

## IAU—コロキウム No. 31

## 「惑星間塵と黄道光」に出席して

田 鍋 浩 義\*

本年6月10日から13日まで、西ドイツのハイデルベルクで、「惑星間塵と黄道光 (Interplanetary Dust and Zodiacal Light)」というテーマの IAU—コロキウムが、COSPAR (宇宙空間研究委員会) との共催で開かれた。出席者は約 100 名、IAU の第 15 委員会 (彗星の物理)、第 21 委員会 (夜天光)、第 22 委員会 (流星と惑星間塵) および COSPAR の 3 C 部会 (宇宙塵) のメンバーが中心で、日本からは名古屋大学の早川幸男氏、ミュンヘンの Max-Planck-Institut für Extraterrestrische Physik に滞在中の西村徹郎氏および筆者の 3 名が参加した。

筆者は6月7日に東京空港をたち、都合で南回りの経路をとったが、最近の物騒な事件を警戒してか、カイロでの乗替え待合せを除いては、途中の給油地で一切機外に出してくれず、(昔は空港食堂で冷たい飲物などサービスしたものだ) チューリッヒまで正味 25 時間、いささかくたびれてしまった。何ともキュークツな世の中になったものだ。

ハイデルベルク市は、古城を背景にネッカー河に沿い、14 世紀に創立されたドイツ最古の大学がある歴史に富んだ美しい町である (天文月報, 1973 年 11 月号 291 頁参照)。市の背後の山のケーニヒストウルには、Landessternwarte (天文台) に隣接して Max-Planck-Institut für Astronomie の新しい建物がほぼ完成しており、またこれにほど近い山の中に、今回のコロキウムの会場となった Max-Planck-Institut für Kernphysik がある。

コロキウムの前日の夕方、市内の Max-Planck-Haus で出席者の受付をかねて歓迎パーティーが開かれた。地元世話役の御大エルゼッサーをはじめ、ホイップル、ミルマン、ローチなどの大御所や、何年ぶりに顔を合わす旧知の面々がつぎつぎにあらわれて、ビールのグラスを片手に、あちこちに談笑の輪ができた。ローチに「あなたの近著 “The Light of the Night Sky” を私も買いました」といったら、「そうか、それでまた印税が何セントかもうかった」と例によって冗談をいっていた。16 才まで日本で育ったというミルマンとは、いつものように日本語で話したが、大正時代の日本の話がでて、昭和生まれにとっては、いささかタジタジであった。

さて、本題のコロキウムであるが、4 日間に発表された論文は約 80 篇、第 1 日は黄道光の観測とその周辺問

題、第 2 日は人工天体による惑星間塵 (以下単にダストと呼ぶことにする) の直接測定に関するもの、第 3 日の午前には月の表面のダストの話やダストのモデルの話、午後は彗星とダストの関係、そして最終日は流星とダストの関連や、ダストの運動や進化の問題に、大別されて発表された。いずれこのコロキウムの論文集が出版される予定であるから、個々の論文について興味のある方は、それを参照してもらうことにして、ここでは、このコロキウムの内外で筆者のうけた一般的な印象を述べよう。

前回のこれと同じテーマの国際シンポジウムは、1967 年にハワイ大学で開かれ、筆者も出席したが (天文月報, 1967 年 7 月号 128 頁参照)、前回に比べて今回のコロキウムの大きな特徴は、地上観測の論文と人工天体による観測の論文の数が、完全に逆転したことである。前回でも、人工天体による観測結果がいくつか報告されたが、今回は、その後に月に行ったアポロ、木星まで行ったパイオニア 10, 11, 地球を大きな長円軌道で回ったヒオス 2, 有人飛行をしたスカイラブ、水星軌道の内側まで入ったヘリオス A 等々で行なわれた太陽距離 0.3 AU ~ 5 AU にわたる観測結果がつぎつぎに報告され、前回以後 8 年間の人工天体観測の大きな進歩を示すとともに、黄道光やダストに関する種々のパラメーターが、実測によって、次第に明らかになってきた。

その例としては、太陽系内のダストの空間分布がある。これまで、ダストの空間密度は、太陽から遠ざかるにつれて減少すると考えられていて、太陽距離  $r$  のところの密度  $n(r)$  は、 $n(r) \propto r^{-p}$  であらわしていたが、地上観測からは  $p$  の値が、なかなかきまらなかった。しかし、黄道面内を飛ぶ人工天体から種々の太陽距離で、一定方向の黄道光の明るさ  $I(r)$  を測定すると、

$$I(r) = r^{-(p+1)} I(1 \text{ AU})$$

という関係があって、ただちに  $p$  の値がきまる。そして今回、先ごろ 0.31 AU まで太陽に近づいたヘリオス A の観測結果として、 $p \sim 1.3$  と報告され、また、最近の地上観測の積み重ねからも、 $p \sim 1.2$  が観測によく合うという話もあって、このへんの値がほぼ確からしいということになった。ただし、木星に行ったパイオニア 10 の観測からは、 $p = 1.5 \sim 2$  となっているから、あるいは太陽系の内側と外側で少し異なるのかも知れない

\* 東京天文台

し、異なっても不思議ではないが、その後パイオニア11が相次いで木星まで行っているのだから、その結果が発表されれば、もっとはっきりするであろう。

パイオニア 10 は、このほかにも黄道光やダストの観測に大きな貢献をした。黄道光が、太陽系のどこまで広がっているかということは、以前から議論されていたが、パイオニア 10 の観測によれば、一定方向の空の明るさは、太陽から遠ざかるにつれて減少した後、3.3 AU 付近から外では一定の明るさになった。これは、この付近で黄道光成分の光がなくなって、あとに背光の星野光だけが残ったことを意味しており、黄道光の限界は太陽から半径 3.3 AU 付近であることがわかった。そして、この星野光の測定値は、われわれが東京天文台で行なったスターカウントから出した星野光の明るさと、ほぼ一致している。また、対日照の原因についても、これまでいろいろな説があり（天文月報、1965年6月号122頁参照）、その後も小惑星帯の反射光であるという説も出されたが、パイオニア 10 の観測では、その明るさが黄道光とともに減少、消滅することから、惑星間に分布するダストの後方散乱光を見通しているものであることが確かめられた。余談ではあるが会期中のある昼食時に、ローチがわれわれに「最近の対日照の明るさはどうなっている？」と尋ねた。というのは、これまでの地上観測ではワインバーグの  $260 S_{10}(v)$  を最高とし、筆者の  $155 S_{10}(v)$  を最低値として大きく散らばっていた。ところが、大気圏外の観測精度が向上するにつれて、その値が次第に小さくなり、現在では筆者の値を下まわる気配さえある。ローチの質問は、こういった現状を尋ねたのであるが、人工天体による明るさの絶対測定には、各国とも苦労しているので、今のところ十分な答は得られていない。本年9月に打上げ予定のフランスの人工天体 D2B が、可視域と紫外域で対日照を観測する計画であるから、その結果が期待される。

ところで上に出した  $S_{10}(v)$  というのは、面光源の明るさをあらわす単位で、空の1平方度の明るさが G0 型 V (眼視)等級 10 等星何個に相当するかというのであるが、適当な比較星が少ないこともあって、観測者によって差異が生じやすく（上述の対日照の明るさのバラツキの一因でもある）、とくに他の色での測定値を換算するとき、方法によっては大きく違ってくる。これを何とかしようという話が、コーヒー休みのときに出て、会期中に数人が何度か話し合ったが、結局今回は結論が出なくて宿題となり、さし当っては、各人が観測結果を発表するときに、絶対値換算に用いた方法を詳しく書いてほしいということになった。

さて、このコロキウムで、最大の問題の1つであった



マクス・ブランク・インスティテュート・フェル・アストロノミーの見学会（右端は所長のエルゼツサー氏）

のは、ダストの粒の大きさの分布である。15年ほど前までは、惑星間空間には電子が  $1000 \text{ 個/cm}^3$  くらいあるといわれ、黄道光の偏光は電子の散乱光で生ずると考えられていたが、その後、電子の数はせいぜい  $10 \text{ 個/cm}^3$  くらいということがわかってきたので、その代りに、半径 0.1 ミクロン程度のダスト粒子（サブミクロンダストという）が沢山あると考えると、偏光を説明していた。これには、1961年にアメリカのロケットで上層大気中のダストを採集したところ、サブミクロンダストが見つかったことが、大きな根拠とされた。そして、半径  $a$  のダストの数  $n(a)$  は、隕石や流星の大きさの分布から推定して、 $n(a) \propto a^{-4}$  という考えが有力であった。しかし、黄道光の色が太陽の色とよく似ていることは昔から知られているが、もし黄道光にサブミクロンダストの散乱光が大きく寄与しているならば、色がもっと青くなるのではないかと、サブミクロンダストは、太陽の輻射圧の影響を強くうけるので、太陽系内に安定して存在し得るだろうかといった疑問は、当初からあった。ところがその後、パイオニア 8, 9 や、今回報告された MTS (Meteoroid Technology Satellite) の直接測定で、惑星間空間にはサブミクロンダストが、それほど多くはないという結果が得られた。直接測定というのは、簡単にいえば人工天体に積んだ測定器にダストが衝突する数をかぞえるもので、初期には精度のあまりよくないマイクロホン法などが使われたが、最近ではイオンゼーション法といって、ダストが金属面に当たって生ずるプラズマを検出し、運動量と速度や方向を同時に測定できる方法が開発されている。この方法だと  $10^{-15}$  グラム（密度を 1 とすれば  $a \sim 0.1$  ミクロン）程度のもので測れるということである。

ダストの大きさを知る他の方法としては、月の表面の石にダストが衝突してあけた、微小クレーターの大きさの分布を調べることもある。そして、アポロが探って来

た月の石から、やはりサブミクロンダストはそれほど多くないという結果が出ている。

このようなことから、今回のコロキウムでは、ミクロン前後のダストの大きさの分布は、今まで考えられていたより平坦で、 $n(a) \propto a^{-2} \sim a^{-2.5}$  くらいであろうということになった。そうなると、黄道光を今後は比較的大きいダストの散乱光として説明しなければならないが、その場合、今までサブミクロンダストで説明されていた太陽離角  $160^\circ$  付近に現われる負偏光を、どう解釈するかということが問題になった。負偏光というのは、偏光面が直角に回転する現象で、黄道光の場合、その偏光度は僅か数パーセントといわれ、筆者自身はこれを検出した経験はないが、数人のベテラン観測者に聞いたところ、ある人は確かに存在すると主張し、ある人は検出できなかったという。したがって、負偏光の存否の再確認観測も必要と思われるが、いずれにせよ、サブミクロンダストが少ないということは、これまでの黄道光研究の流れを変えるものであろう。コロキウムの後、パリ行列車と一緒にアメリカのソーパーマンが「サブミクロンダストが少ないことを、これまでのサブミクロン派の人達が認識したことだけでも、今回のコロキウムは有意義であった」といっていたが、彼自身、1961年にロケットでサブミクロンダストを見つけた1人であることを考えると、大変象徴的であった。

太陽系のダストは、太陽に近づいて昇華、蒸発したり、輻射圧の影響をうけたりして、次第に失われていく(天文月報、1972年7月号179頁参照)。その失われ方は、個々のダストの大きさ、質量、軌道の条件などによって異なるが、平均寿命は  $10^5$  年前後といわれている。したがって、もし太陽系内のダスト雲が、これ以上永い間定常的に存在しているものと考えらば、どこからか補給されなければならない。その補給源としては、以前から小惑星帯、彗星、星間塵などが考えられ、最近ではこのうちで彗星が最有力となっていたが(天文月報、1975年6月号188頁参照)、今回のコロキウムでも、彗星、とくに周期彗星が主要な供給源らしいということになった。小惑星帯が候補からはずれたのは、パイオニア 10、11 の測定で、小惑星帯の中でもダストの数が全く増加しなかったことや、小惑星どうしの衝突でできるダストの量の理論計算でも、小惑星帯はダストの補給源になり得ないことが報告されたためである。一方、パイオニア 8、9 で直接測定されたそれぞれ 100 個以上のダストが、彗星に関係があることや、彗星の放出するダストの量の計算などから、周期彗星が最も有望ということになったのである。とくに周期彗星を主要源としたのは、他の彗星は、それ自身の軌道が放物線に近く、それらから放出されたダストは、太陽系から失われやすいからである。

彗星とダストの関係については、名大グループのコホーテク・ブラッドフィールド彗星の赤外観測結果から、彗星の放出するダストは比較的大粒(サブミクロンでない)であるという報告や、コホーテク彗星が太陽に近く前、4 AU 付近で放出したと思われるダストを、ヒオス 2 が検出したという話などもあった。

会期中の第3日の夕方、Max-Planck-Institut für Astronomie の見学会があった。前述のとおり、建物はほぼ完成した段階で、中味はまだほとんどガランドウの状態であった。天文の研究所にしては、望遠鏡らしいものが全く目につかないので、聞いてみたら、現在スペイン南部に 2.2 m のものと 1.23 m のものを建設中とのことである。そしてここでは、アメリカと協力しての人工天体による観測に主力を注いでおり、ヘリオス A から送られて来た黄道光観測のデータを見せてもらったり、また近くアメリカに持って行って飛ばすという大気球用のゴンドラ(黄道光観測器)を整備しているところも見学した。ずいぶん大きいゴンドラで、輸送用の飛行機にちょうど入るように設計したとか、そして既に何回か飛ばして回収したものだそうである。

今回のコロキウムの内容もそうだったが、現在は、このように各国とも大気圏外からの観測に非常に力を入れている。このことに関して、永年カナリー諸島で地上観測を続けているフランスのデュモンに、「フランスでも人工天体観測をやっているが、君は参加しないのか」と聞いたら、「人工天体観測も重要だが、やはり一番だいじなのは、永い間の地上観測の積み重ねだ。だから自分は地上観測を続けているのだ」といった。人によって賛否はあろうが、一つの見識である。地上観測といえば、ある時、地上観測の絶好地であるハワイ(天文月報、1962年10月号217頁、1967年7月号126頁参照)から来たウォルステンクロフトに、ハワイの黄道光観測所の現状を尋ねたところ、研究費が足りなくて休業状態だという。そして、「アメリカでは、この頃はワーウ(Wow)・アストロノミでないとならぬ」というので、「ワーウ・アストロノミとは何だ」と聞いたら、目を見開いてみせて、「パルサーとかブラックホールとか、目を見張らせる華々しいアストロノミのことだ」と教えてくれた。

コロキウム最終日の夕方には、ライン河畔のスペイヤーという町にバス旅行があった。ヨーロッパの夏は、大変日が長く、午後9時頃になってもまだ明るい。この町にある11世紀ごろ建てられた古い大寺院を、ゆっくり見学した後、近くのワイン博物館で、ラインワインの試飲会が行なわれた。種類毎におもしろく愉快的説明を聞きながら、つぎつぎと12種類の微妙に味の違うワインを飲まされ、参加者一同、大変ごきげんだった。