

第7章 放射ゾンデ*

気象研究所における「中層大気の研究」の一環として、中層大気の放射収支を把握する目的で、前章で述べた日射ゾンデによる日射フラックスの測定とともに、放射ゾンデによる赤外放射フラックスの高度分布の測定を昭和57年度から昭和59年度にかけての3ケ年間おこなった。以下でその結果を述べる。最初に放射ゾンデの構造、器械定数およびその風速依存性の決定法を述べる。

7.1 放射ゾンデの構造

放射ゾンデの外観の模式図を図7.1に示す。放射ゾンデは上向きおよび下向き赤外放射フラックスを測定するセンサー送信部および気温センサー等付属センサーよりなる。センサーは円形のマイ

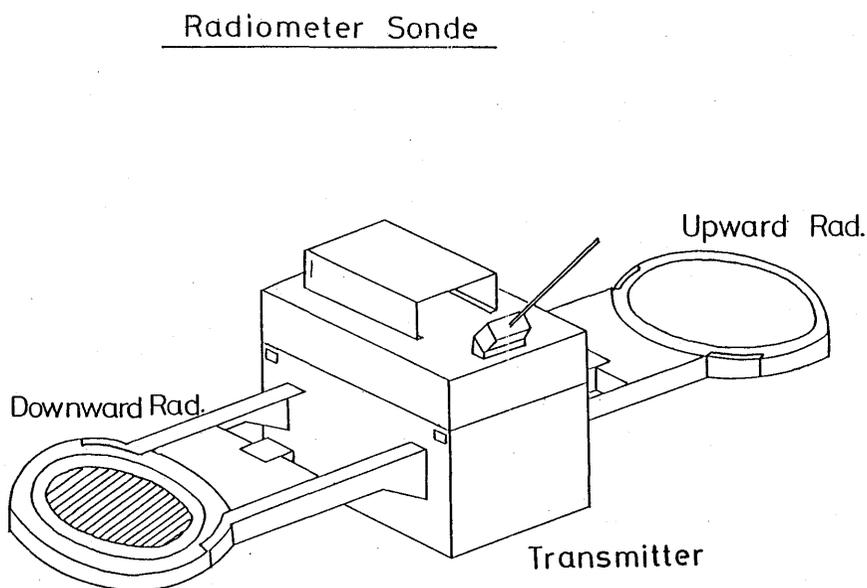


図7.1 放射ゾンデの構造

ラー膜（直径約10cmで、その表面の中心付近にサーミスタ接着）の表面にくまなく黒色塗料が塗られ、その裏面がアルミ蒸着されている受感膜およびその受感膜から上下両側に数mm離れて位置するポリエチレン膜やマイラー膜（内面の中心付近にサーミスタが接着され、外面はアルミ蒸着）より

* 嘉納宗靖、柴田裕司、鈴木正 元高層物理研究部、宮内正厚：気象庁海洋気象部
八尾孝、青木忠生、水野芳成、青木輝夫：高層物理研究部

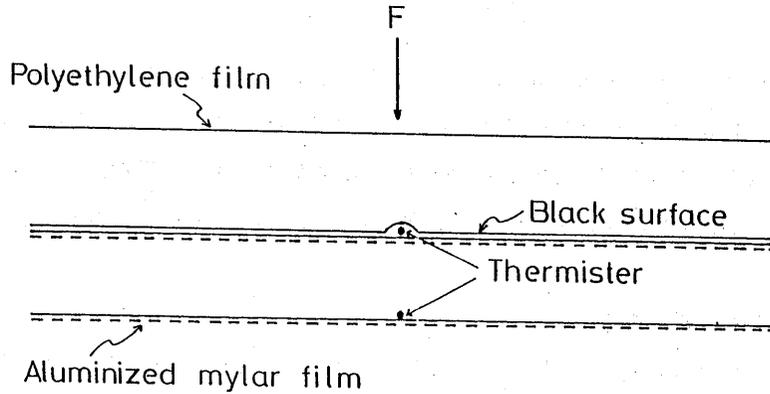


図7.2 放射計の受感部の構造

なる(図7.2参照)。各高度の放射場等によって受感膜の温度やマイラー膜の温度が変化する。そして、これらの温度変化に対応して、各々のサーミスタの抵抗値に変化を生じ、これが周波数に変換されて地上へ送信される。送信される要素およびその送信順序は次のとおりである。すなわち、ハイレファレンス→上向き受感膜温度→ローレファレンス→下向きマイラー膜温度→ハイレファレンス→上向きマイラー膜温度→気温→下向き受感面温度。ハイレファレンスおよびローレファレンスはサーミスタの抵抗値の基準となるものである。このようにして送信された信号(周波数)をサーミスタの抵抗値に変換し、さらにそれを温度に変換する。このようにして受感膜やマイラー膜の温度 T_s および T_m が得られ、それ等を基にしてセンサーへ入射する赤外放射のフラックス F が次式(7.1)によって与えられる。(Shimizu et al., 1972)

$$F = \sigma T_s^4 + K_1(T_s^2 - T_m^2) + K_2 \frac{dT_s}{dt} \quad (7.1)$$

ここで、 σ はステファン・ボルツマン定数、 K_1 および K_2 は空気の分子熱伝導率や受感膜の熱容量等に関する器械定数である。これらの定数は放射ゾンデ(センサー)毎に異なり、また予備実験で、これらの定数が風速に依存することが分かったので各センサーの定数およびその風速依存性を決定する実験をおこなった。次にその方法の概要および結果の1例を示す。

7.2 器械定数およびその風速依存性の決定

(i) K_1 の決定

実験室内で電熱器を光源とし、それから約1.2mのところ放射ゾンデのセンサーを設置する。電熱器の電圧を変化させることによって光源からの放射量を変えることができる。各電圧に従って、

前節で述べた T_s および T_m が一定の値をとる。従って、この場合、(7.1) 式の右辺第3項は零となる。すなわち、次のようになる。

$$F = \sigma T_s^4 + K_1(T_s^2 - T_m^2) \quad (7.1, a)$$

次に、器械定数既知の英弘型の赤外放射計をゾンデ・センサーの位置において、光源からの放射量を測定する。すなわち、(7.1) 式の左辺の F を得る。但し、この場合、放射ゾンデの受感面と放射計の受感面の大きさが異なるので、次に示す有効角度を考慮して、放射計で測定される放射量 F_r から、次式によってゾンデ・センサーに入射した放射量 F を求める。

$$F = (\varphi / \varphi_r) \cdot F_r \quad (7.2)$$

ここで、 φ は放射ゾンデ受感面の有効角度、 φ_r は放射計受感面の有効角度である。この有効角度 φ は (7.3) 式で与えられる。

$$\varphi = \frac{1}{4r^2} \left[2(l^2 + R^2 + r^2) - 2\sqrt{(l^2 + R^2 + r^2) - 4r^2 R^2} \right] \quad (7.3)$$

ここで、 l 、 R および r はそれぞれ、光源と放射計との距離、光源の半径および放射計受感面の半径である。上述の電熱器の電圧を種々変化させることによって、(T_s 、 T_m) の値およびそれに対応する F が得られ、(7.1 a) 式から K_1 の値が決定される。この K_1 は予備実験で風速によって異なることが分かったので、 K_1 の風速依存性の実験をおこなった。そこで小型風洞（物理気象研究部所有）の中に放射ゾンデのセンサーを設置し、光源（電熱器）を風洞の外に置き、電熱器近傍の風洞の壁（窓）をポリエチレン膜に置きかえた。これは光源からの放射がよく透過し、従って窓が光源によって温まることを避けるためである（光源による温度上昇は殆どなかった）。また風洞の内壁にアルミ膜を張り付けて、壁の内面、特にゾンデセンサーの後の部分の壁が光源からの放射の吸収によって温度が上昇することを避けた。このようにして風速 0 ~ 6 m/sec 範囲で実験をおこなった。一定電圧の光源の下では同一風速に対しては上述の T_s および T_m が一定となる。このようにして求めた T_s および T_m を用いて各風速に対応する K_1 が次のようにして求められる。すなわち、風速 v に対応する (7.1 a) 式の諸量を $F(v)$ 、 $T_s(v)$ 、 $T_m(v)$ および $K_1(v)$ で示すと、(7.1 a) から

$$F(v) = \sigma T_s^4(v) + K_1(v) \left[T_s^2(v) - T_m^2(v) \right] \quad (7.4 a)$$

が得られ、風速 0 の場合に対応する諸量を添字 0 で示すと、次式が得られる。

$$F_0 = (\sigma T_s^4)_0 + (K_1)_0 \left[(T_s^2)_0 - (T_m^2)_0 \right] \quad (7.4 b)$$

この場合、光源の強さ（電圧）は同じであるから $F(v) = F_0$ でなくてはならない。このことから、任意の風速のときの $K_1(v)$ は (7.4 a) および (7.4 b) 式から、次のように与えられる。

$$K_1(v) = \frac{(\sigma T_s^4)_0 - \sigma T_s^4(v)}{T_s^2(v) - T_m^2(v)} + \frac{(T_s^2(v) - T_m^2(v))_0}{T_s^2(v) - T_m^2(v)} (K_1)_0 \quad (7.5)$$

ここで $(K_1)_0$ は、上述の室内実験で得られた値である。

このようにして得られた $K_1(v)$ の風速による変化の1例を図7.3に示す。この図から分かるように、 $K_1(v)$ は風速0の場合に値から風速が増加するにつれて最初、急速に増加するが、風速がおよそ 1 m/sec を超えると、この増加は緩やかになることが分る。また風速による変化の大きさは、

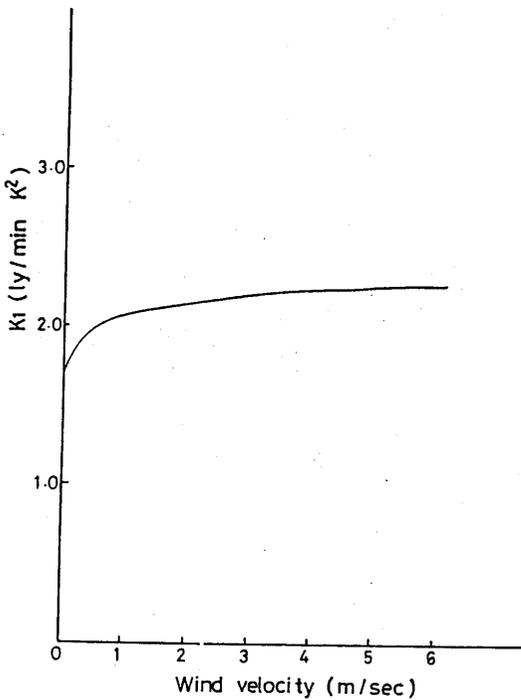


図7.3 a 下向き放射に対する K_1 の風速依存

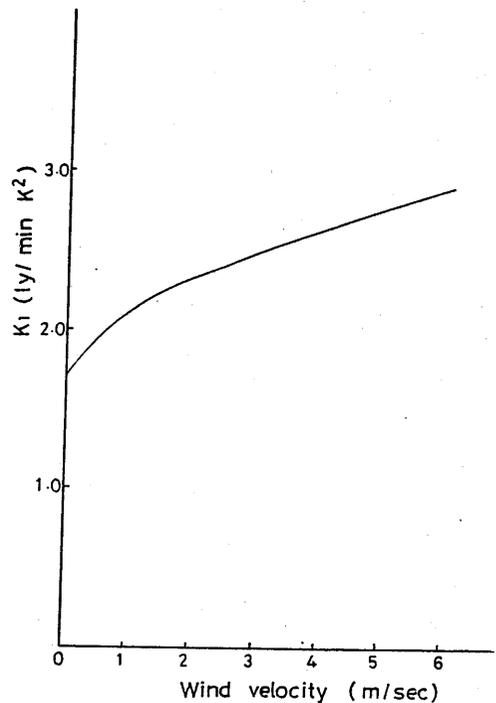


図7.3 b 上向き放射に対する K_1 の風速依存

センサーの背面に風を受ける場合（上向きフラックスを測定するセンサーの場合）がセンサーの正面に風を受ける場合（下向きフラックス・センサーの場合）よりも大きいことが分る。放射ゾンデの熱バランスに影響するのは風速で定まる流量によるものと考えられる。ゾンデが飛揚する際、ゾンデは第1近似として様な上昇速度をもつと考えられるので、センサーの受ける流量は気圧に比例して変化すると考えられる。それ故、ゾンデは上昇するにつれて、そのセンサーの受ける等価的な風速は、気圧に比例して小さくなると考えられる。放射ゾンデの信号 (T_s 、 T_m) から放射量を求める場合、このことを考慮する必要がある（嘉納他1978）。

(ii) K_2 の決定

次に K_2 の決定法を述べる。放射ゾンデのセンサー面を上述の室内実験と同じく、光源（一定電圧の電熱器）に向ける。次に、遮へい板で交互に光源からの放射を遮えぎることによって受感面の温度 T_s の変化 $\frac{dT_s}{dt}$ が求められる。この場合、あらかじめ放射計で同一光源の放射を測定して放射ゾンデの受ける放射量を、前述の実験と同様な方法で求めておく。すると、(7.1)式から分るように、(i)の実験で K_1 の既知となった放射ゾンデでは、(7.1)式の K_2 以外の値はすべて既知となる。従って K_2 が求められる。このようにして求めた K_2 は、この研究で用いた放射計については殆ど一定の値で、その大きさは $0.01 \text{ ly} \cdot \text{min}^{-1}$ であった。

7.3 観測結果

放射ゾンデのデータを解析して、中層大気を含む大気上層の放射収支を把握するためには、大気条件の一定な場合を選ぶことが必要となる。それ故、放射ゾンデ飛揚は快晴の日を選んでおこなわれた。このため、飛揚場所の南関東（高層気象台）で快晴日が多い冬季に主として飛揚がおこなわれる結果となった。この章の冒頭で述べた期間中に飛揚した放射ゾンデ10台のうち、2台はその出力（デジタルおよびアナログ信号）に原因不明の信号が入り、読み取り困難となり、また1台は放球後間もなく気球が破裂したため、データの取得が不可能となった。従って実際にデータとして取得されたものは7例である。そこで、この7例の観測値 (T_s 、 T_m) に、気球の上昇速度を 360 m/min と仮定し、各高度で気圧に比例する等価的な速度（地上の速度を 6 m/sec とした速度）を求め、次にこの速度に対応する前節で述べた K_1 と K_2 を適用して求めた下向き、上向き赤外放射フラックスおよびネット・フラックスのうち4例を表7.1 a～7.1 dに示し、残りの3例は次節で示す。参考のため、上記4例のときに取得されたラジオゾンデによる各高度の風向・風速のデータから求められた放射ゾンデの航跡図を図7.4 a～7.4 dに示す。

7.4 中層大気における赤外放射の分布の解析例

放射ゾンデの観測に基づいて赤外放射による大気の加熱・冷却状態等を求める場合、雲等大気の状態や地表面の状態が一定であることが望ましい。第1条件の大気状態については快晴の日を選べ

表7.1 a 上(U)、下向き(D)、およびネット(N)の赤外放射フラックス。1984年2月21日
18時39分放球 (単位: ly/min)

P (mb)	F_D	F_U	F_N	P (mb)	F_D	F_U	F_N
807	0.2511	0.4485	0.1974	123	0.0266	0.4993	0.4727
778	0.2304	0.4480	0.2176	108	0.0204	0.4981	0.4777
750	0.2137	0.4475	0.2338	95	0.0212	0.5006	0.4794
725	0.2026	0.4476	0.2450	85	0.0248	0.4987	0.4739
698	0.1914	0.4461	0.2547	76	0.0355	0.4907	0.4552
663	0.1822	0.4474	0.2652	68	0.0361	0.4881	0.4520
638	0.1726	0.4481	0.2755	59.5	0.0305	0.4857	0.4552
613	0.1668	0.4457	0.2789	54.7	0.0264	0.4793	0.4529
590	0.1598	0.4404	0.2806	49.2	0.0308	0.4733	0.4425
567	0.1531	0.4415	0.2884	43.5	0.0378	0.4672	0.4294
545	0.1423	0.4465	0.3042	39.3	0.0377	0.4623	0.4246
523	0.1305	0.4549	0.3244	35.6	0.0356	0.4568	0.4212
473	0.1154	0.4575	0.3421	32.1	0.0333	0.4526	0.4193
433	0.0997	0.4621	0.3624	28.5	0.0366	0.4487	0.4121
395	0.0848	0.4696	0.3848	25.9	0.0396	0.4453	0.4057
357	0.0672	0.4810	0.4138	23.4	0.0401	0.4430	0.4029
313	0.0517	0.4948	0.4431	21.2	0.0411	0.4442	0.4031
280	0.0355	0.5067	0.4712	19.2	0.0395	0.4417	0.4022
247	0.0339	0.5141	0.4802	17.6	0.0438	0.4404	0.3966
220	0.0354	0.5153	0.4799	16.2	0.0454	0.4344	0.3890
194	0.0408	0.5127	0.4719	14.7	0.0496	0.4312	0.3816
174	0.0378	0.5090	0.4712	13.6	0.0519	0.4232	0.3713
159	0.0353	0.5097	0.4744	(11.1)	0.0544	0.4177	0.3633
141	0.0296	0.5033	0.4737				

表7.1 b 表7.1 aと同じ。ただし1984年11月30日17時08分放球

(単位: ly/min)

P (mb)	F_D	F_U	F_N	P (mb)	F_D	F_U	F_N
695	0.2043	0.4813	0.2770	124	0.0161	0.3949	0.3788
672	0.1903	0.4721	0.2818	109	0.0137	0.3983	0.3846
648	0.1774	0.4629	0.2855	97	0.0116	0.3976	0.3860
626	0.1675	0.4588	0.2913	87.5	0.0089	0.4073	0.3984
605	0.1510	0.4665	0.3155	77.3	0.0101	0.3994	0.3893
583	0.1396	0.4674	0.3278	68.3	0.0155	0.3973	0.3818
562	0.1272	0.4656	0.3384	62.5	0.0255	0.3922	0.3667
542	0.1211	0.4522	0.3311	57.3	0.0277	0.3943	0.3666
523	0.1110	0.4470	0.3360	51.4	0.0292	0.3944	0.3652
503	0.1015	0.4453	0.3438	47.2	0.0283	0.3931	0.3648
484	0.0929	0.4416	0.3487	43.3	0.0321	0.3917	0.3596
465	0.0850	0.4353	0.3503	39.9	0.0312	0.3928	0.3616
430	0.0782	0.4312	0.3530	36.7	0.0325	0.3881	0.3556
411	0.0717	0.4284	0.3567	33.1	0.0352	0.3925	0.3573
392	0.0656	0.4283	0.3627	30.6	0.0368	0.3896	0.3528
374	0.0588	0.4276	0.3688	28.1	0.0508	0.3888	0.3380
357	0.0479	0.4184	0.3705	24.8	0.0514	0.3823	0.3309
302	0.0382	0.4153	0.3771	22.3	0.0520	0.3817	0.3297
274	0.0301	0.4113	0.3812	21.2	0.0385	0.3820	0.3435
234	0.0250	0.4104	0.3854	19.4	0.0416	0.3835	0.3419
210	0.0186	0.4101	0.3915	17.5	0.0440	0.3806	0.3366
178	0.0135	0.4128	0.3993	16.3	0.0431	0.3842	0.3411
160	0.0126	0.4132	0.4006	15.0	0.0471	0.3790	0.3319
139	0.0157	0.4090	0.3933	(14.3)			

表7.1 c 表7.1 aと同じ。ただし1984年12月25日17時30分放球

(単位: ly / min)

P (mb)	F_D	F_U	F_N	P (mb)	F_D	F_U	F_N
958	0.2415	0.4615	0.2200	111	0.0301	0.3704	0.3403
922	0.2274	0.4519	0.2245	101	0.0286	0.3625	0.3338
897	0.2132	0.4458	0.2326	92	0.0268	0.3638	0.3370
865	0.1994	0.4418	0.2424	84.5	0.0266	0.3607	0.3341
833	0.1824	0.4368	0.2544	76.0	0.0258	0.3589	0.3331
787	0.1636	0.4320	0.2685	68.5	0.0230	0.3563	0.3333
758	0.1441	0.4273	0.2832	62.0	0.0326	0.3464	0.3138
730	0.1286	0.4220	0.2933	56.5	0.0318	0.3500	0.3182
702	0.1169	0.4156	0.2987	51.3	0.0293	0.3428	0.3135
673	0.1084	0.4099	0.3015	46.5	0.0251	0.3471	0.3220
645	0.1005	0.4092	0.3088	41.9	0.0355	0.3355	0.3000
619	0.0916	0.4087	0.3171	38.3	0.0442	0.3389	0.2947
595	0.0824	0.4102	0.3278	35.0	0.0456	0.3296	0.2841
575	0.0764	0.4048	0.3283	31.8	0.0391	0.3363	0.2972
555	0.0749	0.4043	0.3293	28.6	0.0356	0.3297	0.2940
535	0.0713	0.4002	0.3289	26.2	0.0312	0.3338	0.3026
514	0.0668	0.4050	0.3381	23.6	0.0377	0.3302	0.2925
473	0.0590	0.4008	0.3417	21.7	0.0426	0.3301	0.2875
433	0.0510	0.3980	0.3469	19.2	0.0431	0.3326	0.2894
384	0.0455	0.3863	0.3408	17.5	0.0438	0.3273	0.2835
348	0.0397	0.3836	0.3439	16.0	0.0423	0.3272	0.2849
296	0.0365	0.3895	0.3530	14.6	0.0482	0.3251	0.2769
265	0.0329	0.3953	0.3624	13.0	0.0480	0.3247	0.2766
237	0.0284	0.3985	0.3701	11.8	0.0494	0.3221	0.2727
201	0.0262	0.3958	0.3699	10.9	0.0497	0.3235	0.2737
184	0.0245	0.4000	0.3754	10.4	0.0477	0.3177	0.2702
165	0.0291	0.3954	0.3662	9.7	0.0476	0.3241	0.2765
150	0.0302	0.3901	0.3600	9.0	0.0484	0.3217	0.2735
136	0.0297	0.3815	0.3518	8.3	0.0505	0.3301	0.2796
123	0.0306	0.3755	0.3448	7.7	0.0501	0.3283	0.2782

表7.1 d 表7.1 aに同じ。ただし1985年1月7日17時10分放球

(単位: ly/min)

P (mb)	F_D	F_U	F_N	P (mb)	F_D	F_U	F_N
972	0.2568	0.4801	0.2233	98	0.0183	0.3577	0.3394
942	0.2247	0.4491	0.2244	84.7	0.0193	0.3560	0.3367
835	0.1936	0.4261	0.2325	76.5	0.0182	0.3516	0.3335
790	0.1643	0.4132	0.2490	69.0	0.0178	0.3549	0.3372
755	0.1462	0.4093	0.2631	59.0	0.0166	0.3527	0.3361
732	0.1298	0.4028	0.2730	53.0	0.0184	0.3487	0.3302
705	0.1203	0.3879	0.2675	47.3	0.0227	0.3453	0.3226
663	0.1242	0.3808	0.2566	42.2	0.0315	0.3493	0.3177
638	0.1260	0.3805	0.2545	39.0	0.0305	0.3508	0.3203
612	0.1254	0.3871	0.2617	35.5	0.0297	0.3521	0.3223
563	0.1177	0.3869	0.2693	32.3	0.0260	0.3516	0.3256
540	0.1114	0.3884	0.2771	29.1	0.0282	0.3460	0.3177
507	0.0997	0.3910	0.2914	26.4	0.0263	0.3454	0.3191
482	0.0887	0.3910	0.3023	24.1	0.0262	0.3433	0.3171
464	0.0817	0.3886	0.3069	21.8	0.0272	0.3464	0.3192
443	0.0752	0.4016	0.3264	19.3	0.0289	0.3453	0.3164
413	0.0600	0.3911	0.3310	17.5	0.0310	0.3460	0.3150
366	0.0395	0.3840	0.3445	15.9	0.0352	0.3456	0.3104
320	0.0226	0.3550	0.3325	14.5	0.0384	0.3443	0.3059
277	0.0234	0.3693	0.3459	12.8	0.0414	0.3421	0.3008
244	0.0200	0.3738	0.3537	11.6	0.0429	0.3402	0.2972
218	0.0199	0.3830	0.3631	10.6	0.0470	0.3349	0.2878
195	0.0062	0.3751	0.3692	9.7	0.0472	0.3345	0.2873
176	0.0049	0.3699	0.3652	8.7	0.0481	0.3357	0.2876
154	0.0035	0.3627	0.3594	8.1	0.0491	0.3412	0.2921
137	0.0068	0.3482	0.3414	7.5	0.0525	0.3424	0.2899
120	0.0100	0.3447	0.3347	6.9	0.0576	0.3367	0.2791
108	0.0145	0.3518	0.3372	6.5	0.0519	0.3380	0.2862

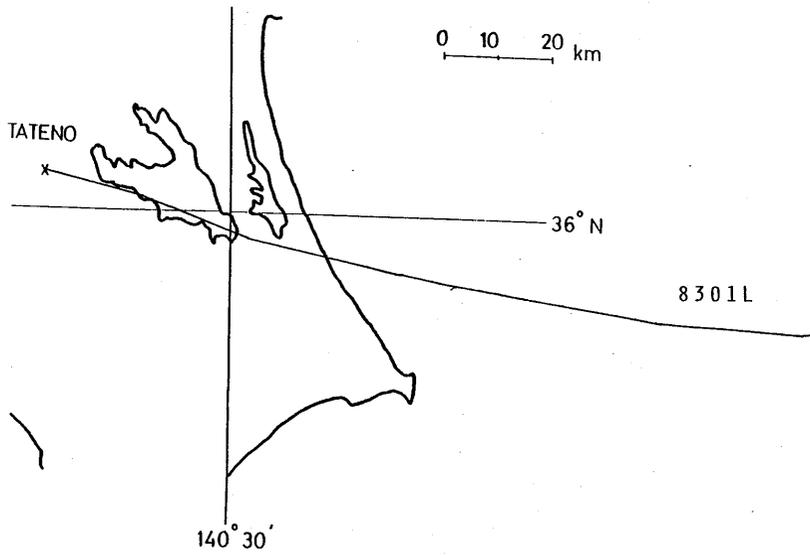


図7.4 a 放射ゾンデの航跡図。1984年2月21日

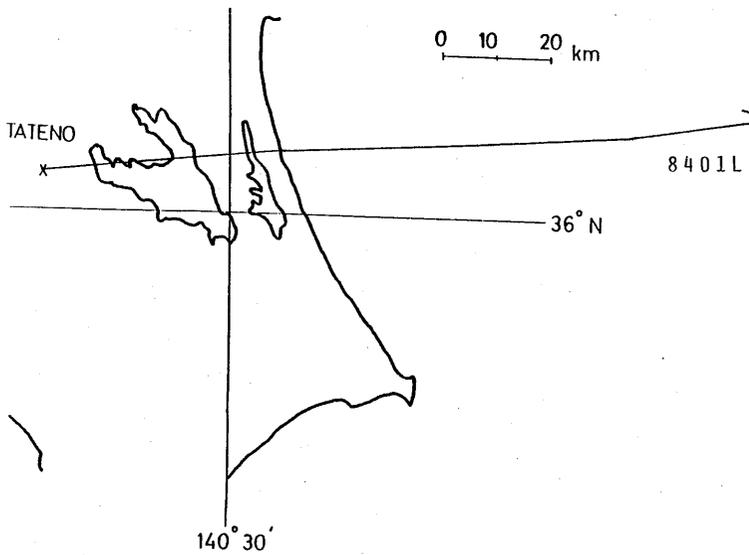


図7.4 b 放射ゾンデの航跡図。1984年11月30日

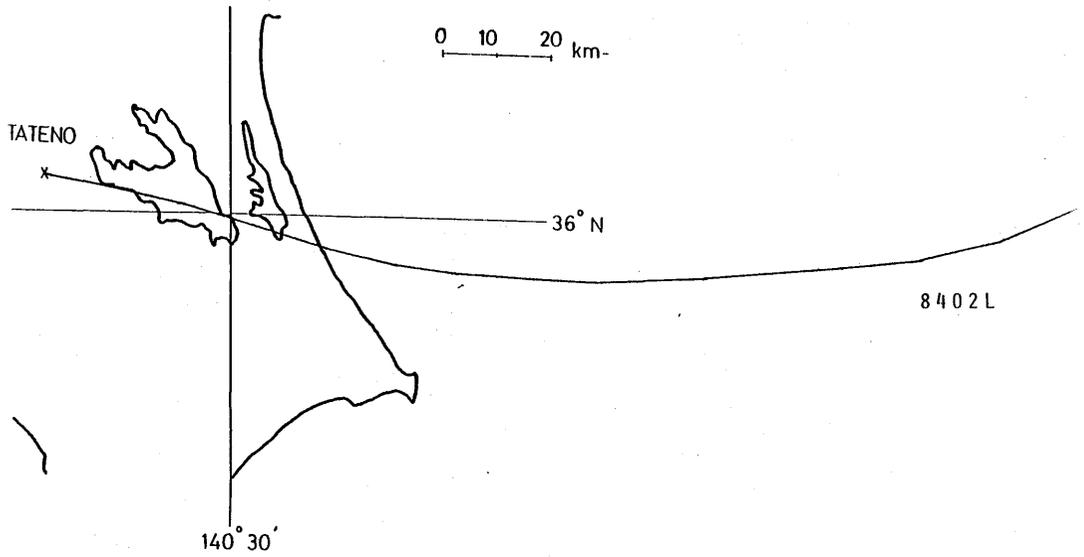


図 7.4 c 放射ゾンデの航跡図。1984年12月25日

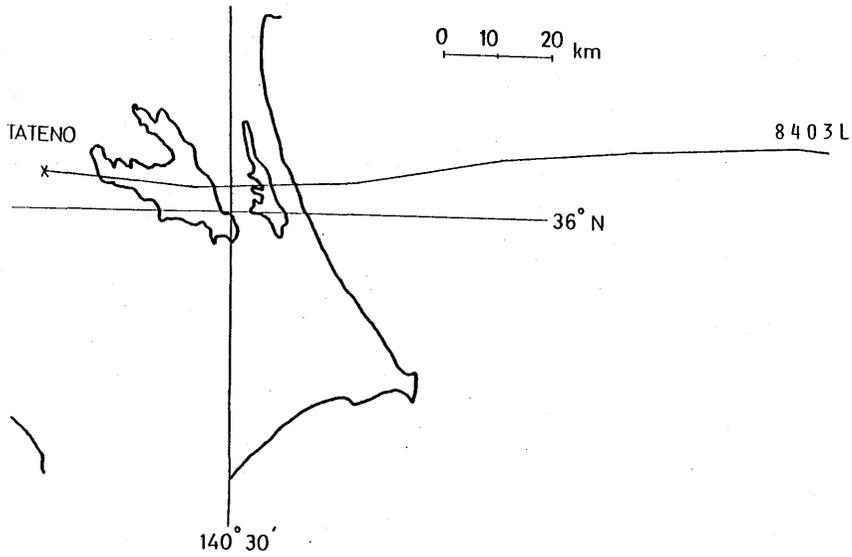


図 7.4 d 放射ゾンデの航跡図。1985年1月7日

ばよいが、第2の地表面の状態は快晴の多い冬季の南関東では満足されない。すなわち、前節の航跡図に示されるように、ゾンデはこの時期、通常、放球後約30分で海洋上に出る。この時期におけるこの地域の海面温度は図7.5に示されるように11°Cを超える。一方、日没後のこの地域（高層

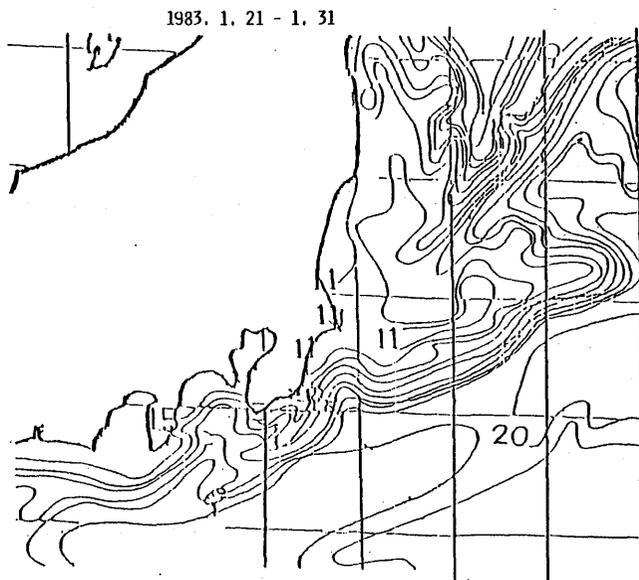


図7.5 1983年1月21日から1月31日の平均海面水温（漁海況速報による）。

气象台)の地表面温度は氷点近いか、またはそれ以下である。すなわち、陸地と海洋の表面温度差は10°~11°Cに達するので、上向き放射はこの表面温度差を補正することが必要となる。そこで、この補正を次のようにおこなった。すなわち、観測のおこなわれた場所および日時の近傍でなされた気温や湿度の高度分布の観測値を用い、陸地および海洋上での上向き赤外放射 $F_l(Z)$ および $F_o(Z)$ を計算する。この場合、地表面温度としては、地上気温より3°C低い値を採用し、海面温度は同時期は於けるゾンデ飛揚海域の海面温度の平均値を使用した。また各高度における上向き放射への陸地の部分からの寄与の割合を Ω_l とする。これらの $F_l(Z)$ 、 $F_o(Z)$ および $\Omega_l(Z)$ から得られる次の因子

$$F_l(Z) / [F_l(Z) \Omega_l(Z) + F_o(Z) \{ 1 - \Omega_l(Z) \}]$$

を前節で述べた風速補正のなされた観測値 $F_{obs}(Z)$ に乗じて、これを陸地上の値に変換した。

このようにして、観測値に風速や地表面温度差の補正をほどこした結果を図7.6 a ~ 7.6 c に示す。補正前の値は表7.2 a ~ c に示した。しかし、霞ヶ浦等もあり、このような補正は必ずしも十分ではない。これらの図で、・印は観測値で、実線はエーロゾルのない晴澄大気の場合の計算であ

表7.2 a 上、下向き、およびネットの赤外放射フラックス。1983年1月28日

(単位: ly/min)

P (mb)	F_D	F_U	F_N
943.0	0.3381	0.4632	0.1251
911.0	0.3100	0.4713	0.1613
845.0	0.2798	0.4779	0.1981
813.0	0.2670	0.4500	0.1830
750.0	0.2552	0.4210	0.1658
691.0	0.2150	0.4140	0.1990
611.0	0.1653	0.4041	0.2388
490.0	0.1136	0.3736	0.2600
381.0	0.0782	0.3609	0.2827
340.0	0.0804	0.3500	0.2696
303.5	0.0683	0.3439	0.2756
254.0	0.0683	0.3422	0.2739
201.0	0.0670	0.3299	0.2629
151.0	0.0663	0.3328	0.2665
101.0	0.0622	0.3287	0.2665
80.2	0.0455	0.3216	0.2761
71.5	0.0506	0.3297	0.2791
60.3	0.0455	0.3331	0.2876
51.0	0.0533	0.3286	0.2753
40.4	0.0557	0.3307	0.2750
35.9	0.0547	0.3341	0.2794
30.3	0.0641	0.3286	0.2645
24.5	0.0703	0.3257	0.2554
19.7	0.0638	0.3238	0.2600
17.6	0.0621	0.3248	0.2627
15.7	0.0741	0.3333	0.2592
14.1	0.0690	0.3301	0.2611
11.8	0.0793	0.3223	0.2430
10.1	0.0902	0.3313	0.2411

表7.2 b 表7.2 aに同じ。
ただし1983年1月31日

(単位: ly/min)

P (mb)	F_D	F_U	F_N
983	0.3428	0.4738	0.1310
950	0.3148	0.4709	0.1561
884	0.2873	0.4703	0.1830
853	0.2678	0.4510	0.1832
795	0.2538	0.4440	0.1902
743	0.2316	0.4385	0.2069
692	0.2196	0.4275	0.2079
593	0.1753	0.4222	0.2469
502	0.1231	0.4010	0.2779
398	0.0941	0.3674	0.2733
343	0.0705	0.3581	0.2876
308	0.0651	0.3370	0.2719
258	0.0501	0.3293	0.2792
202	0.0534	0.3415	0.2881
150	0.0432	0.3333	0.2901
99	0.0381	0.3368	0.2987
80.7	0.0389	0.3355	0.2966
69.4	0.0396	0.3391	0.2995
59.8	0.0398	0.3358	0.2960
49.0	0.0347	0.3556	0.3209
40.1	0.0406	0.3382	0.2976
34.6	0.0341	0.3447	0.3106
25.5	0.0458	0.3468	0.3010
20.4	0.0478	0.3475	0.2997
17.6	0.0441	0.3508	0.3067
15.9	0.0480	0.3541	0.3061
14.3	0.0409	0.3543	0.3134
12.2	0.0483	0.3478	0.2995
10.1	0.0457	0.3485	0.3028

表7.2 c 表7.2 aに同じ。

ただし、1983年3月11日

(単位：ly/min)

$P(mb)$	F_D	F_U	F_N
977	0.3784	0.5289	0.1505
943	0.3428	0.5098	0.1670
911	0.3416	0.4884	0.1468
848	0.2881	0.4712	0.1831
788	0.2424	0.4744	0.2320
760	0.2434	0.4697	0.2263
704	0.2161	0.4444	0.2283
600	0.1537	0.4201	0.2664
508	0.1214	0.4058	0.2844
408	0.0845	0.3685	0.2840
353	0.0742	0.3581	0.2839
303	0.0529	0.3464	0.2935
244.2	0.0328	0.3684	0.3356
199.8	0.0423	0.3533	0.3110
146.5	0.0426	0.3418	0.2992
99.8	0.0424	0.3490	0.3066
80.7	0.0477	0.3431	0.2954
69.0	0.0211	0.3430	0.3219
58.8	0.0296	0.3401	0.3105
50.1	0.0115	0.3531	0.3416
40.3	0.0401	0.3568	0.3167
34.4	0.0404	0.3508	0.3104
24.5	0.0349	0.3498	0.3149
19.6	0.0414	0.3540	0.3126
18.6	0.0417	0.3568	0.3151
16.0	0.0462	0.3573	0.3111
13.8	0.0472	0.3578	0.3106
11.8	0.0483	0.3601	0.3118
10.5	0.0566	0.3568	0.3002

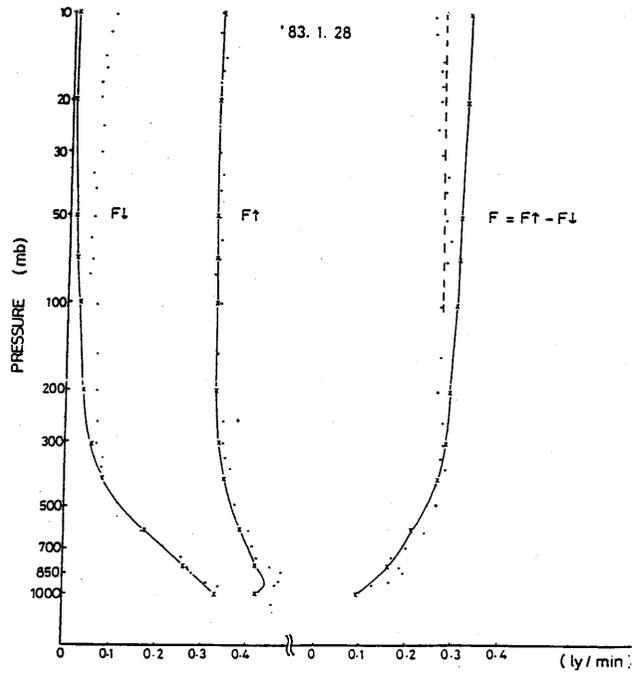


図 7.6 a 風速および地表面温度差効果を補正した放射フラックス。1983年1月28日

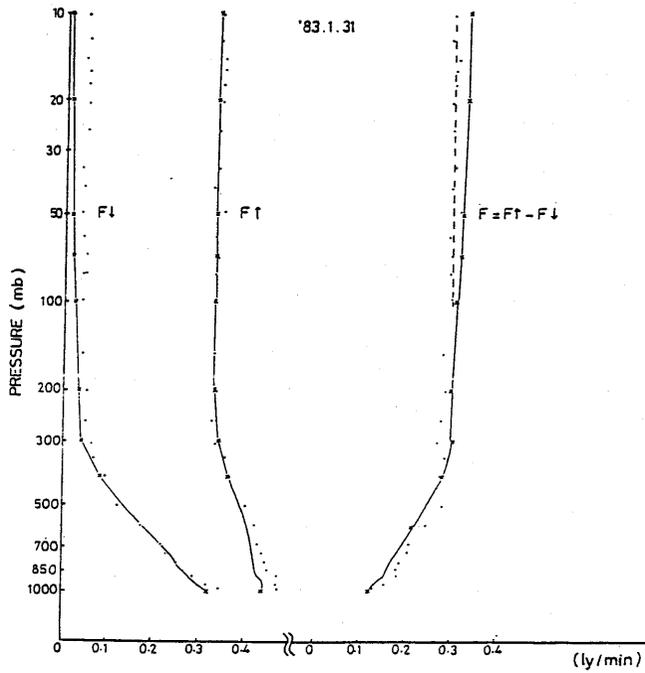


図 7.6 b 図 8.6 a に同じ。ただし、1983年1月31日

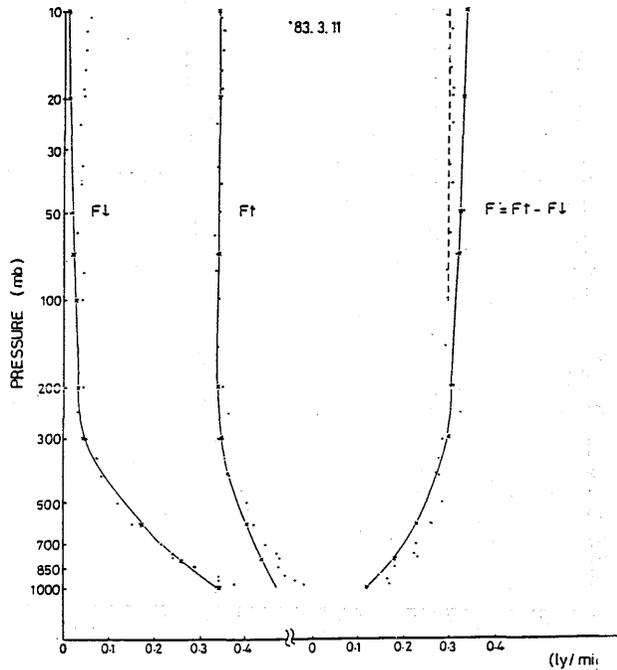


図 7.6 c 図 7.6 a に同じ。ただし、1983年 3月11日

る。これらの図から、高度 200mb 以上の中層大気領域をみると、下向き放射フラックスの観測値は計算値に較べてかなり大きく、一方上向き放射フラックスは両者ほぼ等しい。その結果、上向きフラックスと下向きフラックスとの差、すなわち放射のネットフラックスは観測値の方が計算値より小さくなっている。すなわち、宇宙空間への赤外放射エネルギーの流出量は、清澄大気の場合に比較して小さくなっている。この差異の原因としてはエアロゾル等の効果が考えられるがまだはっきりしたことは言えない。ここでは、ネット・フラックスの観測値の平均が図の点線で表わされるとし、100～10mb の層の赤外放射による大気の加熱冷却率を次の (7.6) 式によって計算した。

$$dT / dt = + (g / C_p) dF_N / dp \quad (7.6)$$

ここで g は重力加速度、 C_p は空気の定圧比熱、 T は気温で、 F_N は放射のネット・フラックスで、 P は気圧である。この計算結果と、上述のエーロゾルのない清澄大気の場合の赤外放射による大気の加熱・冷却率と比較したのが表 7.3 である。この表から分るように、清澄大気の場合、大気はおよそ $1.35^{\circ}\text{C}/\text{day}$ で冷却しているが、観測値 (実際の大気の場合) では、大気は逆に $0.2 \sim 0.4^{\circ}\text{C}/\text{day}$ の加熱になっていることが分る。

表 7.3 ネット・フラックスおよび冷却率に対する観測
と計算（エアロゾル無しとした場合）の比較

Time	Procedure	10~30mb		10~100 mb	
		ΔF_N (ly/min)	dT/dt (°C/day)	ΔF_N (ly/min)	dT/dt (°C/day)
Jan. 28 1983	Obs.	0.0013	0.38	0.0060	0.39
	Cal.	-0.0078	-2.30	-0.0207	-1.35
Jan. 31 1983	Obs.	0.0011	0.32	0.0049	0.32
	Cal.	-0.0078	-2.30	-0.0207	-1.35
Mar. 11 1983	Obs.	0.0007	0.21	0.0030	0.20
	Cal.	-0.0079	-2.33	-0.0208	-1.36

参考文献

Shimizu, M., A.Yata and Y. Sekiguchi (1972): The International Radiometersonde Intercomparison Program (1970~1971). IAMAP, p57~65

嘉納宗靖・広田道夫(1978): 輻射ゾンデ・日射ゾンデの問題点 気象庁技術報告第93号、361~