

アメリカ H.A.O. 滞在記

齊 藤 国 治*

1. 発 端

アメリカの科学衛星 Skylab が、1973年5月末から翌年2月初までの8カ月の間、太陽面および太陽コロナの観測をおこない、幾多の輝かしいデータを世界の学界に提供したことはよく知られている。

ハーバード大学・海軍技術研(NRL)・HAOなどの研究機関がこの計画に参加して、それぞれ独特の観測機械を積みこんで、X線・極端紫外線(EUV)・白色光などの波長域で、いままでにない長期間に亘って3人の宇宙飛行士を乗せての連続観測をなしとげた。奇妙な“コロナの孔”や transient と呼ばれるコロナ内でおこるあわただしい転移現象を発見して世界を驚かせ、いまやその成果が学界誌にぞくぞく発表されつつある。

その中で HAO グループが白色光コロナグラフを積みこんで、宇宙空間から太陽コロナの連日写真観測に成功したとのニュースは、筆者には大きなショックであった。数年にべんくらの間隔で起きる皆既日食を追って長年同種の観測をやって、僅かずつの成績を積みかさねてきた筆者にとっては、毎日毎時のコロナの観測データが8カ月も揃って得られた(それも日食級のが)とは、前代未聞、夢のような話だからである。

ところが、その観測データの後処理を「あなたにまかせるからやりに来ないか」と、HAOのニューカーク台長じきじきの誘いが舞いこんできたのである。いわばコロナの助っ人要請である。これをことわっては日食屋冥利に尽きる話だから勿論 OK の返事を出した。かくて東京大学を停年退官して日本国内では隠退の身が、老妻を引きつれてアメリカはコロラド州ボルダー市に、まる一年間滞在勤務と相成った次第である。

2. HAO 天文台

ボルダー市はコロラド州の首都デンバー市の北西40 km、西に立ちほだかるロッキー山脈が尽きてやがて中部太平洋に移ろうという山裾の東端に所在する。標高1800 m の高地にあり、コロラド大学を中心に、NBS, NCAR, NOAA, IBM など各種の研究所在する。さて HAO というのは、High Altitude Observatory の略称であるが、この略称の方が世界的に愛用されている。25年前の創設で、その当時はコロラド大学に所属していたが、いまは

NCAR (National Center for Atmospheric Research) の一部局になっている。大きな望遠鏡をもっているわけではないから、理科年表の「主な天文台」のリストには載っていない。けれども世界中の太陽物理屋にとっては知らぬものがない一存在で、いわば太陽研究のメッカのようなところである。

ボルダー市は人口6万余(うち学生2万)の小さな町であるが、日本人学者の数は多く、それぞれの分野(自然科学が主)で優れた業績をあげている。話を HAO に限っても、2人の日本人学者がスタッフとして活躍している。京大出身の松下禎美氏は地球磁気圏の権威、東大出身の中川好成氏はプラズマ物理学の旗頭である。台員にアメリカ人が多いのは当然としても、一年に5人の割で外国人客員のポストが公開提供されていて、台内のマンネリズムを防止する工夫が施されている。日本からも今までに多くの研究者が招かれている。筆者も1963年後半と1970年から71年にかけての2回ここに招かれており、今回の滞在はその第3回目。だから、町の地理などよく判っているし、ニューカーク台長はじめ天文台スタッフとも旧知の間柄である。

3. コロナ写真の解析

HAO グループが Skylab に載せたコロナグラフというのは、リオ形式のコロナグラフであるが、違う点がある。それは対物レンズの前方2 m 余の光軸上に外部遮蔽円板を置いて、太陽直射光がレンズに当たるのを防ぐ点にある。たしか10年以上前に、ニューカーク台長がこれを無人バルーンにのせ、地上25 km の上空を浮遊させて、太陽白色コロナを数時間に亘って連続撮影した事が数回ある。その時の写真には、散光のひどい写野にコロナ流線らしき像が心細く写っていた。これをニューカーク氏自身から見せてもらった時は、半分は感心し半分はどうやってもこの程度のものなのかと内心落胆したものであった。所がどうであろう。宇宙空間から持ってかえった今回のコロナ写真は、なお2, 3の改良すべき点はあるにしても、まことに美事な出来栄である。

コロナ写真原板上の尺度は、太陽像半径(R_{\odot})が2 mm であり割に小さいと思ったが、分解能は仲々よい。そして $6R_{\odot}$ までの写野がある。使用フィルムは孔なし35 mm 幅の長尺で、バナトミック X 乳剤を使い、ベースはエスター・ベースである。一回の撮影にはコロナの直接像1枚、偏光軸を 60° ずつ変えた偏光像3枚を撮っ

* K. Saito

て、この4枚でワン・セットになる。これは筆者が長年「四連カメラ」と呼んで使っていた形式と同じだから、整約についての打ち合わせなどはツーと言えばカーと答えるほど知りぬいている。

8カ月に亘って撮したコロナ写真の総数は35,000に及ぶが、そのうちの1枚を表紙に掲げる。これは直接像で露出9秒のものだが、別に露出3秒と27秒とのシリーズもある。表紙画面中央の黒い部分は外部遮蔽板による影で、円板がレンズから有限距離にあるため少しくピンボケになっている。しかも円板がコロナの $1.5R_0$ 以下の部分を全くカットしている。だからこの機械では皆既日食のときのように、太陽へり近くの内部コロナまで撮影できないのが大きな欠点である。さらに遮蔽板の「けられ」があり、「けられ量」を実験室で決定して、これを補正する必要がある。このけられのため内部コロナは大いに減光を受け、あたかもニューカーク・フィルタを使ったような効果があるから、コロナ輝度勾配を平滑化するという思わぬ長所もある。縦の黒いセクトルみたいな部分は遮蔽板を支える支柱のピンボケ像である。支柱に邪魔されたコロナの部分は、カメラを光軸の周りに 90° だけ回転して再度撮影してカバーされる仕組みになっている。地上から行なう日食観測のときは、皆既中の天空光($S=10^{-9}\bar{B}_0$)が混入し、この量は日食ごとに可変だから、その都度この量をきめて補正する必要がある。そのため外部コロナの観測は、その精度と測定可能な太陽離角とに制限をうける。ところが、宇宙空間からの観測はその点全くフリーである。その代り、遮蔽板や支柱の縁での直射日光の散乱(主に回折光)が大きくて、これが別のトラブルとして登場する。表紙の円板左上縁が他の部分に比べて明るいのは、太陽が僅かに左上にずれて位置していたためである。また円板の周りに同心円に見えるいくつかの光の輪は円板へりが起こした回折光に原因する。このような訳で、一応の安全を期すれば、測定可能範囲としては、 $r=2.3R_0\sim 6.0R_0$ というのが妥当なところであろう。

35,000枚のフィルムから950枚を適当間隔にえらんで、マイクロデンシトメトリを行なった。測定量はデジタルに磁気テープに入れられ、その整約はコンピュータで筆者の指定した図表(グラフィック・ディスプレイ)にまで仕上がるシステムになっている。だから仕事が軌道に乗ったあとは快調なペースではかどったと言える。この仕事の成果は協力者のPoland, Munro 両氏との共著ですでに Solar Physics 寄稿してあるから、本年末ごろには印刷発表されると期待している。

4. コロナの孔について

ボールダー滞在中に、NASA 主催による「コロナの

孔」についての協同研究会(Workshop)が催された。40名くらいの研究者(米人と在米外国人が主)が一堂に会し、Skylab で得られた新資料を中心として、コロナの孔に関する研究発表と熱心な討論があった。

このコロナの孔というのは、高名なワルドマイヤ博士が1950年代に、地上からのコロナ緑線観測を総合して作った単色コロナのマップ上で、「コロナ輝線が著しく弱い領域」として注目したもので、彼がこれをドイツ語で Löcher (つまり holes) と呼んだのが始まりらしい。1960年代におこなった観測ロケットによる初期のX線、極端紫外線の写真では、孔のところで上記の輻射が欠除していた。つまりこの孔は全波長に亘って輻射が欠けており、まさに“コロナ物質の欠陥箇所”なのである。この事は太陽の南北両極域において特に顕著で、そこには“孔”が恒常的に蟠居しているらしいのである。

筆者はかつて極小期の太陽コロナを調べて、両極域上空のコロナ電子密度量は他の域に較べ確実に凹んでいると発表しておいた(Saito, 1970)が、それがコロナの孔として脚光をあびる存在に発展しようとは当時思っても見なかった。「コロナは頭がハゲている」といったりした思い出がある。

この孔の重要性については、1970年3月にメキシコ・フロリダを通過した皆既日食の際に、地上から観測された数々のコロナ写真によって、やっと充分かつ普遍的認識が得られたようである。この皆既食の日に、たまたま太陽面南西縁に現れていた“コロナ物質欠陥域”は、今から思えば、写真を撮した当事者(筆者を含めて)を大いに悩ませたものである。(筆者のコロナ写真は、たとえば天文月報、1970年6月号表紙を参照されたい。)

コロナの中にどうしてこんな物質欠陥域がありうるか。たとえそれができて、隣接のコロナ物質が直ぐにも侵入してきて隙間を埋めてしまい、間もなく平静に復すべきではないのか。一体この欠陥域の寿命はどの位なのか、その発生メカニズムは何であるか。……いろいろの疑問が頭を一杯にしたのである。もっとも今だから冗談をこめて話をするけれども、上のような高尚な疑念が浮かぶより前に、筆者などは、大切な日食フィルムの現像作業を終えて暗室ランプをつけたとき、定着液槽にまだ漬かったままのコロナ原板を眺めて、アッと訝りに驚いたものである。という訳は、現像したコロナ像の一部がスコ抜けになっているからで、もしかしたら、フィルムのその部分だけ何かのへまで現像されてないのかと思ったからである。しかしやがて他のどのフィルムにも同じ模様があるのを見つけてやや安堵したものの、その後暫くの間(測定準備にとりかかる前まで)は、孔のあるところが太陽の極方向だと思いがいっていた始末である。それほど、大きな孔のあいたあのコロナ写真は強烈

な印象を筆者に与えた。

その後、世界各地（とくにハワイ島）のKコロナメータの総合データや、計算から求められるコロナ磁場立体図(Altschuler, 1972)や、5年以上に亘るロケットのX線太陽写真(Vaiana et al., 1973)などの組織的な調査から判ったことは、(1)この奇妙なコロナの孔は決して稀有におこる現象ではなく、(2)確かに周辺より格段に低い電子密度をもち、(3)孔の基部に当る光球磁場は附近より微弱であり、(4)その磁場は単極的であり、(5)そこの磁力線束は外向きに太陽から発散している、などの確かな結論が集められた。また、OSOの観測からは、(6)低緯度域でのコロナの孔の中の温度は静かなコロナ部分より60万度も低いこと、(7)彩層-コロナ転移層へまでの温度勾配は他よりも1/10も小さい事も判った(Munro-Withbroe, 1972)。

高速の太陽風が開いた磁場のコロナ構造から吹き出すであろうとの期待は理論的にはかなり前からあった(Billings-Roberts, 1964)が、(8)X線のコロナの孔が実際にこの高速太陽風の流れの源泉であることが示された(Krieger et al., 1973)。かくて“コロナの孔”の連続かつ集中観測の重要性が太陽学者一般に認められ、今回のSkylabによる太陽観測プログラム中の大きな項目の一つとされて、運よく搭載に間に合ったのである。太陽もまた観測期間中を通じて“孔”をたくさん現わしてくれて、観測に協力したのである。(平均して1ヶ月に2.5個も孔が観測され、1個の孔は数ヶ月の寿命をもっていた。)いずれこの総合研究会の成果はどこかでまとめられるであろう。SkylabによるX線、EUV領域での太陽磁場の研究結果については、内田豊氏の最近の論考(天文月報, 1977, 8月号)が大変すぐれているので参照されたい。

5. ボールダーの四季

ボールダーの町は訪れる毎に膨張をしているようだ。今回の滞在には、新しく町の南部に造成されたニュータウンの中のアパート群の一つに居を構えた。ここから毎朝夕、市バスで5分ほどの距離を通勤する。冬の間は毎日ロッカー下ろしのつよい西風が吹き、土地ではこれをBoulder wind といって有名である。関東の「赤城下ろし」と同じで、乾いた寒風である。冬期は一週間に一度ほど大気システムの変化があって、俄かに雪となる。このスキー場は全米中でも名高いらしい。日本から訪れる若い研究者たちは、ここでスキーの腕をあげて帰国する。

コロラド州とその周辺には雄大な国立・国定自然公園がワンサとあって実に素晴らしい。ロッキー、イエロストーン、グランドキャニオン、メサベルデなどは日本にも

その名を知られているが、まだいくらでもあり、奇岩怪石の重畳たるたたずまいは何億年昔から続く自然の侵食によって出来たと説明されると、天文学よりこっちの方を研究すべきだったかとくやまれる。今回は、東京の気象庁からNCARに研究出向してきた若くて独身の研究官T. I. 氏と仲よくして、コロラド、ユタ、アリゾナ、ニューメキシコの自然公園をしらみ潰しに見学して歩いた。何しろ目的地に到着するまでに車で2日間も走る広さだから、1回の旅行に1週間以上を予定しなくてはならない。お陰で大自然の造化の不思議さを満喫したワケだが、われわれ老人夫婦を乗せての旅では、彼も味気なかったかもしれない。

ボールダーの春は美しい。冬の荒涼たる風景が日に日にベールをはぐように変貌して、忽ち緑の園に化粧される。そしてレンギョーやリンゴの花が咲き乱れる。スプリングラーが街路筋の芝生や草花に虹をふりかける。高地なので夏は涼しく、軽井沢に避暑にきたみたいである。但し、8月中の雷鳴りはこわい。雷雲が目の高さまでおりてきて、町をスッポリ包んで、容赦なく落雷する。これも上州と似ているのであろうか。短い夏がおわると、アスペン(白樺の一種)の黄色い裏白の円葉が風にチカチカと震えて、秋が足ばやにやってくる。引退後に住みつくには、まことに結構な土地だなと毎日暮らしているうちに、一年が過ぎてしまった。

アメリカは週休2日制だから、土・日にはヒマをもてあますことが多い。天気の良い日は、大版のスケッチブックを携えて街角に立ち、あるいは緑の丘に座って町のたたずまいを描く。一年もこれを続けていると、バスの運転手まで知り合いになって、「あの建物をもう描いたか」などと訊ねられる。この町で相当な知名人になったところに、60枚のスケッチブックが完成した。このスケッチングは前回の滞在時からの継続事業なので、両者を合計すると120枚になる。小さな町をこれだけ丹念に描くことはひとつの記念になるから、いつの日かこの2冊のスケッチブックをボールダー市図書館に寄贈しようかと、筆者はまじめに考えている。

スケッチのほかに、ときどきの風景を俳句によんだりした。本誌にはおそらく無縁の文芸であるが、紙面の埋め草にでも使ってもらえればと思い、下に列記しておく。

G線の アリア真昼を 雪しまく
 ロッキーもなし 大路の果も 白き闇
 白き闇 昼を灯して バス現る
 やや欠けて コロラドの月 昇りけり
 ロッキーに 映えよ金星 降誕節
 電飾の ツリーの街の バス満席
 etc.