

## 日米セミナー 「太陽面爆発機構解明についての最近の進展」

内 田 豊\*・田 中 捷 雄\*

1982年10月5日から4日間にわたって表題のような日米セミナーが学振及び NSF の後援により東京駒場エミナースで開催された。欧米諸国から30名(末尾参照)、日本から55名という、セミナーとしては大きな会合であった。このセミナーの目的は1980年頃をピークとする現太陽活動極大期における太陽フレア(太陽面爆発)のスペース、地上からの最新の観測データを持ち寄り、理論サイドからの検討を加えた総合的な新しいフレアの描像を得る事であった。太陽コロナ中で発生する太陽面爆発(いわゆる太陽フレア)は我々の最も身近に起きている天体の高エネルギー爆発現象である。その中で起きていると考えられる磁場のエネルギーの転化による超高温プラズマの生成と噴出、高エネルギー粒子の加速等の機構の解明は、太陽より更に激しい活動を示す他の恒星やもっと大規模な活動天体、銀河の電磁プラズマ現象の理解のうえにも極めて重要な手掛りを与えている。空間的に分解してみる事の出来る太陽で高エネルギー現象を精密に観測する事の重要性は論を待たないであろう。1960年代から多数行われたスペースからの太陽フレアの観測は今回の極大期において量、質共にその頂点に達した感がある。米国は NASA 最大の科学衛星の一つである太陽極大ミッション(SMM)やP78-1, ISEE-3など多数のフレア観測衛星を打上げた。一方日本では宇宙科学研究所が1980年2月に試験衛星たんせい4号を打上げたのに引続き1981年2月には本格的なフレア観測衛星「ひのとり」を打上げ、1年半にわたり集中的なフレア観測を行った。SMMと「ひのとり」は初めて硬X線による太陽フレア作像観測を行ない、高温プラズマの分光診断やガンマ線の観測と併せてフレアの高エネルギー現象を総合的に捉えた。一方地上観測でも米国立電波天文台のVLAや東京天文台野辺山観測所、名古屋大学理学部、空電研究所などにおける電波干渉計を用いた高空間分解能電波観測、またカリフォルニア工科大学のビッグベア天文台、日本の京都大学飛驒天文台、東京天文台乗鞍コロナ観測所等における高分解能光学観測が集中的に実施され、ぼう大なデータの集積が得られた。今回のセミナーはこれらのデータを持つ研究者が一堂に会し、相互比較を行い更にフレア理解を押し進めるための

絶好の場を提供したと云える。

セミナーははじめの3日間を研究報告にあて、最終日は総合討論にあてられた。第一日はSMM、「ひのとり」、P78-1の各衛星搭載の観測機器の特性の紹介に始まり、de Jager, Priest 両氏による夫々観測面、理論面からのフレアのレビューが行われた後、コロナ中に発生する大量の高温プラズマの詳しい分光診断の結果が論じられた。P78-1, SMM, 「ひのとり」に搭載された結晶分光器による高次に電離した鉄の特性X線のスペクトル測定は共に2000万度プラズマ形成時の激しい乱流(200~300 km/s)と上昇運動を検出している。この上昇運動は高温プラズマがコロナ下方の彩層の加熱により供給される過程を示す証拠とみなされ、この考えでプラズマの質量、エネルギーの収支が説明される事が示された。また彩層加熱の重要な要因となる電子ビームの存在が低温度でのみ放射される鉄の特性X線(K $\alpha$ 線)の解析により裏づけられた(「ひのとり」)。軟X線の連続スペクトルを初めて輝線から分離する事に成功した「ひのとり」の蛍光比例計数管のデータの解析により小さなフレアについても電子ビーム説を支持する結果が得られた事も報告された。最も高温のプラズマから放射されるFe XXVI(鉄の水素様イオン)のスペクトルは「ひのとり」だけが観測しているもので注目を集めたが、その解析の結果フレアによっては3000万度以上のプラズマが大量に生成される事が報告され従来から知られていた2000万度プラズマとの関係やその発生機構をめぐって今後議論を呼びそうである。この他紫外線の偏光の検出(SMM)や軟X線の輝線の偏光の測定(「ひのとり」)が報告された。

第二日午前にはコロナからループ磁場に沿って下方に伝わるエネルギー流がいかにコロナ彩層遷移層や彩層のフレア現象を引き起こすかについて紫外域(SMM)や可視域の観測、数値シミュレーションによる議論が展開された。可視域のH $\alpha$ 線による高分解能観測ではしにせのビッグベア観測所に加えて、飛驒天文台の新しい真空望遠鏡が秀れた写真を得ており、X線のデータとの比較により電子ビームや熱伝導による彩層加熱の描像が定着しつつある。数値シミュレーションについては現在2000万度のコロナプラズマからの熱伝導の精しい計算がSMMの研究者から報告されたが、紫外やX線観測との更に良い一致をみるには、もっと高温のプラズマからの伝導や電子ビームのシミュレーションの必要性が認識されたと思

\* 東京天文台 Yutaka Uchida, Katsuo Tanaka: On US-Japan Seminar "Recent Advances in the Understanding of Solar Flares"

われる。太陽縁上で起きた大きなフレアについていくつかの観測例が報告されたが、特に中国で得られた  $H_{\alpha}$  線でみえるループと「ひのとり」硬X線像の位置関係、乗鞍で得られた可視域の秀れたスペクトルが注目を集めた。

第二日目午後からはフレアに伴うマイクロ波電波源と高分解干渉計によって観測する事により高エネルギー電子の振舞を調べた結果を中心に報告が行われたが、これは今回のセミナーの目玉でもある第三日目午前のSMM、「ひのとり」両衛星による硬X線像観測の結果と併せて、これらの高エネルギー電子がいつどこで発生し、どこで放射を行なうかを浮彫りにした。米国のVLA干渉計による観測は高周波マイクロ波の電波源が低周波マイクロ波電波と全く独立な小さな領域、多分磁場ループの頂点付近にある事を示した。一方日本の次元電波干渉計(名古屋大学及び東京天文台野辺山観測所)も高エネルギー電子が磁場のループの中にとじ込められているという強い証拠を出している。長時間にわたる大きなフレアではマイクロ波電波源がゆっくりコロナ中を上昇していくケースもみつきり、このようなフエアでは高エネルギー電子の加速がコロナ中で場所を移動しつつ起きる様子も浮び上った。

注目の硬X線源の観測であるが、SMMの結果は従来理論的にも推定されていたように硬X線源は磁気ループ構造の足元に打ち込まれる高エネルギーの電子ビーム爆撃により発生するという事を裏づけていたが、「ひのとり」の結果は更にこの他にコロナ中のループ構造最上部にも硬X線源が発生するケースがある事を示した。これは全く新しい事実であり議論が集中した。コロナ中に浮んだ硬X線源は、光球面磁場観測に基づくコロナ磁場の計算との比較や高周波電波源(名古屋大学理学部)との比較もふまえて、コロナの磁気ポットルにとじ込められた高エネルギー電子の存在を物語るものというのが「ひのとり」関連の研究者の解釈である。一方まとめの議論で硬X線の熱的放射説を追求している英国のBrownはコロナの硬X線源は数億度の超高温プラズマがループの頂上付近で連続的に生成されるモデルと矛盾しない旨を力説した。また日本の理論グループからはループの両端に高温域が発生する時に生ずる衝撃波がループ頂上で衝突して超高温域を作るという新機構の提案もあった。今のところコロナの硬X線源が高周波電波源と一致するという点やガンマ線が同時に放射されるという点などから、捕獲粒子説が有力と考えられるが、解釈について更に綿密な検討が待たれる。電子ビーム爆撃説に有利な低い硬X線源は硬X線強度が短時間に激しい変動を示すいわゆるインパルスなフレアに多いのに対し、コロナに硬X線源をもつフレアは長時間にわたりゆるやかな強度変化を示す傾向がある事も指摘された。単一の発生機構です

べてのフレアを説明するのはむずかしいという印象を与えた。「ひのとり」の得た多様なフレア硬X線像の全ぼうは小杉氏によって作られた硬X線像の映画の上映により参加者の目に強く焼きつけられたと思われる。

第三日目の午後にはISEE-3とPVOという二つの衛星からのステレオ観測による硬X線源の形態の推定や更にエネルギーの高いガンマ線の変動やガンマ線源スペクトルの放射等についての報告が行なわれ、これに基づいて電子加速、イオン加速の起る様子が議論された。特に強調される点は加速が大変速く起るという事である。硬X線の変動に数十ミリ秒の短いものがみつけられたている報告からも分かるように加速は大変狭い領域で瞬時に起るらしい。太陽大気中の金属元素の原子核と陽子の衝突と起因して放射される核ガンマ線の時間変動を高エネルギー電子の放射する硬X線の強度変動と比較した結果から、数十MeV以上のイオンの加速が数十keVの電子の加速と数秒以内の差でほぼ同時に起きている事実も報告された。この同時性はGeV域の陽子加速にまであてはまるようである。しかし一方ゆるやかな変化を示すフレアでは従来通り高エネルギーのガンマ線が硬X線のピークよりも数十秒から数分遅れてピークに達する事も指摘された。マイクロ波電波のピークが電子による硬X線バーストのピークに対応するものとイオンによるガンマ線ピークに対応するものから成立しているという野辺山の研究者による指摘も最終日の討論でなされ、電波源と硬X線源の詳しい比較からイオンと電子の加速領域を分離できる可能性も浮び上ってきたといえる。

最終日の第四日の午前は第一日目からの議論で浮び上った論争点、新しい観測事実が従来の定説に関して大きな疑問をもたらした問題点などについて“組織化された自由討論のセッション—free discussion on controversial points—”にあてられた。テーマとしては“粒子加速に段階があるか? ”、“X線とマイクロ波の発生源”、“生成される粒子は熱的分布をもつか非熱的分布をもつか? ”、“質量輸送とループの相互作用の問題”の4点が選ばれ、ディスカッションリーダーの導入につづいて自由で活発な討論が行われた。これはフレアの総合的描像導出に資する興味深いセッションとなり、研究会等におけるこのようなセッションの有効性を示したといえる。ただ残念な事は自由討論のため言葉のバンディキャップをもつ日本側の発言が少なかった点である。今後日本の研究者はこの種の重要な討論に慣れるべく積極的に自己訓練をする必要が感じられた。なお四日目午前中で公式のセッションは全部終了して会合は解散し午後は希望者のみのデータ交換や個人的意見交換等にあてる自由行動の時間としてあったのだが、ほとんどすべての参加者が夕方まで会場に残って、映画上映などを含む熱心な討議を続けた事

は印象的であった。

以上がセミナーのサイエンスセッションの要旨であるが、セミナーが大盛況であった一つの理由として第三国から多数(13名)の高名な研究者が自費参加でかけつけた点があげられる。これは日本が欧米と対等の最新データを得ているという情報によっていると思われる。彼等の期待がかなえられたのかどうか別にして、今まで欧米を中心にして行われている学問の発展の重要な鍵をにぎる国際研究集会が今後ますます我国で開かれる事を願ってやまない。

なおセミナーの公式行事としてレセプションと長野県野辺山の東京天文台野辺山観測所見学旅行が行なわれた。レセプションには会場に近い宇宙科学研究所からの多数の参加を含めて100名に及ぶ人々が参加し国際親善を深めた。又、野辺山観測所見学旅行では、精度の高い観測をつづけている太陽電波干渉計、新しく建設された宇宙電波45m望遠鏡などに外国からの参加者は強い印

象を受けた様であった。これはその夜宿泊した上諏訪のホテルでのカラオケコンパや日本式温泉入浴、次の日帰路でのサントリー山梨ワイナリーでのリラックスした休日の印象と共に参加者の日本の描像形成に貢献したのではないかと思っている。

外国からの参加者(敬称略)は以下の通り。S. R. Kane, H. S. Hudson (以上米国側組織委員); L. W. Acton, T. Bai, G. Brueckner, E. L. Chupp, G. Doschek, G. A. Dulk, A. G. Emslie, K. J. Frost, A. L. Kiplinger, M. R. Kundu, L. Orwig, R. Ramaty, E. Tandberg-Hanssen, K. Widing, H. Zirin (以上米国), J. C. Brown, A. Gabriel, E. R. Priest, G. M. Simnett (以上英国), C. de Jager, Z. Svestka, A. Duijveman (以上オランダ), J. C. Henoux, K. Hurley (以上フランス), E. Antonucci, R. Pallavicini (以上イタリー), Cao Tien-Jun (中国), S. S. Deganokar (インド)。

会学だより

会費納入のお願い

4月より会計年度が改まりますので新年度会費の納入をお願いします。会費は通常会員 3,500 円、特別会員 10,000 円です。納入には今月号に同封の振込用紙を利

用して三菱銀行三鷹支店(4434400)、第一勧業銀行三鷹支店(1418472)、富士銀行三鷹支店(203053)のいずれも普通預金口座日本天文学宛、または郵便振替口座社団法人日本天文学会(東京6-13595)宛振りこみか、あるいは現金書留を御利用下さい。会の円滑な運営のため、できるだけ早く御納入下さるようお願いいたします。

わが国唯一の天体観測雑誌

天文ガイド

定価380円(〒70)'83-5月号・4月5日発売/

5月号のおもな内容

- ★待望の木星食が近づいてきました。連載最終回は写真観測法について掩蔽観測グループの小川嘉一さんから
- ★《都会でスター・ウォッチング》今回は東京でカノープスを見る会。東大和天文同好会の人たちです。
- ★パソコンで望遠鏡を動かしてみたら……淵辰夫さん
- ★昨年末発見された菅野天体は、新星か変光星か、又は新しい星の誕生か? 東京天文台磯部瑋三さんの解説
- ★カスタムクラブは、今回はマッチプレートの研究。奥村正己さんと本誌プロジェクト・チームの研究報告
- ★《今月の観測ガイド》は諸惑星の観測。夕方の西天の金星、夜半の木星など、今春は絶好の観測シーズン!

天体観測年表

掩蔽される星の『星表』はこれだけ!

星雲・星団表は13等までに限定。アマに便利  
2000年までの太陽/月/諸惑星の位置や物理表が  
先々の観測計画に絶好。

コンピューターから直接製版で、非常に正確  
16000個の恒星表 1800個の掩蔽星表  
2500個の星雲・星団表 太陽・惑星表...etc.

中野主一・太田原明 編/予定価3200円・3月下旬刊

★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★

マイコンが解く天体の謎

マイコン(FM-8)を使って、  
天体現象をディスプレイに映し出します。  
そして、プログラムの作成から実行するところまで、  
懇切丁寧に天体の謎を解明して行きます。

中野主一著/定価1600円(〒250)好評3版出来

誠文堂新光社

〒101 東京都千代田区神田錦町1-5  
振替東京7-6294 電話03(292)1221