

第3章 ノンリフトバルーンによる気流観測*

3.1 観測の概要

瀬戸内海沿岸地域に発達する局地循環の実態を把握するため、1980年7月と1981年8月に新居浜市においてノンリフト・レーウィンゾンデ観測を実施した。

ノンリフト・レーウィンゾンデ観測は、内容量400ℓのノンリフト気球（テトラ型）にレーウィンゾンデ発信器（JWA-79W型又はJNL-77型）を吊り下げて、指定高度で浮遊するように地上で浮力調整を行って放球した。これをゾンデ受信器（RD65A型）2台で、同時に受信、自動追跡した。

観測結果は自動追跡2地点の方位角を用いて水平位置を算出した。また気球高度は受信したゾンデの気圧値より求めた。

3.2 観 測

観測は、気球の自動追跡を2地点に設置し、気球の放球点は風向等を考慮して決定した（図3.1）。

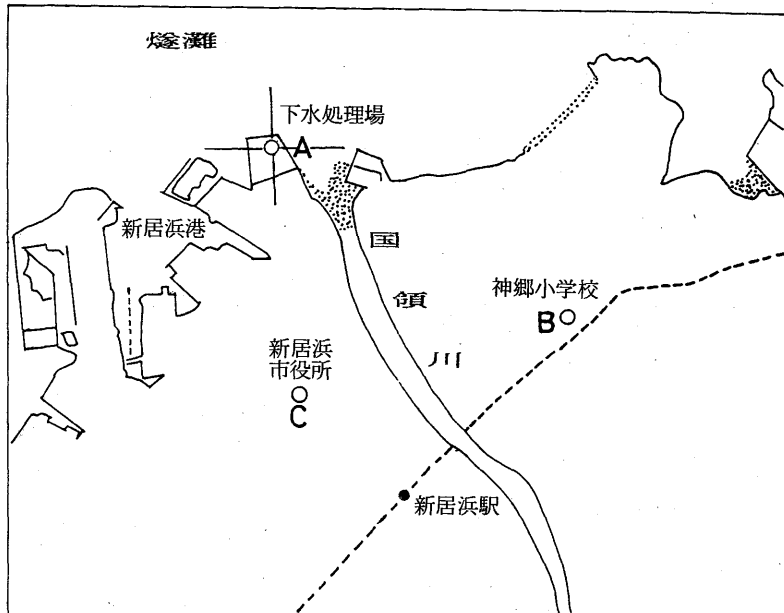


Fig. 3.1 A schematic diagram of Niihama city, and locations of releasing sites (A, C) and tracking sites (A, B).

*栗田 進：応用気象研究部 佐藤純次：企画室

(1) 追跡点

A点…新居浜市下水処理場屋上、標高20m

B点…新居浜市神郷小学校屋上、標高25m

基線長 (A—Bを結ぶ) … 3,730 m

基線角 (真北と基線のなす角) … 122度

(2) 気球放球点

○新居浜市下水処理場 (A点)

○新居浜市役所 (C点)

○新居浜沖海上

(3) 水平面上の流跡

レーウィンゾンデ受信結果から気球の流跡を水平面上に投影した位置を求めるために、追跡地点間の距離 (基線長 3,730 m) と、追跡地点の方位角・真北からの基線の角度を用いた。

位置計算には次に示す計算式を使用した。水平面の原点はA点 (新居浜市下水処理場) に置き、図3.2に示すように、東西方向をX軸、南北方向をY軸にとり、X軸のプラスを東、Y軸のプラスを北とした。

計算式

$$l = d \cdot \frac{\sin \theta_A}{\sin (\theta_A + \theta_B)}$$

$$x = l \cdot \tan \theta_A$$

$$y = l \cdot \cos \theta_A$$

$$X = -x \cdot \sin \alpha + y \cdot \cos \alpha$$

$$Y = x \cdot \cos \alpha + y \cdot \sin \alpha$$

ここで

l : A点から気球までの距離 (m)

d : 基線長 (3,730 m)

θ_A : A点の受信方位角

θ_B : B点の受信方位角

X : A点より東西軸上の距離

Y : A点より南北軸上の距離

以上の式で気球の位置を算出すれば平均風速は、水平面上の流跡として表わされるが、レーウィンゾンデ受信器による自動追跡では、追従性の問題及び気球の位置等で測風経緯儀による2点観測ほど精度が高くない。また気球の高度が下がり高度角が低くなると、地面や建物による電波の反射などの影響も現われる。これらの問題点は計算結果で流跡のふらつき現象になる。今回は、この流跡のふらつきを考慮して、観測値の移動平均を行って流跡を求めた。移動平均には、30秒間隔で収

録しているデータを計算時刻の前後、3 データずつ6 個の移動平均とした。

(4) 気球の浮遊高度

気球の高度計算には、測高公式を用い、使用データは地上気圧と気温、気球浮遊高度の気圧はレーウィンゾンデ信号より求めた。

$$H = 18,400 (1 + \alpha \cdot T) \cdot \log \left(\frac{P_o}{P_n} \right) + Z_o$$

ここで H : 気球浮遊高度 (m)

α : 空気の膨張系数 (0.00367)

T : 地と浮遊高度間の平均気温場 (°C)

P_o : 地上気圧 (mb)

P_n : レーウィンゾンデ信号による浮遊高度の気圧値 (mb)

Z_o : 地表高度 (m)

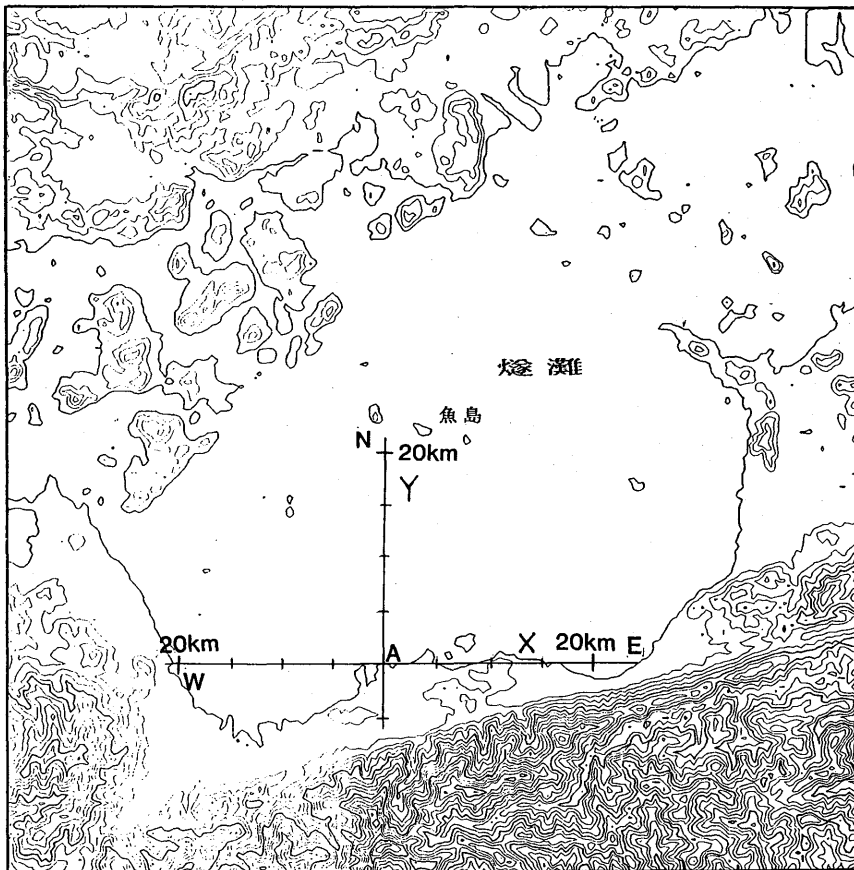


Fig. 3.2 A terrain around Hiuchinada area, and locations of two axes of the reference coordinate.

3.3 観測結果

ノンリフト・レーウィンゾンデ観測では1980年に6回、1981年に9回の観測を実施し、方位角・気圧値のデータを収録した。このデータから流跡・浮遊高度を求めた。

全体の観測範囲は、新居浜市下水処理場（A点）を中心に、北に20km、東に10km、西に20km、南に7kmにわたり、図3.2に示すように燧灘の南半分をカバーしている。

1時間以上追跡できた7例について、放球場所、時刻、追跡時間、流れの方向、浮遊高度範囲を表3.1にまとめて示し、水平流跡、浮遊高度を図及び表で示した（図3.3～3.9、表3.2～3.5）。

各水平流跡図は、図3.2に示すA点を中心とした、東西及び南北の基準線に対して描かれている。丸印は放球後30分毎に、添数字は放球後の経過時間（分）を示している。

浮遊高度図は、横軸が放球後経過時間（分）、縦軸が高度（m）で、丸印は放球後30分毎に示してある。表の星印は欠測を示す。

Table 3.1 List of the non-lift balloon observations.

Year	1980			1981			
Month	July			August			
RUN NO.	1	4	5	1	5	7	9
Day	22	23	23	19	20	21	21
Time	11:05	01:02	05:29	06:20	10:30	06:22	22:35
Releasing site	sea	A	A	A	sea	A	C
Tracking duration (hours)	8	3	1.5	2.5	4	2.5	3.5
Main direction	NNE	NW	ENE	WSW	W	SW	ENE
Elevation (m)	200 — 400	350 — 500	250 — 400	200 — 350	450 — 550	200 — 300	100 — 350

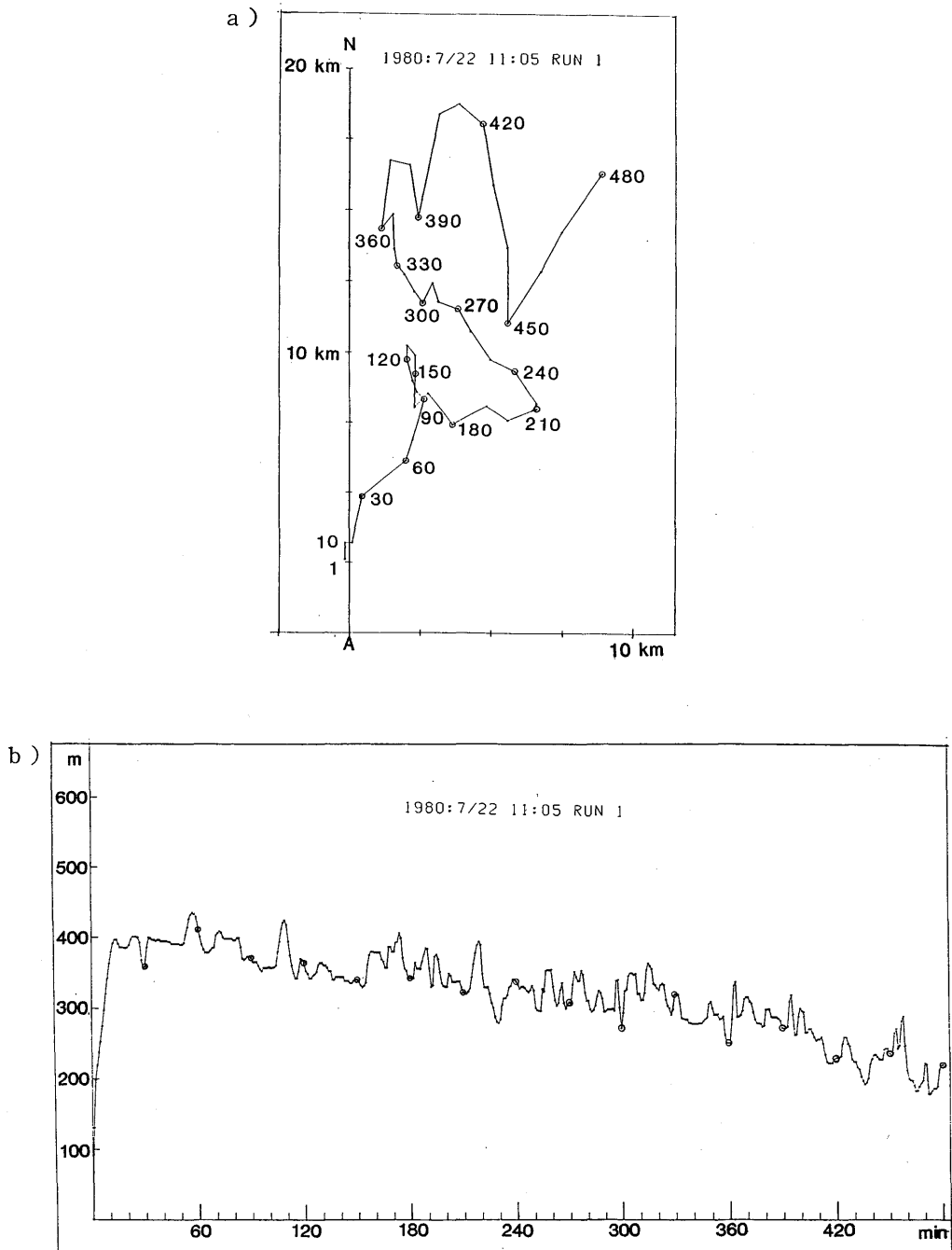


Fig 3.3 1980 RUN 1. Open circles are placed for every 30 minutes after release of the balloon.

a) Horizontal trajectory, and the numbers mean elapse time after release of the balloon.

b) Vertical fluctuation.

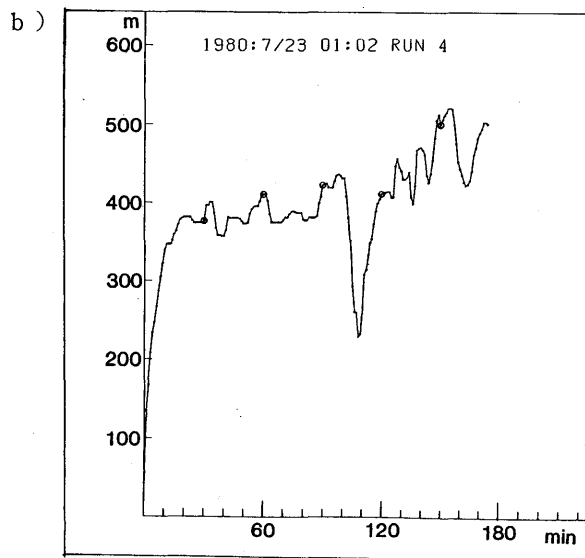
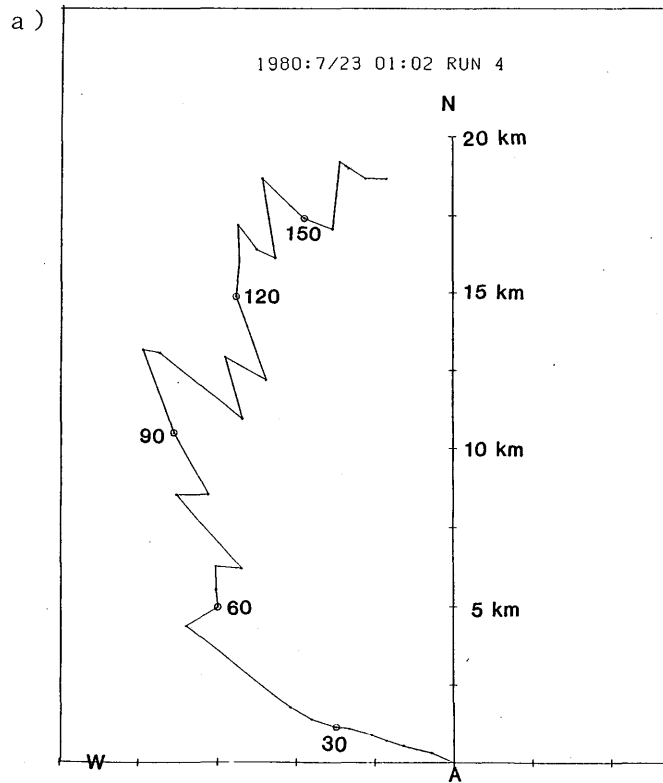


Fig. 3.4 Same as Fig.3.3 except for 1980 RUN 4.

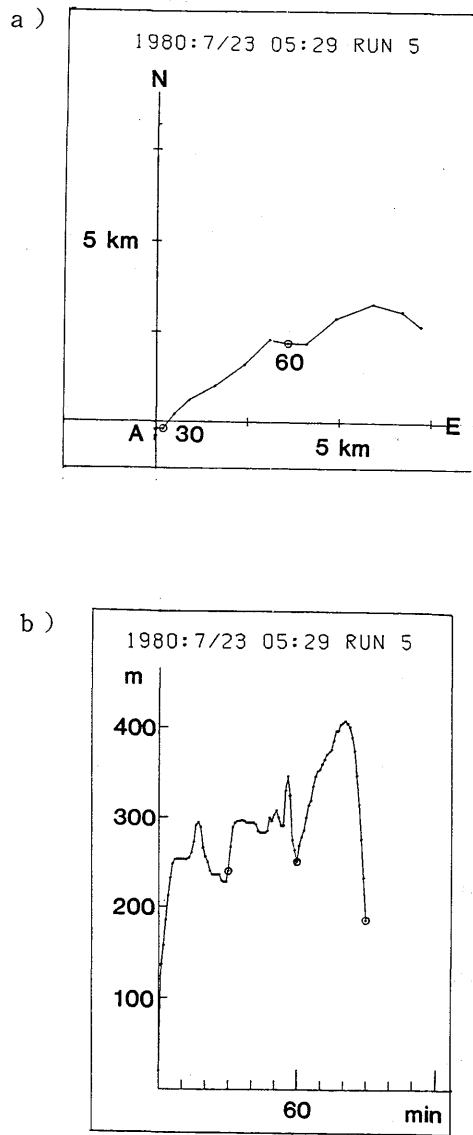


Fig. 3.5 Same as Fig.3.3 except for 1980 RUN 5.

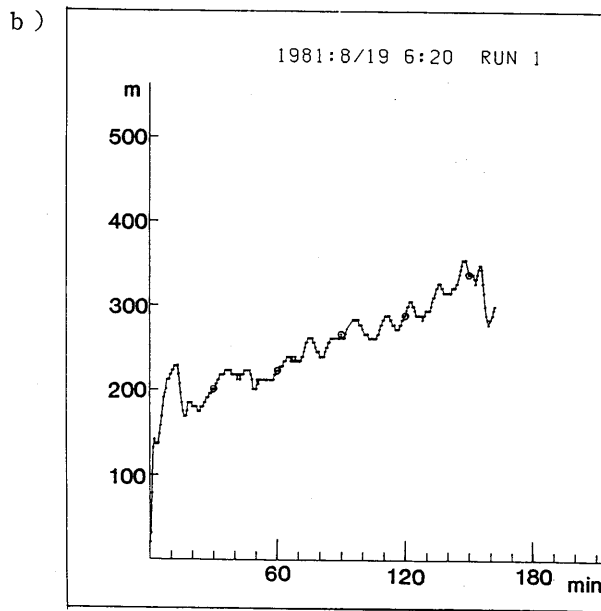
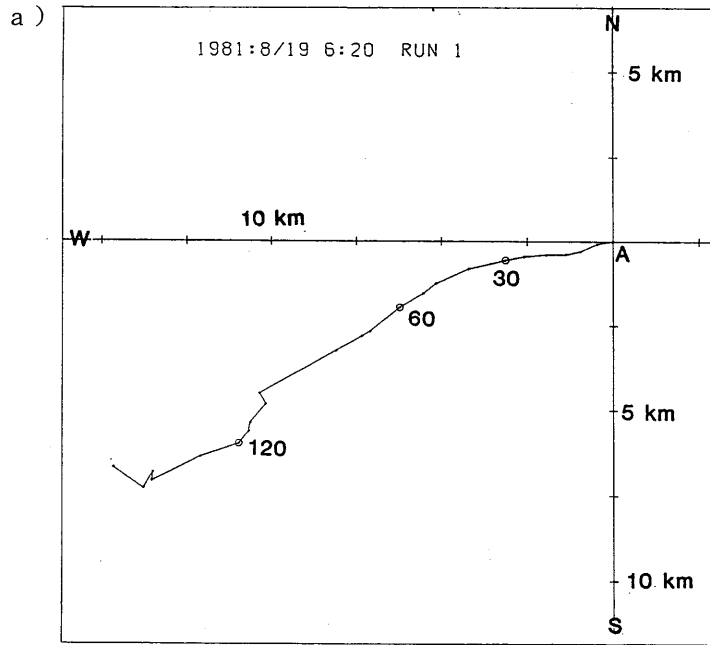


Fig. 3.6 Same as Fig.3.3 except for 1981 RUN 1.

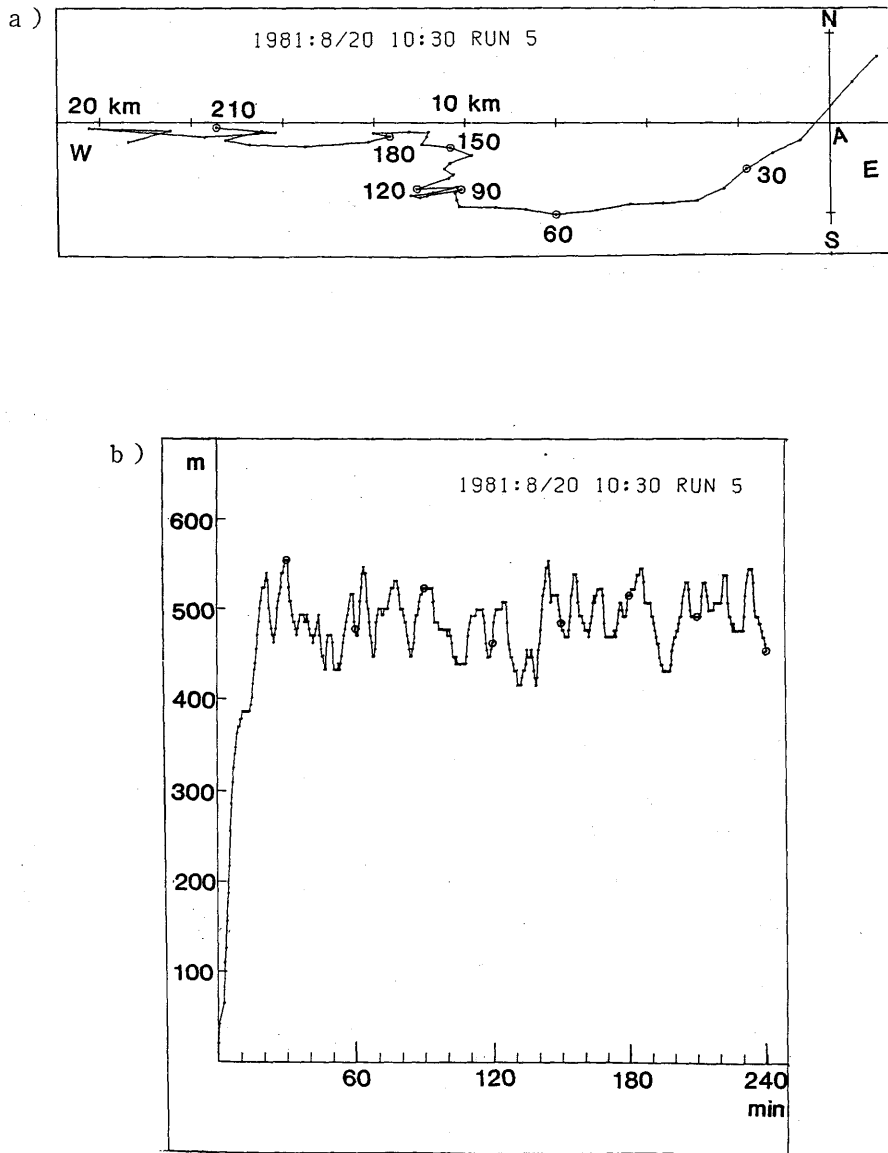


Fig. 3.7 Same as Fig.3.3 except for 1981 RUN 5.

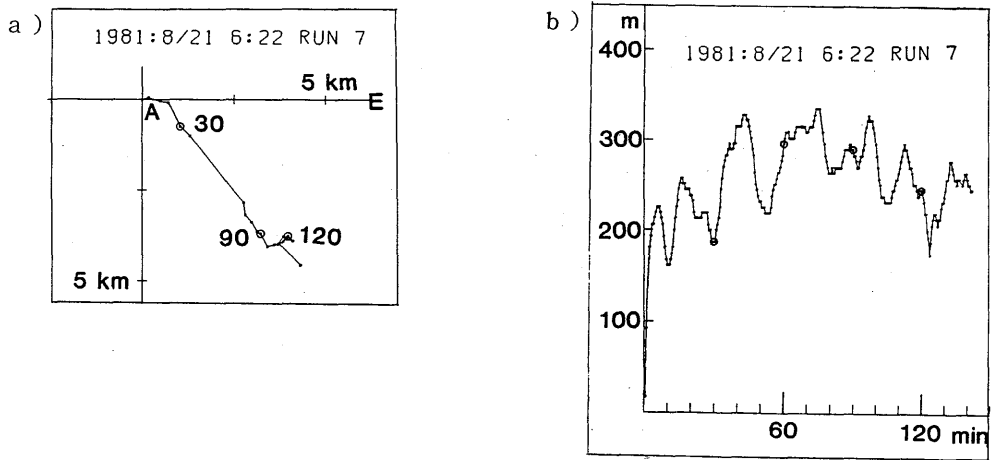


Fig. 3.8 Same as Fig.3.3 except for 1981 RUN 7.

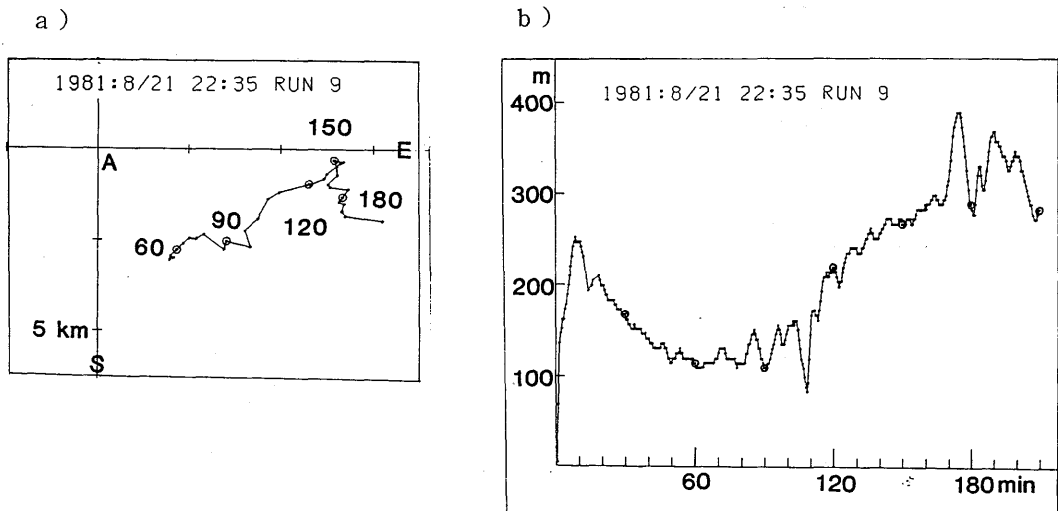


Fig. 3.9 Same as Fig.3.3 except for 1981 RUN 9.

Table 3.2 Elapse time after release of the ballons and horizontal coordinates,
a) 1980 RUN 1, b) 1980 RUN 4, c) 1980 RUN 5.

1980 RUN1			
T	X	Y	
(MIN)	KM	KM	
0	-0.15	2.60	
10	-0.15	3.20	
20	0.10	3.20	
30	0.45	4.85	
40	*****	*****	
50	*****	*****	
60	2.00	6.15	
70	2.25	6.90	
80	*****	*****	
90	2.65	8.35	
100	2.40	8.60	
110	2.25	9.00	
120	2.05	9.75	
130	2.05	10.25	
140	2.35	9.90	
150	2.35	9.25	
160	2.30	8.05	
170	2.80	8.55	
180	3.65	7.45	
190	4.85	8.10	
200	5.60	7.60	
210	6.60	8.00	
220	6.45	7.95	
230	6.60	8.20	
240	5.85	9.35	
250	5.00	9.75	
260	4.30	10.75	
270	3.85	11.55	
280	3.15	11.80	
290	2.95	12.45	
300	2.60	11.75	
310	2.30	12.15	
320	1.95	12.75	
330	1.70	13.05	
340	1.60	13.65	
350	1.55	14.85	
360	1.15	14.35	
370	1.45	16.75	
380	2.15	16.60	
390	2.45	14.75	
400	3.20	18.40	
410	3.90	18.75	
420	4.75	18.05	
430	5.10	15.90	
440	5.60	13.70	
450	5.60	11.05	
460	6.75	12.85	
470	7.50	14.25	
480	8.90	16.30	

1980 RUN4			
T	X	Y	
(MIN)	KM	KM	
0	0.0	0.0	
5	-0.72	0.31	
10	-1.60	0.52	
15	-2.13	0.68	
20	-2.59	0.85	
25	-3.32	1.06	
30	-3.73	1.11	
35	-4.52	1.36	
40	-5.18	1.76	
45	*****	*****	
50	-8.45	4.35	
55	*****	*****	
60	-7.45	4.96	
65	-7.52	5.50	
70	-7.53	6.22	
75	-6.70	6.16	
80	-8.75	8.50	
85	-7.75	8.50	
90	-8.82	10.48	
95	-9.78	13.16	
100	-9.25	13.06	
105	-6.65	10.92	
110	-7.20	12.93	
115	-5.90	12.19	
120	-6.85	14.86	
125	-6.74	15.98	
130	-6.78	17.18	
135	-6.19	16.39	
140	-5.60	16.10	
145	-6.02	18.67	
150	-4.69	17.40	
155	-3.80	17.05	
160	-3.58	19.20	
165	-2.76	18.66	
170	-2.10	18.65	

1980 RUN5			
T	X	Y	
(MIN)	KM	KM	
0	0.0	0.0	
5	0.03	-0.20	
10	-0.03	-0.40	
15	-0.03	-0.50	
20	0.0	-0.40	
25	-0.03	-0.20	
30	0.20	-0.20	
35	0.50	0.20	
40	0.90	0.60	
45	1.60	1.00	
50	2.40	1.60	
55	3.10	2.30	
60	3.60	2.20	
65	4.10	2.20	
70	4.90	2.90	
75	5.90	3.30	
80	6.70	3.10	
85	7.20	2.70	

Table 3.3 The same as table 3.1 except for a) 1981 RUN 1, b) 1981 RUN 5, c) 1981 RUN 7, d) 1981 RUN 9.

1981 RUN1		
T	X - Y	
(MIN, KM - KM)		
0	0.0	0.0
5	-0.46	-0.07
10	-0.95	-0.29
15	-1.38	-0.39
20	-1.94	-0.39
25	-2.58	-0.44
30	-3.13	-0.55
35	*****	*****
40	-4.20	-0.81
45	*****	*****
50	-5.16	-1.25
55	-5.53	-1.55
60	-6.22	-1.97
65	*****	*****
70	-7.10	-2.68
75	-7.34	-2.82
80	-8.09	-3.25
85	*****	*****
90	*****	*****
95	*****	*****
100	-10.36	-4.52
105	-10.18	-4.84
110	-10.65	-5.40
115	-10.70	-5.66
120	-10.99	-6.00
125	-12.13	-6.40
130	-13.56	-7.10
135	-13.54	-6.85
140	-13.81	-7.32
145	*****	*****
150	*****	*****
155	*****	*****
160	-14.69	-6.72

1981 RUN5		
T	X - Y	
(MIN, KM - KM)		
0	*****	*****
5	1.29	1.85
10	0.61	1.15
15	*****	*****
20	-0.80	-0.48
25	-1.55	-0.84
30	-2.28	-1.28
35	-2.90	-1.83
40	-3.62	-2.16
45	-4.57	-2.23
50	-5.47	-2.26
55	-6.38	-2.42
60	-7.49	-2.55
65	-8.34	-2.40
70	-9.17	-2.35
75	-10.18	-2.33
80	-10.24	-2.16
85	-10.29	-1.95
90	-10.10	-1.86
95	-11.05	-2.03
100	-11.25	-2.09
105	-11.50	-2.03
110	-10.90	-1.95
115	-10.22	-1.79
120	-11.33	-1.84
125	-10.45	-1.54
130	-10.33	-1.44
135	-10.58	-1.28
140	-10.42	-1.13
145	-9.81	-0.90
150	-10.40	-0.68
155	-11.20	-0.59
160	-11.07	-0.39
165	-11.01	-0.27
170	-11.53	-0.25
175	-12.52	-0.29
180	-12.07	-0.38
185	-12.66	-0.53
190	-14.38	-0.66
195	-15.90	-0.62
200	-16.57	-0.49
205	-15.57	-0.25
210	-16.81	-0.15
215	-15.20	-0.28
220	-17.12	-0.40
225	-20.29	-0.17
230	-18.07	-0.24
235	-19.22	-0.55

1981 RUN7		
T	X - Y	
(MIN, KM - KM)		
0	0.0	0.0
5	0.17	0.05
10	0.48	-0.03
15	0.71	-0.08
20	*****	*****
25	*****	*****
30	1.04	-0.75
35	1.30	-1.01
40	*****	*****
45	*****	*****
50	*****	*****
55	*****	*****
60	*****	*****
65	2.76	-2.85
70	*****	*****
75	2.80	-3.19
80	2.97	-3.39
85	3.13	-3.65
90	3.23	-3.70
95	3.41	-4.05
100	3.61	-4.00
105	3.72	-3.98
110	3.86	-3.77
115	4.11	-3.90
120	3.98	-3.77
125	3.84	-3.93
130	3.73	-3.97
135	*****	*****
140	4.31	-4.55

1981 RUN9		
T	X - Y	
(MIN, KM - KM)		
0	*****	*****
5	*****	*****
10	*****	*****
15	*****	*****
20	*****	*****
25	*****	*****
30	*****	*****
35	*****	*****
40	*****	*****
45	2.09	-2.98
50	1.98	-3.04
55	2.01	-2.93
60	2.18	-2.77
65	2.35	-2.59
70	2.51	-2.44
75	2.71	-2.46
80	2.90	-2.35
85	3.46	-2.74
90	3.53	-2.52
95	4.18	-2.67
100	4.03	-2.24
105	4.38	-1.91
110	4.66	-1.37
115	4.96	-1.19
120	5.76	-0.96
125	5.81	-0.97
130	6.17	-0.81
135	6.25	-0.68
140	6.62	-0.37
145	6.68	-0.35
150	6.44	-0.30
155	6.51	-0.48
160	6.52	-0.72
165	6.28	-0.97
170	6.34	-1.05
175	6.82	-1.10
180	6.67	-1.31
185	6.58	-1.44
190	6.71	-1.49
195	6.66	-1.70
200	6.74	-1.83
205	7.74	-1.96

Table 3.4 Vertical heights of the balloons for 1980 RUN 1,4, 5.

1980 RUN1,4,5					T(MIN)-Z(M)										
T	R1	R4	R5		T	R1	R4	R5		T	R1	R4		T	R1
0	0	20	20												
1	131	135	136		61	401	411	269		121	353	414		181	342
2	199	168	157		62	390	403	278		122	349	414		182	342
3	220	208	185		63	383	386	286		123	342	415		183	364
4	238	234	212		64	379	376	300		124	342	415		184	356
5	253	247	232		65	379	376	314		125	340	408		185	356
6	275	267	240		66	379	376	319		126	348	408		186	355
7	297	287	253		67	382	376	335		127	351	448		187	366
8	320	305	253		68	385	376	346		128	361	457		188	376
9	342	322	253		69	386	376	352		129	364	446		189	385
10	363	340	253		70	403	379	354		130	364	442		190	384
11	380	347	253		71	406	382	360		131	361	431		191	356
12	392	347	253		72	409	382	365		132	360	431		192	330
13	397	347	255		73	407	386	371		133	357	433		193	332
14	397	352	260		74	400	389	374		134	352	440		194	373
15	391	360	272		75	398	390	376		135	352	408		195	376
16	386	364	291		76	396	389	386		136	340	400		196	369
17	386	373	294		77	398	388	397		137	340	423		197	351
18	386	379	289		78	398	388	397		138	344	468		198	335
19	385	381	266		79	398	388	404		139	344	470		199	331
20	386	382	256		80	396	380	406		140	344	471		200	330
21	389	382	250		81	396	379	408		141	344	468		201	330
22	397	382	240		82	399	379	405		142	344	462		202	349
23	401	382	236		83	399	382	401		143	338	436		203	346
24	401	378	236		84	386	382	390		144	338	427		204	337
25	401	375	236		85	370	382	375		145	338	438		205	337
26	400	375	236		86	368	382	347		146	335	455		206	337
27	393	375	229		87	370	384	315		147	335	483		207	337
28	368	375	228		88	373	400	276		148	338	506		208	337
29	356	375	228		89	373	408	233		149	340	513		209	329
30	359	377	240		90	371	423	186		150	340	500		210	322
31	386	397	267		91	365	425	0		151	338	506		211	322
32	400	397	289		92	365	425	0		152	332	512		212	320
33	399	401	294		93	365	420	0		153	329	516		213	323
34	397	401	296		94	360	420	0		154	331	521		214	327
35	397	387	296		95	355	420	0		155	335	521		215	343
36	395	368	297		96	352	428	0		156	361	520		216	362
37	397	359	296		97	357	435	0		157	375	500		217	378
38	397	359	294		98	357	437	0		158	380	476		218	389
39	395	358	294		99	357	435	0		159	380	453		219	394
40	395	358	294		100	358	432	0		160	379	444		220	389
41	395	365	294		101	357	432	0		161	379	436		221	348
42	395	382	292		102	357	409	0		162	379	427		222	329
43	394	381	285		103	358	382	0		163	379	423		223	329
44	394	381	283		104	360	352	0		164	369	424		224	329
45	391	381	283		105	380	294	0		165	366	429		225	320
46	391	381	283		106	394	262	0		166	357	441		226	307
47	391	381	285		107	412	261	0		167	357	461		227	300
48	391	380	300		108	421	230	0		168	387	470		228	288
49	391	377	296		109	424	233	0		169	387	483		229	281
50	390	374	303		110	418	259	0		170	380	489		230	279
51	390	374	308		111	394	309	0		171	380	494		231	284
52	392	375	300		112	375	315	0		172	393	503		232	304
53	404	387	291		113	360	334	0		173	394	503		233	314
54	414	392	291		114	350	350	0		174	406	501		234	314
55	426	395	330		115	342	355	0		175	399	0		235	318
56	432	396	346		116	342	374	0		176	371	0		236	329
57	435	396	325		117	352	390	0		177	356	0		237	331
58	433	402	275		118	370	400	0		178	353	0		238	340
59	429	409	264		119	368	405	0		179	342	0		239	340
60	411	411	251		120	364	412	0		180	342	0		240	337

Table 3.5 The same as table 3.4 except
for 1981 RUN 1,5,7,9.

1980 RUN1 T(MIN)-Z(M)							
T	R1	T	R1	T	R1	T	R1
241	333	301	293	361	251	421	230
242	327	302	324	362	284	422	230
243	330	303	326	363	331	423	232
244	330	304	345	364	336	424	250
245	323	305	349	365	268	425	259
246	324	306	349	366	268	426	259
247	322	307	347	367	290	427	250
248	325	308	348	368	296	428	246
249	331	309	320	369	312	429	227
250	325	310	320	370	315	430	224
251	300	311	311	371	315	431	224
252	297	312	311	372	309	432	216
253	296	313	321	373	306	433	213
254	296	314	354	374	294	434	203
255	327	315	363	375	284	435	197
256	323	316	359	376	279	436	192
257	353	317	355	377	279	437	194
258	354	318	334	378	278	438	200
259	354	319	332	379	274	439	221
260	354	320	328	380	275	440	226
261	330	321	325	381	298	441	234
262	311	322	332	382	298	442	234
263	303	323	334	383	298	443	231
264	307	324	332	384	288	444	228
265	325	325	312	385	287	445	227
266	335	326	303	386	287	446	227
267	307	327	300	387	287	447	241
268	299	328	291	388	285	448	243
269	304	329	298	389	282	449	243
270	308	330	319	390	272	450	236
271	307	331	319	391	272	451	232
272	333	332	319	392	272	452	237
273	351	333	306	393	274	453	265
274	344	334	286	394	309	454	271
275	338	335	285	395	318	455	243
276	338	336	284	396	291	456	247
277	353	337	284	397	262	457	282
278	347	338	279	398	263	458	288
279	322	339	279	399	288	459	247
280	310	340	278	400	299	460	212
281	310	341	278	401	296	461	200
282	298	342	278	402	294	462	198
283	295	343	278	403	266	463	197
284	297	344	279	404	266	464	191
285	303	345	279	405	271	465	183
286	316	346	282	406	271	466	183
287	324	347	285	407	265	467	189
288	321	348	287	408	259	468	194
289	313	349	306	409	254	469	197
290	295	350	309	410	256	470	222
291	295	351	300	411	256	471	220
292	298	352	291	412	259	472	179
293	296	353	291	413	250	473	179
294	298	354	291	414	234	474	183
295	299	355	284	415	224	475	186
296	296	356	285	416	222	476	186
297	338	357	288	417	222	477	189
298	339	358	262	418	222	478	213
299	301	359	251	419	227	479	219
300	272	360	251	420	229	480	220

1981 RUN1,5,7,9				
T	R1	R5	R7	R9
0.0	20	0	20	4
0.5	31	41	17	4
1.0	78	***	92	68
1.5	132	***	***	136
2.0	142	***	168	147
2.5	137	64	181	152
3.0	137	110	193	162
3.5	137	126	206	162
4.0	137	156	206	173
4.5	148	187	213	178
5.0	158	217	219	189
5.5	169	256	225	199
6.0	180	286	225	210
6.5	191	309	225	220
7.0	196	325	219	231
7.5	201	340	213	242
8.0	212	347	206	247
8.5	212	363	193	252
9.0	212	370	181	247
9.5	218	370	168	247
10.0	218	378	162	247
10.5	223	378	162	247
11.0	223	386	162	242
11.5	228	386	168	236
12.0	228	386	174	231
12.5	228	386	181	***
13.0	228	386	200	***
13.5	218	386	213	***
14.0	207	386	225	194
14.5	196	393	232	***
15.0	185	401	245	***
15.5	175	416	251	199
16.0	169	432	257	205
16.5	169	439	257	***
17.0	169	455	251	***
17.5	175	470	251	***
18.0	185	485	245	***
18.5	185	500	245	210
19.0	185	508	245	205
19.5	185	523	245	199
20.0	180	523	238	199
20.5	180	523	238	199
21.0	180	531	232	194
21.5	180	539	219	189
22.0	180	531	213	189
22.5	175	500	213	183
23.0	175	485	213	183
23.5	175	477	213	183
24.0	180	470	213	183
24.5	180	462	213	183
25.0	180	470	219	183
25.5	185	477	219	178
26.0	185	500	219	178
26.5	191	508	219	173
27.0	191	516	219	173
27.5	191	523	206	173
28.0	196	539	200	173
28.5	196	539	200	168
29.0	196	546	187	168
29.5	201	554	187	168
30.0	201	554	187	168

1981 RUN1,5,7,9 T(MIN)-Z(M)																							
T	R1	R5	R7	R9		T	R1	R5	R7	R9		T	R1	R5	R7	R9		T	R1	R5	R7	R9	
30.5	201	554	187	162		60.5	223	470	302	110		90.5	261	523	283	110							
31.0	207	523	200	162		61.0	228	470	309	110		91.0	261	523	283	110							
31.5	207	508	206	157		61.5	228	477	309	110		91.5	261	523	277	115							
32.0	212	503	213	157		62.0	228	508	309	110		92.0	266	523	270	115							
32.5	212	493	225	152		62.5	223	523	302	110		92.5	272	523	270	120							
33.0	218	485	245	152		63.0	234	539	302	110		93.0	***	523	277	126							
33.5	218	485	257	152		63.5	234	540	302	110		93.5	***	523	283	131							
34.0	218	477	270	157		64.0	234	539	302	115		94.0	***	508	283	136							
34.5	218	470	277	152		64.5	239	539	302	115		94.5	***	485	290	141							
35.0	218	477	283	152		65.0	239	508	309	115		95.0	***	485	296	147							
35.5	223	485	283	152		65.5	239	500	315	115		95.5	283	485	309	152							
36.0	223	493	290	152		66.0	239	485	315	115		96.0	283	485	315	157							
36.5	223	493	296	152		66.5	234	470	315	115		96.5	283	477	322	152							
37.0	223	493	290	147		67.0	239	462	315	115		97.0	283	477	328	147							
37.5	223	493	290	147		67.5	234	447	315	115		97.5	283	477	322	136							
38.0	223	485	290	147		68.0	234	447	315	115		98.0	283	477	322	136							
38.5	218	485	296	147		68.5	239	455	315	120		98.5	277	477	322	136							
39.0	218	493	296	141		69.0	234	485	315	120		99.0	277	477	315	141							
39.5	218	485	315	141		69.5	234	493	***	120		99.5	277	477	309	147							
40.0	218	477	315	141		70.0	234	500	309	126		100.0	272	470	296	152							
40.5	218	470	315	136		70.5	234	500	309	131		100.5	***	477	283	157							
41.0	212	470	315	136		71.0	234	500	***	131		101.0	266	477	270	157							
41.5	218	462	315	136		71.5	239	493	315	131		101.5	266	470	257	157							
42.0	218	470	322	131		72.0	239	493	315	131		102.0	266	462	251	157							
42.5	212	470	328	131		72.5	245	500	315	131		102.5	266	447	238	162							
43.0	218	477	328	131		73.0	250	500	322	126		103.0	261	447	238	157							
43.5	218	485	328	131		73.5	256	500	328	120		103.5	261	439	238	162							
44.0	218	493	322	131		74.0	256	500	335	120		104.0	261	447	232	162							
44.5	223	470	322	131		74.5	261	508	335	120		104.5	261	439	232	152							
45.0	223	455	315	131		75.0	261	516	335	120		105.0	261	439	232	141							
45.5	223	447	309	136		75.5	261	523	335	120		105.5	261	439	232	131							
46.0	223	447	302	136		76.0	261	523	***	120		106.0	261	439	232	120							
46.5	223	432	290	136		76.5	261	523	***	120		106.5	261	439	232	115							
47.0	223	432	283	131		77.0	256	531	309	120		107.0	266	439	238	110							
47.5	218	462	264	131		77.5	256	531	296	115		107.5	266	439	245	100							
48.0	212	470	251	126		78.0	250	531	283	110		108.0	272	439	245	89							
48.5	201	470	245	120		78.5	245	523	277	115		108.5	277	447	251	84							
49.0	201	470	238	120		79.0	245	516	270	115		109.0	277	470	257	94							
49.5	201	470	232	115		79.5	245	500	264	115		109.5	283	477	257	120							
50.0	201	462	232	115		80.0	239	500	264	115		110.0	283	485	264	147							
50.5	212	432	225	120		80.5	239	500	264	115		110.5	288	493	270	168							
51.0	207	432	225	120		81.0	239	493	270	115		111.0	288	493	277	173							
51.5	212	432	225	120		81.5	239	485	264	115		111.5	288	493	283	173							
52.0	212	432	219	126		82.0	239	485	264	126		112.0	288	493	290	173							
52.5	212	439	219	126		82.5	245	470	270	126		112.5	288	493	296	168							
53.0	212	432	219	126		83.0	250	462	270	136		113.0	283	500	290	168							
53.5	212	439	219	131		83.5	250	455	270	136		113.5	283	500	290	162							
54.0	212	447	219	126		84.0	256	447	270	141		114.0	277	500	283	173							
54.5	212	462	225	126		84.5	256	447	270	147		114.5	277	500	277	183							
55.0	212	470	238	120		85.0	261	455	270	147		115.0	277	500	270	194							
55.5	212	477	245	120		85.5	261	462	277	152		115.5	272	500	270	205							
56.0	212	485	251	120		86.0	261	485	283	147		116.0	272	493	264	210							
56.5	212	493	251	120		86.5	261	493	290	141		116.5	272	485	251	210							
57.0	212	500	257	120		87.0	261	493	290	141		117.0	272	462	251	215							
57.5	212	508	264	120		87.5	261	500	290	131		117.5	277	455	251	210							
58.0	212	516	264	120		88.0	261	508	290	131		118.0	277	447	245	210							
58.5	218	516	270	120		88.5	261	516	296	120		118.5	283	447	238	215							
59.0	218	516	277	120		89.0	261	516	296	120		119.0	283	447	238	215							
59.5	223	485	283	115		89.5	261	523	290	115		119.5	288	455	245	215							
60.0	223	477	296	115		90.0	266	523	290	110		120.0	288	462	245	220							

1981 RUN1,5,7,9 T(MIN)-Z(M)											
T	R1	R5	R7	R9	T	R1	R5	R9	T	R5	R9
120.5	294	485	245	220	150.5	337	477	268	180.5	516	284
121.0	299	493	232	215	151.0	337	477	268	181.0	523	279
121.5	299	500	219	210	151.5	337	470	268	181.5	523	279
122.0	305	500	219	205	152.0	337	470	274	182.0	523	290
122.5	305	500	200	199	152.5	332	470	274	182.5	523	306
123.0	305	500	193	205	153.0	326	470	274	183.0	531	322
123.5	299	500	174	205	153.5	332	477	274	183.5	539	332
124.0	299	500	187	215	154.0	337	493	268	184.0	539	332
124.5	294	508	206	220	154.5	345	516	268	184.5	539	322
125.0	288	508	213	226	155.0	348	523	274	185.0	546	311
125.5	288	508	219	231	155.5	348	539	274	185.5	546	306
126.0	288	508	219	236	156.0	343	539	279	186.0	546	306
126.5	288	485	213	236	156.5	326	539	284	186.5	531	316
127.0	288	462	206	236	157.0	315	531	284	187.0	508	327
127.5	288	455	213	242	157.5	299	508	284	187.5	508	338
128.0	283	447	213	242	158.0	288	493	284	188.0	508	348
128.5	268	447	225	242	158.5	283	493	284	188.5	508	359
129.0	288	439	232	242	159.0	277	493	284	189.0	508	365
129.5	294	432	232	242	159.5	***	485	284	189.5	508	365
130.0	294	432	238	242	160.0	283	485	290	190.0	493	370
130.5	294	432	245	236	160.5	***	477	284	190.5	493	370
131.0	294	416	257	236	161.0	288	477	290	191.0	485	359
131.5	294	416	257	236	161.5	294	477	290	191.5	477	359
132.0	299	416	264	236	162.0	299	470	290	192.0	470	359
132.5	305	416	277	242	162.5	0	477	295	192.5	462	354
133.0	310	424	277	242	163.0	0	485	295	193.0	462	354
133.5	310	432	270	247	163.5	0	493	300	193.5	447	348
134.0	315	432	264	252	164.0	0	508	300	194.0	439	343
134.5	321	439	257	252	164.5	0	516	300	194.5	439	343
135.0	321	455	257	258	165.0	0	508	295	195.0	432	343
135.5	326	447	251	258	165.5	0	516	295	195.5	432	338
136.0	326	447	257	263	166.0	0	523	290	196.0	432	332
136.5	326	447	257	258	166.5	0	523	290	196.5	432	327
137.0	321	455	***	258	167.0	0	523	290	197.0	432	327
137.5	321	447	***	252	167.5	0	523	290	197.5	432	332
138.0	315	432	251	252	168.0	0	523	295	198.0	432	338
138.5	315	424	257	252	168.5	0	516	295	198.5	439	338
139.0	315	416	264	252	169.0	0	485	300	199.0	455	343
139.5	315	424	264	252	169.5	0	470	311	199.5	462	348
140.0	315	455	257	258	170.0	0	470	316	200.0	470	343
140.5	315	462	251	258	170.5	0	470	327	200.5	470	343
141.0	315	477	251	263	171.0	0	470	338	201.0	477	343
141.5	315	500	245	263	171.5	0	470	348	201.5	477	338
142.0	321	516	245	268	172.0	0	470	365	202.0	485	327
142.5	321	523	0	268	172.5	0	470	375	202.5	493	327
143.0	321	531	0	274	173.0	0	470	381	203.0	493	322
143.5	321	546	0	274	173.5	0	477	386	203.5	508	316
144.0	326	546	0	274	174.0	0	470	391	204.0	516	311
144.5	326	554	0	274	174.5	0	477	391	204.5	523	306
145.0	332	539	0	274	175.0	0	485	391	205.0	531	300
145.5	337	508	0	268	175.5	0	500	386	205.5	531	295
146.0	343	516	0	268	176.0	0	508	375	206.0	531	290
146.5	348	516	0	268	176.5	0	508	365	206.5	523	290
147.0	354	516	0	268	177.0	0	500	354	207.0	500	279
147.5	354	516	0	268	177.5	0	493	343	207.5	493	274
148.0	354	516	0	268	178.0	0	493	327	208.0	493	274
148.5	354	516	0	274	178.5	0	493	316	208.5	493	274
149.0	***	500	0	274	179.0	0	500	306	209.0	493	279
149.5	***	493	0	274	179.5	0	516	290	209.5	493	284
150.0	337	485	0	268	180.0	0	516	290	210.0	493	284

3.4 解析例

各RUNのうち浮遊時間が長く、燧灘に深く入り込んだ、1980年RUN1を解析する。

気球は新居浜の沖合3kmの海上で400mの高度に飛揚された。この気球は8時間にわたって海上を浮遊し、燧灘の南部海域の200~400mの高度の風を観測した。

7月22日の11時5分に放球された気球は、その後約2時間ほど400mの高度を北へ向かって流れている。同時に行われたトレーサー実験(第6章)によると、海上で放出されたトレーサーは南へ向かい、新居浜のトレーサー捕集地点まで運ばれている。これはおそらく、沿岸の沖合10km付近まで、海風循環が伸びていることを示しているものと考えられる。すなわち、日中には海上又は地表付近では北風が、400mの高度ではその反流の南風が卓越することを表わしていると思われる。さらにこの領域では、風の東西成分が弱く、南北方向の成分のみが顕著に現われていることも、注目すべきである。夏の燧灘の南半分の海域は、下層の風系は基本流が弱く、南北方向に発達する局地循環が顕著に発達することが確認された。

新居浜・魚島・福山を通る南北断面(図2.3)で各高度の風を比較すると、魚島と福山は下層の数100mを除いてほぼ西南西の一般流が顕著である。したがってその間の海域も両地点の風とほぼ同様な風が吹いていることが予想される。しかし、魚島の南では、ノンリフトバルーンの航跡と魚島における風の鉛直分布による風向とを対比してみると、魚島上空の風向とその南側の海域の風向とは大きな違いが見出される。したがって、この海域の風の分布は、魚島と新居浜の風の補間では推定し難く、その地域のより詳細な風の観測が必要であることが分かった。

参 考 文 献

- J. Sato 1975: Estimation of Turbulent Diffusivity over the Tokyo Metropolitan Area from Constant-volume Balloons. Pap. Meteorol. Geophys. 26, 35-46
- 1981: Some Aspects of Diurnal Variation and Profile of Vertical Turbulent Diffusivity in the Atmospheric Boundary Layer, Pap. Meteorol. Geophys. 32, 247-256

付 録

ノンリフト・バルーンの調整

1. ノンリフト・バルーンとは

ノンリフト・バルーン観測に使用するバルーンは外力による膨張変形を極力押さえ、同一容積を保つように作られている。このためバルーンの浮力は空気の密度のみに比例することになるので、バルーンに加える錘りの調整によって、バルーンが到達し、かつ浮遊しようとする〔自重（錘りを含む）と浮力とが釣り合う〕空気の密度面（気圧の遞減が高度に比例すると考えれば、高度面）を任意に指定することができる。このように、調整されたバルーンは自由浮力（浮力より自重をひいたもの）が零になるようなそのバルーンに特有の空気の密度面を浮遊すると考えられ、このことが“ノンリフト（non-lift）・バルーン”と呼ばれる理由でもある。

2. 錘りの調整

前節に述べたように錘りを調整することによって、観測したい高度にバルーンを浮遊させることができる。

1) 調整の理論

a) ノンリフト・バルーンの地上での自由浮力 L_0 及び高度 Z での自由浮力 L_z は、次の式で表わされる。

$$L_0 = \rho_{ao} V - \rho_{ho} V - w \quad \text{①}$$

$$L_z = \rho_{az} V - \rho_{hz} V - w \quad \text{②}$$

ただし

{	V_0 :	地上でのバルーンの容積	
	V_z :	高度 Z でのバルーン容積	
	ρ_{ao} :	地上での空気密度、 ρ_{az} :	高度 Z での空気密度
	ρ_{ho} :	地上でのヘリウム密度	
	ρ_{hz} :	高度 Z でのヘリウム密度	
	w :	バルーンの自重	

実際にはバルーン内圧と外気圧とのバランスによってバルーンの容積は、わずかであるが変化するので、これを考慮してある。

適当な錘りをつけ地上で自由浮力が零 ($L_0 = 0$) になるようにしたバルーンに、さらに高度 Z で自由浮力が零 ($L_z = 0$) になるように加える錘り Δw は、この L_z と L_0 との差より求められる。

$$\Delta w = L_z - L_0 \quad \text{③}$$

ただし、 $L_z < L_0$ の時は錘りを減らすことになる。

③式に①、②式を代入する。

$$\begin{aligned}\Delta W &= (\rho_{az}V_z - \rho_{hz}V_z - W) - (\rho_{ao}V_o - \rho_{ho}V_o - W) \\ &= (\rho_{az}V_z - \rho_{ao}V_o) - (\rho_{hz}V_z - \rho_{ho}V_o) - (W - W) \\ &= \rho_{az}V_z - \rho_{ao}V_o \quad \text{④}\end{aligned}$$

(ヘリウムガスの重量は不変により、 $\rho_{hz}V_z - \rho_{ho}V_o = 0$)

ここで、次のようにおき④式を変形する。

$$V_z = V_o + \Delta V \quad \text{⑤}$$

$$\rho_{az} = \rho_{ao} - \Delta \rho_a \quad \text{⑥}$$

$$\begin{aligned}\Delta W &= (\rho_{ao} - \Delta \rho_a)(V_o + \Delta V) - \rho_{ao}V_o \\ &= \rho_{ao}V_o + \rho_{ao}\Delta V - \Delta \rho_a V_o - \Delta \rho_a \Delta V - \rho_{ao}V_o \\ &= \rho_{ao}\Delta V - \Delta \rho_a V_o - \Delta \rho_a \Delta V \quad \text{⑦}\end{aligned}$$

⑦式で實際上第3項は無視してよく

$$\therefore \Delta W = \rho_{ao}\Delta V - \Delta \rho_a V_o \quad \text{⑧}$$

b) Vについてノンリフト・バルーン固有の膨張係数 α を仮定して

$$\Delta V = V_o \cdot \alpha \cdot \Delta P \quad \text{⑨}$$

とおく。 ΔP は容積一定とした場合のノンリフト・バルーンの内外圧差の仮の増分である。

⑨式を⑧式に代入する。

$$\Delta W = \rho_{ao}V_o \cdot \alpha \cdot \Delta P - \Delta \rho_a \cdot V_o \quad \text{⑩}$$

この⑩式がノンリフト・バルーン調整上の基本式である。

b') ΔP は次のようにして求める。

$$\Delta P = (\text{外気圧の変化による増分}) + (\text{内圧の温度変化による増分})$$

第1項は、ノンリフト・バルーン内圧を外圧より高くして放球するので

$$P_{ao} \text{ (地上気圧)} - P_{az} \text{ (高度Zでの気圧)}$$

で求め、第2項も同じ理由によって、内圧の増分 ΔP_h となるので

$$\Delta P_h = P_{hz} - P_{ho} \quad \text{⑪}$$

で求める。ただし、 P_{hz} 、 P_{ho} はバルーンのそれぞれ高度Z、地上での内圧である。 ΔP_h は

$$\frac{P_{ho}}{T_o} \left(= \frac{P_{hz}}{T_z} \right) = \frac{P_{ho} + \Delta P_h}{T_o + \Delta T} \quad \text{⑫}$$

より、〔ただし、 T_o は地上気温、 $T_o + \Delta T (= T_z)$ は高度Zでの気温〕

$$\Delta P_h = P_{ho} \frac{\Delta T}{T_o} \quad \text{⑬}$$

で表わせる。

c) V_o について

①式より

$$V_0 = \frac{L_0 + w}{\rho_{ao} - \rho_{ho}} \quad (14)$$

で表わせる。

2) 調整上の注意

調整は1)調整の理論により、ノンリフト調整野帳(図3.10)に従ってやってもらえばよいが、以下注意事項を上げておく。

テトルーシ調整野帳

調整場所 _____ 調整年月日 _____

通し番号 _____ 指定高度 _____ m

バルーン番号 _____ 容積 _____ l 自重 (ω) _____ g

高度 _____ 気温 _____ 気圧 _____ 内圧差 _____ He 圧 _____

地上 _____ m T_0 _____ °C P_{a0} _____ mb _____ mb P_{a0} _____ mb

指定高度区 _____ m T_z _____ °C P_{az} _____ mb _____ mb P_{az} _____ mb

○基本式 $\Delta W = \rho_{a0} V_0 \alpha \Delta P - \Delta \rho_a V_0$

Flowchart illustrating the calculation of ΔW (g) based on the formula $\Delta W = \rho_{a0} V_0 \alpha \Delta P - \Delta \rho_a V_0$.

Inputs and Intermediate Calculations:

- T_z (°C) and T_0 (°C) are converted to T_0 (°K) using $273.2 + T_0$ (°C).
- T_0 (°K) is used to calculate ρ_{a0} (g/l) and ρ_{a0} (g/l).
- ω (g) and L_0 (g) are used to calculate ρ_{a0} (g/l) and ρ_{a0} (g/l).
- P_{a0} (mb) and P_{az} (mb) are used to calculate ΔP (mb).
- ΔP (mb) is used to calculate α (mb⁻¹) / 2×10^{-4} .
- α (mb⁻¹) / 2×10^{-4} is used to calculate ΔV (l).
- ΔV (l) is used to calculate ΔW (g).
- ρ_{a0} (g/l) and ΔV (l) are used to calculate ΔW (g).
- ΔW (g) is used to calculate L_z (g).

Final Calculation:

$$L_0 \text{ (g)} - \Delta W \text{ (g)} = L_z \text{ (g)}$$

放球時刻 _____ 放球場所 _____

記事 _____

Fig. 3-10 The field book used in regulating the non-lift balloon.

a) 調整は錘りを釣り合わせ際の風の影響、また日射の影響を考慮し、屋内又はテント内などで行う。

b) バルーン内圧の調整

バルーン内圧はテトルーンの場合、地上気圧より約20mb位高くしておく。これは、この時バルーンの膨張変形が最も少ないと考えられるからで、その調整には、図 3.11のようなU字管を用いる。

c) L_0 : 錘りを釣り合わせることによって求める。錘りを上皿天秤によって計る。

d) w : 気球表面に記入してある。

e) T_0 、 P_{a0} : c) を求めた時点に測定する。

f) T_z 、 P_{az}

ノンリフト・バルーン放球直前のゾンデ観測によるか、それぞれ気温の通減率 ($0.60^\circ\text{C}/100\text{m}$)、気圧の通減率 ($12\text{mb}/100\text{m}$) より推算する。

ただし、 T_0 (調整場所) をもとに T_z を求めるのではなく別に屋外での地上気温 T_0' を測定してこれから推算した方がよい。

g) ρ_{a0} 、 ρ_{az} 、 ρ_{ho}

それぞれの場合の気温と気圧より、調整用グラフ (図 3.12、図 3.13) で読みとる。

h) α : テトルーンの場合は $2 \times 10^{-4} (\text{mb}^{-1})$ とする。

3. 以上より調整野帳に従って計算をし、 L_z の錘りをテトルーンにつけて放球する。

4. テトルーン調整用具一式

ヘリウムガスボンベ

ヘリウム用減圧弁

ゴムホース、三又コック

口ガラス (三又コックにゴムホースをつなぎ、それとバルーンのガス注入口とのつなぎに用いる)

U字管

気圧計 (アネロイド等)

温度計 (アスマン等)

上皿天秤

釣り合わせ錘 (適当なものでよい)

錘りをバルーンに釣り下げる際のとめ金のようなものがあれば便利

ビニール袋 (砂をつめて、 L_z と同じ重さにして、バルーンに釣り下げ放球する)

調整用グラフ、野帳、計算尺

(日本気象協会東京本部技術マニュアルによる)

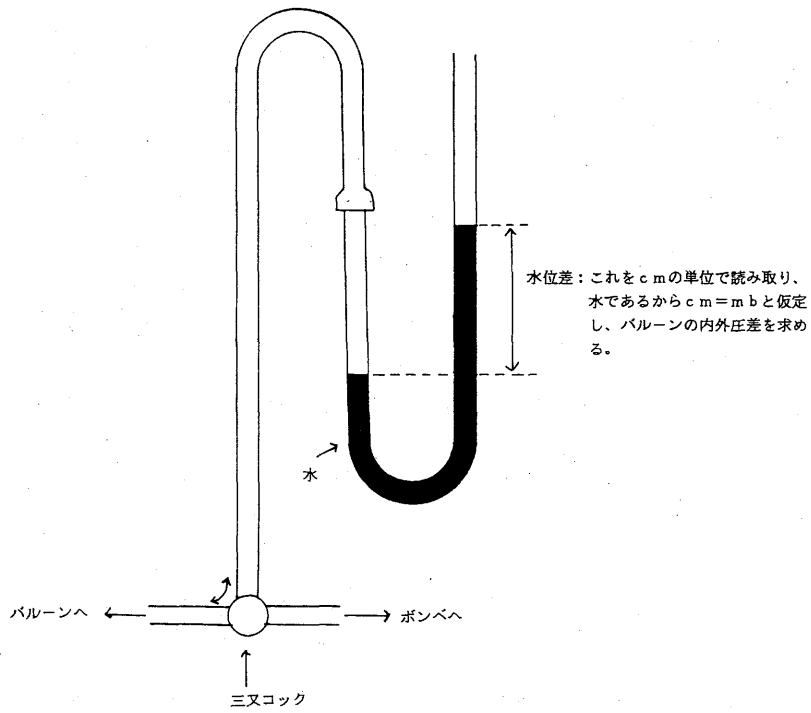


Fig. 3 11 A U tube used in regulating the internal pressure of balloon. It is shown by the difference of water level of U tube measured by cm , assumed to $cm = mb$.

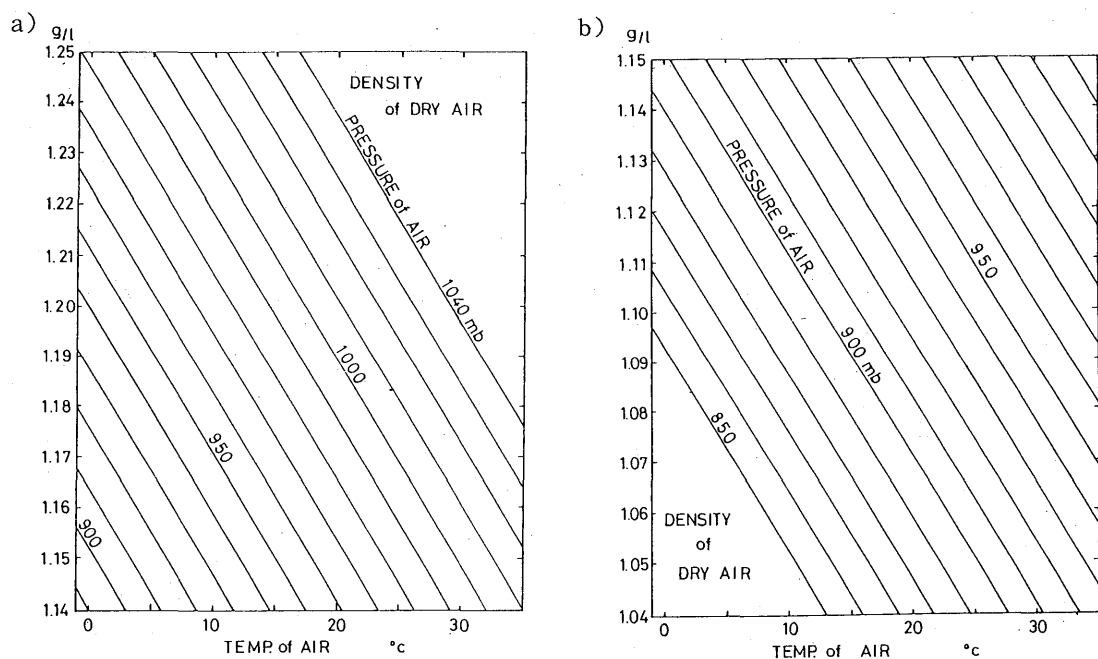


Fig. 3-12 The nomogram used in calculating the density of dry air as functions of air pressure and temperature.

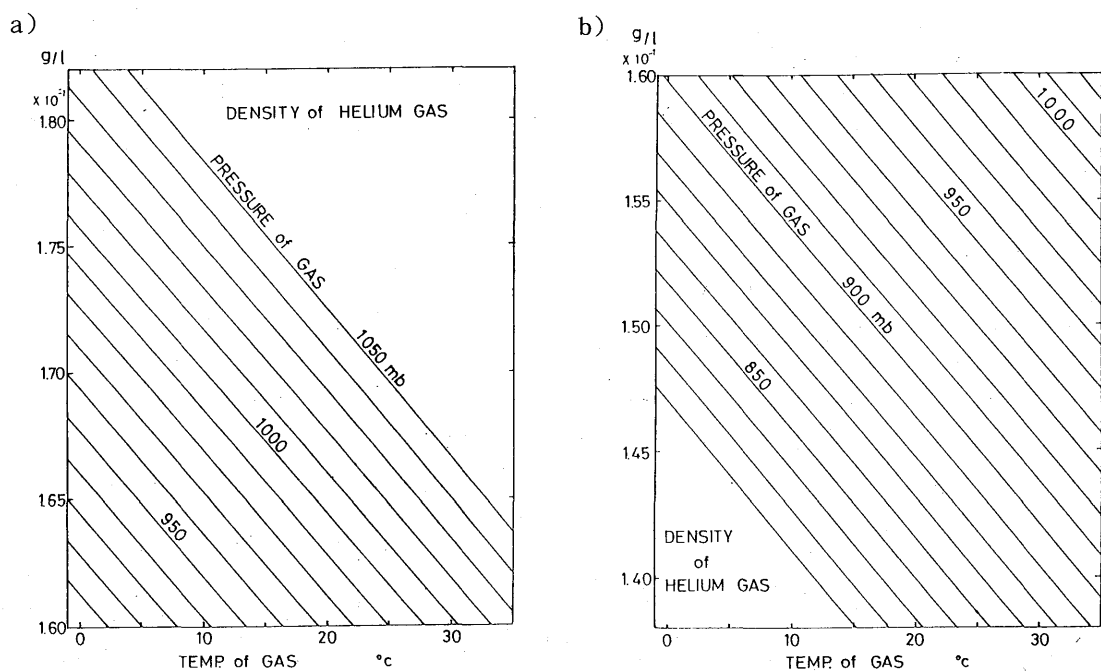


Fig. 3-13 The nomogram used in calculating the density of He gas as functions of air pressure and temperature.