

第 39 次南極地域観測隊気象部門報告 1998

岸 隆幸・安田毅彦・吹田俊明・堀川和久・大河原望*

Meteorological observations at Syowa Station in 1998
by the 39th Japanese Antarctic Research ExpeditionTakayuki Kishi, Takehiko Yasuda, Toshiaki Fukita,
Kazuhisa Horikawa and Nozomu Ookawara*

Abstract: This paper describes the results of meteorological observations at Syowa Station from February 1, 1998 to January 31, 1999, carried out by the Meteorological Observation Team of the 39th Japanese Antarctic Research Expedition (JARE-39).

The method of observation, instruments and statistical methods used by JARE-39 were almost the same as those used by the JARE-38 observation team.

Remarkable weather phenomena observed during the period of JARE-39 were the following:

- 1) Changes in the weather were severe through out the year, and the surface temperature in the first half of the year was higher than average. The monthly mean temperature in March was the highest temperature on record.
- 2) A heavy snowstorm (blizzard) hit Syowa Station from June 3rd to 5th and recorded a maximum wind speed of 46.4 m/s, with a peak gust of 54.8 m/s (both the record high of June). Rough weather continued in September, and the number of blizzard days reached 17 days.
- 3) The large scale Antarctic ozone hole was observed for the tenth successive year, and the monthly mean total ozone amounts in September, November, December 1998 and January 1999 were recorded as the lowest in observation history for the respective months. The total ozone amount was less than 220 m atm-cm indicating that the ozone hole, was observed until the middle of December, which was the latest in observation history.

要旨: この報告は、第 39 次南極地域観測隊気象部門が 1998 年 2 月 1 日から 1999 年 1 月 31 日まで昭和基地において行った気象観測の結果をまとめたものである。

観測方法・測器・統計計算等は第 38 次観測隊とほぼ同様である。越冬期間中特記される気象現象としては次のものが挙げられる。

- 1) 年間をとおして気象現象の変化が激しく、年前半の気温は高めに経過した。3 月の月平均気温は 1 位の高温を記録した。
- 2) 6 月 3 日から 5 日にかけてブリザードが昭和基地を襲来し、最大風速 46.4 m/s、最大瞬間風速 54.8 m/s (ともに 6 月の歴代 1 位) を記録した。9 月は悪天が継続し、ブリザード日数は 17 日間を記録した。
- 3) 10 年連続で大規模なオゾンホールを観測し、1998 年 9 月、11 月、12 月及び

* 気象庁, Japan Meteorological Agency, Otemachi 1-chome, Chiyoda-ku, Tokyo 100-8122.

1999 年 1 月の月平均オゾン全量はその月として過去最低を記録した。オゾンホールが目安である 220 m atm-cm を下回る値が、これまでで最も遅い 12 月中旬まで観測された。

1. はじめに

第 39 次南極地域観測隊気象定常部門は従来からの定常気象観測を継続しつつ、均質な精度の基礎資料の蓄積を目的として、国際的なネットワークの一員としての規定に沿って観測を実施した。地上気象観測及び高層気象観測はリアルタイムで、オゾン観測（分光観測、オゾンゾンデ観測、地上オゾン濃度観測）は、準リアルタイムで観測値を報告した。

また、下向き日射放射観測は BSRN (Baseline Surface Radiation Network) の観測点として 32 次隊が観測を開始し、BSRN が要請する精度を満たすために 39 次隊では新たにサンプリング周期を 1 秒とした上向き放射観測を開始した。なお、40 次隊からは従来の下向き日射放射観測も 1 秒サンプリングで収集するシステムを導入している。

さらに地上気象観測においては、2 年計画で従来からの観測装置から新観測装置へ移行するため、総合自動気象観測装置を新設した。39 次隊では、従来からの観測装置と並行して運用し、40 次隊からの正式運用に向けてデータを取得した。

その他、海氷上に設置した雪尺による積雪観測、S16 気象ロボットによる気象観測、内陸旅行時の気象観測及び大気混濁度観測を実施し、順調に行うことができた。

このように国際的な位置づけがなされている観測以外にも、全球的な気候変動を探るのに不可欠なデータの収集も行った。気水圏部門が実施してきた温室効果気体連続観測と大気サンプリングは、気水圏部門との共同によるモニタリング研究観測として実施してから 2 年目にあたった。

その他、大気球を用いた南極成層圏大気採集実験（1998 年 1 月、1999 年 1 月）への作業支援、ILAS（改良型大気周縁赤外分光計）データ検証のためオゾンゾンデ観測及び報告を行った。

2. 地上気象観測

2.1. 従来（JMA-80 型）の総合自動気象観測装置地上系

2.1.1. 観測方法と測器

観測は地上気象観測指針（気象庁、1993a）および世界気象機関（WMO）の技術基準に基づいて行い、結果の統計については地上気象観測統計指針（気象庁、1990a）に基づき行った。気圧、気温、露点温度、風向風速、全天日射量、日照時間については、総合自動気象観測装置地上系（以下 AMOS-2 地上系と略す）により連続記録および毎正時の記録を行った。また、降雨強度計付視程計（WIVIS）を目視観測補助測器として観測を行った。使用測器を表 1 に示す。目視観測は、雲、視程、天気については 1 日 8 回（00, 03, 06, 09, 12, 15, 18,

表 1 地上気象観測使用測器 (1998年2月~1999年1月)
Table 1. Instruments used for surface meteorological observations.

観測項目	測器名	感部型式	備考
気圧	円筒振動式気圧計	F-451	フォルタン型水銀気圧計により比較観測実施 (毎日06UTC)
気温	白金抵抗温度計	E-732	アスマン通風型乾湿計により比較観測を毎週実施
露点温度	塩化リチウム露点計	E-771	アスマン通風型乾湿計により比較観測を毎週実施 感部2台をローテーション使用
風向風速	風車型風向風速計	南極仕様	測風塔(10.1m)上に設置
全天日射量	精密全天日射計	MS-801	日射放射観測と共用
日照時間	回転式日照計	回転式	測器構造上北側用・南側用の2台設置 0000~1800UTC北側、1800~0000UTC南側使用

変換器名	変換器型式
風向風速変換器	M-821-Z1
温度湿度変換器	M822-Z2
日照日射変換器 (日射)	M-825
日照日射変換器 (日照)	M-825-Z3
データ変換部Ⅱ	F-451 (円筒振動式気圧計感部を内蔵)
データ処理部	M-801

21 UTC) の観測を行った。また、大気現象については、随時観測を行った。

2.1.2. 観測経過

観測結果は、国際気象通報式 (気象庁, 1990b) の SYNOP 報により、DCP 装置でヨーロッパの静止気象衛星 METEOSAT を経由し、ドイツのダルムシュタット地上局に通報した。

AMOS-2 地上系系統の各測器は、おおむね順調に作動した。

(1) 気圧

円筒振動式気圧計により観測し、比較観測はフォルタン型水銀気圧計で毎日 06 UTC に行った。

(2) 気温、露点温度 (湿度)

両測器とも百葉箱 (強制通風式) 内に置いて、通年観測した。塩化リチウム露点計の感部は、ほぼ 1 カ月ごと交換して使用した。アスマン通風型乾湿計により週 1 回比較観測を行い基準内 (気温 $\pm 0.5^{\circ}\text{C}$ 、露点 $\pm 1.0^{\circ}\text{C}$ 以内) に入っていることを確認した。また、測器の交換時などには随時行った。湿度は気温と露点温度から、AMOS-2 地上系による計算処理で求めた。

ブリザードによるケーブル接続端子箱内への雪の吹き込みにより一部欠測が生じた。

(3) 風向、風速

南極用風車型風向風速計を測風塔上に設置し通年観測した。

(4) 日照時間、全天日射量

日照時間は回転式日照計で、全天日射量は精密全天日射計で通年観測した。

11 月末から日照計のミラーが停止し 12 月末まで欠測となった。

(5) 積雪観測

北の浦の海水上に 20m 四方、10m 間隔に 9 本の竹竿を利用した雪尺を立て、週 1 回の割合で雪尺の雪面上の長さを測定した。雪尺設置時の雪面との変化量を積雪量とした。1998 年

表 2 月別地上気象表 (1998 年 1 月~1999 年 1 月)
Table 2. Monthly summaries of surface meteorological observations.

	1998年												全年	1999年 1月	
	1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月			
平均海面気圧	hPa	986.2	983.8	980.6	974.1	984.1	983.3	981.8	983.8	984.2	983.2	977.7	984.6	982.3	988.2
平均気温	°C	-0.2	-2.3	-4.1	-10.3	-11.7	-14.1	-16.4	-18.1	-16.4	-14.0	-6.1	-2.7	-10.0	-1.2
最高気温	°C	6.6	3.4	0.5	-1.9	-2.1	-2.7	-4.2	-7.8	-4.8	-4.0	4.2	2.4	6.6	6.3
起日		3	2	7	16	3	4, 5	1	1	20	30	24	26	15	15
最低気温	°C	-7.3	-9.7	-10.0	-23.8	-23.2	-22.8	-31.7	-36.9	-37.9	-26.4	-17.1	-8.5	-37.9	-7.1
起日		21	13	20	25	20	29	20	29	3	4	5	24	24	24
気温の階級日数															
最高気温 0°C未満の日数		2	14)	27	30	31	29)	31	31	30	31	20	17	293)	7
平均気温 0°C未満の日数		19	28	30	30	31	30	31	31	30	31	30	31	352)	24
最低気温 0°C未満の日数		29	26)	30)	30	31	29)	31	31	30	31	30	31	359)	31
最高気温 -20°C未満の日数		0	0	0	0	1	0	4	13	5	1	0	0	24)	0
平均気温 -20°C未満の日数		0	0	0	3	2	1	7	21	11	4	0	0	49)	0
最低気温 -20°C未満の日数		0	0	0	6	5	8	16	26	14	12	0	0	87)	0
最高気温 0°C以上の日数		29	13)	4	0	0	0	0	0	0	10	14	70)	24	
平均蒸気圧	hPa	4.1	3.6	3.5	2.2	2.0	1.5	1.3	0.6	1.6	1.7	2.6	3.7	2.4	4.1
平均相対湿度	%	68	69	75	70	69	63	69	51	73	72	64	74	68	72
平均風速	m/s	5.0	7.7	10.7	7.5	8.8	7.9	6.1	3.0	9.6	7.1	6.9	5.1	7.1	7.7
最大風速(10分間平均)	m/s	26.5	24.5	30.8	30.1	31.9	46.4	26.8	15.1	32.6	34.9	28.3	18.5	46.4	29.9
風向 起日		NE 1	ENE 21	ENE 3	NE 28	NE 3	ENE 5	ENE 11	E 1	ENE 14	NE 9	NE 12	NE 31	ENE	NE 28
最大瞬間風速	m/s	34.3	32.7	40.4	40.1	42.9	54.8	32.4	19.7	42.6	43.6	34.1	25.5	54.8	37.5
風向 起日		NE 1	ENE 20	ENE 3	NE 28	NE 3	NE 5	ENE 11	ENE 8	ENE 14	NE 9	NE 12	NE 31	NE	ENE 28
風速の階級日数															
最大風速 10.0m/s以上の日数		13	18	23	17	23	18	16	7	21	16	20	15	207	21
15.0m/s以上の日数		7	12	18	8	16	10	10	1	17	10	14	5	128	12
29.0m/s以上の日数		0	0	1	1	1	3	0	1	3	5	0	0	15	2
合計日照時間	hr	263.2	212.6	76.4	55.9	30.9	---2)	6.7	105.2	93.1	146.7	337.1	X	X	262.0
日照率	%	37	68	21	15	8	---2)	14	26	25	41	58)	X	X	37
平均全天日射量	MJ/m ²	24.9	17.2	6.3	2.2	0.3	0.0	0.1	1.7	6.1	15.0	27.1	30.2	10.9	24.9
不照日数		4	2	13	11	19	---2)	14	10	14	11	1)	X	X	3
平均雲量 10分比		8.2	7.5	8.6	7.9	6.9	6.0	7.6	5.4	7.9	8.6	6.0	7.9	7.4	7.3
平均雲量 1.5未満の日数		0	3	1	0	3	4	2	6	2	1	3	1	26	4
8.5以上の日数		22	15	22	16	15	11	15	6	20	23	10	22	197	19
雪日数		12	12	24	22	18	13	21	12	25	24	8	17	208	20
霧日数		0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	1	1	4	0
ブリザード日数		0	0	7	3	4	4	4	0	12	6	2	0	42	2

1) 統計方法は「気象庁地上気象観測統計指針」による。
 2) 5月29日から7月14日までは、計算上太陽中心は地平線上に現れない(不照日数はこの期間(47日)は含まない)。
 3) 階級日数の数字右の)は期間内の統計に欠測日があったことを示す。

当初に海水が流出しその後も海水の状態が非常に悪く、5月中旬からの観測となった。

2.1.3. 観測結果

表 2 に月別気象表, 表 3 に各月の極値, 順位を更新した主な記録, 表 4 にブリザードの概要を示す。また, 図 1 にそれぞれ年間の気圧, 気温, 風速, 雲量, 日照時間の旬別経過, 図 2 に海上上の積雪変化と観測されたブリザード回数, 図 3 にそれぞれ年平均海面気圧, 年平均気温, 年平均雲量, 年平均風速の経年変化を示す。

越冬期間中における昭和基地の気象の主な特徴として, 次のことがあげられる。

- (1) 年平均気圧が観測開始以来の最低値を更新し, 年平均風速が最大値を記録した(1983, 1992年と同値)。また, 年平均雲量が2番目に多くなった。
- (2) 6月3-5日に越冬開始後最初のA級ブリザードとなり, 最大風速46.4m/s, 最大瞬間風速54.8m/sを観測し, 6月としてはともに極値を更新した。6月5日に記録した最大風速は, 観測開始以来2位にあたる強風となった。

表3 地上気象観測の主な極値更新記録(1998年2月~1999年1月)
 Table 3. The principal extremes of surface meteorological observations
 recorded from February 1998 to January 1999.

年月	月別値			旬別値			
1998年 2月	平均現地気圧	981.2 hPa	2位 低	平均海面気圧(上)	980.7 hPa	1位 低	
	平均海面気圧	983.6 hPa	2位 低	(中)	980.8 hPa	1位 低	
3月				平均雲量(中)	5.2	1位 少	
				(下)	9.9	1位 多	
				平均風速(下)	11.7 m/s	1位 強	
				合計日照時間(中)	107.5 hr	2位 多	
				(下)	18.0 hr	1位 少	
	平均気温	-4.1 °C	1位 高	平均海面気圧(下)	975.8 hPa	2位 低	
	平均最高気温	-2.7 °C	1位 高	平均気温(上)	-2.1 °C	2位 高	
平均最低気温	-5.9 °C	1位 高	平均風速(上)	11.8 m/s	3位 強		
最低気温	-10.0 °C	2位 高					
平均蒸気圧	3.5 hPa	1位 高					
平均風速	10.7 m/s	1位 強					
4月	平均現地気圧	971.4 hPa	1位 低	平均海面気圧(上)	973.3 hPa	2位 低	
	平均海面気圧	974.1 hPa	1位 低	(中)	971.9 hPa	1位 低	
5月				(下)	969.1 hPa	1位 低	
				平均気温(下)	-15.7 °C	3位 低	
				平均海面気圧(下)	980.2 hPa	3位 低	
				平均気温(上)	-8.9 °C	3位 高	
6月				平均風速(上)	11.7 m/s	2位 強	
	最高気温	-2.7 °C	3位 高	平均風速(上)	13.1 m/s	2位 強	
	最低気温	-22.8 °C	3位 高				
	最大風速	46.4 m/s ENE	1位 強				
最大瞬間風速	54.8 m/s NE	1位 強					
7月				平均雲量(上)	8.6	3位 多	
8月	平均蒸気圧	0.6 hPa	1位 低	平均気温(下)	-23.6 °C	1位 高	
	平均相対湿度	51 %	2位 低	平均風速(中)	2.7 m/s	1位 弱	
	平均雲量	5.4	3位 少	(下)	2.4 m/s	2位 弱	
	平均風速	3.0 m/s	1位 弱	合計日照時間(上)	28.0 hr	2位 多	
	最大風速	15.1 m/s E	1位 弱	(中)	47.2 hr	1位 多	
	最大瞬間風速	19.7 m/s ENE	1位 弱				
	合計日照時間	105.2 hr	1位 多				
9月	平均風速	9.6 m/s	2位 強	平均風速(中)	11.0 m/s	3位 強	
10月				(下)	9.7 m/s	2位 強	
	平均雲量	8.6	1位 多	平均気温(中)	-11.7 °C	3位 高	
	合計日照時間	146.7 hr	3位 少	平均雲量(中)	9.7	1位 多	
				平均風速(中)	9.2 m/s	1位 強	
11月				合計日照時間(上)	29.1 hr	3位 少	
	平均現地気圧	975.1 hPa	1位 低	平均海面気圧(中)	973.8 hPa	2位 低	
	平均海面気圧	977.7 hPa	1位 低	(下)	975.7 hPa	1位 低	
12月	最低海面気圧	951.4 hPa	3位 低	平均気温(下)	-2.4 °C	3位 高	
	平均気温	-2.7 °C	2位 低	合計日照時間(上)	136.7 hr	3位 多	
	平均最高気温	-0.3 °C	2位 低	平均海面気圧(上)	978.1 hPa	1位 低	
	最高気温	2.4 °C	1位 低	平均気温(下)	-2.4 °C	1位 低	
	平均相対湿度	74 %	2位 高	平均雲量(中)	9.1	1位 多	
平均雲量	7.9	1位 多					
1999年 1月	平均風速	7.7 m/s	2位 強	平均雲量(上)	9.7	1位 多	
				平均風速(上)	7.6 m/s	1位 強	
				(下)	9.6 m/s	1位 強	
				合計日照時間(上)	28.9 hr	1位 少	

備考: 月、旬ともに3位以上更新したものを記載。

表4 ブリザードの概要 (1998年2月~1999年1月)

Table 4. Summaries of heavy snowstorms (blizzards) from February 1998 to January 1999.

通番	開始		終了		継続時間 時間 分	階級	最大風速		最大瞬間風速		最低海面気圧		中断期間		
	月 日	時 分	月 日	時 分			d d f f	起 時	d d f f	起 時	h P a	起 時			
1	3	3	05:40	3	4	03:50	20	50	B	ENE 30.8	0944(3)	ENE 40.4	0838(3)	1220(3)~1340(3) VV≥1Km	
2	3	6	22:00	3	7	04:15	6	15	C	NE 19.2	0051(7)	NE 24.5	0009(7)		
3	3	27	22:45	3	28	06:30	7	45	C	NE 19.2	0028(28)	NE 23.5	0020(28)		
4	3	30	15:40	3	30	22:10	6	30	C	ENE 21.3	1541(30)	ENE 27.6	1610(30)		
5	4	15	05:20	4	15	13:15	7	55	C	ENE 22.2	0838(15)	NE 26.7	0708(15)	953.5 0431(28)	
6	4	27	19:00	4	28	14:00	19	00	B	NE 30.1	0604(28)	NE 40.1	0530(28)		
7	5	1	14:00	5	4	10:20	36	30	B	NE 31.9	1834(3)	NE 42.9	1807(3)	962.7 1428(1)	2010(1)~1630(2), 0035(3)~1205(3) VV≥1Km
8	6	3	00:30	6	5	17:30	46	20	A	ENE 46.4	0212(5)	NE 54.8	0252(5)	963.0 0234(3)	957.2 2204(30)
9	6	30	03:15	7	1	01:20	22	05	A	ENE 28.9	1327(30)	NE 36.9	1318(30)		
10	7	1	13:00	7	1	23:30	10	30	C	NE 15.4	1604(1)	NE 20.5	1832(1)	950.9 1258(11)	
11	7	10	23:25	7	12	06:30	31	15	B	ENE 26.8	0741(11)	ENE 32.4	0734(11)		
12	9	4	12:10	9	6	04:30	40	20	B	NE 23.4	1656(4)	NE 28.8	1642(4)	963.9 0432(5)	957.0 1556(14)
13	9	6	10:00	9	8	00:20	35	05	B	ENE 20.9	2045(7)	ENE 25.5	2025(7)		
14	9	13	23:30	9	15	16:30	41	00	A	ENE 32.6	1557(14)	ENE 42.6	1131(14)		
15	9	18	13:10	9	18	20:20	7	10	C	NE 18.6	1551(18)	NE 22.8	1544(18)		
16	9	19	04:00	9	20	07:50	27	50	B	NE 31.0	1138(19)	NE 37.7	1139(19)		
17	9	21	12:35	9	22	03:20	14	45	B	ENE 22.8	2117(21)	ENE 25.6	2106(21)		
18	9	27	04:40	9	28	01:30	20	50	B	NE 25.4	1202(27)	NE 31.6	1127(27)		
19	9	28	18:31	9	30	02:45	31	14	B	NE 25.0	0835(29)	NE 32.3	0852(29)		
20	10	8	17:30	10	10	05:20	35	50	A	NE 34.9	0411(9)	NE 43.6	0414(9)	953.1 1145(9)	
21	10	13	09:55	10	15	11:20	47	50	A	NE 33.4	2049(13)	NE 42.3	2106(13)	966.7 2109(14)	0840(14)~1015(14) VV≥1Km
22	11	11	22:00	11	12	05:10	7	10	C	ENE 23.9	2226(11)	ENE 28.6	2141(11)	*951.4 1945(11)	
23	1	9	16:20	1	10	01:00	8	40	C	NE 19.3	1804(9)	NE 24.5	1804(9)		

階級 A : 視程 100m未満, 平均風速 25m/s以上, 継続時間 6時間以上

階級 B : 視程 1000m未満, 平均風速 15m/s以上, 継続時間 12時間以上

階級 C : 視程 1000m未満, 平均風速 10m/s以上, 継続時間 6時間以上

極値については、それぞれのブリザードをもたらした擾乱の影響を受けている期間内とした。

(最低海面気圧は97.0hPa以下の場合記入。また起日の*はブリザード日数対象外の日に出現したことを示す)

中断期間は視程が1000m以上の期間を示す。

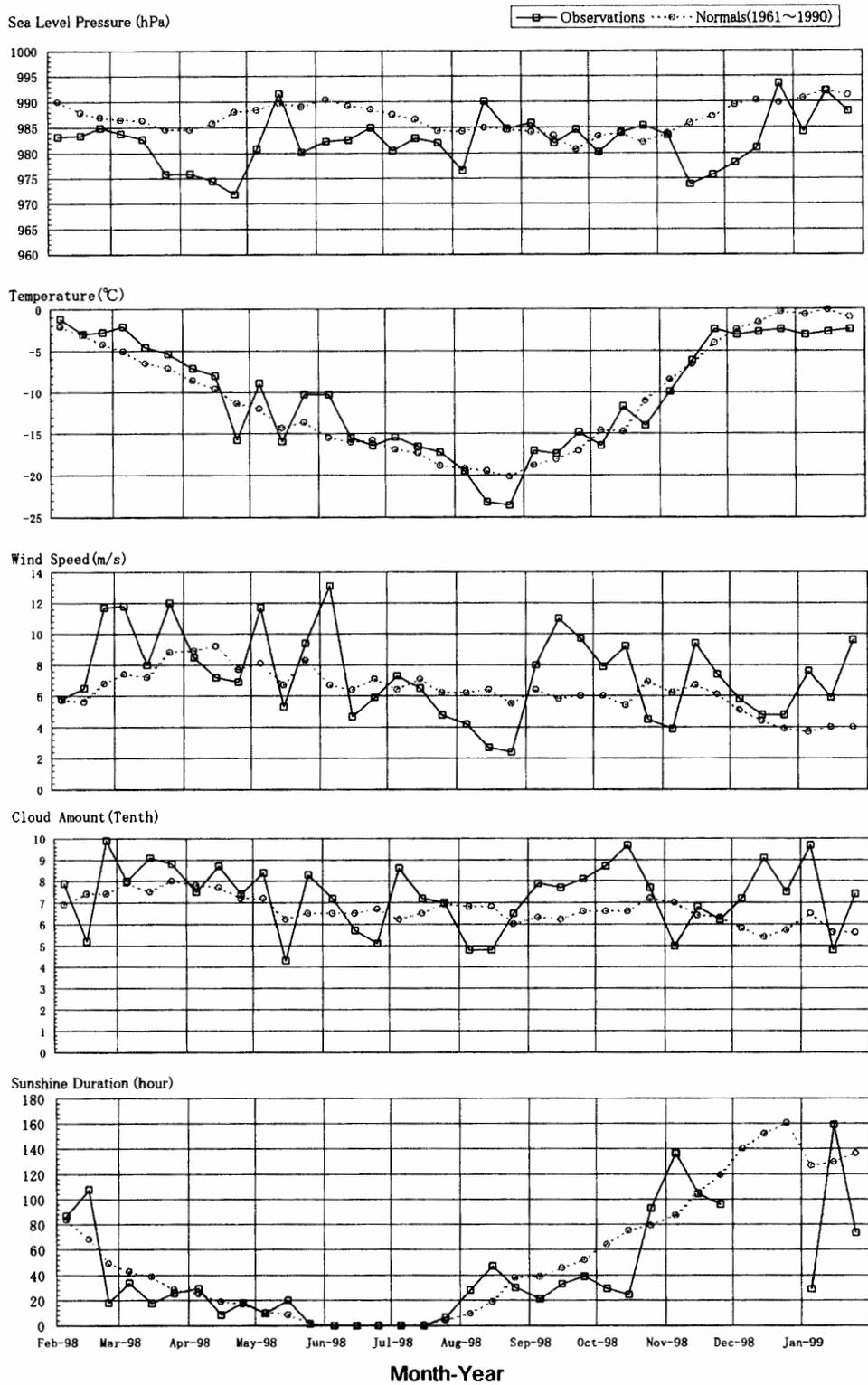


図1 地上気象観測値（海面気圧の旬平均値，気温の旬平均値，風速の旬平均値，雲量の旬平均値，日照時間の旬合計）（1998年2月～1999年1月）

Fig. 1. Surface meteorological data (decade means of sea level pressure, decade means of temperature, decade means of wind speed, decade means of cloud amount, decade total sunshine duration) from February 1998 to January 1999.

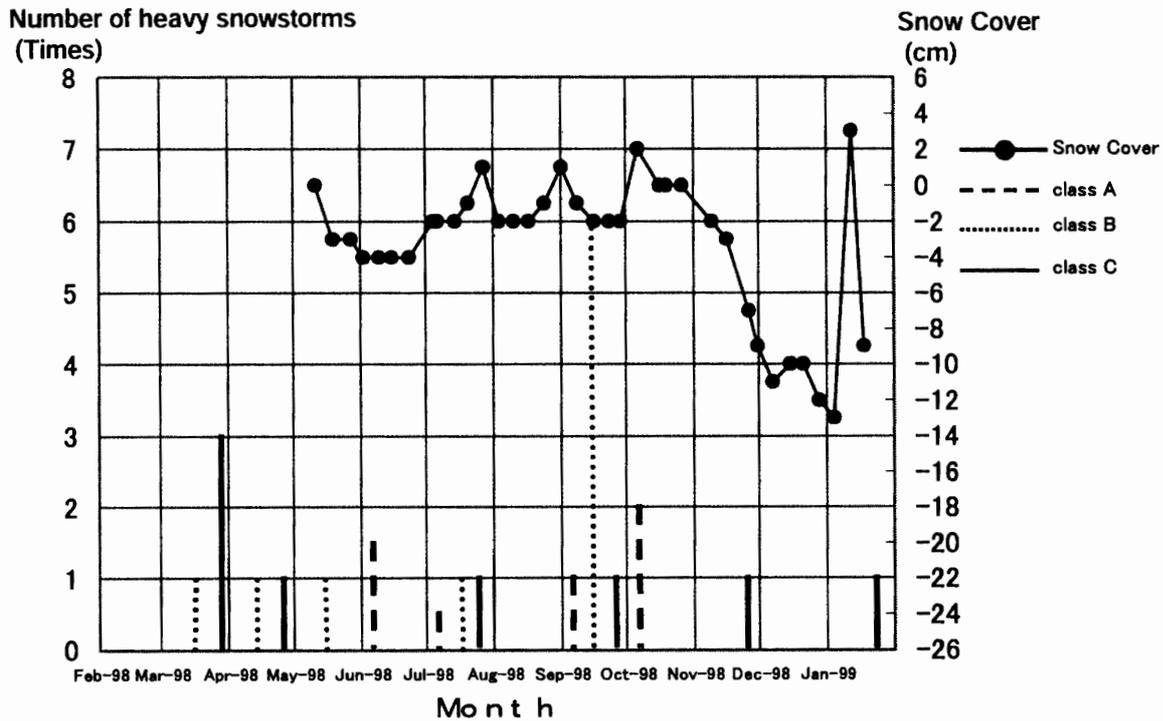


図 2 積雪量の年変化とブリザード回数 (1998 年 2 月～1999 年 1 月)

Fig. 2. Variation of snow cover and number of heavy snowstorms (blizzards) from February 1998 to January 1999.

(3) 1999 年 1 月 9-10 日に、観測開始以来初めて 1 月にブリザードを記録した。

各月の天気概況を以下に示す。

1998 年

2 月 昭和基地付近の気圧配置は非常にゆっくりと変化した。上旬と下旬には低気圧が停滞する日が多く、強風と悪天をもたらせた。

上旬：前半は低気圧の接近に伴い風が強く、曇りがちであった。後半は、気圧配置が周期的に変化したが、晴または曇の日が多かった。

中旬：大陸高気圧に覆われる日が多く、穏やかに晴れた日が多かった。低気圧の接近に伴い風の強い日があった。

下旬：全般に低気圧の接近、停滞により、風が強く曇りや雪、地ふぶき模様の日が多かった。特に後半は、小低気圧が停滞しふぶき模様となった。

3 月 昭和基地の東側には大陸の高気圧と北東海上から張り出した高圧帯が停滞し、気圧配置の変化は前月同様、非常にゆっくりとしていた。発達した低気圧が昭和基地の北を離れて東進することもあったが、強い暖気の移流が見られ、全般を通して強風と悪天の日が多かった。気温は高めに経過した。3-4 日に B 級、6-7 日、27-28 日、30 日に C 級ブリザードを記録した。

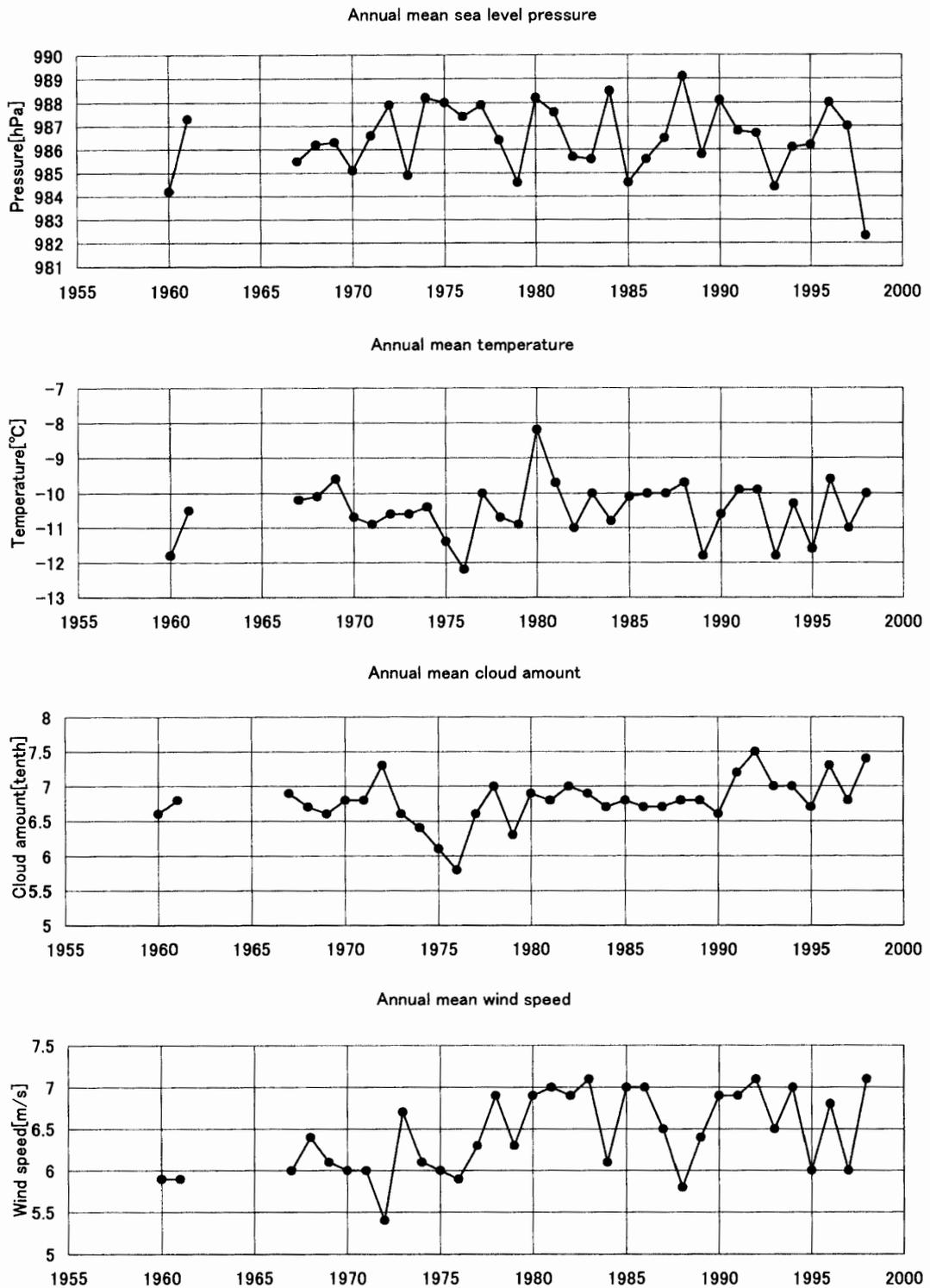


図3 地上気象観測値（年平均海面気圧，年平均気温，年平均雲量，年平均風速）（1960年～1998年：ただし1962～1965年は越冬なし）

Fig. 3. Surface meteorological data (annual mean of sea level pressure, annual mean of temperature, annual mean of cloud amount, annual mean of wind speed) from 1960 to 1998. No wintering in 1962–1965.

上旬： 55°E 付近を中心とした高圧帯が形成され、同様の気圧配置が持続した。このため、東進してきた低気圧が、昭和基地周辺に次々に南下、西進し悪天が続いた。

中旬： 旬はじめ、発達した低気圧が接近しふぶき模様となった。この低気圧が昭和基地付近で衰弱し停滞したため低い雲がとれず曇天の日が続いた。その後一時的に快晴となったが、旬のおわりには北西から南東進した低気圧により再び地ふぶき模様の悪天となった。

下旬： 中旬のおわりに接近した低気圧は、旬前半にかけて西進して地ふぶき模様の悪天をもたらした。一時的に快晴の日があったが、おおむね曇天で経過した。その後、大陸の高気圧と昭和基地北東海上から張り出した高圧帯との縁辺に入り、昭和基地近傍で発生した小低気圧の影響で荒れ模様となった。

4月 一時的に大陸高気圧に覆われ好天となったほかは、低気圧の通過に伴う曇りや雪の日が多かった。下旬はじめを除いて全般に気温は高めに経過した。15日にC級、27-28日にB級ブリザードを記録した。

上旬： 旬前半は北西から接近した低気圧が、南下、西進して昭和基地周辺に停滞したため、雪や雲りがちの日が多かったが、後半は大陸高気圧に覆われ、穏やかな好天となった。

中旬： 低気圧が次々と昭和基地付近を通過し荒れ模様で経過した。特に旬半ばには発達した低気圧の影響でふぶきとなった。

下旬： 旬はじめ、昭和基地は大陸高気圧の縁辺にあたり南よりの弱風で長時間弱い降雪が続いた。22日には初めて氷点下 20°C を下回った。半ばに一時天候が回復したが、27-28日にかけて発達した低気圧が昭和基地付近を通過し悪天となった。

5月 中旬は穏やかに経過したが、上旬と下旬には、発達した低気圧が昭和基地周辺を南下することが多く、荒れ模様となった。1-4日にB級ブリザードを記録した。

上旬： 旬はじめ、昭和基地西方を 75°S 付近まで南下した低気圧の影響で、1日から5日にかけて大荒れの天候となった。その後天候が回復し、晴れ間がのぞいたが、9日から10日にかけても昭和基地近傍を低気圧が南東進したためふぶき模様となった。気温は、5月としては高く経過した。

中旬： 16-17日にかけて小低気圧の通過に伴い地ふぶき模様となったほかは、大陸と北方海上から張り出した帯状高気圧に覆われ、穏やかな晴天の日が多かった。

下旬： 発達した低気圧が周期的に昭和基地付近を通過し、穏やかな晴天日と地ふぶき模様の日が交互に現れた。気温は、5月としては高く経過した。

6月 上旬は低気圧の南下に伴い悪天となることが多かったが、中旬以降は大陸の高気圧が昭和基地方面に張り出しおおむね好天で経過した。3-5日にA級ブリザードを記録した。

上旬： 2日から3日にかけて低気圧が昭和基地付近に接近したため北東から暖気が移流し、2日夕刻から大荒れの天気になった。その後、低気圧は徐々に西に移動し、風、視程ともに若干回復したが、暖気に伴う雲域が昭和基地の北東海上から基地付近をとおり、低気圧の

中心に移流し、小低気圧が昭和基地付近を次々と通過した。このためふぶき模様となった。荒天は5日いっぱい継続した。

中旬：大陸高気圧が徐々に張り出してきた。一方、昭和基地北方を小低気圧が通過する度に天気が崩れ、短い周期で天候が変化した。

下旬：大陸高気圧に覆われ、おおむね晴天、無風の穏やかな日とで経過したが、29日発達した低気圧が接近し30日にかけてふぶき模様となった。

7月 次々に低気圧が接近し、昭和基地周辺で衰弱することが多く、2-3日の晴れ間があったほかは、全般を通して悪天が継続した。前月30日～1日にかけてA級およびC級、10-12日にB級ブリザードを記録した。

上旬：前月末から旬はじめにかけて接近した低気圧は、東海上に抜けたが、それ以後も小低気圧が昭和基地に接近しては北海上で衰弱、消散する気圧配置が継続し、雪やふぶき模様の悪天の日が多かった。

中旬：旬はじめ0°E付近で発達した低気圧からのびる大きな雲域が断続的にかかり、悪天が継続しふぶき模様の日もあった。旬半ば一時穏やかな晴天となったが、その後は弱い低気圧が昭和基地付近に停滞したため地ふぶき模様となり、低い雲がとれず、弱い雪が降るぐずついた天候で経過した。

下旬：旬はじめ低気圧の影響で曇りや雪となり、23日から24日にかけてふぶきになった。その後は大陸高気圧に覆われ、晴れまたは快晴となったが、28日から30日は低気圧の通過後、気圧の谷が停滞したため、多少晴れ間があったほかは曇りとなった。31日は朝方晴れ細氷を観測した。

8月 大陸高気圧および北西海上の高気圧が安定していたため、10°E以西で発達、東進した低気圧が10°E付近で南下、衰弱することが多く、弱い気圧の谷の通過で一時的に天気が崩れることもあったが、全般を通して穏やかな晴天の日が多かった。

上旬：旬半ばに低気圧が接近し、雪、地ふぶきを観測したが、その他はおおむね大陸高気圧に覆われ穏やかな晴天の日が多かった。

中旬：期間を通して大陸高気圧の勢力圏内で好天が持続した。東進してきた低気圧は10°E付近に停滞し衰弱する傾向が見られ、昭和基地北方海上を東進した弱い低気圧の影響で小雪がちらつくことがあったほかは、穏やかな晴天の日が多かった。

下旬：大陸高気圧が後退することがあり、同時に弱い気圧の谷の通過を伴い、曇りや極弱い雪の降ることもあったが、おおむね穏やかに経過した。

9月 前月の穏やかな好天から一転し、悪天が継続する傾向にあった。発達した低気圧が周期的に昭和基地に接近、南下、衰弱することが多かったため気圧の谷が抜けても低い雲がとれなかった。一時的に快晴の日もあったが全般をとおしてふぶき模様の日が多く、回復しても曇天模様で経過した。4-6日、6-8日にB級、13-15日にA級、18日にC級、19-20日、21-

22 日, 27-28 日, 28-30 日に B 級ブリザードを記録した。

上旬: 旬半ば発達した低気圧が南下, 停滞したためふぶき模様の日が続いたが, 旬末ころ北海上から張り出した帯状高気圧におおわれ一時的に快晴となった。

中旬: 昭和基地近傍を通過する小低気圧と北西海上から接近する発達した低気圧が交互に悪天をもたらし, おおむね悪天模様で経過した。旬半ば, 一時的に北海上の高気圧の勢力範囲に入り好天となった。

下旬: 旬はじめ発達した低気圧の接近, 通過に伴いふぶき模様となった。半ばには低気圧が北海上を離れて通過したため穏やかな好天となったが, 旬終りには再び発達した低気圧の接近でふぶき模様となった。

10 月 月はじめと下旬前半に穏やかに晴れわたったが, そのほかはおおむね曇天模様で経過した。中旬には接近した低気圧が発達, 停滞しふぶき模様となった。8-10 日, 13-15 日に A 級ブリザードを記録した。

上旬: 前月末に接近した低気圧の影響で旬はじめはふぶきとなった。その後帯状高気圧に覆われ好天となったが, 旬後半は低気圧が接近, 南下しながら発達したのち, 昭和基地付近に停滞したため悪天となりふぶき模様となった。

中旬: 大陸高気圧の張り出しが西方に偏ったため, 低気圧の通過後も低い雲がとれず, 曇天で経過した。全般を通じて西から気圧の谷や低気圧が, 次々に接近, 通過したため短い周期で悪天となった。特に 12-15 日にかけては低気圧が発達し停滞したためふぶき模様となった。

下旬: 旬前半は帯状高気圧に覆われ, 穏やかな晴天となった。後半は大陸高気圧の張り出しが, 西方に偏ったため昭和基地は高気圧の縁辺にあたり, 低い雲がとれにくかった。また, 弱い低気圧が周期的に接近, 東進したため短い周期で天候が変化した, 大きく崩れることはなかった。

11 月 大陸高気圧が 30-40°E を中心に張り出したため, 月半ばに一時地ふぶき模様となったほかは全般を通して穏やかな好天で経過した。また, 21 日には放射冷却による氷霧が発生した。11-12 日にかけて C 級ブリザードを記録した。

上旬: 大陸高気圧に覆われ, 全般に穏やかな晴天で経過した。

中旬: 旬はじめと半ば過ぎに低気圧が南下, 西進して衰弱したためふぶきまたは地ふぶき模様となる日があったが, その他は大陸の高気圧に覆われおおむね穏やかに経過した。

下旬: 全般を通して大陸高気圧に覆われ, 大陸沿岸に南下してきた低気圧は 20°E 付近で停滞もしくは西進し衰弱した。このためおおむね穏やかな晴天で経過した。また, 旬半ばには 60°E 付近で発達した低気圧が 70°S 付近まで南下したため, みずほ基地及びやまと地域でも悪天となった旨, 旅行隊から報告があった。

12 月 全般を通して大陸高気圧と北海上の低気圧の間に入り, 曇りがちの天候で経過した

が、風も弱く比較的穏やかに経過した。月はじめと下旬は帯状高気圧に覆われ快晴となった。

上旬：旬はじめは帯状高気圧に覆われ快晴ないし晴の穏やかな好天となった。その後、北海上を周期的に低気圧が通過し、曇りや小雪の舞う日が多かった。また一時は昭和基地の東に発達した低気圧が南下、停滞しこの低気圧に向かって暖気が移流したためふぶき模様となった。

中旬：発達した低気圧が次々に北海上を通過したが、それ以上の南下は見られず、直接悪天をもたらすことはなかった。昭和基地付近は大陸高気圧の縁辺にあたり、弱い低気圧の通過で低い雲がとれず、曇りまたは弱い雪の日が多かった。

下旬：旬はじめは大陸高気圧の縁辺にあたり雲が多かったが、次第に帯状高気圧に覆われるようになり穏やかに経過した。旬末には北西海上で発達した低気圧の影響で悪天となった。

1999年

1月 中旬に大陸高気圧の勢力に入り好天となったほかは、北西海上に低気圧群が形成され次々に低気圧が通過したため全般的に悪天が継続した。9-10日にC級ブリザードを記録した。

上旬：60°S、20°E付近を中心に低気圧群が形成され、低気圧が次々に南東進、昭和基地付近に南下、西進した。この低気圧群は旬を通して停滞したため、雲が多く雪の混じる日が多かった。2日と7-9日はふぶき模様の悪天となった。

中旬：旬はじめに低気圧が大陸沿岸に停滞しぐずつしたが、その後大陸高気圧が張り出し、天候が回復した。旬半ば、カタバ風が吹き地ふぶき模様となったが、全般を通して晴天ないし薄曇りの好天が持続した。

下旬：旬はじめは大陸高気圧に覆われ快晴の日もあったが、高気圧は次第に後退し、60°S、20°E付近を中心とした低気圧が発達し、上旬と同様な悪天となった。28-30日には断続的に大荒れの天候になった。

2.2. 新規（JMA-95型）の総合自動気象観測装置地上系

39次隊では従来（JMA-80型）の総合自動気象観測装置地上系に加え、新たにJMA-95型総合自動気象観測装置地上系を設置し、気圧、気温、湿度、風向風速、全天日射量、日照時間、積雪量を連続観測し並行運用を開始した。使用測器を表5に示す。

2.2.1. 観測経過

観測は気象庁地上気象観測指針（気象庁、1993a）及び世界気象機関（WMO）の技術基準に基づいて行い、統計業務については、気象庁地上気象観測統計指針（気象庁、1990a）により行った。

設置当初、環境変数の設定の不手際や日射日照計の故障があったがその他の各測器は、お

表 5 使用測器一覧表

Table 5. Instruments used for surface meteorological observations.

観測項目	測 器 名	感 部 型 式	備 考
気 圧	気圧計 (静電容量式)	PTB-220	感圧 3 センサー変換部内に内蔵
気 温	温度計 (白金抵抗)	MES-39205	通風筒に内蔵し、百葉箱に設置
湿 度	湿度計 (高分子薄膜)	HMP-233LJM	同上
風向風速	風車型風向風速計 FF-11	MES-39207	測風塔 (10.1m) 上に設置
全天日射量	全天日射計	MES-39233-01	サンセンサー搭載の太陽追尾装置に取り付け、気象棟前室屋上に設置
日照時間	直達日射計	同上	同上
積雪量	積雪計 (超音波式)	MES-39208	観測棟北側海岸に設置

おむね順調に作動した。

(1) 気圧

感圧 3 センサー気圧計により連続観測した。

(2) 気温, 湿度 (露点温度)

両測器とも百葉箱 (強制通風式) 内に置いて, 通年観測した。露点温度は気温と湿度より算出した。

(3) 風向, 風速

風車型風向風速計を既存の 80 型の感部とともに測風塔上に設置し通年観測した。

(4) 日照時間, 全天日射量

サンセンサー搭載の太陽追尾装置に直達日射計 (サンセンサーに固定) 及び全天日射計 (追尾装置上部に固定, サンセンサーの動きには非連動) を取り付けた日射日照計を気象棟前室の屋上に設置し観測した。

日照時間は, 直達日射計の出力値にしきい値 (120 W/m^2) を設定し「日照あり」を検出, 積算することにより求めた。直達日射計はサンセンサー (予め計算された太陽の位置近傍での日射強度のピーク位置を検出し追尾する) に固定し, これにより太陽を追尾した。

全天日射量は, 測器の入射角依存性を解消することを目的として太陽追尾装置の上部に取り付けた全天日射計により観測した。

日射日照計は日末の初期化処理に不具合があり, 感部のケーブル破断により 3 月より欠測した。

(5) 積雪観測

超音波式積雪計により連続観測を行った。感部は観測棟北側に設置し, 観測棟でデータ変

表6 80型-95型比較基本統計値表

Table 6. Basic statistical table of type 80, type 95 surface meteorological observation system comparison.

	80気圧	95気圧	Δp	80気温	95気温	Δt	80湿度	95湿度	Δhu
	hPa			°C			%		
平均	980.80	980.71	0.09	-11.77	-11.83	0.07	66.98	68.82	-1.84
標準誤差	0.12	0.12	0.00	0.10	0.10	0.00	0.20	0.17	0.08
中央値 (メジアン)	981.3	981.3	0.1	-11.50	-11.50	0.1	66	70	1
標準偏差	9.51	9.52	0.08	8.16	8.14	0.12	16.07	13.74	5.99
分散	90.48	90.70	0.01	66.55	66.26	0.01	258.35	188.78	35.88
最小	948.7	948.7	-0.3	-37.9	-37.6	-0.5	25	28	-27
最大	1004.1	1004.1	0.6	5.5	5.3	0.8	100	98	16
標本数	6566	6566	6566	6502	6502	6502	6357	6357	6357
	80風速	95風速	Δspeed	80風向	95風向	Δdir			
	m/s			16方位					
平均	6.91	8.23	-1.32	4.19	4.62	0.31			
標準誤差	0.08	0.09	0.01	0.04	0.05	0.01			
中央値 (メジアン)	4.5	5.3	-0.9	3	3	0			
標準偏差	6.54	7.58	1.13	3.75	4.18	0.57			
分散	42.72	57.47	1.27	14.10	17.46	0.32			
最小	0.0	-0.1	-7.4	0	0	-7			
最大	45.9	53.3	4.0	16	16	8			
標本数	7344	7335	7335	7343	7323	6442			

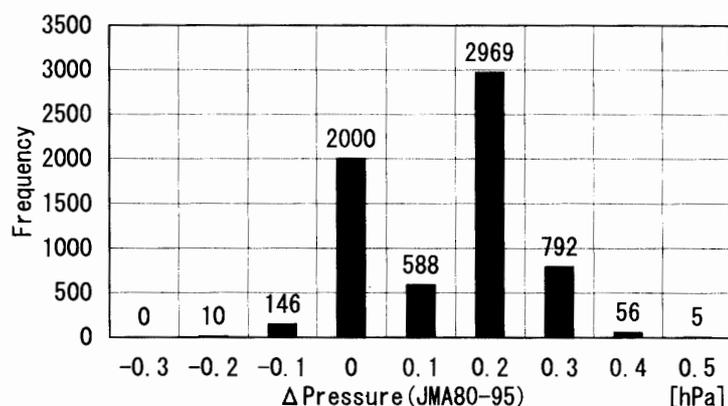


図4 気圧差のヒストグラム

Fig. 4. Histogram of pressure difference (JMA80 minus JMA95).

換処理後気象棟に伝送した。観測値は強風時にノイズにより異常値が観測されることがあったが、おおむね順調であった。

2.2.2. 総合自動気象観測装置地上系 (JMA80型) との比較

1998年4月1日(気圧, 気温, 湿度は5月11日)~1999年1月31日までのJMA80型(以下80型)とJMA95型(以下95型)との毎時観測値を比較した。表6に80型及び95型観測装置における毎時観測値とその偏差(Δ)について算出した基本統計値を要素ごとに示す。

(1) 気圧

図 4 に 80 型との気圧差のヒストグラムを示す。

平均偏差 0.09 hPa, 標準偏差 0.08 hPa と 80 型と一致している。また、度数分布で見ると気圧差が ± 0.3 hPa の範囲内に 99% が入っている。

(2) 気温

1998 年 5 月 1 日～1999 年 1 月 31 日までの 1 時間値における 80 型と 95 型を比較した。図 5 に 80 型との気温差のヒストグラムを示す。

平均偏差 0.07°C , 標準偏差 0.12°C と良く一致している。また、度数分布で見ると気温差が $\pm 0.3^{\circ}\text{C}$ の範囲内に 97% が入っている。気温差 $0-0.2^{\circ}\text{C}$ の階級が多くなっている。

(3) 湿度

図 6 に 80 型との湿度差のヒストグラムを示す。

平均偏差 1.84% であるが、標準偏差 5.99% と大きくなっている。湿度差が 2% の階級が

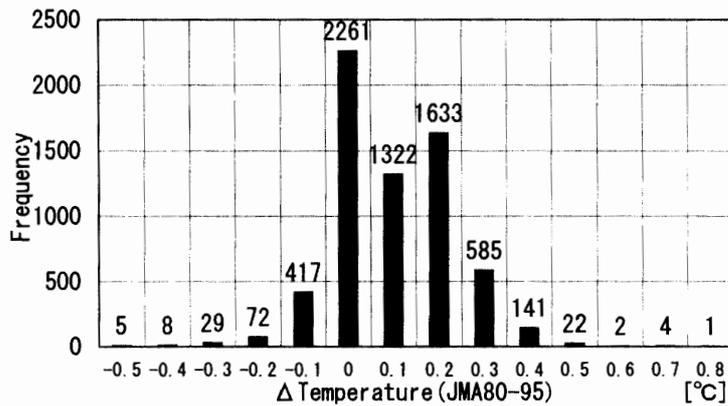


図 5 気温差のヒストグラム

Fig. 5. Histogram of temperature difference (JMA80 minus JMA95).

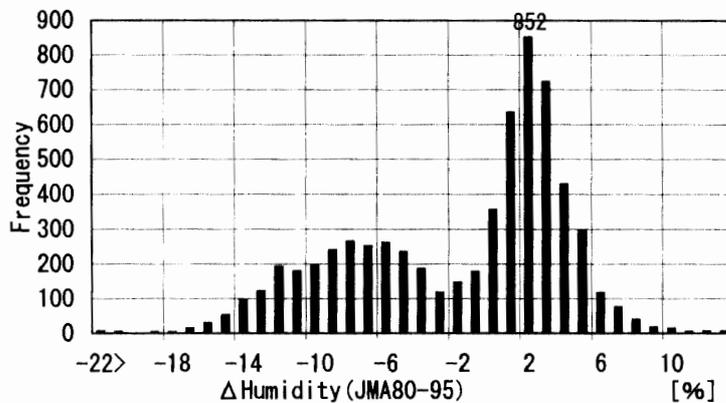


図 6 相対湿度差のヒストグラム

Fig. 6. Histogram of humidity difference (JMA80 minus JMA95).

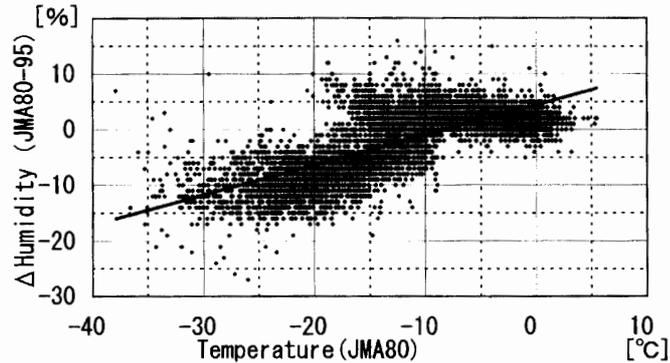


図7 相对湿度差と80型気温の関係

Fig. 7. Relation between humidity difference (JMA80 minus JMA95) and JMA80 temperature.

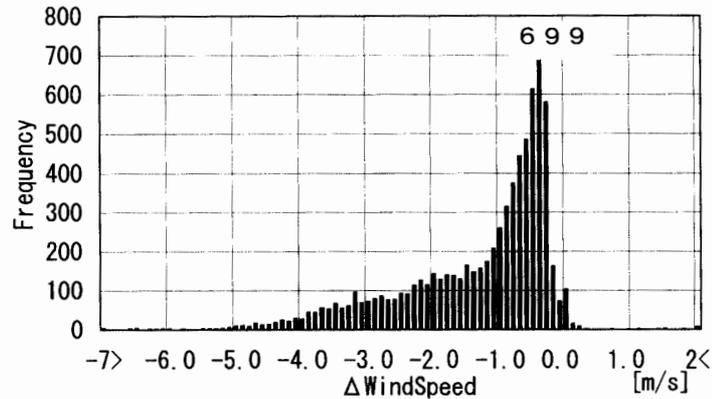


図8 風速差のヒストグラム

Fig. 8. Histogram of wind speed difference (JMA80 minus JMA95).

13%と最も度数が多いが、 -8% を中心に $\pm 4\%$ の範囲内でも度数が多くなっている。この傾向を詳しく見るために、湿度差と80型の気温の関係を図7に示す。気温が -10°C 以上の時は95型が80型より低い傾向にあり、 -15°C 以下ではほとんど95型が高い傾向が出ている。

(4) 風向, 風速

1998年4月1日～1999年1月31日までの10分間平均風速の1時間値における80型と95型を比較した。図8に80型との風速差のヒストグラムを示す。

風速は平均偏差 -1.32 m/s 、標準偏差 1.13 m/s で風速差 -5 m/s 付近まで10例以上の度数があった。風速差と風速の関係を図9に示す。95型の風速計は1999年1月25日に予備のものとの交換したため、2つの傾向を示した。1/25まで設置していた95型風速計は80型のものより風速が17%程大きく観測された。また、80型の起動風速 2 m/s であるのに対し95型は 0.5 m/s 以下であるため 2 m/s 付近まで差が大きい。1/25に設置された95型風速計は80型

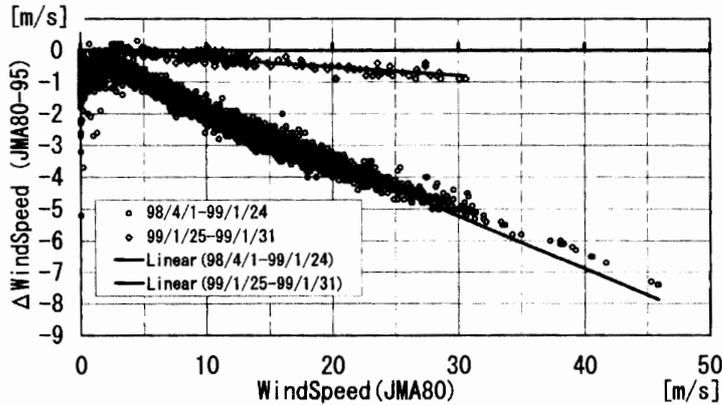


図 9 風速差と 80 型風速の関係

Fig. 9. Relation between wind speed difference (JMA80 minus JMA95) and JMA80 wind speed.

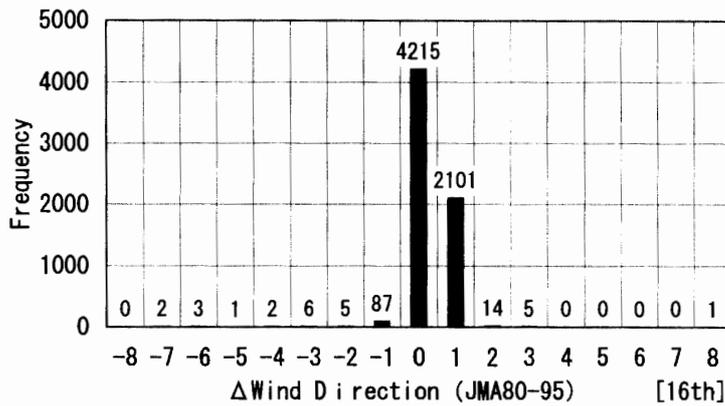


図 10 風向差のヒストグラム

Fig. 10. Histogram of wind direction difference (JMA80 minus JMA95).

風速計より 3% 程大きい値がでた。

95 型の風速計が無接触方式の電気パルス方式 (80 型の風速計は発電方式) に改良され、測器頭胴部の軽量化の効果もあり、応答性能及び弱風時の起動性能が大幅に改善された。80 型との偏差は、測器性能向上の効果の現れであると思われるが、1/25 に設置した風速計の値に異なった傾向がみられたため、越冬を引き継いだ 40 次隊に報告し精査を託した。

風向は起動風速の違いを考慮し、風速 1m/s 以上を比較対象とし、16 方位での風向差とした。図 10 に 80 型との風向差のヒストグラムを示す。平均偏差 0.3 方位、標準偏差 0.57 方位と良く一致している。また、度数分布で見ると風向差が±1 方位の範囲内に 99% が入っているが、2m/s 以下の弱風域で差が大きくなる例もあった。2m/s 以上でも 80 型感部凍結のため差が大きくなった例もある。

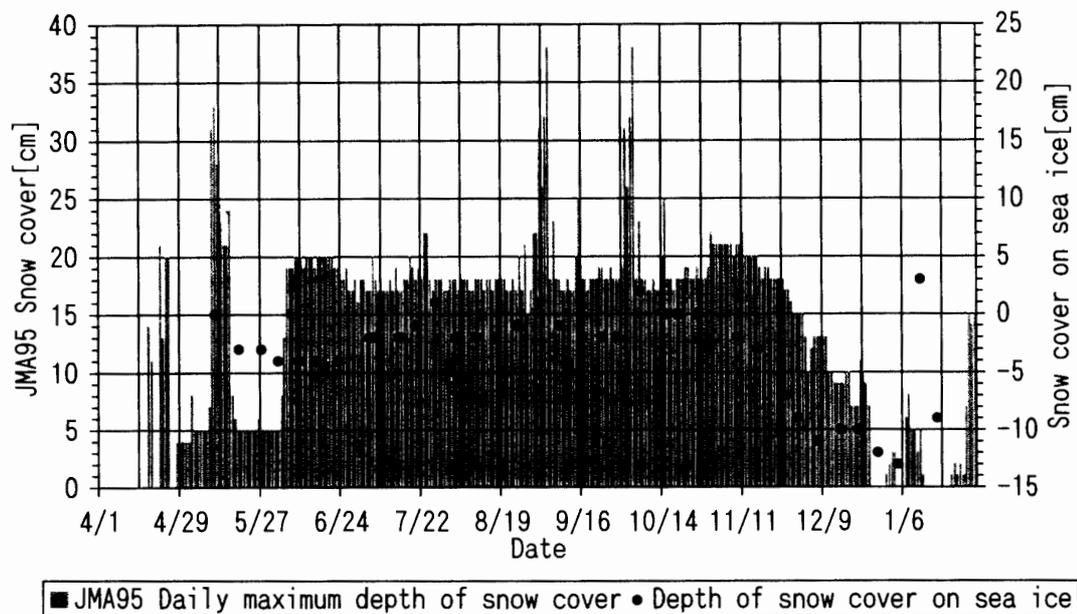


図 11 日別最深積雪と海水上の積雪深

Fig. 11. Daily maximum depth of snow cover (JMA95) and depth of snow cover (on sea ice).

(5) 日照時間, 全天日射量

日射日照計は日末の初期化処理に不具合があり, 感部のケーブル破断により 3 月より欠測したため, 比較できなかった。

(6) 積雪観測

超音波式積雪計により連続観測を行った。感部は観測棟北側に設置し, 観測棟でデータ変換処理後気象棟に伝送した。観測値は強風時にノイズにより異常値が観測されることがあったが, おおむね順調であった。ノイズを除いた日最深積雪と海水上の雪尺との比較を図 11 に示す。

3. 高層気象観測

3.1. 観測方法と測器

気象庁高層気象観測指針(気象庁, 1995)に基づき, 毎日 00 UTC と 12 UTC の 2 回, レーウィンゾンデをヘリウムガス充填の自由気球に吊り下げて飛揚し, 気球が破裂する上空約 30 km までの気圧, 気温, 風向, 風速及び気温が -40°C になる高度までの相対湿度の観測を行った。

ゾンデ信号受信と測角にはモノパルス方式の自動追跡型方向探知機(明星電気製 MOR-22 型)を用い, 受信したデータの計算処理, 気象電報作成, 保存, 作表, 統計には高層気象観測装置データ処理部を用いた。観測結果は国際気象通報式(気象庁, 1990b)の TEMP 報によ

表 7 高層気象観測器材
Table 7. Sensors for aerological observations.

RS2-91型レーウィンゾンデ		
センサ	気 圧	ニッケルスパン製43mmφ 空ごう気圧計 (静電容量変化式)
	気 温	ビート型 ガラスコートサーミスタ (アルミ蒸着加工)
	湿 度	高分子膜 (静電容量変化式)
電 池	B91RS型注水電池	
気 球	600g気球 ※標準浮力: 1900g	
その他	強風時	気象観測用巻下器
	暗夜時	PA72型追跡補助電灯

※ 浮力は、強風・降雪等状況により増量

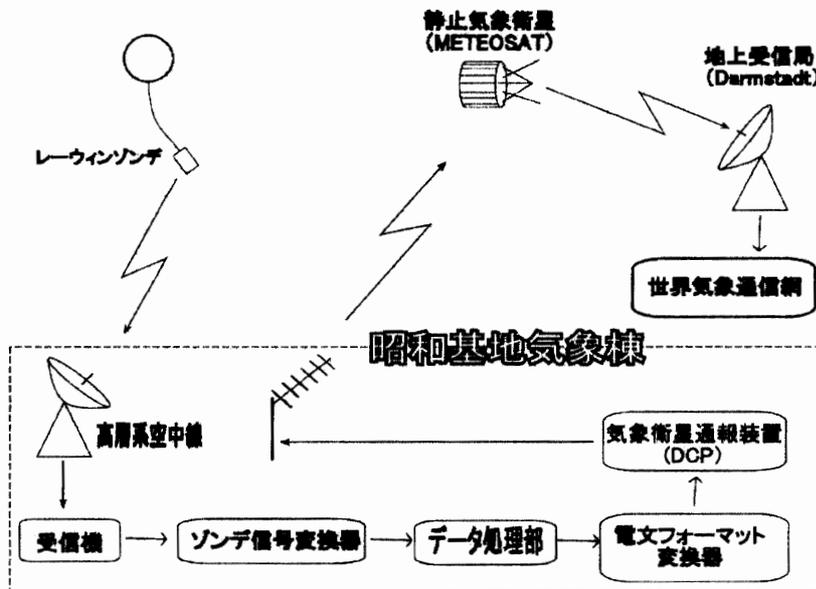


図 12 観測装置の系統図 (地上施設)

Fig. 12. Instrument system used for aerological observations.

り、地上気象観測と同様に気象衛星通報局装置 (DCP) からメテオサットを經由し、世界気象通信網に通報した。

観測器材を表 7 に、観測装置の系統図 (地上施設) を図 12 に示す。

3.2. 観測経過

観測状況として観測回数と到達高度を表 8 に示す。第 39 次観測隊として 1998 年 2 月 1 日 00 UTC から 1999 年 1 月 31 日 12 UTC までの観測を行った。この期間中、A 級ブリザードの強風により飛揚作業を取り止めた欠測が 1 回あった。また、飛揚時の地物衝突や気球の低高

表 8 高層気象観測状況

Table 8. Number of observations and attained height of aerological observations.

年 月 項 目	1998												1999	合計 (平均)
	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月	1月		
飛揚回数	58	63	62	62	64	64	63	62	64	62	62	63	749	
定時観測回数	56	62	60	62	59	62	62	60	62	60	62	62	729	
特別観測回数	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
欠測回数	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1	
資料欠如回数	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
再観測回数	2	1	2	0	5	2	1	2	2	2	0	1	20	
到達高度	平均 hPa	9.9	10.5	11.9	14.3	9.8	9.6	10.2	14.6	22.6	11.2	10.6	9.5	(12.1)
	平均 km	32.2	31.2	29.2	28.0	28.7	28.0	28.2	27.2	27.6	30.5	31.3	32.3	(29.5)
	最高 hPa	6.6	5.1	6.4	5.4	5.8	6.1	5.8	6.6	6.8	6.8	7.0	6.9	
	最高 km	34.2	35.7	32.9	32.3	31.3	30.3	31.1	31.0	32.3	33.1	34.4	34.4	

6/5 00UTC ブリザードによる強風のため欠測

度破裂等により観測成立基準を満たさないため再度飛揚した再観測が 20 回あった。この期間の観測到達高度は、平均で 29.5 km であった。到達高度はゴム気球の性能に依存し、ゴムの特性は低温下ほど劣化するため、成層圏の気温が極度に低くなる冬の極夜期を中心として到達高度が低下する。5-10 月の平均到達高度が 27-28 km と他の月に比べて低いのはこの影響である。到達高度低下を緩和するゴム気球表面の油処理手法が知られているが、第 38 次観測隊に引き続き、灯油にゴム気球を事前に漬けた後保温して保管する方法を 5 月 3 日から 10 月 31 日まで実施した。

3.3. 観測結果

1998 年 2 月 1 日から 1999 年 1 月 31 日までの 00 UTC における高度、気温、風速の月平均指定気圧面データを表 9 に示す。

1998 年 1 月から 1999 年 1 月までの各指定気圧面の月平均気温の経過を図 13 の太い実線で示す。図中には 1968 年から 1997 年までの累年平均気温を細い実線で示してある。

年間の推移を見ると、地表から 300 hPa の対流圏では 200-30 hPa の成層圏に比べ、気温の年変化が小さい。冬季成層圏の気温低下が顕著なのは、日射による加熱がないことや、極夜渦により低緯度の暖かい空気との混合が制限されるためである。

月平均気温と累年平均気温とを比較すると、対流圏では年間を通して累年平均よりおおむね高く経過した。成層圏では 6 月までは累年平均並であったが 7 月頃から下がり始め、1999 年 1 月まで気温が低い状態が続いた。特に 11 月 70 hPa 面の平均気温は、累年平均 (1968-97) に比べて 17.1°C も低く、最も顕著な気温低下を示した。

同期間の気温、高層風の東西成分、南北成分について、月平均値、累年平均値、及び偏差の年変化を図 14 に示す。月平均気温は、7-8 月に 50 hPa 以上の成層圏で -85°C 以下になり、

表 9 月平均指定気圧面データ (00 UTC)

Table 9. Monthly summaries of aerological data at standard pressure levels.

年月 項目	指定面 (hPa)	1998												1999	平均
		2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月	1月		
高度 (m)	850	1145	1113	1037	1118	1106	1083	1083	1095	1094	1079	1146	1185	1107	
	700	2615	2584	2483	2571	2546	2521	2510	2519	2524	2535	2614	2662	2557	
	500	5050	5011	4882	4985	4933	4900	4885	4881	4906	4945	5043	5116	4961	
	300	8473	8417	8258	8362	8271	8223	8198	8190	8242	8323	8459	8572	8332	
	200	11126	11029	10830	10868	10742	10666	10620	10611	10698	10804	11013	11203	10851	
	150	13035	12914	12681	12640	12476	12359	12291	12281	12401	12534	12820	13094	12627	
	100	15732	15570	15273	15127	14896	14706	14604	14599	14758	14949	15372	15776	15114	
	50	20374	20086	19644	19291	18932	18596	18471	18509	18766	19181	19880	20426	19346	
	30	23817	23403	22831	22298	21851	21395	21284	21399	21816	22539	23384	23916	22494	
気温 (°C)	850	-9.8	-10.6	-15.5	-15.2	-17.3	-17.0	-21.0	-20.3	-19.3	-12.7	-10.4	-9.0	-14.8	
	700	-18.8	-19.0	-22.8	-20.8	-23.4	-24.1	-25.1	-26.0	-24.7	-21.4	-19.8	-17.9	-22.0	
	500	-33.2	-34.2	-36.8	-35.9	-38.5	-39.5	-39.8	-40.7	-39.3	-35.4	-33.4	-30.8	-36.5	
	300	-52.7	-55.2	-56.4	-57.5	-60.5	-61.8	-62.8	-62.7	-60.6	-58.8	-55.2	-51.8	-58.0	
	200	-46.7	-49.9	-53.9	-63.4	-67.3	-70.9	-73.2	-73.5	-69.4	-67.0	-58.4	-49.6	-61.9	
	150	-46.3	-49.2	-53.7	-62.6	-67.7	-73.3	-76.3	-76.2	-72.5	-68.7	-58.7	-47.9	-62.8	
	100	-45.4	-49.6	-55.7	-65.2	-71.0	-77.7	-80.2	-79.2	-75.8	-69.8	-58.8	-46.4	-64.4	
	50	-43.5	-50.9	-59.8	-70.7	-77.0	-84.6	-84.7	-81.0	-73.5	-57.5	-43.4	-41.8	-64.0	
	30	-41.4	-51.5	-61.7	-72.8	-78.8	-86.7	-84.5	-76.6	-61.6	-40.9	-35.4	-37.6	-60.8	
風速 (m/s)	850	9.0	10.0	9.0	9.9	8.8	10.1	7.0	12.8	10.5	10.1	5.4	9.6	9.4	
	700	7.6	7.9	9.9	8.2	8.9	7.7	6.5	10.9	8.2	8.3	4.9	9.0	8.2	
	500	8.9	7.8	15.6	12.4	10.8	9.7	9.5	14.8	12.2	9.0	7.2	9.7	10.6	
	300	10.5	13.4	20.2	20.8	13.9	15.6	13.4	19.2	18.5	14.0	14.8	15.5	15.8	
	200	6.0	11.7	18.2	18.7	10.3	15.5	13.5	16.1	17.7	10.4	13.0	10.6	13.5	
	150	5.1	11.5	18.1	18.5	10.1	15.9	14.6	15.5	17.3	9.3	13.6	9.3	13.2	
	100	3.8	11.4	19.3	21.3	13.8	18.5	19.1	19.1	21.5	12.8	16.3	7.6	15.4	
	50	2.3	11.5	23.1	29.2	23.0	26.6	27.2	28.2	33.6	26.4	18.0	4.6	21.1	
	30	2.9	11.4	26.6	35.6	30.6	31.4	34.5	37.6	44.0	33.3	14.9	5.0	25.7	

累年平均に比べて寒気が強いことがわかる。偏差の図では、10月以降の低温状況が顕著である。

上層風の東西成分について見ると、4月には全層で西風成分が強く、11月は200 hPa以下の層では東風成分が卓越しているが、成層圏から次第に西風成分が強くなり、12月には下層の対流圏まで入り込んでいる。

南北成分については、9月の対流圏で北風成分が強くなっている他は累年平均値と顕著な差は認められなかった。

成層圏日別値の変化を見るため、1998年の00 UTCにおける50 hPa及び30 hPaの日別気温と日別累年平均値の変化を図15に、1998年2月1日から1999年1月31日の00 UTCにおける50 hPa及び30 hPaの気温と高層風の変化を図16に示す。成層圏突然昇温の同時現象として知られるオゾン全量増加を示すため、最上段に白丸でその日代表値を示した。

気温の変化を見ると、成層圏突然昇温と呼ばれる顕著な昇温が10月、11月に数回見られる。特に最大のものは30 hPaの10月28日から11月3日の6日間で34.4°Cの上昇を示した。風も強く、北風成分の卓越がみられ、オゾン全量も増加したが、昇温期間は長続きせず成層圏は再び低温に戻り、その後徐々に上昇した。

成層圏昇温期の9-11月の30 hPa面月平均天気図を図17に示す。1998年の経過は、9月には極渦の中心が昭和基地側に傾いているため、等高線の間隔はやや広く、昭和基地上空の上

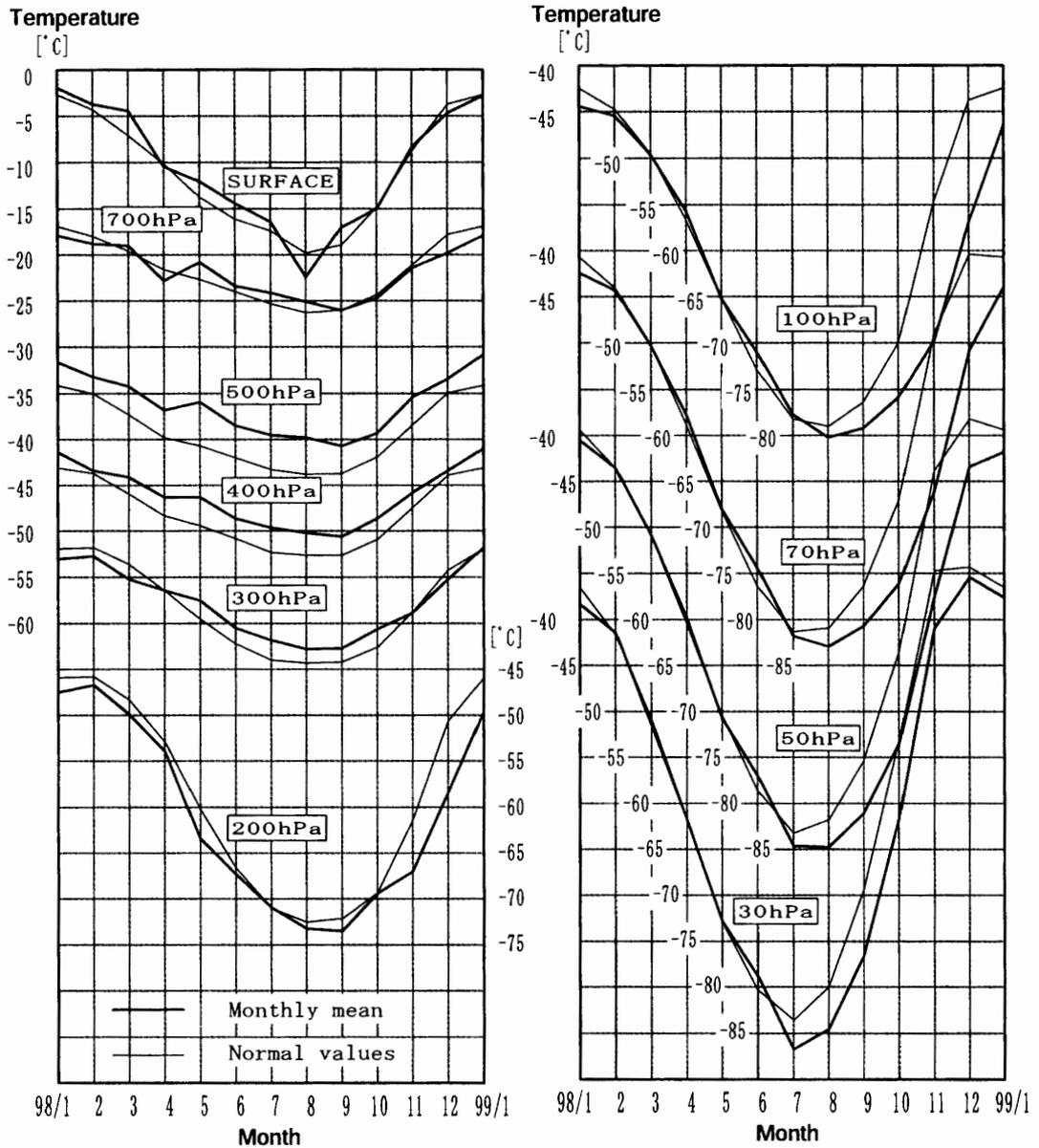


図 13 指定気圧面の月平均気温（1998年1月～1999年1月）と累年平均気温（1968年～1997年），00UTC

Fig. 13. Monthly mean and normal values (January 1998–January 1999) of upper air temperature at standard pressure levels.

層風は例年より強くなかった。10月に入ると極渦の位置は変わらないが、弱まったため、顕著な負偏差（1998–1995の平均高度との偏差）域に入り、昭和基地上空は強風域に位置し、北西風が卓越した。この傾向は11月も続いた。

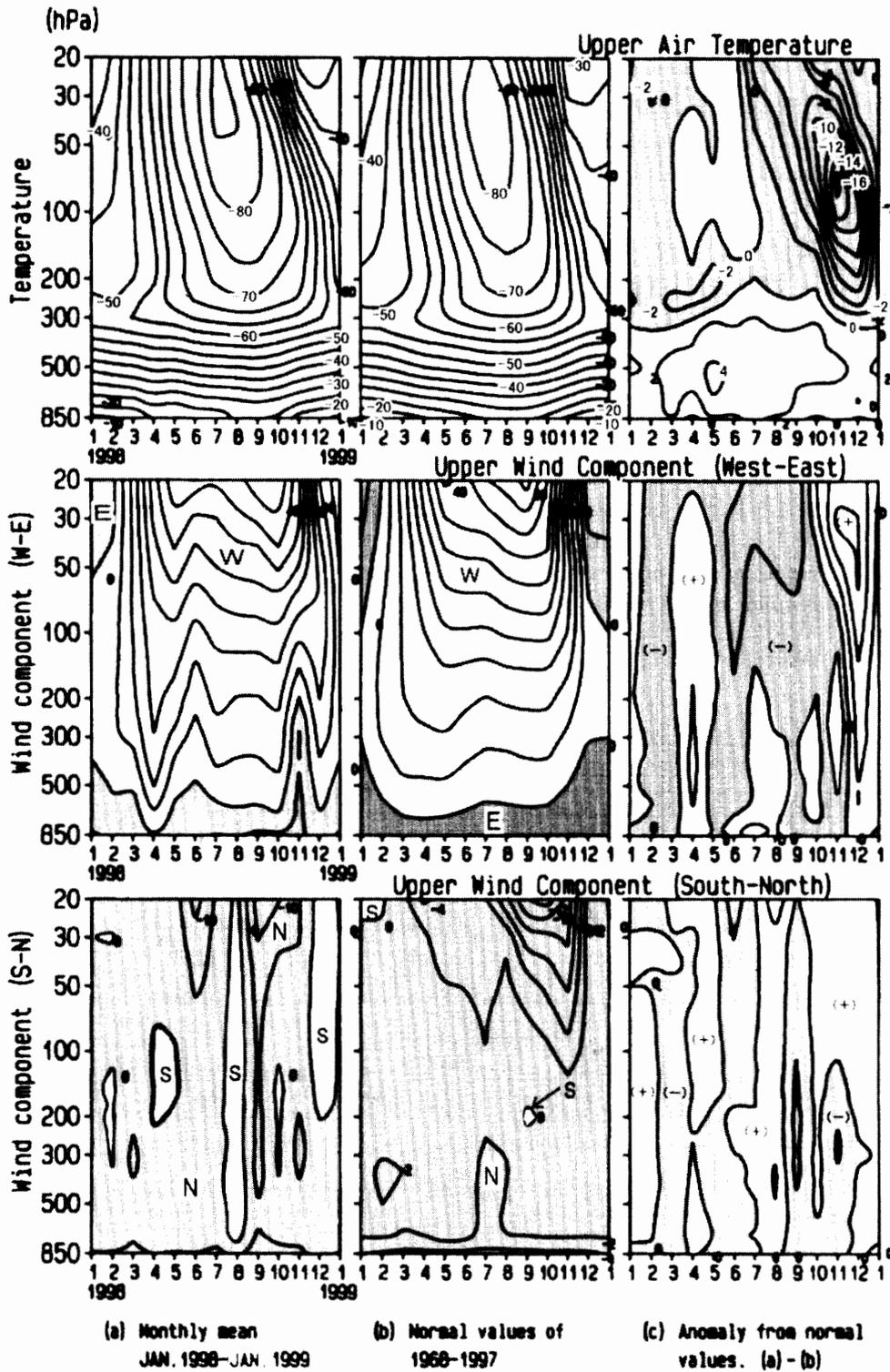


図 14 月平均値、累年平均値 (1968-1997 年)、及び偏差の年変化 (a) 1998 年月平均値、(b) 累年平均値 (1968-1997 年)、(c) 累年平均値 (c) からの偏差

Fig. 14. Annual variations of upper air temperature ($^{\circ}\text{C}$) and upper wind components (m/s).
 (a) Monthly mean from January 1998 to January 1999.
 (b) Normal values in 1968 to 1997.
 (c) Anomaly from normal values.

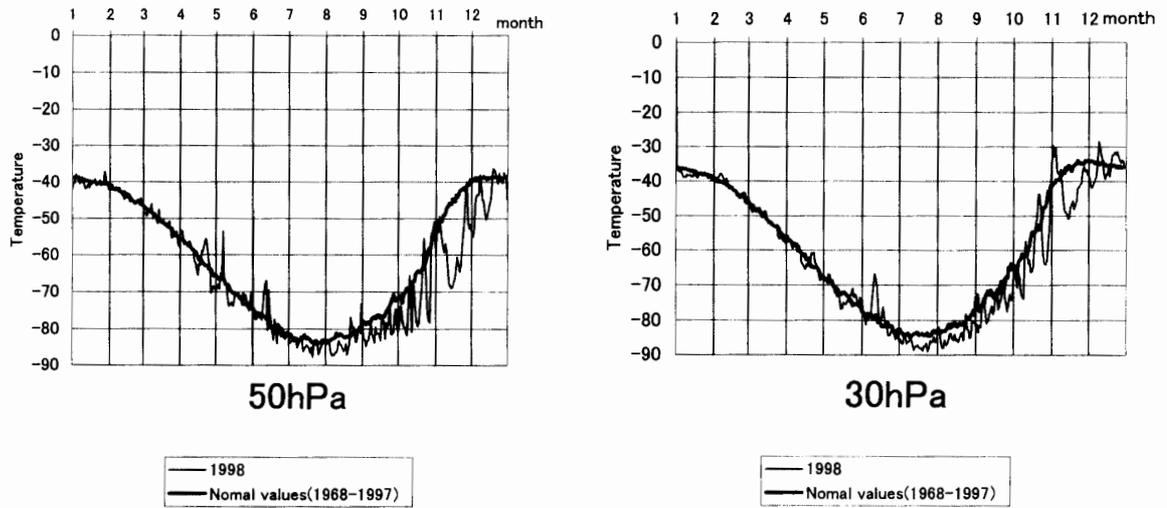


図 15 気温と累年平均値の日別値

Fig. 15. Variations of air temperature in January 1998 to January 1999, and normal values of air temperature in 1968 to 1997, at 50hPa (30hPa).

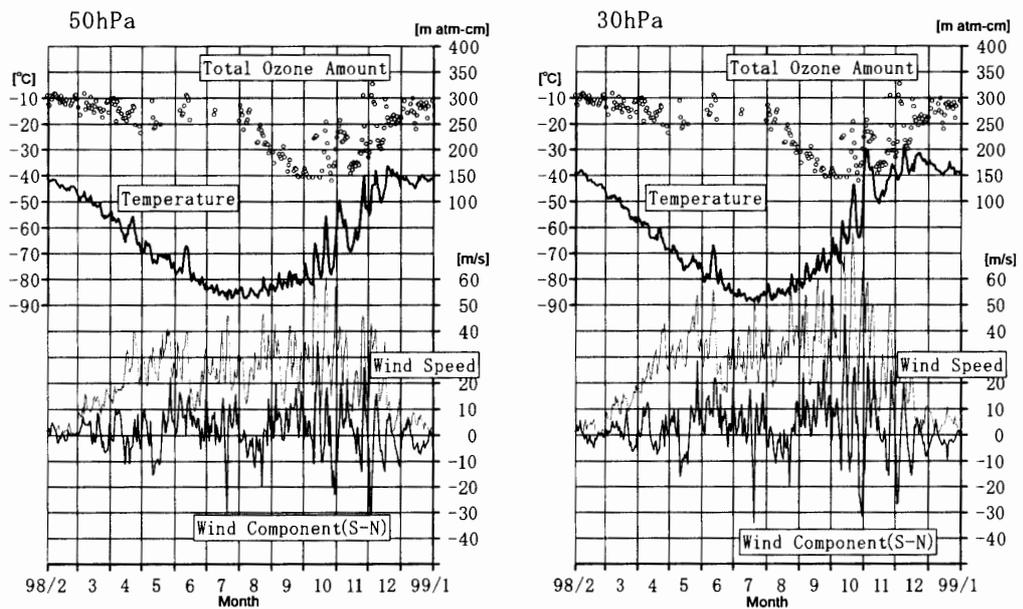


図 16 気温, 風速, 風の南北成分, オゾン全量の日別値

Fig. 16. Variations of air temperature, wind speed and wind components at 50hPa (30hPa), and total ozone amount in February 1998 to January 1999.

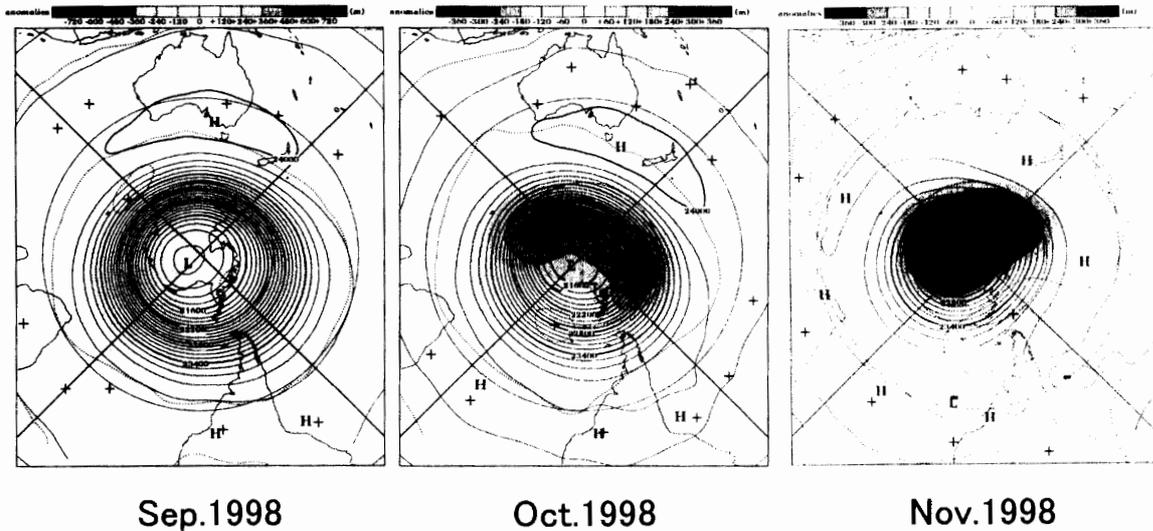


図 17 30hPa 面月平均天気図（気象庁 気候系監視報告による）

Fig. 17. Monthly mean weather chart on 30hPa in September 1998 to November 1998 (Monthly Report Climate System).

4. オゾン観測

4.1. 分光観測

4.1.1. 観測方法および測器

気象庁オゾン観測指針（気象庁，1991）に基づき，ドブソン分光光度計（Beck119）を用いてオゾン全量観測・反転観測を行った。

ドブソン分光光度計による観測は，スケジュール管理・ドブソン分光光度計の各操作部制御（測器の方向制御を除く）・データ処理（月光観測結果処理を除く）・測器精度維持のための点検作業はすべて専用の自動化システムを用いて行った（高層気象台観測第3課，1996：宮川・能登，1997）。

観測結果の通報は電子メールにより月ごとにまとめて（オゾンホール観測強化期間には毎週）気象庁宛てに行った。

(1) オゾン全量観測

オゾン全量観測は，大気路程 μ （オゾン層を通過する光線の垂直路程に対する相対的な路程）が 1.5-3.5 の間に太陽北中時と午前午後各 2 回，AD 波長組による太陽直射光および天頂散乱光観測を行った。太陽高度角が低くなる時期は，大気路程 $\mu=3.5-6.5$ の間に太陽北中時と午前午後，CD 波長組による太陽直射光および天頂散乱光観測を行った。また，太陽光による観測ができない極夜期には月光直射光による観測を行った。

(2) 反転観測

反転観測は，日中の晴天天頂散乱光を連続測定しオゾンの高度分布を得るための観測で，太陽天頂角が $60^{\circ}-90^{\circ}$ までのロング反転観測と $80^{\circ}-90^{\circ}$ までのショート反転観測を天頂晴天

時に可能な限り行った。

なお、反転観測結果から求めたオゾンの層別高度分布の計算は、ロング反転観測結果のみを用い、気象庁オゾン層情報センターに解析を依頼した。

上記観測値の精度を確認補正するため各種点検および比較観測を行った。

4.1.2. 観測経過

観測期間中ドブソン分光光度計は順調に動作した。

(1) オゾン全量観測

月別のオゾン全量観測日数を表 10 に示す。表中に観測に用いた光源の種類および波長組の内訳を示した。

4 月および 8 月は太陽高度が低いため、観測可能回数が少ない。5 月～7 月は極夜期のため月光による観測のみ行ったが、満月に近い月齢のとき以外は測定に必要な光の強度が得られ

表 10 月別オゾン全量観測日数およびオゾン反転観測回数

Table 10. Number of total ozone observations and ozone Umkehr observations with the Dobson spectrophotometer.

項目	年月	1998												1999	合計
		2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月	1月		
全量観測日数		24	22	22	8	8	2	22	17	22	29	29	23	228	
内訳	AD 直射光	20	10	4					9	18	25	22	18	126	
	CD "			8				8	3					19	
	AD 天頂光	4	12	5					3	4	4	7	5	44	
	CD "			5				5	2					12	
	月光				8	8	2	9						27	
反転観測回数	ロング	4	2						2	4	9	1	4	26	
	ショート	2	1	1				2	4	2	2			14	

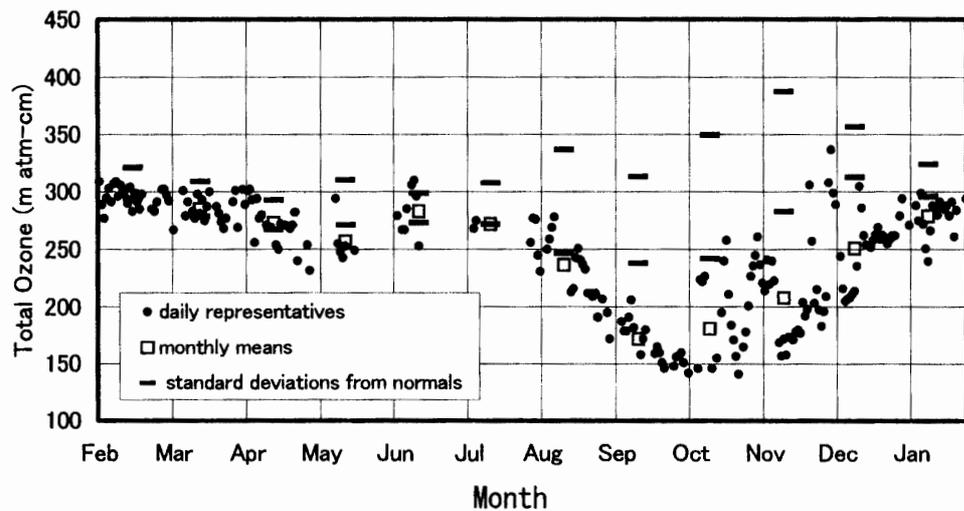


図 18 昭和基地におけるオゾン全量（1998 年 2 月～1999 年 1 月）●印は日代表値，□印は月平均値，— は平年値からの標準偏差（上限・下限）をしめす。

Fig. 18. Total ozone amount at Syowa Station (February 1998–January 1999).

ないため、晴天が続いても観測可能な日は毎月 1 週間程度しかない。

(2) オゾン反転観測

表 10 に月別の反転観測回数を全量観測日数と合わせて示す。

太陽高度角が高くなる(あるいは昇らない)4月～8月および太陽高度角が低くなる(あるいは降らない)12月には、必要十分なデータが集まらない期間があるので、観測可能な日数が少ない。

4.1.3. 観測結果

(1) オゾン全量観測

1998年2月～1999年1月のオゾン全量観測結果を図 18 に示す。●印は日代表値(同じ日に得られた観測値の中でもっとも観測条件が良いもの)、□印は日代表値を月平均した値、—印は月別累年平均値(1961年～1990年)からの標準偏差(それぞれ上限・下限)を表す。昭和基地における月平均値オゾン全量は1998年2月～4月および6月に平年並になった他は平年より少なく経過した。7月以降は平年より少ない状況が継続して推移し、特に9、11、12月および1999年1月の月平均値オゾン全量は観測開始以来の最小値を記録した。

1994年～1999年1月のオゾン全量日代表値の推移を図 19 に示す。また、オゾンホール出現前との比較のため1975年の観測結果も示す。1998年のオゾン全量は8月中旬までは1994年～1997年とほぼ同様に経過したが、8月下旬から10月上旬にかけては低い値のまま推移し、220 m atm-cm(気象庁ではオゾン全量値 220 m atm-cm 以下をオゾンホールの目安としている)を継続して下回った。10月中旬以降は220 m atm-cm を大きく上下しながら経過した。

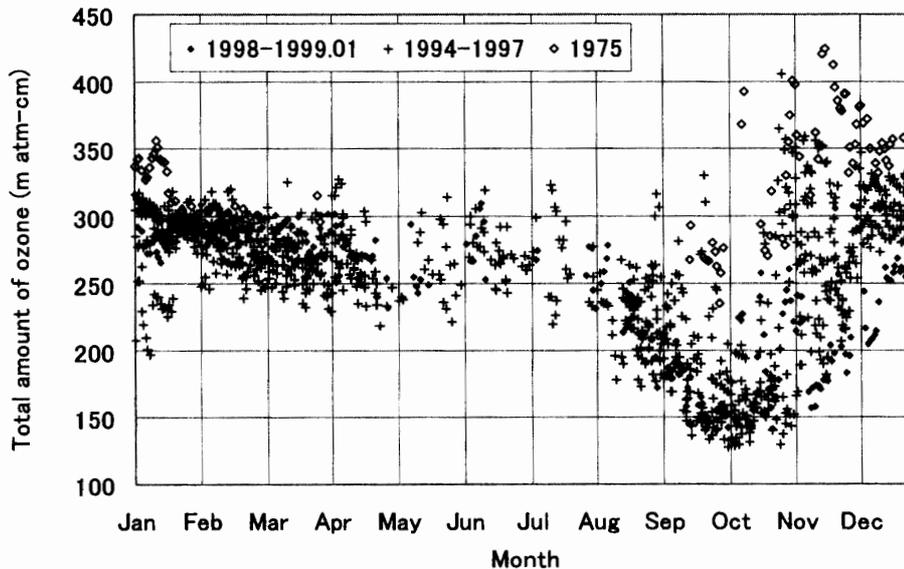


図 19 オゾン全量日代表値(1994年～1999年1月) “◆”印は1998年～1999年1月, “+”印は1994年～1997年, “◇”印は1975年の日代表値を示す。

Fig. 19. Daily representative values of total ozone amount (1994-January 1999). “◆”, “+”, “◇” show daily representative values of total ozone in 1998-January 1999, 1994-1997, and 1975 respectively.

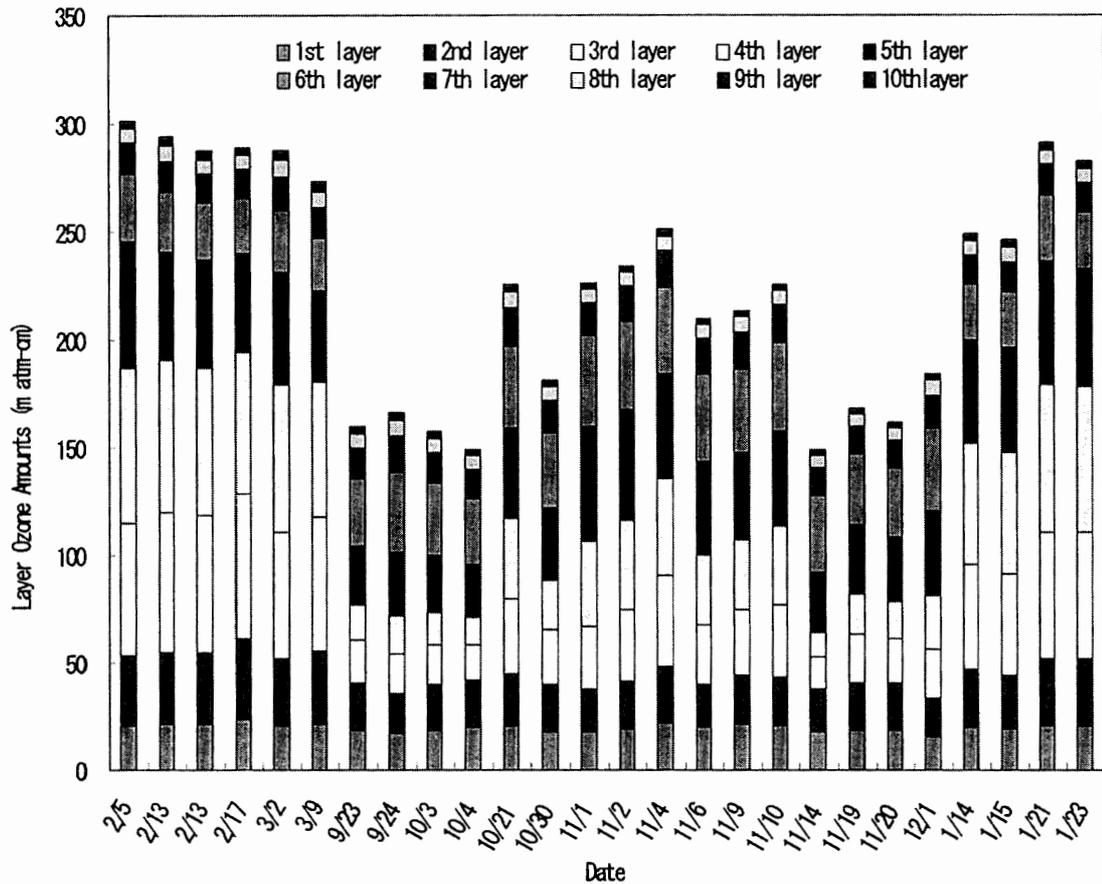


図 20 反転観測による気層別オゾン量 (1998 年 2 月～1999 年 1 月)
 Fig. 20. Layer ozone amount from Umkehr observations in February 1998–January 1999.

例年ならば 300 m atm-cm 程度まで回復する 12 月以降も低い値で推移し 220 m atm-cm を下回る値が 12 月 15 日まで観測され 12 月中旬頃までオゾンホールが昭和基地上空に存在したものと考えられる。

南極地域上空では 1970 年代末からオゾンホールの影響により春季に成層圏のオゾン量が著しく減少する傾向が見られ、昭和基地上空のオゾン量の減少が夏季まで及ぶ傾向は 1994 年以降連続して出現している (気象庁, 1999)。

(2) オゾン反転観測

オゾン反転観測による層別オゾン量の高度分布を図 20 に示す。1998 年 4 月～8 月はロング反転観測データが得られなかったため表示していない。各層の気圧範囲は、第 1 層: 地表-1/4 気圧, 第 2 層: 1/4 気圧-1/8 気圧, …第 n 層: $1/2^n$ 気圧- $1/2^{n+1}$ 気圧, …第 10 層: 1/1024 気圧-1 気圧 = 1013.25 hPa のとおり。

1998 年 2-3 月および 1999 年 1 月には通常のオゾン層の中心である第 4 層 (63.3-31.7 hPa) にオゾン量のピークが見られる (2/17 のみ第 3 層 (126.7-63.3 hPa) にピーク) が、9-10 月上

旬はこれら第 3・第 4 層を中心に大きく減少し、10 月下旬、11 月にオゾン全量がやや増えても第 5 (31.7-15.8 hPa)・6 層 (15.8-7.9 hPa) がピークとなっており、第 3・第 4 層の回復は 1999 年の 1 月以降になっている。これらの観測結果はオゾンゾンデによる観測結果とほぼ一致している。

4.2. オゾンゾンデ観測

4.2.1. 観測方法および測器

気象庁オゾン観測指針 (気象庁, 1997) に基づき、RS2-96 型オゾンゾンデ (明星電気製) を用いてオゾン高度分布観測を行った。

オゾンゾンデをゴム気球に吊り下げ、高度約 30 km まで飛揚し、オゾン分圧・気圧・気温・風向および風速の高度分布を観測した。オゾンゾンデはポンプで空気を吸入し、オゾンと反応液 (臭化カリウム) との化学反応の際に生ずるオゾン量に比例した反応電流を計ることによりオゾン量を求める。

気圧計は静電容量式空ごう気圧計、気温センサーはビート型ガラスコートサーミスタ温度計を用いている (いずれも RS2-91 型レーウィンゾンデと同じ。第 3 章高層気象観測参照)。ゴム気球は 2000 g を使用し、ヘリウムガスを充填し浮力を 3100 g とした。また、高層気象観測と同じ基準で低温時には、ゴム気球の灯油漬けによる到達高度低下の緩和処理を行った。

通常の高層気象観測を行っていない時刻帯の弱風・晴天時に原則として週 1 回飛揚した。

表 11 オゾンゾンデ観測回数
Table 11. Number of ozonesonde observations.

年 月	1998年 2月		3月		4月		5月		6月		7月	
日	3	5.6	8	3.8	4	4.6	7	— *3	1	4.3 *2	6	5.7 *2
到達気圧 (hPa)	11	10.2	12	3.4	8	6.8	11	8.7	6	3.5	9	5.3
	18	5.7	18	4.7	16	7.4	14	14.4	9	5.4	14	44.2 *1
	25	— *3	26	8.0	22	179.1 *1	19	7.3	13	16.9	20	11.2 *2
					25	13.2	23	33.1 *1	19	86.4 *1	25	4.7 *2
					29	10.4	28	7.1 *2	23	14.5 *2	31	3.8 *2
									26	52.6 *1		
年 月	1998年 8月		9月		10月		11月		12月		1999年 1月	
日	3	5.5	2	10.8	2	119.0 *1	3	8.5	4	24.1	7	4.8
到達気圧 (hPa)	8	19.6	10	9.3	4	5.3	5	3.7	10	5.1	13	4.2
	13	37.4 *1	13	10.8	6	79.9 *1	8	6.5	12	4.1	20	5.7
	15	15.9 *2	16	23.1	11	9.2	14	5.5	16	4.8	31	60.9 *1
	18	5.3	22	6.7	16	7.9	18	5.1	18	4.8		
	20	44.0 *1	25	49.0 *1	20	14.5	20	— *3	23	7.5		
	28	11.0			23	9.8	23	39.7 *1	26	4.6		
					25	19.5	25	5.1	30	11.0		
					30	15.3	28	4.7				
							30	5.3				

注: *1: 気球破裂・オゾン反応不良などにより最終高度が30hPaに達せず、ドブソン比(補正係数)なし。
*2: 極夜期で月光によるオゾン全量観測ができなかったため、ドブソン比を1に設定。
*3: オゾン反応不良・発信停止などによりデータ取得できず。

ILAS データ検証のための昭和基地におけるオゾンゾンデ観測（以下 ILAS 検証観測 8.6 関連）期間（1998 年 5 月 11 日～8 月 20 日）およびそれ以降 12 月までは平均 4 日に 1 回の割合で飛揚した。

オゾンゾンデ信号受信・測角・制御などの施設は高層気象観測と同じ機器を使用した。飛揚前の校正にはオゾン発生器・オゾンゾンデ試験器（気象庁，1997）を用いた。極夜期で分光観測によるオゾン全量観測値が得られない場合を除き、飛揚時刻に近い時刻のドブソン分光光度計によるオゾン全量観測値を用いて補正を実施した。

4.2.2. 観測経過

第 39 次隊で持ちこんだオゾンゾンデ 54 台のうち、発振不良で飛揚できなかった 1 台を除く 53 台を飛揚した。オゾンゾンデの到達気圧などの月別観測状況（ILAS 検証観測 24 回を含め）を表 11 に示す。全飛揚回数 77 回のうちオゾン反応管での反応不良・発信機の発振停止などのためデータが取得できなかった観測が 3 回、気球破裂・オゾン反応不良などにより最終高度が 30 hPa に達せず、ドブソン分光光度計によって得られたオゾン全量観測値による補正係数（ドブソン比）を求めなかった観測が 12 回、極夜期で月光による全量観測ができなかったためドブソン比が求められない観測が 8 回であった。

4.2.3. 観測結果

1998 年 2 月～1999 年 1 月のオゾン分圧高度分布の変化を図 21 に示す。ただし、データが取得できたオゾンゾンデ観測のうち最終高度が 30 hPa に満たなかった分とドブソン比が規

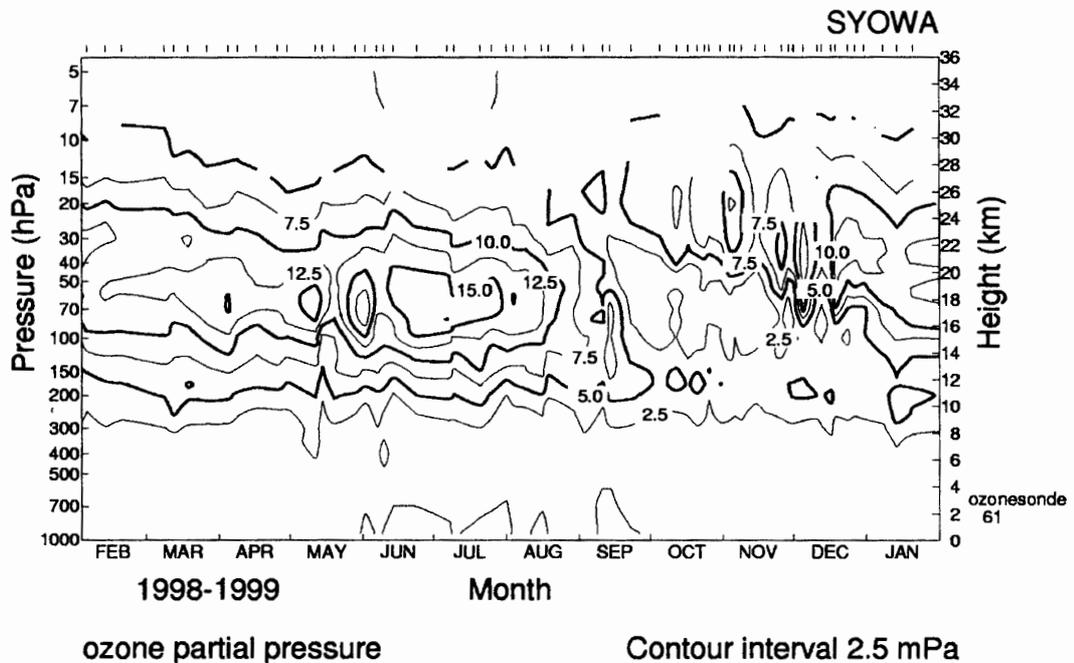


図 21 オゾンゾンデ観測によるオゾン分圧特別高度断面図（1998 年）

Fig. 21. Time-height cross section of ozone partial pressure (mPa) from ozonesonde observations (1998).

定範囲 (0.7-1.4) 外になった 9 月 16 日飛揚分は除いている。

8 月中旬までは 100-50 hPa 付近 (15-19 km) でオゾン分圧は 10.0 mPa 以上で推移したが、8 月下旬以降はオゾンホールの影響により急激にオゾン分圧が低くなり、9 月下旬にはそれまでオゾン分圧の極大域だった 100-50 hPa 付近で 2.5 mPa 以下の極小域となり 11 月中旬まで極小域のまま推移した。10 月以降 40 hPa より上空で徐々にオゾン分圧が増加し始めているが、100-50 hPa 付近では断続的に 12 月中旬まで極小域のまま推移した。12 月の後半にはオゾン全量がオゾンホールの目安である 220 m atm-cm を上回るようになりオゾンホールは解消したと考えられるが、100 hPa 付近のオゾン分圧は 5.0 mPa を下回っており、依然としてオゾンが破壊された影響が残った。春期のオゾン分圧高度分布の観測例を各月平均平年値 (1967-1990 年の平均値) とともに図 22 に示す。10 月は 40-100 hPa, 11 月は 70-120 hPa 付近で 3 例ともにオゾン分圧が著しく低くなっており、ほぼオゾンが破壊された状態となった。衛星による観測結果によれば 220 m atm-cm 以下の面積は過去最大 (9 月 19 日および 9 月 21 日に 2724 万 km²) を記録し、9 月下旬から 10 月上旬にかけ大きい状態を維持した後徐々に縮小し、12 月に入ると急速に縮小した (気象庁, 1999)。

気象庁の客観解析によれば南緯 60 度以南の 50 hPa 面の最低気温が 8 月以降最も低い水準で推移し、極成層圏雲出現の目安となる気温が -78°C 以下の領域の面積 (図 23) は、過去最大の水準で推移したことがわかる。また、12 月中旬までは南極域上空で極渦が安定した状態

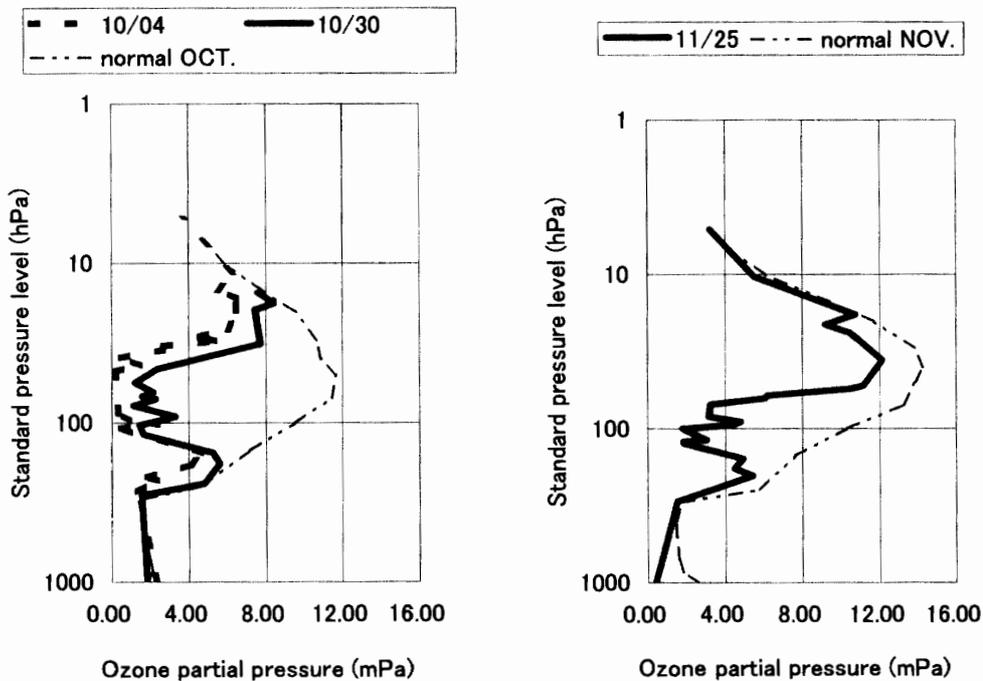


図 22 オゾンゾンデ観測によるオゾン分圧高度分布図 (1998 年 10 月 4 日, 10 月 30 日, 11 月 25 日)

Fig. 22. Vertical profiles of ozone partial pressure from ozonesonde observations (4 October, 30 October, 25 November 1998).

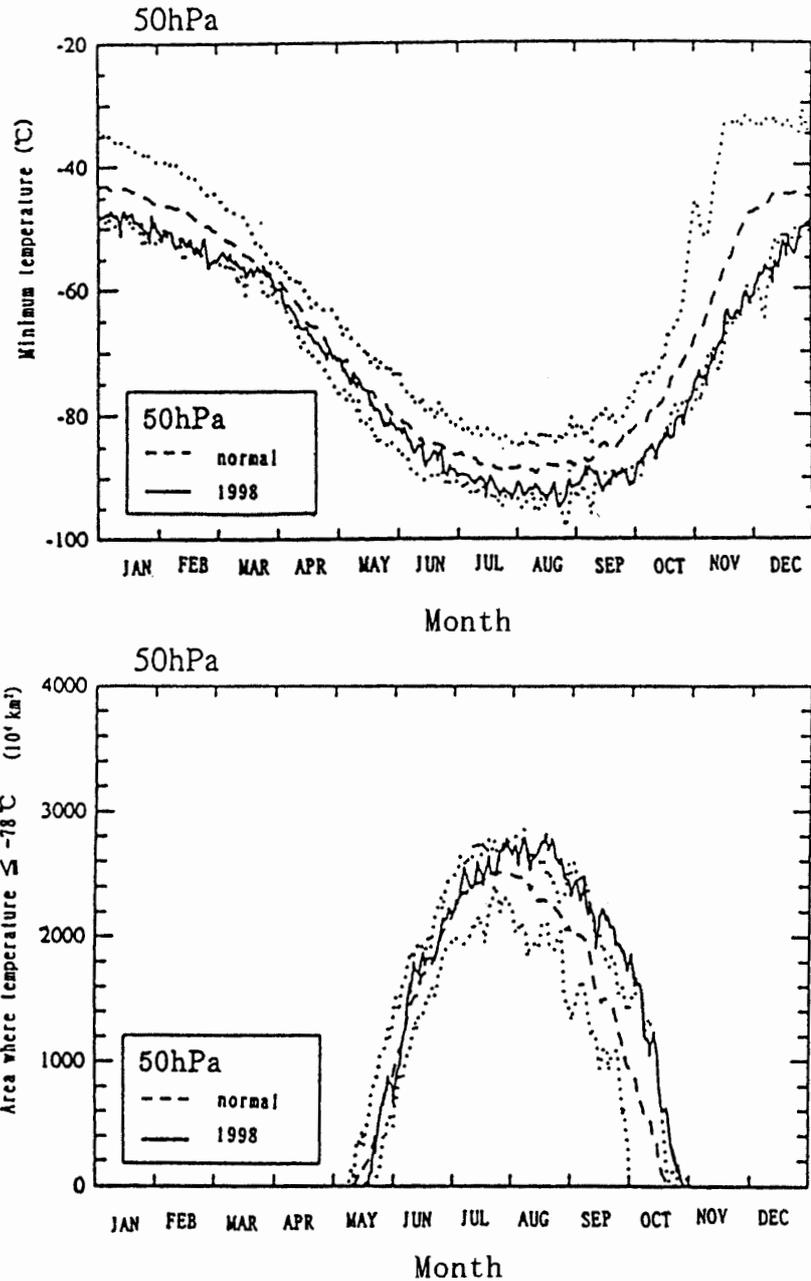


図 23 60°S 以南の 50 hPa 面の最低気温 (上図) および気温が -78°C 以下の領域の面積 (下図). 点線は 1988 年以降の最低値と最高値 (気象庁; オゾン層観測報告 1998 年)
 Fig. 23. Minimum temperature (upper) and the area where temperature is less than -78° (lower), at the 50hPa standard pressure level between 60°S and South Pole (1998). Dotted line shows minimum and maximum values of temperature and area from 1988 (Annual Report of Ozone Layer Monitoring 1998, JMA.).

が継続していた。以上のことから下部成層圏の塩素濃度が引き続き高いことの他に、8月以降南極域上空で低温な状況が継続し極成層圏雲によるオゾン破壊が促進されたこと、南極上空の極渦が12月になっても安定したためオゾンの少ない空気塊が周囲から隔離された状況

が継続したことが、12月の後半に依然としてオゾンが破壊された影響が残った原因と考えられる（気象庁，1999）。

4.3. 地上オゾン濃度観測

4.3.1. 観測方法と測器

地上付近の大気中に含まれる微量のオゾン濃度を、紫外線吸収方式のオゾン濃度計（MODEL1100, Dylec）で12秒ごとに観測した。観測データは、ノートパソコン及びMOに収録した。

観測装置は放球棟横の旧水素ガス発生器室に設置し、大気取り入れ口が同建物の北東側の屋根から1m上の位置（地上約5m）になるよう設置した。

オゾン濃度計は、あらかじめ日本国内で検定装置（気相滴定法（GPT））により使用前検定を行った上で、1年間南極で観測に使用した。1年間使用したオゾン濃度計は日本国内に持ち帰り、使用後検定を行い、観測値の補正を行った。

また、越冬中6カ月ごとに現用器と予備器とのオゾン濃度計の相互比較を行い、測器の感度校正を行った。

4.3.2. 観測経過

1998年1月11日に38次観測隊現用器、予備器および第39次観測隊持ち込み測器との相互比較をそれぞれ行い、測器の感度校正および経時変化の確認を行った後、2月1日より予

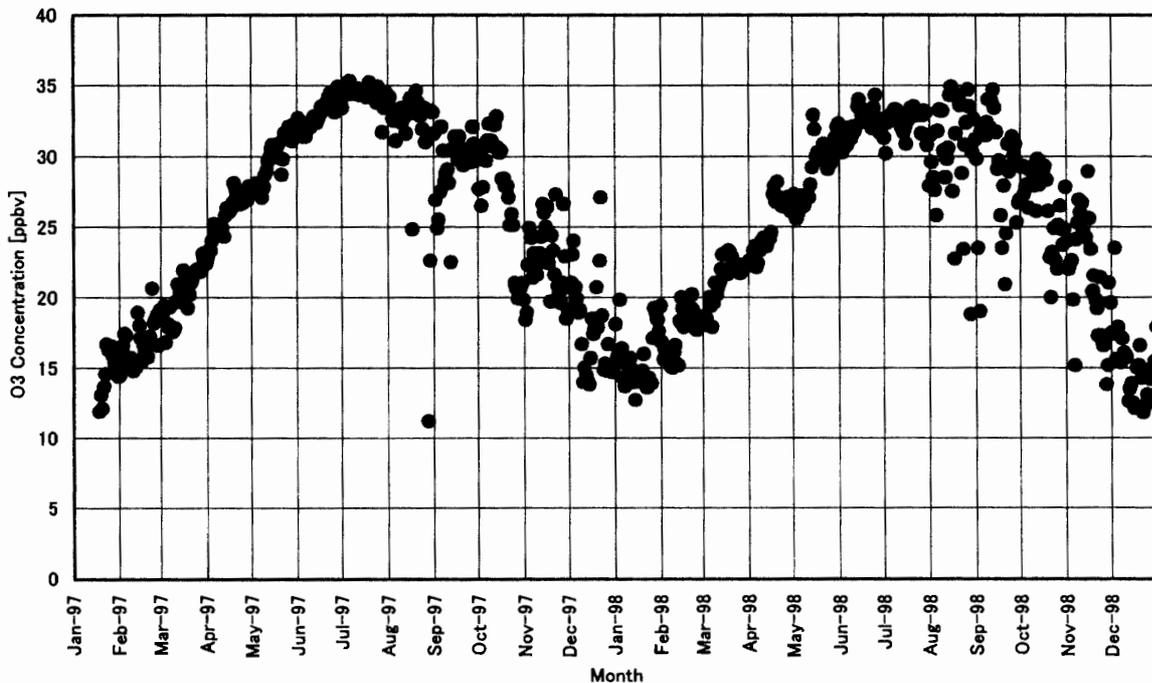


図 24 地上オゾン日別濃度値（1997-1998年）

Fig. 24. Daily mean surface ozone concentration from 1997 to 1998.

備器を 39 次現用器として観測を開始した。1999 年 1 月上旬より現用器の光源が低下したことから、1 月 19 日に予備器および第 40 次観測隊持ち込みの測器との相互比較を行い 20 日から予備器を現用器とした。

1 年間使用したオゾン濃度計（第 39 次現用器）を持ち帰り、検定を行った後、観測結果の補正・再処理を行った。

4.3.3. 観測結果

地上オゾン日別濃度値の年変化（1997-1998）を図 24 に示す。この観測結果はあらかじめ基地活動による人的な汚染を統計処理で除いたものである。

昭和基地における地上オゾン濃度の特徴としては、夏季にオゾン濃度が最も小さく冬にかけてオゾン濃度は徐々に増加し、冬季に最も大きくなるという季節変化を示している。1998 年の地上オゾン濃度の平均値は 24.6 ppbv であった。

基地活動による人的な汚染を除いたバックグラウンドレベルの地上付近のオゾン濃度値を得るために、生データ（12 秒値）から 1 時間ごとに 1 時間平均値を求め、この時の計算に用いた生データが 150 個以上ありかつ標準偏差の値が 1.5 ppbv 以下の場合を特別値とした。さらに、この特別値を基に日別値、月別値、年平均値を求めた。

昭和基地における風向別地上オゾン濃度 1 分値の平均値を図 25 に示す。データ、1 分値

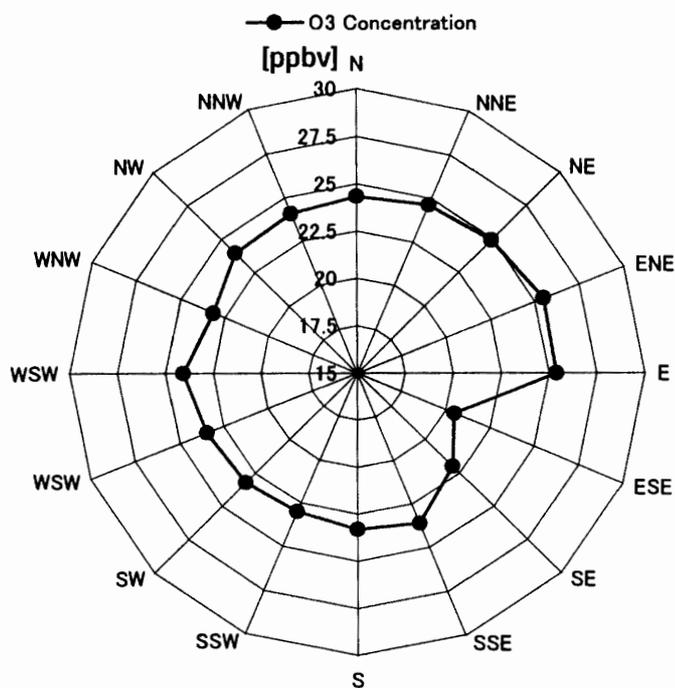


図 25 風向別地上オゾン濃度値（期間 1998 年 2 月 1 日～1999 年 1 月 19 日の 1 分値の平均値）

Fig. 25. Surface ozone concentration for each wind direction (mean from 1 February 1998 to 19 January 1999).

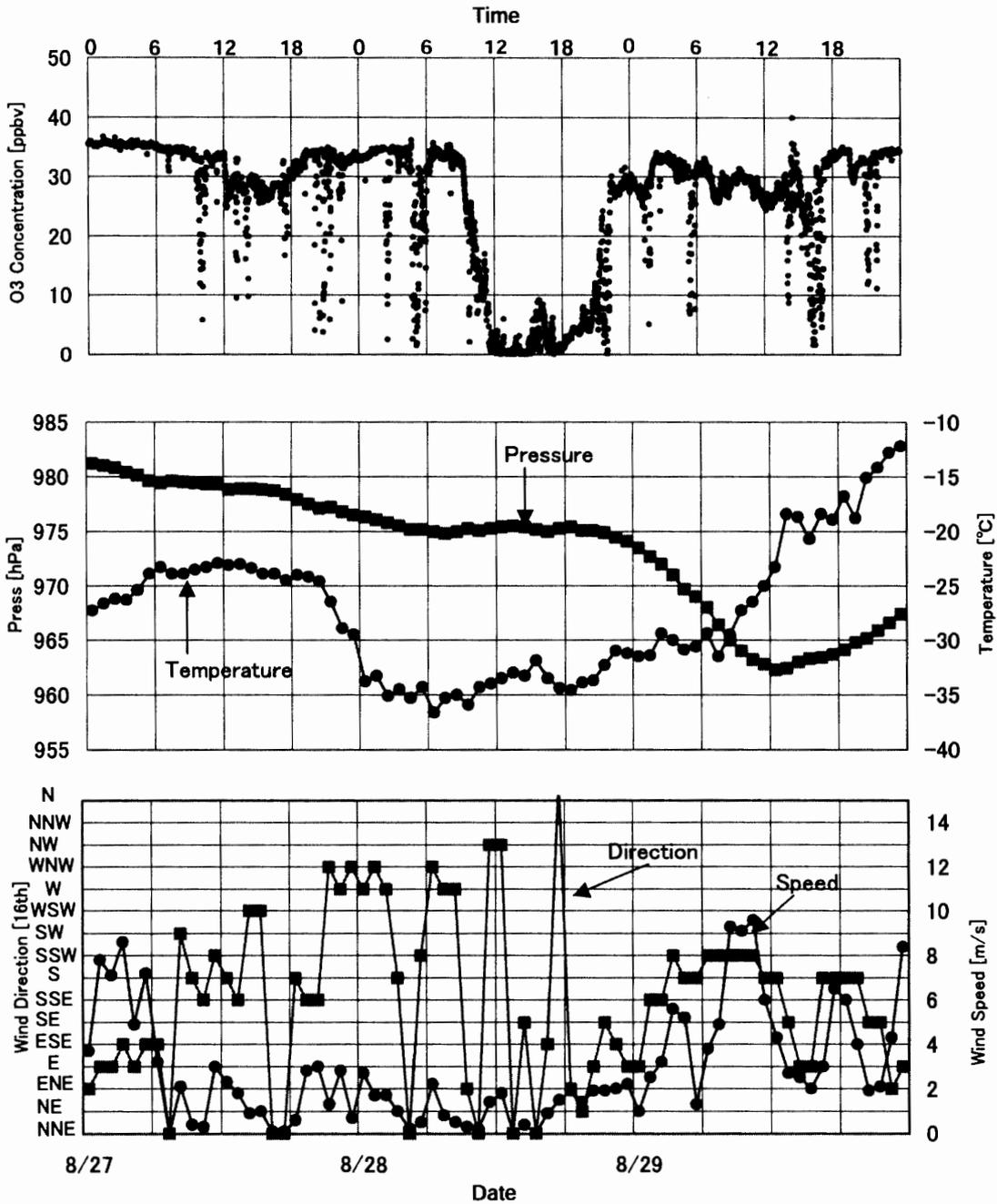


図 26 地上オゾン濃度急減現象時の地上オゾン濃度および地上気象観測値（気温，気圧，風向，風速）の経時変化

Fig. 26. Variations of surface ozone concentration and surface meteorological data (temperature, pressure, wind direction, wind speed) during the low ozone episode.

(生データ 5 個) の標準偏差が 1 ppbv 未満のもの，期間は，1998 年 2 月 1 日～1999 年 1 月 19 日である．図 25 を見てみると，東南東（ESE）方向の風の時には他の風向と比較して地上オゾン濃度 1 分平均値が大きく異なっている．この方向には管理棟，居住棟，発電棟があり，基地活動による汚染の影響を受けているためと考えられる．基地活動による人的な汚染を

除いたバックグラウンドレベルの地上付近のオゾン濃度値を求めるためには、標準偏差によるしきい値だけでは取り除けないことが分かった。このことに関しては、今後の検討が必要である。

南極・北極の高緯度地域では、極夜が明けた春期に地上付近のオゾン濃度が減少し、ほとんど0になる現象があることが知られている（青木，1997；江崎ら，1998）。この現象は海塩起源の物質とオゾンが光化学反応することにより起こると考えられている。

図26は、1998年8月28日に発現した地上オゾン急減現象で、この時観測された地上オゾン濃度の経時変化と地上気象観測結果を示す。この日、昭和基地は大陸からの高気圧の圏内で、穏やかであった。0920LT頃から急激に濃度が減少し始め1140LT頃からほぼ0の状態になり1800LTごろまで続きその後急激に濃度が上昇し2300LT頃にほぼ元の濃度レベルにもどった。このころ低気圧の接近による風の強まりと気圧の降下が始まっている。

図27に地上オゾン急減現象の前後に行ったオゾンゾンデ観測結果を示す。

この現象の発生前と後で、対流圏内では、地上から800hPa付近までのオゾン分圧の減少が見られる以外は、大きな差異は見られない。

図28に地上オゾン急減現象時の気塊（高度500m）の等温位面バックワードトラジェクトリー解析結果を示す。これは、急減現象が発現した28日を挟んだ7日間（25-31日）の15LTについて7日間遡って計算を行ったものを示した。

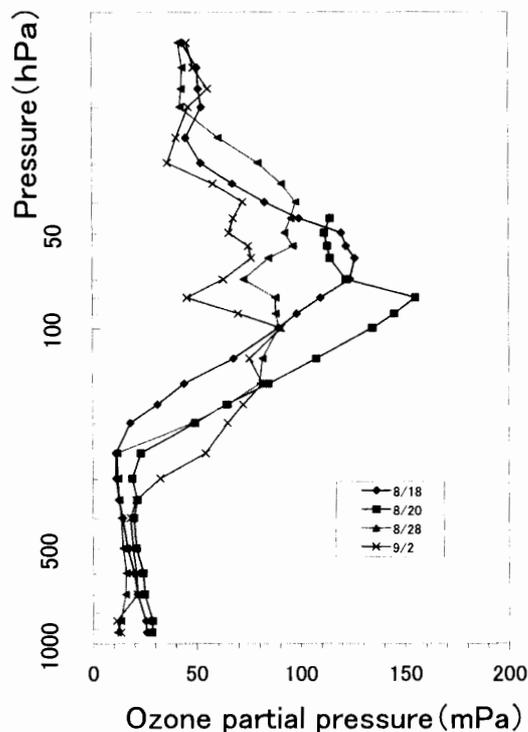


図27 地上オゾン濃度急減現象発生前後のオゾンゾンデ観測値
Fig. 27. Ozonesonde data during the low ozone episode.

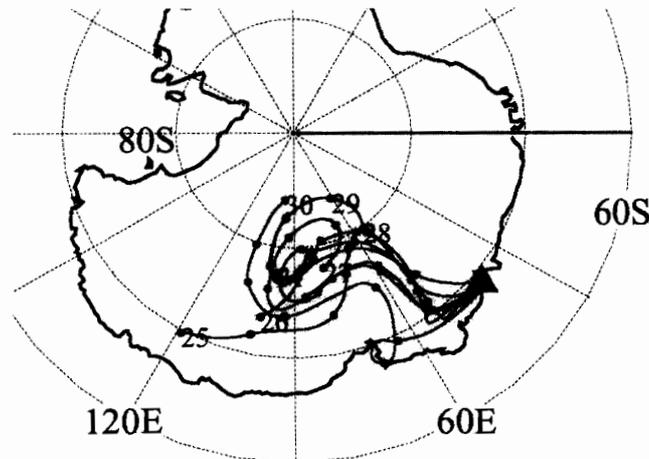


図 28 地上オゾン濃度急減現象時の気塊の等温位面バックワードトラジェクトリー解析
 Fig. 28. Analysis of isentropic backward trajectory during the low ozone episode.

今回の解析では、この期間中昭和基地付近の地上付近の気塊は、カタバ風により南極大陸の内陸部から移流しており、海塩起源の物質が供給された場所は特定できなかった。

今後、地上付近のオゾンがどこでどのように破壊されるかを解明するためには、今後もバックワードトラジェクトリー解析等の事例を積み重ねることが必要である。

5. 放射観測

5.1. 下向き放射観測

5.1.1. 観測方法と測器

設置場所は、遮蔽バンド付き全天日射計が気象棟の南西約 200 m 離れた高台（旗台地）で、他の測器は気象棟前室屋上である。表 12 に (1)–(8) 項の使用測器を示す。(1)–(7) の観測項目についてはデータ収録装置で 5 秒間隔の信号を取り込み、パーソナルコンピュータで 1 分ごとの平均値を記録した。

(8) の観測項目については、ブリューワー分光光度計を専用のパーソナルコンピュータを用いて制御し、観測結果はこのパーソナルコンピュータを用いて自動的に取りこまれハードディスクに収録した。測器の感度を監視するため、観測装置の運用期間中に原則として週に 1 回外部標準ランプ点検を行った。感度変化は期間中の変動が 2% 以内に収まっており安定していた。また、測器保護のため強風時には水晶ドームに保護具を取り付けたのち観測を中止した。

6 月 3 日～5 日の A 級ブリザードの影響で感部に不具合が発生し、越冬期間中に回復できなかったため以後のデータが取得できなかった。このため、第 39 次隊観測期間中データが取得できたのは 2 月 1 日～6 月 2 日となった。

(1) 全天日射量

表 12 下向き放射観測使用測器

Table 12. Instruments used in downward radiation observations.

観測項目	測器名	感部型式	番号	測定範囲	使用期間
全天日射量	全天日射計	EKO MS-801	F86024	300-2800nm	98. 2. 1 - 99. 1. 10
		EKO MS-801	F86023	300-2800nm	99. 1. 11 - 99. 1. 31
直達日射量	直達日射計	EKO MS-53	P93005	300-2800nm	98. 2. 1 - 99. 1. 10
		EKO MS-53	P92009	300-2800nm	99. 1. 11 - 99. 1. 31
散乱日射量	全天日射計 + 遮蔽バンド 全天日射計 + 遮蔽板	EKO MS-801	F91022	300-2800nm	98. 2. 1 - 98. 4. 30
		EKO MB-11S			
		EKO MS-801	F95046	300-2800nm	98. 5. 1 - 99. 1. 31
全波長放射量	全波長放射計	EKO CN-11A	M90047	300-30000nm	98. 2. 1 - 98. 7. 28
		EKO CN-11A	M92076	300-30000nm	98. 7. 29 - 99. 1. 31
長波長放射量	赤外放射計 赤外放射計 + 遮蔽板 赤外放射計	EPPLEY PIR	30431F3	4-50um	98. 2. 1 - 98. 4. 30
		EPPLEY PIR	30788F3	4-50um	98. 5. 1 - 98. 12. 24
		EPPLEY PIR	30788F3	4-50um	98. 12. 25 - 99. 1. 31
波長別直達日射量	サンフォトメーター	EKO MS-110	ES94121. 02	368, 500, 675, 778, 862, 938nm	98. 2. 1 - 99. 1. 12
		EKO MS-110	ES82-486	368, 500, 675, 778, 862, 938nm	99. 1. 13 - 99. 1. 31
B領域紫外域日射量	紫外域日射計	EKO MS-210W	S90091. 2	280-315nm	98. 2. 1 - 99. 1. 31
		ブリューワー分光光 度計	SCI-TEC BREWER	#091	290-325nm

全天日射計を使用して、全天日射量の連続観測を行った。

(2) 直達日射量

直達日射計を使用して、直達日射量の連続観測を行った。なお、太陽面に全く雲がかかっていない時（主にオゾン全量観測の太陽直射光観測時刻）のサンプリングデータからホイスター・デュボアの混濁係数を求めた。

(3) 散乱日射量

遮蔽バンド付き全天日射計および自動太陽追尾装置による遮蔽板付き全天日射計を使用して、散乱日射量の連続観測を行った。散乱日射量と直達日射量を用いて合成全天日射量を算出した。

(4) 全波長放射量観測

全波長放射計を使用して、全波長放射量の連続観測を行った。

(5) 赤外放射量観測

赤外放射計を使用して、赤外放射量の連続観測を行った。

(6) 波長別直達日射量観測

サンフォトメーターを使用して、波長別 (368・500・675・778・862・938 nm の 6 波長) 直達日射量の観測を行った。

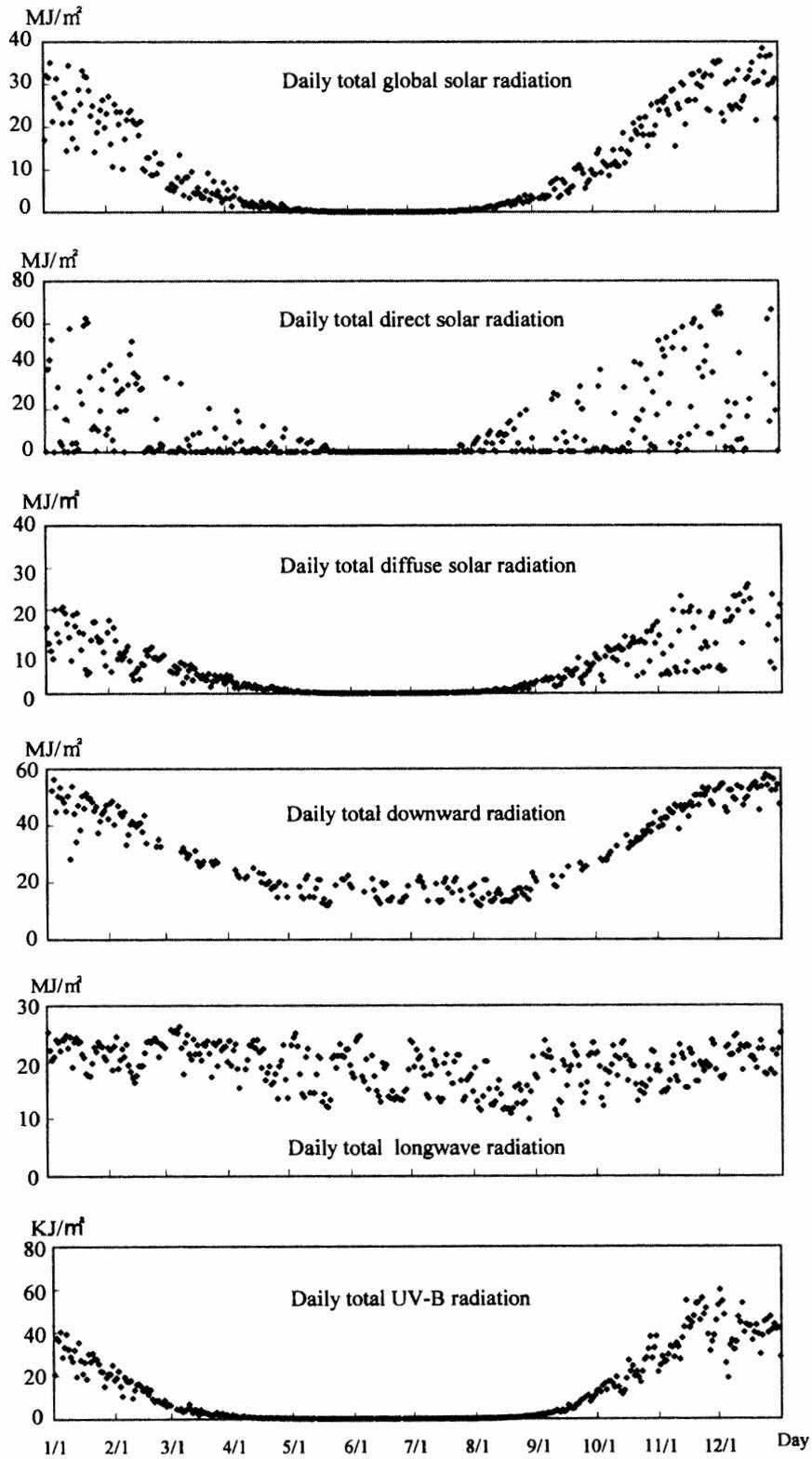


図 29 下向き放射観測結果 (1998 年)

Fig. 29. Variations of downward radiation in 1998.

(7) B領域紫外域日射量観測

紫外域日射計を使用して、全天光を観測することにより、B領域紫外線全量の連続観測を行った。測器定数はブリューワー分光光度計によるUV-B量と比較して決定した。

(8) 波長別紫外域日射量観測

紫外域日射観測指針（気象庁，1993b）に基づき、ブリューワー分光光度計（カナダSCI-TEC社製，測器番号#091）を使用して波長別紫外域日射量を290-325 nmの間0.5 nm刻みで毎正時に観測した。また，該当する波長域について波長別紫外域日射量を積分することによりUVB量等も算出した。

5.1.2. 観測結果

(1) 下向き放射量

図29に全天日射量・直達日射量・散乱日射量・全波長放射量・赤外放射量・B領域紫外域放射量の年変化を示す。

(2) 波長別紫外域日射量観測

ブリューワー分光光度計による紫外域日射強度波長積分値の日積算値を図30に示す。図中凡例に290-295とあるのは，各観測時刻に得られた0.5 nmごとの波長別紫外線強度を290-295 nm間，TUVは290-325 nm間，UVBは290-315 nm間波長積分し，その後これらの値に

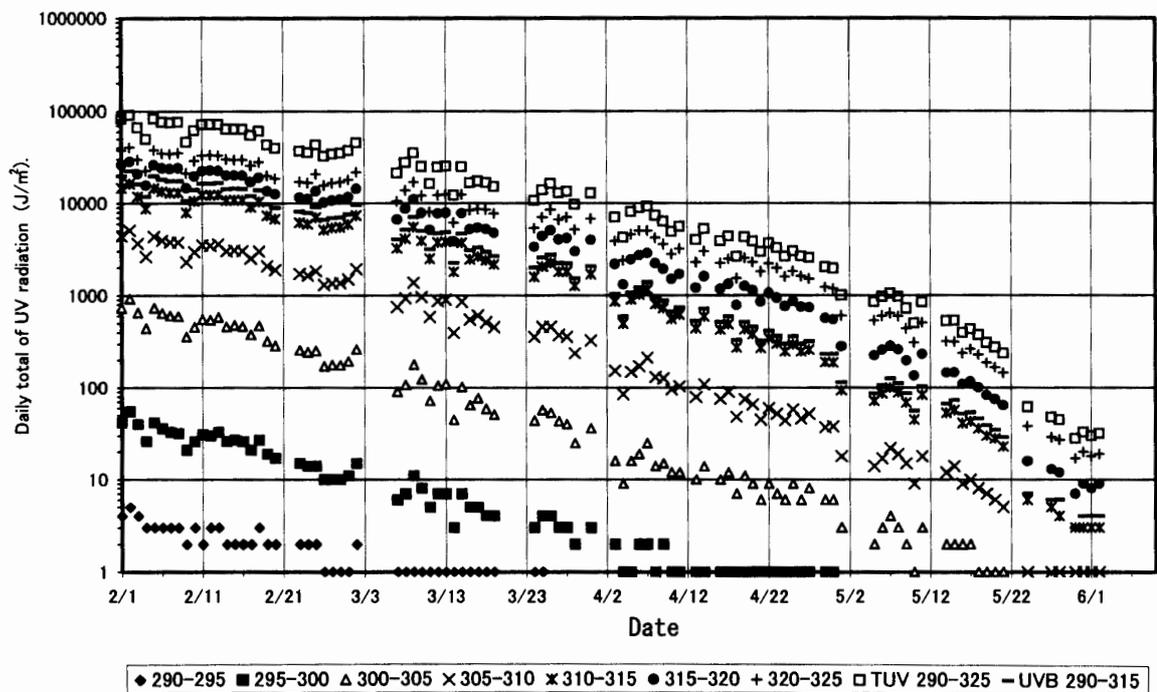


図30 紫外域日射波長積分日積算値 1998年2-6月

Fig. 30. Spectral ultraviolet radiation, February-June 1998. UV radiation integrated over the wavelength bands of 5 nm width, TUV and UVB.

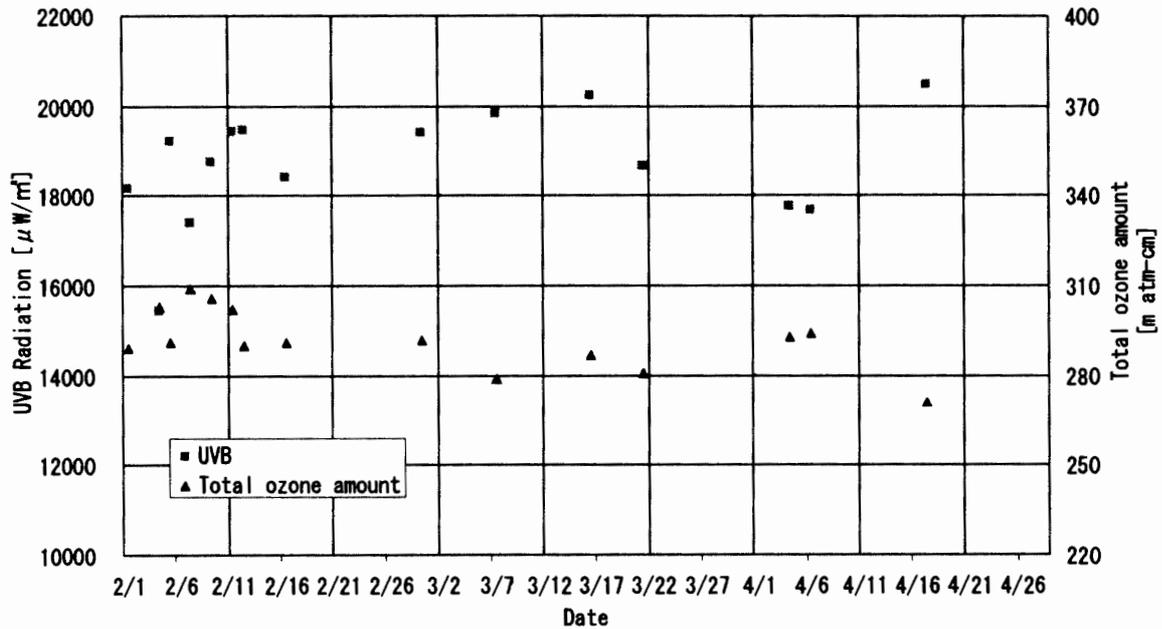


図 31 $\mu=6.5$ の時の UVB 日射量とオゾン全量の日変化（雲量 5 割以下）1998 年 2-4 月
 Fig. 31. UVB radiation and daily representative values of total ozone amount from February to April 1998. All UV data when μ was equal to 6.5 and sky cover less than 50% are used.

3600 秒を掛けることにより時別値を求め、さらに 1 日分を積算することにより求めた日積算値を表す。

データを毎正時にサンプリングし、積算期間を日の出・日の入りの時刻で決めたため、日積算に用いるデータ数は 0 個から 24 個まで離散的に変化する。このため用いるデータ数が変化する日の前後で晴天が続いたとしても、日積算値が不連続に変化する場合がある。5 月 21 日と 24 日の間に段差が見られるのは、その前後で積算に用いるデータ数が変化したことにより日積算値の変化の割合が 60% 程度になったために見られるもので、測器に不具合が生じたためではない。

オゾン全量と紫外線の関連を見るため、全雲量が 5 割以下のときで、オゾン層を通過する太陽光線の相対的な路程が $\mu=6.5$ （太陽高度角が約 9 度に相当）の時の UVB 日射量を前後の正時から時間内挿して求めた結果を、オゾン全量日代表値と共に図 31 に示す。全雲量が 5 割以下のときに限って言えば、オゾンの減少に伴って UVB 領域の紫外線量が増加しているのが判る。

図 32 にオゾン全量と UVB 日射量の関係を示す。全データ数が少ないうえ、極夜期後のオゾンが著しく減少する期間のデータがないため、相関関係はあまり良くないが、オゾン全量の減少に伴って UVB 日射量が増加する傾向が見られる。オゾン量が仮に 300 から 297 matm-cm へ 1% 減少すると UVB 量が 1.3% 増加するとの結果が得られ、これまで行われた解析結果（稲川ら、1997）と同様の値が得られた。

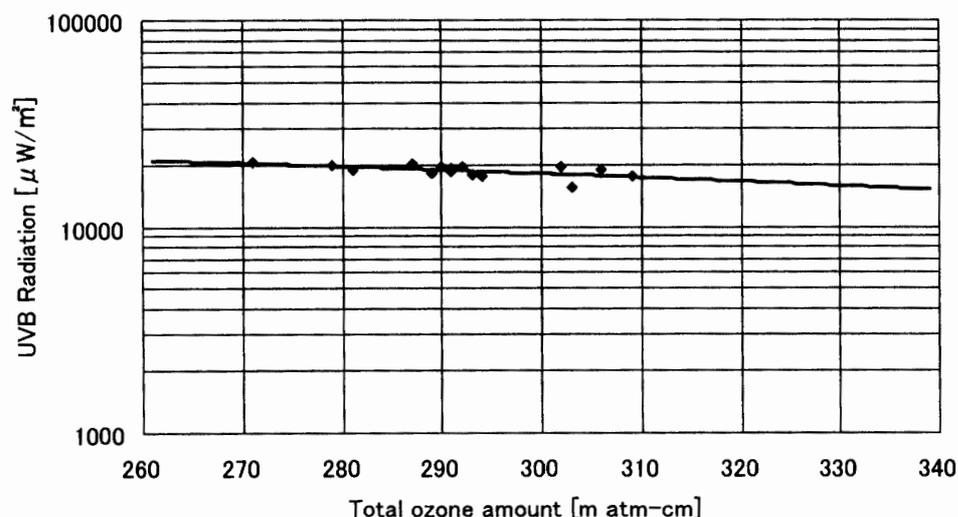


図 32 オゾン全量と UVB 日射量との関係

Fig. 32. The relation between daily representative values of total ozone amount and UVB radiation from February to April 1998.

5.2. 上向き放射観測

5.2.1. 観測方法と測器

上向き放射観測は、BSRN (Baseline Surface Radiation Network) の 1 観測地点となっている昭和基地での観測項目拡充のため、第 39 次隊から新たに始められた。上向き放射観測では、データ品質向上のため、BSRN からの要望である毎秒サンプリングデータを毎分値に統計処理(平均値, 最大値, 最小値, 標準偏差, データ個数)するという方法が採られた。この方法は、第 40 次隊以降、下向き放射観測にも採り入れられる。

測器の設置場所は、気象棟の東北東約 300 m 離れた上向き放射観測鉄塔である。測器は、鉄塔の北側に取付けられたアームに取付けられる。感部の高さは、この期間を通して、地表面(雪面)上 1.6-2 m であった。表 13 に使用測器を示す。観測項目は、下記の項目である。

(1) 反射日射量

全天日射計を使用して、反射日射量の連続観測を行った。

表 13 上向き放射観測使用測器

Table 13. Instruments used in upward radiation observations.

観測項目	測器名	感部型式	番号	測定範囲	使用期間
反射日射量	全天日射計 + 遮蔽板	KIPP&ZONEN CM21	970397	305-2800nm	98. 4. 21 - 99. 1. 31
長波長放射量	赤外放射計	EPPLEY PIR	32032F3	4-50um	98. 4. 21 - 99. 1. 31

(2) 赤外放射量

赤外放射計を使用して、赤外放射量の連続観測を行った。

5.2.2. 観測結果

第 39 次隊から開始された上向き放射観測データの品質を検証するため、長波長放射量について調査を行った。上向き放射観測の測器設置場所は、その地表面が広く雪に覆われている。そのため、地表面の温度変化は少なく、また、雪氷は長波長放射に対して黒体に近いいため、赤外放射計による観測データは、雪氷表面から射出される黒体放射 (σT^4) に極めて近い筈である。そこで、日中の日射の影響を避けるため、鉄塔の下の雪氷中 (深さ約 5 cm) に Pt 抵抗温度計を設置し、雪氷表面温度に近い雪氷温度の連続観測を行い、その黒体放射と赤外放射計の観測値とを比較した。それでも日中の日射の影響は完全に除去できなかったため、最もその影響を受けにくい夜間 (00 LT) における結果を図 33 に示す。快晴時には差が大きくなっているが、これは放射冷却により雪氷表面付近の接地逆転が顕在化し、抵抗温度計で

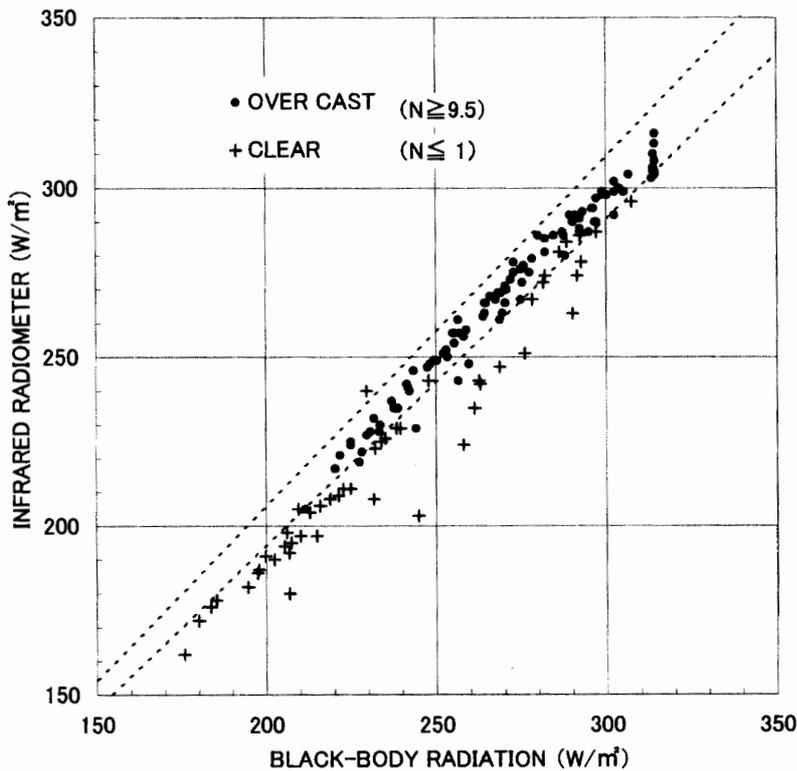


図 33 上向き長波放射量の比較 (赤外放射計による観測値と雪面温度を基に計算された黒体放射)

1998 年 6 月から 1999 年 1 月までの、夜間 (00 LT) における値。破線は黒体放射に対する差が 3% を示す。

Fig. 33. Comparison of long-wave radiation measured by infrared radiometer and black-body radiation from the snow surface at 00 LT from June 1998 to January 1999. Broken lines show 3% deviation from black-body radiation from the snow surface.

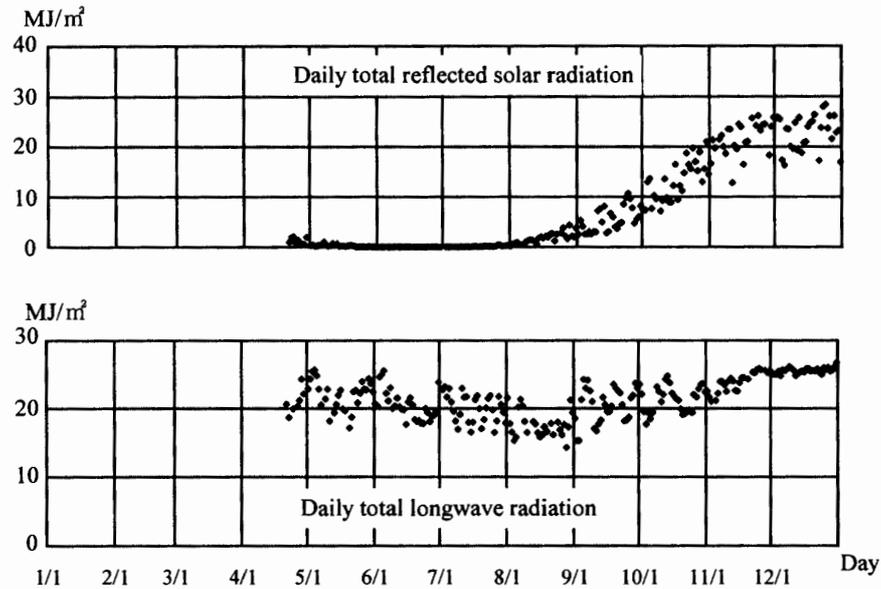


図 34 上向き放射観測結果 (1998 年)

Fig. 34. Variations of upward radiation in 1998.

測る雪氷温度に比べ雪氷表面温度が、低温になったためである。

曇天時では、抵抗温度計が測る雪氷温度と雪氷表面の温度が近い値となるので、比較としてはこちらの場合が適当である。この場合、両者の差はほぼ 3% 以内に収まっている。BSRN で定められている観測精度目標は、5% (もしくは 10 W/m^2) (McArthur, 1997) なので、観測値はほぼこの精度を満たしていると考えられる。

図 34 に、反射日射量と赤外放射量の年変化を示す。

図 35 に昭和基地における放射量および正味放射量の年変化と日平均雲量を示す。南極 6 基地における放射収支の季節変化が山内 (1983, 1988) によりまとめられているが、その結果と比較すると短波長の正味放射は、最大となる 12-1 月が $70-80 \text{ W/m}^2$ で、以前研究観測で観測された昭和基地での値 $200-210 \text{ W/m}^2$ (川口, 1979) よりかなり小さく、むしろみずほ基地の値 (Yamanouchi *et al.*, 1981) に近い。これは、上向き放射観測測器の設置場所が通年雪氷に覆われているためで、川口 (1979) の時には露岩上での観測値であったため、夏にはアルベドが下がり大きな値となっている。また、長波長の正味放射は、晴天の続いた 11 月が最も小さく -60 W/m^2 、夏場 (12 月~1 月) で -50 W/m^2 前後、悪天の続いた 7 月は -25 W/m^2 と大きな値を示している。これは、川口 (1979) の時の値に近いが、夏場は若干大きな傾向がみられる。これも地表面状態の違い (雪氷に覆われているかどうか) により、今回の上向き長波長放射量の観測値の方がやや小さいことに起因すると思われる。全正味放射では、 $-40 \sim 30 \text{ W/m}^2$ となっている。昭和基地周辺を平均すると、夏を中心とした露岩が見られる季節には、今回の値と川口 (1979) の値の中間の値をとるものと思われる。

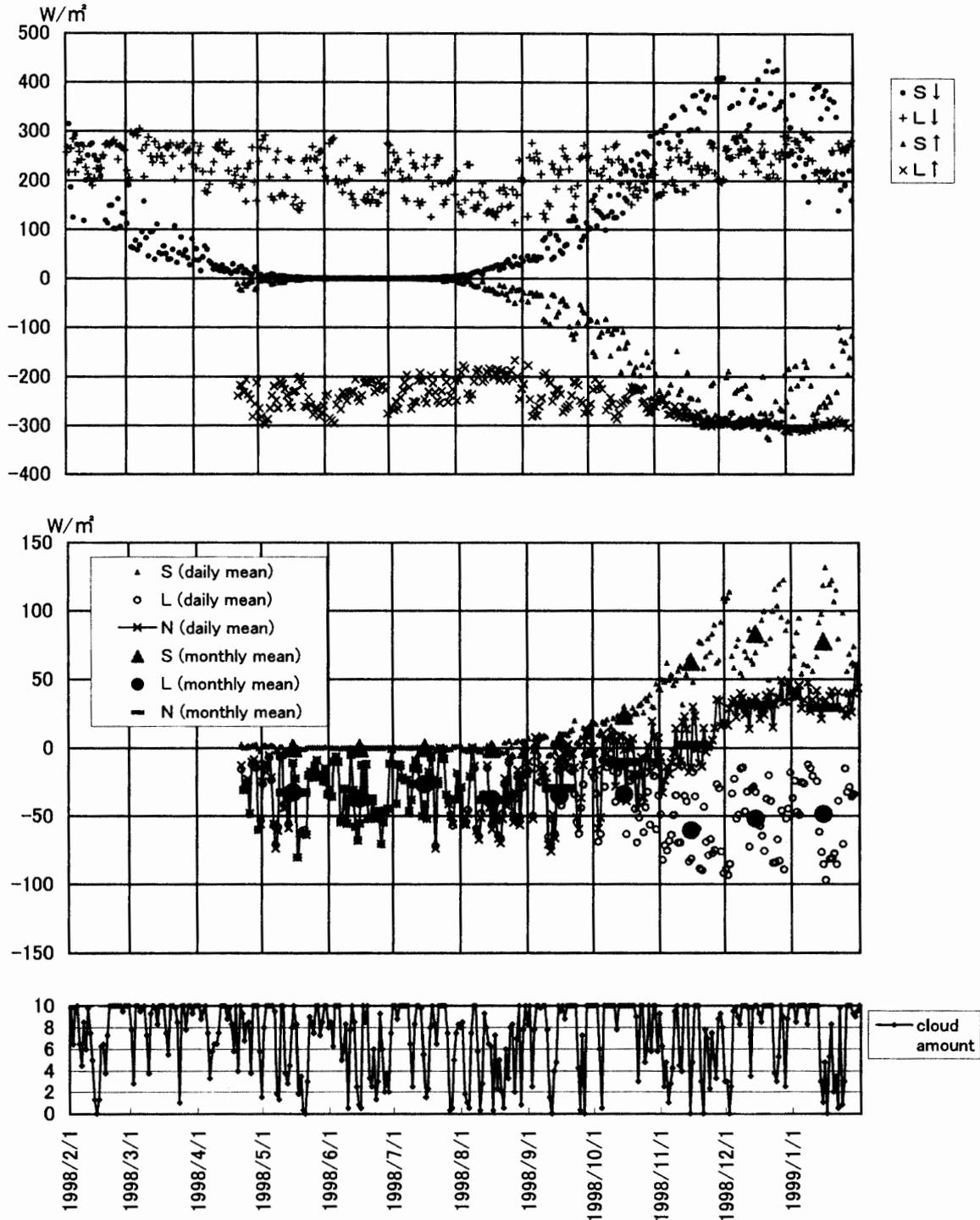


図 35 短波放射，長波放射および正味放射の年変化と日平均雲量（1998年2月～1999年1月）
 図中の S は短波を，L は長波を，N は全波を表す。

Fig. 35. Annual variation of shortwave radiation, longwave radiation, net radiance and daily mean cloud amount from February 1998 to January 1999. In this figure, "S" denotes short wave radiance, "L" denotes long wave radiance, and "N" denotes net (S+L) radiance, respectively.

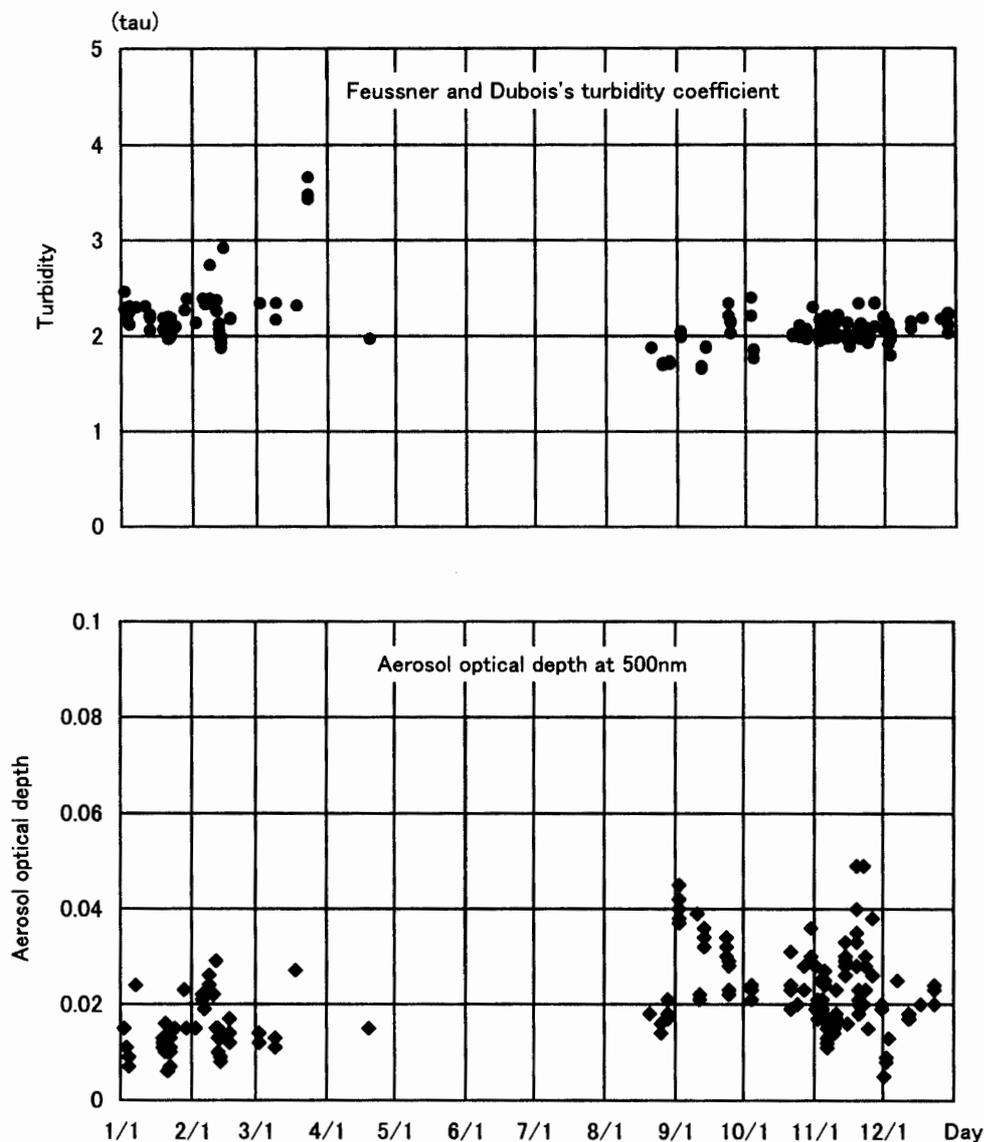


図 36 1998 年の直達日射計によるホイスナー・デュボアの混濁係数とサンフォトメーターによるエアロゾルの光学的厚さ (500 nm)

Fig. 36. Annual variations of Feussner and Dubois's turbidity coefficient and aerosol optical depths (500 nm) in 1998.

上向き放射観測が開始されたことで、南極沿岸地域にある昭和基地における地表面放射収支のモニターとしてデータを利用できるようになった。データの蓄積により、長期にわたる放射収支の変動を捕らえることができると思われる。また、上向き放射観測データは、衛星データのキャリブレーション用データとして有効であり、特に観測地点の少ない南極域においては、極軌道衛星のキャリブレーションデータとして非常に利用価値の高いものである。

図 36 に直達日射計による大気混濁度 (ホイスナー・デュボアの混濁係数) とサンフォトメーターによる大気混濁度 (エアロゾルの光学的厚さ, 500 nm) の年変化を示す。前者は、

ほぼ例年並みの値（平均 2-2.5）となっている。後者の平年値は、0.02 前後で例年並だが、ばらつきが大きい。原因については、はっきりしない。

6. 特殊ゾンデ観測

6.1. 輻射ゾンデ観測

6.1.1. 観測方法と測器

RS-R78D 型輻射ゾンデを用い、上・下向き長波長放射量（波長域 3-40 μ m）、気圧、気温、風向、風速の鉛直分布を観測した。地上施設は、高層気象観測施設と同じものの他、輻射ゾンデ試験器を用いた。観測データは、第 34 次観測隊が開発したプログラムを用いて、観測終了後解析を行った。なお、気球は 1000 g を使用し、ヘリウムガスを充填して浮力を 2800 g とした。

6.1.2. 観測経過

第 39 次隊では 15 台のゾンデを持ち込み、観測を行った。飛揚は、4 月から 9 月までのなるべく月の出ていない夜間の微風時に行った。また、雲の種類による長波長放射収支の変化を見るため、なるべく 1 種類の雲による曇天時、および快晴時に飛揚を行った。観測状況を表 14 に示す。

なお、データの品質を検証するため、第 39 次隊から観測を開始した上向き放射観測鉄塔付近において、飛揚前に地上ランニングデータを取得した。地上ランニングデータは、上向き放射観測鉄塔付近の雪面上約 1.5 m 上に輻射ゾンデを固定し、10 分ほどデータを取得した。

表 14 輻射ゾンデ観測状況

Table 14. Radiometersonde observations.

月	日	最終観測点 気圧 (hPa)	雲量 (10 分量) および雲形			
			全層	下層	中層	上層
4	30	7.5	1	0+ Sc	-	1 Ci
5	8	0.6	0+	-	-	-
5	20	5.4	0	-	-	-
5	24	3.0	10-	1 Sc	10- Ac	X
6	18	10.5	10	0+ Sc	10 Ac	X
6	26	8.9	0+	-	-	0+ Ci
6	28	6.0	0	-	-	-
7	15	3.8	1	-	-	1 Ci
7	21	6.6	10-	-	1 Ac	10- Ci
7	26	6.3	0	-	-	-
7	31	7.8	10-	-	2 Ac	10- Ci
8	25	19.2	10-	10- St	X	X
8	28	3.1	0	-	-	-
9	10	8.4	0+	-	-	0+ Ci
9	16	4.2	10-	-	0+ Ac	10- Ci

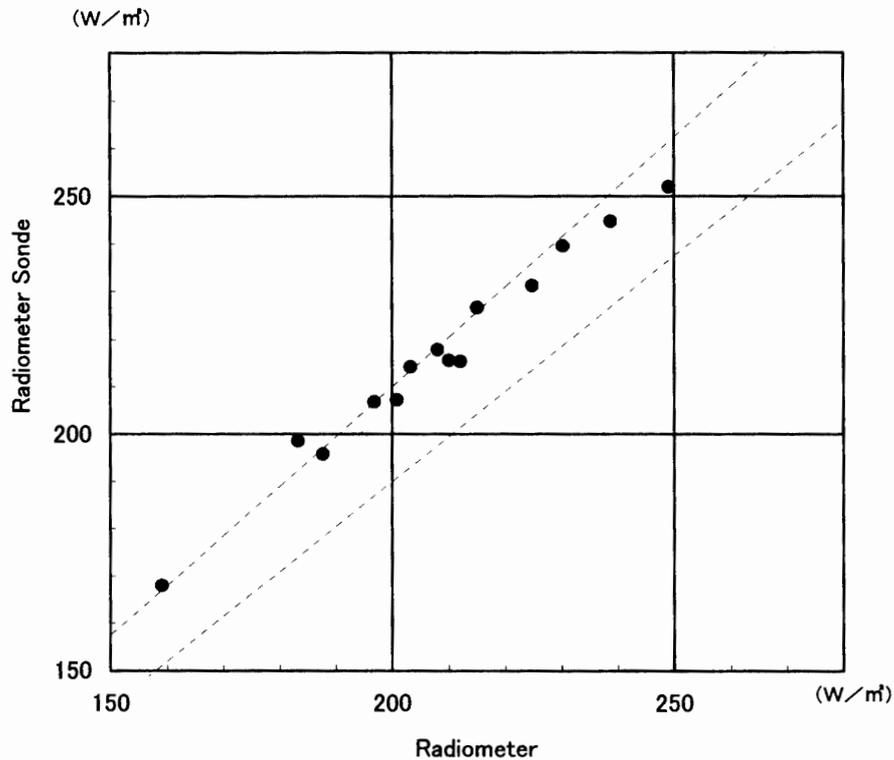


図 37 上向き長波長放射量の輻射ゾンデと赤外放射計による観測値との比較
破線は赤外放射計による放射量に対する差が 5% を示す。

Fig. 37. Comparisons of long-wave radiation by radiometer sonde and radiometer.
Broken lines show 5% deviation from radiometer data.

6.1.3. 結果

図 37 に地上ランニングデータ取得時の輻射ゾンデと赤外放射計による上向き放射量の比較を示す。上向き放射観測鉄塔付近の地表面は通年雪に覆われているため、安定した観測値が得られる。また、赤外放射計の値は特に夜間においては信頼性の高い値であるので、精密なデータの品質検証を行うことができる。図から、両者の差はほぼ 5% 以内に収まっている。また、サンプル数が少ないので厳密な議論はできないが、輻射ゾンデの方が若干大きな値（平均 4% 程度）となっている。輻射ゾンデは、実際の観測時には、上昇に伴う風等の影響を受け、また感部の時定数などの問題もあるが、現在の赤外放射観測の精度 ($30\text{W}/\text{m}^2$; McArthur, 1997) から見ると、観測データは信頼のおけるものであることがわかる。

快晴時とほぼ 1 種類だけの雲で覆われた曇天時の観測結果の例を図 38 に示す。曇天時は雲層による長波長放射の吸収・射出の影響により、雲層の上下で放射量が大きく変化している。雲より下の層では、快晴時に比べ下向き放射量がかなり大きな値となっており、地表面からの冷却が押さえられていることがわかる。この効果は、雲の種類・厚さなどにより異なるが、図からわかるように下層の厚い雲ほど大きい。

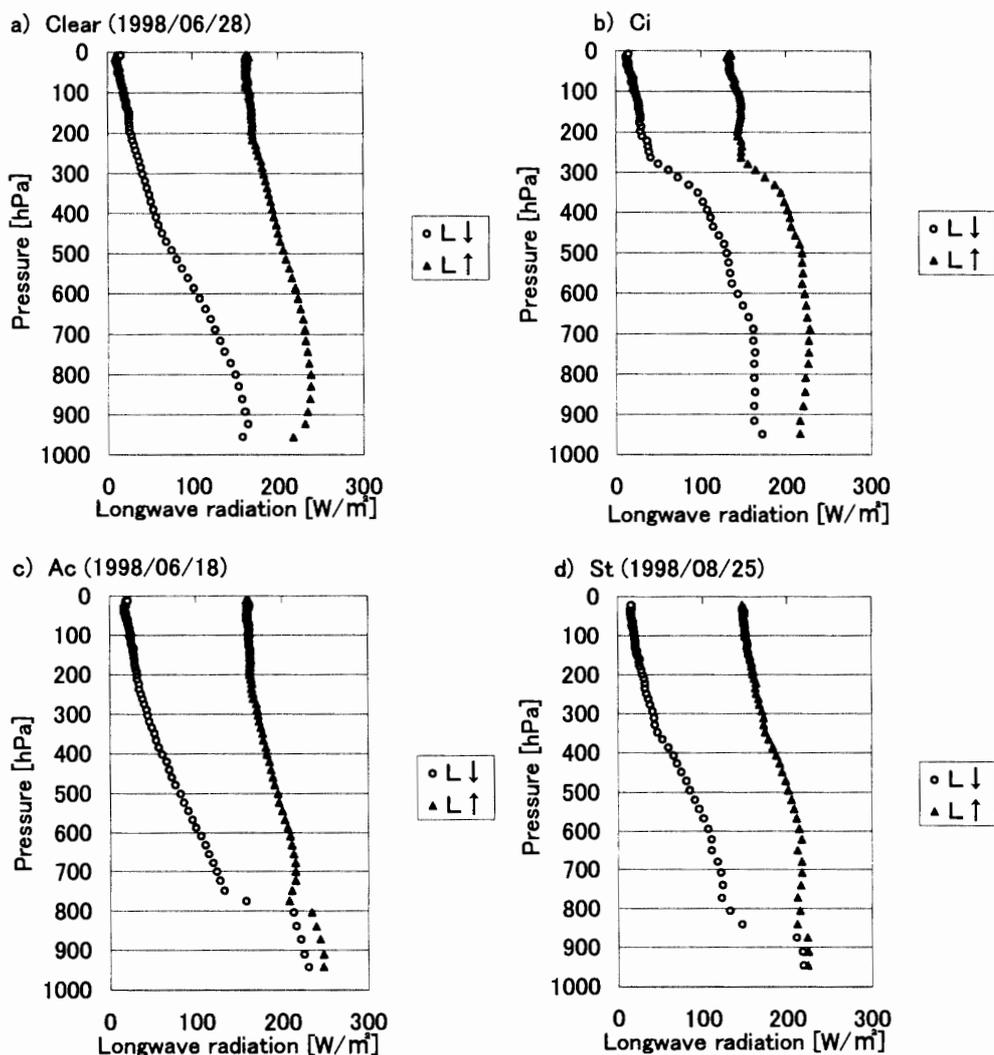


図 38 雲の種類による長波長放射鉛直プロファイルの比較
 a) は快晴 (雲量 0), b) は上層雲で覆われた場合 (Ci), c) は中層雲で覆われた場合 (Ac), d) は下層雲で覆われた場合 (St).

Fig. 38. Comparisons of vertical profiles of long-wave radiation for different cloud types. a) Clear, b) Ci, c) Ac, d) St.

6.2. エアロゾルゾンデ観測

6.2.1. 観測方法と測器

光散乱方式のパーティクルカウンター (以下 OPC 部分と表記) とレーウィンゾンデ (RS2-91 型レーウィンゾンデ, 以下 91 ゾンデ部分と表記) を搭載した 95 型 5ch エアロゾルゾンデ (シグマテック製: 以下エアロゾルゾンデと表記) をゴム気球に吊り下げて上空約 30 km まで飛揚し, 粒径半径 0.15, 0.25, 0.4, 0.6, 0.8 μm 以上の各粒子数, 流量, 気温, 湿度, 気圧, 風向, 風速の高度分布を観測した. エアロゾルゾンデに搭載されているセンサーの詳細及び

表 15 エアロゾルゾンデ観測用飛揚器材
Table 15. Specification of balloon—Borne Optical Particle Counter Sondes.

91ゾンデ部		高層気象観測の項参照	
光学系	光源	レーザーダイオード (波長810nm)	
	散乱角	前方散乱方式	
	検出素子	シリコンフォトダイオード	
	ポンプ	アルミギテポンプ	
サンプルエア	サンプリング流量	約3000cm ³ /min (地上値)	
	シースエア	約 500cm ³ /min (地上値)	
粒径区分	5ch同時計数方式 (粒径半径0.15, 0.25, 0.4, 0.6, 1.8μm以上の粒子を計測)		
計数分解能	約20秒		
気球	3000g気球 (標準浮力: 7000g)		
その他	パラシュート使用		

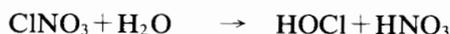
飛揚器材を表 15 に示す。

飛揚前点検として OPC 部分はその基板上的の入出力電圧に異常がないことを確認した。また、91 ゾンデ部分は減圧槽内での気圧点検、室内での気圧、気温、湿度の点検を高層気象観測指針 (気象庁, 1995) に基づいて行い、各要素の偏差が少ないもののみを観測に使用した。飛揚前には点検済みの OPC 部分と 91 ゾンデ部分を連結し、エアロゾルゾンデとしての電波を送信し、各種要素が正常に出力されることを確認するとともに、フィルターを用いて粒子数が 0 (ゼロ) となることを確認した後、観測を行った。

飛揚前後の電波の受信及び測角はモノパルス方式の自動追尾型方向探知機 (明星電気製 MOR-22 型) を用いた。受信したデータはゾンデ信号変換器によりシリアル出力され、ノートパソコン (NEC 製) により各種計算、データ保存、作表、統計処理を行った。ソフトウェアは、38 次観測隊が作成したものを使用した。

6.2.2. 観測計画及び経過

冬季の南極域成層圏は太陽光が当たらないため放射冷却により著しく低温となる。ある程度低温となると氷、硝酸 3 水和物 (HNO₃ · 3H₂O, Nitric Acid Trihydrate, 以下 NAT と表記) 等により構成される極成層圏雲 (Polar Stratospheric Clouds, 以下 PSCs と表記) が生成される。この PSCs の表面では、



等の反応が進行し、オゾン破壊に関与する Cl₂ や HOCl 等の前駆物質を成層圏内に蓄積させていくと考えられている。したがって、春先に出現するオゾンホールへの PSCs の影響や極域における物質移動、成層圏エアロゾルの季節変化を明らかにするため、次の条件でエアロゾルゾンデ観測を行った。

- 1) 夏季
- 2) PSCs が形成される前の時期

- 3) PSCs が形成される時期
- 4) オゾンホールが形成される時期

39 次観測隊では、7 台のエアロゾルゾンデを持ち込んだ。そのうちの 1 台は、38 次観測隊との引き継ぎを兼ね越冬開始前に飛揚した（夏季）。また、その他の 1 台は、不具合により基本動作チェックが行えず持ち帰った。7 月 9 日に飛揚したものは、巻下器の不具合で飛揚直後に地上に衝突しデータが採れなかった。飛揚状況を表 16 に示す。

6.2.3. 観測結果

1998 年 1 月～12 月までの気温の時間高度断面図（00 UTC の観測値を使用）を図 39 に示す。なお、図 39 では PSCs を構成する物質の一部と考えられている NAT（硝酸 10 ppbv・水

表 16 エアロゾルゾンデ飛揚状況
 Table 16. Number of balloon—Borne Optical Particle Counter Sondes.

飛揚年月日	到達高度
1998年 4月30日	4.8hPa
1998年 7月 9日	地上衝突
1998年 7月14日	5.9hPa
1998年 9月24日	11.2hPa
1998年10月 6日	14.8hPa

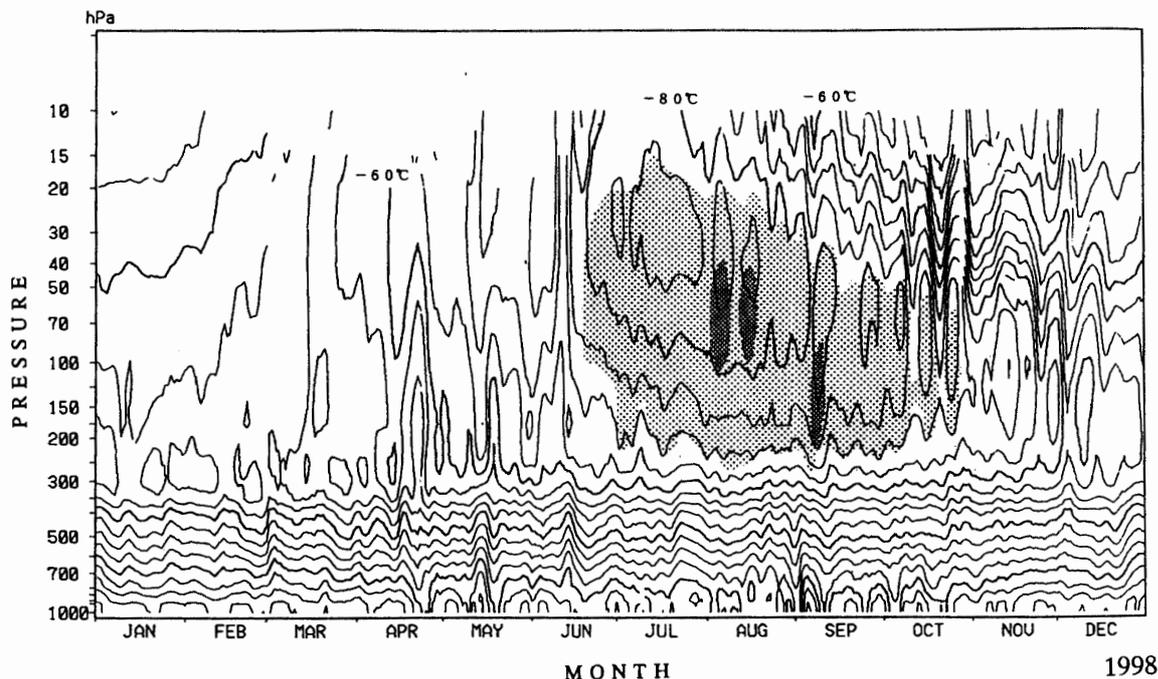


図 39 昭和基地における気温の時間高度断面図（1998 年）影の部分は NAT が析出する（硝酸 10 ppbv, 水蒸気 5 ppmv を仮定）温度域, 濃い影の部分は水（水蒸気 5 ppmv を仮定）が析出する温度域

Fig. 39. Time-height cross section of temperature from upper-air observations in 1998. The frost point temperatures of "NAT" (assumed mixing ratios of HNO₃ is 10 ppbv, and water vapor is 5 ppmv) are thin shaded, and "ICE" (assumed mixing ratios of water vapor is 5 ppmv) are thick shaded.

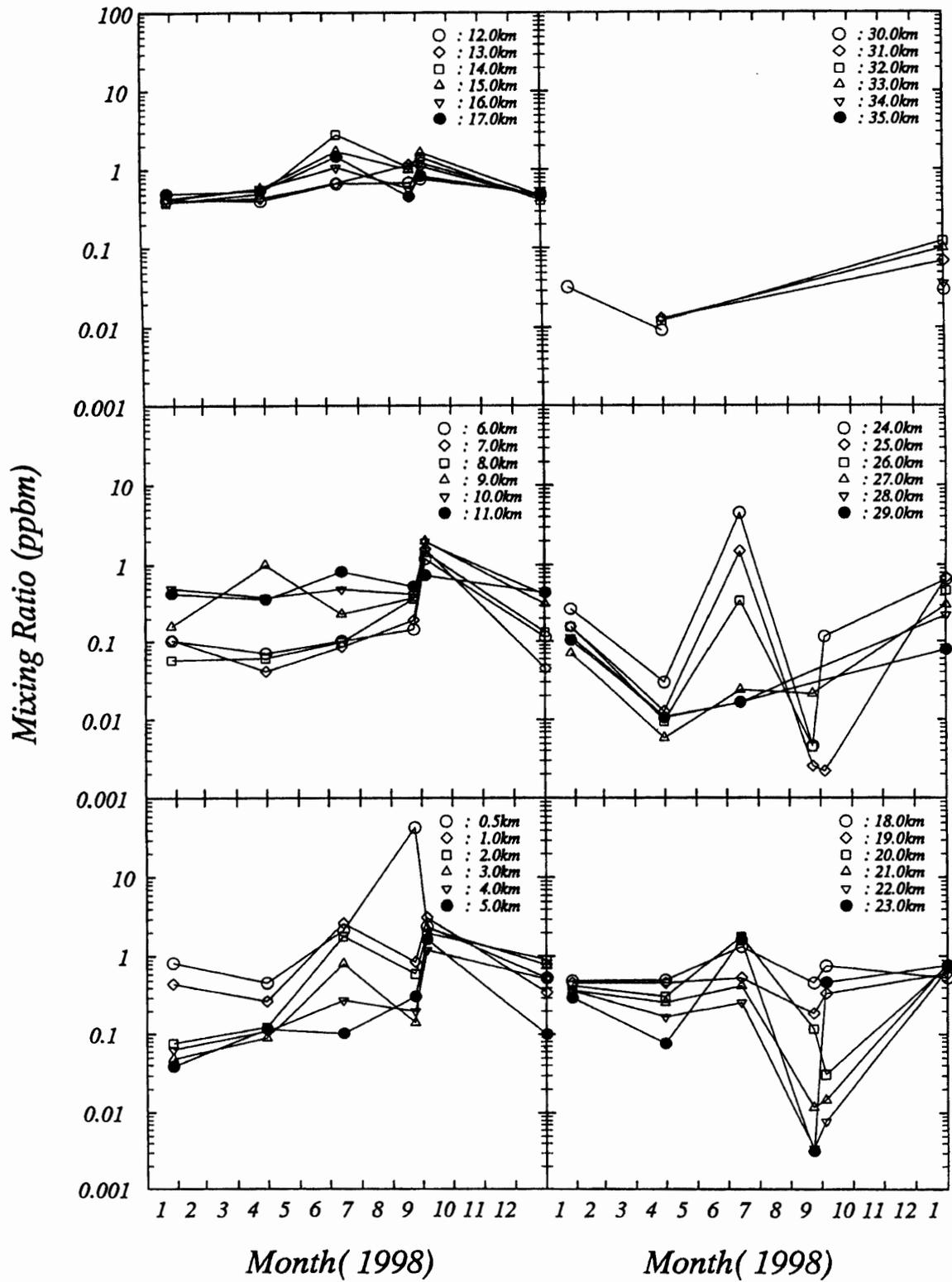


図 40 重量混合比の時間変化
 Fig. 40. Variation of mixing ratio over Syowa Station.

蒸気 5 ppmv の雰囲気を仮定) が析出する気温領域に薄い影を, 氷粒子 (水蒸気圧 5 ppmv の雰囲気を仮定) が析出する温度領域には濃い影をつけて, PSCs 生成の目安としている。

年間を通しての成層圏エアロゾルの季節変化を見るため, 図 40 に空気塊に対する粒子の重量混合比 (粒子構成物質の密度は 1.5 g/cm^3 を仮定) の変化を示す。7 月 14 日の高度 23–26 km において PSCs の影響による重量混合比の顕著な増大が認められた。また, 高度 10–20 km では重量混合比の大きな変化は見られないが, 高度 20–26 km ではオゾンホールが形成される時期に重量混合比の顕著な減少が見られた。

7. 天気解析

7.1. 利用した資料

昭和基地で観測した地上および高層観測資料の他に次の資料を利用した。

(1) FAX 放送天気図

キャンベラ放送の 00, 12 UTC の南半球 500 hPa 面解析図と地上および 500 hPa 面の 48 時間予想図, 同放送の 00, 12 UTC インド洋地上実況図, プレトリア (南アフリカ) 地上天気図 (06, 12, 18 UTC)。

(2) 気象庁配信天気図

インマルサット FAX により気象庁 (JMA) 解析資料の提供を受けた。内容は南半球の地上, 高層実況天気図および予想天気図。

(3) 極軌道気象衛星雲写真

NOAA-12, 14 号の赤外および可視画像 1 日 5–10 枚。

(4) 静止気象衛星 METEOSAT からの気象資料放送

極軌道気象衛星 NOAA の軌道情報および静止気象衛星の雲画像等。

(5) ロボット気象計

S16 のロボット気象計による気温および風向, 風速。

7.2. 天気解析の活用

上記の資料を利用して低気圧や前線の位置と移動状況を把握し, 野外行動など天候に左右されやすいオペレーション時に関係者へ気象情報を提供した。

またブリザードによる外出注意令, 禁止令の発令・解除の参考のための情報提供の他, 毎日のミーティング時に翌日の天気予報を発表した。

8. その他の観測

8.1. 大気中の微量成分観測

第 39 次観測隊では, モニタリング研究観測のうち, 二酸化炭素濃度, メタン濃度, 地上オ

ゾン濃度，成層圏オゾン・二酸化窒素の連続観測において，気水圏系隊員と定常気象隊員で維持作業を分担し，共同で実施した．取得したデータ及びサンプルは各研究機関及び大学に送られ，解析される．

8.2. 船上での大気混濁度観測

8.2.1. 観測方法と測器

携帯型サンフォトメーター（MS-120S）を使用し，1997年11月16日～26日の間，「しらせ」船上において大気混濁度の観測を行った．また，この間3回の連続観測を行い測器定数を求めた．

8.2.2. 観測結果

図41に各波長におけるエアロゾルの光学的厚さの緯度分布を示す．

1997年の観測では，各波長とも，赤道～南緯10度にかけて光学的厚さの値が大きくなっている．この年はインドネシアで森林火災が発生しており，その影響が出たと思われる（Yokouchi *et al.*, 2000）．

8.3. 内陸の気象観測

8.3.1. 観測方法と測器

気圧，気温，風向，風速，視程，天気，雲，大気現象の各項目について，内陸旅行中の気象観測を行った．気圧，気温，風速は第38次観測隊から引き継いだ移動用地上気象観測装置により，風向はハンドベアリングコンパスを使用し，視程，天気，雲，大気現象は目視により観測した．また，雪上車での移動中および観測装置の不具合時は，気圧，気温，風速は携帯型の気象測器（携帯型アネロイド気圧計（高度計），スリング式温度計，携帯型風速計）により観測した．なお，移動用地上気象観測装置の詳細については「第33次南極地域観測隊気象部門報告」を参照のこと．

観測時刻（LT）は，09，12，15，18，21時を目安に行ったが，旅行隊の行動を優先して適宜実施した．キャンプ地では，移動用地上気象観測装置により，毎時間毎に気圧，気温，風速を自動観測した．

8.3.2. 観測経過

移動用地上気象観測装置は，激しい吹雪による静電気によりデータローガーの停止が時折発生した．感部本体およびデータローガーに，アース線を付けて対処をしたが，それなりの効果はあったものの完全ではなかった．こうした状況の中11月24日MD-238にて気圧計が静電気により破損し，26日に予備の気圧計に交換した．

また，今回の旅行にあたって9月にH-72において試験運用をした際，強風により感部が転倒し風速計の風杯が破損したため，同型の風杯を取り付けて使用した．

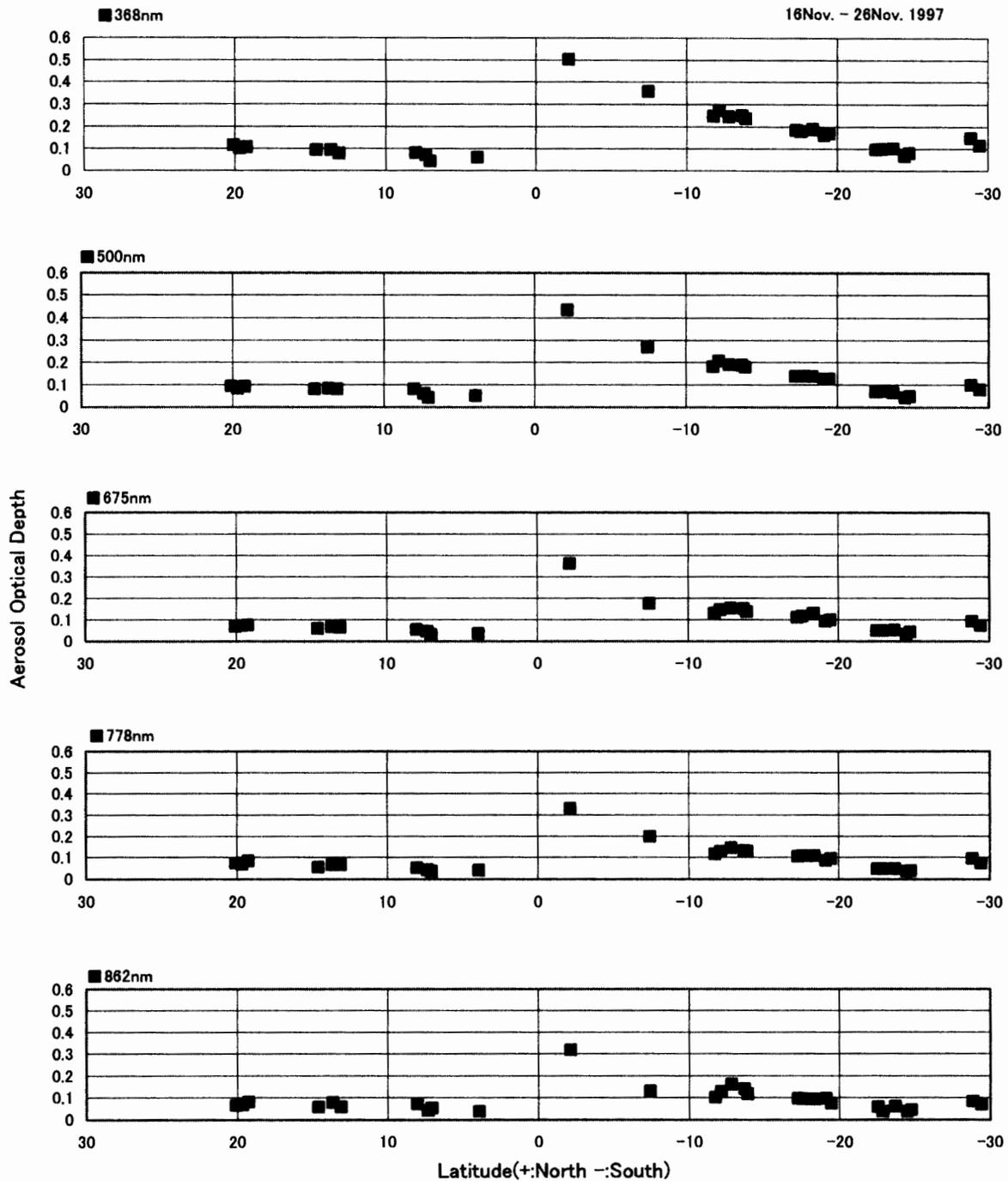


図 41 しらせ船上におけるエアロゾルの光学的厚さの緯度分布
 Fig. 41. Latitude distribution of aerosol optical depth measured on R/V Shirase.

さらに、往路みずほ基地内より同型の風杯を回収した。これを、復路 1 月 2 日の転倒により破損した風杯と交換して 3 日より使用した。

8.3.3. 観測結果

旅行中における気象観測結果を図 42 に示す。

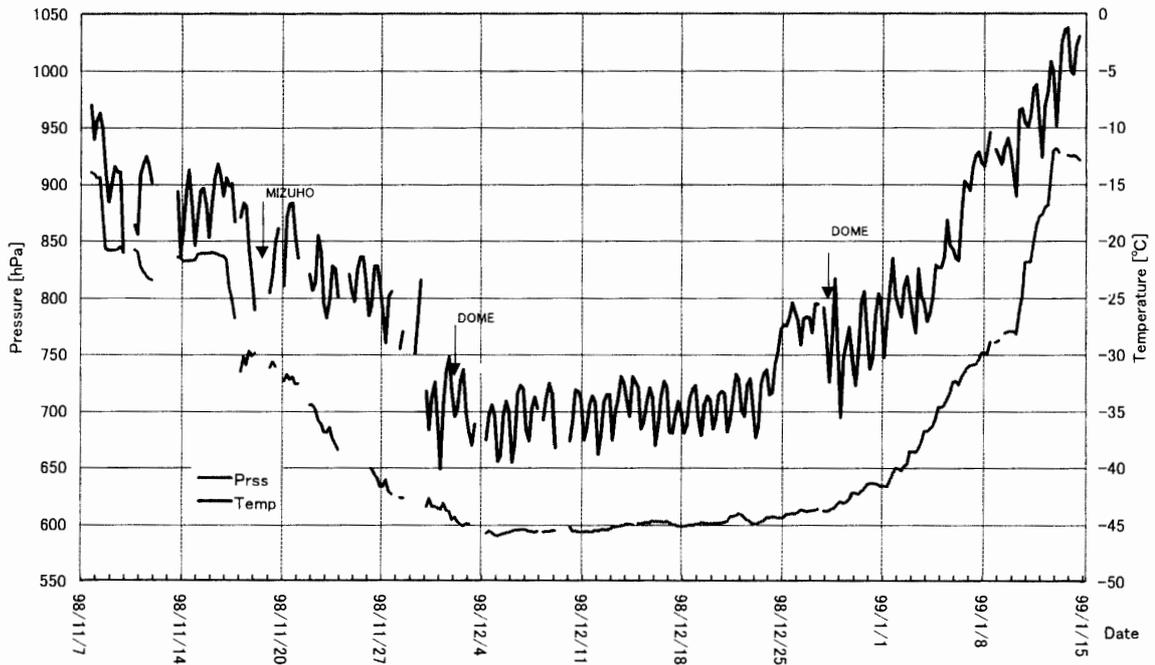


図 42 ドームふじ観測拠点往復旅行中の気象観測データ (1998 年 11 月～1999 年 1 月)

Fig. 42. Surface meteorological data during the traverse to Dome Fuji Station from November 1998 to January 1999.

吹雪、地吹雪による不良視程が、往路日程の約 7 割、復路日程の約 6 割を占める悪天での移動となった。ドームキャンプ中は、作業開始日に吹雪、撤収日に地吹雪に見舞われたが、あとは、概ね穏やか天候であった。

8.4. ロボット気象計

第 38 次観測隊に引き続いて、大陸上の S16 地点 (標高 500 m, 海岸から 10 km) に設置したロボット気象計 (80 型レーウィンゾンデを改造したもの) を使用し、通年に渡り観測した。観測項目は、気温および風向・風速で、ロボット気象計はバッテリーを電源として、常時 S16 地点の気象情報を発信しており、昭和基地気象棟の高層気象観測用アンテナをこの方角に向け信号を受信すれば、S16 地点の気象情報を把握できる。第 39 次隊では、毎日 2 回 (00 UTC と 12 UTC の高層気象観測の直前) 定期的に観測を行った。また、野外行動時や空輸実施時、およびブリザード襲来時等に随時観測を行い、基地活動への気象情報の提供に活用された。

8.5. 極成層圏雲 (PSCs) の観測

極夜期の南極成層圏では太陽光があたらないため放射冷却により著しく低温になり、 -78°C 以下まで気温が低下すると極成層圏雲 (PSCs; Polar Stratospheric Clouds) とよばれる微細な氷粒子の雲が形成される。この氷粒子の表面で塩素化合物 (硝酸塩素 ClONO_2 など)

から塩素が解離する化学反応が活発に進行する。また、発達した極渦により周囲との空気の交換が制限され周囲から孤立した状態になることによって塩素が蓄積されていくと考えられている。春季になり太陽光があたるようになってくると、塩素が光解離して塩素原子を放出しオゾンが大規模に破壊されるためオゾンホールが形成されると考えられている。

このオゾンホール形成の要因のひとつである極成層圏雲を地上からの目視により観測することを試みた。

8.5.1. 観測方法および観測状況

極夜期にオレンジ色の雲を目撃した場合、雲の高度角を測定し、観測時刻と共に記録した。太陽高度角が低く ($-3^{\circ} \sim -6^{\circ}$ 程度)、雲の高度角と太陽高度角から推定される雲の高度が成層圏の高度と著しく違っていないもので、かつ出現時に近い時刻の高層気象観測から得られた該当高度の気温が -78°C 以下のものをデータとして採用した。

表 17 に観測状況を示す。

ただし、不慣れによる見逃し等があり、観測結果はすべての現象を網羅してはいない。

表 17 極成層圏雲 (PSCs) の目視観測 (1998 年)
Table 17. Visual observations of Polar Stratospheric Clouds (1998).

PSCs の観測時刻	雲の高度角 ($^{\circ}$)	太陽高度角 ($^{\circ}$)	推定高度 (km)	付近の気温 ($^{\circ}\text{C}$)
7月 9日 15:13	12	-6.2	25	-85
7月 9日 15:22	9	-6.6	25	-85
7月26日 8:58	13	-6.0	24	-87
7月26日 9:15	8	-5.0	15	-80
7月26日 9:15	24	-5.0	20	-88
7月26日 16:05	8	-6.5	23	-86
7月27日 8:55	8	-6.1	21	-86
8月 9日 16:32	13	-5.1	18	-87
8月10日 8:15	13	-5.4	20	-86

8.6. ILAS データ検証のための昭和基地におけるオゾンゾンデ観測

当初は 1996 年 8 月に打ち上げられた地球観測プラットフォーム技術衛星 (ADEOS) に搭載された改良型大気周縁赤外分光計 (ILAS) で得られたオゾンデータ検証のため、ILAS と独立なオゾンデータの取得を目的としていた。しかし、翌年 6 月 30 日に ADEOS が運用断念に至ったため、ILAS・ILAS II で得られるオゾンデータを解釈するための基礎データの取得、および南極上空のオゾン層の実態を把握する事を目的として、国立環境研究所 ILAS プロジェクト、国立極地研究所気水圏研究グループ、気象庁観測部による共同観測として実施した。

8.6.1. 観測経過

1998 年 5 月から 7 月までの期間に、基本的に 3 日に 1 回のペースで観測を行うことが計画された。気象条件などで観測が困難な場合には順延したため、観測の終了は 8 月中旬となっ

た。

取得したデータは、直ちに解析し暫定値として気象庁観測部南極観測事務室経由で電子メールにより関係機関に報告した。

謝 辞

第39次観測隊の気象定常観測を遂行するにあたり、観測上の技術的援助、助言をいただいた国立極地研究所の澁谷和雄観測隊長ほか第39次観測隊の皆様、南極観測事務室、高層気象台ほか気象庁の皆様、並びに船上観測でご支援をいただいた南極観測船「しらせ」の方々には感謝します。また、上向き放射観測の開始に際し、熱心なご指導とご支援をいただいた高層気象台廣瀬保雄主任研究官にお礼を申し上げます。

この報告をまとめるにあたり、気象庁の木村利朗南極観測事務室長、第38次観測隊気象部門の方にご指導をいただき、厚くお礼を申し上げます。

文 献

- 青木周司 (1997): 昭和基地及び「しらせ」船上における地上オゾン濃度の連続観測. 南極資料, **41**, 231-247.
- 江崎雄治・林 政彦・山内 恭 (1998): 昭和基地における地上オゾン急減現象 (SOD) とそのバックトラジェクトリー解析—1997年8月28-29日のSODの事例解析—. 第21回極域気水圏シンポジウムプログラム・講演要旨. 東京, 国立極地研究所, 129-130.
- 稲川 譲・山本義勝・田口雄二・阿保敏広・居島 修 (1997): 第35次南極地域観測隊気象部門報告1994. 南極資料, **41**, 549-588.
- 川口貞男 (1979): 南極の気象 (普及講座). 天気, **26**, 335-346.
- 気象庁 (1990a): 地上気象観測統計指針. 124 p.
- 気象庁 (1990b): 国際気象通報式 (第8版). 497 p.
- 気象庁 (1991): オゾン観測指針 オゾン全量反転観測編. 91 p.
- 気象庁 (1993a): 地上気象観測指針. 167 p.
- 気象庁 (1993b): 紫外域日射観測指針. 83 p.
- 気象庁 (1995): 高層気象観測指針. 128 p.
- 気象庁 (1997): オゾン観測指針 オゾンゾンデ観測編. 60 p.
- 気象庁 (1999): オゾン層観測報告: 1998. 51 p.
- 高層気象台観測第3課 (1996): ドブソンオゾン分光光度計の自動化システムの開発. 測候時報, **63**, 303-330.
- McArthur, L.J.B. (1997): Baseline Surface Radiation Network Operations Manual Version 1.0, World Climate Research Programme (WMO/ICSU). WMO, Geneva, 12 p.
- 宮川幸治・能登美之 (1997): 昭和基地で使用する自動サンディレクタ. 高層気象台彙報, **57**, 37-40.
- 山内 恭 (1983): 南極における放射収支. 天気, **30**, 427-445.
- 山内 恭 (1988): 放射. 南極の科学, 3. 気象, 国立極地研究所編. 東京, 古今書院, 10-56.
- Yamanouchi, T., Wada, M., Mae, S. and Kawaguchi, S. (1981): POLEX-South data, Part 1. Radiation data at Mizuho Station, Antarctica in 1979. JARE Data Rep., **61** (Meteorology 8), 350 p.
- Yokouchi, Y., Nojiri, Y., Barrie, L.A., Toom-Sauntry, D., Machida, T., Inuzuka, Y., Akimoto, H., Li, H.-J., Fujinuma, Y. and Aoki, S. (2000): A strong source of methyl chloride to the atmosphere from tropical coastal land. Nature, **403**, 295-298.

(2002年1月7日受付; 2002年5月30日改訂稿受理)