

太陽電波とともに35年

高倉 達雄*

この3月末で退官を迎えるにあたり、回想を書けとの編集理事の申し出があった。多少変わった経歴なので、興味を持たれたのであろう。

1. 夜明け前

戦争末期の為、旧制高校の在学期間が半年短縮され、大阪帝国大学の物理学科に入学したのは昭和18年の9月である。2学年目から講義はほとんど無く、研究室に配属となり、菊池正士先生（故人）の研究室の助教授であった伊藤順吉先生の下で、終戦までレーダーの研究のお手伝いをしていた。元来は原子核の研究を目指しておられた菊池研の方々は、戦時研究に動員され、それぞれレーダー関係や、原子爆弾の基礎実験（ウランのアイソトープ分離）の仕事をしておられたのである。

昭和21年9月、卒業はしたけれど職は無く、大部分の卒業生は、仕方なく大学に残っていた。その頃までに、私は岡部金次郎先生（故人）の研究室に移り、林龍雄助教授（故人）の下で、マイクロ波用電子管の研究らしきことをやっていた。当時、大学院特別研究生という奨学金制度があり、昭和23年頃は幸いこれを頂いていたが、一人分の奨学金を杉本健三君（前、原子核研究所長）と2等分していた。こんなある日、若かりし小田稔さん（現、宇宙科学研究所長）がひょっこり室に来られた。2年先輩である小田さんは、当時菊池研の助教授であった渡瀬譲先生（故人）の下で宇宙線の研究を始めようとしておられた。小田さんが私の所に来られたのは、渡瀬先生が、「最近電波天文という分野が出来たらしく、面白そうだから手を出して見ないか」と言っておられるので、一緒に始めてみませんかという勧誘であった。これが、それまで特に天文に興味を持った事なかった私が、現在まで太陽電波に関連のある仕事を続けるきっかけとなった。

2. 夜明け

旧海軍の潜水艦用のレーダー受信器（3.3 GHz）を乏しい文献を頼りにディッケ式に改造し、金工室に頼んでホーンアンテナを造り、阪大の屋上にあった焼けこげた探照灯の残骸の架台に取り付けてもらい（図1、表紙）、手で太陽に向けたが、一向に太陽電波らしいものが受からなかった。受信器の改良を重ねた後、昭和24年頃

（年月は総て昭和で書く事にする。私の年齢と同じなので何かと便利である）のある日、偶然アンテナの光軸が太陽から大きくずれた時に、記録計が振れる事に小田さんが気付いた。ホーンアンテナは、長さの割に開口面を大きくしすぎると、指向性がハート型となり、光軸方向は受かりにくくなる事を知らなかったわけである。

この頃、大阪市立大学に理工学部が新設され、渡瀬先生は、研究室ごとこちらに移られることとなった。私も昭和25年の4月より、渡瀬研の助手として採用され、当時扇町に有った校舎（旧小学校）の屋上で、太陽電波の観測を続けることとなった。一方助教授になられた小田さんは、宇宙線の研究にもどられた。余談になるが、当時の市大には、南部陽一郎先生（現、イリノイ大教授）の研究室に、早川幸男、西島和彦、山口嘉夫の諸氏がおられ、さっそうとみえたので、若い女子職員のあこがれの的であった様だが、我々渡瀬研の実験屋は、きたない菜葉服を着てハンダ付けやガラス細工等をしていた。

この頃までに、アンテナは直径1.5米の拋物鏡（但しブリキ細工（図2））となり、受信器も造り変えられていたが、依然として架台は前のままで、手で太陽の追尾をしていた。それでも時々大きなバーストが記録された。最初のものは、May 23, 1951である。しかしこれだけでは仕事に成らないので、アーク放電から放射される電波雑音のスペクトルを測ったり、爆薬を爆発させて、この時に出る電波雑音を測り、電波放射機構を調べ



図2 3.3 GHz 電波望遠鏡二号機（大阪市大屋上、昭和26年頃）

* 東大理 Tatsuo Takakura: 35 Years, together with the Solar Radio Waves

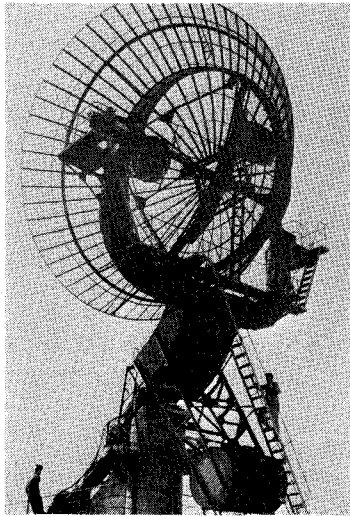


図 3 直径 10 米電波望遠鏡 (東京天文台)

ていた。太陽電波バーストの放射機構を知る上で、何かヒントになるのではないかと目論んでいたわけである。爆薬として、アジ化鉛の合成法を化学の人におそわり、小量ずつ自分で造っては実験していたのだが、ある朝室に行くと、ピーカーのガラスが飛びちっており、冷汗をかいた。多分夜中に自然爆発したのであろう。

3. 東京天文台、天体電波部

その頃の東京天文台は、萩原雄祐先生(故人)が台長を併任しておられ、昭和 24 年、分光部に天体電波課が新設され、畑中武夫部長(故人)の下で先ず 200 MHz の太陽強度観測が始められ、その後 100 MHz、60 MHz、3000 MHz の強度観測が追加され、昭和 28 年には直径 10 米の赤道儀式拋物鏡(図 3)が完成、これにより 200 MHz における太陽電波偏波観測が始められた(東京天文台 90 周年誌)。

当時、電離層研究連絡委員会(学会会議)というものが、萩原先生が委員長で、定期的に麻布の旧天文教室で会合があり、太陽物理、電波、地球物理、宇宙線等の研究者が集り、太陽地球間、関連現象に関する連絡会、研究会として、貴重な情報交換の場であった。萩原先生、畑中先生には、多分この席で始めてお目に掛ったと思う。畑中先生の勧めで、昭和 29 年 10 月より、東京天文台に転職することとなり、先ず 300~800 MHz 帯の太陽電波の動スペクトル装置(電波スペクトルの時間変化を長尺フィルムに記録する装置)の開発製作を受持つこととなった。

昭和 30 年から 31 年にかけて行なわれた IGY(国際地球観測年)にそなえ、9.5 GHz 偏波計(1.2 米 パラボラ)、デシメートル波帯動スペクトル用 ロンビックアン

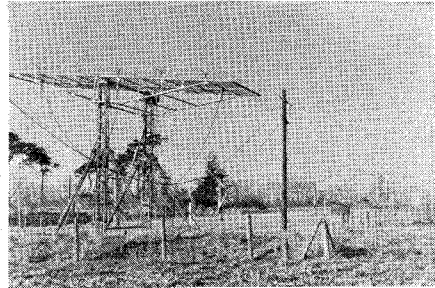


図 4 200 MHz 干渉計用ビームアンテナ (東京天文台)

テナ、200 MHz の 3 アンテナ干渉計(図 4)、100 MHz、67 MHz の 2 アンテナ干渉計等が新設され、昭和 31 年には、分光部から独立して、天体電波部が創設された。当時の部員は、鈴木重雅(昭和 35 年、オーストラリア CSIRO に留学。その後、ここに転職)、守山史生、赤羽賢司、渋谷暢孝の諸氏と私で、その後、河鱈公昭(昭和 41 年名大に転出)、土屋 淳、森本雅樹の諸氏が 35 年頃までに次々と加わり、昭和 40 年には、甲斐敬造、内田豊の両氏が加わった。

天体電波部の観測対象は、主に太陽であったが、昭和 31 年 3 月 19 日、かに星雲がたまたま月に隠されるので、200 MHz で干渉計を使った偏波観測をしようということになった(天文月報 49 巻、39 頁)。当時、この天体の電波の偏波は、星雲全体の放射に対する上限値しか測られていなかった。受信器は、10 米 拋物鏡に取付けてある偏波計を流用し、干渉計用のビームアンテナ(図 4) 1 個を架台から外し、手で直線偏波方向を 90° 回転できるような木のやぐらにのせ、掩蔽の途中で偏波直交型の干渉計に切替える計画であった。アンテナの回転は、とび職人にお願し、前日には予行演習を行って、当日に備えた。運悪く、当日は大雨となり、どしゃ降りの中観測を始めたが、一向に干渉パターンが現れない。掩蔽の時間が刻々と過ぎ、号令一下、アンテナの回転もやってもらったが、不規則な変動以外、何も現れなかった。後日のテストでわかった事だが、アンテナとケーブルの結合部が水びたしになると、電波が著しく受かりにくくなるという欠点があった。

昭和 32 年の夏、米国ボールダーで開催された国際電波科学連合(URSI)の総会に出席出来ることになった。当時渡米するには、MATS(Military Air Transportation Service)に便乗する場合が多く、日本人出席者 10 名程一団となってこれを利用してもらったが、まだプロペラ機で途中、ガム島、ハワイで給油、サンフランシスコまで丸 2 日ほど掛った。この会に引続き、一年間ミシガン大学のハドック教授の下に留学する事となった。丁度ここに 100~550 MHz 帯の太陽動スペクトル装置が完成したところで、まだ誰も手をつけていない生データ

を、意のままに使わせてもらえた。当時ここには、海野さんが滞在中で、寿岳さんも学生として長年おられたが、丁度帰国されるところであった。

4. マイクロ波バーストとX線バースト

この時分、まだ太陽のマイクロ波帯のバーストの放射機構は解明されておらず、多分メートル波帯のバーストの延長だろうと思われていた。従って、太陽フレアの初期に放射されるインパルスなマイクロ波バーストは、メートル波帯のⅡ型やⅢ型と同じ機構、即ちプラズマ波に起因するものと、一般に考えられていた。しかし、私は、磁場制動放射ではないかと考えていた。相対論的高エネルギー電子 (≥ 10 MeV) によるシンクロトロン放射は、銀河電波や電波星の放射機構として、早くから知られていた。この放射は、直線偏波であるが、一方太陽のマイクロ波バーストは、円偏波 (10% 程度) である。従って、磁場制動放射として説明するには、もっと低いエネルギー (100 KeV~1 MeV) の電子が寄与していると思わなければならない。ところが、このようなエネルギー領域の電子による磁場制動放射は、非相対論的近似も相対論的近似も使えず、まだ誰も計算した人がなく、先ず基本式の導出から始めねばならなかった。次に数値計算だが、当時の計算機では、ベッセル函数の計算に長時間を要し、特に高次のもは、良いライブラリも無く、数値計算といえども大変であった。ベッセル函数表と計算尺で計算した事もある。この時代は、まだ自分で計算プログラムが書けず、ミシガンでは、日本人の留学生であった友人にアルバイトで書いてもらった。

この計算結果を使い、ある程度定量的にマイクロ波バーストの特性を説明出来る事を示し、一方合成動スペクトルと名付けたものを造り、マイクロ波バーストがメートル波帯のバーストの延長でない事を示したのが、昭和35年頃である。合成動スペクトルというのは、800 MHz以下は、三鷹で昭和34年より定常観測を始めた動スペクトル装置 (図5) で観測された動スペクトルや外国のデータを使い、1000 MHz以上は、名大空電研で観測された4周波の単一周波のデータを使わせてもらって手書きで制作した等強度図を使い、これ等を組合せて造った10 GHz~100 MHzの広い周波数にわたる動スペクトルである。

高エネルギー電子がイオンや中性粒子と衝突して放射する硬X線バーストが、昭和33年頃米国で気球観測により始めて見付かり、その後OSO-1衛星により昭和37年から本格的な観測が始まった。電波で得られる情報と、X線で得られる情報を総合すれば、高エネルギー粒子の発生機構や、その後の振舞がわかり、ひいてはフレア現象の解明につながるのではないかと目論見で研究を

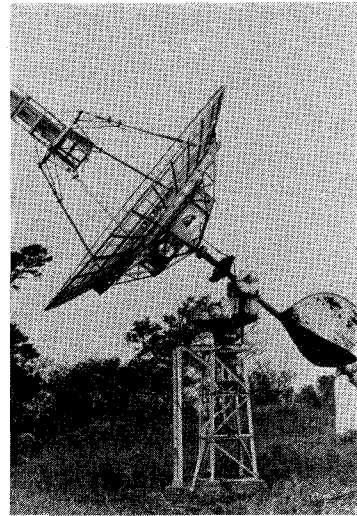


図5 直径6米、動スペクトル用アンテナ (東京天文台)



図6 東京天文台天体電波部アンテナ群の一部 (昭和40年頃)

進めることとし、この路線は現在まで続くこととなった。

小田さんが考案されたモジュレーション・コリメータを使い、太陽硬X線バーストの放射源の像を測定出来れば面白いと思ひ、宇宙研の小田研、西村研の方々と共同で、大木、渋谷の両氏とともに、昭和44年の秋、気球観測をする事となった。気球飛翔中の10時間程の間に太陽フレアが発生してくれなければ、観測にならないので、フレア発生の予報が必要であるが、これはそう簡単でない。大きなフレア発生の予報は、当時空電研におられた田中春夫さんの考案による、電波スペクトルを使う方法があるが、並のフレアに対しては、的中率が悪い。秋期の気球観測期間は、9月より10月に掛けた約1ヶ月である。仲々有力な黒点領域が発生せず実験期間も終りに近付いたので、多少可能性の有る黒点領域に望みを掛けて、とにかく原町 (福島県) の基地より放球することにした。ところが、放球後3時間位して、重要度3の大フレアが発生したという電話が、三鷹から入った。但し、我々が予報していたのとは全く別の活動領域 (黒点がほとんど無い) で起ったのである。後で、米国人にどうやってフレアの予報をしたのか方法を教えて

くれと聞かれ、実は……と言って頭をかいた次第である。この様な Spot-less flare の常として、硬X線バーストは割に弱いものであったが、観測はまずまず成功で、一方向の強度分布ではあるが、世界で始めて硬X線バースト (≥ 30 KeV) の放射源の大きさが測定された。それは1分角程度で、H α フレアの大きさ3分角に比べ非常に小さいものであった。その後米国の研究者どもに、ゲリラ的観測と言われたものである。この観測の後、再び硬X線バーストの像がSMM衛星で観測されるまでに、10年を要することとなる。

5. 野辺山太陽電波観測所

年代は前後するが、昭和35年頃から、畑中先生を中心に、将来計画を考え始めた。そろそろ日本でも、宇宙電波に手を出す時期ではなかろうかと思われたが、人手、予算を考えると、先ず太陽電波観測装置の充実を先行させるべきだという結論となり、数名の部員が手分けをして、人工電波雑音の少ない電波観測所の適地探しと、装置の立案、設計を始めた。第一候補地は、野辺山に決り、人工雑音レベルの測定等も行なったが、用地の交渉ははかどらず、昭和38年にやっと概算要求を出す運びとなったが、不幸にしてこの年の11月、柱と頼む畑中先生が急逝され、その後の重責を若輩の私が背負う羽目となった。全体計画を何回か縮少し、やっと昭和42年になって、3年計画で予算が認められ、太陽電波観測所の建設が始まった(天文月報60巻203頁)。干渉計のアンテナが広範囲に分布しているため(全長2.4km \times 1.2km)用地交渉に手間取り、何十回となく地主、農協、村役場、信州大学、東京教育大、県庁等々飛び回り、予算折衝も難航し、何回も計画の変更を余儀なくされ、なさない思い出だけが残っている。

昭和44年、天体電波部は太陽電波部と宇宙電波部に分れ、宇宙電波の大計画が本格化し出す。

6. 飛翔体による電波観測

昭和36年頃、パンアレンベルトに獲えられている高エネルギー電子 (>20 KeV) が出すジャイロ・シンクロトロン放射を計算してみたが、電離層の中でウイスラー波として100 KHz位の周波数で測れば検出可能と思われた。一方、当時京都大学工学部におられた前田憲一先生と、木村磐根さん(現、教授)は、電離層内での低周波の波の伝播(地上局電波の伝播損失等)に興味を持っておられたので、共同でロケット実験を計画し、昭和37年より40年に掛けて、数回宇宙研でロケット観測をやらせてもらった。当時は鹿児島観測所が出来た所で、まだプレハブの仮設建物が多かった。将来、飛翔体により、短波帯の太陽電波や銀河電波を観測するための予備

実験をも兼ねていた。電波伝播に関しては、貴重な結果が得られたようであるが、電離層内の電波雑音は、予想より低く、一方ロケット内部で出す電波雑音になやまされ、結論は得られなかった。昭和41年度、高度1500キロメートルまで上る。宇宙研の3段ロケットL-3Hの一号機に、3MHzと970KHzの受信機を搭載してもらい、銀河電波及び電離層内の雑音を測定する一方、その後昭和46年に打上げられた科学衛星一号機、しんせい、による短波帯太陽電波バーストの観測に対する予備実験を行なった。いずれも一号機に受信器を搭載して頂き、光栄であったが、特筆する結果は得られなかった。この分野で数年先行していた米国には太刀打ち出来なかったのである。しかし、しんせいによる太陽電波III型バーストの観測は、その後計算機による数値シミュレーションを行なうきっかけとなった。

7. 天文教室

昭和44年5月より、東京大学理学部に併任となり、46年10月よりここに移ることとなったが、この移転に、実はあまり乗気ではなかった。天文台の住み心持が良かった事もあるが、学生を教育するよりも、自分の手をよごして研究する方が性に合っているからである。

理学部3号館は、隣りに大型計算センターが有り、又計算機の機能が年々良くなって来たこともあり、50の手習として、昭和49年頃から計算機による数値シミュレーションを始めた。太陽から飛出して来る高速の電子粒と、コロナ、惑星間空間のプラズマとの相互作用を計算し、発生するプラズマ波の非線型結合や散乱によって放射される電磁波の計算である。その後の数年間は、これに関連した計算に病み付きとなった。科研費100万円を計算費に投じた事もある。

昭和56年2月、宇宙研によって打上げられた太陽X線観測用のひのとり衛星には、小田さんのグループと、我々のグループが協同で造った硬X線望遠鏡が搭載されている。幸い太陽活動が予想以上に活発で、レコーダーが故障するまでの16ヶ月間に多くのデータが記録され、現在まだこれの解析におわれている。これに関連し、最近、コロナループ中での電子ビームのダイナミックスと、この電子による硬X線放射の数値シミュレーションも行なっている。まだまだ手付かずの生データが多量に残っているので、退官後は無給のフルタイマーとして、これ等の仕事を続ける積りである。ひのとり2号が昭和66年頃打上げられる可能性が大きくなって来ている。この実現を切に願うとともに、この計画に陰ながら参加して行く積りである。自分では、研究意欲、スタミナともまだまだ現役の諸君に負けないぞと思っている。現役の皆さんも頑張ってください。