

## 第 53 次日本南極地域観測隊気象部門報告 2012

藤田 建<sup>1\*</sup>・大吉智也<sup>1</sup>・清水 悟<sup>1</sup>・齋島宏治<sup>1</sup>・坂梨貴将<sup>1</sup>Meteorological observations at Syowa Station, Antarctica, 2012  
by the 53rd Japanese Antarctic Research ExpeditionTatsuru Fujita<sup>1\*</sup>, Tomoya Oyoshi<sup>1</sup>, Satoru Shimizu<sup>1</sup>, Koji Haijima<sup>1</sup> and Takamasa Sakanashi<sup>1</sup>

(2018 年 6 月 27 日受付 ; 2018 年 9 月 2 日受理)

**Abstract:** This report describes the results of meteorological observations at Syowa Station from February 1st, 2012 to January 31st, 2013, carried out by the Meteorological Observation Team of the 53rd Japanese Antarctic Research Expedition (JARE-53). The observation methods, instruments and statistical methods used by JARE-53 were almost the same as those used by the JARE-52 observation team.

Remarkable weather phenomena observed during the period of JARE-53 are as follows.

1) The temperature difference between the winter and the next summer was considerably large. In the winter, the temperature dropped below  $-40$  degrees C on May 25th for the first time in May. The daily minimum temperature of  $-43.9$  degrees C on September 13th updated the record ranking second place. In the next summer, rain was observed for the first time in 9 years, and the monthly mean temperature of  $0.8$  degrees C on January 2013 updated the record ranking second place.

2) The lower stratosphere monthly mean temperatures during January and February over Syowa Station were almost lower than normals and updated records low for some standard isobaric surfaces. In contrast, the troposphere monthly mean temperatures at February were almost higher than normals and updated records high for some standard isobaric surfaces. In addition, the troposphere and the lower stratosphere monthly mean temperature during July and January 2013 were almost higher than normals and updated records high for some standard isobaric surfaces.

3) The total ozone over Syowa Station was considerably below  $220$  m atm-cm which is a measure of the ozone hole from early-September, however, was frequently above the measure in October and recovered from mid-November. The monthly means of total ozone in ozone hole period were larger than the reference values.

**要旨:** この報告は第 53 次日本南極地域観測隊気象部門が、2012 年 2 月 1 日～2013 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 52 次隊とほぼ同様である。越冬期間中の特記事項としては、次のものが挙げられる。

1) 冬期と越冬明けの夏期の気温の差が大きかった。冬期は 5 月 25 日に気温が  $-40^{\circ}\text{C}$  を下回り 5 月としてはじめて  $-40^{\circ}\text{C}$  以下を観測した。9 月 13 日には日最低

<sup>1</sup> 気象庁。Japan Meteorological Agency, 1-3-4 Otemachi, Chiyoda-ku, Tokyo 100-8122.

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

気温-43.9℃となり、低いほうから2位の記録を更新した。越冬明けの夏期は、12月22日に雨を9年ぶりに観測し、2013年1月の月平均気温0.8℃が高いほうから2位となり記録を更新した。

2) 昭和基地上空の下部成層圏において、1月と2月の月平均気温はおおむね平均より低く、複数の指定気圧面で月平均気温の低いほうからの記録第1位を記録した。一方、2月の対流圏の月平均気温はおおむね平均より高く、複数の指定気圧面で月平均気温の高いほうからの記録第1位を記録した。また、7月から2013年1月にかけて、対流圏から下部成層圏において、おおむね平均より高く推移し、特に11月と2013年1月はいくつかの指定気圧面において月平均気温の高いほうからの記録第1位を記録した。

3) 昭和基地上空のオゾン全量は、9月上旬からオゾンホールを目安となる220 m atm-cmを大きく下回ったが、10月には上回ることが多くなり、11月中旬にはオゾン全量は回復した。オゾン全量の回復は、1990年以降では2002年、1994年、2009年に次いで4番目に早かった。

キーワード： 気象、越冬、昭和基地

## 1. はじめに

南極昭和基地における気象観測は、第1次隊が1957年2月9日から開始し、越冬できなかった1958年及び一時閉鎖した期間（1962年～65年）を除き、これまでほぼ半世紀の間、気象庁派遣隊員により継続している。観測及び蓄積された気象観測資料は、国際的な枠組みの中で、地球環境の監視・研究など多目的に利用されている。第53次日本南極地域観測隊気象部門は、2012年2月1日に第52次隊より昭和基地における定常気象観測業務を引き継ぎ、2013年1月31日までの1年間の観測を行った。観測の方法、観測に用いた測器及び観測値の統計方法等は第52次隊とほぼ同様である（久光ほか、2016）。

地上気象観測、高層気象観測については、第52次隊から引き継いだ観測装置で観測を行った。オゾン観測のうち地上オゾン濃度観測は、2台のオゾン濃度計を持ち込み、観測を行った。日射・放射観測のうち波長別紫外域日射観測はブリューワー分光光度計MKⅢ（209号機）を第53次隊で持ち込み、第52次隊使用の168号機との比較観測を実施後、正式運用とした。

その他の観測として、海水上に設置した雪尺による積雪観測、S16に設置したロボット気象計による気象観測、移動気象観測装置を利用した特別観測などを実施した。また、気象庁全球予報モデル格子点資料から作成した各種天気図、予想図を気象庁スーパーコンピュータシステムよりインテルサット（国際電気通信衛星機構）衛星回線を經由して取得し、越冬開始から終了までの間、昭和基地周辺の天気解析に利用した。

これらの観測から得られたデータは、ANTARCTIC METEOROLOGICAL DATA, Vol. 53 (Japan Meteorological Agency, 2014) としてCD-ROMで刊行した。また、気象庁ウェブページにて観測結果を公開している (<http://www.jma.go.jp/jma/index.html>)。ここでは観測の経過及び結果の概要と、観測結果を用いた解析や考察について報告する。

なお、本稿中において日時は特に断りのない限り昭和基地における現地時間（UTC+3時

間)を示す.

## 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, 2002)及び世界気象機関(World Meteorological Organization, 以下「WMO」)の技術基準に, 統計処理については気象観測統計指針(気象庁, 2005)にそれぞれ基づき行った.

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, 積雪の深さ及び視程は, 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. 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・視程及び天気は, 目視により1日8回(00・03・06・09・12・15・18・21UTC)の

表1 昭和基地における地上気象観測使用測器等一覧表.

Table 1. Observation elements, observation frequency, minimum units, and instruments at Syowa Station.

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)	PTB220	巡回用電気式気圧計(静電容量型) により比較点検(年1回)
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 (白金抵抗型)	Pt-100	携帯用通風乾湿計により 比較点検(3ヶ月1回)
	—		携帯用通風乾湿計		
露点温度	連続・毎正時	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)	HMP233LJM	携帯用通風乾湿計により比較点検 (3ヶ月1回)
	—		携帯用通風乾湿計		
風向	連続・毎正時	1°	風車型風向風速計	FF-11	測風塔(地上高10.1 m)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>	日射日照計 (全天電気式日射計)	MS-62F	気象棟南西側旗台地に設置 日照計と一体型
日照時間	同上	0.1 h	日射日照計 (太陽追尾式日照計)	MS-101D	気象棟南西側旗台地に設置 日射計と一体型
積雪深	同上	1 cm	超音波式積雪計	CF-212	観測棟北東側海岸斜面に設置
	週1回	同上	雪尺(竹竿9本)		北の浦海水上に設置
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	随時		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.

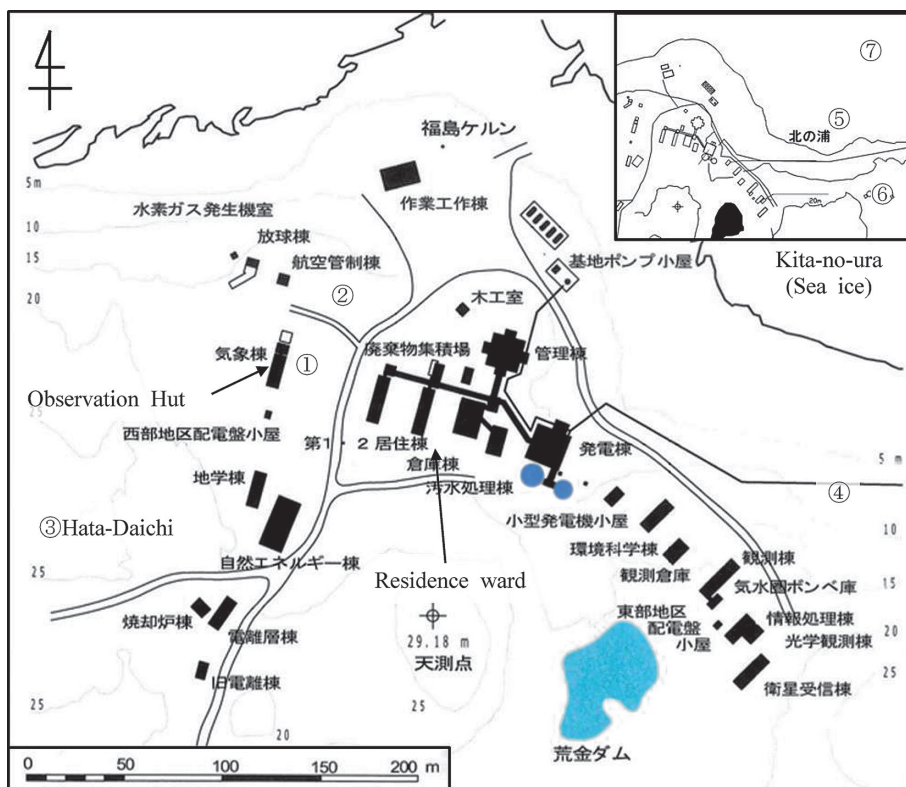


図 1 昭和基地主要部と測器感部の配置 (国立極地研究所 (2011) に加筆).

- ① 地上気象観測: 気圧計  
オゾン観測: ドブソンオゾン分光光度計  
日射放射観測: ブリュウワー分光光度計・下向き放射 (全天日射計・直達日射計・赤外放射計・紫外域日射計)・サンフォトメータ
- 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: 日射日照計
- ④ 地上気象観測: 積雪計
- ⑤ 日射放射観測: 上向き放射 (全天日射計・赤外放射計・紫外域日射計)・放射収支計
- ⑥ オゾン観測: 地上オゾン濃度計
- ⑦ 地上気象観測: 雪尺

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

- ① Surface observation: Barometer  
Ozone observation: Dobson ozone spectrophotometer  
Radiation observation: Brewer spectrophotometer, Downward radiation (Pyranometer, Pyrhemometer, Pyrgeometer, Ultraviolet radiometer), Sunphotometer
- 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 (Pyranometer, Pyrgeometer, Ultraviolet radiometer), Net radiometer
- ⑥ Ozone observation: Surface ozone monitor
- ⑦ Surface observation: Snow scale

観測を行った。大気現象については随時観測を行った。

### (3) 海水上の積雪の深さ観測

北の浦の海水上に、10m 間隔で 20m 四方に 9本の竹竿を利用した雪尺を立て、週 1 回程度の割合で雪尺の雪面上の長さを測定し、9本の雪尺の前観測との差を平均して前回の積雪の深さに加算したものを積雪の深さの観測値とした。

## 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。

保守・点検は、気象庁の保守点検要領に準じて実施した。

### (1) 気圧

電気式気圧計を気象棟内に設置し、通年観測した。測器の精度監視と器差補正值算出のために、国内から持ち込んだ巡回用電気式気圧計との比較観測を 2011 年 12 月 30 日に行い、越冬観測開始時の 2 月 1 日にオフセットの設定を行った。観測は順調に行われ、期間中に欠測はなかった。

### (2) 気温・湿度（露点温度）

電気式温度計及び電気式湿度計を百葉箱内の強制通風式通風筒内に設置し、通年観測した。おおむね順調に観測を行った。携帯用通風乾湿計による比較観測を定期保守として 3ヶ月に 1 回行い、観測装置の値が許容範囲内にあることを確認した。保守及び百葉箱内の除雪は、正時にかからないよう注意した上で実施した。除雪後も、携帯用通風乾湿計による比較観測を行い、観測装置の値が許容範囲内にあることを確認した。

2013 年 1 月 6 日に通風筒、温度計、湿度計の交換を行った。交換作業中の 22 時と 23 時は、携帯用通風乾湿計により、毎正時の気温と湿度を観測した。

### (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。10 月 2 日に風向風速計の胴体が凍結したが、その後に強風が続き、すぐに交換できなかった。そのため、風が弱くなった 10 月 4 日に風車型風向風速計を交換した。この間の観測値は欠測とした。12 月 27 日に風車型風向風速計を交換したが、交換後の観測値が正常ではないことが疑われたため、12 月 28 日に簡易気象計と比較した。その結果、観測値の信頼性が欠乏していると判断し、風車型風向風速計を点検したところ、プロペラ部へ異物の混入を確認したため、プロペラ部を清掃した。清掃後に再度、簡易風速計と比較して問題ないことを確認し、12 月 28 日までの観測を欠測とした。上記の期間を除いてはおおむね順調に動作した。

### (4) 全天日射量・日照時間

全天電気式日射計と太陽追尾式日照計が一体となっている日射日照計を気象棟南西の旗台地に設置し、それぞれ通年観測した。2013 年 1 月 1 日に定期作業による全天電気式日射計

及び太陽追尾式日照計の交換を行い、全天日射量の日合計が資料不足値、全天日射量積算値が資料なしとなった。上記を除き、観測はおおむね順調に行った。

#### (5) 積雪の深さ

超音波式積雪計を観測棟北東側の北の浦に下る海岸斜面に設置し、通年観測した。ふぶき、低温、新雪などによって異常値が観測され、日最深積雪及び降雪の深さ日合計が資料不足値または資料なしとなった日があった。

#### (6) 視程（視程計による参考記録）

視程計（現象判別機能付）を航空管制棟北側に設置し、参考測器として通年観測した。観測結果は視程障害時の目視観測や、大気現象発現時刻の決定等の参考とした。ふぶきにより投受光部に雪が付着するため、天候回復後に投受光部を点検し、着雪がある場合は清掃を実施した。この他にも投受光部の清掃を随時行った。

#### (7) 海氷上の積雪の深さの観測

雪尺は第 50 次隊が設置した場所で継続して観測した。第 52 次隊から引き継ぐ際に、使用していた雪尺が強風や融雪で転倒していた、もしくは傾いていたため、2 月 8 日に 9 本全ての雪尺を同じ位置に新設した。その際に 1 本が折れてしまったため、この 1 本は 2 月 13 日に設置しなおした。越冬中の度重なるブリザードにより雪尺が積雪で埋まりかけたため、10 月 2 日に同位置で全ての雪尺を新設した。11 月からは融雪が激しくなり、雪尺が傾くようになってしまったため、2 月 8 日に設置した雪尺を再度使用した。設置の前後では新旧の雪尺で約 1 ヶ月の間で比較測定を行い、観測値を接続した。観測について、6 月第 2 週はブリザードにより観測することができなかつたため欠測とした。また 2013 年 1 月 14 日、21 日、28 日は融雪により雪尺が傾いてしまったことで測定誤差が大きくなったため信頼性が乏しい。その他の期間についてはおおむね順調に行われた。

### 2.3. 観測結果

第 53 次隊の越冬期間における観測結果の特徴として、以下の点が挙げられる。

- ① 4 月から 9 月にかけて記録的な低温となったが 10 月から 2013 年 1 月は平年より気温が高く、冬季と夏季の気温差が大きかった（表 2、表 3、表 4、図 2）。
- ② 12 月 22 日に、2004 年 1 月 1 日以来約 9 年ぶりとなる雨を観測した（表 5）。
- ③ ブリザードの発生回数は年平均より多かつたが、ブリザードは 3 月から 10 月にかけてのみ発生した（表 6、図 3）。
- ④ 12 月から 2013 年 1 月の日最深積雪の最大と最小の差が 83 cm となり、過去 5 年と比べると大きく減っていた（図 4）。

月別気象表を表 2 に、観測開始からの極値・順位値の 10 位までの更新記録を表 3 に、越冬期間中の天気概況を表 4 に、昭和基地における雨の記録を表 5 に、ブリザードの概要を表

表 2 昭和基地における地上気象観測月別気象表 (2012年1月~2013年1月).  
Table 2. Monthly summaries of surface observations at Syowa Station (Jan. 2012-Jan. 2013).

項目	2012年												2013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	通年	1月
平均海面気圧	979.2	989.1	985.8	983.5	987.9	987.7	981.9	983.6	985.0	982.5	992.1	990.7	985.8	985.8
最低海面気圧	965.0	963.0	958.0	963.3	968.1	962.3	951.2	962.5	950.6	960.0	971.3	970.0	950.6	966.3
起日	30	2	28	23	25	21	21	13	24	27	29	29	25	25
平均気温	-1.4	-4.0	-8.0	-13.6	-14.9	-17.7	-19.3	-17.5	-23.2	-12.1	-4.6	-0.7	-11.4	0.8
最高気温の平均	1.1	-1.2	-6.1	-9.9	-11.3	-14.4	-15.6	-13.8	-19.0	-9.4	-1.8	-0.7	-8.3	3.9
最低気温の平均	-4.6	-8.0	-10.6	-18.0	-18.9	-21.7	-23.8	-21.6	-28.6	-15.5	-8.5	-3.7	-15.3	-2.6
最高気温	5.0	4.0	-1.6	-4.4	-2.5	-5.1	-5.6	-6.1	-4.6	-1.0	3.3	5.6	5.6	8.6
起日	3	27	1	4	6	30	1	24	28	29	20	20	7	7
最低気温	-10.5	-15.9	-21.6	-34.9	-40.5	-37.8	-39.1	-41.5	-43.9	-26.4	-19.8	-9.3	-43.9	-6.5
起日	22	9	13	30	26	4	27	1	13	11	5	10	31	*
最低気温	0℃以上の日数	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	2
平均気温	0℃以上の日数	7	3	-	-	-	-	-	-	-	-	1	14	25
最高気温	0℃以上の日数	22	7	-	-	-	-	-	-	-	12	24	65	30
最高気温	-10℃以上の日数	31	29	30	20	14	5	6	10	7	20	29	31	232
最低気温	-20℃未満の日数	-	2	11	10	19	21	16	23	7	-	-	109	-
平均気温	-20℃未満の日数	-	-	3	6	11	12	12	19	1	-	-	64	-
最高気温	-20℃未満の日数	-	-	1	2	2	6	5	15	-	-	-	31	-
平均蒸気圧	hPa	4.0	3.2	2.7	1.8	1.8	1.2	1.0	1.5	0.9	1.8	2.9	4.2	2.3
平均相対湿度	%	72	69	77	74	75	70	67	76	67	67	65	73	71
平均風速	m/s	6.0	4.9	6.6	6.5	8.4	7.4	5.2	8.6	5.6	6.3	5.3	5.1	6.3
最大風向	16方位	NE	NE	NE	NE	NE	ENE	ENE	NE	NE	NE	NE	NE	NE
最大風速	m/s	24.6	18.3	30.3	29.5	29.2	29.1	25.2	35.5	41.7	30.3	25.4	33.4	41.7
風向	起日	NE, 27	ENE, 28	NE, 16	NE, 28	ENE, 16	NE, 31	*	ENE, 24	NE, 19	ENE, 23	NE, 29	ENE, 25	ENE, 25
最大瞬間風速	m/s	29.3	23.0	37.8	36.5	34.6	35.5	31.4	42.1	50.5	36.0	30.5	42.9	50.5
風向	起日	NE, 27	ENE, 28	ENE, 28	ENE, 16	NE, 28	E, 16	NE, 31	NE, 3	ENE, 24	NE, 19	ENE, 23	ENE, 29	ENE, 25
最大風速	10.0 m/s以上の日数	14	18	15	15	19	21	18	18	12	17	14	198	12
	15.0 m/s以上の日数	6	3	9	9	13	13	8	15	10	11	10	2	109
	30.0 m/s以上の日数	-	-	1	-	-	-	-	3	2	1	2	9	4
日照時間	h	341.2	203.8	57.3	58.8	30.2	-	5.8	47.4	183.8	222.6	339.8	357.2	1847.9
日照率	%	48	41	14	23	28	-	11	22	54	46	54	48	42
平均全天日射量	MJ/m <sup>2</sup>	25.0	17.1	7.4	2.2	0.3	0.0	0.1	1.3	6.7	14.6	24.4	27.8	10.6
不照日数	日	1	4	15	13	22	30	29	18	3	8	3	4	150
平均雨量	日	6.6	6.8	9.2	7.3	7.5	7.0	7.5	7.6	4.4	6.7	6.6	6.8	7.0
平均雨量	日	2	3	-	2	3	3	4	2	12	4	4	3	42
月最深積雪	日	12	12	25	15	19	14	16	17	7	12	14	13	42
降雪の深さ月台計	日	100	95	111	102	97	100	95	124	123	136	120	136	1
起日	日	1	16	*	26	1	20	6	30	3	26	19	2	*
積日数	日	47	33	84	40	26	37	14	79	39	43	7	33	1
霧日数	日	12	15	25	21	25	17	21	23	13	17	7	13	226
霧日数	日	4	3	-	7	7	11	8	4	1	-	2	3	15
ブリガード日数	日	2	-	-	7	7	11	8	4	11	7	5	-	62
ブリガード回数	回	1	-	3	3	3.5	4.5	3	5	3	2	-	-	28

・統計方法は気象観測統計計 (気象庁, 2005) による。  
 ・数値右側の符号は次のとおり。  
 「J」: 運完全値。品質に軽微な問題があるか、または統計値を求める対象となる資料の一部が評定する範囲内で欠けている場合。  
 「|」: 資料不足値。統計値を求める対象となる資料が評定する資料数を満たさない場合。  
 「\*」: 1つの極値に対して期間内に起日2日以上ある場合、最も新しい起日に\*を付加している。  
 ・6月30日から7月13日までは記録上太陽中心が地平線上に現れない。不照日数にはこの期間 (46日) を加えてある。

表 3 昭和基地における地上気象観測極値・順位値更新記録 (2012 年 2 月～2013 年 1 月).  
Table 3. New records of surface meteorological observation extrema and rankings at Syowa Station (Feb. 2012-Jan. 2013).

年月	要素	観測値	起日	順位
2012年2月	日最低気温の低い方から	-15.9℃	9日	8位
	月平均気温の低い方から	-4.0℃	9位	6位
	日最小相対湿度	29%	17日	9位
	最深積雪	95]cm	16日	1位
3月	月平均気温の低い方から	-8.0℃		7位
	月間日照時間の少ない方から	57.3 h		4位
	最深積雪	111]cm	26日	1位
4月	日最高気温の低い方から	-26.6℃	30日	2位
	日最高気温の低い方から	-19.7℃	29日	6位
	日最低気温の低い方から	-34.9℃	30日	2位
	日最低気温の低い方から	-30.2℃	29日	4位
	月平均気温の低い方から	-13.6℃		1位
	最深積雪	102 cm	1日	1位
5月	日最高気温の低い方から	-32.5℃	25日	1位
	日最高気温の低い方から	-25.2℃	26日	3位
	日最低気温の高い方から	-4.0℃	6日	5位
	日最低気温の低い方から	-40.5℃	26日	1位
	日最低気温の低い方から	-40.3℃	25日	2位
	日最低気温の低い方から	-37.6℃	24日	4位
6月	日最低気温の低い方から	-35.7℃	1日	9位
	月間日照時間の多い方から	30.2 h		7位
	最深積雪	97 cm	20日	2位
	日最高気温の低い方から	-27.9℃	4日	7位
	日最低気温の低い方から	-37.8℃	4日	4位
	最深積雪	100 cm	6日	3位
7月	日最高気温の低い方から	-31.3℃	27日	6位
	日最低気温の低い方から	-39.1℃	27日	6位
	最深積雪	95 cm	30日	3位
	日最低気温の高い方から	-7.7℃	27日	7位
8月	日最低気温の低い方から	-41.5℃	1日	2位
	最深積雪	124 cm	3日	2位
	日最高気温の低い方から	-34.1℃	13日	1位
9月	日最高気温の低い方から	-31.2℃	4日	7位
	日最高気温の低い方から	-29.6℃	12日	10位
	最深積雪			
	日最低気温の低い方から			
2012年	日最低気温の低い方から	-43.9℃	13日	2位
	日最低気温の低い方から	-40.9℃	12日	8位
	月平均気温の低い方から	-23.2℃		3位
	最深積雪			通年4位
2013年1月	日最大風速・風向	NE 41.7 m/s	24日	4位
	日最大瞬間風速・風向	ENE 50.5 m/s	24日	5位
	月間日照時間の多い方から	183.8 h		6位
	最深積雪	123 cm	26日	3位
	日最高気温の高い方から	-1.0℃	28日	2位
	日最高気温の高い方から	-1.2℃	27日	3位
10月	日最低気温の高い方から	-4.6℃	31日	7位
	月平均気温の高い方から	-12.1℃		10位
	最深積雪	136 cm	19日	1位
	最深積雪			通年3位
11月	日最低気温の高い方から	-2.5℃	30日	9位
	月平均気温の高い方から	-4.6℃		3位
	最深積雪	128 cm	2日	2位
	最深積雪			通年8位
12月	日最低気温の高い方から	0.9℃	22日	4位
	月平均気温の高い方から	-0.7℃		7位
	日最大風速・風向	NE 33.4 m/s	29日	4位
	日最大風速・風向	NE 31.8 m/s	30日	6位
	日最大瞬間風速・風向	ENE 42.9 m/s	29日	4位
	日最大瞬間風速・風向	NE 37.0 m/s	30日	8位
2012年	月間日照時間の少ない方から	357.2 h		10位
	最深積雪	120 cm	1日	1位
	年平均気温の低い方から	-11.4℃		8位
	最深積雪			
2013年1月	日最高気温の高い方から	8.6℃	7日	5位
	日最高気温の高い方から	7.9℃	8日	9位
	月平均気温の高い方から	0.8℃		2位
	日最小相対湿度	31%	2日	通年2位
	月間日照時間の多い方から	471.3 h		4位
	最深積雪	90 cm	1日	3位

・順位は観測結果を月単位でまとめたもの

・教値右側の符号は次のとおり。

「]」：資料不足値、統計値を求める対象となる資料が許容する資料数を満たさない場合。



表 4 昭和基地における天気概況 (2012年2月～2013年1月). (1/3)  
Table 4. Monthly weather summaries at Syowa Station (Feb. 2012–Jan. 2013). (1/3)

年・月	天気概況
2012年 2月	月間を通して低気圧の接近や大陸の高気圧に覆われることにより周期的に晴れや曇りで雪が降る日となった。上旬から中旬にかけて、平年より気温が低い日が多く、9日には「日最低気温の低い方から」で2月として第8位を記録し、「月平均気温の低い方から」で2月として第9位を記録した。
	上旬 1日から9日にかけて低気圧や高圧部の影響により周期的に晴れや曇りで弱い雪が降ることがあった。10日は前線が通過した影響で曇りまで雪が降り、午後から曇りとなった。
	中旬 11日は低気圧が通過した影響でふぶきとなった。12日は気圧の尾根にあり曇りとなり、午前中は霧が発生した。14日から19日にかけて低気圧や高圧部の影響で晴れや曇りで、時々雪がちらついた。
2012年 3月	下旬 21日から26日まで低気圧の接近に伴い曇りとなった。27日は大陸の高気圧が張り出して日中は晴れとなったが、その後は北西から低気圧が接近してきた影響で曇りで雪が降る天気となった。
	低気圧の影響を受けることが多く、曇りや雪の日が多かった。9日から10日、25日夜から26日、27日夜から29日未明には低気圧の影響によりブリザードとなった。期間を通して気温の低い日が多く、「月平均気温の低い方から」で3月として7位を記録した。また日照時間も少ない日が多かったため、「月間日照時間の少ない方から」で3月として第4位を記録した。
	上旬 期間中は低気圧の影響を受けることが多く、雪が降ることが多かった。9日からは低気圧の接近に伴いブリザードとなり、10日まで続いた。平年に比べて気温が低い日が多く、日照時間が少なかった。この期間は雪が降る時の風が北東風ではなく南寄りの風が多かった。
2012年 4月	中旬 11日から13日にかけて高気圧と低気圧の影響で周期的に晴れや曇りとなった。その後は北西の低気圧の影響により曇りや雪となった。気温は平年に比べると低く、日照も少なかった。また、北東風と同じくらい南よりの風が多かった。
	下旬 北側に低気圧が停滞していた影響で、21日から24日までは曇りや雪で夜にはふぶきとなる時があった。25日夜から26日の夕方にかけて北西に低気圧が発生した影響でブリザードとなった。27日夜から北西から別の低気圧が接近してブリザードとなった。期間の前半は気温が平年に比べると低く、曇りがちな天気が多かったため日照が少なかった。
	上旬から中旬にかけて低気圧の接近に伴い3度のブリザードとなった。下旬の後半は大陸の高気圧に覆われ冷え込んだ日が続き、29日と30日には「日最高気温の低い方から」と「日最低気温の低い方から」の順位値(10位まで)を更新した。ブリザードの日以外は平年より気温の低い日が多く、4月の「月平均気温の低い方から」の極値を19年ぶりに更新した。
2012年 5月	上旬 2日夕方から北西の低気圧からのびる前線が接近し、3日の明け方にかけてブリザードとなった。3日午後から前線が弱まり、6日まで晴れまたは曇りとなった。9日から10日にかけて昭和基地周辺で低気圧が発生し、ブリザードとなった。
	中旬 11日から15日にかけて低気圧の接近と大陸の高気圧の張り出しが繰り返され、周期的に晴や雪となった。16日から17日にかけて強い低気圧が接近し、ブリザードとなった。18日から20日まで大陸の高気圧に覆われることが多く、晴れや曇りとなった。
	下旬 22日から西から低気圧が接近し、26日まで低圧部が継続した影響で雪または曇りの天気となり、その後は大陸の高気圧に覆われることが多く晴れとなった。この期間は後半が冷え込み、平年に比べると気温がかなり低かった。
2012年 5月	1-3日と24-26日は大陸の高気圧が張り出し、放射冷却によって気温が平年に比べてかなり低くなった。その影響で5月の気温に関する極値を複数更新した。その他の期間では低気圧が接近することが多く、ブリザードは合計で4回となった。月の平均気温は低く、また月間日照時間は多かったため5月の「月間日照時間の多い方から」第7位となった。
	上旬 1日から3日まで大陸からの高気圧が張り出し、放射冷却によって気温がかなり低くなった。5日から7日にかけて低気圧が接近し、5日夜から7日未明にかけてブリザードとなった。
	中旬 14日から16日にかけて北の海上から低気圧が接近した影響で雪となった。18日から北の海上から大きな低気圧が近づいてきた影響で雪となり、20日の夜からブリザードとなった。
2012年 5月	下旬 20日からのブリザードは22日未明まで続いた。24日から大陸の高気圧に覆われたことで気温が平年に比べて低く、25日は気温が5月で初めて-40℃を下回り、5月の「日最低気温の低い方から」の極値を23年ぶりに更新した。26日にはさらに極値を更新した。27日から低気圧の接近によりブリザードとなり30日まで続いた。31日からは、別の低気圧が接近し再びブリザードとなった。

6に示す。また、年間の海面気圧、気温、風速、雲量及び日照時間の旬ごとの経過を図2に、月別ブリザード数を図3に、海氷上(雪尺)と陸上(積雪計)の積雪深観測値の比較を図4に示す。なお、図3において、月を跨いでブリザードが発生した場合、それぞれの月のブリザード数は0.5回としてカウントした。

2月上旬から9月中旬までは気温が低い日が多く、平年を下回ることが多かった。その中では、5月で過去初めて-40℃を下回ったこと、9月には-43.9℃と過去2番目の低温を観測したことが気温の低かった事例として挙げられる。一方で9月下旬以降は平年より気温の高い日が多かった。特徴的なこととしては2013年1月の平均気温が0.8℃となり、過去2番

表 4 昭和基地における天気概況 (2012 年 2 月～2013 年 1 月). (2/3)

Table 4. Monthly weather summaries at Syowa Station (Feb. 2012–Jan. 2013). (2/3)

年・月	天気概況
2012年 6月	上旬は大陸からの高気圧に覆われた影響で気温が平年に比べかなり低くなり、4日には「日最高気温の低い方から」が6月として第7位、「日最低気温の低い方から」で6月として第4位をそれぞれ記録した。下旬の大陸からの高気圧に覆われることがあり、気温が平年に比べ低かった。連続して接近した低気圧の影響で中旬に集中的にブリザードが発生した。
	上旬 大陸からの高気圧に覆われることが多く、おおむね晴れとなり、気温は平年に比べかなり低かった。5日に気圧の谷の通過によりふぶきが発生した。8日の夜から停滞した低気圧の影響で9日までブリザードとなった。
	中旬 昭和基地の周辺に低気圧が発生することが多く、雪が多かった。この期間は他の期間に比べ、東北東から東の風が多かった。15日から接近した低気圧の影響でブリザードとなり、16日まで続いた。17日から北の海上にあった発達した低気圧の影響でブリザードとなり18日まで続いた。
	下旬 21日から24日にかけて昭和基地周辺で低気圧が発生し雪となることが多かった。25日から29日にかけて大陸の高気圧に覆われ晴れとなった。30日は接近した低気圧の影響で風が非常に強くなったが、視程の継続時間が基準を満たさずブリザードにはならなかった。また、30日は気温が上昇し、平年に比べかなり高かった。
2012年 7月	上旬は北の海上に低気圧が接近し、その縁辺がかかった影響で曇りが多かった。中旬は西から低気圧が発生して近づくことが多く、雪となることが多かった。下旬は高気圧に覆われることが多く晴れが多かった。上旬は低気圧から暖気が流れ込んだことで気温は平年に比べかなり高かったが、下旬は高気圧に覆われることが多かった影響で放射冷却が強く、平年に比べて気温はかなり低かった。27日は特に気温が下がり、「日最高気温の低い方から」で7月として第4位、「日最低気温の低い方から」で7月として第6位を記録した。ブリザードは下旬を中心に発生し3回となった。
	上旬 1日から5日にかけて北の海上にある低気圧から暖気が流れ込み、曇りで時々雪が降った。また、暖気の流入により気温は平年に比べてかなり高かった。6日は高気圧に覆われ晴れとなったが、7日から北の海上に接近してきた低気圧の影響で9日まで曇りが続いた。期間を通して、気温は平年に比べると高かった。
	中旬 16日は気圧の尾根に覆われ好天となったが、それ以外の期間は低気圧が接近することが多く、曇りや雪となることが多かった。18日未明から午前中まではブリザードとなった。
	下旬 21日夜から22日にかけて低気圧が通過し、ブリザードとなった。23日からは高気圧に覆われ27日まで晴れとなった。放射冷却が強く、平年に比べると気温がかなり低かった。28日から低気圧が接近し雪が降った。30日に接近した低気圧の影響で30日夜から31日にかけてブリザードとなった。
2012年 8月	上旬は気圧の尾根に覆われ晴れとなり、放射冷却が強くなったために気温の低い日が多く、1日は「日最低気温の低い方から」の8月として第2位、通年で第9位となった。月を通して低気圧の影響を受けることが多く、ブリザードは5回となった。また、暖気の流入により気温が高い日が多かった。
	上旬 1日は気圧の尾根に覆われ晴れとなり、放射冷却が強く気温がかなり低かった。2日から4日にかけて西にある強い低気圧から伸びる前線の影響で風が非常に強くなり第53次隊初のA級ブリザードとなった。5日は北から接近した低気圧の影響でブリザードとなった。6日から9日にかけて気圧の尾根に覆われ晴れとなった。期間中は晴れる日が多く、平年に比べ日照時間は多かったが放射冷却が強く気温は平年に比べ低かった。
	中旬 11日から13日にかけて北の海上に低気圧が停滞しブリザードとなった。16日から17日にかけて北西にある低気圧から伸びる前線の影響でブリザードとなり、17日は流入した暖気の影響で気温が平年に比べかなり高かった。18日から19日にかけて北の低気圧から伸びる前線の影響によりふぶきとなったが、視程が短くならずブリザードとはならなかった。低気圧の影響で晴れることが少なく、日照時間は平年に比べかなり少なかった。気温は、低気圧の影響で暖気が流入したため、平年に比べてかなり高かった。
	下旬 21日から25日にかけておおむね気圧の尾根に覆われ晴れることが多かった。26日から大陸の高気圧と北東にある低気圧の影響で気圧の傾きが大きくなり風が非常に強くブリザードとなった。前半は晴れが多かった影響で放射冷却が強く気温の低い日が多かったが、後半は低気圧の影響で暖気が流入し、気温が高い日が多かった。
2012年 9月	上旬から中旬にかけて大陸の高気圧に覆われ晴れとなる日が多く、放射冷却の影響で気温がかなり低い日が30日中15日と多かった。このため「月平均気温の低い方から」の通年で第4位、9月として第3位を記録した。あわせて日照時間も多く、「月間日照時間の多い方から」の9月として第6位となった。13日は特に気温が低下し、日最高気温-34.1℃および日最低気温-43.9℃となり、「日最高気温の低い方から」の通年で第2位、9月として第1位、「日最低気温の低い方から」の通年で第2位、9月として第2位をそれぞれ記録した。中旬から下旬にかけて低気圧が接近することが多く、3回のブリザードとなった。24日からのブリザードはA級となり、24日の「日最大風速」が41.7 m/sで9月として第4位、「日最大瞬間風速」が50.5 m/sで9月として第5位を記録した。
	上旬 1日から2日にかけて、気圧の谷が通過したため曇りとなったが、3日以降は大陸の高気圧に覆われ晴れとなった。放射冷却により気温はかなり低く、日照時間は平年に比べてかなり多かった。
	中旬 16日は北西から低気圧が接近したため、夜からブリザードとなった。その後、低気圧の影響が残り18日まで雪となった。この期間以外は大陸からの高気圧に覆われて晴れとなり、日照時間は多く気温はかなり低かった。
	下旬 24日から26日にかけて、発達した低気圧が接近し停滞したためブリザードとなった。最大風速40 m/s以上および最大瞬間風速50 m/s以上を記録したのは2009年2月20日以来となった。28日夜から29日にかけて、低気圧からのびる前線の影響でブリザードとなった。期間中は低気圧が接近することが多く、低気圧の影響で北から暖湿気が流入したため、気温は高く晴れの日は少なかった。

目に高い月平均気温を記録したことが挙げられる。また、12月22日には低気圧の影響で北から暖かく湿った空気が流れ込み気温が高くなった。そのため、約9年ぶりとなる雨が観測された。

表5より、雨が観測されたのは2012年12月22日の事例で24回となり、雨日数は20日

表 4 昭和基地における天気概況 (2012年2月～2013年1月). (3/3)  
Table 4. Monthly weather summaries at Syowa Station (Feb. 2012–Jan. 2013). (3/3)

年・月	天気概況	
2012年 10月	月	月のはじめと終わりに低気圧から流入した暖気の影響で気温が高くなり、「日最高気温の高い方から」の10月として第2位(28日)と第3位(27日)、「日最低気温の高い方から」の10月として第7位(31日)、「月平均気温の高い方から」の第10位を記録した。中旬にブリザードが2回発生した。
	上旬	1日に低気圧が接近して暖気が流入したため1日から3日にかけて気温が平年に比べてかなり高かった。7-9日に北東にある低気圧の影響で雪となった。1-3日以外では気温は平年並みだったが、旬平均気温は平年に比べて高くなった。
	中旬	12日に北西の海上から低気圧が接近し、夜からブリザードとなった。14日からは大陸の高気圧に覆われ晴れとなるが多かった。 18日夜に西から接近した低気圧の影響でブリザードとなった。
2012年 11月	下旬	26日に北西から低気圧が接近し、低気圧からのびる前線が通過したためふぶきとなったが、継続時間が短かったためブリザードとはならなかった。期間の後半は低気圧の影響で暖気が流入したため気温が上昇し、旬平均気温はかなり高くなった。期間を通して晴れが多く、日照時間はかなり多くなった。
	中旬	中旬を中心に高気圧に覆われることが多く、晴れの日が多かった。低気圧が接近しても大陸の高気圧の張り出しが強く、雪が降ることは少なかった。そのため、ブリザードとなることはなかった。晴れの日が多かったため日照時間は多かった。気温はかなり高く、11月として「月平均気温の高い方から」で第3位となった。
	上旬	2日に西にある低気圧から伸びる前線の影響で雪が降り、風が非常に強くふぶきとなったが、期間が短くブリザードとはならなかった。5日から北西より前線を伴った低気圧が接近してきたが、大陸の高気圧の張り出しが強く、雪が降ることはなかった。日照時間は、低気圧の影響で曇りの日が多かったため、平年と比較してかなり少なかった。一方で気温は高かった。
2012年 12月	中旬	期間中、高気圧に覆われることが多く、ほぼ晴れとなった。日照時間は平年と比較してかなり多く、気温は高かった。
	下旬	22日から西から低気圧が接近し昭和基地の北に停滞した。この影響で22日の夜から風が強くなったが、雪は降らず地ふぶきも弱かったため、視程が短くならずブリザードとはならなかった。29日から北東にある低気圧の影響で暖気が入って気温が上がり、30日は11月の「日最低気温の高い方から」で第9位となった。日照時間は平年より多く、気温はかなり高かった。
	上旬	22日は北の海上に低気圧が接近して湿った暖かい空気が流れてきた影響で気温が高くなり、約9年ぶりの雨となった。また、この日は「日最低気温の高い方から」で12月として第4位を記録した。28日夜から、発達した低気圧の接近に伴い、風が非常に強くなったが、地ふぶきは弱く雪の降る時間も短かったためブリザードとはならなかった。期間を通して北の海上に低気圧が接近することが多く暖かい空気が流入した。そのため気温は平年に比べてかなり高かった。晴れの時間がほとんどなく、日照時間はかなり少なかった。
2013年 1月	月	上旬は高気圧に覆われ晴れの日が多かった。中旬と下旬は、周期的に低気圧と高気圧の影響を受け、晴れや曇りとなった。上旬に晴れの日が多かった影響で気温は平年よりかなり高く、月平均気温は0.8℃となり「月平均気温の高い方から」で通年および1月として第2位を記録した。
	上旬	期間中は大陸の高気圧に覆われ晴れとなった。その影響により、7日と8日の日中は気温が上がり、7日は最高気温が8.6℃を記録し「日最高気温の高い方から」の通年で第7位、1月として第5位となった。また、8日は最高気温が7.9℃を記録し「日最高気温の高い方から」1月として第9位となった。この期間の日照時間は平年に比べてかなり多く、気温もかなり高かった。
	中旬	低気圧と大陸の高気圧の影響を交互に受けたため、変わりやすい天気となったが、崩れることはなかった。11日から13日の夜は北の海上に弱い低気圧が発生した影響でカタバ風が弱くなり、北西から低い雲が侵入して霧が発生した。期間中の気温、日照時間はともに平年並みであった。
	下旬	低気圧と大陸の高気圧の影響を交互に受け、天気は周期的に変化した。期間中の気温は平年に比べて高く、日照時間は平年並みとなった。

となった。また、継続時間の平均は約2時間であるが、2012年12月22日13時5分から降った雨は10時間続き、継続時間の平均を大幅に超え、過去最長記録となった。

図3より、ブリザードは年間で27回となり平年(24.6回)を上回った。月別回数を見ると、7月と10月のブリザード数は平年よりも少ないものの、それ以外のブリザードが発生した月では平年よりも多く発生した。また、例年では1年を通してブリザードは発生し、11月

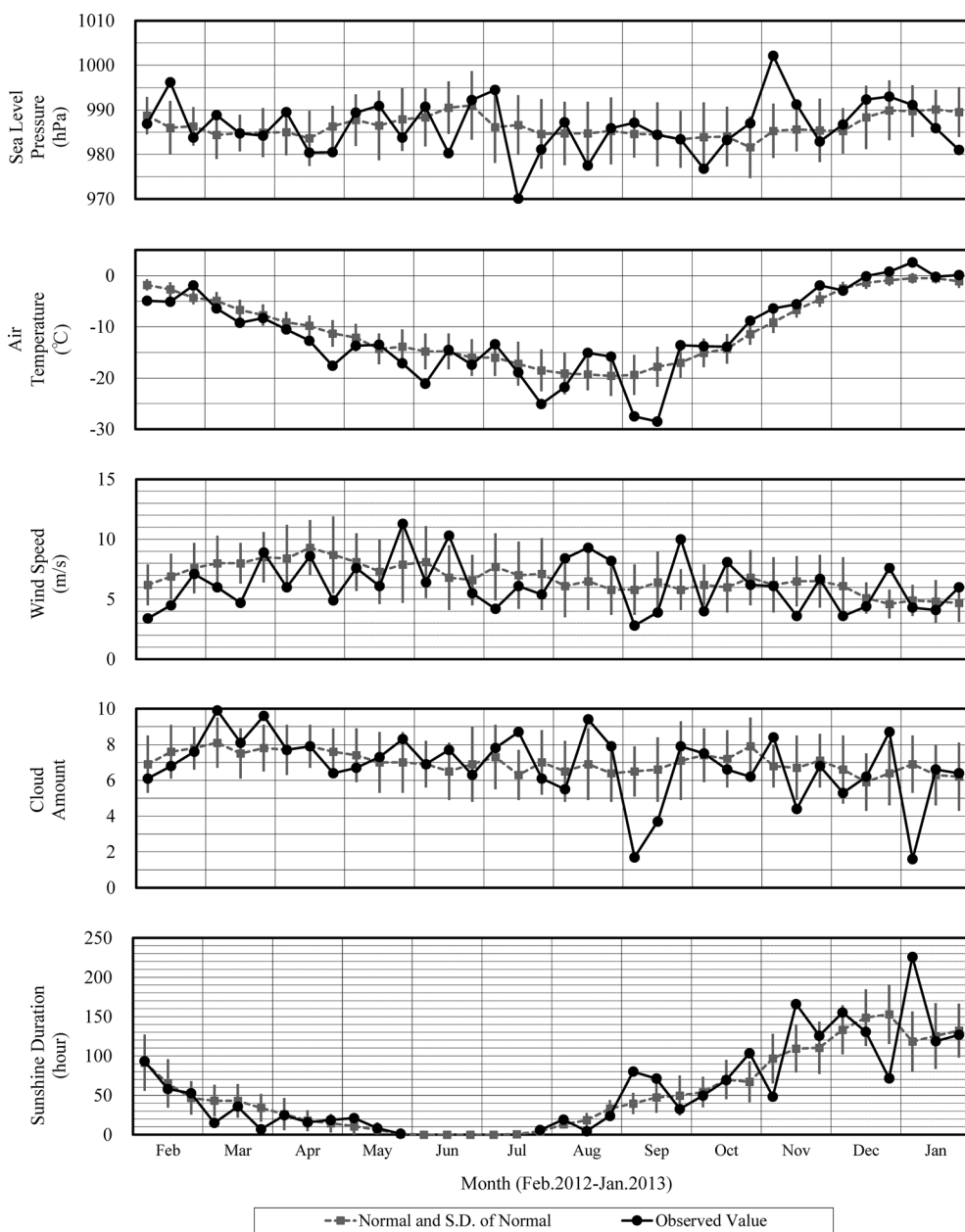


図 2 昭和基地における地上気象旬別経過図 (2012年2月~2013年1月)。平年値は1981年~2010年の平均値。

Fig. 2. Time series of ten-day mean surface meteorological data at Syowa Station (Feb. 2012-Jan. 2013). The Normals are the average value from 1981 to 2010.

表 5 昭和基地における雨の概要 (1957年2月~2013年1月).  
 Table 5. Rain events at Syowa station (Feb. 1957~Jan. 2013).

通番	開始日時	終了日時	継続時間	備考
1	1958年 1月10日 13時30分	1958年 1月10日 16時00分	2時間30分	
2	1958年 1月28日 時 分	1958年 1月29日 時 分	不明	28日深夜から29日未明にあったという記録のみ
3	1959年 1月21日 22時25分	1959年 1月22日 時 分	不明	途中でみぞれに変化したが終了日時は記録無し
4	1972年 1月 8日 16時15分	1972年 1月 8日 18時15分	2時間00分	
5	1978年12月28日 16時30分	1978年12月28日 16時40分	0時間10分	
6	1978年12月28日 20時10分	1978年12月28日 20時50分	0時間40分	
7	1979年 1月 1日 16時50分	1979年 1月 1日 17時25分	0時間35分	
8	1980年 1月14日 15時10分	1980年 1月14日 15時30分	0時間20分	
9	1980年 1月14日 16時10分	1980年 1月14日 18時55分	2時間45分	
10	1980年 1月15日 16時00分	1980年 1月15日 19時50分	3時間50分	
11	1984年 5月 7日 19時30分	1984年 5月 7日 22時15分	2時間45分	ブリザードに近い環境下での雨
12	1984年 5月 8日 0時10分	1984年 5月 8日 3時40分	3時間30分	ブリザードに近い環境下での雨
13	1988年 1月25日 20時30分	1988年 1月25日 20時40分	0時間10分	しゅう雨性の雨
14	1988年 1月25日 20時50分	1988年 1月25日 21時15分	0時間25分	しゅう雨性の雨
15	1991年 1月17日 7時30分	1991年 1月17日 10時30分	3時間00分	
16	1991年 1月17日 13時00分	1991年 1月17日 19時30分	6時間30分	
17	1991年 1月17日 20時30分	1991年 1月17日 22時00分	1時間30分	
18	1996年 1月29日 19時35分	1996年 1月29日 20時 5分	0時間30分	
19	1996年 1月30日 2時00分	1996年 1月30日 3時45分	1時間45分	
20	1997年 2月 2日 21時10分	1997年 2月 2日 22時10分	1時間00分	
21	1997年 2月 3日 9時20分	1997年 2月 3日 9時50分	0時間30分	
22	2004年 1月 1日 21時50分	2004年 1月 1日 23時50分	2時間00分	
23	2012年12月22日 11時10分	2012年12月22日 11時45分	0時間35分	
24	2012年12月22日 13時 5分	2012年12月22日 23時 5分	10時間00分	

表 6 昭和基地におけるブリザードの概要 (2012年2月~2013年1月).  
 Table 6. Summaries of the heavy snowstorm (blizzard) at Syowa Station (Feb. 2012~Jan. 2013).

階 番 通 番	陸 級	開始日時	終了日時	終始時間	継続時間	中断時間	最大風速(m/s)		最大瞬間風速(m/s)		最低海面気圧(hPa)	
							風速	風向	風速	風向	気圧	起時
5301	B	2012年 3月 9日 22時 0分	2012年 3月 10日 14時 50分	16時間 50分	16時間 50分	0時間 0分	26.3	NE	10日 3時 40分	10日 3時 40分	977.8	10日 4時 47分
5302	B	2012年 3月 25日 22時 25分	2012年 3月 26日 18時 17分	19時間 52分	19時間 52分	0時間 0分	19.4	NE	10日 7時 40分	10日 7時 40分	977.9	25日 22時 29分
5303	B	2012年 3月 27日 23時 10分	2012年 3月 29日 5時 0分	29時間 50分	29時間 50分	0時間 0分	30.3	NE	28日 21時 30分	28日 21時 30分	958.0	28日 21時 11分
5304	C	2012年 4月 2日 19時 30分	2012年 4月 3日 4時 50分	9時間 20分	9時間 20分	0時間 0分	20.3	NE	3日 2時 20分	2日 22時 10分	988.3	3日 0時 32分
5305	C	2012年 4月 9日 15時 11分	2012年 4月 10日 5時 42分	14時間 31分	14時間 31分	0時間 0分	18.2	NE	10日 0時 30分	9日 23時 56分	973.9	9日 16時 32分
5306	B	2012年 4月 16日 3時 20分	2012年 4月 18日 1時 55分	46時間 35分	46時間 35分	0時間 0分	29.5	NE	16日 13時 10分	16日 8時 41分	964.6	16日 6時 46分
5307	C	2012年 5月 5日 20時 10分	2012年 5月 7日 0時 35分	28時間 5分	19時間 25分	9時間 0分	25.0	ENE	5日 22時 20分	5日 22時 27分	969.9	6日 6時 46分
5308	B	2012年 5月 20日 22時 40分	2012年 5月 22日 0時 30分	25時間 50分	25時間 50分	0時間 0分	22.5	NE	21日 15時 40分	21日 15時 35分	982.3	21日 15時 36分
5309	B	2012年 5月 27日 19時 25分	2012年 5月 30日 13時 30分	66時間 5分	61時間 5分	5時間 0分	29.2	NE	28日 6時 10分	28日 6時 11分	976.2	29日 9時 23分
5310	C	2012年 5月 31日 9時 15分	2012年 6月 1日 0時 20分	15時間 5分	15時間 5分	0時間 0分	18.1	NE	31日 11時 30分	31日 11時 27分	982.9	31日 17時 23分
5311	C	2012年 6月 8日 21時 10分	2012年 6月 9日 19時 45分	22時間 35分	22時間 35分	0時間 0分	17.5	NE	9日 1時 30分	9日 18時 40分	984.2	8日 21時 47分
5312	C	2012年 6月 10日 12時 09分	2012年 6月 10日 19時 40分	7時間 21分	7時間 21分	0時間 0分	17.6	NE	10日 17時 20分	10日 16時 57分	990.3	10日 12時 22分
5313	B	2012年 6月 15日 22時 0分	2012年 6月 16日 23時 5分	25時間 5分	25時間 5分	0時間 0分	29.1	ENE	16日 15時 20分	16日 13時 05分	967.7	16日 14時 32分
5314	B	2012年 6月 17日 20時 20分	2012年 6月 18日 14時 20分	18時間 0分	18時間 0分	0時間 0分	23.6	E	18日 1時 50分	18日 1時 48分	968.8	18日 6時 08分
5315	C	2012年 7月 18日 0時 30分	2012年 7月 18日 10時 0分	9時間 30分	9時間 30分	0時間 0分	20.6	ENE	18日 9時 40分	18日 9時 41分	957.4	18日 9時 35分
5316	B	2012年 7月 22日 0時 40分	2012年 7月 22日 16時 55分	16時間 15分	16時間 15分	0時間 0分	25.2	ENE	22日 12時 00分	22日 11時 52分	964.3	22日 0時 43分
5317	C	2012年 7月 30日 19時 2分	2012年 7月 31日 9時 35分	14時間 33分	14時間 33分	0時間 0分	25.2	NE	31日 7時 40分	31日 7時 13分	985.7	31日 7時 39分
5318	A	2012年 8月 2日 19時 18分	2012年 8月 2日 9時 30分	38時間 12分	38時間 12分	0時間 0分	35.5	NE	3日 5時 00分	3日 4時 55分	973.3	3日 5時 06分
5319	C	2012年 8月 5日 8時 00分	2012年 8月 5日 15時 5分	7時間 5分	7時間 5分	0時間 0分	30.3	NE	5日 9時 30分	5日 10時 01分	967.2	5日 9時 24分
5320	B	2012年 8月 11日 18時 30分	2012年 8月 13日 21時 10分	50時間 40分	35時間 32分	15時間 8分	26.9	NE	13日 8時 20分	11日 20時 32分	962.5	13日 7時 51分
5321	B	2012年 8月 16日 10時 55分	2012年 8月 17日 10時 0分	23時間 5分	23時間 5分	0時間 0分	21.9	NE	16日 18時 40分	16日 18時 55分	977.3	17日 9時 45分
5322	A	2012年 8月 26日 2時 30分	2012年 8月 27日 21時 1分	42時間 31分	42時間 31分	0時間 0分	31.3	ENE	26日 15時 20分	26日 15時 15分	981.2	26日 15時 23分
5323	C	2012年 9月 16日 18時 5分	2012年 9月 17日 6時 20分	12時間 15分	12時間 15分	0時間 0分	24.9	NE	16日 20時 30分	16日 20時 20分	957.9	16日 20時 22分
5324	A	2012年 9月 24日 10時 35分	2012年 9月 26日 10時 35分	48時間 0分	38時間 32分	9時間 28分	41.7	ENE	24日 22時 30分	24日 22時 28分	950.6	24日 22時 26分
5325	B	2012年 9月 28日 19時 40分	2012年 9月 29日 12時 18分	16時間 38分	16時間 38分	0時間 0分	23.0	NE	29日 5時 00分	29日 4時 48分	982.7	29日 5時 18分
5326	C	2012年 10月 12日 19時 50分	2012年 10月 13日 3時 50分	8時間 0分	8時間 0分	0時間 0分	21.8	ENE	13日 2時 10分	13日 1時 58分	975.2	13日 2時 01分
5327	A	2012年 10月 18日 22時 40分	2012年 10月 20日 6時 50分	32時間 10分	32時間 10分	0時間 0分	30.3	NE	19日 3時 40分	19日 3時 34分	977.6	18日 23時 29分

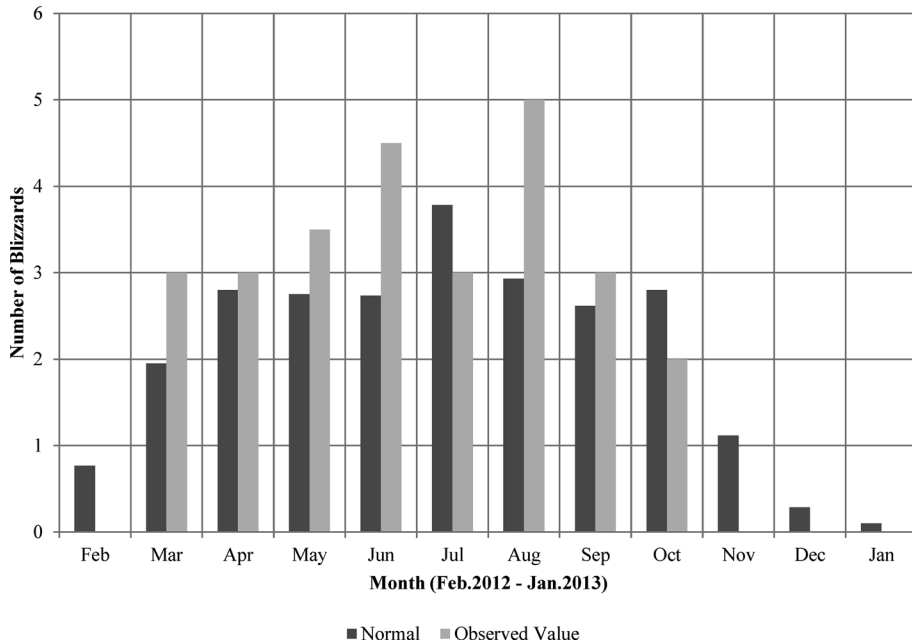


図 3 月別ブリザード数 (2012 年 2 月～2013 年 1 月). 平年値は 1981 年～2010 年の平均値. ブリザードが月を跨いで発生した場合, それぞれの月のブリザード数は 0.5 回としてカウントした.

Fig. 3. Number of Blizzards per month at Syowa Station (Feb. 2012–Jan. 2013). The Normals are the average value from 1981 to 2010. When Blizzard occurred over the next month, the number of the Blizzard for a month was counted as 0.5.

から 2 月にも数は少ないが発生するが, 一方, 2012 年のブリザードは 3 月から 10 月に限定して発生した. このように 3 月から 10 月のみに限定してブリザードが発生する年は少なく, 初めて見られたのが 1988 年で, その後は 1997 年, 2001 年, 2003 年, 2004 年, 2007 年となっている. これらの年は平年のブリザード数より少ないが, 本年は平年のブリザード数より多く観測された.

図 4 より, 3 月から 10 月にかけてのブリザードによって雪が積もったが, 11 月からは降雪が少なくなり, 11 月下旬からは平年と比較して暖くなったために融雪が激しくなったことがわかる. 積雪の観測を開始したのは 1999 年 2 月からで, データ数が少ないために平年値を算出することはできない. そのため, 参考として過去 5 年の 12 月から翌 1 月の期間における日最深積雪の最大と最小の差を各年で求め, その 5 つのデータの平均と 2012 年 12 月から 2013 年 1 月における日最深積雪の最大と最小の差を比較した結果を表 7 に示す. 表 7 より, 過去 5 年の日最深積雪の最大と最小の差は 18 cm から 58 cm となり, 平均は 43 cm となるが 2012 年 12 月から 2013 年 1 月の差は 83 cm と過去 5 年の平均を大きく上回る. この結果から, 過去 5 年と比べると融雪が激しい年であった.

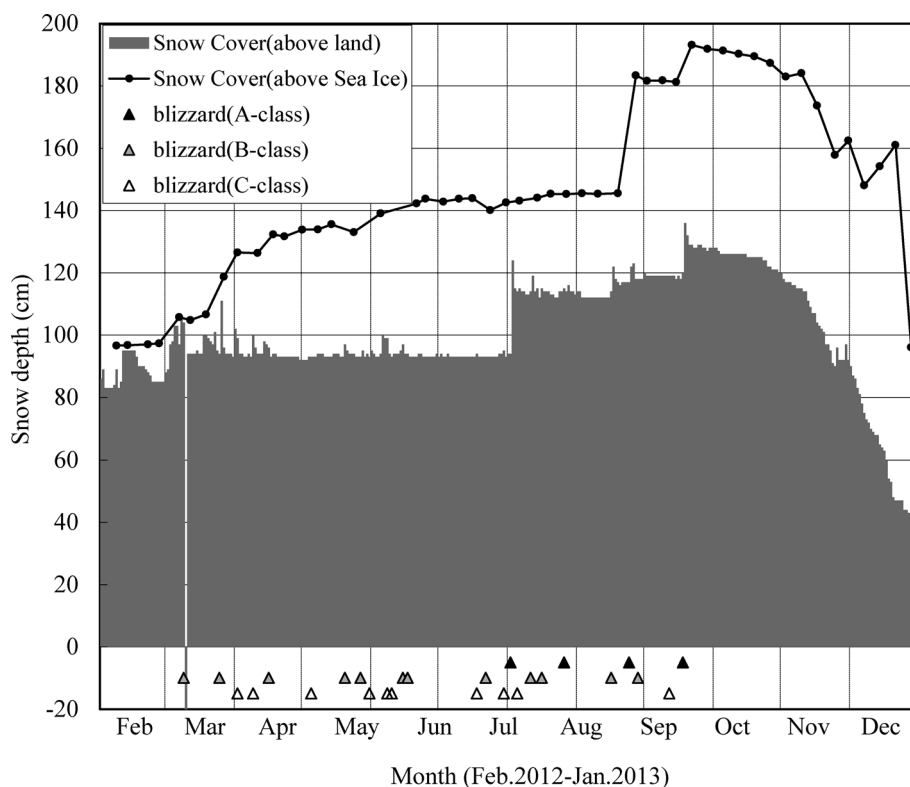


図 4 海氷上(雪尺)と昭和基地内(積雪計)の積雪深観測値の比較(2012年2月~2013年1月). 3月9日の積雪値は欠測となっている.

Fig. 4. Comparison of snow depth on sea ice with that at Syowa Station (Feb.2012-Jan.2013). There is a missing data on snow cover (above land) at 9 Mar.

表 7 12月から1月における最大積雪深と最小積雪深(2007年12月~2013年1月).  
Table 7. The maximum and the minimum snow depths on December and January (Dec. 2007-Jan.2013)

期間	最大値(cm)	最小値(cm)	最大値-最小値(cm)
2007年12月~2008年1月	18	0	18
2008年12月~2009年1月	63	13	50
2009年12月~2010年1月	117	59	58
2010年12月~2011年1月	109	64	45
2011年12月~2012年1月	120	75	45
2012年12月~2013年1月	120	37	83

※積雪が無い場合は暫定的に0として取り扱った



#### 2.4. 観測結果の通報及び提供

観測結果は、国際気象通報式（気象庁，1990）の地上実況気象通報式（FM12 SYNOP）により、インテルサット衛星回線を利用して通報を行った他、昭和基地イントラネット上で地上気象観測実況値として公開した。

また、DROMLAN（Dronning Maud Land Air Network）支援のためにノボラザレフスカヤ基地（ロシア）やノイマイヤー基地（ドイツ）などの関係各国基地に対し、昭和基地及び周辺の気象情報を提供した（2月1日から3月1日，11月6日から2013年1月31日）。さらに、「しらせ」の活動支援のため気象実況を提供した（2月1日から2月21日，12月19日から2013年1月31日）。

#### 2.5. 12月22日の雨の気象条件

12月22日に降った雨について、地上天気図、地上気象観測データ、高層気象観測データの解析結果から雨が発生した時の気象条件を報告する。

雨が降った前日である12月21日から当日である22日の概況は以下のとおりである。21日は時々雪が降っていた。22日は9時過ぎからみぞれが降りはじめ、11時過ぎに雨となった。12時前には雨からみぞれへと変化した。13時過ぎには再び雨となり、23時過ぎまで降り続いた。

図5に昭和基地に雨をもたらした低気圧がどこで発生し、どのような経路で昭和基地に接近したかを示す。図5の(a)は17日12UTCの地上天気図上に、17日12UTCから21日12UTCまでの低気圧の経路を示しており、(b)は22日00UTC、(c)は22日12UTC、(d)は23日00UTCの地上天気図をそれぞれ示している。雨をもたらした低気圧は17日12UTCの東経10度、南緯50度で発生し、中心気圧は990hPaであった。この位置は昭和基地より約20度北にある暖かい地点であった。22日00UTCでは東経45度、南緯59度の位置へと移動し、中心気圧は970hPaと、低気圧は南下しながら勢力を強めていった。その後23日まで勢力を維持したまま同位置に停滞した。22日00UTCの天気図を見ると、低気圧の中心から南西にかけて気圧の谷が解析されており、低気圧の中心から南東には寒冷前線が解析されていた。以上のことから、低気圧は昭和基地より北の暖かい場所で発生した後、発達しながら南下して昭和基地に接近したことにより、暖気を昭和基地までもたらしたことがわかる。

図6に15日から25日までにおける、400hPaから地上までの指定気圧面での気温の時間鉛直断面図を、図7に図6と同期間、同指定気圧面での湿度の時間鉛直断面図をそれぞれ示す。図6において、気温は21日00UTCから23日00UTCにかけて、500hPaから850hPaで5℃以上上昇していた。表8に高層観測の400hPaから925hPaまでの各指定気圧面における気温の観測値と平年値の差を示す。表8の左表は15日00UTCから16日00UTCの差を、右表は22日00UTCから23日00UTCの差をそれぞれ示している。表8右表より、平年値

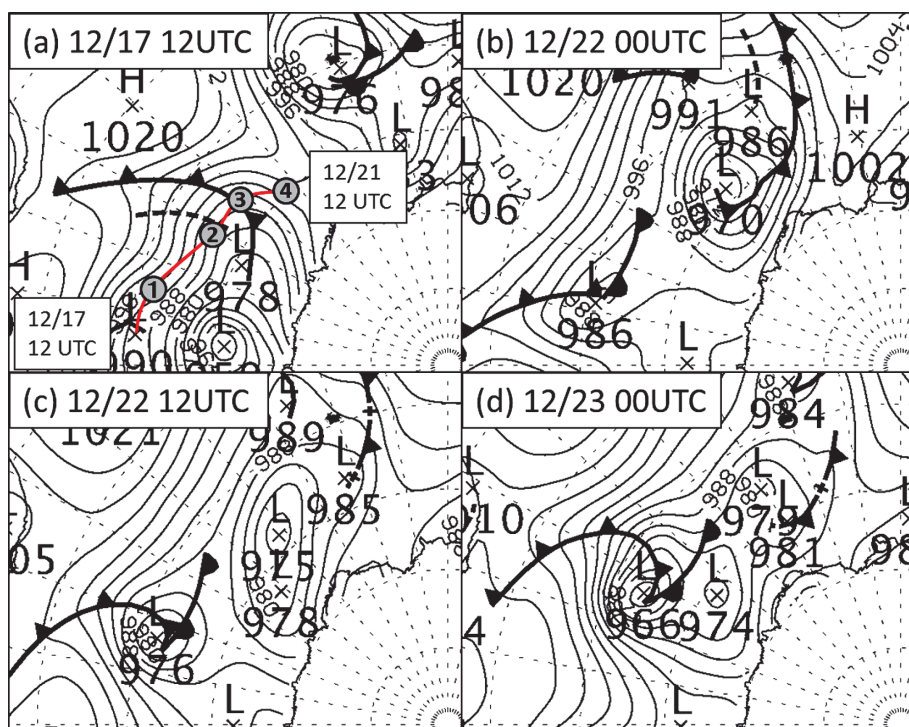


図5 地上天気図 (Bureau of Meteorology に加筆). (a) 12月17日12UTC, (b) 12月22日00UTC, (c) 12月22日12UTC, (d) 12月23日00UTC. 灰色丸印: 低気圧の中心位置. 数字は以下の時間を示す. 1. 12月18日12UTC, 2. 12月19日12UTC, 3. 12月20日12UTC, 4. 12月21日12UTC.

Fig. 5. Surface analysis chart. (a) 12 UTC.17.Dec., (b) 00 UTC.22.Dec., (c) 12 UTC.22.Dec., (d) 00 UTC.23.Dec. Gray circle: location for the center of the low. These numbers indicate the time of as follows, 1. 12 UTC.18.Dec., 2. 12 UTC.19.Dec., 3. 12 UTC.20.Dec., 4. 12 UTC.21.Dec.

と比較すると23日00UTCでは約4℃から8℃高かった. 気温は23日12UTCに最高値となり, その後は25日00UTCにかけて下降していた. 図7において, 湿度は21日00UTCより600hPaから850hPaにかけて80%以上を観測していた. 雨の降った22日12UTCから23日00UTCでは, 80%以上の湿度が地上にまで達していた. 23日00UTC以降では, 600hPaから925hPaの湿度は60%前後まで下降していた. 図8に22日00UTCから23日00UTCのエマグラムを示す. 図8の赤線は気温を, 青線は露点温度を示している. 図8より, 22日00UTCから22日12UTCにかけて600hPaから700hPaでは風向が東北東から北東に変化していた. また, 雨の降った22日12UTCでは750hPaから780hPaにかけて逆転層が形成されていた. 風向の変化と逆転層の形成から, 暖湿気が移流していたことがわかる.

図9に, 地上における21日から23日の気温と湿度の10分値を示す. 図9から, 21日12UTCから23日00UTCでは, 気温が+1℃から+4℃強を維持していた一方で, 湿度は21

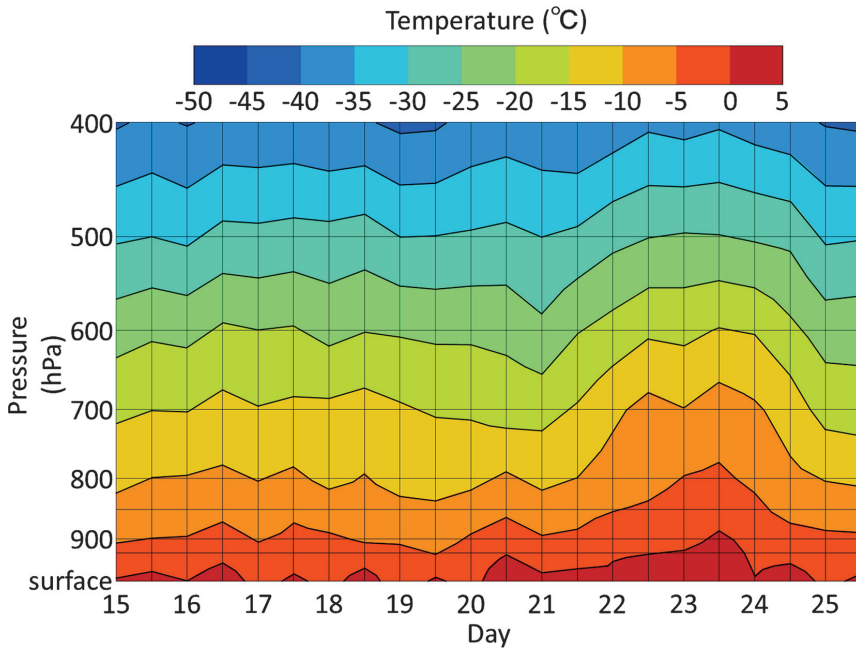


図 6 昭和基地上空の気温の時間鉛直断面図 (12月15日~12月25日).  
 Fig. 6. Time-height cross section of upper air temperature (15.Dec.-25.Dec.).

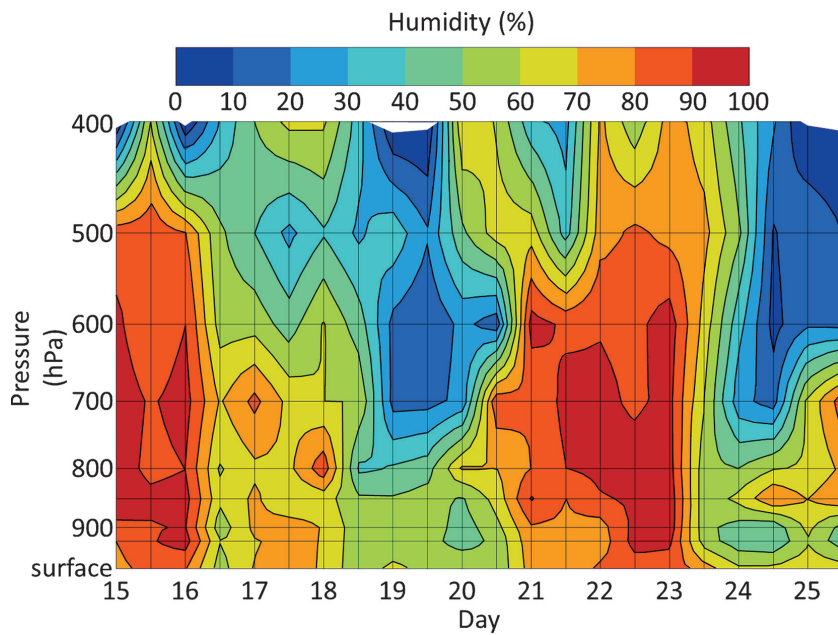


図 7 昭和基地上空の湿度の時間鉛直断面図 (12月15日~12月25日). 白領域: 観測値なし  
 Fig. 7. Time-height cross section of upper air humidity (15.Dec.-25.Dec.). White area: None observed value

表 8 各指定気圧面における気温の観測値と平年値の差. 左: 12月15日00UTC~12月16日00UTC, 右: 12月22日00UTC~12月23日00UTC

Table 8. Difference between temperature of observed values and normal values. Left table: 00 UTC.15. Dec.-00 UTC.16.Dec.) / Right table: 00 UTC.22.Dec.-00 UTC.23.Dec.)

指定面 (hPa)	15.Dec 00UTC (°C)	15.Dec 12UTC (°C)	16.Dec 00UTC (°C)	指定面 (hPa)	22.Dec 00UTC (°C)	22.Dec 12UTC (°C)	23.Dec 00UTC (°C)
400	2.0	3.0	2.1	400	3.7	5.5	4.9
500	1.6	1.7	1.1	500	5.2	6.0	6.9
600	2.3	3.1	2.9	600	5.6	7.5	7.5
700	2.3	2.6	3.0	700	6.7	8.9	7.7
800	1.2	1.9	2.5	800	4.0	4.6	6.9
850	0.6	0.9	1.6	850	3.6	4.3	6.0
900	0.7	1.0	1.5	900	3.8	4.2	4.4
925	1.1	1.2	0.5	925	4.1	4.1	4.8

日 18 UTC 以降で上昇し, 22 日 06 UTC から 23 日 12 UTC まで 80% 弱から 90% を維持した状態だった. 図 10 に 15 日から 25 日までの日平均気温と平年値を示す. 21 日から 23 日の日平均気温は, 平年値に比べて 3°C から 4°C 高く, +2°C から +3°C で推移していた.

以上のことから, 22 日は 600 hPa から 700 hPa を中心に, 平年値よりも気温の高い暖湿気が移流し, 暖湿気が地表面にまで到達したことによって雨が降ったと考える.

次に, 昭和基地で一般的な降水現象である雪の時の気象条件を, 12 月 15 日から 16 日までの雪について, 雨の事例と同様の解析をした結果から報告する.

この期間では, 15 日 06 UTC 頃から雪が降り始め, 16 日 03 UTC 頃まで連続的に続いた.

図 11 に 15 日 00 UTC から 16 日 00 UTC のエマグラムを示す. 図 11 から, 16 日 00 UTC では風向が 500 hPa から 400 hPa にかけて東北東から北東へとされており, 鉛直シアが存在していた. また, 480 hPa から 500 hPa にかけて逆転層を形成していることから, 逆転層付近において暖気移流が存在していた. その他では, 風向は北東から東で継続して変化がなく, また逆転層も形成されていないため移流はなかった. 16 日 00 UTC の逆転層について, この時にはすでに降雪が始まっていたことから, 降雪の要因ではなかった. 降雪のあった期間の気温について, 表 8 左表より気温は各指定気圧面ともに平年値より 0°C から 3°C 高い値となっていた. また, 湿度について図 7 を見ると, 湿度は 500 hPa から地上まで 80% 以上となっていた.

図 12 に, 地上における 15 日 00 UTC から 16 日 12 UTC の気温と湿度の 10 分値を示す. 図 12 より, 降雪のあった 15 日 06 UTC から 16 日 03 UTC までの地上における湿度は 80% 弱から 90% 強で推移していたが, 気温は -1°C から +2°C で推移していた. また, 図 10 より日平均気温について平年値と比較すると 3°C 高い値となっていた.

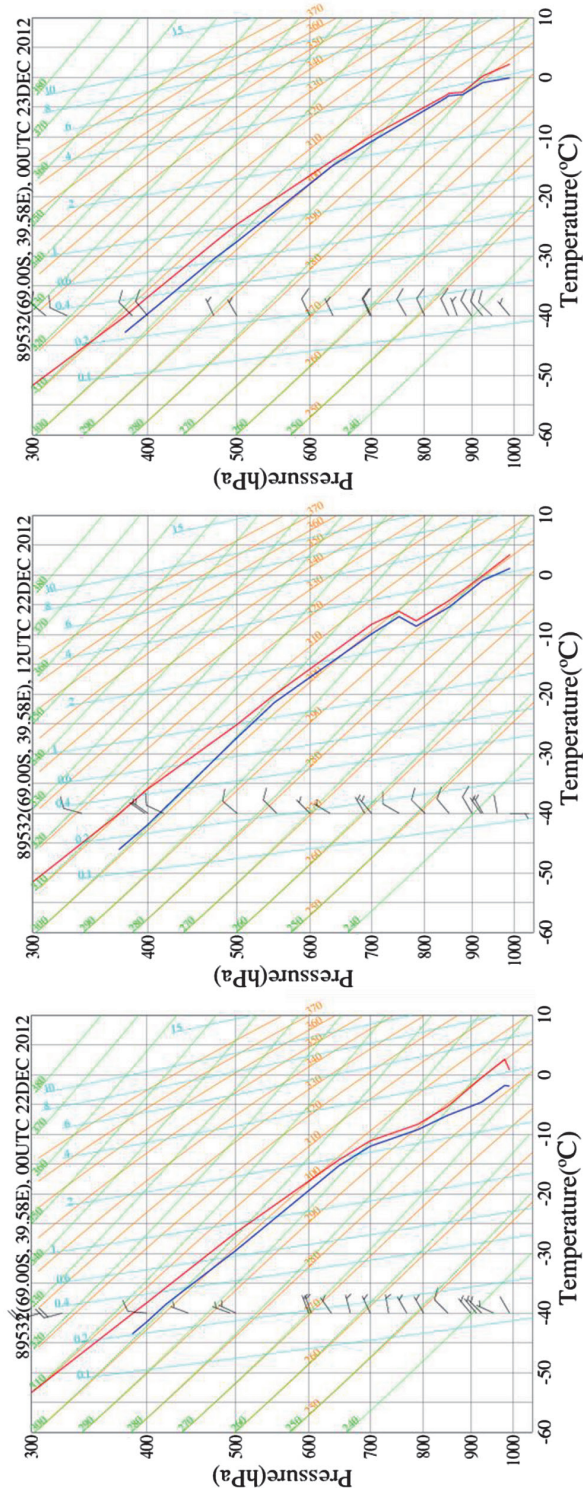


図 8 降雨時のエマグラム (12月22日00UTC~12月23日00UTC). 赤線: 気温, 青線: 露点温度

Fig. 8. Emagrams of raining at Syowa station (00 UTC.22.Dec.-00 UTC.23.Dec.). Red line: Temperature, Blue line: dew-point temperature

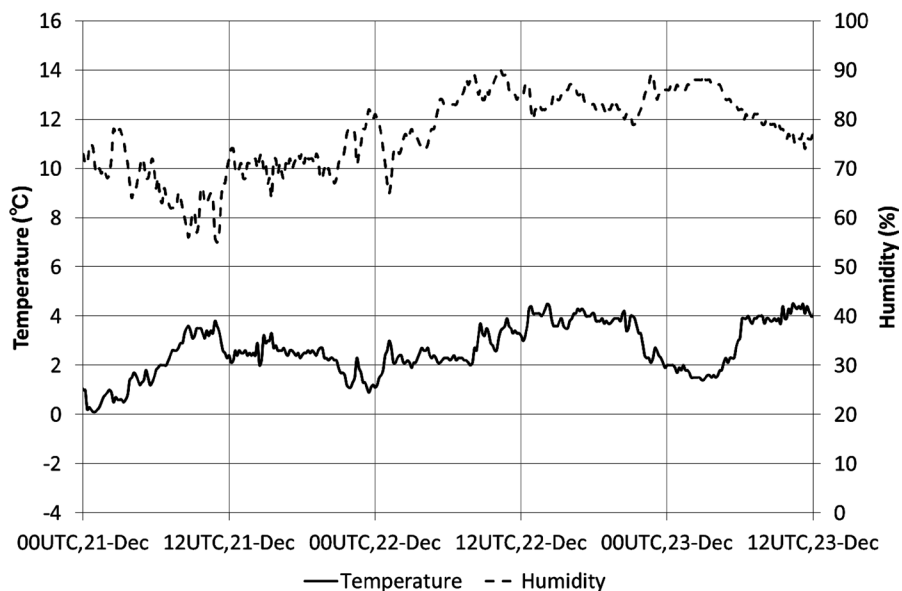


図 9 昭和基地における地上気象観測結果(12月21日00UTC~12月23日12UTC)。実線：気温、破線：相対湿度

Fig. 9. Time series of ten-minute surface meteorological data at Syowa Station (00 UTC.21.Dec.-12 UTC.23. Dec.). Solid line: Temperature, Broken line: Humidity

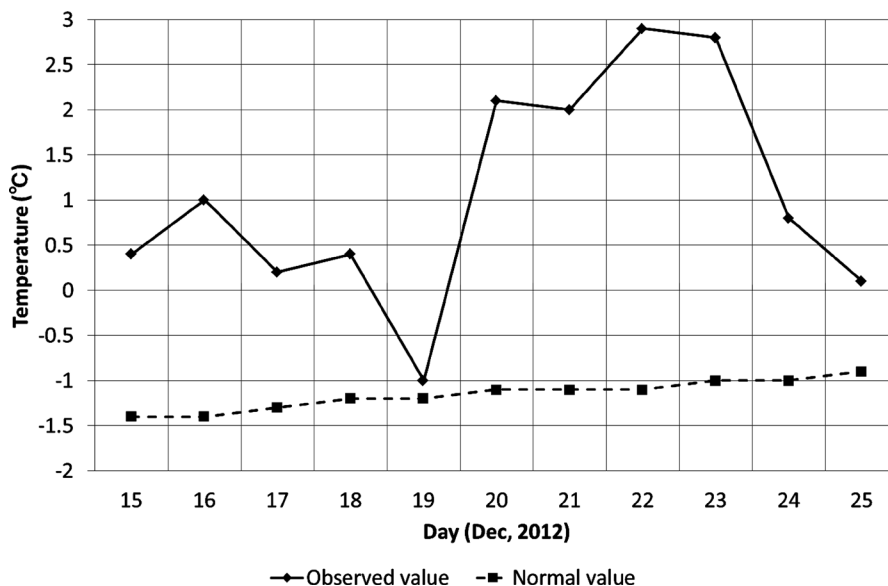


図 10 昭和基地における日平均気温 (12月15日~12月25日)。平年値は1981年から2010年の平均。実線：観測値(2012年)、破線：平年値

Fig. 10. Time series of daily mean temperature at Syowa Station (00 UTC.15.Dec.-12 UTC.16.Dec.). Normal is the average value from 1981 to 2010. Solid line: Observed value (2012), Broken line: Normal value

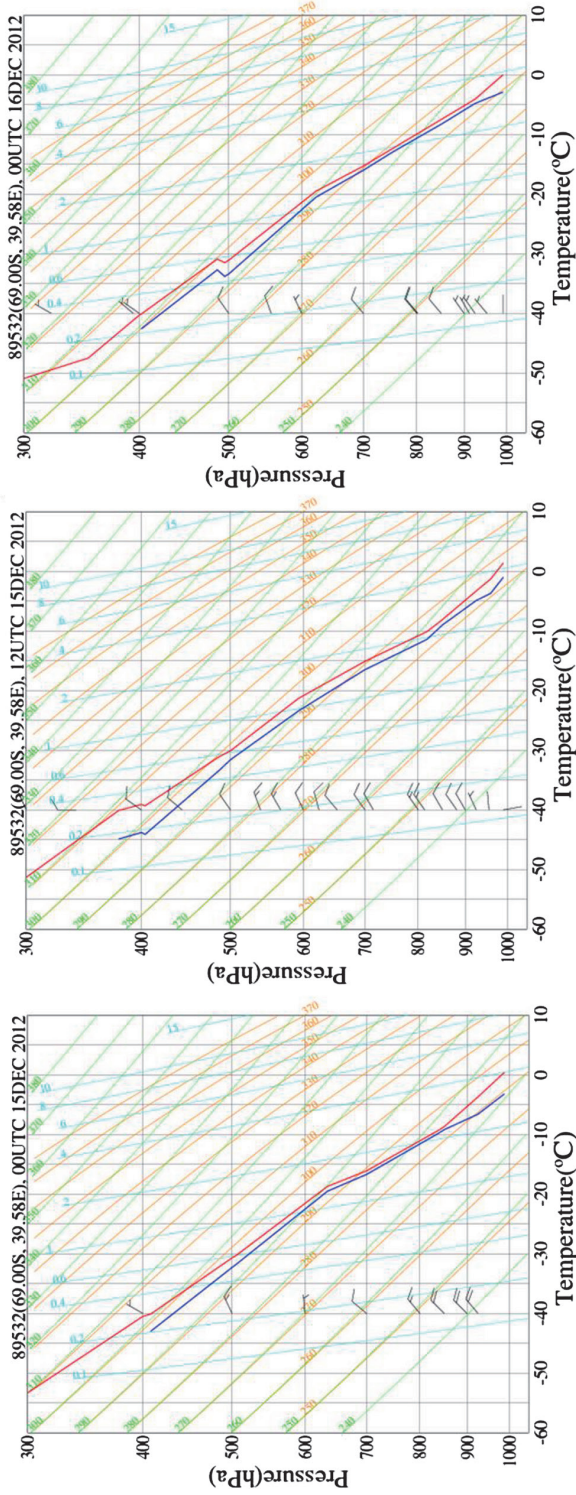


図 11 降雪時のエマグラム (12月15日00UTC~12月16日00UTC). 赤線: 気温, 青線: 露点温度  
Fig. 11. Emagrams of snowing at Syowa station. (00 UTC.15.Dec.-00 UTC.16.Dec.) Red line: Temperature, Blue line: dew-point temperature

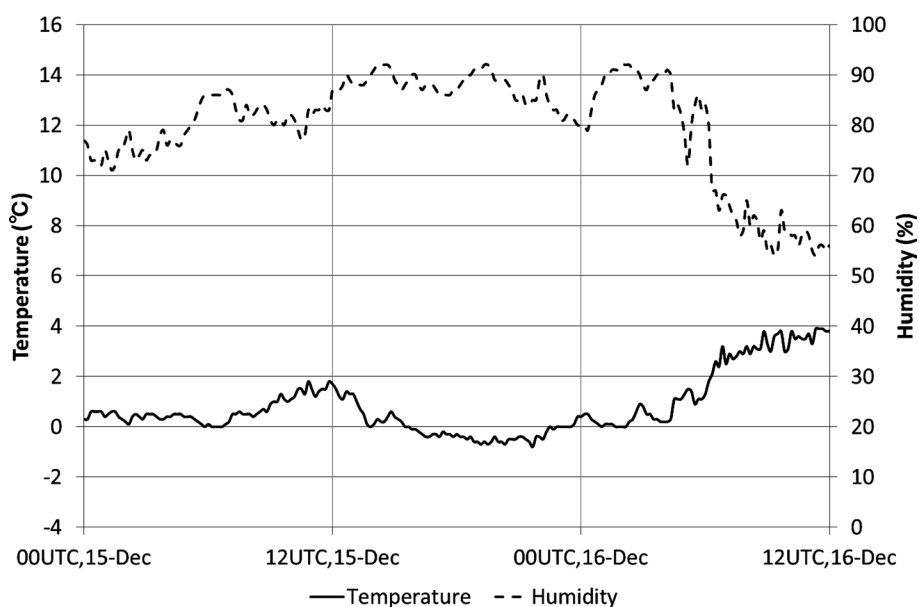


図 12 昭和基地における地上気象観測結果 (12月15日00UTC~12月16日12UTC)。実線: 気温, 破線: 相対湿度

Fig. 12. Time series of ten-minute surface meteorological data at Syowa Station (00 UTC.15.Dec.-12 UTC.16.Dec.). Solid line: Temperature, Broken line: Humidity

以上のことから 22 日の雨の事例と比較すると, 15 日の雪の事例では暖湿気の流れが見られず, 雨の事例に比べて地上及び高層とも気温が低かったことがわかる。

### 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, 2004) に基づき, 毎日 00, 12 UTC の 2 回高層気象観測を行った。RS-01GM 型 GPS ゾンデ (明星電気製, 以下「GPS ゾンデ」) を, ヘリウムガスを充填した 600 g ゴム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  $-40^{\circ}\text{C}$  を下回るまでの相対湿度の高度分布を観測した。オゾンの鉛直分布を観測するオゾンゾンデを飛揚する際には (4.4. オゾンゾンデ観測参照), GPS ゾンデの代替観測とした。

昭和基地は 1995 年に世界気象機関 (WMO) 内に設置された全球気候観測システム (GCOS) の基準高層気象観測網 (GUAN) 観測点としての指定を受けており, 「より高い高度までのデータ取得」を要請されている。このため, 観測は高度 5 hPa の観測データ取得を目標とした。

飛揚直前には, 受信信号周波数, GPS 衛星信号, 気温及び湿度に関する総合的な点検をそれぞれ行い, 各要素について基準値以内に入っていることを確認した。



GPS ゾンデ信号の受信, 計算処理, 作表, 気象電報作成などには GPS 高層気象観測システム (明星電気製) を使用した。

観測結果は, 国際気象通報式 (気象庁, 1990) の地上高層実況気象通報式 (FM35 TEMP) により, 地上気象観測と同様にインテルサット衛星回線経由で全球通信システム (GTS) に通報した。GPS ゾンデの各センサの性能を表9に示す。

### 3.2. 観測経過

2012年2月から2013年1月までの高層気象観測状況を表10に示す。

第53次隊として2012年2月1日00UTCより2013年1月31日12UTCまでの観測を行った。この期間中, プリザードによる強風のため欠測となった観測が1回(8月3日00UTC)あった。

南極の低温下でもゴム気球の性能を維持するため, 1年を通して予め恒温槽に入れて+35~+38℃に加温した気球を観測に使用した。特に, 冬期間は, 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ことを防ぐため, 4月26日及び4月29日から11月2日までの期間(00UTC)と5月10日から10月31日までの期間(12UTC), ゴム気球を暖房用の油に浸したのち乾燥させて使用する油漬け処理を実施し, 飛揚した。なお, 油漬けの実施期間は成層圏の気温がおおむね-68℃を下回る時期を目安とした。

### 3.3. 観測結果

2012年1月から2013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(00UTCの観測値による統計)を表11に示す。また, 2012年1月から2013年1月までの00UTCに

表9 RS-01GM型GPSゾンデの各センサの性能。  
Table 9. Sensor performances of RS-01GM GPS sonde.

ゾンデ形式	観測要素	センサ	測定範囲	分解能	備考
RS-01GM型 GPSゾンデ	気圧	GPS高度, 気温, 湿度により算出	1040~5 hPa	0.1 hPa	計測精度 地上~100 hPa : ±1 hPa 100hPa~5 hPa : ±0.5 hPa
	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℃	0.1℃	飛揚前点検で精度確認 計測精度 ±0.5℃
	湿度	高分子感湿膜(静電容量変化式)	1~100%RH	0.1%RH	飛揚前点検で精度確認 計測精度 ±7.0%RH (10~95%) ±10.0%RH (上記以外)
	風向	GPSゾンデが受信するGPS衛星信号の受信周波数が, GPSゾンデとGPS衛星との相対速度に応じて変化する こと(ドップラー効果)を利用して 風成分を測定し算出	0~360°	0.1°	
	風速		0~200 m/s	0.1 m/s	
	高度	GPSゾンデが受信するGPS衛星信号より幾何学高度を算出し, ジオポテンシャル高度(GPM)に変換	-200.0~40000.0 m	0.1 m	計測精度 ±5.0 m

表 10 昭和基地における高層気象観測状況 (RS-01GM 型)。

Table 10. The number of observations and attained the height of aerological observations at Syowa Station (RS-01GM).

		2012 年											2013 年	合計 平均 極値
		2 月	3 月	4 月	5 月	6 月	7 月	8 月	9 月	10 月	11 月	12 月	1 月	
飛揚回数		58	63	62	66	62	63	65	61	62	61	66	63	752
定時観測回数		58	62	60	62	60	62	62	60	62	60	62	62	732
欠測回数 (※1)		0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1
資料欠如回数 (※2)		0	0	1	0	1	0	1	0	0	0	0	2	5
再観測回数		0	1	2	4	2	1	2	1	0	1	4	1	19
到達気圧/ 高度	回数	58	62	60	62	60	62	61	60	62	60	62	62	731
	平均	hPa	12.7	12.8	15.9	11.9	12.2	12.0	14.1	16.7	12.3	12.5	15.1	13.4
	平均	km	30.0	30.0	28.2	28.5	28.4	28.0	28.1	27.1	27.3	30.3	30.7	28.9
	最高	hPa	6.2	5.0	5.0	6.4	5.6	5.8	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0
	最高	km	34.6	35.6	34.7	31.6	31.3	31.0	32.8	34.3	34.8	36.4	37.0	36.9

注) 観測システムの仕様により、観測できる最高到達高度 (気圧) は 5.0hPa までとなっている

※1: 500hPa 指定気圧面までの全ての観測値が得られなかった回数

※2: 100hPa 指定気圧面までの全ての観測値が得られなかった回数

における主な指定気圧面の月平均気温と累年平均 (1981 年～2010 年) の年変化を図 13 に示す。

表 11 及び図 13 に示す主な指定気圧面において、2012 年 1 月は 600-100 hPa の指定気圧面で気温が平年より低く、125 hPa における気温は、月平均気温の低いほうからの記録第 1 位であった。一方で、50 hPa より上層の指定気圧面 (50 hPa を含む) では気温が平年より高かった。2 月は 700-350 hPa の指定気圧面で気温が平年より高く、400 hPa 及び 350 hPa における気温は、月平均気温の高いほうからの記録第 1 位であった。一方で、250-70 hPa の指定気圧面では気温が平年より低く、175 hPa 及び 150 hPa における気温は、月平均気温の低いほうからの記録第 1 位であった。3 月は 350 hPa より下層の指定気圧面 (350 hPa を含む) で気温が平年より低く、250 hPa より上層の指定気圧面 (250 hPa を含む) で気温が平年より高かった。4 月は 400-100 hPa の指定気圧面で気温が平年より高く、600 hPa より下層の指定気圧面 (600 hPa を含む) で気温が平年より低かった。5 月は 500 hPa より下層の指定気圧面 (500 hPa を含む) で気温が平年より高く、350 hPa より上層の指定気圧面 (350 hPa を含む) で気温が平年より低かった。6 月は 250-150 hPa の指定気圧面で気温が平年より高く、それ以外の指定気圧面で気温が平年より低かった。7 月から 2013 年 1 月については、2012 年 7 月の 600 hPa より下層の指定気圧面 (600 hPa を含む) 及び 2012 年 12 月の 40 hPa より上層の指定気圧面 (40 hPa を含む) は平年より低かったが、それ以外の指定気圧面で平年並みもしくは平年より高い状態で推移した。特に、11 月の 850 hPa、800 hPa、500-300 hPa の指定気圧面及び 2013 年 1 月の 700 hPa、500 hPa、400 hPa の指定気圧面における気温は、月平均気温の高いほうからの記録第 1 位を更新した。

次に、2012 年 1 月から 2013 年 1 月までの上層気温の時間断面を図 14 に示す。

表 11 月別指定気圧面観測値 (00 UTC).

Table 11. Monthly summaries of aerological data at standard pressure levels (00 UTC).

項目	指定面 (hPa)	2012年												2013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	平均	1月
高度 (m)	850	1116	1185	1142	1114	1142	1120	1078	1094	1091	1099	1204	1205	1133	1177
	800	1584	1650	1603	1571	1597	1568	1525	1541	1537	1554	1668	1673	1589	1647
	700	2597	2661	2602	2564	2590	2543	2502	2516	2512	2543	2676	2687	2583	2667
	600	3736	3807	3723	3679	3711	3641	3607	3621	3614	3663	3815	3832	3704	3817
	500	5044	5128	5011	4962	4997	4902	4875	4894	4880	4952	5126	5148	4993	5142
	400	6590	6688	6531	6478	6508	6385	6366	6394	6371	6470	6673	6698	6513	6708
	350	7482	7589	7412	7357	7378	7244	7226	7259	7232	7346	7566	7594	7390	7611
	300	8484	8602	8408	8349	8353	8212	8192	8229	8199	8328	8570	8603	8377	8623
	250	9650	9777	9583	9515	9480	9335	9305	9341	9311	9452	9731	9782	9522	9806
	200	11095	11228	11048	10962	10854	10695	10636	10663	10638	10791	11146	11244	10917	11273
	175	11968	12106	11931	11831	11683	11504	11425	11442	11423	11586	11999	12126	11752	12160
	150	12978	13122	12949	12830	12638	12435	12333	12336	12322	12502	12989	13148	12715	13187
	125	14178	14325	14151	14005	13762	13527	13401	13386	13378	13584	14167	14364	13852	14405
	100	15656	15802	15620	15433	15126	14841	14694	14666	14664	14902	15619	15864	15241	15899
	70	18052	18171	17960	17704	17276	16910	16732	16693	16709	17021	17963	18277	17456	18301
	50	20345	20421	20163	19812	19283	18827	18628	18597	18647	19061	20200	20567	19546	20583
	40	21879	21921	21623	21199	20595	20086	19885	19859	19940	20455	21697	22090	20936	22103
	30	23866	23861	23499	22989	22272	21686	21481	21492	21633	22326	23637	24067	22734	24073
	気温 (°C)	850	-8.1	-9.8	-12.5	-14.6	-15.9	-19.7	-20.1	-20.4	-21.5	-16.4	-10.4	-8.1	-14.8
800		-11.1	-12.4	-14.7	-16.7	-17.4	-21.2	-21.6	-22.1	-22.0	-18.3	-12.9	-11.0	-16.8	-9.7
700		-17.4	-17.0	-21.1	-22.3	-21.7	-26.7	-25.3	-25.5	-26.0	-22.1	-18.0	-16.7	-21.7	-15.2
600		-24.2	-22.2	-28.3	-29.2	-27.9	-32.8	-31.6	-31.0	-31.9	-27.7	-23.8	-22.8	-27.8	-21.2
500		-31.7	-29.4	-35.6	-36.5	-36.3	-41.1	-39.8	-38.6	-39.9	-35.6	-31.3	-30.7	-35.5	-28.5
400		-41.8	-39.6	-45.0	-45.7	-47.4	-50.8	-50.0	-48.6	-50.0	-46.1	-41.5	-40.9	-45.6	-38.8
350		-48.0	-45.5	-50.3	-51.0	-53.9	-56.1	-56.1	-54.7	-55.8	-52.0	-47.6	-47.0	-51.5	-45.4
300		-53.9	-51.8	-53.9	-55.0	-59.9	-61.0	-61.8	-61.4	-61.7	-59.0	-53.7	-51.8	-57.1	-51.2
250		-54.1	-52.9	-50.7	-52.8	-63.6	-63.9	-67.2	-67.8	-67.4	-65.7	-56.7	-51.1	-59.5	-51.0
200		-50.2	-49.0	-47.8	-50.9	-61.4	-65.7	-70.9	-72.9	-71.9	-69.5	-55.4	-48.0	-59.5	-46.8
175		-49.6	-48.2	-47.4	-51.1	-61.1	-66.4	-71.6	-74.4	-73.0	-70.0	-54.4	-47.0	-59.5	-45.7
150		-48.9	-47.8	-47.6	-52.2	-61.8	-67.5	-72.3	-75.6	-74.6	-70.2	-53.1	-45.9	-59.8	-45.3
125		-47.8	-47.5	-48.1	-53.6	-63.3	-69.8	-74.0	-76.6	-75.8	-70.8	-51.5	-44.5	-60.3	-44.7
100		-45.6	-46.8	-48.5	-55.4	-65.5	-72.8	-76.2	-78.0	-76.9	-71.4	-50.1	-42.8	-60.8	-44.0
70		-42.0	-45.6	-49.3	-58.0	-68.9	-77.0	-79.6	-79.7	-77.2	-68.4	-47.3	-41.1	-61.2	-42.1
50		-39.1	-44.0	-49.5	-60.3	-71.6	-79.8	-81.5	-80.0	-76.0	-62.8	-45.1	-40.3	-60.8	-40.8
40		-37.8	-43.3	-49.9	-61.5	-73.2	-81.1	-82.3	-79.7	-74.1	-56.2	-42.8	-39.6	-60.1	-40.0
30		-36.4	-42.2	-50.0	-62.8	-74.6	-82.6	-82.5	-78.4	-69.9	-45.9	-40.3	-38.3	-58.7	-38.3
風速 (m/s)		850	8.0	7.1	7.6	7.8	10.8	10.9	9.9	14.4	8.9	9.6	8.4	9.0	9.4
	800	7.3	6.7	5.8	6.3	10.1	10.2	8.6	13.1	8.4	7.4	7.6	8.2	8.3	6.8
	700	6.5	6.7	6.2	6.1	10.3	10.6	7.2	11.3	9.7	7.5	7.2	8.2	8.1	7.5
	600	6.4	8.2	8.1	8.0	11.1	10.8	8.8	12.3	11.0	8.7	7.8	7.2	9.0	8.7
	500	7.5	10.9	9.3	10.2	13.9	13.4	10.7	14.8	14.7	11.3	10.1	8.2	11.3	9.4
	400	9.2	14.3	11.2	14.8	16.2	15.4	11.8	16.6	17.9	14.2	12.3	9.3	13.6	10.5
	350	10.4	16.8	13.2	17.0	18.0	16.8	13.3	18.3	19.2	15.5	12.9	10.4	15.2	12.5
	300	11.2	19.2	14.1	16.1	19.4	18.4	14.6	19.1	20.4	16.4	14.1	10.8	16.2	13.3
	250	9.1	18.9	11.6	14.3	17.3	16.8	15.4	19.7	20.6	15.5	13.5	7.5	15.0	11.1
	200	6.8	13.9	10.4	13.3	14.6	14.8	16.0	20.0	19.5	13.6	12.4	5.3	13.4	6.8
	175	6.6	12.3	9.9	13.5	14.6	15.2	15.5	21.0	19.1	12.5	12.9	5.2	13.2	5.6
	150	7.2	11.3	9.5	13.5	15.5	15.3	17.2	21.1	18.8	12.8	13.4	5.3	13.4	4.8
	125	7.3	10.5	9.2	14.7	16.3	16.5	19.9	21.9	20.1	14.5	14.5	5.4	14.2	3.6
	100	7.8	8.3	9.1	15.0	18.1	18.3	22.0	25.4	22.8	15.9	16.4	4.2	15.3	3.9
	70	6.8	6.8	9.3	16.9	21.9	23.5	28.5	32.1	28.4	21.4	17.3	4.0	18.1	3.7
	50	5.1	5.0	8.8	18.8	26.1	27.1	33.5	38.1	34.9	27.7	17.2	4.2	20.5	3.6
	40	5.2	4.7	10.5	20.9	29.1	29.0	36.8	43.7	39.8	32.9	15.6	6.2	22.9	4.5
	30	5.0	3.4	10.2	23.1	32.0	32.9	41.6	48.9	45.9	38.4	14.3	7.3	25.3	5.5

成層圏で $-70^{\circ}\text{C}$ 以下の領域が明瞭に現れたのは5月上旬からで、中旬以降、 $-70^{\circ}\text{C}$ 以下の領域は拡大した。また、5月下旬から $-80^{\circ}\text{C}$ 以下の領域も現れ、9月上旬まで続いた。

成層圏突然昇温は極夜明けの時期に観測されるが、WMOへの通報基準である「最大上昇

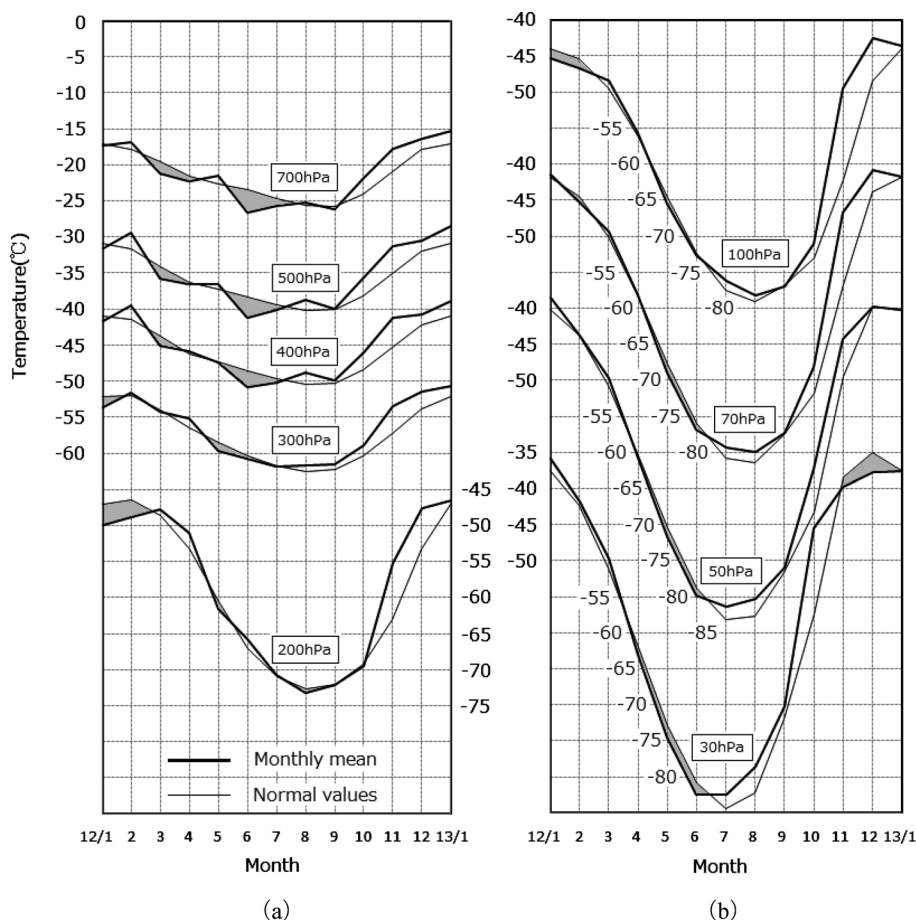


図 13 指定気圧面の月平均気温の年変化（2012 年 1 月～2013 年 1 月）と累年平均（1981 年～2010 年）の年変化（00 UTC） (a) 700 hPa–200 hPa, (b) 100 hPa–30 hPa

Fig. 13. Annual variations of monthly mean upper air temperature (Jan. 2012–Jan. 2013) and normal values (1981–2010) at Syowa Station. (a) 700 hPa–200 hPa, (b) 100 hPa–30 hPa

温度が 25℃/7 日以上の気温上昇」は、9 月上旬から中旬に 20 hPa で 26.6℃, 15 hPa で 30.9℃, 10 hPa で 35.5℃, 9 月下旬に 20 hPa で 30.3℃, 15 hPa で 32.6℃, 10 hPa で 29.1℃, 11 月上旬から中旬に 200 hPa で 29.0℃, 150 hPa で 32.6℃, 100 hPa で 28.6℃の 9 事例を観測し、観測結果は確認作業を行った後、国内の担当部署へ報告した。

### 3.4. 試験飛揚

第 48 次隊から使用している RS-01GM 型 GPS ゾンデ（明星電気製、以下「01GM 型」）を後継機種である RS-06G 型 GPS ゾンデ（明星電気製、以下「06G 型」）へ更新するため、06G 型の単独飛揚及び 01GM 型との連結飛揚を行った。

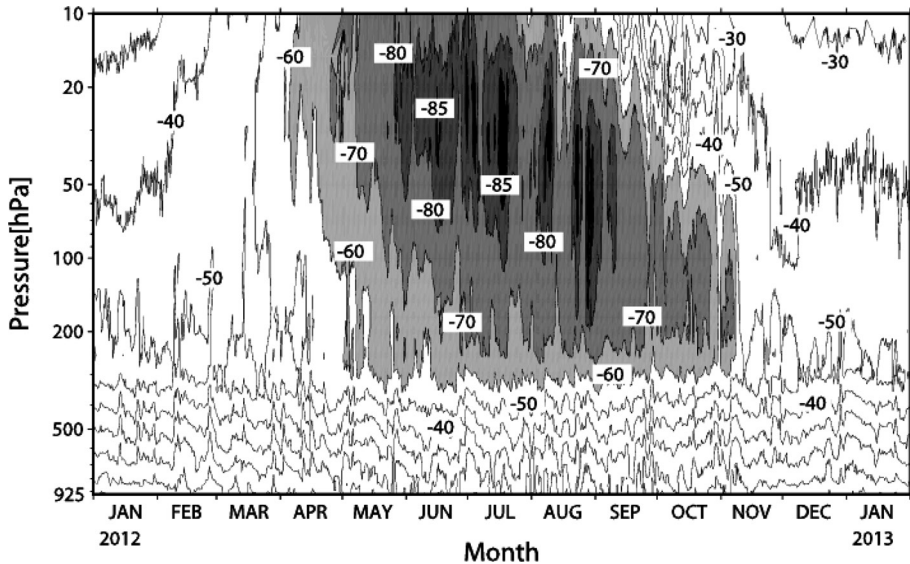


図 14 昭和基地上空の気温の時間高度断面図 (2012 年 1 月～2013 年 1 月)。薄灰色域:  $-60^{\circ}\text{C}$  以下, 灰色域:  $-70^{\circ}\text{C}$  以下, 濃灰色域:  $-80^{\circ}\text{C}$  以下, 黒色域:  $-85^{\circ}\text{C}$  以下

Fig. 14. Time-height cross section of upper air temperature (Jan. 2012–Jan. 2013). A light gray area indicates the region  $-60^{\circ}\text{C}$  or below, a gray area indicates the region  $-70^{\circ}\text{C}$  or below, a dark gray area indicates the region  $-80^{\circ}\text{C}$  or below, a black area indicates the region  $-85^{\circ}\text{C}$  or below.

06G 型は 01GM 型よりも高高度での観測精度が向上し, 対応速度が速くなった温度センサ, 湿度センサを搭載しており, 計測誤差が低減されたゾンデである。06G 型への更新に伴い, 06G 型の性能, 現用の 01GM 型で使用している GPS 高層気象観測システムでの受信状況の確認及び 01GM 型とのデータの連続性などについて, 更新の可否を判断するため, 単独飛揚及び連結飛揚を行った。使用した 06G 型の各センサの性能を表 12 に示す。

06G 型は試験飛揚のため, 47 台持ち込んだ。毎月, 単独飛揚 2 回, 連結飛揚 2 回を目安に観測を行った。また, 06G 型の単独飛揚は 06 UTC 及び 18 UTC に実施し, 01GM 型との連結飛揚は 12 UTC に実施した。試験飛揚状況を表 13 に示す。

持ち込んだ 47 台について, 全て観測を行った。飛揚前点検時に 06G 型からの気温データ及び湿度データの発信信号が不安定で使用できないと判断したゾンデが 1 台あったが, 不良ゾンデはその 1 台だけであった。01GM 型の不良率 1.3% (752 台中 10 台) と比較すると 2.1% (47 台中 1 台) と若干高いが, これは 06G 型の使用数が少ないためであり, 使用数が増加すれば不良率は下がると思われたため, 運用には問題ないと判断した。また, その他の試験飛揚結果については随時国内に報告し, 問題点についての対応を検討した。この問題点を改善・改修することにより, 第 54 次隊から正式に運用することとなった。

表 12 RS-06G 型 GPS ゾンデの各センサの性能.

Table 12. Sensor performances of RS-06G GPS sonde.

ゾンデ形式	観測要素	センサ	測定範囲	分解能	備考
RS-06G 型 GPS ゾンデ	気圧	GPS 測位高度, 気温, 湿度より逆測 高計算を用いて算出	1050~3 hPa	0.1 hPa	計測精度 地上~100 hPa : $\pm 1$ hPa 100 hPa~3 hPa : $\pm 0.5$ hPa
	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	0.1°C	飛揚前点検で精度確認 計測精度 $\pm 0.5$ °C
	湿度	高分子感湿膜 (静電容量変化式)	1~100%RH	0.1%RH	飛揚前点検で精度確認 計測精度 $\pm 7.0$ %RH
	風向	GPS ゾンデが受信する GPS 衛星信 号の受信周波数が, GPS ゾンデと GPS 衛星との相対速度に応じて変 化すること (ドップラー効果) を 利用して風成分を測定し算出	0~360°	0.1°	
	風速		0~200 m/s	0.1 m/s	
	高度	GPS ゾンデが受信する GPS 衛星信 号より幾何学高度を算出し, ジオ ポテンシャル高度 (GPM) に変換	-200.0~40000.0 m	0.1 m	計測精度 $\pm 5.0$ m

表 13 昭和基地における飛揚状況 (RS-06G 型).

Table 13. The number of observations at Syowa Station (RS-06G).

	2012 年										2013 年		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	
飛揚回数	2	4	5	3	4	5	4	5	2	4	4	4	46
単独飛揚回数	1	2	2	1	3	3	2	2	1	2	2	2	23
連結飛揚回数	1	2	3	2	1	2	2	3	1	2	2	2	23
不良ゾンデ数	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1

## 4. オゾン観測

### 4.1. 概要

オゾン観測は, ドブソンオゾン分光光度計を用いた全量・反転 (高度分布) 観測, ECC-06G (E) 型オゾンゾンデ (以下「オゾンゾンデ」) 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濃度の連続観測を行った. 全量・反転観測及びオゾンゾンデ観測は気象棟で, 地上オゾン濃度観測は清浄大気観測室にて観測を行った. オゾン観測で使用した観測機材を表 14 に示す.

オゾン全量観測結果, オゾン反転観測結果及びオゾンゾンデ観測結果は, 電子メールで毎月気象庁へ報告した. 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 (WOUDC) へ送られた. また, オゾンホール時期 (8 月から 12 月) には, WMO 事務局の要請により気象庁経由でオゾン全量及びオゾンゾンデ観測結果を数日ごとに WMO 事務局へ報告した. 報告した観測結果は, WMO Antarctic Ozone Bulletin としてまとめられ, 世界の関係機関に配布された. また, オゾン全量データは, 観測を休止した極夜期間を除き, CREX 報 (気象庁, 1997) により GTS 回線を通じて毎日 1 回通報した.

表 14 昭和基地におけるオゾン観測器材.

Table 14. Instruments and 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	備考	
オゾン全量・反転観測	ドブソン 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、測定に適切な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	GPS ゾンデ	RS-06G(E)	気圧	1050~3 hPa	RS-06G型GPSゾンデと同等(表12参照)
			気温	+40~-90°C	
			湿度	1~100%RH	
			風向 風速	0~360° 0~200 m/s	
地上オゾン 濃度観測	ECC型 オゾンセンサ	IZ	mPa	飛揚前点検で性能確認・ポンプ効率修正係数を計算 反応液(ヨウ化カリウム溶液)	
	気球	T2000		2000g気球 標準浮力:3000g	
	巻下器			50m	
地上オゾン 濃度観測	オゾン濃度計	EBARA EG3000F No.9020075 No.9020077	0~200 ppbv	紫外線吸収法, 最小感度0.1 ppbv, 15秒サンプリング	

地上オゾン濃度の観測結果も同様に、電子メールで毎月気象庁へ報告し、定められた書式により、気象庁からWMO温室効果ガス世界資料センター(WDCGG)へ送られた。

## 4.2. オゾン全量観測

### 4.2.1. 観測方法と測器

オゾン観測指針 オゾン全量・反転観測編(気象庁, 1991)に準じ、ドブソンオゾン分光光度計(Beck122)を用いて、太陽の直射光・天頂散乱光及び月の直射光による観測を行った。測器の保護のため、降雪や強風時は観測を実施しなかった。

太陽光による観測は北中時と午前・午後各2回の毎日5回実施を基本とし、午前・午後の観測時刻はオゾン層を通過する太陽光線の垂直路程に対する相対的な路程(以下、「 $\mu$ 」)により決定した。太陽高度が高い時期については、 $\mu=1.5 \cdot 2.5 \cdot 3.5$ の時刻にAD波長組(A波長組:平均波長305.5nmと325.0nm, D波長組:平均波長317.5nmと339.9nm)を、太陽高度が低い時期については、 $\mu=4.5 \cdot 5.5 \cdot 6.5$ の時刻にCD波長組(C波長組:平均波長311.5nmと332.4nm, D波長組:平均波長317.5nmと339.9nm)を、それぞれ用いて観測を行った。太陽北中時の $\mu$ が6.5を上回る時期については、 $\mu \leq 7.0$ の範囲でCD波長組の天頂散乱光観測のみ実施した。オゾン全量の測定限界となる $\mu$ の値は、測器によって異なる上にオゾン全量やエアロゾル全量の多寡によっても変化するため、現地で数時間にわたり太陽直射光の連続観測を行うことで決定した。

太陽光による観測ができない冬期には、月齢が7から23の範囲で $\mu$ が小さい時刻を中心にAD波長組を用いて月光による観測を行った。その前後の期間には、比較観測として太陽光による観測と月光による観測を同日に行い、月光による観測結果の品質管理を行った。

#### 4.2.2. 観測経過

ドブソンオゾン分光光度計は、第 52 次隊で国内から持ち込んだ Beck122 を引き続き使用した。この Beck122 は第 51 次隊までの Beck119 同様、改良型自動制御方式（宮川，2007）により制御，観測を行う装置である。

越冬中は長期にわたる測器障害もなく，おおむね順調に観測を行った。

月別オゾン全量観測日数を表 15 に示す。5 月から 8 月は太陽高度角が低いため観測可能日数が少ない。6 月から 7 月は極夜期のため月光観測のみを行ったが，観測可能な月齢や  $\mu$  の条件が揃う日数は月に 10 日間程度であり，実際の観測日は天候によりさらに少なくなった。

#### 4.2.3. 観測結果

2012 年 1 月から 2013 年 1 月のオゾン全量日代表値の年変化を図 15 に示す。昭和基地上空のオゾン全量は，8 月下旬からオゾンホールが目安となる 220 m atm-cm を下回りはじめ，9 月 23 日に 2012 年の最小値である 176 m atm-cm を記録した。これは 1990 年以降では 2002 年に次いで 2 番目に大きい値であった。9 月中旬以降は，オゾンホールが大気擾乱によって移動または変形することに対応して昭和基地がオゾンホールの外側に位置する日も多く，オゾン全量が 220 m atm-cm を上回ることが多くなった。最後に下回ったのは 11 月 5 日であり，1990 年以降では 2002 年，1994 年，2009 年に次いで 4 番目に早かった。11 月 6 日以降は 220 m atm-cm よりも高くなり，オゾン全量が回復した。

昭和基地における月平均オゾン全量の経年変化を図 16 に示す。2 月の月平均オゾン全量

表 15 昭和基地における月別オゾン全量観測及びオゾン反転観測日数。

Table 15. Days of total ozone observations and ozone Umkehr observations with the Dobson spectrophotometer at Syowa Station.

	2012 年											2013 年	
	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月	1月	合計
全量観測日数 (太陽光) *1	28	23	22	0	-	-	12	28	30	29	20	31	231
全量観測日数 (月光) *1	-	1	1	2	5	5	3	0	-	-	-	-	18
反転観測日数 (ロング) *2	12	3	-	-	-	-	-	3	13	14	0	8	53
反転観測日数 (ショート) *2	0	0	3	-	-	-	2	12	0	0	0	0	17

注) 「-」はオゾン全量観測またはオゾン反転観測が実施不可能な月。

\*1: 同日に太陽光と月光があった場合の全量観測日数は、それぞれの日数に加算。日代表値を取らない観測日も含む。

\*2: 同日にロングとショートがあった場合の反転観測日数は、ロングの日数に加算。



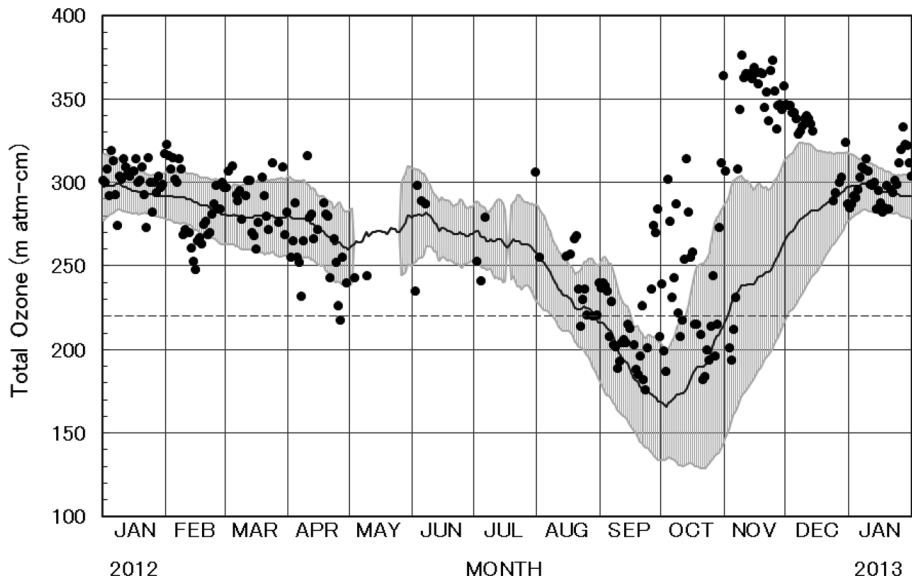


図 15 昭和基地におけるオゾン全量日代表値の年変化 (2012 年 1 月～2013 年 1 月). 陰影部は参照値 (1994 年～2008 年) とその標準偏差 ( $\pm\sigma$ ) を, 破線はオゾンホールの目安である 220 m atm-cm の値を示す.

Fig. 15. Annual variations in total ozone at Syowa Station (Jan. 2012–Jan. 2013). The average and standard deviations ( $\pm\sigma$ ) of the 1994–2008 period are shown for comparison in light gray. The dashed line shows 220 m atm-cm.

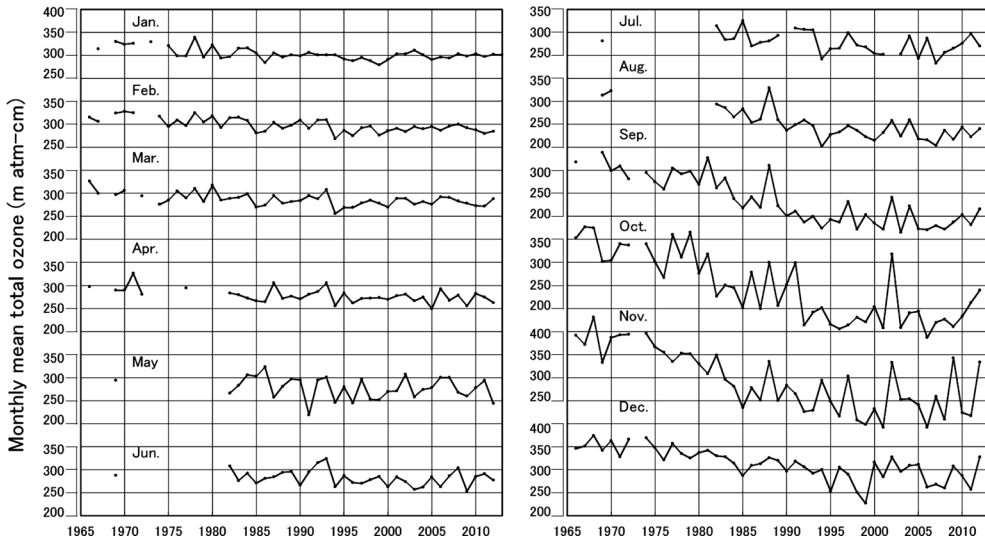


図 16 昭和基地における月平均オゾン全量の経年変化 (1966 年 2 月～2013 年 1 月).

Fig. 16. Time series of monthly mean total ozone at Syowa Station (Feb. 1966–Jan. 2013).

(285 m atm-cm) は過去 7 番目, 4 月の月平均オゾン全量 (263 m atm-cm) は過去 5 番目及び 5 月の月平均オゾン全量 (244 m atm-cm) は過去 2 番目に少なかった.

### 4.3. オゾン反転観測

#### 4.3.1. 観測方法と測器

オゾン観測指針 オゾン全量・反転観測編 (気象庁, 1991) に準じ, ドブソンオゾン分光光度計 (Beck122) を用いて, 天頂散乱光の ACD 波長組を連続して観測した. 観測は, ロング反転観測では太陽天頂角が  $60^\circ$  から  $90^\circ$ , ショート反転観測では  $80^\circ$  から  $89^\circ$  の範囲について, 指定された天頂角の晴天天頂光観測値が得られた時に成立する. 観測結果の即時的な品質管理を行うため, 天頂雲検出器 (宮川・上野, 2008) を測器に取り付けて運用した.

#### 4.3.2. 観測経過

測器の状況は 4.2.2. に記述したとおりであり, おおむね順調に観測を行った.

月別反転観測日数と観測種別ごとの内訳を表 15 に示す. 太陽高度角が低い (または太陽が昇らない) 4 月下旬から 8 月中旬及び太陽が沈まない 12 月上旬から 1 月上旬は, オゾンの高度分布を算出するの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. 観測が可能な期間では午前と午後で 1 日 2 回の観測が可能であり, 可能な限り観測を行った.

#### 4.3.3. 観測結果

2012 年 1 月から 2013 年 1 月のオゾン反転観測 (ロング反転観測) による気層別オゾン量を図 17 に示す. 2012 年 4 月から 8 月及び 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. 計算アルゴリズムは, Petropavlovskikh *et al.* (2005) の手法を用いている. また, データの品質管理のために, 準器との比較観測に基づく測器の特性評価から測定値を補正している (Miyagawa *et al.*, 2009).

第 2・3・4・5 層 (253–15.8 hPa) のオゾン量は, 9 月中旬から 11 月上旬にかけて少ない状態で推移したが, これはオゾンホールが発生していた期間とほぼ一致する. 一方, 同期間の第 6・7 層 (15.8–3.96 hPa) はオゾン量が多い傾向が見られた. このことから, 同期間における北からの大気の流れは, 特に第 6・7 層 (15.8–3.96 hPa) への影響が大きいことがわかる. 11 月中旬以降はオゾンホールによる影響は解消した.

### 4.4. オゾンゾンデ観測

#### 4.4.1. 観測方法と測器

オゾンゾンデ観測指針 [ECC 型編] (気象庁, 2010) に準じ, ECC 型オゾンゾンデを気球に吊り下げ, 上空約 35 km までのオゾン分圧, 気圧, 気温, 気温が  $-40^\circ\text{C}$  を下回るまでの湿度, 風向及び風速の高度分布を観測した. オゾンゾンデは高層気象観測用の GPS ゾンデとオゾン測定用のオゾンセンサを組み合わせて使用した. 大気中に含まれるオゾンと反応液 (ヨ

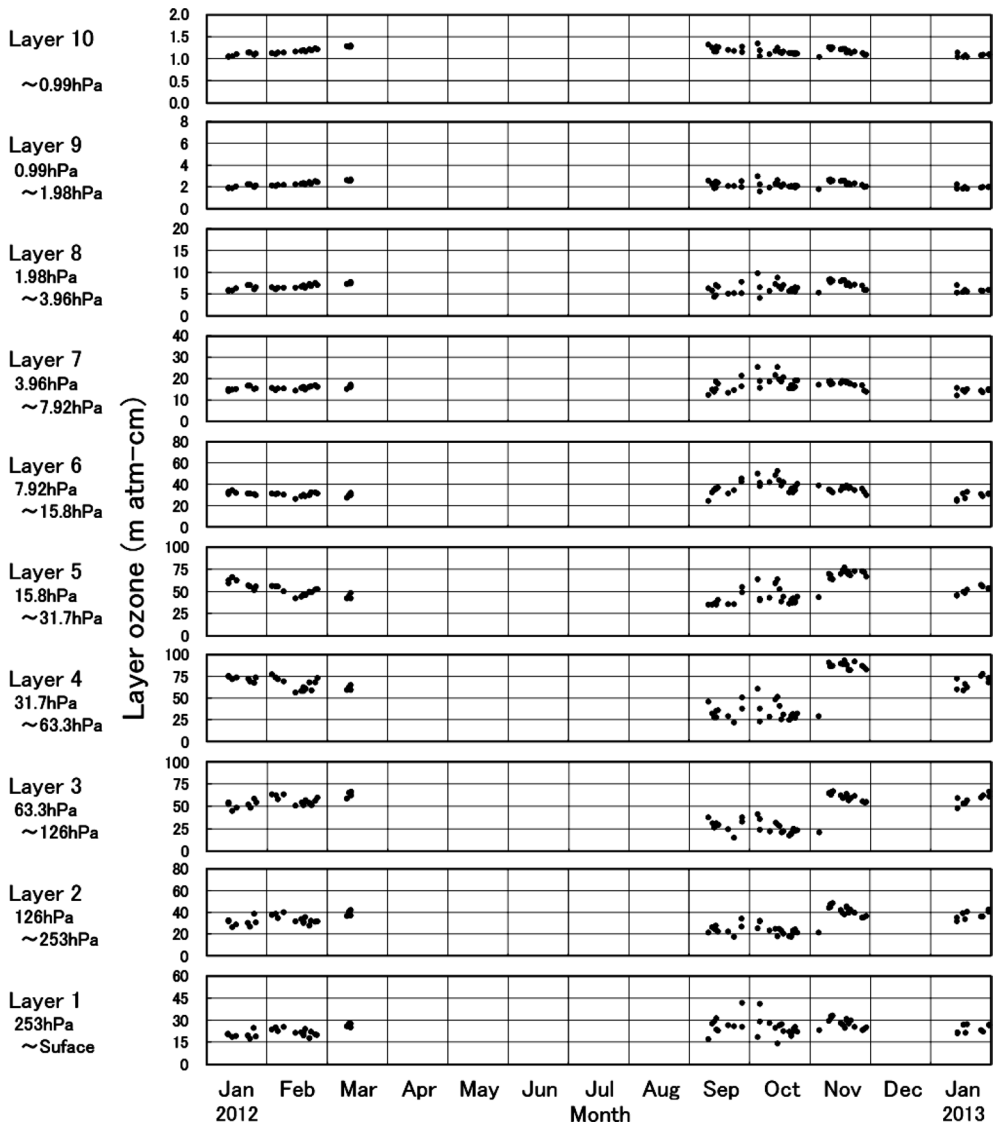


図 17 昭和基地における反転観測による気層別オゾン量 (2012 年 1 月~2013 年 1 月).  
 Fig. 17. Amount of ozone in the selected layers obtained by Umkehr observations at Syowa Station (Jan. 2012-Jan. 2013).

ウ化カリウム溶液) との化学反応の際に生ずる反応電流はオゾン量に比例するため、それ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を受信する地上設備は、高層気象観測と同じものを使用した。オゾンゾンデ飛揚前には、ポンプ効率測定装置 (中野・岩野, 2008) を用いて気圧に対するポンプ流量の補正係数 (ポンプ効率修正係数) を求め、さらに、オゾンゾンデ点検装置を用いて性

能の確認を行った。気球は2000gのゴム気球を使用し、ヘリウムガスを充填して浮力錘浮力を3000g（巻下器使用時は3200g）とした。また、4月から11月の到達高度が低くなる期間は、高層気象観測と同様に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6月から8月には、反応液の凍結を防ぐために、第52次隊（久光ほか、2016）に引き続き内部にウォーターバッグを入れて保温するなどの低温対策を行った。また、第53次隊では上記に加えて、オゾンセンサの発泡スチロール筐体内の熱放射による温度低下を緩和するために、アルミシートを入れる対策を行った。

観測は原則として、風が弱く晴天の日を選び、12UTCの高層気象観測を兼ねて各月の旬ごとを目安に行い、オゾンホール時期（8月から12月）には4-6日ごとを目安にして飛揚間隔を密にした。

#### 4.4.2. 観測経過

第53次隊ではオゾンゾンデを54台飛揚した。オゾンゾンデの観測状況を表16に示す。全ての観測において、おおむね順調にデータを取得することができた。

#### 4.4.3. 観測結果

2012年2月から2013年1月までのオゾン分圧の月別高度分布を図18に示す。オゾン分圧は2-8月は100-30hPa付近で10mPa以上となっていたが、9月と10月はオゾンの破壊が進み10mPa未満となった。その後、上層からオゾンの回復が進み、12月にはほぼ回復した。

なお、100-30hPa付近のオゾン分圧は8月~12月を通して累年平均より高く推移した。このことは、ドブソンオゾン分光光度計によるオゾン全量観測値（図15）とも対応している。

表 16 オゾンゾンデ観測状況.

Table 16. Dates of observations and attained heights of ozonesonde.

年 月	2012年											
	2月		3月		4月		5月		6月		7月	
日 観測	4	16.1	7	5.1	6	4.8	8	23.9	4	15.9	3	12.3
終了	13	6.9	14	5.6	15	10.6	17	9	19	13	7	6
気圧 (hPa)	24	6.6	31	17.6	26	155.5	25	44.2	26	7.6	19	8.6
											24	12.1
年 月	2012年						2013年					
	8月		9月		10月		11月		12月		1月	
日 観測	1	4.6	3	5.4	2	5	1	27.4	3	10	5	121.3
終了	6	4.7	7	4.2	9	5.7	5	12.6	9	4.8	13	5.7
気圧	15	5.8	11	5.5	14	7.7	9	4.3	16	13	18	11.2
(hPa)	20	5.1	15	7.1	22	7.2	13	12.8	21	4.7	24	5.4
	23	4.7	19	23.5	29	6.5	17	13.3	27	5.5		
	30	5.1	23	9.7			21	5.7				
			27	6.8			25	8.4				
							29	24				

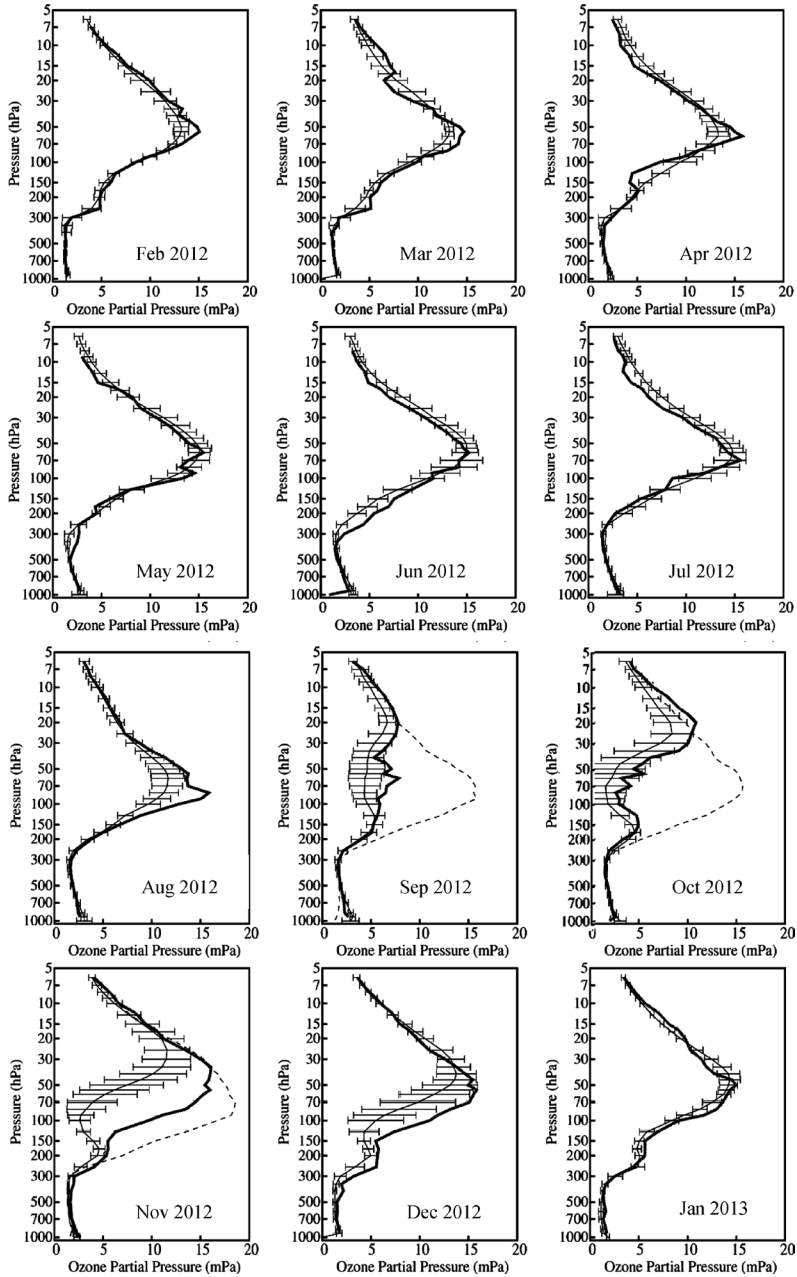


図 18 昭和基地におけるオゾン分圧の高度分布 (2012 年 2 月～2013 年 1 月). 太実線は月平均オゾン高度分布. 細実線は 1994 年～2008 年の累年平均オゾン高度分布, 横細実線は標準偏差. 破線はオゾンホール発生前 (1968 年～1980 年) のオゾン高度分布 (9～11 月のみ).

Fig. 18. Vertical distribution of ozone partial pressure observed by ozonesonde at Syowa Station (Feb. 2012–Jan. 2013). Thick lines show monthly mean profiles. Thin lines show normal profiles (1994–2008). Horizontal thin lines show standard deviation. Broken lines (only Sep.–Nov.) show monthly mean profiles before the first appearance of the ozone hole (1968–1980).

## 4.5. 地上オゾン濃度観測

### 4.5.1. 観測方法と測器

第 38 次隊 (1997 年 1 月) より開始した地上オゾン濃度観測 (江崎ほか, 2000) を引き続き行った。観測は, 第 49 次隊より基地の中で主風向の風上側となる北東側に位置する清浄大気観測室で行っており (図 1 ⑥の位置), 同建物主風向側 (北東側) の地上から 4m の高さに設置してある大気取入口からテフロン配管を通して大容量ポンプで地上付近の大気を吸引し, さらにオゾン濃度計内のポンプにより流量毎分 1.5 リットルでオゾン濃度計に取り入れて, 地上付近の大気に含まれる微量のオゾンを紫外線吸収方式のオゾン濃度計 (荏原実業社製 EG-3000F) で 15 秒ごとに測定した。データは収録用 PC 内のハードディスク及び外付けハードディスクに収録した。

オゾン濃度計は 1 年ごとに国内での点検や較正が必要なため 4 台で運用しており, 昭和基地には観測現用器と予備器の 2 台を保有し, 残りの 2 台は帰国隊が国内に持ち帰り, 次の隊がオーバーホール及び気象庁本庁での較正を行った後, 再び昭和基地に持ち込んでいる。第 53 次隊では, 第 51 次隊で更新した荏原実業社製のオゾン濃度計 (佐々木ほか, 2015) 2 台を持ち込み, 第 52 次隊が昭和基地に持ち込んで使用していた Dylec 社製の 2 台のオゾン濃度計との相互比較を行った後に, 観測に使用した。

### 4.5.2. 観測経過

2011 年 12 月 30 日から 2012 年 2 月 1 日まで, 第 53 次隊で持ち込んだオゾン濃度計 2 台 (EBARA EG-3000F 測器番号: 9020075, 9020077) と第 52 次隊で使用したオゾン濃度計 2 台 (Dylec MODEL1100 測器番号: A-1781-1, A-1781-2) に, オゾン発生器により発生させた一定のオゾン濃度ガスを各濃度計に流して出力を比較する相互比較及び実際に観測する大気を流して各濃度計の出力を比較する比較観測を行った。その結果, 濃度計間の出力の差が  $\pm 2$  ppb 以内であることを確認したため, 2 月 1 日以降は 9020075 を現用器とした。

7 月 26 日から 27 日にかけて 9020075 と 9020077 との相互比較及び比較観測を行い, 濃度計間の出力の差が  $\pm 2$  ppb 以内であることを確認したため, 8 月 1 日から 9020077 を現用器とした。

12 月 23 日に年 1 回の保守として, 観測装置内の全てのテフロン配管, ドレンポット, 大気吸引フィルター, 大容量ポンプダイヤフラムの交換を実施した。

年間を通した保守として, オゾン濃度計手前のテフロンフィルターは 2, 3 ヶ月に 1 回交換した。また, プリザード後, 大気取入口に雪が詰まった場合には, 大気取入口を交換し, 取り外した大気取入口は洗浄して予備として保管した。プリザードによる雪詰まりの影響を受けた期間や, 風向等から明らかに基地内の汚染の影響を受けたと判断した期間は欠測とした。

#### 4.5.3. 観測結果

2012年2月から2013年1月までの地上オゾン濃度時別値を図19に示す。時別値は明らかに基地周辺の汚染の影響を受けたと思われるデータを除いた全ての15秒値を前1時間分平均して求めた。

昭和基地における地上オゾン濃度は、例年、夏季に濃度が低く、冬季に高くなるという季節変化を示し、極夜明けから2月頃にかけてデータのばらつきが大きくなる傾向にあるが、第53次隊でも同様の傾向が見られた。また、南極や北極の高緯度地域では、極夜明けの春季に大気中の海塩粒子、積雪、海水中の海塩成分から放出された海塩起源の物質の影響で、地上付近のオゾンが分解され、その濃度が急減することが知られている（青木, 1997; 江崎ほか, 2000; 江崎ほか, 2010; 江崎ほか, 2013）。第53次隊でも7月から9月にかけて同様の現象が観測された。

#### 4.6. 2012年のオゾンホールの特徴

米国航空宇宙局（NASA）のオーラ（Aura）衛星に搭載されているオゾン監視装置（OMI）が観測したデータによると、2012年のオゾンホールは、例年と同様に8月に発生したが、過去（2002年～2011年）の同時期と比べて小さい規模で推移し、最大面積は9月22日に観測された2080万km<sup>2</sup>（南極大陸の約1.5倍）に留まった。その後、オゾンホールの面積は9月末から減少しはじめ、同様に過去（2002年～2011年）の同時期と比べて小さい規模で推移し、11月上旬以降には急速に縮小して11月16日に消滅した。オゾン欠損量は9月22日

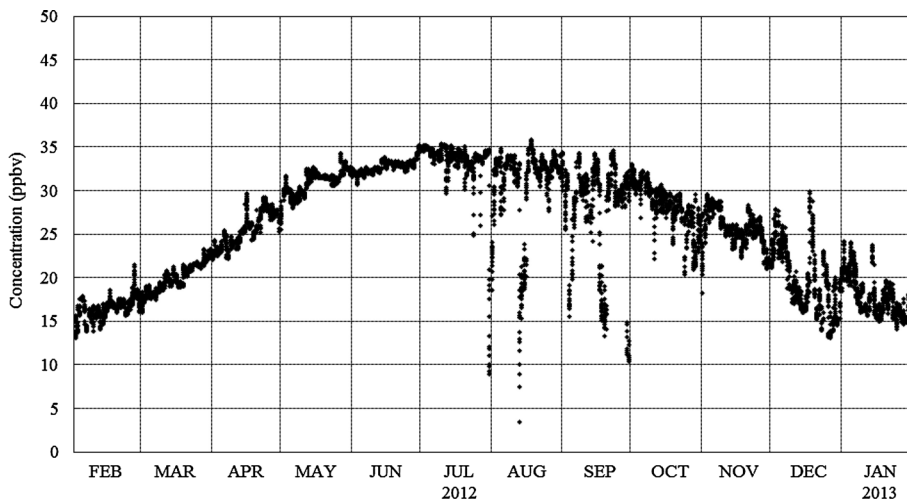


図 19 昭和基地における地上オゾン濃度時別値の時系列図（2012年2月～2013年1月）。  
Fig. 19. Time series of hourly mean surface ozone concentrations at Syowa (Feb. 2012–Jan. 2013).

に年最大値である 6810 万 t に、最低オゾン全量は 10 月 1 日に 123 m atm-cm となった。

2012 年の最大面積は、1990 年代以降で最も小さかった。2012 年のオゾン欠損量の年最大値は、1990 年代以降では 1990 年、2002 年に次いで 3 番目に小さく、最低オゾン全量の年最低値は、2002 年に次いで 2 番目に高かった。

2012 年のオゾンホール規模の年最大面積が 1990 年代以降で最も小さかったことは、極域成層圏雲が出現する目安となる  $-78^{\circ}\text{C}$  以下の領域の面積が、7 月から 8 月にかけて平年よりも小さかったこと、南半球冬季の対流圏における例年より活発な波活動の影響で低緯度側のオゾン量の多い空気塊の流入が促進され、オゾンホールの発達が妨げられたことに対応している（気象庁、2013）。

## 5. 地上日射放射観測

### 5.1. 概要

地上日射放射観測は WMO の基準地上放射観測網（BSRN: Baseline Surface Radiation Network）の観測点としての条件を満たすため、従来の全天日射量、直達日射量及び大気混濁度に加え、第 32 次隊（1991 年）より散乱日射量、下向き赤外放射量（長波長放射量）及び紫外域日射量の観測を開始し、第 39 次隊（1998 年）より毎秒サンプリングでの反射日射量、上向き赤外放射量（長波長放射量）、反射紫外域日射量及び放射収支量の観測を開始した。これに伴い、第 40 次隊（1999 年）より大気混濁度を除いて、データサンプリングを毎秒に変更した。大気混濁度観測については、第 52 次隊（2011 年）より測器を変更した。第 53 次隊ではこれらの観測システムにより第 52 次隊から引き続き観測を行った。

波長別紫外域日射観測は南極用に整備されたプリューワー分光光度計 MK III（伊藤・宮川、2001）を用いて行った。第 53 次隊では、国内で調整されたプリューワー分光光度計 MK III 209 号機を持ち込み観測に用いた。また、プリューワー分光光度計 MK III 及び MK II の精密な較正のために、可搬型の NIST（米国国立標準技術研究所）ランプ検定装置（伊藤ほか、2007）を一式持ち込んだ。

観測の種類と使用した測器を表 17 に示す。

### 5.2. 下向き日射放射観測

#### 5.2.1. 観測方法と測器

観測項目及び特記事項は以下のとおりである。データは 1 秒ごとにデータロガーで収集した後に品質管理を行い、異常データについては欠測処理を行った。観測場所は気象棟前室屋上及びその北側に棟続きで隣接する観測デッキ上である（図 1 ①の位置）。

- (a) 精密全天日射計を用いた全天日射量の連続観測
- (b) 直達日射計を用いた直達日射量の連続観測



表 17 昭和基地における地上日射放射観測の種類と使用測器。  
Table 17. 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	KIPP&ZONEN CM21T	305-2800 nm	041258	0.01 MJ/m <sup>2</sup>	1 秒
	直達日射量 (大気混濁度)	直達日射計 太陽追尾装置	KIPP&ZONEN CH1, CHP1	200-4000 nm	990198 010276 090043	0.01 MJ/m <sup>2</sup>	1 秒
	散乱日射量	精密全天日射計 太陽追尾装置 遮へいポール	KIPP&ZONEN CM21T	305-2800 nm	980520 000738	0.01 MJ/m <sup>2</sup>	1 秒
	紫外域日射量	全天型 紫外域日射計	KIPP&ZONEN UVS-AB-T	280-315 nm	030619 030621	0.01 kJ/m <sup>2</sup>	1 秒
	下向き 赤外放射量 (長波長放射量)	精密赤外放射計 太陽追尾装置 遮へいポール	KIPP&ZONEN CG4	4.5-42 $\mu$ m	050798 030642	0.01 MJ/m <sup>2</sup>	1 秒
上向き 放射	反射日射量	精密全天日射計 遮へいリング	KIPP&ZONEN CM21T	305-2800 nm	990574 970397	0.01 MJ/m <sup>2</sup>	1 秒
	反射紫外域 日射量	全天型 紫外域日射計 遮へいリング	KIPP&ZONEN UVS-AB-T	280-315 nm	050635	0.01 kJ/m <sup>2</sup>	1 秒
	上向き 赤外放射量 (長波長放射量)	精密赤外放射計	KIPP&ZONEN CG4	4.5-42 $\mu$ m	010565	0.01 MJ/m <sup>2</sup>	1 秒
その他	放射収支量	放射収支計	KIPP&ZONEN CNR1	305-2800 5-50 nm $\mu$ m	020444	0.01 MJ/m <sup>2</sup>	1 秒
	大気混濁度	サンフォトメータ 太陽追尾装置	PMOD PFR	368 412 500 862 nm	08-N-055		60 秒
	波長別 紫外域日射量	ブリュワー 分光光度計	SCI-TEC BREWER MK III SCI-TEC BREWER MK II	290-325 nm	#209 #091	1 $\mu$ W/m <sup>2</sup>	1 時間

直達日射計感部は太陽追尾装置に搭載した。また、オゾン全量観測時刻付近で、太陽面に雲がかかっていない観測値を選び、ホイスナー・デュボアの混濁係数を求めた。

(c) 精密全天日射計を用いた散乱日射量の連続観測

太陽追尾装置に搭載した精密全天日射計と遮へいポールにより観測した。遮へいポールは直達日射計の開口角と同等の視直径の黒色球体で、太陽追尾装置に搭載することにより太陽からの直射光を遮り、散乱光のみを観測するための装置である。

(d) 全天型紫外域日射計を用いた紫外域日射量の連続観測

全天型紫外域日射計は、測定波長に依存した測器感度の経時変化が指摘されている（伊藤，2005；柴田ほか，2000）。このため、測器感度の変化を追跡するために、広帯域（全天型）紫外域日射計用の外部標準ランプ点検装置（伊藤・高野，2006）による外部標準ランプ点検を実施したが、点検結果には点検時の天候等による影響を受けたデータが含まれていた。このため、データの処理にあたっては、基準となるブリュワー分光光度計による紫外域日射

量との比較により、測器定数を月ごとに求め、補正する方法（柴田ほか，2000）をとった。

#### (e) 精密赤外放射計を用いた下向き赤外放射量（長波長放射量）の連続観測

散乱日射量の連続観測と同様に太陽からの直射光を遮るために、太陽追尾装置に搭載した精密赤外放射計と遮へいポールにより観測した。

#### 5.2.2. 観測経過

2012年2月1日に第52次隊から観測を引き継ぎ、第53次隊のデータ収録を開始した。

極夜明けから気象棟前室屋上にある太陽追尾装置が太陽追尾不良を起こしていたため、8月1日に太陽追尾装置を交換した。この作業に伴い、散乱日射量観測用の精密全天日射計と直達日射観測が約1時間欠測となった。11月4日夜に下向き赤外放射量観測用の精密赤外放射計の信号ケーブルの一部が断線しデータに異常が発生していたので、11月5日に信号ケーブルの交換を行った。

これらの他は、おおむね順調であった。

#### 5.2.3. 観測結果

下向き日射放射の各量（全天日射量、直達日射量、散乱日射量、下向き赤外放射量及び紫外域日射量）の日積算値の年変化を図20に示す。

2012年の下向き日射放射観測は、各観測項目とも例年とほぼ同様な年変化であった。全天日射量は太陽高度が低くなるほど減少し、太陽が昇らない冬季には $0\text{ MJ/m}^2$ となっているが、下向き赤外放射量については、冬季においてもおおむね $10\text{ MJ/m}^2$ 以上の放射量が観測された。これは日射のない極夜期の気象分子や雲からの放射によるものである。紫外域日射量については、全天日射量とおおむね同様の傾向が見られているが、10月下旬～11月上旬辺りで日積算値が急落し、12月にかけての上昇の傾きも小さくなった。これは図15に見られる上空のオゾン全量の変化と逆の傾向を示しており、この期間の紫外線量の変化が上空のオゾン量によることを反映している。

### 5.3. 上向き日射放射観測

#### 5.3.1. 観測方法と測器

観測項目及び特記事項は以下のとおりである。観測場所は観測棟下の海水上であり、第46次隊により新設された観測架台を第53次隊でも引き続き使用した（図1⑤の位置）。データは下向き日射放射同様、1秒ごとにデータロガーで収集した後に処理した。

#### (a) 精密全天日射計を用いた反射日射量の連続観測

太陽高度角が低い時に測器感部への太陽直射光の入射を防ぐため、第45次隊が持ち込み運用を開始した遮へいリングを引き続き運用した。

#### (b) 全天型紫外域日射計を用いた反射紫外域日射量の連続観測

データ処理は、下向き紫外域日射量の観測と同様に行った。反射日射量の観測と同様に、

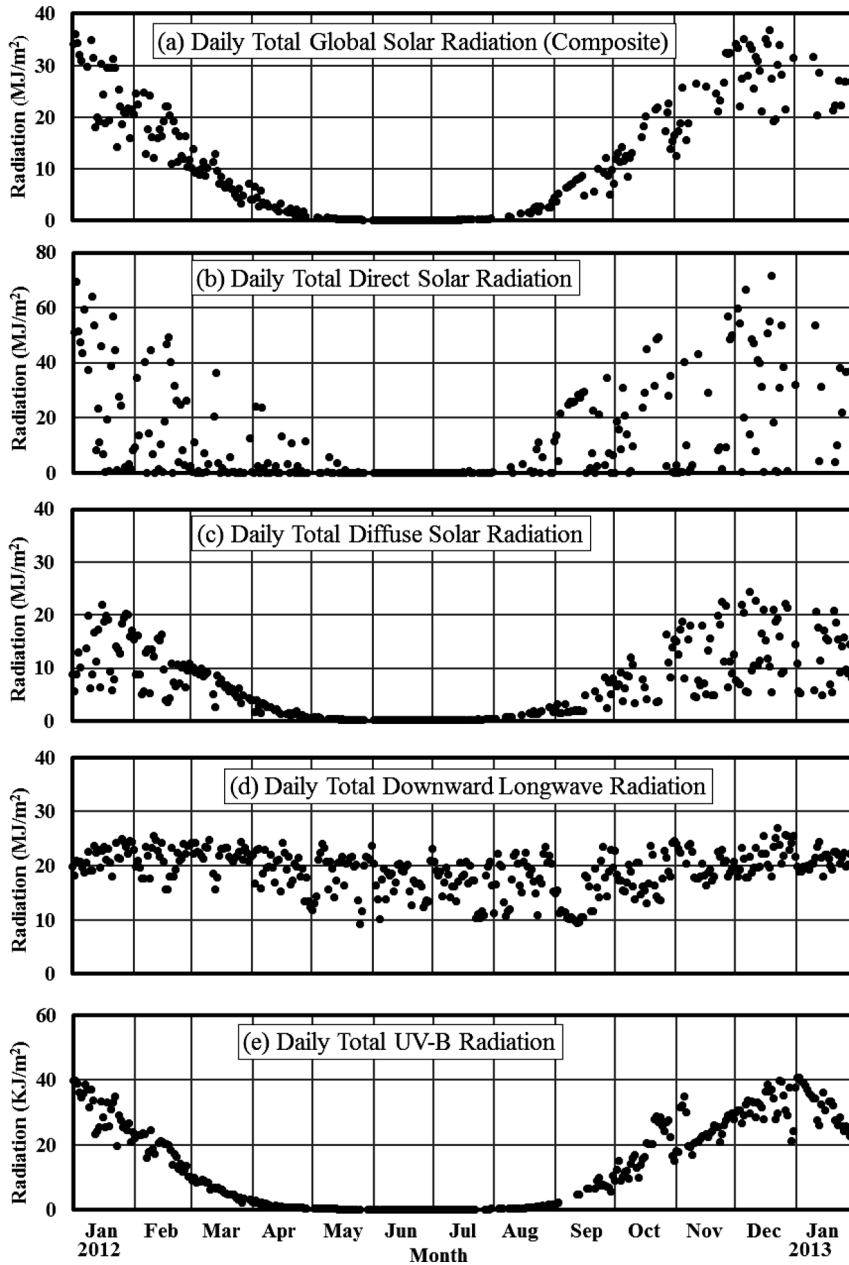


図 20 昭和基地における下向き日射放射量日積算値の年変化 (2012 年 1 月～2013 年 1 月). (a) 全日射量, (b) 直達日射量, (c) 散乱日射量, (d) 下向き赤外放射量, (e) 紫外域日射量.

Fig. 20. Annual variations in daily integrated values of downward radiation components at Syowa Station (Jan.2012–Jan.2013). (a) Daily total global solar radiation (Composite), (b) Daily total direct solar radiation, (c) Daily total diffuse solar radiation, (d) Daily total downward longwave radiation, (e) Daily total UV-B radiation.

第 47 次隊が持ち込み運用を開始した遮へいリングを引き続き運用した。また、測器感度の変化を追跡するため、下向き日射放射観測と同様に外部標準ランプ点検を実施し、データの補正に使用した。

(c) 精密赤外放射計を用いた上向き赤外放射量の連続観測

(d) 放射収支計を用いた放射収支量の連続観測

### 5.3.2. 観測経過

2012 年 2 月 1 日に第 52 次隊から観測を引き継ぎ、第 53 次隊のデータ収録を開始した。

2 月 5 日に昭和基地で停電が発生したため、ロガーの電源オフオンなどの作業時にノイズが入り、約 7 分欠測となった。9 月 24 日、A 級ブリザードの強風により上向き日射放射観測のデータロガーが故障し、原因調査と予備ロガーとの交換が終了するまでの 9 月 24 日から 10 月 8 日は、上向き日射放射観測データが欠測となった。

上向き日射放射観測は、可視域及び紫外域では地表面からの反射、赤外域では地表面から射出される放射量を観測するため、観測領域内の地表面を覆う雪面の影響を受けやすい。この影響をできるだけ均一にするため、観測場所の雪面と測器受光面との距離をできるだけ一定となるように測器の高さを調整した。設置高については、短期間での降雪量やメンテナンスの容易性から 1.5 m 前後を測器の設置高の目安とし、実際には 1-2 m を通年で確保した。期間中における設置高の調整は、11 月 5 日に建築隊員と機械隊員の協力を得て実施し、また 2013 年 1 月 11 日には第 54 次気象隊員と引き継ぎを兼ねて実施した。

5.3.1 で述べたとおり、上向き用に設置した全天日射計と全天型紫外域日射計には、太陽直射光の入射を防ぐために遮へいリングが設置されているが、第 53 次隊の観測データにおいても太陽高度が低い極夜前後の時期では全天日射量と反射日射量との逆転が見られた。

全天型紫外域日射計の測器感度を監視するため、2012 年 4 月、7 月、10 月、12 月及び 2013 年 1 月に全天型紫外域日射計用の外部標準ランプ点検装置を用いて点検を実施した。

### 5.3.3. 観測結果

上向き日射放射量日積算値の年変化を図 21 に示す。

2012 年の上向き日射放射観測は、下向き日射放射観測と同じく例年とほぼ同様な年変化傾向であった。全天日射量に対する反射日射量の割合は、夏季で 7 割程度であるが、太陽高度が低くなるほどこの割合は増加し、極夜前後の時期では 9 割以上に達した。上向き赤外放射量は下向き赤外放射量と比較して日ごとのばらつきは小さいが、冬季は若干ばらつきが大きくなった。基本的には、反射日射量の観測場所は通年積雪に覆われており地表面の状態がほぼ同じであるために、ばらつきは小さくなる。ただし、冬季については天候の変化が激しく、それに伴い地表面温度の変化が増大するため、日積算値のばらつきも大きくなる。反射紫外域日射量については、下向きの紫外域日射量と同様、太陽高度の変化及びオゾン全量の変化に対応した年変化傾向を示し、10 月下旬～11 月上旬辺りで日積算値が急落し、12 月に

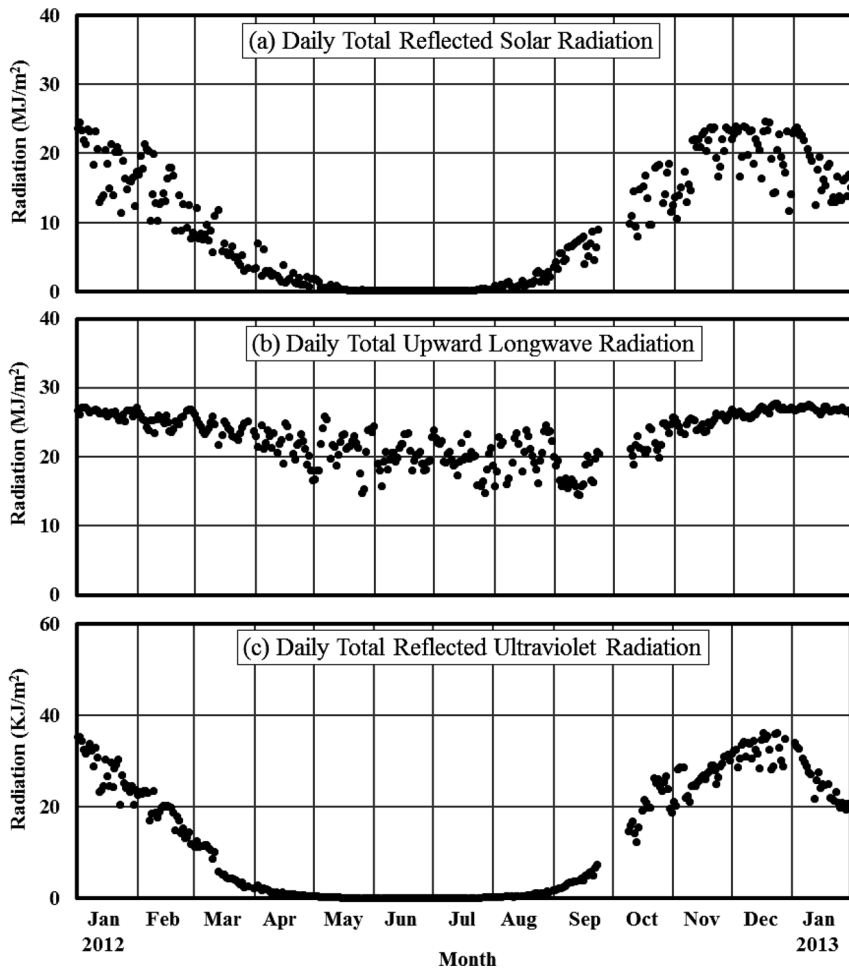


図 21 昭和基地における上向き日射放射量日積算値の年変化 (2012 年 1 月～2013 年 1 月). (a) 反射日射量, (b) 上向き赤外放射量, (c) 反射紫外域日射量.

Fig. 21. Annual variations in daily integrated values of upward radiation components at Syowa Station (Jan.2012–Jan.2013). (a) Daily total reflected solar radiation, (b) Daily total upward longwave radiation, (c) Daily total reflected ultraviolet radiation.

かけての上昇の傾きも小さくなった。これも昭和基地周辺の上空のオゾン全量の推移に起因している。

#### 5.4. 波長別紫外域日射観測

##### 5.4.1. 観測方法と測器

紫外域日射観測指針 (気象庁, 1993) に準じ, プリューワー分光光度計 MK III 209 号機を用いて, 290–325 nm (UV-B 領域と, UV-A 領域の一部の波長域) の範囲を 0.5 nm 間隔と

した波長別の紫外域日射量を観測した。測器の設置場所は、第 52 次隊と同様気象棟屋上である（図 1 ①の位置）。ブリザード等の強風時は、測器保護のために受光部に保護具を取り付けて観測を中断したが、特に風が強く測器本体に影響があると判断した場合には気象棟内に退避した。予備器であるブリューワー分光光度計 MK II 091 号機は第 52 次隊から引き続き気象棟内で作動させた。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、ブリューワー分光光度計 MK III 209 号機については 10 日に 1 回程度、ブリューワー分光光度計 MK II 091 号機については 1 ヶ月に 1 回程度の間隔で行った。

#### 5.4.2. 観測経過

まず、第 52 次隊から観測を引き継ぐ前に、第 53 次隊で持ち込んだブリューワー分光光度計（本項内において、以下「同」とする）MK III 209 号機の動作確認、及び第 52 次隊まで観測に用いていた同 MK III 168 号機との観測データの継続性を確認するための比較観測を実施した。その結果、動作は良好で両測器間の誤差が許容範囲内であることが確認された。その後、同 MK III 209 号機が不調となりメンテナンスを実施したため、2012 年 2 月 1 日までは同 MK III 168 号機による観測を継続した。2 月 2 日から同 MK III 209 号機による観測を開始し、観測データも同日より採用した。

同 MK III 209 号機は可動部が度々不調になったため、症状が軽い場合は応急的な措置で観測を継続し、強風による観測中断時に屋内に搬入しメンテナンスを実施した（2 月 10 日、4 月 25 日、6 月 27 日、7 月 23 日、9 月 25 日及び 9 月 29 日）。6 月と 7 月は可動部の不調による短時間の欠測が断続的に発生した。10 月 5 日には観測ができない状態になったため、大掛かりなメンテナンスを実施し、10 月 7 日に観測を再開した。12 月中旬より再度不調となったが、応急的に措置し観測を継続した。

2013 年 1 月 1 日から 18 日まで第 54 次隊が持ち込んだ同 MK III 168 号機との比較観測を実施し、両測器による観測データの継続性が確認された。2013 年 1 月 1 日以降は同 MK III 168 号機による観測データを採用し、1 月 19 日から同 MK III 209 号機の長期メンテナンスを開始した。このメンテナンスの継続を含め、2013 年 2 月 1 日に第 54 次隊に引き継いだ。

同 MK II 091 号機は、10 月 5 日に実施した同 MK III 209 号機メンテナンスの際に、部品取りするために動作を停止した。国内でメンテナンスするため、2013 年 1 月 28 日に昭和基地から「しらせ」へ搬出した。

また、NIST ランプ検定装置を用いて、9 月 3 日から 4 日にかけて同 MK II 091 号機の較正を、2013 年 1 月 21 日から 22 日にかけて同 MK III 209 号機の較正をそれぞれ実施し、測器常数を決定した。

#### 5.4.3. 観測結果

波長 5 nm ごとに積算した波長別紫外域日射量の日積算値とオゾン全量を図 22 に示す。各波長帯ともに日積算値はオゾン全量の影響を受けるが、長波長側はオゾン全量の影響が比較

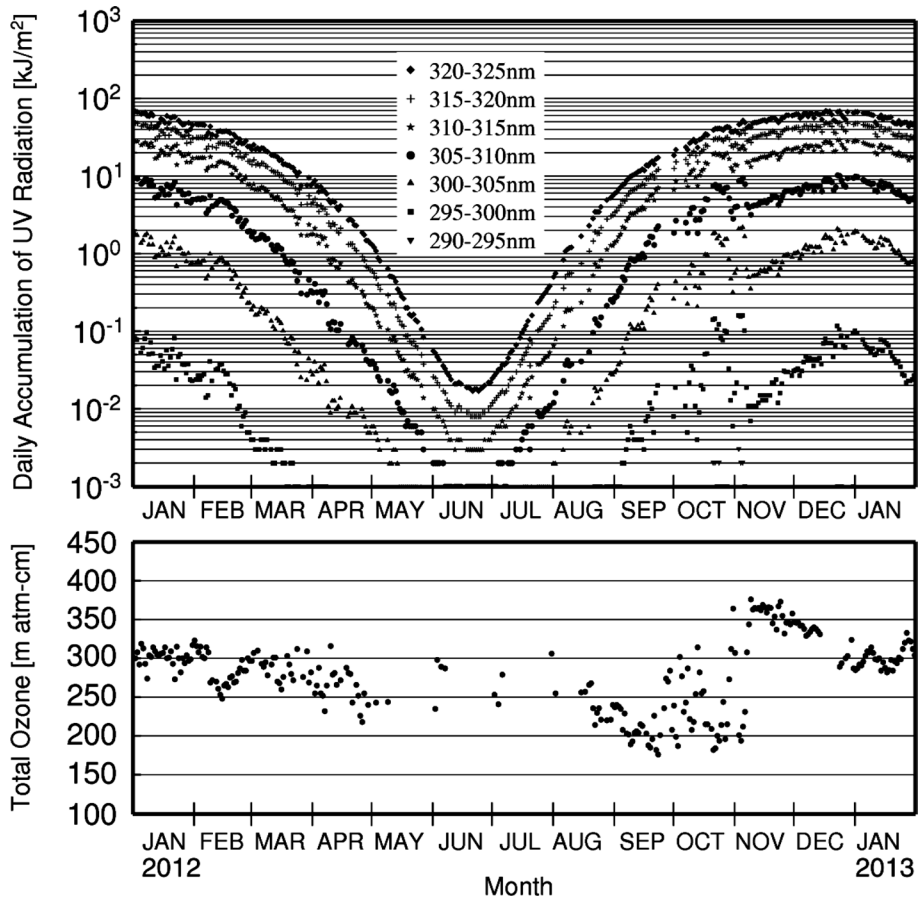


図 22 昭和基地における波長別紫外域日射量の日積算値（上図）とオゾン全量（下図）（2012年1月～2013年1月）。

Fig. 22. Daily accumulated ultraviolet radiation integrated for each wavelength band (above) and total ozone amount (below) at Syowa Station (Jan. 2012–Jan. 2013).

的小さく、年間最大値が現れる起日は太陽高度が高く日照時間が長い夏至（2012年は12月21日）に近くなる傾向がある。一方で短波長側は、太陽高度の高さや日照時間の長さよりもオゾン全量の影響を受けやすい。

2012年1月から2013年1月までの日積算値は、290–295 nmでは11月3日に、295–300 nm及び300–305 nmでは11月5日に最大となった。また、305–310 nmでは12月23日に、310–315 nm及び315–320 nmでは12月24日に、320–325 nmでは12月17日にそれぞれ最大となった。

290–295 nm, 295–300 nm, 300–305 nmの3波長帯それぞれの日積算値の最大値は、ブリューワー分光光度計 MK IIIによる観測開始以降の過去12年間（2001–2012年）では2002年に次

いで 2 番目に小さい値であり、過去 12 年間では 2002 年に次いでオゾンホールの影響が小さかった。また、衛星の観測データを用いたオゾンホールの面的な解析においても、オゾン欠損量及びオゾン全量の年最低値は 2002 年に次いでそれぞれ少ない値及び高い値を示し、昭和基地における紫外域日射観測値の傾向と一致している（4.6. 2012 年のオゾンホールの特徴参照）。

紫外線が人体に及ぼす影響の度合いを示すために、紫外線の強さを指標化したものとして、UV インデックスがある（環境省、2008）。昭和基地における 2012 年 1 月から 2013 年 1 月の日最大 UV インデックスの年変化を図 23 に示す。UV インデックスは、太陽高度が低くなるほど減少し、太陽が昇らない冬季には 0 となるが、変化傾向は波長別紫外域日射量の短波長側に近く、極夜明けの太陽高度が高くオゾン全量の少ない期間は非常に高くなる可能性がある。しかし、上述のとおり 2012 年は太陽高度の増加に比べてオゾン全量の回復が早かったため、UV インデックスは極夜明けに極端に高くはならず、夏至が近くオゾン全量がやや減少していた 12 月 23 日に最大となり 7.4 であった。この値は、WHO(2002)の指標では「HIGH（強い）」に相当する。2011 年には、同指標で「EXTREME（極端に強い）」にあたる 10.7 を記録しており、2つの指標の間に「VERY HIGH（非常に強い）」があることから、2011 年に比べて紫外線はかなり弱かったことがわかる。

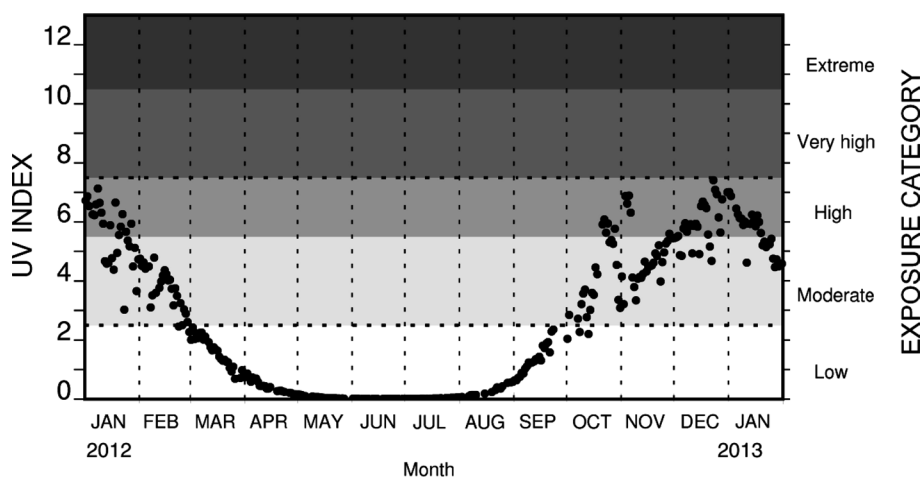


図 23 昭和基地における日最大 UV インデックスの年変化（2012 年 1 月～2013 年 1 月）。破線は必要とされる紫外線対策の目安を示す。2.5 までは対策不要、2.5 から 7.5 は対策が必要、7.5 以上は特に対策が必要とされる（WHO, 2002）。

Fig. 23. Annual variation of daily maximum UV index at Syowa Station (Jan. 2012–Jan. 2013). Broken lines show the levels which sun protection is required, “NO PROTECTION REQUIRED” under 2.5, “PROTECTION REQUIRED” from 2.5 to 7.5, and “EXTRA PROTECTION” over 7.5 (WHO, 2002).



## 5.5. 大気混濁度観測

### 5.5.1. 観測方法と測器

サンフォトメーター (Precision Filter Radiometer (PMOD/WRC, 2007), 以下「PFR」), 及び下向き日射放射観測の直達日射計の観測値を用いて大気混濁度観測を実施した. PFR はオゾン全量観測時刻付近で太陽面に雲がない時に波長別 (368, 412, 500, 862 nm の 4 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, 4 波長 (368–862 nm) の AOD からは, オングストロームの波長指数 Ångström  $\alpha$  (以下「 $\alpha$ 」), 及び混濁係数 Ångström  $\beta$  (以下「 $\beta$ 」) が求められる. AOD 算出に用いるレーリー散乱式中の定数については, 気象庁の大気混濁度観測と基準を合わせるため, 第 52 次隊と同様に 0.00864 を用いた (東島ほか, 2003). 直達日射計では全波長 (300–2800 nm) 域の大気混濁度観測を実施した.

### 5.5.2. 観測経過

2012 年 2 月 1 日に第 52 次隊から観測を引き継ぎ, 第 53 次隊のデータ収録を開始した.

5 月 1 日以降, 約  $-30^{\circ}\text{C}$  を下回る時には受光窓内部に着霜が見られたが, 観測に支障がない箇所であったため観測を継続した. また, データロガーと制御・データ収録用 PC との間で通信障害が何度か起きたが, PC を再起動させることで復旧した. なお, この間のデータはデータロガーに蓄積されるためデータの欠測はなかった. これら以外に大きな障害はなく, 順調に観測が行われた.

### 5.5.3. 観測結果

PFR による 4 波長の各 AOD 及び各波長の AOD から求めたオングストロームの波長指数  $\alpha$ , 及び混濁係数  $\beta$  の年変化を図 24 に示す. 2012 年は, 4 波長の AOD とオングストロームの波長指数  $\alpha$  が夏から秋にかけて減少し, 春から夏にかけて増加する傾向であった. これは, 夏から秋にかけては, 低気圧の接近機会の増加により海塩由来の比較的粒径の大きいエアロゾルが基地周辺に輸送されていることを示している. 一方で, 春から夏にかけては, 基地周辺での夏作業により, すす等の相対的に粒径の小さいエアロゾルが増加していることを示している.

直達日射計による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年変化を図 25 に示す. ホイスナー・デュボアの混濁係数は, 大気中の水蒸気の影響を受ける波長を含むため, 夏から秋にかけて小さくなり, 春から夏にかけて次第に大きくなる傾向がある. 2012 年も平年と同様の季節変化であった.

## 6. 天気解析

各国数値予報センター等で公表している各種天気図及び予想図, 気象衛星による雲写真, また, 昭和基地で得られる毎日の地上気象観測, 高層気象観測, ロボット気象計のデータ等

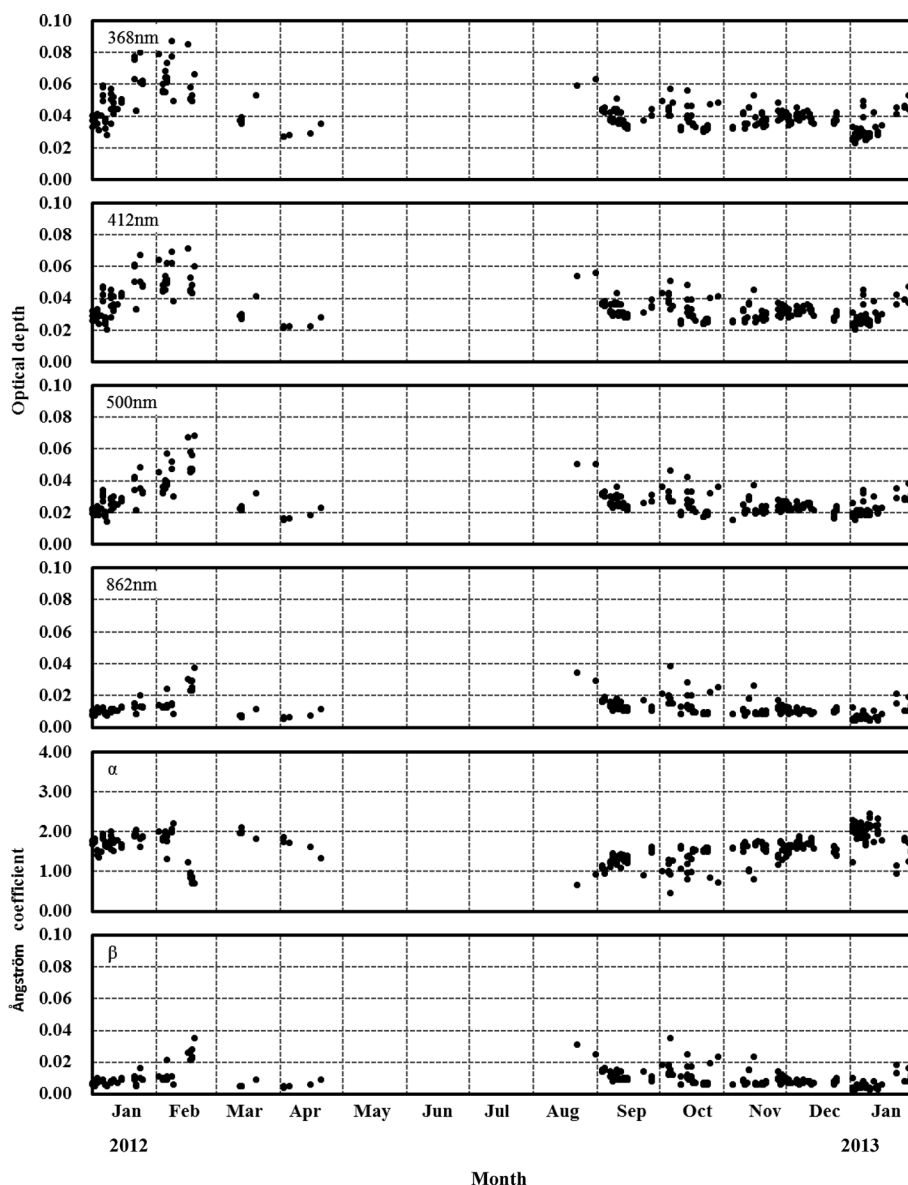


図 24 昭和基地における波長別エアロゾルの光学的厚さとオングストローム指数の年変化 (2012 年 1 月～2013 年 1 月)。

Fig. 24. Annual variations of aerosol optical depth for each wavelength and Ångström coefficient at Syowa Station (Jan. 2012–Jan. 2013).

も参考にして高低気圧や前線の移動を把握して天気解析を行った。天気解析の結果は、気象観測を行う際や隊の野外オペレーション等の支援で気象情報を提供する際に利活用された。

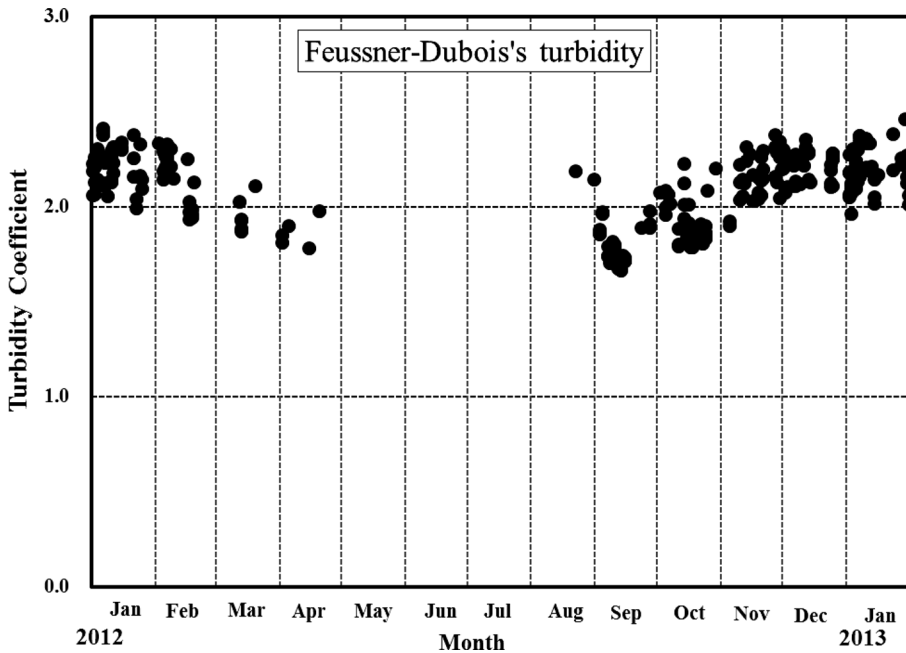


図 25 昭和基地におけるホイスナー・デュボアの混濁係数の年変化 (2012 年 1 月～2013 年 1 月).  
 Fig. 25. Annual variations of Feussner-Dubois's turbidity coefficient at Syowa Station (Jan. 2012–Jan. 2013).

### 6.1. 解析に用いた資料

#### (1) 気象庁数値予報格子点資料に基づく各種天気図及び予想図

第 52 次隊に引き続き、気象庁全球予報モデル格子点資料 (00 UTC, 12 UTC 初期値) から作成した各種天気図及び予想図と、化学輸送モデル (CTM) 実況解析図及び予想図を気象庁スーパーコンピュータシステムより SSH (Secure Shell) で取得し、解析に用いた。

#### (2) 各国数値予報センター等作成の天気図及び予想図, 衛星画像

インターネットにて各国数値予報センター等が公開する解析値及び予報値を利用した。また、各種衛星画像の取得、閲覧を行い天気解析の参考とした。

(主な参照先)

- ① AMPS (Antarctic Mesoscale Prediction System)
- ② AMRC (Antarctic Meteorological Research Center)
- ③ オーストラリア気象局作成インド洋地上天気図
- ④ オーストラリア気象局作成南半球 500 hPa 解析図
- ⑤ 南アフリカ気象局作成地上天気図
- ⑥ ウィスコンシン大学コンボジット衛星画像

このうち、オーストラリア気象局作成インド洋地上天気図は 2013 年 1 月 10 日 (12 UTC)

を最後に掲載が停止されるようになったため利用できなくなった。また、AMPS は 2013 年 1 月 14 日より計算格子 45 km から 30 km, 15 km から 10 km へと変更された。

### (3) 極軌道衛星雲画像

米国海洋大気庁 (NOAA) が運用する衛星 NOAA の衛星受画装置により、独自に受信した赤外や可視などの衛星画像と、衛星受信部門が昭和基地イントラネット上に掲載していた NOAA 衛星の赤外及び可視画像を天気解析に用いた。

## 6.2. 解析結果の提供とその利用

解析結果は、昭和基地屋外作業、野外オペレーション、航空機オペレーション時などに気象情報として提供した他、ブリザードによる外出注意令、禁止令の発令、解除の参考となる資料として提供した。また、毎日のミーティング時に天気解析結果及び当日の夜から翌々日までの天気予想を発表するとともに、昭和基地イントラネット上で地上気象観測実況値などと併せて公開した。

昭和基地周辺の活動以外にも、第 53 次隊及び第 54 次隊のセールロンダーネ山地地学調査隊 (2012 年 2 月 1 日から 2 月 22 日, 12 月 20 日から 2013 年 1 月 31 日) やドームふじ旅行隊 (2012 年 11 月 24 日から 2013 年 1 月 31 日) に対し、活動地域周辺の気象情報を提供した。また、「しらせ」の活動支援のため気象庁数値予報資料及び気象情報を提供した (2012 年 2 月 1 日から 3 月 4 日, 12 月 18 日から 2013 年 1 月 31 日)。

## 7. その他の観測

### 7.1. 内陸旅行中の気象観測

第 53 次隊では、2012 年 10 月 8 日から 24 日までの 17 日間、第 54 次隊ドーム旅行用燃料の輸送及び気水圏部門、宙空圏部門が担当するオペレーションの遂行を目的として、みずほ基地への旅行 (以下「みずほ旅行」) を行った。気象部門はみずほ旅行に参加し、旅行中に気象観測を行った。

図 26 に昭和基地からみずほ基地を経由し、ドームふじ基地までのルートと位置関係を示す。S16～みずほ基地は S ルート、H ルート及び Z ルートを使用した。

#### 7.1.1. 観測方法と測器

雲 (雲量・雲形・向き・高さ)、現在天気、大気現象及び視程は目視により観測し、気温、気圧、風向及び風速は Nielsen-Kellerman 社製の携帯気象計 Kestrel 4500 を用いて観測した。

#### 7.1.2. 観測経過

みずほ旅行では、目視観測を含む観測を、06, 09, 12, 15, 18, 20 時 (以下、時刻は全て LT) を目安として、移動経路及びキャンプ地にて行った。観測時刻は旅行隊の移動や作業のために多少のずれがあった。観測は雪上車の影響を受けないように車両の風上側で行っ

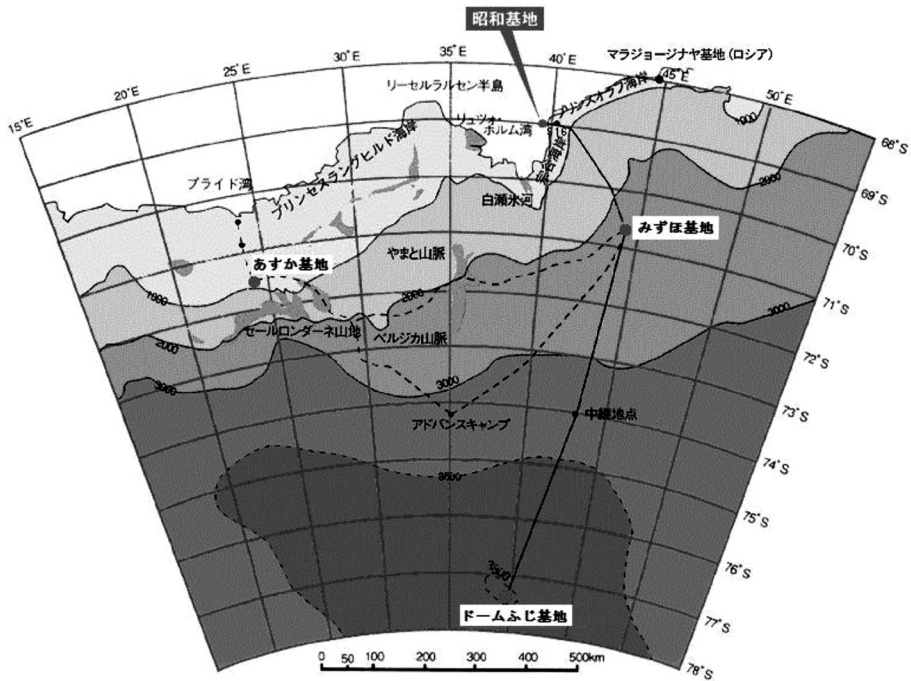


図 26 昭和基地からドームふじ基地への経路 (国立極地研究所 (2008) を改変).

Fig.26. Traverse route from Syowa Station to Dome Fuji Station.

た。

### 7.1.3. 観測結果

図 27 に観測結果を示す。観測記録期間は 2012 年 10 月 8 日 8 時 50 分から 10 月 24 日 12 時 00 分である。

8 日は北海上に停滞していた低気圧の影響で雪となったが、低気圧の衰退が早く、すぐに回復した。13、19-20 日は北西海上の低気圧からのびる前線の影響でふぶきとなり、視程が 10m 程度と非常に悪かったため、停滞することとなった。みずほ基地周辺ではカタバ風の影響で常に地ふぶきとなり、一時的に視程が 100m まで悪化した。その他の期間は、おおむね晴れまたは曇りの天気であったが、風速 5m/s を超えると地ふぶきを伴うことが多かった。

旅行中の最低気温は  $-44.7^{\circ}\text{C}$  (10 月 16 日 6 時 00 分, IM01), 最大風速は 17.2m/s (10 月 19 日 9 時 00 分, H297) を観測した。

## 7.2. S16 ロボット気象計

### 7.2.1. 観測方法と測器

ロボット気象計は、昭和基地東方約 19km の大陸氷床上にある S16 (P50, 標高約 600m,

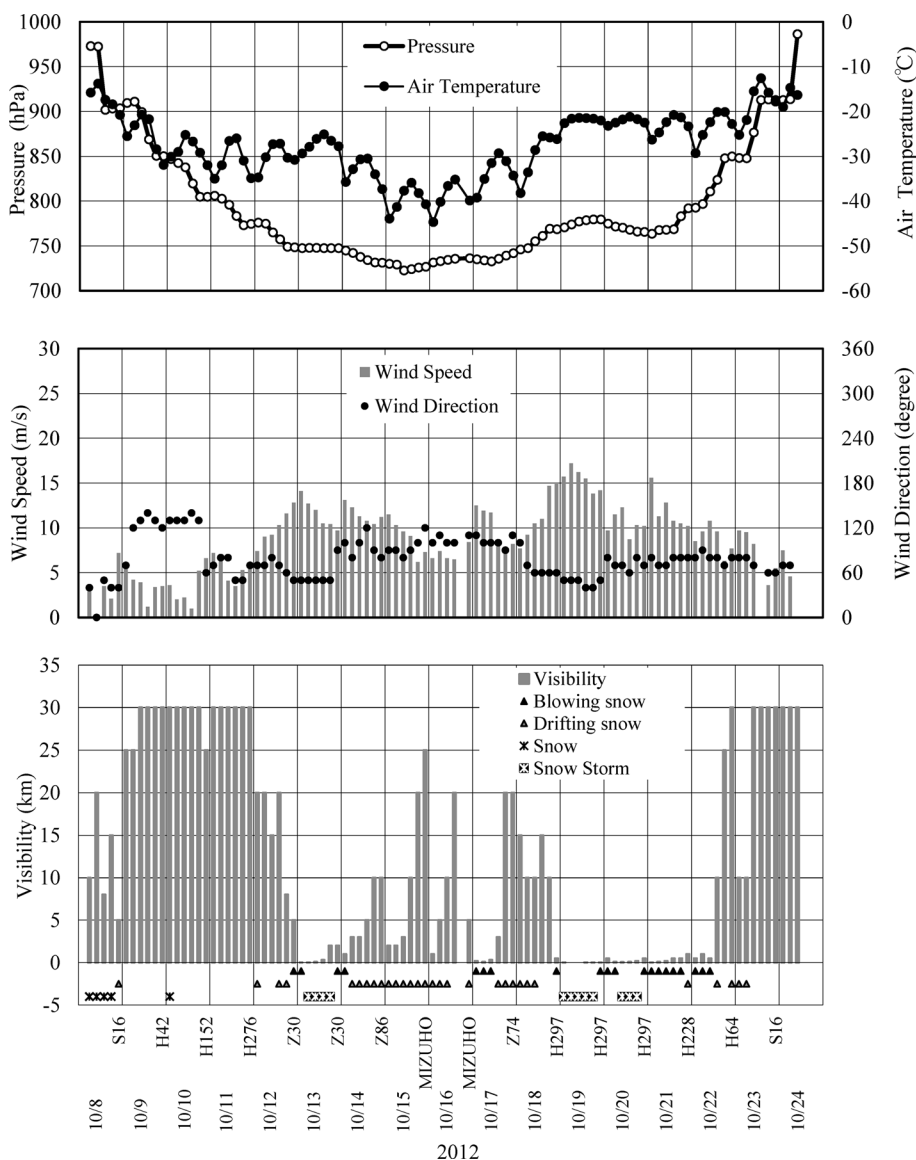


図 27 みずほ旅行中の気象観測データ (2012 年 10 月 8 日～24 日)。

Fig. 27. Surface meteorological observation data round trips from S16 to MIZUHO (8-24 Oct. 2012).

海岸から約 15km) に設置しており、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 53 次隊では、第 52 次隊から引き継いで観測を行った。

観測測器を表 18 に示す。気圧・気温測定部及び発信器部 (以下「発信器」) は RS2-KC96

表 18 S16 におけるロボット気象計の測器一覧表.

Table 18. Observation elements, observation frequency, observation accuracy and instruments at S16.

観測種目	観測時刻	観測精度	使用測器等	備考
現地気圧	毎正分	±1 hPa	鉄ニッケル合金空ごう気圧計 (静電容量変化式)	RS-KC96型オゾンゾンデを使用
気温	毎正分	±0.5°C	ビード型ガラスコートサーミスタ (アルミ蒸着加工)	
風速	毎正分	±0.3 m/s	風車型風向風速計	YOUNG CYG-5103VM
風向	毎正分	±3°		

型オゾンゾンデを改造したものをを用い、風向風速計は風車型風向風速計（Young 社製）を使用した。データの取得はロボット気象計からの電波を第 48 次隊まで高層気象観測で使用していたパラボラアンテナで受信して行った。

電源は風力発電機によって充電を行いながら低温用バッテリーを 3 個使用した。観測項目は気圧、気温、風向・風速で、連続観測を行った。

### 7.2.2. 観測経過

第 53 次隊は、第 52 次隊から観測を引き継ぎ実施した。期間中、4 月 16 日から 28 日まで気温、気圧が、4 月 16 日から 9 月 12 日まで及び 9 月 16 日から越冬終了まで風向・風速データが欠測となった。

4 月 16 日に発生したブリザードにより発信器が不調となり全データを正常に受信できなくなったため、4 月 28 日に発信器を交換した。気温、気圧のデータは復旧したが、風向・風速データは復旧しなかった。発信器に問題があると考え、8 月 21 日に再度交換を実施したが復旧に至らなかった。そのため、風向風速計もしくはケーブルに異常があると判断し、同日に風向風速計とケーブルを持ち帰った。動作試験の結果、ケーブルに断線が見られたため修理を行い、9 月 12 日に取り付け復旧した。

9 月 16 日に発生したブリザードの影響で風向・風速データが受信できなくなった。11 月 5 日に発信器の交換を行ったが復旧しなかったため、風向風速計に問題があると考え風向風速計を持ち帰った。動作確認の結果、風向風速計の基板に異常が見られたため修復を試みたが、部品が足りなかったため断念し、第 54 次隊に基板の持ち込みを依頼した。

基板が届いたため、昭和基地で風向風速計に取り付けて動作確認を行ったが、その際に風向の出力に異常が見られた。調査の結果、風向部の部品に異常があることがわかった。

2013 年 1 月 22 日に S16 において第 54 次隊へ観測の引き継ぎを行ったが、風向風速計の復旧を間に合わせるができなかったため、発信器の交換のみを実施した。風向風速計は昭和基地で風向部の部品を交換したことにより復旧したため、別途に引き継ぎを行った。

第 53 次隊のロボット気象計は、現在は使用していない高層気象観測測器を隊員の手で改造し発信器として利用していたが、無線発信機を搭載した新型の観測装置が第 54 次隊によっ

て持ち込まれ、DROMLAN オペレーションで使用されている S17 に設置された。内陸地点のリアルタイムデータの得られる重要な観測点として、今後活用されるものと考えている。

### 7.3. 移動気象観測装置

#### 7.3.1. 観測方法と測器

移動気象観測装置 (Mobile Automatic Weather Station, 以下「MAWS」) は、気圧、風向・風速、気温、湿度、全天日射量の観測が行え、内部データロガーまたはメモリにデータを蓄積できる、ヴァイサラ社製の気象観測装置である。電源は低温用バッテリーを 1 個使用した。第 53 次隊では昭和基地～とつぎ岬ルート上にある T28 (68°54.780'S, 39°46.075'E) に MAWS を設置して観測を行った。各観測データをサンプリング間隔 1 分で外部メモリ (CF カード) に収録した。

観測データは CF カードを交換して昭和基地に持ち帰り、専用のソフトウェア (MAWS Terminal) を用いて PC にデータを保存した。データには MAWS による品質管理フラグ (VALID 「正常値」・INVALID 「欠測」・SUSPICIOUS 「疑問値」) が付加されており、このうち VALID 以外のデータは異常と見なして統計には使用しなかった。

その他、湿度が 100% を超えて出力されるなど、明らかに異常なデータは統計に使用しなかったが、地上気象観測でも類似例があるような急変したデータについては異常かどうか判断できないためそのまま使用することとした。

みずほ旅行を除く内陸へのオペレーションで気象隊員が参加する際には、測器の保守点検、バッテリーの交換、CF カードの交換を行った。

観測測器を表 19 に示す。

#### 7.3.2. 観測経過

5 月 11 日から最後に内陸オペレーションが行われた 11 月 24 日まで観測を行った。この間、8 月 21 日から 9 月 11 日まではバッテリーの電圧低下により欠測となった。バッテリーの電源低下は低温によるもので、9 月 11 日にバッテリーを交換した際に復旧した。欠測期間以

表 19 移動気象観測装置 (MAWS) の測器一覧表。

Table 19. Observation elements, observation accuracy, and instruments of MAWS.

観測種目	観測精度	使用測器等
現地気圧	±0.3 hPa	気圧計 (PMT16A)
気温	±0.3 °C	
湿度	±2%:0-90% ±3%:90-100%	温度湿度計 (QMH101)
日射	100 μV/W/m <sup>2</sup>	日射計 (QMS101)
風速	±0.3 m/s	風向風速計 (WMS302)
風向	±3°以下	



外はおおむね順調に観測を行った。

### 7.3.3. 観測結果

T28 での MAWS による気圧，気温，風速の旬ごとの経過を図 28 に示す。図には，比較のために昭和基地での観測値も示している。これらを見ると，どの要素も同じ変化傾向を示している。この結果と過去に昭和基地周辺の他の場所に設置して収集されたデータを比較すると，昭和基地からとつぎ岬までのルート上（阿保ほか，2008；吉見ほか，2013），昭和基地からオングル海峡を渡って大陸沿岸の向岩を結ぶ向岩ルート上（成田ほか，2010；菅谷ほか，2014），S17 周辺（久光ほか，2016；佐々木ほか，2015）の環境場は同じであると考えられる。

## 謝 辞

第 53 次観測隊の気象定常観測を遂行するにあたり，観測及び実施上の技術的援助・助言をいただいた第 53 次隊の山岸久雄観測隊長，石沢賢二越冬隊長ほか第 53 次観測隊員の皆様，

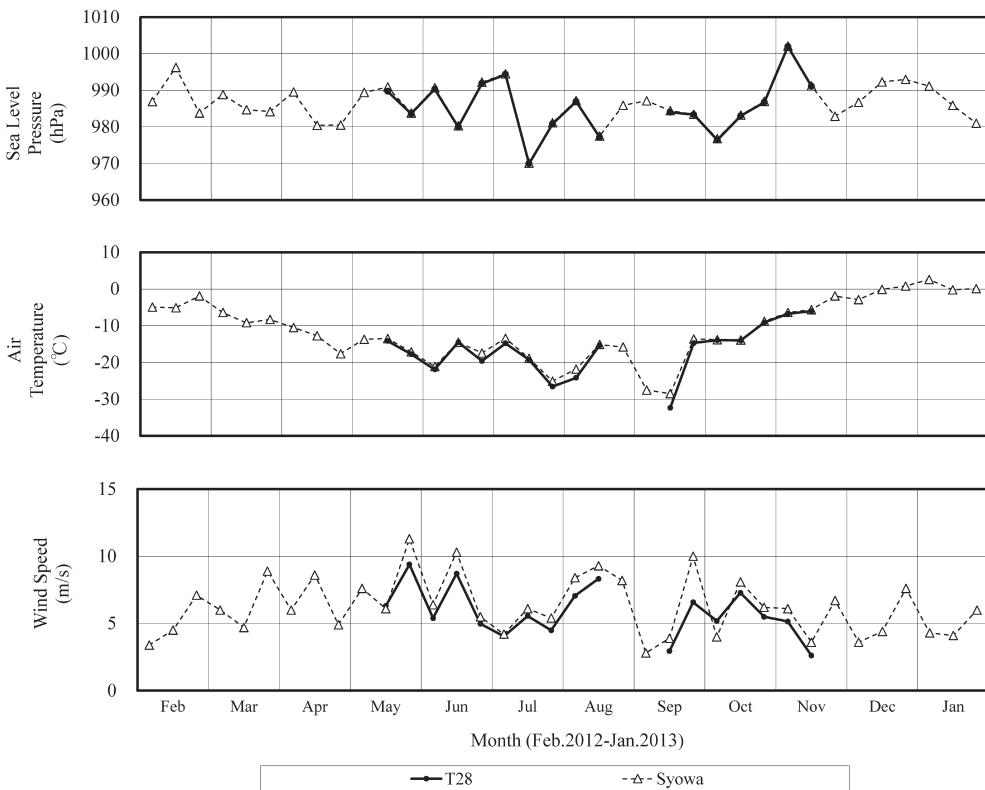


図 28 T28 及び昭和基地における地上気象旬別経過図（2012 年 2 月～2013 年 1 月）。

Fig. 28. Time series of ten-day mean surface meteorological data at T28 and Syowa Station (Feb. 2012–Jan. 2013).

国立極地研究所及び気象庁南極観測事務室、高層気象台ほか気象庁の関係官に感謝の意を表す。また、第 53 次観測隊行動において、観測物資の輸送をはじめ、多大なる支援をいただいた海上自衛隊「しらせ」乗組員の方々にも厚く御礼申し上げる。

この報告をまとめるにあたり、気象庁の福田正人前南極観測事務室長、荻原裕之南極観測事務室長、第 51、52 次観測隊気象部門の方々にご助言いただいた。御礼を申し上げます。

## 文 献

- 阿保敏広・佐々木利・海老田綾貴・藤田 建・久光純司 (2008): 第 45 次南極地域観測隊気象部門報告 2004. 南極資料. **52**, 437-515, doi:10.15094/00009469.
- 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, doi:10.15094/00008972.
- Bureau of Meteorology: "Analysis Chart Archive". Australian Government Bureau of Meteorology. <http://www.bom.gov.au/australia/charts/archive/index.shtml>, (accessed 2014-12-5).
- 江崎雄治・栗田邦明・松島 功・木津暢彦・中島哲二・金戸 進 (2000): 第 38 次南極地域観測隊気象部門報告 1997. 南極資料. **44**, 125-204, doi:10.15094/00009126.
- 江崎雄治・平沢尚彦・林 政彦・山内 恭 (2010): 1997 年春季に南極昭和基地において発現した地上オゾン急減現象. 南極資料. **54**, 623-639, doi:10.15094/00009577.
- 江崎雄治・平沢尚彦・林 政彦・山内 恭 (2013): 1997 年春季に南極昭和基地において発現した地上オゾン消失現象. 天気. **60**, 91-96.
- 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, doi:10.15094/00009263.
- 久光純司・小栗秀之・高野松美・杉山暢昌・山本 敦 (2016): 第 52 次日本南極地域観測隊気象部門報告 2011. 南極資料. **60**, 195-241, doi:10.15094/00013567.
- 伊藤真人 (2005): 広帯域 (全天型) 紫外域日射計の NIST ランプ検定による測器感度変化と問題点. 高層気象台彙報. **65**, 45-52.
- 伊藤真人・宮川幸治 (2001): 二重分光光度計ブリュワー MK III による紫外域日射観測. 高層気象台彙報. **61**, 5-28.
- 伊藤真人・高野松美 (2006): 広帯域 (全天型) 紫外域日射計用外部標準ランプ点検装置の開発とその精度. 高層気象台彙報. **66**, 57-64.
- 伊藤真人・Tom Grajnar・Michael Brohart・Vladimir Savastouk・Ken Lamb (2007): カナダ MSC におけるブリュワー分光光度計の国際測器相互比較 2006 年と新型検定装置の精度. 高層気象台彙報. **67**, 39-52.
- 環境省 (2008): 紫外線環境保健マニュアル 2008. 改訂版. 東京, 環境省環境保健部環境安全課, 2008, 45 p.
- 気象庁 (1990): 国際気象通報式 (第 8 版). 東京, 447 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 (1993): 紫外域日射観測指針. 東京, 83 p.
- 気象庁 (1997): 国際気象通報式・別冊. 東京, 666 p.
- 気象庁 (2002): 地上気象観測指針. 東京, 176 p.
- 気象庁 (2004): 高層気象観測指針. 東京, 248 p.
- 気象庁 (2005): 気象観測統計指針. 東京, 158 p.
- 気象庁 (2010): オゾンゾンデ観測指針 [ECC 型編]. 東京, 46 p.
- 気象庁 (2013): "オゾン層・紫外線の年のまとめ (2012 年)". 気象庁. 2013-9-20, [http://www.data.jma.go.jp/gmd/env/ozonehp/annualreport\\_o3uv\\_2012.html](http://www.data.jma.go.jp/gmd/env/ozonehp/annualreport_o3uv_2012.html), (参照 2015-10-21).
- 国立極地研究所 (2008): 基地要覧 2008 年. 国立極地研究所事業部極地設営室編. 第 20 版, 東京, 国立極地研究所, 2.
- 国立極地研究所 (2011): 基地要覧 2011 年. 国立極地研究所南極観測センター編. 第 23 版, 東京, 国立極地研究所, 20.
- 宮川幸治 (2007): ドブソン分光光度計の自動化ウィンドウズシステムの高度化—コンパクト PCI 制御方式への移行—. 高層気象台彙報. **67**, 85-98.

- 宮川幸治・上野圭介 (2008): 天頂雲検出器の反転観測への導入. 高層気象台彙報, **68**, 51–58.
- Miyagawa, K., Sasaki, T., Nakane, H., Petropavlovskikh, I. and Evans, R. D. (2009): Reevaluation of long-term Umkehr data and ozone profiles at Japanese stations. *J. Geophys. Res.* **114**, D07108, doi:10.1029/2008JD010658.
- 中野辰美・岩野園城 (2008): エアバッグ方式流量計を用いたオゾンゾンデ用ポンプ効率測定装置の開発. 高層気象台彙報, **68**, 43–50.
- 成田 修・毛利光志・中島浩一・滝沢厚詩・押木徳明 (2010): 第 47 次南極地域観測隊気象部門報告 2006. 南極資料, **54**, 32–107, doi:10.15094/00009522.
- Petropavlovskikh, I., Bhartia, P. K. and DeLuisi, J. (2005): New Umkehr ozone profile retrieval algorithm optimized for climatological studies. *Geophys. Res. Lett.* **32**, L16808, doi:10.1029/2005GL023323.
- PMOD/WRC (2007): Precision Filter Radiometer Documentation. PMOD/WRC, 43 p.
- 佐々木利・松元 誠・田中悦子・塩水流洋樹・高見英治 (2015): 第 51 次日本南極地域観測隊気象部門報告 2010. 南極資料, **59**, 179–228, doi:10.15094/00010900.
- 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.
- 菅谷重平・土井ひかる・辰己 弘・伊藤智志・小森智秀 (2014): 第 50 次日本南極地域観測隊気象部門報告 2009. 南極資料, **58**, 233–293, doi:10.15094/00010278.
- WHO (2002): GLOBAL SOLAR UV INDEX -A Practical Guide-. Geneva, 28 p.
- 吉見英史・石井洋子・望月隆史・岩渕真海・水野太治 (2013): 第 49 次日本南極地域観測隊気象部門報告 2008. 南極資料, **57**, 243–298, doi:10.15094/00009696.