

気球望遠鏡による晚期型巨星の観測

小 平 桂 一*

1. はじめに

宵空にきらめく星々のまたたきは美しいが、定量的な測定をしようとする天文観測者にとっては、誠に厄介なしき物である。恒星を出発した光波は、比較的静かな、何十光年百光年という星間空間を遙々と旅して来る。それが地球大気に突入すると、大気の乱流に甚々しく乱されて、星のまたたきとなる。地球大気は、光波面を乱すばかりでなく、3000 オングストローム位より短い波長をもつ高エネルギーの光子や、赤外域の光子を吸収して、せっかく伝わって来た情報を、地上の人類から遮ってしまう。大気層は地球にとって薄皮に過ぎないが、密度が高いために、その吸収は、全銀河系を横切る場合の星間吸収にも匹敵する。当然のことながら、この薄皮の外に出て観測をしようという努力がなされるが、地球の引力に逆らって装置を打ち上げ、大気圏外の苛酷な環境で作動させるには、莫大な資財と多くの工夫が必要となる。その点、成層圏気球を利用した観測では、少ない費用で好条件が得られる上に、改良しつつ繰り返し実験

することが可能である。特に赤外域のように、大気下層に集積する水蒸気等の成分にだけ強く吸収される波長域の観測では、成層圏気球利用の利点が非常に大きい。

東京大学の天文学教室では、藤田良雄先生以来、山下泰正・辻隆両氏をはじめとする多くの人々が低温度星の観測的・理論的研究にたずさわってきたが、このような晚期型星の放射エネルギーの多くの部分は近赤外域を流れ、地上観測は容易ではない。とりわけ、恒星の物理的研究を行う際の基本量とも言うべき有効温度の決定には、赤外域の観測が不可欠である。また、低温度星表面では、地球大気中にあるものと同種の分子が形成されるが、その吸収スペクトルは地球大気のものによって、覆い隠されてしまう。晚期型巨星の有効温度を決定し、その表面での水蒸気形成を調べる目的で、気球望遠鏡(Balloon-borne Astronomical Telescope=BAT-1)を開発し、昭和49年から53年にわたる一連の観測を完了、データの整約をほぼ終えたので、経過を振り返えってみたい。

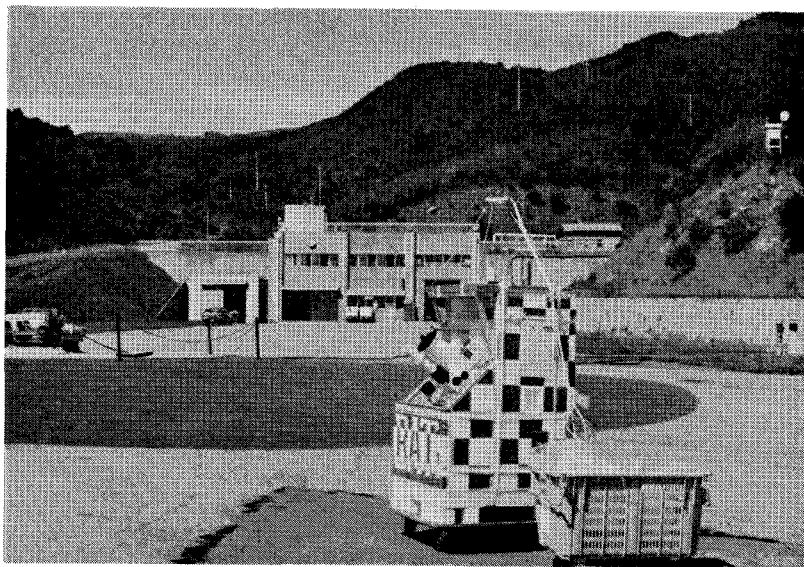


図1 成層圏気球の放球場風景

東京大学宇宙航空研究所三陸大気球観測所。左端は放球車、建物2階が放球指令室；受信点は背景の山の頂にある。

* 東大・理 Keiichi Kodaira: Observation of late-type giants by a balloon-borne astronomical telescope (BAT-1)

2. 気球用望遠鏡

我々のグループで開発製作した BAT-1 号の構造は図 2 のとおりで、口径 15 cm の赤外測光用主望遠鏡と、恒星追尾用の口径 5 cm の屈折鏡を同架したものである（三鷹光器製）。気球用望遠鏡の地上用と異なる点は、自動

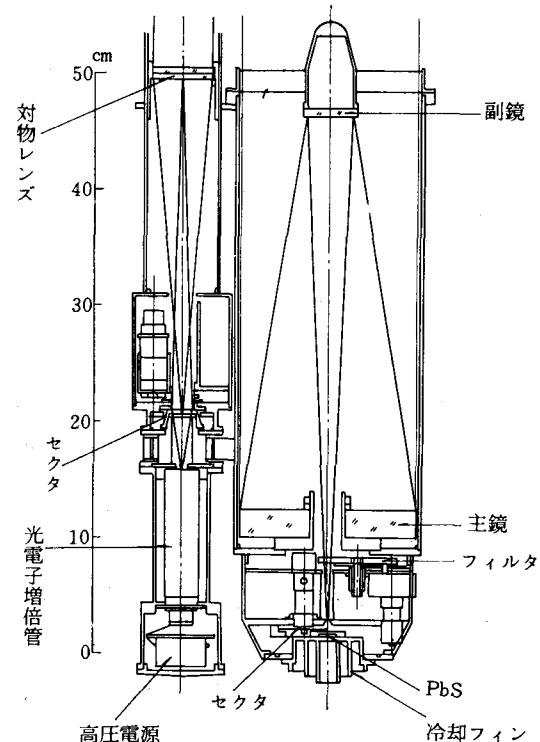


図 2 15 cm 気球望遠鏡 BAT-1 号光学系。左がガイド鏡、右が主望遠鏡。

的に目的の恒星を捕捉し、これを高い精度で追尾する機能を備え、地上通信点との間で、電波による指令やデータの授受が可能であることである。捕捉追尾系は、当天文学教室の田中済氏の昭和 47/48 年の開発研究の成果である。天球に対する位置設定を容易にするために、昭和 49 年には逆赤道儀型（図 3）として製作されたが、捕捉性能の向上にともなって、昭和 53 年には、より安定性の良い経緯台型に改造された。これは、さらに大型の気球望遠鏡を製作する場合に経緯台型が必要となることを見越して、予備実験を兼ねたものである。図 4 の改造型では、目的天体を探す場合に、 $2^\circ \sim 4^\circ$ の視野を監視できるレチコン・カメラが、下側に同架されているのが見える。このカメラは、機械技術研究所の矢島信之氏らの協力によって、昭和 51 年の第 3 回観測から併用された。望遠鏡を収納したゴンドラの下部や後部には、望遠鏡の駆動・制御系や、地上との通信のための電子機器が搭載され、全体としては図 5（=表紙写真）のような形となって、ザイルで気球に吊り下げられる。ゴンドラは釣り合いを良くして鉛直方向と形状垂直軸を合わせ、方位は磁気センサで検知して、宇宙航空研究所の西村純氏らの開発になる吊り紐のよじりを利用した方式で $\pm 1^\circ$ 程度に制御する。こうして架台の空間位置を定めた上で、地上からの電波指令によって、望遠鏡系を目的天体の方向に向ける。電波によって伝わってくる望遠鏡系の方向と、刻々に計算される天体の方向との差が消えるように操作して、監視カメラの視野内に目的星が入って来れば、それを中心に寄せて、捕捉追尾系のスイッチを入れると、準備完了である。追尾望遠鏡の焦点面近くに回転セクタがあり、星像の位置の視野中心からのずれを検出して、そのずれを消すようにサーボ系が働く（図 6）。この追

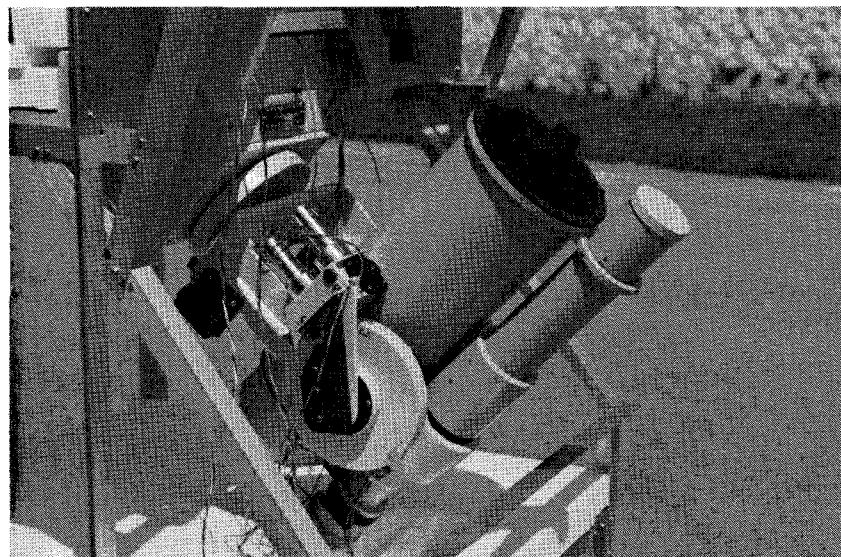


図 3 気球望遠鏡 BAT-1.
オリジナル・スタイル

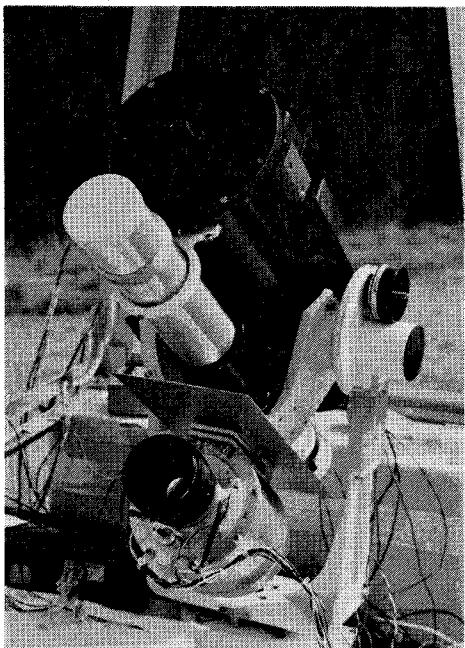
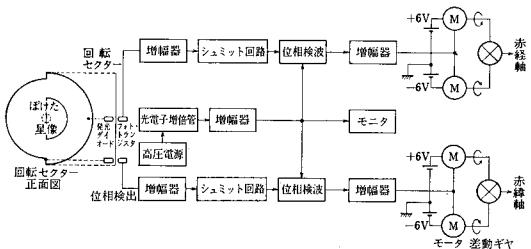


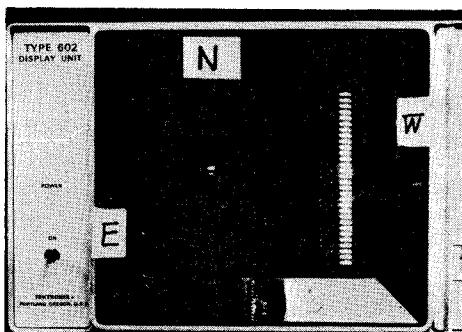
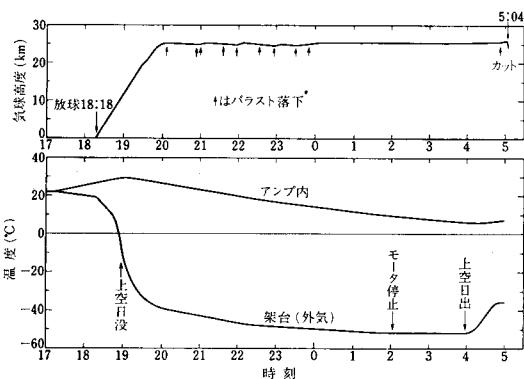
図 4 気球望遠鏡 BAT-1、最終スタイル

図 6 試作スター・フォロワ・ブロック・ダイヤグラム。実用機では自動利得調整回路 AGC が加わり、第 2 回フライトからはバイアス電圧が $\pm 6 \text{ V}$ から $\pm 7.5 \text{ V}$ となった。

尾系の捕捉視野は約 1° で、追尾精度は、好条件下で $\pm 15''$ 、条件が悪いと $1' \sim 2'$ 、追尾限界等級は約 6 等である。測光器のダイヤフラムが $3'$ なので、時には星が出入りすることもあった。条件の良し悪しは、主として、観測星の方位によっては励起されるゴンドラの振り子運動の強弱に依る。観測者は、電送されるレチコン・カメラの視野や、送られてくる情報を CRT 画面(図 7)などで監視しながら、赤外観測を行い、測光データが記録されるのを見守ることになる。気球望遠鏡にとって姿勢制御が重要なことは明らかであるが、意外に困難なのが熱収支の問題である。モータや電気系の冷えこみを防ぐ一方、部分的な過熱も防がなくてはならない。上空では気圧が低いために対流よりも伝導が効くが、地上実験中や待期中には、常温常圧下で作動させなくてはならない。図 8 は高度と温度の変化例を示したものである。

```
*BAT-1 FIFTH FLIGHT*
Balloon LONG= 140:58
                  LAT = 38:56
Clock      JST = 1:24.7
                  LST = 0:30.2
Gondola    AZIM=- 90:00
Telescope   AZIM=- 12:23
                  ALT = 60:12
Star No. 46 P Per
R.A.= 3:03.8
DECL= 38:45
AZIM=-181:57
ALT = 60:12
Ag+At-Az=- 0:26
Ht-Hs= 0:00
P.A. -- 77:31
```

図 7a CRT 表示の例

図 7b レチコン・カメラの電送画面上の α Aql. 数ヶの画素にわたっている。図 8 気球高度と温度変化の一例。1976.5.29 第3回フライト (B₅-70)。

3. 観測実験経過

表 1 に掲げたように、計 5 回の飛揚実験が行われたが、いずれも宇宙航空研究所の三陸大気球観測所から放球され、約 25 km の高度で観測を行った。同所の気球グループの甚大な力添えを得て初めて可能であったことは、

表 1 BAT-ライト・テーブル

回 数	1	2	3	4	5
気 球	B ₅ — 59	B ₅ — 63	B ₅ — 70	B ₅ — 81	B ₅ — 87
放 球 日	1974.9.13	1975.6.17	1976.5.29	1977.9.16	1978.9.1
放 球 時 刻	21 ^h 11 ^m	18 ^h 31 ^m	18 ^h 18 ^m	17 ^h 44 ^m	18 ^h 16 ^m
観 测 始	22 48	20 07	20 13	19 23	20 26
観 测 終	翌 3 45	翌 1 42	翌 2 12	翌 3 19	翌 4 28
カ ッ ト	翌 12 24	翌 1 53	翌 5 04	翌 5 46	翌 4 56
回 収 場 所	気仙沼市東方海上	鶴岡市西方海上	鳥海山山ろく	月山山ろく	横手盆地
回 収 日 付	1974.9.14	1975.6.18	1976.6. 1	1977.9.22	1978.9. 5
観 测 星 数	7	3	10	14	22
測 光 星 数	0	2	7	13	17

言うまでもない。しかしながら、成層圏観測という好条件を生かすためには、事前の十分な機器調整と長期間にわたる細心の準備が必要であって、我々のグループ以外の学生の方々に手伝って貰ったこともしばしばあった。飛揚実験は、いわば相撲取りの本場所であって、その間のたゆまざる稽古に相当する準備実験が大切である。参加したメンバーは、田中済・中田好一両氏を中心に、大学院生の渡辺鉄哉、尾中敬（現：カリフォルニア大）、長谷川哲夫、吉田春夫、古くは、小牧和雄（現：国土地理院）、長井嗣信（現：気象庁）の諸君である。特に渡辺・尾中の両君は、大学院在籍中の全期間を通じて、BAT-1計画推進の中心的役割を果した。年間を通じての実験サ

イクルは、機器の組立、較正および調整を経て、東京における予備観測、送受信系との噛み合せ、三陸への輸送、現地における最終調整、電波テスト、飛揚、回収、データの整約検討、機器の改良設計、改良部分の製作、という順序で行われた。東京の空は明るいので、恒星追尾系が後楽園球場のナイターの照明を捕捉してしまうという珍事も生じた。したがって、輸送による損傷のチェックも兼ねての三陸における現地地上観測は重要で、「放球予程日までに晴夜に恵れますように」と、毎回祈るような気持で出発した。現地滞在は5日から一週間程度で、放球前日に晴れたりすると、夜間観測を行った翌日に、朝から最終調整を行って、昼過ぎには電波噛み合せ

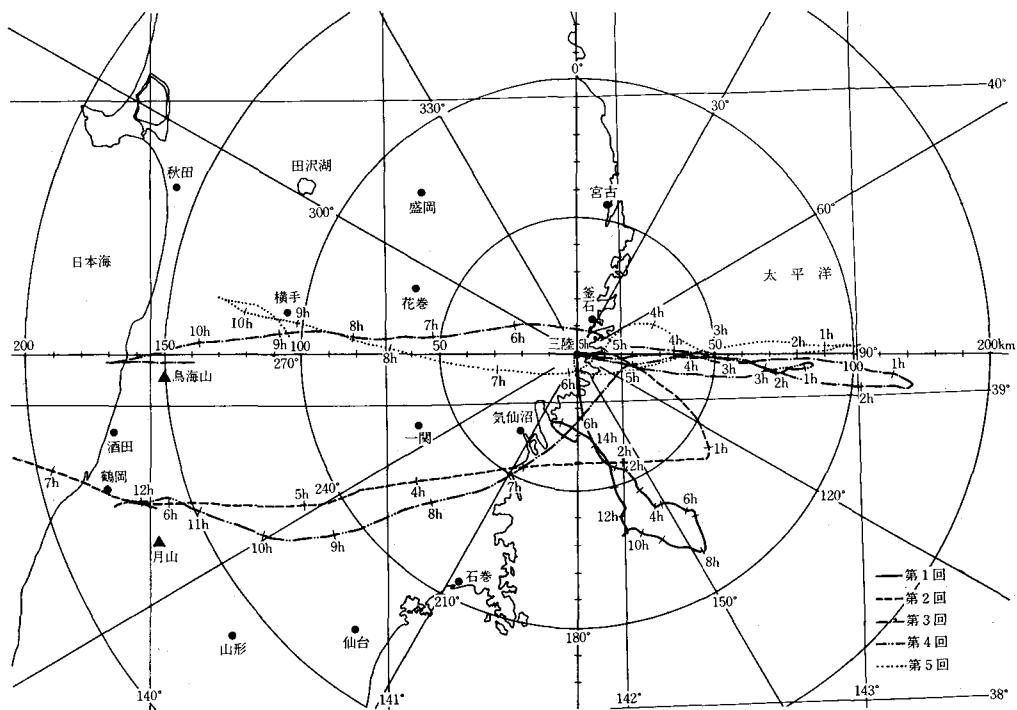


図 9 航跡図

に入り、そのまま放球準備をして夕刻には放球という、きついスケジュールとなった。放球されると気球は太平洋上を東行しつつ高度を稼ぎ、約 1 時間半で所定高度に達し、西行に移る。飛行経路を図 9 に示したが、第 1 回を除いては、日本海側に達している。観測が終了しても、適当な落下地点にくるまで待つ。気球の方々の懸命な計算予測が刻々と続けられ、安全と判断されると、ゴンドラは気球から切り離され、落下傘によって 30 分程度地上あるいは海上に達する。2 点からの電波追跡や、落下後の発信電波の探知、通報等によって、落下した観測器の所在が判明すると、回収にかかる。徹夜観測の明けに、引き続き回収に出発したこともあれば、帰京した途端にトンボ返りで回収に向ったこともある。時間的に不規則な夜間実験の連続のあげくに慌しく出発してしまうので、三陸町吉浜の宿「はまなす荘」には迷惑のかけっぱなしであったが、心よく面倒を見て下さって、今日に及んでいる。あしかけ 6 年にわたる飛揚実験の前半では熱収支に関する改良が、後半では捕捉系に関する改良が主として行われ、観測星の数が急速に増えた。幸いなことに、損傷軽微な状態で毎回回収され、田中済氏の手になる電気系も、最初から最後までほぼ原型のまま通して活躍することになった。終りまで未解決の問題として残ったものに、ゴンドラの振り子運動の制御があり、引き続き克服するための研究を続行中であるが、適当なフライホイールやダンパーの利用で何とか制御できるものと思われる。

4. 近赤外域測光

図 10 は、観測された代表的な恒星のエネルギー分布を示すものである。ここではなじみやすいように単位波長あたりのエネルギー束 F_ν を波長 λ に対して目盛っているが、エネルギーを考えるには、本当は振動数あたりの流束 F_ν を振動数 ν に対して目盛るのがよい。そうすると横軸が光子のエネルギー $h\nu$ に対応するからである。 F_ν を F_ν に換算すると $F_\nu = F_\nu \lambda^2/c$ (c : 光速度) であるから、 $2\mu\text{m}$ のあたりは $1\mu\text{m}$ のあたりに対して 4 倍され、約 1.5 等級も明るくなる。そこで、 $-2.5 \log F_\nu$ の曲線は、 $1\mu\text{m}$ から $2\mu\text{m}$ に相当する振動数領域で、幅広いピークを持つことになる。我々は、このピークの形を詳しく調べることによって、赤色巨星の温度を決めようとした。そこで図 11 に示すような干渉フィルタと PbS 検出器の組合せを考えた。このうち I フィルタは、図中に点線で示すような漏れが発見されたため、そのデータの整約は一筋縄では行かず、整約未完了のままである。特に H 測光帯は、低温度の星の大気中の連続吸収源である負水素イオノの吸収の最小となる領域で、また Ω 帯は、水蒸気分子の強い吸収帯の頭に当り、地上から

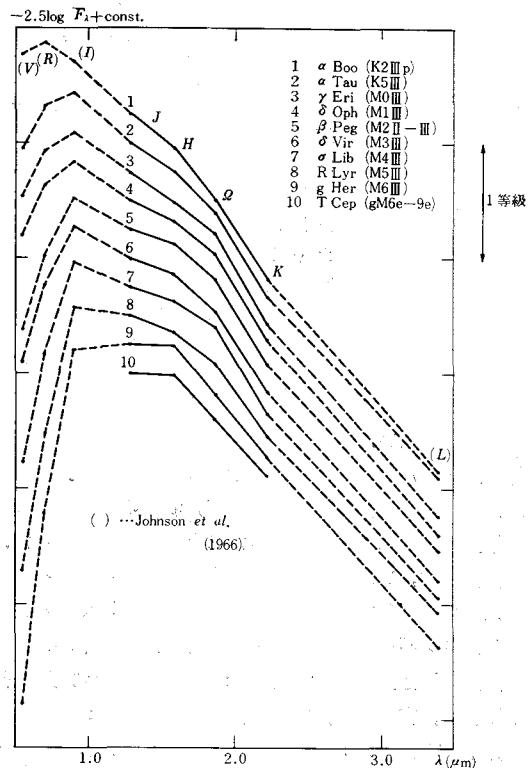


図 10 BAT-1 により観測された恒星のエネルギー分布。観測範囲外の点は破線で近似的に示してある。

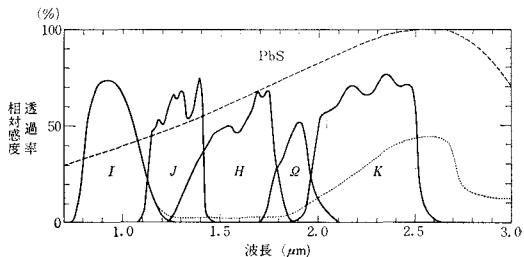


図 11 フィルタの透過率と PbS の相対感度

は全く観測できない領域である。これらのフィルタは、近赤外域をうまく分割して覆っている。 J と K は Johnson 測光系のもの、 H は Lee のものであって、 $J \cdot H \cdot K$ が共通して詳しく測られている星は意外に少い。また、地上からの測光では、これらのフィルタ帯の真の形は、大気吸収によって大きく影響されているので、UBV 系の U 帯で問題となるのと同じく、大気吸収の精密な補正是難しい。図 12 は赤外測光系の模式図である。PbS 検出器は、自然冷却または電子冷却により、約 -50°C で用いられた。回転円盤に仕込まれたフィルタは、15 秒毎に次々に変えられ、PbS 検出器のチャップは 6 枚羽根で、150 Hz の交流成分を作り出す。

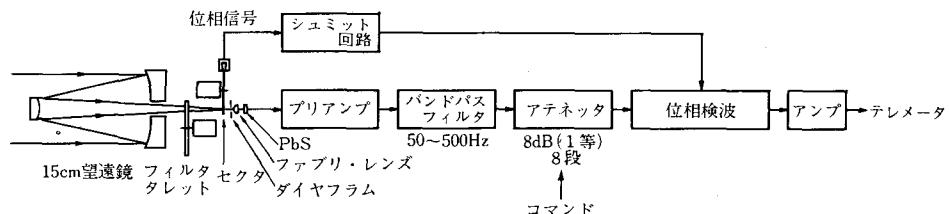


図 12 赤外測光系ブロック・ダイヤグラム

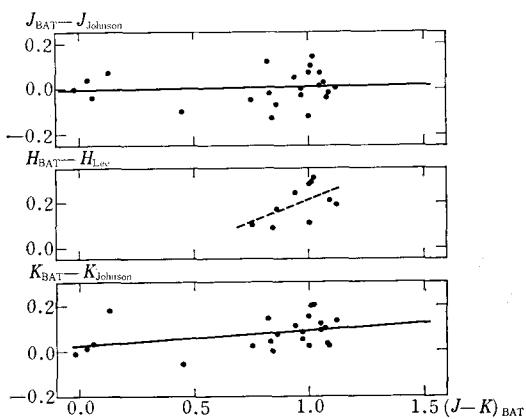


図 13 BAT-1 系とジョンソン・リー系の測光等級の比較。直線は平均関係を示す。

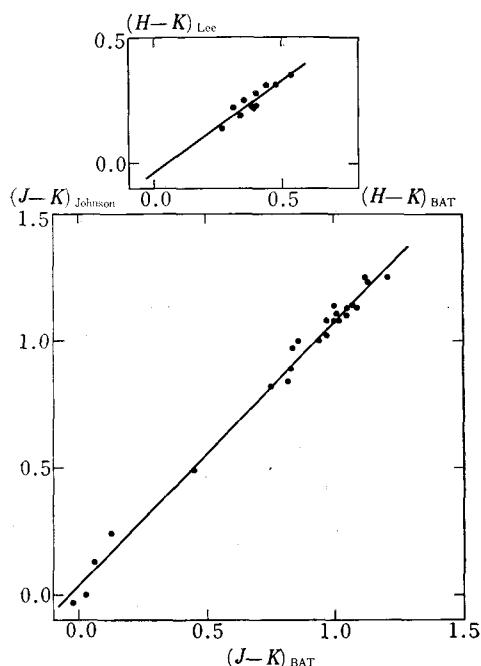


図 14 BAT-1 系とジョンソン・リー系の色指数の比較。直線は平均関係を示す。

実際の観測は、気球が定高度に落ち着き姿勢制御が働き出すと開始される。気球望遠鏡では、天頂附近 20° 以内は気球の蔭になるため、それより高度の低い星を観測することになるが、大気吸収は無視できるほどしかないので、高度を気にする必要はない。ただし、温度の変化による諸々の影響によって、望遠鏡・検出器・電気系などの全体の感度に変化を生じる可能性があるので、適当な基準星を繰り返し観測して較正しなければならない。また測定されるのは入射エネルギー束に比例する量なので、その比例定数を定めるためには、ヴェガやシリウスといった素性の割合によく知られている測光標準星を観測しておく。図 13 は、BAT-1 のデータと、ジョンソンやリーの地上観測のデータを比較したものである。お互の系の間は、シリウスの J 等級で一致するように規格化している。色指数 $(J-K)$ に依存する傾きがするのは、BAT 系と地上系でフィルタ曲線が異なるためである。差は最大 0.2 等級に及ぶが、どちらの精度の悪さに依るものかは、必ずしも明らかではない。測光の常として、絶対値はこのように散らばっても、色指数にすれば、一致は格段に良くなる（図 14）。このような比較検討・較正の後に得られた自然等級と測光等級を表 2 に掲げてある。測光等級は、A0 V 型星で全ての色指数が零で、ヴェガの V 等級が零として定義されているもので、普通に用いられるものである。ここで用いられた自然等級は、 $-2.5 \log \bar{F}_\lambda$ で、平均エネルギー束 \bar{F}_λ はシリウスの J 帯のものを単位として示してある。表の中のヴェガの測光色指数が完全に零でないのは、ヴェガが赤外域で暗いために、我々の測定では精度が悪かったからである。ここでは、シリウスが標準星に用いられた。

5. データ解析

4 つのフィルタによる測光等級の組合せによって様々な色指数を作ることができるが、一番長い波長差をもつ $(J-K)$ に対して、次に長い波長差をもつ $(H-K)$ と $(J-Q)$ を採用して 2 色図を作ったものが、図 15 である。図には観測値を巨星と超巨星に対して異なる印で示してある他に、辻隆氏の計算によるモデル大気をもとに算出した色指数も示してある。モデル系列には、4 枝の有効

表 2 BAT-1 による自然等級と測光等級

星名	HR番号	スペクトル型	自然等級 @				測光等級			
			J (1.28)	H (1.58)	Q (1.87)	K (2.22)	J	J-K	H-K	Q-K
α Cet	911	M2 III	0.81	0.98	1.28	1.99	-0.53	1.00	0.39	-0.01
ρ Per	921	M4 II-III	0.52	0.67	0.87	1.62	-0.82	1.08	0.45	-0.05
τ^4 Eri	1003	gM3	1.34	1.49	1.71	2.47	0.00	1.05	0.42	-0.06
τ Eri	1231	M0 III	1.34	1.60	1.87	2.66	0.00	0.86	0.34	-0.09
α Tau	1457	K5 III	-0.63	-0.38	-0.02	0.71	-1.97	0.84	0.31	-0.03
α Aur	1708	G8 III+F?	-0.05	0.45	0.94	1.68	-1.39	0.45	0.17	-0.04
α Ori	2061	M2 Iab	-1.61	-1.37	-1.09	-0.37	-2.95	0.94	0.40	-0.02
η Gem	2216	M3 III	1.08	1.28	1.63	2.29	-0.26	0.97	0.39	0.04
α CMa	2491	A1 V	0.00*	0.80**	1.50	2.20	-1.34*	-0.02*	0.00**	0.00
α CMi	2943	F5 I V	1.01*	1.74**	2.40	3.06	-0.33*	0.13*	0.08**	0.04
δ Vir	4910	M3 III	1.31	1.45	1.78	2.47	-0.03	1.02	0.38	0.01
α Boo	5340	K2 III P	-0.89	-0.59	-0.14	0.54	-2.23	0.75	0.27	0.02
σ Lib	5603	M4 III	1.11	1.23	1.52	2.22	-0.23	1.07	0.41	0.00
δ Oph	6056	M1 III	1.14	1.32	1.60	2.35	-0.20	0.97	0.37	-0.05
α Sco	6134	M1 I b	-1.42	-1.24	-0.96	-0.24	-2.76	1.00	0.40	-0.02
g Her	6146	M6 III	0.87++	0.88++	1.30++	1.84++	-0.47++	1.21	0.44	0.16
α Her	6406	M5 II	-0.92	-0.78	-0.54	0.14	-2.26	1.12	0.48	0.02
α Lyr	7001	A0 V	1.40+*	2.22***	2.83+	3.55+	0.06+*	0.03+*	0.07+**	-0.02+
R Lyr	7157	M5 III	0.70++	0.85++	1.12++	1.75++	-0.64++	1.13	0.50	0.07
τ Aql	7525	K3 II	1.62	2.00	2.27	2.97	0.28	0.83	0.43	0.00
α Aql	7557	A7 V	1.69*	2.42**	3.07	3.81	0.35*	0.06*	0.01**	-0.04
T Cep	8113 (JD 244 3768.0)	gM6 e - 9 e	1.22++	1.25++	1.62++	2.11++	-0.12++	1.29	0.54	0.21
ϵ Peg	8308	K2 I b	1.49	1.87	2.12	2.85	0.15	0.82	0.42	-0.03
μ Cep	8316	M2 I a	0.80	1.03	1.28	1.89	-0.54	1.09	0.54	0.09
λ Aqr	8696	M2 III	1.78	1.95	2.12	2.91	0.44	1.05	0.44	-0.09
β Peg	8775	M2 II-III	0.34	0.46	0.77	1.51	-1.00	1.01	0.35	-0.04

* 有効波長は $1.26 \mu\text{m}$.② () 内は有効波長 (μm)** 有効波長は $1.56 \mu\text{m}$.

+ 積算時間不充分.

++ 絶対値には不完全な追尾のための誤差が含まれている.

温度、2桁の表面重力の対数、それに1桁の乱流速度を付記してある。乱流速度の付記されてない系列は、 3 km s^{-1} のものである。また比較のために、黒体放射に対応する色指数系列も記入してあるが、これは観測された系列から遠くはずれている。一方、辻モデルは観測系列と良く一致している。図中に記した星間赤化の向きからも判るように、温度の影響と星間赤化の影響の分離は困難で、モデルとの直接的な比較は、今回観測されたような星間赤化の無視できる近距離の恒星についてのみ可能

である。図を見て注意する点が2つある。1つは、($H-K$) 対 ($J-K$) 図上で、 μ Cep, γ Aql, ϵ Peg といった超巨星が、他の星の散らばりの幅を大きく超えて系列から離れていることで、これらの超巨星は特異な大気構造を持っていると思われる。実際、 μ Cep では $10 \mu\text{m}$ のあたりにエネルギー過剰があるという報告もある。2つめは、($J-Q$) 対 ($J-K$) 図上で、R Lyr, g Her, T Cep といった晚期 M 型巨星が、右下に向って系列から離れていっている点である。モデル系列も 3200°K あ

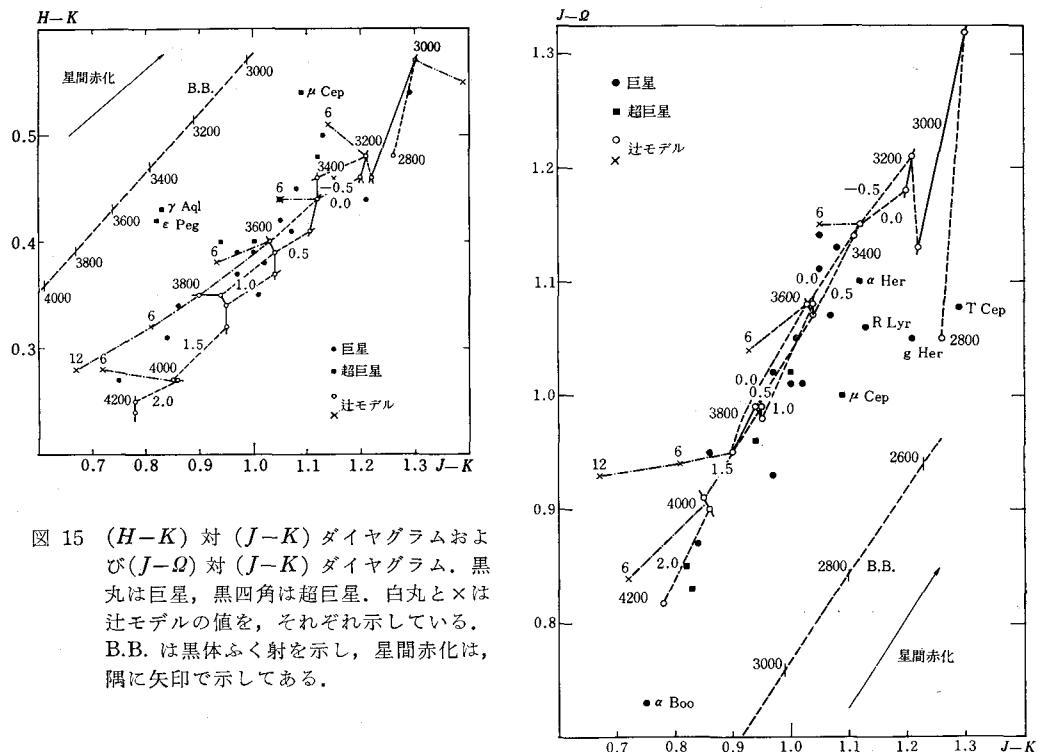


図 15 ($H-K$) 対 ($J-K$) ダイヤグラムおよび ($J-Q$) 対 ($J-K$) ダイヤグラム。黒丸は巨星、黒四角は超巨星、白丸と×は辻モデルの値を、それぞれ示している。B.B. は黒体ふく射を示し、星間赤化は、隅に矢印で示してある。

表 3 BAT-1 観測により得られた最適モデルのパラメータ

星名	T_{eff} (K)	$\log g$	ξ_t (km/s)	Δ (等級)
α Cet	3750 ± 150	0.5	3.0	0.018
ρ Per	3400 ± 200	-0.5	3.0	0.024
τ^4 Eri	3550 ± 150	0.0	3.0	0.021
γ Eri	3700 ± 200	0.0	6.0	0.027
α Tau	3950 ± 150	2.0	3.0	0.034
α Ori	3800 ± 100	0.0	3.0	0.031
η Gem	3800 ± 100	1.0	3.0	0.044
δ Vir	3700 ± 100	1.0	3.0	0.029
α Boo	4200 ± 200	2.0	3.0	0.053
σ Lib	3550 ± 150	0.5	3.0	0.024
δ Oph	3700 ± 100	0.0	3.0	0.007
α Sco	3700 ± 100	0.5	3.0	0.018
g Her	2800 ± 200	-1.25	3.0	0.034
α Her	3400 ± 100	-0.5	3.0	0.033
R Lyr	3400 ± 200	-0.5	3.0	0.064
γ Aql	3900 ± 300	0.0	6.0	0.081
T Cep	2800 ± 300	-1.25	3.0	0.041
ϵ Peg	3900 ± 300	0.0	6.0	0.069
μ Cep	3600 ± 200	0.0	3.0	0.096
λ Aqr	3400 ± 200	0.0	6.0	0.007
β Peg	3700 ± 200	1.0	3.0	0.014

表 4 BAT-1 のデータより得られた赤色巨星の有効温度系列

スペクトル型	T_{eff} (K)
K2 III	(4200±200)
K5 III	3950±150
M0 III	3700±200
M1 III	3700±100
M2 III	3650±250
M3 III	3600±200
M4 III	3500±200
M5 III	3400±200
M6 III	2800±300

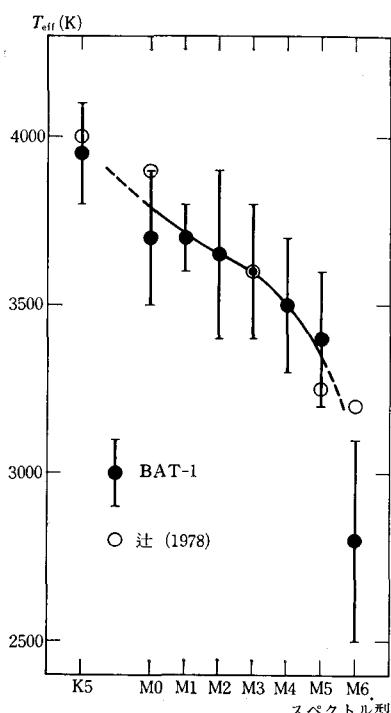


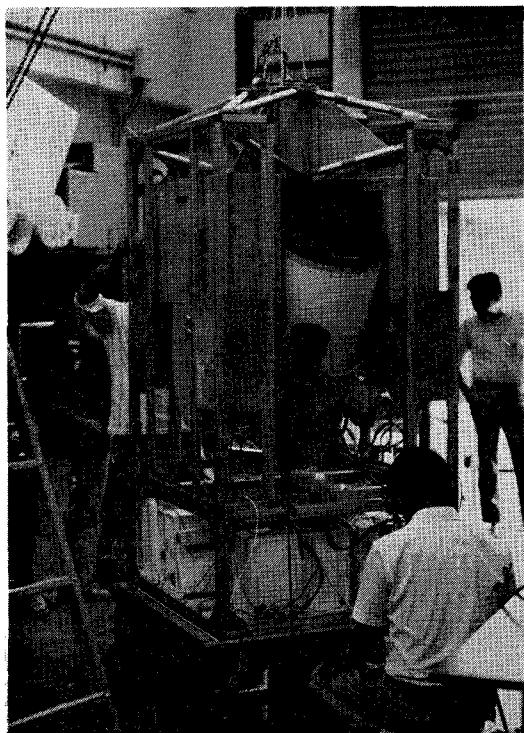
図 16 BAT-1 より得られたスペクトル型に対する有効温度系列。黒丸はこの観測によって得られた値で、白丸は辻 (1978) による。縦棒は有効温度の可能な範囲を示す。曲線はモデル比較より提案される温度・スペクトル型関係を示す。

たりからは右に折れ曲っていくが、これは、星の大気中に水蒸気が形成され、Ω帶が暗くなっていくことに原因がある。観測系列によれば、すでに $3400\sim3500^{\circ}\text{K}$ で、Ω帶に影響を及ぼす程の水蒸気形成が起っていると考え

られる。モデルとの差異が、モデル計算における分子吸収帯の近似的取り扱いの不十分さにあるのか、大気構造の近似的取り扱いの不十分さにあるのかは判定できない。 $(H-K)$ 対 $(J-K)$ 図上で、これらの星がモデル系列に乗ることからみると、前者だとも思われる。こうして、観測系列とモデル系列がほぼ一致すれば、各恒星に対して一番近いモデルを探すことができる。全部で 6 個の色指数が作れるので、全て独立ではないが、特定の組合せにウェイトを掛け過ぎないようにするために、これら 6 個の色指数の張る 6 次元空間で最短距離となるモデルを選んだ。その結果が表 3 である。最後の欄の Δ は、観測点と採用モデル点との距離で、大部分は色指数精度の 0.05 等級以内に入っている。それを越える残差 Δ をもつものは、上に述べたような理由によるものである。こうして得られたスペクトル型に対する有効温度系列を表 4 に示してある。誤差範囲は、測光精度 ± 0.05 等級に対応する。これを図示したのが、図 16 である。図中の白丸は、ジョンソン等の地上測光結果とモデルとを比較して、辻隆氏が 5 つの星について求めた値である。したがって、現時点では、曲線で示したような温度系列を採用するのが最も適当と考えられる。この線を従来採用されてきたジョンソン等の温度系列と比較すると、一般に約 100° から 200° 高い。不思議なことに、この高いほうの温度系列は、マイケルソンやピアスの干渉計による恒星視直径の観測から導かれるものとよく一致する。それに対し、その後の視直径観測からは、低い温度が与えられている。BAT-1 のデータは、超巨星の大気構造、巨星大気中の水蒸気形成、視直径測定等に問題を提起している。渡辺・小平 (1979) の球状大気モデルの計算によれば、水蒸気形成については、巨星大気外層の拡がりの効果が効いている可能性もある。大気の拡がりが恒星の半径に匹敵する程になると、大気中の放射流束が中心からの距離の二乗に反比例して薄まるために、外層の温度が急に下り、温度に敏感な水蒸気形成が促されると考えられている。また、拡がった大気をもつ星の視直径が、波長域によって大幅に異なることも、モデル計算によって示されている。実際に、最近のスペックル干渉解析による視直径測定では、超巨星の一部について、そのような効果が検出されている。有効温度の決定は大気構造決定の第一歩であって、問題はまだこれからである。

6. おわりに

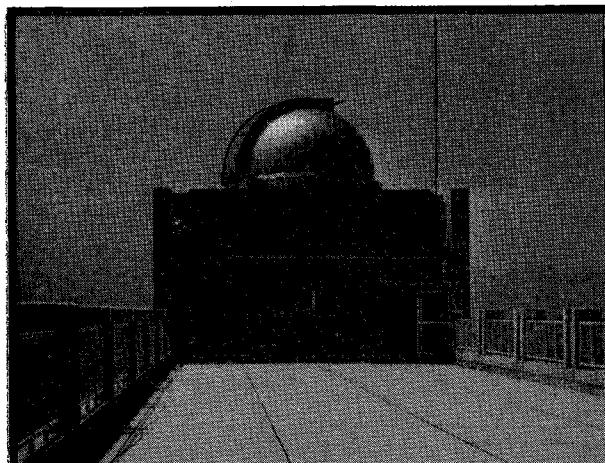
以上で BAT-1 計画のあらましを述べたが、現在、次の BAT-2 計画が進行中である (図 17)。これは口径 30 cm のクーデ型気球望遠鏡で、フーリエ干渉分光計を積む予定であり、望遠鏡と分光計はそれぞれ製作済みである。BAT-1 に較べると口径が 2 倍、総重量はほぼ 3



倍という規模なので特別に様々な工夫が必要となり、目下開発研究の最中である。完成すれば赤外域で明るい巨星・超巨星の赤外スペクトルを念入りに観測する予定である。BAT-2 計画が無事完了すれば、汎用の大型赤外用気球望遠鏡を作れる日も遠くはないであろう。なお、BAT-1 計画のより詳しい様子を知りたい方は東京大学宇宙航空研究所報告第15巻第2号(B)を、また測光データの解析の詳細については、日本天文学会欧文報告第31巻第4号を参照されたい。

図 17 試作中の BAT-2

下段にはモーメンタム・コントロール・ジャイロや電気系が入っている。馬蹄形のクーデ分光室が鏡筒を抱え、方位はゴンドラ全体を回転させて変える。工業技術院機械技術研究所でテスト中のもの。



★ 営 業 品 目 ★
天体望遠鏡と双眼鏡
各種部品と撮影用品
ドームの設計と施工

★新総合カタログご希望の方は切手300円を同封下さい。
★全国有名デパート・光学品取扱店でお買い求め下さい。



アストロ光学工業株式会社

〒170 東京都豊島区池袋本町2-38-15
☎03(985)1321 振替口座東京5-52499番