

第 42 次南極地域観測隊気象部門報告 2001

田口雄二*・加藤裕規・肆矢朗久・坪井一寛・池田友紀子¹Meteorological observations at Syowa Station in 2001
by the 42nd Japanese Antarctic Research ExpeditionYuji Taguchi*, Yuki Kato, Akihisa Yotsuya, Kazuhiro Tsuboi and Yukiko Ikeda¹

(2006 年 2 月 1 日受付; 2006 年 4 月 24 日受理)

Abstract: This report presents results of meteorological observations performed by the 42nd Japanese Antarctic Research Expedition from February 1, 2001 through January 31, 2002 at Syowa Station. Instruments and means of compiling statistics were similar to those used on the 41st Expedition.

Remarkable weather phenomena during the wintering period are as follows.

- 1) Anomalously low temperature was observed in the lower stratosphere from September to November.
- 2) Severe ozone depletion was found by total ozone observation. The lowest monthly means of total ozone since 1966 were recorded in September and November.
- 3) Polar stratospheric clouds (PSCs) were observed by using aerosol sondes in June, before ozone hole appearance.

要旨: この報告は、第 42 次南極地域観測隊気象部門が、2001 年 2 月 1 日から 2002 年 1 月 31 日まで昭和基地において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 41 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) 高層気象観測において、9 月から 11 月にかけて、成層圏下部の気温が 30 年平均値に比べ著しく低かった。
- 2) オゾン全量観測では、大きなオゾン減少を観測し、9 月と 11 月の月平均オゾン全量値は観測開始以来の最低値となった。
- 3) エアロゾルゾンデ観測において、オゾンホール出現前の 6 月に極域成層圏雲 (PSCs) が形成されていることが観測された。

1. はじめに

第 42 次南極地域観測隊気象部門は、昭和基地において 2001 年 2 月 1 日に第 41 次隊より

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

*Corresponding author. E-mail: taguchi-y@met.kishou.go.jp

定常気象観測業務を引き継ぎ、2002 年 1 月 31 日まで 1 年間越冬観測を行った。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、特殊ゾンデ観測等を行った。

地上気象観測、高層気象観測は、第 41 次隊から引き継いだ観測装置で観測を行った。

地上日射放射観測の内、波長別紫外域日射観測と大気混濁度観測を除いて第 41 次隊から引き継いだ観測装置で観測を行った。波長別紫外域日射観測では、第 41 次隊で使用していたブリューワー分光光度計 MK II (#91) (以下 MK II (#91) とする) より観測波長領域の広いブリューワー分光光度計 MK III (#168) (以下 MK III (#168) とする) による観測を行った。また、大気混濁度観測では第 41 次隊で使用していた携帯型サンフォトメータ (MS-120) に換えて自動観測型サンフォトメータによる観測を行った。

特殊ゾンデ観測は、オゾンゾンデ 81 台 (国立環境研究所及び国立極地研究所気水圏グループとの共同観測である ILAS 検証用オゾンゾンデ 24 台を含む) と、エアロゾルゾンデ 9 台を飛揚した。

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気象観測、内陸旅行時の地上気象観測、「しらせ」船上における大気混濁度観測を行った。

主な機器の更新としては、地上気象観測と高層気象観測の結果を静止気象衛星 (METEOSAT) 経由で通報する気象衛星通報局装置 (以下 DCP 装置)、及び極軌道衛星 NOAA の可視、赤外面像を受信する気象衛星受画装置を更新した。

なお、観測データは南極気象資料 Vol. 42 (気象庁、2003、以下「データレポート」とする) として刊行した。

本報告中の 2001 年 1 月のデータは第 41 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) の技術基準に基づいて行い、統計処理については、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、DCP 装置によって、ヨーロッパの静止気象衛星 METEOSAT 経由でドイツのダルムシュタット地上局へ送信され、そこからさらに GTS (Global Telecommunication System, 全球気象通信網) 回線を経由して直ちに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。

表1 昭和基地における地上気象観測使用測器等一覧表 (2001年2月~2002年1月)
 Table 1. Observation elements, frequency of observation, minimum unit and instruments at Syowa Station (Feb. 2001-Jan. 2002).

観測種目	観測時刻	観測 最小単位	使用測器等	型式	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	同上	1%	電気式湿度計 (静電容量型)	HMP233LJM	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 ²	全天電気式日射計	MS-62F	気象棟西側旗台地に設 置, 日照計と一体型
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	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(現象判別付)	TZE-6P	参考測器
大気現象	常時		目視		
			視程計(現象判別付)	TZE-6P	参考測器

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

(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, 視程計は目視観測の補助測器として運用した。

(2) 目視観測

雲, 視程については, 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。

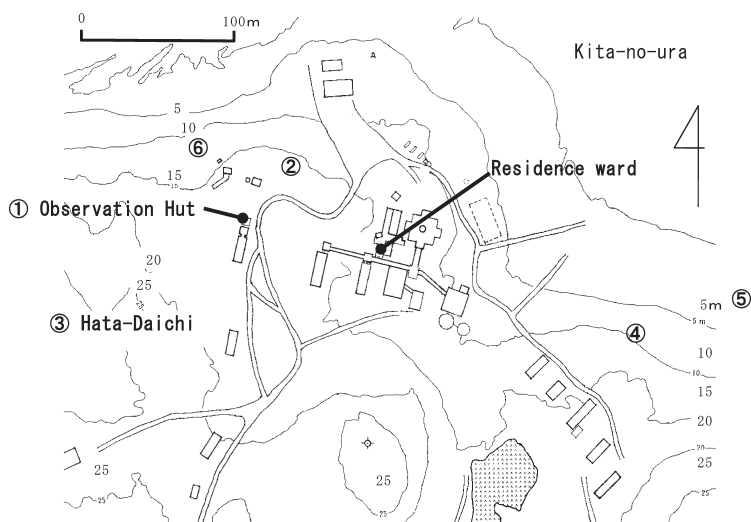


図 1 昭和基地主要部と測器感部の配置 (国立極地研究所 (1998) に加筆)

- 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: ブリュウワ分光光度計, 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

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

- ① Surface observation: Barometer
Ozone observation: Dobson spectrophotometer
Radiation observation: Brewer spectrophotometer, downward radiation
- ② Surface observation: Wind sensor, thermometer, hygrometer, visibility sensor
- ③ Surface observation: Sunshine sensor
- ④ Surface observation: Snow depth sensor
- ⑤ Radiation observation: Upward radiation
- ⑥ Ozone observation: Surface ozone monitoring sensor

(3) 海水上積雪深観測

北の浦の海氷上に 20 m 四方, 10 m 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, 前観測との差を 9 本平均して前回の積雪深に加算したものを積雪深観測値とした。なお, 積雪深は雪尺設置時点を 0 cm として起算した。

2.2. 観測経過

総合自動気象観測装置 (地上系) 系統の各測器は, おおむね順調に作動した。国内の保守要領に準じて保守・点検を実施した。

(1) 気圧

測器の精度監視と器差補正值算出のために、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。誤差の月平均値は年間を通じて $-0.1\sim+0.1$ hPaで許容範囲内であり、動作状況は良好であった。

(2) 気温、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。ブリザードの際には、百葉箱内に雪が詰まることがしばしばあり、その都度除雪を行った。

比較観測はアスマン通風乾湿計により月1回行い、アスマンの観測値を基準として、観測装置の値が気温においては $\pm 0.4^{\circ}\text{C}$ 、湿度は $\pm 4\%$ の許容範囲内にあることを確認した。比較結果はおおむね良好であった。

(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。

なお、前次隊まで低温と強風により一部の塗装にひび割れや剝離が生じたため、第42次隊では感部の塗装を見直し、国内と同様仕様とした結果、1年を通して障害の発生は無かった。

(4) 全天日射量、日照時間

感部は気象棟西側の旗台地に設置し、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通年観測し、おおむね順調に動作した。

(5) 積雪の深さ

超音波式積雪深計を観測棟北側の北の浦に下る斜面に設置し、通年観測した。

低温、弱風時や、ふぶきの時などに受信波のレベルが低下して測定不能となることが度々あり、1時間値で31個欠測した。

(6) 視程（視程計による参考記録）

管制棟裏に設置した視程計（現象判別付）と目視による観測値との対応は比較的良く、参考測器として通年運用し、視程障害時の目視観測の補助や、大気現象発現時刻の決定等に利用した。

(7) 海水上の積雪観測

2001年3月までは海水状態が悪かったため、4月に入ってから海水上に9本の雪尺を設置し観測を始めた。旧設置場所（第41次隊及び第40次隊で観測）は、第42次隊が航空用滑走路の予定地としたため、氷上輸送ルートの上側、及び滑走路から外れた場所として、旧設置場所から北東約110mの沖合いで観測を行った。しかし、ほぼ裸水であったため、積雪があっても強風で飛ばされ、ほとんど積もることは無かった。2001年11月に入ると海水の表面が緩みはじめ、12月にはパドルも多くなり海水に出るのが危険になったため、12月16日をもって観測を終了した。

2.3. 観測結果

月別気象表を表 2 に、年間の海面気圧・気温・風速・雲量・日照時間の旬ごとの経過を図 2 に、積雪計による観測及び海氷上の積雪の経過を図 3 に示す。また、極値・順位値の更新記録(3 位まで)を表 3 に、ブリザードの記録の概要を表 4 に示す。また、越冬期間中の天気概況を表 5 に示す。

第 42 次隊越冬期間中はおおむね平年並みの気象変化で顕著な現象は無かったが、平均気温は 2 月を除き全月で平年を下回った。また、ブリザードは表 4 の通り 17 回観測したが、平年(26.8 回)に比べて少なく、特に A 級ブリザードは 1 回しか観測しなかった。

3. 高層気象観測

3.1. 観測方法及び測器

高層気象観測指針(気象庁, 1995)に基づき、毎日 00, 12 UTC の 2 回、RS2-91 型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)、高層月平均値気象通報式(CLIMAT TEMP)に変換して、地上気象観測と同様に DCP 装置を用いて、静止気象衛星(METEOSAT)経由で世界気象通信網(GTS)に通報した。

観測器材を表 6 に示す。

3.2. 観測経過

観測状況を表 7 に示す。

観測装置のデータ処理部を更新し、第 42 次隊として 2001 年 2 月 1 日 00 UTC より 2002 年 1 月 31 日 12 UTC までの観測を行った。この期間中、強風のため気球の放球が成功せず飛揚作業を取り止める欠測や、100 hPa 面の風資料を得られる高度まで到達せずに観測中止となる資料欠如は共に無かった。

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、4 月 11 日 12 UTC から 4 月 16 日 00 UTC までの期間と 5 月 8 日 00 UTC から 11 月 23 日 12 UTC までの期間は、気球の油漬け処理を行った。油漬けの実施期間は成層圏の気温がおおむね -70°C を下回る時期を目安としたが、この期間の始めと終わり頃は気球の破裂高度が低い傾向にあった。また、観測到達高度 5 hPa を目標とし第 43 次隊から始まる高

表2 昭和基地における地上気象観測月別気象表 (2001年1月~2002年1月)
Table 2. Monthly summaries of surface observations at Syowa Station (Jan. 2001-Jan. 2002).

	2001年												2002年		
	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	1月
平均海面気圧	988.7	990.2	986.2	980.6	989.7	994.1	990.2	983.9	981.5	984.3	981.2	980.7	985.9	987.4	987.4
最低海面気圧	973.3	965.2	967.5	955.2	969.6	966.2	966.7	959.6	954.2	961.6	953.7	960.5	953.7	975.5	975.5
起日	8	14	4	6	1	24	7	4	19	3	29	5	30	30	30
平均気温	-1.0	-2.2	-6.6	-11.7	-13.8	-17.7	-18.1	-20.4	-18.7	-14.9	-7.1	-1.9	-11.2	-1.8	-1.8
最高気温の平均	1.7	0.3	-4.0	-8.9	-11.1	-13.4	-14.3	-17.4	-15.7	-11.8	-4.0	0.7	-8.2	1.2	1.2
最低気温の平均	-3.9	-4.9	-9.8	-15.2	-17.0	-22.0	-22.1	-24.0	-22.3	-19.1	-10.7	-4.8	-14.7	-5.1	-5.1
最高気温	5.4	4.9	-0.3	-0.9	-4.9	-4.1	-6.3	-9.2	-9.4	-3.7	1.9	4.0	5.4	4.9	4.9
起日	18	4	11	4	27	28	12	24	28	30	27	22	3	3	3
最低気温	-7.0	-13.4	-21.7	-25.4	-27.1	-34.2	-33.1	-35.6	-32.5	-30.4	-16.3	-9.2	-35.6	-10.2	-10.2
起日	25	28	19	26	22	4	11	8	6	20	6	10	28	28	28
最低気温	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
0°C以上の日数	7	6	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	18	1	1
0°C以上の日数	26	16	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	68	27	27
10°C以上の日数	31	28	30	18	14	10	9	6	4	10	29	31	220	31	31
-20°C未満の日数	-	-	2	10	9	19	19	22	20	11	-	-	112	-	-
-20°C未満の日数	-	-	-	1	4	10	14	18	12	5	-	-	64	-	-
-20°C未満の日数	-	-	-	-	1	5	7	10	4	2	-	-	29	-	-
平均蒸気圧	3.9	3.4	2.6	2.3	1.5	1.2	1.2	1.0	1.0	1.6	2.4	3.6	2.1	3.9	3.9
平均相対湿度	68	64	69	81	66	68	71	70	67	77	66	68	70	73	73
平均風速	4.5	6.5	6.6	9.0	7.0	5.2	6.3	5.5	6.6	5.4	8.3	6.8	6.5	4.2	4.2
最多風向	NE	NE	NE	NE	E	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE
最大風速	19.7	27.8	26.8	29.2	31.5	23.7	31.5	30.5	34.9	23.6	22.7	24.2	34.9	20.9	20.9
風向	E, 8	ENE, 14	ENE, 29	ENE, 6	ENE, 1	NE, 19	ENE, 23	ENE, 11	NE, 19	ENE, 25	ENE, 21	ENE, 21	ENE, 18	NE, 18	NE, 18
風速	26.9	38.5	35.6	38.5	39.0	35.0	42.1	40.5	46.8	30.5	29.9	30.5	46.8	27.2	27.2
最大瞬間風速	ENE, 9	ENE, 14	ENE, 29	ENE, 6	ENE, 1	NE, 19	NE, 23	ENE, 11	NE, 19	NE, 3	E, 2	ENE, 21	ENE, 18	NE, 18	NE, 18
最大風速	11	15	17	19	18	12	17	14	16	15	25	24	203	7	7
10.0 m/s以上の日数	3	5	7	16	9	7	9	7	8	9	16	13	109	3	3
15.0 m/s以上の日数	3	5	7	16	9	7	9	7	8	9	16	13	109	3	3
30.0 m/s以上の日数	3	5	7	16	9	7	9	7	8	9	16	13	109	3	3
日照時間	307.3	236.0	92.8	56.1	23.6	-	7.7	65.7	123.5	182.9	347.3	400.9	1843.8	372.7	372.7
日照率	44	49	23	22	21	-	0.1	15	30	37	38	55	54	53	53
平均全日日射量	25.1	17.3	7.6	2.4	0.2	0.0	0.1	1.5	6.6	14.9	25.5	29.4	10.9	26.0	26.0
不照日数	2	4	11	12	20	30	26	18	8	7	1	1	140	3	3
平均雲量	7.0	7.1	8.6	8.0	7.1	5.8	7.1	6.6	7.4	7.5	5.9	6.7	7.1	6.7	6.7
平均雲量	4	2	-	-	1	3	5	4	5	3	2	5	39	1	1
1.5未満の日数	16	13	21	17	12	10	15	14	14	15	15	16	178	9	9
8.5以上の日数	14	15	14	27	15	16	18	20	23	26	15	18	221	15	15
雪日数	14	15	14	27	15	16	18	20	23	26	15	18	221	15	15
霧日数	14	15	14	27	15	16	18	20	23	26	15	18	221	15	15
ブリザード日数	0	0	1	12	3	5	5	5	3	3	0	0	37	0	0

1) 統計方法は「地上気象観測統計指針」(気象庁)による。2) 「」付の値は期間中に20%以下の欠測があったことを示す。
 3) 5月29日より7月14日までの47日間は、計算上太陽中心は地平線上に現れないが、不照日数として含めた。
 4) ブリザードの基準については、表4「ブリザード統計」を参照のこと。

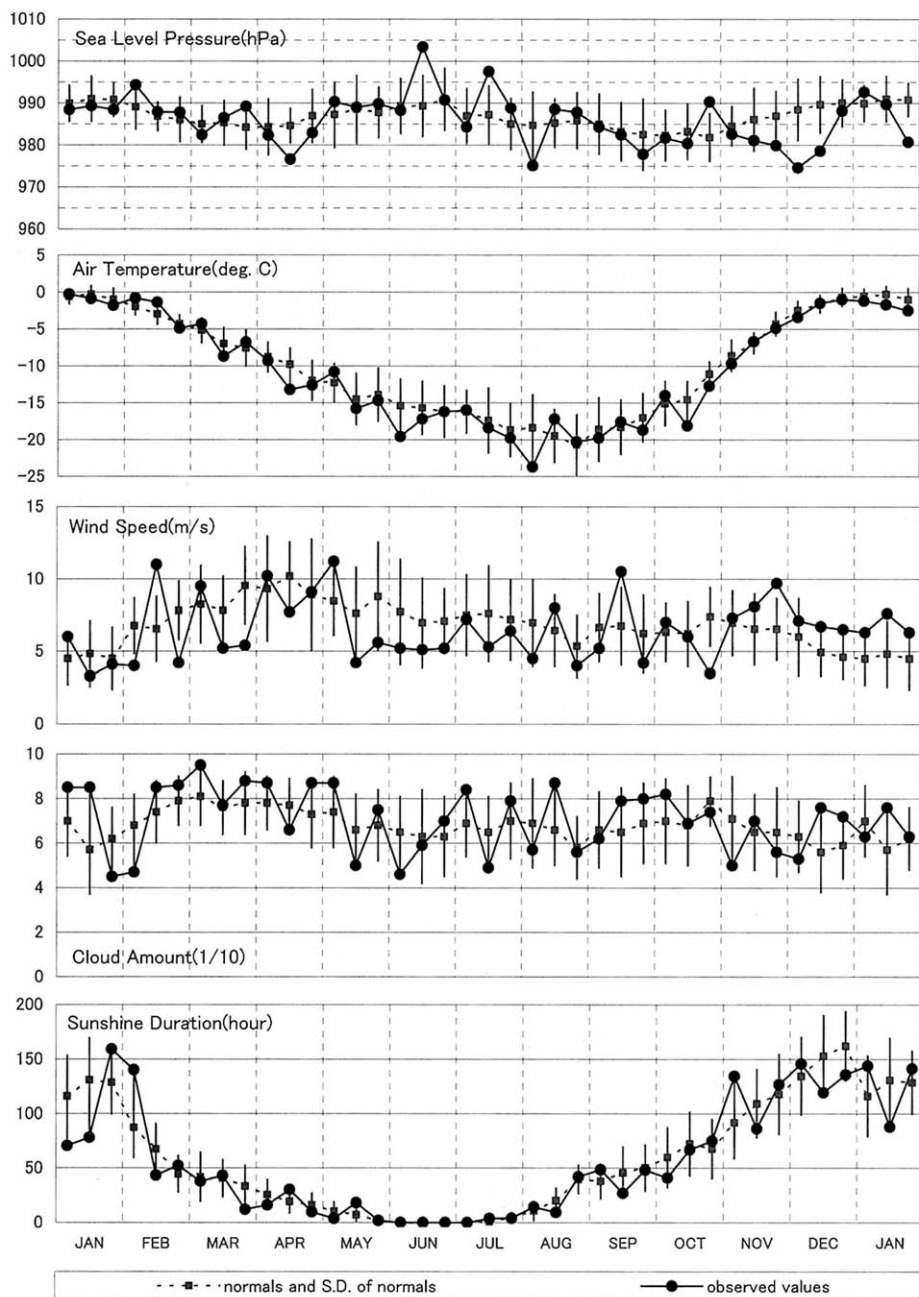


図 2 昭和基地における地上気象旬別経過図 (2001 年 1 月～2002 年 1 月)。平年値は 1971 年から 2000 年の平均値。

Fig. 2. Time series of ten-days mean surface meteorological data at Syowa Station (Jan. 2001 -Jan. 2002). 'Normal' shown in the figures means average values between 1971 and 2000.

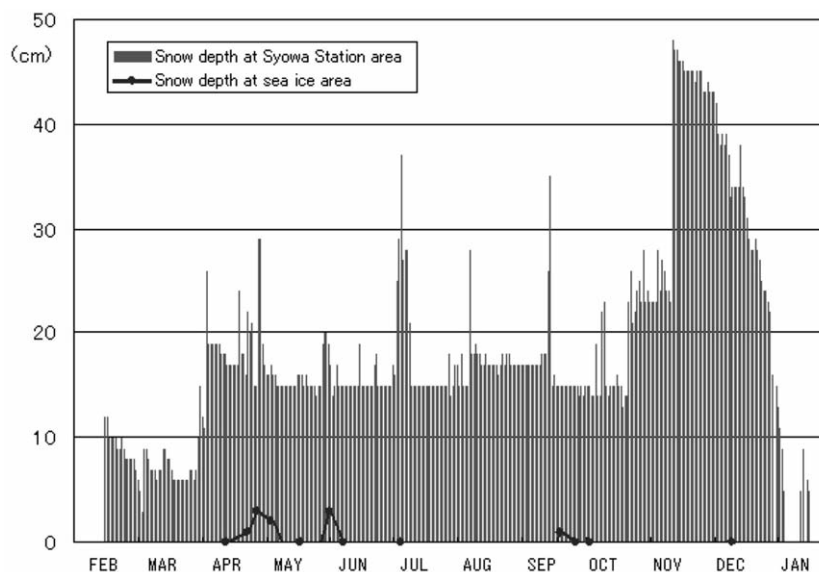


図3 海上上(雪尺)と昭和基地内(積雪計)の積雪深観測値の比較(2001年2月~2002年1月)
 Fig. 3. Comparison of snow depth in the sea ice area with that in the Syowa Station area (Feb. 2001-Jan. 2002).

表3 昭和基地における地上気象観測極値・順位更新記録(2001年2月~2002年1月)

Table 3. New records of surface meteorological observations, including extremes and rankings, at Syowa Station (Feb. 2001-Jan. 2002).

年	月	月別値		旬別値	
	2			旬平均風速(中旬)	11 m/s 2位(大)
				旬平均風速(下旬)	4.2 m/s 2位(小)
				日照時間旬合計(上旬)	140.3 h 1位(多)
	3			旬平均雲量(上旬)	9.5 1位(多)
	4	月平均相対湿度	81% 1位(高)	旬平均海面気圧(中旬)	976.6 hPa 2位(低)
				旬平均気温(中旬)	-13.2°C 3位(低)
	5	なし			
	6			旬平均海面気圧(中旬)	1003.4 hPa 2位(高)
	7			旬平均海面気圧(中旬)	997.5 hPa 2位(高)
2001				日照時間旬合計(中旬)	3.8 h 2位(多)
	8			旬平均海面気圧(上旬)	975.1 hPa 2位(低)
				旬平均気温(上旬)	-23.7°C 3位(低)
	9	月最高気温	-9.4°C 3位(低)		
	10	月平均相対湿度	77% 1位(高)	旬平均海面気圧(下旬)	990.3 hPa 3位(高)
				旬平均気温(中旬)	-18.1°C 3位(低)
	11	月平均風速	8.3 m/s 2位(大)	旬平均風速(下旬)	9.7 m/s 3位(大)
	12	月平均現地気圧	978.1 hPa 1位(低)	旬平均海面気圧(上旬)	974.6 hPa 2位(低)
		月平均海面気圧	980.7 hPa 1位(低)	旬平均海面気圧(中旬)	978.6 hPa 2位(低)
		月最低海面気圧	960.5 hPa 2位(低)	旬平均風速(下旬)	6.5 m/s 3位(大)
2002	1			旬平均海面気圧(下旬)	980.7 hPa 1位(低)

注) 月、旬ともに3位以内更新のものを記載

表 4 昭和基地におけるブリザードの概要 (2001 年 2 月 ~ 2002 年 1 月)
 Table 4. Summaries of heavy snowstorms (blizzards) at Syowa Station (Feb. 2001-Jan. 2002).

通番	開始			終了			継続時間	階級	最大風速 (m/s)		最大瞬間風速 (m/s)		最低海面気圧 (hPa)		中断時刻 (日)					
	年	月	日	年	月	日			時	分	風向	起時(日)	風向	起時(日)		起時(日)	起時(日)			
1	2001	3	29	0	10	2001	3	29	8	40	C	24.6	ENE	0630(29)	31.2	ENE	0727(29)	986.3	0657(29)	
2	2001	4	3	11	30	2001	4	4	4	0	B	28.8	ENE	1450(3)	36.2	ENE	1454(3)	973.0	1410(3)	
3	2001	4	5	20	30	2001	4	7	8	30	B	29.2	ENE	0440(6)	38.5	ENE	0450(6)	955.2	1234(6)	
4	2001	4	11	10	20	2001	4	13	1	0	B	25.3	ENE	1750(11)	32.5	NNE	1528(11)	969.9	0238(12)	
5	2001	4	22	15	40	2001	4	23	6	10	B	25.5	ENE	2230(22)	36.2	NE	0056(23)	966.3	0046(23)	
6	2001	4	27	16	40	2001	4	28	3	30	C	19.9	NE	2010(27)	27.3	NNE	2245(27)	989.5	0330(28)	
7	2001	5	1	6	20	2001	5	3	1	0	B	31.5	ENE	1810(1)	39.0	ENE	1800(1)	969.6	1805(1)	
8	2001	6	8	22	20	2001	6	10	10	0	C	22.4	ENE	2330(8)	30.1	NE	2331(8)	976.9	2331(8)	0920(9)-2120(9)
9	2001	6	18	23	22	2001	6	19	11	40	C	23.7	NE	0730(19)	35.0	NE	0621(19)	984.5	0148(19)	
10	2001	7	6	4	40	2001	7	7	3	10	B	22.9	ENE	1620(6)	28.4	NE	1015(6)	966.7	0119(7)	
11	2001	7	8	6	48	2001	7	8	21	20	C	17.8	NE	1800(8)	24.7	NE	1736(8)	988.0	0724(8)	
12	2001	7	22	18	40	2001	7	23	13	20	B	31.5	ENE	1010(23)	42.1	NE	1101(23)	977.4	1108(23)	
13	2001	8	10	14	0	2001	8	12	4	0	B	30.5	ENE	0500(11)	40.5	ENE	0449(11)	960.4	0507(11)	1400(11)-1630(11)
14	2001	8	14	8	40	2001	8	15	0	30	B	24.2	NE	1630(14)	31.9	NE	1450(14)	972.2	1217(14)	
15	2001	9	18	1	55	2001	9	20	12	40	A	34.9	NE	0620(19)	46.8	NE	0637(19)	954.2	0614(19)	0820(18)-0930(18)
16	2001	10	11	8	0	2001	10	11	17	40	C	18.8	NE	1640(11)	24.9	NE	1522(11)	977.7	1720(11)	
17	2001	10	14	19	0	2001	10	15	14	0	C	18.8	NE	0900(15)	24.5	NNE	0721(15)	979.6	2238(14)	

注 1) 階級区分は次による。

- A 級ブリザード (視程 100 m 未満, 風速 25 m/s 以上の状態が 6 時間以上継続)
- B 級ブリザード (視程 1 km 未満, 風速 15 m/s 以上の状態が 12 時間以上継続)
- C 級ブリザード (視程 1 km 未満, 風速 10 m/s 以上の状態が 6 時間以上継続)

2) 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で求めた。

表 5 昭和基地の天気概況 (2001年2月~2002年1月)
Table 5. Weather summaries at Syowa Station (Feb. 2001-Jan. 2002).

年・月	天気概況	
2001年 2月	月の初めから極冠高気圧の影響で気圧が高く、概ね晴れの日が多かったが、中旬から低気圧の接近により雪の日が多くなった。その後天気は周期的に変わった。月の前半は気温の高い状態で経過し、日平均気温が0°C以上の日が数日あった。風は上旬、下旬で弱く、中旬は低気圧の影響で強い日が続いた。	
	上旬	昭和基地の北を通過した低気圧の影響で3から5日にかけて弱い雪が降ったが、概ね極冠高気圧の張り出しが強く、晴れた日が多かった。日照時間の割合が多い方の1位を記録した。気温は高めに経過し、旬平均気温-0.8°Cは2月上旬としては高い方から4位の記録となった。
	中旬	極冠高気圧の張り出しが弱まり昭和基地付近に低気圧が接近し、雪の日が多かった。風も強い日が多く、旬平均風速11.0 m/sは2月中旬としては強い方から2位の記録となった。特に、14から16日にかけて日平均風速が15 m/s以上の日が続き吹雪となったが、視程1 km未満の継続時間が短くブリザード基準には達しなかった。
2001年 3月	天気は周期的に変わり、晴れ、曇り、雪の日が繰り返した。風は概ね弱く、旬平均風速4.2 m/sは2月下旬としては弱い方から2位の記録となった。28日夜間に気温が-13.4°Cまで下がり、霧となった。	
	上旬	月を通じて曇り、雪の日が多く、晴れた日は長く続かなかった。気温は月の前半高めに経過したが、後半には、南よりの風が吹き、夜間晴れて放射冷却も加わって冷え込み、日最低気温が-20°Cを下回る日もあった。また、29日は昭和基地付近を通過した低気圧の影響で吹雪となり、第42次隊が越冬開始して初めてのC級ブリザードとなった。
	中旬	上旬は曇りの日が多く、旬平均曇量は3月上旬としては多い方の1位と同記録であった。旬の中頃、低気圧の接近により風が強まったがブリザードの基準には達しなかった。気温は高めに経過した。
2001年 4月	中旬	曇り、雪の日が多かったが、18から19日にかけて晴れて、日最低気温が-20°Cを下回った。風は旬の中頃と最後を除くと弱い日が多かった。
	下旬	旬を通じて曇り、雪の日が多く、風は弱い日が多かったが、29日には低気圧の接近によりC級ブリザードになった。
	南緯60度以南を進んだ低気圧が次々と昭和基地付近を通過し、ふぶきとなる日が多かった。4月のブリザード回数は5回(B級4回、C級1回)、日数は12日であった。月平均相対湿度が高い方の1位となった。ブリザード期間の気温は高く、-0.9°Cまで上がった日もあったが、ブリザードの期間以外は南寄りの風が吹き、気温が-20°C以下まで下がる日が多かった。	
2001年 5月	上旬	1日は晴れたが3から4日にかけてと5から7日にかけてB級ブリザードが続けて来襲した。8日以降は風が弱く気温が下がり、9日には細氷(ダイヤモンドダスト)が観測された。
	中旬	11から13日にかけてB級ブリザードとなった。旬の後半は風が弱く比較的好天に恵まれ、気温は低めに経過した。
	下旬	22から23日にB級、27から28日にかけてC級ブリザードとなった。その他の日も曇または雪の日が多かった。
2001年 6月	月のはじめに、30 m/sを越える強風となりB級ブリザードとなったが、その後は南緯60度以南を進む低気圧はあるものの、昭和基地への影響は少なく比較的穏やかな晴天の日が多かった。	
	上旬	1から3日にかけて昭和基地付近を低気圧が通過しB級ブリザードとなった。6日には朝方よく晴れて風も弱く一時霧となったが長くは続かなかった。旬の中頃を除いて風がやや強かった。
	中旬	中旬は15日を除いて降雪がなく晴天が続いた。風も概ね弱く気温は低めに経過した。
2001年 7月	下旬	下旬は初めの二日間にはよく晴れたが、その後は雪の降る日が多かった。風は概ね弱く、気温は前半低めに、後半高めに経過した。
	月の前半は晴れまたは曇りの日が多く、後半は雪を観測する日が多かった。気温は2日から下がり、3日から6日まで日最低気温が-30°C以下となる日が続いたが、8日のブリザード来襲により低温の状態は解消した。旬平均気温は上旬-19.6°Cが低く、中旬-17.2°C、下旬-16.2°Cの順に高くなっている。6月のブリザード回数は2回(延べ5日間)であったが、月を通しては風の弱い日が多く日平均風速が3 m/s未満の日数が14日あった。	
	上旬	2から7日にかけて概ね晴天となり、日平均気温が-20°C以下の寒冷な日が続く3日には今年初めての-30°Cを下回る気温を記録した。8から10日にかけて低気圧の接近に伴う前線がかかりC級ブリザードとなった。ブリザードの来襲とともに気温も上昇し、気温の低い状態は解消した。ブリザード期間を除き気温は弱かった。
2001年 8月	中旬	17日まで曇りまたは晴れの日が多く、降雪を観測した日は少なかった。また、この間は風も概ね弱かった。18日の夜から19日午前中にかけて、昭和基地の北を通過する低気圧に伴う前線の雲域がかかりC級ブリザードとなった。
	下旬	降雪を観測する日が多く、26日夜から28日未明にかけ昭和基地の北を通過する低気圧の影響で風が強まり、気温が上昇し、28日には最高気温が-4.1°Cとなった。29日から月末は晴れて、30日の平均気温は-20°Cを下回った。
	月の前半は雪を観測する日が多く、半ばに数日間晴れの日が続いた。月を通しての雪日数は18日で平年並みであった。30日の未明から朝にかけて氷霧が観測された。最低気温が-30°Cを下回る日が3日あり10日には日平均気温が-30°Cを下回ったが、月平均気温-18.1°Cは平年並みであった。7月のブリザード回数は3回(延べ5日間)であった。	
2001年 8月	上旬	晴れ間はあるものの、曇り、雪の日が多かった。6から8日にかけて昭和基地の北を低気圧が続けて通過し、6から7日にB級、8日にC級ブリザードとなった。この間の気温はやや高めに経過したがその後冷え込み10日には日平均気温が-30.4°Cとなった。
	中旬	前半は雪の日が多く、13日には風速20 m/s以上の風が吹き、視程も一時1 km未満となったが継続時間が短くブリザード基準には達しなかった。後半はよく晴れて風の弱い日が続いた。11日は10日に引き続き気温が低かったがその後上昇し前半は高めに経過した。後半は日平均気温が-20°Cを下回る日が多く低めに経過した。
	下旬	22から23日にかけて低気圧が昭和基地に接近しB級ブリザードとなった。ブリザード期間の気温は高めに経過したが、後半は冷え込み日平均気温が-20°Cを下回る日が続いた。30日未明から朝にかけて西よりの風が吹き、気温も下がったため氷霧が観測された。
2001年 8月	上旬と下旬に晴れの日が数日続いたが、月を通して雪を観測した日が多かった。4日から数日間気温の低い日が続く、8日には2001年の最低気温-35.6°Cを記録した。8月のブリザード回数は2回(延べ5日)であった。	

表 5 続き
Table 5 (continued).

年・月	天気概況	
2001年 8月	上旬	中旬頃は晴天が続く、気温が低かった。上旬の平均気温 -23.7°C は8月上旬としては低い方から3位の記録となった。10から12日にかけて低気圧に伴う前線が昭和基地にかかりB級ブリザードとなった。
	中旬	前半は10日から引き続き、低気圧の影響を受け吹雪となる日が多く、14から15日未明にかけては低気圧の接近によりB級ブリザードとなった。後半は風が弱くなったが雲は多く、曇りまたは雪の日が続いた。中旬はほとんど雪または曇りで、日照時間は計9.3時間と少なかった。中旬の平均気温は -17.2°C で8月中旬としては平年 -19.5°C より高めであった。
	下旬	前半は曇りまたは雪の日が多かったが、後半は大陸の高気圧の影響で晴天が続いた。風は概ね弱い日が多く、気温は前半高めに後半は低めに経過した。
2001年 9月	晴れの日は数日あるものの、月を通して曇り又は雪の日が多く、降雪を観測した日数は23日あった。気温は最低気温が -30°C を下回る日が3日あったが、月平均気温 -18.7°C は平年並みであった。18日未明から20日にかけて低気圧に伴う前線がかかり越冬初のA級ブリザードとなった。このブリザード期間の最大風速34.9 m/s、最大瞬間風速46.8 m/sはともに2001年の極値となった。9月のブリザード回数は1回(延べ3日)であった。	
	上旬	月初めから曇り又は雪の日が続いたが、5日午後から天気は回復し8日朝まで快晴となり風の弱い状態が続く気温は低めに経過した。その後は昭和基地の北にある低気圧の影響で風がやや強く曇り又は雪の日となった。
	中旬	旬の初めは上旬の終わりに引き続き風がやや強く、一時吹雪となったがブリザード基準には達しなかった。12日昼過ぎには風も弱くなり14日は快晴となった。15日以降は雲が多く、晴れ間はあるものの曇り又は雪の日となった。18日未明から低気圧に伴う前線が昭和基地にかかり吹雪となり、19日未明から昼過ぎにかけて風速25 m/s以上、視程0.1 km未満の状態が継続しA級ブリザードの基準に達した。このブリザードは20日昼頃まで続いた。
下旬	22日は快晴であったがその他は曇り又は雪の日が多かった。気温は前半低めであったが28日から月末まで低気圧の接近により気温は高めに経過した。風は概ね弱い日が多かった。	
2001年 10月	月を通して曇り又は雪の日が多く、細氷(ダイヤモンドダスト)を観測した日も含め雪日数は26日であった。月平均相対湿度が高い方の1位を記録した。月前半は昭和基地付近を次々に通過する低気圧の影響で吹雪となることが多かった。月後半は概ね風が弱く、晴、薄曇の日が多かった。気温は月初めの数日と中旬後半から下旬の初めにかけて冷え込み、月平均気温 -14.9°C は平年 -13.5°C より低めであった。10月の霧日数は1日、ブリザード回数は2回(延べ3日)であった。	
	上旬	天気は2から3日間周期で変わったが、9日を除き毎日降雪を観測した。2日夜から3日朝にかけてと、6日には低気圧の接近により吹雪となったがブリザード基準には達しなかった。上旬の平均気温 -14.0°C は平年並みであった。
	中旬	前半は昭和基地付近を通過する低気圧の影響で風が強く、11日と14から15日にかけてC級ブリザードとなった。後半は天気が回復し晴れる日が多く、気温は低めに経過した。17、18、19日にはダイヤモンドダストが観測され、18日朝には一時水霧となった。中旬の平均気温 -18.1°C は平年 -14.6°C と比べ低く、10月中旬としては低い方から3位の記録となった。
下旬	概ね風が弱く、天気は3から4日周期で変わった。下旬の平均気温 -12.7°C は平年 -11.1°C と比べ低めであった。	
2001年 11月	気温は日を追って次第に高くなり、日最高気温が 0°C を越えた日は4日あった。月平均気温 -7.1°C は平年並みであった。月を通して風の強い日が多く、月平均風速8.3 m/sは11月としては1987年の9.8 m/sに次いで2位の記録となった。	
	上旬	前半は晴れる日が多く、夜間から翌日午前中にかけて東よりの風が強く、カタバ風が顕著であった。後半は概ね風が弱く降雪を観測する日が多かった。
	中旬	11から12日と16から17日は昭和基地に低気圧が接近し、風が強まり天気が崩れたがブリザード基準には達しなかった。19日にはこの冬明けで初めて気温が 0°C を越えた。
下旬	25から26日昼過ぎにかけて昭和基地の北を通過する低気圧に伴う前線がかかり天気が崩れたが、それ以外は晴れる日が多かった。旬を通じて概ね風が強く、旬平均風速9.7 m/sは11月下旬としては強い方から3位の記録となった。	
2001年 12月	12月としては極冠高気圧の張り出しが弱く、低気圧が接近しやすかった。月平均現地気圧978.1 hPa、月平均海面気圧980.7 hPaはともに12月の極値(低い方)を更新した。気温は上旬やや低かったが、月平均気温 -1.9°C は平年並みであった。風は12月としてはやや強く月平均風速6.8 m/sは強い方から5位の記録となった。12月の霧日数は1日であった。	
	上旬	1から2日は雲が多く、10日は低気圧の接近で天気が崩れたが、それ以外は晴れる日が多く、気温はやや低め、風はやや強めであった。
	中旬	前半は晴れる日が多く、後半は雲が多く雪を観測する日が多かった。17日未明に南西の風となり一時霧となった。風は概ねやや強く旬平均風速6.7 m/sは12月中旬としては強い方から4位の記録となった。
下旬	天気はほぼ5日周期で変わり、21、26、30日は低気圧や前線の影響で風が強く天気が崩れた。旬平均風速6.5 m/sは12月下旬としては強い方から3位の記録となった。	
2002年 1月	月を通して晴れ、薄曇が多く、18から19日にかけて吹雪となったものの穏やかな天気が続いた。西寄りの弱い風の時、未明から朝にかけて霧が発生することが多く今月の霧日数は6日であった。気温は低めに経過し月平均気温 -1.8°C は平年 -0.7°C と比べて低かった。月平均風速4.2 m/sは平年並みであった。	
	上旬	弱い降雪を短時間観測した日が5日あったが、概ね晴れる日が多かった。風は弱く、気温は低めに経過した。4日未明には一時霧となった。
	中旬	12と13日は共に未明から午前中にかけて一時霧となった。18から19日朝にかけて低気圧に伴う前線がかかり吹雪となったが、ブリザード基準には達しなかった。
下旬	極冠高気圧の張り出しが弱く、気圧が低めに経過し、旬平均海面気圧980.7 hPaは1月下旬の極値を更新した。23日夜間から24日未明にかけてと、25日の夜間に霧が観測された。	

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 型レーウィンゾンデ センサー	気圧	鉄ニッケル合金空ごう (静電容量変化式)	1050~5 hPa	±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°C	±0.5°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%	±7% (10~95%) ±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			経緯儀による測角比較観測 (極夜期を除く毎月, 目視可能時)
電池	B91RS 型注水電池			立ち上げ機により 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, 強風・降雪等状況により増量	
気球	600 g 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, 強風時は気象観測用巻下器に替える	
その他	強風時	気象観測用巻下器			飛揚後に懸垂紐が 15 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

表 7 高層気象観測状況

Table 7. Number of observations and attained height of aerological observations.

		2001										2002	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		56	63	64	63	62	62	63	62	62	60	62	62	741	
定時観測回数		56	62	60	62	60	62	62	60	62	60	62	62	730	
特別観測回数		0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	
再観測回数		0	1	2	1	2	0	1	2	0	0	0	0	9	
資料欠如回数		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
欠測回数		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
到達高度	平均	気圧 (hPa)	9.3	9.7	10.7	14.1	11.8	10.4	11.1	10.9	12.1	12.6	11.2	10.3	(11.2)
		高度 (km)	32.1	31.6	29.7	27.1	27.5	27.5	27.0	27.6	27.8	28.7	31.1	32.0	(29.1)
	最高	気圧 (hPa)	6.5	6.5	6.1	8.2	5.2	4.6	8.0	7.8	8.1	8.7	7.1	6.7	
		高度 (km)	34.3	33.8	33.3	29.8	32.2	32.3	28.8	29.9	30.0	31.8	34.1	34.8	

(注) 回数, 到達高度共に 00UTC と 12UTC の両方の観測を含む。

度レーウィンゾンデ観測の予備観測を, 1200 g と 1500 g ゴム気球を用いて特別観測として 2 回, 定常観測として 6 回実施した。観測の結果, いずれも到達高度が 5 hPa に到達したた

め、昭和基地における高高度レーウィンゾンデ観測は実施可能であることを確認した。

全自動式気圧点検システムが 10 月に不調となった。これは、システムのバルブ制御装置が故障したため、パソコンによる吸・排気弁の開閉が不能となり、点検終了気圧が規定の 8 hPa に到達せずに終了したことによるものである。この部分は修理不能箇所のため持ち帰り修理とし、代替品と交換して気圧計点検を実施した。その他、真空ポンプの真空オイルの交換や全自動式気圧点検システムのコネクター断線修理を数回実施した。

4 月初めから 11 月初めにかけて、デジタイザーの信号分離不良が度々発生した。ほとんどの場合、アンテナのヒーターを切ると復旧することから、ヒーターによるノイズの混入が原因と考えられた。しかし、低温下でアンテナを駆動するためには保温が必要なことからデジタイザーの信号分離が不能となるまではヒーターを入れ、不能となった時点でヒーターを切ることで対処した。

表 8 月別指定気圧面観測値

Table 8. Monthly summaries of the aerological observations (00UTC).

指定面 (hPa)	2001												2001	2002	
	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)	850	1187	1201	1152	1096	1156	1180	1150	1080	1068	1103	1109	1119	1133	1176
	700	2665	2678	2616	2552	2605	2626	2590	2499	2480	2542	2562	2594	2584	2657
	500	5115	5124	5036	4961	5013	5027	4991	4855	4839	4928	4964	5029	4990	5112
	300	8570	8573	8428	8349	8389	8388	8349	8134	8141	8259	8333	8444	8363	8552
	200	11231	11228	11045	10942	10887	10862	10796	10556	10571	10696	10816	11002	10886	11203
	150	13151	13147	12940	12801	12664	12587	12477	12228	12247	12373	12538	12825	12665	13119
	100	15869	15850	15607	15399	15148	14995	14814	14539	14568	14692	14939	15425	15154	15838
	50	20562	20478	20153	19764	19302	18994	18699	18390	18475	18623	19114	20067	19385	20529
	30	24058	23900	23497	22928	22291	21886	21510	21195	21371	21632	22403	23604	22523	24030
気温 (°C)	850	-8.9	-8.9	-11.5	-13.5	-15.5	-16.1	-17.9	-21.9	-22.6	-17.1	-13.3	-9.2	-14.7	-8.6
	700	-17.8	-18.0	-20.1	-21.6	-22.2	-22.0	-22.5	-26.4	-27.2	-23.6	-21.9	-18.3	-21.8	-16.8
	500	-31.1	-31.9	-35.0	-35.7	-35.8	-37.0	-37.0	-42.2	-41.3	-38.8	-36.4	-33.7	-36.3	-31.3
	300	-50.9	-51.9	-55.8	-55.5	-58.5	-59.1	-59.9	-64.1	-62.4	-61.3	-58.7	-55.3	-57.8	-52.4
	200	-45.8	-45.7	-48.8	-52.1	-62.8	-67.9	-72.4	-72.7	-72.5	-72.4	-67.0	-57.5	-61.5	-46.7
	150	-44.7	-45.2	-48.0	-53.1	-62.6	-68.5	-74.3	-76.1	-75.6	-75.8	-69.8	-56.1	-62.5	-44.7
	100	-43.6	-45.4	-48.7	-55.7	-65.3	-72.5	-78.6	-80.7	-79.3	-79.3	-71.0	-51.2	-64.3	-43.5
	50	-40.1	-44.8	-49.4	-60.2	-71.0	-78.7	-84.2	-85.2	-80.9	-77.4	-60.7	-38.1	-64.2	-40.4
	30	-38.4	-43.9	-49.1	-62.4	-72.5	-80.6	-85.7	-85.5	-77.0	-65.1	-46.3	-33.5	-61.7	-37.5
風速 (m/s)	850	6.7	8.3	8.9	9.8	7.0	7.4	9.4	9.8	9.0	8.5	10.4	9.5	8.7	5.9
	700	6.4	7.0	8.2	8.8	8.1	7.4	7.9	7.9	8.7	7.3	10.0	8.4	8.0	5.6
	500	7.1	7.4	9.1	12.9	9.2	12.0	11.7	9.8	8.7	10.0	9.2	10.5	9.8	5.7
	300	10.6	12.0	13.9	21.0	13.5	19.6	16.3	14.3	12.0	14.7	13.5	14.8	14.7	9.8
	200	6.3	7.8	9.0	19.2	12.2	18.7	17.4	13.7	11.5	15.8	10.6	12.4	12.9	6.1
	150	5.5	7.5	9.5	18.8	12.9	18.1	17.5	14.5	12.1	16.2	11.2	13.2	13.1	6.3
	100	4.9	6.9	10.3	19.8	16.3	20.9	20.3	16.6	16.3	18.1	14.0	16.2	15.1	5.1
	50	2.4	4.3	12.0	23.5	24.4	29.9	29.2	23.9	25.0	23.1	21.2	16.9	19.7	3.6
	30	5.1	3.0	14.4	26.1	30.6	35.9	35.8	27.6	33.1	28.2	24.1	13.2	23.1	4.6

3.3. 観測結果

2001年1月～2002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。また、2001年1月～2002年1月までの00 UTCの上層気温の時間高度断面図を図4に示す。

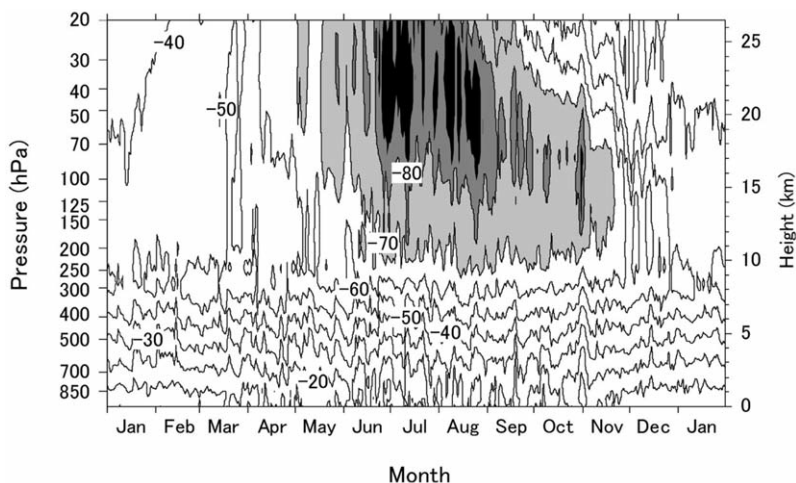


図4 上層気温の時間高度断面図(2001年1月～2002年1月)。灰色域: -70°C 以下, 濃灰色域 -80°C 以下, 黒色域: -85°C 以下

Fig. 4. Time-height cross section of upper-air temperature (Jan. 2001-Jan. 2002). The gray area indicates the region -70°C or below, the dark gray area indicates the region -80°C or below, the black area indicates the region -85°C or below.

図4を見ると、70 hPaより上層の気温は4月上旬より低下し始め、5月下旬には -80°C 以下の領域が出現した。6月中旬には -85°C 以下の非常に低温な領域が出現し8月中旬まで断続的に継続している。低温であった成層圏の気温は、9月中旬から30 hPaより上層で昇温を開始し徐々に下層へとその領域を広げている。しかし、200 hPaから50 hPaにかけての上部対流圏から下部成層圏にあたる層では、9月上旬から11月中旬にかけて -70°C 以下の低温が持続しており、10月下旬においても -80°C 以下の気温を観測した。

11月下旬になって第42次隊で初めてWMOの基準 $+25^{\circ}\text{C}/1$ 週間に達した成層圏突然昇温を100 hPaにおいて観測した。その後、200 hPaより上層の気温は、小刻みな変動を12月中旬にかけて繰り返しながら、徐々に昇温していった。

2001年の月別統計値と、30年間(1971-2000年)の月別統計値(以下、平年値として扱う)を図5に示し、平年値と比較する。200 hPa以下の対流圏ではほぼ平年並みの経過であったが、20-200 hPaの成層圏から対流圏上部では8月から12月にかけて平年より低い状態であった。特に9月から11月にかけて成層圏下部における低温が著しかった。風の南北成分・東西成分をみると、11月になっても南西の風が卓越していた。このことから9月か

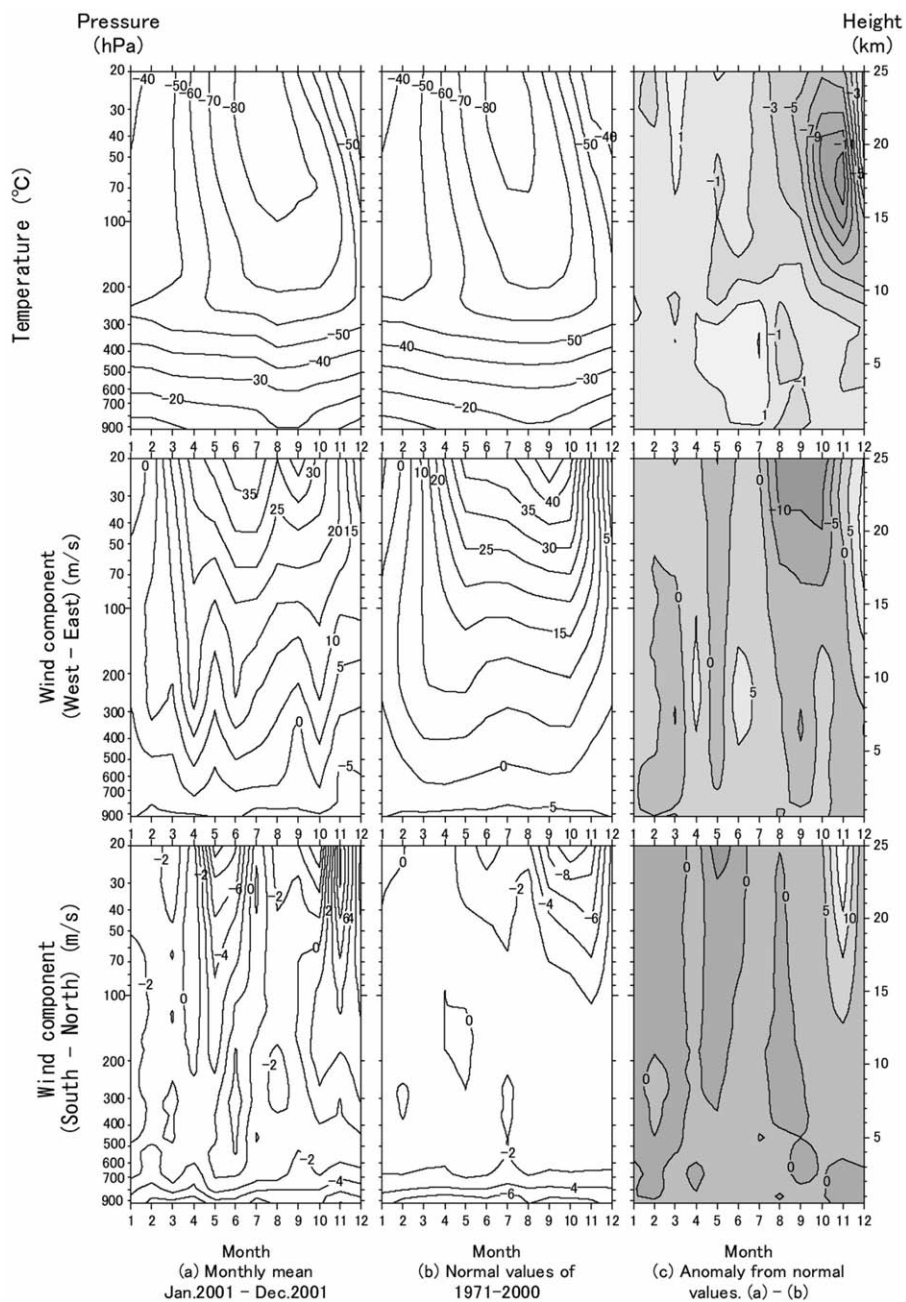


図 5 高層気象指定気圧面観測結果。(a) 2001 年の月平均値, (b) 30 年平均値(1971-2000), (c) 偏差 ((a)-(b))

Fig. 5. Annual variations in upper air temperature ($^{\circ}\text{C}$) and upper wind components (m/s) (left), normal values (1971-2000) (middle), and their anomalies (right).

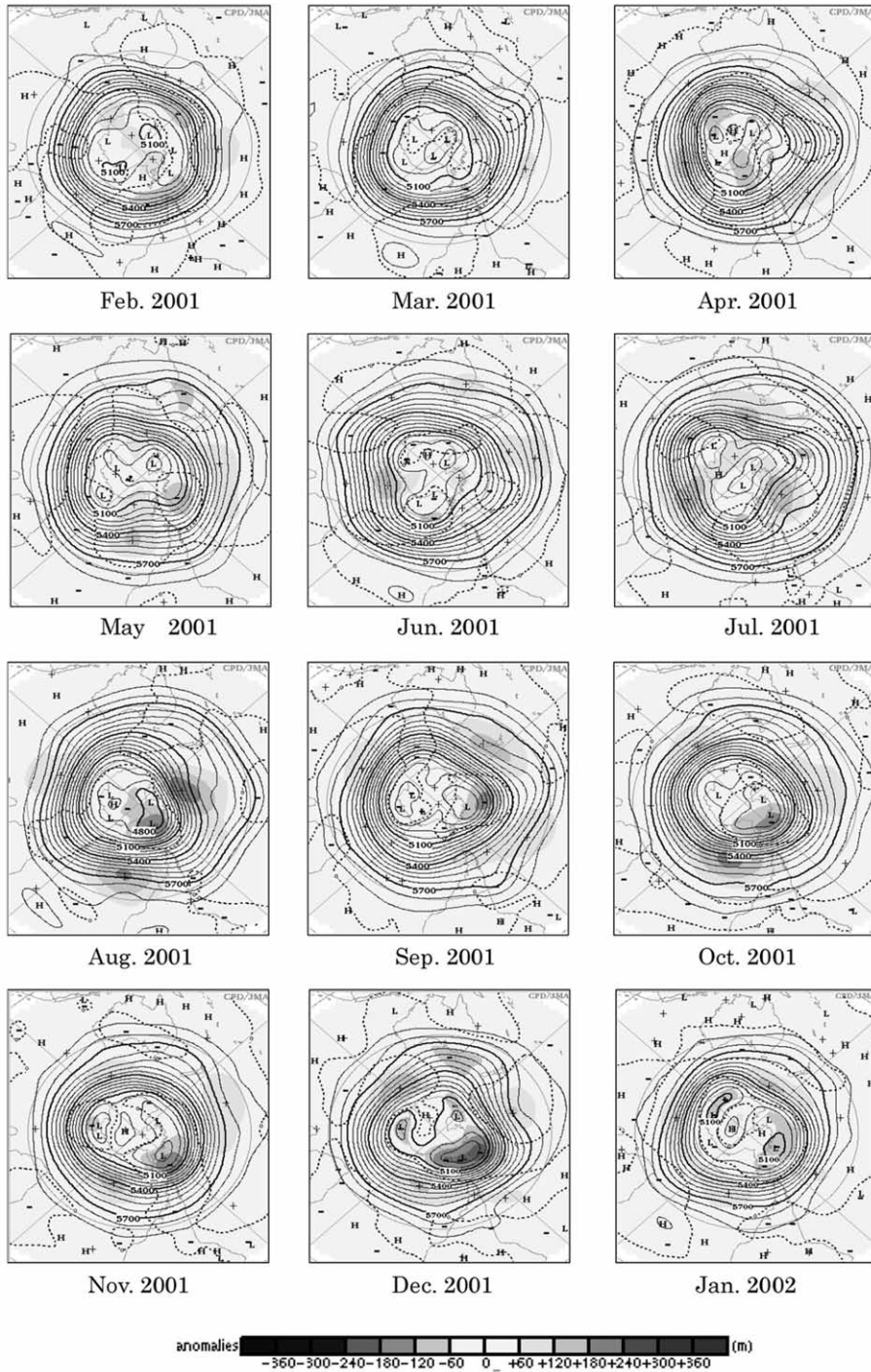


図6 南半球月平均 500 hPa 高度及び平年偏差 (2001年2月~2002年1月)
Fig. 6. Monthly mean weather chart on 500 hPa (Feb. 2001-Jan. 2002).

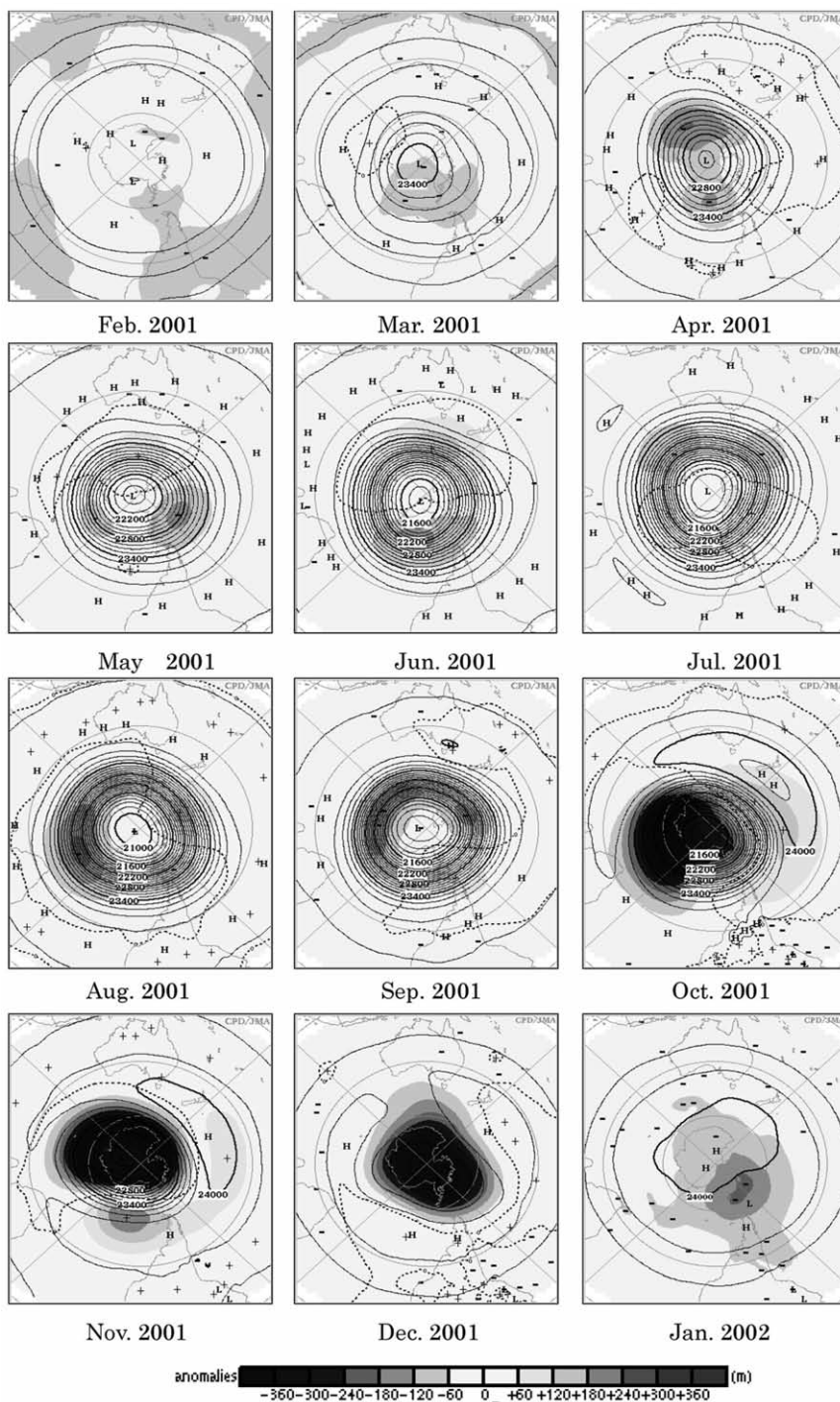


図 7 南半球月平均 30 hPa 高度及び平年偏差 (2001 年 2 月～2002 年 1 月)
 Fig. 7. Monthly mean weather chart on 30 hPa (Feb. 2001-Jan. 2002).

ら 11 月にかけての成層圏下部での低温は、昭和基地が、依然、極渦の内部にあったためと思われる。

次に、図 6 に南半球 500 hPa 面の月平均高度場を、図 7 に 30 hPa 面の月平均高度場を示す。年偏差は 2001 年の月平均高度場から、年偏差（1979-1993 年の ECMWF 6 hr 解析値の平均）を差引いたものである。

まず、500 hPa 面の月平均高度場に注目する。南極大陸上では 2001 年 3 月頃から 5100 m 以下の領域が出現し極渦は強化されていった。8 月には極渦は南極半島付近に位置し、南極半島付近は 12 月にかけて負偏差に覆われた。昭和基地付近は、4 月から 7 月にかけて正偏差に覆われたが、その他の月はおおむね負偏差に覆われた。

次に、30 hPa の月平均高度場に注目する。2001 年 4 月から強化されていった極渦は 8 月に最盛期にまで発達した。10 月にはニュージーランド付近に中心を持つ高気圧が現れたが、南極大陸を中心に 0 度から東経 90 度付近は著しい負偏差領域に覆われ、この負偏差の領域は 12 月にかけて持続した。極渦は 2001 年 12 月まで持続したが 2002 年 1 月にはようやく崩壊した。このように、2001 年は極渦が 12 月まで崩壊せずに持続したことが特徴的であった。

4. オゾン観測

4.1. 観測方法と測器

オゾン観測は、ドブソン分光光度計 (Beck-119) 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た地上オゾンの連続観測を行った。ドブソン分光光度計については、2002 年 1 月に第 43 次隊の Beck-122 との測器相互比較を実施した。

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 (オゾンホール生成から消滅期間においては、WMO 事務局の要請により随時) 気象庁経由 WMO 事務局へ報告し、その結果は、WMO OZONE BULLITEN としてまとめられ、世界の関係機関に配布された。また、これらの観測データは気象庁から 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) に準じ、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光について、指定された 2 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

表 9 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. 119	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、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	ニッケルspan製 43 mmφ 空ごう気圧計 (静電容量変化式)
			°C	気温	ピード型 ガラスコートサーミスター (アルミ蒸着加工)
			mPa	オゾン計測部	ピストンポンプ (吸気及び導気管: ポリエチレン製) 反応管 (アクリル樹脂製単管) 反応液 (臭化カリウム水溶液)
				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	
地上オゾン観測	オゾン濃度計	Dylec MODEL1100	0-200 ppbv	観測装置	紫外線吸収法, 最小感度 0.1 ppbv, 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, 含まれるオゾンを分解, NO ₂ を除去し精製空気にする
	オゾン発生器	Dylec MODEL1410	0-1000 ppbv		UV ランプによる紫外線照射

の北中時及び午前, 午後の大気路程 $\mu=1.5, 2.5, 3.5$ (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) の時刻に行った。さらに, 観測期間を延ばすため, 太陽高度が低くなる時期については, 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 $\mu=3.5, 4.5, 5.5, 6.5$ の時刻について行った。測器の測定限界となる大気路程 $\mu=6.5$ を超える場合は, 観測は行わなかった。太陽光による観測ができない冬期には, 月光による AD 波長組による観測を行った。

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, 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, オゾンの高度分布を得るための反転観測を行った。太陽天頂角が 80-90 度の範囲のショート反転観測と, 60-90 度の範囲のロング反転観測を天頂晴天時の午前又は午後可能な限り行った。

4.1.3. オゾンゾンデ観測

オゾン観測指針 (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 (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、高層気象観測施設と同じものを使用した。オゾンゾンデ飛揚前の校正には、オゾン発生器及びオゾンゾンデ試験器を用いた。ゴム気球は 2000 g 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 5-10 月の到達高度が低くなる時は、気球の油漬け処理を行った。さらに、上空で温度が極端に低くなることによるポンプの動作不良等を防ぐために、オゾンゾンデ内に収納されてい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処理を行い、注水電池の発熱を利用した。

観測は原則として週 1 回行ったが、環境観測技術衛星 ADEOS に搭載された大気周縁赤外分光計 ILAS のための基礎データ取得時期は 3 日に 1 回の飛揚周期 (5 月～7 月下旬) とし、その後は週 2 回 (8 月上旬～11 月下旬) とした。

飛揚は風の弱い晴天の日の高層気象観測を行っていない時間帯を選んで行い、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

第 38 次隊より開始した地上オゾン濃度観測を継続して行った。地上付近の大気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 (Dylec, MODEL1100) を使用し

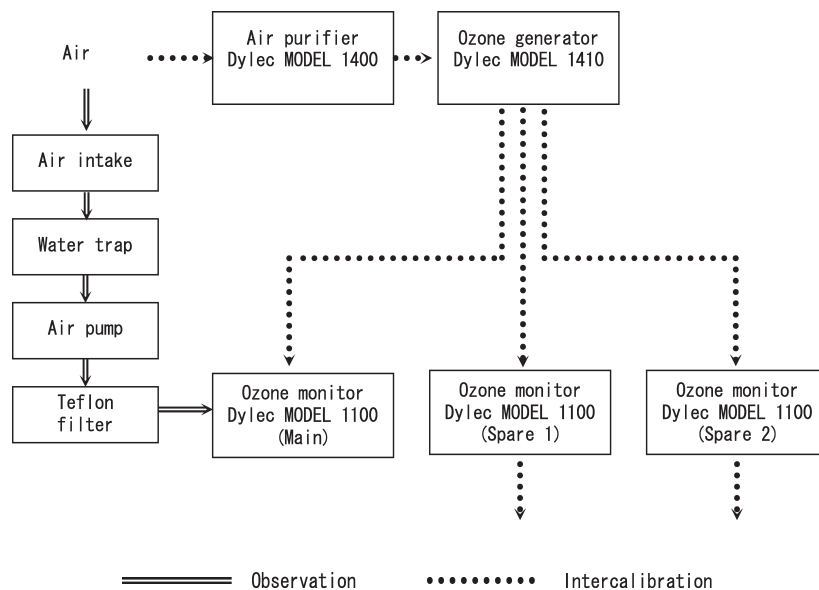


図 8 地上オゾン濃度観測装置系統図

Fig. 8. Schematic diagram of surface ozone concentration measurement system.

観測した。

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の位置)、大気取り入れ口は同建物主風向側(北東側)地上から 5 m の高さにある。大気を、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、サンプリング間隔 12 秒でオゾン濃度を連続観測した。地上オゾン観測の系統図を図 8 に示す。

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を示す。また、観測種別ごとの内訳も示す。1 日に複数の種別で観測を行っているため、内訳の合計が観測日数と異なる場合がある。4-8 月は太陽高度角が低いため観測可能日数が少ない。5-7 月は極夜期のため月光による観測のみを行ったが、観測に必要な光の強度は満月に近い月齢の時にしか得られないため、晴天が続いても観測可能な日数は月に 10 日間程度しかない。

表 10 月別オゾン全量観測及びオゾン反転観測日数

Table 10. Observation days of total ozone observations and ozone Umkehr observations with the Dobson spectrometer at Syowa Station.

	2001												2002	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	27	29	19	8	12	9	22	26	26	30	31	30	269	
内訳	直射光 AD	77	44	6					35	77	101	98	109	547
	〃 CD	30	26	23				30	50	23	35	31	37	285
	天頂光 AD	111	96	12					56	109	126	138	134	782
	〃 CD	40	67	46				55	80	38	48	53	46	473
	月光 AD			3	19	45	29	41	10	3				150
反転観測日数	8	2	4				5	7	9	13		7	55	
内訳	ロング	9	2					2	9	13		8	43	
	ショート		1	4				5	5			1	16	

4.2.2. オゾン反転観測

第 35 次隊(1994 年)より測器が自動化され、より効率的にデータを取得できるようになった。第 42 次隊でも前次隊と同程度の観測データ数を取得する事ができた。太陽高度角が低い、又は太陽が昇らない 5-7 月及び太陽が沈まない 12 月は、データ処理に必要なデータセットが得られないため観測を行わなかった。

4.2.3. オゾンゾンデ観測

第 42 次隊では、定常気象観測用のオゾンゾンデを 58 台、ILAS 検証用を 24 台、計 82 台を持ち込んだ。82 台のうち 1 台は、飛揚前の点検において不良箇所が見つかり国内へ持ち帰った。結果として第 42 次隊では、81 台を飛揚した。ILAS 検証用オゾンゾンデは、第 38

表 11 オゾンゾンデ観測実施日
Table 11. Date of ozonesonde observations.

年 月	2001					
	2月	3月	4月	5月	6月	7月
日 到達	7 8.2	9 5.7	9 20.4	3 5.0*2	2 4.7	3 4.5
気圧 (hPa)	19 5.4 23 12.1 28 6.7	14 5.7 21 7.6 28 3.5	13 4.8 18 10.2 26 3.5	6 5.3 11 8.9 14 6.7*2 18 7.2*2 21 13.5*2 26 20.4*2 29 19.0*2	5 6.8 11 6.0*2 14 8.1*2 17 18.6*2 20 7.6*2 23 4.7*2 26 6.1*2 30 38.2*1,2	9 9.0*2 13 85.2*1,2 16 17.3*2 19 5.6*2 24 4.1*2 27 6.3*2 30 4.9
年 月	2001					2002
	8月	9月	10月	11月	12月	1月
日 到達	2 10.5	1 30.8*1	2 26.3	1 7.4	5 6.5	2 19.7
気圧 (hPa)	5 4.3 8 15.0 12 6.8*2 16 4.7 19 49.2*1,2 23 5.8 26 4.0 29 9.2	5 8.1 8 95.5*1 12 19.3 16 10.3 21 874.1*1 23 4.6 26 ---*3 29 4.5	5 20.5 8 5.2 12 4.9 16 11.0 19 9.7 22 8.9 25 10.2 29 7.7	4 25.7 7 11.4 13 13.8 18 11.4 22 42.1*1 26 8.3 28 7.5	12 7.5 19 6.0 27 7.9	9 11.2 16 5.6 23 7.3 29 7.5

*1: 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、ドブソン比なし。

*3: オゾン反応不良などによりデータ取得できず。

5月3日～7月27日までは ILAS 検証報告を行った観測

次隊で衛星 (ADEOS) が故障したため、基礎データの取得として 2001 年 5-8 月までの期間で、3日に1回飛揚した。

飛揚状況を表 11 に示す。このうち 1 回はオゾン計測部のポンプ停止及び反応管内での気泡詰まりが原因と思われるオゾン反応管の反応不良によりデータが取得できなかった。また、ドブソン分光光度計のオゾン全量値による補正係数 (ドブソン比) が得られなかった観測が 25 回あった。このうち 21 回 (ILAS 検証用 19 回) は、極夜期かつ月光によるオゾン全量観測もできなかったものであり、残りは気球破裂・オゾン反応不良などによりオゾンゾンデ観測最終高度が 30 hPa に達しなかったものである。

4.2.4. 地上オゾン濃度観測

2001 年 1 月、第 41 次隊使用の濃度計 2 台 (シリアル番号 101A, 101B) と第 42 次隊持込みの濃度計 2 台 (シリアル番号 166, 456) の相互比較を行い、測器の感度較正及び経時変化の確認を行った。またデータ収録部の更新を同時に行った。気象棟と水素ガス発生器室間に LAN ケーブルを敷設し、気象棟の PC で収録部をモニターできるようにした。並行観

測を実施した後、2月1日から濃度計 166 を用いて観測を開始した。

観測開始から約半年が経過した 2001 年 8 月、観測器 (166) と予備器 (456) との相互比較後、観測器と予備器との入れ替えを行った。その時テフロン配管の交換も同時に行った。その後、並行観測を約 1 カ月間行った。

大気取り入れ口に雪が詰まり採取流量の低下が見られたため、10 月から新たにポンプを設置し毎分 10 l 強で大気を取り入れ、その流路から分岐し濃度計に大気を取り入れるシステムを構築し、予備器を利用して現システムとの比較観測を行った。比較結果が良好であったため、2002 年 1 月より正式に流路変更を行い、ポンプにより毎分 10 l 大気を取り入れる新しいシステムで観測を開始した。

2 台の濃度計については、水銀ランプ不具合による出力不安定の症状が度々起こり、その都度電源の OFF/ON によるリセットで復旧を行った、それ以外は特に支障はなく 1 年間観測を継続できた。

2002 年 1 月、第 42 次隊で使用していた濃度計 2 台 (166, 456) と第 43 次隊持込みの濃度計 (101A, 101B) の相互比較を行い、感度較正及び経時変化の確認と並行観測を行った。

4.3. 観測結果

4.3.1. オゾン全量観測

図 9 に 2001 年 1 月～2002 年 1 月のオゾン全量観測結果を示す。昭和基地上空のオゾン全量日代表値は、8 月下旬から 11 月下旬にかけて、オゾンホールが目安となる 220 m atm-cm を下回った。9 月 30 日に記録した 136 m atm-cm は、定常観測を開始した 1966 年以降、3 番目に少なかった。図 10 に昭和基地における 8 月から 12 月の月平均オゾン全量の経年変化を示す。各月とも、1966 年以降全期間を通して減少傾向にあることがわかる。特に、2001 年の 9 月と 11 月の月平均値はそれぞれ 172, 192 m atm-cm で、その月として 1966 年以降の最低値であった。11 月下旬以降、オゾンホールの変形、移動に伴って、オゾンホールの縁辺部が昭和基地上空を通過したため、オゾン全量は急激に増加し、その後大きく変動した。オゾン全量が 220 m atm-cm を下回った最後の日は 11 月 26 日だった。

4.3.2. オゾン反転観測

図 11 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。2001 年 4-8 月と 12 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。

9 月から 11 月上旬は第 3, 4, 5 層 (126.7-15.8 hPa) でオゾン量が非常に少ない状態で推移し、11 月下旬に大きく増加した。第 6 層 (15.8-7.92 hPa) は 1 年を通じてほとんど変化が見られなかった。第 7 層 (7.92-3.96 hPa) より上層は、9 月から 11 月上旬にかけてオゾン量が次第に減少し、11 月中旬に増加に転じており、第 6 層以下の層とはやや振舞いが異なっていた。

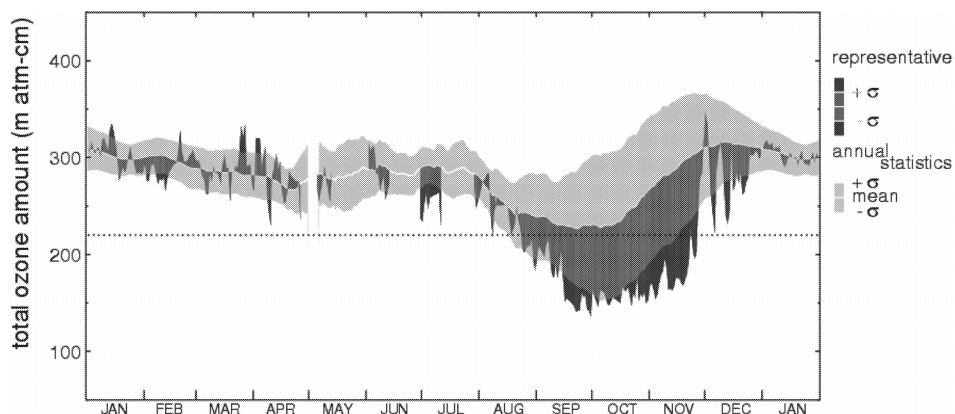


図9 オゾン全量日代表値の年変化(2001年1月~2002年1月)。薄い灰色の部分には平年値(1971~2000年)とその標準偏差(σ)を表している。点線はオゾンホールが目安である220 m atm-cmの値を示す。

Fig. 9. Annual variations in total ozone at Syowa Station (Jan. 2001–Jan. 2002). The average and standard deviations ($\pm\sigma$) of the 1971–2000 period are shown for comparison in light gray. The dashed line shows 220 m atm-cm.

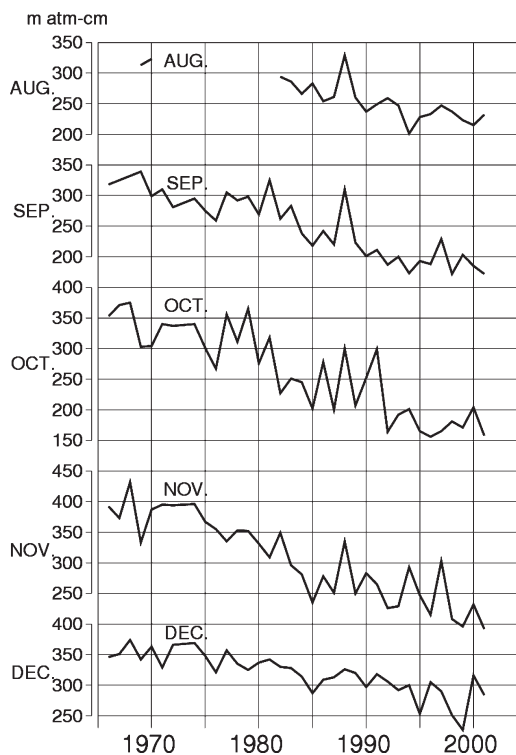


図10 月平均オゾン全量の経年変化(1966–2001年)

Fig. 10. Time series of monthly mean total ozone at Syowa station (1966–2001).

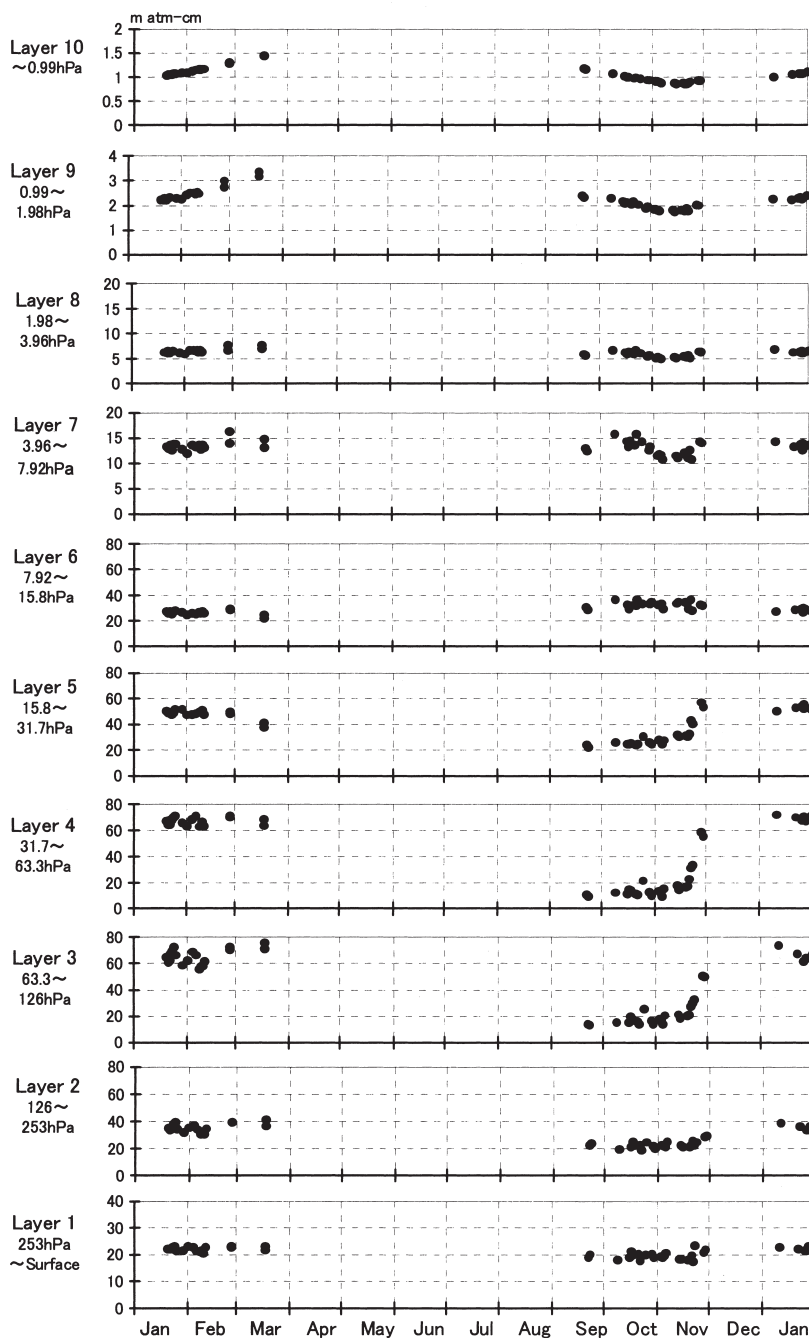


図 11 反転観測による気層別オゾン量 (2001 年 1 月~2002 年 1 月)

Fig. 11. Amount of ozone in the selected layers obtained by Umkehr observations (Jan. 2001 -Jan. 2002).

4.3.3. オゾンホールの特徴と下部成層圏の気象状況

図 12 に、NASA のアースプローブ衛星の TOMS (オゾン全量マッピング分光計) データを基に作成した、2001 年 8 月から 12 月の南半球の旬別オゾン全量分布図を示す (気象庁, 2002)。陰影部は極夜のため観測できない領域である。8 月下旬にオゾンホールの目安となる 220 m atm-cm 以下の領域が現れ、9 月上旬には南極大陸のほぼ全域を覆った。9 月中旬から 10 月中旬には、旬平均で 130 m atm-cm 以下の領域があらわれた。10 月以降、その時期としては過去最大規模を維持し、10 月の月平均面積は、過去最大となった。なお、オゾン解析値は、TOMS データの Ver. 8 (http://toms.gsfc.nasa.gov/ozone/ozone_v8.html) を基に算出している。

図 13 (A) に、米国環境予測センター/米国大気科学研究所 (NCEP/NCAR) 再解析値から算出した、南緯 60 度以南の下部成層圏 (30 hPa 面) の -78°C 以下の領域の面積を示す。成層圏の気温が -78°C 以下に低下すると硝酸や水蒸気から極域成層圏雲 (PSCs) が生成し、雲粒表面での化学反応によって塩素ガスが作られる。滞留している塩素ガスに紫外線が照射すると塩素ガスが分解して塩素原子となり、触媒反応サイクルによりオゾンを破壊する。気温が上昇して -78°C 以下の領域が消滅した後も、塩素が安定な塩素化合物に変わるまでオゾン破壊反応は持続する。このため、 -78°C 以下の面積はオゾンホールの発達と関連が深い。

2001 年の成層圏の特徴として 7 月から 12 月にかけて極渦が安定し、低温が持続したことがあげられる。30 hPa 面の -78°C 以下の面積は、例年 7 月中旬に最大となるが、2001 年は 8 月上旬に最大となり、7 月下旬から 9 月上旬にかけて、過去 20 年間の最大規模で推移した。昭和基地上空でも、70-20 hPa の 8 月の平均気温及び 200-50 hPa の 10 月の平均気温は、1968 年以降最も低く、突然昇温は 11 月末の 1 回にとどまった。成層圏の低温が持続することにより、極域成層圏雲が広範囲に発生したため、オゾンホールが大きく発達したと考えられる。

図 13 (B) に、NCEP/NCAR 再解析値から算出した、南緯 40 度以南の 475 K の等温位面での極渦面積を示す。極渦の中の空気は、渦位の高い領域として識別できるので、極渦の目安を温位 475 K 面上において渦位が $35 [10^{-6} \text{ K m}^2 \text{ s}^{-1} \text{ kg}^{-1}]$ 以上であることとした (Hirota *et al.*, 2003)。475 K の等温位面は、高度 18-20 km、気圧 70-50 hPa に相当する。図の最大値、最小値、平均値は、それぞれ 1980-2000 年の期間における値である。オゾンホールは極渦内で発達するため、極渦の変動はオゾンホールの変動とほぼ一致している (池田ら, 2002)。極渦の面積については、7 月から 8 月中旬まで過去 20 年間の平均値よりやや小さめで推移したが、9 月になると平均値より大きくなり、11 月に入ってから同期間の最大規模で推移した。極渦が安定して持続したのは、冬から春の終わりにかけて対流圏から成層圏へのプラネタリー波の伝播が例年より弱く、極渦が減速しにくかったことによる。

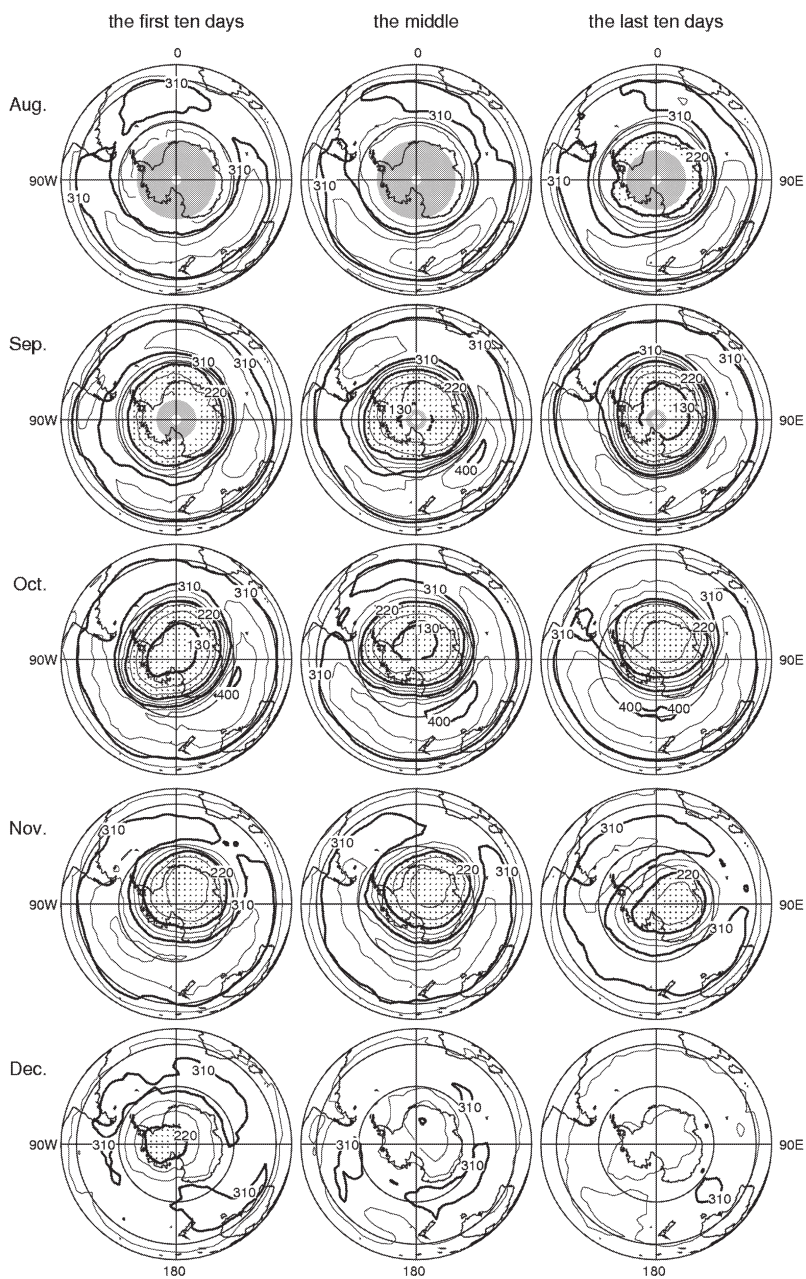


図 12 TOMS による旬別オゾン全量の南半球分布図 (2001 年 8 月~12 月). 等値線間隔は 30 m atm-cm. NASA 提供の TOMS データを基に作成. 点域は 220 m atm-cm 以下の領域を示す. 陰影部は極夜のため観測できない領域.

Fig. 12. Distribution of ten-days means of total ozone in the Southern Hemisphere based on NASA/TOMS data. The contour interval is 30 m atm-cm. (Aug. 2001-Dec. 2001).

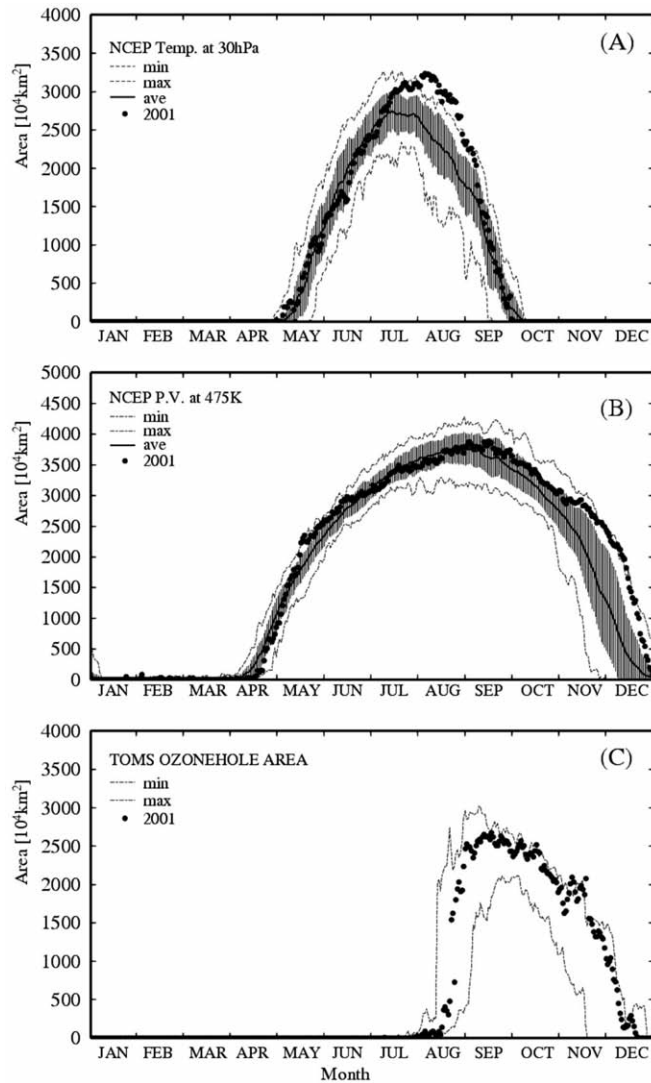


図 13 南極域上空における 30 hPa 面の気温が -78°C 以下の領域の面積 (A), 475 K 等温位面での極渦面積 (B) 及びオゾンホール面積の推移 (C) (2001 年). (A), (B) 図の実線は 1980-2000 年の面積の累年平均値, 破線は同期間の面積の最大値及び最小値, 縦線は標準偏差 ($\pm\sigma$) を示す. (C) 図の破線は 1991-2000 年の最大値及び最小値を示す.

Fig. 13. Time series of the area where NCEP temperatures are below -78°C at the 30 hPa level (A), the vortex area at the isentropic level of 475 K (B) in 2001, and (C) the area where the total ozone is 220 m atm-cm or less. The dots represent annual variations of the Antarctic ozone hole size in 2001. In panel (A) and (B), solid lines show the average in the 1980-2000 period. The dashed lines show maximum and minimum values for the 1980-2000 period. The error bars represent $\pm\sigma$ (standard deviations). In panel (C), the dashed lines show maximum and minimum values for the 1991-2000 period.

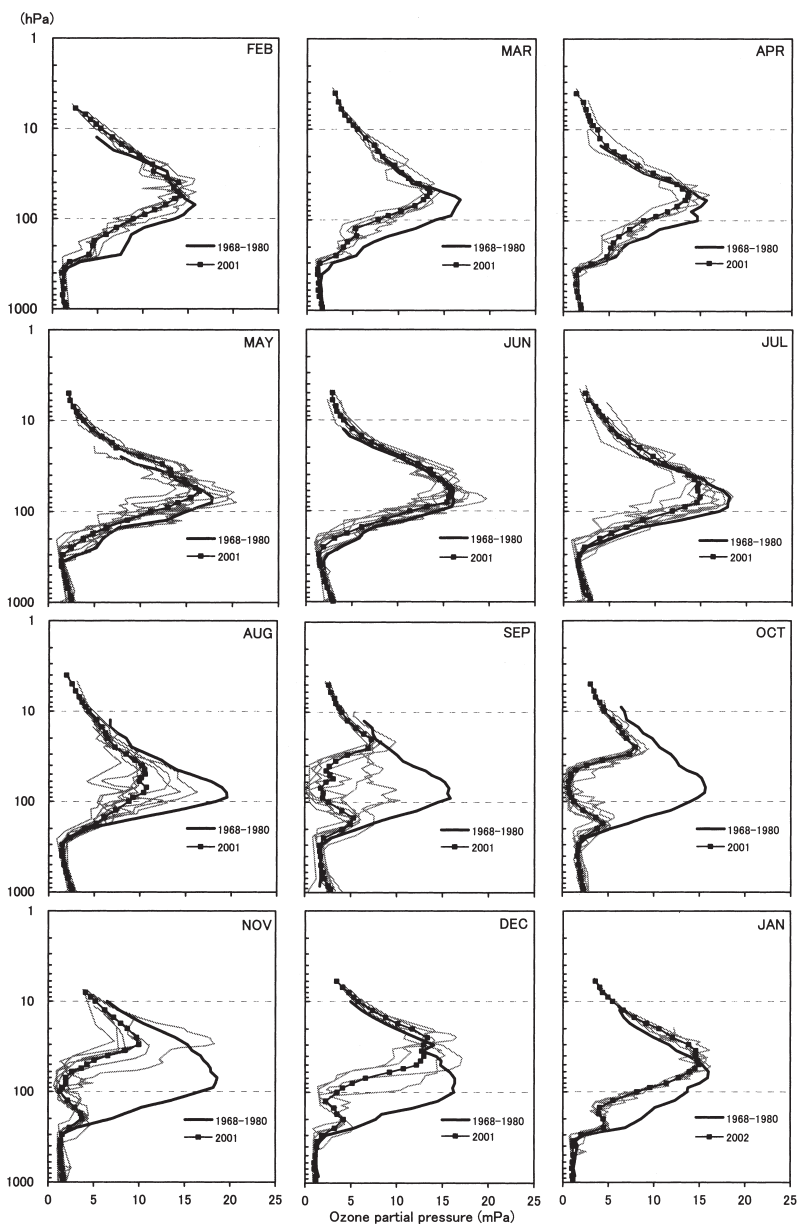


図 14 オゾンゾンデ観測結果(2001 年 2 月～2002 年 1 月)。灰色の実線は個々の観測結果、—■— は月平均オゾン高度分布。太実線はオゾンホールが出現する以前(1968-1980 年)の平均オゾン高度分布。

Fig. 14. Vertical distribution of ozone by ozonesonde observations (Feb. 2001-Jan. 2002). Gray solid lines represent individual observations. Square symbols represent monthly mean values. Thick solid lines represent monthly mean values before the appearance of the ozone hole (1968-1980).

プラネタリー波の伝播が強い年は、成層圏突然昇温によって極渦が弱まり、オゾンホールが早く消滅する (Baldwin *et al.*, 2003)。極渦が強かったことにより、中緯度からのオゾンに富んだ空気塊の流入が妨げられ、オゾンの少ない状態が長く持続したと考えられる。

図 13 (C) に、TOMS データから作成したオゾンホール面積の推移を示す。破線は 1991-2000 年の日別最大値及び最小値である。オゾンホールは、9 月中旬に過去 3 番目の規模である 2678 万 km² に発達した。オゾンホールの面積の変動は 9 月から 12 月まで、極渦面積の変動にほぼ追随しながら、過去最大規模で推移した。11 月下旬以降、極渦が大きく変形し不安定になったため、オゾンホールは変形しながら急速に縮小し、12 月 22 日に消滅した。これは衛星データが得られなかった 1998 年を除き過去 2 番目に遅い消滅であった。

4.3.4. オゾンゾンデ観測

図 14 に、2001 年 2 月から 2002 年 1 月までのオゾン分圧の高度分布、及びオゾンホールが明瞭に現れる前の 1968-1980 年の月平均高度分布を示す。

9 月に入ると次第に高度 100-30 hPa 付近でオゾン分圧が低くなり始め、10 月にはすべての観測で 100-50 hPa 付近のオゾン分圧がほとんど 0 になっている。11 月も 1968-1980 年の平均より低い状態が続いたが、11 月 28 日の観測では高度 30 hPa 付近でオゾン分圧が高かった。12 月には 30 hPa 以上で参照値 (1968-1980 年) 並の値となったが、それ以下の高度では低い状態であった。

次に図 15 に、2001 年 1 月～2002 年 1 月のオゾン分圧 (mPa) の時間高度断面を示す。

オゾン分圧は通常、高度 14-20 km (100-50 hPa 付近) で最も高い高度分布を示す。1-8 月中旬までは、この付近の分圧はほぼ 10 mPa 以上を示していたが、8 月下旬以降、この高度のオゾン分圧は、低下し始め、9 月中旬から 12 月中旬にかけて極端に低い分圧が観測され

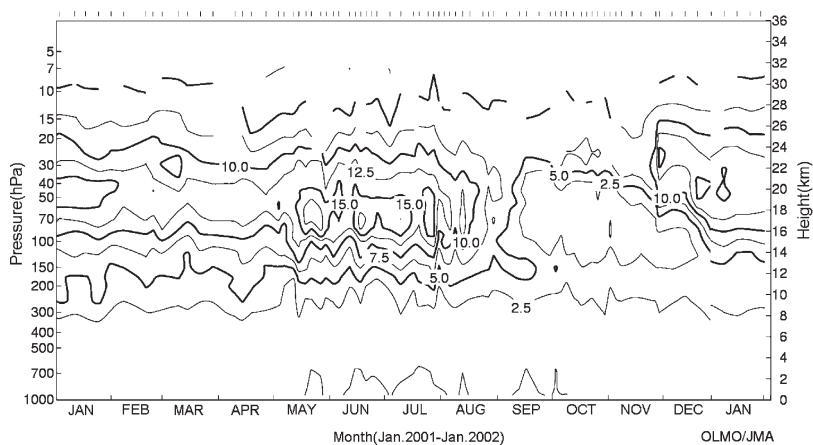


図 15 オゾンゾンデ観測によるオゾン分圧の時間高度断面図 (2001 年 1 月～2002 年 1 月)
 Fig. 15. Time-height cross section of ozone partial pressure (mPa) by ozonesonde observations (Jan. 2001-Jan. 2002).

た。低いオゾン分圧の中心は、9月の18 km 付近から12月には14 km 付近まで移動している。11月終わり頃には高度22-24 km を中心にオゾン分圧の高い領域が見られ、14 km 付近まで広がり、オゾンホールは解消に向かった。

4.3.5. 地上オゾン濃度観測

図16に1997年2月～2002年1月までの観測値(日別値)を示す。データは、1時間に150個以上の12秒値が得られた場合、平均して時別値を求め、日別値は時別値を平均して求めた。

2001年の地上オゾン濃度は、前年までと同様に夏期に極小となり冬期に極大となる季節変化を示している。2001年12月から2002年1月にかけての極小値付近では前年に比べるとオゾン濃度が小さくなっているが、山口ら(2005)が指摘しているように1998年からわずかにオゾン濃度が増加している傾向は、2001年の夏期については同様である。

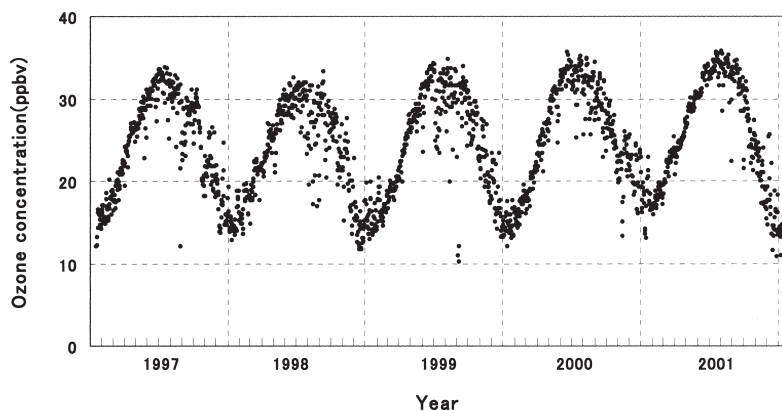


図 16 地上オゾン濃度日別値 (1997年2月～2002年1月)

Fig. 16. Daily means of surface ozone concentration (Feb. 1997-Jan. 2002)

5. 地上日射・放射観測

5.1. 観測方法と測器

第32次隊から開始された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次隊から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た(東島ら, 2003)。第42次隊ではこれらの観測システムを第41次隊から引き継ぎ、観測を行った。

波長別紫外域日射観測は、MK III (#168)を用いた観測を行った。MK III (#168)は気象庁では初めて使用する二重分光方式のプリューワー分光光度計で、分光部の二重化により、迷光(測器内部の散乱光)の除去が可能になった。また、観測波長域も286.5-363.0 nm

表 12 地上日射・放射観測の種類と使用測器

Table 12. Instruments for surface radiation observation 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 CM-21T	305-2800 nm	000738	0.01 MJ/m ²	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	KIPP & ZONEN CH1	300-2800 nm	990198	0.01 kW/m ²	1 秒
	散乱日射量	精密全天日射計 太陽追尾装置 遮蔽ディスク	KIPP & ZONEN CM-21T	300-2800 nm	990574	0.01 MJ/m ²	1 秒
	B 領域 紫外線量	全天型紫外域日射計	EKO MS-210W	280-315 nm	S90091.02	0.01 kJ/m ²	1 秒
	長波長放射量	精密赤外放射計 (ドーム温度付, 器温センサー付)	KIPP & ZONEN CG-4	4-50 μm	990001	0.01 MJ/m ²	1 秒
上向き放射	反射日射量	精密全天日射計 遮蔽バンド	KIPP & ZONEN CM-21T	305-2800 nm	980520	0.01 MJ/m ²	1 秒
	長波長放射量	精密赤外放射計 (ドーム温度, 器温センサー付)	EPPLEY PIR	4-50 μm	32032F3	0.01 MJ/m ²	1 秒
その他	波長別 紫外域日射量	プリューワー分光光 度計	SCI-TEC BREWER	286.5-363 nm	#168	1 μW/m ²	1 時間
	大気混濁度	サンフォトメータ 太陽追尾装置	EKO MS-110	368, 500, 675, 778, 862, 938 nm	ES82-486 ES94121.02		1 分

と MK II (290-325 nm) より広域となっている (伊藤・宮川, 2001)。なお, 光電子増倍管に装着されたカットオフフィルターが湿度に弱く, 当フィルターの劣化は測器感度の低下をもたらすため, 測器外部に新たに除湿用機器を設置した。

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。観測場所は前室屋上である。

(1) 全天日射量

器温センサー付精密全天日射計を用いた。

(2) 直達日射量

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 (STR01 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ない時を選び, ホイスナー・デュボアの混濁係数を求めた。

(3) 散乱日射量

太陽追尾装置 (STR01 英弘社製) に搭載した遮へい装置付き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 領域紫外線量

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。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 42 次隊では、第 40, 41 次隊 (東島ら, 2003; 山口ら, 2005) と同様に、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測器定数を月ごとに求める方法を採用した。

(5) 長波長放射量

ドーム温度、器温センサー付の精密赤外放射計により観測した。

5.1.2. 上向き反射放射観測

観測棟下の海氷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)。データは下向き放射同様、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) 反射日射量

精密全天日射計 (器温センサーなし) により観測した。

(2) 長波長放射量

ドーム温度、器温センサー付の精密赤外放射計により観測した。

5.1.3. 波長別紫外域日射観測

紫外域日射観測指針 (気象庁, 1993b) に準じ、MK III (# 168) を用いて、286.5–363.0 nm (UV-B 領域と、UV-A 領域の大半の波長域) で 0.5 nm 刻みの波長別紫外域日射量の観測を毎正時 (24 LT を除く) に行った。測器の設置場所は、第 41 次隊と同様である (図 1 ①参照)。

5.1.4. 大気混濁度観測

直達日射計及び自動観測型サンフォトメータ (MS-110) を使用し観測を行った。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, 938 nm の 6 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 (Aerosol Optical Depth, 以下 AOD) を求めることができる。また、前述の 6 波長のうち水蒸気の影響の大きい 938 nm を除いた 5 波長の AOD より、オングストロームの波長指数 (\AA ngström A) 及び混濁係数 (\AA ngström B) を求めた。

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、0.00864 を用いた（東島ら，2003）。

5.2. 観測経過

5.2.1. 下向き日射放射観測

第 42 次隊では、これまで不具合が多かった太陽追尾装置 (INTRA) に替えて太陽追尾装置 (英弘社製 STR01) を設置し観測を行った。太陽追尾装置の制御には、PC に替えてハンディターミナルを利用した。年間を通じて 1 度ケーブルが脚部分に絡み停止した以外はおおむね順調に動作した。

散乱日射観測では太陽光遮へい装置として従来の遮へい板から球状の遮へいボールを採用した。

新たに高さ調整可能な測器架台を持ち込み、下向き放射観測用測器の受光面の高さをそろえた。電源に交流安定化電源を設置しノイズの軽減を図った。

5.2.2. 上向き反射放射観測

第 41 次隊から引き継ぎ、観測を継続した。

8 月から 10 月にかけて、赤外放射計の変換器不具合により測器温度に異常があり、その間のデータを欠測した。

5.2.3. 波長別紫外域日射観測

第 42 次隊では、第 41 次隊の使用した MK II (#91) に替えて、MK III (#168) により、2001 年 2 月 1 日から観測を開始した。

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り付け、観測を中断した。4 月に内部水銀ランプの交換による欠測があったが、その他はおおむね順調に観測を行った。測器の光学系全体の波長感度を監視するための外部標準ランプ点検を、原則として週 1 回実施した。波長別感度は年間を通じて大きな変化はなく安定していた。

なお、2001 年 1 月の測器交換時に MK II (#91) との測器相互比較観測を実施した。また 2002 年 1 月には、国内での点検調整を終えた MK II (#91) を、MK III (#168) との測器相互比較観測用に昭和基地へ輸送し、運用した。この比較観測により、感度トレンドの変化を反映した観測値の補正を行っている。

5.2.4. 大気混濁度観測

測器障害のため持ち帰った自動観測型サンフォトメータを用いた観測を 2001 年 1 月から再開した。サンフォトメータも新たに持ち込まれた太陽追尾装置 (STR01) に設置した。

サンフォトメータの観測において、波長 778 nm は波長選択フィルターの劣化のため 2001 年 2 月から 2002 年 1 月の越冬全期間欠測となった。そのためこの間の Ångström A 及び Ångström B は波長 778 nm を除いた 4 波長から求めた。

5.3. 観測結果

5.3.1. 下向き日射放射観測

図 17 に下向き日射放射量日積算値の年変化を示す。短波日射量は太陽高度とともに少なくなり、冬期太陽が昇らない期間にはほぼ 0 MJ/m^2 となっているが、長波放射に関しては、この期間もおおむね 10 MJ/m^2 以上の放射量がある。これは大気分子や雲からの放射によるものと考えられる。

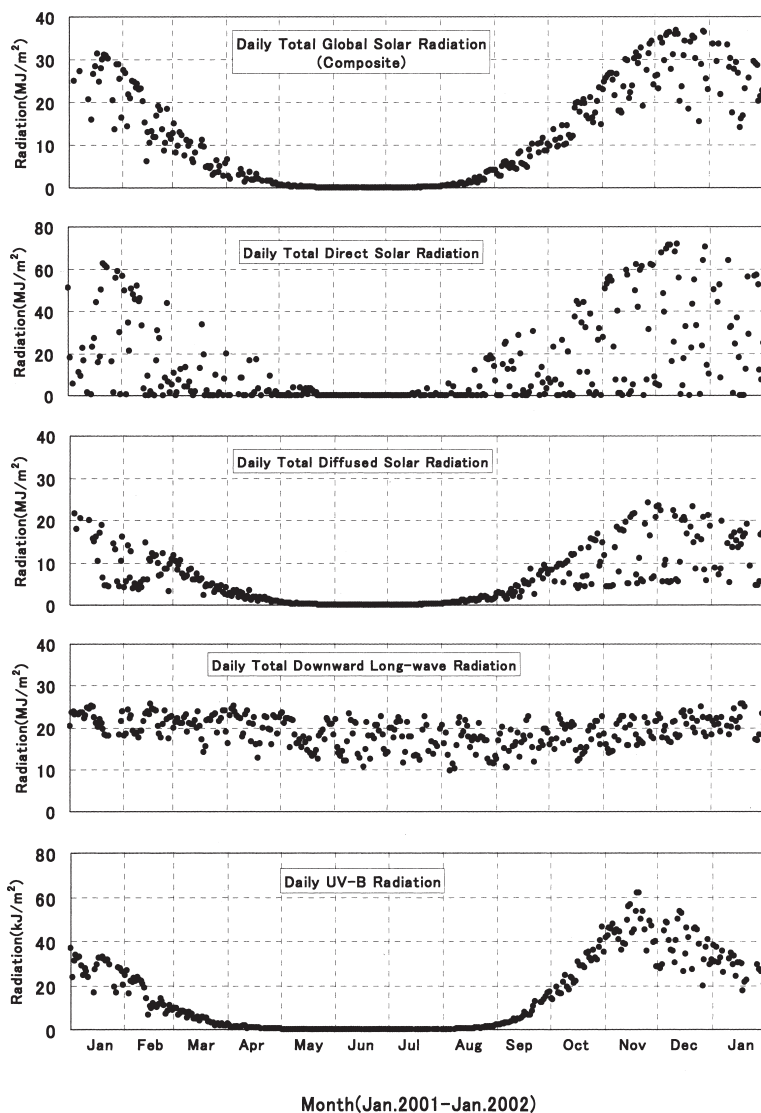


図 17 下向き日射放射日積算値の年変化 (2001 年 1 月～2002 年 2 月)

Fig. 17. Annual variations in daily integrated values of downward radiation components (Jan. 2001-Jan. 2002).

5.3.2. 上向き反射放射観測

図 18 に上向き反射放射量日積算値の年変化を示す。上向き反射放射量は秋と比較して春にやや多くなっている。反射率を上向き放射量の下向き放射量に対する割合とし、図 19 に短波放射反射率の年変化を示す。反射率が 1 を超える場合は放射量が小さく測器感度の限界付近の観測である。反射率は冬前にはおおむね 0.6 から 0.8 であり、春には反射率が上がり 0.8 以上となり、夏に再び反射率が落ちる傾向がある。これは反射面である雪面の状態を反映していると考えられる。2001 年は前 2 年と比べて年間を通して反射率がやや小さく

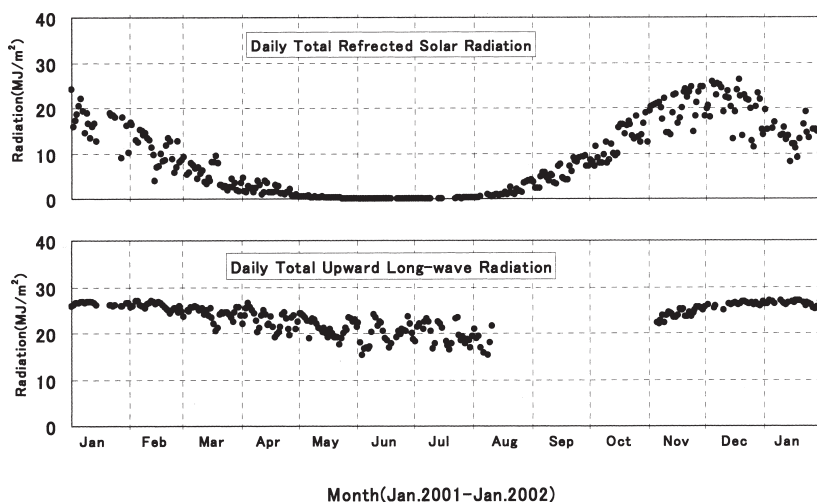


図 18 上向き反射放射日積算値の年変化 (2001 年 1 月～2002 年 1 月)

Fig. 18. Annual variations of daily integrated values of surface upward radiation components (Jan. 2001-Jan. 2002).

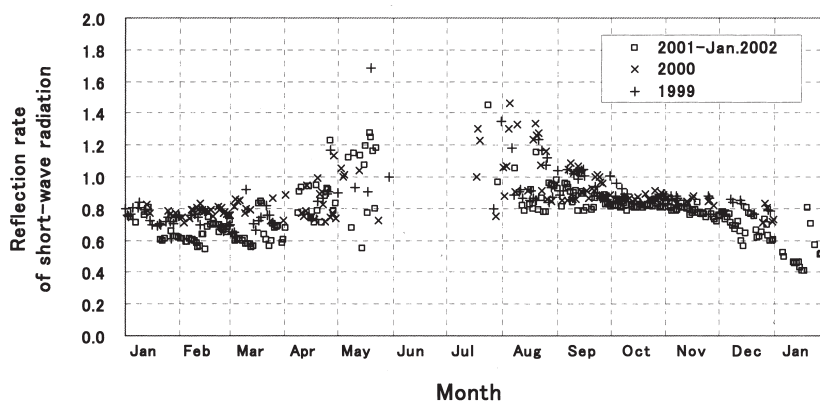


図 19 短波放射反射率の年変化 (1999 年 1 月～2002 年 1 月)

Fig. 19. Annual variations of the reflection rate of short wavelength radiation (Jan. 1999-Jan. 2002).

なっており、特に 2002 年 1 月には昭和基地内の融雪が進み、反射率はおおむね 0.5 程度と大きく落ちている。

上向き長波放射は 3 月中ごろから変動が大きくなっており、これは地表面温度の変動に対応していると考えられる。図 20 に日平均気温に対する上向き長波放射量を示す。上向き長波放射量は気温との相関が良いことから地表面温度に依存していると考えられる。

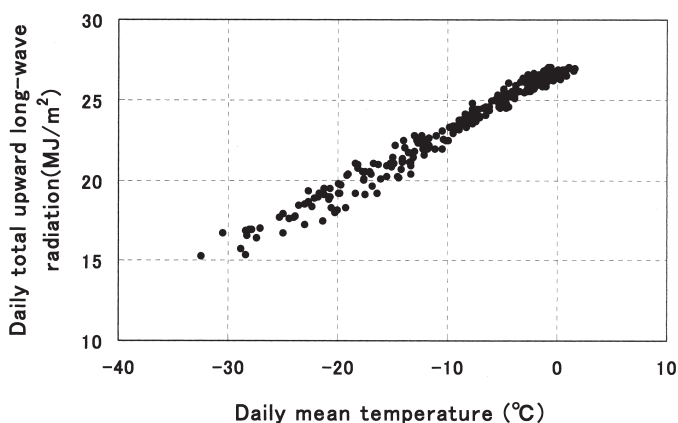


図 20 日平均気温に対する上向き長波放射 (2001 年 1 月～2002 年 1 月)

Fig. 20. Relationship between daily total upward long wavelength radiation and daily mean temperature (Jan. 2001–Jan. 2002).

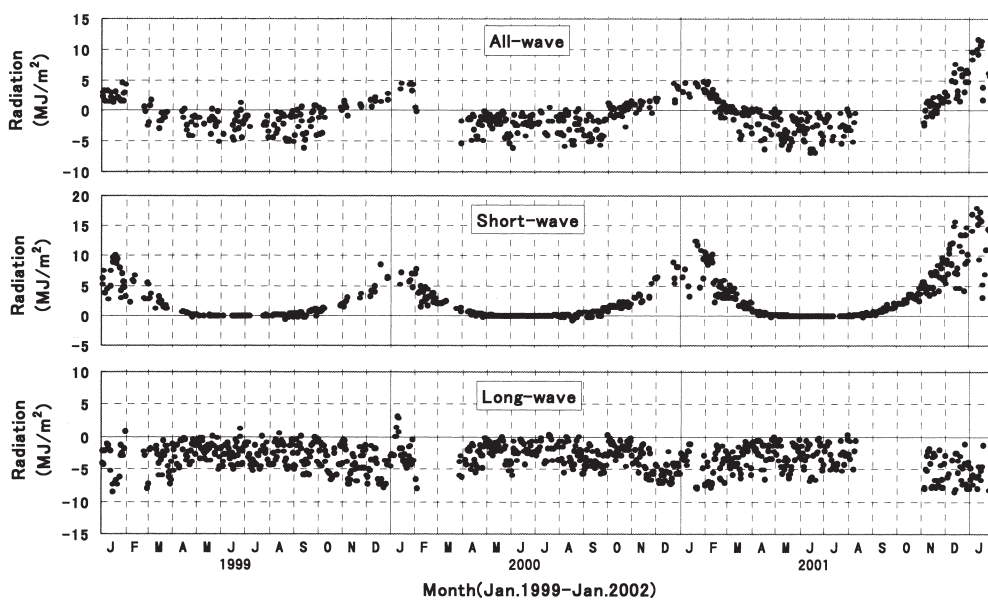


図 21 短波、長波及び全波長の正味放射量日積算値の時系列 (1999 年 1 月～2002 年 1 月)

Fig. 21. Time series of daily integrated net radiation of short wavelength, long wavelength and all wavelengths (Jan. 1999–Jan. 2002).

図 21 に下向き, 上向きともに 1 秒サンプリングを開始した 1999 年 1 月から 2002 年 1 月までの短波, 長波及び全波長の正味放射量日積算値の時系列を示す。2001 年も長波放射は年間を通じて上向きが卓越し, 全波長放射では前年の夏から引き続き 2 月頃までと 11 月から翌年 1 月にかけて下向きが卓越しているという傾向は前 2 年と同様である。ただし, 2001 年 12 月から翌年 1 月にかけて, 全波長放射量は前年に比べて大きな正の値を観測している。これは, 積雪が少なく雪面の反射率が落ちていたことに対応していると考えられる。

2001 年も測器の障害やノイズにより欠測が多く, まだ年間を通じての放射収支について議論するに至っていない。

5.3.3. 波長別紫外域日射観測

図 22 に波長 5 nm ごとに積算したブリュワー分光光度計による紫外域日射量と昭和基地のオゾン全量を示す。

放射伝達モデル (Aoki *et al.*, 2002) を用いた計算によると, 太陽光の大気路程 μ が 2.5 から 4.5 の時, オゾン全量が 300 m atm-cm から 1% 減少した場合, UV-B 強度は 1.6-1.8% 程

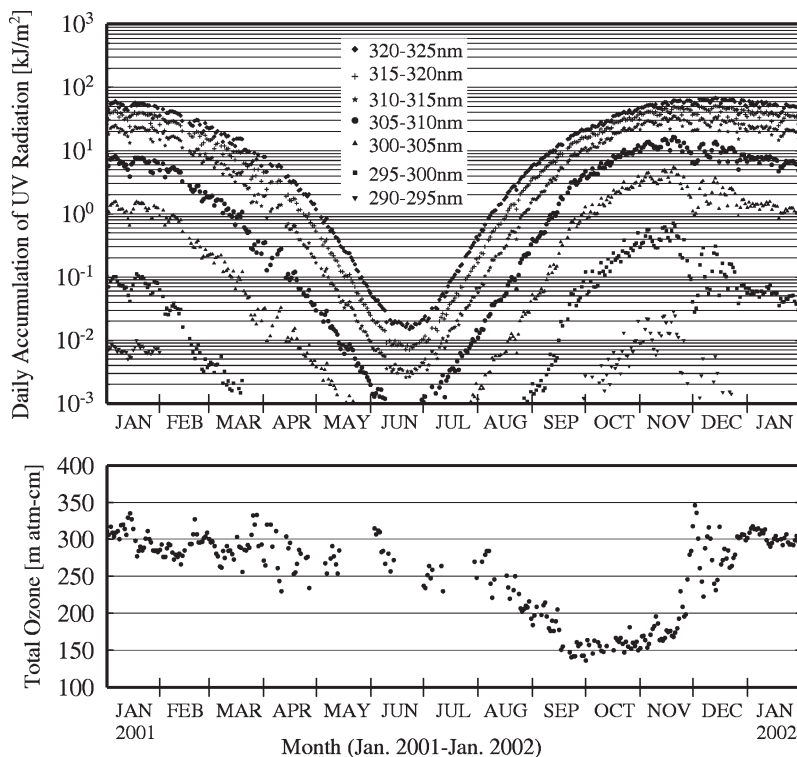


図 22 昭和基地における波長別紫外域日射量の日積算値 (上図) とオゾン全量 (下図) (2001 年 1 月～2002 年 1 月)

Fig. 22. Daily accumulated ultraviolet radiation and total ozone amount at Syowa station (Jan. 2001-Jan. 2002).

度増加する。これは、観測に基づく過去の調査結果とほぼ一致する(気象庁, 2002)。またオゾン全量が 300 m atm-cm から 150 m atm-cm へ半減した場合には、UV-B 強度が 2 倍から 3 倍程度増加することも過去の調査から分かっている(東島ら, 2003)。

オゾン層による吸収をほとんど受けない波長 315 nm より上の UV-A 領域の日積算値は、日々の天気変化の影響で若干変動はあるが、太陽高度角と日照時間の変動に対応して推移し、12 月 13 日に年間最大値を記録した。

一方、波長 315 nm 以下の UV-B 領域ではオゾン層による吸収が大きいため、1-4 月及び 11 月、12 月に、オゾン全量の変動に逆相関の関係で各波長帯の日積算値は大きく変動している。2001 年の UV-B 領域の日積算値の年間最大値は 11 月 19 日に記録した。12 月になると、太陽高度角が高くなり、日照時間も長くなるが、オゾンホールが解消しオゾン全量が急激に増加することに伴って、UV-B 領域の日積算値は 11 月より急速に減少していく。11 月中旬から 12 月上旬の期間を見ると、295-300 nm の波長帯では日積算値は約 1/20 に減少している。また、オゾン層による吸収の度合いが大きい 290-295 nm の波長帯は、オゾン全量の少ない 10 月から 12 月の間のみ観測されている。2001 年 1 月の期間の同波長帯の観測値については、同期間に単分光方式の MK II (#91) を観測に使用しており、当該測器特有の迷光現象により過大に観測されていると考えられる。

紫外線の人体への影響度は、UV-B 領域の、特に短波長側で強いという特徴がある。そこで、McKinlay and Diffey (1987) が示した 280-400 nm の波長域において波長ごとに異なる紫外線の人体への影響度に対して、波長ごとの紫外線強度をかけ、波長積分して算出される「紅斑紫外線量 (CIE 量)」がよく使われる。紅斑紫外線量を 25 mW/m² で割った値を UV インデックスという。なお、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分については、324 nm の観測値をもとに推定した値を用いた。

図 23 に、2001 年 1 月から 2002 年 1 月の日最大 UV インデックスの年変化を示す。

11 月 19 日には、2001 年の最大 UV インデックスである 11.2 を記録した。UV インデックス 11 は世界保健機関 (WHO *et al.*, 2002) によると、“極端に強い” レベルとされている。11 を超える UV インデックスは、国内では九州や南西諸島の夏に度々観測される(気象庁, 2005)。

また、値がばらついているのは、天気の影響とオゾン量の変動によるものである。図には示さないが、日本国内の UV インデックスは、天気の影響により大きくばらつく。晴天時と比較して、曇天時の UV インデックスは、およそ 4-5 割、降水時には 7-8 割減少することが知られている(気象庁, 2005)。しかし、昭和基地の場合、天気の影響は国内に比べて小さく、曇天時でも UV の減衰は少ない。これは、雪氷面による反射率が非常に大きく、多重散乱の効果が大きいことによると考えられる。昭和基地周辺のアルベドは、0.8-0.9 程

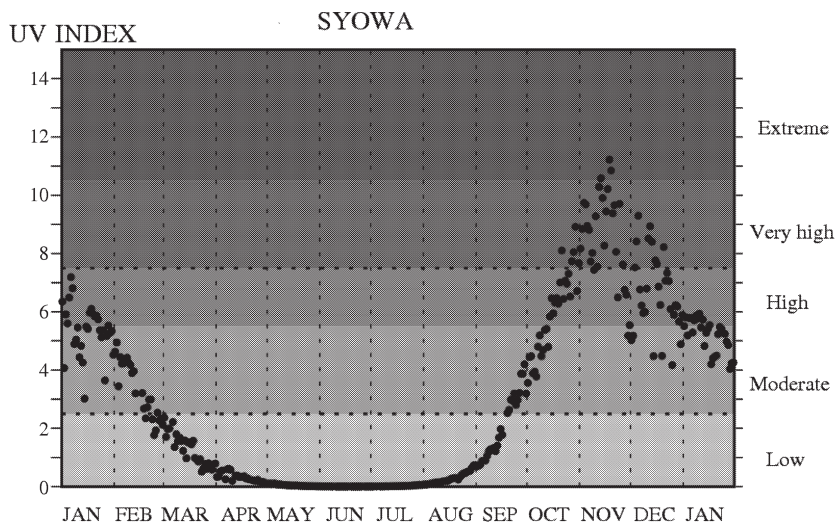


図 23 昭和基地における日最大 UV インデックスの年変化 (2001 年 1 月～2002 年 1 月)
 Fig. 23. Annual variation of daily maximum UV index at Syowa station (Jan. 2001–Jan. 2002).

度であるとの報告があり (Aoki *et al.*, 2002), 放射伝達モデルの計算の結果と比較すると, 昭和基地の紫外域日射強度は, 雪氷がなく土壌が露出している場合と比較しておよそ 1.4 倍に増加していると推定される。

5.3.4. 大気混濁度観測

図 24 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の経年変化を示す。1980

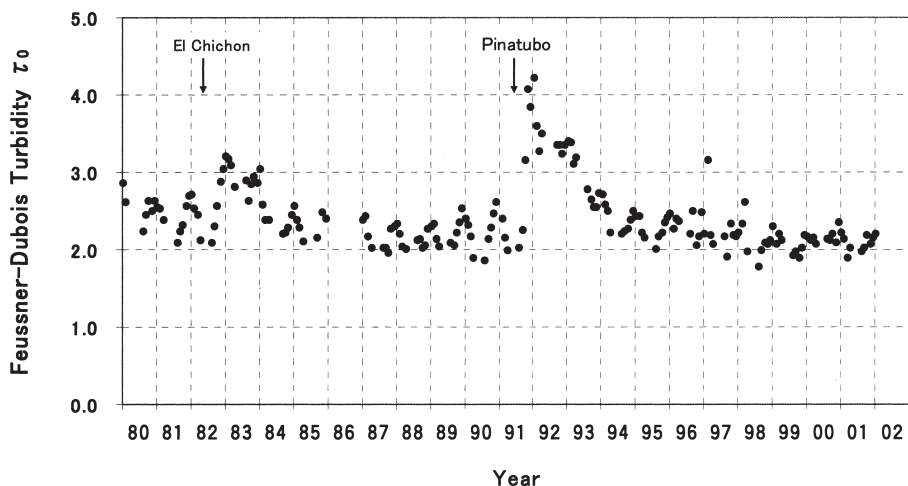


図 24 直達日射量から求めたホイスナー・デュボアの混濁係数の経年変化 (1980 年 2 月～2002 年 1 月)

Fig. 24. Time series of Feussner-Dubois turbidity coefficient by pyrhelimeter (Feb. 1980–Jan. 2002).

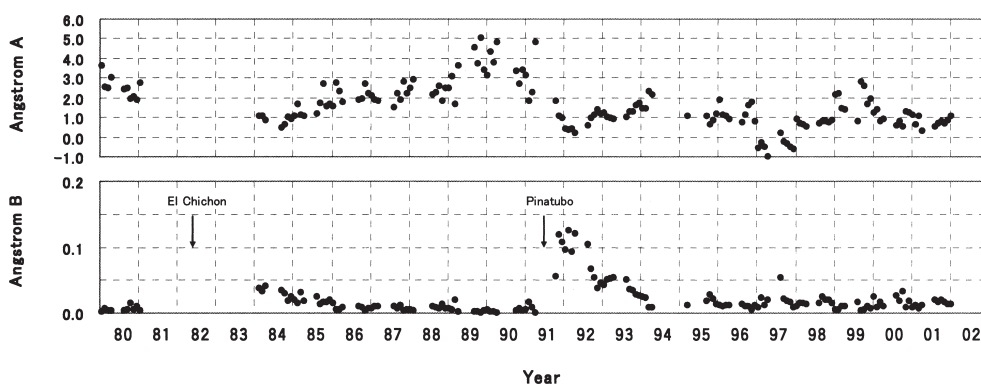


図 25 サンフォトメータによる大気混濁度経年変化 (1980 年 1 月～2002 年 1 月)

Fig. 25. Time series of atmospheric turbidity by sunphotometer (Jan. 1980–Jan. 2002).

年以降全球的に噴出物が拡散したとされる火山噴火 (1982 年 4 月: エル・チヨン (17.20N, 93.12W), 1991 年 6 月: ピナツボ (15.08N, 120.21E)) の時に混濁係数は大きく増加し, その後数年かけて平年値に戻っている。

図 25 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 年からのオングストロームの波長指数 (Ångström A) と混濁係数 (Ångström B) の経年変化を示す。直達日射計で観測した混濁度の場合と同様, 1991 年の火山噴火の影響を受けており, その後数年かけて平年値に戻っていることが分かる。2001 年の値は, ほぼ前年並みとなっている。

6. 特殊ゾンデ観測

第 42 次隊では定常気象観測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実施した。この観測は, 第 38 次隊の気水圏系プロジェクト研究観測「南極大気・物質循環観測」から開始されており, 第 40 次隊からは定常気象観測部門の特殊ゾンデ観測として気水圏部門と共同で観測を行っている。

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。冬期, 極夜を迎える南極下部成層圏ではオゾンによる加熱が無いために長波放射によって冷却し, 著しい低温となる。この低温下において, 硝酸 (HNO_3) や氷晶 (H_2O) などを主成分とした極域成層圏雲 (Polar Stratospheric Clouds; 以下 PSCs と記す) が発現し, その関与によってオゾンが急速に破壊されると考えられている。この PSCs には気温が -78°C 以下で生成する固相の硝酸三水和物や液相の三成分系液滴粒子 (TYPE I) と, -85°C 以下で生成する水主体の氷晶 (TYPE II) の 2 種類がある。

エアロゾルゾンデ観測の目的は, オゾンホール重要な要因と考えられている PSCs の

観測を行うと共に、エアロゾル鉛直分布の季節変化を明らかにすることである。

6.2. 観測方法及び測器

エアロゾルゾンデ観測の器材を表 13 に示す。

(1) エアロゾルゾンデの構成

観測に用いたエアロゾルゾンデは、粒子検出・計数・制御を行う OPC (Optical Particle Counter; 光散乱方式パーティクルカウンタ) と、気象要素 (気温, 湿度, 気圧, 風向, 風速) を観測するレーウィンゾンデから構成され, 3000 g ゴム気球に浮力錘浮力 7000 g のヘリウムガスを充填し飛揚した。第 42 次隊で観測に使用した OPC は ADS-98-5N 型 OPC, レーウィンゾンデは RS2-91 型レーウィンゾンデである。OPC とレーウィンゾンデは相互に信号ケーブルで接続し, OPC は粒子計数データ, ポンプ流量などのコンディションデータと共に, レーウィンゾンデのセンサーから得た信号を合成し, 規定の周期と配列でレー

表 13 エアロゾルゾンデ観測器材
Table 13. Specifications of balloon-borne aerosol sondes

98 型 5ch エアロゾルゾンデ (ADS-98-5N)	気象要素の感部 ・電波発信器	RS2-91 型 レーウィンゾンデ	高層気象観測用と同等, 但し, 要素切り替え周期は 0.5 秒
	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 気圧変化に応じ吸込み容量をプログラム制御 サンプルエア流量: 毎分約 3000 cm ³ シースエア流量 : 毎分約 500 cm ³
		粒子検出方式	光源 : レーザーダイオード (波長 810 nm) 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 粒子は電圧のパルスとして検出され, パルス数から粒子数を, パルス電圧から粒径を計測する
	粒子検出チャンネル (半径 > 0.15 μm)		5 チャンネル並行計測 粒子半径 > 0.15 μm (エイトケン核) > 0.25 μm, > 0.4 μm, > 0.6 μm (大核) > 1.8 μm (巨大核)
気球		天然ゴム製 3000 g	ヘリウムガス充填, 浮力錘浮力 7000 g 口管部補強のため 合成樹脂製の口管接続部品を取付ける 成層圏低温時は気球への油漬け処理を実施
吊紐		ポリエステル製編紐 50 m	強風時は巻下器に替える
パラシュート		不織布, 大型	気球破裂後の降下時も可能な限り電波を受信する
駆動電池		Li 乾電池	Li 乾電池パックを使用

ウィンゾンの送信部に送出する。レーウィンゾンデ発振器部では 1680 MHz の搬送波を OPC から送出された信号によって変調し、ダイポールアンテナから発信する。

OPC の粒径計測部に取り込むサンプルエアは、モーター駆動のギアポンプによって毎分約 3000 cm³ 吸引される。サンプルエアに含まれる粒子(エアロゾル)の検出には半導体レーザーを用い、光学セルに導かれたサンプルエアにレーザー光を照射して散乱光をフォトダイオードで検出する。粒子による前方散乱光は電圧のパルスとして取り出され、パルス数から粒子の個数を、パルス電圧から粒径を検出している。半径 0.15 μm より大きな粒子を検出可能で、半径 >0.15 μm, >0.25 μm, >0.4 μm, >0.6 μm, >1.8 μm の 5 チャンネルで並行計測している。粒子の計測は 20 秒間区切りで繰り返される。

各チャンネルでは測定下限粒径より大きい粒子すべての個数をカウントするため、より測定下限粒径の大きいチャンネルと重複してカウントされる粒子が出てくる。通常、粒径の増加に対して粒子個数密度は指数関数的に小さくなるため、一つのチャンネルで測定される全粒子数のうち、より測定下限粒径の大きいチャンネルでも重複して測定される個数は小さい粒径の個数に対して無視できるほど少ない。従って、データの解析では各チャンネルの出力をその下限粒径間の粒子データと見なすことができる。

(2) 観測システム構成

地上受信施設は高層気象観測用の MOR-22 型モノパルス式方向探知機を用い、ゾンデ航跡を追跡しながら信号を受信する。受信したゾンデ信号はデジタル化装置(デジタイザー)で要素の切り替え周期に同期した信号の分離と周波数のデジタル化を行った後、データ処理用の PC に送出し、データの蓄積と観測処理を行った。

6.3. 観測経過

第 42 次隊では、主に南極下部成層圏に存在するエアロゾルの季節変化と共に、特に極夜

表 14 昭和基地におけるエアロゾルゾンデ飛揚状況
Table 14. Summary of aerosol sonde observations at Syowa Station.

回数	飛揚時刻 (LT)	飛揚目的	到達高度	
			気圧 (hPa)	高度 (km)
1	2001 年 03 月 18 日 09 時 50 分	秋期の観測	3.8	37.3
2	2001 年 04 月 18 日 09 時 56 分	秋期の観測	3.4	36.0
3	2001 年 06 月 03 日 17 時 26 分	PSCs 形成直前の観測	7.5	30.4
4	2001 年 06 月 30 日 09 時 00 分	PSCs 捕捉 (第 1 回目)	4.4	32.4
5	2001 年 07 月 16 日 17 時 45 分	PSCs 捕捉 (第 2 回目)	26.0	22.5
6	2001 年 08 月 05 日 09 時 00 分	PSCs 捕捉 (第 3 回目)	---	---
7	2001 年 10 月 09 日 09 時 10 分	成層圏オゾン減少期の観測	15.4	25.8
8	2001 年 11 月 28 日 17 時 45 分	極渦崩壊期の観測	4.8	36.7
9	2002 年 01 月 22 日 21 時 05 分	夏期の観測 (第 43 次隊への引き継ぎ)	84.9	17.0

期のPSCs粒子を捉えることに重点をおき、国内と連絡をとりながら表14に示す観測を行った。

気水圏部門3台、定常気象部門6台の計9台を持ち込んだが、越冬期間中に気水圏部門のエアロゾル観測装置が故障したため、この代用としてエアロゾルゾンデを1台使用したため計8台を使用する事となったが、第43次隊からエアロゾルゾンデを1台譲り受けて計9台を観測に使用した。第42次隊では新たに3月の観測、PSCs形成直前の観測、極渦崩壊期の観測を実施した。

6.4. 観測結果

大気中のエアロゾル濃度を空気1 cm³当たりの粒子個数(以下、個数密度(個/cm³)と記す)で表し考察する。

6.4.1. 第42次隊が観測した冬のPSCs

第38次隊から5年間にわたる観測の結果、冬の成層圏には毎年PSCsとみられるエアロゾルの急増が観測されている。図26に成層圏(高度10 km以上)で観測された半径>1.8 μmのエアロゾルの最大個数密度を示す。各年ともに冬から春の間にエアロゾルの急増が見られる。第42次隊では、PSCsの捕捉を目的とする観測を3回実施したが、気温観測に不具合が発生したため1回は欠測した。

第42次隊で実施したエアロゾルゾンデ観測結果を図27に示し、4月から12月にかけての成層圏気温の推移を図28に示す。図28上部の日付は、エアロゾルゾンデ観測実施日である。

(1) 2001年3月18日

秋期の観測であり、3月の観測は第42次隊が初めてである。観測は全天の雲量が約1割の上層雲の下で行った。対流圏界面の高度約8 kmまでをみると、半径>0.15 μm、半径>

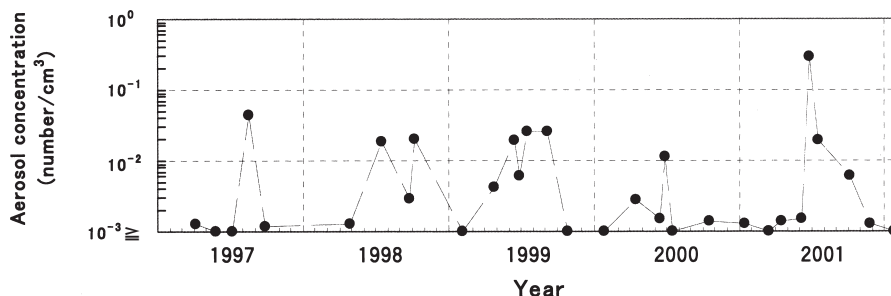


図26 成層圏(高度10 km以上)における大粒径エアロゾルの最大個数密度の時系列(1997年~2001年)

Fig. 26. Time series of maximum concentration of large aerosols in the stratosphere (above 10 km height) (1997-2001).

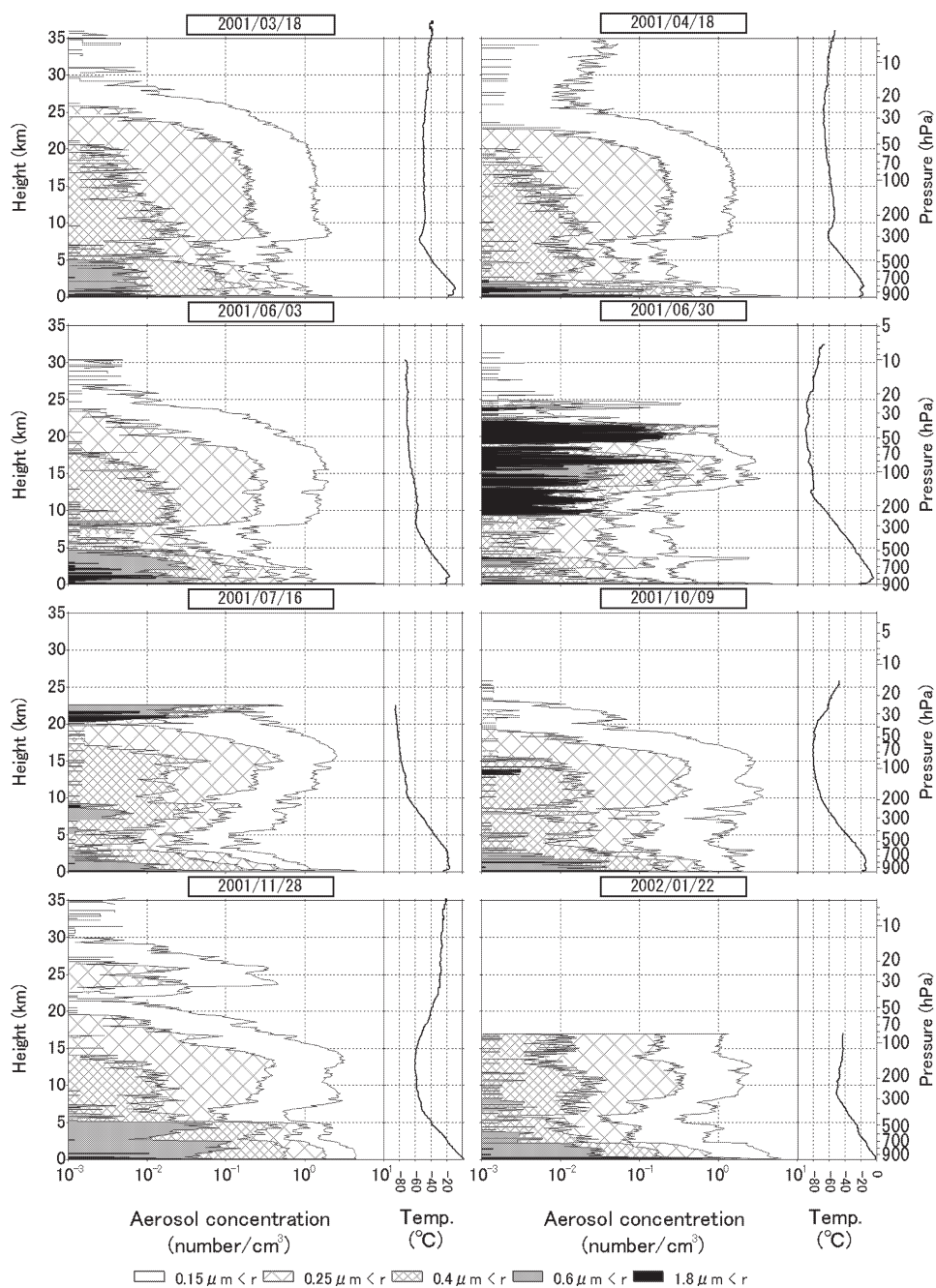


図 27 エアロゾルゾンデによるエアロゾル粒径別数密度の高度分布 (2001 年～2002 年)
 Fig. 27. Vertical distribution of aerosol concentration for each aerosol size (2001-2002).

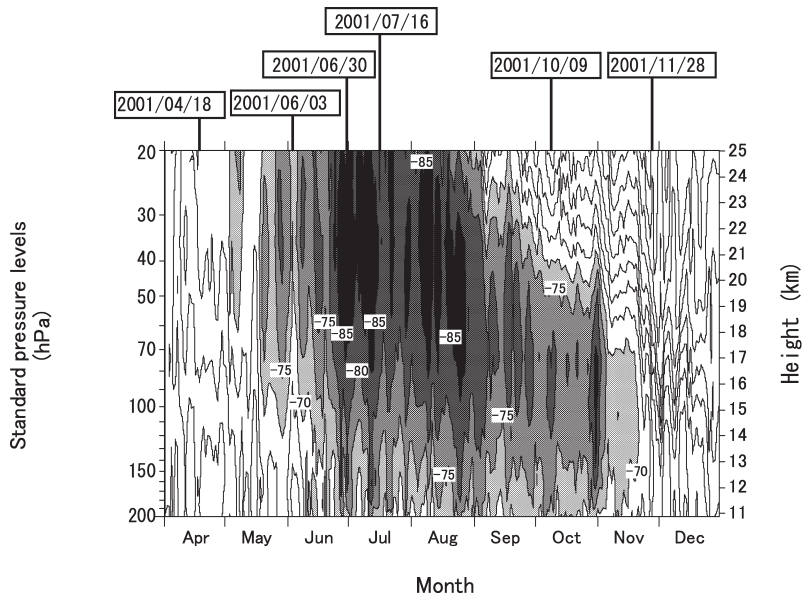


図 28 2001 年 4 月から 12 月の成層圏気温の推移 (上部の日付はエアロゾルゾンデ観測実施日)
 Fig. 28. Temporal variations of stratospheric air temperatures (the date at the top shows the aerosol sonde observation).

0.25 μm , 半径 $>0.4 \mu\text{m}$ の粒子は, 地上から高度約 5 km まで高度と共に減少している。

対流圏界面の高度約 7–8 km で半径 $>0.15 \mu\text{m}$, 半径 $>0.25 \mu\text{m}$, 半径 $>0.4 \mu\text{m}$ の粒子は増加している。高度約 20 km より上層では個数密度は高度と共に減少している。また, 半径 $>0.6 \mu\text{m}$ の粒子は地上から高度約 5 km まで存在しているが高度約 5 km より上層では減少しており, 対流圏界面より上層では全く観測されていない。

(2) 2001 年 4 月 18 日

秋期観測で 3 月とあわせ季節内変動を確認した。観測は全天の雲量が約 1 割の下層雲, 及び上層雲の下で行った。高度約 2 km 付近に逆転層が存在するため逆転層内で全個数密度は 3 月の観測と比較して増加している。

対流圏界面の高度約 8 km 付近で, 半径 $>0.15 \mu\text{m}$, 半径 $>0.25 \mu\text{m}$, 半径 $>0.4 \mu\text{m}$ の粒子は増加している。半径 $>0.15 \mu\text{m}$ 及び半径 $>0.25 \mu\text{m}$ の個数密度は高度約 20 km までほぼ一定であるが, 半径 $>0.15 \mu\text{m}$ の個数密度が高度約 25 km より上でわずかながら増加しているのを除き, 高度約 20 km より上層では高度とともに全個数密度は減少している。また, 半径 $>0.6 \mu\text{m}$ の粒子は対流圏界面より上層では全く観測されていない。

(3) 2001 年 6 月 3 日

PSCs 形成直前の観測である。成層圏の気温は 5 月下旬より徐々に低下し, 高度約 20 km より上層では -80°C 以下の気温が観測されるようになった。観測は全天の雲量が約 1 割の

下層雲の下で行った。

全個数密度は対流圏界面の高度約 8 km まで高度と共に減少し、高度約 8 km から高度約 10 km で全個数密度は増加している。半径 $>0.15\ \mu\text{m}$ 及び半径 $>0.25\ \mu\text{m}$ の個数密度は高度約 16 km までほぼ一定であるが、それより上層では高度と共に急速に減少している。

また、半径 $>0.6\ \mu\text{m}$ の粒子は高度約 18 km でわずかに観測されたが、気温の低下している高度約 20 km より上層では半径 $>0.4\ \mu\text{m}$ 、半径 $>0.6\ \mu\text{m}$ 及び半径 $>1.8\ \mu\text{m}$ の粒子は観測されていない。

(4) 2001 年 6 月 30 日

PSCs 期の観測である。成層圏の気温は低下を続けており、特に観測前の 6 月 20 日頃から急激に低下し高度約 17 km から高度約 25 km では -85°C を下回るようになった。観測は全天の雲量が約 1 割の上層雲の下で行った。

半径 $>0.6\ \mu\text{m}$ 及び半径 $>1.8\ \mu\text{m}$ の粒子は、高度約 9 km から高度約 10 km にかけて急激に増加し、高度約 24 km にかけて観測された。

高度約 9 km から高度約 24 km の層は、半径 $>0.6\ \mu\text{m}$ 及び半径 $>1.8\ \mu\text{m}$ の粒子の観測結果から、高度約 9 km から高度約 11 km の層、高度約 12 km から高度約 15 km の層、高度約 15 km から高度約 17 km の層、高度約 19 km から高度約 22 km の層の 4 層に層別化できる。

高度約 19 km から高度約 22 km の層は、気温が $-87\sim-90^{\circ}\text{C}$ であるため TYPE II の PSCs 粒子を捉えているものと考えられる。高度約 12 km から高度約 15 km の層及び高度約 15 km から高度約 17 km の層は、気温が $-80\sim-86^{\circ}\text{C}$ であるため TYPE I の PSCs 粒子を捉えているものと考えられる。また、高度約 9 km から高度約 11 km の層は、気温は約 $-58\sim-74^{\circ}\text{C}$ であり PSCs 粒子の生成温度より高いため、上層で生成され重力により落下した PSCs 粒子を捉えているものと考えられる。

(5) 2001 年 7 月 16 日

PSCs 期の観測である。高度約 19 km より上層の気温は、 -85°C 以下の層は観測されなくなったが依然 -80°C 以下の低温であった。観測は全天の雲量が約 1 割の下層雲の下で行った。

半径 $>0.6\ \mu\text{m}$ 及び半径 $>1.8\ \mu\text{m}$ の粒子は、高度約 10 km から高度約 20 km の層は気温が $-69\sim-83^{\circ}\text{C}$ と低温にもかかわらずわずかしか観測されなかったが、高度約 20 km から高度約 23 km にかけて観測された。半径 $>0.6\ \mu\text{m}$ 及び半径 $>1.8\ \mu\text{m}$ の粒子が観測された層は気温が $-83\sim-86^{\circ}\text{C}$ であるため TYPE I の PSCs 粒子を捉えているものと考えられる。

(6) 2001 年 10 月 9 日

成層圏オゾン減少期の観測である。オゾン全量値は 2001 年 9 月下旬から 11 月下旬にか

けてオゾンホールを目安である 220 m atm-cm 以下を観測した。また、オゾン分圧は 2001 年 9 月から次第に高度 14-21 km 付近で低くなり始め、10 月には 14-20 km 付近はほとんど 0 mPa を観測している。観測は全天の雲量が約 1 割の下層雲及び上層雲の下で行った。

半径 $>0.6 \mu\text{m}$ 及び半径 $>1.8 \mu\text{m}$ の粒子は、高度約 13 km から高度約 15 km にかけて観測された。この層の気温は $-78^\circ\text{C} \sim -80^\circ\text{C}$ であるため TYPE I の PSCs 粒子を捉えているものと考えられる。オゾンホールが形成される中で低温が持続している高度では PSCs 粒子が存在しているものと考えられる。

(7) 2001 年 11 月 28 日

極渦崩壊期の観測である。30 hPa 天気図(図 7)に見られるように長く安定していた極渦は 11 月から 12 月にかけて崩壊したのが分かる。また、この極渦の崩壊は、オゾンゾンデの観測結果から 11 月下旬から高度約 20 km から高度 26 km にかけてオゾン分圧が急上昇したことや、高層気象観測の結果から 11 月下旬から 12 月上旬にかけて高度約 19 km で 25°C 及び高度約 20 km で 10°C を超える気温の急上昇が観測されたことから判断できる。観測は全天の雲量が約 1 割の下層雲、中層雲及び上層雲の下で行った。

高度約 10 km より上層では、半径 $>0.6 \mu\text{m}$ 及び半径 $>1.8 \mu\text{m}$ の粒子は観測されていない。また、高度約 23 km から高度約 27 km にかけて、半径 $>0.15 \mu\text{m}$ 及び半径 $>0.25 \mu\text{m}$ の粒子濃度が急激に増加している。この粒子濃度の急増は、極渦の崩壊とともに極渦外部から多量のエアロゾル粒子が流入した事によるものと考えられる。

(8) 2002 年 1 月 22 日

夏期の観測である。観測は全天の雲量が約 2 割の下層雲及び中層雲の下で行った。

対流圏界面の高度約 8 km 付近から上層で半径 $>0.15 \mu\text{m}$ 、半径 $>0.25 \mu\text{m}$ の粒子は高度とともに増加している。また、半径 $>0.6 \mu\text{m}$ の粒子は高度約 10 km より上層ではわずかに観測された。

6.4.2. 第 42 次隊の観測結果から見たエアロゾルの季節的特徴

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 29 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。6 月 30 日の高度 11 km から 25 km において PSCs 粒子の影響による重量混合比の顕著な増加、及び高度 18 km から 25 km ではオゾンホールが形成される時期の重量混合比の顕著な減少が見られた。また、極渦崩壊時期には高度 23 km から 29 km において重量混合比の顕著な増加が見られた。

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、気象衛星から送られてくる雲写真、毎日の地上観測、高層気象観測から得られたデータを参

VARIATION OF MIXING RATIO

Syowa Station

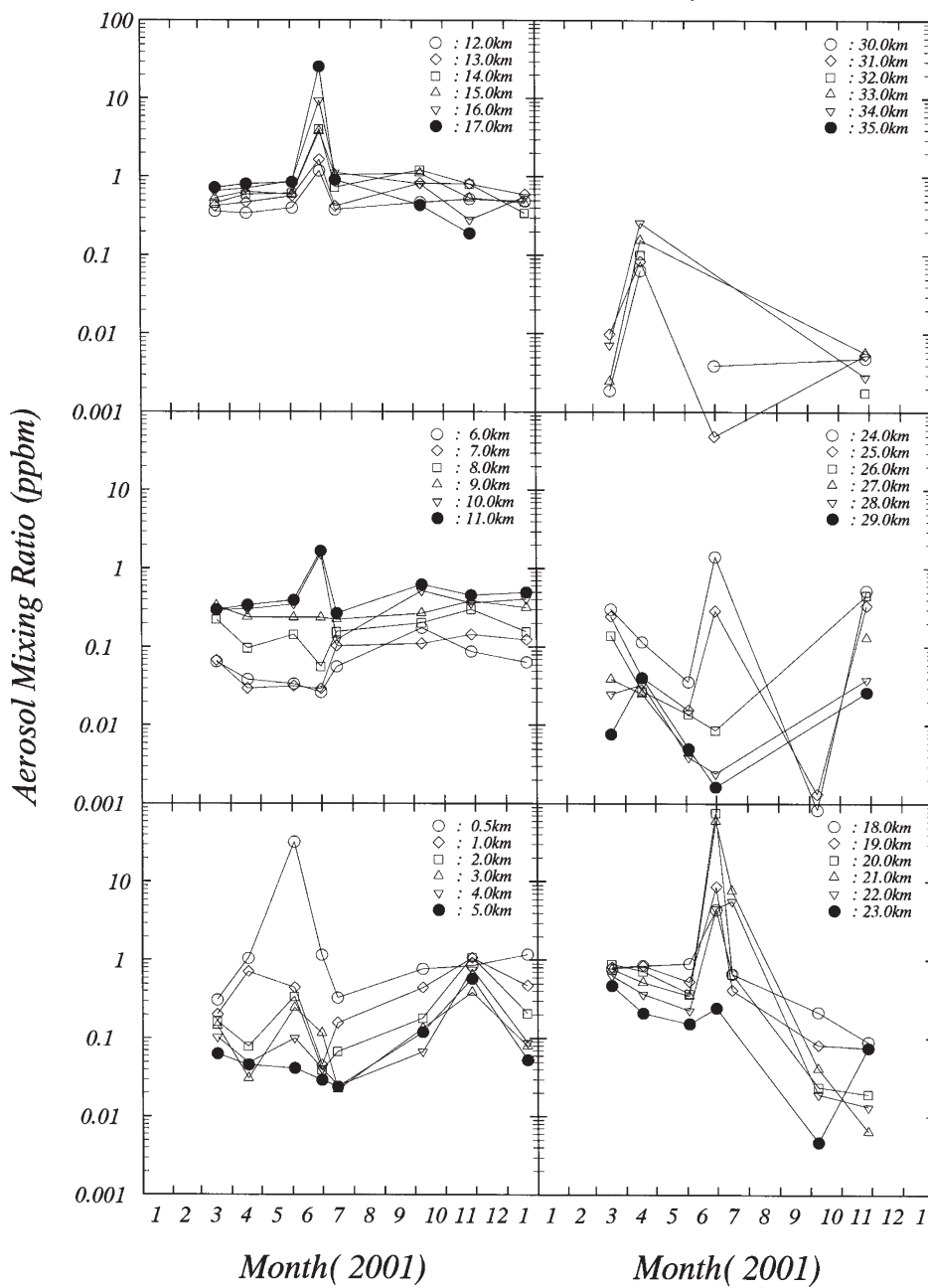


図 29 エアロゾル重量混合比の高度別時間変化
 Fig. 29. Time series of aerosol mass mixing ratio at each altitude.

考に、低気圧、前線の移動を把握して天気解析を行い、気象観測に資するとともに隊のオペレーション活動を行う際の気象情報を提供した。

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) 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 面 48 時間予想図、インド洋地上実況図と 36 時間予想図、プレトリア (南アフリカ) 放送の地上天気図 (00, 12 UTC)。

(2) 気象庁配信天気図

インマルサット FAX により気象庁作成の以下の天気図の提供を受けた。

地上天気図 (海面気圧 : 実況, 24, 48, 72, 96, 120 時間予想)

850 hPa 天気図 (気温 : 実況, 24, 48, 72, 96, 120 時間予想)

850 hPa 天気図 (高度, 気温: 実況, 24, 48, 72, 96, 120 時間予想)

850 hPa 天気図 (高度 : 実況, 24, 48, 72, 96, 120 時間予想)

850 hPa 天気図 (高度, 気温: 実況)

(3) 極軌道気象衛星雲写真

極軌道気象衛星 NOAA の赤外及び可視画像。

7.2. 解析結果とその利用

上記資料を利用して、昭和基地周辺の低気圧や前線の位置・移動状況を把握して翌日の気象状況予測をミーティング時に発表し、隊のオペレーションの参考とした。また、野外オペレーション、航空機オペレーション時に情報を提供した。

8. その他の観測

8.1. 船上での大気混濁度観測

8.1.1. 観測方法と測器

携帯型サンフォトメータ (MS-120S) を使用し、往路「しらせ」船上において大気混濁度の観測を行った。

8.1.2. 観測結果

図 30 に各波長 (368, 500, 675, 778, 862 nm) におけるエアロゾルの光学的厚さ (AOD) の緯度分布を示す。天候に恵まれず、観測は北緯 20 度から北緯 7 度の間と南緯 14 度から南緯 25 度の間しか行えなかった。

図 31 には 1991 年 (第 33 次隊) から 2000 年 (第 42 次隊) までの、各年の緯度 10 度ご

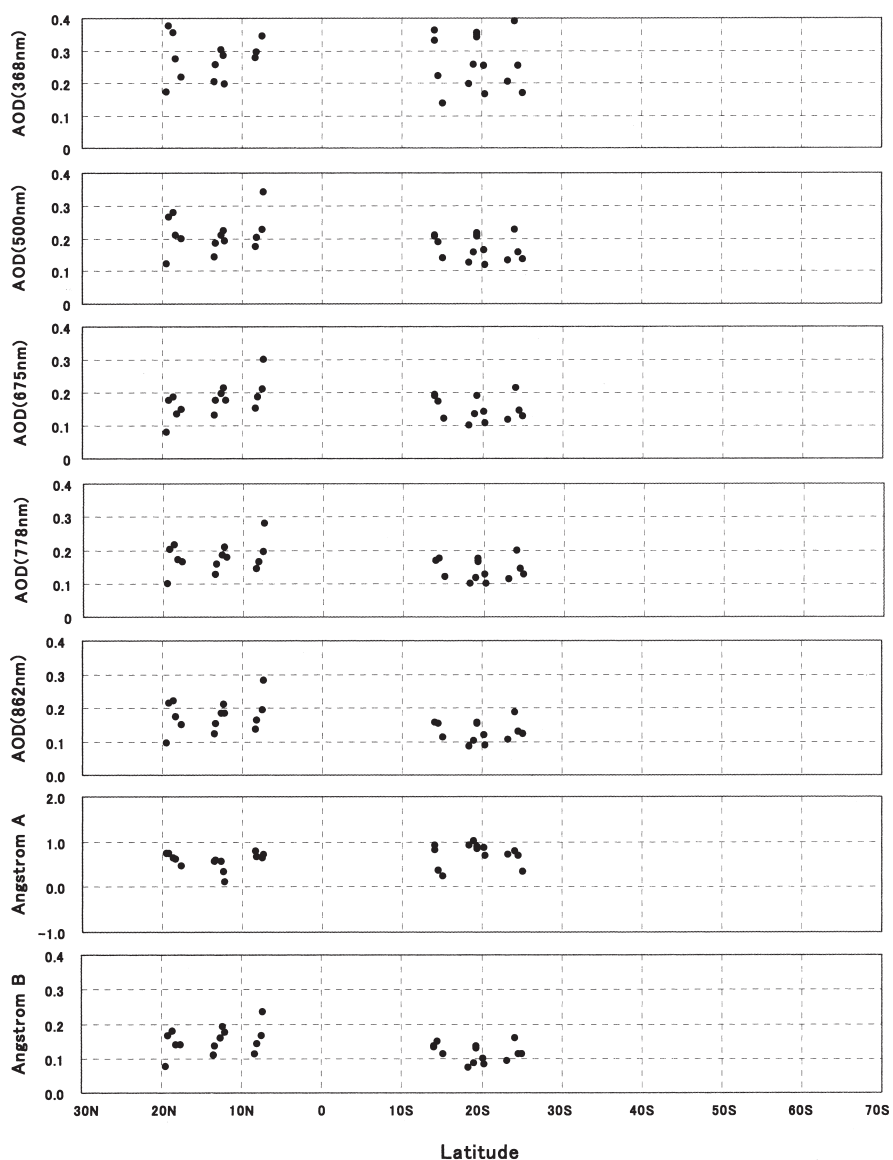


図 30 「しらせ」船上で観測されたエアロゾルの光学的厚さの緯度分布 (2000 年 11 月)
 Fig. 30. Latitude distribution of aerosol optical depth on the R/V Shirase (Nov. 2000).

とに平均したオングストロームの波長指数 (Ångström A) と混濁係数 (Ångström B) を示す。前述しているように 1991 年には火山噴火の影響を受けて各緯度で混濁係数が大きくなっている。2000 年の観測では混濁係数が増加の傾向を示している。

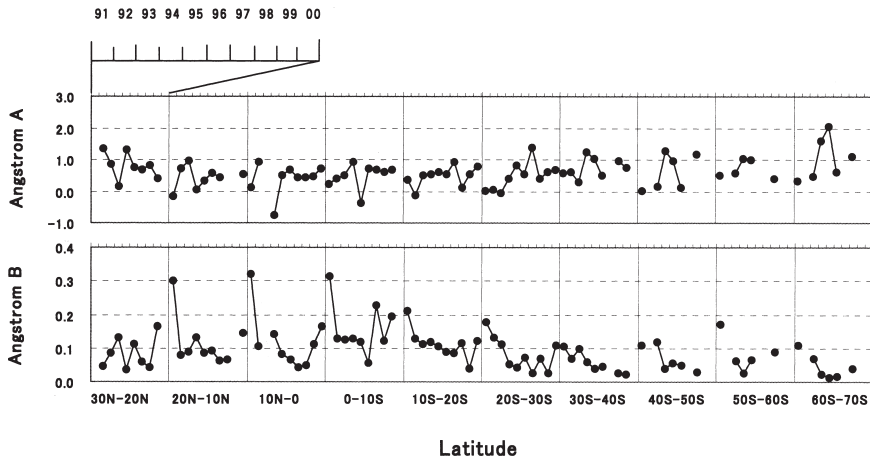


図 31 「しらせ」船上で観測されたエアロゾルの光学的厚さの経年変化（1991 年～2000 年）
 Fig. 31. Time series of aerosol optical depth on the R/V Shirase averaged over every 10 degrees of latitude (1991-2000).

8.2. 内陸旅行中の気象観測

第 42 次隊気象部門は、気水圏部門の第 2 期ドーム計画に向けた支援のため、2000 年 12 月 26 日から 2001 年 2 月 10 日までの夏期ドームふじ旅行，2001 年 8 月 13 日から 9 月 24 日までの中継拠点旅行，2001 年 10 月 25 日から 2002 年 2 月 6 日までの春期ドームふじ・やまと旅行に参加し，その中で気象観測を行った。ドームふじ観測拠点へのルートは夏期，冬明け，春期共同様であり，S16 からみずほ基地間が S ルート，H ルート及び Z ルート，みずほ基地から中継拠点またはドームふじ観測拠点までは MD ルートであった。春期旅行の帰路に行ったやまと山脈へは MD ルート，N ルート，YM ルートを経た。旅行ルートを図 32 に示す。

8.2.1. 観測方法と測器

(1) 夏期ドームふじ旅行

共同装備として貸与された気象観測セットにより気象観測を行った。観測項目，使用した気象測器は表 15 の通り。なお，共同装備から貸与された「携帯用アネロイド型気圧計」には 730 hPa 以下の指示値がないため，旅行途中から個人用腕時計に組み込まれている「半導体式気圧計」を用いて観測を行った。気圧計の値について復路で確認したところ，両測器の気圧差は 1 hPa 以下であったので，旅行中の観測値に対しての補正は行わなかった。また，「スリング式温度計」は往路 MD304 あたりから，「温度計」を支える「回転軸」が回転しなくなったため，「手の平」で回転軸を回して観測を行った。その他の測器についてのトラブルはなかった。

(2) 中継拠点旅行

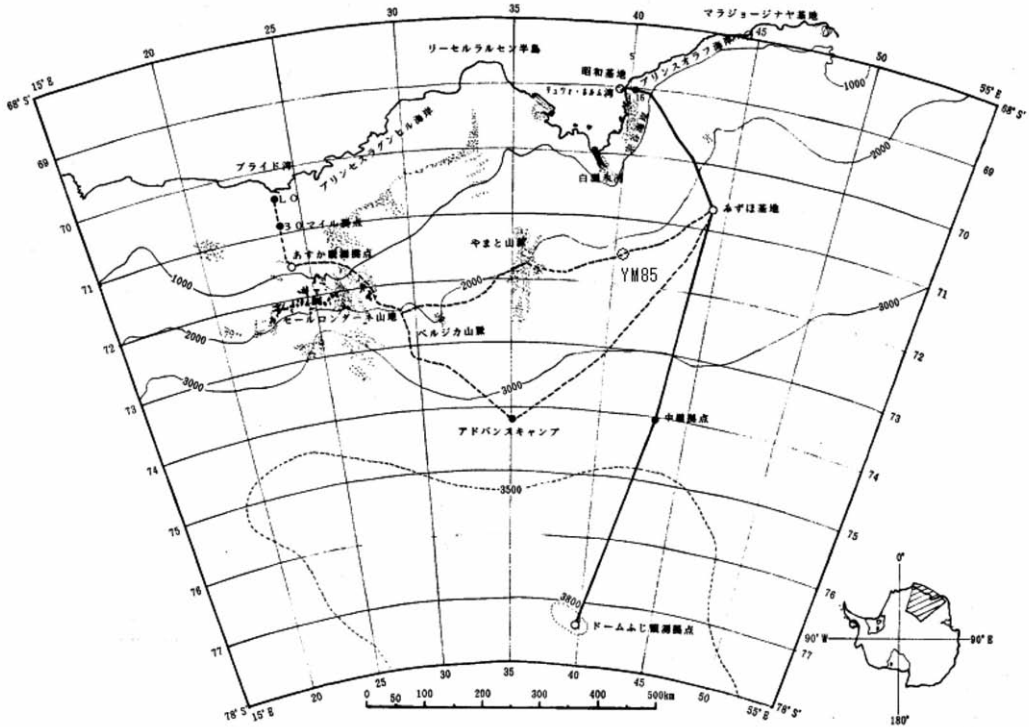


図 32 昭和基地からドームふじ観測拠点への経路
 Fig. 32. Traverse route from Syowa Station to Dome Fuji.

共同装備として貸与された気象観測セットにより気象観測を行った。観測項目、使用した気象測器は表 15 の通り。

(3) 春期ドームふじ・やまと旅行

共同装備として貸与された気象観測セットによりに気象観測を行った。使用した気象測器は表 15 の通り。また、ドームふじ観測拠点及び YMB5 地点滞在時に、気象庁が第 41 次隊から使用している移動気象観測装置マウズ(ヴァイサラ社製 MAWS)により気温、気圧、風向、風速を観測した。

8.2.2. 観測経過

(1) 夏期ドームふじ旅行

観測は 08, 15, 20 時(LT)に行った。また航空オペレーションの実施日には、05 時(LT)から指定された時刻まで毎正時に観測を行い、「しらせ」に通報した。

(2) 中継拠点旅行

観測は 09, 13, 18 時 (LT) に行った。

(3) 春期ドームふじ・やまと旅行

観測は 07, 13, 19 時 (LT) に行った。

表 15 旅行中に使用した気象観測測器等一覧表

Table 15. Instruments and accuracy of meteorological observations on traverse route and at Dome Fuji or YM85.

観測項目	観測 最小単位	観測 精度	使用測器等	備考
現地気圧	1 hPa	±1 hPa	携帯用アネロイド型気圧計 (730 hPa 以上)	旅行中に使用
	1 hPa	±1 hPa	腕時計組込式気圧計 (730 hPa 未満)	旅行中に使用
	0.1 hPa	±0.2 hPa	振動式気圧計	旅行中に使用
	0.1 hPa	±0.3 hPa	電気式アネロイド型気圧計	ドームふじ及び YM85 滞在中に使用 (MAWS)
気温	1°C	±0.5°C	スリング式ガラス製温度計	旅行中に使用
	0.1°C	±0.3°C	電気式白金抵抗温度計	ドームふじ及び YM85 滞在中に使用 (MAWS)
相対湿度	1%	±3%	静電容量式湿度計	ドームふじ及び YM85 滞在中に使用 (MAWS)
				旅行中は観測せず
風向	10°	±10°	ハンドベアリングコンパス	旅行中に使用
	1°	±3°	矢羽型風向計	ドームふじ及び YM85 滞在中に使用 (MAWS)
風速	1 m/s	±0.5 m/s	携帯用発電式 3 杯型風速計	旅行中に使用
	0.1 m/s	±0.3 m/s	3 杯型風速計	ドームふじ及び YM85 滞在中に使用 (MAWS)
雲量・雲形・ 向き・高さ			目視	
視程	10 m(目視)		目視	
大気現象			目視	

ドームふじ観測拠点及び YM85 地点滞在時に移動気象観測装置マウズ (ヴァイサラ社製 MAWS) により気温, 気圧, 風向, 風速の連続観測及び 10 分ごとの観測記録を行った。設定ファイルの不具合から, ドームふじ観測拠点における気温及び気圧のデータの一部が取得できなかったが, ファイル修正後は順調に観測できた。YM85 地点では概ね順調に観測できた。

8.2.3. 観測結果

(1) 夏期ドームふじ旅行

図 33 に観測結果を示す。

旅行期間中の主な観測記録は次の通り。

最低気温: -33.3°C (2001/1/18 0800LT 場所ドームふじ観測拠点)

最高気温: -0.5°C (2000/12/27 1600LT 場所 S16)

最大風速: 13 m/s (2001/1/9 1220LT 場所 MD240)

最低現地気圧: 607 hPa (2001/1/18 0800LT 場所ドームふじ観測拠点)

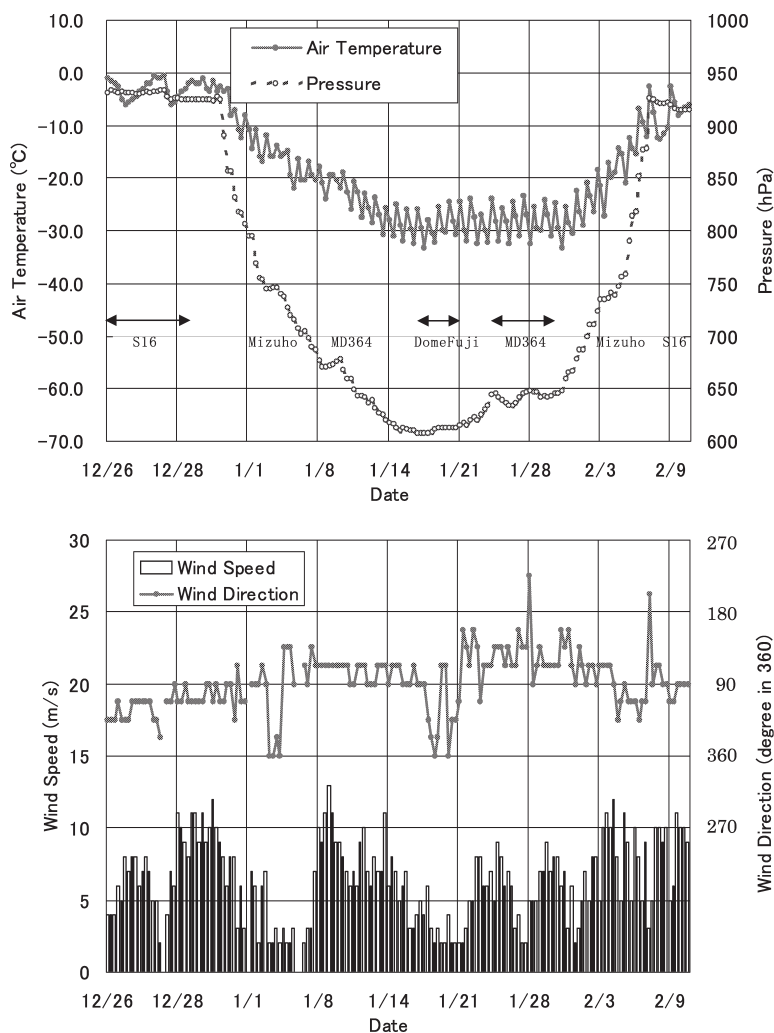


図 33 夏期ドームふじ旅行中の気象観測データ (2000 年 12 月 26 日～2001 年 2 月 10 日)
 Fig. 33. Surface meteorological observation data during the traverse to Dome Fuji in summer season (Dec. 26, 2000–Feb. 10, 2001).

(2) 中継拠点旅行

図 34 に観測結果を示す。

旅行期間中の主な観測記録は次の通り。

最低気温: -62.0°C (2001/9/4 1800LT 場所 MD364)

最高気温: -13.9°C (2001/8/14 1730LT 場所 S16)

最大風速: 20 m/s (2001/8/22 1800LT 場所 IM0)

最低現地気圧: 623 hPa (2001/9/6 1800LT 場所 MD364)

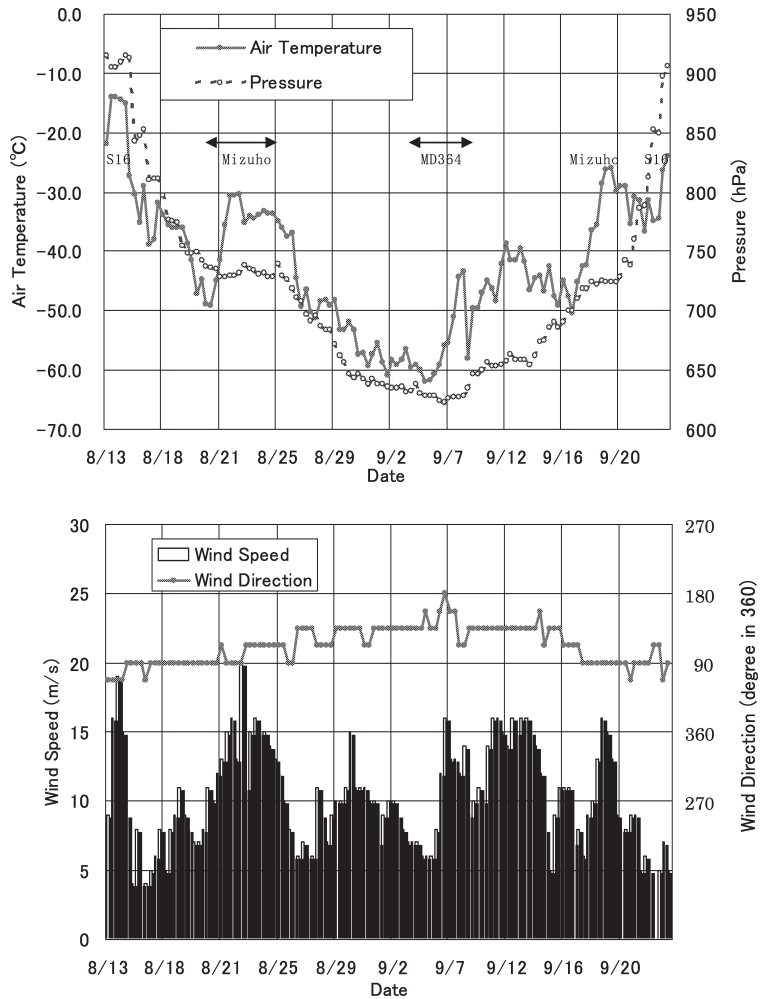


図 34 中継拠点旅行中の気象観測データ (2001 年 8 月 13 日~9 月 24 日)

Fig. 34. Surface meteorological observation data during the traverse to Relay Point (Aug. 13-Sep. 24, 2001).

(3) 春期ドームふじ・やまと旅行

図 35 に観測結果を示す。旅行の往路は雲も多く、カタバ風による地吹雪が毎日のように観測された。しかしドームふじ観測拠点に近付くにつれ風が弱くなり、晴天が多くなった。一方で細氷現象が多くなり、ハロが多く見られた。ドームふじ観測拠点滞在は 1 カ月強に及んだが、雪による降雪は 4 日、更に視程が 50 m まで落ちたブリザードは 1 回のみで、おおむね晴天で細氷現象が見られる日が多かった。復路及び YM ルートは本格的な夏ということもあり、全般的に雲は少なかったが、カタバ風による地吹雪となった日が多かった。

旅行期間中の主な観測記録は次の通り。

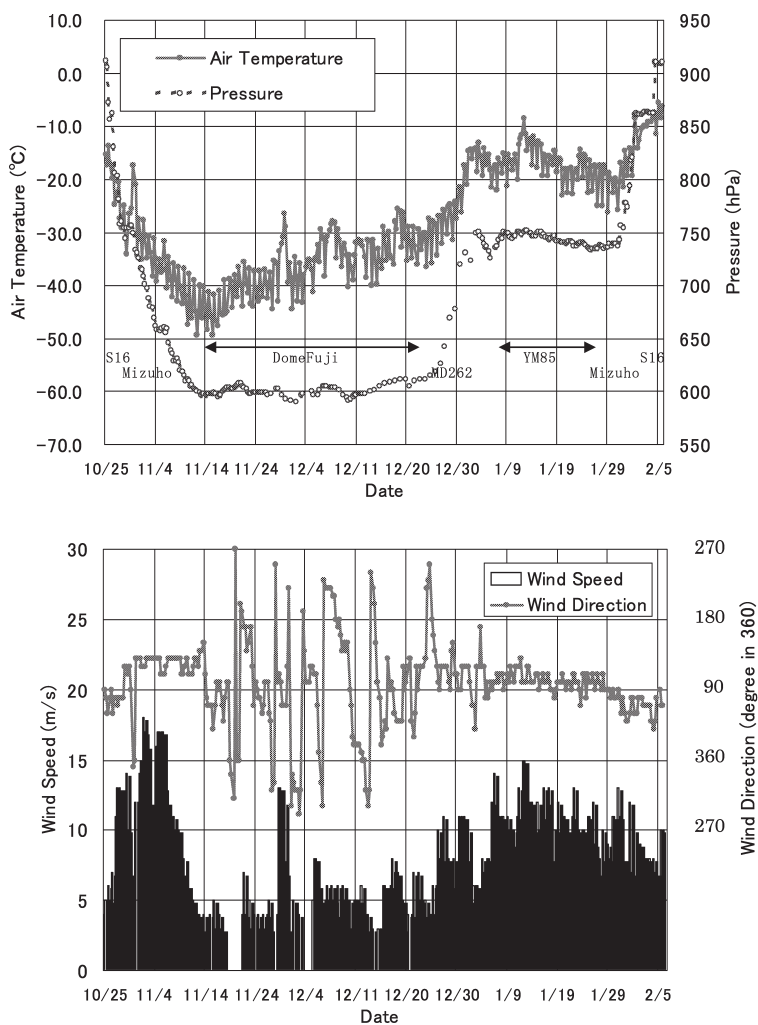


図 35 春期ドームふじ・やまと旅行中の気象観測データ (2001 年 10 月 25 日～2002 年 2 月 6 日)
 Fig. 35. Surface meteorological observation data during the traverse to Dome Fuji and Yamato Mountains in spring (Oct. 25, 2001–Feb. 6, 2002).

最低気温: -49.3°C (2001/11/16 0700LT 場所ドームふじ観測拠点)

最高気温: -5.4°C (2002/2/5 1400LT 場所 S16)

最大風速: 18 m/s (2001/11/2 1300LT 場所 MD134)

最低現地気圧: 591 hPa (2001/12/2 1900LT 場所ドームふじ観測拠点)

8.3. ロボット気象計

ロボット気象計は昭和基地周辺の気象状況を把握することにより、観測隊の野外活動な

どの支援をすることを目的として、各隊次の判断により運用している。

第42次隊では、前次隊から引き継いだS16に設置したロボット気象計で通年観測した。ロボット気象計は、高層気象観測用のゾンデを改造したもので、高層気象観測用のパラボラアンテナで信号を受信することによりデータを取得している。

観測項目は、気温、気圧、風向・風速である。観測は毎日2回(23, 11 UTC)、高層気象観測の前に実施した。また、野外行動出発時や空輸実施時など適宜観測し、さらにブリザードが予測される場合にも実施した。

越冬期間中に3回(5月, 8月, 10月)バッテリーの交換を実施した。

謝 辞

第42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本吉洋一隊長及び第42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ご感謝いたします。船上での観測に理解と支援を頂いた「しらせ」の方々にお礼申し上げます。

また、この報告をまとめるにあたり資料の提供や有益な助言を頂いた、第41次隊気象部門の方々にお礼申し上げます。

文 献

- Aoki, Te., Aoki, Ta., Fukabori, M. and Takao, T. (2002): Characteristics of UV-B Irradiance at Syowa Station, Antarctica: Analyses of the Measurements and Comparison with Numerical Simulations. *J. Meteorol. Soc. Japan*, **80**, 161-170.
- Boldwin, M., Hirooka, T., O'Neill, A. and Yoden, S. (2003): Major stratospheric warming in the Southern Hemisphere in 2002: Dynamical aspects of the ozone hole split. *SPARC Newsletter*, **20**, 24-26.
- 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.
- Hirota, M., Nagata, K., Yoshimatsu, K., Miyagawa, K., Ikeda, Y., Fujimoto, T. and Makino, Y. (2003): Report on the method for determining the location of the polar vortex boundary region. *Polar Meteorol. Glaciol.*, **17**, 116-122.
- 池田友紀子・田口雄二・加藤裕規・肆矢朗久・坪井一寛 (2002): 昭和基地の観測における2001年のオゾンホールの特徴. 第25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, 107-108.
- 伊藤真人・宮川幸治 (2001): 二重分光光度計ブリューワーMK IIIによる紫外域日射観測. 高層気象台彙報, **61**, 5-28.
- 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 (2002): オゾン層観測報告. **2001**, 54 p.

- 気象庁 (2003): 南極気象資料 2001 年—第 42 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**, 52 p.
- McKinley, A.F., and B.L. Diffey (1987): A reference action spectrum for ultraviolet induced erythema in human skin. CIE J., **6**, 17-22.
- 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 1996. 南極資料, **43**, 477-533.
- 柴田誠次・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.
- WHO (World Health Organization), WMO (World Meteorological Organization), UNEP (United Nations Environment Programme), NIR (International Commission on Non-Ionizing Radiation protection) and BfS (Bundesamt für Strahlenschutz) (2002): Global Solar UV Index. A Practical Guide, <http://www.who.int/uv/publications/globalindex/en/index.html>.
- 山口寛司・青山 隆・菅谷重平・山下順也・平野礼朗 (2005): 第 41 次南極地域観測隊気象部門報告 2000. 南極資料, **49**, 67-127.