流の臨界モードの特徴は対流セルが南北方向に向いており、赤道で振幅が最大となっていることである。赤道から離れたところではコリオリ力のために南北流が生成される。そのため $\langle \bar{v}v \rangle$ により赤道に運動量が輸送され、赤道加速の方向に働く。一方、対流による熱輸送は赤道で最大であるので帶状平均温度場は赤道上層で高温となり、緯度方向の温度傾度が生じる。これによって引き起こされる子午面循環は赤道付近の角運動量を高緯度に運ぶことになり、赤道減速の方向に働く。プランドル数が大きい、すなわち粘性が相対的に大きくなると、誘起される南北流が弱まり赤道減速になりやすくなると考えられる。また、球殻が厚いと子午面循環による角運動量の出入りが大きくなるので赤道減速になりやすいと考えられる。

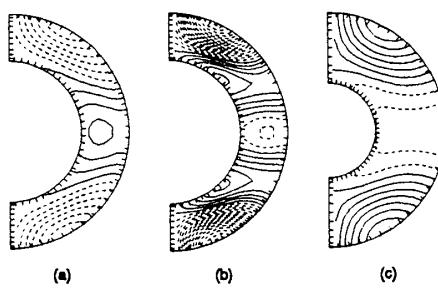


図1. 臨界モードにより引き起こされる平均東西風。実線部西風、点線部東風。

- (a) $\eta = 0.6, Pr = 1, Ta = 10.$
- (b) $\eta = 0.6, Pr = 100, Ta = 10.$
- (c) $\eta = 0.4, Pr = 1, Ta = 10.$

縞状鉄鉱床のリズム解析

Analysis of rhythm in banded iron formation

・ 吉岡 秀佳、熊谷 博之、高野 雅夫、熊沢 峰夫（名大・理）

磯崎 行雄、丸山 茂徳（東工大・理）

縞状鉄鉱床を用いた研究戦略

縞状鉄鉱床は、鉄を多く含む層と石英からなる層が互層する堆積岩である。鉄は次のようなプロセスで堆積したと考えられている。水溶性の2価の鉄イオンが深層水中に大量に蓄えられていて、それが上昇流により表層近くに運搬され、そこで3価に酸化されて不溶性となり沈殿した。酸化の原因是、光合成活動起源の酸素や、光化学反応等の説が提案されている。すると、鉄の堆積リズムは、上昇流を起こす海洋循環や、気候変動、又は生物の日周活動や年周活動等を反映していると考えられる。これらは、地球システムの中におけるサブシステム（大気、海洋、生物圏等）の変動である。それらは、互いに相互作用しながら進化しているが、その動起源は天体力学的なものであり、日射量や地球の軌道要素の変動を通じてサブシステムに作用していると考えられる。そこで、我々は、縞状鉄鉱床の縞模様から、天体力学的環境（地球の自転や軌道要素、月-地球系の角運動量の輸送等）の進化とそれに対する地球システムの応答特性を明かにする試みを開始した。

サンプルと解析方法

試料は、西オーストラリアのビルバラ地域で採集された縞状鉄鉱床（33億年前に形成）である。構成鉱物は、細粒（ $1 \mu\text{m}$ 以下）の石英（ SiO_2 ）と鉄鉱石（ FeO(OH) ）の粒子（ μm から数百 μm ）からなり、鉄鉱石の粒子の含有量に比例して灰色から黒色に変化する。まず、試料の断面を画像データとして取り込み組成の濃度プロファイルをつくる。次に、得られた空間系列を時系列に変換するために、各成分の濃度と堆積速度の関係をモデル化する必要がある。それによって、層序に沿って刻まれる時間目盛りは特殊な場合を除き線形でなくなり時系列も様変わりする。そこで、我々は、得られた時系列の周波数スペクトルに注目し、モデル依存性を調べた。講演では、以上の様な戦略と現在までの解析結果を報告したい。

鍾乳石中のラジカル分布と縞模様

Radical distribution and striped pattern
in stalactite

○細川浩二・池谷元伺
(大阪大学理学部宇宙地球科学科)

自然放射線により生じたラジカル種を、電子スピン共鳴(ESR)で検出し、年代を求める「ESR年代測定法」¹⁾を用いて、サンゴや鍾乳石では、 CO_2^- のESR信号から年代が求められている。また、ESRでは、不純物に関連した信号(例えば SO_3^-)も同時に検出できる。この不純物が、地表における環境変動に応じて変化しているなら、サンゴや鍾乳石には、時に対する環境の変化が記録されている、と考えられる。例えば、サンゴ中の SO_3^- の分布を求め、海洋の SO_3^- (大気中の SO_2 と関連?)の濃度分布を求めた研究がなされている²⁾。鍾乳石に関しては、鍾乳洞の周辺地域での火山活動の変化に応じて、水の中の SO_3^- の量が変化し、その水に溶けた CaCO_3 が析出して成長する鍾乳石中に SO_3^- の濃度分布が現われる、と考えた。

今回、鍾乳石として、ギリシャ北部のペトラロナ洞窟の石筍を用いた。測定手段として、当研究室で開発した走査型ESR顕微鏡³⁾を用い、鍾乳石中のラジカル、 SO_3^- や CO_2^- の2次元分布画像を得た。 SO_3^- と火山活動、 CO_2^- と年代値との関連調べ、年代に対する火山活動の推移を考察する。

また、イメージングプレート(富士フィルム製)を用い、内部放射線源の2次元分布を得る実験も行なっている。

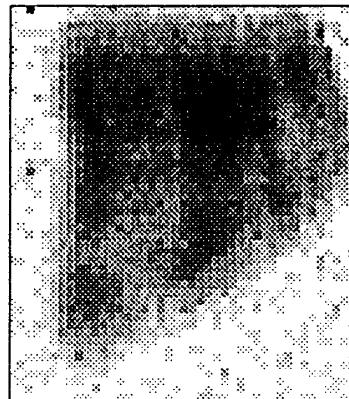
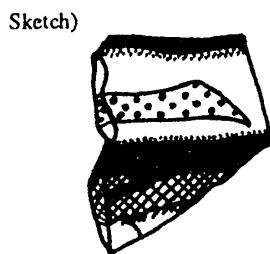


Fig.1 Distribution of SO_3^- radical in the carbonate travertine at Petralona cavern, Greece, using a scanning ESR microscope.

1)池谷元伺：「ESR（電子スピン共鳴）年代測定」アイオニクス社 1987

2) S.Ikeda, et al ; Jpn. J. Appl. Phys. Vol. 31 (1992) L1644-L1646

3)池谷元伺、三木俊克：「ESR顕微鏡」 シュプリンガー東京 1992

セッショング・V・VI

(10月16日(土) 午後: No. 251 ~ 271)

原始惑星系円盤形成の初期角運動量分布依存性

Dependence of Protoplanetary Disk Formation on
Initial Angular Momentum Distributions

°中本泰史 (国立天文台), 中川義次 (東大・理)

はじめに 惑星系を形成する前段階の天体である原始惑星系円盤は, 分子雲コアの重力収縮によって形成される. この原始惑星系円盤形成過程の, 初期分子雲コア内の角運動量分布依存性を調べた. 円盤内に比較的大きなトルクが働いている場合には, 初期角運動量分布依存性が小さい上に, 観測されている円盤とほぼ同程度の質量をもつような原始惑星系円盤が形成されることがわかった.

モデル 分子雲コアの収縮過程と, 原始惑星系円盤内の disk accretion 過程の二つの過程を同時に考慮する.

分子雲コアの初期状態は, 中心からの距離の逆2乗に比例する球対称の密度分布とするが, 回転に関しては, 一様回転, 差動回転の両方の場合を調べる. 原始惑星系円盤内の disk accretion については, 粘性によるトルク, および重力トルクが働くと考える. 特に重力トルクによって円盤は重力不安定がまぬがれるような, 効率の良い重力トルクが働くとする.

結果 円盤内に比較的大きな粘性が働いている場合には, 最終的な円盤の質量は観測から見積られている値とほぼ同程度になる. このように大きな粘性が働いている場合には初期条件がほとんど保存されない. 最終的な円盤の状態(質量分布など)は初期分子雲コア内の角運動量分布に依存せず, disk accretion 過程の結果として決定される.

原始太陽系星雲中に成長する 磁場の効果の数値シミュレーション

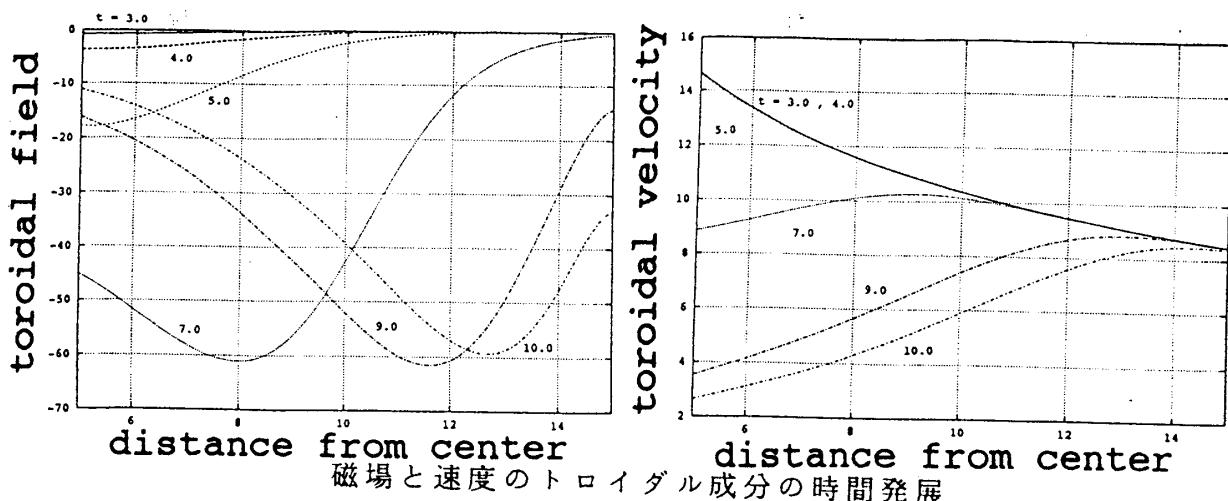
Numerical Simulation of the Effect of Magnetic Field
Generated in Protosolar Nebula

° 守屋 卓（東北大・理）、大家 寛（東北大・理）

我々の太陽系は形成期において現在よりも強い磁場をもっていたとされている。Levyは原始太陽系星雲ではケプラー運動と乱流の効果によって $\alpha - \omega$ ダイナモが成立してこの様な磁場を維持したと提唱した (Levy, 1978)。この磁場の空間的な構造はケプラー運動と α 効果を仮定することによって求められ、トロイダルフィールドの卓越したスパイラル状の磁場が成長する (Stepinski & Levy; 1988, 1990, 1991)。

この様な磁場が存在することで原始太陽系星雲は磁気的なトルクを受け角運動量の輸送が起きる。しかしその結果速度構造が変化して、磁場の構造も変化する。この様な状況を電磁流体力学的に追跡して、原始太陽系星雲の進化に対する磁場の影響を調べるために、シミュレーションコードを開発した。計算は連続の式、運動方程式、状態方程式、磁場の誘導方程式を連立させて解き、2次精度の中心差分と4次のRKG法を組合わせている。原始太陽系星雲を円盤として円筒座標系で扱い、軸対称とする。

ケプラー回転を初期状態とすると原始太陽側で動径方向への流れが生じてケプラー回転からのずれが大きくなり、トロイダルフィールドの強い領域が外側へと移動していく。今後は、密度構造の変化や境界条件の効果、原始太陽の磁場の効果にも着目していく予定である。



原始太陽系星雲の二層モデル

A two-layer model of the
primitive solar nebula

° 関谷実（帝京大・理工）、梅林豊治（山形大・理）

最近の観測により太陽程度の質量の若い星（Tタウリ星）のまわりにはディスクがある事が分かってきた。これはいわゆる原始太陽系星雲の様な物であると考えられている。この星雲の進化を起こす原因としては（1）対流（2）重力不安定性（3）シア不安定性（4）潮汐力（5）風（6）紫外線（7）磁場等が考えられる。これらのうち（1）～（3）は古典的Tタウリ星の活動の主な原因かも知れないが、星雲を最後まで完全に散逸させはしないであろう。また、ダストが赤道面に向かって沈殿できないために微惑星が形成されない可能性がある。（4）は伴星または巨大惑星の存在が必要である。（5）と（6）は最近ではディスクの散逸を起こす原因であるよりはむしろディスクの降着による結果であるという考え方方が有力である。ここでは最後の（7）の可能性を考える。

原始太陽系星雲の電離度は宇宙線による電離とダスト上での再結合の釣合で決まっている。ダストは太陽重力の星雲の赤道面に垂直な成分により赤道面に向かって沈殿する。それとともに星雲の表面付近の層の電離度が高くなる。磁場はケプラー差動回転により増幅されるがオーム散逸やプラズマ・ドリフトにより減衰される。星雲の表層付近の低密度の領域ではプラズマ・ドリフトが主に効く事になるが、これは電離度が高いと起こりにくい。従って電離度が十分に高い層では磁場が増幅されて、最終的には磁気乱流状態になり、角運動量が有效地に輸送されると予想される。一方それ以外の層では角運動量は余り輸送されない事になる。これらの二層からなる簡単なモデルに基づいて星雲の進化を解いたところ、 $10^{-7} \sim 10^{-8}$ [太陽質量／年] 程度の降着が起こり得る事が分かった。このモデルのおもしろい点は、固体物質を沈殿させながら星雲を進化させるところにある。従って微惑星が出来ない心配はない。磁場の増幅はダストの沈殿とカップルして起こるので、今後はそれらをカップルして、より精密に解く必要がある。また輻射輸送についてもう少し精密な取扱いが必要になってくるであろう。

原始惑星のまわりの微惑星集団の統計的振舞

Statistical Behavior of a Swarm of Planetesimals around a Protoplanet

°田中秀和・井田茂・中沢清（東工大・理）

現在の惑星形成論における主要な課題の一つは、惑星の成長時間を明らかにすることである。惑星成長時間は、集積の材料である微惑星集団の統計的振舞（運動状態と空間分布）がどのようにあるかによって大きく左右される。したがって、原始惑星のまわりの微惑星集団の運動状態と空間分布を把握することは非常に重要である。

微惑星集団の運動状態はそれらのランダムな運動で特徴づけられる。このランダム運動の強さは、互いの重力散乱による励起と星雲ガスの抵抗による抑制の釣合により決まる。一方、微惑星集団の空間分布は、微惑星同士の重力散乱と原始惑星による重力散乱の2つの効果によって決定される。微惑星同士の重力散乱は分布を一様化する働きがあり、原始惑星による重力散乱は非一様にしようとする。よって暴走成長をし、圧倒的に大きくなつた原始惑星のまわりでは後者の効果が顕著になり、非一様な分布が実現されるであろう。

我々は、原始惑星のまわりの微惑星一つ一つの軌道進化を追うことにより、このように原始惑星によって非一様になった微惑星集団の統計的振舞を調べた。我々のシミュレーションでは、原始惑星の重力散乱が微惑星同士の重力散乱より効くような状況を考え、微惑星同士の散乱は無視し、原始惑星による重力散乱とガス抵抗の2つの効果を取り入れ計算を行った。シミュレーションの結果、微惑星の空間分布は次のように進化した。

1. 原始惑星とほぼ同じ軌道長半径をもつ微惑星は、原始惑星により散乱されることにより、ランダム運動が励起されるとともに、異なった軌道長半径を持つようになる。
2. 獲得されたランダム運動はガス抵抗により減衰し、その結果、原始惑星の軌道のまわりには微惑星はほとんど存在しなくなった。

この様な微惑星の空間分布が実現されると、原始惑星の成長率は低くなりその結果暴走成長は止まると予想される。原始惑星の暴走成長の行方を明らかにするためには、さらに微惑星同士の重力散乱を考慮にいれ微惑星集団の統計的振舞を調べる必要があるであろう。

Are the Kuiper Belt Objects 1993QB₁ and 1993FW Remnant Planetesimals?

° 山本哲生, 水谷仁, 門田晃典 (宇宙研)

° Tetsuo Yamamoto, Hitoshi Mizutani, and Akinori Kadota (ISAS)

The recent discovery of 1992QB₁ and 1993FW by Jewitt and Luu^{1,2)} provides us an opportunity to test the concept of a planetesimal, which plays a key role in the theory of solar-system formation. We compare the results of the observations with the predictions of the planetesimal model of cometary nuclei³, and explore the possibility that 1992QB₁ and 1993FW are remnant planetesimals. The comparison shows that: (1) the orbital elements deduced from the planetesimal model at the heliocentric distance of 1992QB₁ and 1993FW are consistent with those observed, and (2) the size deduced from the planetesimal model agrees fairly well with the observed ones. These results strongly suggest that 1992QB₁ and 1993FW are remnant planetesimals. It is pointed out that the population of the planetesimal cloud has a maximum population at heliocentric distances around 100 to 200 AU. For future observations, we predict the population of such objects as a function of the visual magnitude in a given field of view and the infrared thermal emission spectrum.

References

- 1) Jewitt, D. and Luu, J. Nature 362, 730 (1993).
- 2) IAU Circular No. 5730 (1993).
- 3) Yamamoto T. and Kozasa T. Icarus 75, 540 (1988).

低温下における氷球の衝突反発実験

Impact experiments of ice spheres rebounding on
an ice block at low temperatures

° 比嘉道也、荒川政彦、前野紀一（北大・低温研）

<1.はじめに> 土星のリングは氷粒子で構成されている。リング粒子同士は軌道の交差によって衝突する。粒子群の軌道進化をシミュレートするためには氷の衝突特性が必要である。我々はリングの温度環境(<100K)を考慮し幅広い速度領域で氷粒子を氷ブロックに衝突させて鉛直方向の反発係数(e)の測定を行った。以下に e の衝突速度依存性、温度依存性について報告する。

<2.装置と実験方法> 氷球(半径1.5cm)と氷ブロックは多結晶氷を整形して用いた。

(i).速度依存性：実験は低温室で試料の温度(270-245K)を一定に保ち氷球を氷ブロック(約10×10×10cm³)に速度5-10³cm/sで衝突させ e を求めた。(ii) 温度依存性：実験は低温低速度衝突装置を用い低温下(213-113K)で氷球を固定した氷ブロック(約10×10×3.5cm³)に速度157±7、267±7cm/sで衝突させ e を求めた。 e は高速度ビデオ撮影又はAEセンサーを用いて測定した。

<3.実験結果> 衝突による氷球の変形状態をNo Crack型(NC)、Crack型(C)、Fragmentation型(F)に分類した。NC型は衝突後のサンプルにクラックが観察されなかったもの、C型($m/M_p > 95\%$)とF型($m/M_p \leq 95\%$)はクラック又は破壊が観察された場合でパラメータ $m/M_p = (\text{氷球の最大破片質量}) / (\text{氷球質量})$ を用い定義した。実験(i)から e の値が速度によらない準弾性領域と速度の増加と共に減少する非弾性領域に分けられた。変形状態は準弾性領域でNC型、非弾性領域でC型、F型である。実験(ii)から一定速度の衝突で、変形状態は温度の減少と共にF型、C型、NC型に変化することが分かった。また温度の減少と共にNC型の現われる準弾性領域がより高速側へ広がった。この領域では e の温度-速度依存性あまり見られず約0.7-0.9の一定値になった。

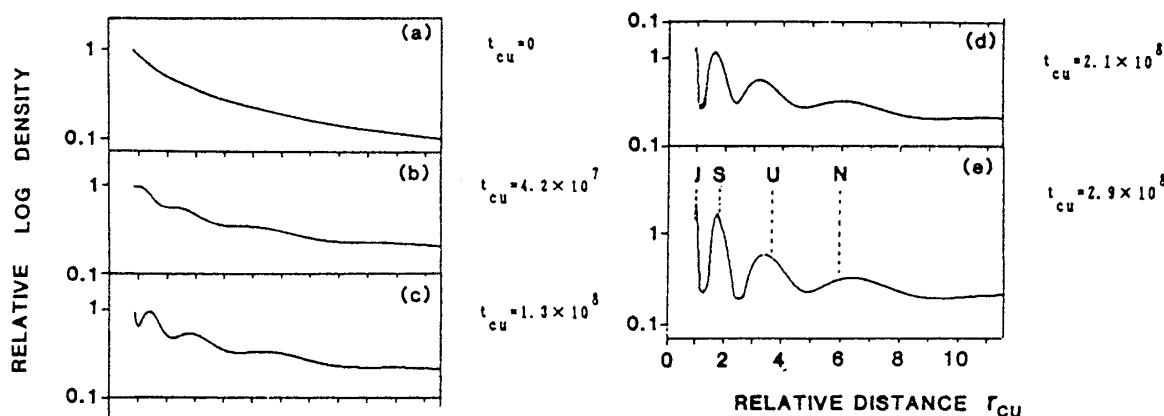
巨大惑星形成にかかわる初期物質集積
過程のシミュレーション

Similation Studies on the Initial Phase of Material Accumulation-Processes
Relating to the Formation of the Giant Planet

° 大家 寛、飯島 雅英、守屋 卓（東北大・理）

原始太陽系形成に関して巨大惑星形成は原始太陽の形成に引き続いて進行したと考えられている（Oya, 1982）。これらの時期はその後発見された双極流の時代に対応していて、原始太陽の活動開始とともに、多量の物質が外側に向って流出してゆく過程が問題の中心となる。

すでに基礎的な準定常モデル（Oya, 1993）が検討されて内部密度波がその源となることが提言されているが、さらにコンピュータシミュレーションにより、かなり非線形性が大きくなる時間まで検討が進められている（Oya and Iizima, 1993）。この研究では、シミュレーションコードの精度を向上させ、さらに長時間にわたっての変動を追求し、いかなる初期条件から出発しても、ボーデの法則を満たす位置で密度集中が起こることが確認された。また問題をさらに二次元の場合に発展させつつある。



シミュレーションの例（After Oya and Iizima, 1993）

References

- Oya, H., Proc. 15th ISAS Lunar Planet. Symp., 230.
- Oya, H., Primitive Solar Nebula and Origin of Planets, Terra Pub., pp195-220.
- Oya, H. and M. Iizima, Primitive Solar Nebula and Origin of Planets,
Terra Pub., pp221-240.

Magnetic ordering of nonmagnetic materials and its application to the mechanism of intersteller grain ordering.

° 茅原弘毅、植田千秋、土山 明、山中高光(阪大教養)

一般に磁場中に置かれた反磁性物質には、磁場と逆方向に弱い磁化が発生する。これは磁性イオンによる磁化とは異なる物性に由来し、あらゆる原子およびイオンに一般的に見られるものの、その大きさは磁性イオンモーメントに比べ桁違いに小さい。反磁性は、物質の磁場効果の担い手として注目されることはなかったが、近年、有機高分子および無機結晶の両方で、反磁性異方性に起因する磁場整列現象が発見された。ミクロンサイズの層状シリケート粒子は、1T前後の外磁場で整列する。また1モル程度の非磁性単結晶を、細糸で磁場中に吊した場合、様々な磁場回転運動が誘発された。さらに整列の原因である磁気異方性は、結晶中の化学結合方向の配向性に由来することがわかった。このモデルによると、反磁性イオン結晶は、立方晶を除けば、磁気整列能率を有することになる。

上記の結果をふまえて、自然界における種々の整列現象について、反磁性モーメントの寄与を、見直す意義があると考えられる。その一つとして、前回報告したように、星間・星周における、粒子の磁場整列メカニズムの再検討があげられる。可視・赤外光領域での偏光の観測から、星間・星周領域において形状異方性をもった粒子が、一定の方向に整列していることが知られている。H I 領域では、粒子が銀河面に対して垂直方向に配向し、その機構として、粒子中に含まれる超常磁性微粒子と銀河磁場との相互作用を想定した緩和モデルが、提唱されてきた。しかしこのモデルは、①粒子中に仮定した超常磁性微粒子の濃度が宇宙元素組成と矛盾する、②熱エネルギーに対し異常に大きな回転を仮定する必要があるなど、多くの問題点が指摘されている。反磁性物質で磁場整列が実現した場合、宇宙元素組成と矛盾せず、元素未分化の、一般的な条件下での磁気整列が想定しうる。

今回、シリケート中に含まれる微量磁性イオンの寄与の上限を確認する目的で、Fe濃度の異なる、様々な層状シリケートについて、その整列能率を測定した。またこれらの結果を踏まえて、上記の微粒子整列機構について、あらたな可能性を検討する。

サイズと磁化の強さで分けた
深海底堆積物の研究

Studies on Deep-sea Sediments Divided
with Grain Sizes and Magnetic Strengths

°野上謙一（獨協医大）、山越和雄、狩野直樹、松崎浩之（東大・宇宙線研）

深海底堆積物中の磁性成分で、サイズの小さい部分 ($\sim < 20 \mu\text{m}$) に、地殻や大気に比べて著しく高い $^3\text{He}/^4\text{He}$ 比が見いだされることは周知の事実であるが、これは、この部分に、太陽風の ^3He 粒子を打ち込まれた宇宙物質で、大気突入時に比較的高温に達しなかった（したがって、 ^3He が抜けない）ものが多く存在しているからであると考えられる。しかしながら、このような、熱変性を経験しない宇宙物質を堆積物の中から物理的に分離することは困難である。そこで本研究では、堆積物をサイズと磁化の強さで 9 分割し、それぞれ元素組成を調べ、差異を検討することによって、各グループに含まれる宇宙物質の特徴を推定する。

堆積物をサイズで分けることは、中に存在する宇宙物質の大気突入時の到達温度に関連付けることを意味する。本研究ではまず、ふるいを用いて、堆積物を $22 \mu\text{m}$ 、 $74 \mu\text{m}$ を境界として 3 つのグループに分けた。また、宇宙物質は鉄質であれ、石質であれ、Fe を含んでいるから、堆積物を磁化の強さで分けることは、宇宙物質の濃縮の度合を変えることになる。本研究では、直径 15 mm 、長さ 200 mm の純鉄の棒に被覆導線を 800 回巻き付けた電磁石を用い、各サイズグループ毎に、これに流す電流をまず 2 A として水中で電磁石に付着したものを分離、次に順次、 6 A 、 10 A として磁気成分を分離した。こうして、サイズと電流値の組合せで 9 通りのグループができる。次に、各グループは十分洗浄した後、中性子放射化分析によって元素分析を行った。

その結果、Fe、Ni、Co など宇宙物質を特徴付ける元素は、サイズが小さいほど、また磁化が強いほど濃縮する傾向がみられた。また、Mn、Ti、V 等も同様の傾向が見られた。逆に、La、Sm、Yb 等の希土類元素は、Sc、Al、Ca 等とともに、サイズが小さくなるほど、磁化が強いほど減少する傾向がみられた。Cr、W、Mg、Eu、Ga 等はサイズや磁化の強さに対してもはっきりとした相関はみられなかった。

REVERSAL PATHS ON THE EARTH AND THE SUN

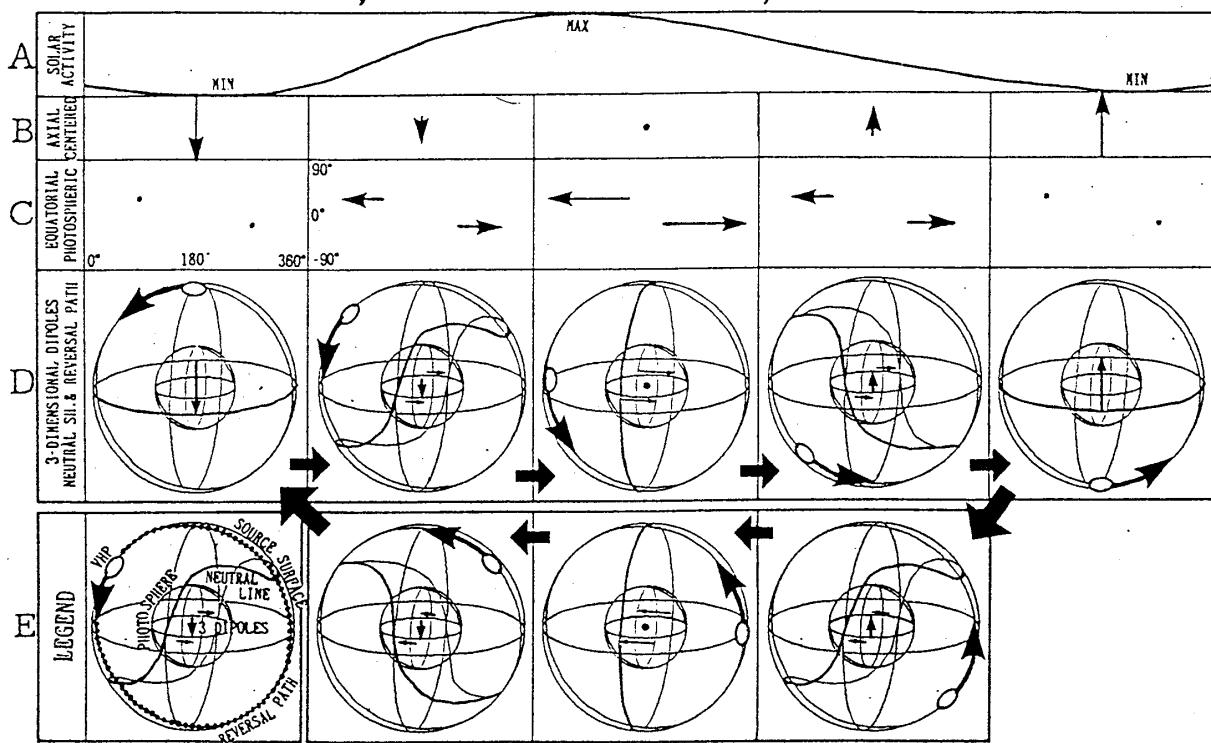
T.Saito 1 and S.-I. Akasofu 2

1. Onagawa Magnetic Obs., Astrogeophys. Inst., Tohoku Univ., Sendai 980.
2. Geophysical Inst., Univ. of Alaska Fairbanks, Fairbanks, AK 99775.

The triple dipole model on the sun is applied to the earth. The reversal path is revealed to be a common nature for both the sun and the earth, and to be explained commonly by the triple dipole model. Recently Laj, et al. (1991) proposed the reversal paths of the virtual geomagnetic pole (VGP), where the observed VGP's obtained by the paleomagnetic experiment to the rocks were revealed experimentally to move meridionally along a great circle. Akasofu, et al. (1993) applied the triple dipole model on the sun to the earth and other planets. They put the two dipoles not on the photosphere, but the earth's core surface (or core-mantle boundary, CMB) under Hawaii and Africa and explained theoretically the observed tilt of the geomagnetic equator. The two dipoles laid on the CMB have important geophysical meaning, because the two points correspond to various geophysical phenomena. Therefore, it is quite possible to consider that the toroidal field within the core is leaked at these two points. Finally it must be noticed that the symmetrical axis to the reversal path is nearly on the same meridians with those of the two CMB dipoles as was so with the two photospheric dipoles in the solar magnetic field (Figure 1).

TRIPLE-DIPOLE MODEL

THREE DIPOLES, SOURCE-SURFACE NEUTRAL LINE, REVERSAL PATH OF VHP



木星磁気圏嵐の継続時間

——デカメータ電波データにもとづく解析

Duration of Jovian Magnetospheric Storms Derived
from Decametric Radio Waves

森岡 昭, 大家 寛, 古川 欣司 (東北大・理)

1. 序

木星の巨大な磁気圏は、その高速自転と常に変動する太陽風との相互作用によりダイナミックに変動していることが知られている。この木星磁気圏が、特に大きな太陽風擾乱に遭遇するとき、大きな磁気圏嵐が発生していると考えられる。しかし、木星で生じる磁気圏嵐が、どのようなプロセスで生じるのか、特に太陽風からのエネルギー輸送・変換過程は明らかではない。木星の極域電離圏で放射される木星デカメータ電波の中には、このような木星磁気圏嵐時に発生すると思われる極めて強い電波バーストが存在する。本研究は、この巨大な電波バーストをプローブとして、木星磁気圏嵐の継続時間を調べることを手始めに、木星磁気圏嵐の発達過程およびエネルギー消散過程を、地球磁気嵐との比較をおきながら明らかにしていこうというものである。

2. データと解析

1974年以来木星電波の観測を継続している東北大学木星電波観測所のデータを用いて解析を行った。木星電波放射のパワー指數として、放射強度指數と現象継続時間の積をとり、これを用いた。全非イオ関連木星電波のうちパワー指數が400以上の値をもつ巨大現象（出現頻度8%）を取り出し、各現象毎にその前後10日間の自己相関係数を求めた。これらの平均をとることにより、平均的な描像を得ることができる。これにより、巨大非イオ電波源の継続時間は平均的に1日以内であることが示された。また、巨大非イオ電波源放射に伴い、内部磁気圏で生じるイオ電波源の活動が活発化されることはないことが明らかにされた。

3. まとめ

デカメータ電波をプローブとして解析した木星磁気圏嵐の継続時間は、平均的に約1日（地球の場合は2~3日）であること、また、太陽風エネルギーは木星磁気圏の内部には直接蓄積していないことが、この解析より明らかにされつつある。

シューメーカー・レビー第9彗星の分裂核と木星との衝突

Split Nuclei of Comet Shoemaker-Levy 9(1993e) and their crash to the Jupiter

渡部潤一（国立天文台）、長谷川 均（アステック）

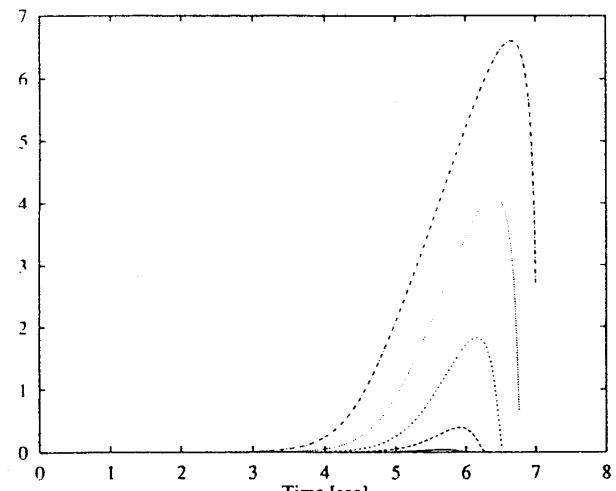
安部正真（東大・理／宇宙研）、廣田由佳（東京学芸大・地学）

シューメーカー・レビー第9彗星は来年7月に木星へ衝突する彗星で、1991年に木星へ接近した際、核が潮汐力で分裂したと思われている。われわれは岡山188cmによるCCD測光観測を行い、核の質量の上限値と下限値を推定した。最も大きな核の質量は $3 \times 10^{13} \text{ kg}$ から $8 \times 10^{14} \text{ kg}$ である。一方、各核の質量比は光度比と関係があり、質量そのものを求める場合の仮定は入らない。質量分布の指数は 2.3 ± 0.1 で、小惑星や彗星、衝突破壊実験などに比べて大きい。これらの結果は、彗星そのものが同じ様な大きさの微惑星の集合体であると主張する山本・小笠（1988）説と矛盾しない。

求めた質量の値をもとに、木星突入時の大気内の発光の様子を計算した。衝突時には地球からみても1秒足らずの間に-10等に光るが、衝突箇所は地球からみて木星の裏側で起こるので、これを直接観測できない。そのため、衛星の反射光が突入時の発光を捉える手段となる。衛星イオは衝突時にうまい位置にいれば2-3等は明るく輝くことになる。

Nucleus	Diameter (km) and Mass (kg)	
	Upper Limits	Lower Limits
A	8.78	3.5×10^{14}
B	9.86	5.0×10^{14}
C	9.18	4.1×10^{14}
D	9.86	5.0×10^{14}
E	10.08	5.4×10^{14}
F	11.18	7.3×10^{14}
G	11.52	8.0×10^{14}
H	9.02	3.8×10^{14}
I	9.54	4.6×10^{14}
J	8.70	3.5×10^{14}
Total	5.0×10^{15}	2.2×10^{14}

CCD測光観測から求めた核の大きさと質量の上限値と下限値。



衛星イオの反射光の光度変化(等)。質量は $10^{15}-10^{14} \text{ kg}$ まで1桁毎。

シューメーカー・レビー彗星の衝突時に
予想される木星デカメータ電波異変

Extraordinary Situation of Jovian Decametric Radiation for the
Moment of Jovian Impact of Shoemaker-Levy 9 Comet

大家 寛, 森岡 昭 (東北大・理)

1994年7月20日前後と予報されているシューメーカー・レビー彗星の木星大気圏突入はその質量からおよそ 10^{38} ergの重力エネルギーの解放をもたらす。ほぼ小規模の太陽風フレアーのエネルギーに匹敵するが、木星自体が通常、大きなエネルギー放射をしていないので、木星にとって大異変になる。

デカメータ電波についても太陽フレアーの時のデカメータエネルギーの発生率 $10^{-5} \sim 10^{-6}$ を考えても $10^{24} \sim 10^{24}$ ergに達すると予想されるがこれが10時間前後にわたって分散的に放射されるとしても $2.5 \times 10^{19} \sim 2.5 \times 10^{20}$ Wattにも達することになる。通常 $10^9 \sim 10^{12}$ Wattを放射している状況を考えると大変な量である。

シューメーカー・レビー彗星は地球から見て木星の裏側に衝突すると予想されている。したがって放射の大部分は遮蔽されることになるが

- 1) 高高度での相互作用の開始
- 2) 磁力線を通じ発生するプラズマの移動
- 3) 衝撃波のグローバル伝播

等を通じ、衝突時から様々な時間間隔で、様々な源をもって木星デカメータ電波異変が発生すると考えられ、世界中のネットワークが動員して観測に向かう必要がある。

Shoemaker-Levy 9彗星の衝突による木星振動の励起

Excitation of Jovian oscillations by the impact of Comet Shoemaker-Levy 9

°小林直樹、高田将郎、柴橋博資 (東大・理)

Shoemaker-Levy 9彗星の衝突による木星自由振動の励起を見積もったので報告する。Shoemaker-Levy 9彗星が来年の7月22日に木星に衝突する。この彗星は現在10個程度に分裂しており、最大破片は直径10km程で、衝突時には約60km/sの速度を持つと見積もられている。この衝突によって木星の自由振動が励起されることが予想される。その励起を以下の仮定で見積もった。ある見積りによると、衝突の際に彗星は100km程進入しそこで爆破、蒸発すると言われている。その間の時間スケールは約1秒である。そこで1秒間で彗星が持っていた運動量を木星が受け取るとした。また爆破、蒸発の際の力の等方成分は小さいとしてとりあえず無視する。考えている自由振動の周期は(1000秒以上で)衝突のタイムスケールに比べて十分長いので、与えられた力積と等価な撃力を外力として与えた。外力の水平面となす角度(即ち彗星の進入角度)は30度とした。木星の内部構造モデルとしてはpolytropic indexが1のpolytropeを用いた。この仮定は以上の計算に用いた物理量の不確定性を考えると、自由振動の励起をオーダで見積もるのに十分なものである。自由振動の各モードの励起はモードのradial order、angular orderが大きくなるにつれて増大する傾向にある。ここでモードの励起は木星表面におけるそのモードの速度場の動径成分の大きさで評価している。

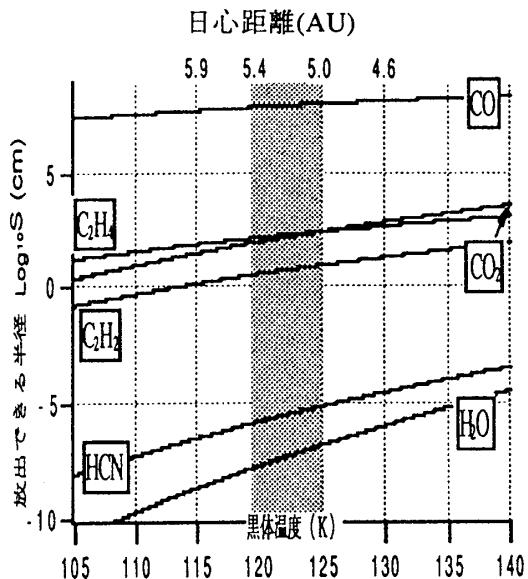
次に得られた自由振動の励起が観測可能な量であるかを議論する。Shoemaker-Levy 9彗星の衝突によって励起された自由振動が観測可能であるかは個々のモードの励起量、減衰率、観測期間の長さ、ノイズレベルに依存する。このうち減衰率は全くの未知数であり、ノイズレベルの不確定性も大きい。そこで減衰率、観測期間、ノイズレベルをパラメータとして動かし、どのような範囲で観測可能かを調べたので報告する。木星自由振動を観測、解析することでまだ不明瞭な木星の内部構造に強い制約を与えられる。

シューメーカー・レビー彗星 (1993e)のダストの起源
 The origin of dust in P/Shoemaker-Levy(1993e)

・谷川智康、向井 正（神戸大・理）石元裕史（神戸大・自然）

シューメーカー・レビー彗星 (1993e) は、1992年7月に木星の重力により17~20数個の破片に分裂し、20万 km の長さに拡がったまま木星の周りを運動している。1994年7月に木星に衝突すると予想されている。ここでは、S-L彗星で観測されているダストの起源について報告する。S-L彗星のダストの起源としては(1)木星の重力によりその中心核が分裂した際に放出されたダストが、彗星の周りに残っている。(2)新たに彗星表面からダストが放出されている、の2つが考えられる。

まず(1)核が分裂した際放出されたダストが1年余り経て彗星の周りに残るような軌道を描いているかを調べた。フォボスが火星の周りにダストリングを形成する過程をシミュレーションしたプログラム (H.Ishimoto 1992) を用いて、核分裂で生まれたダストの力学進化を木星の重力および太陽の放射圧、重力を考慮して計算した。次に、(2)新しくダストが核表



面から供給されているとすれば、木星近傍は水の昇華温度より低い温度になるのでどの揮発成分によって放出可能であるかを調べた（上図）。網掛部はS-L彗星の軌道範囲を示す。COが充分な量存在すればダストを絶えず供給できることがわかる。

小惑星斜め衝突の地球環境への影響：
放出物へのエネルギー分配

Global Effect of Oblique Impact:
Kinetic Energy of Ejecta in Laboratory Experiments

°柳澤正久（電通大）

Masahisa YANAGISAWA (Univ. Electro-Comm., 1-5-1 Chofugaoka,
Chofu, Tokyo 182)

小惑星や彗星が惑星に衝突すると、初めの運動エネルギーの一部が、放出物の運動エネルギーに分配される。惑星に大気がある場合には、放出物の運動はそれを吹き飛ばしたり加熱したりして、大気圏に直接影響を与える。

Yanagisawa et al. (1993) による室内実験（図1）のデータを解析して、放出物の運動エネルギーの下限値を求めることができる。全放出物の質量を m とし、その質量中心速度を v とすると、次に示す運動量保存がなりたつ。

$$m_0 v_0 = M V + m v \quad (1)$$

m_0, v_0 は衝突前のプロジェクタイルの質量と速度、 M, V は衝突後のターゲットの質量と速度で、これらは全て測定されている。 m は m_0 とターゲットの質量損失の和である。 m がわかれば（1）式から v がわかり、よって質量中心の運動エネルギーを求めることができる。放出物の全運動エネルギーはこれに質量中心回りの運動分を加えたものであるが、それを求めることはここではできない。ゆえに求めたエネルギーは全運動エネルギーの下限である。この値、 E_e (*lower limit*) を初期エネルギー E_0 で割ったものは、入射角依存性と共に、ターゲットの砂 (Gault and Wedekind, 1978)、アルミニウム、鉄の変化につれて値が大きくなっている。

アルミニウムの衝撃波特性は岩石にている。よって衝突点が緻密な岩盤である場合には、Gault and Wedekind (1978) からの予想以上のエネルギーが放出物に分配されるであろう。

参考文献

Gault D. E. and J. A. Wedekind, Experimental studies of oblique impact, Proc. Lunar Planet. Sci. Conf. 9th, 3843-3875, 1978.

Yanagisawa M., S. Funakubo and M. Iwasaki, Momentum and angular momentum transfer in oblique impacts and its implications for M-type asteroid rotation, submitted to Icarus.

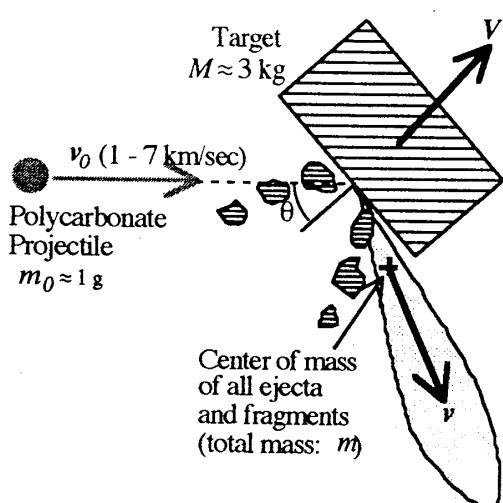


図1：解析のもととなった実験の概略。ターゲットは粉々に壊れてしまうことはない。

低温下における氷-アンモニア混合物の変形実験

Deformation experiment of ice-ammonia mixture at low temperatures

・荒川政彦、前野紀一、中坪俊一（北大・低温研）

はじめに 外惑星の衛星には、氷などの揮発性物質を主構成物質にしているものが数多く存在する。氷衛星内部のダイナミクスや表層でのテクトニクスは、物質の力学特性・流動特性に支配されている。アンモニア (NH_3) は氷衛星内部に存在する可能性の高い物質であると言われている。氷 (H_2O) と共にアンモニアが存在する時、その混合物は比較的低温度 ($\sim 180\text{K}$) で解け始め部分溶融状態となる。氷衛星の地質活動が活発に見えるのはこの様な低融点物質の影響によるものと思われる。我々は低融点物質の力学試験のために低温変形装置を開発・作製し、 $\text{H}_2\text{O}-\text{NH}_3$ 系の変形実験を始めたので以下に報告する。

実験方法と結果 今回開発した同心円筒型低温変形装置では、温度30K～220K ($\pm 0.1\text{K}$) の範囲で実験を行うことができる。また高トルクのサーボモーターを用いることにより最高0.4MPaまでのShear Stressを試料内に発生することができる。

試料には、 NH_3 9.3%の水溶液を用いた。この溶液を150～220Kで冷却・固結させて出発物質とした。実験は、トルク（荷重）を一定にした状態で回転角度を計測する、クリープ試験により行った。図1に温度を150～210Kに変化させた時のクリープカーブを示す。Solidus 温度 175K 以下では実験時間内ではほとんど変形しなかった。Solidus を越えて試料が部分溶融状態になると、180～210Kの間で2桁以上も回転速度が変化した。

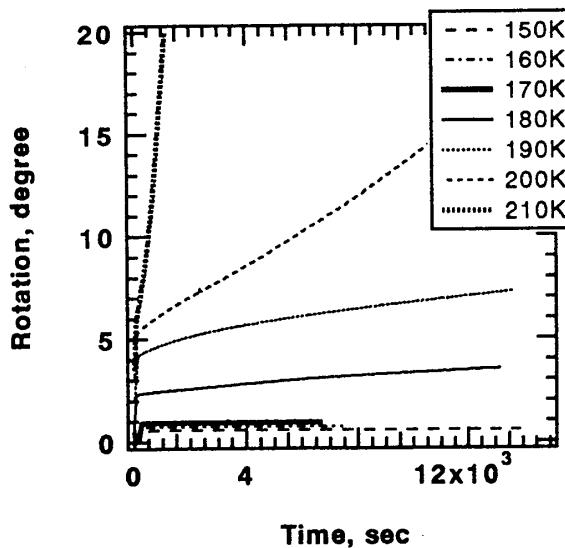


図1 クリープカーブ（トルク 0.22Nm）

ガンマ線照射したドライアイスの ESR

ESR study of gamma-irradiated dry ice

○平井誠、池谷元伺、山中千博（阪大・理）、
塚本義朗（（株）松下テクノリサーチ）

地球外環境における様々な物質の性質を調べることは、将来の惑星探査のための予備実験になるばかりではなく、または地上から観測されるスペクトルを解析するために重要である。外惑星の衛星や彗星などにみられる分子性結晶 (H_2O , CO_2 , CH_4 , NH_4 など) の物性は、このような観点からは、あまり調べられていない。地球外環境においては、地球上の自然環境では実現しないような様々な物理的条件を考慮する必要がある。特に、低温 (-50°C以下) におけるこれらの物質の放射線物性を調べることは、光吸収スペクトルを用いた氷衛星や彗星の環境評価や、熱ルミネッセンス (TL) や電子スピニ共鳴 (ESR) を用いた年代測定の可能性を探る意味から重要である。また、これらの天体表面では、放射線によって様々な化学反応が引き起こされているはずで、衛星表面上でのラジカル分子反応など、放射線化学の観点から新しい研究分野が広がる可能性をも秘めている。

ガンマ線照射した氷 (H_2O) 中に生じる OH ラジカルについては、ESR を用いて、すでに熱安定性などを求めた¹⁾。また不純物に由来するラジカルの ESR 信号もいくつか得られている。

今回、ガンマ線照射したドライアイス (固体 CO_2) 中のラジカルの ESR を測定し、信号の同定を試みる。また、いくつかのラジカルの熱安定性を調べ、氷衛星表面などの地球外環境における、これらのラジカルを用いた年代測定、環境評価の可能性について考察する。

1) Y.Tsukamoto, M.Ikeya and C.Yamanaka: Appl. Radiat. Isot. **44**, 221 (1993)

宇宙空間でのアモルファス氷の形成条件

Conditions for condensation and preservations of amorphous ice in space

°香内 晃（北大・低温研）、山本哲生、小笠隆司（宇宙研）、黒田登志雄（北大・低温研）、

J. M. Greenberg (ライデン大)

1. はじめに

宇宙空間でアモルファス氷が凝縮するか、結晶の氷が凝縮するかという問題は、氷微粒子およびそれらが集まってできた天体の進化を考える上で重要である。しかし、理論的な考察はこれまで全くおこなわれてこなかったので、不均一核生成の素過程に着目して、理論的な解析をおこなった。さらに、理論を検証する実験もおこなった。

2. アモルファス氷の生成条件

水分子の凝縮によってアモルファス氷がつくられるためには、表面に吸着した分子が結晶としての安定位置を探す前に、次に表面にやってきた分子と衝突し、表面拡散がおこらないようにすればよい。すなわち、入射フラックス F が臨界値 $F_c = D_s / a^4$ より大きいことがアモルファス氷が凝縮する条件である。ここで、 D_s は水分子の表面拡散係数、 a は氷結晶の格子定数である。我々は、 F_c の存在を実験的に確認した。

このようにして、一度アモルファス氷がつくられても、その後結晶化がおこる可能性があるので、結晶化がおこらない条件がさらに必要となる。アモルファス氷中の結晶化の速度論的な解析から、結晶化のタイムスケール t は観測温度 T に、 $t = A \cdot \exp(-E/kT)$ の形で依存することが示された。以上の議論から、アモルファス氷が生成されるためには、水分子のフラックスが F_c より大きく、かつ、温度が十分低い必要がある。

3. 宇宙空間で生成した氷微粒子の結晶性

質量放出星周辺星雲、原始太陽系星雲では F が F_c よりかなり小さいために氷結晶が凝縮する。いっぽう、分子雲では F が F_c より大きく、かつ T が T_c より十分低いのでアモルファス氷が凝縮する。また、分子雲のアモルファス氷が原始太陽系星雲で加熱を受けた時、12 AU より遠い所では、アモルファス氷が結晶化することなく、生き残る。もし、12 AU より遠い所に氷結晶があれば、それは太陽系星雲での凝縮物である。

彗星塵の形状と彗星コマの偏光

Shapes of Cometary Dust and Polarization of Cometary Coma

° 渡邊毅（神戸大・理）、向井正（神戸大・理）

ハレー彗星の偏光観測などによって、彗星コマ内部の直線偏光度に分布があることが分かつてきた。彗星コマ内部の小さい領域では位相角はほとんど変わらないが、こういった、ほとんど同じ位相角を持ちながら、偏光度が大きく変わるというのは、非常に不思議なものである。その後の他の彗星の観測でも、ほとんど位相角が同じであるような小さな領域でも、偏光度が大きく変化する現象が観測されている。とりわけ、核の中心付近では、偏光度が急激に減少し、ともすると、負の偏光になるということが、多くの彗星で観測されている。

彗星コマの連続光の偏光原因としては、ダストによる光散乱が考えられる。核の中心付近で、偏光度が大きく変わるという観測事実は、核から放出されるジェットに含まれる塵の形状が影響していると予想される。我々は、ガスジェットに乗って放出されたばかりのダストと、その後、彗星コマ内に拡散したダストの形状が異なるために、こういった偏光度の違いができると想定した。

そこで我々は、太陽光を散乱しているダストの形状の違いが、偏光の状態にどう影響を与えるかを DDA (Discrete Dipole Approximation) を使い調べてみた。これは、ダストを Dipole の集まりとして近似し、それらの相互作用から光散乱の状態を計算する方法である。

計算によると、ダストの形状によって偏光度は従来の球近似と比較して大きく変わることが分かった。また、楕円体状のダストの偏平度と偏光の関係を調べてみた。細長い形のダストの存在を仮定すると、負の偏光などの現象が説明しやすいことが分かった。このことから、彗星の中心核から放出されたダストが外部に運ばれていく途中で壊れて形が変わり、こういった、偏光度の違いをもたらしたものと考えられる。

衝突変成炭素物質のでき方

Formation process of shock metamorphic carbon materials

三浦保範 (山口大 理)

1. はじめに

いん石とそれが衝突してできたダイアモンド類似炭素とグラファイト炭素鉱物について、 Miura et al. (1993)により報告されたいん石孔で発見された衝突炭素物質(衝突変成炭素とダイアモンド外形を示す炭素物質)のでき方について報告する。

2. サンプルと実験方法

本研究で使用したサンプルは、米国バリンジャーいん石孔の西側から鉄いん石とともに採取されたものである。完全な外形をもつ炭素物質粒子を取り出し、それらをX線回折と分析走査電子顕微鏡(JSM5400+JED2001)で調べた。

3. 衝突炭素鉱物のでき方

次のような実験結果が本研究で得られた。

- (1) 衝突には大きく2段階にわけられる。
- (2) 最初の熱エネルギーで鉄いん石と衝突岩石が超過熱され、微細な鉄粒子と衝突変成グラファイトのブロックができる。そのブロックが固結する時に割れ目にベイン状に鉄の多い流体状のものが貫入した。鉄に囲まれた炭素が14面体ダイヤモンドに気相成長し、その外形を残したままアモルファス化したが、結晶部分に衝突変成チャオアイト様炭素と衝突変成グラファイトの微結晶が残っている(第1段階)。
- (3) 衝撃波が下部の砂岩相を破壊して、高圧型シリカ鉱物と衝突変成石英が形成された。鉄を含む衝突変成石英はこの段階でまだ鉄分が残った時に形成されたものである(第2段階)。

参考文献:

Miura Y. et al. (1993): Meteoritics, 28 (3), 402.

大阪大学豊中キャンパスへの交通機関

空港から

[バス] 阪急バス千里中央行（蛍ヶ池経由）（約15分）➡大阪大学豊中学舎前下車

[タクシー] 大阪大学豊中キャンパス・教養部口号館（約10分）（1000円程度）
タクシーで構内入校可

J R 新大阪（新幹線）から

[地下鉄御堂筋線（北大阪急行）] 千里中央行（約15分）➡千里中央下車（乗換）、

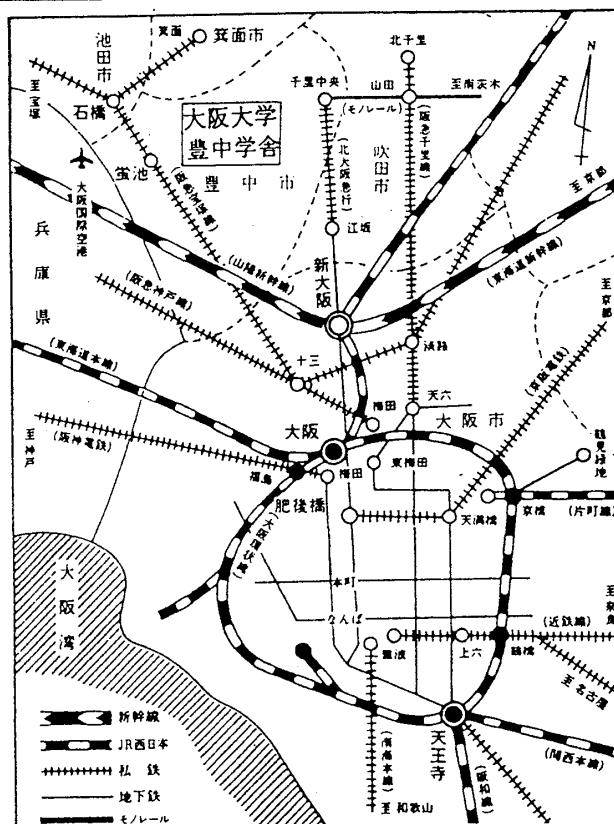
千里中央から [バス] 阪急バス大阪空港行（20分）➡大阪大学豊中学舎前下車

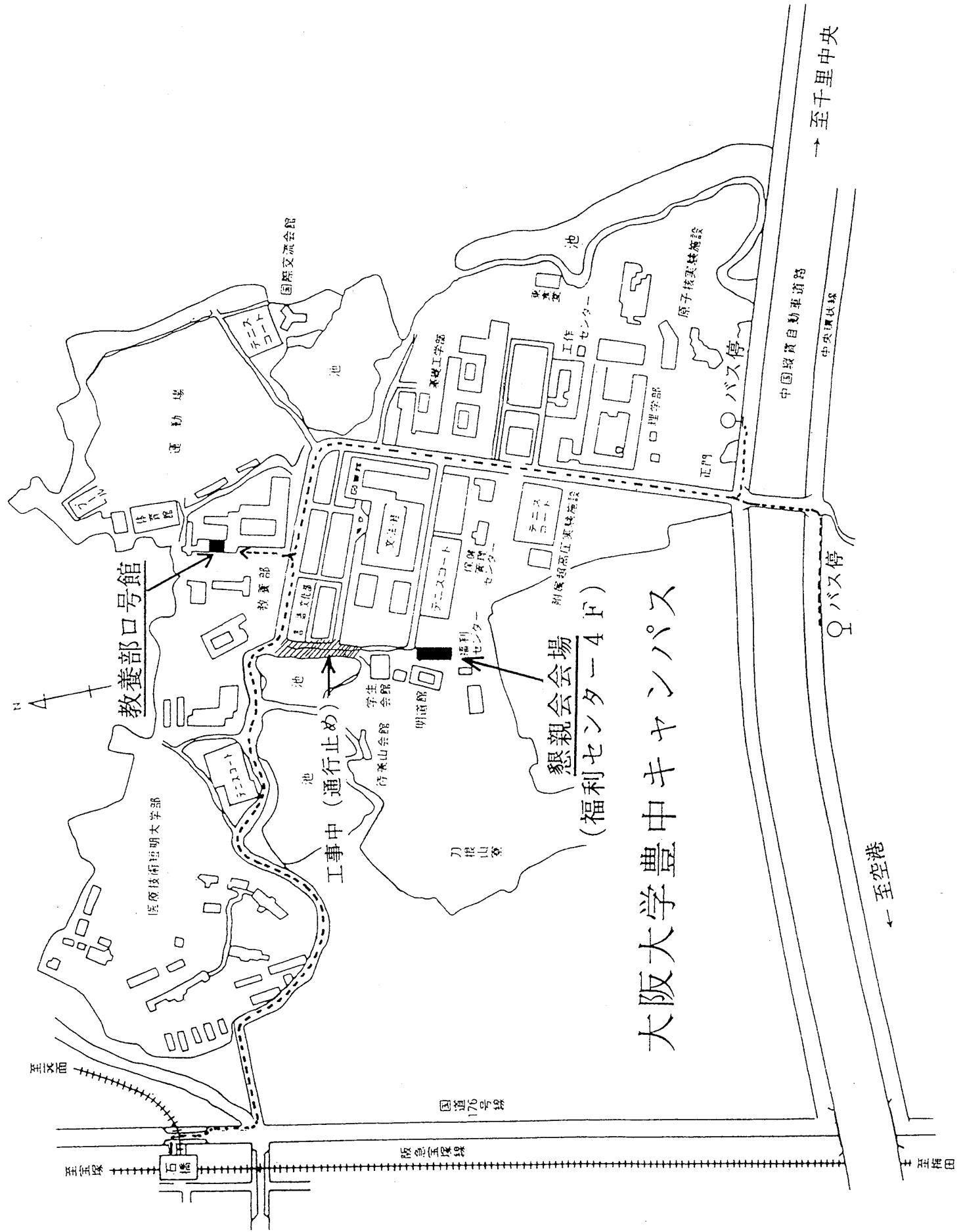
[タクシー] 大阪大学豊中キャンパス・教養部口号館（約15分）
(1500円程度) タクシーで構内入校可

J R 大阪駅から

[阪急電車] 阪急 梅田駅から（阪急宝塚線「急行」で約20分）➡石橋駅下車

阪急 石橋駅から 徒歩約10~15分

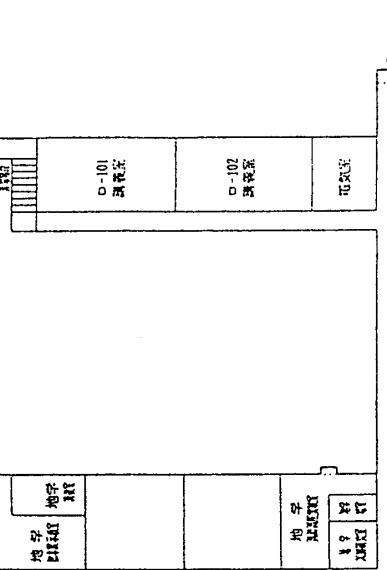
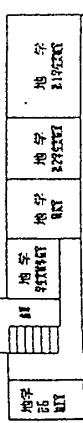




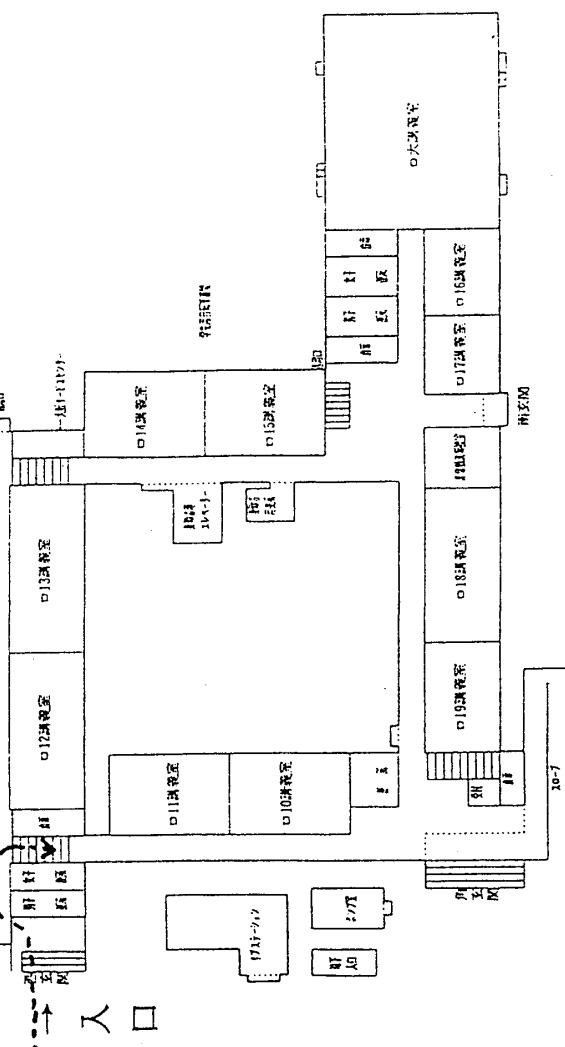
1993年 日本惑星科学会秋期講演会会場

講義棟本館(口号館)

1階

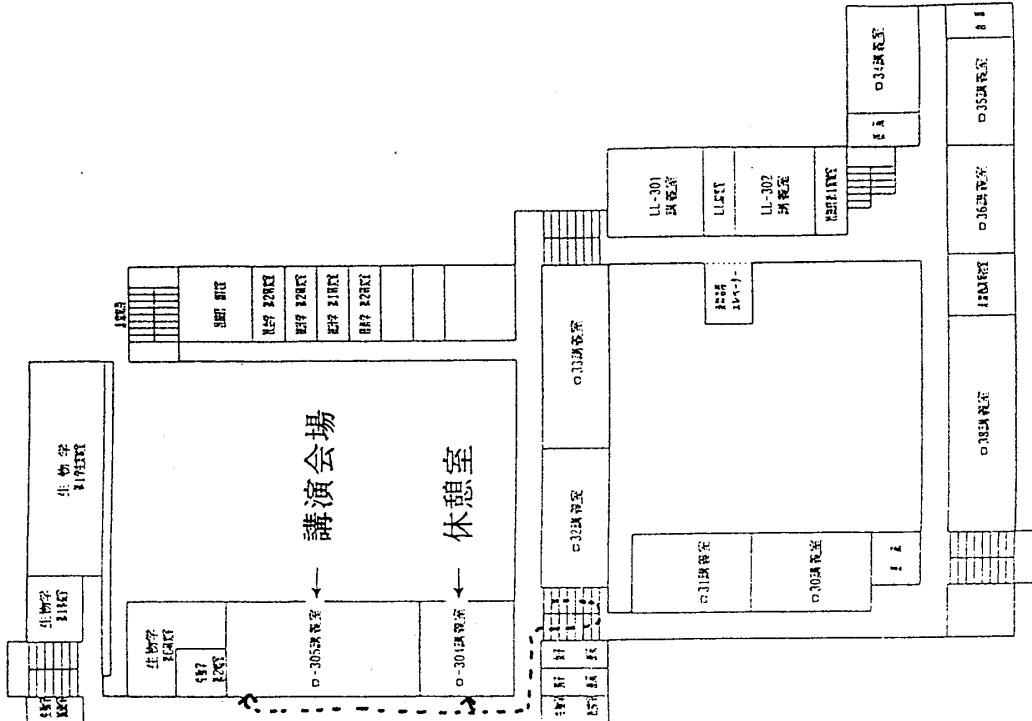


入口



講義棟本館(口号館)

3階



著者索引

(あいうえお順)

あ		
S. -I. Akasofu (アラスカ大)	260	衣笠健三 (阪大・理) 110
安部正真 (東大・理/宇宙研)	164 , 262	木村誠二 (立命館大・理工) 155
阿部豊 (東大・理)	202	木村宏 (神戸大・自然) 160
荒川政彦 (北大・低温研)	102, 256, 267	久慈清助 (国立天文台) 163
荒木博志 (宇宙研)	164, 165, 166	楠原徹 (倉敷科学センター) 110
飯島雅英 (東北大・理)	257	久住晶子 (阪大・理) 101
飯島祐一 (名大・理)	102	熊谷博之 (名大・理) 214
池谷元伺 (阪大・理)	215, 268	熊沢峰夫 (名大・理) 214
石元裕史 (神戸大・自然)	157 , 265	倉本圭 (東大・理) 204
石渡正樹 (東大・理)	206	J. M. Greenberg (ライデン大) 154, 269
磯崎行雄 (東工大・理)	214	M. S. de Groot (ライデン大) 154
井田茂 (東工大・理)	159, 254	E. Grün (Max-Planck-Inst.) 157
岩田豊一郎 (神戸大・理)	110	黒田登志雄 (北大・低温研) 269
岩館健三郎 (国立天文台)	163	桑原徹也 (名大・理) 201
植田千秋 (阪大・教養部)	105, 161, 162 258	小池千代枝 (京都薬科大) 155
内野智功 (都立大・理)	203	香内晃 (北大・低温研) 154, 269
梅林豊治 (山形大・理)	253	小笠隆司 (宇宙研) 269
海老原充 (都立大・理)	203	小林直樹 (東大・理) 264
榎森啓元 (東工大・理)	159	
大江昌嗣 (国立天文台)	163, 164	さ
大槻まゆみ (東大・理)	112	佐伯和人 (東大・理) 112
大家寛 (東北大・理)	252, 257 , 261 263	T. Saito (東北大・理) 260
小嶋稔 (阪大・理)	107, 108, 205	齊藤嘉夫 (京工織大) 155
か		阪本剛正 (立命館大・理工) 155
堀内千尋 (立命館大・理工)	155	笛尾哲生 (国立天文台) 163
加藤学 (名大・理)	102	佐藤克久 (国立天文台) 163
門田晃典 (宇宙研)	168 , 255	佐藤正樹 (埼玉工大) 212
門野敏彦 (宇宙研, 京大・理)	103 , 104	佐野到 (近畿大・理工) 167
狩野直樹 (東大・宇宙線研)	151, 259	P. Jenniskens (ライデン大) 154
龜谷収 (国立天文台)	163	塩原将行 (東大・理) 212
茅原弘毅 (阪大・教養)	258	品川裕之 (通総研・平磯) 209
河野宣之 (国立天文台)	163	柴田智郎 (阪大・理) 205
菊池仙 (国立天文台)	110	柴橋博資 (東大・理) 264
北田洋平 (神戸大・理)	153, 158, 160	下林典正 (京大・理) 108
北村雅夫 (京大・理)	108, 113	庄野安彦 (東北大・金研) 101
		城野信一 (宇宙研) 103, 104
		杉浦直治 (東大・理) 109
		杉田精二 (アラソカ大) 207
		G. Strazzulla (シッタ大) 154
		関谷実 (帝京大・理工) 253

(太字は発表著者)

た			
高田将郎（東大・理）	264	藤村彰夫（宇宙研）	102, 163
高野雅夫（名大・理）	214	藤元清司（阪大・理）	162
高橋栄一（東工大・理）	205	札木充（京大・理）	113
高橋利夫（阪大・教養部）	105, 161	古川欣司（東北大・理）	261
高橋正明（東大・気候システム）	212	古田直紀（環境研）	203
武田弘（東大・理）	112	細川浩二（阪大・理）	215
竹広真一（東大・理）	213	ま	
田近英一（東大・理）	211	前野紀一（北大・低温研）	102, 256, 267
田中秀和（東工大・理）	254	増田耕一（神戸大・理）	153
谷川智康（神戸大・理）	265	増田俊明（静大・理）	203
塙本義朗（松下ケンリツ）	268	松井孝典（東大・理）	204, 207, 211
土山明（阪大・教養部）	105, 108, 161 162, 258	松崎浩之（東大・宇宙線研）	151, 152, 259
鶴田誠逸（国立天文台）	163	松田准一（阪大・理）	101
寺薗淳也（宇宙研）	165, 166	松濤聰（宮城教育大）	106
トウタチス共同観測者	110	丸山茂徳（東工大・理）	203, 214
戸田康史（東大・理）	202	三浦保範（山口大・理）	271
な		水谷仁（宇宙研）	102, 163, 164 166, 168, 255
中川益生（岡山理科大）	106	向井苑生（近畿大・理工）	167
中川義次（東大・理）	251	向井正（神戸大・理）	110, 153, 157 158, 160, 265, 270
中澤清（東工大・理）	159, 254	村江達士（九大・理）	156
中坪俊一（北大・低温研）	267	望月圭子（阪大・理）	107, 108
中村昭子（宇宙研）	102, 103, 104	森岡昭（東北大・理）	261, 263
中村良介（神戸大・自然）	153, 158	守屋卓（東北大・理）	252, 257
中本泰史（国立天文台）	251	や	
蜷川清隆（岡山理科大）	106	矢島春秋（神戸大・理）	101
野上謙一（獨協医大）	259	柳澤正久（電通大）	266
は		山越和雄（宇宙線研）	104, 151, 152 259
M. Baguel (Max-Planck-Inst.)	157	山中高光（阪大・教養）	258
橋爪光（阪大・理）	111	山中千博（阪大・理）	268
長谷川均（アステック）	262	山中大学（京大・超高層）	208
花田英夫（国立天文台）	163	山本勲（岡山理科大）	106
林祥介（東大・理）	206, 213	山本哲生（宇宙研）	255, 269
原忠徳（国立天文台）	163	山本勝（名大・水圏）	102
G. A. Baratta (シッタ大)	154	吉岡秀佳（名大・理）	214
比嘉道也（北大・低温研）	256	わ	
日高洋（都立大・理）	203	渡部潤一（国立天文台）	262
比屋根肇（東大・理）	210	渡邊誠一郎（名大・理）	201
平井誠（阪大・理）	268	渡邊毅（神戸大・理）	270
平田龍幸（京大・理）	110	和田俱典（岡山大）	106
廣田由佳（東京学芸大・地学）	262		
藤原顯（宇宙研）	102, 103, 104		

日本惑星科学会秋期講演会組織委員会

組織委員長： 小嶋 稔

組織委員： 松田准一、交久瀬五雄、土山 明、植田 千秋、
山中 千博、橋爪 光、松原 佳代

組織委員会連絡先：

〒506 豊中市待兼山町1-1
大阪大学教養部地学教室
土山 明

Tel 06-844-1151(ext. 5308), Fax 06-843-7194

編集・製本： 日本惑星科学会事務局

〒152 目黒区大岡山2-12-1
東京工業大学理学部地学内

Tel 03-3720-9885, Fax 03-3727-4662