



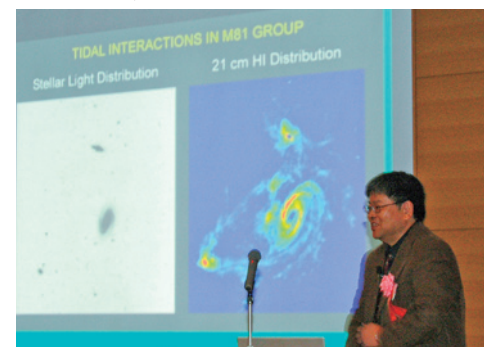
●核融合科学研究会ニュース 34●



CONTENTS

金属クラスターの科学 2

電波望遠鏡でみた宇宙 3



核融合科学研究会第16回見学会報告
電波で見る宇宙—45m電波望遠鏡
——国立天文台野辺山観測所—— 4

事務局だより・編集後記 8

金属クラスターの科学

自然科学研究機構 分子科学研究所 助教授
分子スケールナノサイエンスセンター

佃 達哉 氏

核融合科学研究会第17回講演会が自然科学研究機構分子科学研究所助教授佃達哉氏をお迎えして開催されました。佃氏は、1989年3月に東京大学理学部化学科を卒業され、1994年3月、東京大学大学院理学系研究科化学専攻博士課程を修了され、理学博士を取得されました。

1994年6月、東京大学大学院総合文化研究科 広域科学専攻の助手に任官され、2000年1月に分子科学研究所の助教授として着任されました。専攻は物理化学、クラスター化学で、金属クラスターの新たな展開を試みておられます。

今回の講演では、ナノメートル（100万分の1メートル）サイズの金属微粒子の集まりが示す、不思議な性質の幾つかをご紹介します。

②

金属といえばピカピカ光沢があって重たく、ぎっしりと原子が詰まっているものと想像するのが普通であろう。ところですべてのものは原子からなっている。とすれば、どのくらいの原子を集めたら金属が金属らしい性質を獲得するのか？というような疑問を持つ人がいてもおかしくはないだろう。一つ一つの原子を操作することもできるくらいナノテクノロジーが発達した現代では、そんな問いにも答えられることができる。今回の話は、金属原子を数えるくらい集めて作った金属クラスターと呼ばれる現代の物質の話である。

ここでのクラスターとは一般的に数個〜数千個の原子や分子の集合したものをいう。クラスター自体は、今では身の回りでもよく使われていて、そう特殊なものでもなくなっている。その例としては、空気清浄機や化粧品・健康飲料などがある。空気清浄機では、酸素分子をイオン化しそのまわりに水分子がくっついたものを空气中に放出する、このクラスターは雑菌をやっつける効果がある。また、化粧品や健康飲料には白金のクラスターが溶けているものがある。このクラスターは肌をすべすべにしたり、老化を防止するのに効果があるそうである。

クラスターには色々なものがあり、分子間の結合の強さにより5種類に分けられている。もっとも結合が弱いのがファンデルワールス力によるもので、希ガスなどのクラスターである。次に水などのクラスターに見られる水素結合によるもの、カーボン60などの共有結合、塩などのイオン結晶となる。この講演の主題である金属クラスターはもっとも強い結合をもつものとして分類されている。これらのクラスターは、多種多様な産業応用が期待され、今盛んに研究されている。たとえば炭素のクラスターであるカーボンナノチューブの先端をつぶすと、そこから電子が良く放射されることが知られておりディスプレイなどへの応用が期待されている。金属クラスターはというと、化学反応の触媒、脱臭剤、ステンドグラスの着色、センサー、基盤配線、電子顕微鏡のための着色料など多彩な応用が考えられている。

ところで、普通、金属は数えられないくらい多くの原子が集まって格子を作っている。金属はクラスターになると

通常の金属には見られない性質を示す。たとえば、融点が下がる、活性が増加するなどのほか、電子準位が原子分子のように離散化してゆく。その結果、金では、i) 光を当てると赤色の発光をする、ii) 磁性をもつなど、興味深い性質を帯びる。この理由を金の場合で説明しよう。通常の金属として金は格子を作っている。この場合、表面にある原子以外は周りにある12個の原子と手をつないでいる。表面にある原子は囲まれていないのでその手が余っているが、全体から見て表面原子の個数はほんの少数である。しかしながら、数えられる程度の原子からなる金属クラスターの場合、ほとんどが表面原子ということになる。この手をつないでいない活性の高い原子がクラスターの性質を示す原因である。

佃先生の研究室では金のクラスターの研究を行っている。金のクラスターは水溶液内で化学的な方法で生成される。レーザーを金属に照射し粉碎することで作る方法もある。この場合ターゲットは金属の種類を問わない。佃先生の研究室では化学的な方法を用いてクラスターを生成しチオール分子（硫黄と水素が結合したもの）のもつ性質（還元性と金属クラスターに対する保護性）を利用して原子数（サイズ）の揃ったクラスターの生成しクラスターの原子数の違いによる性質を精密に研究している。個数が数個違うだけで全く異なる性質を示すのが金属クラスターの特徴であり、その違いを精密に研究する事は重要な課題である。佃先生の研究室では、触媒としての金クラスターの性質に注目している。特にアルコール酸化反応の触媒として金のクラスターは、優れた性質を示す。良く知られたパラジウム（クラスターにした場合）と比べても一桁効率がよいことがわかっている。今後、反応の途中で生成される物質の同定などを通して金クラスターによる触媒反応のメカニズムを明らかにするとともに、さらに構造設計された有機分子と複合化させることによって触媒活性や選択性の向上につなげて行く事が目標とのことである。

同じ原子によって構成されながら金属と全く違い分子的な性質を示す金属クラスター。様々な有益な性質がこれからも見つかるのではないかと期待される。核融合科学研究でもプラズマは環境に応じて変化する。同じイ

オン種からなるプラズマでも閉じ込めの磁場の違い、加熱パワーの違いによって異なる性質を示すことが知られてい

る。自然の中に隠された興味深い性質がどんどん発見されてくる楽しみな時代である。

電波望遠鏡でみた宇宙

国立天文台 野辺山宇宙電波観測所 所長
国立天文台教授／総合研究大学院大学教授／東大大学院理学系研究科 教授（併任）
坪井 昌人 氏

核融合科学研究会の特別講演会が平成18年5月16日にセラミックパーク MINO において開催されました。講師は、国立天文台野辺山宇宙電波観測所所長 国立天文台教授／総合研究大学院大学教授／東大大学院理学系研究科教授（併任）坪井昌人氏です。

坪井先生は、1988年東京大学にて理学博士を取得され、ご専門は電波天文学です。現在は、国立天文台野辺山宇宙電波観測所所長を務めておられ、銀河中心の構造と活動性の観測的研究、SZ 効果を利用した銀河団の観測的研究などを精力的に進めておられます。また、これらを可能にするための電波望遠鏡、高感度受信機の開発研究も多年に渡り続けてきておられます。

今回の講演会では、電波望遠鏡で見たブラックホールや遠い銀河のお話を中心に、電波望遠鏡が明らかにしてきた宇宙の不思議をお話頂きました。

ラジオ、テレビ、携帯電話、無線 LAN, リモコンなどなど、もはや電波無くして現代人の生活は成り立たないようだ。もし電波に色がついていたら、電波の氾濫した現代はどんな景色になっているのだろうか。ガリレオは17世紀に望遠鏡を宇宙に向けて、天の川が無数の恒星の集まりであることを発見した。現代、数々の発明が示すように、電波を感じる機械の目を持っている。もし電波で宇宙をみたらどんな風に見えるのか、何がわかるのか。これが今回の講演会「電波天文学でみた宇宙」の主題である。

電波は19世紀マックスウェルによって予言されヘルツによってその存在が実証された。電波を使ってアメリカの東海岸とイギリスの間の通信に成功したのはマルコーニである。ただ、後日談がある。彼の用いた装置では大西洋間の横断通信はまったくできない、のだそうである。その成功の誤報？によって授けられ莫大な研究費による開発で、本当に電波は大西洋を渡り現代の電波文明の繁栄がもたらされている。

電波天文学が始まりは1931年のことで、全くの偶然の所産である。ベル研究所の技術者ジャンスキーは、通信機に入ってくる雷などのノイズを落とすべく努力していた。に

もかかわらず、どうしても落とす事のできない周期的なノイズがあることに気がついた。その周期は23時間56分で天体が地軸を回る周期と一致した。また電波源が天の川の方

向からやってくることから、宇宙からの電波であることを確かめた。今から見るとノーベル賞をもらえるほどの大発見なのだが、当時は光学望遠鏡による天文学が主流で注目を浴びる事はなかったそうである。その後、私費を投じて電波望遠鏡を、自分に家の庭に、製作した熱狂的天体マニア、グロート・リーバーの手によって電波の景色（電波地図）が作成され電波天文学は発展する。

ところで、宇宙からくる電波とは何だろうか？地上とは違い宇宙にはプラズマが大勢を占めている。磁場に巻き付いたプラズマはシンクロトロン放射という機構により放出する電波がその一つである。たとえば、この電波を観測する事で宇宙に存在する磁場の大きさがわかる。その大きさは、マイクロガウス程度である。小数点以下5個ゼロが並んだ後有為な数字が現れるほどの小さな磁場である。ちなみに、大型ヘリカルプラズマが3万ガウスであり、その違いは10桁にも及ぶ。もう一つの代表的なものは、宇宙に充満した水素が出す輝線スペクトル（単色の電波）で水

素21cm 線と呼ばれる電波である。これからプラズマの動きがわかる。この輝線スペクトルの宇宙電波における存在は、フロストによって予言されユーエンとパーセルによって確認された。ちなみに、この予言は、オールトのゼミの宿題に対して、当時学生だったフロストが提出したレポートに端を発している。

さて、宇宙を電波観測する事で何がわかるかと言え、銀河系の大局構造、誕生から死にいたるまでの星の一生など、光学測定では知り得ない様々なことがわかる。たとえば、前述のオール



トの研究から銀河系が渦巻き構造をしているということがはっきりと示された。よく写真などで渦を巻いた銀河の写真を見かけるが、専門家の間ではこの構造は謎であった。なぜなら、銀河は回転している。だから長い年月の末にはこの規則的な構造は崩れてしまうはずである。一体なぜ渦巻き構造が保たれるのかということについて、最近では、この構造は波であると考えerことで理解されている。その他、パルサーとしてよく知られる中性子星は電波の観測によって発見された。その発する電波が規則的なのはじめは宇宙人からの交信と考えられたことは有名である。観測することは科学の基本であり、このように電波望遠鏡—新しい目による天体の観測は多くの知見を与えている。

野辺山には、2つの電波望遠鏡のシステムがある。45mの電波望遠鏡とミリ波干渉計である。45m電波望遠鏡の表面は100ミクロンの精度で作られており、2ミリメートルの波長の電波まで検知できるのが特徴である。宇宙がどのくらいの速度で膨張しているかを示すハッブル定数の測定などに成果をあげている。一方、ミリ波干渉計は45m電波望遠鏡に比べ10倍ほど角度分解能が良い。そのため分子雲の分布を観測するのがその任務となっている。野辺山天

文台では大学と研究によって一年でだいたい年間30件程の論文発表を行っているということである。現在、ミリ波望遠鏡をさらに発展させて南米のチリの4800メートルの高地に望遠鏡を設置して観測する計画—ALMA計画—が進んでいる。北の空のみならず南の空を合わせて観測しようという計画である。

「宇宙の99%はプラズマ状態にある」というのは、プラズマの研究者にはよく知られた言葉である。さらに核融合は、星の一生あるいはダイナミクスを支配する基本過程である。太陽は重力により閉じ込められたプラズマである。我々の観測対象である磁場閉じ込めプラズマはすぐそばの実験室にある。様々な目を通して間近で見ることができる。磁場と重力場の違いはあっても、利点を生かせば、宇宙に起こる森羅万象を深く理解するための基礎研究としても核融合研究は価値があるだろう。

なお、この特別講演会のあと、平成18年7月20日に坪井先生が所長を務める国立天文台野辺山宇宙電波観測所を見学する機会を得ることが出来ました。この見学記に関しては、本誌見学会レポート記事を別途ご参照下さい。

4 核融合科学研究会第16回見学会報告 電波で見る宇宙—45m電波望遠鏡 ——国立天文台野辺山観測所——

核融合科学研究会第16回見学会が、平成18年7月20日に開催されました。今回は、長野県の野辺山にある国立天文台野辺山観測所を訪れました。5月に開催されました核融合科学研究会総会後の特別講演会で、野辺山宇宙電波観測所の所長である坪井昌人教授に講演していただきましたが、電波による宇宙観測の現場を実際に見学しよう、ということで、今回の見学会が企画されました。宇宙からの電波を捕らえる45m電波望遠鏡、600mに6台の素子アン

テナを配置したミリ波干渉計、84台のアンテナを500m—220mのT字型に配置した電波ヘリオグラフなど、私たちの常識である光を捕らえる望遠鏡とは異なり、まるで通信設備のような電波望遠鏡の世界を見学することができました。

参加者は37名と盛況でしたが、前夜の豪雨の影響で、中央高速道路が長野県岡谷市周辺で通行止めになったことから、観測所への往復に時間がかかってしまいました。そのため、現地での見学時間が予定より短くなってしまいましたが、電波で見る太陽・宇宙の世界を実感することのできた見学会となりました。



当初の予定では、バスで名古屋から核融合科学研究所を経由し、中央高速道路を利用して、岡谷、諏訪方面から野辺山へ向かう予定でしたが、前夜からの豪雨で中央高速道路および国道19号線が岡谷市付近で通行止めになってしまいました。当日の朝には雨は小降りとなっており、午後には通行止めも解除されそうだったので、急遽、東名高速道路を利用して富士市へ回り、一般道で北上して甲府市から中央高速道路に入って野辺山へ向かいました。国立天文台野辺山観測所には宇宙電波観測所と太陽電波観測所が設置されていますが、JRの駅としては



最高標高（1346m）である JR 小海線の野辺山駅の近くにありま。そこへの到着は、こうした状況により、予定より2時間あまり遅れてしまいました。

野辺山観測所に到着すると、坪井所長自らが出迎えてくださり、「太陽が沈まないうちに早く」と太陽電波観測所の電波ヘリオグラフに案内していただきました。ここは太陽プラズマのマイクロ波診断を行っているところで、電波（マイクロ波）によって太陽全体を専門に観測しています。直径80cmのアンテナ84台を500m-220mのT字型に配置することによって、直径500mの望遠鏡に相当する解像力を実現しています。そして、個々のアンテナを全て同じ向きにして、毎日ひまわりのように太陽を追いかけています。観測周波数は17GHzで、2kGの磁場強度と共鳴して太陽表面から放出される電波の3倍高調波を観測しています。通常、1万度のプロミネンスなど、太陽から来る電波は熱放射されたものですが、時々非熱放射された強い電波も観測されます。こうした電波は太陽の活動と関係しており、太陽フレアやそれにより引き起こされる磁気嵐等は地球上の通信、人工衛星、宇宙飛行士の健康等にも影響を及ぼすことがあります。磁気嵐や太陽風等によるこうした影響が、太陽表面上の活動として電波等で観測されてから地球に届くまでに時間のかかることから、「宇宙天気予報」に活用できるとのことです。

太陽活動に関係してよく知られている黒点の数は11年周期で増減しています。黒点はその温度が周囲に比べて低いため暗く見えますが、その磁場強度は最大で5kGだそうで



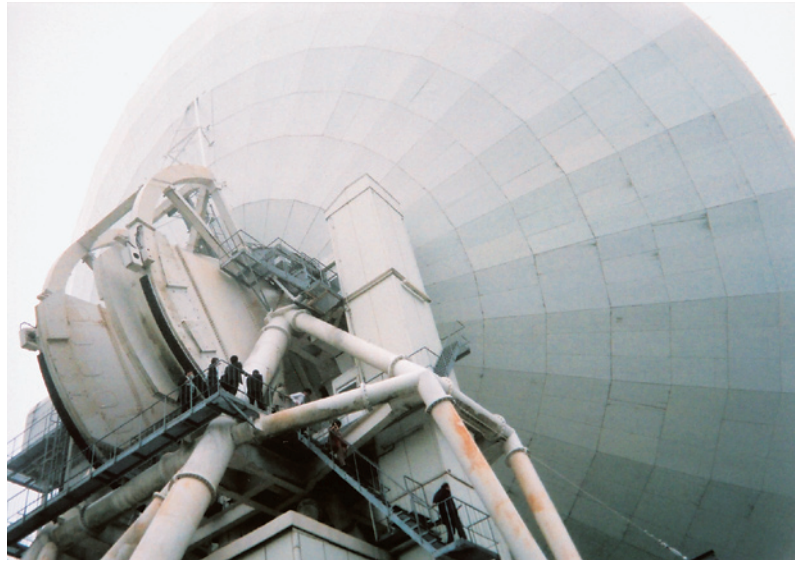
す。黒点の数の11年周期の原因ははまだ解明されておらず、そのためか、太陽研究を志望する学生数も11年周期で変動するそうです。余談ですが、近々打ち上げられる太陽観測衛星ソーラーB計画の影響で、最近では志望する学生数が増加しているそうです（ソーラーBは9月22日に打ち上げられ、「ひので」となりました）。

観測データは1秒に1枚の画像を得ることができ、1日でCD2枚になるそうです。また、10分毎に1画面にしてムービーのように変化を見ることもできるそうで、休日は家からモニターをしているとのこと。1992年から



のデータは全て蓄積され、オンラインで公開しています。データは即座に公開されて自由に利用できる一方、衛星のデータや光学観測データ等は自由に利用させてもらうそうで、そうしたことにより研究を推進させているとのこと。トラブルとしては、今までに直接の落雷はなかったものの、誘雷により何度か機器の損傷を受けたことはあるそうで、また、電力網の末端のせい、遠くの落雷による停電も起こるそうです。観測に用いている17GHz帯は、衛星放送の普及でコンポーネントが安く手に入るのがメリットだそうで、BSアンテナに検波器を付けて太陽に向けてと太陽からの電波を観測できるそうです。

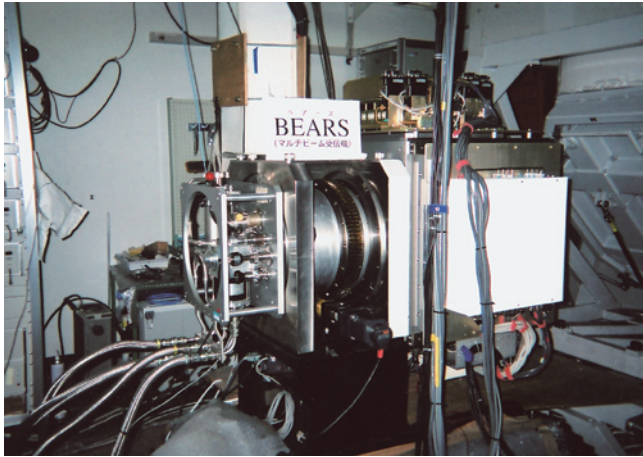
次に、星間宇宙からの電波を観測する宇宙電波観測所のミリ波干渉計と45m電波望遠鏡を見学しました。宇宙から来る電波は太陽に比べて非常に弱く、その信号強度は太陽の4～6桁ほど弱いものとなっていますが、太陽とは違って、シャッタースピードに1年かけても問題はありません。ミリ波干渉計は、直径10mのアンテナ6台を最大600m離して設置して、直径約600mの巨大アンテナに匹敵する解像力を実現しています。各アンテナの位置を変えることにより解像度の高い全天の画像を得ることができるため、年に4回ほどアンテナの配置を変えて観測するそうです。各アンテナは35トン程度あり、設置場所を変える際には、子台車がアンテナの下にもぐり込んでアンテナを持ち上げて親台車に乗せ、親台車が東西・南北のレール上を移動して、目的とする場所（ステーション）にアンテナを設置するそうです。レールは新幹線もびっくりするほどの広軌で、アンテナを設置するステーションは数十ヶ所以上ありました。



ここで観測する電波はミリ波で、波長は1～4mm程度です。南米チリのアタカマ砂漠には波長1mm以下のサブミリ波の電波望遠鏡（直径10m）が、標高4,800mの高地に設置されているそうです。波長の短いミリ波は水蒸気の影響を受けやすいため、晴れの日の多い冬場（11月～5月）に観測することですが、寒い時には-20℃まで冷え込み、またアンテナに積雪すると観測できなくなるため、雪下ろしも行うなど、なかなか観測は大変なようです。

最後に、広い敷地内にたくさんのアンテナが設置されている野辺山観測所の中でも、ひときわ目立つ45m電波望遠鏡を見学しました。45m電波望遠鏡はアンテナ直径が45mで、波長1mm～10mmのミリ波を観測する世界最大の電波望遠鏡です。アンテナの背面には階段がありますが、通常、トラブル時以外は上ることはなく、特別に上って見学させていただきました。外に突き出た階段を上るのは少し怖い感じで、高所恐怖症の方には無理かと思いましたが、上部にはツバメの巣がありました。アンテナは上下方向および水平回転方向に主鏡面を動かすことができますが、アンテナが大きいので、傾けたときの自重により主鏡面が変形してしまいます。それを60～90μmの精度で主鏡を構成している各鏡を調整して放物面を維持するようになっています。また、温度センサーも取り付けられており、温度による歪みの補正も行っているそうです。





アンテナと受信機のある下部機器室は台座に据え付けられて6個の水平回転用車輪で支えられています。総重量は700トンになりますが、2台のモータにより水平回転を行うことができます。水平方向の回転速度は1周20分程度で、上下方向の首振り速度も同程度だそうです。観測を開始してから20年以上になりますが、20mの基礎を持つ土台が毎年0.7mm程度ずつ傾くため、2000年に大改修を行い、回転レールを設定し直したそうです。また、この見学の翌日からペンキ塗りを行う予定とのことでした。

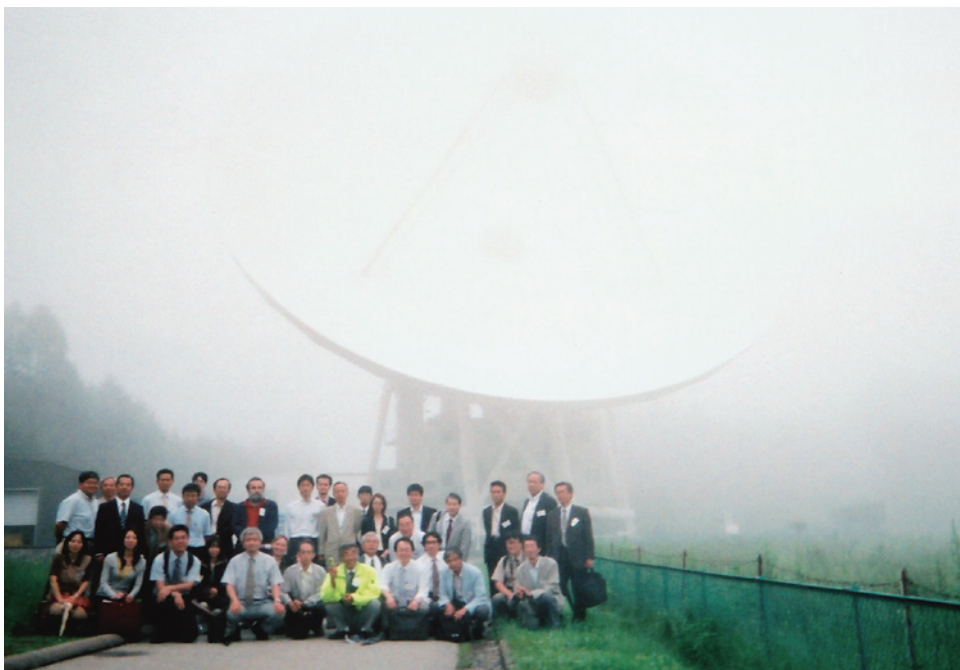
下部機器室には、20~230GHzの観測周波数に対応した受信機が配置されており、周波数によって使用する受信機を切り替えています。こうしたマイクロ波領域の伝送・検波システムは、核融合プラズマ実験にも利用されているため、専門的な事柄も含めて、様々な質問が飛び交いました。実際の観測は、アンテナ・コントロールも含めて隣接する観測棟で行われます。空気の澄んでいる冬場になると観測は昼夜に及び、海外からも多くの研究者が滞在するそうです。

帰りの時間を考えての駆け足の見学でしたが、電波望遠鏡の見る太陽と宇宙の世界を十分に満喫して帰途につきました。

しかし、中央高速道路の復旧の目処が立っていないことで、往路と同じコースでの復路となり、甲府を經由して富士市に出た時にはかなり遅い時刻になってしまいました。そのため、そこから新幹線で帰ることとなりましたが、研究所に着いたのは夜中の12時でした。

37名の参加と盛況な見学会となりましたが、前夜の豪雨で長野県岡谷市周辺で土石流があり、一帯の国道および中央高速道路が通行止めになったことから、東名高速道路に迂回したため、野辺山観測所への往復に時間がかかってしまいました。そのため、現地での見学時間も予定より短くなり、帰りは深夜になるなど、参加していただいた皆さまに大変ご迷惑をおかけしました。ここにお詫び申し上げます。

今回の見学会では、国立天文台野辺山観測所には大変お世話になりました。ここに改めてお礼申し上げます。今回はいろいろとご迷惑をおかけしましたが、今後はより一層、会員の皆様に満足していただける見学会を企画したいと思いますので、見学したい施設の希望、推薦等がありましたら、事務局までお気軽にご連絡下さい。



事務局だより

＊ ＊核融合科学研究会評議員会・総会および特別講演会のお知らせ＊ ＊

〈核融合科学研究会評議員会・総会〉

日時 平成19年5月31日(木)14時30分より15時30分
場所 セラミックパーク MINO
議題 平成18年度事業報告および決算報告
平成19年度事業計画および予算案
役員の交代について

〈特別講演会〉平成19年5月31日(木)15時40分より17時

講師 朝日新聞社会部記者 中山 由美 氏



1993年入社。青森支局、つくば支局、外報部を経て、現職。外報部時代には、2001年9月11日の同時多発テロ実行犯の生涯を追って、ドイツや中東を取材。長期連載「テロリストの軌跡」(2002年度新聞協会賞受賞。単行本は草思社)の担当者のひとり。2003年11月-2005年3月、第45次南極地域観測隊に同行。(報道記者としては女性初。またドームふじ滞在も女性初。)

テーマ 「南極から地球が見える」

南極大陸の海岸の岩場には約40億年前の岩石があり、かつて南半球の大陸が一つだった Gondwana 大陸の痕跡に出会える。越冬の後半、昭和基地から千キロ離れた内陸のドームふじ基地へ1カ月かけて旅した。深さ三千メートルに眠る氷を掘削し、太古の気候変動を探るのが狙いだった。地球の歴史を足下を感じる南極だが、見上げればオゾンホールが開き、温室効果気体の二酸化炭素の濃度は上昇、核実験で放出された放射性物質は雪から検出される。南極は、地球環境の太古から今、そして未来を私たちに語りかけている。



8

編集後記

平素は核融合科学研究会の活動に格別のご高配を賜りましてありがとうございます。

平成19年度会費納入のお知らせをいたしましたところ、早速にお取り計らいくださいまして誠にありがとうございました。

会員の皆様に、厳しき情勢にもかかわらず、当研究会の活動をご理解いただき、ご支援いただいておりますこと、感謝申し上げます。

今後とも、当研究会の活動ならびに核融合科学研究所への一層のご理解・ご支援をよろしくお願い申し上げます。

核融合科学研究会ニュース
第34号(2007年5月)

融 會

編集・発行
核融合科学研究会

〒509-5292 岐阜県土岐市下石町322-6

TEL 0572-58-0622 / FAX 0572-58-0626

E-mail : yu-kwai@tcp-ip.or.jp

URL : <http://www.nifs.ac.jp/yu-kwai/index.html>