

## 第 43 次南極地域観測隊気象部門報告 2002

木津暢彦\*・金濱 晋・鎌田浩嗣・上野圭介・長井勝栄<sup>1</sup>

### Meteorological observations at Syowa Station in 2002 by the 43rd Japanese Antarctic Research Expedition

Nobuhiko Kizu\*, Shin Kanehama, Hirotsugu Kamata, Keisuke Ueno and Katsue Nagai<sup>1</sup>

(2006 年 11 月 30 日受付; 2007 年 1 月 5 日受理)

**Abstract:** This report describes the result of meteorological observations at Syowa Station and neighboring areas from February 1, 2002 to January 31, 2003, carried out by the Meteorological Observation Team of the 43rd Japanese Antarctic Research Expedition (JARE-43).

Instruments and methods for compiling data were almost the same as those used in the 42nd Expedition.

Remarkable weather phenomena observed during the period were as follows.

- 1) In the surface weather observations, air temperature was higher than in a normal year from May to October. In addition, a blizzard (Class A), observed in the middle of September, recorded 57.9 m/s (maximum instantaneous wind velocity) and 45.4 m/s (maximum 10 minutes average wind velocity). These wind speed were the maximum values ever observed in September and third rank in any month.
- 2) In aerological observations, sudden warming in the lower stratosphere appeared earlier (beginning of July), and major warming with vortex split which was the first observation in the Southern Hemisphere occurred in late September.
- 3) The ozone hole was observed from the beginning of August to the middle of October. After late October, the total ozone amount was higher than the average of the last 20 years.

**要旨:** この報告は、第 43 次南極地域観測隊気象部門が、2002 年 2 月 1 日から 2003 年 1 月 31 日まで、昭和基地を中心に行った気象観測結果をまとめたものである。観測方法、測器、統計方法等は、第 42 次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、次のものが挙げられる。

- 1) 地上気象観測では、5 月から 10 月にかけて気温が平年より高く、月平均気温の高い方、日最高気温の月平均の高い方、日最低気温の月平均の高い方の極値の更新があった。また 9 月中旬にあった A 級ブリザードは、最大瞬間風速 57.9 m/s、最大 10 分間平均風速 45.4 m/s であった。これは 9 月として 1 位、通年の統計でも 3 位の強風であった。
- 2) 高層気象観測では、成層圏突然昇温が例年より早く発現 (7 月上旬) し、9 月末には、南半球では初めて観測された極渦の 2 分離を伴う成層圏大突然昇温が起こった。

<sup>1</sup> 気象庁. Japan Meteorological Agency, Otemachi 1-choume, Chiyoda-ku, Tokyo 100-8122.

\* Corresponding author. E-mail: kizu@met.kishou.go.jp

3) オゾン全量観測においては、8月上旬から10月中旬にかけてオゾンホールを観測したが、10月下旬以降はこの20年間の平均よりも多い値で推移した。

## 1. はじめに

第43次南極地域観測隊気象部門は、昭和基地において2002年2月1日に第42次隊より定常気象観測業務を引継ぎ、2003年1月31日まで1年間、昭和基地において、地上気象観測、高層気象観測、オゾン観測、地上日射放射観測、特殊ゾンデ観測を行った。高層気象観測においては、より高高度のデータ取得を目的として、00UTC観測において「高高度レーウィンゾンデ観測」を開始したほか、気水圏部門と共同で「高層ゾンデ集中観測」を行い、異なったタイプのゾンデ間の比較観測を行った(吉識ら, 2006)。地上気象観測、高層気象観測は、第42次隊から引き継いだ観測装置で観測を行った(田口ら, 2006)。

オゾン観測についてはオゾン全量観測・反転観測に使用するドブソン分光光度計と地上オゾン量を測定するオゾン濃度計を越冬開始時にそれぞれ交換した。基地における観測方法、観測の統計値作成方法等は第42次隊と同様である。その他、海氷上に設置した雪尺による積雪観測、S16に設置した気象ロボットによる地上気象観測、内陸旅行時の地上気象観測、海氷上に設置した移動気象観測装置による地上気象観測を行った。

これらの観測から得られたデータは、南極気象資料2002年(Antarctic Meteorological Data Vol. 43, 気象庁, 2004)として刊行した。

本報告中の2002年1月のデータは第42次隊によるものである。

## 2. 地上気象観測

### 2.1. 観測方法と測器

観測は地上気象観測指針(気象庁, 1993a)及び世界気象機関(WMO)の技術基準に基づき、統計業務については、地上気象観測統計指針(気象庁, 1990a)に基づき行った。

観測結果は国際気象通報式(気象庁, 1990b)の地上実況通報式(SYNOP)、地上月気候値気象通報式(CLIMAT)形式で、気象衛星通報局装置(DCP装置)によって、ヨーロッパの静止気象衛星METEOSATを経由してドイツのダルムシュタット地上局に送信され、そこからさらにGTS(Global Telecommunication System, 全球通信システム)回線を経由して世界の気象機関へ通報される。

観測項目と使用測器等を表1に、測器配置を図1に示す。

#### (1) 総合自動気象観測装置(地上系)による自動観測

気圧、気温、湿度、風向・風速、全天日射量、日照時間、積雪深及び視程については、総合自動気象観測装置(地上系)により連続観測及び毎正時の観測を行った。なお、視程計を目視観測補助測器として運用した。

表 1 昭和基地における地上気象観測使用測器等一覧表 (2002年2月~2003年1月)  
 Table 1. Observation items, frequency and minimum unit of observations, and instruments at Syowa Station (Feb. 2002-Jan. 2003).

観測種目	観測時刻	観測 最小単位	使用測器等	形式	備 考
現地気圧	連続・ 毎正時	0.1 hPa	電気式気圧計 (静電容量型)	PTB-220	フォルトン型水銀気圧計に より比較点検 (週1回)
			フォルトン型水銀気圧計		比較観測に使用
海面気圧	連続・毎正時	0.1 hPa	—		気温・現地気圧から算出
気圧変化量・ 気圧変化型	毎正時	0.1 hPa	—		現地気圧から算出・決定
気温	連続・ 毎正時	0.1 °C	電気式温度計	Pt-100	アスマン通風乾湿計により 比較点検 (月1回)
			アスマン通風乾湿計		比較観測に使用
露点温度	同上	0.1 °C	—		気温・湿度観測値から算出
蒸気圧	同上	0.1 hPa	—		気温・湿度観測値から算出
相対湿度	連続・ 毎正時	1 %	電気式湿度計 (静電容量型)	HMP- 233LJM	アスマン通風乾湿計により 比較点検 (月1回)
			アスマン通風乾湿計		比較観測に使用
風向	同上	1 °	風車型風向風速計	FF-11	測風塔(地上高10.1m)に設置
風速	同上	0.1 m/s			
全天日射量	同上	0.01 MJ/m <sup>2</sup>	全天電気式日射計	MS-62F	気象棟西側旗台地に設置, 太陽追尾式日射計と一体型
日照時間	同上	0.1 h	太陽追尾式日照計	MS-101D	気象棟西側旗台地に設置, 全天電気式日射計と一体型
積雪深	同上	1 cm	超音波式積雪深計	CF-212	観測棟北側海岸斜面に設置
雲量・雲形・ 向き・高さ	定時		目視		
視程	定時(目視)	10 m (目視)	目視		
			視程計(現象判別機能付)	TZE-6P	測風塔西側に設置、参考測器
大気現象	常時		目視		
			視程計(現象判別機能付)	TZE-6P	測風塔西側に設置、参考測器

※観測時刻の「定時」は、00, 03, 06, 09, 12, 15, 18, 21UTCの8回

## (2) 目視観測

雲、視程、天気については、目視により1日8回(00, 03, 06, 09, 12, 15, 18, 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。

## (3) 海氷上雪尺観測

北の浦の海氷上に20m四方、10m間隔に9本、さらにその西に1本を加え計10本の竹竿を利用した雪尺を設置し、週1回、雪面上の雪尺の長さを測定・平均した。観測は前観測値との差を求め、雪尺設置時からの増減値を積算している。なお、本観測では雪尺設置時(2002年4月14日)を基準(0cm)とした。

## 2.2. 観測経過

総合自動気象観測装置(地上系)の各測器は、おおむね順調に作動した。

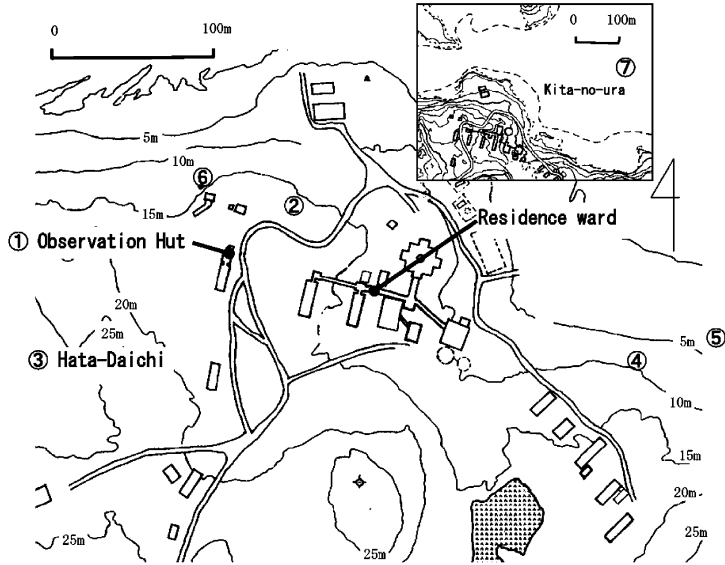


図 1 昭和基地主要部と測器感部の配置 (国立極地研究所 昭和基地要覧 (2001) に加筆)

- ① 地上気象観測: 気圧計, 日照計, 日射計  
オゾン観測 : ドブソン分光光度計  
日射放射観測: ブリュエワ分光光度計, 下向き日射・放射
- ② 地上気象観測: 風向風速計, 温度計, 湿度計, 視程計
- ③ 地上気象観測: 日照計, 日射計
- ④ 地上気象観測: 積雪計
- ⑤ 日射放射観測: 上向き反射・放射
- ⑥ オゾン観測 : 地上オゾンモニター
- ⑦ 地上気象観測: 海氷上雪尺観測エリア

Fig. 1. Location of surface meteorological instruments in the main part of Syowa Station.

- ① Surface observations: Barometer  
Ozone observations: Dobson spectrophotometer  
Radiation observations: Brewer spectrophotometer, downward solar radiation
- ② Surface observations: Anemometer, thermometer, hygrometer, visibility sensor
- ③ Surface observations: Pyranometer
- ④ Surface observations: Snow depth sensor
- ⑤ Radiation observations: Upward radiation
- ⑥ Ozone observations: Surface ozone monitoring sensor
- ⑦ Surface observations: Snow depth observation area (sea ice area)

国内の保守要領に準じて保守・点検を実施した。4月4日に電源切り替え時のトラブルにより、一時停電(9分間)があったが観測には支障が無かった。

#### (1) 気圧

電気式気圧計(静電容量型:3センサー型)により通年観測した。測器の精度監視と器差補正值算出のため、基準器であるフォルタン型水銀気圧計との比較観測を週1回行った。海面気圧は4月13日19LTから14日02LTまで、気温データが得られなかったため欠測とし

た。

#### (2) 気温・相対湿度（露点温度）

気温は電気式温度計（白金抵抗型）、相対湿度は電気式湿度計（静電容量型）により観測した。両測器とも、百葉箱内の強制通風式通風筒内に設置し、通年観測した。露点温度は気温と相対湿度から算出した。

精度維持のため、基準器であるアスマン通風乾湿計により月 1 回比較観測を行い、気温は  $\pm 0.4^{\circ}\text{C}$ 、相対湿度は  $\pm 4\%$  以内に入っていることを確認した。動作状況はおおむね良好であったが、4 月 13 日 19 LT から 14 日 02 LT まで温度計感部及び湿度計感部に着霜が認められたため欠測とした。通風筒清掃は随時行った。

#### (3) 風向・風速

風車型風向風速計を測風塔上に設置し、通年観測した。動作状況はおおむね良好だったが、9 月 24 日 18 LT から 25 日 14 LT 及び 16 LT の風向・風速は感部への着霜と感部交換のため欠測となった。

#### (4) 全天日射量・日照時間

全天日射量は全天電気式日射計で、日照時間は太陽追尾式日照計でそれぞれ通年観測し、おおむね順調に動作した。

#### (5) 積雪深

観測棟北側の北の浦に下がる海岸斜面に設置した超音波式積雪深計により通年観測した。強風時や低温時などに異常値が観測されデータの削除や観測の休止を行うことがあったほか、感部付近での工事による観測雪面状態悪化のため 2002 年 12 月 22 日から 2003 年 1 月 6 日まで積雪深計の運用を休止した。

#### (6) 視程（視程計による参考記録）

管制塔裏に設置した視程計（現象判別機能付）を、視程障害時の目視観測の補助や大気現象判別の参考測器として通年運用した。

#### (7) 海氷上雪尺観測

42 次隊が設置した雪尺は、夏季の間に傾き測定不能となったことから、43 次隊では北の浦 ( $69^{\circ}0.3'S$ ,  $34^{\circ}34.6'E$  付近) に雪尺を設置した。4 月 14 日に設置して観測を開始し、週 1 回野外で活動できる日に観測を行った。12 月 11 日に 4 本が傾いたり倒れたりしていたため、観測を終了した。

### 2.3. 観測結果

月別気象表を表 2、極値・順位値の更新記録を表 3、各月のブリザードの内容を表 4 に示す。年間の旬ごとの海面気圧、気温、風速、雲量、日照時間の経過を図 2 に示す。図中 'Normal' は 1971 年から 2000 年の 30 年間の統計値（以下、「平年値」という）を示す。また、積雪深

表 2 昭和基地における地上気象観測月別気象表 (2002年1月~2003年1月)  
 Table 2. Monthly summaries of surface observations at Syowa Station (Jan. 2002-Jan. 2003).

項目	単位	2002												2003											
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
平均海面気圧	hPa	987.4	979.1	990.2	987.2	996.3	989.3	988.4	981.5	986.3	984.0	986.7	983.0	987.5	987.5	987.5	987.5	987.5	987.5	987.5	987.5	987.5	987.5	987.5	987.5
最低海面気圧	hPa	975.5	952.5	972.0	972.8	961.1	966.7	965.5	966.5	951.6	977.9	973.7	963.9	951.6	951.6	951.6	951.6	951.6	951.6	951.6	951.6	951.6	951.6	951.6	951.6
起日		30	13	10	29	4	24	29	6	15	22	9	29	9/15	9/15	9/15	9/15	9/15	9/15	9/15	9/15	9/15	9/15	9/15	9/15
平均気温	°C	-1.8	-3.4	-6.8	-9.9	-10.0	-14.5	-13.4	-17.5	-16.4	-11.0	-7.1	-2.0	-9.5	-9.5	-9.5	-9.5	-9.5	-9.5	-9.5	-9.5	-9.5	-9.5	-9.5	-9.5
日最高気温の平均	°C	1.2	-1.2	-4.5	-6.8	-7.3	-10.9	-11.0	-14.5	-13.1	-8.2	-4.0	0.9	-6.6	-6.6	-6.6	-6.6	-6.6	-6.6	-6.6	-6.6	-6.6	-6.6	-6.6	-6.6
日最低気温の平均	°C	-5.1	-6.2	-9.8	-13.4	-12.9	-17.7	-16.5	-21.3	-20.7	-14.1	-10.9	-5.3	-12.8	-12.8	-12.8	-12.8	-12.8	-12.8	-12.8	-12.8	-12.8	-12.8	-12.8	-12.8
最高気温	°C	4.9	2.1	0.2	0.5	-2.2	-2.4	11	28	3	27	21	17	4.9	4.9	4.9	4.9	4.9	4.9	4.9	4.9	4.9	4.9	4.9	4.9
最低気温	°C	-10.2	-13.7	-19.6	-28.3	-21.4	-26.2	-23.6	-31.2	-24.2	-17.8	-10.3	-5.5	-31.8	-31.8	-31.8	-31.8	-31.8	-31.8	-31.8	-31.8	-31.8	-31.8	-31.8	-31.8
起日		28	28	29	8	10	20	7	4	10	2	4	2	8/4	8/4	8/4	8/4	8/4	8/4	8/4	8/4	8/4	8/4	8/4	8/4
日最低気温	0°C以上の日数	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
日平均気温	0°C以上の日数	1	1	1	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
日最高気温	0°C以上の日数	27	5	1	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
日最高気温	-10°C以上の日数	31	28	31	22	24	15	12	8	12	26	30	31	270	270	270	270	270	270	270	270	270	270	270	270
日最低気温	-20°C未満の日数	-	-	-	4	1	9	5	18	15	3	-	-	55	55	55	55	55	55	55	55	55	55	55	55
日平均気温	-20°C未満の日数	-	-	-	1	1	2	1	9	11	2	-	-	26	26	26	26	26	26	26	26	26	26	26	26
日最高気温	-20°C未満の日数	-	-	-	-	-	-	-	2	2	-	-	-	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4
平均海面気圧	hPa	3.9	3.5	2.6	2.5	2.0	1.4	1.5	1.2	1.4	1.8	2.4	3.6	2.3	2.3	2.3	2.3	2.3	2.3	2.3	2.3	2.3	2.3	2.3	2.3
平均相対湿度	%	73	72	68	72	64	64	65	71	73	65	66	68	63	63	63	63	63	63	63	63	63	63	63	63
平均風速	m/s	4.2	7.8	8.4	9.4	8.8	7.3	9.6	6.3	7.8	6.8	5.2	3.7	7.3	7.3	7.3	7.3	7.3	7.3	7.3	7.3	7.3	7.3	7.3	7.3
最多風向	16方位	NE	NE	ENE	NE	ENE	ENE	ENE	NE	ENE	NE	ENE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE
最大風速	m/s	20.9	32.9	33.8	29.9	30.3	30.0	34.2	27.7	45.4	23.7	23.6	45.4	20.2	20.2	20.2	20.2	20.2	20.2	20.2	20.2	20.2	20.2	20.2	20.2
風向	起日	NE, 18	E, 13	ENE, 10	ENE, 29	ENE, 18	ENE, 7	ENE, 15	NE, 28	NE, 15	ENE, 18	NE, 19	ENE, 22	ENE, 22	ENE, 22	ENE, 22	ENE, 22	ENE, 22	ENE, 22	ENE, 22	ENE, 22	ENE, 22	ENE, 22	ENE, 22	
最大瞬間風速	m/s	27.2	45.7	41.9	38.6	40.4	38.6	45.4	34.4	57.9	31.5	40.0	57.9	27.1	27.1	27.1	27.1	27.1	27.1	27.1	27.1	27.1	27.1	27.1	27.1
風向	起日	NE, 18	E, 13	ENE, 10	ENE, 30	ENE, 18	ENE, 7	E, 15	NE, 28	NE, 15	ENE, 18	E, 14	ENE, 19	E, 22	E, 22	E, 22	E, 22	E, 22	E, 22	E, 22	E, 22	E, 22	E, 22	E, 22	
最大風速	10.0m/s以上の日数	7	15	21	23	24	18	24	15	18	20	13	15	213	213	213	213	213	213	213	213	213	213	213	213
	15.0m/s以上の日数	3	7	15	13	14	13	14	10	11	10	5	5	120	120	120	120	120	120	120	120	120	120	120	120
	30.0m/s以上の日数	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11
日照時間	h	373.7	195.7	160.8	86.6	24.9	-	24.9	35.9	138.6	255.8	450.6	445.2	2074.4	2074.4	2074.4	2074.4	2074.4	2074.4	2074.4	2074.4	2074.4	2074.4	2074.4	
日照率	%	53	41	40	34	22	-	22	17	41	53	61	63	47	47	47	47	47	47	47	47	47	47	47	
平均全天日射量	MJ/m <sup>2</sup>	26.0	16.4	7.9	2.5	0.2	0.0	0.1	1.2	5.9	14.4	24.1	29.9	10.7	10.7	10.7	10.7	10.7	10.7	10.7	10.7	10.7	10.7	10.7	
不照日数	日	3	5	9	12	21	30	31	22	12	7	1	1	153	153	153	153	153	153	153	153	153	153	153	
平均雲量	10分位	6.7	7.8	7.2	6.9	7.4	6.0	8.1	7.6	7.5	6.8	6.0	5.8	7.0	7.0	7.0	7.0	7.0	7.0	7.0	7.0	7.0	7.0	7.0	
平均実量	日	1	3	4	3	2	5	3	2	4	3	4	5	37	37	37	37	37	37	37	37	37	37	37	
	1.5未満の日数	9	18	16	14	14	8	16	17	17	14	9	8	160	160	160	160	160	160	160	160	160	160	160	160
	8.5以上の日数	15	16	12	17	14	18	17	21	16	12	9	11	178	178	178	178	178	178	178	178	178	178	178	178
霧日数	日	6	1	1	1	1	1	1	1	1	2	1	1	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	
フリザー日数	日	1	1	6	10	4	3	11	8	11	1	1	1	55	55	55	55	55	55	55	55	55	55	55	55

1) 観測方法は「地上気象観測統計書」(気象庁)による

2) 1) 付の値は期間中に20%以下の欠測があったことを示す

3) (\*付)の値は期間中のそれ以前に同値の記録があったことを示す

4) 5月30日から7月12日まで(4.4日間)は、計器上太陽中心が地平線上に現れないが、不照日数として含めた

5) フリザー日数については、本文「フリザー」統計を参照のこと

表 3 昭和基地における地上気象観測極値・順位更新記録 (2002 年 2 月~2003 年 1 月)

Table 3. Updated records of surface meteorological observation extremes and ranks at Syowa Station (Feb. 2002-Jan. 2003).

年	月	月別値			旬別値		
2002	2	月平均現地気圧	976.5 hPa	1位 (低)	旬平均海面気圧 (上旬)	977.3 hPa	1位 (低)
		月平均海面気圧	979.1 hPa	1位 (低)	旬平均海面気圧 (下旬)	977.5 hPa	3位 (低)
		月最低海面気圧	952.5 hPa	2位 (低)	旬平均風速 (中旬)	10.4 m/s	3位 (大)
		月最大瞬間風速	45.7 m/s	2位 (大)			
	3	月平均現地気圧	987.6 hPa	1位 (高)	旬平均海面気圧 (中旬)	992.5 hPa	3位 (高)
		月平均海面気圧	990.2 hPa	2位 (高)	旬平均海面気圧 (下旬)	994.1 hPa	2位 (高)
	4				日照時間旬合計 (下旬)	66.1 h	3位 (多)
		月最高気温	0.5 °C	1位 (高)	旬平均雲量 (中旬)	5.1	1位 (少)
	5				日照時間旬合計 (中旬)	43.3 h	2位 (多)
		月平均現地気圧	993.7 hPa	3位 (高)	旬平均海面気圧 (下旬)	1003.0 hPa	2位 (高)
		月平均気温	-10.0 °C	2位 (高)	旬平均気温 (中旬)	-10.3 °C	3位 (高)
		最高気温月平均	-7.3 °C	1位 (高)	旬平均気温 (下旬)	-9.0 °C	3位 (高)
最低気温月平均		-12.9 °C	2位 (高)				
6	月最低気温	-21.4 °C	3位 (高)				
	月最高気温	-2.4 °C	3位 (高)	なし			
7	月平均気温	-13.4 °C	2位 (高)	旬平均気温 (下旬)	-12.2 °C	3位 (高)	
	最低気温月平均	-16.5 °C	2位 (高)	旬平均雲量 (下旬)	9.4	1位 (多)	
	月最低気温	-23.6 °C	1位 (高)	旬平均風速 (中旬)	12.4 m/s	3位 (大)	
	月間日照時間	0.0 h	1位 (少)	日照時間旬合計 (中旬)	0.0 h	1位 (少)	
				日照時間旬合計 (下旬)	0.0 h	1位 (少)	
8	なし			旬平均雲量 (下旬)	9.4	1位 (多)	
				日照時間旬合計 (下旬)	0.0 h	1位 (少)	
9	月最大風速	45.4 m/s	1位 (大)	旬平均雲量 (中旬)	9.3	1位 (多)	
	月最大瞬間風速	57.9 m/s	1位 (大)	旬平均風速 (中旬)	11.1 m/s	1位 (大)	
10				日照時間旬合計 (上旬)	61.5 h	3位 (多)	
	月平均現地気圧	991.3 hPa	2位 (高)	旬平均海面気圧 (上旬)	997.5 hPa	1位 (高)	
	月平均海面気圧	994.0 hPa	2位 (高)	旬平均海面気圧 (下旬)	991.5 hPa	1位 (高)	
	月平均気温	-11.0 °C	2位 (高)	旬平均気温 (中旬)	-8.8 °C	1位 (高)	
	最高気温月平均	-8.2 °C	3位 (高)	旬平均風速 (中旬)	9.1 m/s	2位 (大)	
	最低気温月平均	-14.1 °C	2位 (高)	日照時間旬合計 (下旬)	135.3 h	2位 (多)	
11	月最高気温	-0.3 °C	1位 (低)	旬平均海面気圧 (上旬)	994.4 hPa	2位 (高)	
				旬平均気温 (下旬)	-7.2 °C	3位 (低)	
				旬平均風速 (上旬)	3.4 m/s	2位 (小)	
				旬平均風速 (下旬)	3.7 m/s	3位 (小)	
12	なし			旬平均海面気圧 (上旬)	978.1 hPa	3位 (低)	
2003	1	月最低気温	-5.5 °C	2位 (高)	旬平均海面気圧 (中旬)	999.0 hPa	2位 (高)
					旬平均雲量 (上旬)	3.1	1位 (少)
					日照時間旬合計 (上旬)	188.5 h	1位 (多)

注) 月・旬ともに極値・順位値を更新した1位から3位までを記載

計による観測及び海氷上の積雪の経過を図3に示す。

図2に示す通り、旬別平均気温では雲量と連動して冬季から初春にあたる5月から11月中旬まで平年値よりも高く推移しており、平年の標準偏差よりも高い旬もあった。7月から8月上旬、8月下旬から9月にかけてはブリザードが集中したため、旬平均風速、旬平均雲量が大きく、平年の標準偏差を上回ることがしばしばあった。

図3によると観測開始日の4月14日の値を0cmとした海氷上の積雪深は、すべてマイナス側に推移した。これは設置当初には雪尺エリアに積雪があったが、その後の強風により積雪が飛ばされ、5月初めに裸水面となったことによる。その後8月までの積雪深の増は積雪による。10月以降の減少は裸水面が日射を受け海氷厚自体が減少していることを意味し、9月中旬及び10月中旬のピークは積雪を示す。

表 4 昭和基地におけるブリザードの概要 (2002年2月~2003年1月)  
 Table 4. Summaries of heavy snowstorms (blizzards) at Syowa Station (Feb. 2002-Jan. 2003).

通番	年	開	始	終	了	日	時	分	階級	最大風速 (m/s)	風向	起	時	最大瞬間風速 (m/s)	風向	起	時	最低海面気圧 (hPa)	中	断
1	2002	2	23	4	10	2002	2	23	15	40	C	25.2	ENE	0550(23)	32.0	ENE	0527(23)	960.6	1840(24)	0629(23)
2	2002	3	3	21	10	2002	3	5	1	10	B	26.8	ENE	0520(4)	33.0	ENE	0517(4)	975.4	1840(24)	0738(4)
3	2002	3	9	1	50	2002	3	10	16	30	A	33.8	ENE	0430(10)	41.9	ENE	0430(10)	972.0	1840(24)	0809(10)
4	2002	3	29	5	50	2002	3	29	14	30	C	20.7	NE	0920(29)	25.9	NE	0938(29)	989.1	1840(24)	0553(29)
5	2002	4	2	22	0	2002	4	3	7	10	C	25.9	ENE	10250(3)	32.3	ENE	0310(3)	977.0	1840(24)	0300(3)
6	2002	4	9	2	40	2002	4	11	5	0	A	28.7	NE	0020(10)	37.9	NE	0031(10)	982.5	1840(24)	0500(11)
7	2002	4	24	18	10	2002	4	26	4	0	B	24.3	ENE	1840(24)	31.0	ENE	1822(24)	984.4	1840(24)	1840(24)
8	2002	4	29	12	40	2002	4	30	13	10	A	29.9	ENE	1930(29)	38.6	ENE	0158(30)	972.8	1840(24)	1917(29)
9	2002	5	3	3	10	2002	5	4	22	0	B	30.0	NE	0120(4)	37.4	NE	0042(4)	961.1	1840(24)	0014(4)
10	2002	5	18	3	10	2002	5	19	3	10	B	30.3	ENE	1030(18)	40.4	ENE	0917(18)	972.1	1840(24)	0918(18)
11	2002	6	7	2	40	2002	6	7	20	50	B	30.0	ENE	0800(7)	38.6	ENE	0755(7)	973.1	1840(24)	0745(7)
12	2002	6	10	21	10	2002	6	11	8	10	C	25.6	NE	0420(11)	33.0	NE	0745(11)	985.9	1840(24)	0642(11)
13	2002	7	2	1	0	2002	7	3	0	20	B	29.0	ENE	1320(2)	36.7	ENE	1514(2)	982.1	1840(24)	1336(2)
14	2002	7	12	20	20	2002	7	14	8	30	B	25.9	ENE	1220(13)	32.7	ENE	1212(13)	994.2	1840(24)	2033(12)
15	2002	7	15	15	10	2002	7	16	8	0	B	34.2	ENE	2240(15)	45.4	E	2322(15)	967.2	1840(24)	2134(15)
16	2002	7	24	13	10	2002	7	25	7	10	B	28.2	ENE	1840(24)	36.2	E	2145(24)	976.8	1840(24)	1814(24)
17	2002	7	26	11	30	2002	7	27	2	40	B	26.6	ENE	1230(26)	33.9	ENE	1224(26)	976.8	1840(24)	0130(27)
18	2002	8	6	4	56	2002	8	7	21	26	C	24.1	NE	0730(6)	32.2	NE	0740(6)	966.5	1840(24)	2346(6)
19	2002	8	8	21	53	2002	8	9	7	50	C	16.4	ENE	1030(9)	21.1	NE	2325(8)	986.5	1840(24)	2220(8)
20	2002	8	24	14	40	2002	8	25	20	40	C	22.9	ENE	1450(25)	31.1	ENE	1441(25)	967.3	1840(24)	1949(25)
21	2002	8	28	18	10	2002	8	29	2	20	C	27.7	NE	1940(28)	34.4	NE	1928(28)	967.8	1840(24)	1825(28)
22	2002	9	2	12	20	2002	9	3	0	10	C	24.0	ENE	2050(2)	33.1	ENE	1944(2)	966.5	1840(24)	1232(2)
23	2002	9	11	6	0	2002	9	13	2	10	C	25.4	ENE	1930(12)	32.1	ENE	1856(12)	982.5	1840(24)	1926(12)
24	2002	9	14	23	20	2002	9	17	0	40	A	45.4	NE	1630(15)	57.9	NE	1645(15)	951.6	1840(24)	1608(15)
25	2002	9	28	21	50	2002	9	29	8	30	C	18.4	NE	0740(29)	23.5	NNE	0729(29)	975.6	1840(24)	2242(28)
26	2002	10	18	6	10	2002	10	18	14	50	C	24.8	ENE	1040(18)	31.5	ENE	0818(18)	987.4	1840(24)	1025(18)

注) 1. 階級区分は次による。

A級: 視程10km未満で風速25m/s以上の継続時間が6時間以上

B級: 視程1km未満で風速15m/s以上の継続時間が12時間以上

C級: 視程1km未満で風速10m/s以上の継続時間が6時間以上

2. 極値については、それぞれ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で求めた。



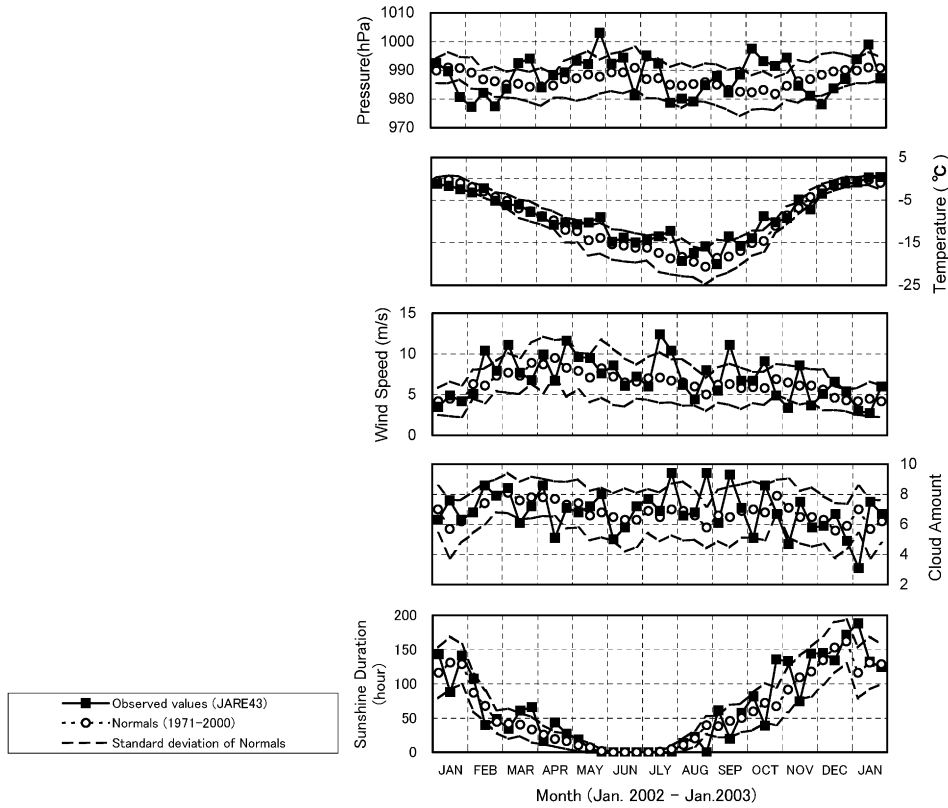


図 2 昭和基地における地上気象旬別経過図 (2002 年 1 月~2003 年 1 月)

Fig. 2. Time series of ten-day mean surface meteorological data at Syowa Station (Jan. 2002–Jan. 2003).

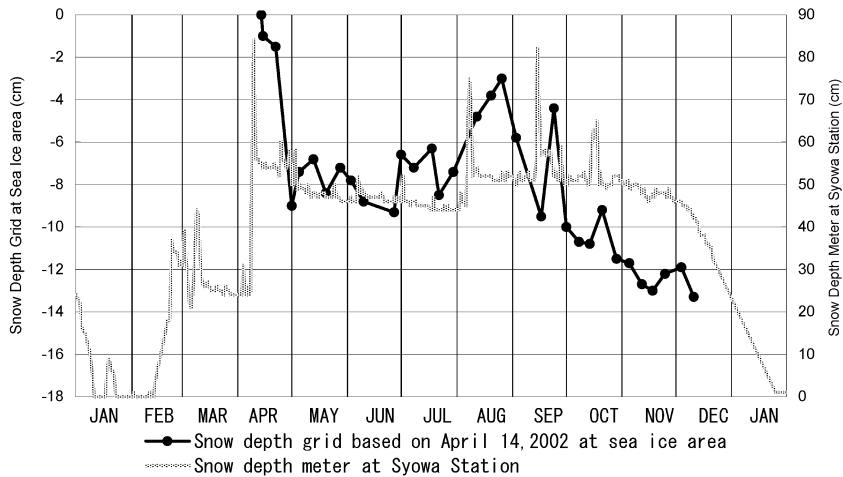


図 3 海水上(雪尺)と昭和基地内(積雪深計)の積雪深観測の比較 (2002 年 1 月~2003 年 1 月)  
 Fig. 3. Comparison of Snow Depth between sea ice area and Syowa Station area (Jan. 2002–Jan. 2003).

表 5 昭和基地の天気概況 (2002年2月~2003年1月)  
Table 5. Weather summaries at Syowa Station (Feb. 2002-Jan. 2003).

年・月	天気概況	
2002年 2月		低気圧が接近し停滞することが多かったため月平均現地気圧で976.5hPa, 月平均海面気圧で979.1hPaと低い方の極値を更新した。風は2月としては強く, 月最大瞬間風速45.7m/sは2位を記録した。C級ブリザードが1回あった。
	上旬	前半は曇りの日が多く, 1~2日は雪が観測されたが, 後半は晴れの日が多かった。気温は低く風はやや弱めであった。
	中旬	動きの遅い低気圧が接近したため悪天が多かった。風は強い日が多く13日の夜には最大瞬間風速45.7m/sを記録した。期間の後半も風は強めでふぶくことも多かった。旬平均風速10.4m/sは2月中旬としては強い方から3位を記録した。気温は平年より高い日が多かった。
	下旬	期間の前半は風が強く雪も降ることが多かった。23日にはC級ブリザードとなった。後半は低気圧も抜け天気は回復し気温の低い日が多かった。
2002年 3月		月前半は周期的に通過する低気圧により悪天の日が多かった。後半は大陸の高気圧が優勢となり晴れた日が多かった。月平均現地気圧は987.6hPa, 月平均海面気圧は990.2hPaと高い方の極値を更新した。気温は平年並。ブリザードはA級, B級及びC級が各1回ずつあった。
	上旬	低気圧が短い周期で接近したため悪天が続いた。4日にはB級, 9日にはA級ブリザードを記録した。A級ブリザードは10日まで続いた。
	中旬	期間の初めは上旬に引き続き悪天となった。その後大陸の高気圧が優勢となり好天が続いた。
	下旬	期間前半は大陸の高気圧の影響で天気が崩れはなかったが, 29日には低気圧の接近のためC級ブリザードとなった。
2002年 4月		発達した低気圧の通過が多く, 上旬には低気圧の接近により北から暖かい空気が入り込んだため, 4月の最高気温としては第1位の+0.5℃を記録した。また, 上旬と下旬に各2回のブリザードをもたらした。中旬は大陸の高気圧の影響が長く続き好天に恵まれることが多かった。
	上旬	発達した低気圧がゆっくり通過し, 2日から3日にかけてC級, 9日から中旬はじめの11日にかけてはA級ブリザードとなった。低気圧通過後には大陸の冷たい空気が入り寒い日があった。
	中旬	大陸の高気圧の影響により好天が続いた。そのため旬平均雲量は5.1と少ない記録で1位となった。また日照時間旬合計では多い方から2位の43.3時間となった。
	下旬	発達した低気圧が周期的に通過し, 24日から26日にかけてはB級ブリザード, 29日から30日にかけてはA級ブリザードをもたらした。
2002年 5月		月を通じて大陸の高気圧の張り出しが強い日が多かった。しかし高気圧の張り出しが弱まった3日から4日, 18日から19日にかけては低気圧が接近しブリザードとなった。気温は5月の記録としては月平均気温が-10.0℃と高い方から2位となり, 日最高気温の月平均-7.3℃, 日最低気温の月平均-12.9℃も高い方からそれぞれ1位と2位となった。
	上旬	3日から4日にかけて接近した低気圧がB級ブリザードをもたらしたが, 期間後半は優勢な大陸の高気圧が張り出したため, 天気の崩れは無かった。
	中旬	上旬に引き続き期間前半は天気の崩れはなかったが, 18日から19日にかけて大陸の高気圧の張り出しが弱まり, 一度通過した低気圧が北東から再接近したため, B級ブリザードとなり気温の高い日が続いた。
	下旬	22日から23日には風の伴わない降雪が見られた。大陸には優勢な高気圧があったが移動してくる低気圧は勢力が強くなり曇天が続いた。29日にはふぶきとなり気温の高い日が続いた。
2002年 6月		低気圧が3~4日の周期で通過することが多かったため天気も周期的に変化した。6日から8日, 10日から11日にかけて接近した低気圧はブリザードをもたらした。このときの最高気温は-2.4℃となり6月の最高気温として3位の記録となった。
	上旬	低気圧は一時的なふぶきをもたらす程度だったが, 6日から7日にかけて接近した低気圧はB級ブリザードをもたらした。
	中旬	10日から11日にかけて昭和基地に接近した低気圧はC級ブリザードをもたらした。その後は大陸の高気圧が優勢となり低気圧が接近しても昭和基地にわずかにかかった雪が弱い雪をもたらした程度であった。
	下旬	周期的に通過する低気圧は接近しなかったが, 低気圧からのびる雲がかかる日が多かった。そのため曇天の日が多く期間後半には雪が混じった。
2002年 7月		低気圧の通過により強風を伴う悪天が続いたため5回のB級ブリザードを記録した。そのため平年よりも気温が高く, 7月の月平均気温は-13.4℃と高い方から2位, 月最低気温は-23.6℃と高い方から1位の記録となった。また月間日照時間は0時間であった。
	上旬	低気圧の接近により2日にはB級ブリザードをもたらしたが, その後大陸の高気圧の張りだしにより, 低気圧の中心が北へ移動したため曇りの日が多かった。
	中旬	12日から14日にかけて大陸の高気圧の縁辺となり, 気圧傾度が大きくなったため, B級ブリザードとなった。その後も断続的に低気圧が通過し15日から16日にはB級ブリザードとなった。
	下旬	低気圧が次々と接近したため24日~25日, 26日~27日にかけて2回のB級ブリザードとなった。また旬平均雲量は9.4となり多いほうから1位の記録となった。

年・月	天気概況	
2002年 8月		8月前半は大陸の高気圧の影響で晴れの日が多かったが、発達した低気圧の接近によりブリザードとなることがあった。8月後半は大陸の高気圧が衰退し、周期的に低気圧が接近したため悪天が続いた。そのため7月に続き雲量は多く、月間日照時間が少ない月だった。
	上旬	期間前半は高圧帯に覆われて晴れの日が多かったが、後半は低気圧の接近により6日から8日にかけて2回のC級ブリザードとなった。
	中旬	期間前半は大陸の高気圧の影響により好天に恵まれた。後半は徐々に大陸の高気圧が弱まり、低気圧が通過する際、雲がかかり雪をもたらした。
	下旬	期間前半は中旬に引き続き雪の天気となった。後半は大陸の高気圧がさらに衰退し、発達した低気圧が周期的に接近した。そのため28日から29日にかけて2度のC級ブリザードとなり、下旬の日照時間は0時間で少ないほうから1位を記録した。
2002年 9月		高気圧に覆われて好天が続いた日と、発達した低気圧の接近により悪天が続いた日が明瞭に分かれた月で、低気圧は勢力を保ったまま接近する事が多かった。中旬のA級ブリザードは、9月の強風として第1位、通年の記録としては3位となる猛烈なものであった。
	上旬	期間のはじめには低気圧の接近により2日から3日にかけてC級ブリザードとなったが、その後は高気圧に覆われて好天に恵まれた。
	中旬	断続的に発達した低気圧が接近し2回ブリザードがあった。そのうち14日から17日にかけてのA級ブリザードは最大瞬間風速が57.9m/s、最大風速が45.4m/sとともに月1位の記録となり、通年の統計でもともに3位の強風となった。期間の終りには弱い高気圧に覆われ好天となった。
	下旬	期間半ばまでは高気圧に覆われて好天が続いたが、期間の終りには低気圧が接近し28日から29日にかけてC級ブリザードとなった。
2002年 10月		低気圧が接近した中旬を除き、高気圧に覆われる日が多い月であった。このため月平均気圧は高く月平均現地気圧は991.3hPa、月平均海面気圧は994.0hPaと高いほうから2位の記録となり、晴れまたは薄曇りの日が多かった。気温は月初めの数日は-20℃を下回る日が続いたものの、その後高めに推移したため月平均気温は-11.0℃の高いほうから2位の記録となった。中旬に接近した低気圧はC級ブリザードをもたらした。
	上旬	大陸の高気圧の影響により晴れの日が多かった。高気圧の勢力が優勢だった期間前半の1日から3日にかけては最低気温が-20℃を下回った。
	中旬	大陸の高気圧の衰退により接近した低気圧の影響で、風が強まり18日にはC級ブリザードとなった。期間中は曇りまたは雪の日が多く気温も高めに推移した。
	下旬	期間中は高気圧に覆われ、天気が大きく崩れることはなく、晴または薄曇りの日が多かった。
2002年 11月		期間中は中旬を除き高気圧に覆われて晴または薄曇りの日が多かった。そのため月間日照時間が多かった。一方月平均気温は例年に比べ低く、月最高気温-0.3℃は低い方からの1位を記録した。
	上旬	期間中高気圧に覆われたため、風が弱く晴れの日が多かった。
	中旬	昭和基地に接近した低気圧により曇または雪の日が多かった。14日には最大風速23.7m/sを記録したがブリザードにはならなかった。また19日にもふぶきとなった。そのため気温は高めに推移した。
	下旬	雪を伴う日もあったが、晴れの日が多かった。23日から24日にかけての夜中には水霧が観測された。
2002年 12月		高気圧に覆われて穏やかな日が多かった。4日には最高気温が+1.6℃となり冬明け後初めて気温が0℃以上となった。この日を境に最高気温が0度以上となる日が多くなった。18日から19日にかけて接近した低気圧は大風をもたらした。
	上旬	3日から4日にかけて接近した低気圧のためふぶきとなったが、その後は高気圧に覆われて晴れの日が多かった。3日以降、日平均気温は上昇したが、それまでの低温により上旬の平均気温は例年に比べ低くなった。
	中旬	期間始めは良い天気が続いた。しかし18日から19日に接近した低気圧によりふぶきとなり、18日には風速が29.6m/s、瞬間風速では40.0m/sを記録したがブリザードにはならなかった。
	下旬	期間中は晴れの日が多く、雪が観測されてもごく弱いものであった。
2003年 1月		12月に引き続き高気圧に覆われて穏やかな日が多かった。特に上旬は快晴が続いたため、雲量の少なさと日照時間の多さが極値となった。中旬は平均海面気圧の高さが記録となった。下旬は高気圧が弱まり、雲が広がって弱い雪が観測された日もあった。
	上旬	高気圧に覆われて前半は快晴が続いた。後半は弱い低気圧が発生したが、薄雲が広がる程度であった。上旬の平均雲量は3.1と少ない方からの記録で1位となり日照時間割合合計も188.5時間と多い方から1位となった。
	中旬	引き続き高気圧に覆われていたため、低気圧縁辺の雲がかかる程度で大きな崩れはなかった。そのため中旬の平均海面気圧は999.0hPaと高い方から2位の記録となった。
	下旬	期間はじめに接近した低気圧は強風をもたらした。以降、天気は周期的に変化した。

年間の天気概況を表5に示す。9月14日~17日にかけてのA級ブリザードでは最大瞬間風速が57.9m/s, 最大風速が45.4m/sで, ともに9月として1位の記録となり, 通年の統計でも共に3位の強風となった。

### 3. 高層気象観測

#### 3.1. 観測方法と測器

高層気象観測指針(気象庁, 1995)に基づき, 毎日00, 12UTCの2回, RS2-91型レーウィソ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30km(00UTCは35km)までの気圧, 気温, 風向・風速及び気温が $-40^{\circ}\text{C}$ に達するまでの相対湿度を観測した。

ゾンデ信号の受信と測角には自動追跡型方向探知機(モノパルス方式MOR-22型)を用い, 計算処理, 作表, 気象電報作成等は高層気象観測装置データ処理部により自動的に行った。

観測結果は, 国際気象通報式(気象庁, 1990b)の地上高層実況通報式(TEMP), 高層月平均気象通報式(CLIMAT TEMP)形式により, 地上気象観測と同様に気象衛星通報局装置(DCP)を用いて, 静止気象衛星(METEOSAT)経由で全球通信システム(GTS)に通報した。

観測器材を表6に示す。

表6 高層気象観測器材  
Table 6. Sensors and instruments for aerological observations at Syowa Station.

使用機器等		測定範囲	観測精度	備考	
RS2-91型レーウィソゾンデ	センサー	気圧 鉄ニッケル合金空こう (静電容量変化式)	1050~5 hPa	$\pm 1$ hPa	減圧点検, 飛揚前点検で精度確認
		気温 ビード型ガラスコート サーミスタ (アルミ蒸着加工)	+40~-90 $^{\circ}\text{C}$	$\pm 0.5$ $^{\circ}\text{C}$	飛揚前点検で精度確認
		湿度 高分子膜 (静電容量変化式)	0~100 %	$\pm 7$ % (10~95 %) $\pm 10$ % (上記以外)	飛揚前点検で精度確認
		風向 風速	ゾンデ観測による高度計算値と自動追跡型方向探知機の測角値から算出		
電池	B91RS型注水電池			立ち上げ器により規定電圧を確認後飛揚	
充填ガス	ヘリウムガス			標準浮力錘浮力1900 g (2000 g), 強風・降雪等状況により増量	
気球	600g(1200g)ゴム気球			飛揚前に加温保存, 冬期間低温時は油漬け処理を実施	
懸垂紐	白色クレモナ糸			全長15 m (30 m), 強風時は気象観測用巻下器に交換	
その他	強風時	気象観測用巻下器		飛揚後に懸垂紐が15 m (30 m)に伸長	
	暗夜時	PA72型追跡補助電灯		注水電池により起電発光	

( ) : 高高度観測時の値

表 7 高層気象観測状況

Table 7. Numbers of observations and balloon-burst altitudes for aerological observations at Syowa Station.

	2002年												2003年	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	57	64	61	63	62	66	65	60	62	60	64	62	746		
定時観測回数	56	61	60	62	60	61	62	56	62	60	62	62	724		
特別観測回数	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
再観測回数	1	3	1	1	2	5	3	4	0	0	2	0	22		
資料欠如回数	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1		
欠測回数	0	1	0	0	0	0	0	4	0	0	0	0	5		
到達気圧・高度	00 UTC	平均 (hPa)	6.8	5.4	15.3	12.6	10.3	6.5	6.3	18.4	7.4	6.6	6.6	5.1	(8.9)
		平均 (km)	36.0	35.9	28.9	30.2	30.1	30.9	31.2	28.7	33.5	35.3	35.5	36.7	(32.7)
		最低 (hPa)	3.3	3.2	3.5	4.1	3.2	2.8	3.1	4.1	3.3	2.6	3.6	3.6	
	12 UTC	最高 (km)	39.1	38.9	37.6	34.8	35.9	35.8	34.5	36.5	38.3	41.2	39.4	39.3	
		平均 (hPa)	10.4	9.8	11.0	14.8	10.7	15.3	9.7	12.4	8.8	11.1	10.2	10.3	(11.2)
		平均 (km)	31.7	32.8	29.6	27.9	28.8	28.1	28.3	28.2	32.3	30.7	32.2	31.7	(30.2)
		最低 (hPa)	6.7	2.4	7.1	6.1	3.4	5.2	6.0	7.6	3.0	8.5	4.3	7.2	
		最高 (km)	34.2	41.1	32.5	32.0	35.0	31.6	30.3	32.3	39.8	32.6	37.9	34.2	

(注) 強風のため3月10日00UTC, 7月16日00UTC, 9月15日12UTC~17日00UTCの6観測は資料なし

### 3.2. 観測経過

観測状況を表7に示す。

第43次隊として2002年2月1日00UTCより2003年1月31日12UTCまでの観測を行った。昭和基地は1995年にGUAN(WMO内に設置されたGCOSの基準高層気象観測網)観測点指定を受けており、「より高い高度までのデータ取得」について要請されている。このため、第43次隊から00UTCの観測において「高高度レーウィンゾンデ観測」を開始した。詳細は3.4節で述べる。

期間中強風のため気球の飛揚作業を実施できなかった観測が6回(2002年3月10日00UTC, 7月16日00UTC, 9月15日12UTC-17日00UTC: 4観測連続)あった。

冬期間の下部成層圏の低温によりゴム気球が硬化して到達高度が低下するのを防ぐため、5月2日00UTCから10月10日12UTCまで、気球の油漬け処理を行った。なお、油漬けは成層圏の最低気温がおおむね $-70^{\circ}\text{C}$ を下回る時期を目安とした。

モノパルス方式方向探知機(MOR-22)の測風精度を確認するために、測風経緯儀による比較観測を実施した。精度に関してはおおむね良好であった。第42次隊からの引継ぎ時に、方向探知機内部ヒーターの電源部に接触不良箇所が認められ、回復不能であったことから、以降ヒーター電源については通電せず運用した。駆動部に対する悪影響が予想されるため、今後運用する上で何らかの保温措置が必要であると思われる。その他高層気象観測装置の総合動作点検を毎月実施し、性能に異常がないことを確認した。

### 3.3. 観測結果

2002年2月~2003年1月までの00UTCの上層気温の時間高度断面図を図4に示す。また

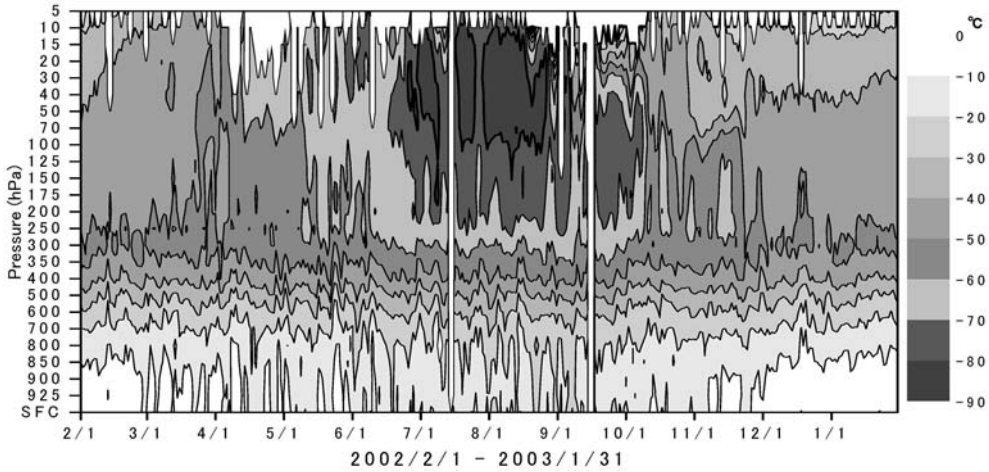


図 4 上層気温の時間高度断面図 (2002 年 2 月~2003 年 1 月)

Fig. 4. Time-height cross section of upper-air temperature (Feb. 2002-Jan. 2003).

2002 年 1 月~2003 年 1 月までの主な指定気圧面の高度, 気温, 風速の月平均値 (00 UTC の観測値による統計) を表 8 に示す.

2002 年 4 月に入ると, 50 hPa 面より上層に  $-60^{\circ}\text{C}$  以下の領域が現れ, 5 月中旬には下層側 250 hPa まで急激に低温域が拡大した. その後気温はさらに低下し, 8 月中旬には  $-90^{\circ}\text{C}$  近くまで下がっている層も認められた. この低温域は 9 月上旬になると上層から徐々に, さらに下旬には下層から一気に昇温し, 例年より 1 カ月以上早く 10 月上旬に消滅した.

期間中, 最初の成層圏突然昇温 (WMO 基準  $+25^{\circ}\text{C}/1$  週間) は, 7 月上旬に 15 hPa 以上の層で発現した (図 5 上). 本来極渦が徐々に発達する時期にこの現象が起こるのは珍しい. 早期に成層圏突然昇温が発現した同様の現象は 1988 年に報告されている (松原ら, 1990). 当時は気球の性能により, 多くの観測が 30 hPa までであったため, 成層圏突然昇温は定常的に観測できた 30 hPa 面を主として述べられている. それによると, 1988 年の 30 hPa 面では 8 月 22 日 ( $-83.3^{\circ}\text{C}$ ) から 9 月 1 日 ( $-24.0^{\circ}\text{C}$ ) までの大規模な成層圏突然昇温が認められていた. 第 43 次隊においても, 30 hPa 面では, 8 月 27 日 ( $-82.7^{\circ}\text{C}$ ) から 8 月 31 日 ( $-49.1^{\circ}\text{C}$ ) にその年最初の成層圏突然昇温が認められた (図 5 下). 冬期の下部成層圏の昇温は上層から始まり, 下層に降りてくる. これらのことから 1988 年の大規模な成層圏突然昇温は 43 次同様, 15 hPa 以上の層において 8 月以前に発現していた可能性がある. 第 43 次隊で 7 月上旬に 15 hPa 以上で認められた成層圏突然昇温は以降下層に降りていき, 8 月中旬, 下旬, 9 月上旬, 中旬とおおよそ 10 日周期で発現し, 10 月上旬の 100 hPa から 40 hPa までの成層圏突然昇温を最後に (最終昇温) 以降安定したが, 例年になく早い時期の発現であったと考えられる.

表 8 月別指定気圧面観測値

Table 8. Monthly summaries of aerological observations (00 UTC) at Syowa Station.

	指定面 (hPa)	2002												2002	2003
		1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月	全年	1月
高度 (m)	925	516	446	537	499	573	511	513	444	493	551	500	480	505	564
	850	1176	1104	1188	1147	1218	1149	1150	1075	1126	1191	1148	1138	1151	1225
	700	2657	2576	2655	2614	2677	2589	2590	2499	2553	2635	2598	2609	2604	2702
	500	5112	5015	5091	5049	5103	4986	4982	4878	4917	5053	4993	5056	5020	5150
	300	8552	8458	8522	8468	8500	8349	8336	8209	8217	8444	8365	8517	8411	8598
	200	11203	11115	11134	11066	11036	10845	10782	10651	10659	10971	10927	11171	10963	11253
	150	13119	13036	13025	12932	12838	12611	12478	12336	12365	12759	12757	13079	12778	13170
	100	15838	15746	15690	15541	15367	15077	14847	14673	14755	15286	15363	15784	15331	15874
	50	20529	20398	20240	19933	19625	19201	18800	18578	18868	19686	20018	20467	19695	20539
	30	24030	23842	23592	23135	22703	22220	21676	21431	21953	23015	23560	23955	22926	24020
10	31739	31385	30888	30230	29340	28793	27935	27598	29151	30510	31226	31622	30035	31681	
気温 (°C)	925	-5.2	-5.7	-8.5	-10.1	-10.8	-14.1	-14.2	-17.2	-16.1	-13.0	-9.7	-5.6	-10.9	-4.2
	850	-8.6	-9.7	-11.8	-12.5	-13.7	-17.1	-17.4	-20.1	-18.9	-16.4	-13.7	-9.8	-14.1	-8.7
	700	-16.8	-18.8	-19.0	-18.8	-20.2	-22.8	-23.4	-24.6	-25.7	-22.0	-22.6	-18.7	-21.1	-17.9
	500	-31.3	-32.1	-32.7	-33.2	-34.2	-37.2	-37.4	-39.0	-41.1	-34.7	-37.4	-31.0	-35.1	-31.3
	300	-52.4	-52.0	-53.8	-54.5	-56.4	-58.9	-60.2	-61.2	-62.5	-57.0	-56.3	-50.4	-56.3	-52.2
	200	-46.7	-45.5	-49.2	-51.8	-59.2	-63.5	-71.4	-71.7	-70.1	-61.0	-56.2	-47.2	-57.8	-46.2
	150	-44.7	-44.8	-48.4	-52.1	-59.2	-63.9	-72.0	-74.2	-71.1	-60.9	-55.4	-46.3	-57.8	-45.3
	100	-43.5	-44.8	-48.7	-54.5	-61.3	-67.0	-75.4	-78.2	-72.1	-59.1	-50.5	-43.9	-58.3	-44.8
	50	-40.4	-43.2	-49.1	-58.9	-65.7	-70.9	-80.2	-82.4	-67.8	-53.2	-37.6	-40.9	-57.5	-41.4
	30	-37.5	-42.2	-48.5	-60.0	-67.2	-71.0	-81.2	-81.8	-60.6	-47.4	-36.1	-38.7	-56.0	-39.4
10	-28.2	-34.3	-43.1	-56.3	-62.9	-66.4	-72.0	-68.3	-34.2	-37.5	-31.8	-29.5	-47.0	-28.9	
風速 (m/s)	925	6.8	10.8	11.2	12.4	14.2	12.5	14.3	8.5	11.0	9.6	8.5	8.7	10.7	6.4
	850	5.9	8.1	9.2	9.2	11.2	10.6	14.1	9.1	10.3	7.8	7.0	7.2	9.1	5.8
	700	5.6	7.5	7.4	8.3	8.1	8.3	8.8	8.1	8.3	6.8	5.6	6.5	7.4	5.7
	500	5.7	8.8	8.2	13.5	11.8	9.9	11.3	9.9	12.0	8.8	8.4	9.5	9.8	5.2
	300	9.8	13.3	13.8	20.0	18.3	15.2	17.6	15.4	15.4	14.0	10.5	14.2	14.8	8.0
	200	6.1	8.9	10.0	18.6	14.8	13.5	14.2	17.0	14.8	15.3	9.1	9.7	12.7	5.4
	150	6.3	9.1	9.5	18.4	13.3	15.2	13.9	18.7	16.2	18.9	10.3	7.7	13.1	4.8
	100	5.1	8.6	10.5	19.9	16.3	21.4	20.1	23.0	21.5	27.8	13.9	5.9	16.2	4.1
	50	3.6	6.0	11.4	23.8	26.9	35.9	34.1	33.3	34.5	36.2	19.4	2.8	22.3	3.4
	30	4.6	4.9	14.0	27.9	37.3	51.7	45.1	41.2	43.1	37.8	16.4	4.2	27.4	5.0
10	9.5	3.4	23.0	36.6	64.2	72.5	67.3	55.3	65.6	30.0	13.5	9.0	37.5	8.1	

2002年の月平均値を、平年値（1971-2000年）と比較する。図6は指定気圧面データをもとに、上から月平均の気温、東西風成分及び南北風成分の年変化について、左から2002年の月平均値、平年値（1971-2000年）及び平年値からの偏差を示した。月平均気温（上段）によると高度8km（気圧300hPa）から上層が-60°C以下になったのは平年並みの4月であったが、-70°C以下の期間は平年より1カ月遅い6月から1カ月早い9月までで、-70°C以下の期間が平年に比べ約2カ月間短かった。同様に-80°C以下の期間・高度領域がともに非常に小さかった。偏差に注目すると、大きな正偏差（平年より高い気温）が6月の20kmより上層の高度と9月から11月の幅広い高度に認められる。後者は先に述べた時期の早い成層圏

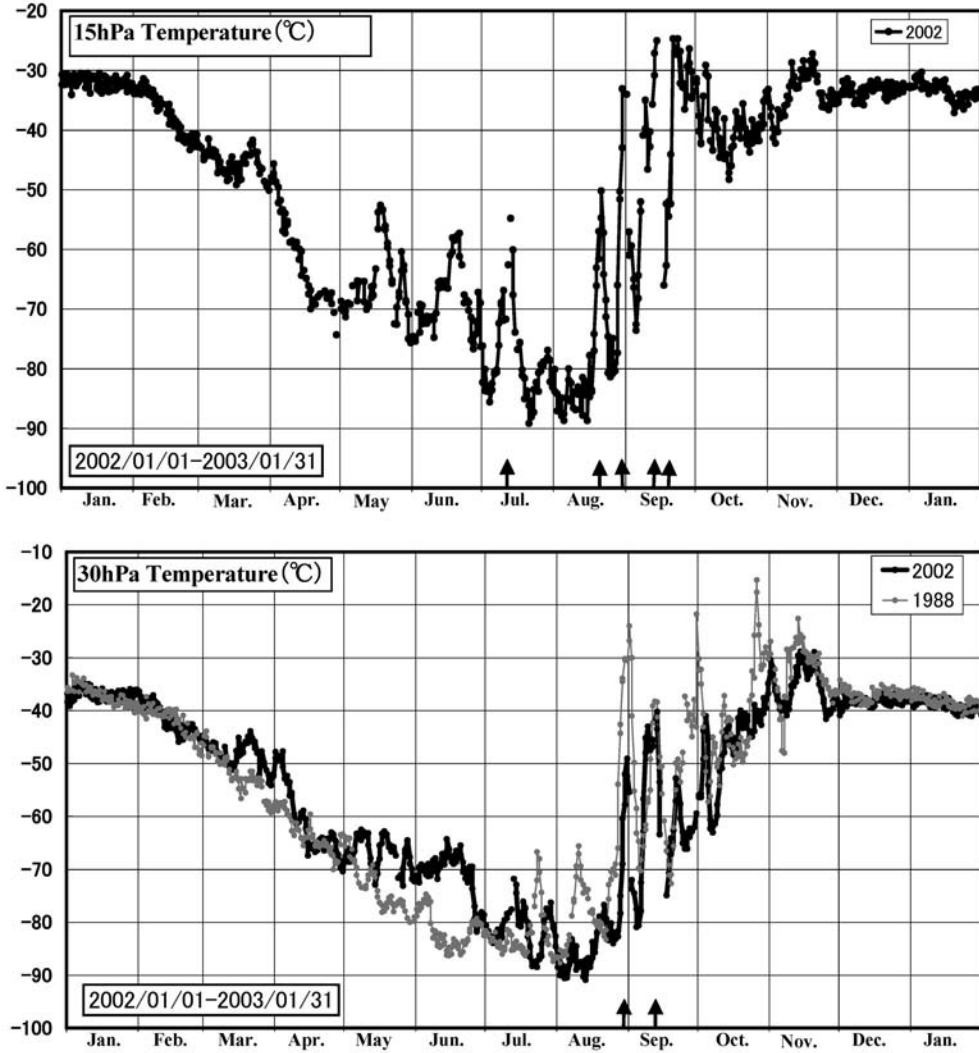


図 5 上層の気温変化

↑: 2002 年の成層圏突然昇温 ( $+25^{\circ}\text{C}$  以上/1 週間)

Fig. 5. Annual changes of upper air temperature.

↑: Sudden warming in lower stratosphere in 2002 ( $\geq +25^{\circ}\text{C}/\text{week}$ ).

突然昇温に起因していると考えられる。

月平均東西風成分（中段）によると，高度 15 km 以上で，平年では 9 月をピークに見られる強い西風成分が 6 月に発生しており 60 m/s を超えていた。また，偏差グラフによると，11 月の西風成分の負偏差が顕著である。これは平年では 10 月から 12 月にかけて上層の西風成分が徐々に弱まるが，2002 年は 11 月に急激に西風成分が弱まったことを示す。

月平均南北風成分（下段）では，平年は全領域で弱い北風成分が認められ，10 月に 10 m/s



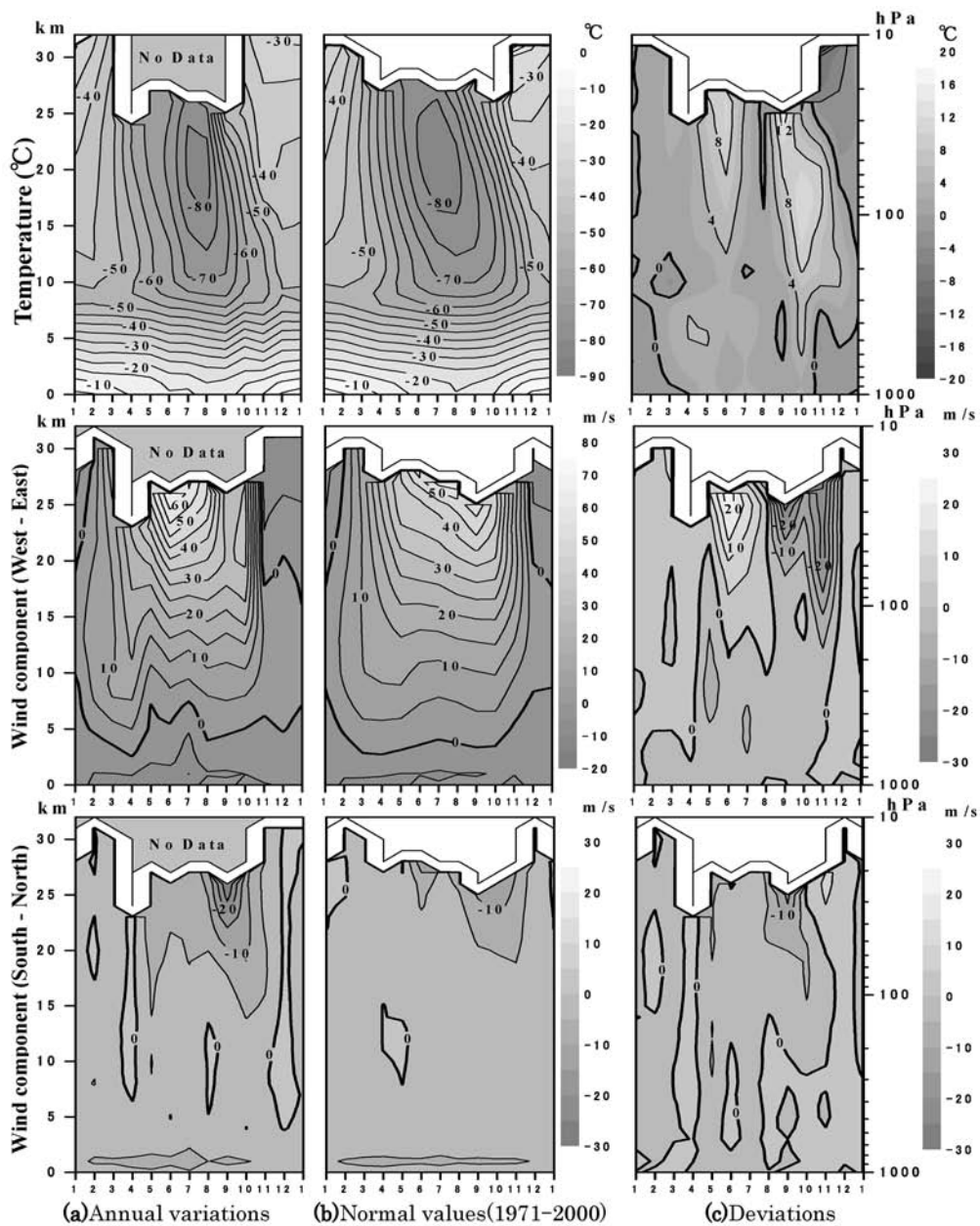


図 6 気温・風速の指定気圧面月平均値年変化

(a) 2002 年の月平均値, (b) 平年値 (1971-2000), (c) 偏差 ((a)-(b))

Fig. 6. Annual variations in upper air temperature ( $^{\circ}\text{C}$ ) and upper wind components (m/s) (a), normal values (1971-2000) (b), and deviations (c).

程度のピークがある程度だが、2002年は9月から11月の高度20km付近に強い北風成分が現れ、ピークは25 m/sを超えた。

図7に30 hPa面の月平均高度場（気象庁解析資料）と平年偏差を示す。4月から次第に形成されていった極渦は、例年同様8月には最盛期を迎えたが、東経180度側には大きな正偏差が認められた。例年はその後11月まで低緯度側から極渦が徐々に弱まるが、2002年は9月下旬に極渦が2つに分かれ（図8）、低緯度の空気が流入したため極渦が一気に弱まり、9-11月に南極大陸に大きな正偏差域が現れた。この成層圏突然昇温については、南半球では初めて観測されたものである（Roscoe *et al.*, 2005）。

### 3.4. 高高度レーウィンゾンデ観測

3.2節 観測経過で述べたとおり、第43次隊では00 UTCの観測において「より高い高度までのデータ取得」を目的とする、「高高度レーウィンゾンデ観測」を開始した。12 UTCではなく00 UTCを対象としたのは、12 UTCに比べて気温測定時の日射の影響をより少なくするためであり、「気候値」と考えを同じくしている。観測は、気象庁高層気象台（つくば）で行われている高高度レーウィンゾンデ観測と同様、1200 gの気球を使用した（表6）。1200 g気球を使用することによる上昇速度の低下を防ぐためにヘリウムガスの使用量を増やした（浮力錘浮力で2000 g）。観測結果（表7）によると、高高度レーウィンゾンデ観測では12 UTCで行っているレーウィンゾンデ観測に比べ年平均で、2.5 km（2.3 hPa）程度上空までの観測値を得られた。前掲の図4は高高度レーウィンゾンデ観測値であるが、これまで密な直接観測が行われていなかった、高度40 km付近の温度こう配がとらえられており、今後の解析が待たれるところである。

なお、00 UTC観測で行った高高度レーウィンゾンデ観測では、4月の月平均到達高度は12 UTCのレーウィンゾンデ観測よりも低かった。昭和基地では、上空の気温が $-70^{\circ}\text{C}$ 以下になることが予想される期間には、気球の低温硬化による低高度破裂を避けるために、気球の油漬け処理を行うこととしているが、4月は前述の気温の低下が予想されないため、油漬け処理を行っていない。4月の昼夜では、気球が受ける日射の影響の差は大きい。つまり、12 UTC観測では日射を受けた気球自体が温まるが、00 UTC観測では日射を受けず気球が硬化する可能性がある。油漬け処理には $-70^{\circ}\text{C}$ という目安はあるものの、日中と夜間の観測で基準を変える必要があるかもしれない。

## 4. オゾン観測

### 4.1. 観測方法と測器

ドブソン分光光度計（Beck-122）を用いた全量・反転（高度分布）観測、RS2-KC96型オゾンゾンデ（明星電気製）を用いたオゾン高度分布観測、及び地上オゾン濃度観測装置を用い

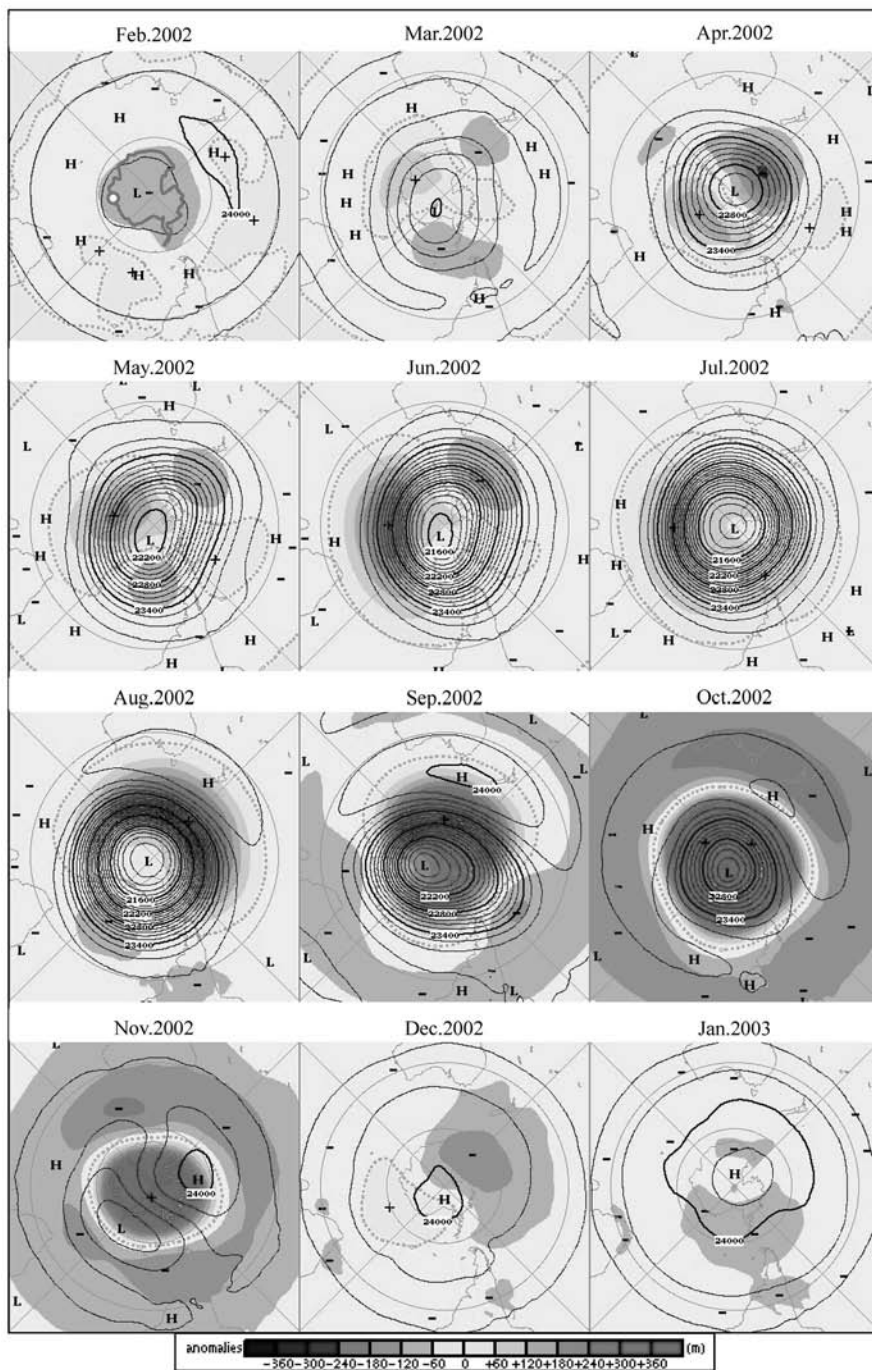


図 7 南半球月平均 30 hPa 高度及び平年偏差 (2002 年 2 月~2003 年 1 月)  
 Fig. 7. Monthly mean weather chart on 30 hPa (Feb. 2002-Jan. 2003).

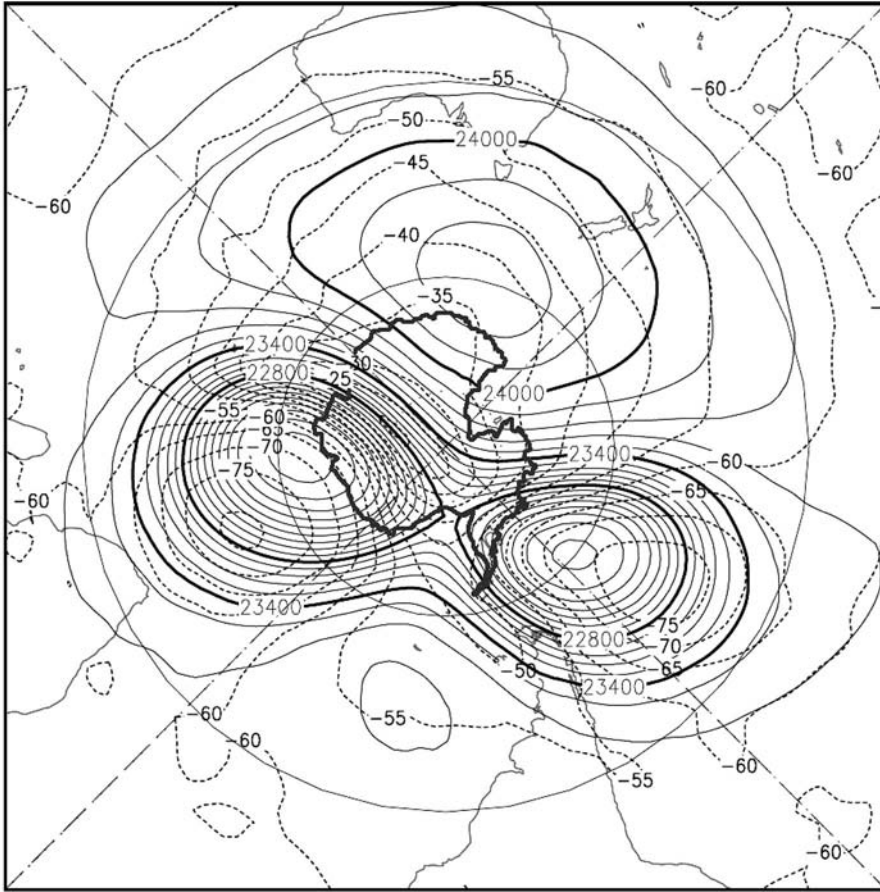


図 8 南半球 30 hPa 面天気図 (2002 年 9 月 25 日 12 UTC). 高度場 (実線) と気温 (点線) を示す.  
 Fig. 8. Weather chart on 30 hPa (Sep. 25, 2002 12 UTC). Heights (solid line contour) and temperature (dot line contour) are shown.

た地上オゾン濃度の連続観測を行った。

第 43 次隊では国内で制御パソコンの Windows 化及び調整 (宮川, 2002) を行った Beck-122 を持ち込んだ。2002 年 1 月に持ち込んだ Beck-122 と第 42 次隊まで使用していた Beck-119 との比較観測を実施し、データを引き継いだ。観測が終了した Beck-119 は制御パソコンの Windows 化及び調整のため第 42 次隊が持ち帰り、2003 年 1 月には、第 44 次隊が持ち込んで再度比較観測を行った。

全量・反転観測とオゾンゾンデ観測結果は、電子メールで毎月 (オゾンホールの生成から消滅期間である 8 月から 12 月においては、WMO 事務局の要請により随時) 気象庁経由で WMO 事務局へ報告し、その結果は、WMO OZONE BULLITEN として世界の関係機関に配布された。また、気象庁から WMO 世界オゾン紫外線データセンター (カナダ) にも送られ

た。観測器材を表 9 に示す。

4.1.1. オゾン全量観測

オゾン観測指針（オゾン全量・反転観測編）（気象庁，1991）に基づき，ドブソン分光光度計を用いて太陽直射光及び天頂散乱光の観測を行った。ドブソン分光光度計は器械内部に取り入れた紫外線光について，指定された二つの波長をそれぞれ取り出し，その強度比を測定することでオゾン全量を観測する器械である。太陽光では AD 波長組（A 波長組：平均波長 305.5 nm と 325.0 nm，D 波長組：平均波長 317.5 nm と 339.9 nm）を用いた観測を，太陽の北中時及び午前・午後の大気路程  $\mu=1.5, 2.5, 3.5$  ( $\mu$ : 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) の時刻に行った。太陽高度が低くなる時期は，精度は落ちるが測定が可能な CD 波長組（C 波長組：平均波長 311.5 nm と 332.4 nm，D 波長組：平均波長 317.5 nm と 339.9 nm）を用いた観測を大気路程  $\mu=3.5-6.5$  のうち 0.5 刻みの時刻を目安に時期によって切り替えて行った。太陽光による観測ができない冬季には，月光による AD 波長組による観測を行った。またこれら異なった手法による測定 of 相互比較の特別観測を行った。

4.1.2. オゾン反転観測

オゾン観測指針（オゾン全量・反転観測編）（気象庁，1991）に準じて，ドブソン分光光度計を用いて日中の晴天天頂散乱光を連続観測した。反転観測はオゾンの高度分布を得るため

表 9 昭和基地におけるオゾン観測器材  
Table 9. Sensors for ozone observations at Syowa Station.

観測項目	使用測器等	型式及び測器番号	単位及び測定範囲	構成	備考
オゾン全量・反転観測	オゾン分光光度計	Beck No. 122	m atm-cm		石英プリズムを使って太陽光をスペクトルに分け，測定しやすい2種の波長の光を取り出し強度比を測定する
オゾンゾンデ観測	オゾンゾンデ	RS2-KC96	hPa	気圧	鉄ニッケル合金空こう気圧計（静電容量変化式）
			℃	気温	ビード型ガラスコートサーミスタ（アルミ蒸着加工）
			mPa	オゾン計測部	ピストンポンプ（吸気および導気管：ポリエチレン製） 反応管（アクリル樹脂製単管，白金電極，炭素電極，液温センサー） 反応液（ヨウ化カリウム，臭化カリウム水溶液）
				風向 風速	ゾンデ観測による高度計算値と自動追跡型方向探知機の測角値から算出
				電池	B96KC型注水電池
			気球	2000 g気球 ※標準浮力：3400 g	
			その他	オゾンゾンデ巻下器（50 m）	
地上オゾン観測	オゾン濃度計	Dylec MODEL1100	0~200ppbv	観測装置	紫外線吸収法，最小指示値0.1ppbv，12秒サンプリング
	空気精製器	Dylec MODEL1400		検定装置	原料ガス（空気）を乾燥後，含まれるオゾン分解，NO <sub>2</sub> を除去し精製空気にする
	オゾン発生器	Dylec MODEL1410	0~1000ppbv		UVランプによる紫外線照射

の観測で、天頂晴天時の午前・午後可能な限り行った。観測時刻は太陽天頂角が 80–90 度の範囲（ショート反転観測: A・C・D 波長組で観測）及び 60–90 度の範囲（ロング反転観測: C 波長組のみで観測）の 2 種類がある。制御パソコンの Windows 化により操作が容易になったことから、第 43 次隊では対象となる全期間について A・C・D 波長組で観測を実施し、ロング及びショート反転の観測値を得た。

#### 4.1.3. オゾンゾンデ観測

オゾン観測指針オゾンゾンデ観測編（気象庁，1997）に準じて、RS2-KC96 型オゾンゾンデをゴム気球に吊り下げ、上空約 35 km までのオゾン分圧、気圧、気温及び風向、風速の高度分布を観測した。オゾンゾンデはポンプで大気を吸入し、大気中のオゾンと反応液（ヨウ化カリウム、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測ることによりオゾン量を求めている。

オゾンゾンデの信号受信等の地上施設は、高層気象観測施設を使用した。オゾンゾンデ飛揚前の校正には、第 42 次隊から引き継いだオゾン発生器、オゾンゾンデ試験器を使用した。また、流量計は第 42 次隊まで使用していた石けん膜流量計が飛揚前の反応管を取り付けた状態での流量測定が困難なため、デジタル流量計（流量値をデジタル表示するマスフローメータ）を新たに使用した。流量計についての詳細は 4.4.1 項で報告する。飛揚には 2000 g ゴム気球を使用し、ヘリウムガスを充填して浮力錘浮力 3400 g とした。また、高層気象観測同様、冬期間の下部成層圏の低温によりゴム気球が硬化して到達高度が低下するのを防ぐため、5 月から 10 月は気球の油漬け処理を行った。さらに上空で気温が極端に低くなり、反応管内の反応液が凍結することが予想される場合は、オゾンゾンデ内に収納される注水電池とポンプ及び反応管との間の仕切りを薄くするなどの処理を行い、注水電池の発熱を利用して凍結を防いだ。観測は原則として週 1 回行ったが、オゾンホールの時期は週 2 回の観測を行った。

飛揚は地上風が弱い晴天の日で高層気象観測を行っていない時間帯に行い、データの解析は観測終了後直ちに行った。極夜期でドブソン分光光度計によるオゾン全量観測値が得られない場合を除き、飛揚時刻に近いオゾン全量観測値を用いて補正を行った。

#### 4.1.4. 地上オゾン濃度観測

観測は地上付近の大気に含まれる微小なオゾン濃度を、紫外線吸収方式のオゾン濃度計（Dylec, MODEL 1100）を使用し測定した。観測装置は放球棟横の旧水素ガス発生器室内にあり（図 1 の⑥）、大気取り入れ口は同建物主風向側（北東側）の地上から 5 m の高さにある。大気は取り入れ口からテフロン配管により流量毎分 1.5 l でオゾン濃度計に取り入れられ、サンプリング間隔 12 秒でオゾン濃度の連続観測を行った。オゾン濃度計は 4 台で運用しており、2 台ずつ昭和基地での観測と国内に持ち帰りオーバーホールする運用を行っている。昭和基地の 2 台は観測器と予備器として、およそ半年で交換している。昭和基地への持ち込

み前と持ち帰り後には気象庁南極観測事務室の検定装置（気相滴定法（GPT））で検定を行った。

## 4.2. 観測経過

### 4.2.1. オゾン全量観測

表 10 に、月別オゾン全量観測及びオゾン反転観測日数並びに観測に使用した光源の内訳を示す。5-7 月は太陽高度角が低いため観測可能日数が少なく、第 43 次隊ではこの期間に太陽光による観測はできなかった。したがって 5-7 月の極夜期は月光による観測のみを行ったが、観測に必要な月光の強度は満月に近い月齢、かつ高度角が高い時のみとなるため、晴天が続いても観測可能な日数は月に 1 週間程度であった。7 月は曇天が続き、1 度もデータが取得できなかった。

### 4.2.2. オゾン反転観測

第 35 次隊より測器が自動化され、さらに第 43 次隊での制御パソコンが Windows 化されたことにより効率的に大量のデータを取得できるようになった。なお、太陽高度角が低い 5-8 月、及び太陽高度に規定の変化がない 12 月は、必要なデータセットが得られないため観測はできない。

### 4.2.3. オゾンゾンデ観測

第 43 次隊では、オゾンゾンデを定常気象観測用として 54 台、ILAS-II 検証用として 24 台、計 78 台を持ち込んだ。ILAS-II 検証用の 24 台は、環境観測技術衛星 ADEOS-II の打ち上げが 2002 年 12 月に延期され、2003 年 2 月以降に検証のための観測を行うことになったため、すべて第 44 次隊に引き継いだ。定常気象観測用の 54 台のオゾンゾンデは、基本的に毎週水曜日、オゾンホール期には週 2 回観測を行った。飛揚状況を表 11 に示す。

### 4.2.4. 地上オゾン濃度観測

第 43 次隊では、第 41 次隊が持ち帰ったオゾン濃度計（シリアル番号 101A, 101B）をオーバーホールし、使用前検定を行った上で昭和基地に持ち込んだ。2002 年 1 月に第 42 次隊で

表 10 月別オゾン全量観測およびオゾン反転観測日数  
Table 10. Number of total ozone observations and ozone Umkehr observations with the Dobson spectrophotometer at Syowa Station.

	2002												2003	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	20	27	23	5	5	—	13	24	31	30	30	31	239	
回数 内訳	直射光 AD	58	55	3				56	67	102	106	116	563	
	〃 CD	24	67	39			4	60	57	60	62	62	435	
	天頂光 AD	80	89	13			1	86	112	145	143	136	805	
	〃 CD	37	107	89			43	81	81	83	82	82	685	
月光		2	14	20	23		4	4					67	
反転観測日数	9	7	8					7	8	16		5	60	

表 11 オゾンゾンデ観測状況

Table 11. Date of observations and attained altitude of ozonesonde at Syowa Station.

年 月	2002											
	2月		3月		4月		5月		6月		7月	
日 観測 終了 気圧 (hPa)	8	6.9	6	7.4	5	192.9 *1	8	9.7 *2	5	11.1 *2	7	4.9 *2
	20	6.3	13	5.1	13	3.7	16	17.3 *2	13	6.9 *2	17	3.8 *2
	27	5.5	22	15.5	27	5.1	27	7.9	28	4.5	30	5.4 *2
			28	4.9								
年 月	2002						2003					
	8月		9月		10月		11月		12月		1月	
日 観測 終了 気圧 (hPa)	4	4.3 *2	1	10.8	3	6.5	1	4.3	4	18.4	8	8.1
	11	3.7 *2	4	13.4	7	11.4	4	6.4	11	7.2	20	6.0
	17	5.1	7	8.8	11	4.7	8	5.6	21	11.6	27	9.2
	21	5.8	10	10.8	16	5.7	16	9.2	31	4.1		
	26	4.2	14	10.4	20	3.3	20	6.4				
	30	84.2 *1	18	14.2	24	5.6	28	4.9				
			21	6.5	28	4.7						
		25	12.8									
		30	6.0									

\*1 : 気球破裂・オゾン反応不良などにより観測終了気圧が30hPaに達せず、補正係数（ドブソン比）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、補正係数（ドブソン比）なし。

使用していたオゾン濃度計観測器（シリアル番号 456）及び予備器（シリアル番号 166）の 2 台と合わせ、計 4 台で相互比較検定を行った後、2002 年 2 月 1 日からオゾン濃度計（101A）を観測器として観測を開始した。

2002 年 7 月 3 日に観測器（101A）と予備器（101B）の測器相互検定を行ったが、予備器（101B）の値が安定しなかったため、2 台での並列観測を行い、予備器（101B）が安定した 2002 年 9 月 3 日に測器相互検定を再び行い精度確認を行った後、観測器と予備器を交換しオゾン濃度計（101B）を観測器とした。

越冬交代時の 2003 年 1 月 14 日には第 43 次隊持ち込みの 2 台（101A, 101B）及び第 44 次隊持ち込みの 2 台（166, 456）の計 4 台で相互比較検定を行い測器の感度確認を行った。2003 年 1 月 31 日まで使用した 2 台（101A, 101B）は国内に持ち帰り、使用後検定を行った。

越冬中、おおむね順調に観測を行った。

### 4.3. 観測結果

#### 4.3.1. オゾン全量観測

2002 年の昭和基地上空の月平均オゾン全量については、取得データの少ない 5 月を除いて、9 月までは、オゾンホールが明瞭に現れるようになってからの 20 年間（1981-2000 年）の平均値とほぼ同じ程度であったが、10 月以降については、オゾンホールが明瞭に現れる以



前の平均値（1961-1980年）よりは少ないものの1981-2000年の平均と比べると多くなっていった（オゾン層観測報告2002（気象庁，2003））。

図9に2002年2月-2003年1月のオゾン全量観測結果を日代表値で示す。オゾン全量は、太陽光による観測を再開した8月中旬にオゾンホールが目安である220 m atm-cm（Dobson Unit, 以下「DU」という）を下回る値を観測した。その後、9月前半にかけて短期間に大きく増減（9月6日の200 DUから9月9日に398 DUまで増え、9月17日には193 DUまで減少）し、9月26日には第43次隊では最低値となる189 DUを記録した。10月にも短期間での大きな増減（10月1日極小値202 DU, 10月4日極大値269 DU, 10月9日極小値200 DU, 10月15日極大値407 DU, 10月17日極小値266 DU, 10月25日期間最大値425 DU）が数度みられたが、それ以降は多めに推移した。1981年以降では10月の月平均として1981年と同じ値（318 DU）で最も多く、11月（333 DU）は1982年（349 DU）、1988年（335 DU）に次いで3番目に、12月（327 DU）も4番目に多い値となった。なお、日代表値が400 DUを越えた（10月15日の407 DU及び10月25日の425 DU）のは、1994年11月1日以来であった。

例年オゾンホールは、極渦が徐々に勢力を弱め縮小することにより解消してゆく。しかし2002年のオゾンホールは、例年より早い時期に繰り返し起こった成層圏突然昇温や、9月下旬に極渦が二つに分裂したこと（南半球初の大昇温）、下部成層圏で北成分の風の流れが発生

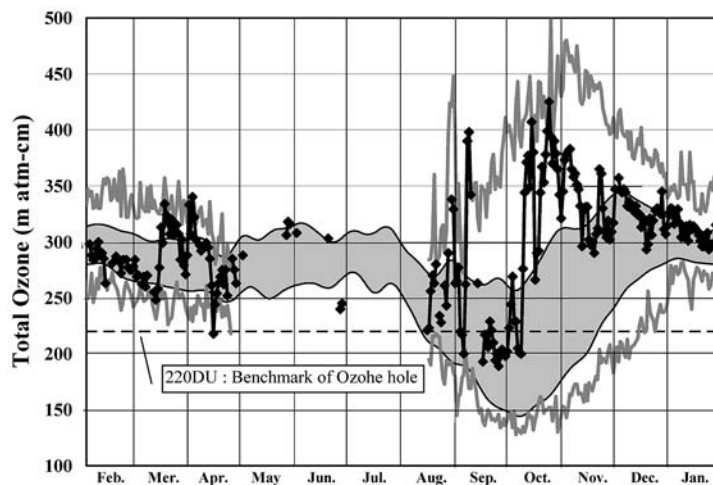


図9 オゾン全量の年変化（2002年2月-2003年1月）

◆: 日代表値

陰影部: オゾンホール期間（1981年-2000年）の標準偏差の範囲,

薄い線: 観測開始（1961年）以降の最大・最小値

Fig. 9. Annual variations in total ozone (Feb. 2002–Jan. 2003).

◆: Daily representative data (Feb. 2002–Jan. 2003).

Gray area: The standard deviations ( $\pm\sigma$ ) of 20 years during ozone hole period (1981–2000).

Thin line: Maximum and minimum values since the start of observations (1961).

し低緯度からの高濃度のオゾンが流入したことなど、複数の気象条件が関連しあって、解消が例年より早まったと推察される。

#### 4.3.2. オゾン反転観測

図 10 にオゾン反転観測による層別オゾン量の高度分布を示す。2002 年 4-8 月及び 12 月は原理的にロング反転観測データが得られない。図中央付近の極夜明け観測開始の 9 月 24 日から 10 月 5 日の観測では、下から 2 層目 (250-125 hPa) から 3 層目 (125-62.5 hPa), 4 層目 (62.5-31.2 hPa) のオゾン量が他の期間に比べて少ない。

#### 4.3.3. オゾンゾンデ観測

図 11 に、2002 年 1 月~2003 年 1 月のオゾン分圧 (mPa) の時間高度断面を示す。通常もっとも高い濃度分布になる高度 14-20 km 付近のオゾン分圧は、8 月中旬まではほぼ 10 mPa 以上を示していたが、オゾンホールが発達に伴い 8 月下旬以降低下し、9 月下旬には 5 mPa 以下の低い分圧が観測された。その後、オゾンホールは分裂・縮小し 10 月初めから高度 20-22 km を中心にオゾン分圧の高い領域が認められた。

#### 4.3.4. 地上オゾン濃度観測

図 12 に 1997 年 2 月~2003 年 1 月までの観測値 (日別値) を示す。例年通り昭和基地における地上オゾン濃度は、夏季に濃度が小さく、冬季に大きくなるという季節変化を示し、極夜明けから春季にかけてデータのばらつきが大きいことがわかる。図 12 に示した 1 年間の移動平均では、1998 年から 2002 年まで、徐々に地上オゾン濃度が増加している傾向が見受けられ、長期的な変動は明らかではないが、今後の観測結果が待たれるところである。一方、これまで昭和基地では春季の地上オゾンの濃度がほとんどゼロになる急減現象が報告されて

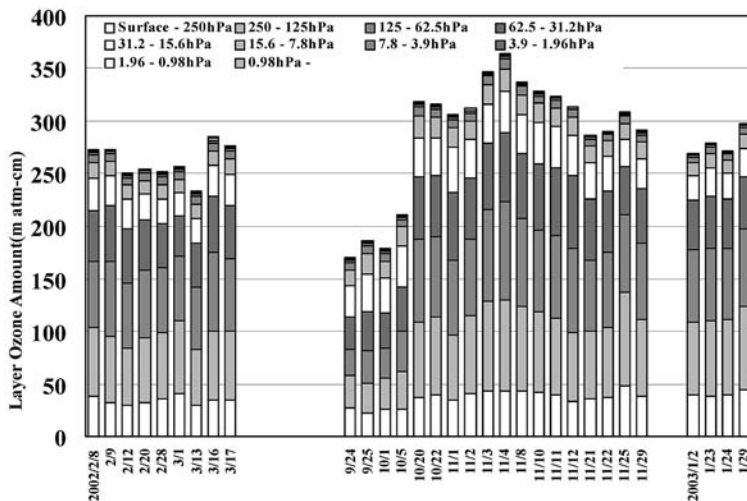


図 10 反転観測による層別オゾン量 (2002 年 2 月~2003 年 1 月)

Fig. 10. Amount of ozone for each layer obtained by Umkehr observations (Feb. 2002-Jan. 2003).

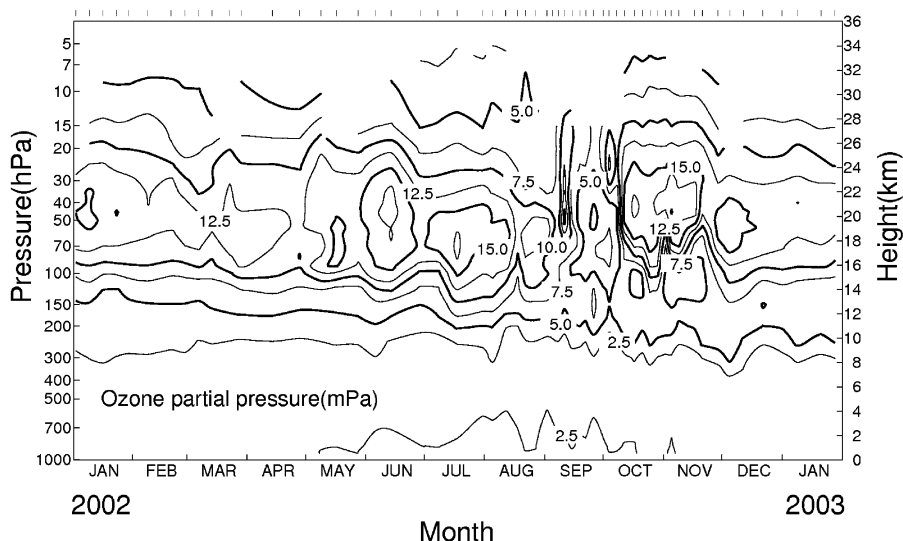


図 11 オゾンゾンデ観測によるオゾン分圧の時間高度断面図 (2002 年 1 月~2003 年 1 月)  
 Fig. 11. Time-height cross section of ozone partial pressure (mPa) obtained by ozonesonde observations (Jan. 2002–Jan. 2003).

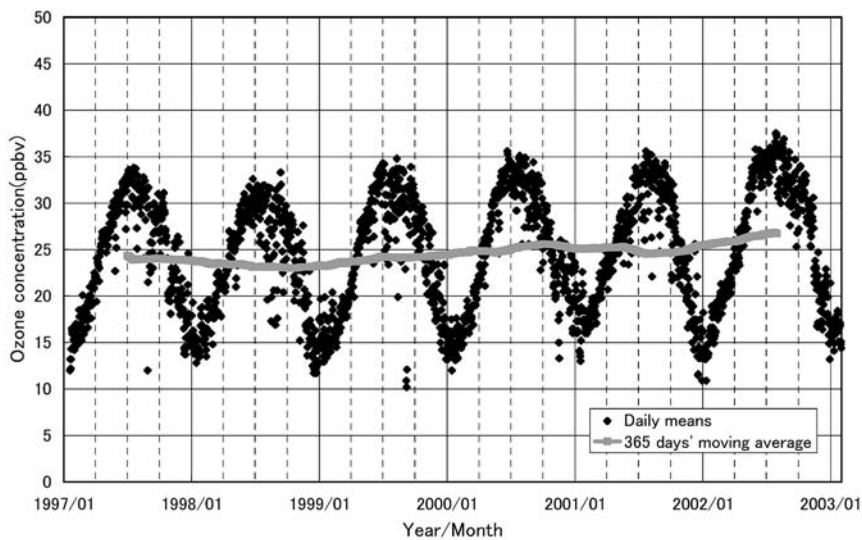


図 12 地上オゾン濃度日別値 (1997 年 2 月~2003 年 1 月)  
 Fig. 12. Daily means of surface ozone concentrations (Feb. 1997–Jan. 2003).

いる (青木, 1997; 江崎ら, 1998) が, 第 43 次観測中は, オゾン濃度がやや減少することはあったが急減現象は無かった。

#### 4.4. オゾンゾンデについて

##### 4.4.1. オゾンゾンデ観測の流量測定

オゾンゾンデの地上流量値は、飛揚前点検において反応管を通る単位時間の空気量を測定し、観測時の基準流量とするものである。

飛揚前点検の流量計接続系統図を図 13 に示す。第 43 次隊ではオゾンゾンデの飛揚前点検で使用する流量計にオゾンゾンデの吸気側に設置可能なデジタル流量計（KOFLOC サーマルマスフローメータ MODEL3750）を使用した。この流量計は標準状態に換算した流量値を表示するため、気圧温度補正を計算して使用した。第 40 次隊から第 42 次隊まで使用していた接続方法では、石けん膜流量計をポンプの排気側に設置しなければならず、飛揚前のポンプに反応管を取り付けた状態での流量測定では、排気口以外にポンプと反応管の隙間から漏れる空気があったことから、流量測定に多少の誤差があった。なお、第 39 次隊以前はオゾン発生器に付属していた差圧式流量計を吸気側に設置し使用している。

デジタル流量計を用いるにあたって、石けん膜流量計との差異を確認するため、2002 年 1 月、2002 年 7 月、2003 年 1 月に石けん膜流量計との比較を行った。デジタル流量計と石けん膜流量計の比較接続図を図 14、比較結果を図 15 に示す。デジタル流量計は石けん膜流量計とほぼ同じ値を示しており、経年変化は見受けられない。

第 40 次隊から第 42 次隊までの接続方法で、ポンプと反応管の隙間から漏れる空気などの程度あるかを把握するため、第 43 次隊では飛揚直前の流量測定時に、吸気側のデジタル流量計で測定するとともに、反応管の排出口から出される空気を石けん膜流量計で測定した。比較結果を図 16 に示す。吸気側と排気側がほとんど同じ流量値で漏れる空気がほとんど無いものもあるが、排気側のほうが極端に小さい場合も見られた。つまり、ポンプと反応管の隙間から空気が漏れていることが多く、その漏れている量は一定ではない。

また、ポンプの基本性能を確認するため、ポンプの吸気側と排気側の流量の比較を行った。

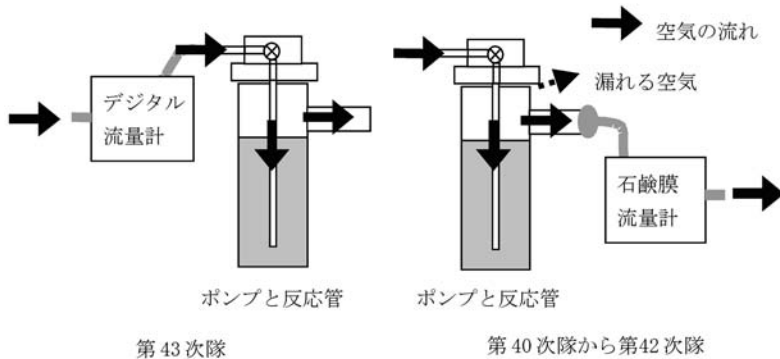


図 13 飛揚前点検時の流量計接続系統図

Fig. 13. Schematic diagram of air flowmeter at the pre-flight test.

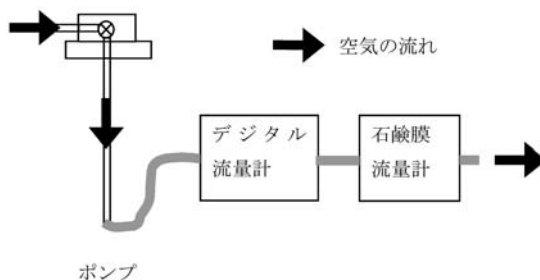


図 14 デジタル流量計と石けん膜流量計の比較テスト時の接続図  
 Fig. 14. Schematic diagram of mass flowmeter and film flowmeter test.

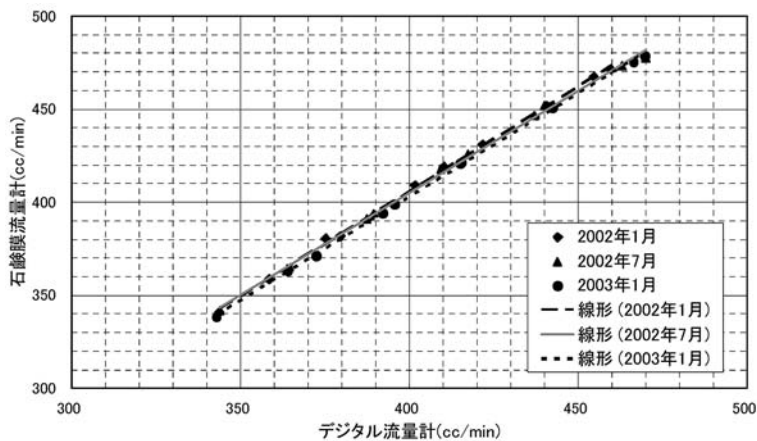


図 15 デジタル流量計と石けん膜流量計の比較テスト結果  
 Fig. 15. Flow rate of mass flowmeter and film flowmeter.

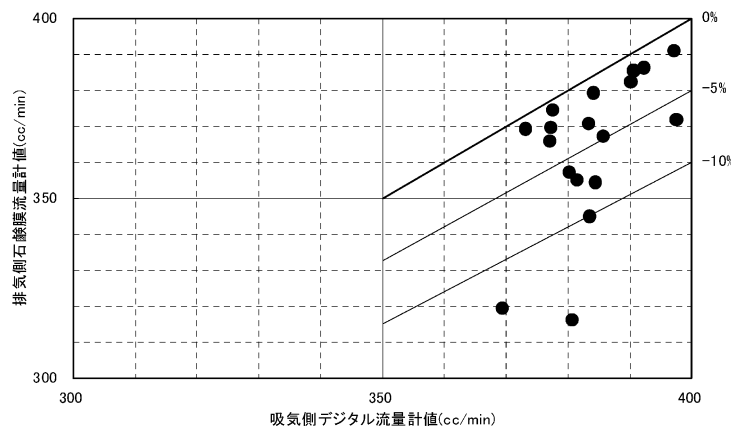
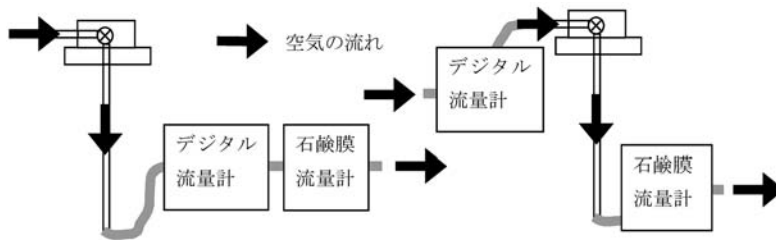


図 16 吸気側デジタル流量計と排気側石けん膜流量計の流量比較  
 Fig. 16. Flow rate of inlet and outlet for air at the ground test.

接続図を図 17 に、比較結果を図 18 に示す。両流量計とも排気側に接続した (1) に比べて、吸気側にデジタル流量計、排気側に石けん膜流量計を接続した (2) では、デジタル流量計を接続した吸気側の流量が増え、石けん膜流量計を接続した排気側の流量が減っている傾向がある。これは、流量計の接続の仕方によって流路の抵抗が変わり、ポンプの性能が敏感に変化しているためと思われる。

これらのことから、流量測定には不安定な部分もあることがわかった。

地上流量値が変わることにより観測結果に影響があるのは、ドブソン比 (correction factor) の部分のみである。ドブソン比はドブソン分光光度計で観測されたオゾン全量観測値に合うようにオゾン分圧に掛ける係数である。一方、地上流量値はオゾン分圧の計算には次式



(1) 「ポンプ」 - 「デジタル」 - 「石鹸膜」 (2) 「デジタル」 - 「ポンプ」 - 「石鹸膜」

図 17 ポンプの吸気側と排気側の流量の比較接続図 ((1) 両方排気, (2) 吸気 [デジタル] と排気 [石けん膜])

Fig. 17. Schematic diagram for pump circumference experiments.

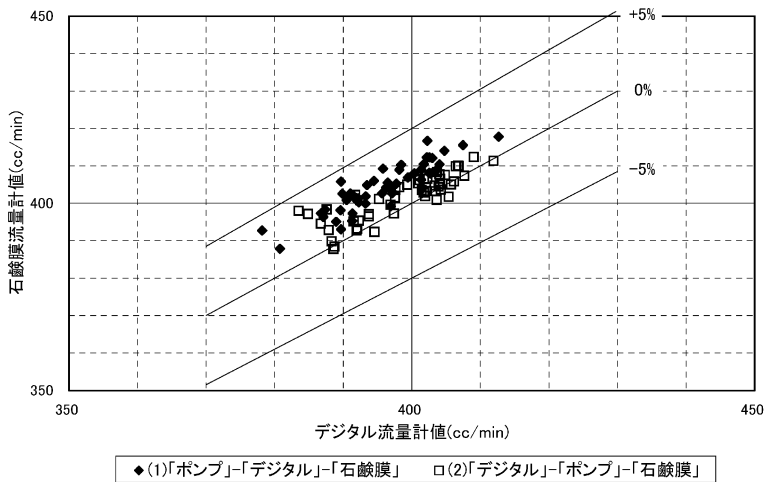


図 18 ポンプの吸気側と排気側の流量の比較  
(1) 両方排気, (2) 吸気 [デジタル] と排気 [石けん膜])

Fig. 18. Flow rate of air sample at inlet and outlet for air by pump.

のように関わっている。

$$p_P = b \cdot I_P \cdot \frac{T_{cP}}{V_{P_0} \left\{ 1 - k \left( \frac{1}{P} - \frac{1}{P_0} \right) \right\}} \quad (1)$$

$p_P$ : オゾン分圧 (mPa),  $b$ : 定数,  $I_P$ : 反応電流 ( $\mu\text{A}$ ),  $T_{cP}$ : 反応管内の温度 (K),

$V_{P_0}$ : 地上流量値 ( $\text{cm}^3/\text{min}$ ),  $k$ : 定数,  $P$ : 気圧 (hPa),  $P_0$ : 地上気圧 (hPa)

式 (1) によると, 地上流量値が  $\alpha$  倍になると, オゾン分圧は  $1/\alpha$  になる。つまり, 地上流量値が変わるとドブソン比の値が変わってくることになるが, ドブソン比が過大, 過小では統計データとして採用されないなど, ドブソン比は観測の精度を確認する目安になるため, 今後はポンプの特性を把握し, データの補正について検討する必要がある。

## 5. 地上日射・放射観測

### 5.1. 観測方法と測器

地上日射放射観測は WMO 全球ベースライン地上日射放射観測網 BSRN (Baseline Surface Radiation Network) の観測点としての条件を満たすために, 第 39 次隊で新たに毎秒サンプリングの上向き反射放射観測を開始 (岸ら, 2002) し, 第 40 次隊では下向きのデータサンプリングも毎秒に変更して観測を開始した (東島ら, 2003)。第 43 次隊ではこれらの観測システムで引き続き観測を行うとともに, 下向き日射放射観測のノイズ対策のためにデータロガーの拡張ターミナルを気象棟屋上に設置し, 拡張ターミナルとデータロガー間の通信をデジタル化した。

波長別紫外域日射観測は, 第 42 次隊より使用を開始した BREWER MK III #168 及び周辺機器を引き続き使用し観測を行った。

大気混濁度観測については, 収録ソフトウェアの Windows 化を行ったため, 観測システムの更新を実施した。

観測の種類と使用した測器を表 12 に示す。

#### 5.1.1. 下向き日射放射観測

観測項目は以下の通り。データは 1 秒ごとにデータロガーで収集した後に処理した。観測は前室屋上及び観測架台上で行った。

##### (1) 全天日射観測

器温センサー付精密全天日射計を用いた。

##### (2) 直達日射観測

器温センサー付直達日射計を用いた。感部は太陽追尾装置 (STR-01 英弘社製) に搭載した。

また, オゾン全量観測時刻で, 太陽面に雲がかかっている時を選び, ホイスナー・デュ

表 12 地上日射・放射観測の種類と使用測器  
 Table 12. Instruments for surface radiation observations at Syowa Station.

観測項目	使用測器	感部型式	測定範囲	測器番号	観測 最小単位	サンプリング 間隔	
下向き放射	全天日射量	精密全天日射計 (器温センサー付)	KIPP&ZONEN CM21T	310-2800 nm	738	0.01 MJ/m <sup>2</sup>	1秒
	直達日射量 (大気混濁度)	直達日射計 (器温センサー付) 太陽追尾装置	EKO MS-53F	300-2800 nm	P92009	0.01 kW/m <sup>2</sup>	1秒
	散乱日射量	精密全天日射計 (器温センサー付) 太陽追尾装置 遮蔽ボール	KIPP&ZONEN CM21T	310-2800 nm	990574	0.01 MJ/m <sup>2</sup>	1秒
	B領域紫外線量	紫外域日射計	EKO MS-210W	280-315 nm	S89123.05	0.01 kJ/m <sup>2</sup>	1秒
	長波長放射量	精密赤外放射計 (器温センサー付)	KIPP&ZONEN CG4	4.5-42 μm	990001	0.01 MJ/m <sup>2</sup>	1秒
上向き放射	反射量	精密全天日射計 遮蔽バンド	KIPP&ZONEN CM21	310-2800 nm	980520	0.01 MJ/m <sup>2</sup>	1秒
	長波長放射量	精密赤外放射計 (器温センサー付)	KIPP&ZONEN CG4	4.5-42 μm	10565	0.01 MJ/m <sup>2</sup>	1秒
	B領域紫外線量	紫外域日射計	EKO MS-210W	280-315 nm	S90091.02	0.01 kJ/m <sup>2</sup>	1秒
その他	大気混濁度	サンフォトメータ	EKO MS-110	368 500 675 778 862 938 nm	S98153.01		10秒
	波長別 紫外域日射量	ブリューワー 分光光度計	SCI-TEC BREWSTER	286.5-363 nm	#168	0.01 kJ/m <sup>2</sup>	1時間

ボアの混濁係数を求めた。

### (3) 散乱日射観測

太陽追尾装置 (STR-01 英弘社製) に搭載した遮へい装置付精密全天日射計により観測した。遮へいボールは、直達日射計の開口角と同等の視直径を持ち、太陽追尾装置に連動して、太陽からの直射光を遮るように設定されている。

### (4) B領域紫外線観測

全天型紫外域日射計を用いて B領域紫外線全量を観測した。測器定数は、ブリューワー分光光度計による UV-B量観測値との比較により月ごとに求めた。

### (5) 長波放射観測

器温センサー付の精密長波放射計により観測した。

#### 5.1.2. 上向き反射放射観測

観測棟下の海水上に設置した観測鉄塔のアームに測器を取り付けた (図 1 ⑤ の位置)。



データは下向き日射放射観測同様、1 秒ごとにデータロガーで収集した後に処理した。

周辺からの散乱光を除去するために、感部の周囲に遮へいバンドを取り付けて観測を行った。

#### (1) 反射日射観測

器温センサー付精密全天日射計により観測した。

#### (2) 長波放射観測

器温センサー付の精密長波放射計により観測した。

#### (3) B 領域紫外線反射観測

全天型紫外域日射計を用いて B 領域紫外線全量を観測した。

### 5.1.3. 波長別紫外域日射観測

ブリュワー分光光度計 (SCI-TEC #168) を使用して、波長別 (290–325 nm で 0.5 nm 刻み往復スキャン) 紫外域日射量を紫外域日射観測指針 (気象庁, 1993b) に基づき (24 LT を除く) 毎正時に、波長別 (286.5–363.0 nm で 0.5 nm 刻み片道スキャン) 紫外域日射量を毎時 30 分に観測した。

測器の光学系全体の波長別感度を監視するための外部標準ランプ点検を原則として 10 日ごとに実施した。

ブリザード等の強風時には測器保護のため受光部に保護具を取付け、観測を中断した。

### 5.1.4. 大気混濁度観測

サンフォトメータを用い、波長別直達光強度 (368, 500, 675, 778, 862 nm の 5 波長) をオゾン全量観測時刻付近で、太陽面に雲が無い時を選び、1 日 1–3 回波長別のエアロゾルの光学的厚さ (Aerosol Optical Depth, 以下「AOD」という) を求めた。また、前述の 5 波長の AOD より、オングストロームの波長指数 ( $\text{\AA}$ ngström  $\alpha$ ) 及び混濁係数 ( $\text{\AA}$ ngström  $\beta$ ) を求めた。なお、938 nm の波長データについては国内で検定が不可能であるため、精度検証できず解析からは除外した。

## 5.2. 観測経過

### 5.2.1. 下向き日射放射観測

下向き日射放射観測では 2002 年 4 月 6 日に太陽追尾装置が低温により停止し、データの欠測が生じた。また、2002 年 9 月 15 日~17 日にかけて A 級ブリザードにより観測装置の電源が停止し、下向き観測の全要素が欠測となった。長波放射観測では 3 月 13 日から測器温度変換器の障害により断続的に測器温度が不安定となった。この現象は原因不明のまま 10 月 18 日まで継続した。測器温度の観測値については補正が不可能な場合は欠測とした。測器温度は長波放射量の算出に不可欠な要素であるため、これにより 3 月 (6 日間分)、4 月 (8 日間分)、5 月 (1 日間分)、7 月 (10 日間分)、8 月 (3 日間分)、10 月 (1 日間分) の計 29 日間の

長波放射量の日別値が欠測となった。

### 5.2.2. 上向き反射放射観測

上向き反射放射観測では強風により2月13日未明に観測鉄塔が倒壊したため、3月28日まで全要素が欠測となった。

### 5.2.3. 大気混濁度観測

大気混濁度観測については、おおむね順調に経過した。

### 5.2.4. 波長別紫外域日射観測

第42次隊より観測を開始した BREWER MK III #168 の精度管理のために、第43次隊では第41次隊以前に使用していた BREWER MK II #091 を持ち込み2002年1月に測器相互比較を行った。その後、BREWER MK II #091 は第42次隊が日本に持ち帰った。2002年4月29日に信号ケーブルの断線及び測器内 IC の破損があり、2002年5月20日まで欠測した。2003年1月には予備器として第44次隊が持ち込んだ BREWER MK II #091 との測器相互比較を行った。信号ケーブルの断線及び測器内 IC の破壊時の欠測以外は、観測の経過はおおむね順調だった。

## 5.3. 観測結果

### 5.3.1. 下向き日射放射観測及び上向き反射放射観測

図19に下向き日射放射量日積算値、上向き反射放射量日積算値及び反射率の年変化を示す。縦軸左側は放射量を右側は反射率を示している。但し、上向き反射放射量日積算値については放射量を負値として表示している。日射放射量は太陽の昇らない冬期間は0になる。反射率は5月下旬から8月にかけては100%かそれに近い値を示している。これは放射量が非常に小さく測器の測定限界に達するためである。4月頃から5月頃にかけて海氷面の積雪が一様な厚さになるに従って反射率は80-90%となり、8月頃から10月頃にかけては逆に反射率は90%から少しずつ減少に転じていく。白夜の時期になると融雪の影響も大きく出始め、50-60%まで反射率が減少していることがわかる。

図20は、下向き長波放射日積算値と上向き長波放射日積算値の年変化を示す。縦軸左側は下向き長波放射の放射量、右側は上向き長波放射の放射量を示している。

下向き長波放射は気温や水蒸気、雲の存在に密接に関係しており、全体的に見ると気温が低くなるにつれて放射量は減少し、気温が高くなるにつれて増加している。日々の放射量のばらつきは天空が雲に覆われていたか、晴れていたかによるものである。4月頃から10月頃にかけては気温が低く、大気中の水蒸気も少なく、大気そのものの影響より雲があるかないかによる放射量の影響が大きい。他の期間に比べてばらつきの度合いが大きい。一方、他の期間は大気中の水蒸気量の影響もあり、雲からの黒体放射とある程度相殺されるためにばらつきの度合いは小さくなっている。放射量は冬期間である5月下旬頃から10月上旬頃

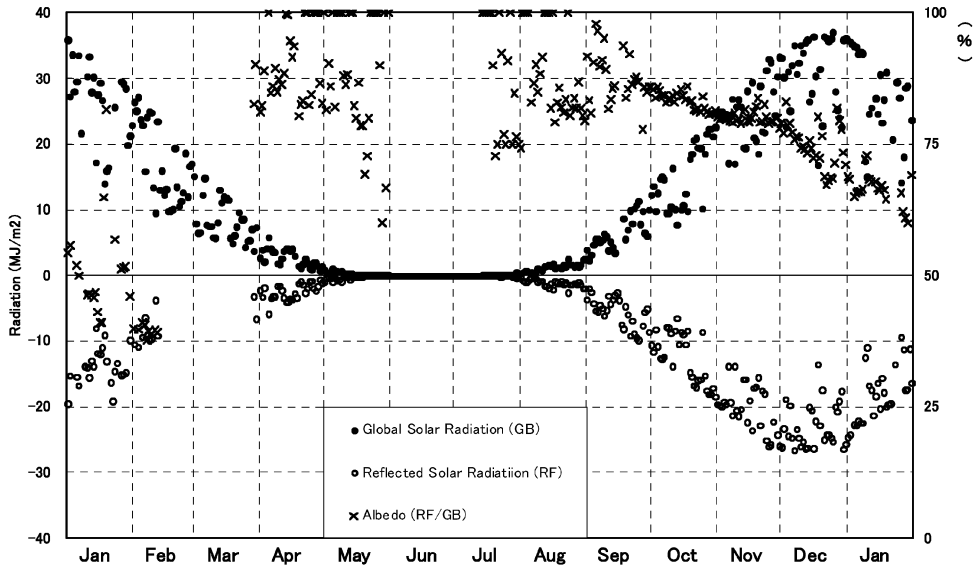


図 19 下向き短波放射量日積算値, 上向き短波放射量日積算値及び反射率の年変化 (2002 年 1 月~2003 年 1 月)

Fig. 19. Annual variations of the daily integrated values of surface downward and upward shortwave radiation and daily mean albedo (Jan. 2002-Jan. 2003).

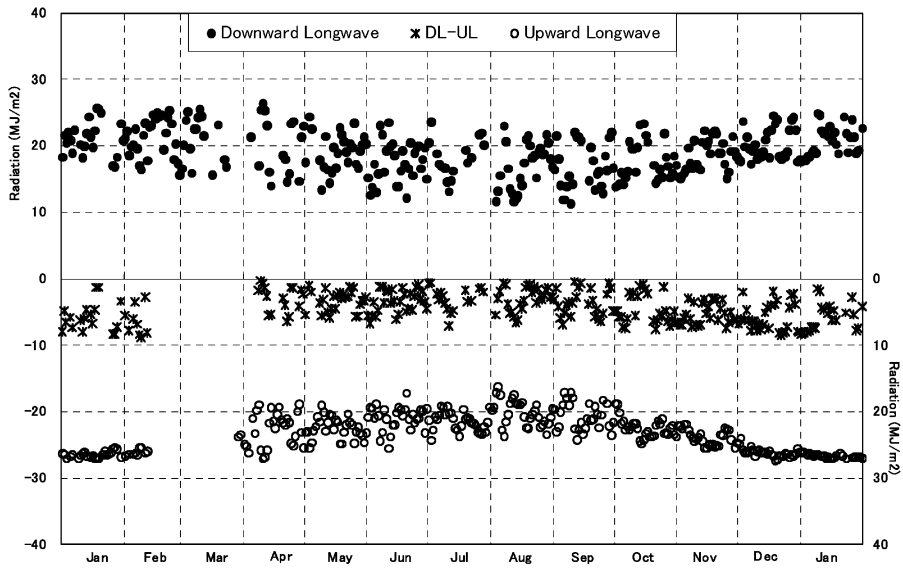


図 20 下向き長波放射日積算値と上向き長波放射日積算値及び長波放射収支量の年変化 (2002 年 1 月~2003 年 1 月)

Fig. 20. Annual variations of daily integrated values of surface downward, upward longwave radiation and net longwave radiation (Jan. 2002-Jan. 2003).

においても  $10 \text{ MJ/m}^2$  を下回ることはない。

上向き長波放射は冬期間である5月下旬頃から10月上旬頃においては放射量が  $15 \text{ MJ/m}^2$  を下回ることはない。また、上向き長波放射の測器感部設置場所は通年積雪に覆われているため、上向き長波放射の日積算値は、雪面温度の変化に対応した季節変化を示している。以上のことから、地表面が受ける長波放射の収支量は地球の黒体放射が卓越しており、年間を通じて  $0\text{--}10 \text{ MJ/m}^2$  程度負値となっている。

図21は、下向き全波長の正味放射量日積算値、上向き全波長の正味放射量日積算値及び放射収支量日積算値の年変化を示す。縦軸左側は下向き全波長（短波及び長波）放射の正味放射量及び放射収支量、右側は上向き全波長放射の正味放射量を示している。全波長の正味放射量は、短波の日射・反射量が小さい冬期間は長波の放射収支に依存し、短波が大きくなる夏期間には、短波による収支を強く反映している。放射収支量は短波が卓越する夏期間にのみ正値となるが、1年の約2/3は負値となっている（山内，1983）。

図22は、全天型紫外域日射計による下向きUV-B放射量日積算値、上向きUV-B反射量日積算値及び反射率の年変化である。縦軸左側は放射量を右側は反射率を示している。但し、上向き反射量日積算値については放射量を負値として表示している。UV-B放射量は太陽の昇らない冬期間は0になる。反射率は5月頃から9月頃にかけては100%かそれに近い値を示しているが、これは放射量が非常に小さくあるいは0になってしまい、測器の測定限界に

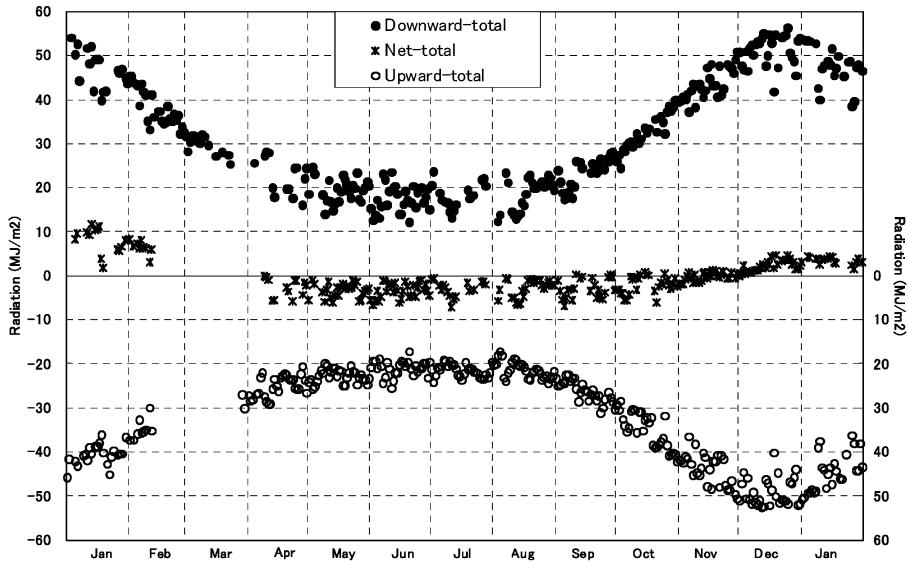


図 21 下向き全波長（短波＋長波）放射量日積算値、上向き全波長放射放射量日積算値及び放射収支量日積算値の年変化（2002年1月～2003年1月）

Fig. 21. Annual variations of daily integrated values of surface downward and upward total radiation (shortwave and longwave) and net total radiation (Jan. 2002–Jan. 2003).

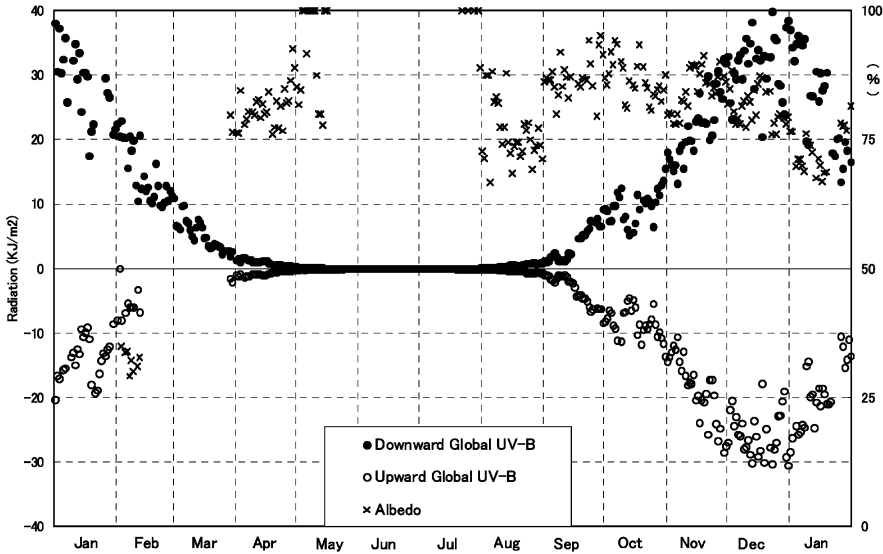


図 22 下向き B 領域紫外域日射放射量日積算値，上向き B 領域紫外域放射放射量日積算値及び B 領域紫外域放射量反射率の年変化（2002 年 1 月～2003 年 1 月）

Fig. 22. Annual variations of daily integrated values of surface downward and upward UV-B and daily mean UV-B albedo (Jan. 2002–Jan. 2003).

達するためである。2 月頃から 5 月頃にかけて急激に結氷・積雪が進行し、海水面の積雪が一樣な厚さになると反射率は 30% 程度からリニアに 80% 前後まで上昇し、10 月頃まではそのまま推移していく。10 月頃から 12 月頃にかけては、低温と太陽光、降雪の兼ね合いで反射率がばらつきながら徐々に融雪が進み、白夜期（12 月～2 月）にかけては高温と太陽光の影響で海水面の融雪や海水面そのものの融解が進み、反射率は 50% 以下まで減少していることがわかる。

全天型紫外域日射計については、測器感度の波長依存性や、波長に依存した測器感度の経時変化が指摘されている（宮本ら，1999；柴田ら，2000）。このため第 43 次隊では、全天型紫外域日射計の測器定数算出には、第 40 次隊以降と同様の方法（東島ら，2003）である柴田ら（2000）の全天型紫外域日射計出力電圧の日積算値とブリューワー分光光度計による日積算 UV-B 量との直線回帰により、月ごとの換算係数を求める手法を採用した。

### 5.3.2. 波長別紫外域日射観測

図 23 に波長 5 nm ごとに積算したブリューワー分光光度計による紫外域日射波長積分日積算値とオゾン全量を、図 24 に 2002 年 1 月から 2003 年 1 月の日最大 UV インデックスの年変化を示す。UV インデックスとは、紫外線の人体への影響度を考慮して算出した紅斑紫外線量を 25 mW/m<sup>2</sup> 単位で指標化したものである。UV インデックスの算出に当たっては、昭和基地で観測を行っていない波長帯を含むため、325–400 nm の波長域による寄与につ

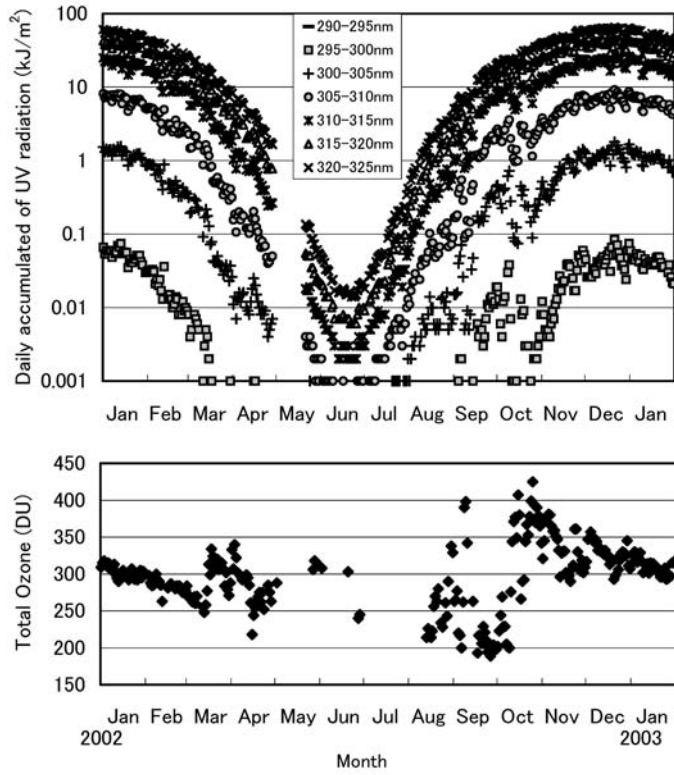


図 23 昭和基地における波長別紫外域日射量の日積算値（上図）とオゾン全量（下図）（2002年1月～2003年1月）

Fig. 23. Daily accumulated ultraviolet radiation and total ozone amount at Syowa Station (Jan. 2002–Jan. 2003).

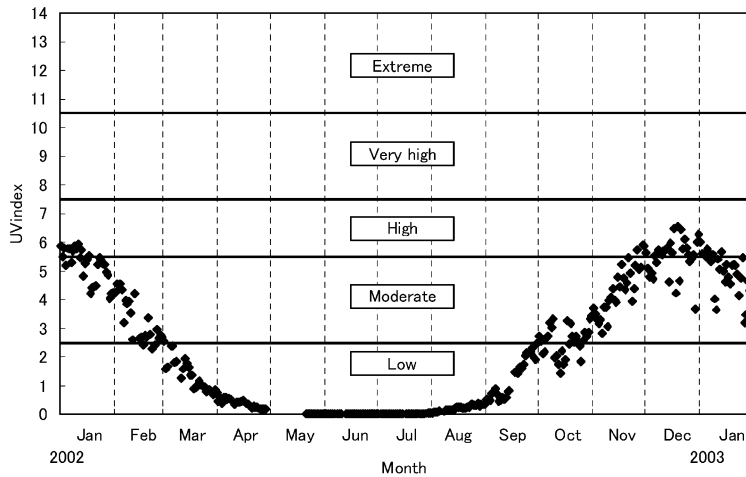


図 24 昭和基地における日最大 UV インデックスの年変化（2002年1月～2003年1月）

Fig. 24. Annual variation of the daily maximum UV index at Syowa Station (Jan. 2002–Jan. 2003).

いては、324 nm の観測値をもとに推定した値を用いた。

オゾンによる吸収をほとんど受けない波長 315 nm 以上の UV-A 領域の日積算値は、日々の天気変化の影響で細かい変動はあるが、太陽高度角と日照時間の増減によりおおむね滑らかに推移し夏至付近で最大値を観測した。

一方、波長 315 nm 以下の UV-B 領域ではオゾンによる吸収が大きいため、特に 8 月中旬から 11 月にかけてはオゾン全量の変動により各波長帯の日積算値は大きく変動している。2002 年はオゾンの減少した期間が短く急速に回復したため、UV-B 領域の日積算値の年間最大値は 11 月には認められず、12 月の夏至に近い時期に観測された。

また、このことは UV インデックスにも当てはまり、2002 年 1 月から 2003 年 1 月の最大 UV インデックスは、2002 年 12 月 19 日に観測された 6.6 であった。これは、つくばにおける 8 月の日最大 UV インデックスの月平均値（気象庁、2005）にほぼ等しい。UV インデックス 7 は世界保健機関（WHO *et al.*, 2002）によると、“強い”カテゴリーであり、「日中は出来るだけ日陰を利用しよう」というレベルである。また、UV インデックス 8 以上の“非常に強い”カテゴリーの、「日中の外出はできるだけ控えよう」というレベルになることは 2002 年 1 月から 2003 年 1 月には無かった。

### 5.3.3. 大気混濁度観測

大気混濁度は、直達日射計及びサンフォトメータの観測により求められる。第 43 次隊では、直達日射計（MS-53F）及び自動観測型サンフォトメータ（MS-110）を使用して観測を行った。

直達日射計で求められる大気混濁度は全波長（300–2800 nm）域での混濁度を示すのに対し、サンフォトメータでは波長別（368, 500, 675, 778, 862 nm の 5 波長）の直達光強度を測定することにより、波長別のエアロゾルの光学的厚さ（AOD）を求めることができる。5 波長（368–862 nm）の AOD からは、オングストロームの波長指数（Ångström  $\alpha$ ）及び混濁係数（Ångström  $\beta$ ）が求められる。

なお、AOD 算出に用いるレーリー散乱式中の定数については、気象庁の大気バックグラウンド汚染観測と基準を合わせるため、第 40 次隊以降と同様 0.00864 を用いた（東島ら、2003）。

#### (1) 2002 年の観測結果

図 25 に直達日射量から求めたホイスナー・デュボアの混濁係数  $\tau_0$  を、図 26 にはサンフォトメータによる 5 波長（368, 500, 675, 778, 862 nm）の各 AOD、及び 368–862 nm の 5 波長の AOD から求めたオングストロームの波長指数（Ångström  $\alpha$ ）と混濁係数（Ångström  $\beta$ ）を示す。

図 25 における  $\tau_0$  はエアロゾルの他、水蒸気、オゾン、二酸化炭素等の日射の散乱吸収に寄与する種々の物質を含む現実の大気的光学的厚さ（光学的濁り具合）が、空気のみが存在す

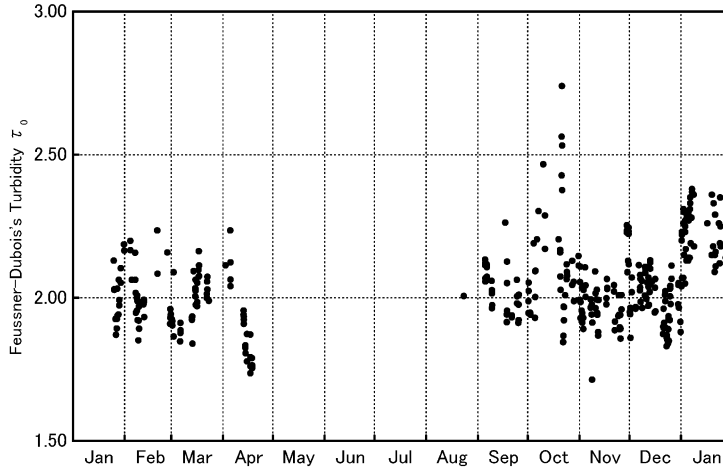


図 25 直達日射計によるホイスナー・デュボアの混濁係数の年変化  
(2002年1月~2003年1月)

Fig. 25. Annual variations of the Feussner-Dubois turbidity coefficient measured by pyr heliometer (Jan. 2002-Jan. 2003).

ると仮定した大気的光学的厚さの何倍であるかを表す指標であり、 $\tau_0$ が大きければ大気を濁す物質が多いことになる。日本では平均3.5程度であるため昭和基地上空の大気は日本に比べてかなり清浄であることがわかる。

図 26 におけるオングストロームの波長指数  $\alpha$  は粒径の大きなエアロゾルと小さなエアロゾルの相対的な割合を示す指標で、値が大きいかほど粒径の小さいエアロゾルが相対的に多い事になる。昭和基地では海塩起源の粒子（粒径が大きい）が主となるため  $\alpha$  の値は小さなものとなっている。

## (2) 大気混濁度の経年変化

図 27 にはサンフォトメータで大気混濁度の観測を開始した 1980 年からの各波長（368, 500, 675, 778, 862 nm）の AOD, 及び 368-862 nm の 5 波長の AOD から求めたオングストロームの波長指数（Ångström  $\alpha$ ）と混濁係数（Ångström  $\beta$ ）の経年変化を示す。図中●がレイリー散乱式中の定数 0.00838, ○が同 0.00864 の値で、これによる AOD 値の差は 368 nm で 0.01 のオーダーである。

1980 年以降全球的に噴出物が拡散したとされる火山噴火（1991 年 6 月: ピナツボ（15.08 N, 120.21 E））の時に AOD は大きく増加し、その後数年かけて平年値に戻っている。2002 年の値は、368, 500 nm を除くいずれの波長においても AOD が 3 月から 4 月にかけてここ数年の値より増加している他は、ほぼ平年並みとなっている。

図 28 には直達日射量から求めたホイスナー・デュボアの混濁係数の経年変化を示す。サンフォトメータで観測した場合と同様、1982（4 月: エル・チヨン, 17.20 N, 93.12 W）, 1991



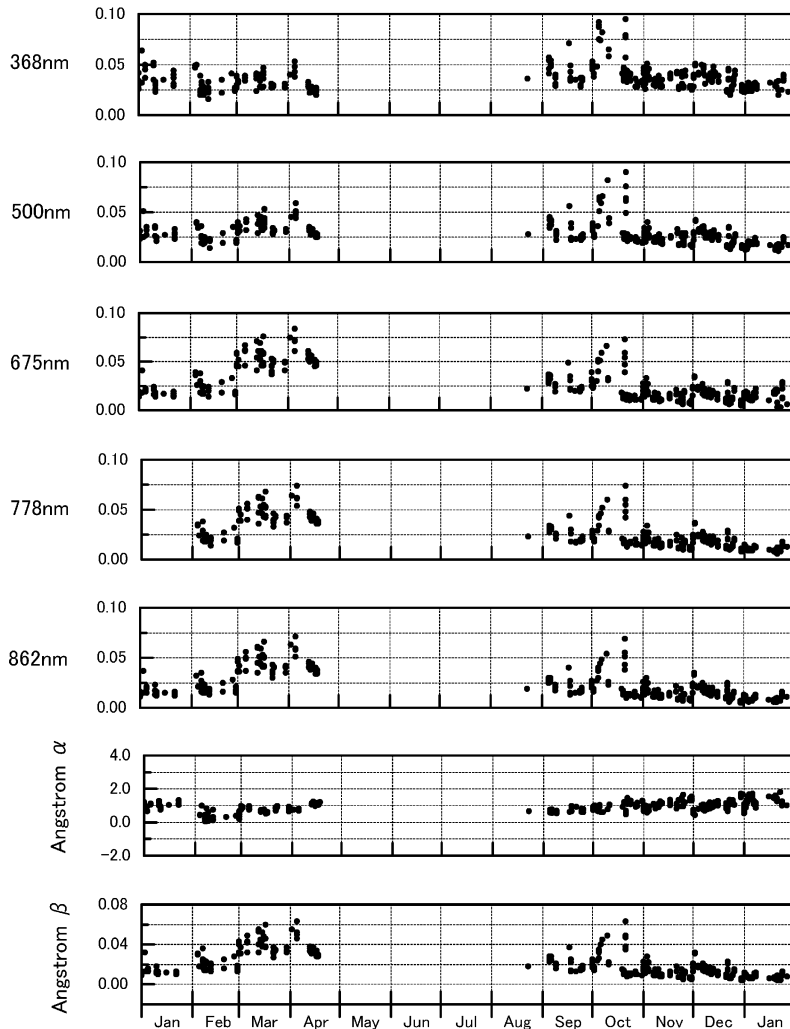


図 26 波長別エアロゾルの光学的厚さの年変化 (2002 年 1 月~2003 年 1 月)

Fig. 26. Annual variations of the aerosol optical depth for each wavelength (Jan. 2002-Jan. 2003).

年に全球的な火山噴火の影響を受けており、その後数年間かけて平年値に戻っていることが分かる。また、春から夏季にかけて増加し、秋から冬季にかけて減少する季節変化をしていることが分かる。

#### 5.4. 下向き長波放射量と雲量についての調査

##### 5.4.1. 下向き長波放射量 (DL) の観測方法

下向き長波放射量 (downward longwave radiation, 以下「DL」という) とは大気中の空気分子・雲・水蒸気等から放射される長波放射を測定することによって得られる観測値であ

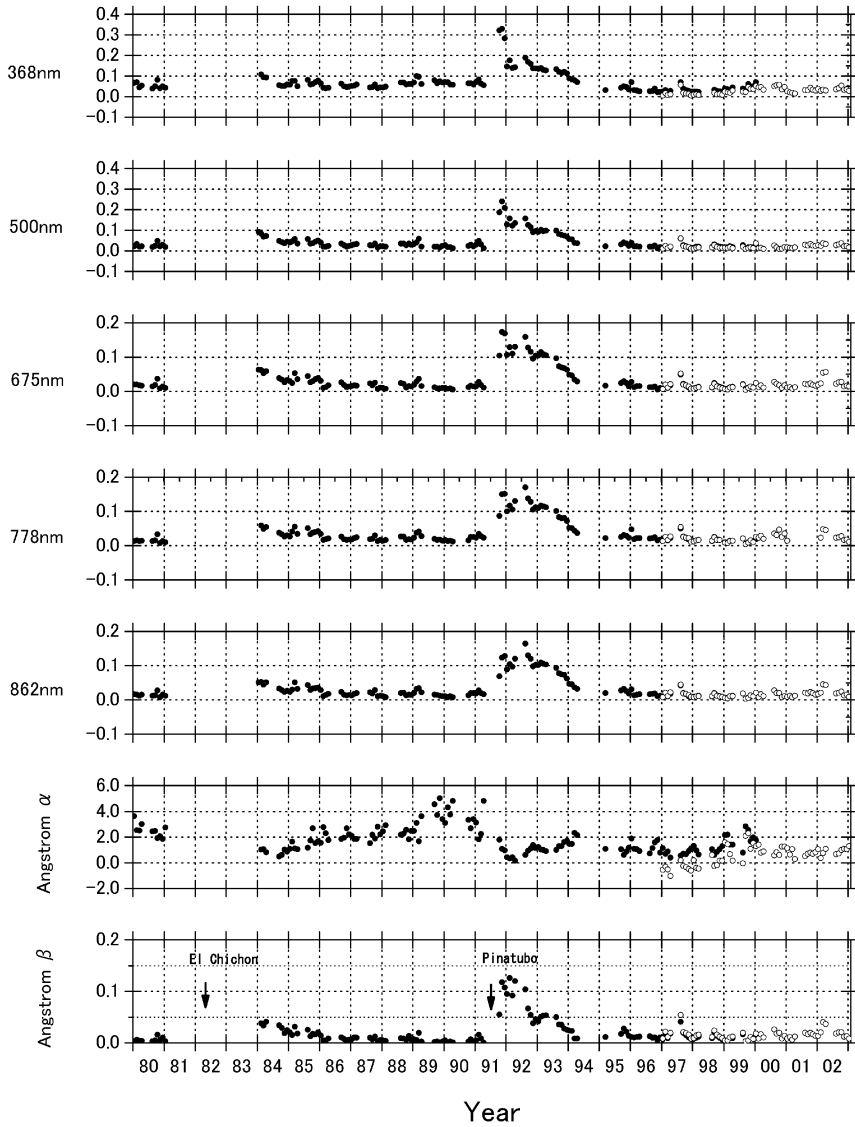


図 27 昭和基地上空の大気混濁度経年変化 (1980 年 1 月~2003 年 1 月)

Fig. 27. Time series of atmospheric turbidity over Syowa Station (Jan. 1980–Jan. 2003).

る。本項では長波放射量の年変化と雲量の違いによる放射量の違いについて検討した。

なお、観測に使用した精密長波放射計 (Kipp & Zonen 社製 CG4) では DL は以下の式で求めている (柴田・廣瀬, 2001)。

$$F = \frac{U}{C} + \sigma T_b^4. \quad (2)$$

$F$ : 長波放射強度 ( $\text{W}/\text{m}^2$ ),  $U$ : 出力 (観測) 電圧 ( $\mu\text{V}$ ),  $C$ : 測器常数,

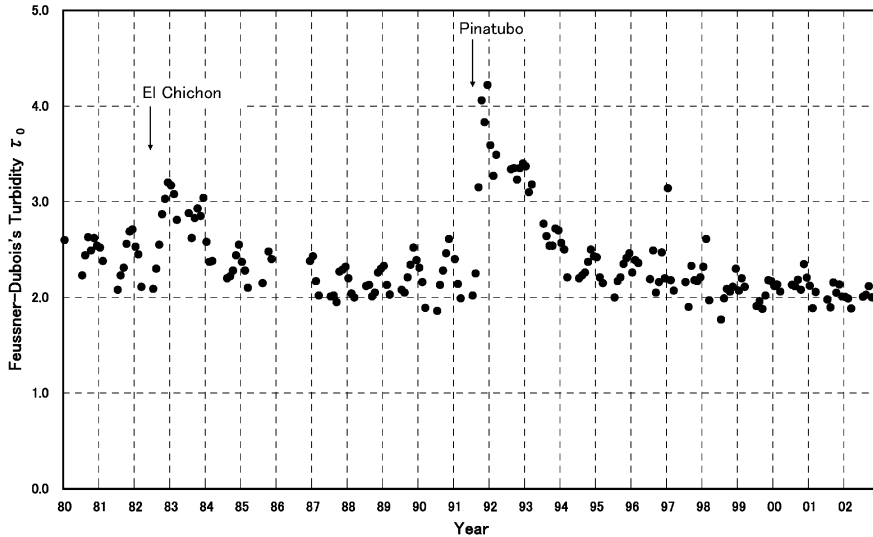


図 28 直達日射量から求めたホイスナー・デュボアの混濁係数の経年変化  
(1980年2月~2003年1月)

Fig. 28. Time series of Feussner-Dubois atmospheric turbidity coefficient measured by pyrhelimeter (Feb. 1980-Jan. 2003).

$T_b$ : 測器温度 (K),  $\sigma$ : ステファンボルツマン係数 ( $5.67 \times 10^{-8} \text{ W m}^{-2} \text{ K}^{-4}$ )

#### 5.4.2. 下向き長波放射量の 2002 年の変化傾向

DL は気温が下がる冬場に最小値を記録し、気温が上がる夏場に最大値を記録することが知られている (図 29)。しかし 2002 年の昭和基地における雲からの放射の影響が小さい快晴時のデータによると、4 月から極夜期の終わる 7 月下旬にかけては 2001 年にはない DL の上昇が認められた。観測に使用した精密長波放射計 (CG4) から出力される電圧値は式 (2) より放射量として算出されるが、観測された電圧値が同じ場合、測器温度が高ければ DL の計算値も増大することになる。観測された電圧値は、4 月から 7 月にかけて異常は認められなかった (図 30)。しかし、地上気温の旬別平均値を平年値と比較すると 2002 年では 4 月から 11 月にかけて平年値をいずれの月も上回っており、特に 5 月及び 7 月は平年値を大きく上回っていた (図 2) ことから、測器周辺の雰囲気依存する測器温度により DL が増大したものと推察される。

#### 5.4.3. 雲量の違いによる下向き長波放射量の違い (2002 年)

00LT から 3 時間ごとの 21 LT にかけての 1 日 8 回の地上観測にあわせて、地上観測時刻前 10 分間の DL の平均値を用いて雲量との相関を調べた。なお、雲量 1-8 までのものは対象外とし、雲の存在が極端な事例を以下の場合に分類して特長をまとめた。

(1) 全雲量 0 及び 0<sup>+</sup> (以下「快晴」という) の場合

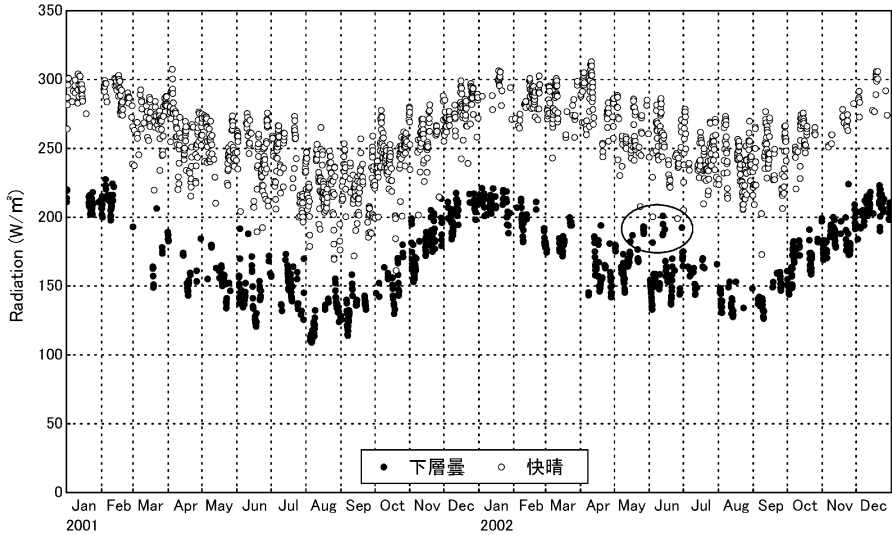


図 29 2 年分の快晴及び下層曇時の長波放射量の変化 (2001 年 1 月~2002 年 12 月)

Fig. 29. Two years variations of surface downward longwave radiation in case of clear sky and mostly cloudy (low clouds) sky (Jan. 2001–Dec. 2002).

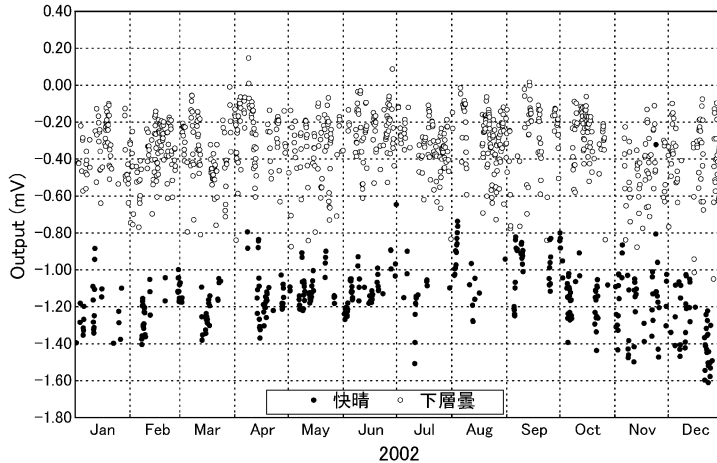


図 30 快晴及び下層曇時の長波放射計の出力電圧の年変化 (2002 年 1 月~12 月)

Fig. 30. Annual variations of output voltage of surface downward pyrometer (CG4) in case of clear sky and mostly cloudy (low clouds) sky (Jan.–Dec. 2002).

雲からの放射の影響がほとんどないため雲量別分類の中で DL は一番小さくなる。2002 年には放射量は  $126\text{--}225\text{ W/m}^2$  の範囲内で変動していた (図 29)。

(2) 全雲量 9, 10 及び  $10^-$  で下層曇 (St, Cu, Sc) 及び中層曇 (Ns, As) により全天が覆われている (以下「下層曇り」という) 場合

低い雲が主体の分類であるため雲からの放射の影響が大きく快晴の場合の放射量より平均約  $70 \text{ W/m}^2$  大きな値を観測した (図 29).

(3) 全雲量 9, 10 及び  $10^-$  で全天が上層雲主体で覆われている (以下「薄曇」という) 場合

全天に雲があっても地表に影が出来るような空模様であるため, 快晴と下層曇りの時の放射量をそれぞれ下限上限とした範囲内ではばらついた分布となった (図 29).

(4) 特殊天気 (地吹雪, 霧) により全雲量が 9, 10 及び  $10^-$  の場合

下層曇りの場合よりも, より地表付近で大気現象が発生しているため地吹雪で飛散している雪片や霧を形成する水滴により放射される長波放射の影響が大きく反映され, DL の観測値としては今回の分類中では一番大きな放射量の分布となった (図 31). これら分類においては DL と雲量との関係に相関はあるが, 長波放射量算出の際は測器温度も考慮するため, 気温の季節変動の影響が大きいことを示している.

#### 5.4.4. 精密長波放射計電圧値を用いた場合の雲量の違いによる具体的な例

上空に雲がない時には精密長波放射計出力電圧は低い値を示し, 逆に雲が広がってくると高い電圧値を示す. 天気が快晴から曇りへと変化した精密長波放射計の出力電圧値の例として図 32 を示す. 午前 6 時頃から急速に雲が広がったことを示している. 昭和基地での観測システムでは雲の消散や急増をリアルタイムで確認できるのはこの電圧値のみである. 式 (2) に示したように DL は出力電圧値に測器温度を加えて算出するため, 低温期である 4 月から 7 月までの快晴時の DL の増加を出力電圧値のみから確認することは出来ないが, それ以外の季節において, 定時観測時は電圧値の変化傾向を見て雲のある/なしを確認することが可能である.

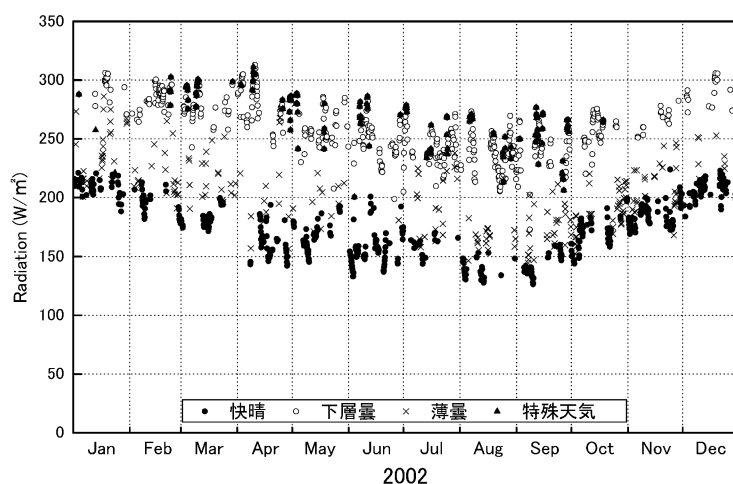


図 31 天気によって 4 パターンに分類した長波放射量の年変化 (2002 年 1 月~12 月)

Fig. 31. Annual variations of surface downward longwave radiation in case of 4 patterns determined by weather conditions (Jan.-Dec. 2002).

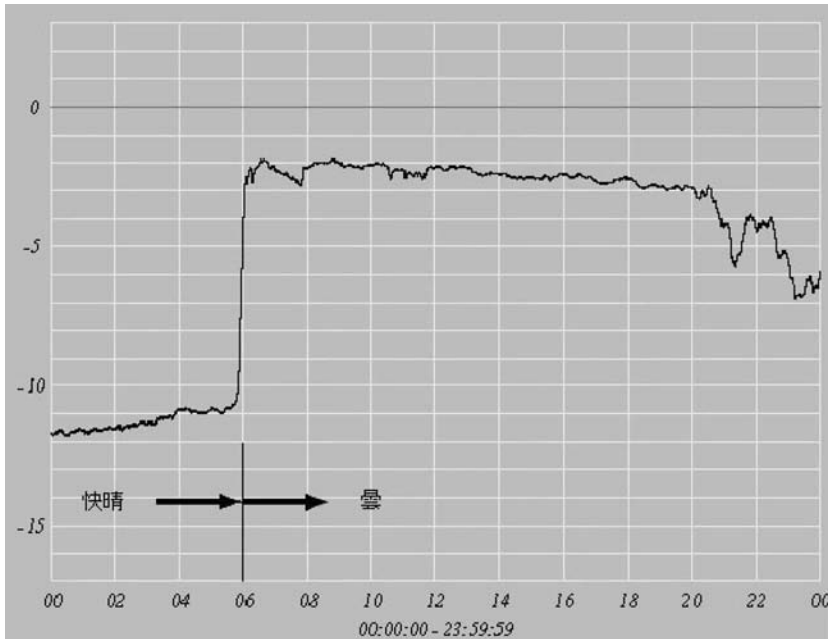


図 32 快晴から曇に変化した日の精密長波放射計の観測データ

Fig. 32. Output voltage of pyrometer when the weather changed from clear to cloudy.

#### 5.4.5. 下向き長波放射量と雲量についてのまとめ

天空の雲量が極端な場合について、快晴、下層曇り、薄曇り及び特殊天気の4パターンに分類し、それらの場合の下向き長波放射量の特徴を調査した。通常は快晴を下限、下層曇りを上限とした範囲内に長波放射量が収まっている。更にリアルタイムの測器出力電圧をモニターすることにより雲の在るなしの予備情報として利用できることがわかった。

## 6. 特殊ゾンデ観測

第43次隊では定常気象観測部門の特殊ゾンデ観測として、エアロゾルゾンデ観測を気水圏部門と共同で計7回実施した。エアロゾルゾンデ観測は、南極観測の第V期5カ年計画気水圏系プロジェクト研究観測「南極大気・物質循環観測」の初年度にあたる第38次隊より気水圏系部門と共同で実施しており、第43次隊より開始された第VI期5カ年計画気水圏系プロジェクト研究観測「南極域における地球規模大気変化観測」においても継続観測を行っている。気象部門としても「恒常的に実施する観測」として位置付けている。

### 6.1. 観測目的

成層圏オゾンは紫外域日射を吸収することにより成層圏の大気を暖め、大気循環や気温の

鉛直構造を作る熱源となっている。極域においては冬期、太陽光による加熱が無いため長波放射が卓越し、下部成層圏は著しい低温となる。この低温下において、成層圏に存在する硝酸(HNO<sub>3</sub>)や水(H<sub>2</sub>O)は液滴や氷粒子となり、硫酸エアロゾルなどとともに、極域成層圏雲(Polar Stratospheric Clouds, 以下「PSCs」という)に成長する。PSCsの存在は、間接的に大気中のオゾン消失に関与していることが観測により分かっている(例えば, Solomon, 1999)。

本観測では、南極域の冬季におけるPSCsの状態を観測するとともに、エアロゾル鉛直分布の季節変化を明らかにすることを目的とする。

## 6.2. 観測方法及び測器

エアロゾルゾンデ用観測器材を表13に示す。

### (1) 飛揚器材の構成

観測に用いたエアロゾルゾンデは、粒子濃度を計測するための粒子計測部(Optical Parti-

表 13 エアロゾルゾンデ飛揚器材仕様  
Table 13. Specifications of balloon-borne aerosol sondes at Syowa Station.

98型5ch エアロゾルゾンデ (ADS-98-5N)	レーウィン ゾンデ部	RS2-91型 レーウィンゾンデ	高層気象観測用と同等 (気温、湿度、気圧の感部及び変換部、 発信機部を使用)
	粒子計測部 Optical Particle Counter	エアサンプリング	ポンプ : アルミギアポンプ サンプリング流量 : 約3000cm <sup>3</sup> シースイア : 約500cm <sup>3</sup>
		粒子検出方式	光源 : レーザーダイオード 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
		粒径区分	5ch同時係数方式 (粒子半径0.15, 0.25, 0.4, 0.6, 1.8 μmより 大きい粒子を計測)
	粒子サンプリング	20秒積算値	
	電池	Li乾電池	
	その他	レーウィンゾンデ-OPC部接続用篠竹, 電源線, 信号線(各約1.5m)	
	※伝送データ 時刻(電源投入後の秒数) 粒子半径0.15, 0.25, 0.4, 0.6, 1.8 μmより大きい粒子毎の20秒積算値 ポンプ回転数 排気, 内部温度 半導体気圧計値(lowモード, highモード) 基準電圧値(0V, 4V) レーザー電流値 リファレンス信号 91ゾンデデータ(気温, 気圧, 湿度)		
気球	3000g気球(ヘリウムガスによる標準浮力7000g) 口管部品		
つり紐	ポリエステル製編紐70m		
パラシュート	不織布, 大型(43次では使用せず)		

cle Counter, 以下「OPC 部」という)と気象要素(気温, 気圧, 湿度)を測定するためのレーウィンゾンデ部により構成されている。各々は篠竹(約 1.5 m)をベースとした信号線, 電源線で連結し, 3000 g ゴム気球(浮力錘浮力 7000 g のヘリウムガスを充填)により飛揚した。OPC 部では, 0.15  $\mu\text{m}$ , 0.25  $\mu\text{m}$ , 0.4  $\mu\text{m}$ , 0.6  $\mu\text{m}$ , 1.8  $\mu\text{m}$  の各粒径半径より大きい粒子(以下「>0.15  $\mu\text{m}$ 」, 「>0.25  $\mu\text{m}$ 」, 「>0.4  $\mu\text{m}$ 」, 「>0.6  $\mu\text{m}$ 」, 「>1.8  $\mu\text{m}$ 」という)の 20 秒積算値, ポンプ回転数等, 粒子濃度を計測するために必要なデータを取得すると共に, レーウィンゾンデ部から気象要素信号を取得し, レーウィンゾンデ部の発信機部より地上受信設備へデータ送信を行っている。

## (2) 地上受信設備及び観測処理

地上受信設備は自動追跡型方向探知機(明星電気製 MOR-22 型)を用いた JMA-91 型高層気象観測装置(気象庁, 1995)を使用した。受信したデータは JMA-91 型高層気象観測装置データ処理部 I に搭載したエアロゾルゾンデデータ処理プログラムにより観測処理を行った。観測処理の流れを図 33 に示す。

## 6.3. 観測経過

第 43 次隊では南極域の下部成層圏に存在するエアロゾルの季節変化を観測するとともに, 極夜期の PSCs 粒子の短期間観測を行うため, 表 14 で示す観測計画に基づき, 定常気象部門 6 台, 気水圏部門 1 台の計 7 台により観測を行った。なお, 2002 年 6 月 27 日観測の高度 17.3 km (64.3 hPa) より上層及び 2002 年 8 月 2 日観測の高度 23.7 km (23.7 hPa) より上層では, >0.15  $\mu\text{m}$  の測定チャンネルデータ異常により, 欠測としている。

### 6.3.1. 上空の気温変化と PSCs 観測のタイミング

2002 年 5 月から 11 月まで, 気温の時間高度の断面(00 UTC のレーウィンゾンデデータによる)を図 34 に示す。タイプ II の PSCs を構成する物質の一部と考えられている硝酸 3 水和物( $\text{HNO}_3 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$ , Nitric Acid Trihydrate, 以下「NAT」という)粒子が析出する温度領域(硝酸 10 ppbv, 水蒸気 5 ppmv を仮定)に薄い影を, タイプ II の PSCs を構成する氷(水蒸気 5 ppmv を仮定, 以下「ICE」という)粒子に濃い影をつけ, PSCs 生成の目安としている。

成層圏下部の気温は 2 月頃より 8 月頃にかけて徐々に低温となった。2002 年は 6 月 27 日にこの年初めて  $-80^\circ\text{C}$  を下回り, 多層に渡って NAT 粒子の生成可能温域となった(6 月 27 日エアロゾルゾンデ観測実施, 以下「6/27 観測」という)。その後 7 月に入り成層圏気温は昇温, 降温を繰り返したが, 8 月上旬から中旬にかけて  $-80^\circ\text{C}$  以下の低温が続き, NAT 粒子及び ICE 粒子の生成可能温域が持続するようになった(8 月 2 日, 5 日, 9 日エアロゾルゾンデ観測実施, 以下「8/2 観測」, 「8/5 観測」, 「8/9 観測」という)。8 月下旬からは上空の昇温傾向が下層に拡大し, 9 月中旬から 10 月上旬にかけて上空のオゾン量が減少した(9 月 24 日エアロゾルゾンデ観測実施, 以下「9/24 観測」という)。



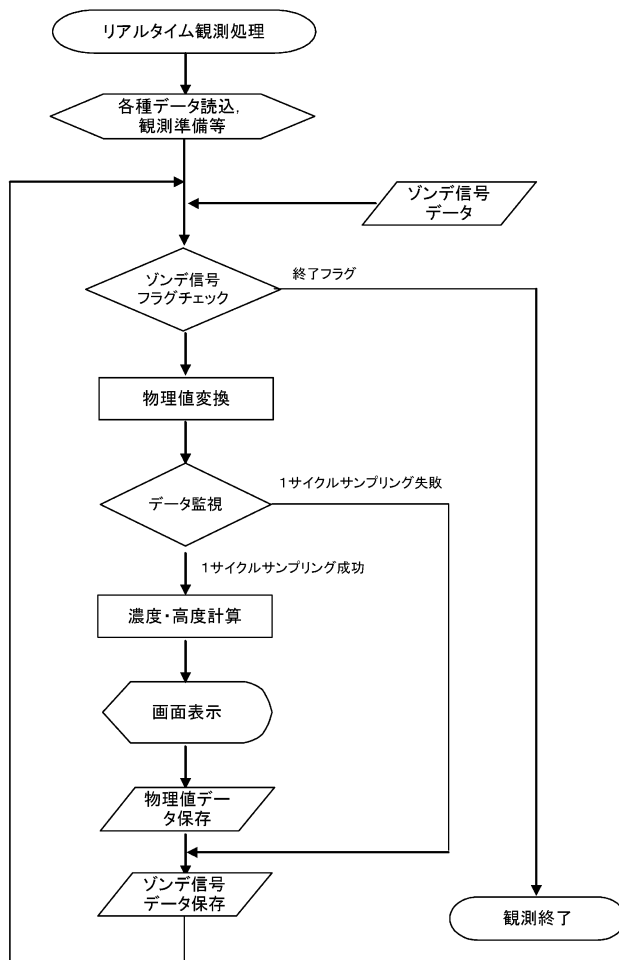


図 33 エアロゾルゾンデプログラム処理

Fig. 33. Flow chart of aerosol sonde data processing program.

表 14 昭和基地におけるエアロゾルゾンデ飛揚状況

Table 14. Aerosol sonde observations at Syowa Station.

回数	飛揚時刻 (L T)	飛揚目的	到達高度		備 考
			気圧 (hPa)	高度 (km)	
1	2002年04月13日 08時51分	バックグラウンド観測	5.0	34.5	
2	2002年06月27日 20時51分	PSCs観測 (1)	7.7	29.6	粒径>0.15 μmは64.3hPa, 17.3kmまで取得
3	2002年08月02日 21時32分	PSCs観測 (2)	5.6	30.7	粒径>0.15 μmは23.7hPa, 23.7kmまで取得
4	2002年08月05日 22時35分	PSCs観測 (3)	6.1	30.3	
5	2002年08月09日 18時30分	PSCs観測 (4)	11.3	26.6	
6	2002年09月24日 20時50分	成層圏オゾン減少期の観測	14.2	26.7	
7	2003年01月07日 21時40分	バックグラウンド観測 (44次隊への引継ぎ観測)	5.1	36.8	

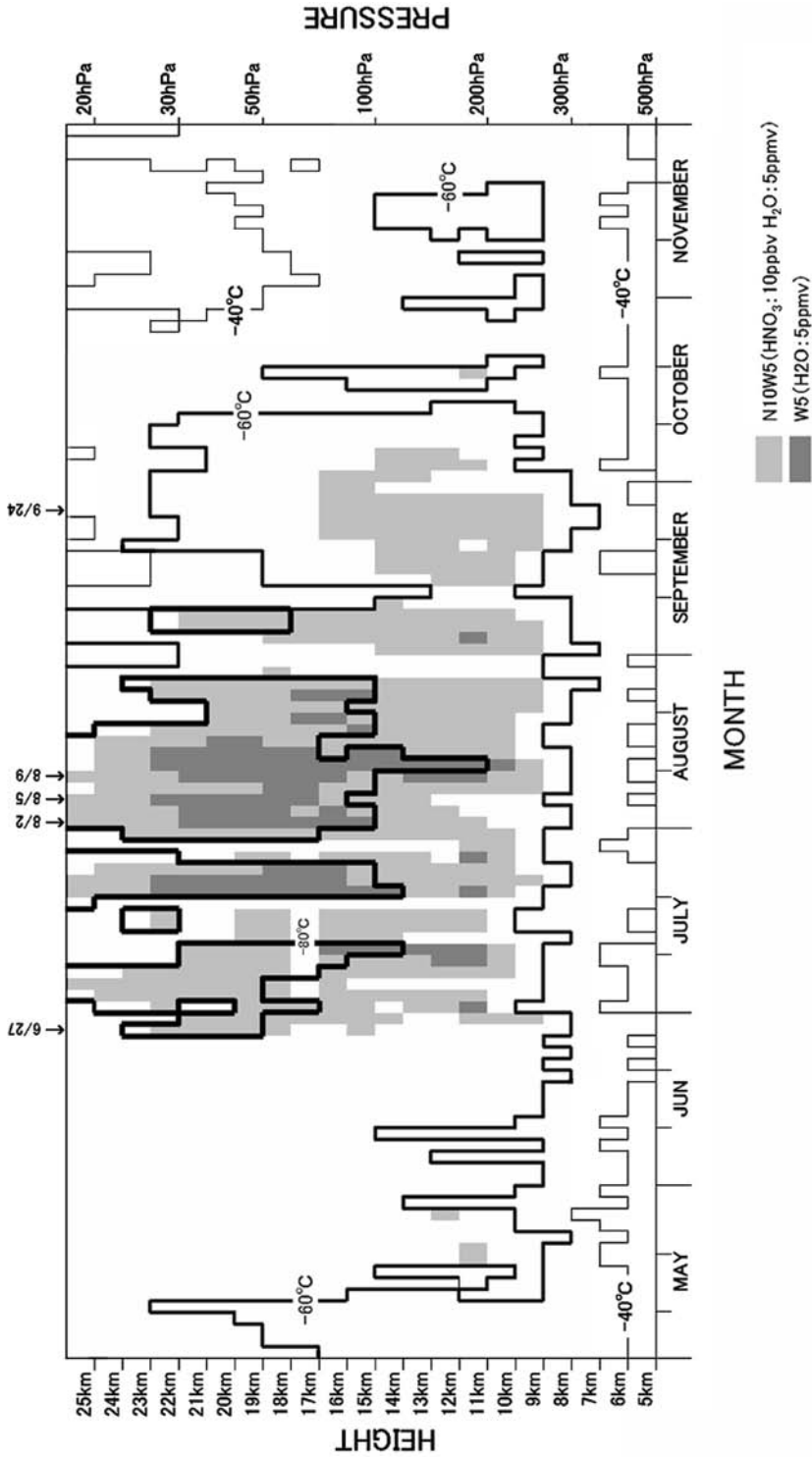


図 34 気温の時間高度断面図 (2002 年)  
 Fig. 34. Time-height cross section of temperature obtained from upper air observations at Syowa Station in 2002.

## 6.4. 観測結果

### 6.4.1. バックグラウンドエアロゾル高度分布

PSCs 粒子が発生していないバックグラウンドエアロゾルの指標として、2002 年 4 月 13 日エアロゾルゾンデ観測（以下「4/13 観測」という）及び 2003 年 1 月 7 日エアロゾルゾンデ観測（以下「1/7 観測」という）によるエアロゾル重量混合比の高度分布を図 35 に示す。

4/13 観測では対流圏界面である高度 9.5 km 付近以上の下部成層圏において高度 18 km 付近をピークとした明瞭なユンゲ層が観測された。ユンゲ層は硫酸エアロゾルが主成分と考えられており、バックグラウンドエアロゾルとして知られる。1/7 観測では、対流圏界面である高度 8 km 付近以上から高度 25 km まで重量混合比が 0.6 ppbm 程度の層があり、それ以上の高度ではゆっくり減少している。この 1 月と 4 月のユンゲ層高度分布の違いは 1998 年から昭和基地で開始したエアロゾルゾンデ観測において毎年見られる現象である。1 月は白夜期であり、昭和基地上空において成層圏まで拡散した海洋プランクトン起源の COS（カルボニルサルファイト）や CS<sub>2</sub>（二硫化炭素）が光化学反応により活発に硫酸エアロゾルを生成した結果かもしれない。

なお、4/13 観測、1/7 観測とも対流圏界面以下で見られる重量混合比のピーク（4/13 観測: 7 km 付近、1/7 観測: 8 km 付近）は目視で観測されている巻雲の氷晶によるものである。

### 6.4.2. 冬季からオゾンホール発現期のエアロゾル高度分布

PSCs 粒子の発現を見込んだ冬季のエアロゾル観測として、6 月 27 日、8 月 2 日、5 日、9 日の計 4 回、また、オゾンホール発現期のエアロゾルゾンデ観測として 9 月 24 日のエアロゾルゾンデ飛揚を実施した。各観測結果の粒径ごとエアロゾル濃度の高度分布を図 36 に、重量混合比の高度分布を図 37 に示す。

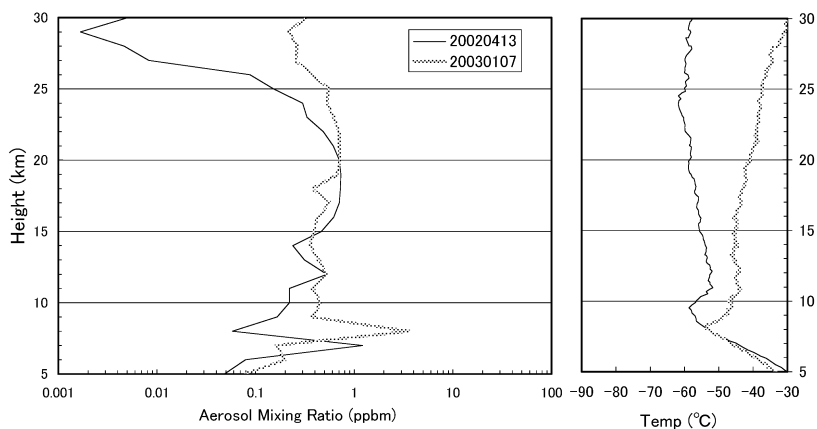


図 35 エアロゾル重量混合比のバックグラウンド高度分布 (2002, 2003 年)

Fig. 35. Vertical distribution of background aerosol mass mixing ratio over Syowa Station in Apr. 2002 and Jan. 2003.

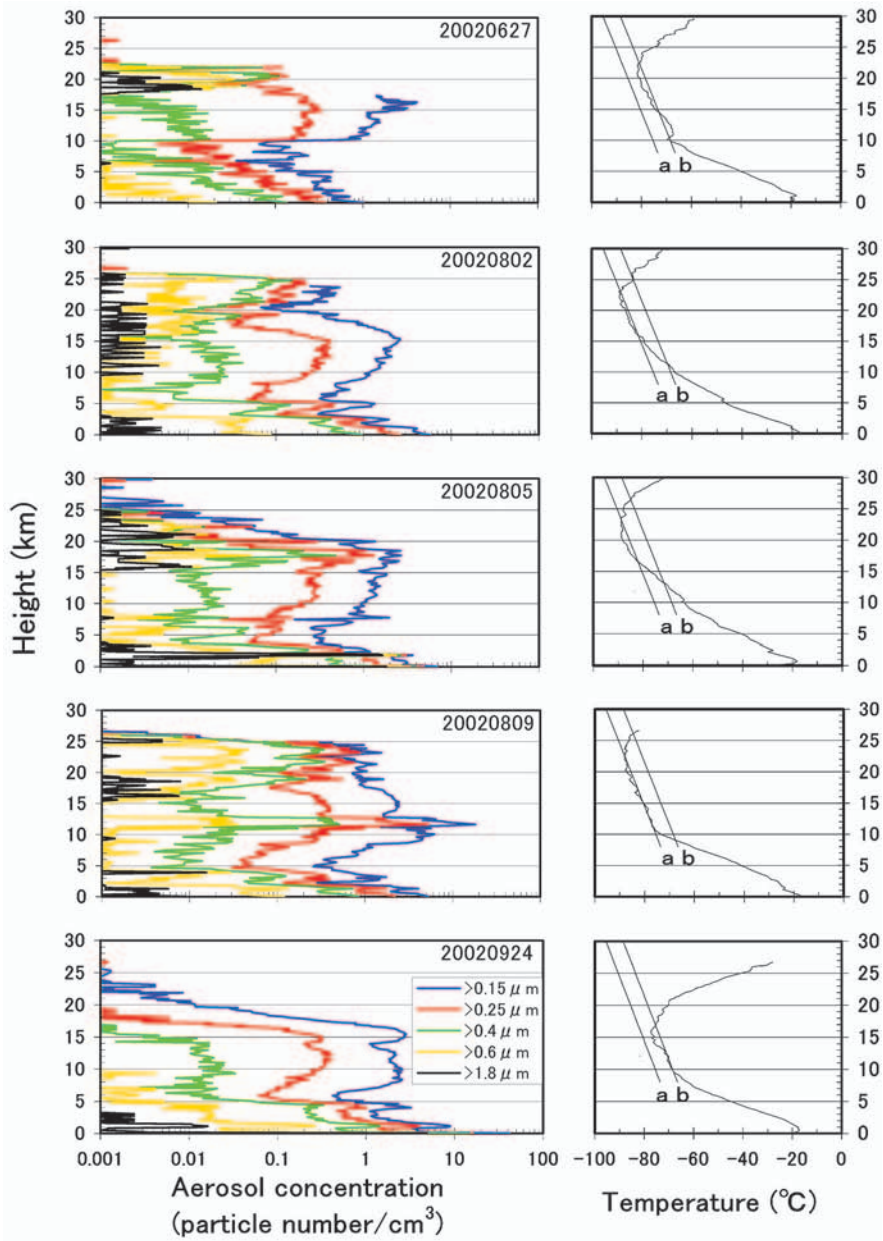


図 36 冬季エアロゾル濃度の高度分布 (2002 年)  
 a 線: ICE 析出温度線 b 線: NAT 析出温度線

Fig. 36. Vertical distribution of aerosol concentration in winter 2002.  
 Line (a): ICE particle condition, Line (b): NAT particle condition.

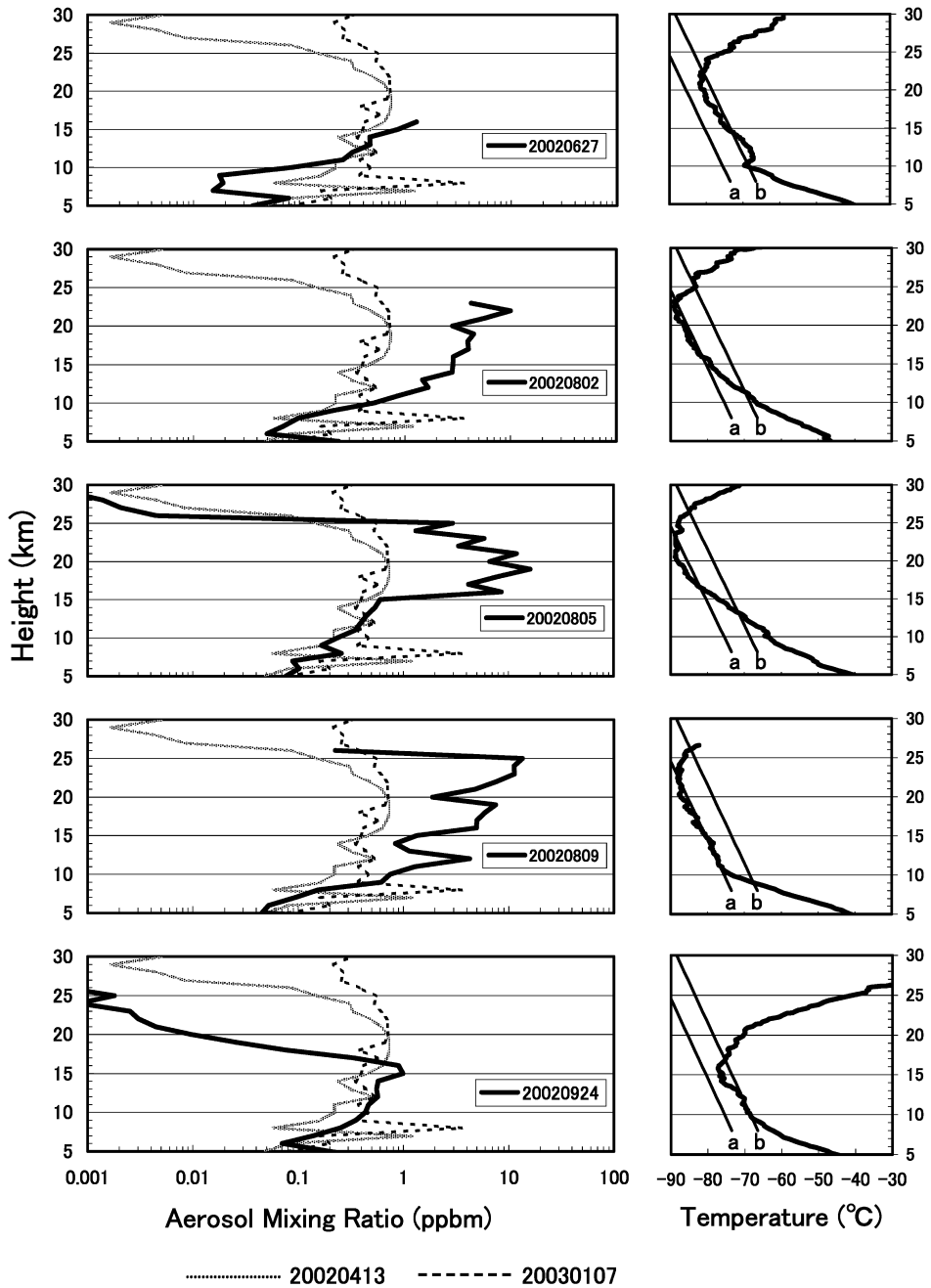


図 37 冬季エアロゾル重量混合比の高度分布 (2002 年)

Fig. 37. Vertical distribution of aerosol mass mixing ratio over Syowa Station in winter 2002.

図 37 に  $>0.5 \mu\text{m}$ ,  $>0.25 \mu\text{m}$ ,  $>0.4 \mu\text{m}$ ,  $>0.6 \mu\text{m}$ ,  $>1.8 \mu\text{m}$  のエアロゾル濃度を示す. 図 37 には, 4/13 観測及び 1/7 観測の重量混合比及び気温の高度分布グラフを細線, 細破線で重ね合わせた.

また, 図 36 及び図 37 の気温グラフには  $[\text{H}_2\text{O}=5 \text{ppmv}]$  に対する ICE の析出温度線を a 線,  $[\text{HNO}_3=10 \text{ppbv}, \text{H}_2\text{O}=5 \text{ppmv}]$  に対する NAT の析出温度線を b 線として重ね合わせている.

#### (1) 6/27 観測

成層圏下部ではこの年初めて, NAT が生成される温度まで低温となった (図 34). 図 36 のエアロゾル濃度の高度分布 (6/27 観測) によると, 高度  $10.1 \text{ km}$  にある対流圏界面以上の層で  $>0.15 \mu\text{m}$  及び  $>0.4 \mu\text{m}$  のエアロゾル濃度の増大が認められるが, 高度  $10.1\text{--}14.0 \text{ km}$  では, NAT の生成領域ではないこと及び重量混合比がバックグラウンドエアロゾルと同等程度 (図 37) であることから, この層では PSCs が生成されていないと考えられる. しかし NAT の生成領域まで低温となった高度  $14.0 \text{ km}$  以上の層では, エアロゾル濃度の増大が認められた. 図 37 でもこの層では重量混合比の上昇が認められる. 高度  $14 \text{ km}$  から高度  $17 \text{ km}$  の層では  $>0.15 \mu\text{m}$  及びわずかながら  $>0.25 \mu\text{m}$  のエアロゾルが認められるため, バックグラウンドエアロゾルから NAT 組成の PSCs 粒子への初期生成が進んでいるものと推察される. 高度  $17 \text{ km}$  から高度  $22 \text{ km}$  付近では,  $>0.4 \mu\text{m}$ ,  $>0.6 \mu\text{m}$ ,  $>1.8 \mu\text{m}$  の PSCs 粒子が増加しており, それぞれ高度  $21 \text{ km}$ , 高度  $20 \text{ km}$ , 高度  $18 \text{ km}$  付近にピークがあることから, この層ではそれより下層の層とは独立して PSCs 粒子が生成され, 沈降している状態にあることが分かる.

#### (2) 8/2 観測

対流圏界面高度は  $9.8 \text{ km}$  にあり, NAT 生成領域は高度  $11.3\text{--}25 \text{ km}$ , ICE 生成領域は高度  $16\text{--}23 \text{ km}$  に存在している. 図 37 (8/2 観測) によると, NAT の生成領域である高度  $11 \text{ km}$  以上では重量混合比がバックグラウンドエアロゾルの高度分布より増大しており, PSCs の存在が認められる. 図 36 (8/2 観測) によると ICE 生成領域である高度  $15 \text{ km}$  付近より高度  $20 \text{ km}$  にかけて  $>0.15 \mu\text{m}$  及び  $>0.25 \mu\text{m}$  の粒子濃度が急激に減少しているが,  $>0.6 \mu\text{m}$  及び  $>1.8 \mu\text{m}$  の粒子濃度は増大傾向にある. また, 高度  $20\text{--}25 \text{ km}$  までの層では高度  $15\text{--}20 \text{ km}$  の層と異なり,  $>0.4 \mu\text{m}$  の粒子濃度が増加している. これら 2 層では NAT 粒子の成長または NAT 粒子から ICE 粒子への移行が考えられる.

#### (3) 8/5 観測

対流圏界面高度は  $10.1 \text{ km}$  にあり, NAT 生成領域は高度  $13.2\text{--}26.3 \text{ km}$ , ICE 生成領域は高度  $16.4\text{--}23.2 \text{ km}$  に存在している. 図 37 (8/5 観測) によると, 高度  $16\text{--}25 \text{ km}$  に急激な重量混合比の増大が認められ, PSCs の存在が示唆される. NAT 生成領域である高度  $14\text{--}15 \text{ km}$  に重量混合比の増大が認められないのは NAT (硝酸  $10 \text{ppbv}$ , 水蒸気  $5 \text{ppmv}$ ) の組成と異なっている可能性がある (例えば  $[\text{HNO}_3=1 \text{ppbv}, \text{H}_2\text{O}=5 \text{ppmv}]$  の組成を仮定すると重量混合比

の増大と一致する)。図36(8/5観測)によると、高度15-20kmでは、 $>0.4\text{ }\mu\text{m}$ 、 $>0.6\text{ }\mu\text{m}$ 、 $>1.8\text{ }\mu\text{m}$ の粒子濃度が高くなっており、NAT粒子の成長またはNAT粒子からICE粒子への移行が進んでいる可能性がある。また、高度20-25km程度までの層では高度が低くなるほど $>1.8\text{ }\mu\text{m}$ の粒子濃度が増大していることから、この層における粒子の沈降が進んでいる可能性がある。

#### (4) 8/9 観測

対流圏界面高度は10kmにあり、NAT生成領域は高度8.8-26kmにある。高度11-23kmにかけてはICE生成気温に沿って気温が変化している。図36(8/9観測)によると高度12kmを中心として高度11-13kmまでの重量混合比の増大が認められる。4日前の8/5観測によるとSFC~高度13kmまではNATの生成領域に入っていない。図36(8/9観測)によると、 $>0.15\text{ }\mu\text{m}$ 、 $>0.25\text{ }\mu\text{m}$ 、 $>0.4\text{ }\mu\text{m}$ 、 $>0.6\text{ }\mu\text{m}$ の粒子濃度が急激に上昇していることから高度11-13kmまでは新しいNATが急速に生成されていると考えられる。高度15-20kmの層では8/5観測に比べ重量混合比及び各粒子濃度の急激な変化は認められないが、高度20-26kmにかけて $>0.15\text{ }\mu\text{m}$ 、 $>0.25\text{ }\mu\text{m}$ 、 $>0.4\text{ }\mu\text{m}$ の粒子濃度は大幅に増加し、 $>0.6\text{ }\mu\text{m}$ 、 $>1.8\text{ }\mu\text{m}$ の粒子濃度は大幅に減少している。このことは高度20-26kmでは、新しい空気塊の流入があった可能性がある。

#### (5) 9/24 観測

対流圏界面高度は9.7kmにあり、NAT生成領域は高度9.7-16.6kmにある。図37(9/24観測)によると、対流圏界面から高度14kmまでは、バックグラウンドエアロゾルの重量混合比と同程度であり、高度15-16kmではPSCsと考えられる $>0.15\text{ }\mu\text{m}$ 、 $>0.25\text{ }\mu\text{m}$ の粒子濃度増大が認められる(図36)が、高度16km以上の層では、大幅にエアロゾル濃度が減少しており、バックグラウンドエアロゾル濃度以下となっている。この日、オゾン全量値はオゾンホール目安である220DUを下回り194DUを観測している。窒素酸化物( $\text{NO}_x$ )濃度の低下で塩素酸化物( $\text{ClO}_x$ )の濃度が増大し、オゾン層を破壊しているとする、光化学反応により窒素酸化物より生成した硝酸が硫酸と共にPSCs粒子として取り込まれ、PSCs粒子自体沈降、または移動した結果となった可能性がある。

## 7. 天気解析

無線FAX受画装置及びインマルサットFAXより受画した各種天気実況図、予想図、気象衛星から送付された雲画像、毎日の地上気象観測、高層気象観測から得られたデータを参考に、低気圧、前線の移動を把握して天気解析を行った。

### 7.1. 利用した資料

昭和基地で観測した地上及び高層気象観測資料の他に、次の資料を利用した。

## (1) 気象庁作成天気図

気象庁作成の天気図の提供をインマルサット FAX により受けた。内容は以下の通りである。

地上天気図	海面気圧	(初期値, 24, 48, 72, 96, 120 時間予想)
850 hPa 天気図	気温	(初期値, 24, 48, 72, 96, 120 時間予想)
500 hPa 天気図	高度, 気温	(初期値, 24, 48, 72, 96, 120 時間予想)
100 hPa 天気図	高度	(初期値, 24, 48, 72, 96, 120 時間予想)
30 hPa 天気図	高度, 気温	(初期値)

## (2) FAX 放送天気図

メルボルン放送の 00・12 UTC の南半球 500 hPa 実況図と地上及び 500 hPa の 48 時間予想図, インド洋域の地上実況図と 36 時間予想図, プレトリア (南アフリカ) 放送の 00・12 UTC の地上実況図。

## (3) 極軌道衛星雲画像

極軌道衛星 NOAA の赤外及び可視画像 1 日 2-10 枚程度。

## (4) ロボット気象計

S16 (昭和基地の東方向, 標高約 500 m, 海岸から約 10 km) 地点のロボット気象計による気温, 気圧及び風向風速. とっつき岬に設置した簡易気象計による気温, 気圧, 風向・風速。

## 7.2. 天気解析結果の活用

上記資料を利用して, 低気圧や前線の位置等を解析し, 昭和基地内で毎日行ったミーティング時に天気予報を連絡するとともに昭和基地内のホームページで公開・周知した。また, 野外オペレーション, 航空機オペレーション時には随時情報を提供した。

## 8. その他の観測

## 8.1. 大陸縁辺露岩域等での観測

昭和基地周辺の気象特性を把握するため, 基地近くに設置した気象計により観測を行った。S16 及びとっつき岬に設置した気象計では, 気象要素がリアルタイムで把握できるため, 基地での観測とともに基地周辺の気象状況を把握して実況または予報の資料として活用し, 併せて観測隊の野外行動時の支援を行った。

## (1) S16 ロボット気象計

S16 付近 (69° 1.63' S, 40° 2.45' E: 昭和基地から東方向約 18 km 地点) に設置してあるロボット気象計を前次隊から引継ぎ, 観測を行った。観測項目は気圧・気温・風向・風速で, 毎日 2 回 00・12 UTC の高層気象観測開始前にロボット気象計からの電波を受信し観測を行った。2002 年 6 月 17 日から 7 月 11 日まではバッテリー凍結のため観測はできなかった。2002



年 11 月 22 日からは高層気象観測以外の時間帯に受信を常時実施し、次隊に引き継いだ。越冬期間中 2, 7, 8, 10, 11, 12 の各月にバッテリー交換を行い、7 月には測器交換を行った。2003 年 2 月には第 44 次隊との引継ぎを兼ねて測器及びバッテリーの交換を行った。

### (2) とっつき岬簡易気象計

2002 年 5 月 7 日から、とっつき岬露岩帯 (68°54.670'S, 39°49.162'E: 昭和基地から北東方向約 15 km 地点) に簡易気象観測装置を設置し、風向、風速、気温、気圧、湿度の各要素を昭和基地へ送信を開始した。昭和基地では高層気象観測以外の時間帯に常時受信・観測を実施した。7 月 5 日から 7 月 12 日までは、気象計のバッテリー凍結により観測は中断した。越冬期間中の 7, 8, 9, 10, 11 月にバッテリー交換または現地での充電を行った。9 月 19 日には 9 月 14 日から 17 日の A 級ブリザードにより破損した風向計の修理を行った。11 月 21 日には観測機器の故障により 43 次隊としての観測は終了した。2003 年 2 月には第 44 次隊との引継ぎを兼ねて測器の交換を行った。

### (3) 海水上簡易気象計

2002 年 9 月 5 日から 11 月 7 日まで、海氷上の 69°34.16'S, 39°23.297'E (昭和基地から南方向約 64 km 地点) に簡易気象計 (MAWS: バイサラ社製) を設置し、気温、湿度、気圧、風向・風速、日射量のデータを 10 分ごとに取得、データを国内に持ち帰り、気象計は第 44 次隊に引き継いだ。

## 8.2. 南極大陸旅行中の気象観測

第 43 次観測隊は、ドームふじ観測拠点再開のためのドームふじ中継拠点への燃料・建築資材などの輸送旅行 (2002 年 8 月 15 日~9 月 21 日) を行った。気象部門はこの旅行に参加し、旅行期間中気象観測 (気温、気圧、風向、風速、大気混濁度、雲、視程、天気、大気現象) を行った。

旅行ルートを図 38 に示す。S16—みずほ基地間は S ルート、H ルート及び Z ルートを、みずほ基地—ドームふじ中継拠点間は MD ルートを使用した。

### 8.2.1. 観測方法

ドームふじ中継拠点旅行中の観測項目及び気象観測機器を表 15 に示す。

旅行中の地上気象観測は、旅行隊装備品である携帯用測器を用いた。

観測は 06, 09, 12, 15, 18, 21, 24 LT に移動経路上で行った。

### 8.2.2. 観測結果

ドームふじ中継拠点旅行中の観測結果を図 39 に示す。旅行隊の移動もしくは他の作業のために、観測時間に多少のずれはあったが旅行期間中の欠測はなかった。旅行期間中の天気概況としては、大陸沿岸部を除いて内陸では地ふぶきが続く、比較的弱い風でも視程が 1 km 以上になることは少なかった。降雪はほとんど無く、地上では地ふぶきの状態でも上空は晴

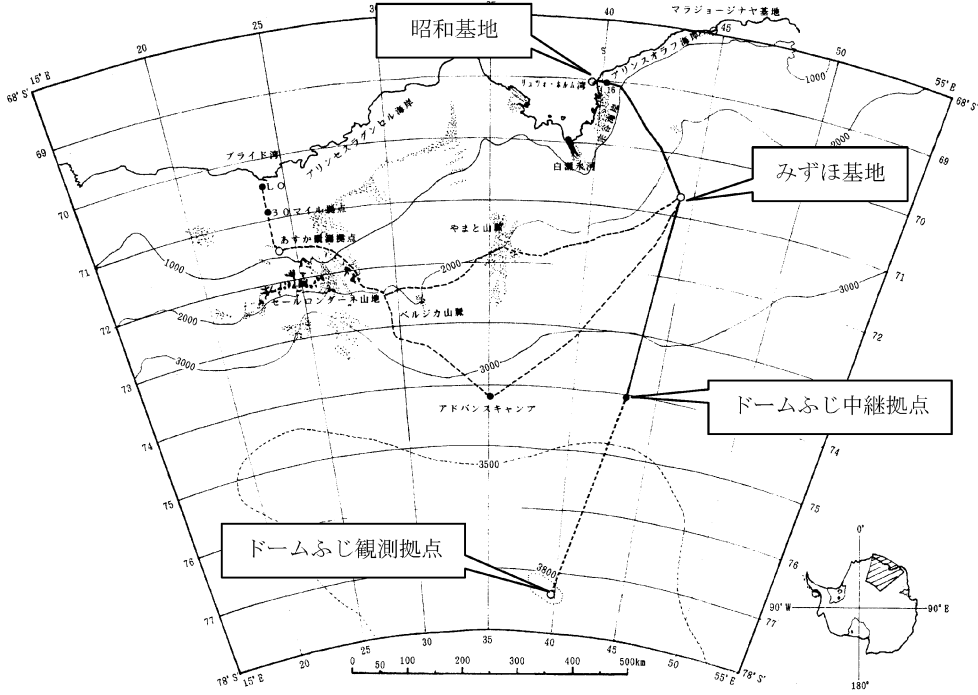


図 38 昭和基地からドームふじ中継拠点への経路  
 Fig. 38. Traverse route from Syowa Station to Dome Fuji Relay Point.

表 15 旅行中に使用した気象観測測器及び観測精度  
 Table 15. Instruments and accuracy of meteorological observations on traverse route.

観測項目	単位	測器名	測定精度
気圧	hPa	携帯型半導体式気圧計 (フィールドメッセ)	±1 hPa
気温	°C	スリング式ガラス製温度計	±0.1 °C
風向	16方位	ハンドベアリングコンパス	±5 °
風速	m/s	携帯用3杯型風速計	±1 m/s
大気混濁度		携帯型サンフォトメータ (EKO MS-120)	
視程	km	目視	
雲	10分位・雲形	目視	
天気		目視	

れているということもしばしばであった。気温は基本的には高度変化によるものであったが、9月1日~2日、(観測隊ルート MD226) では、放射冷却により -60°C 以下の低温となった。観測隊ルート MD226 で9月1日 23 LT に行った臨時観測では、-74.5°C となっていた。雲量の変化に関しては、沿岸部の標高の低いところでは低気圧の影響を受けやすく雲量が多い点が目立つ。また、標高 3000 m を超えるところでは日中は雲が広がり、夜間は雲量がなくなるという日変化があった。なお、ふぶきにより天空を透視できず雲量を観測できなかった期間も同時に表した。

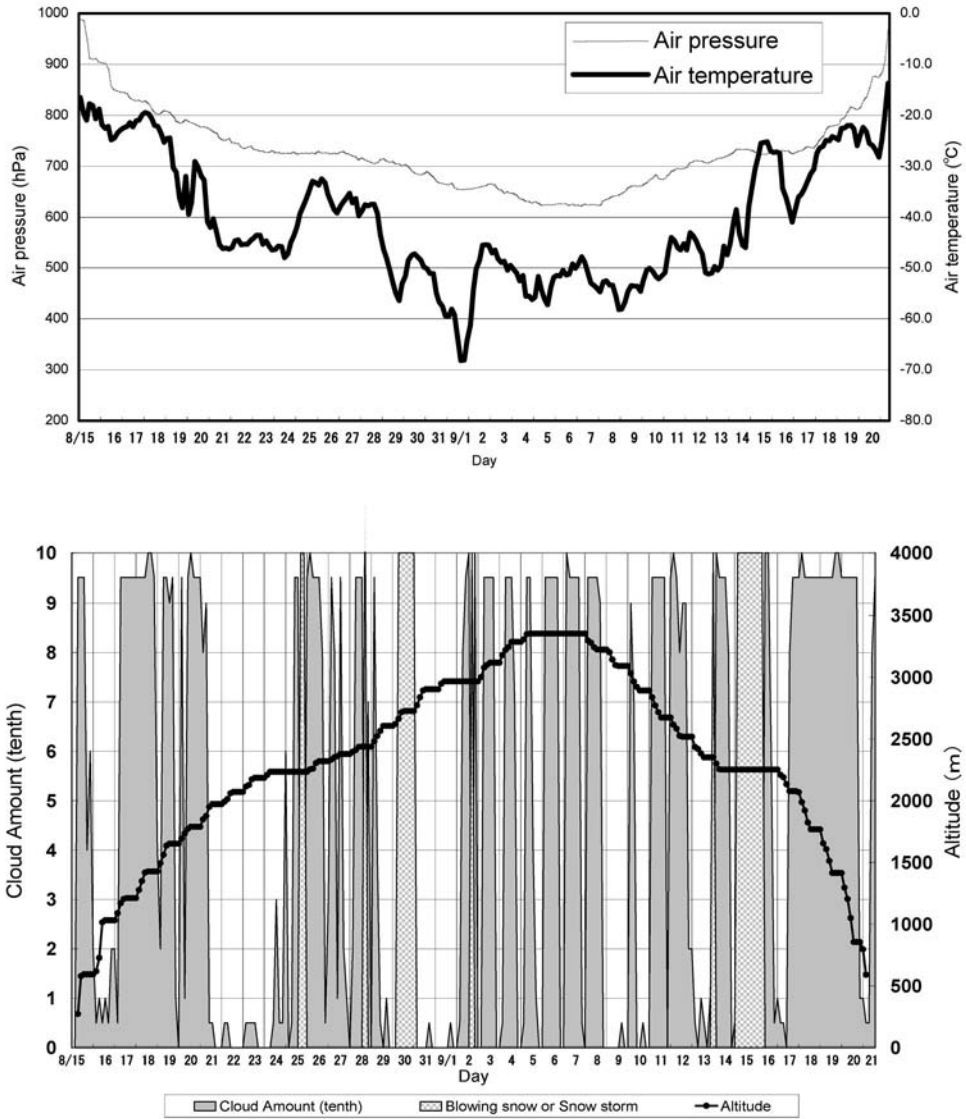


図 39 ドームふじ中継拠点旅行中の気象観測データ (2002 年 8 月 15 日~9 月 21 日)  
 Fig. 39. Surface meteorological observation data during the traverse to Dome Fuji Relay Point (Aug. 15–Sep. 21, 2002).

旅行中の大気混濁度観測については、外気温が低かったことや地吹雪が絶えないなど、観測条件が悪く、多くのデータが取得できなかったため、波長ごとの緯度分布としての評価はできなかった。

## 謝 辞

第43次隊の気象定常観測を遂行するにあたり、様々な援助と助言を頂いた神山孝吉隊長をはじめ第43次隊の隊員の方々、南極観測事務室、高層気象台ほか気象庁の皆様には感謝いたします。また、この報告をまとめるにあたり資料の提供を頂いた、第42次隊気象部門の方々にお礼申し上げます。

## 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.
- 東島圭志郎・佐藤 健・安ヶ平一也・村方栄真・河原恭一 (2003): 第40次南極地域観測隊気象部門報告1999. 南極資料, **47**, 171-271.
- 岸 隆幸・安田毅彦・吹田俊明・堀川和久・大河原望 (2002): 第39次南極地域観測隊気象部門報告1998. 南極資料, **46**, 318-376.
- 気象庁 (1990a): 地上気象観測統計指針. 東京, 124 p.
- 気象庁 (1990b): 国際気象通報式 (第8版). 東京, 497 p.
- 気象庁 (1991): オゾン観測指針 (オゾン全量・反転観測編). 東京, 91 p.
- 気象庁 (1993a): 地上気象観測指針. 東京, 167 p.
- 気象庁 (1993b): 紫外域日射観測指針. 東京, 83 p.
- 気象庁 (1995): 高層気象観測指針. 東京, 128 p.
- 気象庁 (1997): オゾン観測指針 (オゾンゾンデ観測編). 東京, 60 p.
- 気象庁 (2003): オゾン層観測報告: 2002. 東京, 53 p.
- 気象庁 (2004): 南極気象資料 2002年—第43次日本南極地域観測隊昭和基地. 東京 (CD-ROM).
- 気象庁 (2005): オゾン層観測報告: 2004. 東京, 52 p.
- 松原廣司・土井元久・上窪哲朗・岡田憲治 (1990): 第29次南極地域観測隊気象部門報告1988. 南極資料, **34**, 175-215.
- 宮川幸治 (2002): ドブソンオゾン分光光度計の新自動制御方式. 高層気象台彙報, **62**, 27-44.
- 宮本仁美・中村雅道・成田 修・横田歩・森永裕幸 (1999): 第37次南極地域観測隊気象部門報告1999. 南極資料, **43**, 477-533.
- Roscoe, H.K., Shanklin, J.D. and Colwell, S.R. (2005): Has the Antarctic vortex split before 2002? *J. Atmos. Sci.*, **62**, 581-588.
- 柴田誠司・廣瀬保雄 (2001): 新型長波長放射計 (CG4) について. 高層気象台彙報, **61**, 1-4.
- 柴田誠司・伊藤真人・能登美之・上野丈夫・岡本利次 (2000): 全天型紫外域日射計の感度変化と測定精度. 高層気象台彙報, **60**, 17-24.
- Solomon, S (1999): Stratospheric ozone depletion: A review of concepts and history. *Rev. Geophys.*, **37**, 275-316.
- 田口雄二・加藤裕規・肆矢朗久・坪井一寛・池田友紀子 (2006): 第42次南極地域観測隊気象部門報告2001. 南極資料, **50**, 152-211.
- 山内 恭 (1983): 南極における放射収支. *天気*, **30**, 427-446.
- 吉識宗佳・木津暢彦・佐藤 薫 (2006): 昭和基地連結飛揚観測に基づくラジオゾンデデータ品質比較. *天気*, **53**, 123-133.
- WHO (World Health Organization), WMO (World Meteorological Organization), UNEP (United Nations Environment Programme), NIR (International Commission on Non-ionizing Radiation protection) (2002): Global Solar UV Index. A Practical Guide, <http://www.who.int/uv/publications/globalindex/en/index.html>.