

第 52 次日本南極地域観測隊気象部門報告 2011

久光純司^{1*}・小栗秀之¹・高野松美¹・杉山暢昌¹・山本 敦¹Meteorological observations at Syowa Station, Antarctica, 2011
by the 52nd Japanese Antarctic Research ExpeditionJunji Hisamitsu^{1*}, Hideyuki Oguri¹, Matsumi Takano¹,
Nobumasa Sugiyama¹ and Atsushi Yamamoto¹

(2016 年 4 月 20 日受付; 2016 年 5 月 24 日受理)

Abstract: This report describes the results of meteorological observations at Syowa Station from February 1, 2011 to January 31, 2012, carried out by the Meteorological Observation Team of the 52nd Japanese Antarctic Research Expedition (JARE-52). The observation methods, instruments and statistical methods used by JARE-52 were almost the same as those used by the JARE-51. Remarkable weather phenomena observed during the period of JARE-52 are as follows:

1) JARE-52 experienced heavy snowfall with record-breaking maximum snow depth of the month from February 2011 to May 2011 as well as from December 2011 to January 2012. From June to November 2011, it placed the second in the past record of each month. Total amount of daily snow depth also hit the record high for half of the months during the wintering period.

2) The number of occurrences of the blizzard was 30 times, which was slightly larger than average year. But blizzard occurred every month during winter period.

3) The amount of total ozone over Syowa Station from mid-August to mid-December was continuously less than 220 m atm-cm used as a target for the ozone hole for most of this period. The value for September 21 was 149 m atm-cm, which marked the minimum value of year 2011.

要旨: この報告は第 52 次南極地域観測隊気象部門が、2011 年 2 月 1 日から 2012 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 51 次隊とほぼ同様である。越冬期間中の特徴のある気象状況は次のものがあげられる。

1) 越冬期間中の雪日数は、210 日と平年並み(平年値: 200 日)であるが、2011 年 2 月から 5 月及び 2011 年 12 月から 2012 年 1 月の月最深積雪(各月で最も積もった雪の深さ)の順位は 1 位となり極値を更新した。6 月から 11 月は順位が 2 位となり記録を更新した。降雪の深さ(積雪差)の月合計においては越冬期間中の半分の月で 1 位となり記録を更新した。

2) 越冬期間中のブリザードの発生回数は 30 回と平年より多く、毎月ブリザードが発生した。

¹ 気象庁. Japan Meteorological Agency, 1-3-4 Otemachi, Chiyoda-ku, Tokyo 100-8122.

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

3) 昭和基地上空のオゾン全量は、8月中旬から12月中旬までオゾンホールが目安となる 220 m atm-cm をほぼ継続して下回り、9月21日には2011年の最小値である 149 m atm-cm (単位については4.2.1 参照) を記録した。

キーワード： 気象

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(1962–66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。蓄積された気象観測資料は、国際的な枠組みのなかで、地球環境の研究・監視等に幅広く利用されている。第52次南極地域観測隊気象部門は、2011年2月1日に第51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、2012年1月31日までの約1年間観測を行った。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51次隊とほぼ同様である(佐々木ほか, 2015)。

地上気象観測、高層気象観測、日射放射観測は、第51次隊から引き継いだ観測装置で実施した。オゾン観測のうちオゾン全量観測・反転観測はドブソン分光光度計 Beck122 を第52次隊で持ち込み、第51次隊使用の Beck119 との比較観測を実施後、正式運用とした。地上オゾン濃度観測は、新規に整備した2台のオゾン濃度計を持ち込み、観測を行った。その他の観測として、海氷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、2台の移動気象観測装置(MAWS)を利用し、S17観測拠点等での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及び、気象庁全球波浪モデル格子点資料から作成した各種天気図、予想図を気象庁データサーバよりインテルサット(国際電気通信衛星機構)衛星回線を経由して取得し、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. 52 (Japan Meteorological Agency, 2011) としてCD-ROMで刊行した。また2014年3月より気象庁ホーム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、観測結果を用いた解析や天気解析による気象情報の提供について報告する。本報告にて使用する各機器、観測方法等の名称は参考文献に示す気象庁の各指針等に準拠する。

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, 2002)及び世界気象機関(WMO)の技術基準に、統計処理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気象庁に送信し、通報した。また 1 日 1 回、観測データをまとめて気象庁に送信し、気象庁ホームページにてデータを公開した。観測項目と使用測器等を表 1 に、測器配置を図 1 に示す。

2.1.1. 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。

2.1.2. 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, 21 UTC）の観測を行った。大気現象は随時観測を行った。

2.1.3. 海水上の積雪の深さ観測

北の浦の海水上に、10 m 間隔で 20 m 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。

2.2.1. 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行い、越冬観測開始時にオフセットの設定を行った（比較観測は 2011 年 1 月に、オフセット変更は 2 月に実施）。観測はおおむね順調であった。

9 月に障害のため基板交換を実施した。このため当日の日平均現地気圧と日平均海面気圧が準完全値（統計値を求める対象となる資料の一部が許容する範囲内で欠けている場合）となった。

2.2.2. 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 3 カ月に 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、正時に重ならないよう注意した上で実施した。

2012 年 1 月に通風筒、温度計、湿度計の交換を実施した。

保守作業等実施中、正時の気温と湿度は、携帯型通風乾湿計により観測した。



図 1 昭和基地主要部と測器感部の配置 (国土地理院：南極の地理空間情報データ (参照 2016-5-17) 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：ブリューワー分光光度計・下向き日射放射 (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：上向き日射放射 (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 spectrophotometer
Solar and infrared radiation observation: Brewer spectrophotometer; Downward solar and infrared radiation (Pyranometer, Pyrhemliometer, Pyrgeometer; UV radiometer), Sunphotometer
- ② Surface observation: Wind sensor; Thermometer; Hygrometer; Visibility sensor
- ③ Surface observation: Sunshine sensor
- ④ Surface observation: Snow depth sensor
- ⑤ Solar and infrared radiation observation: Upward solar and infrared radiation (Pyranometer, Pyrgeometer; UV radiometer), Net radiometer
- ⑥ Ozone observation: Surface ozone monitor
- ⑦ Surface observation: Snow scale

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	0.1hPa	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	0.1hPa	—		気温・現地気圧から算出
気圧変化量・ 気圧変化型	毎正時	0.1hPa	—		現地気圧から算出・決定
気温	連続・毎正時	0.1℃	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カ月1回)
	—		携帯用通風乾湿計		比較観測に使用
露点温度	連続・毎正時	0.1℃	—		気温・湿度観測値から算出
蒸気圧	同上	0.1hPa	—		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カ月1回)
	—		携帯用通風乾湿計		比較観測に使用
風向	連続・毎正時	1°	風車型風向風速計	FF-11	測風塔(地上高10.1m)に設置
風速	同上	0.1m/s			
全天日射量	同上	0.01MJ/m ²	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	0.1h	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	1cm	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)		北の浦海氷上に設置
雲量・雲形・ 向き・高さ	定時		目視		
視程	定時(目視)	10m(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。

※観測時刻の「連続」は、10秒ごとの連続観測を行った。

※観測時刻の「毎正時」は、毎正時ごとの観測(通報)を行った。

2.2.3. 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。おおむね順調に動作したが、弱風の時に測器の回転部分が凍結または凍結の疑いがあったため、日平均風速が準完全値または資料なし(統計値を求める対象となる資料が参考値もしくは欠測によりまったくない場合)となった日があった。7月、9月に風車型風向風速計の保守点検を、12月に風車型風向風速計の交換を実施した。このためそれぞれ当日の日平均風速が準完全値となった。風車型風向風速計信号線不具合のため、2月及び3月に日平均風速が資料なしまたは準完全値となった日があった。9月に機器障害のため日平均風速が準完全値となった日があった。

2.2.4. 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。機器障害、通信不良等により4, 5, 9月において欠測(測器の故障等により観測値が得られない場合、または明らかに誤差が大きく間違いであると確定できる場合)、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), 資料なしとなる日があった。また9月に障害対応, 2012年1月には定期作業により測器の交換を行った。

2.2.5. 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, 新雪時などに異常値が観測され, 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る日があった。

2.2.6. 視程

視程計(現象判別機能付)を航空管制棟北に設置し, 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, 大気現象発現時刻判定の参考に使用した。ふぶきによる雪の付着や, 投受光部の汚れにより随時, 清掃を行った。

2.2.7. 海氷上の積雪の深さの観測

雪尺は第51次隊が設置したものを継続して使用し観測した。2月に強風と融雪のため傾いていた雪尺1本を立て直した。また, 積雪量が多く雪尺が埋まりそうになったため, 7月に雪尺4本を立て直した。その後, 強風と融雪により傾いていた雪尺を, 11月に2本, 12月と1月にそれぞれ1本立て直した。立て直しの前後で測定を行い, 観測値を接続した。

2.3. 観測結果

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, ブリザードの概要を表4に, 越冬期間中の天気概況を表5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, 海氷上(雪尺)と陸上(積雪計)の積雪深観測値の比較を図3に示す。

11月下旬から12月中旬にかけて低気圧の通過に伴う悪天の日が多く, 12月の月間日照時間は観測開始以来の少ない方の極値を更新した。(表2, 表3, 表5)

気温の経過としては, 全般に低気圧の接近やブリザードなどの悪天の影響により気温は高くなるが, 日照時間が平年より少ないため, 低温傾向となった。越冬開始当初の3月は, 比較的高気圧に覆われる期間が多く晴天となり, 日照時間が多かったものの, 放射冷却等により気温が低くなった。一方で6月は, 低気圧接近に伴う暖気の影響で平年より高い気温となった。(表2, 表5, 図2)

越冬期間の半数の月でその月の最深積雪の極値を更新したことに加え, 春と秋を中心とした半数の月で, 降雪の深さ月合計の極値を更新した。(表3) また, 雪日数も平年より多く, 期間を通じて降雪量が多かった。(表2, 図3)

越冬期間のブリザードの年間発生数やブリザード日数は平年をやや上回った。また, 平年の発生数0.1回の1月, 同0.3回の12月と発生がまれとなる夏も含めて, 毎月ブリザードが発生した。(表4)

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 (2011 年 2 月～2012 年 1 月)

Table 3. New records of surface meteorological observation extrema and rankings at Syowa Station (Feb. 2011–Jan. 2012).

年 月	統 計 項 目	観 測 値	起 日	順 位
2011年2月	日最大風速・風向	NE 39.0m/s	17日	3位
		NE 38.1m/s	16日	4位
	日最大瞬間風速・風向	NE 46.3m/s	16日	3位
		NE 45.2m/s	17日	5位
	月最深積雪	84cm	20日	1位
2011年3月	月平均気温の低いほうから	-9.2℃		3位
	月間日照時間の多いほうから	197.9		2位
	月最深積雪	78cm	15日	1位
2011年4月	日最高気温の低い方から	-18.8℃	22日	9位タイ
	日最大風速・風向	NE 37.9m/s	13日	2位
		NE 45.1m/s	13日	4位
	日最大瞬間風速・風向	NE 43.1m/s	12日	9位タイ
		96cm	24日	1位
2011年5月	日最大風速・風向	NE 38.4m/s	25日	10位
	月最深積雪	114cm	25日	1位
2011年6月	日最高気温の高いほうから	-2.3℃	25日	3位タイ
		-2.5℃	26日	6位タイ
		-2.7℃	15日	10位タイ
	日最低気温の高いほうから	-5.7℃	15日	4位タイ
	月最高気温の高いほうから	-11.7℃		2位タイ
	月最深積雪	126cm	24日	通年7位
2011年7月	月最深積雪			2位
		124cm	5日	通年8位
				2位
2011年8月	月平均気温の高い方から	-17.2℃		10位
	月最深積雪	120cm	29日	2位
2011年9月	月最深積雪	128cm	24日	通年7位
				2位
2011年10月	月平均気温の低い方から	-16.2℃		2位
	月最深積雪	125cm	28日	通年9位
				2位
2011年11月	月平均気温の高い方から	-5.4℃		5位
	月最深積雪	125cm	28日	通年9位
				2位
2011年12月	日最高気温の低い方から	-5.9℃	14日	2位
		-4.7℃	9日	4位
		-4.6℃	2日	6位
		-4.4℃	3日	9位
	日最低気温の低い方から	-12.9℃	2日	1位
		-12.1℃	14日	4位
		-11.6℃	9日	6位
		-11.4℃	3日	10位
	月平均気温の低い方から	-3.3℃		3位
	日最大風速・風向	ENE 29.1m/s	20日	8位
		ENE 29.0m/s	19日	9位
		NE 28.7m/s	16日	10位
	日最大瞬間風速・風向	NE 34.9m/s	20日	10位
	月間日照時間の少ない方から	304.9h		1位
	月最深積雪	120cm	13日	1位
2012年1月	日最高気温の低い方から	-3.1℃	23日	10位
	日最低気温の低い方から	-10.5℃	22日	9位
	月平均気温の低い方から	-1.4℃		10位
	日最小相対湿度	31%	1日	7位
	月最深積雪	100cm	1日	1位

・順位は観測当時のもの

・数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 昭和基地におけるブリザードの概要 (2011 年 2 月～2012 年 1 月)

Table 4. Summaries of heavy snowstorm (Blizzard) at Syowa Station (Feb. 2011~Jan. 2012).

階 番 号	開始日時	終了日時	終始時間	継続時間	中断時間	最大風速 風速 風向 起時	最大瞬間風速 風速 風向 起時	最低海面気圧 気圧 起時
5201 A	2011 年 2 月 19 日 8 時 30 分	2011 年 2 月 20 日 10 時 30 分	26 時間 0 分	26 時間 0 分	0 時間 0 分	28.7 NE 19 日 14 時 30 分	34.5 ENE 19 日 14 時 1 分	965.8 19 日 18 時 45 分
5202 C	2011 年 3 月 9 日 8 時 30 分	2011 年 3 月 9 日 15 時 30 分	7 時間 0 分	7 時間 0 分	0 時間 0 分	21.0 NE 9 日 14 時 0 分	25.3 NE 9 日 10 時 51 分	972.7 9 日 9 時 45 分
5203 C	2011 年 3 月 15 日 13 時 20 分	2011 年 3 月 15 日 23 時 0 分	7 時間 40 分	7 時間 40 分	0 時間 0 分	24.0 ENE 15 日 16 時 50 分	28.5 ENE 15 日 16 時 39 分	956.4 15 日 15 時 27 分
5204 B	2011 年 4 月 3 日 9 時 40 分	2011 年 4 月 4 日 12 時 30 分	26 時間 50 分	26 時間 50 分	0 時間 0 分	27.2 ENE 3 日 18 時 50 分	32.7 ENE 3 日 18 時 24 分	974.7 3 日 21 時 7 分
5205 A	2011 年 4 月 12 日 15 時 30 分	2011 年 4 月 13 日 21 時 30 分	30 時間 0 分	30 時間 0 分	0 時間 0 分	37.9 NE 13 日 2 時 0 分	45.1 NE 13 日 2 時 53 分	976.2 13 日 3 時 20 分
5206 C	2011 年 4 月 16 日 22 時 30 分	2011 年 4 月 17 日 4 時 40 分	6 時間 10 分	6 時間 10 分	0 時間 0 分	16.3 NNE 17 日 1 時 0 分	20.1 NE 17 日 3 時 6 分	992.4 17 日 2 時 44 分
5207 A	2011 年 4 月 23 日 23 時 30 分	2011 年 4 月 24 日 23 時 40 分	23 時間 50 分	23 時間 50 分	0 時間 0 分	29.5 NE 24 日 17 時 50 分	35.7 ENE 24 日 4 時 7 分	980.3 24 日 7 時 14 分
5208 C	2011 年 4 月 30 日 12 時 45 分	2011 年 4 月 30 日 20 時 20 分	7 時間 35 分	7 時間 35 分	0 時間 0 分	21.3 ENE 30 日 16 時 30 分	25.6 ENE 30 日 12 時 55 分	983.7 30 日 20 時 18 分
5209 B	2011 年 5 月 22 日 5 時 30 分	2011 年 5 月 22 日 20 時 18 分	14 時間 48 分	14 時間 48 分	0 時間 0 分	24.8 NE 22 日 15 時 0 分	33.5 NE 22 日 13 時 53 分	972.4 22 日 16 時 55 分
5210 A	2011 年 5 月 25 日 4 時 50 分	2011 年 5 月 26 日 15 時 20 分	34 時間 30 分	34 時間 30 分	0 時間 0 分	38.4 NE 25 日 15 時 30 分	46.1 NE 25 日 15 時 24 分	946.2 25 日 15 時 19 分
5211 A	2011 年 5 月 30 日 0 時 50 分	2011 年 6 月 1 日 5 時 30 分	52 時間 40 分	52 時間 40 分	0 時間 0 分	36.8 ENE 31 日 8 時 40 分	46.1 NE 31 日 9 時 34 分	975.7 31 日 8 時 39 分
5212 A	2011 年 6 月 11 日 3 時 30 分	2011 年 6 月 12 日 5 時 30 分	26 時間 0 分	26 時間 0 分	0 時間 0 分	34.9 ENE 11 日 9 時 30 分	43.2 ENE 11 日 6 時 23 分	961.5 11 日 9 時 14 分
5213 B	2011 年 6 月 20 日 11 時 5 分	2011 年 6 月 21 日 13 時 0 分	25 時間 20 分	25 時間 20 分	0 時間 0 分	29.2 NE 21 日 0 時 40 分	38.0 NE 21 日 0 時 9 分	995.2 20 日 22 時 35 分
5214 B	2011 年 6 月 25 日 1 時 5 分	2011 年 6 月 26 日 10 時 50 分	33 時間 45 分	32 時間 10 分	1 時間 35 分	30.6 NE 25 日 23 時 20 分	37.9 NE 25 日 23 時 14 分	987.2 26 日 7 時 53 分
5215 C	2011 年 6 月 27 日 11 時 30 分	2011 年 6 月 27 日 22 時 40 分	11 時間 10 分	11 時間 10 分	0 時間 0 分	23.3 NE 27 日 16 時 10 分	29.1 NE 27 日 17 時 40 分	982.1 27 日 22 時 19 分
5216 B	2011 年 7 月 4 日 20 時 55 分	2011 年 7 月 5 日 12 時 55 分	16 時間 0 分	16 時間 0 分	0 時間 0 分	26.8 ENE 5 日 3 時 0 分	33.2 E 5 日 2 時 52 分	953.8 5 日 1 時 45 分
5217 A	2011 年 7 月 22 日 10 時 30 分	2011 年 7 月 23 日 14 時 50 分	28 時間 20 分	28 時間 20 分	0 時間 0 分	30.0 ENE 22 日 19 時 30 分	36.7 ENE 22 日 17 時 50 分	965.5 22 日 13 時 45 分
5218 C	2011 年 8 月 2 日 3 時 20 分	2011 年 8 月 2 日 9 時 30 分	6 時間 10 分	6 時間 10 分	0 時間 0 分	23.5 ENE 2 日 6 時 10 分	27.9 ENE 2 日 6 時 7 分	1001.2 2 日 3 時 39 分
5219 B	2011 年 8 月 7 日 15 時 50 分	2011 年 8 月 8 日 8 時 45 分	16 時間 55 分	16 時間 55 分	0 時間 0 分	31.5 NE 7 日 20 時 20 分	38.1 NE 7 日 23 時 57 分	991.3 7 日 19 時 36 分
5220 C	2011 年 8 月 11 日 13 時 15 分	2011 年 8 月 11 日 20 時 30 分	7 時間 15 分	7 時間 15 分	0 時間 0 分	28.7 NE 11 日 17 時 10 分	35.2 NE 11 日 17 時 11 分	978.4 11 日 13 時 54 分
5221 C	2011 年 8 月 16 日 19 時 25 分	2011 年 8 月 17 日 13 時 0 分	17 時間 35 分	17 時間 35 分	0 時間 0 分	21.0 NE 17 日 2 時 50 分	27.1 NE 17 日 0 時 54 分	980.8 17 日 1 時 23 分
5222 B	2011 年 9 月 16 日 12 時 35 分	2011 年 9 月 17 日 15 時 15 分	26 時間 40 分	26 時間 40 分	0 時間 0 分	21.0 NE 17 日 5 時 30 分	24.9 NE 17 日 5 時 28 分	986.2 17 日 14 時 56 分
5223 C	2011 年 9 月 23 日 3 時 30 分	2011 年 9 月 24 日 6 時 15 分	26 時間 45 分	21 時間 20 分	5 時間 25 分	34.6 NE 23 日 19 時 50 分	41.6 NE 23 日 20 時 23 分	959.0 23 日 19 時 45 分
5224 C	2011 年 9 月 26 日 13 時 0 分	2011 年 9 月 27 日 0 時 10 分	11 時間 10 分	11 時間 10 分	0 時間 0 分	16.9 NE 26 日 13 時 0 分	20.5 NE 26 日 14 時 9 分	985.0 26 日 13 時 0 分
5225 B	2011 年 10 月 14 日 23 時 5 分	2011 年 10 月 16 日 7 時 50 分	32 時間 45 分	32 時間 45 分	0 時間 0 分	29.0 NE 15 日 9 時 40 分	33.9 NE 15 日 9 時 06 分	963.3 15 日 3 時 44 分
5226 C	2011 年 10 月 20 日 19 時 0 分	2011 年 10 月 21 日 2 時 35 分	7 時間 35 分	7 時間 35 分	0 時間 0 分	19.0 NE 20 日 22 時 30 分	23.6 NE 20 日 22 時 24 分	986.1 20 日 22 時 25 分
5227 B	2011 年 11 月 20 日 20 時 40 分	2011 年 11 月 22 日 1 時 50 分	29 時間 10 分	29 時間 10 分	0 時間 0 分	27.3 NE 21 日 1 時 20 分	31.6 NE 21 日 1 時 16 分	981.0 21 日 0 時 57 分
5228 B	2011 年 12 月 15 日 21 時 30 分	2011 年 12 月 16 日 13 時 10 分	15 時間 40 分	15 時間 40 分	0 時間 0 分	28.4 NE 16 日 7 時 20 分	34.1 NE 16 日 7 時 57 分	994.6 16 日 6 時 9 分
5229 B	2011 年 12 月 17 日 20 時 40 分	2011 年 12 月 18 日 9 時 40 分	13 時間 0 分	13 時間 0 分	0 時間 0 分	25.7 NE 17 日 22 時 50 分	32.1 NE 17 日 22 時 50 分	988.4 17 日 21 時 48 分
5230 C	2012 年 1 月 30 日 20 時 50 分	2012 年 1 月 31 日 3 時 5 分	6 時間 15 分	6 時間 15 分	0 時間 0 分	23.4 NE 31 日 0 時 30 分	27.2 NE 31 日 0 時 28 分	966.0 30 日 20 時 51 分

表 5 昭和基地における天気概況 (2011 年 2 月～2012 年 1 月) (1/3)

Table 5. Weather summaries at Syowa Station (Feb. 2011–Jan. 2012). (1/3)

年・月	天気概況	
2011年 2月	上旬から中旬は大陸の高気圧に覆われて晴れる日と、低気圧の接近に伴い曇りや雪になる日が、2-3日毎に交互に訪れる天気となった。中旬から下旬は3-4日毎に低気圧が通過しブリザードとなり、その他の日については曇りや雪となった。16-17日の強風により、日最大風速については16日が4位に、17日には3位に、日最大瞬間風速は16日が3位に、17日は5位と順位値を更新した。	
	上旬	1-4日は昭和基地の北を通過した低気圧により、曇りから雪が降る天気となった。5日以降は大陸からの高気圧に覆われたため、晴天が続いた。
	中旬	10、14日と昭和基地の北を低気圧が通過したため曇りとなったが、その他は晴天となった。
	下旬	23-24日にかけて低気圧が通過したためふぶきとなった。その他の日は、昭和基地の北を通過する低気圧の影響により曇りが多く、時々雪の降る天気となった。
2011年 3月	上旬は高気圧に覆われて晴れるの日が多かった。中旬は2-3日ごとに低気圧が接近しふぶきとなり、その他の日は曇りの日が多かった。下旬は4-5日毎に低気圧の影響により曇りや雪となったが、その他の日は高気圧に覆われて晴れた。このため、放射冷却現象により気温が下がり月平均気温の低い方からの値が3位に、月間日照時間の多い方からの値が2位と順位値を更新した。	
	上旬	2-8日は昭和基地の北西及び北東に低気圧があり、基地周辺が気圧の尾根に覆われたため晴れた。9日以降は基地の北西にある低気圧からのびる前線の影響によりふぶきとなった。
	中旬	昭和基地の北西の低気圧がゆっくり東進したため11-12日はふぶきとなった。13日以降一時的に天気は回復したが、新たな低気圧の接近により15-16日は再びふぶきとなった。17日以降は基地の北に低気圧が停滞したため曇りの日が続いた。
	下旬	21-22日及び26-27日は低気圧の東進により一時的に曇りや雪となったが、その他の日は昭和基地が気圧の尾根に位置したため晴天が続いた。
2011年 4月	月間を通して曇り又は雪の日が多く、上旬は晴れるの日があったが中旬から下旬は雪又はふぶきとなる日が続いた。このため日最高気温の低い方から9位に、また12-13日のブリザードにより13日の日最大風速が2位に、日最大瞬間風速が12日は4位に、13日は9位と順位値を更新した。	
	上旬	1日は大陸からの高気圧の勢力が強く天気は晴れたが、2-5日は昭和基地の北西より接近し西海上で停滞した低気圧の影響によりふぶきとなった。6日は基地の北東から接近した低気圧との気圧の尾根に位置したため一時的に天気は晴れたが、7-8日は、曇りで時折雪となった。8日以降は、東にある低気圧がゆっくりと東進し、西から新たに接近した低気圧との気圧の尾根に位置し、また大陸からの高気圧の影響により晴天が続いた。
	中旬	11日は大陸からの高気圧の影響により晴れとなった。12-16日は北西から接近した低気圧と前線の影響によりふぶきとなった。その後、西から新たに接近した低気圧と前線の影響により17日は曇り、18日は雪となった。19-20日は東と西にある勢力の弱くなった低気圧の間に位置したため曇りとなったが、晴れ間もあった。
	下旬	21-22日は大陸の高気圧圏内に位置したため晴天が続いた。23-24日は北西より接近した低気圧の影響によりふぶきとなった。25-27日は昭和基地付近に勢力の弱い低気圧が停滞したため曇りとなり、一時的に雪が降った。また、低気圧の影響により一時的に霧が基地付近に発生した。28日は低気圧の東進に伴い気圧の尾根に位置したため晴れたが、西から接近した低気圧の影響により29日は曇り、30日はふぶきとなった。
2011年 5月	上旬から中旬は短い周期で低気圧が接近し、曇り又は雪が多く一時的に晴れとなった。寒気の流入した中旬には気温が下がり、後半には低気圧の接近に伴い気温がやや高めに経過した。ブリザードにより、25日に日最大風速が10位と順位値を更新した。	
	上旬	1日は北海上にある低気圧の東進に伴いふぶきとなった。2日は東海上と西海上に低気圧があり、気圧の尾根に位置したため晴れた。3-4日は西海上の低気圧の東進に伴い雪が降り、5-7日は西海上から東進する別の低気圧の影響により雪となり、一時的にふぶきとなった。8-10日は大陸からの高気圧の影響により晴れた。
	中旬	11-12日は引き続き大陸からの高気圧の影響により晴れた。13-14日は北西にある低気圧の接近に伴い曇りから一時的に雪となった。15-16日は北海上を通過した低気圧の影響により曇りとなったが一時的に晴れた。17-18日は気圧の尾根に位置したため晴れた。19-20日は低気圧が北海上を通過したため雪となった。
	下旬	21-22日は昭和基地付近を低気圧が通過したためふぶきとなったが、23日には一時的に晴れた。24-28日は連続して低気圧が通過したためふぶきとなった。29日には一時的に晴れたが、新たな低気圧の通過により30-31日はふぶきとなった。

表 5 昭和基地における天気概況 (2011 年 2 月～2012 年 1 月) (2/3)

Table 5. Weather summaries at Syowa Station (Feb. 2011-Jan. 2012). (2/3)

年・月	天気概況
2011年 6月	期間を通して低気圧の接近や通過に伴い曇り又は雪となった。低気圧の接近や通過に伴う暖気の流入により平均気温が高く、日最高気温の高い方からが2, 3, 10位を、日最低気温の高い方からが4位の値を更新した。また月最高気温の高い方からも2位と気温は高めとなった。
	上旬 1-2日は昭和基地の北東海上にある低気圧の接近により雪が降り、一時的にふぶきとなった。3-5日は、北東にある低気圧と基地の西に新たに発生した低気圧との気圧の尾根に位置したが、曇りとなった。6日は、西にある低気圧が北海上を通過したため風が強くふぶきとなった。7-10日は、気圧の尾根に位置したが、曇りが続いたものの一時的に晴れた。
	中旬 11日は西にある低気圧からの前線の影響によりふぶきとなった。12-14日は昭和基地の北海上を低気圧が通過したため曇りとなり、強い風のため地ふぶきが発生した。15日は北東にある低気圧の影響により雪となった。16-19日は北東と北西にある低気圧の気圧の尾根に位置し、また大陸からの高気圧の影響により晴れとなった。20日は基地の北西にある低気圧からの前線の影響によりふぶきとなった。
	下旬 21-23日は低気圧の通過によりふぶきとなり、低気圧の通過した24日に一時的に晴れたが、25-28日は再び低気圧が通過したためふぶきとなった。29-30日は新たな低気圧の通過により雪となった。
2011年 7月	期間を通して周期的に天気が変わったが、下旬には大陸からの高気圧の影響により晴天となった。気温は平均気温より上旬は低めに、中旬から下旬にかけては高めに推移した。
	上旬 1日は昭和基地が気圧の尾根に位置したため快晴となった。2日は基地の北西に低気圧が発生したため雲が多く、一時的に弱い雪が降った。この低気圧は、3日には衰退したため一時的に天気は回復したが、西から接近する低気圧により、4-5日にかけてはふぶきとなった。低気圧通過後の6日は晴天となったが、7日は基地付近で発生した低気圧が東進したため雲が多くなった。8-9日にかけては東にある低気圧と北西から接近する低気圧との気圧の尾根に位置したため晴天が続いたが、9日後半から10日にかけては低気圧の通過により一時的に雪となった。
	中旬 11-12日は、昭和基地の東と西に低気圧があり気圧の尾根に位置したため、晴天が続いた。13-15日にかけては、西にある低気圧が昭和基地北海上を通過したため雲が多く一時的に雪となったが、16日には天気は回復した。17日は基地の北海上に新たに発生した低気圧の影響により雲が増え、後半には西から移動してきた低気圧の影響により雪が降り、18日にはふぶきとなった。19日は引き続き低気圧の影響により雲が多く一時的に雪となったが、20日には低気圧は東に移動し、天気は回復した。
	下旬 21日は昭和基地の北東と北西にある低気圧との気圧の尾根に位置したため晴れたが、22-23日にかけて前線を伴う低気圧の接近によりふぶきとなった。低気圧は基地の北海上を通過後、北東海上で停滞したため一時的に雲が増えたが、24-31日までは大陸からの高気圧の張り出しの影響により晴天が続いた。
2011年 8月	期間を通して天気は数日の周期で変わった。低気圧の接近、通過に伴う暖気の流入により月の平均気温が高く、月平均気温の高いほうからの値が10位と順位値を更新した。
	上旬 1日は大陸からの高気圧の影響により快晴となったが、昭和基地北海上に発生した低気圧の影響により2日は地ふぶきとなった。この低気圧は3日には東に移動したため、再び大陸の高気圧の影響により快晴となった。3日の後半からは北西より接近した低気圧の影響により風が強くなり一時的にふぶきとなった。この低気圧は移動速度が遅いため、6日までは低気圧の影響により雪の日が続いた。7-8日は北西より新たに接近した低気圧の影響によりふぶきとなった。この低気圧が東に移動し9日は曇りとなった。10日は北西から新たに接近する低気圧の影響により雪となった。
	中旬 11日は北西から昭和基地付近を通過した低気圧によりふぶきとなった。12-15日は北西から基地西方へ移動した低気圧の影響により曇りとなった。この低気圧は次第に衰弱し、15日は晴れとなったが、16-17日は新たに北西から移動した低気圧の影響によりふぶきとなった。18日は大陸からの高気圧に覆われ晴天となったが、19-20日は新たに北西より接近した低気圧の影響により雪となった。
	下旬 21日は昭和基地の北海上にある低気圧の影響により雪となった。この低気圧は東へ移動したため、22日は天気は回復したが、23-24日にかけては、北西から接近する低気圧の影響により雲が多く雪となった。25日は低気圧の通過後に一時的に天気は回復したが、26日は新たに北西から接近した低気圧により雪が降りふぶきとなった。27日は低気圧が北に移動し次第に天気は良くなり、28-31日にかけては大陸の高気圧の影響により晴天が続いた。なお29日はカタバ風が強くなり日中は地ふぶきが続いた。
2011年 9月	上旬 上旬は高気圧の影響により晴れまたは一時的に曇りとなったが、中旬から下旬にかけては低気圧の接近や通過に伴い曇りの日が多く、一時的に雪の降る状態が続いた。
	上旬 1-3日は北東にある低気圧から新たに低気圧が発生し、昭和基地の北海上を通過し西に移動した。このため曇りとなった。4-5日は北東と西にある低気圧との気圧の尾根に位置したため晴れた。6-7日は基地の西にある低気圧が北海上を東進したため曇りとなり一時的に雪となった。8-10日は昭和基地の東と西にある低気圧との気圧の尾根に位置したため晴天が続いた。
	中旬 11日は大陸の高気圧の影響により晴れが続いた。12-13日は昭和基地北東海上にある低気圧の影響により曇りとなり一時的に雪が降った。14日は北東の低気圧が東進したため曇り又は晴れが続いた。15-16日は北海上にある低気圧が東進した影響により雪となった。17-18日は西から接近した低気圧の影響によりふぶきとなった。19-20日は大陸からの高気圧の影響により晴れたが北海上にある低気圧の影響により一時的に雪が降った。
	下旬 21日は、昭和基地の北および北東海上にある低気圧の影響により雪となった。この低気圧は22日には東に移動したが、北西海上から新たに接近した勢力の強い低気圧の影響により、22-23日はふぶきとなった。低気圧は次第に勢力を弱め東に移動し、24-25日は晴れが続いた。26日は基地の北西から新たに接近した低気圧の影響により曇りで一時的にふぶきとなった。27-28日はこの低気圧の影響により曇りとなり一時雪が降った。29-30日は大陸の高気圧の影響により晴天が続いた。

表 5 昭和基地における天気概況 (2011 年 2 月～2012 年 1 月) (3/3)

Table 5. Weather summaries at Syowa Station (Feb. 2011–Jan. 2012). (3/3)

年・月	天気概況	
2011年 10月		期間を通しておおむね高気圧の影響により晴天が続いたが、低気圧の接近や通過により一時的に曇り又は雪となった。また晴天の日には放射冷却現象が発生し気温が下がったため、月平均気温の低いほうからの値が2位と順位値を更新した。
	上旬	1日は昭和基地の東と西にある低気圧との気圧の尾根に位置したため晴れたが、2日は西にある低気圧の通過に伴い曇りとなり一時雪が降った。3-5日は弱い大陸の高気圧の影響により天気は晴れた。6-8日は西から移動してきた低気圧が北海上を通過したため一時的に曇りとなったが、大陸の高気圧の影響によりおおむね晴れた。9-10日は西にある低気圧の東進に伴い雪が降り一時的にふぶきとなった。
	中旬	11日は低気圧の通過後、西にある低気圧との気圧の尾根に位置したが曇りで一時的に晴れたが、12-13日は新たに昭和基地の西に発生した低気圧の影響により雪となった。14-16日は西海上から東進してきた低気圧の影響によりふぶきとなった。17日は低気圧が北海上を通過したために曇りとなった。18-20日は西に新たな低気圧が発生し、この低気圧と北西海上より接近した低気圧の影響によりふぶきとなった。
	下旬	21日は北西から接近した低気圧の影響により曇りで一時雪となった。22-24日は低気圧の通過後、一時的に曇りとなったが西から新たに接近した低気圧との気圧の尾根に位置したため晴天が続いた。25日は西から接近した低気圧の影響により雪となったが、26日は低気圧の通過後、気圧の尾根に位置したため晴れた。27-28日は西から接近した低気圧の影響により雪となった。29日から30日は低気圧の北東進に伴い次第に曇りから晴れとなった。31日は北海上にある低気圧の影響により曇りで一時的に雪となったが、後半には低気圧が遠ざかり晴れた。
2011年 11月		期間を通して高気圧の影響により晴天が続いたが、後半は低気圧の接近や通過により曇りで一時的に雪となった。晴天で日照時間が増えたことにより月平均気温の高いほうからの値が5位と順位値を更新した。
	上旬	1-4日は東西にある低気圧との気圧の尾根に位置し、また大陸の高気圧の影響により晴天が続いたが、3日は北西にある低気圧の影響により風が強く地ふぶきとなった。5日は北から北東海上に広がる低気圧の影響により曇りで一時的に雪となった。6日は北海上にある低気圧の影響により曇りとなった。7-10日は昭和基地の東と西にある低気圧との気圧の尾根に位置したため晴れたが、8-9日は北海上を低気圧が通過したため一時的に曇りとなった。
	中旬	11-13日は弱い低気圧が北海上を通過したため一時的に曇りとなったが、おおむね晴天が続いた。14日から15日は北海上を低気圧が通過したため雪が降り15日は曇りとなった。16-19日は低気圧の通過後、気圧の尾根に位置したため晴天が続いた。20日は北西から接近した前線を伴う低気圧の影響によりふぶきとなった。
	下旬	21日は低気圧の影響によりふぶきとなった。この低気圧は西海上で停滞したため、22日から24日まで雪となった。25日は北西から新たに接近した前線を伴う低気圧の影響によりふぶきとなった。26-28日は東西に弱い低気圧があるものの大陸の高気圧の影響により、晴天が続いた。29-30日は北海上を前線を伴う低気圧が通過したため曇りとなった。
2011年 12月		期間を通して低気圧の接近や通過により曇りが多く、時々雪の降る天気となった。このため、月間日照時間が少ない方からの値が1位に、日最高気温の低い方からの値が2, 4, 6, 9位に、日最低気温の低い方からの値が1, 4, 6, 10位に、更に月平均気温の低い方からの値が3位と12月の極値や順位値を更新した。またブリザードにより、日最大風速が20日に8位, 19日に9位, 16日に10位になり、日最大瞬間風速が20日に10位と順位値を更新した。
	上旬	1-2日は東西にある低気圧との気圧の尾根に位置したため晴れた。3-4日は北西にある前線を伴う低気圧の通過により曇りで一時的に雪となった。5-6日は北西海上から新たに接近した低気圧の影響により雪となった。低気圧通過後の7日は晴れたが、8日には昭和基地の北海上で新たに発生した低気圧の影響により雪となった。この低気圧は停滞したまま衰弱したため、9日には一時的に晴れたが、10日には西から接近した前線を伴う低気圧の影響によりふぶきとなった。
	中旬	低気圧の影響により11-12日は雪が降りふぶきとなった。13-14日は昭和基地付近を弱い低気圧が通過したため、曇りで一時的に晴れとなった。15-18日は前線を伴う低気圧の通過により風が強く、ふぶきとなった。19日は低気圧の通過後一時的に気圧の尾根に位置したため曇りで一時的に晴れた。20日は北西海上から接近した前線を伴う低気圧の影響によりふぶきとなった。
	下旬	21-25日は昭和基地の北西にある低気圧が北海上を東進したため一時的に曇りとなったが、大陸からの高気圧の影響により晴天が続いた。25-30日は新たに北海上を低気圧が通過したが、大陸の高気圧の影響が強いため一時的に曇りとなったものの晴天が続いた。31日は、基地の西海上から新たに接近した低気圧の影響により曇りで一時的に雪となった。
2012年 1月		上旬については高気圧の影響により晴天が続いた。中旬から下旬にかけては曇りで一時的に雪が降った。日最高気温の低い方からの値が10位に、日最低気温の低い方からの値が9位に、更に月平均気温の低い方からの値が10位と順位値を更新した。
	上旬	1-8日は大陸の高気圧の影響と東西にある低気圧との気圧の尾根に位置したため晴天が続いた。9日は昭和基地の北海上を低気圧が通過したため一時的に雪となったが、低気圧の通過後は大陸の高気圧の影響により晴天が続いた。
	中旬	11日は大陸の高気圧の影響により晴天が続いたが、12日は北海上を低気圧が通過したため曇りで一時的に雪となった。13-14日は北海上を新たに発達した低気圧が通過したため曇りとなった。15日は低気圧の通過後天気が回復したが、16-17日は新たに前線を伴った低気圧が北海上を通過したため雪となった。18-20日は北海上を通過する低気圧の影響により曇りとなった。
	下旬	21-22日は大陸の高気圧の影響により晴れが続いた。23日は西海上の低気圧からのびる前線の影響により雪となった。24日は前線の通過後一時的に晴れたが、25-28日は北西海上より新たに接近した低気圧の影響によりふぶきとなった。29日は西から新たに接近した低気圧の影響により曇りとなり、30-31日は雪が降り一時的にふぶきとなった。

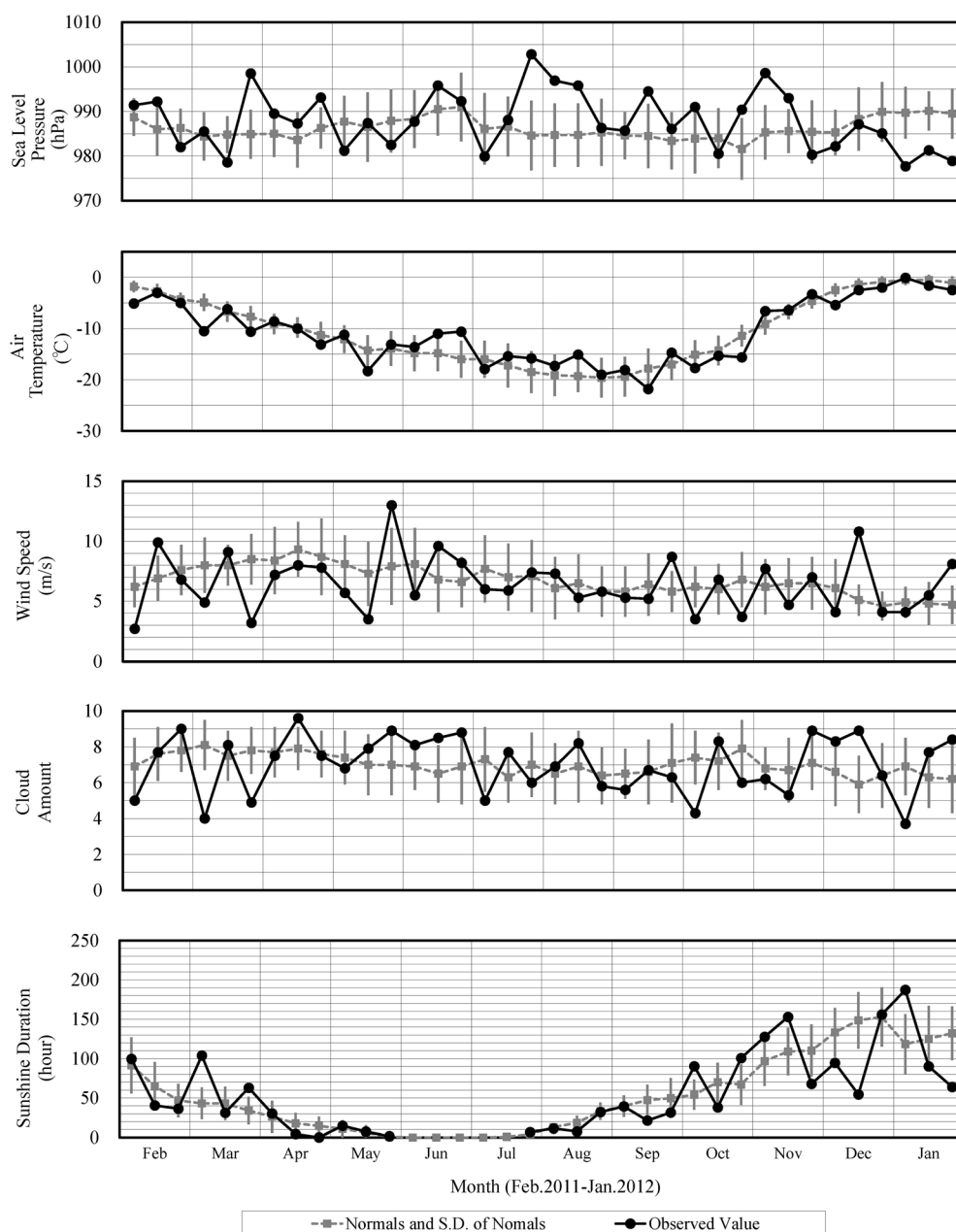


図 2 昭和基地における地上気象旬別経過図 (2011 年 2 月～2012 年 1 月). 平年値は 1981 年～2010 年の平均値.

Fig. 2. Time series of ten-day mean surface meteorological data at Syowa Station (Feb. 2011–Jan. 2012). Normal values are average value in 1981 to 2010.

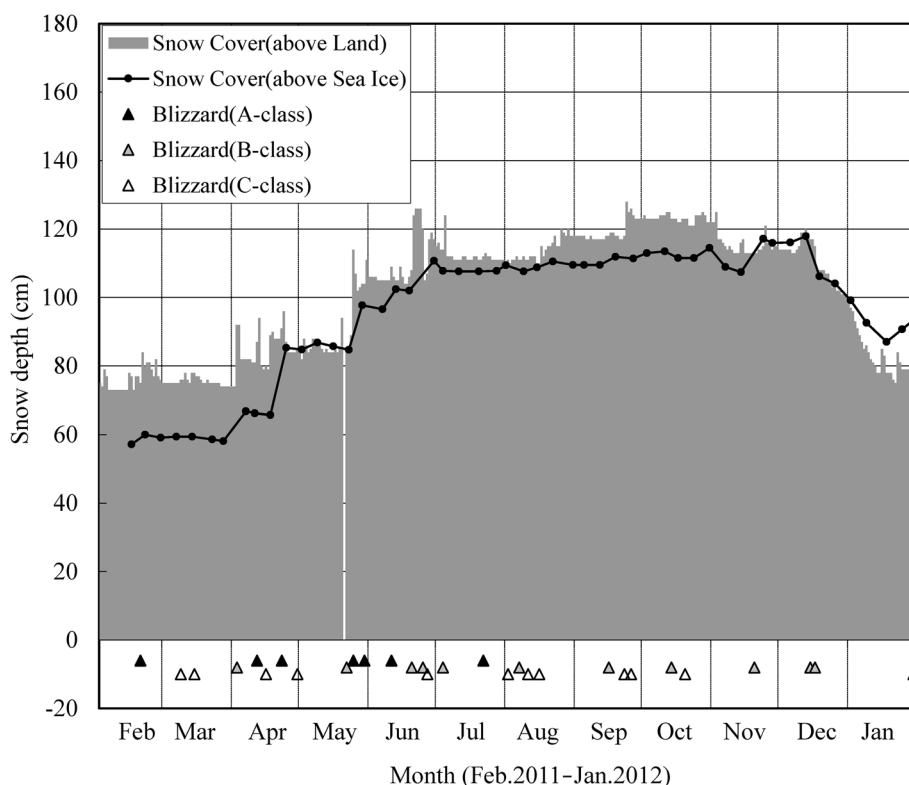


図 3 海氷上（雪尺）と昭和基地内（積雪計）の積雪深観測値の比較（2011 年 2 月～2012 年 1 月）
 Fig. 3. Comparison of snow depth on sea ice with that at Syowa Station (Feb. 2011–Jan. 2012).

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，2004a）に基づき，毎日 00，12 UTC の 2 回高層気象観測を行った．RS-01 GM 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°C に達するまでの相対湿度の高度分布を観測した．各センサーの性能を表 6 に示す．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（6. 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．このために 00 UTC の観測は高度 5 hPa の観測データ取得を目標とし，低温のため到達高度が低くなる極夜期を中心とした時期には，より到達高度性能の高い 1200 g ゴム気球を使用した高高度ゾンデ観測を行った．飛揚直前には，受信信号周波数，GPS 衛星信号，気温及

び湿度に関しての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。

3.2. 観測経過

表 7 に観測状況、欠測及び資料欠如の概要を示す。

第 52 次隊として 2011 年 2 月 1 日 00 UTC より 2012 年 1 月 31 日 12 UTC までの観測を行った。この期間中、ブリザードによる強風が原因による欠測が 4 回（2 月 16 日 00 UTC、4 月 13 日 00 UTC、5 月 25 日 12 UTC、6 月 26 日 00 UTC）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 年を通して恒温槽にて $+35 \sim +38^{\circ}\text{C}$ にあらかじめ暖めた気球を観測に使用した。特に冬季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ことを防ぐため、5 月 1 日から 10 月 24 日までゴム気球を暖房用の燃料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°C を下回る時期を目安とした。

3.3. 観測結果

2011 年 1 月から 2012 年 1 月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、2011 年 1 月から 2012 年 1 月の 00 UTC におけ

表 6 RS-01GM 型 GPS ゾンデの各センサの性能
Table 6. Sensor performances of the 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	1040～5hPa	0.1hPa	計測精度 地上～100hPa： $\pm 1\text{hPa}$ 100hPa～5hPa： $\pm 0.5\text{hPa}$
	気温	ビード型ガラスコートサーミスタ （アルミ蒸着加工）	$+40 \sim -85^{\circ}\text{C}$	0.1 $^{\circ}\text{C}$	飛揚前点検で精度確認 計測精度 $\pm 0.5^{\circ}\text{C}$
	湿度	高分子感湿膜（静電容量変式）	1～100%RH	0.1%RH	飛揚前点検で精度確認 計測精度 $\pm 7.0\%\text{RH}(10 \sim 95\%)$ $\pm 10.0\%\text{RH}$ （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 $^{\circ}$	0.1 $^{\circ}$	
	風速		0～200m/s	0.1m/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）に変換する。	-200.0m～40000.0m	0.1m	計測精度 $\pm 5.0\text{m}$

表 7 昭和基地における高層気象観測状況

Table 7. Number of observations and attained height of aerological observations at Syowa Station.

年 月			2011年											2012年	合計
項目			2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月	1月	平均/極値
飛揚回数			57	63	65	66	67	69	65	62	65	60	62	62	763
定時観測回数			55	62	59	61	60	62	62	60	62	60	62	62	727
欠測回数 (※1)			1	0	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	4
資料欠如回数 (※2)			0	0	0	0	0	0	1	0	2	0	1	0	4
再観測回数			2	1	6	5	7	7	3	2	3	0	0	0	36
到達気圧 / 高度	00 UTC	平均 hPa	10.5	10.6	16.0	10.4	7.2	9.2	12.7	8.7	20.1	11.9	12.3	11.9	11.8
		平均 km	31.1	30.5	27.8	30.2	30.2	28.8	28.7	29.7	28.3	31.0	32.4	30.8	30.0
		最高 hPa	6.3	7.6	9.0	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	8.4	5.0
		最高 km	34.7	32.7	30.9	32.9	32.1	31.9	32.5	31.7	34.7	35.7	36.7	32.9	36.7
	12 UTC	平均 hPa	10.7	13.0	10.9	11.5	10.9	14.4	10.2	11.6	17.9	10.8	12.6	11.5	12.2
		平均 km	31.2	29.9	29.7	28.2	28.3	27.2	27.9	27.4	26.3	30.3	30.7	30.9	29.0
		最高 hPa	5.0	5.0	5.0	5.8	6.3	5.1	5.0	6.1	8.2	5.6	5.0	6.7	5.0
		最高 km	36.2	35.8	34.4	31.6	30.3	31.6	31.5	30.8	31.0	34.9	36.3	34.6	36.3

※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.

る各指定気圧面の月平均気温と月平均気温平年値の年変化を図4に示す.

図4から300hPa面から下層と200hPaから上層とで傾向に違いがみられた.

300hPa面から下層については、700–300hPa面付近は2011年1月から10月にかけて平年より気温が高い状態がおおむね続いた. 500–300hPa面付近では2011年12月から2012年1月は平年より気温が低かった. 200hPaから上層については、2011年2月から5月は各層の気温はほぼ平年並みで推移した. 100–50hPa面付近は6月から12月にかけて平年より気温が低い状態がおおむね続いた. 200hPa面では2011年11月以降平年より気温が低かった. 30hPa面は2011年6月から9月にかけて平年より気温が低かった.

成層圏の最低気温が下がり、常に -70°C 以下となり始めたのは5月の中旬からで、6月からは -80°C 以下が明瞭に現れるようになった. -80°C 以下の領域は9月中旬まで観測できた.

成層圏突然昇温は極夜明けの時期に観測でき、WMOへの通報基準である最大上昇温度が 25°C /7日以上の上昇は、10hPaでは10月2日に 32.7°C 、15hPaでは9月30日に 37.4°C 、10月9日に 25.1°C 及び10月12日に 33.0°C 、20hPaでは9月30日に 28.5°C 、10月8日 27.3°C 及び10月18日 27.0°C の7事例を観測した.

図5に南半球における月平均500hPa高度及び平年偏差を、図6に月平均30hPa高度及び平年偏差を示す. これらは、長期再解析データJRA-55より作成されたもの (http://jra.kishou.go.jp/JRA-55/index_ja.html) で、偏差は平年値(1981–2010年)からのずれを示している. 500hPaの月平均高度においては2011年2月の状況では5100m以下の領域が出現し、南北方向の傾きが大きい状態となっていた. 昭和基地及び大陸上空は越冬期間のうち12月、2012年1月を除いておおむね正偏差の状態が続いた. 2011年11月は大陸上空では正偏差が

表 8 月別指定気圧面観測値 (00UTC)

Table 8. Monthly summaries of aerological data at standard pressure levels (00UTC).

項目	指定面 (hPa)	2011年														2012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	1191	1178	1158	1174	1108	1180	1151	1170	1126	1123	1192	1146	1158	1116	
	800	1661	1642	1619	1634	1563	1638	1603	1620	1571	1573	1653	1611	1616	1584	
	700	2680	2650	2623	2631	2552	2633	2585	2602	2549	2559	2652	2620	2611	2597	
	600	3829	3787	3755	3759	3670	3756	3691	3714	3657	3673	3777	3755	3735	3736	
	500	5152	5098	5057	5056	4953	5050	4959	4991	4931	4952	5072	5058	5027	5044	
	400	6713	6646	6592	6584	6467	6574	6452	6495	6430	6459	6597	6593	6550	6590	
	350	7614	7541	7479	7467	7342	7452	7317	7363	7296	7330	7476	7480	7430	7482	
	300	8625	8552	8475	8462	8326	8435	8288	8336	8269	8307	8461	8477	8418	8484	
	250	9805	9745	9641	9619	9468	9561	9406	9454	9385	9430	9591	9630	9561	9650	
	200	11264	11226	11090	11044	10867	10905	10745	10787	10711	10775	10947	11035	10950	11095	
	175	12144	12117	11965	11904	11705	11704	11537	11575	11489	11573	11752	11881	11779	11968	
	150	13163	13145	12975	12896	12669	12624	12444	12478	12380	12490	12677	12859	12733	12978	
	125	14368	14359	14168	14065	13804	13706	13506	13536	13426	13569	13765	14017	13857	14178	
	100	15846	15845	15627	15490	15180	15017	14787	14815	14696	14869	15090	15431	15224	15656	
	70	18227	18221	17951	17748	17349	17074	16801	16835	16708	16970	17225	17728	17403	18052	
	50	20494	20466	20139	19853	19361	18976	18666	18718	18598	18979	19297	19947	19458	20345	
	40	22006	21957	21587	21244	20681	20224	19890	19961	19854	20341	20717	21450	20826	21879	
	30	23975	23886	23454	23027	22367	21819	21448	21555	21473	22142	22621	23417	22599	23866	
気温 (℃)	850	-7.5	-10.3	-12.8	-13.2	-16.1	-14.5	-17.9	-18.6	-21.4	-18.8	-11.9	-9.7	-14.4	-8.1	
	800	-10.0	-12.6	-14.2	-15.5	-17.7	-16.1	-19.5	-20.2	-22.7	-19.7	-14.8	-12.2	-16.3	-11.1	
	700	-15.4	-18.3	-19.1	-20.3	-22.4	-21.4	-25.0	-24.0	-24.7	-23.0	-20.7	-18.4	-21.1	-17.4	
	600	-21.8	-24.1	-25.5	-26.6	-28.9	-27.3	-31.3	-29.9	-30.5	-29.5	-26.7	-25.1	-27.3	-24.2	
	500	-29.1	-31.2	-33.1	-34.1	-36.5	-34.5	-39.8	-37.9	-38.5	-37.6	-34.6	-32.9	-35.0	-31.7	
	400	-39.4	-41.4	-43.3	-44.3	-46.3	-45.4	-49.2	-48.1	-48.6	-47.5	-45.0	-43.3	-45.2	-41.8	
	350	-45.9	-47.0	-49.3	-49.9	-52.1	-51.6	-54.8	-54.2	-54.5	-53.3	-51.3	-49.1	-51.1	-48.0	
	300	-51.3	-50.3	-54.6	-55.2	-57.6	-58.8	-60.9	-60.6	-60.7	-59.8	-58.2	-55.1	-56.9	-53.9	
	250	-51.8	-48.3	-53.3	-56.3	-59.6	-65.4	-66.1	-66.6	-67.1	-65.3	-63.8	-58.3	-60.2	-54.1	
	200	-48.4	-45.2	-49.7	-53.5	-58.6	-68.5	-69.7	-70.8	-72.9	-68.5	-66.7	-57.2	-60.8	-50.2	
	175	-47.6	-45.2	-49.1	-53.2	-59.0	-68.9	-71.2	-72.2	-74.9	-69.4	-67.6	-56.6	-61.2	-49.6	
	150	-47.5	-45.5	-49.3	-53.6	-59.9	-69.6	-73.1	-73.9	-76.5	-70.4	-68.7	-56.3	-62.0	-48.9	
	125	-47.1	-45.6	-49.7	-54.5	-61.4	-71.2	-75.5	-76.0	-77.7	-71.6	-69.9	-56.1	-63.0	-47.8	
	100	-46.3	-45.8	-50.1	-55.6	-63.6	-73.9	-78.5	-78.5	-79.8	-72.1	-70.4	-55.4	-64.2	-45.6	
	70	-44.0	-45.5	-50.8	-57.7	-67.4	-78.3	-82.1	-81.0	-80.9	-70.4	-66.1	-50.5	-64.6	-42.0	
	50	-41.7	-45.1	-51.3	-59.5	-70.2	-81.3	-85.1	-82.9	-81.4	-66.5	-58.9	-45.1	-64.1	-39.1	
	40	-40.1	-44.4	-51.6	-60.9	-72.1	-82.9	-86.3	-83.5	-81.4	-62.6	-52.3	-40.9	-63.3	-37.8	
	30	-38.4	-43.7	-51.3	-61.7	-73.3	-84.5	-87.4	-84.2	-80.0	-55.5	-41.6	-35.5	-61.4	-36.4	
風速 (m/s)	850	15.6	7.1	8.5	9.7	9.1	10.1	10.8	9.1	10.1	6.1	7.5	8.4	9.3	8.0	
	800	13.8	6.7	7.5	8.4	7.5	8.9	9.3	7.6	9.2	5.5	6.9	8.1	8.3	7.3	
	700	10.4	6.7	7.9	7.6	8.4	9.6	9.1	8.1	9.0	6.9	7.1	7.6	8.2	6.5	
	600	10.7	7.0	7.4	8.2	9.9	11.1	10.5	11.2	11.7	9.3	8.3	7.6	9.4	6.4	
	500	12.2	9.6	8.0	10.6	10.3	15.2	11.7	14.3	13.9	11.5	9.7	9.3	11.4	7.5	
	400	13.5	12.3	10.4	14.6	14.5	19.5	12.1	18.8	16.7	15.6	10.7	12.4	14.3	9.2	
	350	15.0	14.9	12.4	16.7	16.3	20.9	12.8	20.9	19.3	17.3	11.3	14.5	16.0	10.4	
	300	14.6	15.9	13.9	17.8	17.9	22.1	12.2	21.3	19.8	18.6	12.4	15.3	16.8	11.2	
	250	12.3	14.6	13.1	16.2	17.0	22.4	11.7	21.0	20.1	18.6	13.3	15.4	16.3	9.1	
	200	8.8	12.3	11.1	14.6	15.6	20.0	11.0	20.1	18.3	18.7	11.7	13.4	14.6	6.8	
	175	8.7	11.7	11.0	14.9	16.0	18.6	11.3	19.5	17.6	19.4	10.6	12.4	14.3	6.6	
	150	8.8	11.2	11.4	15.3	17.0	17.1	11.9	19.8	16.9	20.3	10.1	12.6	14.4	7.2	
	125	8.3	10.0	11.2	15.6	18.7	18.8	12.9	20.6	17.1	22.6	10.4	13.5	15.0	7.3	
	100	8.1	9.4	10.9	16.1	20.5	20.0	14.5	23.5	18.1	25.0	10.2	14.4	15.9	7.8	
	70	5.9	7.9	11.0	18.2	24.5	24.2	18.4	28.6	21.5	33.1	13.7	15.8	18.6	6.8	
	50	5.2	6.1	10.5	20.5	27.8	28.6	23.3	34.5	26.3	42.0	18.3	16.3	21.6	5.1	
	40	4.8	5.4	11.0	22.1	31.0	30.4	25.2	38.8	29.3	49.5	22.8	15.1	23.8	5.2	
	30	5.0	5.6	10.5	24.0	35.5	33.8	28.6	43.9	34.7	59.8	27.4	14.1	26.9	5.0	

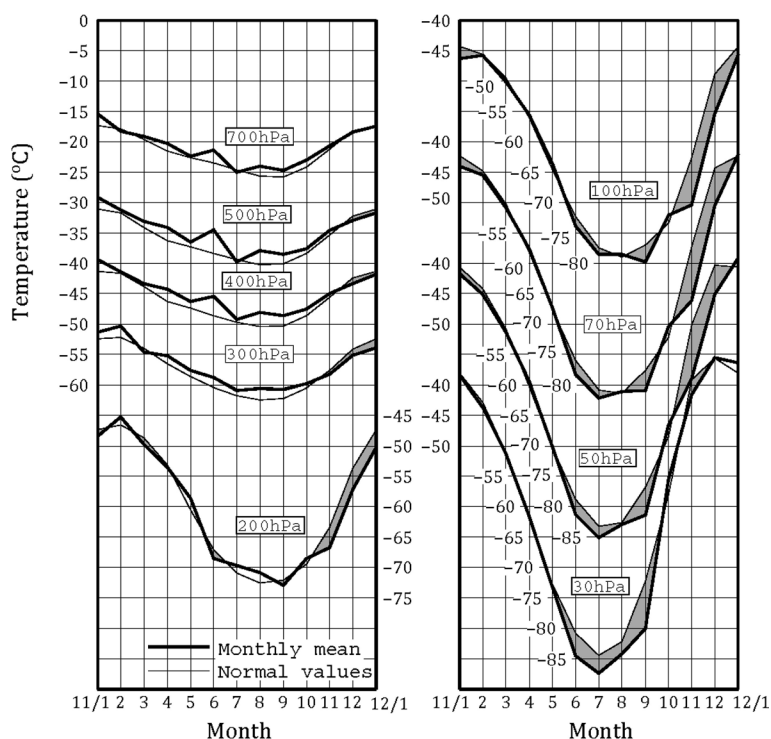


図 4 指定気圧面の月平均気温の年変化（2011 年 1 月～2012 年 1 月）と月平均気温平年値（1981 年～2010 年）の年変化（00UTC）. (a) 700–200hPa, (b) 100–30hPa

Fig. 4. Annual variations of monthly mean upper air temperature (Jan. 2011–Jan. 2012) and normal values (1981–2010) at Syowa Station. (a) 700–200hPa, (b) 100–30hPa.

明瞭だったが 12 月からは負偏差が明瞭となり 1 月まで続いた。30 hPa の月平均高度においては 4 月より極渦が強化され始めて 8 月に最盛期を迎えた。極渦は 11 月まで続き 12 月には顕著に弱くなった。10 月は波数 1 の偏差分布が明瞭となり、昭和基地上空は正偏差が大きかった。この状況は 11 月には 10 月と比べて時計回りに 90 度回転したパターンとなり、12 月には反転し、昭和基地上空は極渦が弱まるものの負偏差の状況が続いた。

4. オゾン観測

4.1. 2011 年のオゾンホールの特徴

気象庁（2012）によると、2011 年のオゾンホールは、例年と同様に 8 月に発生し、その面積は 9 月 12 日に当年の最大面積である 2550 万 km^2 （南極大陸の約 1.8 倍）まで拡大した。その後、9 月下旬～11 月中旬まで過去（2001–2010 年）の同期間と比べて大きい規模で推移したが、11 月中旬以降急速に縮小し、12 月 22 日に消滅した。オゾン欠損量と最低オゾン全量は、10 月 8 日に、それぞれ年最大である 8940 万トン、年最低値である 94 m atm-cm となっ

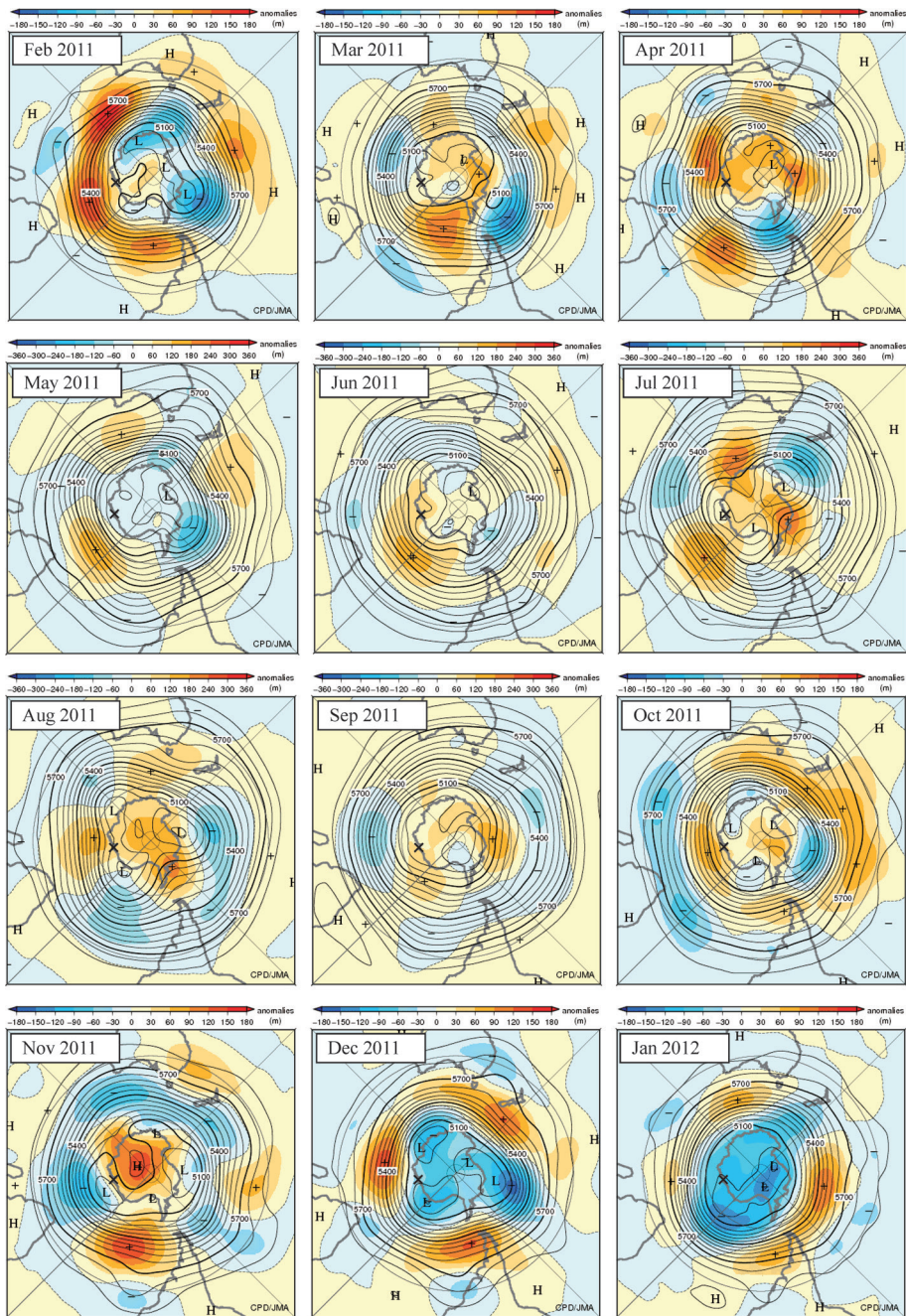


図 5 南半球における月平均 500hPa 高度 (等値線) 及び年偏差 (陰影) (2011 年 2 月～2012 年 1 月). 等値線間隔は 60m. 年偏差は 1981-2010 年平均值. ×印は昭和基地の位置を示す.

Fig. 5. Monthly mean 500hPa height and anomaly in the southern Hemisphere (Feb. 2011-Jan.2012). The contours show height at interval of 60m. The shading indicates height anomalies. Anomalies are deviations from the 1981-2010 average. X mark shows the location of Syowa Station.

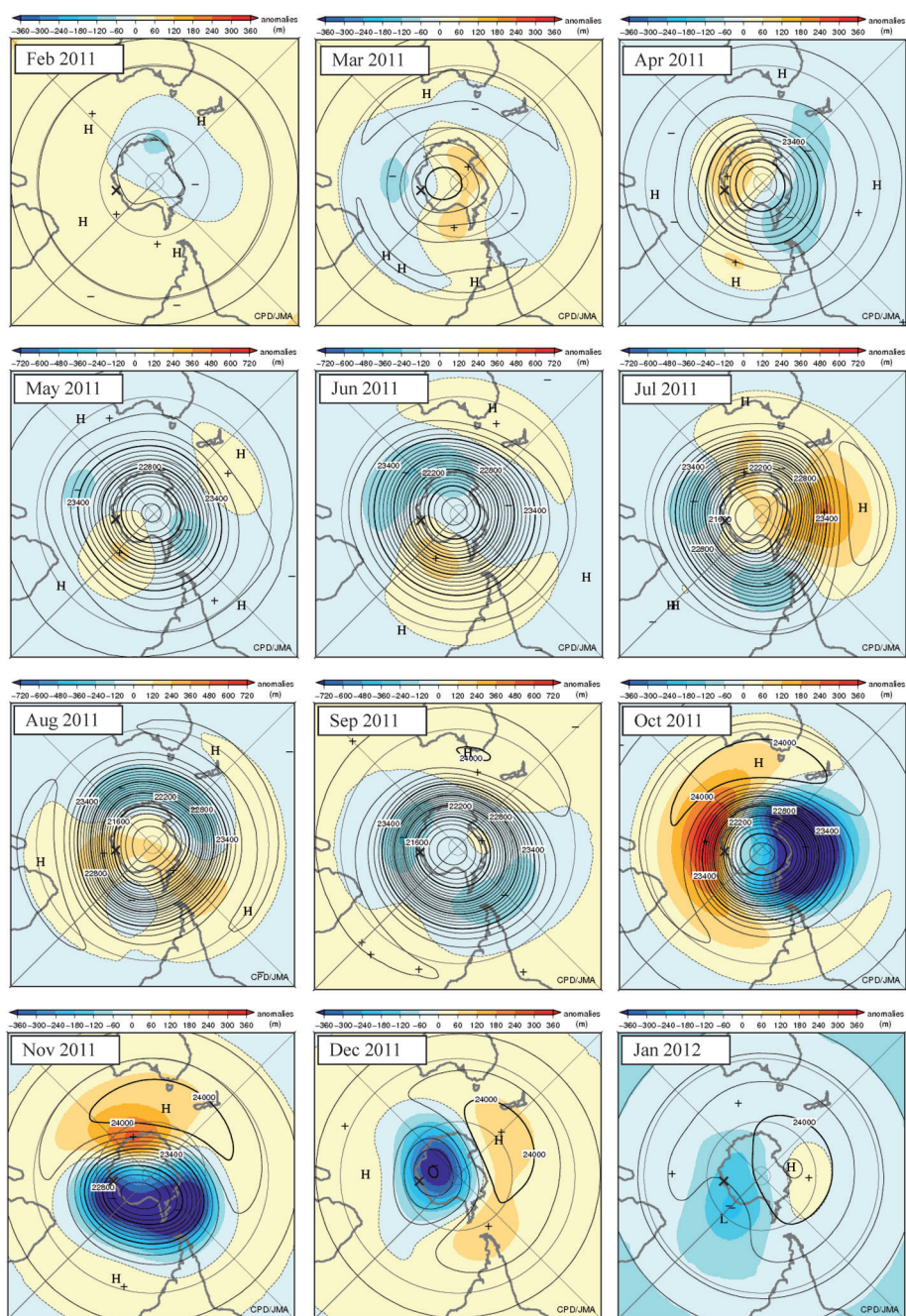


図 6 南半球における月平均 30hPa 高度 (等値線) 及び平年偏差 (陰影) (2011 年 2 月～2012 年 1 月). 等値線間隔は 120m. 平年値は 1981-2010 年平均値. ×印は昭和基地の位置を示す.

Fig. 6. Monthly mean 30hPa height and anomaly in the southern Hemisphere (Feb. 2011-Jan.2012). The contours show height at interval of 120m. The shading indicates height anomalies. Anomalies are deviations from the 1981-2010 average. X mark shows the location of Syowa Station.

た。(単位については 4.2.1 参照)

2011 年の最大面積は、過去 10 年間 (2001–2010 年) の平均 (2520 万 km^2) とほぼ同程度で、最近 10 年間 (2002–2011 年) では 5 番目に大きかった。2011 年のオゾン欠損量の年最大値は、最近 10 年間で 4 番目に大きく、最低オゾン全量の年最低値は、最近 10 年間で 3 番目に小さかった。

このように、2011 年のオゾンホール規模の年最大面積が過去 10 年間の平均と同程度だったのは、極域成層圏雲が出現する目安となる -78°C 以下の領域の面積が、年間で最も大きくなる 7–8 月にかけてほぼ平均並で推移したためと考えられる。また、オゾンホールが例年よりも弱まりにくく、過去の平均よりも大きい規模が 11 月中旬まで継続した原因としては、同期間の気温が低く、極渦が強かったことにより、中低緯度からのオゾン量の高い空気塊の流入が妨げられたためと考えられる。

4.2. オゾン全量観測

4.2.1. 観測方法と測器

オゾン全量とは、地表から大気上端までの単位面積あたりの気柱に含まれているすべてのオゾン量のことであり、このオゾン量の観測をオゾン全量観測という。オゾン全量は、気柱に含まれるすべてのオゾンを 1 気圧、 0°C とした時の層の厚さで、単位を m atm-cm で表す。昭和基地ではオゾン観測指針 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。使用器材を表 9 に示す。測器の保護のため、降雪や強風時を除いて観測を実施した。

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「 μ 」) 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 305.5 nm と 325.0 nm, D 波長組: 平均波長 317.5 nm と 339.9 nm) 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 311.5 nm と 332.4 nm, D 波長組: 平均波長 317.5 nm と 339.9 nm) を、それぞれ用いて観測を行った。太陽北中時の μ 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 μ の値は、測器によって異なるうえ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季には、月齢が 7–23 で μ 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。

また、2011 年 1 月 7 日及び 12 日に、第 51 次隊の観測測器（Beck119）との比較観測を実施した。

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 を使用した。この Beck122 は 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。越冬開始前には、Beck119 との比較観測を実施して測器の精度の確認を行った。

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

観測項目	使用測器等	型式及び測器番号	単位及び測定範囲	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光し、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	ラジオ ゾンデ	RS-06G	気圧	1050～3hPa
			気温	+40～-90℃
			湿度	1～100%RH
			風向 風速	0～360° 0～200m/s
	オゾン センサ	ECC-1Z	mPa	飛揚前に、ポンプ流量補正係数を測定し、点検装置で性能を確認 反応液（ヨウ化カリウム溶液）
	気球	2000g		ゴム気球 ※標準浮力：3200g
	巻下器 又は吊紐			クレモナ製 50m 紐使用
地上オゾン 濃度観測	オゾン 濃度計	Dylec MODEL1100 No. A-1781-1 No. A-1781-2	0～200ppbv	紫外線吸収法，最小感度 0.1ppbv， 15 秒サンプリング

表 10 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 10. Days of total ozone observations and ozone Umkehr observations with the Dobson spectrophotometer at Syowa Station.

年	2011												2012	
月	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	1	合計	
全量観測日数 (太陽光)*1	24	29	22	2	-	-	18	26	30	29	29	31	240	
全量観測日数 (月光)*1	-	3	4	3	5	8	6	5	-	-	-	-	34	
反転観測日数 (ロング)*2	10	9	-	-	-	-	-	3	14	13	2	7	58	
反転観測日数 (ショート)*2	0	4	2	-	-	-	4	6	3	1	0	1	21	

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。

その結果、直射光比較観測のデータに異常がないことが確認できたことから、2月1日に測器の入れ替えを行って Beck122 による観測を開始し、Beck119 は点検・調整・校正のため第 51 次隊が国内に持ち帰った。

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 10 に示す。5-8 月は太陽高度角が低いため観測可能日数が少ない。6-7 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 μ の条件がさうう日数は月に 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

2011 年 1 月から 2012 年 1 月のオゾン全量日代表値の年変化を図 7 に示す。昭和基地上空のオゾン全量は、8 月下旬から 12 月中旬までオゾンホールが目安となる 220 m atm-cm をほぼ継続して下回った。9 月下旬と 10 月下旬に非常に少ないオゾン全量が観測され、9 月 21 日、最小値である 149 m atm-cm を記録した。10 月上旬以降は、大気の流れによってオゾンホールが変形、移動しながら、昭和基地上空を覆ったり離れたったりしたため、オゾン全量が大きく変動しているが、12 月中旬以降はオゾンホールが昭和基地上空から離れたため、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 8 に示す。2 月の月平均オゾン全量 (280 m atm-cm) 及び 12 月の月平均オゾン全量 (257 m atm-cm) はともに過去 4 番目に少なかった。

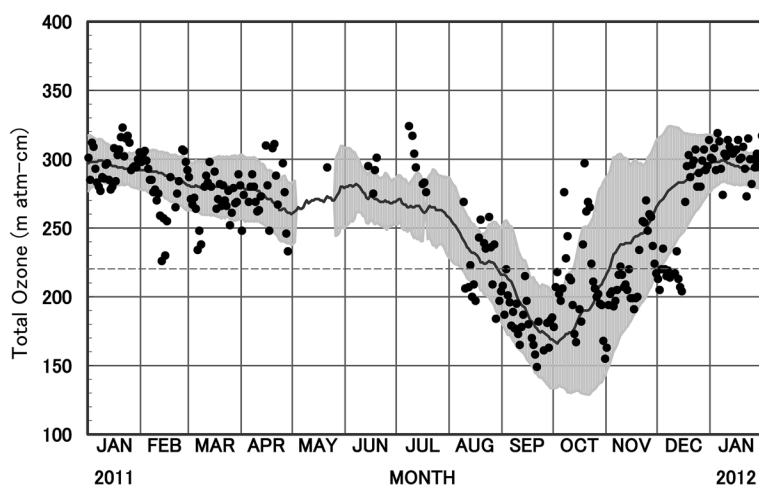


図 7 昭和基地におけるオゾン全量日代表値の年変化 (2011 年 1 月～2012 年 1 月). 陰影部は参照値 (1994-2008 年) とその標準偏差 (σ) を、破線はオゾンホールの目安である 220 m atm-cm の値を示す。

Fig. 7. Annual variations in total ozone at Syowa Station (Jan. 2011-Jan. 2012). The average and standard deviations ($\pm\sigma$) of the 1994-2008 periods are shown for comparison in light gray. The dashed line shows 220 m atm-cm.

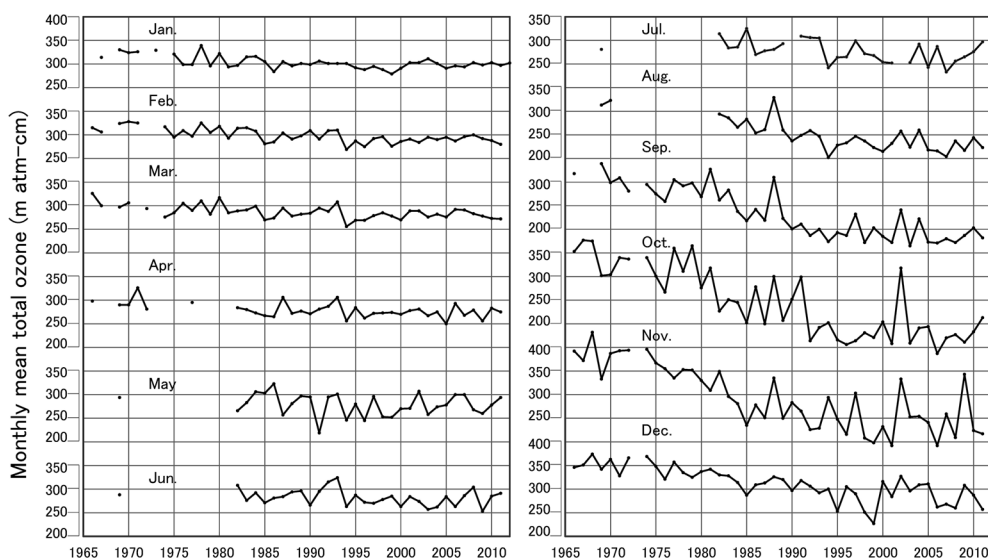


図 8 昭和基地における月平均オゾン全量の経年変化 (1966 年 2 月～2012 年 1 月)

Fig. 8. Time series of monthly mean total ozone at Syowa Station (Feb. 1966–Jan. 2012).

4.3. オゾン反転観測

4.3.1. 観測方法と測器

オゾン反転観測とは、天頂からの太陽散乱光のうち、オゾンに吸収されやすい紫外線とされにくい紫外線の強度比を連続的に観測してオゾンの鉛直分布を求める観測である。反転とは、このような観測を行うと太陽高度角が大きくなるにつれて二つの紫外線の強度比は大きくなるが、ある高度角から逆に小さくなる現象を表したものである。

オゾン観測指針 オゾン全量・反転観測編 (気象庁, 1991) に準じ、オゾン全量観測と同じ観測器材、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 60–90 度、ショート反転観測では 80–89 度の範囲について、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 10 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、オゾン量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

2011 年 1 月から 2012 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の高度分布を図 9 に示す。2011 年 4-8 月はロング反転観測データが得られなかったため表示していない。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)。

9-11 月にかけては第 2, 3, 4 層 (253-31.7 hPa) のオゾン量が少ない状態で推移したが、白夜期の観測中断後は極夜期前まで回復した。第 8, 9, 10 層 (3.96 hPa より上層) のオゾン量は 1-3 月にかけて増加し、10-11 月にかけて減少する傾向であった。第 1 層 (surface～253 hPa) のオゾン量は 10-11 月にかけて減少し、2012 年 1 月も少ない状態が続いた。

4.4. オゾンゾンデ観測

4.4.1. 観測方法と測器

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た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、湿度、風向及び風速の高度分布を観測した。使用器材を表 9 に示す。オゾンセンサはポンプ、モーター、反応管等で構成され、ポンプにより大気を反応管に取り込み、大気中に含まれるオゾンと反応液（ヨウ化カリウム溶液）との化学反応の際に生ずるオゾン量に比例した反応電流を測ることによりオゾン量を求めている。オゾンゾンデの信号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 2000 g のゴム気球を使用し、ヘリウムガスを充填して浮力^{すい}による浮力を 3200 g（巻下器不使用時は 3000 g）とした。また、5 月から 10 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時期には、反応液の凍結を防ぐために、内部にウォーターバッグを入れて保温し低温対策を行った。観測は原則として、風が弱く晴天の日を選び、12 UTC の高層気象観測を兼ねて行い、飛揚間隔は通常は 7 日から 10 日ごとに、オゾンホール時期（8 月～12 月）は 4 日から 7 日ごとにした。

4.4.2. 観測経過

第 52 次隊では、2011 年 2 月から 2012 年 1 月にかけて 52 台のオゾンゾンデを使用して観測を行った。オゾンゾンデの観測状況を表 11 に示す。電波の受信不良によりデータ抜けが多く信頼性が低いと判断した 2 回（4 月 6 日、8 月 9 日）は、不採用とした。また、低高度で気球が破裂したことでオゾンの極大域まで十分に観測できないことが 3 回（3 月 24 日、7 月 1 日、10 月 7 日）あった。その他の観測はおおむね順調にデータを取得することができた。

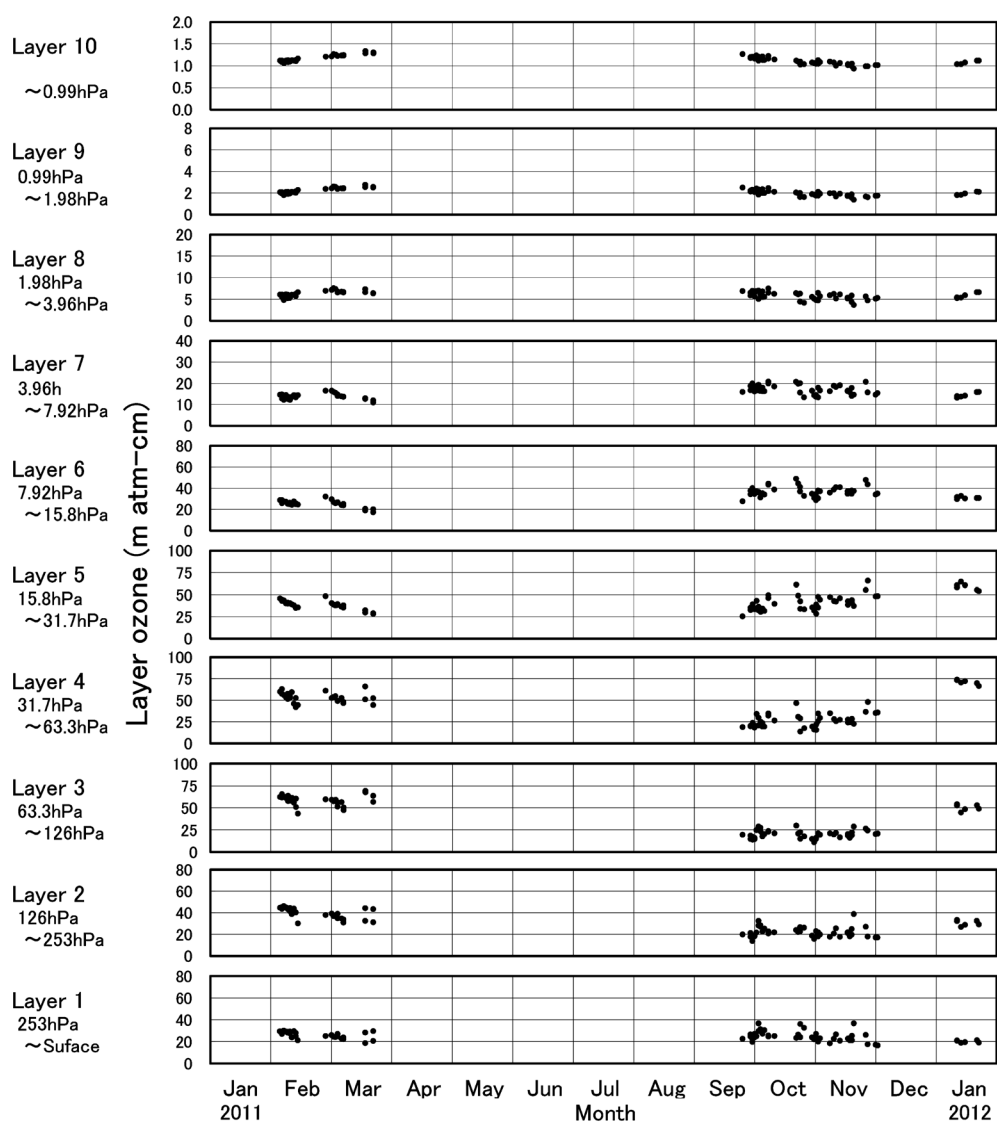


図 9 昭和基地における反転観測による気層別オゾン量 (2011 年 1 月～2012 年 1 月)

Fig. 9. Amount of ozone in the selected layers obtained by Umkehr observations at Syowa Station (Jan. 2011–Jan. 2012).

4.4.3. 観測結果

2011 年 2 月から 2012 年 1 月までのオゾン分圧の月別高度分布を図 10 に示す。オゾン分圧は例年と同様、地表～300 hPa 付近は少なく、オゾンホール発生時期を除いて 300 hPa 付近より上空では急激に増加し、100 hPa～30 hPa で最大となり、30 hPa より上空では減少する高度分布を示した。

表 11 オゾンゾンデ観測状況

Table 11. Dates of observations and attained heights of ozonesonde.

	年 月	2011年									
		2月		3月		4月		5月		6月	
日	観測	4	6.6	5	5.0	6	-	5	15.4	7	11.0
	終了	18	5.1	19	4.0	17	5.2	15	10.4	17	14.9
	気圧	27	5.5	24	52.7	27	19.6	23	26.3	27	5.4
	(hPa)										
日	観測	3	4.9	4	6.7	4	11.5	3	5.8	2	4.6
	終了	9	-	7	7.8	7	44.2	8	9.3	7	53.6
	気圧	13	5.9	11	7.1	13	15.3	12	5.7	13	10.2
	(hPa)	18	5.4	15	7.7	17	9.7	16	8.3	20	7.4
		25	19.3	19	13.8	21	15.4	23	8.3	28	11.7
		30	6.0	25	8.4	30	8.2	28	7.7		
				29	11.5						
	年	2011年									
	月	8月		9月		10月		11月		12月	
日	観測	3	4.9	4	6.7	4	11.5	3	5.8	2	4.6
	終了	9	-	7	7.8	7	44.2	8	9.3	7	53.6
	気圧	13	5.9	11	7.1	13	15.3	12	5.7	13	10.2
	(hPa)	18	5.4	15	7.7	17	9.7	16	8.3	20	7.4
		25	19.3	19	13.8	21	15.4	23	8.3	28	11.7
		30	6.0	25	8.4	30	8.2	28	7.7		
				29	11.5						
	年	2012年									
	月	8月		9月		10月		11月		12月	
日	観測	3	4.9	4	6.7	4	11.5	3	5.8	2	4.6
	終了	9	-	7	7.8	7	44.2	8	9.3	7	53.6
	気圧	13	5.9	11	7.1	13	15.3	12	5.7	13	10.2
	(hPa)	18	5.4	15	7.7	17	9.7	16	8.3	20	7.4
		25	19.3	19	13.8	21	15.4	23	8.3	28	11.7
		30	6.0	25	8.4	30	8.2	28	7.7		
				29	11.5						

9月以降は、オゾンの破壊が進み、オゾンホール発生前と比べて 300 hPa～20 hPa の高度でオゾン分圧が少なくなった。その後、上層から徐々にオゾンの回復が進み、12 月にはほぼ回復した。

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 4 m の高さに設置してある大気取り入れ口からテフロン配管を通して大容量ポンプを使用して地上付近の大気を吸引し、更にオゾン濃度計内のポンプを使用して毎分 1.5 リットルの流量でオゾン濃度計に取り入れ、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（Dylec MODEL1100）で 15 秒ごとに測定した。データは収録用パソコン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。使用器材を表 9 に示す。

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 台は帰国する前次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。さらに昭和基地に持ち込んだ 2 台を半年ずつ使用することで、長期間の使用によって生ずる水銀ランプ照度低下などによる測定誤差を最小限に抑えている。第 52 次隊では、新規に整備したオゾン濃度計 2 台を昭和基地に持ち込み、第 51 次隊が昭和基地に持ち込んで使用していた 2 台のオゾン濃度計（EBARA EG-3000F）との相互比較を行った後に、観測に使用した。

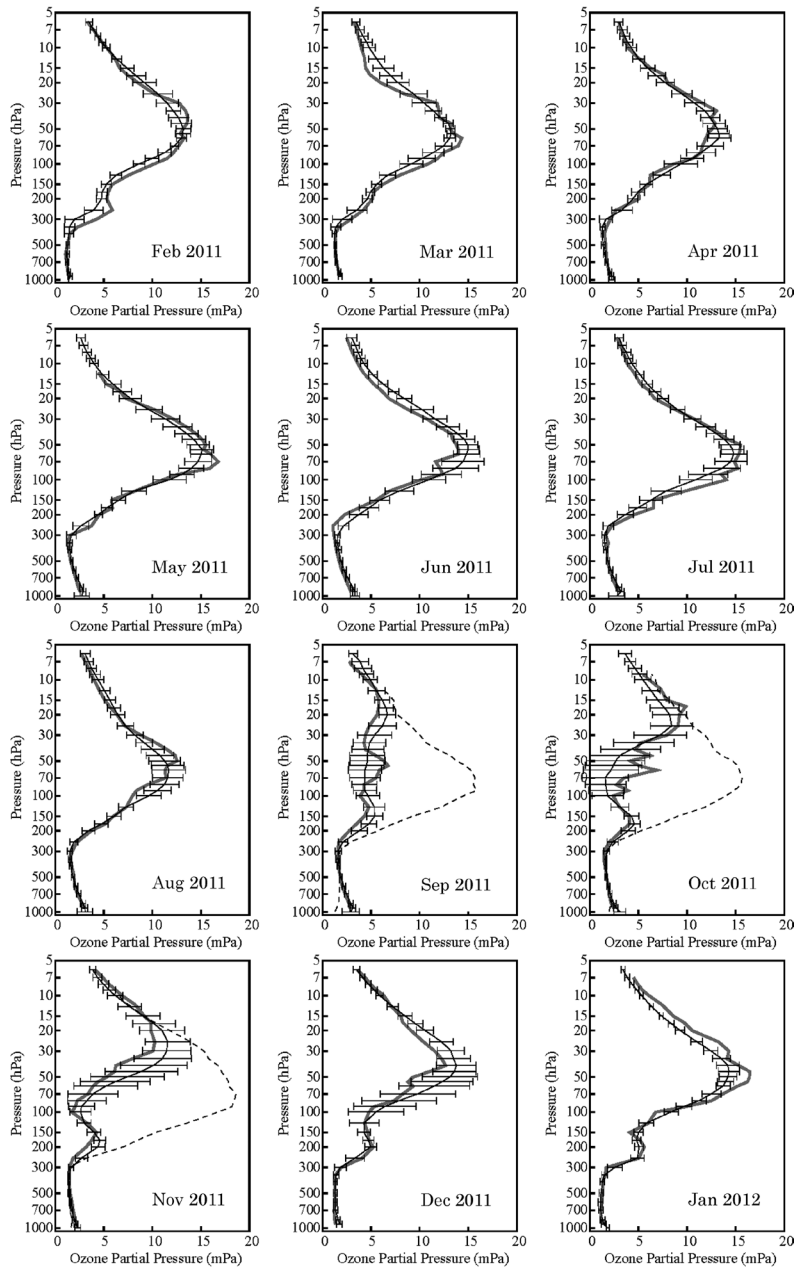


図 10 昭和基地におけるオゾン分圧の高度分布 (2011 年 2 月～2012 年 1 月). 太実線は月平均オゾン高度分布. 細実線は 1994–2008 年の累年平均オゾン高度分布. 点線はオゾンホール発生前 (1968–1980 年) のオゾン高度分布.

Fig. 10. Vertical distribution of ozone partial pressure observed by ozonesonde at Syowa Station (Feb. 2011–Jan. 2012). Thick lines show monthly mean profiles. Thin lines show normal profiles (1994–2008). Broken lines show monthly mean profiles before the first appearance of the ozone hole (1968–1980).

4.5.2. 観測経過

2010 年 12 月 26 日から 2011 年 2 月 1 日まで、第 52 次隊で持ち込んだオゾン濃度計 2 台 (Dylec MODEL1100 測器番号: A-1781-1, A-1781-2) と第 51 次隊で使用中のオゾン濃度計 2 台 (EBARA EG-3000F 測器番号: 101A, 101B) に、オゾン発生器により発生させたオゾン濃度が一定のガスを流して各濃度計の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精度内 (± 2 ppb 以内) (気象庁, 2004b) であることを確認し、2 月 1 日以降は A-1781-1 を現用器とした。

現用器 (A-1781-1) の出力値に、1 日に 1 回程度のノイズが発生するため、3 月 10 日にオゾン濃度計の水銀ランプを交換した。その後ノイズは発生しなくなったが、この作業後、マニホールド手前の配管が外れていたため、3 月 10 日から 3 月 13 日にかけて欠測となった。7 月 11 日から 8 月 1 日まで A-1781-1 と A-1781-2 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精度内 (± 2 ppb 以内) であることを確認し、8 月 1 日から A-1781-2 を現用器とした。12 月 29 日に年 1 回の保守として、観測装置内のすべてのテフロン配管、ドレンボット、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 カ月に 1 回交換した。また、ブリザード後、大気取り入れ口に雪が詰まった場合には、大気取り入れ口を交換し、取り外した大気取り入れ口は洗浄して予備として保管した。ブ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

2011 年 2 月から 2012 年 1 月までの地上オゾン濃度時別値を図 11 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すべての 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 月ごろにかけてデータのばらつきが大きくなる傾向にあり、第 52 次隊でも同様の傾向がみられた。

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や、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て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, 2010)。第 52 次隊でも 8 月 21 日と 9 月 17 日から 19 日にかけて地上オゾン濃度の急減が観測された。

5. 日射放射観測

5.1. 観測方法と測器

気象庁の観測指針に準じて、太陽放射の波長領域が 4000 nm 以下を「日射」、それより大

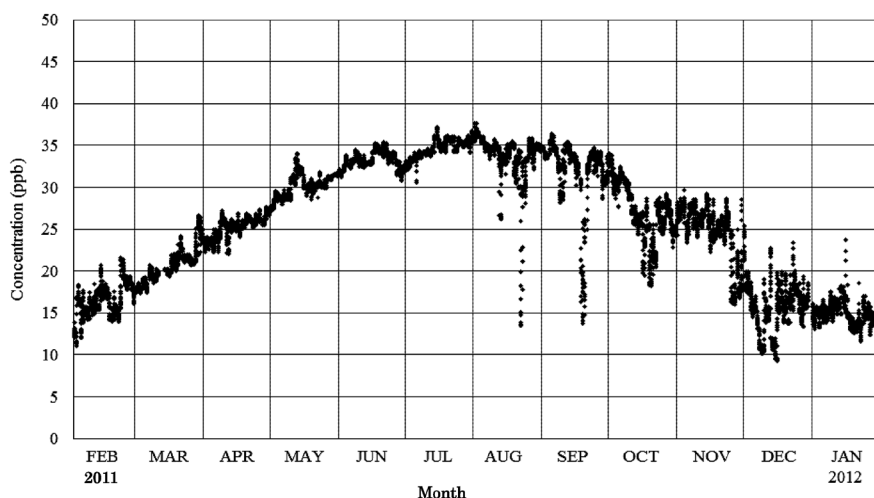


図 11 昭和基地における地上オゾン濃度時別値の時系列図（2011 年 2 月～2012 年 1 月）

Fig. 11. Time series of hourly mean surface ozone concentrations at Syowa Station (Feb. 2011–Jan. 2012).

きいものを「赤外放射（または放射）」として観測した。また、紫外域日射観測指針（気象庁，1993）に準じて，290–325 nm の領域を「紫外域日射」として観測している。表 12 に観測の種類と使用した測器を示す。

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）。

観測の種類は以下のとおり。

- (a) 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
 - (c) 全天日射計を用いた散乱日射量の連続観測
 - (d) 赤外放射計を用いた下向き赤外放射量の連続観測
 - (e) 全天型紫外域日射計を用いた紫外域日射量の連続観測
- (b)，(c) 及び (d) は測器感部を太陽追尾装置に搭載し，更に (c) 及び (d) は太陽追尾装置に搭載した，直達日射計の開口角と同等の視直径の黒色球体により太陽からの直射光を遮蔽した。

5.2.2. 観測経過

2011 年 2 月 1 日に第 51 次隊から観測を引き継ぎ，第 52 次隊のデータ収録を開始した。

表 12 昭和基地における日射放射観測の種類と使用測器

Table 12. Instruments for surface radiation observations at Syowa Station.

観測項目		使用測器	感部型式	測定範囲	測器番号	観測 最小単位	サンプリング 間隔
下向き 日射 放射	全天日射量	全天日射計	KIPP&ZONEN CM21T	305–2800 nm	041258	1 W/m ²	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	060445 010276 090043	1 W/m ²	1 秒
	散乱日射量	全天日射計 太陽追尾装置 遮蔽ポール	KIPP&ZONEN CM21T	305–2800 nm	980520	1 W/m ²	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	1 W/m ²	1 秒
	下向き 赤外放射量	赤外放射計 太陽追尾装置 遮蔽ポール	KIPP&ZONEN CG4	4.5–42 μm	050798	1 W/m ²	1 秒
上向き 日射 放射	反射日射量	全天日射計 遮蔽リング	KIPP&ZONEN CM21T	305–2800 nm	990574	1 W/m ²	1 秒
	反射 紫外域日射量	全天型紫外域日射計 遮蔽リング	KIPP&ZONEN UVS-AB-T	280–315 nm	050635	1 W/m ²	1 秒
	上向き 赤外放射量	赤外放射計	KIPP&ZONEN CG4	4.5–42 μm	990001 010565	1 W/m ²	1 秒
その他	放射収支量	放射収支計	KIPP&ZONEN CNR1	305–2800 nm 5–50 μm	020444	1 W/m ²	1 秒
	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 nm 778 862	S94121.02		10 秒
			PMOD PFR	368 412 nm 500 862	08-N-055		60 秒
	波長別 紫外域日射量	ブリューワー 分光光度計	SCI-TEC BREWER MK III SCI-TEC BREWER MK II	290–325 nm	#168 #091	1 μW/m ²	1 時間

2011 年 2 月 3 日に観測データ収録用パソコンが故障したため、予備のパソコンと交換し、合わせてデータ収録プログラムを更新した。5 月 8 日に直達日射計の信号ケーブルが、11 月 14 日に散乱日射量観測用の全天日射計の信号ケーブルが断線したため、信号ケーブルを交換した。また、12 月 9 日に予備測器を搭載した太陽追尾装置に追尾不良が発生したため、12 月 21 日に太陽追尾装置を交換した。

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おり、測器感度の変化を追跡し、それに応じた補正を行う必要がある（柴田ほか、2000；伊藤、2005）。そのため、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及びブリューワー分光光度計による紫外域日射量観測値との比較による感度点検を実施した。これらの結果から、外部標準ランプ点検結果には、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ため、第 52 次隊ではブリューワー分光光度計との比

較結果に基づいた測器感度補正を行った（柴田ほか，2000）。

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 12 に示す。

2011 年の全天日射量，直達日射量及び散乱日射量の年変化は，太陽高度の下降，上昇に応じた明瞭な増減と，日々の雲量を反映した変動がみられた。下向き赤外放射量は，年間を通して 10 MJ/m^2 以上の放射量を観測し，日射のない極夜期の大気分子や雲からの赤外放射量も夏季と大きく変わらなかった。紫外域日射量は，日射量と同様に太陽高度及び雲量の変化に応じた変化傾向がみられた。また，紫外域日射量はオゾン全量の増減にも対応があり，図 7 よりオゾン全量が一時的に増加した 10 月中旬及び 11 月下旬で紫外域日射量は減少した。一方で，オゾン全量が減少した 10 月下旬及び 12 月上旬で増加した。

5.3. 上向き日射放射観測

5.3.1. 観測方法と測器

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 52 次隊でも引き続き使用した（図 1 ⑤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。

観測種別は以下のとおり。

- (a) 全天日射計を用いた反射日射量の連続観測
 - (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
 - (c) 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
- (a) 及び (b) には，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に遮蔽リングを使用した。

5.3.2. 観測経過

2011 年 2 月 1 日に第 51 次隊から観測を引き継ぎ，第 52 次隊のデータ収録を開始した。

上向き日射放射観測は，地表面からの反射日射量，赤外放射量及び反射紫外域日射量を観測するため，観測場所の雪面を平らにし，測器受光面との距離を可能な範囲で一定となるように測器の設置高を調整した。設置高は，1.5 m 前後を目安とし，通年で 1–2 m を確保した。期間中における調整は，2011 年 3 月 25 日に実施した。

全天型紫外域日射計の測器感度を監視するため，2011 年 2 月，3 月，9 月，10 月及び 2012 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。

老朽化した上向き日射放射観測用データロガー収納箱を 2011 年 12 月 29 日に新しい収納箱と交換した。

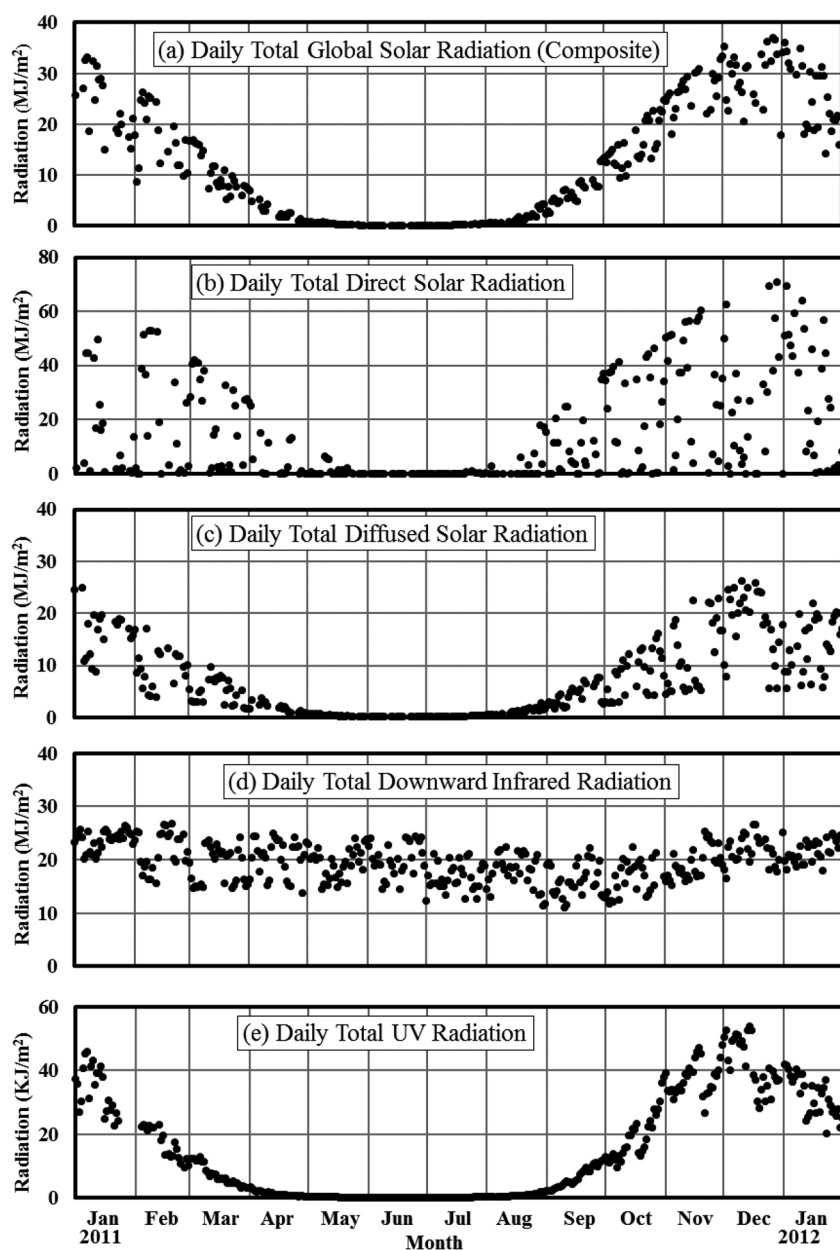


図 12 昭和基地における下向き日射放射量日積算値の年変化 (2011 年 1 月～2012 年 1 月)。(a) 全天日射量, (b) 直達日射量, (c) 散乱日射量, (d) 下向き赤外放射量, (e) 紫外域日射量

Fig. 12. Annual variations in daily integrated values of downward radiation components at Syowa Station (Jan. 2011–Jan. 2012). (a) Daily total global solar radiation (Composite), (b) Daily total direct solar radiation, (c) Daily total diffused solar radiation, (d) Daily total downward infrared radiation, (e) Daily total UV radiation.

5.3.3. 観測結果

反射日射量、上向き赤外放射量及び反射紫外域日射量の日積算値の年変化を図 13 に示す。2011 年の反射日射量は、全天日射量に対して夏季で 6-7 割程度で、この割合は太陽高度が低くなるほど増加し、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、観測場所が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、下向き赤外放射量と比較

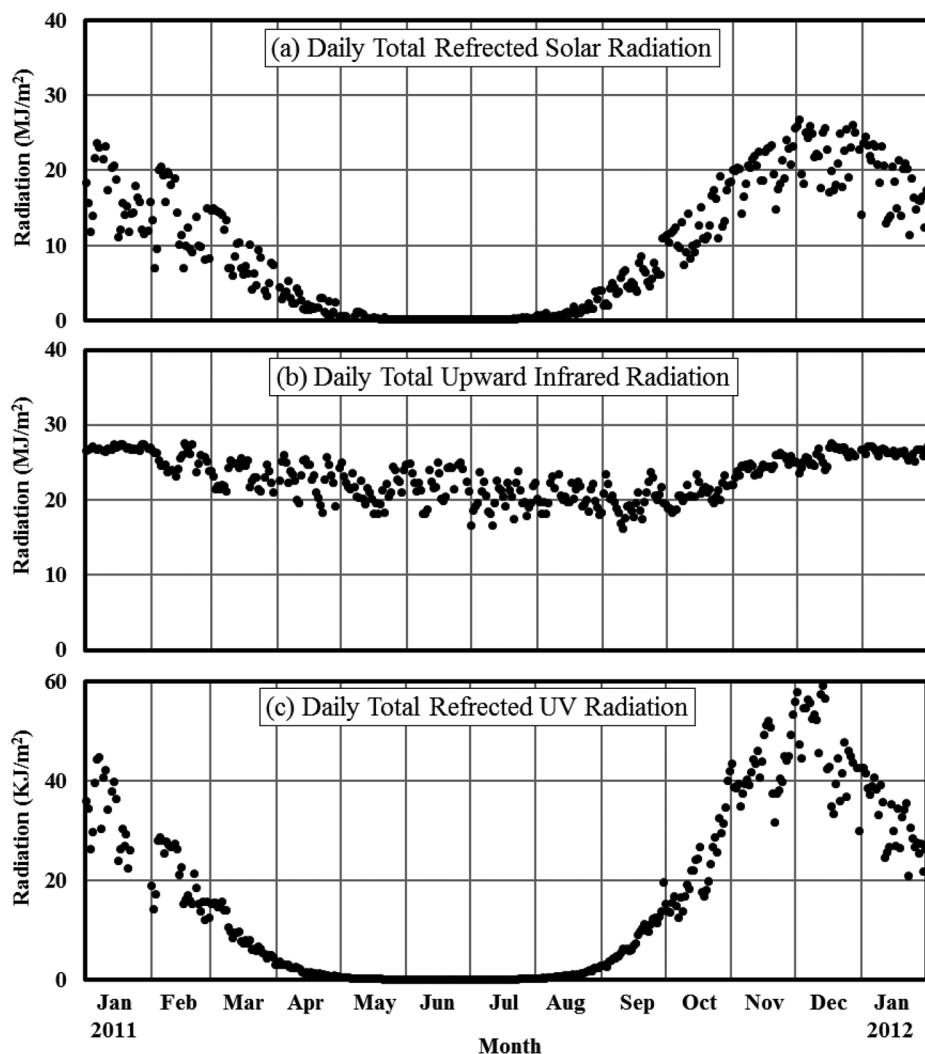


図 13 昭和基地における上向き日射放射量日積算値の年変化 (2011 年 1 月～2012 年 1 月)。(a) 反射日射量, (b) 上向き赤外放射量, (c) 反射紫外域日射量

Fig. 13. Annual variations in daily integrated values of surface upward radiation components at Syowa Station (Jan. 2011–Jan. 2012). (a) Daily total reflected solar radiation, (b) Daily total upward infrared radiation, (c) Daily total reflected UV radiation.

して日毎の変化は小さかった。しかし、冬季は地表面温度の変化が下向きの赤外放射の影響を受けるために日毎の変化は比較的大きくなった。反射紫外域日射量は、下向きの紫外域日射量と同様に、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を示した。また、反射紫外域日射量は、年間を通じて下向きの紫外域日射量に対して 9 割以上であった。

2011 年では、通常下向きの出力が上向きよりも大きい日射量において、上向きが下向きより大きくなる事例を極夜前後で観測した。極夜前後では反射光以外に、このような事例の原因と考えられている測器受光面に横から直接入射する太陽光を防ぐために、5.3.1 項のとおりに遮蔽リングを測器の周囲に設置している。しかし、このような事例を観測したことから、太陽直射光以外の原因も考えられるため、原因究明のために引き続き事例を蓄積して継続調査する必要がある。

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（168 号機）を用いて、290–325 nm の範囲を 0.5 nm 間隔の波長別に観測した。測器の設置場所は、第 47 次隊以降と同様である（図 1 ①の位置）。

5.4.2. 観測経過

2011 年 2 月 1 日に第 51 次隊からプリューワー分光光度計 MK Ⅲ（168 号機）による観測を引き継ぎ、第 52 次隊のデータ収録を開始した。

2011 年 9 月 2 日に RS422-232C 変換器への給電が停止した影響で制御プログラムが停止したため 1 時間欠測した。ブリザード等の強風時には測器保護のために、受光部に保護具を取り付けた上で観測を中断したが、このほか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は、10 日に 1 回程度の間隔で行った。

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 14 に示す。

長波長側（310–325 nm）はオゾン全量の影響が比較的小さいために、太陽高度の上昇、下降に応じて増減した。そのため、年間最大値は太陽高度角が高く日照時間が長い夏至近くに現れ、第 52 次隊では日積算値の年間最大値を 2011 年 12 月 8 日に観測した。一方、短波長側（290–310 nm）は、オゾン全量の影響を受けやすい。そのため、オゾンホールがほぼ消滅しオゾン全量が大きく増加した 12 月下旬以降の日積算値は、長波長側よりも大きく減少した。それに伴い、年間最大値は太陽高度が高くかつオゾン全量が少ない日に現れる傾向があり、第 52 次隊では日積算値の年間最大値を 2011 年 12 月 14 日に観測した。

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 2011 年 1 月から 2012 年 1 月

の日最大 UV インデックスの年変化を図 15 に示す。UV インデックスの年変化傾向は波長別紫外域日射量の短波長側と同様に、太陽高度及びオゾン全量の変動の影響を受ける。そのため太陽高度が高くオゾン全量の少ない 11 月上旬から 12 月中旬にかけて非常に高くなり、2011 年の最大 UV インデックスは 12 月 14 日に 10.7 を記録した。この値は、WHO (2002) の指標では「EXTREME (極端に強い)」に相当する。

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 (Precision Filter Radiometer (以下「PFR」) (PMOD/WRC, 2007)) 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ときに波長別 (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

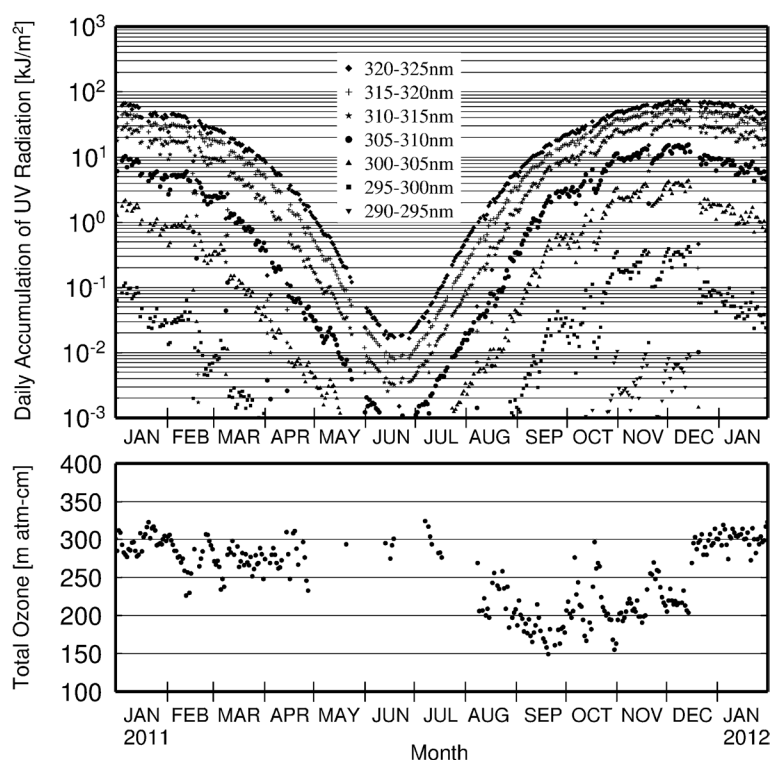


図 14 昭和基地における波長別紫外域日射量の日積算値 (上図) とオゾン全量 (下図) (2011 年 1 月～2012 年 1 月)

Fig. 14. Daily accumulated ultraviolet radiation integrated for each wavelength band (above) and total ozone amount (below) at Syowa Station (Jan. 2011–Jan. 2012).

Optical Depth (以下「AOD」)) を求めることができる (式 (1)).

$$\text{AOD}(\lambda) = (1/m) \cdot \ln(I_0(\lambda)/I(\lambda)) - (\tau_{\text{air}}(\lambda) + \tau_{\text{gas}}(\lambda)) \quad (1)$$

$$\tau_{\text{air}}(\lambda) = (P/1013.26) \cdot \sigma_R \cdot \lambda'^{-(3.916 + 0.074\lambda' + (0.05/\lambda'))}$$

$$\tau_{\text{gas}}(\lambda) = 0.001 \cdot \sigma_{\text{O}_3}(\lambda) \cdot C_{\text{O}_3}$$

AOD(λ): 波長 λ におけるエアロゾルの光学的厚さ

λ' : 波長 (μm)

m : 大気路程

$I_0(\lambda)$: 波長 λ の大気外放射強度

$I(\lambda)$: 波長 λ の太陽放射強度

$\tau_{\text{air}}(\lambda)$: 波長 λ における空気分子の散乱による光学的厚さ

P : 現地気圧 (hPa)

σ_R : レイリー散乱の定数

$\tau_{\text{gas}}(\lambda)$: 波長 λ におけるオゾンの吸収による光学的厚さ

$\sigma_{\text{O}_3}(\lambda)$: 波長 λ におけるオゾン吸収係数

C_{O_3} : オゾン全量 (m atm-cm)

また, 4 波長 (368–862 nm) の AOD からは, オンゲストロームの波長指数 Ångstrom α (以下「 α 」) 及び混濁係数 Ångstrom β (以下「 β 」) が求められる (式 (2)). AOD 算出に用いるレイ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 51 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–

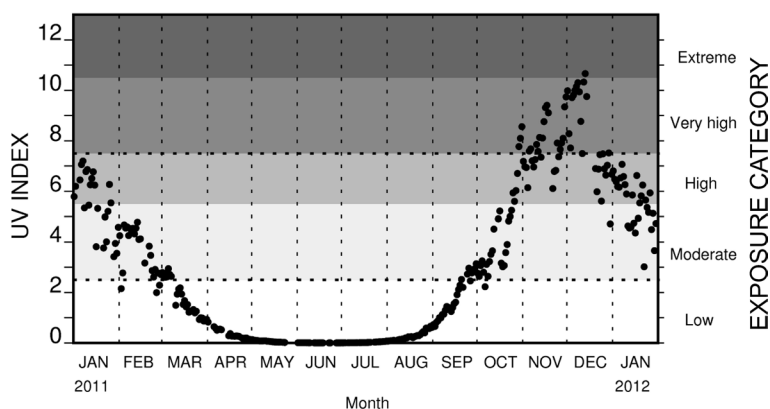


図 15 昭和基地における日最大 UV インデックスの年変化 (2011 年 1 月～2012 年 1 月)

Fig. 15. Annual variation of daily maximum UV index at Syowa Station (Jan. 2011–Jan. 2012).

2800 nm) 域の大気混濁度観測を実施した。

$$\ln \text{AOD}(\lambda) = -\alpha \ln \lambda + \beta \quad (2)$$

α : オングストロームの波長指数

β : 混濁係数

5.5.2. 観測経過

2011 年 2 月 1 日より PFR による観測を開始した。第 51 次隊まで観測に使用した測器（以下「MS-110」）は PFR との並行観測のために観測を継続した。

PFR は 2011 年 2 月 4 日に観測機器内部のセンサーを低温から保護するための感部防寒カバーを取り付けた。2011 年 2 月 18 日以降、受光窓内部に着霜を確認したが、観測に影響がない箇所であったため観測を継続した。データロガーと制御・データ収録用パソコンとの間で通信障害が何度か起きたが、パソコンの再起動により復旧した。通信障害中、データはデータロガーに蓄積されるため欠測はしなかった。その他大きな障害はなく順調に観測した。MS-110 については、2011 年 12 月 9 日に制御・データ収録用パソコンが故障したことにより並行観測を終了したが、その他大きな障害はなく、1 年を通しておおむね順調に観測した。

5.5.3. 観測結果

(a) PFR の観測結果

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 (α) と混濁係数 (β) の季節変化を図 16 に示す。4 波長の AOD とオングストロームの波長指数 (α) は、春から夏にかけて増加し、夏から秋にかけて減少する傾向を示しており、この傾向は特にオングストロームの波長指数 (α) で顕著であった。これは、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。一方、秋から春にかけては、エアロゾル量は減少したが、低気圧等の影響により海塩由来の比較的に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（長田ほか、2010）。

(b) 直達日射計による観測結果

ホイスナー・デュボアの混濁係数の季節変化を図 17 に示す。直達日射量から求めたホイスナー・デュボアの混濁係数は、大気中の水蒸気の季節変化を反映して、春から夏にかけて次第に大きくなり、夏から秋にかけて小さくなる傾向がある。2011 年も例年と同様の季節変化を示した。

(c) MS-110 の並行観測結果

測器を MS-110 から PFR へ変更することに伴い、両測器の並行観測を行った。PFR と MS-110 の共通の観測波長である 500 nm の AOD の結果を図 18 (a) (b) に示す。3 月上旬までは、

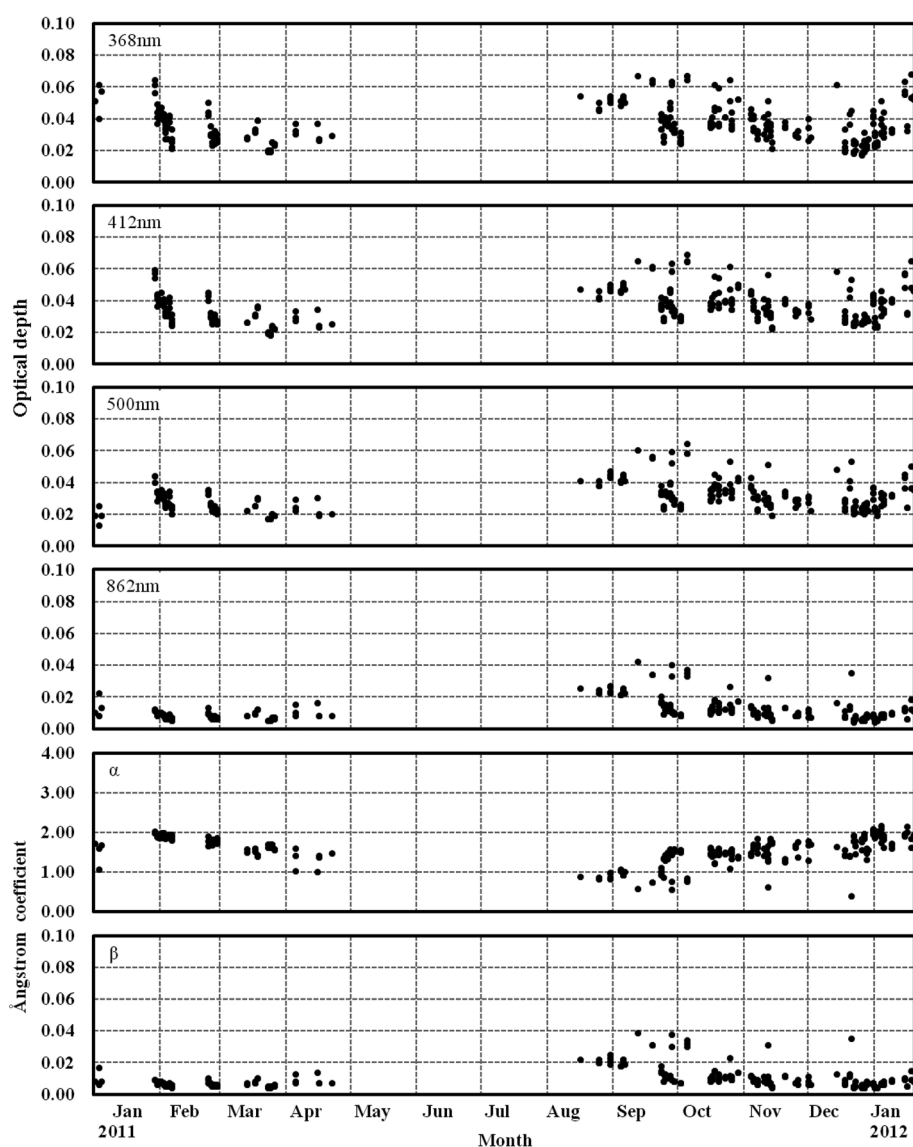


図 16 昭和基地における波長別エアロゾルの光学的厚さの年変化（2011 年 1 月～2012 年 1 月）
 Fig. 16. Annual variations of aerosol optical depth for each wavelength at Syowa Station (Jan. 2011–Jan. 2012).

PFR と MS-100 の AOD はほぼ同じであったが、3 月中旬以降は MS-110 の値が徐々に低下した（図 18 (a)）。MS-110 で使用している干渉フィルターは経時変化が大きいことが指摘されており（柴田・廣瀬，2001），MS-110 の測器定数が変化し AOD が低下したと考えられる。そこで，高野・大河原（2011）と同様の方法により PFR との比較観測結果に基づいて MS-

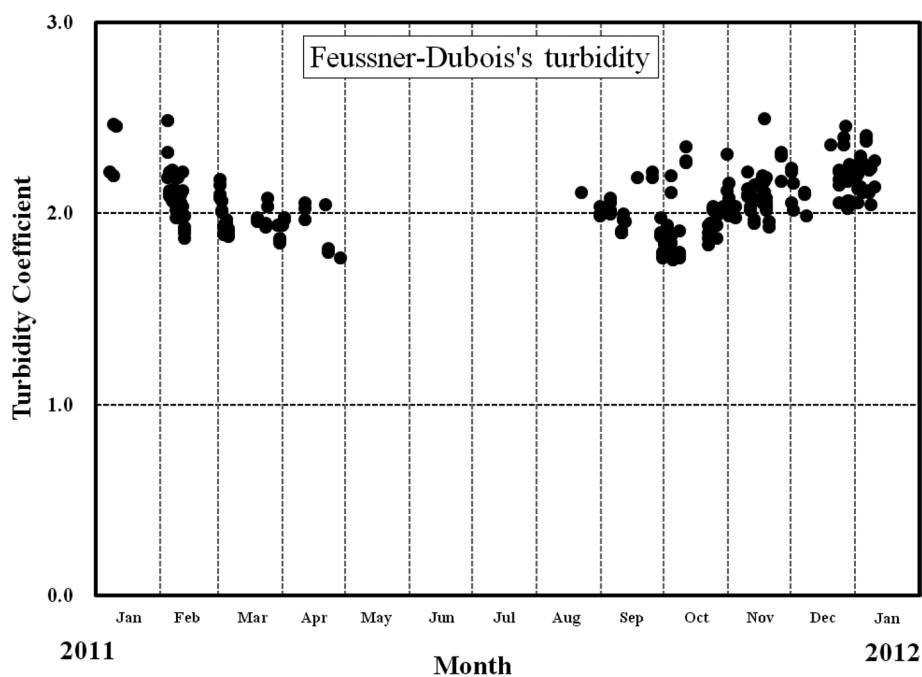


図 17 昭和基地におけるホイスナー・デュボアの混濁係数の年変化 (2011 年 1 月～2012 年 1 月)
 Fig. 17. Annual variations of Feussner-Dubois's turbidity coefficient at Syowa Station (Jan. 2011–Jan. 2012).

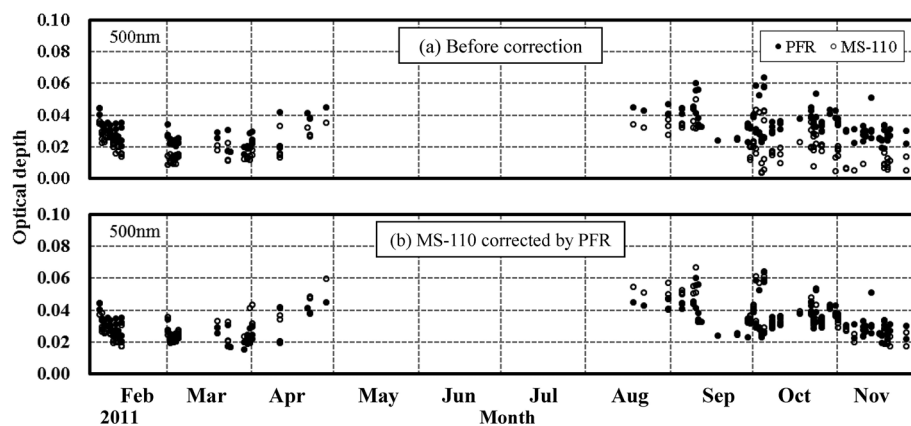


図 18 昭和基地における PFR と MS-110 のエアロゾルの光学的厚さ (500nm) の年変化 (2011 年 2 月～11 月) (a) 補正前, (b) MS-110 を PFR で補正
 Fig. 18. Annual variations of aerosol optical depth (500nm) for MS-110 and PFR at Syowa Station (Feb–Nov. 2011). (a) Before correction, (b) MS-110 corrected by PFR.

110 の測器感度を補正した。PFR 及び測器感度を補正した MS-110 の AOD を図 18 (b) に示す。PFR と MS-110 の差は、大気路程の長い 4 月及び 8 月を除いておおむねなくなり、BSRN (Baseline Surface Radiation Network : 基準地上放射観測網) が定めている AOD の観測精度である 0.02 を満たした (WMO, 1994)。

6. 天 気 解 析

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 51 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) に基づく各種天気図及び予想図を気象庁データサーバより FTP 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

各国数値予報センター等がホームページで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 ECMWF (ヨーロッパ中期予報センター) 予報図
- ⑦ ウィスコンシン大学コンボジット衛星画像

(3) 極軌道衛星雲画像

NOAA (アメリカ海洋大気庁) 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 の赤外及び可視画像を天気解析に用いた。

(4) ロボット気象計 (運用期間のみ)

S16 (昭和基地の東方向, 標高 500 m, 海岸から約 10 km) 地点のロボット気象計による気温, 気圧及び風向・風速の観測値を解析の参考に用いた。

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ほか, プリザードによる外出注意令, 禁止令の発令, 解除の参考情報として提供した。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日の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あわせて公開した。

昭和基地周辺の活動以外にも、第53次隊のセールロンダーネ山地地学調査隊に対し、活動地域周辺の気象情報を提供した（2011年11月17日～2012年1月31日）。また、DROM-LAN 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（2011年2月3日、4日、7日、8日、2011年11月4日～2012年1月31日）。さらに、観測隊ヘリコプターやしらせ搭載ヘリコプターの運航支援のためにも昭和基地や周辺の気象情報を提供（2011年2月8日～2月23日、2011年2月25日～26日、2011年12月23日～2012年1月31日）し、第53次隊やしらせの活動支援のため気象庁数値資料を提供した（2011年12月21日～2012年1月31日）。

7. その他の観測

7.1. 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し、観測隊の野外活動などの支援を目的として、昭和基地東方約19kmの大陸氷床上のS16（Point50）に設置している。運用は各隊次の判断により行われ、第52次隊では、第51次隊から引き継ぎ観測を行った。ロボット気象計は、気圧・気温測定部及び発信器部にRS2-KC96型オゾンゾンデ（明星電気社製）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。電源はドライセル型鉛蓄電池（サイクロンバッテリー、Hawker社製）を使用し、風力発電機により充電を行った。観測項目は気圧、気温、風向・風速で常時観測を行った。

観測は、第51次隊から引き継ぎ実施した。4月21日にロボット気象計及びバッテリーを交換した。この際、DC-DCコンバータと電源ケーブルコネクタに不良が見つかったため、交換及び修理を実施した。9月23日からケーブル断線により、風向風速が欠測となったため、10月4日に観測を一時停止し、昭和基地へ風向風速計を持ち帰り修理を行った。11月7日にロボット気象計の交換と風向風速計の再設置を行い、観測を再開した。弱風時に風向風速の異常値が観測されたため、1月19日にロボット気象計の交換を実施した。

7.2. 移動気象観測装置

移動気象観測装置（MAWS, VAISALA社製）は、気圧、風向・風速、気温、湿度、全天日射量の観測を実施し、内部データロガーまたはメモリにデータを蓄積可能な気象観測装置である。観測測器を表13に示す。

51次隊から引き継いだ後2012年1月19日まで観測を行った。各観測データを1分間のサンプリング間隔でメモリに収録し、約2カ月に1度、測器の保守点検、バッテリーの交換、

表 13 移動気象観測装置 (MAWS) の測器一覧表

Table 13. 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	$\pm 0.3 \text{ hPa}$	気圧計 (PMT16A)
気温	$\pm 0.3 ^\circ \text{C}$	温度湿度計 (QMH101)
湿度	$\pm 2\%: 0\text{--}90\%$ $\pm 3\%: 90\text{--}100\%$	
日射	$100 \mu \text{V} / \text{W} / \text{m}^2$	日射計 (QMS101)
風速	$\pm 0.3 \text{ m/s}$	風向風速計 (WMS302)
風向	$\pm 3^\circ$ 以下	

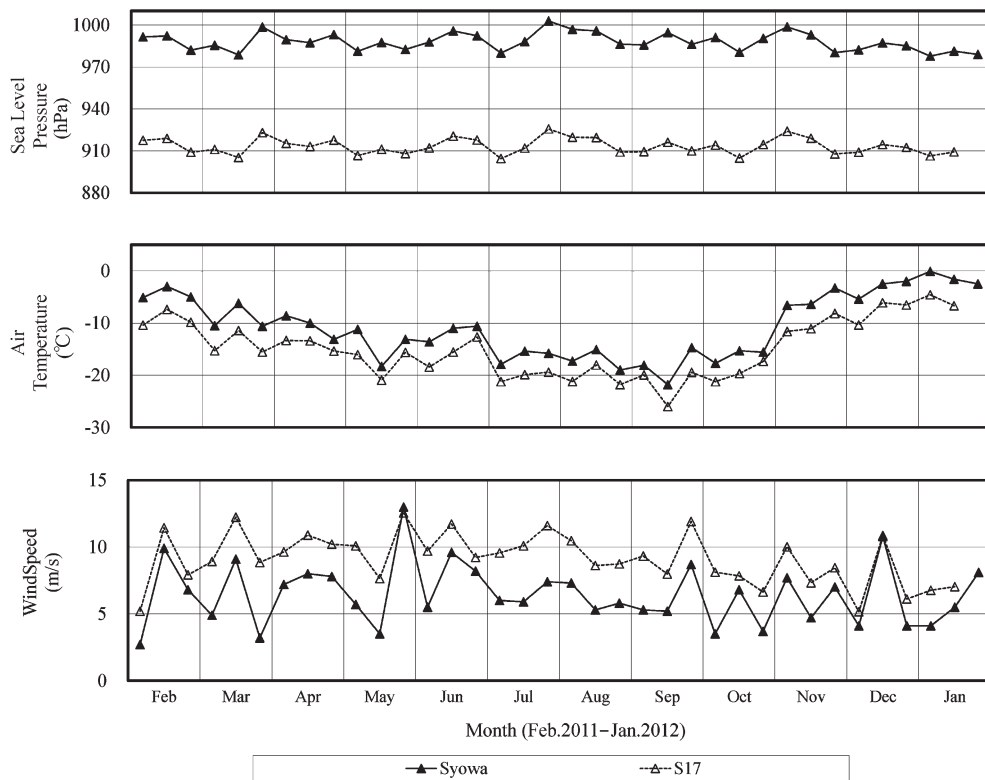


図 19 昭和基地及び S17 における地上気象旬別経過図 (2011 年 2 月～2012 年 1 月)

Fig. 19. Time series of 10-day mean surface meteorological data at Syowa Station and S17 (Feb. 2011–Jan. 2012).

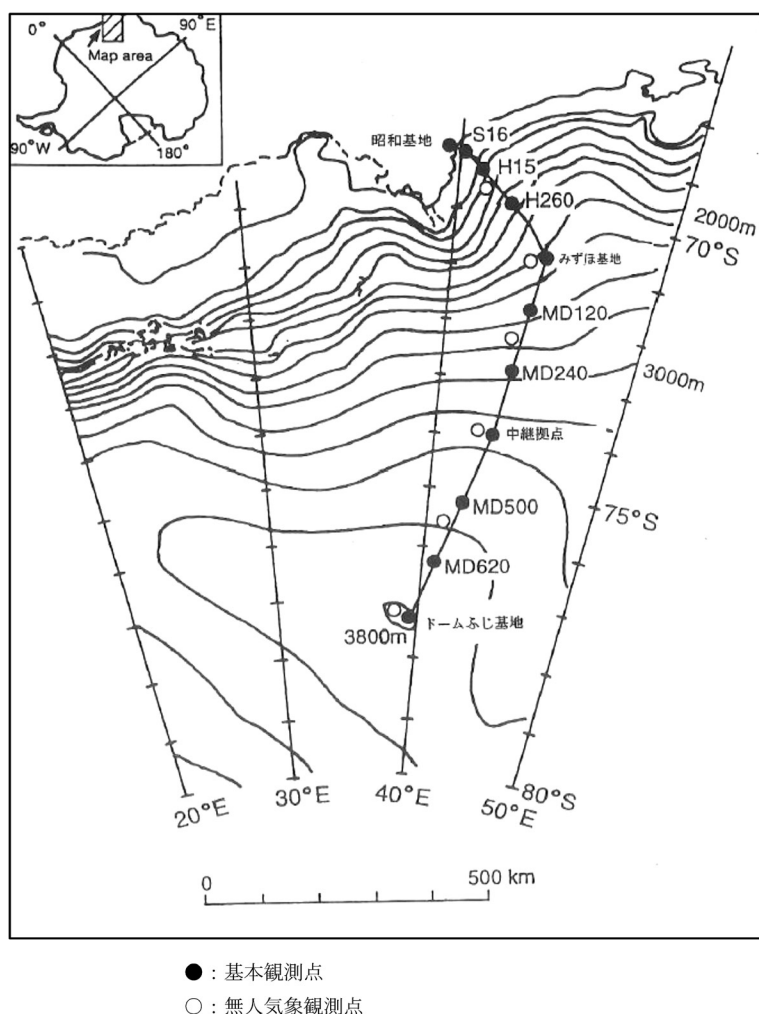


図 20 昭和基地からドームふじ基地への経路 (国立極地研究所, 2010)

Fig. 20. Traverse route from Syowa Station to Dome Fuji Station.

データの回収を行った。4月22日に温湿度計のプロープを交換した。8月30日にMAWS本体の交換を行った際に、サンプリング間隔を10分とし、内部データロガーへの収録に変更した。電源は当初サイクロン電池2個で運用したが、8月30日からはサイクロン電池1個の運用に変更した。観測期間中の4月22日、9月19日、11月7日に測器の保守、バッテリーの交換、データの回収を行った。8月30日には、MAWS本体の交換を行った。

観測データはマイクロメディアに収録し、これを昭和基地に持ち帰り専用のソフトウェア(MAWS Terminal)を用いてパソコンに保存した。

S17での観測期間中のMAWSによる気圧、気温、風速の旬ごとの経過を図19に示す。観

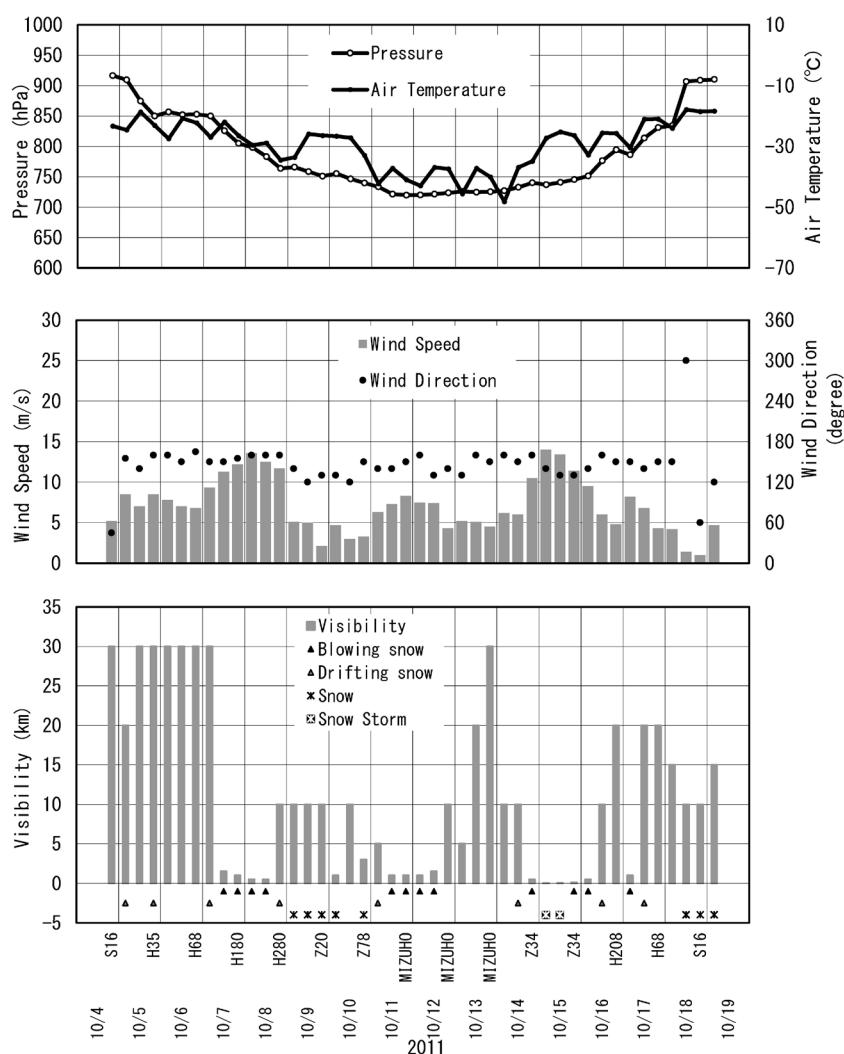


図 21 みずは旅行中の気象観測データ (2011 年 10 月 4 日～19 日)

Fig. 21. Surface meteorological observation data round trips from S16 to MIZUHO (Oct. 4-19, 2011).

測データには MAWS による品質管理フラグ (VALID・INVALID・SUSPICIOUS) が付加されており、このうち VALID 以外のデータは異常とみなし使用しなかった。

その他、湿度 100% 以上など明らかに異常なデータは使用しなかったが、不自然な値を示しているが異常かどうか判断できないデータについてはそのまま使用することとした。

日射量は測器への着霜、着雪のため全期間欠測とした。また、冬季を中心に湿度が欠測した。気圧、風向・風速、気温はおおむね順調に観測を行った。図には、データ比較のために昭和基地での観測値も示している。これらをみると、どの要素も同じ変化傾向を示しており、

この結果は成田ほか（2010）と同じである。このことから、S17と昭和基地の環境場は同じであると考えられる。なお、気圧において50hPa以上の開きがある点については、S17は標高が高いため、現地気圧を使用していることに起因している。

7.3. 内陸旅行中の気象観測

54次ドーム旅行用燃料のみずほ基地への輸送旅行（以下「みずほ旅行」）（2011年10月4日～19日、全行程16日間）では、目視観測を含む観測を移動経路及びキャンプ地にて行った。図20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～みずほ基地間はSルート、Hルート及びZルートを使用した。観測時刻は06, 12, 18時（以下時刻はすべてLT）を目安としたが、旅行隊の移動や作業のために多少のずれがあった。観測方法は、雲（雲量・雲形・向き・高さ）、現在天気、大気現象及び視程を目視により観測し、気温、気圧、風向及び風速を観測隊装備品の携帯気象計Kestrel（Nielsen Kellerman社製）を用いて観測した。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た。みずほ旅行での観測結果を図21に示す。

観測記録期間は2011年10月4日1955LTから10月19日0620LTである。9, 10日は北海上を通過した低気圧の影響で雪となった。また、15日は北西海上の低気圧の接近に伴ってふぶきとなり、視程が一時、10mまで悪化し、Z34地点で1日停滞となった。18, 19日は北海上を通過する低気圧の影響で雪となったが、視程の悪化は一時的なものであった。その他の期間は晴れまたは曇りで、地ふぶきを伴うことが多く、大陸内陸部ではおおむね風速5m/sを超えると地ふぶきになることが多かった。旅行中の最低気温は -48.2°C （10月14日0430LT, IM01）、最大風速は14.0m/s（10月15日0730LT, Z34）を観測した。

謝 辞

第52次観測隊の気象定常観測を遂行するにあたり、観測上の技術的援助・助言をいただいた第52次隊の山内恭観測隊長、宮本仁美越冬隊長、堤雅基越冬副隊長ほか第52次観測隊員の皆様、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します。また、第52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ます。

この報告をまとめるにあたり、気象庁の福田観測課課長補佐、荻原南極観測事務室長、第51次観測隊気象部門の方々及び気象庁関係各部門担当者にご助言をいただきました。御礼申し上げます。

文 献

青木周司（1997）：昭和基地及び「しらせ」船上における地上オゾン濃度の連続観測。南極資料，41，

- 231-247.
- 江崎雄治・栗田邦明・松島 功・木津暢彦・中嶋哲二・金戸 進 (2000) : 第 38 次日本南極地域観測隊気象部門報告 1997. 南極資料, **44**, 125-204.
- 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.
- 東島圭志郎・佐藤 健・安ヶ平一也・村方栄真・河原恭一 (2003) : 第 40 次日本南極地域観測隊気象部門報告 1999. 南極資料, **47**, 171-271.
- 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.
- 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, 32-33.
- 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 (2002) : 地上気象観測指針. 東京, 176 p.
- 気象庁 (2004 a) : 高層気象観測指針. 東京, 248 p.
- 気象庁 (2004 b) : 地上オゾン校正装置の GAW 基準への準拠と基準変更に伴う観測濃度の補正について. 測候時報, **71**, 165-176.
- 気象庁 (2005) : 気象観測統計指針. 東京, 158 p.
- 気象庁 (2012) : オゾン層・紫外線の年のまとめ (2011). 東京, 32-33.
- 国土地理院 : 南極の地理空間情報データ 地図画像 : ダウンロード (1/2500 画像化データ新). 国土交通省国土地理院, http://antarctic.gsi.go.jp/download_03_2500_new.html#mapLayout, (参照 2016-5-17).
- 国立極地研究所 (2010) : 基地要覧 (第 22 版), 2010 年, 東京, 160.
- 宮川幸治 (2007) : ドブソンオゾン分光光度計の自動化ウイ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) : エアバック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 次日本南極地域観測隊気象部門報告 2006. 南極資料, **54**, 32-107.
- 長田和雄・林 政彦・原圭一郎・矢吹正教・和田 誠・塩原匡貴・山内 恭・藤田耕史 (2010) : 昭和基地における大気中粗大粒子濃度の季節変化. 南極資料, **54**, 487-497.
- 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.
- 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.
- 柴田誠司・廣瀬保雄 (2001) : サンフォトメータ測器定数監視方法の改良 (II). 高層気象台彙報, **61**, 33-36.
- 高野松美・大河原望 (2011) : エーロゾルの光学的厚さ観測の Precision Filter Radiometer (PFR) への移行に伴う試験—観測データの信頼性の確認及び現行測器との比較観測に必要な測器定数の決定—. 高層気象台彙報, **69**, 55-58.
- WHO (2002) : GLOBAL SOLAR UV INDEX: a Practical Guide. Geneva, WHO, 28 p.
- WMO (1994) : Report of the WMO Workshop on the Measurement of Atmospheric Optical Depth and Turbidity, Global Atmosphere Watch Report No.101, WMO/TD-No.659, 30 p.