

第 56 次日本南極地域観測隊気象部門報告 2015

押木徳明^{1*}・矢頭秀幸¹・萩谷 聡¹・西 秀紘¹・馬場祐介¹

Meteorological observations at Syowa Station in 2015 by the 56 th Japanese Antarctic Research Expedition

Noriaki Oshiki^{1*}, Hideyuki Yato¹, Satoshi Hagiya¹, Hidehiro Nishi¹ and Yusuke Baba¹

(2019 年 12 月 22 日受付 ; 2020 年 1 月 28 日受理)

Abstract: This report describes the results of meteorological observations at Syowa Station from February 1 st, 2015 to January 31 st, 2016, carried out by the Meteorological Observation Team of the 56 th Japanese Antarctic Research Expedition (JARE-56). The observation methods, instruments, and statistical methods used by JARE-56 were almost the same as those used by the JARE-55 observation team. The operation to replace the surface observation system in Syowa station was carried by JARE-55, JARE-56, and JARE-57. In this operation, JARE-56 installed an anemometer, thermometer, hygrometer, and snow cover meter and operated the new surface observation system as test operation.

Remarkable weather phenomena observed during the period of JARE-56 are as follows.

- 1) The snow depth was considerably large in 2015. The number of blizzards that attacked Syowa station was 29. This number was higher than the average for the period from 1981 to 2010 (24.6) and contributed to increase snow depth and to keep it large. Especially, the snow depth increased 50 cm during the blizzard from July 17 th to 19 th. Thus the snow depth reached 179 cm on July 31 th and August 30 th and 185 cm on September 25 th. These records updated the maximum snow depth of the month in July, August, and September.
- 2) Monthly mean temperatures in the lower stratosphere during the periods from May 2015 to August 2015 and from October 2015 to January 2016 over Syowa Station were almost lower than normal. The monthly mean air temperature on mandatory pressure level from 100 hPa to 40 hPa in May 2015 updated the lowest record in May. The monthly mean air temperature at the standard pressure level from 175 hPa to 125 hPa in January 2016 updated the lowest record in January.
- 3) The total ozone over Syowa Station was often less 220 m atm-cm, which was a measure of the ozone hole from middle-August to middle-December. The monthly mean of the total ozone amount in December 2015 updated the second lowest value in December. The total ozone in December 2015 kept lower value compared to the recent ten years in December, and the UV-index 12.7 recorded on December 1 st was the highest value since the start of observation.

Keywords: meteorology, wintering, Syowa Station

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

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

要旨: この報告は第56次日本南極地域観測隊気象部門が、2015年2月1日から2016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54次隊とほぼ同様である。第55次隊から第57次隊で計画していた地上気象観測装置の更新作業において、第56次隊では風向風速計、温度計、湿度計、積雪計の各測器を設置し、データの取得、確認などを実施した。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) 積雪が深かった。ブリザードの発生回数は平均(24.6回)を上回る29回となり、積雪の深さが増加し、維持することに寄与した。特に、7月17日から19日にかけてのA級ブリザードで積雪の深さは50cm以上増加し、7月31日及び8月30日には179cmを記録した。その後、9月25日に185cmに達した。これらの記録は、それぞれ7月から9月の月最深積雪の第1位となった。

2) 昭和基地上空の下部成層圏において、5月から8月、10月から2016年1月の月平均気温はおおむね半年より低く、特に5月の100hPa面から40hPa面の指定気圧面で月平均気温の低い方からの記録第1位だった。また、2016年1月には、175hPa面から125hPa面の指定気圧面の月平均気温の最低値を記録した。

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の日安となる220m atm-cmを度々下回った。12月も比較的オゾン全量が少ない状態が継続し、12月の月平均オゾン全量は過去2番目に少ない値となった。過去10年と比較してほぼ最低で推移した同月のオゾン全量に対応し、夏至に近い12月1日にはUVインデックスは最大の12.7となり極値を更新した。

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年から1965年まで)を除き、これまで半世紀の間、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、国際的な枠組みのなかで、地球環境の監視など多目的に利用されている。第56次日本南極地域観測隊気象部門は、2015年2月1日に第55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、2016年1月31日までの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54次隊とほぼ同様である(安達ほか、2019)。

地上気象観測、高層気象観測、オゾン観測のうちのオゾン全量・反転観測及びオゾンゾンデ観測並びに地上日射放射観測については、第55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。これらの観測から得られたデータは、南極気象資料(Antarctic Meteorological Data)として2016年3月より気象庁ホームページにて公開している(<https://www.data.jma.go.jp/antarctic/datareport/index.html>)。

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、S17に設置したロボット気象計による気象観測、57次隊から正式運用となった10型地上気象観測装置の試験運用を行った。

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。

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。

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	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	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	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ヶ月1回)
	—		携帯用通風乾湿計		
露点温度	連続	0.1℃	—		気温・湿度観測値から算出
蒸気圧	連続	0.1hPa	—		気温・湿度観測値から算出
相対湿度	連続	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	1°	風車型風向風速計	FF-11	測風塔(地上高10.1m)に設置
風速	連続	0.1m/s			
全天日射量	連続	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	連続	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	連続	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。



図 1 昭和基地主要部と測器感部の配置 (国立極地研究所提供図に加筆)。

- ① 地上気象観測：気圧計
オゾン観測：ドブソン分光光度計
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）
- ⑥ オゾン観測：地上オゾン濃度計

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

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

(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）により連続観測を行った。なお，視程計は目視観測の補助測器として運用した。

(2) 目視観測

雲、視程及び天気は、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。大気現象については随時観測を行った。

(3) 海水上の積雪の深さの観測

昭和基地付近の海水上の積雪の深さの観測は、第1次越冬隊で基地周辺に雪尺を立てて観測したのが最初であり、第15次隊までは主として雪氷部門の研究観測の一環として、第16次隊以降は定常気象観測の一項目として実施している(気象庁, 1989)。第40次隊より超音波式積雪計を導入することで基地内(陸上)の連続観測を開始したが、それまでの観測は引き続き海水上の積雪把握に有用と考え、雪尺による海水上の積雪の深さの観測を継続している。第56次隊においても、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、JMA-95型地上気象観測装置保守点検実施手順(官署用)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2015年1月7日に行った結果、オフセット値は変更がなかった。観測はおおむね順調であった。

(2) 気温、湿度(露点温度)

気象棟北東にある百葉箱内に電気式温度計及び電気式湿度計を格納した強制通風式通風筒を設置し、通年観測した。観測はおおむね順調であった。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、正時にかからないよう注意した上で実施し、この間の気温と湿度の観測値は欠測とした。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。

(3) 風向・風速

気象棟から北東にある測風塔上に風車型風向風速計を設置し、通年観測した。おおむね順調に動作したが、風向風速計の定期点検、臨時点検により、日平均風速が準完全値(統計を行う対象資料の一部が欠けているが、統計を行う際は一部の例外を除いて正常値(資料が欠けていない)と同等に扱う(気象庁, 2005))または欠測(統計を行う対象資料が欠けているために合計値や平均値等が求められない場合(気象庁, 2005))となった日があった。なお、該当の日付については、気象庁ホームページ「過去の気象データ検索」を参照されたい(<https://>

www.data.jma.go.jp/obd/stats/etrn/index.php). また、低温弱風時において風向風速計凍結の疑いがあったため、日平均風速が準完全値または欠測となった日があった。風向風速計の障害により、風向の欠測が頻発した日があり、風向の1時間値、日最大風速の風向が欠測となった日があった。

(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。

(5) 積雪の深さ

超音波式積雪計を観測棟北東の北の浦に下る海岸に設置し、通年観測した。ふぶき、低温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(統計を行う対象資料が許容範囲を超えて欠けており、極値、合計等の統計には用いることができるが、平均等の統計では欠測と同様に扱う(気象庁, 2005))または欠測となった日があった。該当の日付については、気象庁ホームページ「過去の気象データ検索」を参照されたい(<https://www.data.jma.go.jp/obd/stats/etrn/index.php>)。

(6) 視程(視程計による参考記録)

視程計(現象判別機能付)を気象棟北東に設置し、目視観測に資するための参考測器として通年観測した。ふぶきにより投受光部に雪が付着するため、天気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。このほか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

雪尺観測は第50次隊から継続して同じ場所で観測している。第55次隊が用いた雪尺を引き継ぎ、2月2日より観測を行った。強風、融雪等により雪尺が傾いた場合は随時同じ位置に新たな雪尺を設置して観測を実施した。雪尺を新設した場合は、可能な限り、設置前後で新旧の雪尺を同時に測定し、それ以降は新設した雪尺のみを観測することで観測値を接続した。これにより、積雪の深さを0cmとする基準日を第53次隊と同じく、第50次隊が雪尺を設置した2009年3月21日とした。

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、越冬中の天気概況を表5に示す。また、2015年2月から2016年1月の海面気圧・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)の積雪の深さの観測値の比較を図3に、月別ブリザード数を図4に示す。越冬期間中のブリザードの発生回数は29回と1981年から2010年のブリザードの平均回数24.6を上回り、12月と1月を除いて毎月ブリザードが発生した。

第56次隊の越冬期間における観測結果の特徴として、月最深積雪の通年1位を更新した

表2 昭和基地における地上気象観測月別気象表 (2015年1月~2016年1月).
Table 2. Monthly summaries of surface observations at Syowa Station (Jan. 2015-Jan. 2016).

項目	2015年												2016年	
	1月	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12		
平均海面気圧	hPa	988.6	981.9	980.0	978.9	983.5	989.0	979.0	976.3	981.7	987.6	985.4	987.7	983.3
最低海面気圧	hPa	970.4	944.9	964.1	957.1	947.4	966.0	944.2	951.3	937.2	967.4	960.6	963.3	937.2
起日		17	23	25	16	1	27	27	14	12	26	20	28	29
平均気温	℃	-2.2	-3.6	-7.1	-11.9	-13.1	-18.7	-17.7	-18.6	-21.5	-12.8	-5.7	-1.7	-11.2
最高気温の平均	℃	0.7	-1.2	-4.7	-9.1	-9.9	-15.0	-14.5	-15.0	-18.1	-9.7	-2.5	1.1	-8.2
最低気温の平均	℃	-5.4	-6.6	-10.3	-15.1	-16.8	-22.9	-21.4	-22.7	-25.9	-17.1	-10.2	-4.9	-14.9
最高気温	℃	3.6	2.1	0.5	-3.7	-4.4	-6.0	-2.9	-7.7	-4.1	-5.1	3.2	6.3	5.0
起日		5	1	1	3	5	27	18	3	30	13	26	17	10
最低気温	℃	-11.0	-12.5	-23.4	-25.9	-28.8	-33	-37.8	-34.5	-40.8	-27.2	-23.3	-11.1	-40.8
起日		30	6	24	19	20	24	14	31	2	17	5	5	4
最低気温	0℃以上の日数	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
平均気温	0℃以上の日数	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1
最高気温	0℃以上の日数	22	7	2	-	-	-	-	-	-	-	6	27	64
最高気温	-10℃未満の日数	31	28	29	19	19	7	11	5	6	15	29	31	230
最低気温	-20℃未満の日数	-	-	2	6	10	20	17	19	24	10	1	-	109
平均気温	-20℃未満の日数	-	-	-	2	3	14	14	12	15	1	-	-	61
最高気温	-20℃未満の日数	-	-	-	-	3	7	7	13	-	-	-	-	30
平均蒸気圧	hPa	3.8	3.5	2.8	2.0	1.9	1.0	1.5	1.2	1.0	1.6	2.6	3.8	2.2
平均相対湿度	%	72	73	74	74	75	63	79	73	71	63	64	70	71
平均風速	m/s	5.1	6.6	6.8	9.9	8.6	5.7	9.4	7.5	5.4	6.2	6.4	4.8	6.9
最多風向	16方位	NNE	NE	NE	ENE	ENE	ENE	NE	NE	NE	NE	ENE	NE	NE
最大風速	m/s	41.8	40.2	27.6	29.1	37.8	26.9	37.3	42.4	24.3	30.3	25.9	27.8	42.4
風向 起日		NE, 17	ENE, 23	ENE, 9	ENE, 22	ENE, 1	ENE, 27	ENE, 27	NE, 29	NE, 14	ENE, 4	ENE, 20	NE, 28	NE, 12
最大瞬間風速	m/s	51.4	49.4	33.9	35.2	45.8	34.9	45.6	49.8	29.0	37.0	34.5	34.8	51.4
風向 起日		ENE, 17	ENE, 23	NE, 9	E, 1	ENE, 1	ENE, 27	NE, 17	NE, 29	NE, 14	ENE, 4	ENE, 20	NE, 28	NE, 12
最大風速	10.0m/s以上の日数	9	11	18	24	21	14	22	23	12	21	21	12	208
	15.0m/s以上の日数	3	5	7	17	10	7	15	13	9	8	12	4	110
	30.0m/s以上の日数	2	2	-	-	2	-	4	2	-	1	-	-	13
日照時間	h	442.9	134	105.1	60.4	5.8	-	-	73.4	133.3	236.7	372.5	444.7	2008.8
日照率	%	63	28	26	23	5	-	-	34	40	49	59	60	48
平均全天日射量	MJ/m ²	27.2	15.8	8.2	2.5	0.2	0	0.1	1.4	6.3	14.9	25.6	30.5	11.1
不照日数	日	2	10	12	17	27	30	31	15	9	7	1	1	5
平均雲量		6.0	8.7	8.5	7.8	8.0	6.9	8.8	7.6	6.9	6.2	6.9	6.2	7.4
平均雲量	1.5未満の日数	2	1	2	3	2	4	1	3	5	8	6	6	4
	8.5以上の日数	10	21	21	18	18	13	25	17	15	12	15	12	197
月最深積雪	日	96	100	105	109	133	124	179	179	185	175	174	162	179
起日		1	27	12	16	2	3	31	30	25	5	1	1	2
降雪の深さ月合計	日	22	42	53	46	72	4	15	8	15	4	4	2	357
雪日数	日	12	18	23	24	21	13	26	23	21	13	6	9	209
霧日数	日	6	-	1	1	-	-	-	-	2	2	1	1	14
ブリザード日数	日	2	3	2	8	6	1	12	6	6	5	1	0	52
ブリザード回数	回	1	2	1	5	3	1	6	3	4	1	0	0	30

・統計方法は気象観測統計指針(気象庁,2005)による。

・数値右側の符号は次のとおり。

「)」: 確完全値。統計値を求めた対象となる資料の一部が欠けているが許容する資料数を満たす場合。

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

「*」: 「|」の極値に対して期間内に起日が2日以上ある場合、最も新しい日付のみを示している。

・5月31日から7月12日までは記録上天勝中心が地平線上に現れない、不照日数にはこの期間(43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 (2015年2月～2016年1月).
 Table 3. New records of surface meteorological observations extrema and ranking at Syowa Station
 (Feb. 2015-Jan. 2016).

年月	要素	観測値	起日	順位
2015年2月	日最大風速・風向	ENE 40.2m/s	23日	月3位
	日最大風速・風向	ENE 35.3m/s	22日	月6位
	日最大瞬間風速・風向	ENE 49.4m/s	23日	月3位
	日最大瞬間風速・風向	ENE 44.5m/s	22日	月9位
	月間日照時間の少ない方から	134.0h		月6位
	月最深積雪	100cm	27日	月1位
3月	日最低気温の低い方から	-23.4°C	24日	月9位
	月最深積雪	105]cm	12日	月2位
4月	月平均気温の低い方から	-11.9°C		月5位
	月最深積雪	109]cm	16日	月1位
5月	月間日照時間の少ない方から	5.8h		月6位
	月最深積雪	133]cm	2日	月1位
6月	月平均気温の低い方から	-18.7°C		月6位
	月最深積雪	124cm	3日	月3位
7月	日最高気温の高い方から	-2.9°C	18日	月5位
	日最高気温の低い方から	-33.4°C	14日	月2位
	月最深積雪	179]cm	31日	月1位
8月	日最大風速・風向	NE42.4m/s	29日	月2位
	日最大瞬間風速・風向	NE49.8m/s	29日	月5位
	月間日照時間の多い方から	73.4h		月9位
	月最深積雪	179]cm	30日	月1位
9月	日最高気温の低い方から	-34.0°C	2日	月2位
	日最高気温の低い方から	-32.2°C	1日	月6位
	日最低気温の低い方から	-40.8°C	2日	月10位
	月平均気温の低い方から	-21.5°C		月8位
	月最深積雪	185]cm	25日	月1位
				通年1位
10月	日最小相対湿度	28%	28日	月10位
	月最深積雪	175cm	5日	月1位
11月	日最低気温の低い方から	-23.3°C	5日	月7位
	月平均気温の高い方から	-5.7°C		月10位
	日最小相対湿度	24%	8日	月4位
	日最小相対湿度	25%	15日	月6位
	月間日照時間の多い方から	372.5h		月6位
	月最深積雪	174]cm	1日	月1位
12月	月最深積雪	162cm	1日	月1位
2016年1月	月最深積雪	137cm	2日	月1位

・数値右側の符号は次のとおり。

「]」：準完全値。統計値を求める対象となる資料の一部が欠けているが許容する資料数を満たす場合。

「]」：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。

表 4 昭和基地におけるブリザードの概要 (2015年2月~2016年1月).
Table 4. Summaries of heavy snowstorms (blizzards) at Syowa Station (Feb. 2015-Jan. 2016).

階 番 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 起時	風速 風向 起時	気圧 起時
5601 A	2015年 2月22日 20時 0分	2015年 2月23日 19時00分	23時間 0分	23時間 0分	0時間 0分	40.2 ENE 23日 3時30分	49.4 ENE 23日 3時39分	944.9 23日 3時19分
5602 B	2015年 2月28日 09時45分	2015年 2月28日 23時10分	13時間 25分	13時間 25分	0時間 0分	22.0 ENE 28日 11時10分	26.1 ENE 28日 10時36分	969.1 28日 15時11分
5603 C	2015年 3月 9日 1時45分	2015年 3月10日 08時35分	20時間 50分	22時間 35分	15時間 15分	27.6 ENE 9日 5時30分	33.9 NE 9日 5時29分	969.5 9日 5時30分
5604 A	2015年 4月 1日 15時30分	2015年 4月02日 21時05分	30時間 35分	22時間 40分	6時間 55分	28.5 ENE 2日 0時20分	35.2 E 1日20時43分	958.0 2日 2時25分
5605 C	2015年 4月 9日 7時20分	2015年 4月09日 19時10分	11時間 50分	11時間 50分	0時間 0分	26.0 NE 9日 18時00分	30.7 NE 9日 17時58分	974.0 9日 7時24分
5606 B	2015年 4月16日 10時15分	2015年 4月17日 01時45分	15時間 30分	15時間 30分	0時間 0分	25.6 ENE 16日 14時10分	31.0 ENE 16日 14時22分	961.6 16日 11時14分
5607 C	2015年 4月21日 15時30分	2015年 4月21日 22時10分	6時間 40分	6時間 40分	0時間 0分	22.9 E 21日 21時30分	28.6 E 21日 21時19分	973.6 21日 22時10分
5608 B	2015年 4月26日 17時25分	2015年 4月27日 10時30分	17時間 5分	17時間 5分	0時間 0分	24.6 ENE 26日 19時10分	29.4 ENE 26日 21時 6分	979.5 26日 22時13分
5609 A	2015年 5月 1日 3時40分	2015年 5月 2日 17時30分	37時間 50分	37時間 50分	0時間 0分	37.8 ENE 1日 19時20分	45.8 ENE 1日 19時 3分	947.4 1日 19時20分
5610 B	2015年 5月 5日 14時10分	2015年 5月 6日 14時20分	24時間 10分	24時間 10分	0時間 0分	25.2 ENE 5日 19時30分	29.8 ENE 5日 19時26分	987.6 5日 19時30分
5611 A	2015年 5月11日 5時45分	2015年 5月12日 20時05分	38時間 20分	38時間 20分	0時間 0分	35.5 ENE 11日 14時00分	42.5 ENE 11日 13時51分	977.5 11日 13時59分
5612 C	2015年 6月26日 16時10分	2015年 6月26日 23時00分	6時間 50分	6時間 50分	0時間 0分	25.9 ENE 26日 22時20分	30.9 ENE 26日 22時 1分	966.8 26日 22時45分
5613 C	2015年 7月 5日 4時41分	2015年 7月 5日 17時31分	12時間 50分	12時間 50分	0時間 0分	18.8 NE 5日 8時30分	23.4 NE 5日 08時15分	979.6 5日 17時 6分
5614 B	2015年 7月 6日 21時 5分	2015年 7月 8日 17時10分	44時間 5分	32時間 5分	12時間 0分	24.7 NE 8日 0時30分	31.1 NE 8日 0時29分	961.1 7日 4時21分
5615 A	2015年 7月17日 4時20分	2015年 7月19日 02時40分	46時間 20分	46時間 20分	0時間 0分	37.0 NE 18日 15時40分	45.6 NE 17日 23時27分	958.5 18日 13時52分
5616 B	2015年 7月27日 9時11分	2015年 7月28日 13時20分	28時間 9分	27時間 57分	0時間 12分	37.3 ENE 27日 18時20分	43.5 ENE 27日 18時16分	944.2 27日 18時 3分
5617 A	2015年 7月28日 17時50分	2015年 7月29日 12時20分	18時間 30分	18時間 30分	0時間 0分	34.2 ENE 29日 03時10分	43.3 ENE 29日 2時43分	958.9 29日 8時46分
5618 B	2015年 7月30日 03時50分	2015年 7月31日 3時20分	23時間 30分	23時間 30分	0時間 0分	24.0 NE 30日 18時30分	28.4 NE 30日 18時52分	970.2 30日 9時 7分
5619 B	2015年 8月13日 0時50分	2015年 8月14日 8時30分	31時間 40分	28時間 25分	3時間 15分	24.0 NE 13日 17時40分	30.5 NE 13日 17時 8分	955.8 13日 17時 9分
5620 C	2015年 8月24日 20時 0分	2015年 8月25日 3時10分	7時間 10分	7時間 10分	0時間 0分	18.3 ENE 24日 24時00分	21.8 ENE 24日 22時46分	964.4 24日 20時57分
5621 A	2015年 8月28日 18時44分	2015年 8月29日 12時20分	17時間 36分	17時間 36分	0時間 0分	42.4 NE 29日 2時00分	49.8 NE 29日 1時36分	957.3 29日 0時52分
5622 C	2015年 9月11日 21時15分	2015年 9月12日 5時10分	7時間 55分	7時間 55分	0時間 0分	15.7 ENE 12日 1時10分	19.1 ENE 11日 22時46分	947.8 12日 5時10分
5623 B	2015年 9月14日 4時 0分	2015年 9月14日 22時10分	18時間 10分	18時間 10分	0時間 0分	24.3 NE 14日 20時10分	29.0 NE 14日 19時16分	966.9 14日 20時32分
5624 C	2015年 9月23日 11時18分	2015年 9月23日 18時50分	7時間 32分	7時間 32分	0時間 0分	21.4 NE 23日 12時30分	25.2 NE 23日 12時34分	978.6 23日 17時32分
5625 C	2015年 9月24日 17時43分	2015年 9月25日 2時04分	8時間 21分	8時間 21分	0時間 0分	14.9 NNE 24日 23時40分	19.4 NNE 24日 23時33分	991.9 24日 18時23分
5626 C	2015年 10月 3日 20時10分	2015年 10月 4日 4時50分	8時間 40分	8時間 40分	0時間 0分	30.3 ENE 4日 0時50分	37.0 ENE 4日 0時36分	986.3 4日 0時43分
5627 C	2015年 10月12日 22時50分	2015年 10月13日 5時00分	6時間 10分	6時間 10分	0時間 0分	23.6 NE 13日 4時30分	27.4 NE 13日 4時28分	973.7 13日 4時29分
5628 C	2015年 10月14日 9時40分	2015年 10月14日 16時30分	6時間 50分	6時間 50分	0時間 0分	18.9 NE 14日 10時00分	22.9 NE 14日 10時 0分	980.5 14日 10時 0分
5629 C	2015年 11月 1日 13時30分	2015年 11月 1日 19時50分	6時間 20分	6時間 20分	0時間 0分	18.5 NE 1日 14時30分	22.5 NE 1日 14時19分	976.8 1日 19時50分

※階級区分は次による。

- A級：視程100m未満、風速25m/s以上の状態が6時間以上継続
- B級：視程1km未満、風速15m/s以上の状態が12時間以上継続
- C級：視程1km未満、風速10m/s以上の状態が6時間以上継続

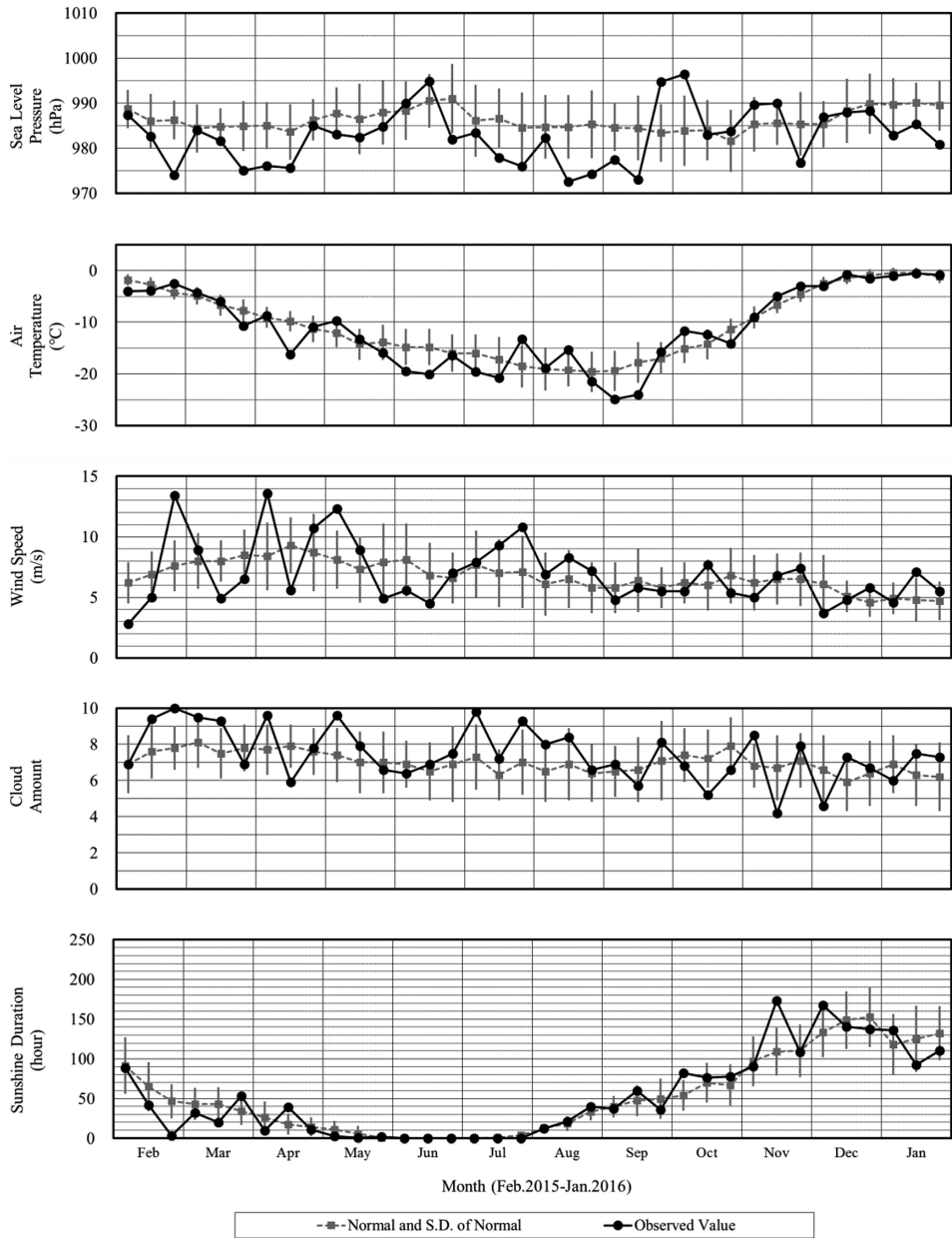


図 2 昭和基地における地上気象旬別経過図 (2015年2月～2016年1月). 平年値は1981年～2010年の平均値.

Fig. 2. Time series of 10-day mean surface meteorological data at Syowa Station (Feb.2015-Jan.2016). The Normals are the mean value for the period from 1981 to 2010.

ことが挙げられる。これは、7月17日から19日にかけてのA級ブリザードの影響で積雪の深さが大きく増加したことが要因と考える。このブリザードにより、積雪の深さが50cm以上増加し、7月31日には積雪深計による観測を開始した1999年以降、2015年7月時点までの月最深積雪1位である155cmを上回る179cmを観測した。海氷上の雪尺観測においても、ブリザード前後の観測を比較すると約70cm増加が見られた(図3)。このブリザード以降も積雪の深さが大きく減少することなく雪やふぶきで増加し、9月25日に通年1位となる185cmを観測した。

2.4. 総合自動気象観測装置(地上系)の更新整備

第55次隊から第57次隊にかけて、総合自動気象観測装置をJMA-95型地上気象観測装置からJMA-10型地上気象観測装置に更新する。第56次隊では第55次隊が設置した新測風塔及び新百葉箱に風向風速計、温度計、湿度計の各測器を取り付けた。また、積雪計はJMA-95型地上気象観測装置の積雪計ポールに取り付けた。これらの測器で計測された観測値、及び、第55次が整備した全天日射計、回転式日照計について、気象棟内に整備したJMA-10型地上気象観測装置データ監視PCでデータの取得、確認などを実施した。使用測器を表6に示す。

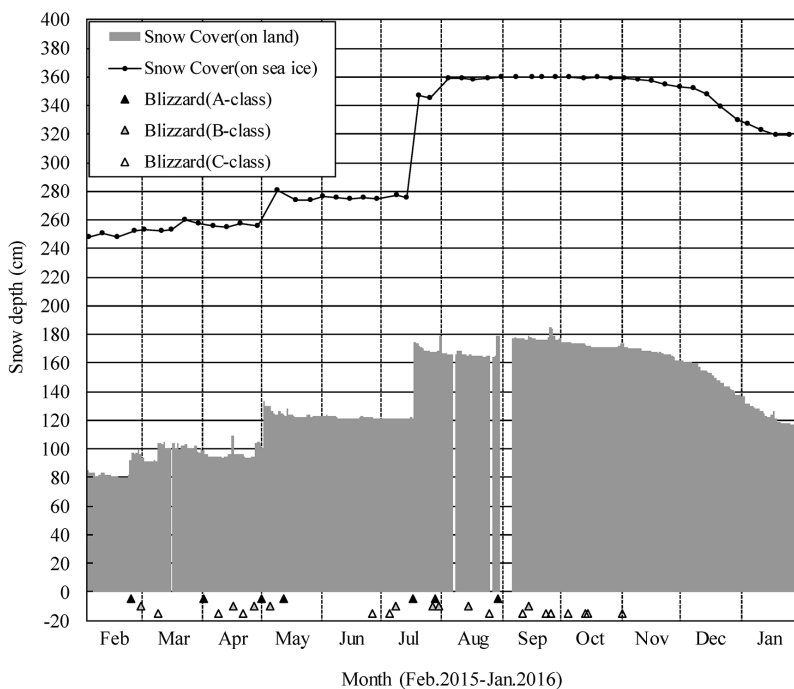


図 3 海氷上(雪尺)と昭和基地内(積雪計)の積雪深観測値の比較(2015年2月~2016年1月).
Fig. 3. Comparison of snow depth on sea ice with that at Syowa Station (Feb. 2015-Jan. 2016).

表 5 昭和基地における天気概況 (2015年2月～2016年1月)。(1/2)

Table 5. Weather summaries at Syowa Station (Feb. 2015-Jan. 2016).(1/2)

年・月	天気概況
2015年 2月	上旬 北の海上を通過した低気圧の影響で曇りや雪の日が多かった。期間の前半を中心に気圧の尾根に覆われて晴れの日があった。旬平均気温は、かなり低かった。旬間日照時間は、平年並だった。
	中旬 期間を通して北の海上を通過した低気圧の影響により、曇りや雪の日が多かった。旬平均気温は、低かった。旬間日照時間は、少なかつた。
	下旬 低気圧の接近により、曇りや雪またはふぶきの日が多かった。旬平均気温は、高かった。旬間日照時間は、かなり少なかつた。
2015年 3月	上旬 昭和基地の北の海上を通過した低気圧の影響で曇りや雪の日が多かった。期間の後半には低気圧の接近によりふぶきとなった。旬平均気温は、平年並だった。旬間日照時間は、少なかつた。
	中旬 昭和基地の北の海上を通過した低気圧や前線の影響で曇りや雪の日が多かった。旬平均気温は、平年並だった。旬間日照時間は、少なかつた。
	下旬 期間の前半は気圧の尾根に覆われ、晴れの日が多かった。期間の後半は昭和基地の北の海上を通過した低気圧の影響により、曇りやふぶきの日が多かった。旬平均気温は、低かった。旬間日照時間は、多かつた。
2015年 4月	上旬 気圧の谷や昭和基地の北の海上を通過した低気圧の影響で曇りや雪の日が多かった。期間の始めと終わりには発達した低気圧の接近によりふぶきとなった。旬平均気温は、平年並だった。旬間日照時間は、少なかつた。
	中旬 昭和基地の北の海上を通過した低気圧の影響で曇りや雪の日が多く、ふぶきとなる日もあった。期間の後半には気圧の尾根に覆われ、晴れる日もあった。旬平均気温は、かなり低かつた。旬間日照時間は、多かつた。
	下旬 昭和基地の北の海上を通過した低気圧やそこから伸びる前線の影響で曇りや雪の日が多く、ふぶきとなる日もあった。旬平均気温は、平年並だった。旬間日照時間は、平年並だった。
2015年 5月	上旬 発達した低気圧や前線の影響を受けることが多く、期間の初めと中頃にはふぶきとなった。旬平均気温は、高かつた。旬間日照時間は、少なかつた。
	中旬 発達した低気圧や昭和基地の北の海上を通過した低気圧の影響で曇りや雪の日が多かつたが、期間の後半は気圧の尾根や大陸からの高気圧に覆われて晴れの日があった。旬平均気温は、平年並だった。旬間日照時間は、少なかつた。
	下旬 気圧の尾根に覆われて晴れとなる日が多かつたが、期間の中頃は昭和基地の北の海上の低気圧や気圧の谷の影響で曇りや雪となる日があった。旬平均気温は、低かつた。旬間日照時間は、多かつた。
2015年 6月	上旬 期間を通して高気圧や気圧の尾根に覆われて晴れる日が多かつたが、期間の終わりは気圧の谷や発達した低気圧および前線の影響で曇りや、一時的に雪となり、ふぶきとなることもあった。旬平均気温は、低かつた。
	中旬 期間の前半は高気圧や気圧の尾根に覆われて晴れる日が多かつたが、期間の後半は昭和基地の北の海上を通過した低気圧や前線の影響で曇りや薄曇りとなった。旬平均気温は、かなり低かつた。
	下旬 期間の前半は高気圧や気圧の尾根に覆われて晴れる日が多かつたが、期間の後半は発達した低気圧の影響で曇りや雪となる日が多く、26日は発達した低気圧が昭和基地周辺に接近し、ブリザードとなった。旬平均気温は、平年並だった。
2015年 7月	上旬 期間を通して低気圧や前線の影響を受けて曇りや雪の日が多かつた。各旬とも期間の後半は発達した低気圧が接近してブリザードとなった。中旬の前半は、大陸からの高気圧や気圧の尾根に覆われて晴れ放射冷却の影響で、13日および14日は日平均気温が-30℃を下回った。14日は最低気温が-33.4℃となり、7月の「日最低気温の低い方から」2位を記録した。7月11日から極夜明けとなったが、期間を通して日照時間は観測されなかつた。月平均気温は、平年並だった。
	中旬 期間の前半は、大陸からの高気圧や気圧の尾根に覆われて晴れとなった。放射冷却の影響で、11日から16日にかけて日平均気温が平年を下回る-20℃以下となった。特に、13日および14日は日平均気温が-30℃を下回った。期間の後半は、発達した低気圧や前線が接近した影響でふぶきとなり、17日から19日にかけてはブリザードとなった。旬平均気温は、低かつた。
	下旬 期間を通して低気圧や前線および気圧の谷の影響を受ける日が多く、曇りや雪の日が多かつた。期間の後半は発達した低気圧が次々と昭和基地周辺に接近した影響でふぶきとなり、27日から31日にかけて断続的にブリザードとなった。旬平均気温は、高かつた。

表 5 昭和基地における天気概況 (2015 年 2 月～2016 年 1 月). (2/2)
 Table 5. Weather summaries at Syowa Station (Feb. 2015-Jan. 2016).(2/2)

年・月	天気概況
2015年 8月	月の後半は大陸の高気圧に覆われ、晴れの日もあったが、期間を通して低気圧や前線の影響を受けて曇りや雪の日が多かった。13日から14日、24日から25日は発達した低気圧の接近によりふぶきとなり、ブリザードとなった。28日から29日には、リュッツホルム湾を進んだ低気圧の影響で、あられを伴うブリザードとなり、29日の最大風速は42.4m/sを観測し、8月としては2位を記録した。月平均気温は、平年並だった。日照時間は、多かった。
	月上旬 期間を通して昭和基地の北の海上を通過した低気圧や前線の影響を受けて、曇りや雪の日が多かった。旬平均気温は、平年並だった。日照時間は、平年並みだった。
	中旬 期間の前半は、低気圧が次々と接近し、ふぶきとなった。期間の後半は、大陸の高気圧に覆われ晴れの日が多かった。旬平均気温は、かなり高かった。日照時間は、平年並みだった。
2015年 9月	下旬 期間の初めは気圧の尾根に覆われ、晴れの日があった。期間の後半は、発達した低気圧の影響により曇りや雪の日が多かった。旬平均気温は、低かった。日照時間は、平年並みだった。
	月上旬の前半や中旬の後半は、昭和基地付近は大陸の高気圧に覆われ晴れの日が多く、放射冷却の影響で気温がかなり低かった。2日には日最高気温が-34.0℃となり、9月の「最高気温の低い方から」2位を記録した。上旬後半から中旬前半および下旬は昭和基地付近に接近した低気圧や前線の影響で曇りや雪となり、11～12日、14日、23日、24～25日にブリザードとなった。25日に最深積雪が通年1位となる185cmを観測した。月平均気温は、低かった。月間日照時間は、平年並みだった。
	中旬 期間の前半は、昭和基地付近は気圧の尾根や大陸の高気圧に覆われ、晴れる日が多かった。後半は、昭和基地の北の海上を通過した低気圧の影響で曇りの日が多く、一時ふぶきとなる日もあった。旬平均気温は、かなり低かった。旬間日照時間は、平年並みだった。
2015年 10月	下旬 11日から14日にかけて、昭和基地付近に低気圧が2つ続いて接近し、雪やふぶきとなった。期間の後半は、気圧の尾根に覆われ晴れる日が多かった。旬平均気温は、かなり低かった。旬間日照時間は、平年並みだった。
	中旬 期間を通して気圧の谷や昭和基地の北の海上を通過した低気圧の影響で曇りや雪の日が多かった。23日から25日にかけて、昭和基地の北の海上を通過した2つの低気圧の影響で、ふぶきとなった。旬平均気温は、高かった。旬間日照時間は、少なかった。
	下旬 中旬から下旬のはじめを中心に、昭和基地付近は気圧の尾根や大陸の高気圧に覆われ晴れる日が多かったが、上旬前半や中旬前半および下旬は、昭和基地付近に接近した低気圧や前線の影響で曇りや雪となり、3～4日、12～13日、14日はブリザードとなった。月平均気温は、平年並だった。月間日照時間は、多かった。
2015年 11月	月上旬 期間のはじめや後半は、昭和基地付近は気圧の尾根や大陸の高気圧に覆われ、晴れる日が多かった。3日から4日にかけては、前線が接近しふぶきとなった。旬平均気温は、高かった。旬間日照時間は、多かった。
	中旬 期間の前半は低気圧の接近により曇りの日が多く、12日から14日はふぶきとなった。期間の後半は、気圧の尾根や大陸の高気圧に覆われて晴れとなった。旬平均気温は、高かった。旬間日照時間は、平年並だった。
	下旬 期間のはじめは中旬から引き続き大陸の高気圧に覆われて晴れたが、その後は気圧の谷や低気圧の影響で曇りや雪の日が多かった。旬平均気温は、低かった。旬間日照時間は、多かった。
2015年 12月	月上旬 1日に前線の影響でブリザードとなったが、期間を通して晴れの日が多かった。このため、11月の「月間日照時間の多い方から」6位を記録した。また8日には最小相対湿度が24%、15日には25%となり、11月の月最小相対湿度4位と6位を記録した。月平均気温は、高かった。月間日照時間は、かなり多かった。
	中旬 期間のはじめは昭和基地に接近した前線の影響でふぶきとなった。その後は雲の広がるがあったものの、期間後半は気圧の尾根や大陸の高気圧に覆われることが多く、天気は崩れはなかった。旬平均気温は、平年並だった。旬間日照時間は、平年並だった。
	下旬 期間を通して気圧の尾根や大陸の高気圧に覆われることが多く、晴れる日が多かった。旬平均気温は、高かった。旬間日照時間は、かなり多かった。
2015年 12月	下旬 期間のはじめは昭和基地に接近した低気圧の影響で、一時ふぶきとなった。その後は昭和基地の北東の海上に停滞した低気圧に伴う雲が広がり、薄曇りとなる日が続いた。29日から30日にかけては、昭和基地に接近した低気圧の影響で、曇りや雪となった。旬平均気温は、高かった。旬間日照時間は、平年並だった。
	月上旬 期間の前半は大陸の高気圧や気圧の尾根に覆われて晴れの日が多かったが、期間の後半は昭和基地付近に気圧の谷や発達した低気圧が接近した影響で曇りの日が多く、ふぶきとなる日もあった。月平均気温は、平年並だった。月間日照時間は、平年並だった。
	中旬 期間のはじめや終りは低気圧の影響で、曇りや雪となったが、期間を通して大陸の高気圧に覆われることが多く、晴れの日が多かった。旬平均気温は、平年並だった。旬間日照時間は、多かった。
2016年 1月	下旬 期間のはじめや中頃は大陸の高気圧に覆われて晴れの日が多かった。後半は昭和基地の北の海上を通過する低気圧の影響を受けて雲が広がるが多かった。旬平均気温は、高かった。旬間日照時間は、平年並だった。
	中旬 大陸の高気圧に覆われて晴れの日もあったが、北の海上から接近した低気圧の影響で曇りや雪の日があった。27日から29日にかけては昭和基地の北の海上に発達した低気圧が接近した影響で、ふぶきとなった。旬平均気温は、低かった。旬間日照時間は、少なかった。
	下旬 期間の前半は大陸の高気圧や気圧の尾根に覆われて晴れの日が多かったが、期間の後半は昭和基地付近に気圧の谷や発達した低気圧が接近した影響で曇りの日が多く、ふぶきとなる日もあった。月平均気温は、平年並だった。月間日照時間は、平年並だった。
2016年 1月	月上旬 期間を通して大陸の高気圧に覆われることが多く、晴の日が多かったが、期間の終わりは低気圧の影響で、曇りや雪となった。旬平均気温は、平年並だった。旬間日照時間は、多かった。
	中旬 期間のはじめや中頃は大陸の高気圧に覆われて晴れの日が多かった。後半は昭和基地の北の海上に進む低気圧の影響で、曇りや雪となった。旬平均気温は、高かった。旬間日照時間は、平年並だった。
	下旬 大陸の高気圧に覆われて晴れの日もあったが、北の海上から接近した低気圧の影響で、曇りや雪の日があった。27日から29日にかけては昭和基地の北の海上に発達した低気圧が接近した影響で、ふぶきとなった。旬平均気温は、低かった。旬間日照時間は、少なかった。

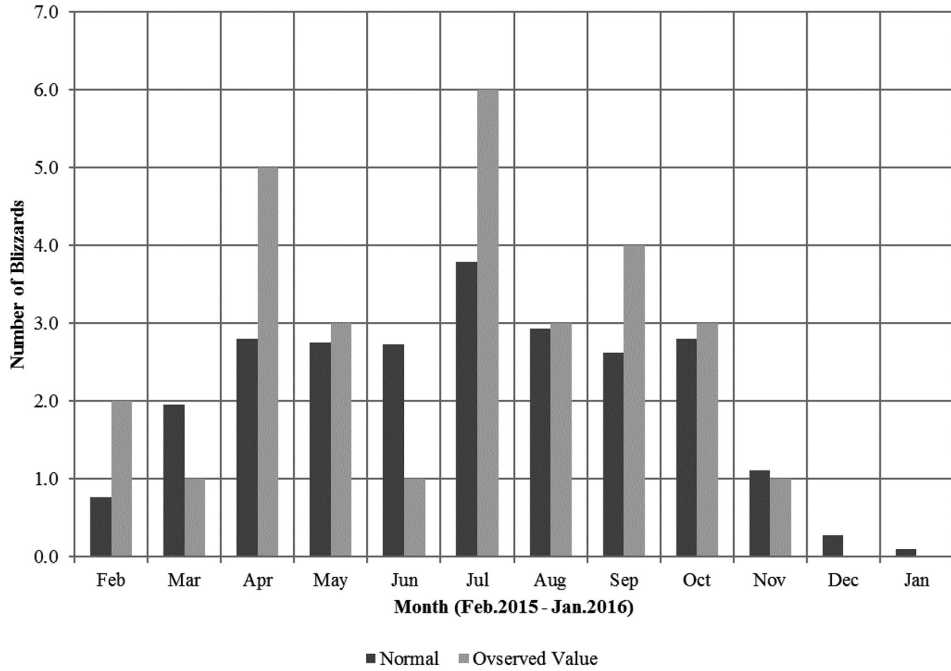


図 4 月別ブリザード数 (2015 年 2 月～2016 年 1 月). 平年値は 1981 年～2010 年の平均値.
 Fig. 4. Number of Blizzards per month at Syowa Station (Feb.2015 - Jan.2016) . The Normal is the mean value for the period from 1981 to 2010.

表 6 新地上気象観測装置における使用測器.
 Table 6. New surface observation system 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	0.1hPa	電気式気圧計 (静電容量型)	PTB330	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	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	0.1℃	電気式温度計 (白金抵抗型)	K5639AJ	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	0.1℃	—		気温・湿度観測値から算出
蒸気圧	連続	0.1hPa	—		気温・湿度観測値から算出
相対湿度	連続	1%	電気式湿度計 (静電容量型)	HMT333	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	1°	風車型風向風速計	WS-JN6	測風塔 (地上高10.1m) に設置
風速	連続	0.1m/s			
全天日射量	連続	0.01MJ/m ²	全天電気式日射計	MS-402F	気象棟前室屋上に設置
日照時間	連続	0.1h	回転式日照計	MS-094	気象棟南側及び北側に2台設置
積雪深	連続	1cm	積雪計	K5601HD	観測棟北東側海岸斜面に設置

3. 高層気象観測

3.1. 観測方法と測器

昭和基地は 1995 年に WMO 等の国際機関により構築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) において南極圏内の希少な観測点である。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-06G 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 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。

飛揚直前には, 使用周波数, GPS 衛星数, 高度, 気温及び湿度に関する点検を行い, 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, 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, インテルサット衛星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 7 に示す。

表 7 RS-06G 型 GPS ゾンデの各センサの性能。
Table 7. Sensor specification 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高度, 気温, 湿度により算出	1050~3hPa	0.1hPa	計測精度 地上~100hPa : $\pm 1\text{hPa}$ 100hPa~3hPa : $\pm 0.5\text{hPa}$
	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~-90 $^{\circ}\text{C}$	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 $^{\circ}$	0.1 $^{\circ}$	
	風速	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	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	-200.0~40000.0m	0.1m	計測精度 $\pm 5.0\text{m}$

3.2. 観測経過

第56次隊として2015年2月1日00UTCより2016年1月31日12UTCまでの観測を行った(表8)。この期間中、ブリザードによる強風のため欠測となった観測が14回あった(2月23日00UTC, 同日12UTC, 4月2日00UTC, 4月3日00UTC, 5月1日12UTC, 5月2日00UTC, 5月11日12UTC, 5月12日00UTC, 7月17日12UTC, 7月18日00UTC, 同日12UTC, 7月19日00UTC, 7月29日00UTC, 10月4日00UTC)。

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29日から11月4日までの期間(00UTC, 12UTC)、ゴム気球を油(航空タービン燃料油のJP-5)に浸したのち乾燥させて使用する油漬けを実施し、飛揚した。なお、油漬けの実施期間は成層圏の気温が -68°C を下回る時期を目安とした。

3.3. 観測結果

2015年1月から2016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9に示す。また、2015年1月から2016年1月までの00UTCにおける主な指定気圧面の月平均気温と平年値(1981年~2010年)の年変化を図5に示す。

表9及び図5に示す主な指定気圧面において、2015年4月は700 hPa面から400 hPa面、50 hPa面から30 hPa面の指定気圧面で月平均気温が平年より低かった。一方250 hPaでは平年より高かった。5月は、200 hPa面から30 hPa面の指定気圧面で月平均気温が平年より低く、5月の100 hPa面から40 hPa面の月平均気温が低い方からの1位の値を更新した。7月は700 hPa面から300 hPa面で平年より低かった。8月は100 hPa面から70 hPa面で平年

表 8 昭和基地における高層気象観測状況。

Table 8. The number of observations and reached an altitude of aerological observations at Syowa Station.

項目	年 月	2015年												2016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	
飛揚回数		54	65	58	59	61	61	61	60	62	62	63	63	729	
定時観測回数		56	62	60	62	60	62	62	60	62	60	62	62	730	
欠測回数(※1)		2	0	2	5	0	5	1	0	1	0	0	0	16	
資料欠如回数(※2)		0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1	
再観測回数		0	3	0	2	1	4	0	0	1	2	1	1	15	
3 度 (※)	到達回数	54	62	58	57	60	57	61	60	61	60	62	62	714	
	平均 hPa	11.8	11.6	23.4	15.9	16.3	17.7	12.8	13.9	14.3	12.8	11.3	14.2	14.7	
	平均 km	30.9	30.3	25.8	27.3	26.7	26.1	26.9	27.3	27.6	29.4	30.8	30.2	28.3	
	最高 hPa	5.0	5.0	6.4	5.4	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	5.2	5.0	
	最高 km	36.4	35.7	32.4	31.9	31.9	32.1	31.8	32.5	33.9	35.9	36.1	36.4	36.4	

※1：観測資料なし又は定時観測のうち到達気圧が500hPa指定気圧面未満であった回数。

※2：定時観測のうち到達気圧が500hPa指定気圧面以上150hPa指定気圧面未満であった回数。

※3：定時観測のうち到達気圧が150hPa指定気圧面以上の観測について集計。

より低かった。10月 は 600 hPa 面から 300 hPa 面で月平均気温が平年より高く、11月 も 700 hPa 面から 400 hPa 面の月平均気温が平年より高かった。一方、200 hPa 面より上の気圧面では傾向が異なり、10月 は 200 hPa 面から 100 hPa 面で、11月 は 200 hPa 面から 50 hPa 面で、2016 年 1月 は 250 hPa 面から 100 hPa 面で気温が平年より低く、2016 年 1月 には、175 hPa 面から 125 hPa 面の指定気圧面の月平均気温が低い方からの 1 位の値を更新した。

表 9 月別指定気圧面観測値 (00UTC).

Table 9. Monthly summaries of aerological data at standard pressure levels (00UTC).

項目	指定面 (hPa)	2015年														2016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	1188	1136	1102	1079	1117	1135	1056	1037	1060	1137	1152	1177	1115	1141		
	800	1654	1602	1565	1534	1572	1585	1501	1484	1505	1589	1616	1642	1571	1609		
	700	2663	2610	2567	2523	2563	2566	2473	2458	2474	2576	2626	2648	2562	2621		
	600	3803	3745	3695	3635	3682	3673	3571	3559	3570	3693	3765	3781	3681	3761		
	500	5115	5051	4994	4908	4966	4944	4828	4824	4833	4977	5071	5083	4966	5071		
	400	6664	6593	6522	6408	6479	6439	6304	6310	6321	6488	6607	6616	6479	6618		
	350	7559	7485	7406	7277	7352	7302	7156	7168	7182	7361	7493	7501	7354	7512		
	300	8565	8489	8404	8262	8331	8272	8115	8131	8149	8339	8485	8496	8337	8517		
	250	9739	9674	9581	9426	9461	9387	9221	9237	9260	9462	9620	9644	9476	9683		
	200	11198	11151	11041	10866	10833	10730	10548	10555	10585	10798	10969	11036	10859	11121		
	175	12079	12042	11920	11729	11656	11533	11330	11331	11368	11584	11764	11871	11684	11991		
	150	13099	13071	12934	12722	12606	12459	12232	12221	12265	12481	12677	12834	12633	13000		
	125	14308	14288	14132	13891	13723	13545	13292	13266	13318	13532	13754	13975	13752	14198		
	100	15792	15778	15595	15313	15078	14860	14574	14529	14598	14797	15072	15376	15114	15675		
	70	18185	18163	17923	17560	17211	16939	16593	16522	16632	16821	17205	17656	17284	18067		
	50	20465	20415	20113	19657	19192	18860	18471	18381	18547	18744	19297	19879	19335	20351		
	40	21988	21912	21561	21040	20493	20122	19702	19609	19823	20045	20743	21389	20702	21879		
30	23958	23847	23434	22796	22161	21728	21283	21192	21484	21769	22667	23367	22474	23871			
気温 (°C)	850	-9.1	-9.9	-11.3	-15.6	-15.8	-18.8	-22.2	-20.4	-21.7	-17.1	-10.5	-9.4	-15.2	-8.4		
	800	-12.2	-12.6	-13.9	-17.4	-17.7	-20.0	-22.9	-22.0	-23.4	-19.4	-12.6	-12.7	-17.2	-11.2		
	700	-17.8	-18.3	-20.1	-23.0	-21.9	-24.9	-26.8	-26.4	-27.5	-22.9	-17.6	-19.1	-22.2	-17.3		
	600	-23.7	-25.0	-26.0	-30.5	-28.4	-30.8	-33.3	-32.1	-32.9	-28.6	-24.1	-25.2	-28.4	-23.8		
	500	-31.1	-32.2	-34.1	-38.8	-36.6	-39.1	-42.0	-40.4	-40.5	-36.5	-32.7	-33.3	-36.4	-31.5		
	400	-41.1	-42.0	-44.1	-48.2	-46.8	-49.4	-52.3	-50.8	-50.2	-46.9	-42.2	-43.8	-46.6	-41.4		
	350	-47.1	-48.0	-49.7	-53.1	-52.8	-55.2	-57.9	-56.4	-55.7	-53.0	-49.7	-49.5	-52.3	-47.4		
	300	-52.7	-52.0	-53.3	-55.8	-59.1	-61.2	-63.3	-62.9	-61.8	-59.6	-56.9	-55.6	-57.9	-53.2		
	250	-52.3	-49.0	-51.2	-53.9	-62.9	-66.5	-68.2	-68.7	-67.9	-65.7	-63.7	-59.6	-60.8	-55.0		
	200	-47.9	-45.7	-48.6	-52.0	-62.6	-67.9	-71.5	-73.5	-71.9	-70.9	-69.0	-59.9	-61.8	-51.1		
	175	-47.4	-45.1	-48.3	-52.6	-62.5	-67.6	-72.4	-75.2	-73.7	-73.2	-70.3	-59.5	-62.3	-50.0		
	150	-46.9	-45.1	-48.4	-53.5	-62.9	-68.7	-73.6	-76.6	-75.1	-75.3	-71.1	-59.5	-63.1	-49.1		
	125	-46.4	-45.1	-48.9	-54.5	-64.6	-70.5	-75.7	-78.5	-76.5	-77.1	-71.7	-59.1	-64.1	-48.2		
	100	-45.2	-45.0	-49.7	-56.4	-67.1	-73.0	-77.9	-80.8	-77.8	-78.7	-71.0	-57.9	-65.0	-45.9		
	70	-42.7	-44.5	-50.3	-59.3	-70.6	-76.5	-81.6	-83.6	-78.6	-79.1	-65.6	-51.2	-65.3	-42.4		
	50	-40.8	-44.0	-51.3	-61.6	-73.5	-79.6	-84.2	-85.0	-78.4	-76.1	-55.5	-44.0	-64.5	-40.2		
	40	-39.9	-44.0	-51.5	-62.7	-74.9	-80.9	-85.1	-85.3	-77.1	-71.6	-48.3	-40.2	-63.5	-38.3		
30	-38.2	-43.1	-51.2	-64.0	-76.1	-81.5	-85.5	-84.7	-74.4	-64.8	-41.1	-36.7	-61.8	-36.0			
風速 (m/s)	850	5.1	7.6	8.9	9.5	9.4	9.5	12.5	11.4	7.5	9.7	9.7	7.3	9.0	8.8		
	800	5.6	6.6	8.0	8.0	7.8	8.1	10.0	9.4	6.7	8.7	9.6	7.6	8.0	7.7		
	700	5.4	6.1	6.5	8.4	7.1	7.8	9.8	9.3	7.8	8.8	9.9	7.4	7.9	6.5		
	600	5.8	6.1	6.3	8.8	7.9	8.0	11.2	10.9	9.8	9.8	11.3	7.3	8.6	7.1		
	500	7.3	7.6	8.6	9.9	9.0	9.0	13.0	12.3	12.9	12.1	11.9	8.5	10.2	8.0		
	400	10.3	10.4	10.9	11.6	11.7	11.6	16.5	14.7	15.8	16.1	14.5	10.9	12.9	10.5		
	350	12.7	11.6	12.8	13.3	13.4	12.7	17.8	16.6	18.6	18.0	15.7	11.3	14.5	11.8		
	300	14.1	13.3	14.1	13.5	14.7	13.1	17.9	17.1	20.3	19.1	16.0	11.4	15.4	12.2		
	250	11.8	11.6	13.0	13.3	15.9	12.5	17.2	16.3	21.4	18.8	16.0	10.4	14.9	10.3		
	200	7.8	10.9	12.2	13.3	16.0	12.0	17.8	16.4	21.9	16.6	14.7	8.6	14.0	7.5		
	175	7.6	10.9	12.4	14.6	16.5	12.7	18.0	16.9	23.0	15.1	13.7	7.8	14.8	6.9		
	150	6.8	10.5	12.5	15.6	17.3	13.3	18.7	17.2	24.1	15.6	12.9	8.6	14.4	6.6		
	125	6.5	11.0	12.9	16.1	18.6	15.3	21.4	18.9	26.1	15.6	14.3	9.3	15.5	7.0		
	100	5.7	10.7	12.7	17.7	21.4	18.2	23.6	21.6	28.3	15.9	17.3	10.7	17.0	6.3		
	70	4.7	8.6	12.8	20.5	25.7	23.4	27.3	24.9	32.8	18.5	23.4	12.7	19.6	5.6		
	50	4.2	6.9	13.1	22.4	30.2	28.1	32.3	29.2	38.5	23.9	32.4	12.2	22.8	3.4		
	40	4.0	6.0	13.2	23.9	33.6	32.3	35.0	32.3	43.5	27.0	36.7	13.3	25.1	2.8		
30	5.9	5.4	14.5	25.1	37.7	37.0	37.3	35.2	48.2	32.8	40.9	13.5	27.8	4.7			

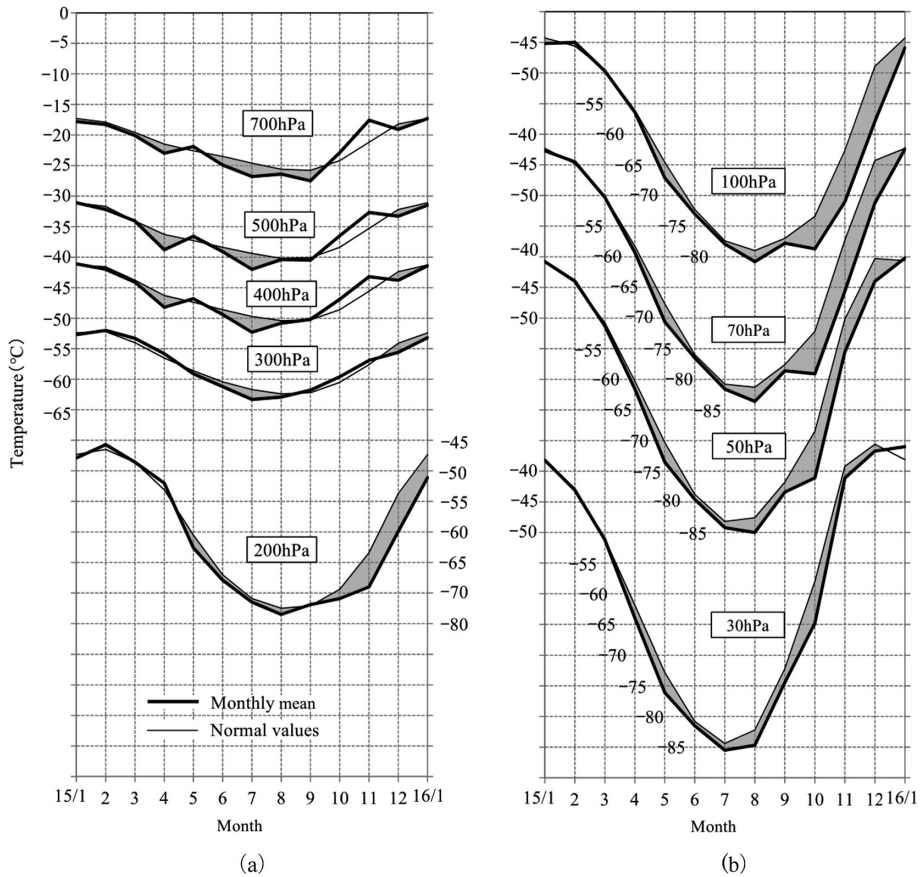


図 5 指定気圧面の月平均気温の年変化 (2015 年 1 月～2016 年 1 月) と累年平均 (1981 年～2010 年) の年変化 (00UTC). (a) 700hPa - 200hPa, (b) 100hPa - 30hPa.

Fig. 5. Annual variations of monthly mean upper air temperature (Jan. 2015–Jan. 2016) and normal values (1981–2010) at Syowa Station. (a) 700hPa - 200hPa, (b) 100hPa - 30hPa

2015 年 1 月から 2016 年 1 月までの上層気温の時間高度断面の変化を図 6 に示す。成層圏で -70°C 以下の領域が明瞭に現れたのは 4 月下旬からで、5 月上旬以降、 -70°C 以下の領域は拡大した。また、5 月下旬から -80°C 以下の領域も現れ、8 月下旬まで継続した後、9 月から 10 月にかけて断続的に現れた。

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「1 週間以内に最大上昇温度が 25°C 以上の気温上昇」は、10 月下旬から 11 月中旬に 7 事象を観測した。特に、30 hPa 指定気圧面において 10 月 31 日から 11 月 6 日にかけて 29.6°C の昇温となり、11 月 9 日から 11 月 12 日にかけても 28.0°C の昇温となった。

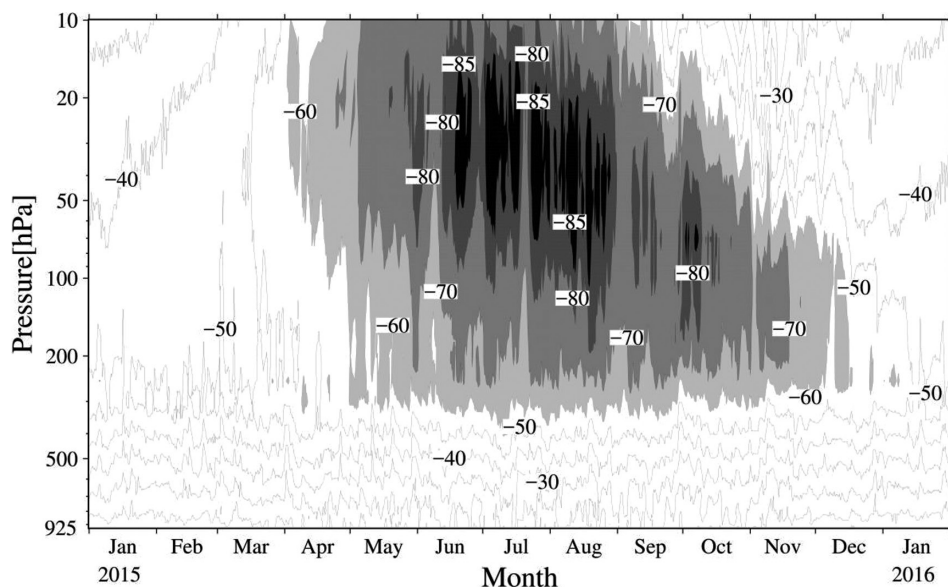


図 6 昭和基地上空の気温の時間高度断面図 (2015 年 1 月～2016 年 1 月)。薄灰色域： -60°C 以下、灰色域： -70°C 以下、濃灰色域： -80°C 以下、黒色域： -85°C 以下。

Fig. 6. Time-height cross-section of upper air temperature (Jan. 2015 - Jan. 2016). The light gray area indicates the region -60°C or below, the gray area indicates the region -70°C or below, the dark gray area indicates the region -80°C or below, the black area indicates the region -85°C or below.

4. オゾン観測

4.1. 概要

オゾン観測は、ドブソン分光光度計を用いた全量・反転（高度分布）観測、ECC-06 G (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 10 に示す。

オゾン全量・反転観測とオゾンゾンデ観測結果は、電子メールで毎月気象庁へ報告した。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、WMO のウェブサイトにて公開された。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。

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。

表 10 昭和基地におけるオゾン観測器材.

Table 10. 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.119	m atm-cm		石英プリズムを使って太陽光をスペクトルに分光し、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	1040~5hPa	RS-06G型GPSゾンデと同等(表7照)
			気温	+40~-90°C	
			湿度	1~100%	
			風向 風速	0~360° 0m/s以上	
	オゾン センサ	ECC-1Z	オゾン 計測部	mPa	飛揚前点検で精度確認・ポンプ効率係数精度を計算 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	オゾン 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 A-1781-1 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

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, ドブソン分光光度計(Beck119)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305.5nm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. また, $4.5 < \mu \leq 5.5$ の時期は, 1日3回(北中時に $\mu = 5.5$, 午前・午後に $\mu = 6.5$ の観測を実施), $5.5 < \mu \leq 6.5$ の時期は, 1日1回(北中時に $\mu = 6.5$ の観測を実施)の観測を実施した. 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. このため, 現地で数時間にわたり太陽直射光の連続観測を行い, 第55次隊で実施した連続観測の結果と合わせ, 測定限界付近の観測データの品質管理に利用した.

太陽光による観測ができない冬季には、月齢が8から23の範囲で 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。

4.2.2. 観測経過

第55次隊が昭和基地に持ち込んだドブソン分光光度計 Beck119 を使用し、2015年2月1日から2016年1月31日まで観測を行った。この Beck119 は第53次隊、第54次隊で使用した Beck122 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。4月末から観測直後の水銀ランプ点検において水銀の基線スペクトルである312.9 nmの波長を選択する際、波長選択プレートの角度が定常的な値としている基準値から許容範囲を越えてずれることがあった。このため、観測の前後に水銀ランプ点検を実施し、波長選択プレートの角度が基準値から 0.3° 以上ずれた観測は採用しないことにした。波長選択プレートの角度が基準値からずれた原因は、波長選択プレートのついている筐体上半分と分光プリズムを取り付けている筐体ベース部分の位置関係が変化したことによるものと推測し、2015年8月1日に水銀ランプにより波長選択プレートの角度と選択する波長の関係を定めるQ表を修正した。

月別オゾン全量観測日数を表11に示す。5月及び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 μ の条件が揃う日数は月に10日間程度であり、実際の観測日は天気の状態によりさらに少なくなった。

表 11 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 11. Days of total ozone observations and ozone Umkehr observations with the Dobson spectrophotometer at Syowa Station.

	2015年											2016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	23	26	19	1	-	-	15	26	27	29	31	31	228
全量観測日数 (月光)*1	1	2	5	9	10	4	4	5	3	-	-	-	43
反転観測日数 (ロング)*2	4	0	-	-	-	-	-	7	13	12	0	6	42
反転観測日数 (ショート)*2	0	1	0	-	-	-	0	3	1	0	0	2	7

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。

4.2.3. 観測結果

4.2.1. で述べたとおり，観測条件が許す限り，異なる光線（太陽の直射光・天頂散乱光及び月光直射光）・波長組を用いて1日に複数回のオゾン全量観測を実施し，オゾン観測指針オゾン全量・反転観測編（気象庁，1991）に定める観測資料の優先順位に従い，その日に行われた全ての観測のなかで最も観測精度が高いと判断される観測値が日代表値となる。

2015年1月から2016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を度々下回り，10月7日に2015年の最小値である140 m atm-cmを記録した。この期間，オゾンホールは安定して広がっていたが，昭和基地上空はオゾンホール縁辺に近く，局所的にみると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た。11月中旬から12月上旬もオゾンホールは消滅せず，昭和基地上空を覆った期間が長かったため，オゾン全量が少ない状態が継続した。12月13日のオゾン全量は140 m atm-cmで，参照値（1994年から2008年の平均値）より92 m atm-cm少なくなった。

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。12月の月平均オゾン全量（247 m atm-cm）は過去2番目に少ない値となった。2016年1月中旬は，再びオゾン全量が少ない領域が昭和基地の上空を覆い，1月の月平均値は過去5番目に少なかった。

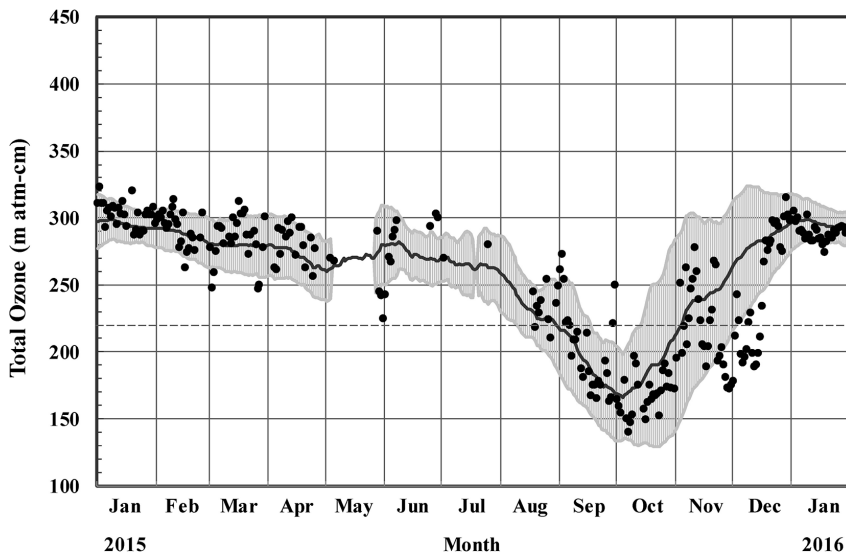


図7 昭和基地におけるオゾン全量日代表値の年変化（2015年1月～2016年1月）。陰影部は1994年から2008年の平均値とその標準偏差（ $\pm\sigma$ ）を，破線はオゾンホールの目安である220m atm-cmの値を示す。

Fig. 7. Annual variations in total ozone at Syowa Station (Jan. 2015–Jan. 2016). The black line and light gray shadings are the average and standard deviations ($\pm\sigma$) for the period from 1994 to 2008. The dashed line shows 220 m atm-cm.

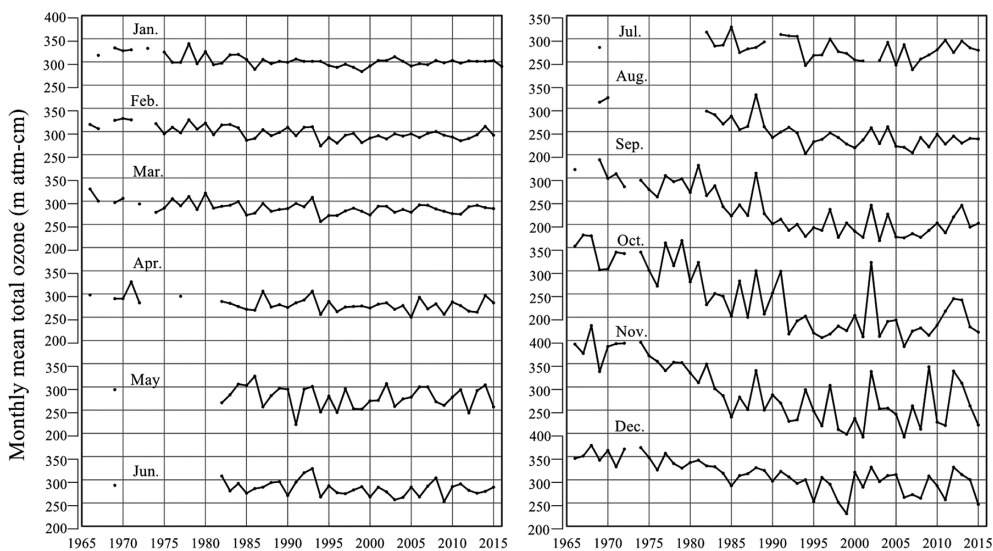


図 8 昭和基地における月平均オゾン全量の経年変化 (1966 年 2 月～2016 年 1 月)。

Fig. 8. Time series of monthly mean total ozone at Syowa Station (Feb. 1966 - Jan. 2016).

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, ドブソン分光光度計 (Beck119) 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 度から 90 度, ショート反転観測では 80 度から 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る。月別反転観測日数と観測種別ごとの内訳を表 11 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。また, 2 月から 4 月は天候の影響で観測数が少なかった。その上, 3 月, 4 月には測器の不調により適切な波長が選択されていない可能性があると考え, 観測結果を不採用としたことにより, 成立した観測は 3 月 22 日の 1 観測のみとなった。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, 午前に良好なデータを取得できた場合で, 午後にオゾン全量観測の観測限界調査を行った日を除き, 可能な限り観測を行った。

4.3.3. 観測結果

2015 年 1 月から 2016 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。2015年4月から8月はロング反転観測データが得られない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た (Miyagawa *et al.*, 2009)。

9月下旬から10月にかけて各層は、1994年から2008年の平均オゾン量で推移した。11月中旬から下旬にかけて、第1層から第4層 (surface から 31.7hPa) のオゾン量は少なかった。

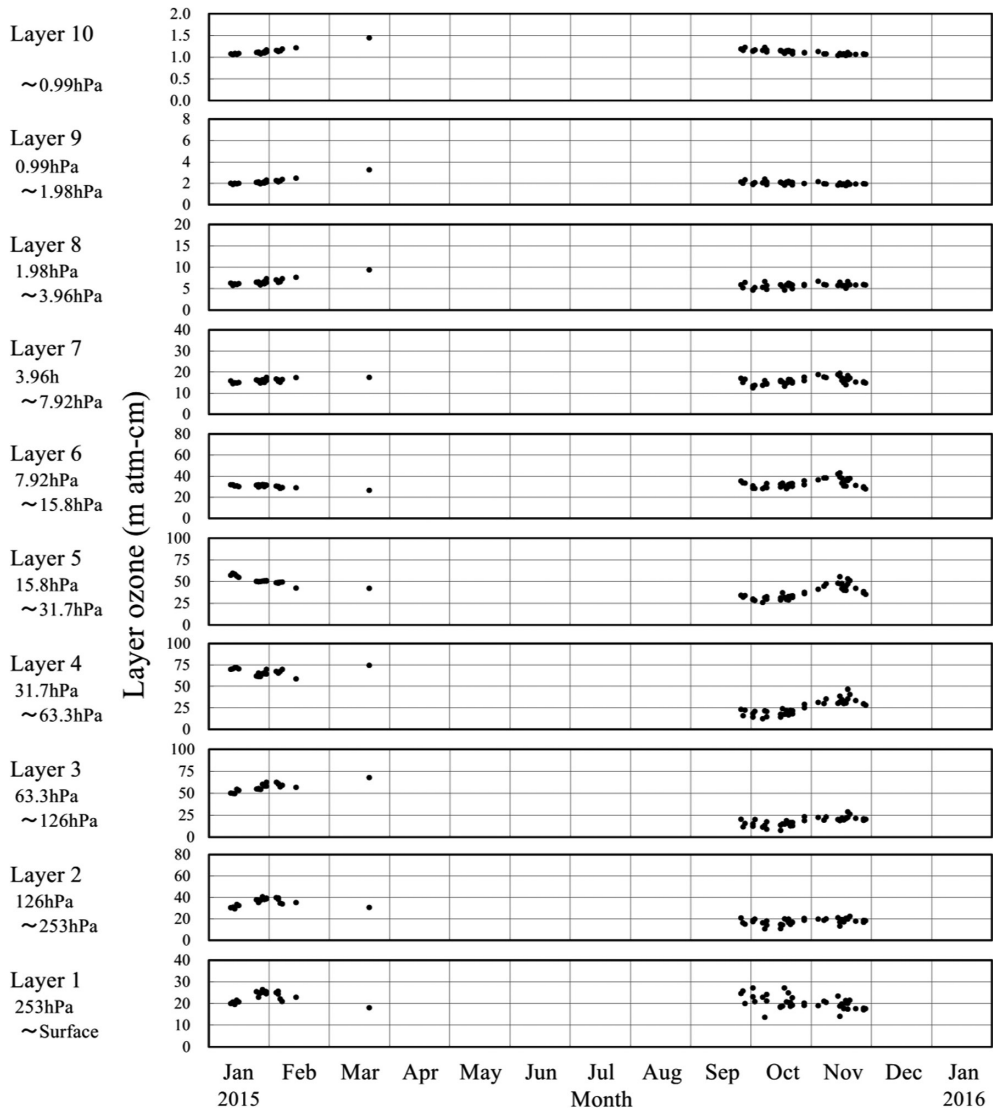


図9 昭和基地における反転観測による気層別オゾン量 (2015年1月~2016年1月)。

Fig. 9. Amount of ozone in the selected layers obtained by Umkehr observations at Syowa Station (Jan. 2015–Jan. 2016).

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) に基づき, 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, 風向・風速及び, 気温が -40°C を下回るまでの湿度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ラジオ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錘浮力を 3200 g (巻下器不使用時は 3000 g) とした.

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16日から10月16日までの観測において, 高層気象観測と同様に気球の油漬け処理を行った. また, 上空での低温によるオゾンセンサの反応不良を回避するため, 4月11日から11月29日までの観測において, 注水電池収納スペースに発砲スチロールを入れ, 注水電池が発する熱を用いて保温した. また, オゾンセンサの熱放射による温度低下を緩和するために, 内部をアルミシートで覆った上, 凝結熱を利用する目的でウォーターバッグを入れる低温対策を実施した.

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った. オゾンホール時期(8月から12月)には観測間隔を密にして月6回から8回の頻度で行った.

4.4.2. 観測経過

第56次隊ではオゾンゾンデを49回飛揚した. オゾンゾンデの観測状況を表12に示す. 11月4日の観測は観測終了高度が対流圏界面以下のため, 統計不採用となった. その他の観測において, 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

2015年2月から2016年1月までのオゾン分圧の月別高度分布を図10に示す. オゾン分圧は通常, 100 hPa から 30 hPa 付近で最大となる高度分布を示す. 7月まで 10 mPa 以上となっていた 100 hPa から 40 hPa 付近のオゾン分圧は, 8月に入って減少し始め, オゾンホールが最も拡大した10月は 5 mPa を下回るほど減少した. 11月にかけても高度 300 hPa から 15 hPa 付近でオゾンホールの影響によるオゾンの減少が観測された.

表 12 オゾンゾンデ観測状況.

Table 12. Dates and reached altitudes of ozonesonde observations at Syowa Station.

年 月	2015年												
	2月		3月		4月		5月		6月		7月		
日	観測	14	4.6	11	5	11	11.5	16	37	17	4.6	10	16.6
	終了	27	7.9	20	4.7	25	13.9	28	5.4	25	5.1	21	5.2
	気圧 (hPa)											25	6
年 月	2015年						2016年						
	8月		9月		10月		11月		12月		1月		
日	観測	4	4.7	3	16.1	6	5.5	4	986.3	4	5.8	6	10.2
	終了	9	4.8	6	5.2	16	15.4	6	4.9	9	4.6	11	5.2
	気圧 (hPa)	16	4.8	10	79.9	19	4.5	10	4.1	15	6.3	17	9.4
		21	5.2	16	4.7	23	6.1	13	6.9	21	5.6		
		26	7.5	20	6.8	27	6.9	16	14.8	30	24.2		
		30	5.6	25	7.1	31	6.7	20	5.8				
			28	6.1			23	6.5					
							26	5.6					
							29	5.5					

4.4.4. 2015年のオゾンホールの特徴

気象庁では、オゾンホールの規模を南緯45度以南におけるオゾンホールの面積、最低オゾン全量、オゾン欠損量で定義し、人工衛星による観測資料を用いて算出し、公表している(気象庁, 2016)。2015年のオゾンホールは、例年と同様に8月に発生し、過去10年間(2005年から2014年)に比べ小さい規模で推移した後、9月初めに拡大した。その後、例年ならば縮小し始める9月中旬以降も拡大し続け、10月9日に2015年の最大面積である2,780万km²(南極大陸の約2倍)まで広がった。南極オゾンホールが南極大陸の約2倍の面積まで拡大したのは9年ぶりとなった。10月中旬以降は、過去10年間の最大面積と同程度か大きい状態を維持しながら縮小し、12月下旬に消滅した。オゾン欠損量は10月10日に年最大値である9,310万t、最低オゾン全量は10月4日に100 m atm-cmとなった。衛星観測を開始した1979年以降でみると、2015年の最大面積は、1998年と同じ第4位の大きさであり、10月に観測されたオゾンホールとしてはこれまでで最大だった。また、2015年のオゾン欠損量の年最大値は、観測開始以来第6位だった。一方、2015年の最低オゾン全量は観測開始以来第14位であったが、10月以降の最低オゾン全量は、過去10年間と比較するとほぼ最低値をとりながら推移した。

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)を引き続き実施した。観測は、第49次隊より昭和基地中心部に対して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

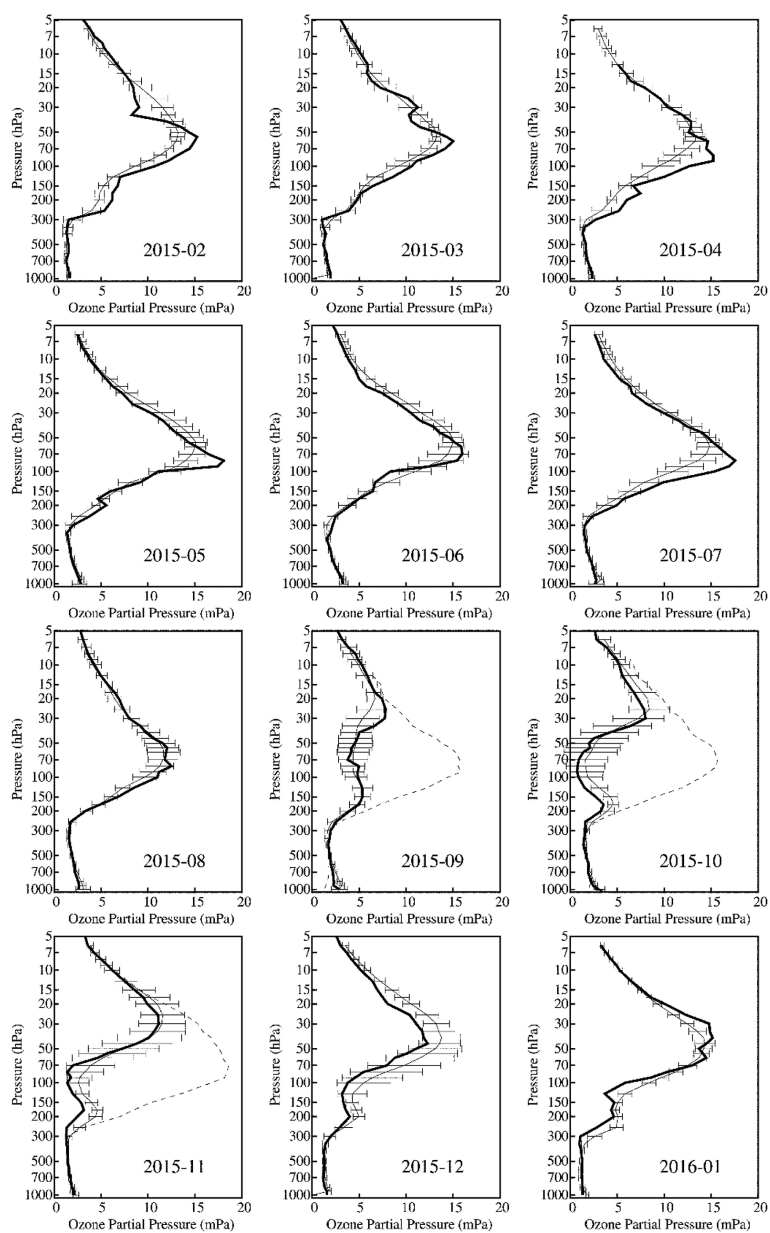


図 10 昭和基地におけるオゾン分圧の高度分布 (2015 年 2 月～2016 年 1 月). 太実線は月平均オゾン高度分布. 細実線は 1994-2008 年の累年平均オゾン高度分布. 破線はオゾンホールが明瞭に現れる以前の月平均値 (1968-1980 年平均値) [9-11 月のみ]. 横細実線は 1994-2008 年累年平均オゾン高度分布の標準偏差.

Fig. 10. Vertical distribution of ozone partial pressure observed by ozonesonde at Syowa Station (Feb. 2015 - Jan. 2016). Thick solid lines show monthly mean profiles. Thin solid lines show normal profiles (1994-2008). Broken lines show monthly mean profiles before the first appearance of the ozone hole (1968-1980). Thin solid bars show standard deviation on monthly profiles (1994-2008).

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オゾンの濃度を紫外線吸収方式のオゾン濃度計 (Dylec 製 MODEL1100) で 15 秒ごとに測定した。

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 56 次隊では、第 55 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

2014 年 12 月 31 日から 2015 年 2 月 1 日まで、第 56 次隊で持ち込んだオゾン濃度計 2 台 (Dylec 製 MODEL1100 測器番号 : A-1781-1, A-1781-2) と第 55 次隊で使用したオゾン濃度計 2 台 (EBARA 製 EG-3000F 測器番号 : 9020075, 9020077) 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 ± 2 ppb 以内であることを確認したため、2 月 1 日以降は A-1781-2 を現用器とした。また、どちらかの測器に異常が出た際気づきやすいように 2 台とも通年で観測を行い、7 月 26 日から 27 日にかけて濃度計間の出力の差が ± 2 ppb 以内であることを確認したため、8 月 1 日から A-1781-1 を現用器とした。

12 月 31 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、ブリザード後、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。ブリザードによる雪詰まりの影響を受けた期間は欠測とした。また、基地内の汚染の影響を受けた場合、基本的にはオゾン濃度が下がり観測値 (15 秒値) のばらつき (変動) が通常 1 ppb 程度のところ 3 ppb 以上と大きくなる。観測値の変化及びばらつきの大きさ、風向・風速、汚染源と清浄大気観測室の位置関係を勘案して汚染の影響を受けていると判断した場合は欠測とし、時別値の計算から除いた。

4.5.3. 観測結果

2015 年 2 月から 2016 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、4.5.2. で述べたようにデータのばらつき、風向・風速及び基地内外の行動から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上で、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56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，2013；Hara *et al.*, 2018）。第56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。

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）及び反射紫外域日射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MS-110からPrecision Filter Radiometer (PMOD/WRC, 2007)、以下「PFR」へ変更した。第56次隊ではこれらの観測システムにより第55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寒冷地対策を施したブリューワー分光光度計MKⅢ（伊藤・宮川，2001）を用いて行った。観測に用いた同MKⅢ168号機は第54次隊で持ち込んだものである。

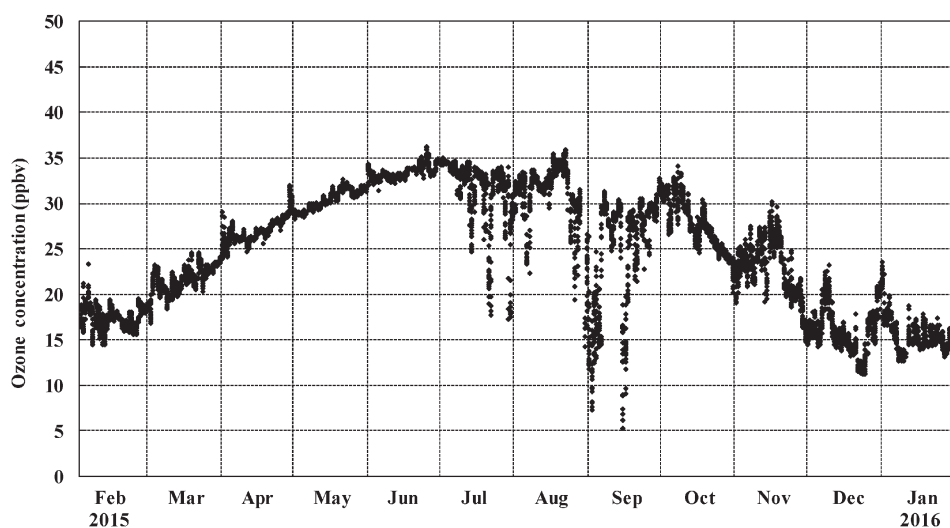


図 11 昭和基地における地上オゾン濃度時別値の時系列図（2015年2月～2016年1月）。

Fig. 11. Time series of hourly mean surface Ozone concentrations at Syowa (Feb. 2015 - Jan. 2016).

また、予備機として同 MK III 209 号機を第 56 次隊で持ち込んだ。

観測の種類と使用した測器を表 13 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 (a-e) 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、測器の入射窓及びドーム清掃の時間帯などに記録された異常データについては手動で欠測処理を行った (間宮ほか, 2012)。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

直達日射計感部は太陽追尾装置に搭載した。

表 13 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 13. 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	980520 970397 990574 140466	0.01 MJ/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 131299 010276	0.01 MJ/m ²	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	990574 041258	0.01 MJ/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 040625	0.01 kJ/m ²	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 μm	030642 010565	0.01 MJ/m ²	1 秒
上向き 放射	反射日射量	精密全天日射計 遮へいリング	KIPP&ZONEN CM21T	305-2800 nm	970397 041258 980520	0.01 MJ/m ²	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	040625 050635	0.01 kJ/m ²	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 μm	050798 990001	0.01 MJ/m ²	1 秒
その他	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-059		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 MKIII	290-325 nm	#168 #209(予備機)	1 μW/m ²	1 時間

(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蔽球により観測した。遮蔽球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（柴田ほか、2000；伊藤、2005）。このため、測器感度の変化を追跡するために、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定期的に行うとともに、データの処理にあたっては、基準となるブリューワー分光光度計による紫外域日射量との比較により、測器定数をおおむね月ごとに求め、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蔽球により観測した。

5.2.2. 観測経過

2015年2月1日に第55次隊から観測を引き継ぎ、第56次隊のデータ収録を開始した。

2月2日から全天型紫外域日射計の観測値に異常な値が出るようになったため、2月7日に予備測器を設置した。3月17日に精密全天日射計の交換を実施した。5月以降全天日射量及び散乱日射量の観測値にノイズが見られたため、6月から7月に精密全天日射計の交換や信号ケーブルの入れ替え、データロガー（スキャンユニット）の交換を実施した。12月30日に第57次隊で持ち込んだ精密全天日射計及び全天型紫外域日射計を設置し、2016年1月20日まで現用測器との並行観測を実施した後、正機として運用を開始した。12月31日に太陽追尾装置を第57次隊で持ち込んだ太陽追尾装置に交換した。

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12に示す。

2015年の全天日射量、直達日射量、散乱日射量及び下向き赤外放射量については、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 MJ/m²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 MJ/m²以上の放射量が観測された。これは大気分子や雲からの放射によるものである。紫外域日射量は、全天日射量とおおむね同様の傾向が見られる一方、オゾン全量の増減とも対応があり、例年は10月下旬から11月上旬に日積算値が減少していた。2015年は図7に見られるとおりオゾン全量の10月下旬から11月上旬の増加が比較的少なく、例年であればオゾン全量が増加する11月下旬から12月上旬にオゾン全量が減少し、過去10年と比較

してほぼ最低値でオゾン全量が推移したことに対応して、例年のような傾向は見られず、11月下旬から12月上旬を中心に日積算値が大きかった。

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(a-c)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、測器のドーム清掃の時間帯などに記録された異常データについては手動で欠測処理を行った(間宮ほか, 2012)。観測場所は観測棟から東北東約120 mの積雪上であり、第46次隊により新設された観測架台を第56次隊でも引き続き使用した(図1⑤の位置)。

(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蔽リングを引き続き使用した。

(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

反射日射量の観測と同様に、第47次隊が持ち込み運用を開始した遮蔽リングを引き続き使用した。また、下向き日射放射観測と同様に、測器感度の変化を追跡するため、外部標準ランプ点検を定期的実施した結果、測器感度に変化は見られなかったため、データの処理にあたっては、国内で基準となるブリューワー分光光度計と比較して得られた測器定数を用いた。

(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

5.3.2. 観測経過

2015年2月1日に第55次隊から観測を引き継ぎ、第56次隊のデータ収録を開始した。

3月2日に第56次隊で持ち込んだ精密全天日射計と現用測器の交換を実施した。5月2日及び11日から13日にデータロガーの障害により欠測が生じた。7月19日にブリザードによる測器凍結のため、精密全天日射計及び精密赤外放射計の交換を実施した。7月25日にノイズ調査のため、精密全天日射計の交換を実施した。9月14日から15日にデータロガー用UPSの障害により欠測が生じた。2016年1月26日に第57次隊持ち込みのデータロガー及びデータロガー用UPSの交換を実施した。2016年1月5日に第57次隊で持ち込んだ水準調整器の設置及び精密赤外放射計の交換を実施した。

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、7月24日に機械隊員の協力を得て実施し、また2016年1月5日には

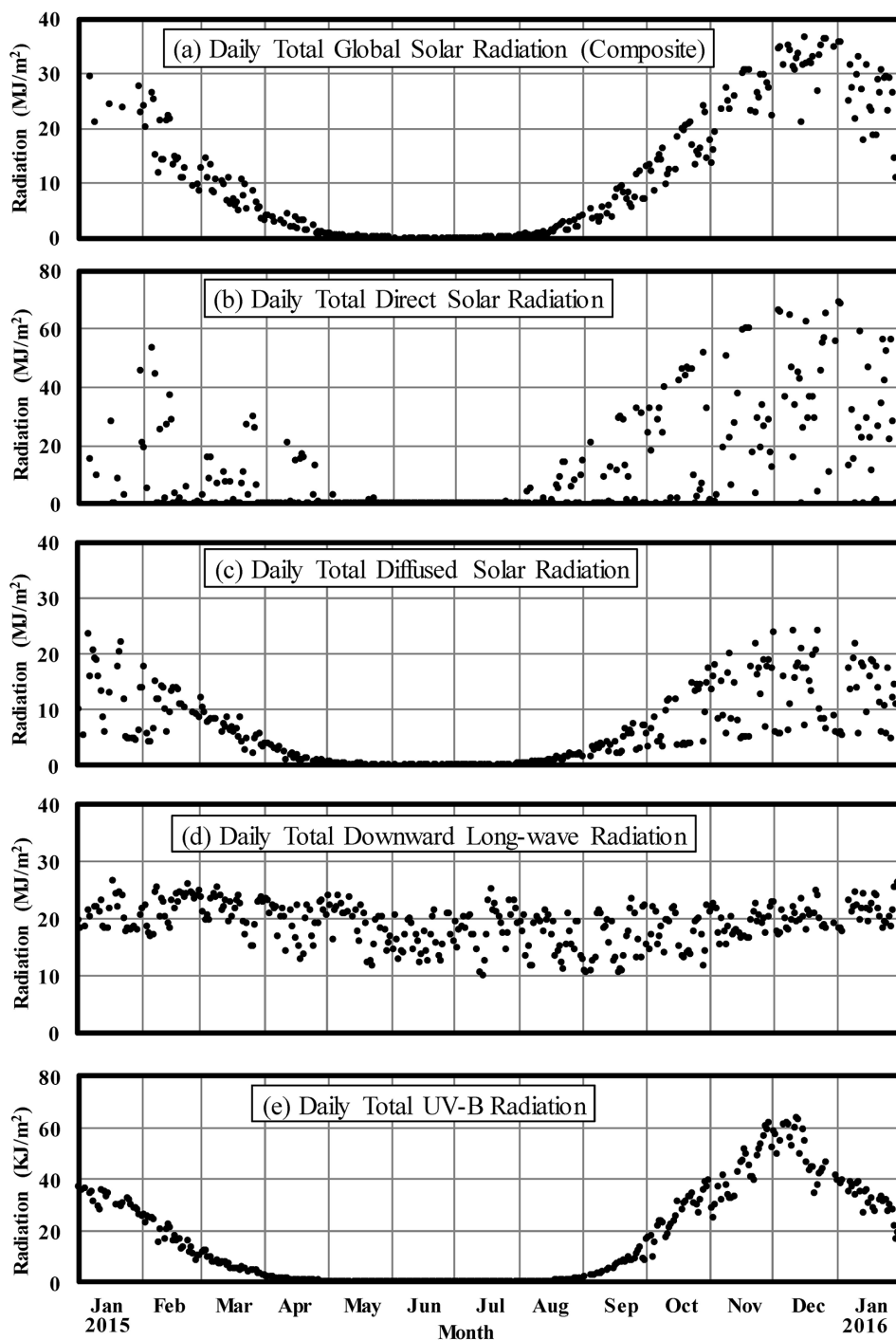


図 12 昭和基地における下向き日射放射量日積算値の年変化（2015 年 1 月～2016 年 1 月）。（a）全天日射量，（b）直達日射量，（c）散乱日射量，（d）下向き赤外放射量，（e）紫外域日射量。

Fig. 12. Annual variations in daily integrated values of downward radiation components at Syowa Station (Jan.2015-Jan.2016). (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 57 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蔽リングが設置されているが、第 56 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。

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 13 に示す。

2015 年の反射日射量及び上向き赤外放射量は、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、例年は 10 月下旬から 11 月上旬に日積算値が減少していた。2015 年は 11 月下旬から 12 月中旬にかけて過去 10 年と比較してほぼ最低値でオゾン全量が推移したことに対応し、例年のような傾向は見られず、11 月下旬から 12 月上旬を中心に日積算値が大きかった。

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、ブリューワー分光光度計 MK III 168 号機及び同 MK III 209 号機を用いて、290 nm から 325 nm（UV-B 領域と、UV-A 領域の一部の波長域）の範囲を波長別に 0.5 nm 間隔で観測した。測器の設置場所は、第 32 次隊の観測開始以来同じ気象棟屋上である（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、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。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 1 ヶ月に 2 回程度の間隔で行った。

5.4.2. 観測経過

まず、第 55 次隊から観測を引き継ぐ前に、第 56 次隊で持ち込んだブリューワー分光光度計 MK III 209 号機の動作確認及び第 55 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精度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できた。

2015 年 2 月 1 日に第 55 次隊から同 MK III 168 号機による観測を引き継ぎ、第 56 次隊の観測を開始した。また、同 MK III 168 号機にて太陽直射光を遮る遮蔽装置を用い、第 54 次

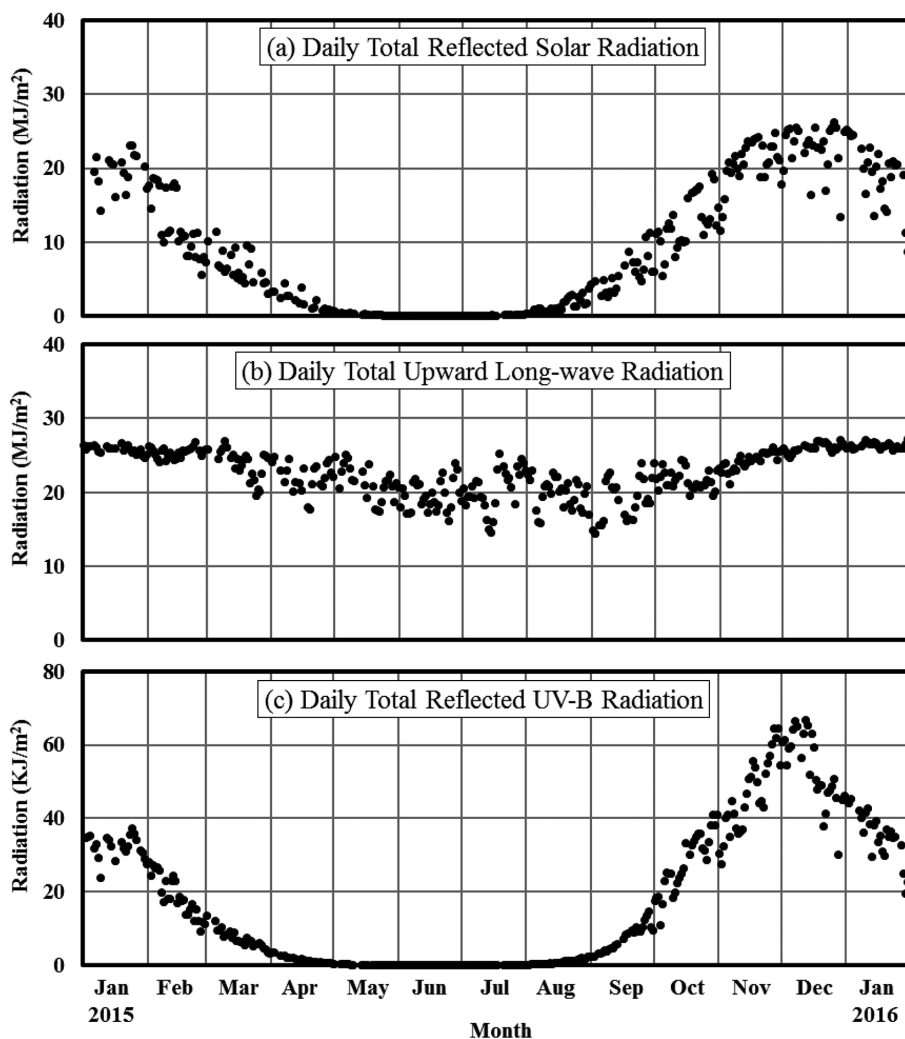


図 13 昭和基地における上向き日射放射量日積算値の年変化(2015年1月～2016年1月)。(a) 反射日射量, (b) 上向き赤外放射量, (c) 反射紫外域日射量。

Fig. 13. Annual variations in daily integrated values of upward radiation components at Syowa Station (Jan. 2015–Jan. 2016). (a) Daily total reflected solar radiation, (b) The daily total upward longwave radiation, (c) Daily total reflected UV-B radiation.

隊から続いている波長別紫外域日射量の散乱成分の試験観測を行った。越冬中は長期にわたる測器障害はなくおおむね順調に観測を行い、同 MK III 168 号機の観測データを採用した。

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 14 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的小さく、年間最大値が現れる起日は日最大太陽高度角が大きく日照時間が長い夏至(2015

年は12月22日)頃に出現する。2015年1月から2016年1月までの日積算値は、305 nm から310 nm 及び310 nm から315 nm では12月12日に、315 nm から320 nm では12月13日に、320 nm から325 nm では12月8日にそれぞれ最大となった。一方で短波長側は、日最大太陽高度角の大き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く、290 nm から295 nm、295 nm から300 nm 及び300 nm から305 nm ではオゾン全量が極小となった11月29日に最大となった。

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 (WHO, 2002)。昭和基地における2015年1月から2016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 インデックスは、太陽高度が低くな

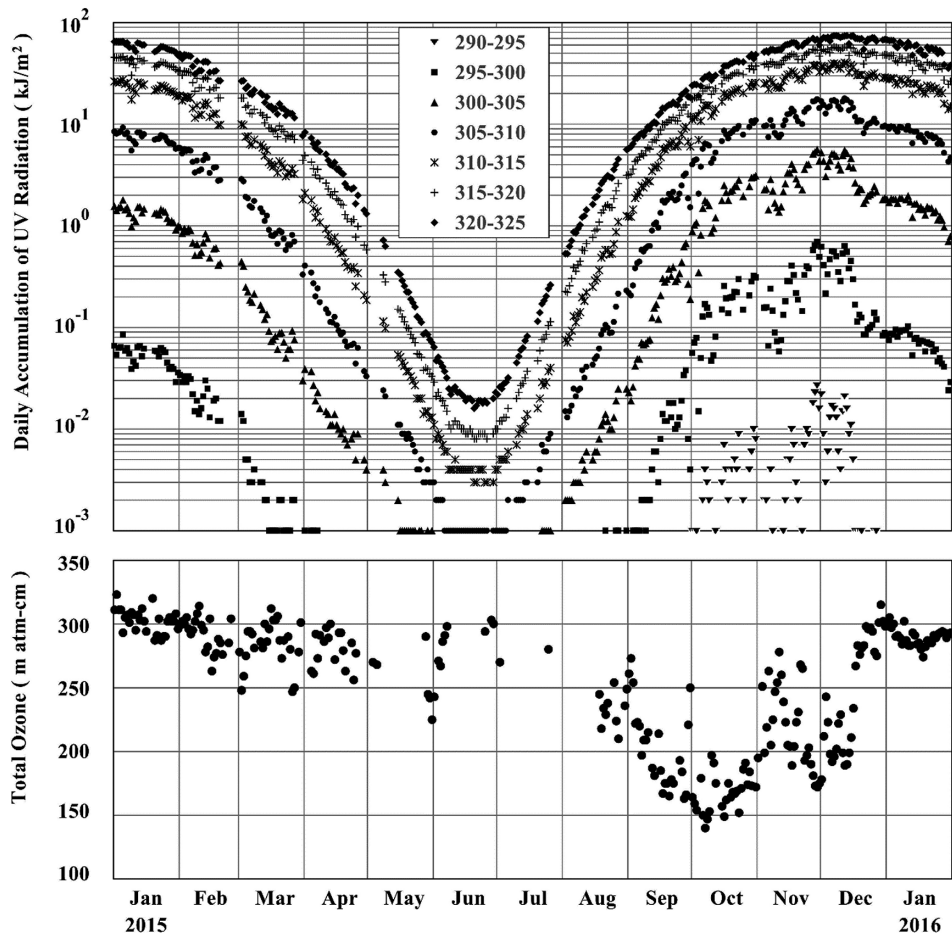


図 14 昭和基地における波長別紫外域日射量の日積算値 (上図) とオゾン全量 (下図) (2015年1月～2016年1月)。

Fig. 14. Daily accumulated ultraviolet radiation integrated for each wavelength band (above) and total ozone amount (below) at Syowa Station (Jan. 2015 - Jan. 2016).

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傾向がある。2015 年はオゾンホールが例年ならば縮小し始める 9 月中旬以降も拡大し続け、日射が強くなる 12 月中旬まで大きな状態が続き、昭和基地では 11 月下旬から 12 月中旬にかけて過去 10 年と比較してほぼ最低値でオゾン全量が推移したため、UV インデックスは夏至に近い 12 月 1 日に最大となり 12.7 であった。この値は極値を更新しており、WHO (2002) の指標では「EXTREME (極端に強い)」にあたる。2014 年の最大値は 11 月 9 日の 9.6 であることから、2014 年に比べて紫外線はかなり強かったことがわかる。

5.5. 大気混濁度観測

5.5.1. 観測方法と測器

太陽追尾装置に搭載した 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。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)。

PFR では、観測した波長別 (368, 412, 500, 862 nm の 4 波長) の直達光強度データのうちオゾン全量観測時刻付近で太陽面に雲がない時を選び、波長別のエアロゾルの光学的厚さ (Aerosol Optical Depth, 以下「AOD」) を求めた。さらに、4 波長 (368 nm から 862 nm) の AOD から、オングストロームの波長指数 Ångstrom a (以下「 a 」), 及び混濁係数 Ångstrom

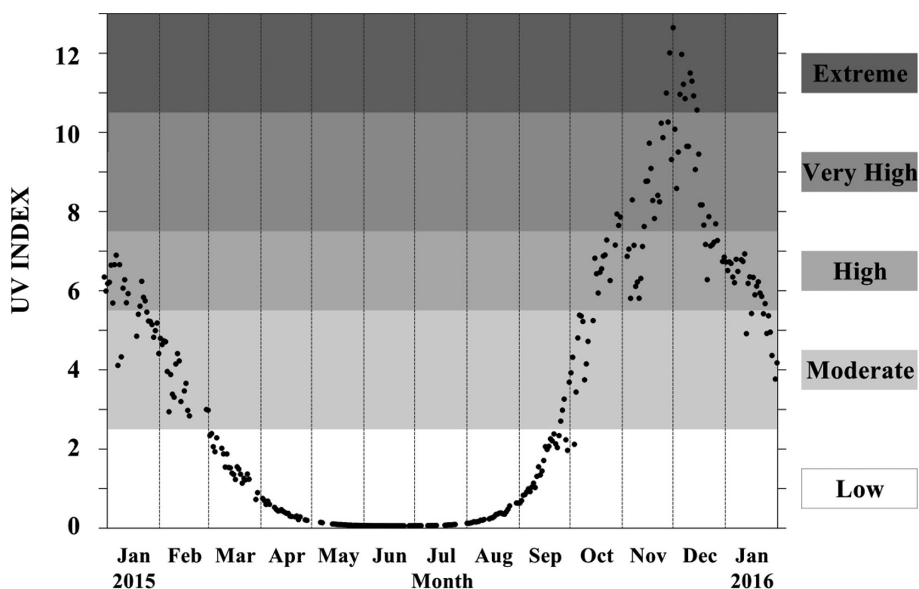


図 15 昭和基地における日最大 UV インデックスの年変化 (2015 年 1 月～2016 年 1 月).
 Fig. 15. Annual variation of daily maximum UV index at Syowa Station (Jan. 2015–Jan. 2016).

β (以下「 β 」) を求めた。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 40 次隊以降 0.00864 を用いた (東島ほか, 2003)。

直達日射計では、観測した直達日射量データのうちオゾン全量観測時刻付近で太陽面に雲がない時を選び、ホイスナー・デュボアの混濁係数を求めた。

5.5.2. 観測経過

2015 年 2 月 1 日に第 55 次隊から観測を引き継ぎ、第 56 次隊のデータ収録を開始した。

副機である PFR (N53 号機) については、4 月 20 日以降に受光窓内部に着霜が見られたが、着霜が見られたのは気温がおよそ -20 度以下の時であり、極夜期間や太陽高度が低い時期であったため、観測への影響は少ないと判断し、正機である PFR (N59 号機) との並行運用を継続した。12 月 31 日に PFR (N53 号機) と第 57 次隊で持ち込んだ PFR (N55 号機) を交換し、PFR (N59 号機) との比較観測を実施した。

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 α 及び β の年変化を図 16 に示す。2015 年は、 α が 1 月から 4 月にかけて減少し、8 月から 12 月にかけて増加する傾向であった。これは、粒形の大きいエアロゾルが夏に少なく、冬に多いことを示している。昭和基地周辺では、冬から春にかけて海塩粒子が卓越し、夏は硫酸粒子が卓越することが知られており (Hara *et al.*, 2013)、秋から春は、海洋域からの低気圧接近機会が増加して、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、一方で、夏は、風速が弱く、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唆している。

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 17 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。2015 年も例年と同様の季節変化であった。

6. 天気解析

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、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、気象衛星による雲画像の資料のほか、毎日の地上気象観測、高層気象観測、気象ロボット観測から得られたデータ等を利用して、高低気圧や前線の移動などの天気解析を行った。天気解析の結果は、昭和基地における屋外作業や隊の野外オペレーション等を支援するため気象情報として提供した。

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

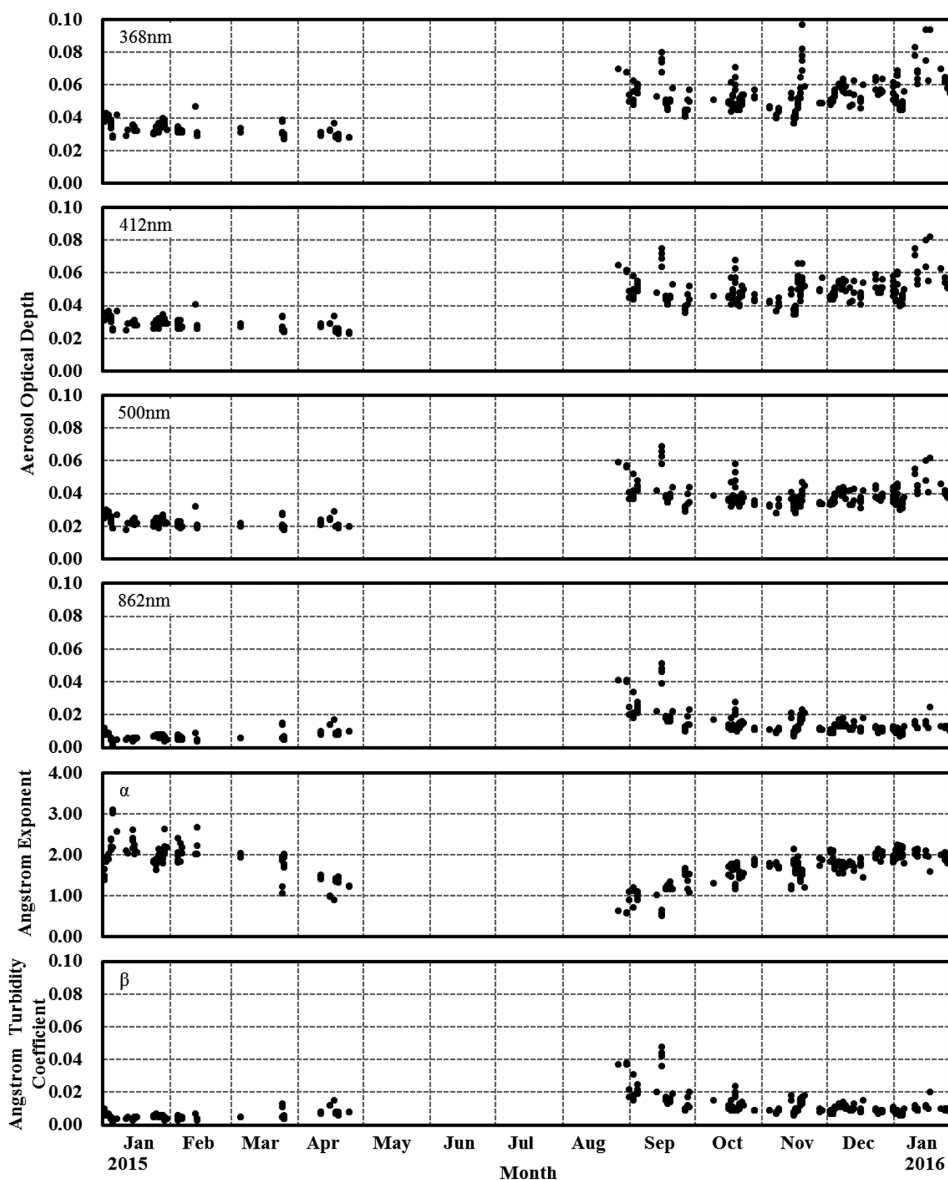


図 16 昭和基地における波長別エアロゾルの光学的厚さとオンゲストローム指数の年変化 (2015 年 1 月～2016 年 1 月)。

Fig. 16. Annual variations of aerosol optical depth for each wavelength and Ångström coefficient at Syowa Station (Jan. 2015-Jan. 2016).

第 55 次隊に引き続き、気象庁の数値予報データから作成した予報資料を 1 日 2 回昭和基地で受信して利用した。

(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

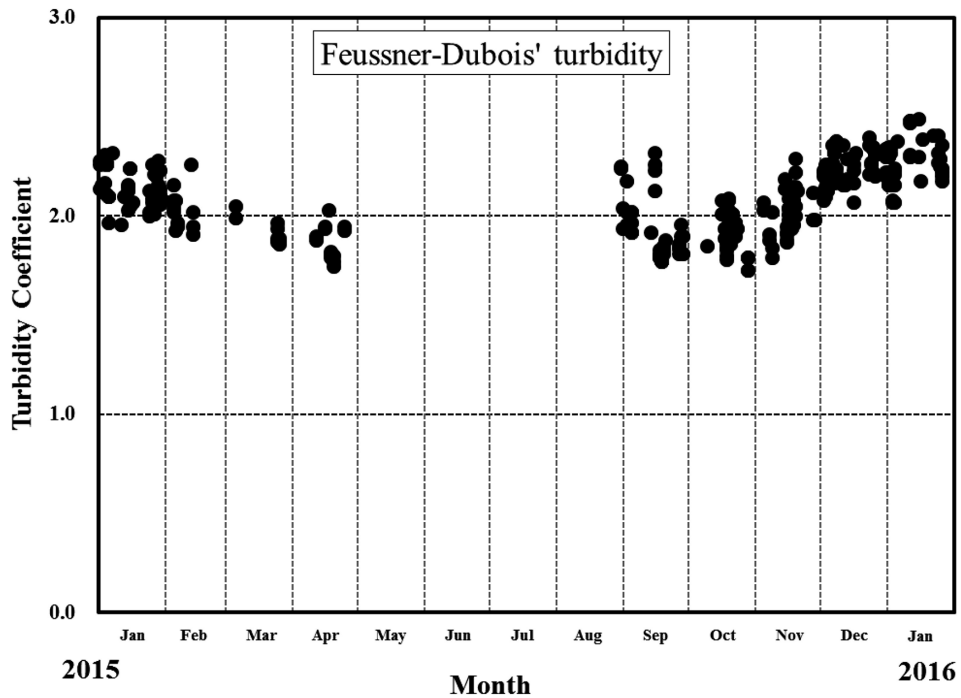


図 17 昭和基地におけるホイスナー・デュボアの混濁係数の年変化 (2015 年 1 月～2016 年 1 月).
 Fig. 17. Annual variations of Feussner-Dubois's turbidity coefficient at Syowa Station (Jan. 2015–Jan. 2016).

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) (<https://www2.mmm.ucar.edu/rt/amps/>, 2020 年 1 月 15 日確認)
- ② MRC (Antarctic Meteorological Research Center)
 (<http://uwamrc.ssec.wisc.edu/data/>, 2020 年 1 月 15 日確認)
- ③ オーストラリア気象局作成インド洋地上天気図
 (http://www.bom.gov.au/australia/charts/indian_ocean.shtml, 2020 年 1 月 15 日確認)
- ④ オーストラリア気象局作成南半球 500 hPa 解析図
 (<http://www.bom.gov.au/australia/charts/archive/index.shtml>, 2020 年 1 月 15 日確認)
- ⑤ 南アフリカ気象局作成地上天気図 (<http://www.weathersa.co.za/home/synopticcharts>,
 2020 年 1 月 15 日確認)
- (3) 極軌道衛星雲画像等

米国海洋大気庁 (NOAA) が運用する衛星の受画装置により、独自に受信した赤外や可視などの衛星画像と、多目的アンテナ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ほか、ブ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、毎日の隊のミーティング時に翌々日までの気象情報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提供した。また、DROMLAN 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2月25日、11月14日から2016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15日、12月23日から2016年1月31日）。

7. その他の観測

7.1. S17 ロボット気象計

7.1.1. 観測方法と測器

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目的として、ロボット気象計を昭和基地東方約 21 km の大陸氷床上にある S17 航空機観測拠点（標高約 600 m、南緯 69 度 01 分 45 秒、東経 40 度 05 分 30 秒）に設置し観測を行っている。第 56 次隊では、第 55 次隊から引き継いで観測を行った。観測結果は、大陸方面への野外オペレーションへの支援情報や昭和基地周辺の気象解説の資料として利用したほか、航空機オペレーションの気象実況値として観測隊及びしらせ、DROMLAN 運航シーズン中は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提供した。気象ロボット観測地点と昭和基地の位置図を図 18 に示す。

観測項目は、気圧、気温、湿度、風向・風速で、403.0 MHz 帯周波数の電波により、データを無線で昭和基地気象棟へ送信している。電源は、風力発電機によって充電されるサイクロン電池 12 個を使用している。ロボット気象計の信号変換部、蓄電池、送受信装置が収められているそれぞれの箱にはヒーター機能があり、低温による機器の動作不良を防止している。風力発電機による充電量に対し、ヒーターによる電力の消費が激しい場合は、データの送受信が 1 日 1 回に変更され、さらに電力の消費が激しいと、送受信が停止される場合がある。使用測器を表 14 に示す。

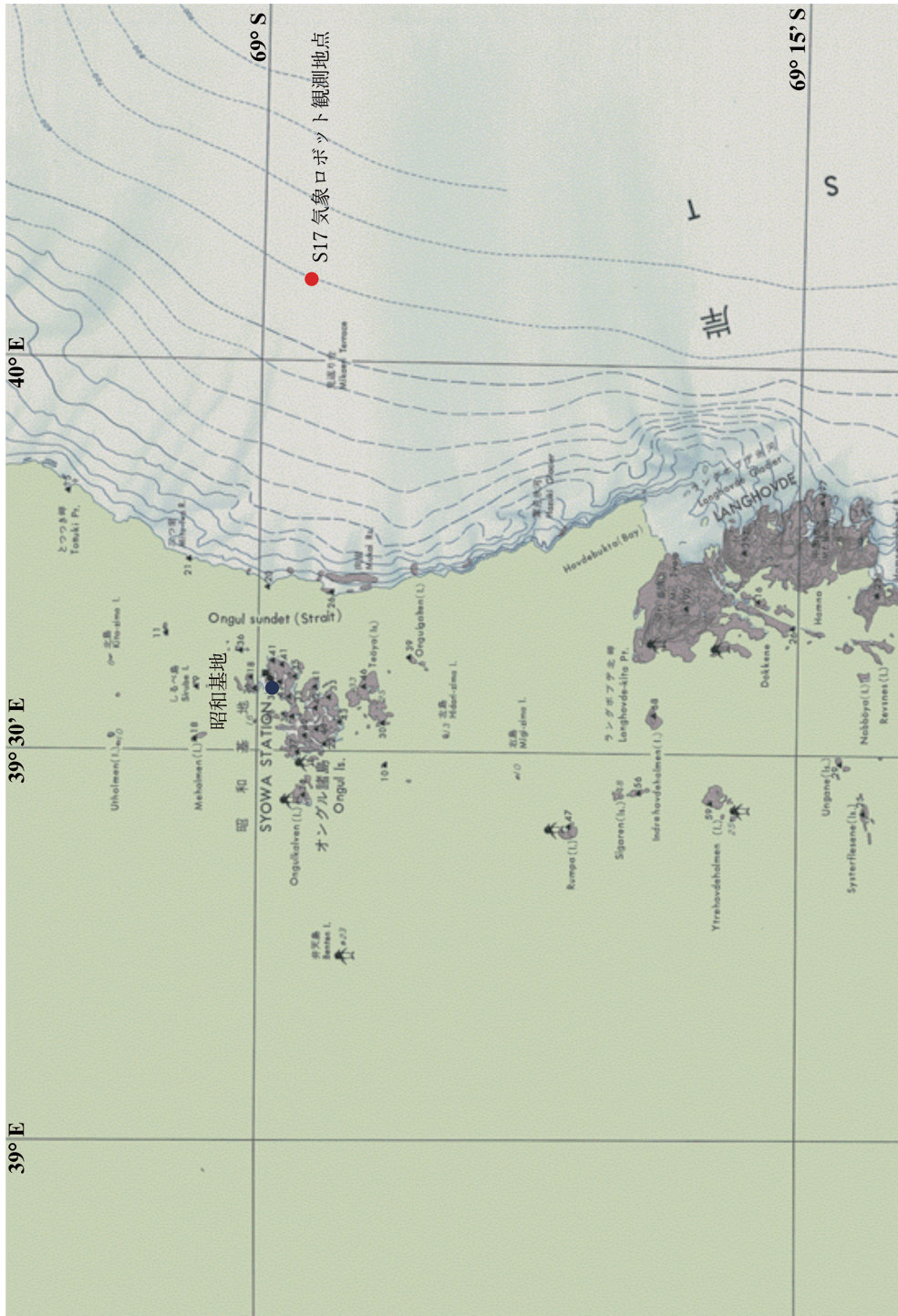


図 18 気象ロボット観測地点及び昭和基地.

Fig. 18. Locations of surface observation at S17 and Syowa Station

表 14 S17 における気象ロボット観測使用測器等一覧表.

Table 14. Observation elements, observation frequency, accuracy, and instruments at S17.

観測項目	観測時刻	観測精度	使用測器・型式
気圧	毎正分	± 0.60 hPa	電気式気圧計(CVS-PTB-210)
気温	毎正分	$\pm (0.15 + 0.002 t)$ ※t は温度の絶対値℃	電気式温度計(C-HPT)
湿度	毎正分	$\pm 1\%$ (0-90%) $\pm 1.7\%$ (90-100%)	電気式湿度計(CVS-HMP-155D)
風向	毎正分	$\pm 3^\circ$ 以下	風車型風向風速計(CYG-5106-M-HD)
風速	毎正分	± 0.3 m/s	

7.1.2. 観測経過

第 55 次隊で生じた湿度計の不具合により、2015 年 2 月 1 日から 9 月 10 日までの湿度データを欠測とした。2015 年 9 月 10 日に湿度計を交換し復旧した。サイクロン電池の交換のため、2015 年 9 月 21 日から 2015 年 9 月 22 日までの全データを欠測とした。そのほかの期間の観測は概ね順調であった。

7.1.3. 観測結果

S17 のロボット気象計の各観測データについて、昭和基地の観測データと重ね合わせた地上気象旬別経過図を図 19 にそれぞれ示す。両地点の標高が異なる (S17 の方が約 600 m 高い) ため、S17 の気圧、気温は昭和基地より低く、カタバ風の影響をより強く受けるため風速は大きい。どの要素も昭和基地と同じ変化傾向があった。9 月上旬は S17 と昭和基地の気温差が約 1°C と小さかった。2 月下旬及び 4 月上旬は、S17 と昭和基地の平均風速差が小さいという特徴があった。

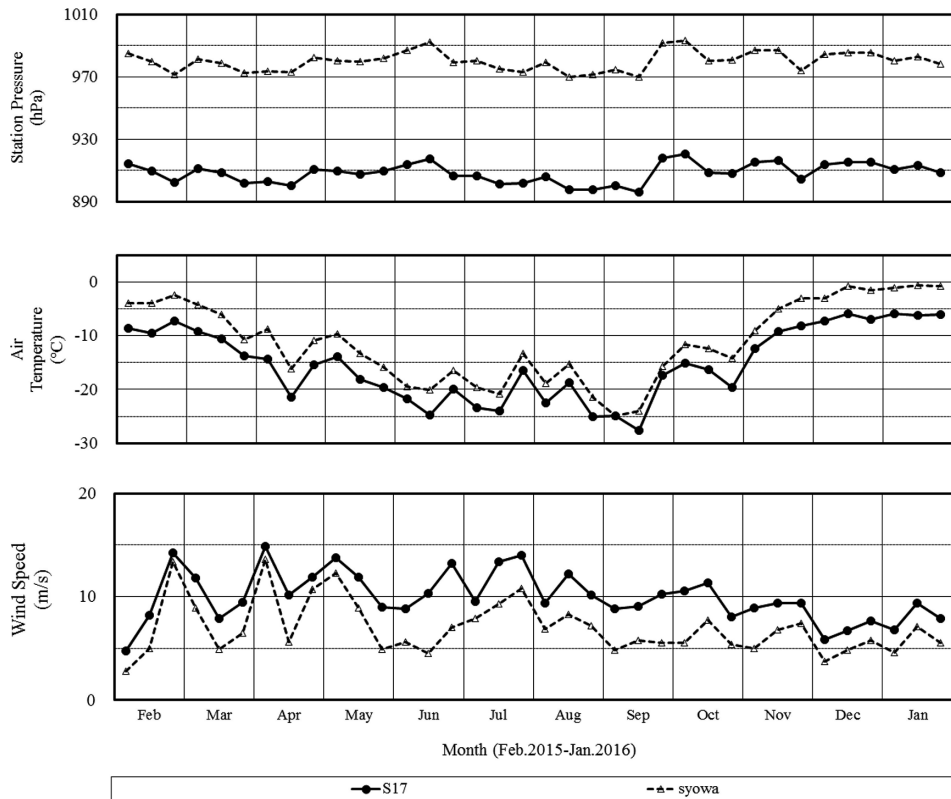


図 19 S17 観測点及び昭和基地における地上気象旬別経過図 (2015 年 2 月～2016 年 1 月).
 Fig. 19. Time series of 10-day mean surface meteorological data at S17 and Syowa Station (Feb.2015–Jan.2016).

謝 辞

第 56 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 56 次隊の野木義史観測隊長、三浦英樹越冬隊長ほか第 56 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の意を表す。また、第 56 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、気象庁の田中恵信南極観測事務室長、森陽樹南極観測事務室員、第 54 次・55 次・第 61 次隊気象部門の方々にご助言いただいた。お礼を申し上げます。

文 献

- 安達正樹・斉藤信也・石丸和樹・大森英裕・三浦恒人 (2019)：第 54 次南極地域観測隊気象部門報告 2013, 南極資料, (印刷中)
 青木周司 (1997)：昭和基地および「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.

- 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 (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** (2), 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.
- Hara, K., Osada, K., and Yamanouchi, T. (2013): Tethered balloon-borne aerosol measurements: seasonal and vertical variations of aerosol constituents over Syowa Station, Antarctica. *Atmos. Chem. Phys.*, **13**, 9119-9139. doi:10.5194/acp-13-9119-2013.
- Hara, K., Osada, K., Yabuki, M., Takashima, H., Theys, N., and Yamanouchi, T. (2018): Important contributions of sea-salt aerosols to atmospheric bromine cycle in the Antarctic coasts. *Scientific Reports*, **8**, 13852, doi:10.1038/s41598-018-32287-4.
- 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・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・宮川幸治 (2001) : 二重分光光度計ブリューワー MK III による紫外域日射観測. 高層気象台彙報, **61**, 5-28.
- 環境省 (2015) : 紫外線環境保健マニュアル2015, 46 p.
- 気象庁 (1989) : 南極気象観測三十年史. 東京, 164-164.
- 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, 54 p.
- 気象庁 (2016) : オゾン層・紫外線の年のまとめ. 東京, 46 p.
- 間宮嘉久・居島 修・石井憲介・大河原 望・辰己 弘 (2012) : 新しい日射放射観測の開始について. 測候時報, **79**, 15-37.
- 宮川幸治 (2007) : ドブソンオゾ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**, D7, 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.
- 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 (2008): Precision Filter Radiometer Documentation. PMOD/WRC, 38 p.
- 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.
- WHO (2002): GLOBAL SOLAR UV INDEX -A Practical Guide-. Geneva, 28 p.