

東京天文台における大気光観測

田鍋浩義, 嵩地 厚, 宮下曉彦, 田中京子

Airglow Observation Program Carried Out by Tokyo Astronomical Observatory

by

H. Tanabe, A. Takechi, A. Miyashita and K. Tanaka

(1991年10月22日受理)

Abstract

This is a record of more than 30 years' history of an airglow observation program, which was terminated in March 1990, carried out by our group of Tokyo/National Astronomical Observatory. The observation was made regularly on the moonless clear nights of every month since the International Geophysical Year (IGY, 1957-58) at 3 stations of Maruyama (1957-64), Dodaira (1964-78) and Kiso (1979-90). The instruments and methods of observation used at each station and results obtained with them are explained. In addition, reports on temporal airglow observations at Kamiya (1968-74), the Ogasawara Islands (1971-72) and Iriomote Island (1978-79) and a report on rocket observations (1961-86, 17 rockets) are given. Finally, functions and activities of "World Data Center C2 for Airglow" located in our observatory since the IGY are mentined. A list of all the papers and reports published by us is attached.

目 次

	頁		頁
1. はじめに	310	6.2 観測	322
2. 大気光とは	310	7. 木曾	323
3. 初期の観測	312	7.1 夜天光観測室	323
3.1 麻布・本郷・三鷹	312	7.2 観測器	324
3.2 八幡野	313	7.3 観測概況	328
4. 丸山	314	8. その他の大気光観測	333
4.1 経緯	314	8.1 小笠原	333
4.2 観測器	315	8.2 西表	335
4.3 観測概況	316	8.3 ロケット	337
5. 堂平	316	9. 大気光世界資料センター	340
5.1 新観測所への移転	316	9.1 沿革	340
5.2 観測器・観測概況	317	9.2 データの保管と活動状況	341
5.3 データの処理・解析	319	10. おわりに	342
5.4 関連した観測	319	東京/国立天文台 夜天光グループ 大気光関係文献	
6. 神谷(試験観測)	321	リスト	343
6.1 経緯と建設	321		

1. はじめに

国立天文台の夜天光グループ（旧東京大学東京天文台測光部所属）は、1957-58年の国際地球観測年（International Geophysical Year—略称 IGY）以来、30年以上にわたって続けてきた大気光観測事業に、1990年3月をもって終止符をうった。

国際地球観測年では、地球の総合的研究の一環として、大気光分野の国際協力観測も行なわれることになり、世界中に約40カ所の大気光観測所ができて、活動を開始した。そしてさらにこの協力観測は、国際地球観測年終了後も、それに続く太陽活動極小期国際観測年（1964-65年, International Years of Quiet Sun—略称 IQSY）、太陽活動期国際観測年（1969-71年, International Years of Active Sun—略称 IASY）、国際磁気圏観測（1976-79年, International Magnetospheric Study—略称 IMS）の各事業を通じて行われてきた。しかし、個々の大気光観測所についていえば、この期間にいろいろと興廃があり、研究者の移動や財源的理由から、観測が断続的になったり、中止したところも多い。また、近年になって新しく観測を開始したところもある。そうした中で、国際地球観測年以来毎月の新月期間に、連続して観測を続けてきたのは、世界的にみても、われわれの国立天文台と新潟大学の2カ所だけである。

大気光は後に述べるように、太陽活動の影響を受ける。太陽活動の周期は約11年であるから、その3周期にわたって、連続観測をしてきたことになる。これほど長期にまたがるデータは、たいへん貴重なものと自負している。そして、われわれがこの観測をこれほど継続できたのは、天文台の

多くの方々の有形無形のご協力はもちろん、財源的援助をうけた文部省、それに全国の関連研究者とくに太陽・地球環境の研究者の方々の永い間のご支援によるものと、深く感謝している。

今回、われわれの大気光観測事業の終了にともない、これまでの30余年間をふりかえって観測の経過をまとめ、記録にとどめておきたいと思う。またこの期間に、観測やデータの処理・解析に直接たずさわった人は、筆者たち以外にも多数にのぼる。順不同ながらその氏名を記して、各氏のご努力を謝したい。

古畑正秋、中村 強、斎藤馨児、沢渡規子、森敬子、飛田道子、八百洋子、小林繁夫、二日市欽治、三上良孝、山口達二郎、稲垣淑子、青木勉、渡部潤一（以上正職員）、その他多数の臨時職員の方々。

また、本稿の文中で使う「われわれ」という言葉には、これらの諸氏も含まれていることが多い。

なお、東京大学東京天文台は1988年に改組し、国立天文台となったが、この観測事業のほとんどすべては、東京天文台時代に行われたものであるため、本稿の表題は「東京天文台における……」とした。

2. 大気光とは

月のない晴夜に、夜空から来る自然光全体を夜天光（The light of the night sky）という⁽¹⁰⁸⁾。俗に「星明り」といわれているものである。

夜天光は、実は星だけの光ではなく、種々の成分光を含んでいる（図1参照）。大気光（Airlow）は、その夜天光の主要成分の1つであって、地球の上層大気の発光現象である。

天頂の平均輝度 S_0 (vis)		
天 空 光	(Light of the Night Sky)	大気光 (Airlow) 55 (連続光のみ)
		黄道光 (Zodiacal Light) 135
		星野光 (Integrated Starlight) 130
		銀河散乱光 (Diffuse Galactic Light) 10
		銀河系外光 (Extragalactic Light) <1
	市街光 (City Light)	

図1 夜天光の成分光

大気光の存在は、19世紀の末ごろ天文学者たちによって、天文観測に混入する余分な光として気づかれた。そして、これが地球上層大気に起因することがわかったのは、20世紀に入ってからである。類似の大気発光現象としては、古くから知られている極光 (Aurora) がある。ただし極光は、太陽面爆発現象のときに、極地方のみに現われるのに対し、大気光はそれより微弱光ではあるが、常時全地球をおおっている。したがって研究の初期には、大気光のことを Permanent aurora とか nonpolar aurora などと呼んだこともある。また夜光 (nightglow) と云った時期もある。しかしその後、大気光は昼間でも存在することがわかってきたので、これを区別する必要があるときは、夜間大気光 (Night airglow)、昼間大気光 (Day airglow) と呼び分けているが、本稿では夜間大気光のことを、単に大気光と呼ぶことにする。

大気光は地球上層大気原子や分子が、昼間に太陽光を受けて貯えたエネルギーを、夜間に光化学反応によって、光として放出する現象である。そのスペクトルは、紫外、可視、赤外域にわたって、それぞれの原子や分子の発する多くの輝線や輝帯からなり、弱い連続スペクトルも存在する (図12参照)。可視域で最も強い輝線は、酸素原子の禁制線 $5577\text{\AA}$ (緑線) で、ついで酸素原子の禁制線 $6300\text{--}6364\text{\AA}$ (赤線) やナトリウム D 線 $5890\text{--}5896\text{\AA}$ がある。非常に弱いながら、窒素原子の禁制線 $5199\text{\AA}$ や水素の $H_{\alpha}6365\text{\AA}$ 輝線が、観測され

ることもある。輝帯では、可視域から赤外域にわたって OH 基の振動回転スペクトル (Meinel 帯) や、酸素分子の赤外、可視域の Atmospheric 帯と、紫外—青色域の Herzberg 帯がある。

これらの輝線、輝帯の発光機構は、大きく分けて、イオン・電子反応群と中性反応群の2つになる。そして、これらの反応によって大気光が放射されている発光層の高さは、前者が地上 $250\text{--}300\text{ km}$ 、後者は 100 km 付近で、それぞれ電離層の F 層と E 層の高さにほぼ対応している。表1と表2は、各輝線、輝帯の発光機構をまとめたものである。なお酸素 $5577\text{\AA}$ 輝線の大部分は、中性反応によって生ずるが、一部はイオン・電子反応によっても放射される。これに対し、中性反応でも $6300\text{\AA}$ の励起準位である $O(^1D)$ も生成されるが、この層高では粒子間の衝突による消光作用が大きいため、輝線としては放出されない。

大気光を地上の1地点から観測すると、天頂がもっとも暗く、地平線に近づくほど明るくなっている。これは、地平線付近では発光層を斜めに見通す効果である。いま、層厚が地球半径 $R_{\oplus}$ に比べて十分薄い、一様な発光層が、地球と同心球状に地表から h の高さにあるとすれば、大気光の天頂強度 $I(0)$ と、天頂距離 z 方向の強度 $I(z)$ の比は、つぎの式であらわされる。

$$\frac{I(z)}{I(0)} = \frac{1}{\sqrt{1 - \left(\frac{R_{\oplus}}{R_{\oplus} + h}\right)^2 \sin^2 z}} = V(h, z)$$

表1 大気光発光機構のイオン・電子反応群

放射源	波長 ($\text{\AA}$)	遷移	励起 ポテンシャル (eV)	励起機構	発光層 の高さ (km)	絶対値 (R)
O	1304	$^3S\text{--}^3P$	9.52	$O^+ + e \rightarrow O^* + h\nu$	250	150
	1356	$^5S\text{--}^3P$	9.14	$O^* \rightarrow O + h\nu$		
	6300	$^1D\text{--}^3P$	1.96	$O^+ + O_2 \rightarrow O_2^+ + O$ $k = 1.5 \times 10^{-11}$	300	100
	6364	$^1D\text{--}^3P$	1.96	$O_2^+ + e \rightarrow O + O + 6.96\text{ eV}$ $k = 1.9 \times 10^{-7}$		
	5577	$^1S\text{--}^1D$	4.17	$O^+ + O_2 \rightarrow O_2^+ + O$ $k = 1.5 \times 10^{-11}$ $O_2^+ + e \rightarrow O + O + 6.96\text{ eV}$ $k = 2.1 \times 10^{-8}$	300	20
N	5198	$^1D^0\text{--}^4S^0$	2.37	$NO^+ + e \rightarrow N + O + 2.74\text{ eV}$	258	1
	5201			$k = 4.1 \times 10^{-7}$		

表2 大気発光機構の中性反応群

放射源	波長 (Å)	遷移	励起 ポテンシャル (eV)	励起機構	発光層 の高さ (km)	絶対値 (R)
OH	3817-44702	振動回転帯 ($v \leq 9$); $\Delta v = 1, 2, \dots, 9$	3.23 ($v = 9$)	$H + O_3 \rightarrow OH + O_2 + 3.34 eV$	90	4.5×10^6
O ₂	12700 (0-0) 15800 (0-1) 19000 (0-2) 7619 (0-0) 8645 (0-1) 2600-3800	$a^1\Delta g - X^3\Sigma g^-$ $^1\Sigma g^+ - X^3\Sigma g^-$ $A^1\Sigma_u^- - X^3\Sigma g^-$	0.98 1.60 4.3	$O + O + M \rightarrow O_2(a^1\Delta g) + M$ $k = 5.4 \times 10^{-34}$ $O + O + M \rightarrow O_2 + M + 5.17 eV$ $O + O + M \rightarrow O_2 + M + 5.17 eV$	90 ~80 90	8×10^4 6000 600
NO ₂	5300-6500	連続		$O + NO \rightarrow NO_2 + 3.1 eV$	90	250
O	5577	$^1S - ^1D$	4.17	$O + O + O \rightarrow O_2 + O + 5.17 eV$	90	250
	2972	$^1S - ^3P$	4.17	$O + O + O \rightarrow O_2 + O + 5.17 eV$	90	
Na	5890, 5896	$^2P - ^2S$	2.09	$NaO + O \rightarrow Na(^2P) + O_2$ $NaH + O \rightarrow Na(^2P) + OH$	~92	50

この $V(h, z)$ は van Rhijn 関数と呼ばれ、発光層の高さがロケットによって実測される以前は、観測から層高を求める1つの方法でもあった。もっとも、実際に観測と比べる場合には、この関数に下層大気による減光の効果や、観測地点周辺の地表の反射率も考慮した散乱光の補正などを、加えなければならない。

大気光の各輝線等の絶対強度は、Rayleigh (略して R) という単位であらわされる。これは、観測者の視線に沿って無限に長い、断面積 1cm^2 の気柱から、1秒間にあらゆる方向に放射される光子の数を、 10^6 個で割った値である。すなわち

$$1R = 10^6 \text{photons} \cdot \text{cm}^{-2} \cdot \text{column}^{-1} \cdot \text{sec}^{-1}$$

である。そして、上層大気中の大気発光層の厚さが、大体 10km ($=10^6\text{cm}$) 程度であるから、Rであらわした大気光強度は、発光層内の 1cm^3 が毎秒放射する光子数にほぼ相当する。天文学で面光源の明るさをあらわす単位 $S_{10}(\text{vis})$ —— 1平方度あたりの10等星 (実視等級) の数であらわした輝度 —— との換算は、波長 $5300\text{\AA}$ のところで $1\text{\AA}$ あたり

$$1R = 239 S_{10}(\text{vis})$$

である。

この Rayleigh という単位名は、今世紀初頭の大気光研究に功績のあったレーリー卿4世にちなんだものである。父親は散乱の研究で有名なレー

リー卿3世で、この父子のことをそれぞれ “the scattering Rayleigh”, “the airglow Rayleigh” と呼ぶこともある。

大気光は、太陽から地球へのエネルギーの流れの末端付近に現われる現象の1つである。したがって、太陽・地球系物理学 (Solar Terrestrial Physics—略して STP) の研究分野の1つとなっている。太陽活動を反映する他の諸現象の研究と合わせて、太陽・地球関係を総合的に解明することが、大気光研究の目的である。

また、大気光の各輝線、輝帯の全天強度分布は、実際には一様ではない。さらに地球上の緯度 (地磁気緯度)、季節、時間によっても多様に変化する。これは、発光する原子・分子や、それに関与する電子の密度分布の空間的・時間的変動によるものである。このことから大気光観測は、地球上層大気の物理状態やダイナミックスに関する情報を知るための、重要な手法でもある。

3. 初期の観測

3.1 麻布・本郷・三鷹

東京天文台の大気光観測は、古畑正秋 (1912~1988年、後の東京天文台長) によって始められた。古畑は、1938年から3年間ハーバード大学天文台に滞在し、その頃アメリカで始まった光電観測という新技術を習得した。

1941年に帰国した古畑は、当時麻布にあった東大天文学教室で、この技術を種々の天文観測に用



図2 本郷の観測小屋

いるための努力をしていたが、その1つとして、第2次大戦中の1943年に、麻布で大気光の光電観測を始めた^(1,4)。世界的に見ても、各地の天文学者が大気光の光電観測を始めた時期である。

その頃はまだ、光電子増倍管ではなく、通常の光電管を使っていた。この観測を手伝った冨田弘一郎の話によれば、 $5577\text{ \AA}$ と $6300\text{ \AA}$ の輝線の観測を行なったが、 $6300\text{ \AA}$ のデータの市街光の分離が不確かだったので、空の暗い長野県の諏訪まで出かけて、確認観測を行なったそうである。しかしこの観測は、戦争の激化によって、一時中断された。

戦争終結後、古畑は観測を再開した。当時は、戦災のため東京も焼野が原で、外灯もなく空が暗かった。そこで、本郷の東大構内の地震研究所の敷地（現在の天文学教室付近だという）に観測小屋を建て、天文学教室が疎開していた諏訪から持ち帰った光電観測器を据えつけた。食糧難の時代であったので、大学の食堂で量の少ない「すいとん」の食事をしては、夜通し観測したという、古畑の記述が残っている。（古畑正秋「星と暮して60年」,「来し方の記10」所載、信毎選書）。この時の観測は、醍醐 正、吉成正雄が手伝っている^(2,3)。

その後古畑は、三鷹の東京天文台の65cm 屈折望遠鏡を使って、変光星の光電観測を始めた。それにともない、大気光観測も本郷を引きはらって、三鷹で行なうようになった。ただし、三鷹では近赤外の観測で、図書館の屋上に、光電観測器を北の空に向けて固定し、OH 輝帯の強度を測定した。そして1949年の春には、中村 強が天文台に入り、古畑とともに、この観測を行なうようになった。

この頃になると、アメリカ製の光電子増倍管1P21が何とか手に入るようになったが、まだまだ貴重品であった。光電管出力のガルバノメーターのフレを、「光の挺子」で印画紙に記録するような改良も、この時期に行なわれた。

三鷹での大気光観測は、次項で述べる八幡野の観測が開始された後も、並行して、なおしばらくは継続され、その観測結果は電離層研究委員会（萩原雄祐委員長）で、定期的に報告されていた。

3.2 八幡野

終戦直後の本郷や三鷹の空は暗かったが、数年もすると復興して外灯もふえ、空が明るくなって、大気光のような微弱光の観測は、しだいに困難になってきた。

そのため、1949年に伊豆の伊東の南にある八幡野という漁村の、小学校の校庭の一隅を借り、そこに観測小屋と観測ヤグラを建て、大気光観測器を設置した。八幡野は、都会から離れているため、まだ空が十分に暗く、年に数回出張し、村内の若松屋旅館を定宿にして、観測を行なった。また、八幡野は絶好の釣り場であるため、釣り好きの古畑は、夜通し観測しては、明方に釣りに出かけて楽しむことも多かった。

この観測器は、小型望遠鏡に光電管をつけて、経緯台に乗せたもので、方位角・高度やフィルターの交換は手動で行なって、空のいくつかの点で



図3 八幡野の観測ヤグラ

の近赤外大気光や5577 Å輝線の強度を測定していた。古畑はこの観測から、大気光の空の強度分布には濃淡があり、それが時間的に移動することを見出した^(5,6,7)。

この頃、田鍋浩義が天文台職員となり、観測およびデータ解析に協力を始めた。

1952年には、後述する国際地球観測年の大気観測に使用する、5577 Å輝線観測用の新しい自動掃天観測器が完成した。この器機の詳しい説明は、つぎの丸山の項で行なうが、これから以後、八幡野ではこれを用いて観測を続けた^(8,12)。

この観測器は、同型のものを2台作り、1台は北海道・女満別の地磁気観測所に置いて、1953年の夏から、八幡野と2点観測を行なうことになった。2地点で全天掃天観測をすることによって、より広い空の範囲をカバーするためと、当時はまだ、5577 Å輝線の発光層の高さが不明であったので、輝線強度の強い部分を2地点から三角測量することによって、高さを知ろうとする目的であった。女満別には、国際地球観測年の直前まで毎年4回、田鍋と中村が交代で出張し、地磁気観測所職員の協力をうけて観測を行なった^(9,10)。この観測器は、その後地磁気観測所独自で運用され、とくに国際地球観測年期間中の、低緯度オーロラの出現時には、大いに活躍した^(19,20,24)。

4. 丸 山

4.1 経 緯

1957-58年に、国際地球観測年という全世界的な観測プロジェクトが実施された。これは、太陽活動の影響を受けている惑星地球上の各種の物理的現象を、この期間に国際的規模で協力して観測し

ようという計画である。このような国際協力による地球観測は、これより75年前と25年前に、第1回と第2回が「極年 (Polar Year)」と名づけられて行なわれていた。その頃は、極地方の観測に重点がおかれていたからである。

国際地球観測年を迎えるに当って、国内では、日本学術会議内に地球物理学・天文学・物理学など各分野の代表者によって、特別委員会が組織され、観測計画の立案、検討が行なわれた。古畑もその委員となり、大気光・オーロラ分野を担当することになった^(17,18,60)。

そこでわれわれは、これを機会に新しい観測地を物色することにし、東京から出張しやすく、かつ人工灯火に妨げられない場所という条件で、田鍋と中村が房総半島を現地調査した結果、千葉県の南端に近い丸山町の、豊田小学校の校庭を借りることにした。これまでの観測地八幡野は、西側に伊豆の山々が迫っていて、西の地平線付近の視野が、若干欠けるからである。

一方、古畑は国内の大気光研究者を組織して、



図4 丸山の観測所

表3 国際地球観測年における国内の大気光観測所

場 所	地 理		地磁気		担当機関	観測種目
	北 緯	東 経	緯 度	経 度		
北海道女満別	43.9	144.2	+34.0	208.0	地磁気観測所	5577 Å 掃天, 分光
宮城県遠刈田	38.1	140.6	+27.9	206.1	東北大地球物理教室	5577 Å 掃天, Na D 線
新潟県弥彦山	37.7	138.8	+27.4	204.6	新潟大物理教室	5577 Å 掃天, 分光
茨城県柿岡	36.2	140.2	+26.0	206.0	東大地球物理教室	5577 Å 掃天, Na D 線
千葉県丸山	35.0	140.0	+24.8	205.9	東京天文台	5577 Å 掃天, OH 帯掃天, 分光
岐阜県美濃	35.5	137.0	+25.0	203.2	岐阜大物理教室	5577 Å 掃天
香川県小豆島	34.6	134.3	+23.9	200.9	東京教育大光学研究所	OH 帯掃天
熊本県阿蘇山	32.9	131.0	+22.0	198.1	京大地球物理教室	5577 Å 掃天

8つの観測所によって日本全国を、ほぼカバーする観測網を作った⁽¹¹⁾。表3は、それらの観測地・担当機関・観測種目で、各観測所で得られたデータは、後述する東京天文台の大気光世界資料センターに集められ、国際的にデータ交換をされることになる。

われわれの新観測地丸山 ($139.^{\circ}97\text{E}$, $35.^{\circ}02\text{N}$) は、太平洋の海岸から数 km 入った田園地帯で、周囲に視界をさえぎるものがない場所である。1956年にはここに、屋上に観測ベランダを備えた観測小屋が完成し、1957年の初めから観測に入った。

これが、その後30年以上続いた、東京天文台における大気光観測事業の始まりであった。

4.2. 観測器

この観測所で行なった観測項目は、5577 Å 輝線および近赤外 OH 輝線の全天掃天観測と、分光観測である。以下に、各観測器の概要を説明する。

(1) 自動掃天観測器

これは1952年に完成し、八幡野ですでに使用していたものである。光学系は、口径46mm、焦点距離130mmの対物レンズの焦点位置に、直径7mmのダイアフラムを置き、視野が7.5平方度になっている。ダイアフラムの前面には、5577 Å 用と、背景光測定のための5210 Å 用の2枚の干渉フィルターおよびシャッターがあり、望遠鏡の動きに連動

した電磁石によって、これらが入れ替る。干渉フィルターを透った光は、1P21光電子増倍管に入射し、出力は直流増幅器を通して、ペンレコーダーに記録される。

光学系全体は、ターンテーブルに載っており、これと高度変換用カムによって、 $22.^{\circ}5$ 間隔の16方位と、1方位につき下記のような6高度の空を、自動的に1晩中連続観測する。

$15.^{\circ}0$, $20.^{\circ}6$, $26.^{\circ}6$, $36.^{\circ}9$, $56.^{\circ}3$, $90.^{\circ}0$ (天頂)

$15.^{\circ}0$ 以外の高度角は、発光層を等距離間隔で測定するように、cosine の差が同じになるようにえらんだものである。1回の全天掃天は、25分間である。

毎晩の観測を開始する前には、大気減光を測定するために、あらかじめ選んであるいくつかの星の明るさを、この観測器で測定した。そのため、小型のガイド望遠鏡を備え、方位・高度のクランプがはずせるようになっている。また、絶対強度較正のためには、一定の明るさを保つようにした蛍光物質による標準光源を用いた。

(2) 近赤外 OH 帯掃天観測器

近赤外域では、光電子増倍管の波長感度特性がわるくて使えなかったので、普通の光電管を用いた。中心に固定した光電管のまわりのターンテーブルに載った、金メッキの反射鏡の角度を順次変えて、空の各点の光を光学系に導き、全天48点を約30分間で、自動的に掃天するようになっている。出力は増幅器を通して、暗室内のガルバノメータを振らせ、「光の挺子」で自動捲きとりの印画紙に記録する。

(3) 分光器

これは、国際地球観測年で南極観測隊が、オーロラ観測用に製作したものと同型である(図19参照)。集光レンズとして魚眼レンズ(F/8)を用い、子午線に沿った $180^{\circ} \times 2^{\circ}$ の帯状の空をスリットに入れ、透過グレーティングを透して、小型シュミットカメラ(F/0.7)で、スペクトルを撮影する。露出は1時間、時計と連動して自動的にコマを送る。スペクトルの分散は 200 Å/mm 、フィルムはコダックの103a-F (16mm)を使用した。

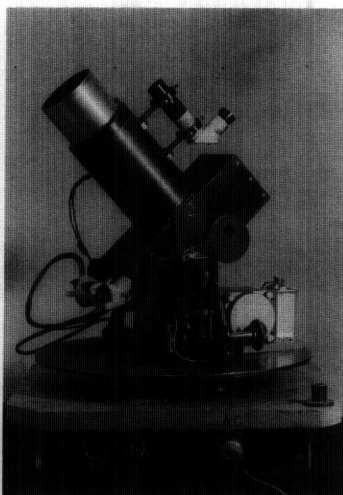


図5 自動掃天観測器

4.3 観測概況

観測は毎月の新月をはさんで約2週間、古畑、田鍋、中村が交代で出張して行ない、宿泊には観測所に近い石井 清氏宅の離れを借用して、食事の世話もしてもらった。長期間の滞在で、しかも夜と昼が逆の生活なので、石井氏一家も大変だったろうとそのご苦労に感謝している。

観測小屋の分光器は固定設置であったが、掃天観測器2台は可搬型で、出張のたびに屋上に持ち上げてセットし、雨天の時は室内に取り込んだ。すべて自動観測なので、観測中は室内でペンレコーダーを監視しておればよいが、1時間毎に空の状態を見て、雲の位置などを野帖に記録した。学校の校庭なので、真夜中は無人だと思っていたら、宿直の先生が観測の邪魔にならないようにと、ソーッと傍まで来て、突然声をかけられてビックリしたこともあった。

観測データはすべて、三鷹に持ち帰って整約した。これまでに比べて、データ量が増大したこともあって、その処理方法や発表形式も、いろいろと検討して手順やフォーマットをきめた。しかし、大型計算機などはもちろん無く、卓上の手廻し計算器が主流の時代であったから、記録紙の読みとりも、グラフのプロットも、全部人海戦術で行なった。掃天観測器の観測結果は、最終値（強度絶対値）の表と、その値をもとに描いた全天の等光度図にした。われわれは、この等光度図を、天気図と呼んでいたが、図6は当時の天気図の例である。また、分光器の観測から6300Å輝線強度は、南方が北方より強く⁽¹⁵⁾、その強度変化が電離層F2層の電子密度と、よく相関することもわかった⁽²⁶⁾。

この頃からすでに定員削減はあったが、丸山時代には、国際協力事業の推進ということで、人員

もふえた。観測メンバーには二日市欽治が、そして少し後に斎藤馨児が加わり、また三鷹の測光部には、田中京子、沢渡規子、飛田道子、森 敬子、稲垣淑子が入って、データ処理の大きな戦力となった。そのほか、いく人かの臨時職員にも、手伝ってもらうことができた。

こうして、国際地球観測年とそれに続く1年間の国際協力事業(1959年、International Geophysical Cooperation—略してIGC)が終ったが、われわれは、その後も丸山で1964年まで観測を続けた。

一方、国際地球観測年を契機として開始された南極観測に、東大教養学部（天文台併任）の中村純二が、オーロラ観測担当として参加することになり、出発前の観測器のテストなどを、丸山観測所で行なった。中村（純）は、南極への往復の「宗谷」船上でも、大気光5577Å輝線の光電観測を行ない、赤道地帯では強度が弱い傾向があるという結果を得た^(14,16,21,25,31)。また、その翌年の1959年には、中村（強）が南極観測隊員として、大気光の船上観測も行ない、6300Å輝線は赤道地帯で強くなっていることがわかった^(35,36,37,38,49)。

なお、田鍋は丸山での大気光観測の背景光の測定データから、大気光連続光の混入成分を差し引く方法を考案し、対日照の明るさを調べた⁽⁶¹⁾。

5. 堂平

5.1 新観測所への移転

1962年、東京天文台は埼玉県堂平山の山頂に、91cm反射望遠鏡を新設し、堂平観測所として発足した。われわれは、1957年以来千葉県丸山町に借地した観測小屋で、大気光観測事業を続けてきたが、いずれは本格的な観測所を持ちたいと思っていた。そこで、堂平観測所の敷地内に、大気光観測室を建設し、国際地球観測年の後に行なわれ

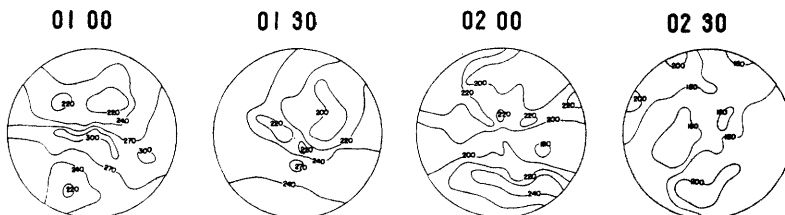


図6 丸山の5577Å全天強度分布図（通称天気図）。1958年12月15/16日。上の数字はJST。強度単位はRayleigh。

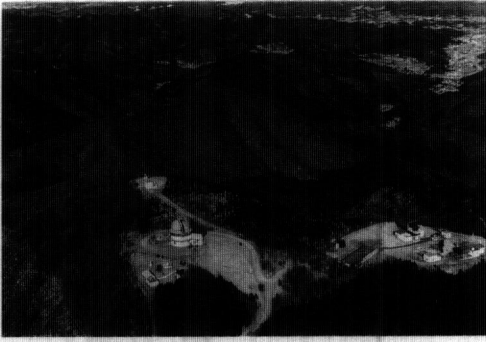


図7 堂平観測所全景。ドームの左上が大気光観測室。

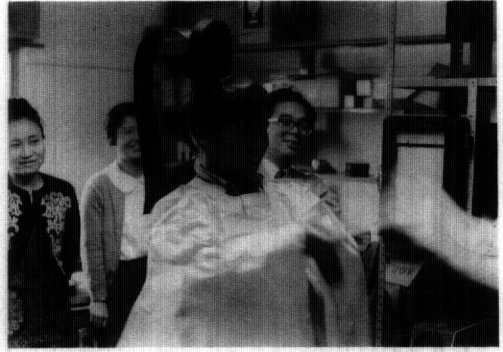


図9 大気光観測室の開所式。神主も測光部員で衣裳は手作り紙製。



図8 堂平・大気光観測室

た太陽活動極小期国際観測年 (IQSY) の開始に合わせて、1964年3月に丸山から堂平に観測設備を移した。

堂平観測所 (139.°20E, 36.°00N, 標高876m) は、三鷹から車で2時間余りの距離にあり、所内には観測者用の宿泊室も完備していて、たいへん便利であった。大気光観測室は、極望遠鏡室と同一の建物で、観測所敷地の北端にあり、秩父連山をほぼ水平に見渡せる好適地であった。われわれの念願の恒常的な施設が得られたのであるから、建物が完成し観測設備が丸山から移った時に、測光部全員が堂平に行き、内輪の開所式を挙行了た。

建物の大気光観測室部分は2階建てで、3階の屋上と2階のベランダに、各観測器を据えつけるための、数個のコンクリート・ピアがある。光電観測の出力は、1階の室内に導かれて、ペンレコーダーに記録されるようになっている。そしてこの観測室の新しい特徴は、2階の天井に透明プラスチックのドームを取りつけたことである。最初

の目的は、寒い冬でも戸外に出ることなく、このドームの中から、雲の有無がチェックできるというものであったが、後にはこのドームを利用して、天候判定用の全天カメラを設置した。

5.2 観測器・観測概況

観測器械も、この際いくつかのものを新しく設計・製作した。そのため、丸山から移した観測器は、近赤外 OH 帯掃天観測器は廃棄し、5577 Å 用の自動掃天観測器は定常的使用を中止した。

堂平で使用した観測器と、その観測方法などを、以下に説明する。

(1) 四色子午線測光器

この測光器は、新しく設計・製作したもので、子午線に沿って南北130°の空の大気光強度を往復掃査する。片道1回の掃査は約4分である。望遠鏡の視野は直径6°で、対物レンズの直前に干渉フィルターがある。これは、干渉フィルターを光学系の中に入れると、フィルターへの光線の入射角が斜めになり、波長のズレを生じるからである。観測波長は、5300 Å (背景光)、5577 Å, 5893 Å, 6300 Å で、この4枚のフィルターを1回の掃査ごとに、つぎつぎに機械的に交換するようになっている。

この測光器は、1967年まで2階のベランダに据えつけて使用していたが、子午面駆動がときどき円滑にいかないことと、分光器による子午線スペクトルの絶対強度との関連づけができたこと等の理由から、この年の10月から、1部を改良して、次項に述べる多色天頂光電測光器として生れかわった。



図10 多色天頂光電測光器

(2) 多色天頂光電測光器

四色子午線測光器からの改良点は、5893 Åをやめて6100 ÅおよびOH(6-1)帯用干渉フィルターと、標準光源用円板を加えて、フィルター部の枚数を6枚にし、1波長あたりの観測時間を1分にして、天頂に向けて固定したことである。

干渉フィルターを対物レンズの直前に置いたこの測光器は、フィルターの直径を対物レンズより大きくしなければならないとか、汚れやすいとか、フィルターに露がつきやすいなどの欠点はあったものの、それなりの防護策を講ずれば、長期間安定したデータを提供してくれた。

一方、絶対強度の較正のために挿入した標準光源は、蛍光物質を使った自発光光源方式であったが、これがしばしばはがれ落ちて、光源が変わってしまうことがあった⁽⁴⁵⁾。そのため、ランプ式の標準光源（スペクトル分布を、フィルターの組合せでGO型星に近似させてあるので、通称G光源と呼んでいる）で、しばしば測光系を検定することが、人手を要する仕事となった。

また、この測光器の光電出力は、増幅器を通して1階室内のペンレコーダーに記録させていたが、記録器のインクの補充や記録紙の交換のため、毎日のように人手を要し、観測の自動化を目指していたこの天頂測光器も、何かと手がかかることが多かった。

しかし、この測光器による観測は、堂平観測所の職員（主に元測光部員の山口達二郎）の協力のおかげで、継続した大気光データとして、貴重なものとなっている。



図11 四色掃天測光器

(3) 四色掃天測光器

これも新しく製作した測光器で、1963年に完成し、丸山でテストを行なった後、堂平観測室の屋上に設置して観測を行なった。

この測光器は、中心に光電子増倍管を固定し、ターンテーブルに載った小型望遠鏡の首振り運動で、全天を掃天するようになっており、光は望遠鏡から2枚の平面鏡で、光電子増倍管に導かれるが、その直前で5300 Å, 5577 Å, 6100 Å, 6300 Åの4枚の干渉フィルターが、順次入れ替わるようになっている。掃天方式も、丸山で使用した全天内の定点測定ではなく、天頂を通る方位円に沿って、天頂距離+75°〜-75°の連続掃査を行なった後、つぎの方位に移るようにした。

この測光器は、日中はトタン板で作ったカバーをしていたが、望遠鏡の天頂角を換えるフリクションゴムが、太陽熱のため半年ぐらいでスリップするとか、増幅器の安定がよくないなどで、満足なデータがなかなか得られなかった。またこの器械では、丸山で行なっていたように、大気減光の測定のために、観測前にいくつかの星を観測することになっていたが、光学系が反射鏡で折り曲っていて望遠鏡部分が短かく、星が狙いにくいのも、設計上の反省点であった。

(4) 分光器

これは、丸山で使用していたものを、そのまま移した。2階の天井を貫かせて、屋上に魚眼レン

ズ部分だけを出してセットした。(器械説明は丸山の項参照)

(5) 全天カメラ

堂平での大気光観測は、できるだけ自動化することを目指した。その結果、多色天頂光電測光器などは、夜間は無人でも時計と連動して、あらかじめ設定された時刻に、天候の如何にかかわらず自動的に観測を開始・終了するようになった。そのため、得られた全データの中から、晴天時のものだけを、あとで拾い出す必要がある。その天候を判定するために、魚眼レンズによって全天の写真を撮影する装置を、1969年に屋上の天候チェック用プラスチックドームの位置に設置した。

この装置は、夜間、晴雨にかかわらずモータードライブによって、自動的に全天の写真を1コマ1時間の露出で、つぎつぎに撮影する。魚眼レンズの外側には、半球型ガラスドーム(装置設置のとき、これまでのプラスチックドームと交換した)を置き、防水構造になっている。さらに、デイルイト・スイッチによって開閉する金属カバーが、その外側をおおい、夜間のみ開いて撮影を行なう。

レンズは、等距離射影方式のFish Eye Nikkor (F/8, $f=8\text{mm}$)で、 180° の画角がフィルム上に直径23mmの円形に写る。画面には、1時間分の恒星の軌跡ができ、その写りぐあいによって、天候が判定できる。カメラはニコンFに、250枚撮りのマガジンをつけて使用した⁽¹⁰²⁾。

われわれは、これらの観測器を使って、1964~65年の太陽活動極小期国際観測年(IQSY)と、1969~70年の太陽活動期国際観測年(IASY)の2つの国際協力観測事業の大気光観測を行ない、さらにIASYに引き続いて始まった、太陽地球環境国際定常観視特別事業(略称MONSEE)の観測を、1979年に木曽に移るまで続けた。

堂平でこれらの大気光定常観測を行なっている期間中の、1968年に古畑は東京天文台長となり、1969年には堂平観測所長も併任した。また1968年には、中村が木更津高専に転任し、後任として天文時部から嵩地 厚が、測光部に移って中村の仕事を引き継いだ。さらに、堂平時代には、小林繁夫、八百洋子、宮下暁彦、三上良孝が新職員として測光部に入り観測事業に参加した。

5.3 データの処理・解析

堂平で観測したデータは、丸山時代と同様に、すべて三鷹に持ち帰って整約した。初めのころは、相変らず人海戦術であったが、数年以内に、三鷹に大型計算機が導入され、また測光部にも、記録紙の自動読取装置が入った。これは、ペンレコーダーの記録紙上のフレに、カーソルを当ててボタンを押すと、フレの大きさが、カードにパンチされる装置である。パンチされたカードは、大型計算機で処理した。まだ、かなり人手がかかるとはいいながら、大分省力化することができた。

こうして整約されたデータは、同じ測光部にある大気光世界資料センターを通じて、国際交換に供された。

一方、同センターにはまた、国外、国内からデータが送られてくる。そのうちの1957-62年の国内観測所の掃天観測データを使って、沢渡と田中は、5577Å輝線の全国的な強度分布図を作製した⁽⁸³⁾。この図を作るために、各観測所で求めた絶対値を比較したが、これがその後の観測所間の誤差の補正にも役立った。

中村と岸浪良夫(臨時職員)は、堂平の観測データから、夜明けの6300Å輝線が、四季を通じて太陽俯角 24.5° から第1次増光があり、 14° 付近で急激な第2次増光になることを見出し、これは上層での太陽光の共鳴散乱によるものであろうと指摘した。

田鍋は、1964年に見出した5577Å輝線に無関係な5300Å付近の大気光輻射について、丸山の観測データからもその存在を確めた^(50,51)。また古畑は、OH帯強度と気圧の10-mb層高、5577Å輝線強度と10-mb層の風の南北成分に、それぞれ相関を見出し⁽⁵⁷⁾、ハワイ大学でのデータから5577Å輝線と月の潮汐に、従来云われているような相関はないことを確めた⁽⁵⁸⁾。

5.4 関連した観測

(1) 星の等級差補正係数

大気光の全天掃天データを整約する場合、その晩の大気減光係数が必要である。この係数は通常、同一星を異なった天頂距離で観測して求めるが、それには時間間隔がいる。そこでわれわれは、いくつかの星を手早く測定し、それぞれの等級差を

表4 星の等級差補正係数表 (部分)

Stars	Mag (v)	Sp. Type	Correc. factor to GO 1 mag. star			
			5300 Å	5577 Å	6100 Å	6300 Å
α And	2.1	B8	3.006	3.273	3.990	4.270
β Cas	2.3	F3	3.491	3.664	4.055	4.150
β Cet	2.1	G8	2.710	2.648	2.535	2.594
β And	2.1	M0	2.741	2.541	2.187	2.344
α UMi	2.1	F8	2.558	2.595	2.754	2.780
α Ari	2.0	K2	2.755	2.654	2.467	2.460
α Per	1.8	F5	2.264	2.312	2.432	2.495
α Tau	0.8	K5	0.957	0.913	0.747	0.802
α Aur	0.1	G1	0.453	0.453	0.453	0.453
β Ori	0.3	B8	0.512	0.571	0.652	0.687
γ Ori	1.7	B2	2.022	2.284	2.812	2.970
β Tau	1.7	B8	2.088	2.345	2.714	2.948
κ Ori	2.2	B0	3.051	3.394	3.981	4.371
β Aur	2.0	A2	2.529	2.726	3.189	3.354
β CMa	2.0	B1	2.784	3.142	3.746	4.038
γ Gem	1.9	A1	2.612	2.871	3.389	3.594
α CMa	-1.7	A1	0.116	0.130	0.152	0.167
η CMa	2.4	B5	3.980	4.484	5.547	5.893
α Gem	1.6	A1	1.859	2.036	2.436	2.565
α CMi	0.4	F5	0.624	0.637	0.684	0.703

補正して同一等級とし、減光係数を求めるという簡便法を使った。そのため、測定する星を四季を通じて50個えらび、丸山でも堂平でも、毎晩掃天観測を始める前に、同じ観測器でこれらのいくつかの星を、測定することになっていた。

しかし、われわれが使っている干渉フィルターは、透過波長が5300 Å, 5577 Å, 6100 Å, 6300 Åのものである。したがって、星相互の等級差補正も、正確にはこの波長における等級差を使わなければならない。

そのために田鍋、中村、斎藤は1963年に、堂平の91cm 反射望遠鏡にこれらのフィルターをつけ、四季にわたって50個の星の各波長における等級差を測定した。方法は、各星を数回ずつ、天頂距離の異なる位置で観測し、大気減光を補正した上で、等級差を決定した。表4は、その結果の値を示したもので、これを全国の大気光観測所にも配布した。

(2) 空の明るさ

長期間の大気光観測の副産物として、堂平の天空輝度（市街光も含めた天空光の明るさ）の経年

表5 堂平の市街光

年	1969	1970	1971	1972	1973	1974
市街光 輝度, $S_{10}(\text{vis})$	52	50	79	122	126	159

変化も知ることができた⁽¹⁰⁴⁾。堂平は、東京から距離的にも近いことから、東京の市街光の影響を受けている。これも、観測所開設当初は、対日照が見えたくらいだから、それほどでもなかったが、日本社会の高度成長とともに、しだいに明るさが増大してきた。

市街光の影響を直接うけるのは、写真観測でのカブリと、連続スペクトルをもつ面光源の観測である。星の光電測光や、大気光の輝線の観測では、必ず背景光を差し引いているから、原理的には影響はないはずであるが、それでも市街光が増大すれば、測定精度が落ちることは否めない。われわれが、大気光の背景光として測定している5300 Åや6100 Åの光は、まさにその連続スペクトルをもつ面光源である。したがって、これら背景光の経年変化を調べれば、堂平の市街光の変化がわかる

のである。嵩地と山口は、1969年から1974年までの265夜のデータを解析して、堂平天頂の市街光成分の午前0時付近の年平均値を、表5のように求めた⁽¹⁰⁴⁾。

6. 神谷（試験観測）

6.1 経緯と建設

われわれは1964年以来、堂平で大気光観測を続けてきたが、これと並行して、夜天光の他の成分光である黄道光や対日照の観測も行ないたいと、かねてから考えていた。しかし、黄道光や対日照は、連続光の光源（太陽スペクトルと同じ）であるから、その観測は市街光に大きく影響される。したがって、市街光が年々増加する堂平では、観測が無理である。そのため一時期、伊豆の石廊崎に近い差田に黄道光観測器を置き、毎月出張観測をしたこともある。周囲の大半が海であれば、市街光も少ないと考えたからである。しかしここも、漁の季節には漁船の灯で、空が非常に明るくなることがわかった。こうしたことからわれわれは、どこか空の暗い場所に、大気光も含めた夜天光の観測所を設置したいと考え始めた。

一方、その頃から国内の他の大気光観測所でも、

市街光の増加に悩まされるところが多くなった。国内の大気光観測グループの、中心的役割を果たしてきたわれわれとしては、このことから、ぜひ最適地にわれわれの観測所を作り、将来は、全国の大気光グループも利用できるようにしたいと考えた。

さてその場所であるが、都会から離れて空が暗く、しかも四季を通じて東京から比較的行きやすい、という条件で、長野県の本曾地方に目をつけた。そして、堂平に設置してあった大気光用の分光器を持って、現地調査を行なった。市街光には、蛍光灯の水銀の輝線が含まれているから、その強度によって市街光の量がわかるからである。その結果、本曾郡日義村神谷をえらび、そこでしばらく試験観測を行なうことになった。

1968年、神谷地区の山の中腹にある畠の1部を借りて、プレハブの観測小屋(137.°78E, 35.°92N, 標高1492m)を建てた。仮住まいであるから、観測小屋に電灯線は仮設したが、給水設備はなく、水は200mくらい離れた谷川から、そのつどポリタンクで運ぶことにした。

後に述べる小笠原観測や、ロケット観測で中断することもあったが、神谷には1968年末から月に

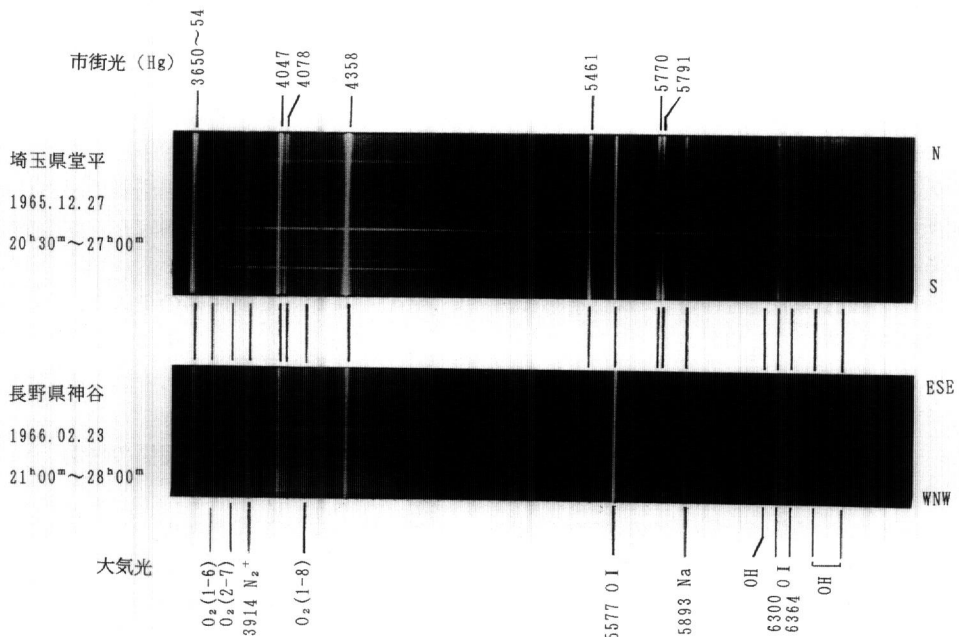


図12 堂平と神谷のスペクトル



図13 神谷での夜天光赤道儀設置作業

1回の割り合いで、観測者が交代で出張し、宿泊や食事は山の麓の小坂暢男氏宅でお世話になった。

1970年には、観測小屋の傍に夜天光赤道儀を据えつけた。これは、古畑の設計による小型赤道儀架台で、矩形断面のスパーを備えていて、スパーの3面に総重量30kgまでの各種観測器を、同時にとりつけることができる。また、この赤道儀架台の上部を斜め軸で180°回転すると、極軸が天頂を向いて、経緯儀としても使用できる構造になっている。この架台の重量は150kg、細い山道を大勢の人力で、苦勞して持ち上げた。

神谷での観測は、試験観測であるから、国際協力事業の大気光定常観測は、これまで通り堂平で、堂平観測所職員の協力もうけて続けた。

一方、ちょうどその頃、東京天文台ではシュミット望遠鏡の建設計画が進行中であった。そして、その設置場所がいろいろと検討された結果、われわれが試験観測を行なっている木曽地方が適当ということになり、われわれが希望している夜天光観測所も、シュミット望遠鏡と同じ場所に建設することになった。そしてそれ以後は、シュミット・グループとともに、実際の設置場所の選定のために、木曽地方各地の現地調査や、必要なテストなどを行なった。

神谷での試験観測は、こうして木曽観測所が完成する1974年まで続いた。

神谷時代に、青木 勉が測光部職員となったが、木曽観測所完成後は、同観測所職員に配置換になった。

6.2 観測

神谷で行なった主な観測は、以下のとおりである。

(1) 大気光関係の観測

a) 標準光源の検定

堂平での大気光定常観測で、絶対強度を求めるためのランプ式標準光源は、ときどき星の明るさと比較して検定を行なっていた。この比較を精度よく行なうためには、当然ながら空の暗い場所が望ましい。したがって、この比較観測を行なうことが、神谷での重要な仕事の1つであった。比較の方法は、可搬型の光電測光器に、大気光用のフィルターをつけ、星と標準光源を交互に測定した。比較する星には α Aur や α Lyr を用いた。

b) 衛星との同時観測

アメリカの人工衛星 Atmospheric Explorer C に搭載された大気光観測器と、各国の大気光地上観測所による国際協同観測に参加し、衛星の軌道条件に適した1974年7月15日に、神谷でも可搬型光電測光器で、5577Å、6300Å輝線の、衛星との同時観測を行なった。この結果は、ミシガン大学に集められて、後に出版された。

c) 他観測所との協力

堂平や新潟大学と協同して、期間をきめて3点観測を行なった。また1969年11月には、持ち回りの標準光源で、国際的に観測器の感度比較を行ない、われわれの絶対強度測定も、国際的標準に一致していることがわかった。

d) ロケット観測器のテスト

内之浦から打ち上げる観測ロケットに搭載する大気光観測器の、打上げ前の感度調整や、絶対強度の較正などを、神谷で行なった。

(2) サイト・テスト関係の観測

a) 天候カメラ

木曽地方の晴天率を調査するために、高地は天候カメラを考案・製作し、観測を行なった。これは、レンズ視野40°の簡単な35mmカメラで、フィルム面の直前に幅1mmのスリットを置き、デイルイト・スイッチと小型モーターで、夜間のみフ

フィルムを5mm/hの速度で、自動的に連続移動させるものである。これを、北極星に向けて固定し、星像線の写り方から、晴、曇りの判定を、数分の精度で行なった。このカメラは、1970年に神谷に設置し観測を始めたが、1971年からは木曾観測所の建設予定地に置いた。

b) 空の明るさ

木曾の空の明るさを定量的に調べるために、全天の天空輝度の観測を行なった。丸山時代に大気光観測に使った、自動掃天観測器の大気光用干渉フィルターを、青、黄色のカラーフィルターに取り替えて使用した。図14はその結果の例である⁽⁹⁰⁾。

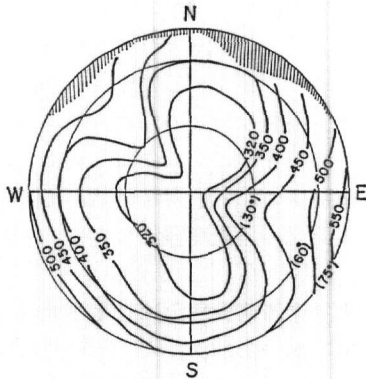


図14 神谷の天空輝度分布図、1970年10月6/7日午前2時。輝度単位は $S_{10}(\text{vis})$ 。

c) 気温・湿度

観測小屋の傍に百葉箱を設置し、気温と湿度を自記記録させた。

(3) その他の観測

大気光観測用の小型光電測光器を改造して、北極方向の黄道光の偏光観測を試みたが、手細工の改造であったため、偏光フィルターの回転用プリーのスリップなどが、たびたびおこり、精度のよいデータがとれず、結局この観測は試行にとどまった。

また、1970年に出現したベネット彗星の測光観測を行なった。

7. 木 曾

7.1 夜天光観測室

1974年、東京天文台木曾観測所(137.°63E, 35.°79N, 標高1130m)が完成した。長野県木曾郡の上松町、三岳村、王滝村の境界にあたる尾根筋で、東に木曾駒ヶ岳、北西に御岳山を望む場所である。観測所には、本館、105cm シュミット望遠鏡ドーム、夜天光観測室が、約200m ずつ離れた台地にある。

夜天光観測室は、観測所敷地の東北端にあって、観測棟とスライディング・ルーフ室が東西に約20m 離れて建っている。観測棟は平家建てで、内部に観測室、光学器械室、実験工作室、資料室、暗室、休憩室などがあり、屋上には種々の観測器械が置けるようになっている。観測室には中2階があり、大気光観測器類は、ここに据えつけて、屋



図15 木曾観測所全景。左側から本館、シュミット・ドーム、夜天光観測室の順。遠景は御岳山。



図16 夜天光観測室。観測棟(左)とスライディング・ルーフ室(右)。

内から観測できるようになっており、そのために天井に3つの観測用天窓がついている。

スライディング・ルーフ室は、カマボコ型の建物で、観測時には屋根部分をモーターでスライドさせて、あけることができる。室内には2台の赤道儀架台が、据えつけられるようになっており、まず神谷から移した夜天光赤道儀を据えつけた。その後、夜天光赤道儀が老朽化したので、堂平に置いてあった彗星分光器用赤道儀を手直ししてとり替えるとともに、新しくI.I.分光器用赤道儀を据えつけた。それぞれ、このような名前がついているけれど、要するに2台とも種々の観測器がとりつけられる万能赤道儀架台である。

観測棟とスライディング・ルーフ室の間には、信号伝達用ケーブルが埋設してあって、2つの建物間で信号のやりとりができる。

7.2 観測器

(1) 大気光観測器

本曾の大気光関係の観測器は、光電測光器、分光器および全天カメラを設置することにした。このうち、分光器と全天カメラは、堂平から移設したが、光電測光器は、この機会に更新することにし、堂平時代からの夢であった全自動で無人観測ができるように設計した。全自動では、全天の掃天観測は無理なので、天頂測光だけを行なうものとした。国際的とりきめとして、大気光世界資料センターを通じて交換するデータは、各輝線の毎時の天頂強度ということになっているからでもあ

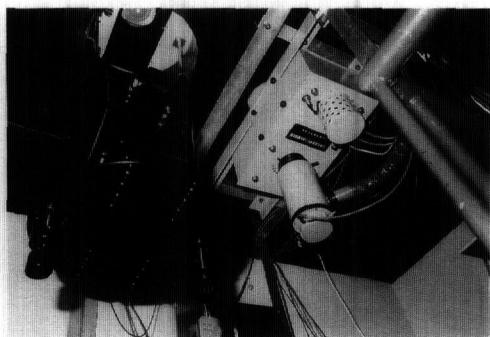


図17 観測室内の天井に取りつけた大気光観測器。中央が天頂測光器、左が全天カメラ、分光器は右側にあった。(分光観測中止後の写真)

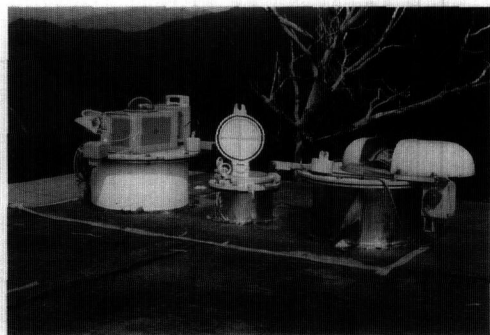


図18 観測室の屋上、左が全天カメラのガラスドーム、中央の船舶用丸窓が天頂測光器、右は分光器のスライド式カバー。

る。天頂測光器は、観測棟内の観測室の中2階の天井近くに、分光器や全天カメラと並べてとりつけ、天窓を透して観測するようにした。測光器用の天窓には、雨漏り防止のため、船舶用の丸窓を用い、ガラスを光学ガラスに取り替えて、防露のために工業用ファンで温風を常時あてている。

以下、大気光の各観測器について、少し詳しく説明する。

a) 大気光高速多色天頂光電測光器

この面倒な長い名前は、この器械の製作当時、器械の内容を正確に表わす名前にせよということで、こんなことになった。何にせよ、最初に長い名前をつけてしまうと、のちのちまで面倒なものである。以下は、単に天頂測光器と書くことにする。

この天頂測光器は、1カ月間全く無人で自動的に観測するシステムになっている。観測は、夕方の天文薄明から明方の天文薄明までの間の、月のない時間帯である。時計を内蔵した制御装置に、天文薄明や月の出入の時刻を考慮して、1カ月分の毎日の観測開始、終了の時刻をプログラムすることができる。

光学系は、機械的シャッター、対物レンズ、ダイヤフラム、ファブリーレンズ、干渉フィルターによって構成され、フロンガスで冷却された光電子増倍管(S-20, R374)の受光面に、対物レンズの像ができるように設計されている。

機械的シャッターは、対物レンズの真上にあり、デイライト・スイッチで夕方に開き、明け方に閉

東京天文台における大気光観測

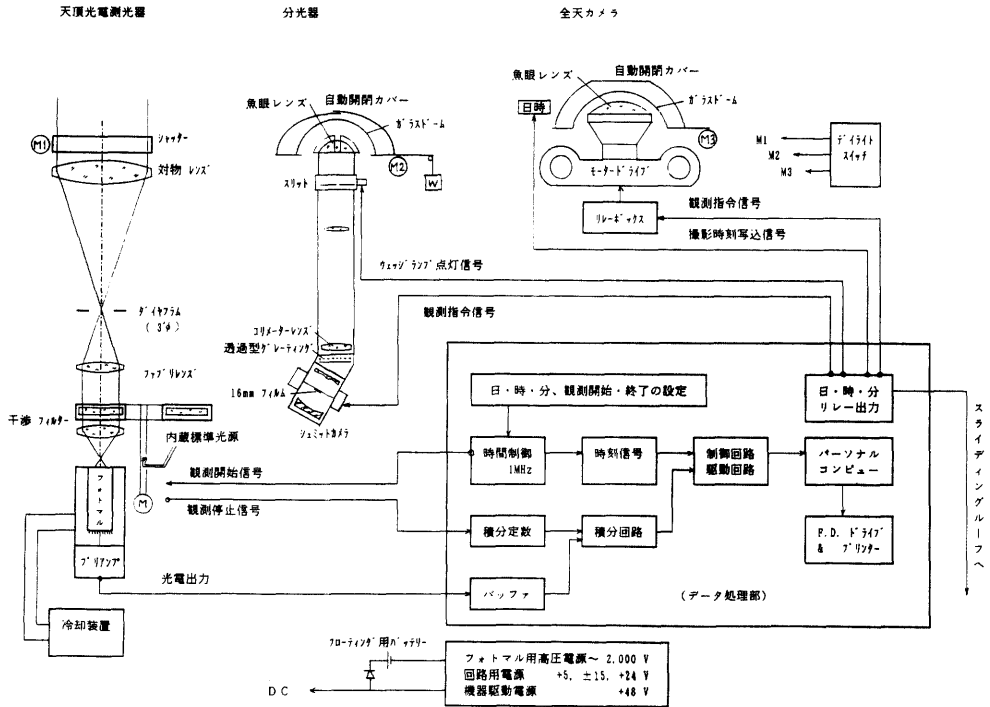


図19 大気光観測器（天頂測光器，分光器，全天カメラ，制御・データ処理部）のブロック図。

じる。対物レンズは、口径10cm、焦点距離18cmで、光は焦点位置にある視野直径3°の円形ダイヤフラムを通して、ファブリーレンズ系に入る。ファブリーレンズ系の中には、12個の穴をもつフィルター用の回転円板があり、各フィルター位置に間欠的に停止しながら、1分間で一巡する。12個の穴には、表6に示す10枚の干渉フィルターと、極小豆ランプによる内蔵標準光源およびゼロレベル検出のための遮蔽板（ゼロマスク）がはめこんである。フィルター円板は、毎正分の時計信号で、ゼロマスクの位置からスタートし、1フィルターでの停止時間4.2秒、つぎのフィルターへの移動時

間0.6秒で1回転し、再びゼロマスクの位置で停止して、つぎの正分信号を待っている。待ち時間は2.4秒である。円板の停止、移動の時には、測光器側からデータ処理回路にパルスが送られる。データ処理回路は、そのパルスを受けて、円板の停止中に光積分と、そのデジタル化を行ない、移動中に回路のリセットを行なって、つぎの停止パルスを持っている。

各フィルター毎のデータは、リアルタイムで紙テープにパンチされる。この器械の設計当時は、データ記録装置としては、磁気テープ方式と紙テープ方式が考えられたが、費用の点と、テープの数字がそのまま目で読みとれて、チェックがしやすいという理由から、われわれは紙テープ方式を採用した。ただしこの方式では、観測は1カ月間無人でも自動的に行なえるが、数日毎に新しい紙テープを、補充しなければならなかった。後にフロッピーディスク方式にするまで、このテープ代替作業には、木曾観測所の職員諸氏の手をわずらわすことになった。

この紙テープ方式は、その後しばらく続いたが、

表6 木曾天頂測光器の干渉フィルター

No.	中心波長 (Å)	半値幅 (Å)	No.	中心波長 (Å)	半値幅 (Å)
1	4358*	28	6	5893	13(narrow)
2	5000	41	7	5893	50(wide)
3	5300	33	8	6300	16(narrow)
4	5577	14(narrow)	9	6300	57(wide)
5	5577	46(wide)	10	7774**	13

* 水銀輝線（市街光監視用）

** 酸素輝線

1983年にパソコン (FM-11) に置きかえ、毎分のデータをつぎつぎにフロッピーディスクに書き込むと同時に、あらかじめパソコンに入力しておいた器械定数を使って、背景光の差し引きや、絶対値への換算をリアルタイムで行ない、プリントア

ウトするとともに、モニターディスプレイの画面に、グラフで表わすようにした。このグラフは、縦軸に絶対値、横軸に時間を取り、各輝線の強度が1分毎にプロットされる。したがって、観測中にたまたま観測者が居る場合は、各輝線強度の時間変化が監視でき、また毎日の観測終了後には、このグラフもプリントアウトされる。

また、木曾ではときどき停電がある。停電になると、制御装置の時計が狂ってしまう。その対策として、高地は80AHの電池をフローティングに使って、停電時には電源が切断されることなく電池に、自動的に切り替わるようにした。

b) 分光器

丸山以来、堂平でも継続して使用していたものを、木曾に移設した。観測室に天頂測光器と並べて、対物魚眼レンズ部分が、天井の穴から屋上に出るように取りつけた。屋上に出ている部分には、スライド式のカバーをつけ、デイライト・スイッチで夜になると自動的に開いて観測をする。観測中に停電があると、朝まで開きっぱなしにならないように、重錘でカバーが閉じる。(器械説明は丸山の項参照)

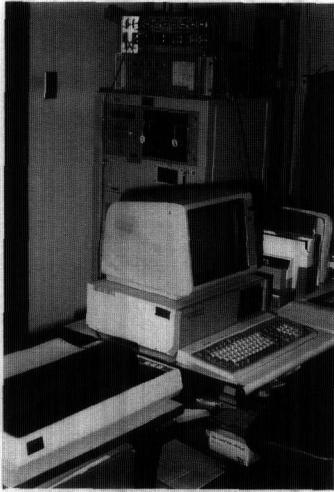


図20 大気光観測器の自動制装置とパソコン。(観測棟の光学器械室内)

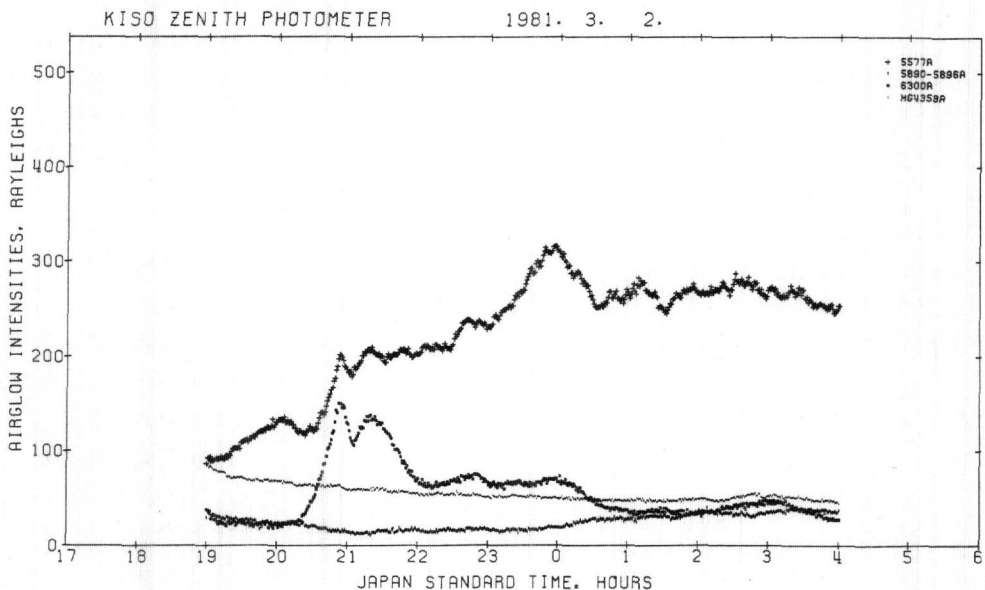


図21 天頂測光器による各輝線強度の毎分値のグラフ。1981年3月2/3日、この頃は紙テープ方式なので、三鷹の大型計算機でグラフを描いた。1983年にパソコンに切り替えてからは、モニターディスプレイに、これと同様なグラフがリアルタイムで表示されるようになった。

この分光器は、1975年に木曾に移して観測を開始したが、器械の老朽化が進んだために、1978年に観測を中止した。

c) 全天カメラ

堂平の全天カメラも、分光器とともに木曾に移し、観測室の天井に天頂測光器や分光器と並べて取りつけた。このカメラの魚眼レンズは、屋上の半球型ガラスドームに、天井裏から収まるようになっており、さらにガラスドームを金属カバーで覆い、デイルイト・スイッチで夜間だけカバーが開いて撮影を行なう。

このカメラを木曾に移転した当初は、外気とカメラ部分のある室内が、ガラス1枚で隔てであるために、夜になって外気温が下がって、ガラスドームが冷やされると、その内面に結露を生じ、星が写らないというトラブルが起きた。結露を防止するための、もっとも効果的な方法は、ガラス自身の温度を、内外の気温よりわずかに高くすることである。そのため、魚眼レンズの視野を遮らないようにヒーターを捲いてみたり、レンズとガラスドームの間の狭い隙間に温風を吹き込んでみたりしたが、うまくいかなかった。

ちょうどその頃、大阪工業試験所で、透明導電膜が開発された。これは、ガラス面に酸化インジウム (In_2O_3) を真空蒸着し、この膜に電流を流して、ジュール熱でガラスを温めるという方法である。われわれは、これを使ってみることにし、宮下が大阪に出張滞在して、球面ガラスの内面に蒸着する実験を行ない、成功した。そして、これによって全天カメラのガラスドームの結露を、完全に防止することができた⁽¹⁰⁹⁾。

木曾では、天頂測光器が自動化され、1カ月間は無人で観測できるようになったので、全天カメラのフィルムも、1カ月分装填しておくことが必要となり、これまでの容量250コマでは不足である。そのため、1980年に750コマ (100フィート) 用のマガジンが入るモータードライブにとりかえた。またその時、魚眼レンズも $F/2.8$, $f=8\text{mm}$ の明るいレンズに交換した。

なお、交換した旧全天カメラは、のちにハワイのマウナケア山頂での「すばる」望遠鏡のサイト・テストに使用されることになる。

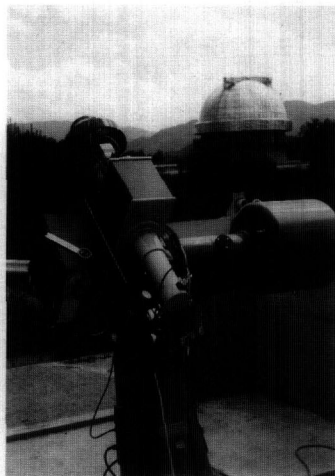


図22 比較受光器。スライディング・ルーフ室の夜天光赤道儀にとりつけた写真。

d) 比較受光器

これは大気光の定常観測に用いたものではないが、可搬型の光電測光器で、スライディング・ルーフ室の夜天光赤道儀にとりつけて使用する。大気光観測に用いる標準光源 (G 光源) を、星と比較して検定することを第1目的として製作したものであるから、通称で比較受光器と呼んでいるが、多目的に使える光電測光器なので、黄道光や彗星の観測にも使用した。

比較受光器の特徴は、光学系が、観測室に据えつけてある大気光天頂測光器と、同一であることである。標準光源と星との比較検定は、実際の観測に使っている観測器で行なうことが望ましい。光学系が違うと、干渉フィルターへの入射角などが違って、透過波長がズレるからである。しかし、天頂測光器を取りはずして、星を狙うことができないので、同じ光学系の比較受光器で検定を行なった。

ただし、比較受光器は他の目的にも使用できるように、フィルター円板の停止時間は可変にしてあり、また視野角のダイヤフラムも、直径 1° , 2° , 3° に変えることができる。

(2) その他の観測器

木曾では、大気光観測以外にも、夜天光の1成分である黄道光の観測や、また彗星の観測なども行なった。これらの観測器も、簡単に紹介してお

こう。

a) 星消去式測光器

夜天光（面光源）を測光する場合、観測器の視野内にある星（点光源）の光も同時に測られてしまうので、データを整約するときに星の光は差し引かなければならない。星消去式測光器は、われわれが創案したもので、観測時に、視野内の点光源を自動的に消去して、面光源の輝度だけを出力する光電測光器である^(115,123)。原理は、焦点面にある正方形のダイヤフラム的一端から他端へ、可動ワイヤを走らせ、つぎつぎにワイヤにかくされる星の明るさ（星がかくれたときの逆パルスの深さ）を、計算機で加算し、全体の光量から差し引いた値を、リアルタイムで出力するものである。

この測光器は、6等星までの消去を目ざしたが、まだ3等星までの消去に留っている。

この原理を、将来、シュミット望遠鏡などに応用すれば、スターカウントもできるであろう。

b) I.I.付分光器

イメージインテンシファイヤー（I.I.）を付けた分光器で、もともとは後述の西表島観測のために製作したものであるが、その後、ハレー彗星観測のために種々の改修を行ない、スライディング・ルーフ室の赤道儀架台に乗せて、彗星のスペクトルを観測した。

この分光器は、スリットの長さ方向の位置角を、

彗星の尾の方向に一致させるように、分光器全体が架台上で回転できるのが特徴である。600 groves/mmの透過型エシレット格子を用い、分散は $87\text{\AA}/\text{mm}$ である。I.I.は電磁集束型を使用している。

7.3 観測概況

(1) 大気光観測

a) 定常観測

木曾における大気光定常観測は、1975～76年に観測器の据えつけ調整や自動制御装置の設計・製作、77年にテスト観測と器械定数の決定などを行ない、78年には全天カメラの結露の問題も解決して、本観測に入れる態勢となった。

そこで、それまで堂平で続けていた太陽地球環境国際定常観視特別事業（MONSEE）の大気光観測拠点を、1979年の初めから正式に木曾に移した。

木曾では、自動観測であるため、われわれは1カ月に1度三鷹から出張し、紙テープ（後にはフロッピーディスク）に収められたデータと、プリントアウトされた用紙を持ち帰ればよいことになった。そしてその時に、全天カメラのフィルムを交換して現像したり、つぎの1カ月分の観測プログラムを、理科年表の月出、月没の時刻を見ながら入力しておくのである。また、その他の観測で、人手の要するものは、この出張時に行なった。

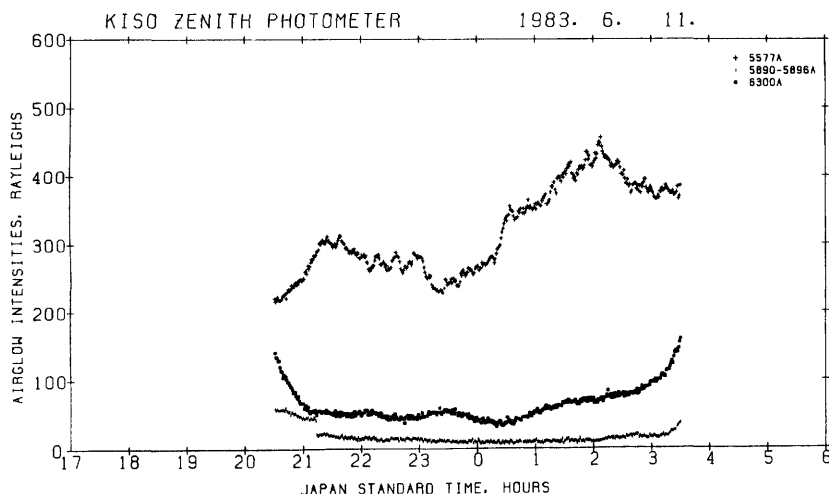


図23 1983年6月11日（快晴）の大気光輝線のグラフ。21時過ぎにサッカー場の照明が消え、ナトリウム輝線強度がその時に急に下っている。他の輝線には影響なし。

三鷹に持ち帰ったフロッピーディスク等は、大型計算機（東京天文台人工衛星国内計算施設、後に国立天文台天文学データ解析計算センター）で処理し、これまで同様に大気光世界資料センターに保管し、編集・発表された。

こうして、木曾における大気光定常観測は順調に行われていたが、1983年ごろから5890-96 Åのナトリウム輝線の天頂強度が、夏季に限ってときど

き、21時付近になるとストンと下る現象が起った。毎晩ではない。最初は何が原因だかわからなかったが、時刻がきまっているので、何か人為的なものだろうと思った。いろいろと調べた結果、そのころ観測所から約3km離れた麓のサッカー場にナイター設備ができ、そこでナトリウム灯を使っていることがわかった。観測所からは死角になって直接見えないので、気づかなかったのである。

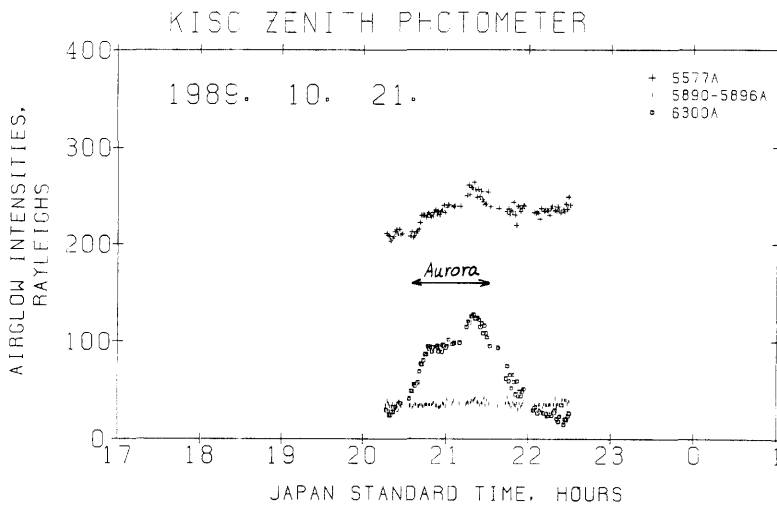


図24 1989年10月21/21日、北海道にオーロラが出現したときの木曾の天頂大気光の変化。

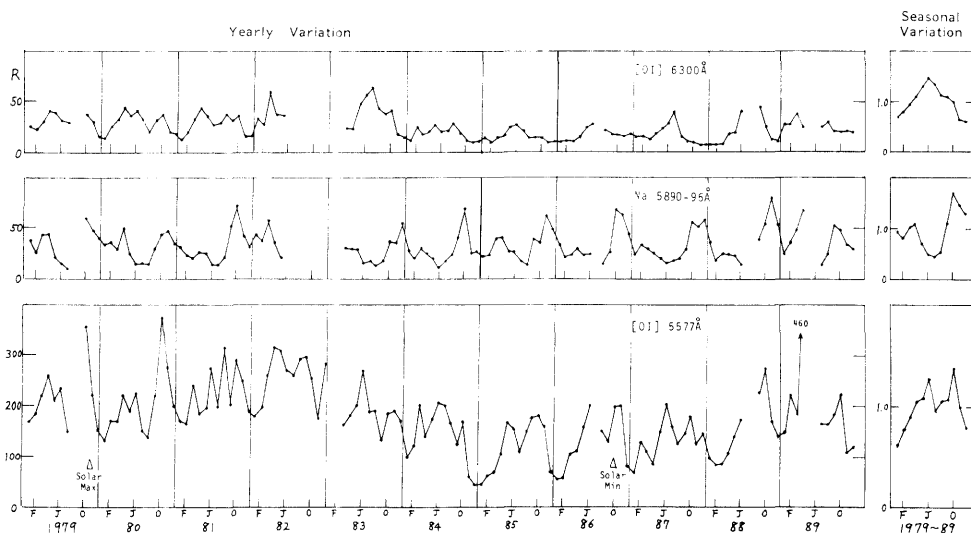


図25 木曾における大気光各輝線強度の永年変化(1979-89)と季節変化。永年変化は各月の平均値をプロットしたもの。季節変化は年平均値に対する比を重ね合わせたもの。

ナイターは21時までに終了し、ナトリウム灯が消されるので、天頂の輝線強度が急に下ったのである。地元の人たちのレジャー施設であるし、それにナイターが行なわれるのは年間数晩程度なので、致し方なかった。他の大気光輝線 $5577\text{ \AA}$ や $6300\text{ \AA}$ には、全く影響がなかった。逆に考えれば、われわれの観測器は、非常に正確にナトリウム輝線を測っているという証拠でもあった。

また、後には、木曽駒ヶ岳のスキー場で、1晩中明るい照明をつけられて迷惑したこともあった。

1984年9月の長野県西部地震では、衝撃でパソコンがおかしくなったが、直ちに修理した。また、スライディング・ルーフ室の入口のシャッターが破損したり、夜天光赤道儀の極軸が $7'$ 程度ズレたりしたが、これらも間もなく修復した。

1989年10月21日に、北海道で低緯度オーロラが出現したとき、同時に木曽の天頂の大気光 $6300\text{ \AA}$ 輝線も大きく増強した。このデータは、後にこのオーロラの総合解析に提供し、各種の地球物理データとともに検討された。

こうして、われわれは大気光観測事業を、1990年3月に終了するまで続けた。

図25は、木曽の大気光観測から得られた各輝線の永年変化と季節変化である。

b) 近赤外 OH 帯の写真観測

1974~76年の期間に、斎藤は近赤外大気光のOH帯の写真観測を行なった。これは、赤外フィルムで西空を撮影したもので、1975年3月には中間圏(Mesosphere, 高度 $50\sim 80\text{ km}$)を、Internal gravity waveが伝播したために発生したと見られる大気光波状構造の、生成消滅の全過程を撮影することに成功した。

c) 他機関との協力観測

新潟大学とは、常時、データの比較を行なっており、1978年以来、大気光発光層内の強弱パターンの移動を調べるために、協同同時観測を行なった。また、新潟大学、弘前大学、東北大学、琉球大学、極地研究所等の標準光源の比較検定測定なども、何回か行なった。

東京大学地球物理研究施設の金田栄祐は、1983~88年に、単色全天撮像装置による大気光全天分布の撮像観測を木曽で行ない、われわれもこ



図26 近赤外 OH 帯の写真。波状構造がよくわかる。

れに協力した。この装置は、干渉フィルター用に設計・製作した魚眼レンズに、SIT カメラをつけて、 $5577\text{ \AA}$ と $6300\text{ \AA}$ 輝線の全天強度分布を、積分時間5分で撮像するものである。

d) ロケット観測器のテスト

木曽で大気光定常観測を行なっている期間に、われわれはロケットによる大気光観測も4回(K-9M-71, S-310-10, K-9M-76, S-310-17号機)行なった。ロケットに搭載する観測器は、そのつど、打上げ前に木曽に持って行き、スライディング・ルーフ室の赤道儀架台にとりつけて、星や天頂大気光を測定し、感度調整や絶対値較正を行なった。

(2) 標準光源の検定

われわれは堂平以来、豆ランプによる標準光源(G光源)を使って、大気光観測の絶対値の標準としている。そして、この光源はときどき星の明るさと比べて検定していたが、とくに木曽に移ってからは、星との比較を毎年定期的に行なった。比較する星は $\alpha\text{ Aur}$ (カペラ)である。なお、この標準光源は、大気光だけでなく、夜天光観測一般に使用した。

ここでは、まずこの標準光源について説明し、ついで比較検定観測について述べる⁽¹⁰⁾。

a) 標準光源の構造と特性

図27は、われわれの標準光源の構造である。夜天光は、全天に拡がった面光源であるから、標準光源も面光源とし、オパールガラスを豆ランプで一樣に照らすようにした。

豆ランプは、一般に使われている6V, 3Wのもので、電球ガラス面の滑らかさと、フィラメントの形状などを考慮して、約200個の中から選んだ。

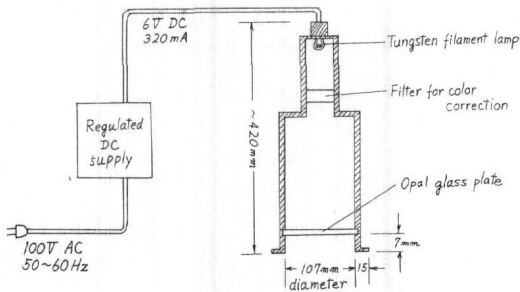


図27 標準光源の構造

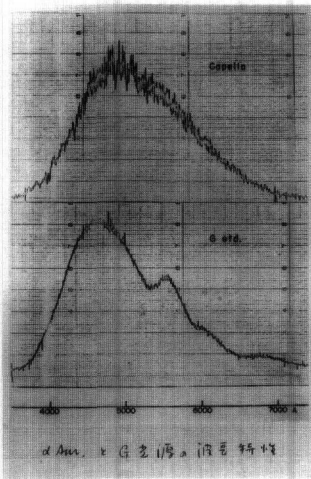


図28 G型星（カペラ，上）と標準光源（G光源，下）のスペクトル。縦軸は任意尺度。

電源は、定圧・定電流型で、AC100Vから変換して、320mAの定電流を流している。この電流値は、標準光源の面輝度が、大気光や黄道光の明るさと、ほぼ同程度になるようにきめたものである。このように規格より弱い電流仕様であるから、豆ランプの寿命も非常に長く、20数年間に1度切れただけである。なお、電源の出力変動率は ΔV が $\pm 0.01\%$ 、 ΔA が $\pm 0.1\%$ 以下である。

大気光観測波長は主に、 $5300\text{Å} \sim 6300\text{Å}$ の範囲であり、黄道光のスペクトルは太陽スペクトルと同じである。したがって、標準光源も少なくとも可視域内では、測定の際に増幅器の増幅度を一定にしたまま、どの波長でも有意の出力が得られると便利である。そのため、この標準光源は豆ランプとオパールガラスの間に色フィルターを入れて、

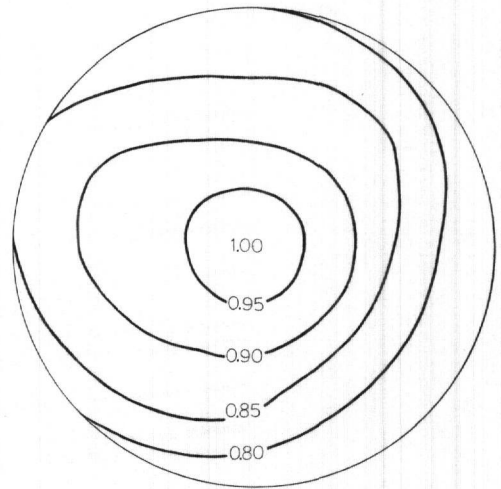


図29 標準光源の面輝度分布（相対値）

なるべくG型星のスペクトル分布に近いようにしてある。

b) 検定観測

標準光源の検定観測は、毎年、カペラの見える冬期に行なった。大気光の天頂測光器に使っている干渉フィルター（10枚）をはずして、比較受光器に入れた。これを赤道儀架台につけて、カペラを天頂から地平線付近まで追跡して、各フィルターで光電測光を行なった。観測中にときどき、標準光源を測定した。

このデータから、星の出力（レコーダーのフレ）の対数を縦軸に、Airmassを横軸にとってプロットすると、大気減光を補正したカペラのフレの値が求まる。これと標準光源のフレを比較して、標準光源の各波長における輝度の絶対値を求めた（図30）。

(3) その他の観測

夜天光観測室では、大気光観測以外にも、種々の観測を行なった。その主なものを、簡単に述べておく。

a) 黄道光中心線の観測

1977~83年に、黄道光の太陽離角 90° 以上の部分の中心線の観測を行なった。比較受光器をつけた赤道儀の極軸を時角 0^h に固定し、赤緯軸を自動的に往復回転させて、子午線に沿って天頂距離 $\pm 60^\circ$ の範囲を掃天観測し、これと天球の日周運動との組合せにより、種々の太陽離角における黄道光の

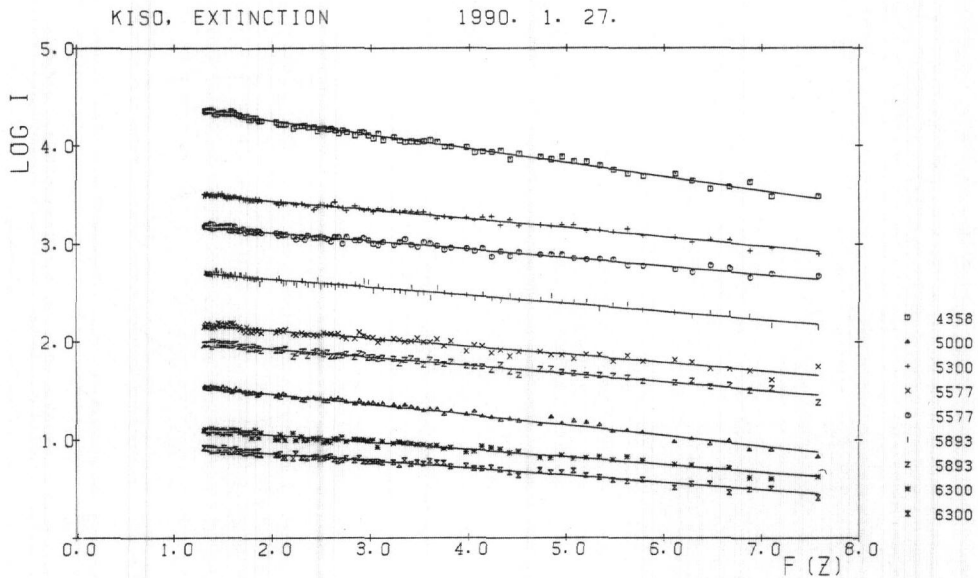


図30 標準光源検定のためのカペラの測光。縦軸は測定値の対数（相対値），横軸の $F(z)$ は Airmass.

ピーク位置を求めた。その結果，地球軌道より外側0.5AU くらいまでの惑星間塵は，黄道面に対して傾斜角 0.5° ，昇交点黄経 79.8° の平面に沿って分布していることを見出した。

b) ハレー彗星の観測

1985～86年に，I.I.分光器でハレー彗星のコマと尾の分光観測，および比較受光器でコマの測光観測を行なった。撮影したスペクトルは，木曽観測所の画像処理システムで解析し，測光観測のデータからそれを絶対強度に換算した。結果はInternational Halley Watch (IHW) に報告した。

また，Levy-Rudenko 彗星(1984t)や，Bradfield 彗星(1987s)の観測も試みた。

c) 全天カメラによる記録

全天カメラの写真には，星の軌跡のほか流星，人工衛星，飛行機，雷などがときどき写っている。1985年10月8日19時過ぎに，関西から東海地方にかけての上空を，コスモス衛星が火の玉となって落下していったのも記録されている。

全天カメラに写る流星は，およそ0等級より明るいものに限られ，いわゆる火球が多い。1977～90年までに撮影された約35700コマの写真から，宮下は約800個の明るい流星を検出した。この中には，1980年4月21/22日のこと座流星群や，1981年12月

22/23日のこぐま座流星群の著しい出現の記録もある。

なお，全天カメラの写真から求めた各年および各月通算の夜間の晴天率を表7に示す。

d) 地上照度の測定

薄明時や夜間の地上照度については，年に数回，交通事故などの捜査資料として，全国の警察署や

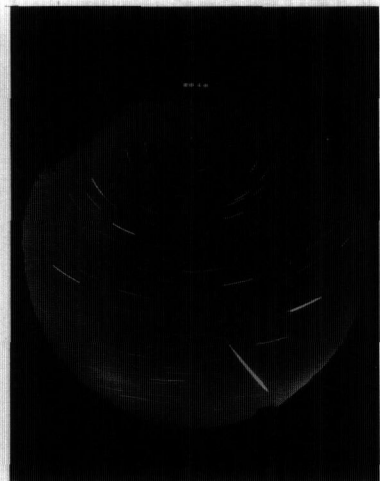


図31 全天カメラによる写真。1981年4月7日 02:00～03:00。右下に火球が写っている。

表7 木曾の晴天率

年	観測時間	晴天時間	晴天率	月	晴天率
1977	1724	303	17.6%	1	32.7%
1978	1103	291	26.4	2	31.0
1979	2714	674	24.8	3	26.6
1980	2436	613	25.2	4	26.5
1981	3212	778	24.2	5	24.1
1982	2863	636	22.2	6	13.5
1983	2492	567	22.8	7	7.6
1984	1901	505	26.6	8	10.4
1985	3255	652	20.0	9	13.8
1986	3119	938	30.1	10	24.0
1987	3303	926	28.0	11	33.9
1988	3306	881	26.7	12	37.2
1989	3333	880	26.4		
1990	941	256	27.2		

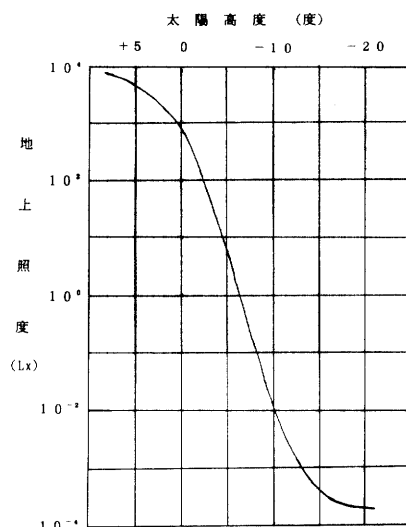


図32 地上照度

裁判所から問い合わせがある。これに答えるためには、太陽高度（または俯角）と地上照度の関係を知る必要がある。日没以後の明るさは、古畑⁽¹⁾が測定したデータがあるが、嵩地は再度この測定を行ない、太陽高度+8°までの地上照度を求めた。図32はその結果で、明るい時間帯は照度計で、暗い時間帯は光電測光で測定して、両者の曲線をつないだものである。

なお、1979年11月（御岳山噴火の直後）には、三岳村役場の会議室で、大気光関係のシンポジウム「大気光会議」を開催した。これは数年毎に全国各地で開いていたものである。出席者は約30名、会議終了後に夜天光観測室の見学会も行なった。

8. その他の大気光観測

これまで述べてきたように、われわれは、丸山、堂平、木曾で大気光観測事業を行ってきたが、その間に短期間ながら、小笠原・父島や、沖縄・西表島にも出張観測を行なった。また、鹿児島・内之浦で宇宙科学研究所のロケットによる大気光観測も、たびたび行なった。

8.1 小笠原

(1) 経緯

大気光の現象は、地球上の地磁気緯度によって様相が異なる。われわれは以前から、低緯度地域の現象に興味をもち、機会があればその観測を行なっていたと考えていた。低緯度地域には、地磁気赤道をはさんで南北12°付近に、Intertropical arc と呼ばれる6300 Å輝線の極大域があり、それにとまって、興味ある現象が、観測されるからである。

低緯度地域の観測は、日本本土（地磁気緯度+25°前後）では、もちろんできないが、1968年に小笠原諸島（父島+16°）が返還され、それが可能になった。そして、大気光以外にも低緯度観測を希望する分野が、いくつかあったので、小笠原で各種の観測を行なうことについて、宇宙空間研究者協議会（通称 SPARC）でも話し合われ、その要請によって、田鍋と名古屋大学空電研究所の鎌田哲夫が、1969年に海上保安庁水路部の測量船に便乗して現地調査を行なった⁽⁸¹⁾。

一方、われわれは小笠原返還直後から、太陽活動期国際観測年（1969-71年、IASY）の大気光観測を、小笠原で行なう計画を立てていたが⁽⁸⁰⁾、幸いその予算が認められたので、IASYの最終年度に、小笠原・父島で観測を行なうことができた。



図33 小笠原・父島の観測地点

(2) 観測概況と観測器

観測は、1971年10月、12月と1972年3月の3回、3人ずつの観測者が、2週間前後出張滞在して行なった。観測者名は、

第1回 田鍋、高地、三上

第2回 斎藤文一（新潟大）、宮下、三上

第3回 高地、宮下、徳家 厚（太陽物理部）である。

観測地の父島は、東京から南へ約1000km、船で2泊3日の航程である。当時は人口約1000人で、夜間の灯火も非常に少なかった。観測地点は、島の西北端に近い海拔150mの崖の上で、父島気象観測所の敷地を借用した。ここには、高層気象観測のゾンデの受信室があり、われわれは、この最高点付近に観測器を設置し、受信室内に増幅・記録装置を置いて観測を行なった。

観測器は、掃天測光器と分光器を持参した。掃天測光器は、小笠原観測で5577 Å, 6300 Å輝線の全天強度分布を光電観測するために、新しく設計・製作したものである^(85,88)。天空からの光は、第1鏡で反射されて対物レンズ（口径80mm）を通り、第2鏡で垂直下方に反射されダイアフラム、ファブリーレンズ、干渉フィルターを経て、光電子増倍管に入射する。視野の直径は3°である。掃天方式は、第1鏡の動き（高度変換）と光学系全体の回転（方位変換）を組合せて行ない、一つの方位の天頂距離75°の点から、天頂を通して反対方位の75°の点まで、天頂を含めて11点の測定をしたのち、方位角を22.5°変換する。全天の計81点の測定時間は、約16分間で、時計と連動して、30分または1時間毎に掃天をくり返すようになっている。

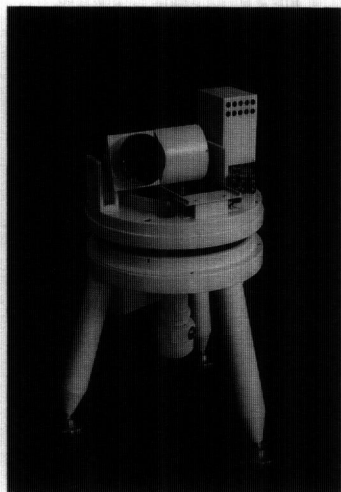


図34 掃天測光器

測光器の出力は、直流増幅器とデジボル回路を通り、紙テープにパンチされる。また、離島であるため故障時のバックアップとして、ペンレコーダーも持参し、これにも記録できるようにした。

分光器は、堂平に設置してあったものを持参したが、現地到着後に器械不調となり、十分なデータがとれなかった。

小笠原の気象条件は、一般に雲の動きが早く、晴れと曇りの移り変りが急なため、観測中は頻繁に空を監視する必要があった。それでも10月と3月は天候に恵まれて、合計8夜の終夜観測と、10数夜の短時間観測ができたが、12月は天候がわるく、半夜観測が数夜できた程度であった。

当時は、小笠原の返還後間もないときで、一般の渡航は制限されており、われわれも出張のたびに自治省や東京都庁に手続きをして、唯一の渡航手段である東京都のチャーター船に乗せてもらった。滞在中の宿泊は、父島の村内にある東京都立大学の総合調査室（通称害虫研）を利用させてもらった。われわれは、一晩中観測して夜明けに下山し、暑いので宿舍の窓を開けたまま眠っていたが、後で聞くと村の人達が「あの連中は毎日昼寝ばかりしている。小笠原まで何をしに来たのだろうか」と噂していたそうである。

(3) 観測結果

光電観測のデータは、三鷹に持ち帰って処理し、のちに全数値と全天強度分布図を、大気光世界資

料センターから出版した⁽⁹⁸⁾。

この観測で得られた主な結果は、以下のとおりである^(88,92,96)。

- a) 5577 Å 輝線の平均強度は、日本本土の値より小さく、6300 Å 輝線の平均強度は、日本本土の値より大きい。
- b) 6300 Å 輝線の全天強度分布では、一般に南の地平線付近に極大部分がある。これは Inter-tropical arc の 1 部が見えているのであろう。
- c) その 6300 Å 輝線の極大部分の方位は、南→夜中に西寄り→南→さらに急激な西寄り、の順で 1 夜変化を示し、真夜中に西寄りになったときに、天頂との相対強度が最大となる。

8.2 西表 (いりおもて)

(1) 経緯

1976-79年に、国際磁気圏観測 (IMS) という国際協力事業が行われた。われわれは、この期間に、沖縄で「にせ黄道光」の観測を行なうことを計画した^(89,99,103,113)。

にせ黄道光 (False zodiacal light) は、夕方の東空や、明け方の西空、つまり明るい黄道光とは反対側に時々見える、黄道光類似の発光現象である。これは1940年代後半にソ連の観測者達が発見したが、古い文献を調べてみると、前世紀の初めごろから、何人かの人がそれに気付いた記録がある。しかし、これまでにまだ、本格的にこれを観測した人はなく、発光原因も不明のままであった。

われわれが、この観測を計画したのは、1971年10月に、小笠原・父島で大気光の観測を行なっているときに、夜明けの西空にこの現象を肉眼で見たのが、直接の動機である。沖縄をえらんだ理由は、にせ黄道光が見えた例が低緯度に比較的多いこと、日本本土では市街光に妨げられて、地平線付近の淡い光の観測は不可能に近いこと、小笠原より交通が便利なこと、などである。そして、IMSの大気光観測も、琉球大学と弘前大学が、同じ場所で行なうことになった。

実際の観測場所は、沖縄本島は市街光が多いので、八重山諸島とし、1974年に田鍋が波照間島を、また斎藤が西表島を現地調査した結果、西表島の琉球大学熱帯農学研究施設の屋上を借りることに

なった。ここには、施設利用の研究者のための宿泊設備や食堂もあり、また観測は屋上で行なうので、毒蛇ハブの心配もなく、好適の場所であった。

この観測は、にせ黄道光が第1目的であったが、たまたま低緯度大気光の興味ある現象も検出することができた。

(2) 観測概況と観測器

観測は、天球上で銀河とにせ黄道光が重ならない時期をえらび、1978年9月、1979年3月、10月、11月の4回、それぞれ2週間前後出張して行なった。観測者名はつぎのとおりである。

第1回 田鍋, 宮下

第2回 田鍋, 嵩地, 宮下, 山口(達)

(堂平観測所)

第3回 田鍋, 嵩地, 宮下

第4回 田鍋, 宮下

また、4回とも同期間に、琉球大学の平良賢剛、新垣秀雄、弘前大学の奥田光直が、同じ場所で大気光観測を行なった。

東京から西表島に行くには、羽田から那覇に飛び、さらにローカル線の飛行機で石垣島まで行く。石垣島から西表島へは、船で約1時間であるが、海が荒れたときは、足留めされることもあった。西表島は、沖縄県では本島について、2番目に大きい島であるが、一周道路はなく、人跡未踏の場所もあるという自然に恵まれた島である。したがって、人工灯火も非常に少なく、たまに港に入る船の灯が気になる程度であった。

われわれが持参した観測器は、I.I.付分光器と魚眼カメラで、第2回観測からは、補助的観測とし



図35 西表の観測器。手前がI.I.付分光器、右奥が比較受光器。

て、比較受光器も持って行った。

I.I.付分光器と比較受光器については、木曾の項で説明したが、この分光器は対物レンズに市販のカメラ用レンズを使用しており、魚眼レンズから望遠レンズまで、目的に応じて交換して、空の広い範囲のスペクトルが撮影できるようになっている。

観測は、I.I.付分光器に魚眼カメラを平行に取りつけ、前半夜は東空、後半夜は西空の天頂距離 70° の方向に向けて、魚眼カメラで空の写真を撮影するとともに、分光器でその中心部分の空のスペクトルを撮った。分光器のスリットは水平方向にし、長さは 41.5 に相当する。分光器と魚眼カメラの露出時間は、いつも同じにして、5分から30分の種々の露出で撮影した。

第2回目の観測からは、比較受光器による光電観測もつけ加えた。比較受光器を天頂距離 70° に固定し、ターンテーブルに載せて、分光器と魚眼カメラが狙っている位置を中心として、水平方向に $\pm 120^\circ$ の範囲の大気光輝線 $5577\text{ \AA}$ と $6300\text{ \AA}$ の強度分布を、反復掃査した。同じ場所で、琉球大や弘前大が大気光観測を行っていたが、これは全天掃天であるため、われわれが狙っている方向を常に観測しているとは限らないからである。

気象条件は、第1回と第2回は非常に良く、にせ黄道光が肉眼でも見え、魚眼写真にも写っている。しかし、第3回は曇りの日が多く、第4回は連日のように雨が続き、十分な観測はできなかった。結局、4回の観測で得られたスペクトルと魚眼写真は、それぞれ合計52枚であった。

これらの写真は、三鷹のマイクロホトメーターなどで処理した。

(3) 観測結果

a) にせ黄道光

にせ黄道光が肉眼でも見え、魚眼写真にも写っているときの、スペクトル写真には、大気光スペクトル以外のものは写っていない。また、魚眼写真の濃度を測定して求めた空の輝度分布は、その場所の星野光成分（既知）と黄道光成分（既知）の明るさと、同時観測で得た大気光成分を、重ね合わせたモデルと非常によく合っている。したがって、にせ黄道光は、特別な光源によるものではない、と考えられる⁽¹¹⁾。

田鍋は、古い観測記録が肉眼観測であることから、人間の眼の輝度差識別曲線などを考慮して考察した結果、にせ黄道光は、その部分の大気光強度分布が、周囲に比べて強くなっている場合に、そこにある淡い黄道光成分が、肉眼では浮き上がって見えるものである、という結論に達した。

b) 大気光

西表で行なった大気光の光電観測で、 $6300\text{ \AA}$ 輝線の強度分布の中に、日本本土のような中緯度では現われない、狭く深い谷を観測した⁽¹⁴⁾。

この谷が観測されたのは、1979年3月30/31日と31/1日の2晩で、両夜とも快晴であった。図36は、天頂距離 70° の小円に沿って、東天を掃天観測した記録紙の2例である。一般的な強度分布は、北天より南天が明るくなっているが、南天に矢印で示した狭く深い谷が見えていることに高地が気付いた。谷の半値巾は $5^\circ\sim 10^\circ$ 程度で、深さは時間的に変化し、同時に複数個現われることもあった。そして、谷の方位角が $40^\circ/\text{h}$ の角速度で東方に移動していた。

われわれの観測は、天頂距離 70° だけの掃天であったから、琉球大と弘前大の全天掃天観測のデータを提供してもらって、全天分布図を描いたものが、図37である。この図を見ると、谷は空を横ぎって長く南北に伸びており、時間的に全体として東方に移動していることがわかる。発光層の高さを 300 km と仮定すれば、その移動速度は約 100 m/s である。

この現象は、1977年に南半球では観測されている。また、1960年代にハワイで観測された $6300\text{ \AA}$ 輝線の Aligned 型分布も、あるいは同じ現象なのかも知れない。そしてこの現象は、スプレッド F と呼ばれる電離層 F 層の電子密度のゆらぎに関係があると考えられている。

さらにわれわれの観測では、 $5577\text{ \AA}$ 輝線の分布にも、同じ位置に浅いながら同様な谷が現われて、同じ動きをしている。 $5577\text{ \AA}$ 輝線の大部分は、高さ 100 km 付近の発光層から放射されるが、1部は 250 km 以上の $6300\text{ \AA}$ 輝線と同じ発光層から出ている。したがって、 $5577\text{ \AA}$ の分布に現われた谷は、 $6300\text{ \AA}$ と同じ発光層から出る $5577\text{ \AA}$ 輝線によるものと考えられるから、両者の谷の深さの比から、その発光比が求まる。われわれの観測から求めた

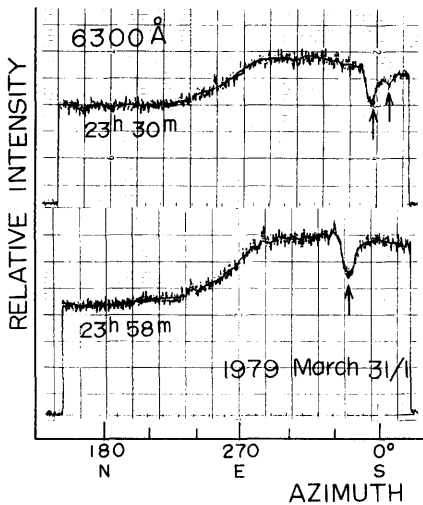


図36 6300 Å輝線を天頂距離70°の小円に沿って掃査した記録紙の2例。右端の矢印が狭い谷。

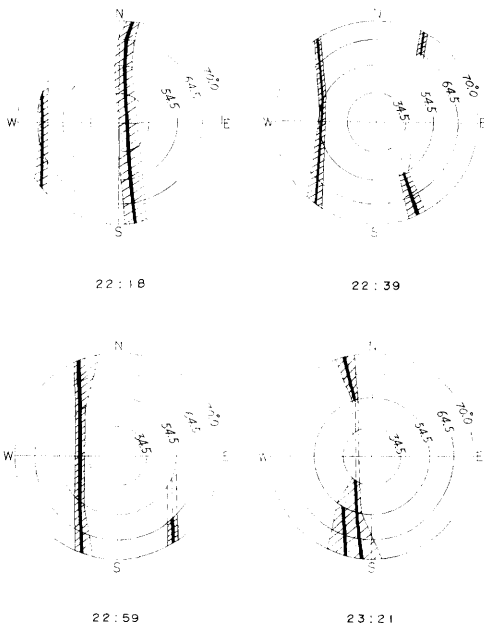


図37 6300 Å輝線の狭い谷の全天分布図。1979年3月31日/4月1日。南北に伸びた谷が、時間的に東に移動している。

6300 Åと5577 Å輝線の平均の発光比は3 : 1となった。

8.3 ロケット

1957-58年の国際地球観測年を契機として、日本でもロケットによる科学観測が始まった。

ロケットによる観測事業の主体は、初期は東京大学生産技術研究所であったが、1964年に東京大学宇宙航空研究所に移り、さらに1981年に宇宙科学研究所の移った。また、ロケットの打上げは、初期には秋田県道川海岸の秋田ロケット実験場で行なわれたが、1962年以降は、鹿児島県内之浦の鹿児島宇宙空間観測所で行なわれている。

このように、観測ロケットが打上がるようになったので、われわれも1961年以来ロケットを利用して、大気光を含む夜天光の、種々の観測を行ってきた。表8は、われわれが行なったロケット観測のうちの、大気光関係のものである。この表でもわかるように、われわれの大気光観測は、1960年代のものと1980年代のものに分かれている。前者は、主として大気光各輝線の発光層の高さを実測したものであり、後者は、酸素族大気光の総合的観測を主眼としたものである。

(1) 1960年代の観測

われわれが、初めて大気光観測を行なったロケットは、K-8-5、K-8-6、K-8-9号機で、いずれも秋田ロケット実験場から、1961年に打上げられた。K-8型ロケットは、到達高度が200km以下であったため、大気光輝線のうちで、発光層高度が100km付近と考えられている酸素原子5577 Åとナトリウム原子のD線5890-96 Åの高度の実測を目的とした。

3機のロケットのうち、K-8-5号機は、大気光観測器を載せてはいたものの、主目的は飛翔実験で、昼間に打上げられ、これで観測器の作動テストを行なった。つぎのK-8-6号機は、実際の観測のために夜間に発射されたが、上空に行ってロケットの胴体から横方向に突き出す採光筒が、うまく突出せずデータをとるに至らなかった。観測に成功したのはK-8-9号機である。これによって、5577 Å輝線、ナトリウムD線の発光層の高さが、それぞれ98km(層厚~7km)、94km(層厚~3km)という結果を得た^(39,40,43,48,54,59,65) (図39)。

表 8 大気光観測ロケット

打上げ 年月日	ロケット名	観 測 目 的	備 考
1961. 3.27	K-8-5	飛翔実験	観測器不調
4.18	K-8-6	5577 Å, Na D 発光層 高度測定	
10.30	K-8-9	5577 Å, Na D 発光層 高度測定	
1963.12.12	K-8L-2	Na 雲による風の測定	
1964. 7.26	K-8L-5	Na 雲による風の測定	打上げ後ロケット故障
11. 2	K-8L-7	Na 雲による風の測定	
1965. 3.25	K-9M-8	6300 Å 発光層高度測定	
7.16	K-8-12	Na 雲による風の測定	
1966. 3.20	K-9M-15	6300 Å 発光層高度測定	
8.10	K-9M-19	6300 Å 発光層高度測定	
12.10	K-10-2	大気光連続光の観測	
1969. 1.19	K-9M-24	6300 Å 発光層高度測定	
9. 6	K-10-5	赤外大気光の観測	
1980. 9. 4	K-9M-71	酸素族大気光の観測	
1981. 8.24	S-310-10	酸素族大気光の観測	
1983. 1.15	K-9M-76	磁気共役点効果の観測	
1986. 9. 6	S-310-17	酸素族大気光の観測	

大気光の発光層の高さを求める方法は、ロケットで発光層の下から上向きに大気光輝線の視線に沿った積分強度を測定していくのである。ロケットが発光層に突入すると、輝線強度が下りはじめ、層を突き抜けたところで、強度がゼロに近くなる。そして、ロケットの高度と輝線強度をあらわす曲線を、高さについて微分することによって、発光層のプロファイルが求まる。

1962年からは、ロケット発射場が内之浦に移り、ロケットも K-9M 型が開発されて、到達高度が

300km を超えるようになった。そこでわれわれは、酸素原子の 6300 Å 輝線の発光層の高さを測定することにし、1965年に K-9M-8、1966年に K-9M-15と K-9M-19、1969年には K-9M-24号機を用いて、その観測を行なった。その結果、6300 Å 輝線の発光層の厚さは100km 近くにおよび、発光層中の最大強度の高さは、測定毎に270~290km の間で変動していることがわかった。図41は測定結果の例である (56,64,67,68,70,72,73,74)。

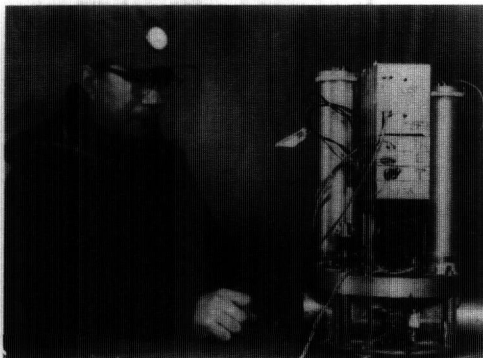


図38 K-8型ロケットに初めて搭載した大気光観測器と古畑。

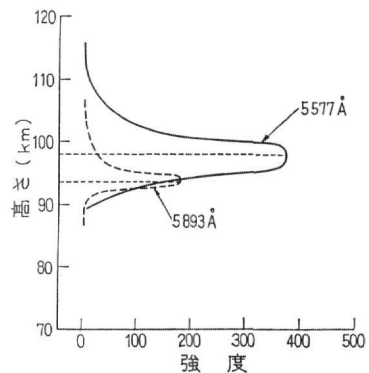


図39 5577 Å 輝線およびナトリウム D 線の発光層。放射強度の高度分布である。

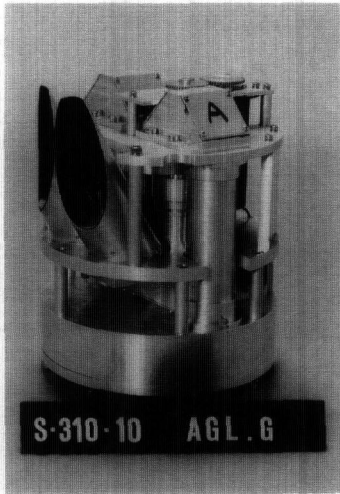


図40 S-310-10号機に搭載した大気光5577 Å輝線観測器

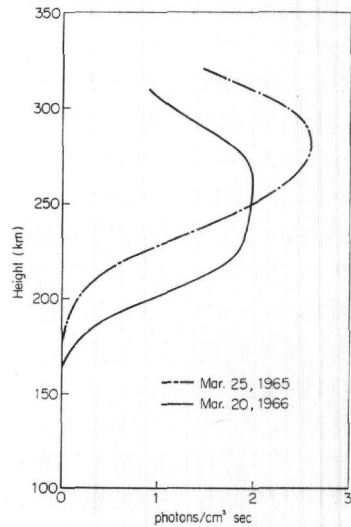


図41 K-9M-8, 15号機で観測した6300 Å輝線の発光層。放射強度の高度分布である。

一方、古畑、斎藤と嵩地（当時は天文時部）は、東大教養学部の中村純二、消防研究所の秋田一雄とともに、1963年から1965年にかけて、K-8L-2, K-8L-5, K-8L-7, K-8-2号機を用いて、高度100～150km付近の風の観測を行なった^(53,55,63)。これは、上層大気にまだ太陽光が当たっている薄暮のときに、ロケットからナトリウムガスを噴射させ、太陽光の共鳴散乱で光るナトリウム雲の動きを、地上の3点から刻々写真観測して、風速、風向を求めるもので、一種の人工大気光の観測でもあった^(75,79)。

また、古畑は東京教育大学の中村正年とともに、K-10-5号機で近赤外大気光の観測を行ない、発光層高度を88kmと求めた。

(2) 1980年代の観測

1980年代のわれわれの観測の特徴は、他の大気光観測グループと協同して、酸素族大気光(O, O₂, OH)の各種放射を、1つのロケットで同時観測して、発光の反応過程の総合的かつ量的な解明を目的としたことである⁽¹¹²⁾。協同したグループは、われわれのほかに、東京大学地球物理研究施設、筑波大学、立教大学、横浜国立大学である。各グループは、それぞれ波長域を分担して受けもち、われわれは、5577 Å輝線の観測器と、後述のスターセンサーを受けもった。

この観測は3回行なったが、第1回の1980年の

K-9M-71号機は、発射後34秒でロケットが故障し、全くデータがとれなかった。しかし、第2回の1981年のS-310-10号機と、第3回の1983年のS-310-17号機では、いずれも良いデータを得ることができ、その結果から酸素族大気光の発光過程を、詳しく議論することができた^(117,126,127,128)。

1983年のK-9M-76号機は⁽¹¹⁸⁾、北半球の冬期の夜明け前に、南半球の日の出によって上層大気に生じた光電子が、磁力線に沿って、北半球の地磁気共役点に流入して生起する各種の現象を、総合的に観測するロケットであった。われわれと弘前大学の奥田光直は、このロケットで、6300 Å輝線の約35Rの増光現象を観測した。また、同時に行なった地上観測から、この日の明方増光は午前5時9分に始まり、ロケット観測は共役点光電子効果の最大時期をとらえたことがわかった^(119,120,121)。

このように、ロケットで夜天光などの光学観測を行なう場合、飛翔中に観測器の望遠鏡が、いつ、どこを向いていたかを精度よく知る必要がある。そのためわれわれは、スターセンサーを開発し、1971年に黄道光の観測を行なったK-10-7号機以来、各ロケットにこれを用いている^(76,77,82,86,116)。スターセンサーは、望遠鏡の光軸をロケット軸から20°傾けて固定した小型光電測光器である。夜天光

の観測は、広範囲の空を掃天するために、ロケットの姿勢制御は行わず、ロケットはスピンによって姿勢の安定を保つが、上空では通常、スピンとともにプレセッションも行なう。ロケットのこの運動によって、スターセンサーは天球上のある範囲をスキャンし、望遠鏡の視野につぎつぎに入ってくる星によって、パルス状の信号が出る。この信号データと、地磁気センサーのデータを使って、スピンの周期、プレセッションの周期と角半径を正確に求め、星を同定することによって、ロケットの刻々の姿勢を決定する。

1980年夏から、ロケット観測のデータは、従来のペンレコーダー記録紙に代って1msec毎のデジタルデータが磁気テープで観測者に提供されるようになり、計算機での解析が可能になった。そして、その後の解析方法やソフトウェアの改良によって、搭載望遠鏡の刻々の視線方向を 0.1° の精度できめることができた。1例として、図42にK-9M-76号機のスターセンサーの解析結果を示す^(116,122,124)。

宇宙科学研究所に、ロケットの観測申込みをして採択されると、設計会議が開かれて、相乗りの観測器がロケットの頭胴部に全部うまく収まるように、設計調整が行なわれる。その結果にしたがって、観測者は各自の観測器を製作し、衝撃試験、振動試験、真空試験などを経た後、1本のロケットに組立てられて打上げとなる。夜天光の観測器の場合は、この間に実際に空や星を測定して、感度調整や絶対値検定を行なうが、これについては、神谷や木曾の項で述べたとおりである。

なお、宇宙科学研究所の大気球を用いた夜天光の観測も、1966～76年の期間に、大洋村実験場で1回(B₂-1)、原町実験場で3回(B₁-20, B₂-7, B₅-17)、三陸大気球観測所で4回(B₅-43, B₅-58, B₅-65, B₅-73)行なっているが、そのうちで大気光の観測は、B₂-7の1回だけである^(66,78)。しかし、この8回の観測は、初期のものは方向制御が十分でなかったし、その後は不運にも、気球が故障したり、データにノイズが入ったり、回収ができなかったり、ということが続き、残念ながら精度のよいデータをとることができなかった。

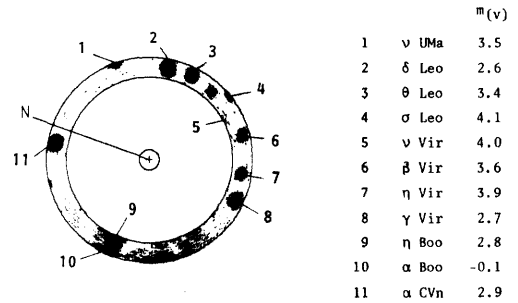


図42 K-9M-76号機のスターセンサーの解析結果。

9. 大気光世界資料センター

9.1 沿革

1957-58年の国際地球観測年(IGY)の実施にあたり、観測資料の流通・利用を円滑にするため、国際学術連合(International Council of Scientific Unions—略称 ICUS)の国際地球観測年特別委員会(ICUS Special Committee for the IGY—略称 CSAGI)によって、世界資料センター(World Data Center—略称 WDC)網を作ることが提案された。

WDCは、A, B, Cの3つに分けられ、AとBは全観測分野のデータを取り扱うもので、WDC-Aはアメリカ、WDC-Bはソ連に設置された。WDC-Cは、さらにC1とC2に分かれ、C1はヨーロッパ、C2は日本に置かれて、個々の分野別のデータを取り扱うことになった。当初日本におかれたWDC-C2は、地磁気(京都大学)、大気光(東京天文台)、電離層(当時の電波研究所)、宇宙線(理化学研究所)、大気放射能(気象庁)である。また後年になって、オーロラ(極地研究所)、太陽電波(当時の空電研究所)、宇宙科学(当時の宇宙航空研究所)のWDC-C2も新設された。

こうして1957年に東京天文台に設置された大気光世界資料センター(World Data Center C2 for Airglow)は、古畑が責任者となり、測光部でその業務を行なうことになった。業務の内容は、国際的な取りきめによって、

- (1) アジア・オーストラリア地域の大気光観測データを収集・整理・保管し、他のWDCとの交換を行なう。
- (2) 国内および国外の研究者の要請に応じて、

保管しているデータを提供する

ことなどである。さらにわれわれの WDC 独自の業務として、

(3) 収集したデータをチェックして、必要があれば、比較検定や補正値を算出して、各観測所間の精度の均質化に努め、

(4) 時に応じて、収集したデータの基礎的な解析を行ない、

(5) 大気光分野の国際的・国内的な情報の交換や伝達、文献コピーの供給、

なども行なった⁽¹⁰⁰⁾。なお、初期の国内データは、われわれの WDC に集められた上で、日本学術会議から出版された^(22,23,28,29,30,32,33,34,41,42,46,52,62,69)。

この WDC 網は、国際地球観測年終了後も、半永久的に継続されることになり、その後の IGC, IQSY, IASY, MONSEE などの国際協同観測事業でも、その役割りを果し、現在もその業務を続けている。またその間に、ICSU 内での WDC を統括する機関も、最初の CSAGI から、1960年に国際地球物理委員会 (Comite International de Geophysique—略称 CIG) となり、さらに1967年に WDC 委員会 (ICSU Panel on WDCs) となり現在に至っている。

各国の WDC は、その設立当初から、それぞれの当事国の費用で運営されてきた。そして、日本の各 WDC は、その時々国際協同観測事業の特別事業費等で運営されており、そのため約20年間毎年概算要求書を書かなければならなかった。こうするうちに、1978年に至り、文部省所轄機関の WDC が全部、それぞれの所属機関の附属施設になったので、それ以後は運営費の財源的基盤が安定した。

東京天文台では、これより先、1969年の IASY のときに、日本学術会議国際地球観測特別委員会 STP (Solar Terrestrial Physics の略) 部会の勧告をうけ、太陽光国内資料センター (National Data Center—略して NDC) が設置され、太陽物理部がその業務を行っていた。そこで、1978年に全国の WDC が附属施設となったときに、大気光の WDC と、太陽光の NDC を統合して、「太陽活動世界資料解析センター」が、東京天文台の附属施設として発足した。しかし、この施設の内容は上記のように2つに分かれているので、実際の

業務は今までどおり、大気光関係は測光部、太陽光関係は太陽物理部が、それぞれ担当することになった。この施設は、国立天文台に移行後も存続しており、施設長は年代順に守山史生、田鍋浩義、日江井栄二郎、平山 淳と引き継がれて、現在に至っている。また1984年には、嵩地が測光部からこのセンターに、配置換えになった。

なお、大気光 WDC は、こうして1978年以降は、太陽活動世界資料センターの1部となったが、国際的には、これまで同様に WDC-C2 for Airglow として、活動が続けている。大気光 WDC の責任者は、古畑から1973年に田鍋が受け継ぎ、1991年からは安藤裕康となった。実際の業務は、IGY の頃は飛田、ついで八百が行なったが、1972年以降は、田中が現在に至るまで担当している。

9.2 データの保管と活動状況

大気光世界資料センターには、1957年の国際地球観測年の開始以来、国内、国外の観測所や、他の WDC から送られて来た、すべての大気光データが保管されている。これらは、いずれも紙に印刷された、表またはグラフの形式である。

主なものは、5577 Å と 6300 Å の酸素輝線と 5890-96 Å のナトリウム輝線の光電観測や分光観測から得られた毎時 0 分の絶対強度 (単位: Rayleigh) のデータで、天頂観測のものも、全天観測のものもある。また OH 帯や 5300 Å 背景光のデータもある。われわれが、丸山以来行なった観測データも、全部保管してあり、とくに木曾の観測は、各輝線の毎分毎のデータが、絶対値の表とグラフの形で保管され、必要に応じて、いつでも取り出せるようになっている。

保管されているデータの発送元の観測所の数は、国内国外合せて約40カ所であるが、そのうち、比較的長期間にわたって、連続したデータがあるのは、以下の観測所である。

東京天文台	1957年～1990年
新潟大学	1957年～1991年(現在も継続中)
Haute Provence(フランス)	1960～1976年
Mt. Abu(インド)	1964～1974年
Haleakala(ハワイ)	1961～1969年
保管全データのカタログは、1977年に田中の努	

力により出版したが⁽¹⁰⁶⁾、その後は人手不足のため、出版できないでいる。

また、国内の観測所からの毎月のデータをとりとまとめ、隔月に開かれる STP 関係研究者の集会である太陽地球環境専門委員会（通称 STEC）で、1967年までは中村が、その後1986年までは高地^(84,87,94,95,97,105,107)が報告していたが、現在は田中^(131,132)が受け継いでこれを行なっている。さらにこれらの国内データ（毎時0分値）を、1年分まとめて編集し、「Airglow Data in Japan」として毎年定期的に出版し、世界の WDC や関連の研究所・研究者に配布している。

他の刊行物としては、収集したデータの基礎的な解析結果や、特定の観測のデータ集などを、不定期に出版している^(83,98)。最近では、1979～1988年の期間の木曾での大気光観測の全データ（毎分値）のグラフ集3冊を出版した^(125,129,130)。

このように、毎年収集したデータは定期的、また特定のデータ集は不定期的に出版して、各国の多くの関連研究者に配布しているので、あらた

めてデータの請求をうけることは、比較的少ないが、それでも時どき、保管している過去のデータについて、問い合わせや請求があり、時には数100枚のデータを複写して送付することがある。

なお、大気光観測事業と WDC は、同じ国際協力事業から生まれたものであるが、その国際組織は、全く別系統である。われわれは、たまたま東京天文台測光部で、両方の業務を行なっていたので、しばしば両者を混同して、1体のものと考えられたりしたこともあるが、外国の WDC では、データの収集・保管・交換の業務だけを行なって、観測はしていない所もある。われわれの場合も、正確に言えば、測光部の大気光観測事業で得られたデータを、同じ測光部内の WDC に送付して、保管・交換を行なっていたのである。

したがって、今回、大気光観測事業の方は終了させたが、WDC-C2 for Airglow の方は、今まで通り、現在も業務を継続している。

10. おわりに

われわれが、国際地球観測年で大気光観測事業を始めた頃は、大気光の研究はまだ天文学者の守備範囲であった。これは、第2章の大気光の説明でも述べたように、大気光の存在は天文学者によって最初に気付かれ、天文観測の邪魔物として、天文学者によって研究されて来たという、歴史的経過によるものである。

そのため、国際天文学連合（IAU）の夜天光を取り扱う Commission 21 でも、1958年に設立（1938年から Sub-commission になっていた）されて以後、1973年頃までは、大気光は1つの大きな研究テーマであった。

しかし、国際地球観測年を契機として、地球物理学者で大気光に興味をもつ人が、しだいに多くなってきた。大気光は、地球上層大気の状態について、種々の情報をもたらすものとして、研究され始めたのである。そして、地球物理学者にとって、それまでは比較的不馴れであった光学観測も、各地で行われるようになった。こうして、大気光研究の重点は、天文学の分野から地球物理学の分野へと、しだいに移っていった。

こうした情勢にともない、IAU の Commission

AIRGLOW DATA

for Dec., 1989

Station Kiso

Radiation 5577 Å

Longitude 137° 38' E

Latitude 35° 48' N

Absolute Zenith Intensities in Rayleighs

JST	18	19	20	21	22	23	0	1	2	3	4	5	6
UT	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21
1989													
Dec.													
1-2		80	90	75	80	70	80	65	65	60	60	55	
2-3					55	95	105	105	*	115	100	60	
3-4				65	90	110	130	90	100	95	70	75	
4-5					110	150	115	130	125	115	75	65	
5-6						235	225	220	195	145	105	75	
6-7							110	220	*	210	180	135	
8-9										110	165	155	110
9-10											90	85	
10-11			60	60									
11-12		70	70										
12-13		85	90	105	80	85							
13-14	125	135	160	145	145	135							
14-15	100	*	*	120	170	155	165						
15-16		125	165	105	130	165	225	135					
16-17					170	195	235	195	210				
17-18	130	145	105	100	85								
18-19						160							
19-20							60	75	80	80	60	55	
20-21	90	100	80	85	70	55	*	*	85	95			
21-22	70	55	65	65	70	70	*	*	95	80	80	70	
22-23		55	55	60	*	*	*	*	90	90			
23-24									85	90	10	60	
24-25					55	*	*	*					

Remarks * Extrapolated or interpolated value from measurements within 10 minutes
* Interrupted by accident or cloud : Poor value - Moon shine

図43 大気光 WDC-C 2 から毎年定期的に出版されている Airglow Data in Japan の1頁。

21 でも、夜天光の成分光のうちの大気光は、原則として天文観測に関係のあるものだけを取り扱い、詳しい物理的解釈などは、地球物理学の学会に任せる、という申し合せを、1976年のグルノーブル総会のときに行なった。

われわれが、今回、大気光観測事業を終了させたのは、筆者のうちの高地が1986年に、また田鍋が1989年に停年退職したためでもあるが、上記のように、大気光の研究が地球物理分野に移っていたことも、われわれにとって、1つの理由でもあった。

しかし、夜天光の他の成分光、つまり黄道光や銀河散乱光等々の観測はもとより、一般の天文観測でも、地上から観測を行なう限り、大気光の影響はどうしても避けることはできない。そのためには、どこかで誰かが常時、大気光現象の監視を行なっていることは、望ましいことである。

われわれが、木曾の夜天光観測室で使用していた大気光の観測器は、まだ健在で当分の間は使用に耐えうる。そして幸いにも、われわれが観測をやめた後、新潟大学が引き継いで、木曾で同じ観測器を使って、観測を行なっている。願わくばできるだけ長く、観測を続けてほしいと思っている。

最後に、われわれの観測経験から、今後の大気光観測器について、感想を述べておこう。われわれが、大気光観測事業を始めた頃は、検出器として光電子増倍管が、一応手に入り出した時期であった。当時は、これが感度も精度も最も良い、最新の光検出器であったので、われわれはこれを使って、30数年間、大気光観測を続けてきた。もっとも、この間には光電子増倍管も種々の改良が行われたので、新しい観測器を作る毎に、目的に応じて新しい光電子増倍管を使ったが、光電測光であることには変りはなかった。

ところが最近では、非常に良い撮像管や撮像素子が開発されて、実用化されてきた。これに魚眼レンズをつけて、大気光の全天観測を行なう試みも、すでにいくつかの研究機関で始められている。

光電観測では、例えば全天を掃天する場合、測光器の望遠鏡をあちこちに向けなければならないので、全天を1回掃査し終るまでに、時間がかかってしまう。とくに大気光のように、時間的に変化するものは、空の部分によって測定時刻が違

と、得られた全天強度分布も、正確には同一時刻のものとはいえない。また、空の測定点の間に、どうしても隙間ができてしまう。その点、上記の撮像装置で、全天を一挙に撮像できれば、本当に同一時刻のしかも隙間のない分布図が得られる。とくに、われわれが沖縄の西表島で観測したような、6300 Å輝線の狭い谷の全天分布などは、全天撮像で観測すれば、もっと詳しい構造などが、わかるであろう。

大気光観測は近い将来、これまでの光電観測に替って、撮像観測が主流になるであろうと思っている。

本稿を、日本の大気光観測のパイオニアであり、われわれの良きリーダーであった、故古畑正秋元東京天文台長に捧げる。

東京／国立天文台 夜天光グループ 大気光関係文献リスト

- 1) Huruata, M.: 1947, Photo-electric Observations of Twilight, *Japan J. Astr. Geophys.* **21**, 191.
- 2) Huruata, M.: 1947, Photoelectric Study of the Night Sky Light (I), *Rep. Ionosph. Res. Japan*, **1**.
- 3) 古畑正秋: 1947, 夜光の光電観測, 電離層特別委員会研究論文集, 第1輯, p. 33.
- 4) Huruata, M.: 1948, Polarization of the Night Sky Light and the Zodiacal Light, *Tokyo Astr. Bull., 2nd series*, **10**.
- 5) Huruata, M.: 1950, Photoelectric Studies of the Night Sky Light (II), *Rep. Ionosph. Res. Japan*, **4**, 137.
- 6) Huruata, M.: 1952, Photoelectric Studies of the Night Sky Light (III) *Rep. Ionosph. Res. Japan*, **6**, 31.
- 7) Huruata, M.: 1953, Photoelectric Studies of the Night Sky Light, *Ann. Tokyo Astr. Obs., 2nd series*, **3**, 165.
- 8) 古畑正秋, 中村 強, 田鍋浩義: 1953, 夜光の新光電測光装置, 東京天文台報, **10**, 230.
- 9) Huruata, M., Tanabe, H. and Nakamura, T.: 1955, Photoelectric Studies of the Night Sky Light (IV), *Rep. Ionosph. Res. Japan*, **9**, 136.
- 10) Huruata, M., Tanabe, H. and Nakamura, T.: 1955, Photoelectric Study of the Night-airglow, in *The Airglow and the Aurorae* (Pergamon Press), p. 20.
- 11) 古畑正秋: 1956, 極光および夜光の観測, 科学, **26**,

- 643.
- 12) Huruhata, M., Nakamura, T. and Tanabe, H.: 1957, Scanning Photoelectric Photometer and Method of Observation of Night Airglow for the International Geophysical Year, *Tokyo Astr. Bull., 2nd series*, **94**.
- 13) Huruhata, M. and Tohmatsu, T.: 1957, The Transfer Problem of Nightglow and its Applications to photoelectric Photometry, *Rep. Ionosph. Res. Japan*, **11**, 11.
- 14) Huruhata, M. and Nakamura, J.: 1957, Airglow Observations on board the "Soya", Japanese Expedition Ship to Antarctic, *Rep. Ionosph. Res. Japan*, **11**, 35.
- 15) Tanabe, H. and Tohmatsu, T.: 1957, On the Latitude Effect of Airglow Intensity, *Rep. Ionosph. Res. Japan*, **11**, 145.
- 16) Nakamura, J.: 1957, Latitude Effect of Night Airglow, *J. Geophys. Res.*, **62**, 487.
- 17) 古畑正秋: 1957, 国際地球観測年中のオーロラ観測, *天文月報*, **50**, 10.
- 18) 畑中武夫, 古畑正秋, 宮地政司: 1957, 国際地球観測年西太平洋地域連絡会議・極光および夜光部会, *天文月報*, **50**, 69.
- 19) 古畑正秋: 1957, 3月2日北海道にオーロラ, *天文月報*, **50**, 84.
- 20) Huruhata, M.: 1958, Aurora and Airglow Observation on February 11, 1958, *Rep. Ionosph. Res. Japan*, **12**, 40.
- 21) Nakamura, J.: 1958, Latitude Effect of Night Airglow, *Rep. Ionosph. Res. Japan*, **12**, 419.
- 22) Aurora and Airglow, *Japanese Contribution to the IGY 1957/58*, **1**, 28, 1958.
- 23) *Isophote Maps of Night Airglow during the International Geophysical Year*, No. **1** (National Committee for the IGY, Science Council of Japan), 1958.
- 24) 古畑正秋: 1958, 2月11日のオーロラ概報, *天文月報*, **51**, 68.
- 25) 中村純二: 1958, 宗谷船上における夜光観測, 南極資料第3号, (文部省), p. 125.
- 26) Huruhata, M. Nakamura, T., Tanabe, H. and Tohmatsu, T.: 1959, Oxygen Red Line in the Night Airglow and Ionospheric F2 Region, *Rep. Ionosph. Space Res. Japan*, **13**, 283.
- 27) Tanabe, H. and Tohmatsu, T.: 1959, Observation of Day Airglow during the Solar Eclipse, *Rep. Ionosph. Space Res. Japan*, **13**, 290.
- 28) *Isophote Maps of Night Airglow during the International Geophysical Year*, No. **2** (National Committee for the IGY, Science Council of Japan), 1959.
- 29) *Isophote Maps of Night Airglow during the International Geophysical Year*, No. **3** (National Committee for the IGY, Science Council of Japan), 1959.
- 30) *Absolute Intensity of Night Airglow (5577Å) during the International Geophysical Year-Supplement to the Isophote Maps of Night Airglow* (National Committee for the IGY, Science Council of Japan), 1959.
- 31) 中村純二: 1959, 夜光の緯度効果, 南極資料第7号 (文部省), p. 398.
- 32) Aurora and Airglow, *Japanese Contribution to the IGY 1957/58*, **2**, 44, 1960.
- 33) *Isophote Maps of Night Airglow (for the Selected Period) during the International Geophysical Cooperation 1959* (National Committee for the IGC, Science Council of Japan), 1960.
- 34) *Airglow Intensity obtained with Patrol Spectrograph during the International Geophysical Year 1957/58 and the International Geophysical Cooperation 1959* (National Committee for the IGC, Science Council of Japan), 1960.
- 35) Nakamura, T.: 1960, Latitude Dependency of Airglow Emissions, *Antarctic Record*, No. **11**, 237.
- 36) Nakamura, T.: 1961, Latitude Effect of Oxygen Red Line of Night Airglow and its Relation with Ionospheric F-layer, *Rep. Ionosph. Space Res. Japan*, **15**, 245.
- 37) 中村 強: 1961, 第4次宗谷船上における大気光輝線の光電観測結果報告, 南極資料第12号, (文部省), p. 14.
- 38) Nakamura, T.: 1961, Photoelectric Observations of the Night Airglow Emissions (5577Å, 5893Å, 6300Å and OH Infrared), *Antarctic Record*, No. **12**, 14.
- 39) 古畑正秋: 1961, 大気光観測装置, 生産研究 (東京大学生産技術研究所), **13**, 123.
- 40) Huruhata, M., Nakamura, T., Nakamura, J and Nakamura, M.: 1962, A Rocket Observation of Night Airglow, *Proc. 4th Intern. Symp. Space Tech. Sci., Tokyo*, p. 459.
- 41) Aurora and Airglow, *Japanese Contribution to the IGY and IGC*, **4**, 33, 1962.
- 42) *Absolute Intensity of 5577 Å [OI] Emission at Syowa Station during the IGC, 1959* (National Committee for IGC, Science Council of Japan), 1962.
- 43) 古畑正秋: 1962, ロケットによる大気光の観測, *天文月報*, **55**, 28.
- 44) 田鍋浩義: 1962, ハレアカラ大気光観測所, *天文月報*, **55**, 217.
- 45) Huruhata, M. and Nakamura, T.: 1963, Stability of Fluorescent Standard Light, *Tokyo Astr. Bull., 2nd series*, **160**.

- 46) Aurora and Airglow, *Japanese Contribution to the IGY and IGC*, **5**, 36, 1963.
- 47) 古畑正秋：1963, 夜天光, 籾木・宮地両教授還暦記念論文集, p. 355.
- 48) 古畑正秋, 中村正年, 中村 強, 中村純二：1963, ロケットによる大気光層の高さの測定, 生産研究(東京大学生産技術研究所), **15**, 300.
- 49) Compiled by Huruhashi, M.: 1963, JARE Scientific Reports, Aeronomy—Airglow Intensity observed on the Soya Japanese Expedition Ship to the Antarctic, 1956-1962, *Japan Antarctic Res. Exp. Sci. Rep. Series A*, No. **2** (National Science Museum).
- 50) Tanabe, H.: 1964, Zodiacal Light and Airglow Components at 5300Å, *Publ. Astr. Soc. Japan*, **16**, 324.
- 51) Tanabe, H.: 1964, Further Evidence for the Existence of an Airglow Radiation near 5300Å Independent of 5577Å Line, *Publ. Astr. Soc. Japan*, **16**, 340.
- 52) Aurora and Airglow, *Japanese Contribution to the IGY and IGC*, **6**, 19, 1964.
- 53) 古畑正秋, 秋田一雄, 嵩地 厚, 山鹿修蔵：1964, 発光弾による風の観測, ロケット搭載用超高層観測装置の研究 (文部省科研費), 第1号, p. 188.
- 54) 古畑正秋, 中村 強：1964, 大気光観測, ロケット搭載用超高層観測装置の研究, (文部省科研費), 第2号, p. 92.
- 55) 中村純二, 秋田一雄, 斎藤馨児：1964, 発光弾による風の観測, 生産研究 (東京大学生産技術研究所), **16**, 398.
- 56) Huruhashi, M., Nakamura, T. and Tanabe, H.: 1965, Rocket Observations of Emitting Height of 6300Å Line of Oxygen in the Night Airglow, *Proc. 6th Intern. Symp. Space Tech. Sci. Tokyo*, p. 733.
- 57) Huruhashi, M.: 1965, Correlation between the OH Radiation in the Night Airglow and the Height of the 10-millibar Surface, *J. Geophys. Res.*, **70**, 4927.
- 58) Huruhashi, M.: 1965, Lunar Tidal Effect on the Oxygen Green Line in the Night Airglow, *J. Geophys. Res.*, **70**, 5979.
- 59) 中村 強：1965, 夜間大気光, 電気学会雑誌, **85**, No. 927.
- 60) 古畑正秋：1965, 極光と夜光, 新天文学講座, 第5巻 (恒星社), p. 211.
- 61) Tanabe, H.: 1965, Photoelectric Observations of the Gegenschein, *Publ. Astr. Soc. Japan*, **17**, 339.
- 62) Aurora and Airglow, *Japanese Contribution to the IQSY 1964-1965*, **1**, 36, 1966.
- 63) Huruhashi, M., Nakamura, J. and Saito, K.: 1966, Measurement of Upper Atmospheric Wind by Sodium Cloud Drifts, *Rep. Ionosph. Space Res. Japan*, **20**, 214.
- 64) Huruhashi, M., Nakamura, T. and Tanabe, H.: 1966, Rocket Observations of Emitting Height of 6300Å Oxygen Line in Night Airglow, *Rep. Ionosph. Space Res. Japan*, **20**, 223.
- 65) 古畑正秋：1966, 太陽放射・天体分光関係, 宇宙航空研究所報告 (東京大学宇宙航空研究所), **2**, 第1号 (B), 189.
- 66) 古畑正秋, 田鍋浩義：1966, 黄道光・大気光の観測, 宇宙航空研究所報告 (東京大学宇宙航空研究所), **2**, 第1号 (C), 300.
- 67) 中村 強：1966, ロケットによる夜間大気光の観測, 宇宙航空研究所報告 (東京大学宇宙航空研究所), **2**, 第3号 (B), 1097.
- 68) 古畑正秋, 中村 強, 田鍋浩義：1966, ロケットによる夜間大気光6300Å輝線観測結果と飛翔中の温度測定結果, ロケット搭載用超高層観測装置の研究 (文部省科研費), 第3号, p. 162.
- 69) Aurora and Airglow, *Japanese Contribution to the IQSY 1964-65*, **2**, 23, 1967.
- 70) Huruhashi, M. and Nakamura, T.: 1967, Rocket Observations of Emission Heights of 6300Å Line in Night Airglow, *Space Research VIII*. (North-Holland Publ. Co.), p. 699.
- 71) Huruhashi, M., Nakamura, T. and Steiger, W.: 1967, A Rocket Observation of [OI] 5577Å Emission and Continuum at 5300Å in Night Airglow, *Rep. Ionosph. Space Res. Japan*, **21**, 229.
- 72) 古畑正秋, 中村 強：1967, ロケットによる夜間大気光6300Å輝線発光層の観測, 宇宙航空研究所報告 (東京大学宇宙航空研究所), **3**, 549.
- 73) 中村 強：1967, 6300Å大気光のロケット観測, 超高層大気分光学的研究, (東京大学宇宙航空研究所), p. 99.
- 74) 古畑正秋, 中村 強, 田鍋浩義：1967, 夜間大気光の観測, 宇宙観測シンポジウム集録 (東京大学宇宙航空研究所), p. 72.
- 75) 古畑正秋：1967, Na 雲による風の昼間観測法, 宇宙観測シンポジウム集録 (東京大学宇宙航空研究所), p. 246.
- 76) 田鍋浩義：1967, ロケット用 star-sensor の開発, 宇宙観測シンポジウム集録 (東京大学宇宙航空研究所), p. 519.
- 77) 田鍋浩義：1967, ロケットの姿勢決定, 宇宙科学観測装置のシンポジウム集録 (東京大学宇宙航空研究所).
- 78) 田鍋浩義, 斎藤馨児, 嵩地 厚：1968, 黄道光・大気光の観測, 大気球シンポジウム集録 (東京大学宇宙航空研究所), p. 130.
- 79) 古畑正秋, 嵩地 厚：1968, ナトリウム雲の昼間観測の予備実験, 宇宙観測シンポジウム集録 (東京大学宇宙航空研究所), p. 123.
- 80) 古畑正秋：1968, 大気光観測について, IASY シンポジウム集録 (東京大学宇宙航空研究所), p. 263.

- 81) 田鍋浩義, 鎌田哲夫: 1969, 小笠原父島における宇宙科学観測地調査報告 (東京天文台測光部).
- 82) 斎藤馨児, 萩原雄介: 1969, K-10-5 のアスペクト, 宇宙観測シンポジウム集録 (東京大学宇宙航空研究所), p. 39.
- 83) Sawado, N. and Tanaka, K.: 1970, *Composite Airglow Maps of [OI] 5577Å* (World Data Center C2 (Airglow), Tokyo Astr. Obs.).
- 84) Takechi, A.: 1971, Solar Terrestrial Phenomena of 6-10, March 1970—Zenith Intensity of Night Airglow, *Rep. Ionosph. Space Res., Japan*, **25**, 88.
- 85) 嵩地 厚: 1971, 夜間大気光高速掃天装置, IASY シンポジウム集録 (東京大学宇宙航空研究所), p. 258.
- 86) 田鍋浩義, 嵩地 厚: 1971, K-10-7 の姿勢について, 宇宙観測シンポジウム集録 (東京大学宇宙航空研究所), p. 186.
- 87) Takechi, A.: 1972, Some Observational Results for the Solar-Terrestrial Events in August 1972—The Variations of the Night Airglow Intensities during August 6-13, 1972, *Rep. Ionosph. Space Res. Japan*, **26**, 321.
- 88) 嵩地 厚: 1972, 小笠原における夜間大気光観測, IASY シンポジウム集録 (東京大学宇宙航空研究所), p. 272.
- 89) 田鍋浩義: 1972, 偽黄道光の観測, IASY シンポジウム集録 (東京大学宇宙航空研究所), p. 450.
- 90) 中村 強: 1972, ロケットによる夜間大気光 (赤色) 連続光成分の測定, 宇宙航空研究所報告 (東京大学宇宙航空研究所), **8**, 69.
- 91) 銀河系部・測光部: 1973, 長野県木曽地方の天体観測条件の調査結果, 東京天文台報, **16**, 424.
- 92) 田鍋浩義, 嵩地 厚, 宮下曉彦, 三上良孝: 1973, 小笠原における夜間大気光観測, 東京天文台報, **16**, 624.
- 93) 田鍋浩義, 嵩地 厚: 1973, 水沢における天空輝度, 緯度観測所彙報, No. **13**, 235.
- 94) Takechi, A. and Saito, B.: 1973, The Variation of Night Airglow Intensities in December 16-19, 1971 at Chichijima (Ogasawara Is.), *Rep. Ionosph. Space Res. Japan*, **27**, 109, および電離圏・磁気圏研究会集録 (東京大学宇宙航空研究所), p. 49.
- 95) Takechi, A.: 1973, Night Airglow Intensities on August 9/10, 1972, *Rep. Ionosph. Space Res. Japan*, **27**, 183.
- 96) Takechi, A.: 1973, Airglow Observations at Chichijima (the Ogasawara Islands), in *Papers on the Night Sky Light and Airglow Data at Chichijima* (World Data Center C2 (Airglow), Tokyo Astr. Obs.), p. 40.
- 97) Matuura, N., Nakata, Y., Koizumi, T., Yamaoka, T., Ondoh, T., Nagai, M. and Takechi, A.: 1973, Storm Effects on the Ionosphere, 電離圏・磁気圏研究会集録 (東京大学宇宙航空研究所), p. 11.
- 98) *Papers on the Night Sky Light and Airglow Data at Chichijima* (World Data Center C2 (Airglow), Tokyo Astr. Obs.), 1973.
- 99) 田鍋浩義: 1974, 亜熱帯異常帯の総合探測, IMS シンポジウム集録 (東京大学宇宙航空研究所), p. 135.
- 100) 田鍋浩義: 1974, WDC の活動状況と将来構想, IMS シンポジウム集録 (東京大学宇宙航空研究所), p. 226.
- 101) 嵩地 厚, 田中京子, 宮下曉彦: 1974, 夜間大気光 (可視域) 強度標準の絶対測定, 宇宙放射線シンポジウム集録 (東京大学宇宙航空研究所), p. 61.
- 102) 宮下曉彦: 1974, 全天カメラによる火球の写真, 天文月報, **67**, 276.
- 103) 田鍋浩義: 1975, 亜熱帯異常帯の総合探測, IMS シンポジウム集録 (東京大学宇宙航空研究所), p. 134.
- 104) 嵩地 厚, 山口達二郎: 1976, 堂平の天空輝度, 東京天文台報, **17**, 494.
- 105) Takechi, A. and Tanaka, K.: 1977, Airglow Observations at Four Stations in Japan, 1957-1976, *Rep. Solar Terrestrial Environ. Res.*, **1**, 99.
- 106) *Catalogue of Airglow Data stored in World Data Center C2* (World Data Center C2 for Airglow, Tokyo Astr. Obs.), 1977.
- 107) Takechi, A. and Saito, B.: 1977, Night Airglow Intensities in Japan, 20 March-5 May 1976, in *Collected Data Reports for STIP Interval II, 20 March - 5 May 1976* (WDC-A for Solar-Terrestrial Physics), p. 302.
- 108) 田鍋浩義: 1977, 夜天光, 天文月報, **70**, 78.
- 109) 宮下曉彦, 勝部能之, 勝部倭子: 1979, 酸化インジウム透明電導膜による光学系の結露防止, 東京天文台報, **18**, 593.
- 110) 深谷力之助, 古川麒一郎, 原 寿男, 石井 久, 森田一郎, 鈴木駿策, 田鍋浩義, 嵩地 厚, 宮下曉彦: 1979, 三鷹の天空輝度について, 東京天文台報, **18**, 728.
- 111) Tanabe, H., Takechi, A. and Miyashita, A.: 1979, Observation of the False Zodiacal Light, IMS シンポジウム集録 (英文), (東京大学宇宙航空研究所), p. 194.
- 112) 小川利紘, 中村正年, 田鍋浩義, 牧野忠男: 1980, 酸素・水酸基大気光の同時観測計画 (K-9M-71), 宇宙観測シンポジウム集録 (東京大学宇宙航空研究所), p. 96.
- 113) 田鍋浩義: 1980, にせ黄道光, 天文月報, **73**, 102.
- 114) Tanabe, H., Takechi, A. and Miyashita, A.: 1981, Narrow Depressions of Low Latitude 6300 Å Airglow Intensity, *IGA Bull.*, No. **45**, 352.
- 115) 宮下曉彦: 1981, 星消去式電測光装置の製作, 天文観測 (主に光学) に関連した技術研究会集録, p. 66.
- 116) 宮下曉彦, 田鍋浩義, 嵩地 厚: 1982, S-310-10号機の姿勢, 宇宙観測シンポジウム集録 (宇宙科学研究所), p. 26.

- 117) 嵩地 厚, 田鍋浩義, 宮下曉彦: 1982, S-310-10号機による大気光緑線の観測, 宇宙観測シンポジウム集録 (宇宙科学研究所), p. 293.
- 118) 平尾邦雄, 小川利紘, 田鍋浩義, 小山孝一郎, 向井利典, 雨宮 宏, 渡辺勇三, 他: 1982, K-9M-76号機による磁気共役点光電子効果の実験計画, 宇宙観測シンポジウム集録 (宇宙科学研究所), p. 463.
- 119) 奥田光直, 田鍋浩義, 嵩地 厚, 宮下曉彦: 1983, OI 6300 Å大気光薄明前増光のロケット (K-9M-76) との地上同時観測, 宇宙観測シンポジウム集録 (宇宙科学研究所), p. 325.
- 120) 嵩地 厚, 宮下曉彦, 田鍋浩義, 奥田光直: 1983, K-9M-76号機による大気光赤線の観測, 宇宙観測シンポジウム集録 (宇宙科学研究所), p. 329.
- 121) 嵩地 厚, 宮下曉彦, 田鍋浩義, 奥田光直: 1984, K-9M-76号機による大気光赤線観測の結果, 宇宙観測シンポジウム集録 (宇宙科学研究所), p. 85.
- 122) 宮下曉彦, 田鍋浩義, 嵩地 厚: 1984, Star SensorによるK-9M-76号機の姿勢解析, 宇宙観測シンポジウム集録 (宇宙科学研究所), p. 117.
- 123) 宮下曉彦, 嵩地 厚, 田鍋浩義: 1984, 星消去式光電観測器, 光学的手法による大気の研究集会集録 (東北大学超高層物理学研究施設), p. 26.
- 124) 宮下曉彦, 田鍋浩義, 嵩地 厚: 1985, スターセンサーによるロケットの姿勢決定法, 東京天文台報, **20**, 445.
- 125) *Atlas of Zenith Airglow Radiations obtained at Kiso, Japan, 1979-1983*, (World Data Center C2 for Airglow, Tokyo Astr. Obs.), 1986.
- 126) Ogawa, T., Iwagami, N., Nakamura, M., Takano, M., Tanabe, H., Takechi, A., Miyashita, A. and Suzuki, K.: 1987, A Simultaneous Observation of the Height Profiles of the Night Airglow OI 5577 Å, O₂ Herzberg and Atmospheric Bands, *J. Geomag. Geoelect.*, **39**, 211.
- 127) Kita, K., Iwagami, N., Ogawa, T., Miyashita, A. and Tanabe, H.: 1988, Height Distributions of the Night Airglow Emissions in the O₂ Herzberg I System and Oxygen Green Line from a Simultaneous Rocket Observation, *J. Geomag. Geoelect.*, **40**, 1067.
- 128) 北 和之, 岩上直幹, 小川利紘, 宮下曉彦, 田鍋浩義: 1989, 同時ロケット観測による夜間大気光酸素分子ヘルツベルグ I 帯及び酸素原子557.7nm 緑線の励起機構の研究, 宇宙科学研究所報告宇宙観測特集号 (宇宙科学研究所), 第23号, p. 233.
- 129) *Atlas of Zenith Airglow Radiations obtained at Kiso, Japan, 1984-1988* (World Data Center C2 for Airglow, National Astr. Obs.), 1989.
- 130) Tanaka, K., Miyashita, A., Takechi, A. and Tanabe, H.: 1989, *Atlas of Zenith 5300 Å Brightness obtained at Kiso, Japan, 1979-1988* (World Data Center C2 for Airglow, National Astr. Obs.).
- 131) 田中京子: 1990, 木曽における大気光データ速報, STE 異常現象観測データ集 (名古屋大学太陽地球環境研究所), No. 1.
- 132) 田中京子: 1991, 木曽における大気光データ速報, STE 異常現象観測データ集 (名古屋大学太陽地球環境研究所), No. 3.