

日米科学セミナー “太陽フレアにおける高エネルギー現象”

開催までの経緯

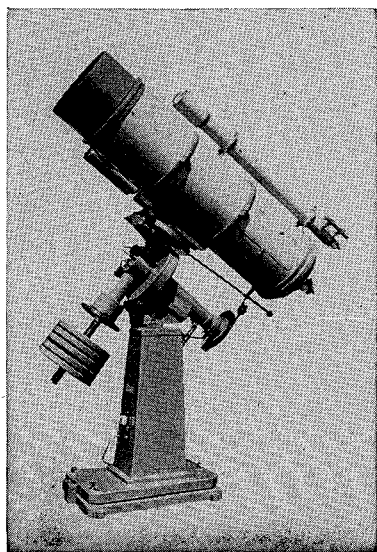
標題のセミナーが5月10日より三日間、東京六本木にある国際文化会館で開催された。米国側の出席者は13名、日本側24名で、オランダからも1名参加した。二年ほど前、カリフォルニア大学の H. Hudson 博士や Lin 博士より、表記のようなセミナーをやらないかという話が持ち出された。日米科学セミナーとは、日本側は学術振興会、米国側は NSF がスポンサーとなり、米国又は日本で開催されるものであるが、例えば日本で開催する場合には、会場費、会議に必要な諸経費及び日本人の国内旅費(12名以内)を学振が負担し、米国人の旅費(6名以内)を NSF が負担するというものである。1965年にハワイで“太陽大気”という題で、同様のセミナーが開かれたことがある。結果的に今回は日本で開催されることになったが、小規模とはいえ、国際会議開催国の責任者を勤めることはかなり大変なことに思われ、気は進まなかったが、日本でもたまには国際会議を引受けないと義理が立たないという事他に、こちらで開催すれば比較的多数の日本人が参加出来、国際会議の経験を積む機会の少ない我々、特に若い人達に多少とも役立てば幸いと思い、清水の舞台より飛び下りた次第である。

日本側参加者 24 名以内という制限がある為、関連他分野の方々にあまり参加して頂けなかったのは心残りである。しかし一方、じっくりと討論し合うには、参加者数 30~40 人までで、期間も三日が限度だと思う。おかげで、会期中を通し、討論は予想以上に活発であった。

この会の主なねらいは、人工衛星や Skylab により米国で盛んに行われた X 線や EUV の観測を基とした研究と、日本における電波観測を基とした研究をつき合せて、比較検討することであるが、このほか光学観測及び理論も含まれ、フレアに関連したかなり広い範囲が話題となった。

米国側の責任者は、Hudson 氏であるが、Skylab の観測にたずさわった各機関から少なくとも1名参加してもらい、未発表の結果を含む最新情報を持って来てもらうよう努力してもらった。今年は IAU 総会の年であり、不況の影響もあり、NSF 以外の資金からこのセミナーに旅費を出すにはかなりの困難があったようで、こちらで参加を希望したが来日出来なかった人もあるが、総勢 13 人の米国人と、1名のオランダ人の参加者が得られたのは、Hudson 氏の努力による所が大きい。

初日の午前は Observatory Reports として、まず日本における電波及び光学観測の紹介と、1979年に打上げ予



天体望遠鏡
ドーム、製作

西村製の天体望遠鏡

40 cm 反射望遠鏡の納入先

- | | |
|--------|----------------------|
| No. 1 | 富山市立天文台 |
| No. 2 | 仙台市立天文台 |
| No. 3 | 東京大学 |
| No. 4 | ハーバート大学 (USA) |
| No. 5 | ハーバート大学 (USA) |
| No. 6 | 台北天文台 (TAIWAN) |
| No. 7 | 北イリノイズ大学 (USA) |
| No. 8 | サン・チェゴ大学 (USA) |
| No. 9 | 聖アンドリュース大学 (ENGLAND) |
| No. 10 | 新潟大学高田分校 |
| No. 11 | ソウル大学 (KOREA) |
| No. 12 | 愛知教育大学(刈谷) |
| No. 13 | 静岡大学 |

606 京都市左京区吉田二本松町 27

株式会社 西村製作所

TEL. (075) 771-1570
691-9580

定の日本の太陽 X 線観測衛星 Astro-A 計画の紹介がなされ、米国側は、今迄の太陽観測衛星及び Skylab の紹介と、1979 年 10 月打上げ予定の SMM (Solar Maximum Mission) 衛星計画の紹介等がなされた。午後より研究発表に入り、総計米国側 13 (内レビュー又は招待講演 6)、日本側 16 (内レビュー 2) の論文が発表された。ハイライトについては、内田、平山両氏が書かれる予定である。

13 日には見学旅行として、東京天文台及び野辺山太陽電波観測所にチャーターバスで出掛けたが、外国人はほぼ全員参加した。

この会で気付いた事は、米国人が想像以上に日本の電波観測に興味を示し、又大きな期待を持っていることである。世界的に見て、日本ほどマイクロ波領域における太陽観測の充実している国はなく、又米国には太陽電波の研究者が少ない事が主な理由である。EUV, X 線, γ 線で得られるデータと比較検討するために、数秒角以下の空間分解能を持ったマイクロ波干渉計の必要性を再認識させられた。この外、電波バーストの耗波領域でのスペクトルのパトロール観測を何故やらないのか、今後やる計画はあるのか、45m 電波望遠鏡は太陽電波観測にも使えるのか等々、数人から聞かれた。手近な所では、マイクロ波バーストの観測時定数を 0.1 秒程度に下げる必要も望まれた。

会の後で数名の米国人より “strongly impressed by ...” という様な表現で語られたものには、“種々な太陽観測が日本で行なわれており、又計画されている”、“太陽関係の研究者が多く、色々のテーマで興味ある研究をしている”、“若い研究者が活発に研究している”等があった。多少の誇張はあるかもしれないが、お世辞だけではなさそうに思えた。

この会を有意義に無事終ることが出来たのは、學術振興会の御後援によるものであることは勿論であるが、国内組織委員として、日本側出席者やプログラムの決定の相談にあずかっていただいた河鱈、川口、守山、末元、田中(春)の諸氏、特に幹事として会議の大部分のお膳立てをしていただいた内田、平山両氏による所が大で、この紙面を借りてお礼を申し上げる。(高倉達雄)

話題と展望

先ずプログラムを概説すると第 1 日午前が日本の地上からの電波(田中春)及び光(守山)の観測所報告、米国のスペースからの硬 X 線(Hudson), 軟 X 線(Svestka), 及び極端紫外線域(Reeves)の諸観測器機と観測結果の報告、又日本の Astro-A 計画(小田), 米国の SMM 計画(Frost)等のこれから打上げられる観測衛星の搭載器機の説明があった。午後はフレアに伴う光球彩層の変化

のレビュー(田中捷)に始まり、センチメートル波電波源の変化と光で見える現象の関連(中島, 甲斐, 鯨目), 生れたばかりの活動域からの X 線バースト(Wolfson 他), 35 GHz 干渉計による観測(河鱈, 小川, 他)等の“フレアに先立つ活動域の振舞い”が討議された。2 日目に入ると、午前中は“フレアの光, 軟 X 線, 極端紫外線による観測”の討議にあてられ、X 線と電波バーストの光学的現象との関連(Zirin), X 線, マイクロ波バーストとの関連から見た光のフレア(田中捷), ループ紅炎の Hel のスペクトル線(久保田), 1975 年 8 月 2 日のリムフレアと X 線バースト(日江井), Skylab からのフレアの極端紫外分光観測のレビュー(Brueckner), フレアの分光的研究ディン, 平山), フレアの間の遷移層の構造変化(平山)等の講演とそれらに関連した討議があった。午後は午前の続きとして 1975 年 6 月 15 日のフレアの極端紫外観測(Widing), 熱的フレア(Svestka)等の講演の後, “フレア中の電子の突発的加速と硬 X 線バースト”というトピックに関して、フレアの突発期についてという題のレビュー(Lin), 続いて電子ビームの力学と III 型バースト(高倉), コロナ中の硬 X 線源(Frost), 彩層中の高エネルギー粒子(Hudson), フレアの硬 X 線の等方性(Moore, Datlowe), TDIA 衛星による硬 X 線観測(Van Beek)等の話があった。第 3 日午前は, “X 線, γ 線及び質量放出等と関連した電波現象について”のセッションで、先ずフレアの電波観測レビュー(鯨目), γ 線バーストと電波放射(Ramaty), 1969~1971 迄の 7 個のマイクロ波と硬 X 線のバースト(鯨目), センチメートル波での秒角分解観測(Kundu)等の話、午後は続きで II-IV 型バーストとコロナ白色雲(小杉), 運動 IV 型バーストは正常波偏波か?(甲斐)等の電波の話に続いて, “磁場—電流系とフレア理論”のセッションに入り、フレアのモデル(Sturrock), フレアのエネルギー供給(鎗木), 活動域上空コロナの磁場と電流シート(桜井, 内田), フレアの交換不安定理論(内田, 桜井)等の話とそれらについての討議が行われた。

以上のプログラムから見られる様に非常に盛り沢山のプログラムで特に言語に不自由のある日本側スピーカーにとって講演時間が不足気味であったが、とも角セッションの会場の内外を通じて非常に熱心な情報及び意見交換の場が現出し、日米双方の出席者にとって互に得るところのある研究会であったといえると思う。以下紙数の関係で到底全部の講演の内容について詳述する余裕はないが、その幾つかについてその背景を解説しながら紹介してみよう。日本側出席者の話は、引続いて 5 月 18 日~21 日、東大で開かれた日本天文学会春季年会で報告されたものが多く、聞かれた方も多いと思うので上の題目紹介に止めることとし、主に米国側の話の紹介という形

になることをお断りしておく。

フレア（太陽面爆発）の種々の観測の目的は、いう迄もなく、我々の太陽で起こるフレアという激しい現象の核心でどんな物理過程が起っているかを解明する事にある訳だが、数分間という短い時間で 20 万 km にも及ぶ領域に爆発的に“燃え広がり”、 10^{32} エルグという膨大なエネルギーを、高エネルギー粒子、プラズマの 2000 万 °K に達する加熱、 10^{16-17} グラムの質量の惑星間空間への放出等の形で解放するこの太陽面爆発という現象を理解する事は、類似性を示す宇宙的規模の更に大きく激しい爆発現象の理解の為の足掛りともなるものである。

以前はフレアは $H\alpha$ で最も良く見えるので彩層で起こる現象と考えられていたが、これが最近地上から見ることの出来ない X 線、極端紫外線等によりコロナ中でも劇的な変化が起っている事が見えて来た。American Science and Engineering が Skylab に搭載した検出器による軟 X 線のデータ (Svestka) は、活動域上空のコロナのこの様な有様を実に明瞭に示していた。例えば $H\alpha$ ではかすかなフレアしか起ってないのに上のコロナ中では非常に大きな軟 X 線の爆発的輝きを示すものもあり、又 2-リボン型フレアの上空に非常にくっきりとそれをつなぐ軟 X 線のアーケードが見えたりするのを見ると、ある程度予想された事とはいえ新しい観測手段の力を見せつけられる思いが深い。又いわゆる静止紅炎が消える時に彩層が明かるくなる事から、従来は紅炎物質が彩層に落下して加熱するという考えが提唱されていたが、軟 X 線で見ていると消えた紅炎は温度が上って $H\alpha$ では見えなくなるが本体は上へ飛び去って行く例も示された。Harvard と NRL の極端紫外 (EUV) 観測の報告 (Reeves, Brueckner) も非常に印象的であった。これらは異なる電離温度のスペクトル線を用いることによって異なる構造を別々に取り出して見ている。Ly α , Ca III, O IV 等の電離温度の低いイオンのスペクトル線単色像では、 $H\alpha$ で見たスーパーグラニューールに似た構造が見えているが、黒点は O IV 等では“黒点”ではなく、むしろ明るく輝く“輝点”になっている。Ne VIII, Mg X, Si XII 位になると活動域の上に黒点 (或はブラージュ) 間をつなぐ明るいループ構造が見えてくる。Fe XV, の様な電離温度の高いいわゆるコロナルスペクトル線になると殆んど活動域上空のこれらのループ構造のみが卓越してそれ以外の部分は暗くなり殆んど何も見えない。これは温度 150 万度位のいわゆる“コロナ”は、実は活動域上空のこの様なループ構造の集積である事を示唆する。それでは、ストリーマー状に延びている白色光コロナ (Skylab の HAO コロナメーターで見えるもの=従来の日食時に見えていたコロナ) との関係、又

前出の軟 X 線でのコロナとの関係はどうであろうか? Brueckner はこれについてのコメントとして、軟 X 線の明るさにはフィルターを通して比較的低電離温度の EUV スペクトル線の光が洩れ込んでいる為ではないかと軟 X 線の人に質していた。フレアは Fe XXIII, XXV 等の更に電離温度の高い線で見える。明るくなり始めるのは非常に小さい (<2'') 点で、そこでは 200 km/s 位のドップラー幅が見られる。Fe XXIII と Fe IX 位電離温度の違う線が揃って同じ幅を示すので、これはその点で激しい乱流的運動がある事を示している。これはフレアの始まりより少し早く始まり、フレアが始まってから ~10 分間位続く。強いフレアのピーク時には Fe XXV で見えるループが一時消えてしまうこともあり、これは Brueckner は温度が 2000 万 °K 以上に昇る為と考えている。又 Fe XXIV の明るくなる領域は He II 等で見た 2-リボン構造の丁度まん中辺の磁気的中性線の上である事が見出されている。これは今回は来なかった Vorpahl 等が Aerospace Co. のデータから磁気中性線をまたぐ小さいループ ($H\alpha$ の 2-リボン構造の中間に見える) が輝く軟 X 線源であるといっているのと合致する。Svestka は軟 X 線でのフレアを調べて、従来いわれていた突発相の高エネルギー電子が彩層物質に入射しこれを加熱“蒸発”させ軟 X 線源その他を作るという仮説がまったく成り立たないと主張した。実際軟 X 線の明るくなり始めるのは突発的電子加速 (III 型バースト、硬 X 線及びマイクロ波の突発型バースト) より数分以上早い場合があるし、更に突発型バーストラしいものが全くない場合すらある事が根拠である。これは最近いろいろの人によって唱えられて来た粒子爆撃仮説を否定する重みのある反証といえよう。

フレアの説明として粒子爆撃仮説が否定されたとしても、高エネルギー粒子の発生の問題は相変わらずフレアの中心的課題の一つである。Lin は総合レビューで、これが電磁流体衝撃波中で加速される可能性に言及した。彼は電子のエネルギースペクトル指数が約 3.7 であり、これを低エネルギーに外挿すると粒子の全エネルギーがフレアのエネルギーを補給して余りある位あるという従来からの粒子原因説について述べたが、上述の Svestka の反論の論拠をくつがえすデータはなかった。Frost は加速された電子がより高エネルギーに再加速されている証拠としての硬 X 線の第二成分を始めて指摘した人だが、今回はそのスペクトルが 30 分間位にわたってほぼ一定である事から、この再加速された粒子は硬 X 線突発型バーストの場合と異なり、コロナ中で徐々に衝突して硬 X 線を出しているという稀薄標的モデルを提唱していた。これに関連して Van Beek はオランダの観測 (衛星 ESRO TD1A) によると硬 X 線の突発バーストと第二

成分はスペクトルの時間変化が逆であって、電波の突発バースト及びマイクロ波 IV 型バースト観測から出した電子スペクトルと各々良く合う事を主張したが、これは鰻目が電波の側からマイクロ波のスペクトルピークと硬 X 線のスペクトルがあまり相関がなくむしろマイクロ波スペクトルのピークは硬 X 線スペクトルがどんなエネルギー迄延びているかという事と良い相関を示し、電波で稀薄なモデルでは X 線とマイクロ波のスペクトルを合わすことが出来ないとしたのと対照を示した。Ramaty はフレア中で発見された 2.2 MeV の中性子捕獲による核ガンマ線のデータから出した陽子のスペクトルについて論じ、これが 1~10 MeV の電子のスペクトルと形が同じで質量比の平方根程度ずらしたあたりに出る事を示した。これは有名な Fermi の加速機構の議論の誤り（項が一つ落ちていた）を修正して計算すると導びかれることであるという。又、Winckler 以来主張されていた X 線と電波各々に関与する電子数が 10^4 倍異なるという主張は電波の自己吸収を無視していた為であるといっていた。この様な加速された高エネルギー電子のスペクトルを通して元で起っている事を推察しようとする試みには必ず X 線と電波のデータが用いられ、この様な場合に名大の空電研の質の高いデータが必ず引用されて、おおいに日本の気を吐いている。

アメリカでの数少ない太陽電波研究者である Kundu がアメリカの状況を巧みに活かした特色ある研究を発表したのも興味深かった。即ち、彼は宇宙電波研究で盛んに用いられている像合成の技巧を用いて 35 km 離れた二つのアンテナの出力を何時間も集積、再合成して太陽面の活動域の微細構造を電波で初めて $0.2''$ という分解能で観測した。Skylab 観測と同じ期間中の観測もあり、興味深い結果を見せていたが、残念なことに像合成時間

より極めて短い時間で変化するフレア自身についてはよく判らない。しかし電波で黒点の細かい様子迄見えて、その偏波が実際黒点磁場の極性と関連している図まで見せられたのは印象に残った。将来はこの様な詳細な電波像が何等かの手段で変化の早い対象についても得られるようになるであろう。これは Zirin 及び田中(捷)による詳細な解析が示されたあの H α 単色光による活動域の像とオーバーラップして目に浮かぶものであった。その他、Sturrock の従来のフレア理論のレビュー、Widing, Moore, Wolfson の諸氏の話、それから、始めに断った様に紙数の関係から一つ一つ紹介する事は出来なかったが、日本側の発表もそれぞれ興味深いものであった。又、小杉、桜井その他の若手の活躍も心強いものであった。

尚三日間のセッションの後、米国側出席者 13 名と夫人 1 名、第三国オランダ 1 名、日本側 15 名程で学振のチャーターバスによる野辺山太陽電波観測所見学ツアーがあった。この頃には両国参加者同士もぐっとくだけた親しいふん囲気となり、又ディスカッションの花が咲いた。5 月中旬というのに野辺山はまだ寒く、米国側の年配者は日本旅館の室にベッドもないし空調も入っていないのを見て、これでは一体どうして寝られるんだと途方に暮れた様な顔をした人もいたが、Do as Nobeyamans do in Nobeyama で、ふとんが出て暖房がつくとなんとか収まった。若い人達は面白がって食事、風呂、その他総てをエンジョイしていた様でホッとした。野辺山観測所の装置についても他の人が旅館に戻った後 1 時間以上残って所員に質問をする熱心な人達もいた。往復のバスは日本の新緑の山間をひた走って、全く異った種類の景色の所から来た人達を十分に楽しませた様である。

(内田 豊)



日米セミナー野辺山エクスカージョン風景