

第 57 次日本南極地域観測隊気象部門報告 2016

松元 誠^{1*}・藤原宏章¹・三戸洋介¹・横山恵子¹・加藤 裕¹Meteorological observations at Syowa Station in 2016
by the 57th Japanese Antarctic Research ExpeditionMakoto Matsumoto^{1*}, Hiroaki Fujiwara¹, Yosuke Sannohe¹, Keiko Makiyama¹, Hiroshi Kato¹

(2019 年 12 月 20 日受付; 2020 年 6 月 4 日受理)

Abstract: This report describes the results of meteorological observations at Syowa Station from February 1st, 2016 to January 31st, 2017, carried out by the Meteorological Observation Team of the 57th Japanese Antarctic Research Expedition (JARE-57). The observation methods, instruments, and statistical methods used by JARE-57 were almost the same as those used by the JARE-56 observation team.

The special notes during JARE-57 are as follows.

1) The automatic surface weather observation system was updated from the JMA-95 type surface weather observation system to the JMA-10 type surface weather observation system.

2) There were 33 blizzards, exceeding the average number of blizzard occurrences from 1981 to 2010, 24.6.

A large number of blizzards updated many the monthly records of the deepest monthly snowfall, the total depth of daily snowfall, and the total depth of monthly snowfall fell within the 10th place.

3) From March to April, the temperature above 200 hPa was lower than normal at the standard pressure levels above Syowa Station. The temperature below 300 hPa was higher than normal for the same period.

Especially, the highest monthly average temperature at 400 hPa for 00 UTC and the lowest monthly average temperature at 30 hPa (for 00 UTC) were breaking records in April.

4) Total ozone over Syowa Station was frequently less than 220 m atm-cm, which was used as a baseline value to observe the ozone hole, from mid-August to mid-November. The value for September 25 was 148 m atm-cm, which marked the minimum value of the year 2016.

Keywords: meteorology, wintering, Syowa Station

要旨: この報告は、第 57 次日本南極地域観測隊気象部門が 2016 年 2 月 1 日～2017 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、測器等については、総合自動気象観測装置の更新を行ったほかは第 56 次隊とほぼ同様である。越冬期間中の特記事項としては、次のものが挙げられる。

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

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

- 1) 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した。
- 2) プリザードの発生回数は 33 回と 1981 年～2010 年のプリザードの平均発生回数 24.6 を上回った。プリザードが多数発生した影響で、月最深積雪や降雪の深さ日合計や降雪の深さ月合計が過去 10 位以内の記録を更新した月が多かった。
- 3) 昭和基地上空の指定気圧面において、3 月から 4 月にかけては、200 hPa より上層の気温は平年値より低かった。また、300 hPa から下層の気温は平年値より高かった。特に 400 hPa に関しては、4 月 (00 UTC) の月平均気温の高い方から第 1 位を記録した。また、30 hPa に関しては、月平均気温の低い方から第 1 位を記録した。
- 4) 昭和基地上空のオゾン全量は、8 月中旬から 11 月中旬までオゾンホールの日安となる 220 m atm-cm を度々下回り、9 月 25 日に 2016 年の最小値である 148 m atm-cm を記録した。

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～1965 年) を除き、これまでほぼ半世紀の間、気象庁派遣隊員により継続している。観測及び蓄積された気象観測資料は、国際的な枠組みのなかで、地球環境の監視など多目的に利用されている。第 57 次日本南極地域観測隊気象部門は、2016 年 2 月 1 日に第 56 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、2017 年 1 月 31 日までの 1 年間の観測を行った。観測の方法、観測に用いた測器及び観測値の統計方法等は第 56 次隊とほぼ同様である (押木ほか, 2020)。

地上気象観測、高層気象観測については、第 56 次隊から引き継いだ観測装置で観測を行った。オゾン観測のうち地上オゾン濃度観測は、2 台のオゾン濃度計を持ち込み、観測を行った。日射・放射観測のうち波長別紫外域日射観測はブリューワー分光光度計 MK III (168 号機) を用いて観測を行った。また、MK III (209 号機)、MK II (091 号機) を予備機とし、併用して観測を行った。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 2018 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を実施した。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, 2011) 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,

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)	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°C	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°C	—		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	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11.3m)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	MS-402F	気象棟屋上に設置
日照時間	同上	0.1h	回転式日照計	MS-094	気象棟屋上南側及び北側に2台設置
積雪深	同上	1cm	積雪深計	K5601HD	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	WB7532	百葉箱東側に設置、参考測器
大気現象	常時		目視		
			感雨器	NS-120	気象棟前室屋上に設置、参考測器

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

2016) 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。なお、自動観測については2016年2月1日から、JMA-95型地上気象観測装置に替わり、JMA-10型地上気象観測装置による観測を開始した。観測装置の更新に関しては第2.4節に記載する。

(1) JMA-10型地上気象観測装置による自動観測

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、JMA-10型地上気象観測装置により連続観測を行った。なお、視程計及び感雨器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) 海氷上の積雪の深さ観測

昭和基地付近の海氷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



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に加筆).

- ①地上気象観測：気圧計，回転式日照計，全天日射計
 オゾン観測：ドブソン分光光度計
 日射放射観測：ブリューワー分光光度計・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
- ④地上気象観測：積雪計
- ⑤日射放射観測：上向き放射（全天日射計・赤外放射計・紫外域日射計）・放射収支計
- ⑥オゾン観測：地上オゾン濃度計
- ⑦海水上の積雪の深さの観測
 a JMA-95 型地上気象観測装置：風向風速計・温度計・湿度計・視程計
 b JMA-95 型地上気象観測装置：日射日照計。

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

- ① Surface observation: Barometer; Sunshine duration meter, Pyranometer
 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 Radiation observation: Brewer spectrophotometer, Downward radiation (Pyranometer, Pyrhemometer, Pyrgeometer, UV radiometer), Sunphotometer
- 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
- ⑦ Snow depth on sea ice: Bamboo pole and Scale
 a Previous observing equipment: Wind sensor, Thermometer, Hygrometer, Visibility sensor
 b Previous observing equipment: Sunshine sensor

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 57 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

表 2 地上気象観測の特別値、日別値が欠測となった日。

Table 2. Days when the hourly and daily values of surface meteorological observation were missing.

年月	2016 2	2016 3	2016 4	2016 5	2016 6	2016 7	2016 8	2016 9	2016 10	2016 11	2016 12	2017 1
積雪深	3, 4, 7, 8, 10, 11, 13, 18, 19, 23	22, 23, 29, 30	14, 22~26	11, 18~23	4, 5, 14, 15, 17, 18, 27~29	12, 14	6~9, 15, 16, 22	9	6, 7, 17~21, 25, 27, 28, 30, 31	3~23, 27~30	1~31	1, 2, 4~6, 9, 13~ 15, 17, 18, 21~24,
風向風速			12			2	22	10, 11	8, 15, 16, 28		28	
気温湿度			29			17	22		13, 24			16
日射							22					3
日照							22					4

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

JMA-10型地上気象観測装置の各測器は、おおむね順調に作動した。

保守・点検は、気象庁のJMA-10型地上気象観測装置保守点検実施手順書に準じて実施した。保守・点検、観測システムの障害や自然的要因（着雪など）によって観測に影響が出たと判断した場合には、観測値（もしくは統計値）の品質に関する分類を準正常値、資料不足値または欠測値とした。各観測項目について、特別値または日別値が準正常値、資料不足値、欠測値のいずれかとなった日を表2に示す。

(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。観測はおおむね順調であった。

(2) 気温、湿度

気象棟北西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。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か月に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、正時の観測に影響が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

気象棟北西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、交換の実施により、日平均風速が準正常値

となった日があった。また、低温弱風時における風向風速計凍結により欠測が生じ、日平均風速及び日最多風向が準正常値や資料不足値となった日があった。

(4) 全天日射量、日照時間

全天日射量は電気式全天日射計、日照時間は回転式日照計（2 台）を気象棟屋上に設置し、それぞれ通年観測した。回転式日照計は、測器を取り付けた柱によって測器に入射する太陽光が遮られる時間帯（以下、遮蔽時間帯という）がある。日本国内では遮蔽時間帯が夜間になるように測器を設置するが、昭和基地では白夜期間の遮蔽時間帯に正確な観測値が得られない。そのため、2 台の回転式日照計を互いの遮蔽時間帯が重ならないように設置した。これにより片方の測器の遮蔽時間帯にもう片方の測器の観測値を使用することで、白夜期も問題なく観測を行った。

(5) 積雪の深さ

レーザー積雪計を観測棟北東側の北の浦に面した海岸に設置し、通年観測した。ふぶきによる測器感部への着雪のため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欠測となった日があった。また夏期間の晴天時には、太陽の北中時刻前後に積雪面からの日射の反射の影響で異常値が観測され、降雪の深さ日合計が準正常値または資料不足値となった日があった。

(6) 視程及び感雨（参考記録）

視程計を百葉箱南東側、感雨器を気象棟前室屋上に設置し、参考測器として通年観測し、大気現象発現時刻の決定等の参考とした。ふぶきにより視程計の投受光部に雪が付着するため、天候回復後に投受光部の清掃を実施した。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。強風、融雪等により傾いた雪尺は随時立て直して観測を実施した。雪尺を立て直した場合は、可能な限り建て直しの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継続した。これにより、積雪の深さを 0 cm とする基準日を第 56 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 3 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 4 に、2016 年 2 月から 2017 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 に示す。ブリザードの概要を表 5 及び図 4 に示す。視程 1 km 未満で風速 10 m/s 以上の状態が 6 時間以上継続した場合をブリザードと定義する。階級基準は以下のとおりである。

- ・ A 級：視程 100 m 未満で風速 25 m/s 以上の状態が 6 時間以上継続

表 4 昭和基地における地上気象観測極値・順位値更新記録 (2016 年 2 月～2017 年 1 月).
 Table 4. New records of surface meteorological observation extrema and rankings at Syowa Station (Feb. 2016–Jan. 2017).

年月	要素	観測値	起日	順位
2016年2月	月間日照時間の少ない方から	115.8h		月2位
	降雪の深さ月合計	29cm		月7位
	月最深積雪	124cm	10日	月1位
3月	月平均気温の低い方から	-7.7℃		月8位
	降雪の深さ日合計	34cm	22日	月1位
		28cm	29日	月4位
	降雪の深さ月合計	108cm		月4位
4月	月最深積雪	144cm	29日	月1位
	月間日照時間の多い方から	99.2h		月2位
	降雪の深さ日合計	25cm	14日	月4位
		23cm	22日	月6位
5月		23cm	23日	月5位
	降雪の深さ月合計	109cm		月4位
	月最深積雪	140cm	14日	月1位
	日最大瞬間風速・風向	ENE 47.3m/s	21日	月9位
6月	降雪の深さ日合計	12cm	18日	月6位
	降雪の深さ月合計	37cm		月9位
	月最深積雪	144cm	25日	月1位
7月	降雪の深さ日合計	34cm	18日	月2位 通年5位
	降雪の深さ月合計	63cm		月7位
	月最深積雪	167cm	18日	月1位 通年6位
8月	降雪の深さ月合計	24cm		月9位
	月最深積雪	164cm	9日	月2位 通年7位
8月	日最高気温の高い方から	-3.8℃	15日	月4位
		-4.0℃	16日	月8位
		-4.1℃	10日	月9位
	日最低気温の高い方から	-6.5℃	10日	月3位
		-7.3℃	6日	月8位
	月平均気温の高い方から	-13.7℃		月1位
	降雪の深さ月合計	15cm		月10位
9月	月最深積雪	167cm	16日	月2位 通年6位
	日最高気温の低い方から	-32.3℃	12日	月4位
	月間日照時間の多い方から	173.0時間		月10位
	降雪の深さ日合計	12cm	14日	月7位
10月	降雪の深さ月合計	23cm		月9位
	月最深積雪	181cm	21日	月2位 通年2位
	日最低海面気圧	939.3hPa	12日	通年9位
	月平均気温の高い方から	-9.3℃		月1位
	月最深積雪	183cm	31日	月1位
11月	日最低気温の高い方から	-3.9℃	31日	月2位
		-5.0℃	30日	月10位
	月間日照時間の少ない方から	119.5時間		月3位
	降雪の深さ月合計	34cm		月8位
	月最深積雪	195cm	30日	月1位 通年1位
12月	月平均気温の高い方から	-4.7℃		月5位
	降雪の深さ日合計	15cm	29日	月1位
	降雪の深さ月合計	32cm		月7位
	月最深積雪	193cm	1日	月1位 通年2位
2016年	月平均気温の高い方から	-0.7℃		月7位
	月間日照時間の多い方から	572.2時間		月2位 通年2位
	年平均気温の高い方から	-9.5℃		3位
2017年1月	月最深積雪	150cm	1日	月1位
	降雪の深さ月合計	8cm		月8位
	月最低気温の高い方から	1.4℃	14日	月7位 通年8位
		1.3℃	15日	月8位 通年10位
	月間日照時間の少ない方から	249.3時間		月5位

・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.

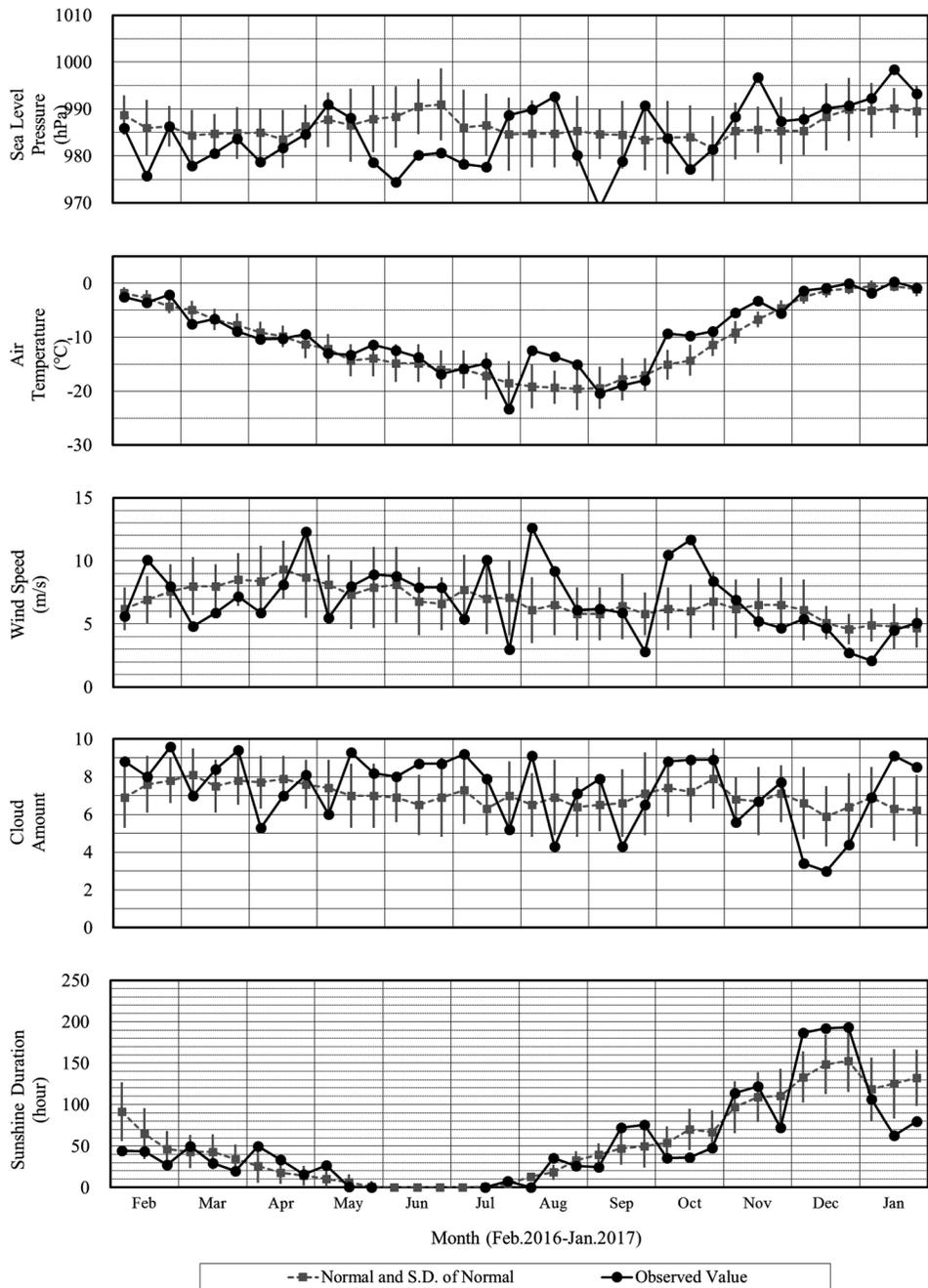


図 2 昭和基地における地上気象旬別経過図 (2016 年 2 月~2017 年 1 月).
 平年値は 1981 年~2010 年の平均値.

Fig. 2. Time series of ten-day mean surface meteorological data at Syowa Station (Feb. 2016-Jan. 2017). The Normals are average values from 1981 to 2010.

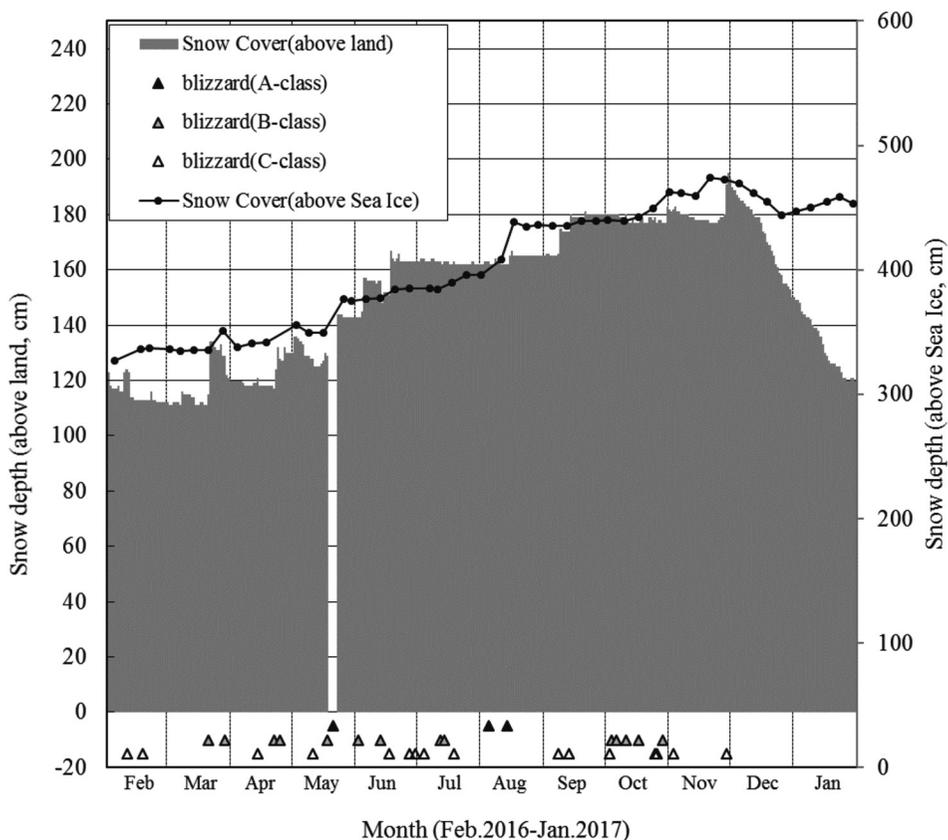


図 3 海氷上（雪尺）と昭和基地内（積雪計）の積雪深観測値の比較（2016年2月～2017年1月）。5月19日から5月22日の積雪値は欠測となっている。

Fig. 3. Comparison of snow depth on sea ice with that at Syowa Station (Feb. 2016–Jan. 2017). There is missing data on snow cover (above land) on May 19–22.

- ・ B 級：視程 1km 未満で風速 15 m/s 以上の状態が 12 時間以上継続
- ・ C 級：視程 1km 未満で風速 10 m/s 以上の状態が 6 時間以上継続

越冬期間中のブリザードの発生回数は 33 回と 1981 年～2010 年のブリザードの平均発生回数 24.6 を上回った。さらに、越冬期間中の天気概況を表 6 に示す。北の海上から暖かい空気を運ぶ低気圧の影響を多く受けた 5 月下旬から 6 月上旬，8 月，10 月や晴天の続いた 11 月は月平均気温が高く，年平均が高い方から 3 位を記録した。ブリザードが多数発生した影響で，積雪計による月最深積雪や降雪の深さ日合計や降雪の深さ月合計が過去 10 位以内の記録を更新した月が多かった。6 月，7 月，10 月は特にブリザードが多く発生した。5 月及び 8 月は A 級のブリザードが発生し，40 m/s を超える最大瞬間風速を観測した。なお，ブリザードの開始および終了日時が月をまたいだときの発生回数は前後それぞれの月で 0.5 回として計算した。

表 5 昭和基地におけるブリザードの概要 (2016年2月~2017年1月).
Table 5. Consider, Heavy snowstorm (blizzard) events at Syowa Station (Feb. 2016-Jan. 2017).

通番	階級	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) 風速 風向	最大瞬間風速 (m/s) 風速 風向	最低海面気圧 (hPa) 気圧
5701	C	2016年2月10日09時50分	2016年2月11日11時30分	16時間10分	16時間10分	0時間0分	26.3 NE	10日14時16分	962.1
5702	C	2016年2月18日16時00分	2016年2月19日03時50分	11時間50分	11時間00分	0時間0分	23.4 ENE	18日18時36分	959.8
5703	B	2016年3月21日20時00分	2016年3月22日11時50分	15時間50分	15時間00分	0時間0分	27.7 ENE	22日0時15分	963.0
5704	B	2016年3月29日12時05分	2016年3月30日07時25分	19時間20分	19時間00分	0時間0分	24.2 NE	29日23時37分	981.4
5705	C	2016年4月14日00時10分	2016年4月14日07時40分	7時間30分	7時間30分	0時間0分	21.1 NE	14日4時26分	970.6
5706	B	2016年4月24日05時20分	2016年4月24日06時30分	49時間10分	49時間10分	0時間0分	30.0 ENE	22日23時45分	975.6
5707	B	2016年4月25日23時0分	2016年4月27日4時15分	29時間15分	25時間5分	4時間10分	24.6 NE	26日18時8分	976.7
5708	C	2016年5月11日20時05分	2016年5月12日04時10分	8時間5分	8時間5分	0時間0分	24.5 NE	11日23時9分	981.8
5709	B	2016年5月18日14時00分	2016年5月20日02時21分	36時間21分	36時間21分	0時間0分	30.4 E	19日6時27分	972.8
5710	A	2016年5月21日10時45分	2016年5月23日01時00分	38時間15分	38時間15分	0時間0分	38.2 ENE	21日22時21分	955.8
5711	B	2016年6月2日20時40分	2016年6月5日20時00分	71時間20分	49時間32分	21時間48分	21.8 NE	3日0時51分	968.3
5712	B	2016年6月13日19時30分	2016年6月15日20時00分	48時間30分	31時間37分	16時間53分	29.1 ENE	14日3時25分	948.2
5713	C	2016年6月17日13時10分	2016年6月18日09時31分	20時間10分	20時間0分	0時間0分	23.1 ENE	18日3時25分	967.2
5714	C	2016年6月27日14時23分	2016年6月29日08時40分	43時間17分	34時間57分	8時間20分	19.4 NE	29日4時51分	975.9
5715	C	2016年6月30日13時30分	2016年7月1日00時08分	10時間38分	10時間38分	0時間0分	23.1 ENE	30日15時51分	963.2
5716	C	2016年7月4日14時10分	2016年7月5日10時00分	19時間50分	19時間50分	0時間0分	19.4 NE	5日1時33分	975.6
5717	B	2016年7月12日00時05分	2016年7月13日04時40分	28時間35分	28時間35分	0時間0分	28.7 NE	12日5時44分	963.3
5718	B	2016年7月14日13時00分	2016年7月15日17時00分	28時間0分	28時間0分	0時間0分	31.3 ENE	15日0時30分	961.8
5719	C	2016年7月19日16時00分	2016年7月20日03時30分	11時間30分	11時間09分	0時間0分	26.6 NE	19日18時3分	950.9
5720	A	2016年8月5日23時00分	2016年8月10日08時50分	103時間50分	99時間35分	4時間15分	33.6 NE	7日22時12分	964.6
5721	A	2016年8月11日13時30分	2016年8月16日10時00分	46時間30分	46時間30分	0時間0分	30.7 NE	15日15時35分	972.9
5722	C	2016年9月8日22時40分	2016年9月9日21時49分	23時間9分	23時間9分	0時間0分	21.5 NE	9日21時14分	945.6
5723	C	2016年9月13日19時17分	2016年9月14日14時20分	19時間3分	19時間3分	0時間0分	23.3 NE	14日3時11分	964.7
5724	C	2016年10月3日00時30分	2016年10月3日23時00分	22時間30分	22時間30分	0時間0分	20.8 NE	3日6時31分	983.5
5725	B	2016年10月4日23時00分	2016年10月6日01時09分	21時間59分	21時間59分	0時間0分	23.3 ENE	5日22時27分	960.1
5726	B	2016年10月6日17時00分	2016年10月7日15時20分	22時間20分	22時間00分	0時間0分	27.8 ENE	6日21時1分	964.9
5727	B	2016年10月11日17時30分	2016年10月13日02時00分	38時間30分	38時間30分	0時間0分	34.5 NE	12日10時23分	939.3
5728	B	2016年10月17日17時00分	2016年10月19日17時00分	47時間20分	47時間20分	0時間0分	29.1 ENE	18日1時24分	962.7
5729	C	2016年10月25日10時15分	2016年10月25日19時30分	8時間45分	8時間45分	0時間0分	21.7 NNE	25日11時52分	987.0
5730	C	2016年10月26日23時00分	2016年10月27日08時30分	9時間30分	9時間30分	0時間0分	19.2 NE	27日2時0分	977.2
5731	B	2016年10月29日23時20分	2016年10月30日23時10分	23時間50分	23時間50分	0時間0分	28.7 ENE	30日8時46分	954.4
5732	C	2016年11月3日00時50分	2016年11月3日16時30分	9時間40分	9時間40分	0時間0分	18.1 NE	3日11時46分	990.2
5733	C	2016年11月29日10時45分	2016年11月29日16時50分	6時間5分	6時間5分	0時間0分	16.0 NE	29日14時33分	982.4

※階級区分は次による。

- A級：処理100m未満、風速25m/s以上の状態が0時間以上継続
- B級：処理1km未満、風速15m/s以上の状態が12時間以上継続
- C級：処理1km未満、風速10m/s以上の状態が6時間以上継続

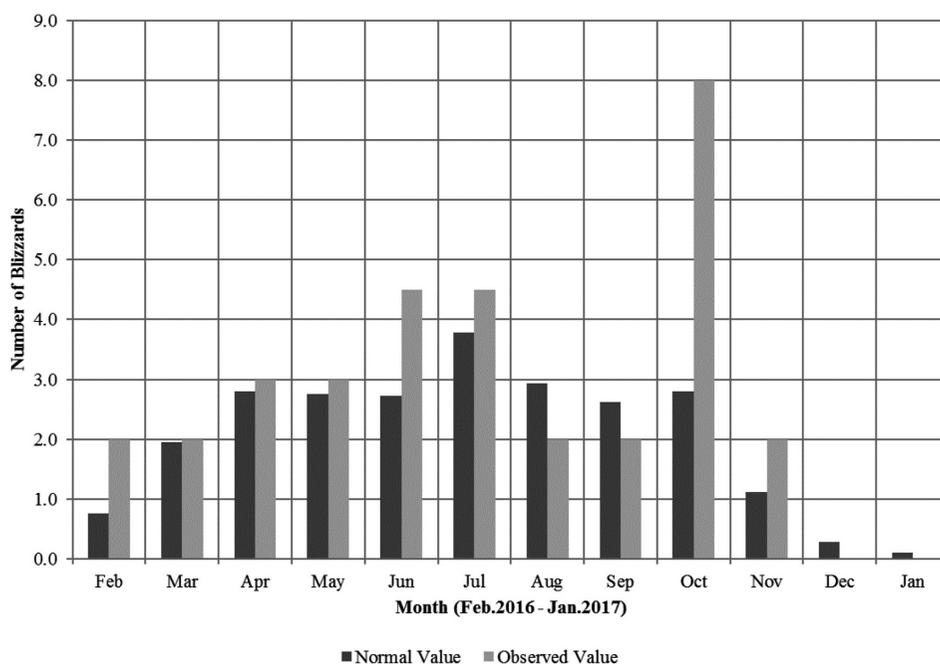


図 4 月別ブリザード数 (2016 年 2 月～2017 年 1 月). 平年値は 1981 年～2010 年の平均値.
 Fig. 4. Number of Blizzards per month at Syowa Station (Feb. 2016–Jan. 2017). The Normals are average values from 1981 to 2010.

2.4. 観測装置の更新整備

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 (以下, 95 型) から JMA-10 型地上気象観測装置 (以下, 10 型) に更新した。第 57 次隊では、視程計、感雨器を設置し、第 57 次隊が越冬を開始した 2016 年 2 月 1 日から 10 型による観測を開始した。

95 型の各測器の配置は図 1 のとおりである。95 型の気圧計と積雪計の各測器の位置は 10 型とほぼ同一である。積雪計、気圧計を除き、95 型と 10 型は各測器の位置が若干異なっており、設置場所の違いによる観測環境の違いから両装置の観測結果に若干ながら差異が生じる。この差を確認するため、両装置による観測値の比較を行った。期間は 2016 年 1 月 1 日から同年 12 月 20 日までで、使用したデータは気温、湿度、風向・風速、全天日射量、日照時間の特別値である。全天日射量と日照時間の比較では可照時間内の観測値を用いた (可照時間の計算には気象庁 (2016) を用いた)。気圧と積雪深については、測器の位置にほとんど差がない。ここでは測器周辺の観測環境の違いによって生じる差を示すため、気圧と積雪深については比較を割愛した。なお、感雨器及び視程計は参考測器であるため、これらについても比較を割愛した。

表 6 昭和基地における月別気象概況 (2016年2月~2017年1月). (1/2)
Table 6. Monthly weather summaries at Syowa Station (Feb. 2016-Jan. 2017). (1/2)

年・月	天気概況
2016年 2月	北の海上を通過する低気圧や前線の影響を受けて、月を通じて曇りの日が多かった。月日照時間は115.8時間とかなり少なく(平年値203.2時間)、2月の値としては、月間日照時間の少ない方から第2位を記録した。月平均気温は-2.8度で、平年並だった(平年値-2.9°C)。10日、18日には、発達した低気圧の接近によりブリザードとなり、10日は最大風速26.3m/s、最大瞬間風速34.5m/sを観測し、18日は最大風速23.4m/s、最大瞬間風速29.0m/sを観測した。
	月上旬 期間を通じ、北の海上を通過する低気圧の影響を受け、曇りや雪の日が多かった。日照時間は44.6時間とかなり少なかった(平年値91.4時間)。8日は、気圧の尾根に覆われて晴れ間が広がり、月最高気温4.8°C(14時08分)を観測した。
	月中旬 期間を通じ、北の海上を通過する低気圧や前線の影響を受け、曇りや雪の日が多かった。計7日間でふぶきとなった時間帯があり、うち3日間で日最大風速20m/s以上を観測した。11日は、発達した低気圧が過ぎ去り、旬最高気温0.2°C(17時27分)を観測した。
下旬 期間を通じ、北の海上を通過する低気圧の影響を受け、曇りや雪の日が多かった。旬平均気温は-2.1°Cで、かなり高かった(平年値-4.3°C)。27日は、気圧の尾根に覆われて晴れ間が広がり、日照時間11.2時間は、月を通じて3番目に多かった。	
2016年 3月	北の海上を通過する低気圧や前線の影響により曇りの日が多かったが、周期的に晴れた日もあった。月日照時間は99.5時間と少なかった(平年値120.1時間)。晴れた日の夜間は冷え込み、日最低気温の平均は-11.6°Cだった(平年値-9.2°C)。21日から22日にかけて、発達した低気圧の接近によりブリザードとなり、最大風速27.7m/s、最大瞬間風速34.8m/sを観測した。
	月上旬 北の海上を通過する低気圧の影響で曇りの日が多かったが、期間のはじめと中頃には、気圧の尾根に覆われて晴れた日もあった。低気圧の接近によりふぶきとなった1日には、旬最大風速17.5m/sを観測した(09時27分)。この低気圧は2日以降過ぎ去り、4日夜から5日にかけては快晴で風も弱かったため、5日朝に旬最低気温-19.9°C(06時01分)を観測した。
	月中旬 北の海上を通過する低気圧や前線の谷の影響で曇りや雪の日が多かったが、期間のはじめと終わりには、気圧の尾根に覆われて晴れた日もあった。旬日照時間は29.5時間と少なかった(平年値43.0時間)。19日午後から20日にかけては快晴で風が弱い状態が続き、20日朝に旬最低気温-21.9°C(07時17分)を観測した。
下旬 期間を通じて北の海上を通過する低気圧の影響を受け曇りや雪の日が多く、22日と29日はブリザードとなった。22日には降雪量合計の月最大34cm、29日には月最深積雪144cmを観測した。旬日照時間は20.0時間と少なかった(平年値34.1時間)。期間の後半は南風が持続したため気温が低下し、28日に月最低気温-22.0°Cを観測した(05時44分)。	
2016年 4月	上旬と中旬は、周期的に気圧の尾根に覆われて晴れた日が続く。月日照時間は99.2時間とかなり多かった(平年値58.0時間)。一方、下旬は低気圧が昭和基地の北の海上に停滞したため、7日間にわたって日最大風速15.0m/s以上の強風が続いた。22日には低気圧の接近によりブリザードとなり、最大風速30.0m/s(23時48分)、最大瞬間風速37.9m/s(23時45分)を観測した。
	月上旬 低気圧や気圧の谷の影響を受けた日が多く、晴れた日が多かった。旬日照時間は50.1時間とかなり多かった(平年値26.1時間)。5日から6日の朝にかけては、気圧の尾根に覆われて快晴の状態が続き、夜間には旬最低気温-18.1°Cを観測した(23時30分、01時11分)。6日午後には低気圧の接近によりふぶきとなり、旬最大風速17.1m/s(17時10分)を観測した。
	月中旬 期間のはじめと中頃は、北の海上を通過する低気圧の影響を受け、曇りや雪の日が多かった。低気圧の接近により13日夜からふぶきとなり、14日には旬最大風速21.1m/s(04時26分)を観測した。一方、期間の終わりは気圧の尾根に覆われて快晴となり、18日から20日の各日は日照時間が7時間を超え、いずれも日別平年値より多かった。日平均気温は、ふぶきとなった14日は-5.7°C、快晴となった19日は-17.5°Cだった。
下旬 期間の終わりを除き、北の海上を通過する低気圧の影響を受け、曇りや雪の日が多かった。低気圧の接近により22日はブリザードとなり、最大風速30.0m/s(23時48分)、最大瞬間風速37.9m/s(23時45分)を観測した。この低気圧は停滞したため、翌23日は終日20m/s以上の非常に強い風が続き、日平均風速22.2m/sを観測した。	
2016年 5月	上旬は気圧の尾根に覆われて晴れた日が続く。月日照時間は27.5時間で多かった(平年値17.7時間)。月平均気温は-12.5°Cで平年並だった(平年値-13.5°C)。中旬から下旬にかけては、低気圧の影響を受けることが多く、ブリザードとなった21日には、日最大瞬間風速47.3m/s(22時21分)を観測し、5月の値としては第9位を記録した。
	月上旬 期間のはじめは、低気圧の影響を受けて曇りや雪となったが、その後は気圧の尾根に覆われて晴れた日が続く。旬日照時間は26.9時間でかなり多かった(平年値10.7時間)。3日以降は南風が続いたため気温が低下し、4日には旬最低気温-24.4°C(09時29分)を観測した。一方、快晴となった7日には、旬最高気温-4.9°C(14時00分)を観測した。
	月中旬 低気圧の影響を受けて曇りや雪の日が多かったが、期間のはじめは日に晴れ間もあった。低気圧の接近によりブリザードとなった11日には、日最大風速24.5m/s(23時17分)、日最大瞬間風速28.8m/s(18時39分)を観測した。さらに、17日以降も低気圧の接近を受けて風が強まり、19日には日最大風速30.4m/s(6時24分)、日最大瞬間風速36.6m/s(6時7分)を観測した。
下旬 低気圧の影響を受けて曇りや雪の日が多かったが、期間の中ごろには一時的に晴れ間もあった。低気圧の接近によりブリザードとなった21日には、日最大風速38.0m/s(23時35分)を観測した。この低気圧が過ぎ去った後も、大陸の高気圧の張り出しが強かったため風は弱まらず、日最大風速15m/s以上の日は6日となった。	
2016年 6月	低気圧の接近と停滞により定期的にブリザードとなり、日最大風速20m/s以上を観測した日数は、上旬に3日、中旬に4日、下旬に1日となった。月最深積雪は167cmとなり、6月の値としては第1位を更新した。ブリザード中は気温が上昇し、計13日間において、日最高気温が-10°C以上、うち2日は-5°C以上となった。14日には月最高気温-3.9°C(10時04分)を観測し、月平均気温は-14.3°Cで平年並だった(平年値-15.2°C)。
	月上旬 期間の終わりを除き、低気圧の影響を受けて曇りや雪の日が多かった。3日から4日にかけて、近海に低気圧が停滞したためブリザードとなり、3日には旬最大風速21.8m/s(00時52分)を観測した。一方、気温は上昇し、4日には旬最高気温-4.7°C(8時35分)を観測した。その後は風の弱い日が続く。南風となった10日には旬最低気温-20.0°C(20時26分)を観測した。
	月中旬 低気圧の影響を受けて曇りや雪の日が多かったが、期間のはじめは晴れ間もあった。気圧の尾根に覆われた11日と12日は晴れて冷え込みが進み、12日に月最低気温-27.6°C(12時34分)を観測した。一方、13日から15日にかけては、低気圧からのびる前線の通過によりブリザードとなり、14日に月最大風速29.1m/s(03時30分)を観測した。
下旬 低気圧の影響を受けて曇りや雪の日が多かったが、期間の中ごろは晴れた日もあった。低気圧が過ぎ去った23日以降は、晴れて気温が低下し、25日に旬最低気温-27.4°C(14時56分)を観測した。27日から30日にかけては、北の海上に接近した低気圧の影響でブリザードとなり、30日には旬最大風速23.1m/s(15時59分)を観測した。	
2016年 7月	低気圧の影響を受けて曇りや雪の日が多く、特に中旬は低気圧が相次いで接近したため、日最大風速が25m/sを超えた日数は4日となった。15日には月最大風速31.3m/s(00時38分)、月最大瞬間風速38.8m/s(00時30分)を観測した。月最深積雪164cmは、7月の値としては第2位を記録した。一方、下旬は気圧の尾根に覆われ、晴れて風の弱い状態が続き、月最低気温-34.0°Cを観測した。また、極夜が明けて日差しが戻り、月日照時間は7.8時間で多かった(平年値4.8時間)。
	月上旬 低気圧の影響を受けて曇りや雪の日が多かったが、期間の終わりは断続的に晴れ間もあった。4日から5日にかけて、低気圧が接近したためブリザードとなり、5日には旬最大風速19.4m/s(01時46分)を観測した。旬最低気温は-20.8°C、旬最高気温は-7.1°Cだった。
	月中旬 期間の終わりを除き、低気圧の接近により、曇りや雪の日が多かった。12日と14日から15日にかけてブリザードとなり、15日には月最大風速31.3m/s(00時38分)、月最大瞬間風速38.8m/s(00時30分)を観測した。また、5日間連続で日最大風速が15m/sを超えた。
下旬 期間のはじめは、低気圧の影響を受けて曇りや雪の日が多かったが、以降は気圧の尾根に覆われて快晴の日が続いた。旬平均風速3.0m/s、旬最大風速14.3m/sと風の弱い日が多く、31日には月最低気温-34.0°Cを観測した。日最低気温が-30°Cを下回った日数は5日となり、旬平均気温は-23.3°Cで低かった(平年値-18.5°C)。	

表 6 昭和基地における月別気象概況 (2016 年 2 月~2017 年 1 月). (2/2)

Table 6. Monthly weather summaries at Syowa Station (Feb. 2016–Jan. 2017). (2/2)

	<p>低気圧の影響により曇りや雪の日が多く、特に上旬は5日間連続で日最大風速が20m/sを超えるブリザードとなり、7日には月最大風速33.6m/s、月最大瞬間風速44.5m/sを観測した。一方、中旬は快晴の日が数日間続き、月日照時間は62.3時間だった。10日の日最低気温-6.5℃は、8月の値としては日最低気温の高い方から第3位を記録した。また、月平均気温-13.7℃は、8月の値としては、月平均気温の高い方から第1位を更新した。</p>
2016年 8月	<p>期間のはじめは、低気圧の影響をあまり受けず、晴れ間の広がった日もあったが、以降は次々に低気圧が接近し、ブリザードとなった。5日から10日にかけて、日最大風速が20m/s以上となり、うち2日は30m/sを超えた。7日には、月最大風速33.6m/s (22時16分)、月最大瞬間風速44.5m/s (22時12分)を観測した。10日には、旬最高気温-4.1℃を観測し、8月の値としては、日最高気温の高い方から9位を更新した。</p>
	<p>期間のはじめと終わりは、高気圧に覆われて快晴が続いた。旬日照時間は35.9時間でかなり多かった(平年値18.4時間)。一方、中ごろは低気圧の影響でブリザードとなり、15日には旬最大風速30.7m/s (15時35分)、旬最大瞬間風速38.5m/s (10時09分)を観測した。また、15日の日最高気温-3.8℃は、8月の日最高気温の高い方からの値としては4位を更新した。</p>
	<p>期間のはじめと終わりに晴れた日もあったが、ほかに低気圧の影響を受けて曇りや雪の日が多かった。22日(14時29分)と25日(20時15分)は、旬最大風速20.7m/sを観測したが、旬平均風速は6.1m/sと、それほど強い風にはならなかった。29日の夜から翌朝にかけては、快晴が続いたため冷え込みが進み、30日に旬最低気温-27.5℃を観測した(08時18分)。</p>
2016年 9月	<p>9日以降、気温が低下し続け、12日には日最高気温-32.3℃を観測し、9月の値としては日最高気温の低い方から第4位を記録した。比較的好天に恵まれたこともあり、日照時間の月合計は173.0時間で月間日照時間の多い方から第10位を記録した(平年値136.5時間)。ブリザードの継続時間が短く、風の弱い日が多かったため、月平均風速は4.9m/sにとどまった。</p>
	<p>期間の終わりを除き、低気圧の影響を受けて曇りや雪の日が多かった。9日は、低気圧の接近によりブリザードとなり、旬最大風速21.5m/s (21時22分)を観測した。この低気圧が過ぎると天気は回復し、快晴となった夜間の冷え込みにより、10日には旬最低気温-32.7℃ (24時00分)を観測した。旬日照時間は24.9時間で少なかった(平年値39.6時間)。</p>
	<p>期間のはじめと終わりは、高気圧に覆われて晴れた日が多かった。南風により冷たい空気が流れ込み、12日には月最低気温-36.2℃ (23時51分)を観測した。一方中ごろは、天気の変わりやすい状態が続き、13日から14日にかけてブリザードとなり、14日には月最大風速23.3m/s (03時14分)、月最大瞬間風速26.8m/s (03時11分)を観測した。旬日照時間は72.3時間で多かった(平年値47.3時間)。</p>
2016年 10月	<p>期間のはじめは、低気圧の影響を受けて曇りや雪の日が多かった。その後は、低気圧の接近も少なく、大陸の高気圧や気圧の尾根に覆われて晴れた日が多かった。旬日照時間は75.8時間で多かった(平年値49.7時間)。旬平均風速は2.8m/s、日最大風速が10m/s以上となった日数は2日と、風の弱い状態が続いた。</p>
	<p>周期的にブリザードとなり、日最大風速20m/sを超えた日が計11日間あった。12日には、月最大風速34.5m/s (10時23分)、月最大瞬間風速41.6m/s (10時23分)を観測した。月間日照時間は119.5時間でかなり少なかった(平年値191.0時間)。10月の値としては少ない方から第3位を記録した。また、月平均気温は-9.3℃でかなり高く(平年値-13.5℃)、10月の値としては高い方から第1位を更新した。</p>
	<p>北の海上に低気圧が停滞したため、期間の中頃に中心に6日間にかけてブリザードとなった。6日には、旬最大風速27.8m/s (23時24分)、旬最大瞬間風速35.5m/s (21時01分)を観測した。また、5日には旬最高気温-2.7℃ (19時50分)を観測し、旬平均気温は-9.3℃で高かった(平年値-15.1℃)。旬日照時間は35.6時間で少なかった(平年値54.1時間)。</p>
2016年 11月	<p>期間のはじめと終わりは、低気圧の影響を受けてブリザードとなり、日最大風速20m/sを超えた日が計5日間あった。12日には、月最大風速34.5m/s (10時23分)、月最大瞬間風速41.6m/s (10時23分)を観測した。期間の中頃は気圧の尾根に覆われて晴れ間が広がったものの、旬日照時間は36.2時間でかなり少なかった(平年値70.0時間)。</p>
	<p>期間のはじめは、気圧の尾根に覆われて晴れた日もあったが、その後は湿った空気や低気圧の影響で曇りや雪の日が多かった。25日以降、相次いでブリザードとなり、30日には旬最大風速28.7m/s (08時52分)、旬最大瞬間風速37.5m/s (08時45分)を観測した。31日の日最低気温-3.9℃ (24時00分)は、10月の値としては高い方から第2位を更新した。</p>
	<p>大陸の高気圧下において、大きく天気が崩れることはなく、日照時間の月合計は308.8時間で平年並みだった(平年値316.0時間)。月平均気温-4.7℃は、11月の値としては高い方から第5位を記録した。月末には北の海上を通過する低気圧の影響でブリザードとなり、月最深積雪195cmは、11月の値としては第1位を更新した。</p>
2016年 12月	<p>期間のはじめは、低気圧の接近により曇りや雪の日が多かったが、中頃と終わりは、大陸の高気圧に覆われて晴れた日が多かった。5日には、月最大風速19.3m/s (00時24分)、月最大瞬間風速23.4m/s (03時33分)を観測した。以降は日に晴れ間が広がり、旬日照時間は114.1時間で多く(平年値96.7時間)、旬平均気温は-5.4℃でかなり高かった(平年値-9.1℃)。</p>
	<p>期間のはじめと中頃は、北の海上からの湿った空気の影響で曇りや雪の日が多かったが、その後は大陸の高気圧に覆われて晴れた日が多かった。16日には月最高気温2.0℃ (14時50分)を観測し、旬平均気温は-3.2℃でかなり高かった(平年値-6.7℃)。旬日照時間は122.2時間で多かった(平年値109.1時間)。</p>
	<p>期間のはじめは、大陸の高気圧に覆われて晴れた日が多かったが、中頃と終わりは、低気圧の影響で曇りや雪の日が多かった。28日から30日にかけては、北の海上を低気圧が通過したため雪と強風が断続的に続き、一時的にふぶきとなった。29日には、旬最大風速16.0m/s (14時33分)を観測した。旬日照時間は72.5時間で少なかった(平年値110.2時間)。</p>
2016年 12月	<p>高気圧に覆われて安定した気圧場が続き、晴天で風の弱い日が多かった。月平均風速は4.2m/sにとどまり、日最大風速が15m/sを超えた日数は1日だった。22日には、月最高気温6.1℃を観測した(17時58分)。日照時間の月合計は572.2時間でかなり多く(平年値434.6時間)、12月の値としては第2位を記録した。</p>
	<p>大陸の高気圧に覆われて晴れた日が多かったこともあり、旬平均気温は-1.4℃で高かった(平年値-2.5℃)。計9日間で最高気温が0℃を上回り、3日と5日には旬最高気温3.1℃を観測した(3日15時52分、5日14時46分)。旬日照時間は186.8時間でかなり多かった(平年値133.2時間)。3日には、月最大風速15.9m/s (05時43分)を観測した。</p>
	<p>北の海上を通過する低気圧の影響で、薄雲が広がる時間帯はあったものの、概ね晴れた日が多かった。旬平均気温は-0.8℃で高く(平年値-1.4℃)。19日には旬最高気温5.0℃を観測した(16時37分)。旬日照時間は192.1時間で多かった(平年値148.6時間)。</p>
2017年 1月	<p>期間のはじめと中ごろは大陸の高気圧に覆われて晴れた日が多かった。その後は、海上に停滞する低気圧の影響で、曇りや雪の日が多かった。22日には、月最高気温6.1℃を観測し(17時58分)、旬平均気温は0.0℃で高かった(平年値-0.9℃)。旬日照時間は193.3時間で多かった(平年値152.9時間)。旬平均風速は2.7m/sにとどまった。</p>
	<p>目立った低気圧の接近はなかったものの、海上からの湿った空気の影響で曇りや雪の日が多く、月日照時間は249.3時間で少なかった(平年値375.7時間)。14日の最低気温+1.4℃は、1月の値としては高い方から第7位を記録した。23日には月最高気温+5.7℃ (18時40分)を観測し、月平均気温は-0.8℃で平年並みだった(平年値-0.7℃)。風の弱い日が多く、日最大風速が10m/sを超えた日は計7日だった。</p>
	<p>期間のはじめは低気圧の接近もなく、晴れた日が多かった。一方、中ごろと終わりは、海上からの湿った空気の影響で曇りや雪の日が多かった。風の弱い状態が続き、夜間には霧が発生した。日最大風速が10m/sを超えた日はなく、旬平均風速は2.1m/sにとどまった。旬日照時間は106.3時間で少なかった(平年値118.3時間)。</p>
2017年 1月	<p>海上からの湿った空気の影響で曇りや雪の日が多かった。旬日照時間は62.9時間で少なく(平年値125.3時間)、旬平均気温は0.3℃で高かった(平年値-0.5℃)。14日には、北の海上を通過する低気圧の影響で風がやや強まり、旬最大風速17.3m/s (06時06分)を観測した。</p>
	<p>期間のはじめと中ごろは、湿った空気の影響で曇りや雪の日が多かったが、晴れ間が広がった日もあった。以降は低気圧の影響で曇りや雪の日が多く、低気圧が最接近した29日には、旬最大風速18.5m/s (15時15分)を観測した。旬日照時間は80.1時間で少なかった(平年値132.1時間)。</p>

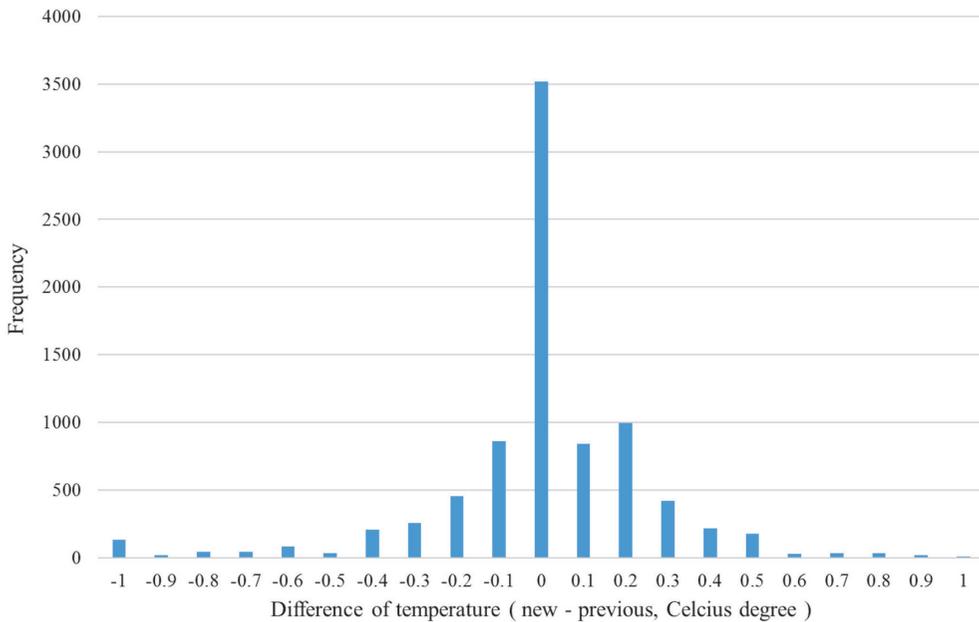


図 5.1 昭和基地における 10 型と 95 型との気温の比較(2016 年 1 月 1 日～12 月 20 日).
 Fig. 5.1. Comparison of the observed temperatures with new and previous equipment at Syowa Station (from Jan. 1 to Dec. 20, 2016).

(1) 気温

10 型と 95 型の観測値の差の度数分布を図 5.1 に示す。差の平均値は -0.03°C 、標準偏差は 0.36°C である。差の平均値は 10 型の電気式温度計の総合誤差 ($\pm 0.5\%$ で、測定範囲に対し、 $\pm 0.5^{\circ}\text{C}$ (気象庁, 2011)) よりも小さい。また、度数分布の形状は釣鐘型でおおむね左右対称となっている。

(2) 湿度

10 型と 95 型の観測値の差の度数分布を図 5.2 に示す。差の平均値は 2.3% 、標準偏差は 2.0% である。差の平均値は湿度計の保守点検における目安(携帯用通風乾湿計との差が 4% 以内(気象庁, 2011)) よりも小さい。度数分布の形状は釣鐘型でおおむね左右対称となっている。10 型と 95 型に系統的な差が生じている理由は、10 型が 95 型よりも海に近い位置に設置されていることが一因にあると考える。

(3) 風向

10 型と 95 型の風配図を図 5.3 に示す。10 型は 95 型よりも北東の風がやや多く出現している。これは、10 型感部の東側の地形が上り坂であることが一因と考える。上り坂よりさらに先は、東～東北東には地物、北にはアンテナ島があって、風を遮る要因となりうる。それに対して北東方向は、アンテナ島とオングル島間の海水であって、風が遮られにくい地

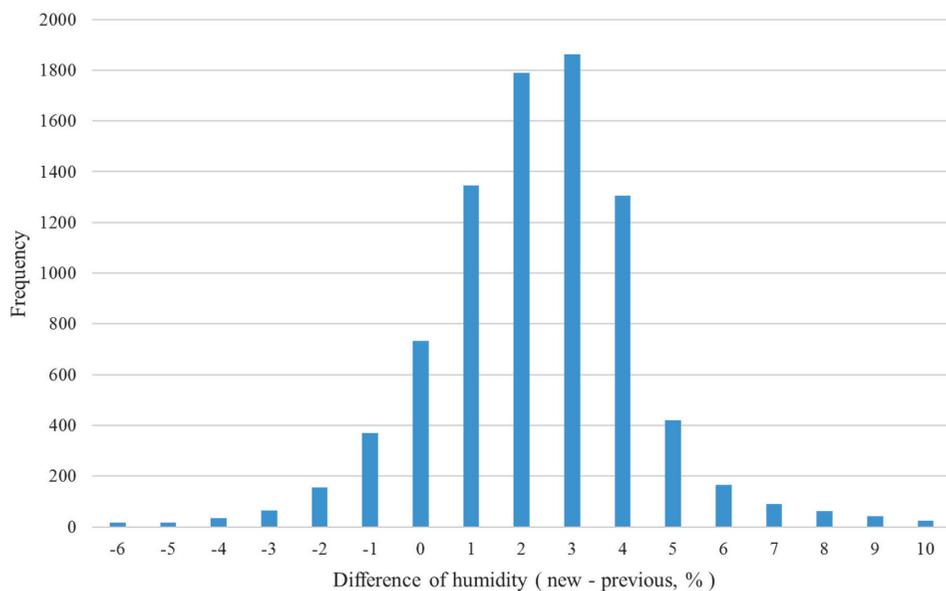


図 5.2 昭和基地における 10 型と 95 型との湿度の比較(2016 年 1 月 1 日~12 月 20 日).
 Fig. 5.2. Comparison of the observed humidity with new and previous equipment at Syowa Station (from Jan. 1 to Dec. 20, 2016).

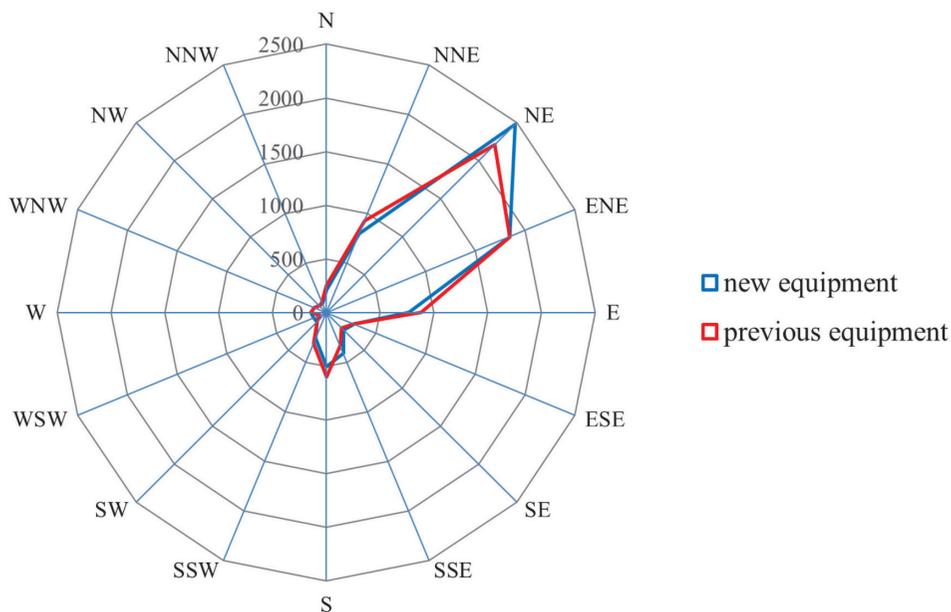


図 5.3 昭和基地における 10 型と 95 型との風向の比較(2016 年 1 月 1 日~12 月 20 日).
 動径方向はデータ数 (時別値).
 Fig. 5.3. Comparison of the observed wind direction with new and previous equipment at Syowa Station (from Jan. 1 to Dec. 20, 2016). The radial direction numbers indicate the number of hourly data.

形となっている。また、95型の方が10型よりも周辺の地物から受ける影響が少ないことも一因であると考え。両者の設置場所は近いが周辺地形はやや異なり、95型の設置場所は北側の斜面を登りきったところに位置しており、その海拔高度は10型よりも高い。風配図の違いは、これらの地形的要因が一因にあると考える。

(4) 風速

10型の風速と95型の風速による散布図を図5.4に示す。相関係数は約0.995であった。1次の回帰分析を行ったところ、10型の風速(Y)は95型の風速(X)の関係は以下のようになった*。

$$Y = 0.9X + 0.04$$

10型の風速が95型よりも小さかった一因は、10型の設置高度(海拔高度)が95型よりも低いことにあると考える。

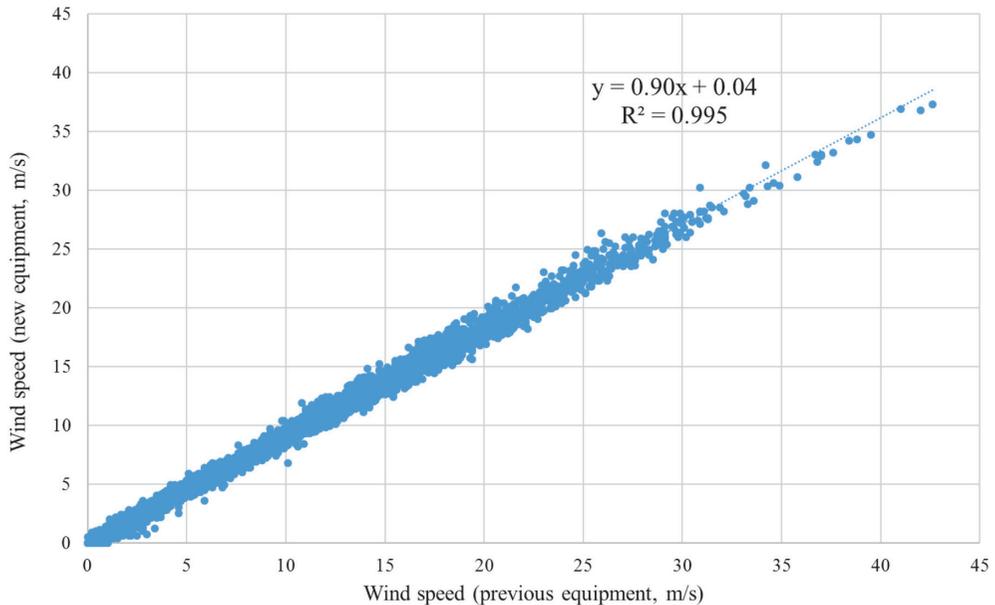


図 5.4 昭和基地における10型と95型との風速の比較(2016年1月1日～12月20日)。

Fig. 5.4. Comparison of the observed wind speed with new and previous equipment at Syowa Station (from Jan. 1 to Dec. 20, 2016).

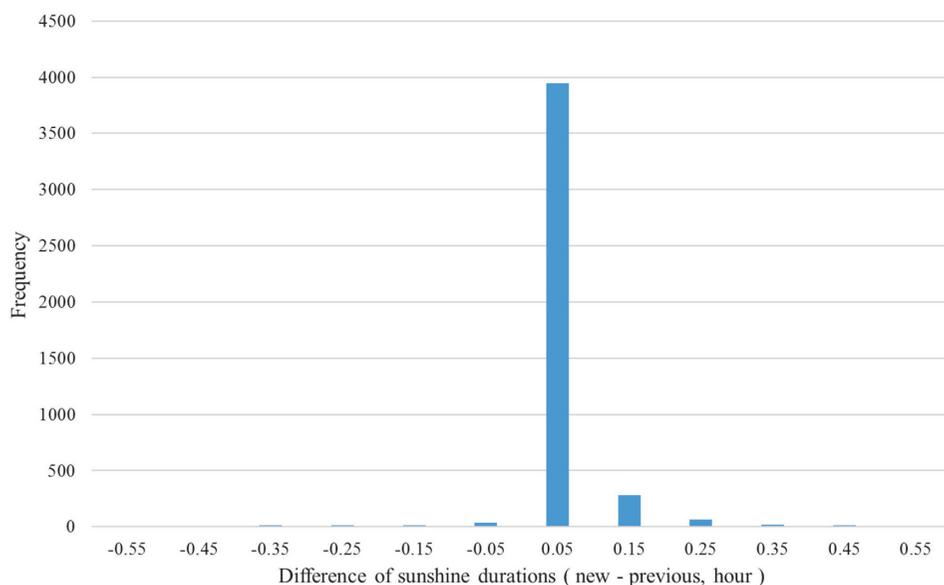


図 5.5 昭和基地における 10 型と 95 型との日照時間の比較(2016 年 1 月 1 日～12 月 20 日).
夜間のデータは除外している.

Fig. 5.5. Comparison of the observed sunshine duration with new and previous equipment at Syowa Station (from Jan. 1 to Dec. 20, 2016).

(5) 日照時間

10 型と 95 型の観測値の差の度数分布を図 5.5 に示す. 差の平均値は 0.01 時間, 標準偏差は 0.07 時間である. 差が 0.0 時間のところにほとんどのデータが集中しているが, その周辺を見ると差が正の度数が負に比べて若干大きい.

(6) 全天日射量

10 型と 95 型の観測値の差の度数分布を図 5.6 に示す. 差の平均値は 0.012 MJ/m^2 , 標準偏差は 0.028 MJ/m^2 である. 度数分布の形状は釣鐘型であるが, 正の度数が負に比べて若干が大きい.

* 機器更新の前後でデータが均質ではないため, 平年値に関して 10 型と 95 型の観測期間をまたいで統計値を求める際は補正を行う. 極値統計は, 主として防災上の見地から利用され, 過去にどのくらい大きい値が観測されたかの事実関係を把握するために使われることから, 連続して扱う (気象庁, 2011).

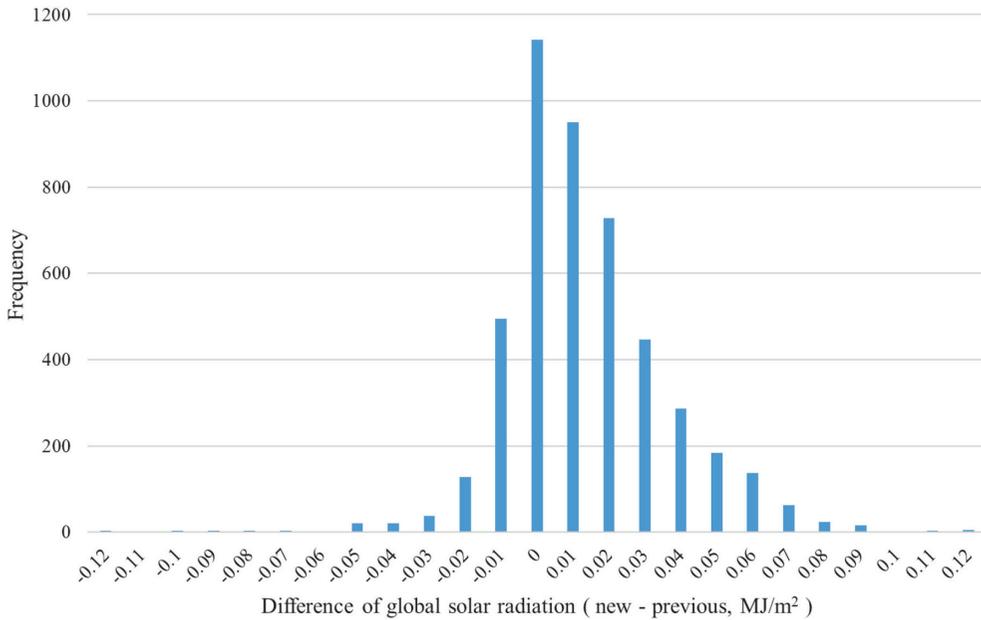


図 5.6 昭和基地における 10 型と 95 型との全天日射量の比較(2016 年 1 月 1 日～12 月 20 日). 夜間のデータは除外している.

Fig. 5.6. Comparison of the observed global solar radiation with new and previous equipment at Syowa Station (from Jan. 1 to Dec. 20, 2016).

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。観測は高層気象観測指針 (気象庁, 2004) に基づき、毎日 00, 12 UTC の 2 回行った。ヘリウムガスを充填した 600 g ゴム気球に RS-06G 型 GPS ゾンデ (明星電気製) を吊り下げて飛揚し、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 (4.4.1. 参照), GPS ゾンデの代替観測とした。GPS ゾンデの各センサの性能を表 7 に示す。

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、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。

表 7 RS-06G 型 GPS ゾンデ各センサの仕様。

Table 7. 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 : ±1hPa 100hPa~3hPa : ±0.5hPa
	気温	ビード型ガラスコートサーミスタ (アルミ蒸着加工)	+40~-90℃	0.1℃	飛揚前点検で精度確認 計測精度 ±0.5℃
	湿度	高分子感湿膜（静電容量変化式）	1~100%RH	0.1%RH	飛揚前点検で精度確認 計測精度 ±7.0%RH
	風向	GPSゾンデが受信するGPS衛星信号の受信周波数が、GPSゾンデとGPS衛星との相対速度に応じて変化すること（ドップラー効果）を利用して風成分を測定し算出	0~360°	0.1°	
	風速		0~200m/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 ±5.0m

3.2. 観測経過

2016年2月から2017年1月までの高層気象観測状況を表8に示す。

第57次隊として2016年2月1日00UTCより2017年1月31日12UTCまでの観測を行ったこの期間中、ブリザードによる強風のため欠測となった回数が16回あった。

南極の低温下でもゴム気球の性能を維持するため、一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、2016年5月1日12UTC、5月5日12UTCから11月2日12UTCまでの期間、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℃を下回る時期を目安とした。

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	2016										2017	合計	
		2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月		1月
飛揚回数		60	62	59	61	59	65	61	60	60	61	62	62	732
定時観測回数		57	60	58	60	59	60	57	60	59	60	62	62	714
欠測回数（※1）		1	2	2	2	1	2	4	0	3	0	0	0	17
資料欠如回数（※2）		0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1
再観測回数		3	2	1	0	0	5	3	0	1	1	0	0	16
到達気圧/高度 （※3）	回数	57	60	58	60	59	60	57	60	59	60	62	62	714
	平均 hPa	9.8	13.2	12.9	10.4	10.6	12.5	11.3	12.7	12.3	13.1	12.3	9.1	11.7
	平均 km	31.8	30.2	28.6	28.7	28.1	27.8	28.0	27.9	28.3	30.5	31.1	32.5	29.5
	最高 hPa	5.0	5.0	5.0	6.5	5.0	5.0	5.5	5.3	7.1	5.0	5.0	6.0	5.0
	最高 km	36.2	35.8	34.4	31.1	32.3	31.7	32.4	32.2	31.7	36.7	36.8	35.6	36.8

※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。

3.3. 観測結果

2016年1月から2017年1月までの主な指定気圧面の高度、気温、風速の月平均値(00 UTCの観測値による統計)を表9に示す。また、2016年1月から2017年1月までの00 UTCにおける主な指定気圧面の月平均気温と平年値(1981年~2010年の累年平均値)の年変化を図6に示す。

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)	2016												2017		
		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	1141	1138	1109	1100	1133	1069	1075	1143	1054	1113	1193	1199	1122	1238	
	800	1609	1605	1571	1559	1589	1522	1524	1598	1501	1571	1655	1667	1581	1706	
	700	2621	2617	2576	2557	2580	2505	2500	2588	2476	2565	2653	2679	2576	2719	
	600	3761	3757	3713	3687	3697	3610	3600	3707	3581	3687	3780	3820	3700	3859	
	500	5071	5069	5020	4988	4980	4877	4861	4994	4849	4977	5075	5130	4991	5173	
	400	6618	6618	6564	6523	6487	6365	6346	6512	6343	6495	6602	6673	6513	6725	
	350	7512	7514	7456	7411	7358	7224	7202	7387	7206	7370	7486	7563	7391	7622	
	300	8517	8525	8460	8410	8336	8190	8165	8365	8175	8350	8479	8563	8378	8628	
	250	9683	9713	9633	9563	9465	9302	9271	9482	9287	9473	9627	9727	9519	9809	
	200	11121	11186	11084	10973	10834	10650	10596	10805	10617	10811	11013	11170	10905	11278	
	175	11991	12074	11959	11826	11657	11456	11384	11583	11404	11603	11842	12044	11736	12165	
	150	13000	13101	12972	12812	12608	12385	12287	12480	12306	12512	12799	13057	12693	13193	
	125	14198	14315	14167	13975	13727	13477	13348	13531	13366	13580	13927	14262	13823	14411	
	100	15675	15799	15626	15390	15085	14798	14630	14806	14656	14882	15314	15748	15201	15905	
	70	18067	18174	17949	17633	17230	16876	16637	16822	16705	16957	17595	18150	17400	18301	
	50	20351	20421	20127	19724	19227	18803	18505	18706	18627	18930	19814	20447	19474	20577	
	40	21879	21916	21566	21096	20540	20066	19732	19949	19902	20261	21321	21984	20851	22095	
	30	23871	23845	23425	22857	22235	21686	21307	21554	21561	22024	23329	23966	22638	24060	
	気温 (°C)	850	-8.4	-9.1	-11.9	-14.3	-15.7	-17.1	-19.6	-16.4	-20.7	-14	-11.9	-7.7	-13.9	-8.1
		800	-11.2	-11.6	-14.1	-16	-17.3	-18.8	-21.1	-18.1	-22.1	-16.5	-14.9	-11.1	-16.0	-11.0
700		-17.3	-17.3	-18.3	-19.8	-22.4	-24.6	-26.1	-22.0	-25.4	-21.7	-20.6	-17.3	-21.0	-17.2	
600		-23.8	-23.9	-24.2	-25.9	-28.8	-31.9	-33	-28.4	-31.6	-27.5	-26.7	-23.8	-27.4	-23.7	
500		-31.5	-31	-32.2	-33.2	-37.1	-40	-40.8	-35.5	-39.5	-35.5	-34.4	-31.6	-35.2	-30.6	
400		-41.4	-41	-41.9	-43.1	-47.4	-50.4	-50.9	-46.3	-49.5	-46	-44.3	-42.2	-45.4	-40.7	
350		-47.4	-46.6	-47.7	-48.9	-53.3	-56.2	-56.8	-52.7	-55.3	-52.5	-50	-48.5	-51.3	-46.9	
300		-53.2	-50.9	-53.2	-54.7	-59.1	-62.2	-62.8	-60.0	-61.6	-59.4	-55.7	-54.2	-57.3	-52.4	
250		-55	-49.5	-52.5	-58.7	-63.3	-66.3	-68.5	-67.5	-67.4	-65.9	-60.2	-54.4	-60.8	-50.5	
200		-51.1	-46.2	-49.6	-55.4	-63	-67	-71.3	-73.0	-71.2	-70.2	-60.9	-50	-60.8	-46.6	
175		-50	-45.7	-48.9	-54.5	-62.4	-66.9	-72.3	-74.8	-72.5	-71	-60.8	-49.2	-60.8	-45.7	
150		-49.1	-45.6	-48.9	-54.8	-62.7	-67.7	-73.5	-75.5	-73.7	-72.3	-61.6	-48.1	-61.1	-45.0	
125		-48.2	-45.9	-49.5	-55.8	-64.4	-69.7	-75.5	-77.0	-75.1	-73.4	-61.6	-46.8	-61.9	-44.7	
100		-45.9	-45.9	-50.1	-57.1	-66.2	-72	-78.3	-78.8	-76.3	-74.4	-59.5	-44.8	-62.4	-44.2	
70		-42.4	-45.3	-50.8	-59.7	-69.2	-75.9	-82	-81.2	-77.5	-73.9	-51.5	-41.5	-62.6	-43.0	
50		-40.2	-44.5	-51.6	-61.6	-71.4	-79	-84.7	-82.5	-78.3	-71.2	-44.3	-38.4	-62.3	-41.1	
40		-38.3	-44.2	-52.3	-63.3	-72.6	-80.3	-85.8	-82.9	-77.5	-67	-40.9	-37.3	-61.9	-40.3	
30		-36	-43.8	-52.4	-64.7	-73.2	-81.3	-86.3	-82.1	-75.3	-58.7	-36.7	-36.6	-60.6	-39.4	
風速 (m/s)		850	8.8	10.5	6.2	9.1	9.6	11.7	9.2	10.6	8.6	12.4	7.4	8.5	9.4	7.3
		800	7.7	8.3	5.6	6.7	8.3	9.7	8.5	10.1	8.2	10.8	7.7	8.7	8.4	6.7
	700	6.5	7.7	7	8.3	9.2	8.7	7.8	10.3	6.8	10.1	7.3	8.6	8.2	6.5	
	600	7.1	9.6	8.7	9.5	10.6	8.9	9.1	12.6	6.7	11.6	8.1	9.2	9.3	6.4	
	500	8	13.4	11.6	12.3	12.7	10.4	12.2	12.3	9.4	13.6	9.7	8.8	11.2	8.3	
	400	10.5	17.6	15.4	16.1	14.8	14	15.4	13.0	12.8	17.1	11.9	9.9	14.0	10.8	
	350	11.8	21.9	17.2	17.8	16.3	15.4	16.4	14.8	13.4	18.6	12.6	11	15.6	12.5	
	300	12.2	23.3	18.8	19.3	17.3	17.4	17.6	15.6	14.7	19.9	13.2	11.6	16.7	12.7	
	250	10.3	18.2	16.8	18.1	15.9	17.1	18.2	16.2	15.3	21.5	12.5	9.4	15.8	11.4	
	200	7.5	14	15	13.6	14.3	16.4	17	16.7	14.7	20.3	8.6	6	13.7	7.3	
	175	6.9	13.5	13.7	14	14.1	17.7	16.8	16.8	15.3	20	7.8	5.1	13.5	6.5	
	150	6.6	13.5	13.1	13.5	14.5	18.2	18.3	17.1	16.3	20.1	7.5	4.6	13.6	5.4	
	125	7	12.4	13	14.4	15	20	20.1	18.6	18.6	22.3	8	4.8	14.5	5.4	
	100	6.3	11.4	12.6	15	16.8	22.5	22.1	22.7	22.1	23.9	10.1	4.8	15.9	4.8	
	70	5.6	10	13.1	16.8	20.4	27.2	26.2	29.2	28.3	28	16.9	5.9	19.0	3.8	
	50	3.4	8.3	12.6	18.7	24.7	31.7	29.6	34.3	35.3	33.6	21	7.4	21.7	3.4	
	40	2.8	6.8	12.6	19.4	26.7	34.9	32.8	39.2	40.2	37.1	22.7	8.7	23.7	4.0	
	30	4.7	5.9	12.3	22.2	32.7	38.1	36.3	44.6	48.6	41.4	22.8	9	26.6	4.8	

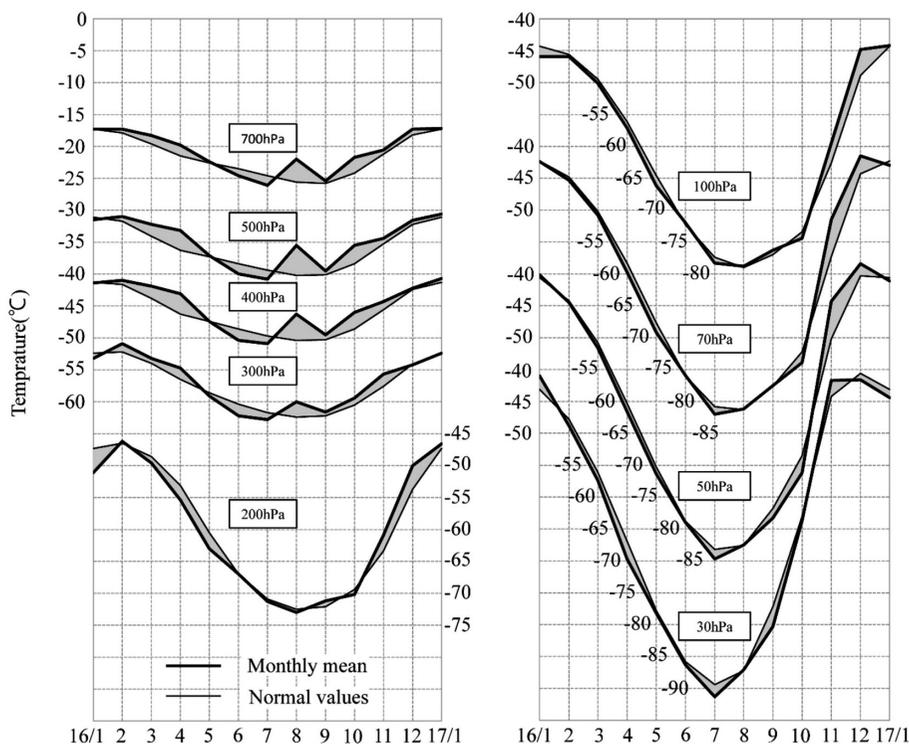


図 6 指定気圧面の月平均気温（2016 年 1 月～2017 年 1 月）と平常値（1981 年～2010 年の累年平均値）の年変化（00UTC）. (a) 700hPa-200hPa, (b) 100hPa-30hPa.

Fig. 6. Annual variations of monthly mean upper air temperature (Jan. 2016–Jan. 2017) and normal values (1981–2010) at Syowa Station. (a) 700hPa-200hPa, (b) 100hPa-30hPa.

図 6 において、3 月から 4 月にかけては、200 hPa より上層の気温は平常値より低かった。また、300 hPa から下層の気温は平常値より高かった。特に 400 hPa に関しては、4 月（00 UTC）の月平均気温の高い方から第 1 位を記録した。また、30 hPa に関しては、月平均気温の低い方から（00 UTC）において第 1 位を記録した。6 月は、300 hPa より下層の指定気圧面において気温が平常値より低かった。7 月は、ほとんどの指定気圧面において気温が平常値より低かった。8 月は、300 hPa より下層の気温が平常値より高く、特に 400 hPa に関しては、8 月（00 UTC, 12 UTC）の月平均気温の高い方からの第 1 位を記録した。10 月は、200 hPa より下層において、気温が平常値より高かった。11 月から 12 月にかけては、すべての指定気圧面において気温が平常値より高かった。

次に、2016 年 1 月から 2017 年 1 月までの上空の気温の時間高度断面の変化を図 7 に示す。また、月平均気温及び風の東西・南北成分の平均値及び平常偏差の時間高度断面図を図 8 に示す。

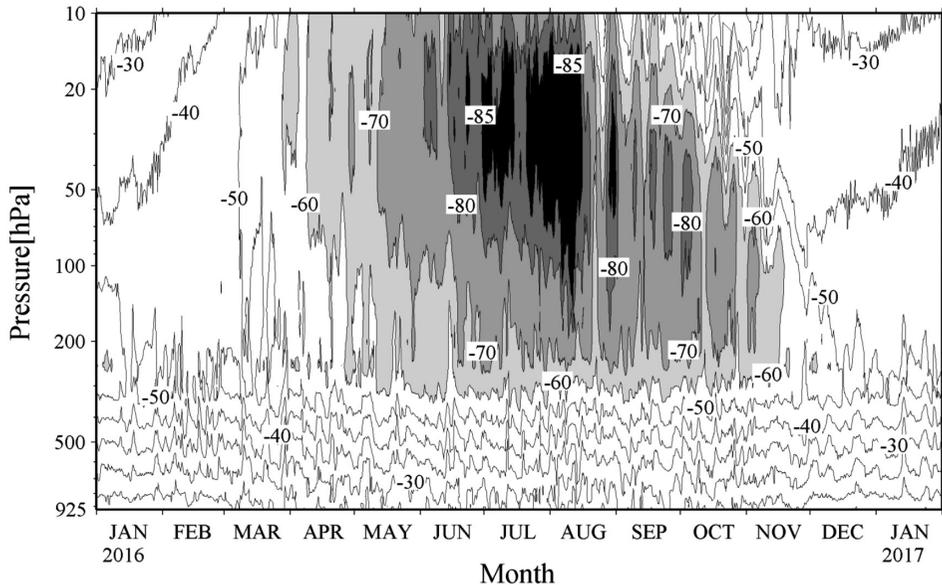


図 7 昭和基地上空の気温の時間高度断面図 (2016 年 1 月～2017 年 1 月).
薄灰色域: -60°C 以下, 灰色域: -70°C 以下, 濃灰色域: -80°C 以下,
黒色域: -85°C 以下.

Fig. 7. Time-height cross-section of upper air temperature (Jan. 2016–Jan. 2017). The light gray area indicates the region -60°C or below, the gray area indicates the region -70°C or below, a dark gray area indicates the region -80°C or below, the black area indicates the region -85°C or below.

下部成層圏で明瞭に -70°C 以下となったのは 5 月上旬からで, 時間の経過と共に気温は下がり, 6 月頃から 10 月頃にかけておおむね 200 hPa より上層で -70°C 以下となった. また, 下部成層圏の 100 hPa から 10 hPa において, 6 月下旬から 8 月下旬までおおむね -80°C 以下の気温となった. 図 7 における 4 月下旬から 5 月上旬にかけての 200 hPa から下層における気温の急激な低下は, 図 8 に示す風の南北成分の観測結果で 4 月から 5 月にかけて南風成分が卓越していることに対応している. 図 7 における 6 月中旬の 200 hPa から下層における気温の急激な上昇は, 図 8 に示す風の南北成分の観測結果で 6 月から 7 月にかけて北風成分が卓越していることに対応している.

成層圏突然昇温は極夜明けの時期に観測されるが, WMO への通報基準である「最大上昇温度が $25^{\circ}\text{C}/7$ 日以上の上昇」は, 9 月上旬から 11 月中旬にかけて 10 事象を観測した. 特に, 20 hPa 指定気圧面において 10 月 17 日から 10 月 22 日にかけて 47.7°C の昇温となった.

3.4. RS11G 型 GPS ゾンデの性能試験

第 57 次隊では, 当時, 昭和基地で使用していた RS-06G 型 GPS ゾンデ (以下 06G 型) か

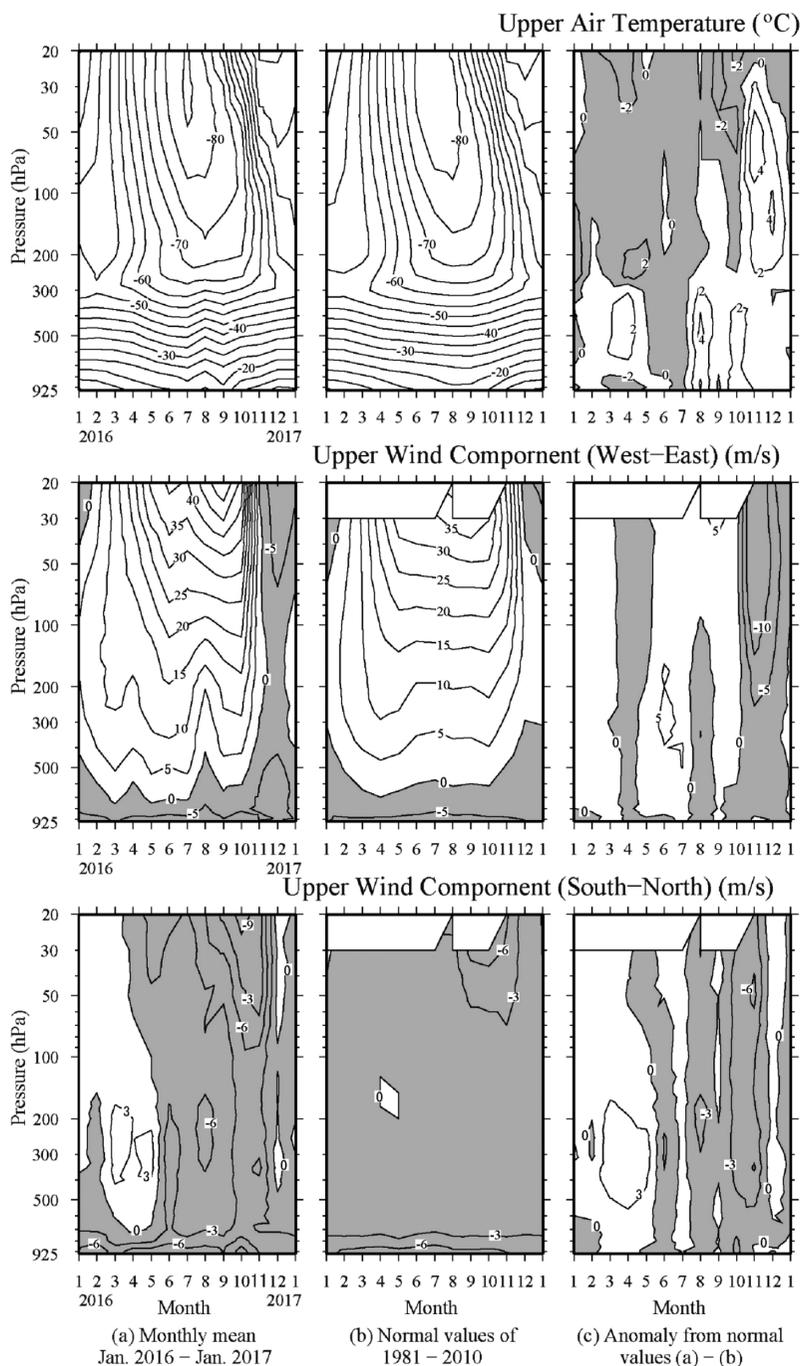


図 8 指定気圧面における気温（上段）と風速の東西成分（中段）・風速の南北成分（下段）の観測結果。（a）月平均値，（b）平年値（1981年～2010年），（c）平年値からの偏差。

Fig. 8. Annual variations in upper air temperature (°C) and upper wind components (m/s) (left), normal values (1981–2010) (middle), and anomalies (right).

ら次期観測器として使用を検討していたRS-11G型GPSゾンデ（以下11G型）について性能試験を行った。試験方法は、06G型と11G型を連結して飛揚し、同時に観測データを取得し、風向風速は、同一高度面、気温・湿度については同一気圧面で比較する方法で一年を通して29回実施した（うち2回は、オゾンゾンデ観測時に試験を実施）。性能試験の結果、両測器間の観測データについて、地上から10hPa周辺にわたり大きな差異は見られなかった。

4. オゾン観測

4.1. 概要

ドブソン分光光度計を用いたオゾン全量観測及びオゾン反転（高度分布）観測、ECC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（高度分布）観測及びオゾン高度分布観測は気象棟で、地上オゾン濃度の連続観測は清浄大気観測室で行った。オゾン観測で使用した観測機材を表10に示す。

オゾン全量観測、オゾン反転観測及びオゾンゾンデ観測結果は、毎月、電子メールで気象庁へ報告した。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、オゾンホール及びその前後の時期（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のウェブサイトで公開された。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

表 10 昭和基地におけるオゾン観測器材。
Table 10. 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 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	GPSゾンデ	RS-06G(E)	気圧 1050~3hPa 気温 +40~-90℃ 湿度 1~100%RH 風向 0~360° 風速 0~200m/s	RS-06G型GPSゾンデと同様（表6参照）
	オゾンセンサ	ECC-1Z	mPa	飛揚前点検で性能確認・ポンプ効率修正係数を計算 反応液（ヨウ化カリウム溶液）
	気球	T2000		2000g気球 標準浮力：3000g
	巻下器 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	EBARA EG3000F	0~200ppbv	紫外線吸収法、最小感度0.1ppbv、 15秒サンプリング

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 反応性ガス世界資料センター (WDCRG) へ送られた。

4.2. オゾン全量観測

4.2.1. 観測方法と測器

オゾン観測指針 オゾン全量・反転観測編 (気象庁, 1991) に準じ、ドブソン分光光度計 (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。ただし、測器の保護のため、降雪や強風時は観測を中止した。

太陽光による観測は太陽北中時と午前・午後各 2 回の計 5 回実施を基本とし、午前・午後の観測時刻は μ (オゾン層を通過する光の垂直路程に対する相対的な路程) により決定した。太陽高度が高くなる時期については、 $\mu = 1.5, 2.5$ 及び 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、太陽高度が低くなる時期については、 $\mu = 4.5, 5.5$ 及び 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) を用いて観測を行った。季節によっては、1 日のなかで AD 波長組と CD 波長組の両方の観測を実施するが、太陽北中時の μ を基準として、より μ が小さい時刻の観測を優先した。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 波長組による天頂散乱光観測のみを実施した。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 8-23 で μ が小さい時刻を中心に AD 波長組による月光観測を行った。

4.2.2. 観測経過

第 56 次隊に引き続き、ドブソン分光光度計 Beck119 を用いてオゾン全量観測を行った。この Beck119 は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り、昭和基地での約 3 年間の観測を終え、検定のため国内へ持ち帰ることとなっていた。2017 年 1 月上旬、第 58 次隊が持ち込んだドブソン分光光度計 Beck122 との比較観測を実施した。比較観測の結果から Beck122 の状態が良好であることを確認し、2017 年 1 月 14 日、使用測器を Beck119 から Beck122 へ移行した。

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、実際の観測日は天候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.

	2016年												2017年	合計
	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月	1月		
全量観測日数 (太陽光)*1	21	26	22	-	-	-	15	28	20	28	31	30	221	
全量観測日数 (月光)*1	-	1	3	3	3	4	6	6	0	-	-	-	26	
反転観測日数	3	5	6	-	-	-	0	11	4	8	0	4	41	

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による全量観測を実施した場合は、それぞれの日数に加算。日代表値が存在しない日も含む。

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、その日に行われたすべ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を日代表値とした。このオゾン全量日代表値について、2016年1月から2017年1月の年変化を図9に示す。昭和基地上空のオゾン全量は、オゾンホールを目安となる220 m atm-cmを8月中旬にはじめて下回った。9月から10月にかけて、オゾン全量の少ない状態が続き、9月25日には2016年の最小値となる148 m atm-cmを記録した。11月中旬になると、オゾンホールは変形しながら移動し、昭和基地上空から離れたため、オゾン全量は短時間で回復した。

昭和基地における月平均オゾン全量の経年変化を図10に示す。最近10年に注目すると、1月から3月にかけてはおおむね横ばいで推移しているが、4月以降、特にオゾンホールの消滅時期にあたる10月と11月で年変化が大きい。

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。反転観測は、太陽天頂角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場合に成立する。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

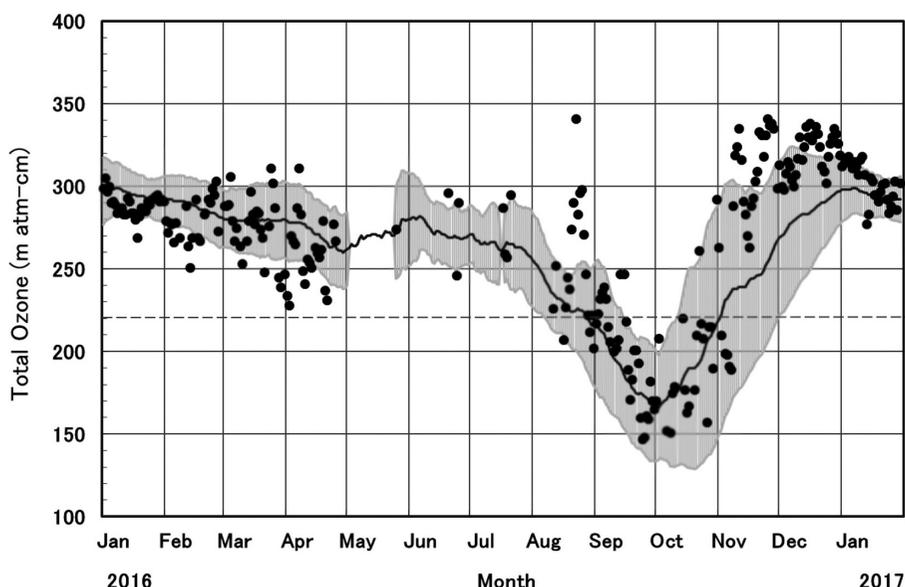


図 9 昭和基地におけるオゾン全量日代表値の年変化(2016年1月～2017年1月). 黒丸は日代表値, 実線と陰影部は1994年から2008年の平均値とその標準偏差(σ)を, 破線はオゾンホールの目安である220 m atm-cmの値を示す. 参照値のデータ数が少ないため, 参照値の標準偏差(σ)を算出していない期間がある.

Fig. 9. Annual variations in total ozone at Syowa Station (Jan. 2016–Jan. 2017). The dots are daily representative values. The black line and light gray shadings are the average and standard deviations ($\pm \sigma$) of daily representative values over the 1994–2008 period, respectively. The dashed line shows 220 m atm-cm. Standard deviations are not calculated for days with a small number of observations.

5月, 6月及び7月は, 太陽高度角が低い(または太陽が昇らない)ため, オゾンの高度分布を算出するのに必要なデータセットを得られない期間となる. その前後の期間や太陽が沈まない12月上旬から1月上旬にかけても, 反転観測は成立しにくくなるが, 可能な限り観測を行った(表11).

4.3.3. 観測結果

2016年1月から2017年1月のオゾン反転観測による気層別オゾン量の高度分布を図11に示す. 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).

オゾンホール出現前は, 全層でオゾン量の変化は横ばいだったが, オゾンホール消滅後は層によって変動の幅に違いが見られた. 第4層及び第5層(63.3–15.8 hPa)では, 10月から11月にかけて急激に回復し, 特に第5層(31.7–15.8 hPa)では, 11月のオゾン量がオゾンホー

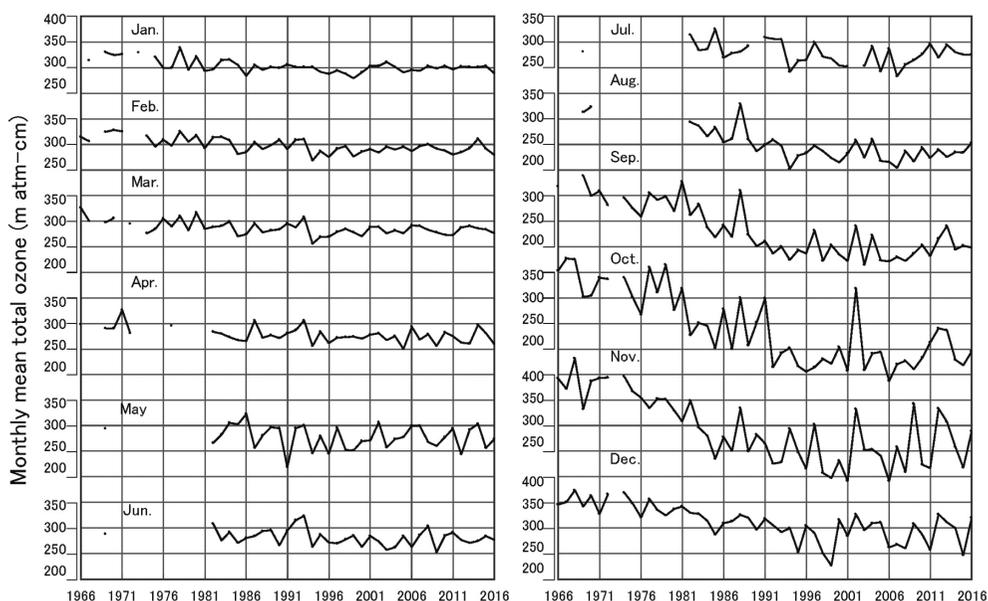


図 10 昭和基地における月平均オゾン全量の経年変化 (1966 年～2016 年).

Fig. 10. Time series of monthly mean total ozone at Syowa Station (1966–2016).

ル出現前よりも多かった。一方、地上に近い第 1 層及び第 2 層 (地表 -126 hPa) では、9 月以降も変動の幅は小さく、オゾンホール出現前後においてもオゾン量は同程度であった。

4.4. オゾンゾンデ観測

4.4.1. 観測方法と測器

オゾンゾンデ観測指針 [ECC 型編] (気象庁, 2010) に基づき ECC 型オゾンゾンデを気球に吊り下げ、上空約 35 km までのオゾン分圧、気圧、気温、風向・風速及び気温及び -40°C に達す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 GPS ゾンデとオゾン測定用のオゾンセンサを組み合わせ使用した。大気中に含まれるオゾンとオゾンセンサ中の反応液との化学反応で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オゾンセンサの性能を確認した。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。また、5 月から 10 月は、オゾンゾンデの到達高度が低下

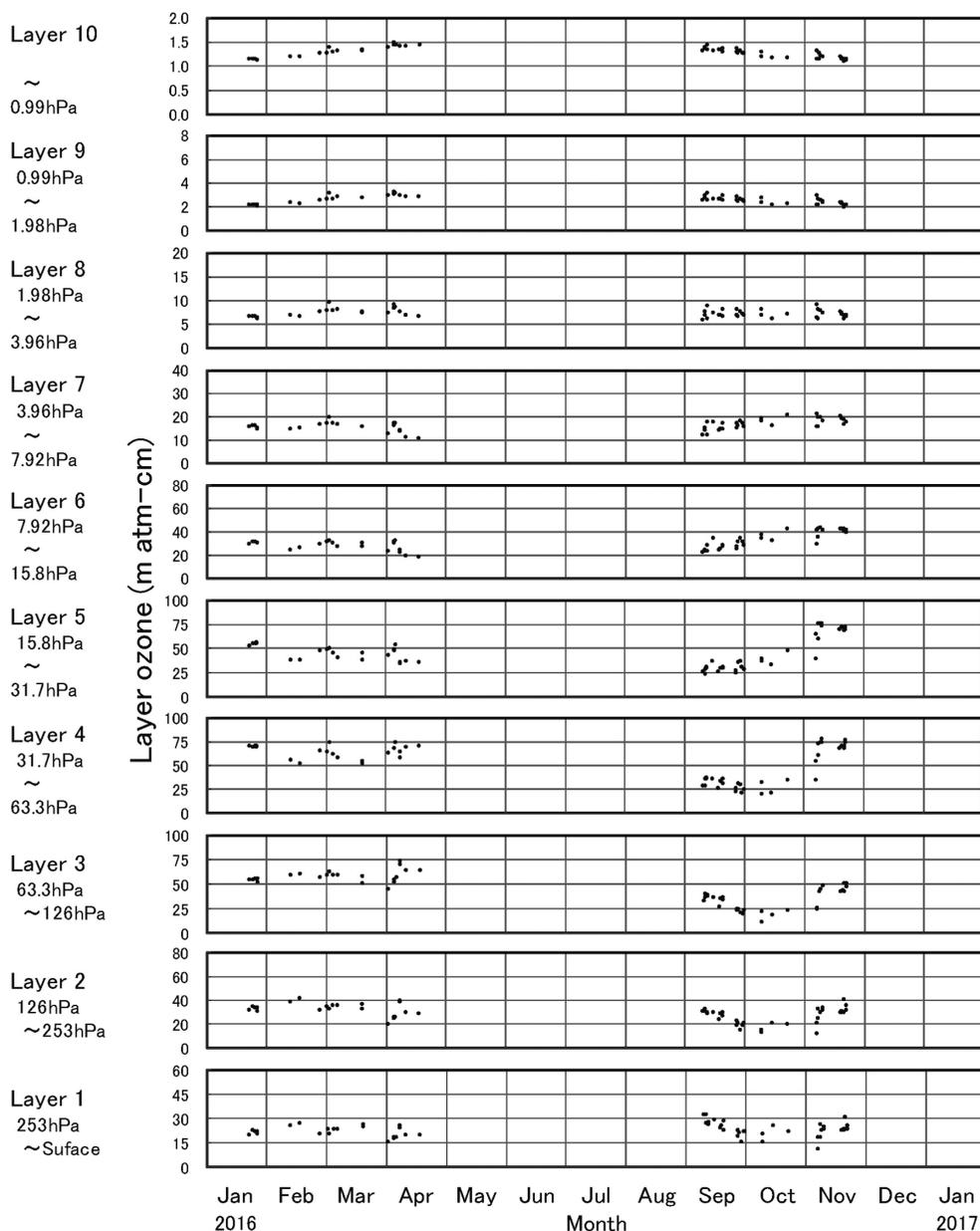


図 11 昭和基地における反転観測による気層別オゾン量 (2016 年 1 月～2017 年 1 月).
 Fig. 11. Amount of ozone in the selected layers obtained by Umkehr observations at Syowa Station (Jan. 2016–Jan. 2017).

するため、高層気象観測と同様に気球の油漬けを行った。さらに、上空の気温が -80°C を下回る 4 月から 11 月には、反応液の凍結を防ぐために、第 56 次隊と同様にオゾンセンサ内部

にウォーターバッグを入れて保温する、オゾンセンサ内部にアルミシートを入れる、電池収納部の隙間に蓋をする低温対策を行った。また、一年を通して低温によるGPS測位センサ不良を防止するため、ラジオゾンデ内部にウォーターバッグを入れて保温した。

観測は原則として、地上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った。観測回数は各月2回以上とし、オゾンホール及びその前後の時期（7月から12月）には観測間隔を密にした。

4.4.2. 観測経過

第57次隊ではオゾンゾンデを50回飛揚した。オゾンゾンデの観測状況について、月毎の観測日と観測終了気圧を表12に示す。実施した50回の観測は、すべて観測成立基準を満たしており、月平均値算出等の統計処理や世界オゾン紫外線データセンター(WOUDC)へのデータ報告を行った。また、昭和基地では、オゾンセンサの電源として注水電池を使用している。これは、注水電池が発する熱量が大きいため、上空の気温が -80°C を下回る南極のような環境において反応液の凍結を防ぐ効果が得られるため使用されてきた。しかし、注水電池は2017年に生産停止となることから、第57次隊では、注水電池にとって代わるオゾンセンサの新たな電源としてリチウム電池を13個持ち込み、観測に使用可能か否か試験を行った。試験は、上空の気温が -80°C を下回る低温期にリチウム電池を使用し実施した。試験の結果、オゾンセンサ内部に入れるウォーターバッグ内の水の温度を調整することで反応液を凍結させることなく上空35kmまで観測できることが分かった。

また、観測時に使用する高層気象観測用のラジオゾンデ(RS-06G(E)型：以下06G(E)型)

表 12 オゾンゾンデ観測状況。

Table 12. Dates of observations and attained heights of ozonesonde.

年 月	2016年					
	2月	3月	4月	5月	6月	7月
日 観測	12 5.3	2 5.0	1 4.8	4 12.4	7 8.6	2 4.4
終了	21 4.6	19 7.8	11 4.6	26 6.5	12 7.1	10 7.4 *1
気圧 (hPa)			18 20.1 *1		20 7.1	20 8.1 23 5.9
年 月	2016年					2017年
	8月	9月	10月	11月	12月	1月
日 観測	4 6.7	2 8.7	1 7.9 *1	4 9.1	3 4.7	7 60.9
終了	11 96.4	8 11.8	10 7.1	6 3.3 *1	7 4.9	13 9.3
気圧 (hPa)	17 7.6	12 6.3 *1	15 8.3 *1	9 4.5	15 5.6	22 13.1 *1
	19 6.5 *1	16 7.0 *1	20 9.4	12 4.2	23 11.8	
	27 11.8 *1	20 6.8	26 10.4 *1	17 9.1	29 7.0	
	29 5.6 *1	23 7.0	28 25.9	22 4.5		
		26 11.0 *1 *2		27 4.3		

*1：オゾンセンサのポンプ駆動電池にリチウム電池を使用

*2：RS-11G型(オゾンゾンデ観測用)GPSゾンデとの連結飛揚

が、数年内に生産停止になることから、06G(E)型の後継機である RS-11G 型（以下:11G 型）を 2 台持ち込み、06 G(E)型と 11G 型を連結飛揚し、試験を行った。試験の結果は、オゾン濃度において 11G 型と 06G 型に大きな差異は見られず良好であった。

4.4.3. 観測結果

2016 年 2 月から 2017 年 1 月までのオゾン分圧の月別高度分布を図 12 に示す。

オゾン分圧は通常、高度 100-30 hPa 付近で最大となる高度分布を示す。この高度で 2-8 月に約 10 mPa 以上となっていたオゾン分圧が、8 月から減少し、9 月は、50-30 hPa を中心にオゾン分圧の減少が顕著に見られた。また、オゾンホールが最も拡大した 10 月は、150-40 hPa を中心に 5 mPa を下回る程減少した。11 月には、オゾンホールが縮小し、各高度においてオゾン分圧が増加したが、150-100 hPa 周辺で 5 mPa を下回った。

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実施した（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入口からテフロン配管を通して大容量ポンプで地上付近の大気を吸引し、さらにオゾン濃度計（荏原実業社製 EG-3000F）内のポンプにより流量毎分 1.5 リットルで同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で 15 秒ごとに測定した。

オゾン濃度計は一年ごとに国内での点検や校正が必要なため 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校正を行った後、再び昭和基地に持ち込んでいる。第 57 次隊では、第 56 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（Dylec 製 MODEL1100）との相互比較を行った後に、観測に使用した。測器の運用については、不慮の障害に備えて、通常は現用器 1 台のみで観測を行い、もう 1 台は動作を停止させておくという形態を採用した。また、測器感部の経年変化の可能性を考慮して、半年で現用器を切り替えた。

4.5.2. 観測経過

2015 年 12 月 31 日から 2016 年 2 月 1 日まで、第 57 次隊で持ち込んだオゾン濃度計 2 台（測器番号：9020075、9020077）と第 56 次隊で使用したオゾン濃度計 2 台（測器番号：A-1781-1、A-1781-2）との相互比較（オゾン発生器により一定のオゾン濃度ガスを各濃度計に流して出力を比較）及び比較観測を行った。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 9020075 を現用器とした。

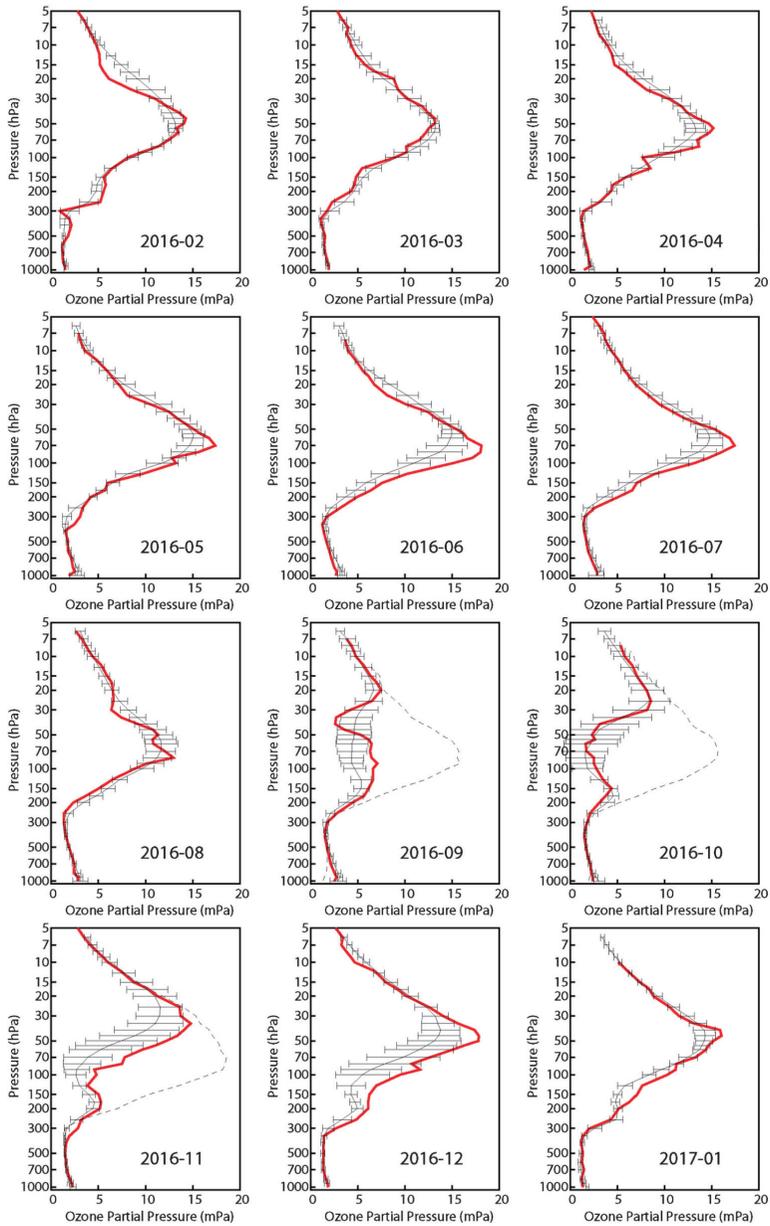


図 12 昭和基地におけるオゾン分圧の高度分布 (2016年2月~2017年1月). 太実線は月平均オゾン高度分布, 細実線は1994-2008年の累年平均オゾン高度分布. 破線はオゾンホールが明瞭に現れる以前の月平均値 (1968-1980年平均値) [9-11月のみ]. 横細実線は1994-2008年累年平均オゾン高度分布の標準偏差.

Fig. 12. Vertical distribution of ozone partial pressure observed by ozonesonde at Syowa Station (Feb. 2016-Jan. 2017). 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).

7月25日から7月26日にかけて9020075と9020077との相互比較及び比較観測を行い、濃度計間の出力の差が2ppb以内であることを確認したため、8月1日から9020077を現用器とした。

12月27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。

年間を通じた保守として、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。さらに、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)が大きくなるので、風向・風速を参考にして欠測期間を判断した。例えば、越冬期間を通して弱い西風や風速が2m/s未満程度で風向が定まらないような場合は、風上となる基地からの汚染の影響を大きく受けた。また、南極観測船しらせが基地に接近・接岸していた期間は、弱風時に南極観測船しらせの排気ガスの影響を受ける場合があった。ほかにも海氷上の車両やコンテナヤードの作業等から影響を受けることもあった。データが大きくばらついたとき、上記のような汚染源があった場合には汚染された空気の影響を受けたと判断し、欠測として特別値の計算から除いた。そのほかに、一年を通して、オゾン濃度計と収録用PCの間の通信異常によりデータを収録できず欠測となることがあった。

4.5.3. 観測結果

2016年2月から2017年1月までの地上オゾン濃度特別値を図13に示す。特別値は、4.5.2.で述べたように、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、日別値(図省略)は1時間に120個以上の15秒値が得られた場合の特別値を平均して求めた。

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るが、第57次隊でも同様の傾向が見られた。また、極夜明けに短時間の低濃度オゾンが観測されることがあり(青木, 1997; 江崎ほか, 2000; 江崎ほか, 2010)、第57次隊でも7月から9月にかけて同様の現象が観測された。

4.6. 2016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定量的に表現するため、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、オゾン欠損量を定義し、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, 2017)。2016年のオゾンホールは8月上旬に観測され、8月中旬に急速に拡大した。9月28日には2016年の最大面積である2,270万km²(南極大陸

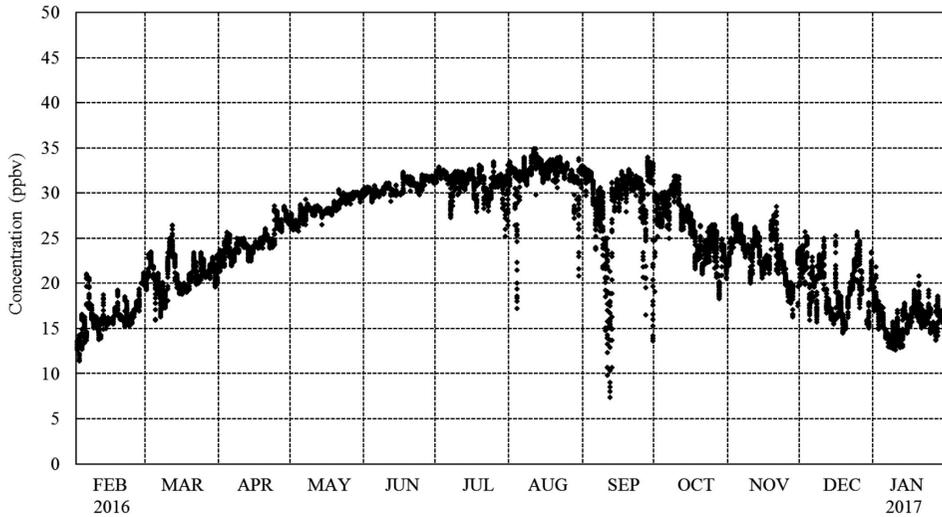


図 13 昭和基地における地上オゾン濃度時別値の時系列図 (2016 年 2 月～2017 年 1 月).
 Fig. 13. Time series of hourly mean surface O_3 concentrations at Syowa (Feb. 2016–Jan. 2017).

の約 1.6 倍)に達した。これは最近 10 年間(2006～2015 年)の平均値と同程度の大きさであった。また、翌 29 日には 2016 年の最大オゾン欠損量 7,600 万トンを記録した。10 月中旬以降、オゾンホールは急速に縮小し、11 月 22 日に消滅した。

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。第 40 次隊 (1999 年) からは大気混濁度を除いた下向き日射放射観測のデータサンプリングを毎秒に変更した。大気混濁度観測については、第 52 次隊 (2011 年) より測器を変更した。第 57 次隊では、これらの観測システムにより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 MK III 168 号機 (伊藤・宮川, 2001) を用いて行った。同機は第 54 次隊で持ち込んだものである。また、予備機 MK III 209 号機または MK II 091 号機を併用して観測を行った。観測の種類と使用した測器を表 13 に示す。

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,CMP21	305~2800 nm	990574 140466 160650	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	010276 131299 090043	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,CMP21	305~2800 nm	041258 160649	0.01 MJ/m ²	1 秒
	B 領域 紫外線量	紫外域日射計	KIPP&ZONEN UVS-AB-T	280~315 nm	030619 030621	0.01 kJ/m ²	1 秒
	長波長放射量	精密赤外放射計 遮へいポール	KIPP&ZONEN CG4	4.5~42 μm	010565 030642	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,CMP21	305~2800 nm	980520 140466	0.01 MJ/m ²	1 秒
	B 領域 反射紫外線量	紫外域日射計 遮へいリング	KIPP&ZONEN UVS-AB-T	280~315 nm	050635	0.01 kJ/m ²	1 秒
	長波長放射量	精密赤外放射計	KIPP&ZONEN CG4	4.5~42 μm	990001 050798	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-055 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

また、地上日射放射観測及び波長別紫外域日射観測は、基本観測棟建設による観測環境悪化を避けるため、2017年1月に観測場所を気象棟屋上から観測棟屋上に観測測器を移設した（移設の詳細については、5.6.節に記載）。

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、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、2017年1月の観測機器移設後は観測棟屋上で行った（図1③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

直達日射計を太陽追尾装置に搭載して観測を行った。また、オゾン全量観測時刻付近で、太陽面に雲がかかっている観測値を選び、ホイスナー・デュボアの混濁係数を求めた。

(c) 精密全天日射計を用いた散乱日射量の連続観測

太陽追尾装置に搭載した精密全天日射計を用いて、太陽からの直射光を遮蔽球で遮ることにより観測した。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して測器感部に入射する太陽からの直射光を遮るためのものである。

(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、広帯域（全天型）紫外域日射計用の外部標準ランプ点検装置（伊藤・高野、2006）による外部標準ランプ点検を実施するとともに、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、測器定数を月ごとに求め補正した（柴田ほか、2000）。

(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

太陽追尾装置に搭載した精密赤外放射計を用いて、日中の測器感部の温度上昇による誤差を少なくするため、散乱日射量の連続観測と同様に遮蔽球により太陽からの直射光を遮りながら観測した。

5.2.2. 観測経過

2016年2月1日に第56次隊から観測を引き継ぎ、第57次隊のデータ収録を開始した。

ブリザード等の強風時は測器保護のため太陽追尾装置を停止し、一部の観測で欠測が生じた。観測棟屋上への移設準備のため、2016年10月1日より観測棟屋上に予備器を設置し試験観測を開始した。12月29日に第58次隊が持ち込んだ精密全天日射計、全天型紫外域日射計、直達日射計を観測棟屋上に設置し気象棟屋上の正器との並行観測を開始した。2017年1月8日に移設のため気象棟屋上の各種機器を取り外し、翌9日より観測棟屋上にて正規観測を開始した。2017年1月24日に昭和基地計画停電により欠測が生じた。

これらのほかは、おおむね順調であった。

5.2.3. 観測結果

下向き日射放射の各観測項目（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14に示す。

2016年の下向き日射放射観測は、以下に述べるように各観測項目とも例年とほぼ同様な年変化であった。全天日射量は太陽高度が低くなるほど減少し、太陽が昇らない冬季には 0MJ/m^2 となっているが、下向き赤外放射量については、冬季においてもおおむね 10MJ/m^2 以上の放射量が観測された。これは、下向き赤外放射量では大気分子や雲から射出される放射を観測していることによる。紫外域日射量については、全天日射量とおおむね同様の傾向が見られているが、11月に日積算値の急減が見られた。これは上空のオゾン全量の変化と逆の傾向を示しており、この期間の上空のオゾン量の急激な増加により紫外線が多く吸収されたことを反映している。

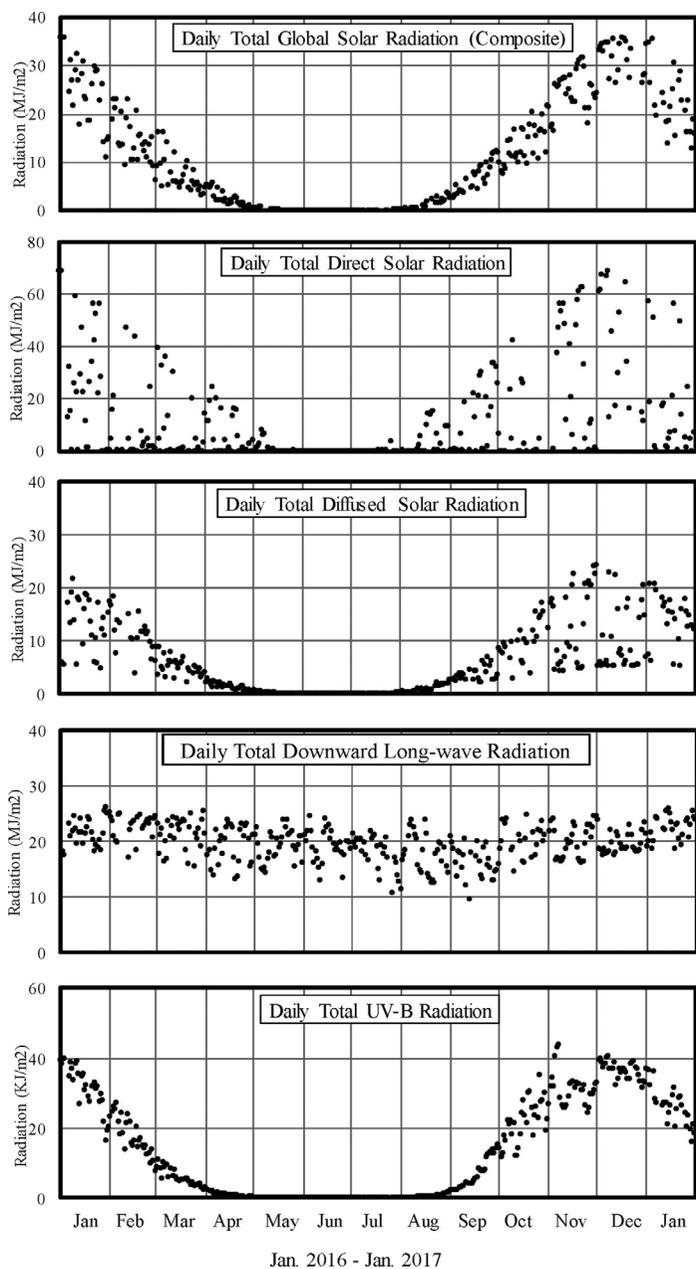


図 14 昭和基地における下向き日射放射量日積算値の年変化 (2016 年 1 月～2017 年 1 月)。(a) 全天日射量, (b) 直達日射量, (c) 散乱日射量, (d) 長波長放射量, (e) B 領域紫外線量。

Fig. 14. Annual variations in daily integrated values of downward radiation components at Syowa Station (Jan.2016–Jan.2017).

(a) Daily total global solar radiation (Composite), (b) Daily total direct solar radiation, (c) Daily total diffused solar radiation, (d) Daily total downward long-wave radiation, (e) Daily total UV-B radiation.

5.3. 上向き日射放射観測

5.3.1. 観測方法と測器

観測場所は観測棟の東北東約 120m の積雪上であり、第 46 次隊により設置された観測架台を第 57 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、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）。

(a) 精密全天日射計を用いた反射日射量の連続観測

太陽高度角が低いとき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

データ処理は、下向き紫外域日射量の観測と同様に行った。反射日射量の観測と同様に、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、測器感度の変化を追跡するため、下向き日射放射観測と同様に外部標準ランプ点検を実施した。

(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

2016 年 2 月 1 日に第 56 次隊から観測を引き継ぎ、第 57 次隊のデータ収録を開始した。

2017 年 1 月 8 日に測器交換のため反射日射量観測で使用していた精密全天日射計を取り外し、気象棟屋上で使用していた精密全天日射計を設置した。1 月 24 日に昭和基地計画停電により欠測が生じた。

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 57 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。上向き観測用測器はこれまで水平ずれが度々発生し、また受光面を下向きに吊すように設置することにより水平合わせが難しく時間を要することが課題となっていた。その対策のため 2016 年 1 月に水平調整板を設置した。設置以降、第 57 次隊の越冬期間中に水平ずれは見られなかった。

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 15 に示す。

2016 年の上向き日射放射観測は、下向き日射放射観測と同じく例年とほぼ同様な年変化傾向であった。

全天日射量に対する反射日射量の割合は、夏季で 7 割程度であるが、太陽高度が低くなるほどこの割合は増加し、極夜前後の時期では 9 割以上に達した。これは、冬季は太陽高度が低く、また、積雪粒子の大きさが気温が高い夏季に比べて小さいため、積雪による日射の反射率が大きくなることを反映している。

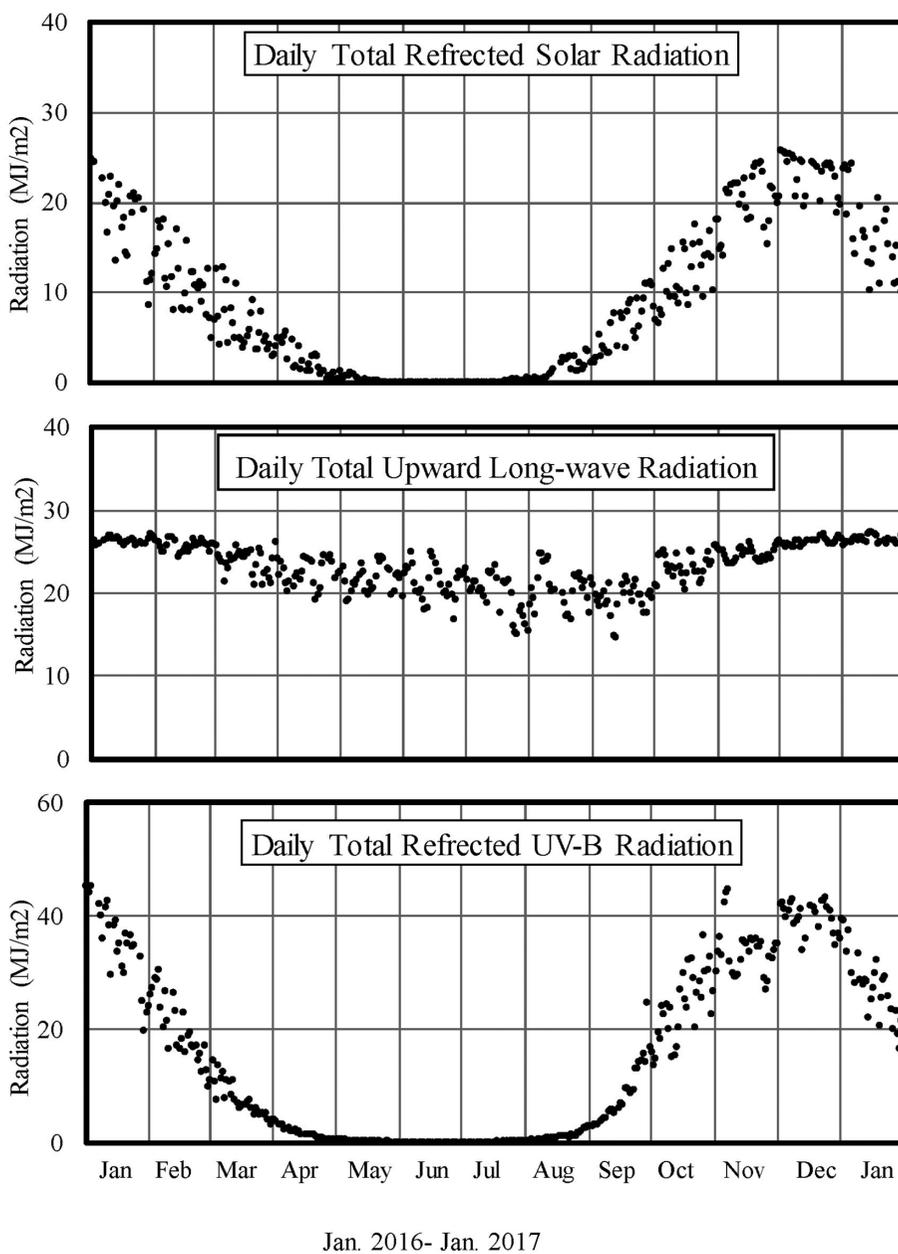


図 15 昭和基地における上向き反射放射量日積算値の年変化 (2016 年 1 月～2017 年 1 月).
 (a) 反射日射量, (b) 長波長放射量, (c) B 領域紫外線放射量.
 Fig. 15. Annual variations in daily integrated values of surface upward radiation components at Syowa Station (Jan.2016–Jan.2017).
 (a) The daily total reflected solar radiation, (b) Daily total upward long-wave radiation, (c) Daily total reflected UV-B radiation.

上向き赤外放射量は、下向き赤外放射量と比較すると日毎のばらつきは小さい。ただし、冬季については天候の変化が激しく、それに伴い地表面温度の変化が増大するため、夏季と比較した日積算値のばらつきの割合が大きくなる。

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、11月に日積算値の急減が見られた。これも昭和基地周辺の上空のオゾン全量の急激な増加に起因している。

5.4. 波長別紫外域日射観測

5.4.1. 観測方法と測器

紫外域日射観測指針（気象庁、1993）に準じ、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、290～325 nm（UV-B 領域及び 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 56 次隊同様、気象棟屋上である（図 1 ①の位置）。ブリザード等の強風時は、測器保護のため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の室内に退避した。測器の光学系全体の波長感度を監視するため、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。

昭和基地では、気象棟近くに基本観測棟の建設が進行中であり、観測環境の悪化が明らかであった。この回避策として、2016 年 11 月、MK III 168 号機を観測棟屋上へ移設し、観測を継続した。

5.4.2. 観測経過

2016 年 2 月 1 日に第 56 次隊から MK III 168 号機による観測を引き継ぎ、第 57 次隊の観測を開始した。また、太陽直射光を遮る遮蔽装置を用い、第 54 次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。

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 16 に示す。各波長帯とも、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い。太陽高度が高く、日照時間が長い夏至（2016 年は 12 月 21 日）の頃に年間最大値が現れる傾向がある。2016 年 1 月から 2017 年 1 月までの日積算値は、310-315 nm、315-320 nm 及び 320-325 nm では、12 月 8 日に 2016 年の最大値を記録した。一方、短波長側は太陽高度角や日照時間よりもオゾン全量の影響を受けやすい。290-295 nm、295-300 nm 及び 300-305 nm では、11 月 7 日に 2016 年の最大値を記録した。翌 8 日には、オゾン全量が急激に回復しており、短波長側の紫外域日射量の多い時期とオゾン全量の少ない時期はよく対応している。

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

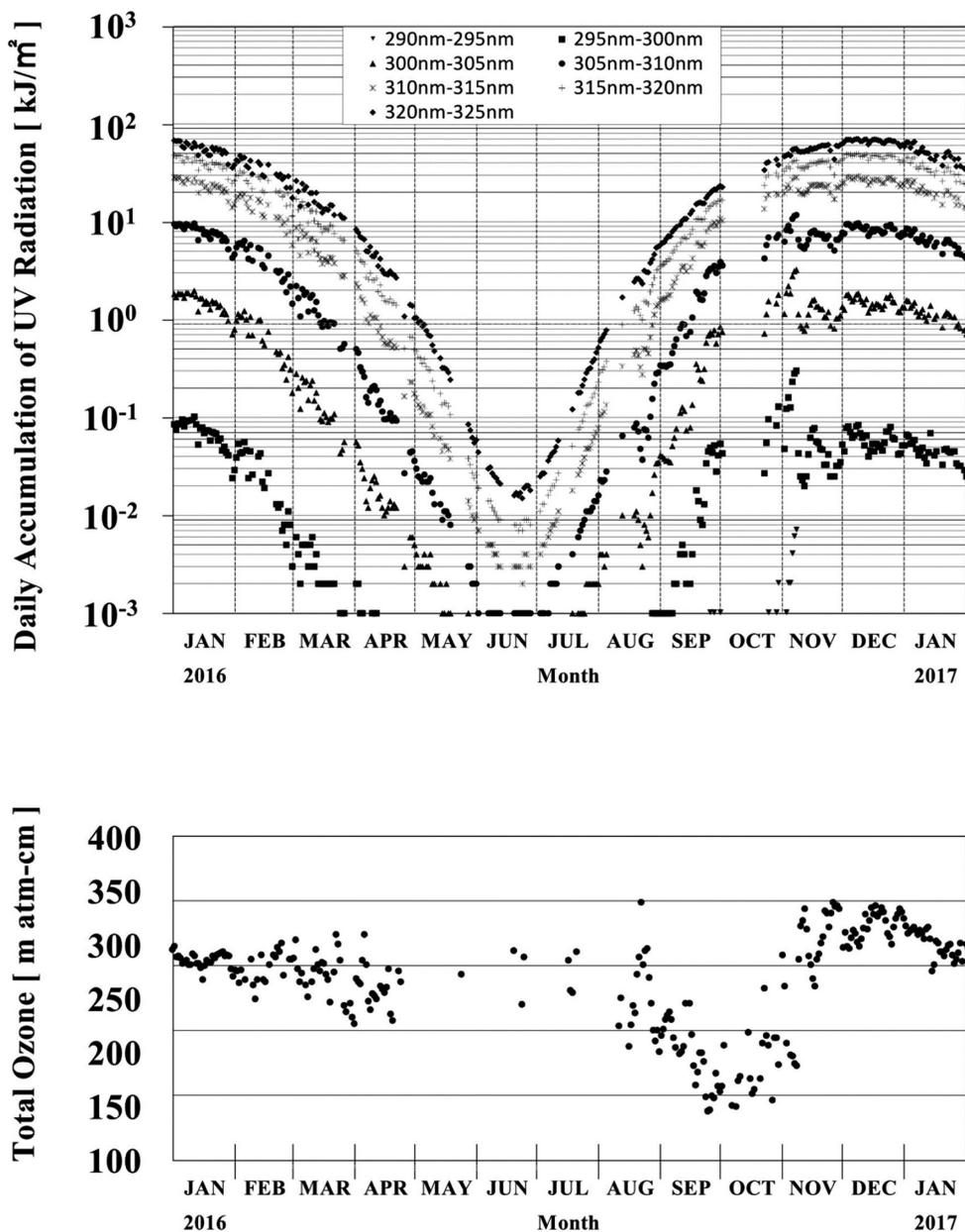


図 16 昭和基地における波長別紫外域日射量の日積算値(上図)とオゾン全量(下図)
 (2016年1月~2017年1月).

Fig. 16. Daily accumulated ultraviolet radiation integrated for each wavelength band (above)
 and total ozone amount (below) at Syowa Station (Jan. 2016-Jan. 2017).

UV インデックスがある（環境省，2015）．昭和基地における2016年1月から2017年1月の日最大UVインデックスの年変化を図17に示す．UVインデックスは，太陽高度が低くなるほど小さくなり，太陽が昇らない極夜期には0となり，極夜明けでオゾン全量が少なく，かつ太陽高度が高い期間に非常に大きくなる傾向がある．UVインデックスは11月7日に2016年の最大値となる8.6を記録した．この値は，WHO（2002）の指標で「Very High（非常に強い）」に相当し，日中の外出をできるだけ控えるレベルである．同様の強さを観測した日はほかに2日のみであり，11月から翌年の1月にかけて，紫外線の強さはおおむね「High（強い）」であった．2016年のオゾンホールは，10月中旬以降に急激に縮小し，11月22日には消滅した．このように，オゾンホールの消滅過程でオゾン全量が少ない時期と，紫外線が強くなった時期はよく対応している．

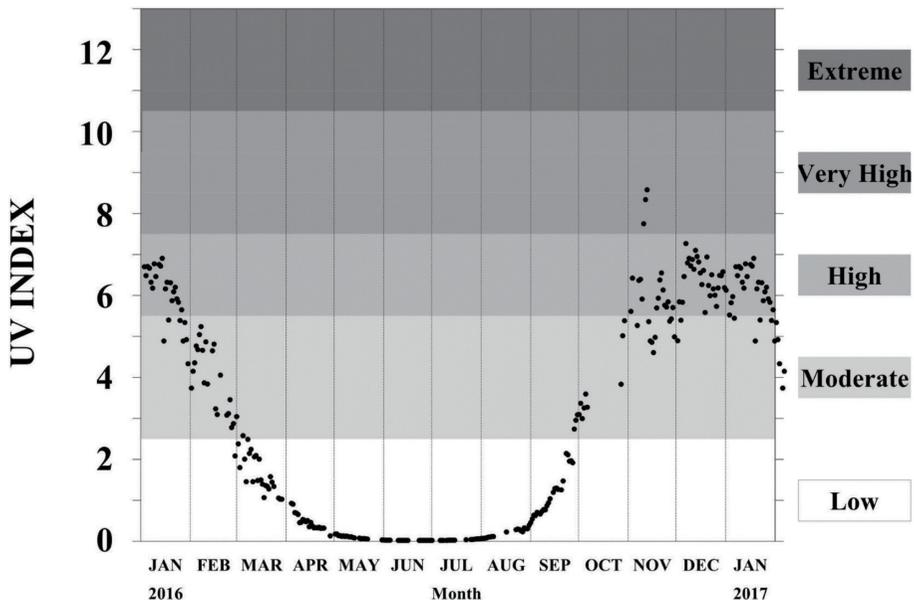


図 17 昭和基地における日最大 UV インデックスの年変化（2016 年 1 月～2017 年 1 月）．

Fig. 17. Annual variation of daily maximum UV index at Syowa Station (Jan. 2016–Jan. 2017).

5.5. 大気混濁度観測

5.5.1. 観測方法と測器

サンフォトメーター（Precision Filter Radiometer (PMOD/WRC, 2007)，以下「PFR」），及び下向き日射放射観測の直達日射計の観測値を用いて大気混濁度観測を実施した．

PFR はオゾン全量観測時刻付近で太陽面に雲がないときに波長別（368, 412, 500, 862 nm の 4 波長）の直射光強度を測定することにより，波長別のエアロゾルの光学的厚さ（Aerosol Optical Depth, 以下「AOD」）を求めることができる．また，4 波長（368-862 nm）

の AOD からは、オングストロームの波長指数 Ångstrom a (以下「 a 」), 及び混濁係数 Ångstrom β (以下「 β 」) が求められる。AOD 算出に用いるレーリー散乱式中の定数については、気象庁の大気混濁度観測と基準を合わせるため、第 40 次隊以降 0.00864 を用いた (東島ほか, 2003)。

直達日射計では全波長 (300-2800 nm) 域の大気混濁度観測を実施した。

5.5.2. 観測経過

2016 年 2 月 1 日に第 56 次隊から観測を引き継ぎ、第 57 次隊の観測を開始した。測器は正副 2 台 (正機: N59 号機, 副機: N55 号機) を設置し、互いのデータを比較することにより正機データの品質維持を行った。3 月 9 日以降、気温が約 -15°C を下回った際に副機において受光窓内部に着霜が見られた。また、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数回発生したが、パソコンを再起動させることで復旧した。なお、この間のデータはデータロガーに蓄積されるためデータの欠測はなかった。観測棟屋上への移設準備のため、10 月 1 日に観測棟屋上に副機 (N55 号機) を設置し試験観測を開始した。12 月 30 日に第 58 次隊が持ち込んだ N53 号機を観測棟屋上に設置し、気象棟屋上の正機との比較観測を開始した。2017 年 1 月 8 日に気象棟屋上の正機 (N59 号機) を観測棟屋上に移設し、観測棟屋上にて正規観測を開始した。2017 年 1 月 24 日に昭和基地計画停電により欠測が生じた。

5.5.3. 観測結果

PFR による 4 波長の各 AOD 及び各波長の AOD から求めたオングストロームの波長指数 a , 及び混濁係数 β の年変化を図 18 に示す。2016 年は、4 波長の AOD が夏以降に減少し、春はばらつきが多く比較的 AOD の大きな日もあったが、夏にかけてやや減少する傾向であった。エロゾルの大きさに反比例する指数であるオングストロームの波長指数 a は、春から夏にかけて増加しているが、これ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ロゾルが増加していることを示している。2016 年は例年に比べ、比較的 AOD が大きい結果となった。これは、2016 年は例年よりも低気圧の接近が多く、海塩由来の粒子が多く供給された影響の可能性がある。

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 19 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。ホイスナー・デュボアの混濁係数の経年変化を図 20 に示す。2016 年も例年と同様の季節変化であった。1982 年 4 月のエル・チヨン (17.20 N, 93.12 W) での噴火の後に混濁係数の増加が見られる。また、全球的に噴出物が拡散したとされる、1991 年 6 月のピナツポ火山噴火 (15.08 N, 120.21 E) の際に混濁係数が大きく増加し、その後数年かけて平常の値に戻っている。

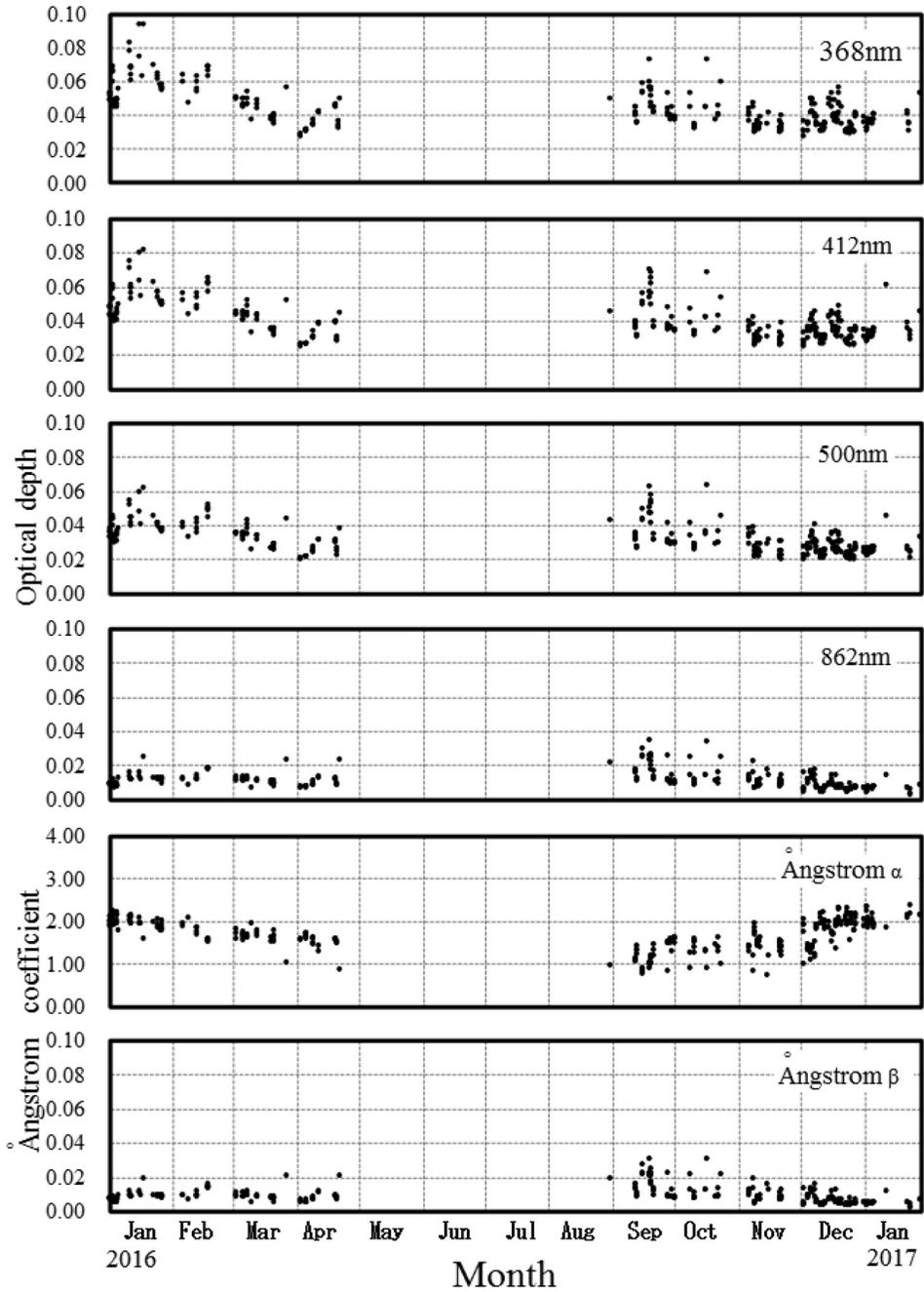


図 18 昭和基地における波長別エアロゾルの光学的厚さとオンゲストローム指数の年変化 (2016年1月~2017年1月).

Fig. 18. Annual variations of aerosol optical depth for each wavelength and Ångström coefficient at Syowa Station (Jan.2016-Jan.2017).

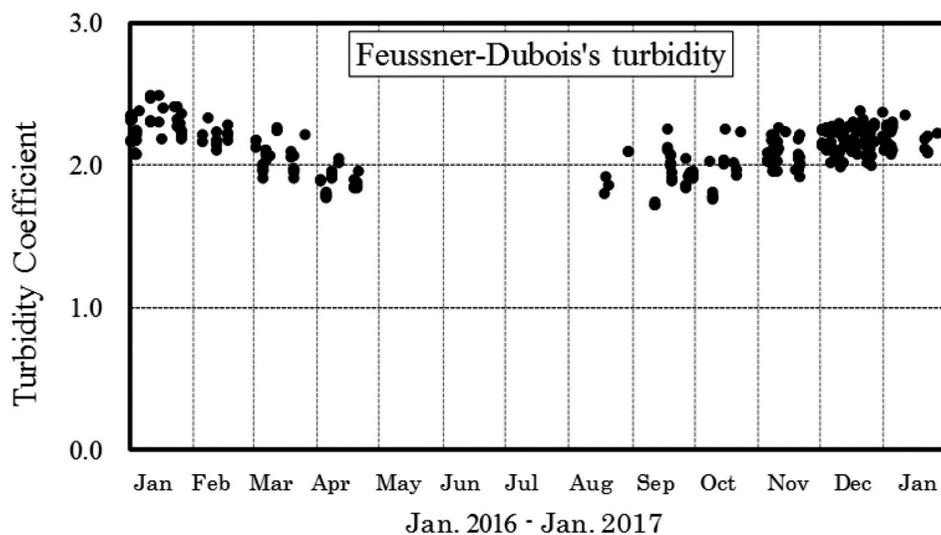


図 19 昭和基地におけるホイスナー・デュボアの混濁係数の年変化 (2016 年 1 月～2017 年 1 月).
 Fig. 19. Annual variations of Feussner-Dubois's turbidity coefficient at Syowa Station (Jan.2016–Jan.2017).

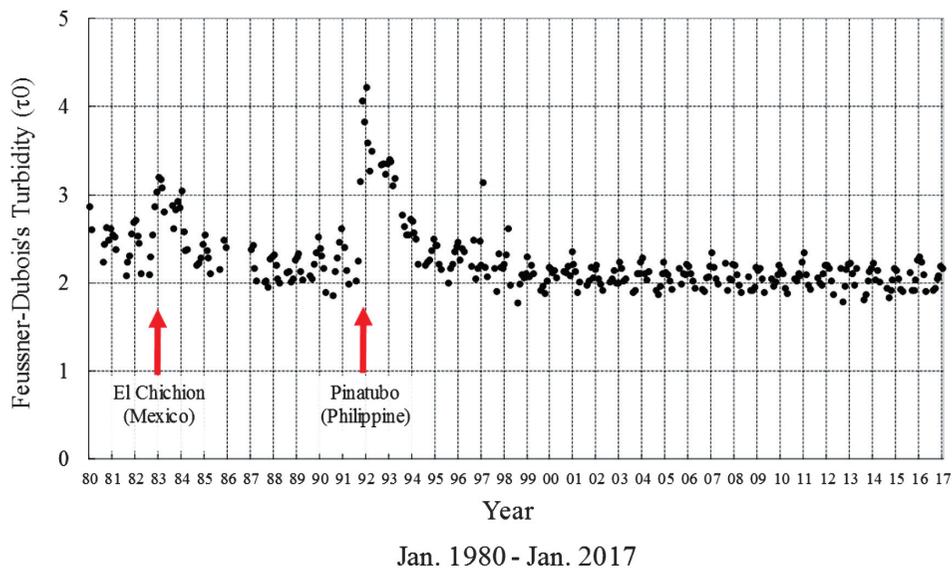


図 20 昭和基地におけるホイスナー・デュボアの混濁度経の経年変化 (1980 年 1 月～2017 年 1 月).
 Fig. 20. Time series of Feussner-Dubois's turbidity coefficient by pyrhelimeter (Jan.1980–Jan.2017).

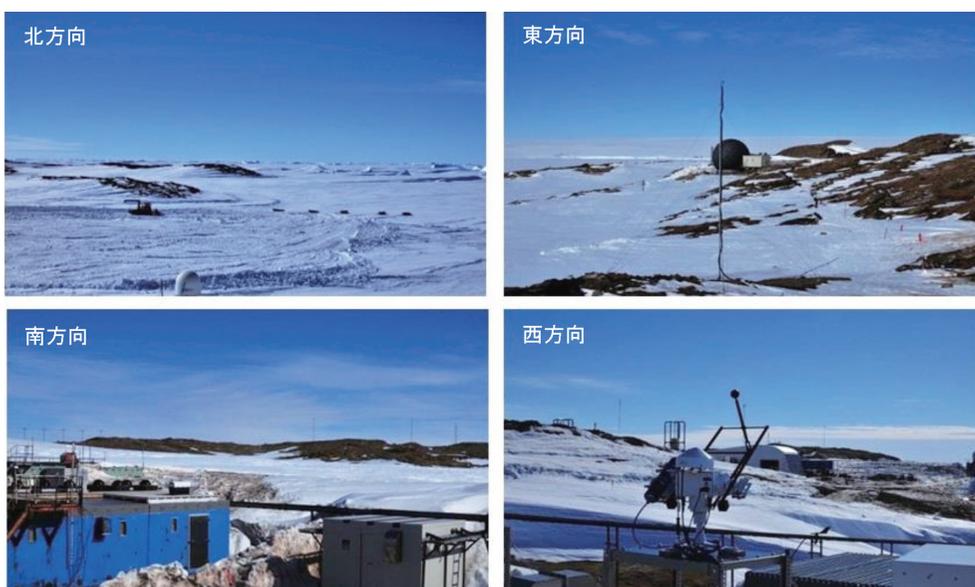


図 22 観測棟屋上から東西南北方向に水平に撮影 (左上:北方向, 右上:東方向, 左下:南方向, 右下:西方向).

Fig. 22. Taken horizontally from the observation point in the direction of east, west, south, and north (Upper left: North direction, Upper right: East direction, Lower left: South direction, Lower right: West direction).

2016 年 9 月 観測機器用架台を作製・設置

2016 年 10 月 室内から屋上へ電源ケーブル及び通信ケーブルを敷設
観測機器移設, 精密日射放射比較観測開始

2016 年 11 月 波長別紫外域日射観測本運用開始

2017 年 1 月 精密日射放射観測本運用開始

5.6.3. 移設作業

観測棟屋上にはスノコが既設されていたがスペースが不十分であったため, 第 57 次隊夏作業の一環としてスノコの拡張工事を行った。越冬中にデータロガー, 電源収納 BOX 及び観測架台の設置, 電源線等の敷設を行った上で順次観測機器を設置し, 気象棟屋上との比較観測を開始した。観測棟屋上には気水圏部門設置の観測機器や観測用の天窓があるため, 気水圏部門の観測を妨げることはないよう特に注意して場所を選定し観測機器を配置した (図 23)。

気象棟と観測棟の比較観測から得られたデータより, 移設前後で観測値に大きな差が認められないことを確認し, 観測棟屋上での本運用を開始し気象棟屋上での観測を終了した。



図 23 移設後の観測環境。
 上：観測棟屋上に設置した各種地上日射・放射観測測器（北北東方向に撮影）
 下：各測器の位置関係（上空から撮影）

Fig. 23. Observation environment after the relocation.
 Upper figure: Brewer spectrophotometer and downward radiation observation instruments after relocation (taken in north-northeast direction)
 Below: Position of each instrument (taken from the sky)

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

第 56 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と、化学輸送モデル (CTM) 実況解析図及び予想図を気象庁スーパーコンピュータシステムより SSH (Secure Shell) で取得し、解析に用いた。

(2) 各国数値予報センター等作成の天気図及び予想図

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。

(主な参照先)

① AMPS (Antarctic Mesoscale Prediction System)

(<https://www2.mmm.ucar.edu/rt/amps/>, 2020 年 1 月 23 日確認)

② 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 23 日確認)

③ 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 23 日確認)

④ 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 23 日確認)

(3) 極軌道衛星雲画像等

NOAA 衛星受画装置により、独自に受信した赤外や可視などの衛星画像、昭和基地インターネット上の NOAA 衛星の赤外及び可視画像を天気解析に用いた。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)

ウイスコンシン大学コンボジット衛星画像

(<http://uwamrc.ssec.wisc.edu/data/view-data.php?action=list&product=satellite/composite>, 2020 年 1 月 23 日確認)

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、昭和基地インターネット上で地上気象観測実況値などと併せて提供した。

昭和基地周辺の活動以外にも、中央ドロンイングモードランド地学調査隊にトロール基地周辺の気象情報を提供した (2 月 1 日から 2 月 16 日まで)。また、しらせの活動支援のため気象庁数値予報資料及び気象情報を提供した。また、内陸旅行隊が活動している期間は、旅行隊向けの気象情報を作成し、前述のインターネット上に掲載した (10 月 10 日から 10 月

24日まで).

7. その他の観測

7.1. 気象ロボット観測

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 S17 航空機観測拠点屋上(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。観測結果は、大陸方面における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予想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 24 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する。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 個を使用する。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する。風力発

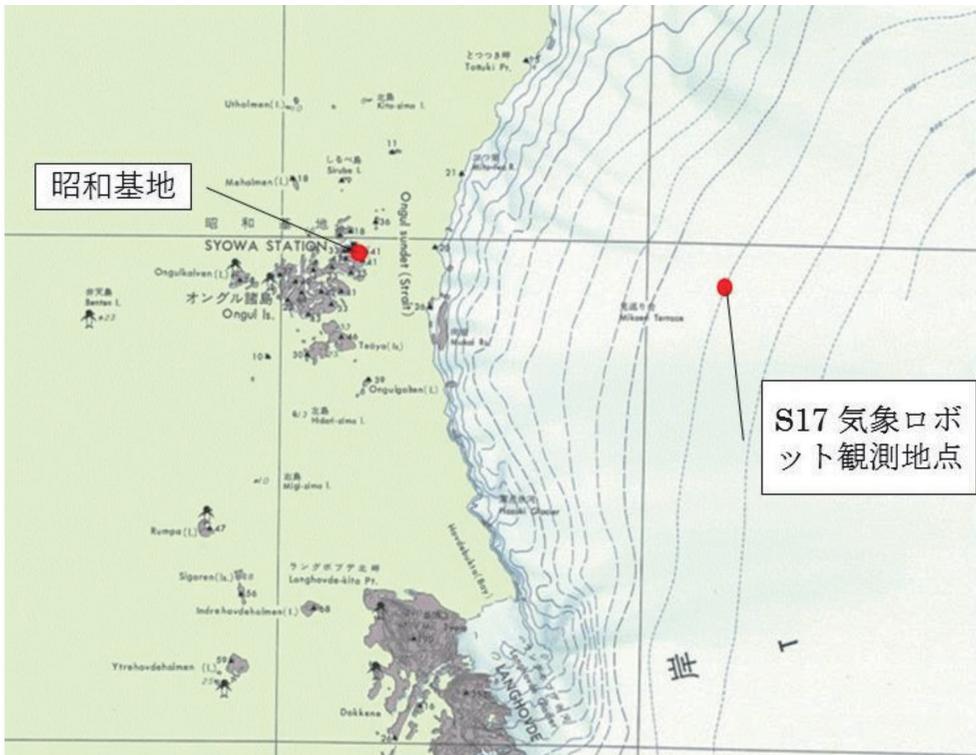


図 24 気象ロボット観測地点及び昭和基地.

Fig. 24. Locations of surface observation at S17 and Syowa Station.

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。

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	± (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	±1% (0-90%) ±1.7% (90-100%)	電気式湿度計 (CVS-HMP-155D)
風向	毎正分	±3° 以下	風車型風向風速計 (CYG-5106-M-HD)
風速	毎正分	±0.3m/s	

7.1.2. 観測経過

観測についてはおおむね順調であった。8月22～23日、10月23日、1月11日に点検を実施した。

7.1.3. 観測結果

S17のロボット気象計の平均現地気圧、平均気温、平均風速について、昭和基地の各観測データと重ね合わせた地上気象旬別経過図を図25にそれぞれ示す。両地点の標高が異なる(S17の方が約600m高い)ため、S17の現地気圧、気温は昭和基地より低く、風速は大きい。どの要素も昭和基地と同じ変化傾向が見られた。また、S17と昭和基地の間の観測値の差は、どの旬で見ても大きく異なっていた。

7.2. 内陸旅行中の気象観測

第57次隊みずほ基地旅行(以下「みずほ旅行」)(2016年10月8日～24日、全行程17日間)において、目視観測を含む気象観測を移動経路及びキャンプ地にて実施した。

図26に昭和基地、みずほ基地、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。観測方法は、雲(雲量・雲形・向き・高さ)、現在天気、大気現象及び視程は目視により観測し、気温、湿度、気圧、風向・風速を携帯気象計 Kestrel 4500 (Nielsen Kellerman 社製)を用いて観測した。観測は雪上車の影響を避けるため車両の風上側で行った。観測時間は朝、昼、夜の1日3回を基本とし、旅行隊の移動や作業状況に合わせ可能な時間に実施した。プリザード時は必要な要素のみ追加の臨時観測を行った。

本旅行での観測結果を図27に示す。

観測記録期間は2016年10月8日1330LTから10月24日1220LTである。10日から13

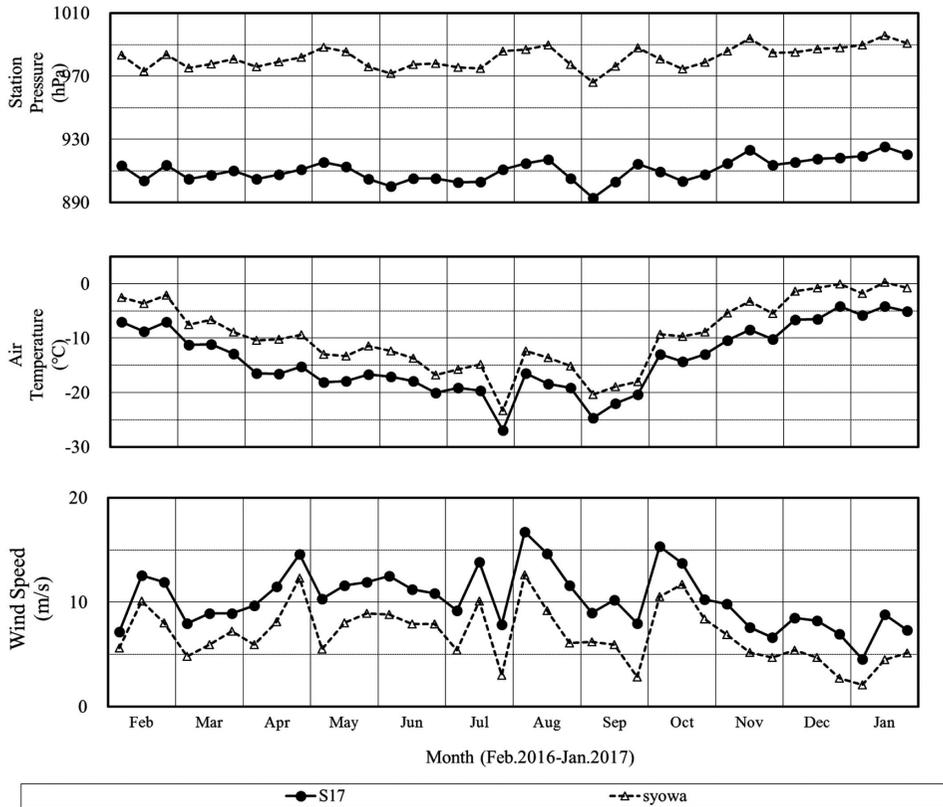


図 25 S17 観測点及び昭和基地における地上気象旬別経過図 (2016 年 2 月～2017 年 1 月).
 Fig. 25. Time series of 10-day mean surface meteorological data at S17 and Syowa Station
 (Feb.2016–Jan.2017).

日朝にかけて発達した低気圧の影響を受け、風が強まりふぶきとなった。特に 12 日は非常に強い風が吹き、視程が 3 m となった。12 日の朝と昼は屋外での気象観測が不可能であったため、風向・風速・気温・湿度・雲形を欠測した。18 日は昭和基地西海上の低気圧の影響によりふぶきとなった。旅行中の最低気温は -33.4°C (17 日 0620 LT, H240), 最大風速は 25.2 m/s (11 日 1540 LT, S21) を観測した。

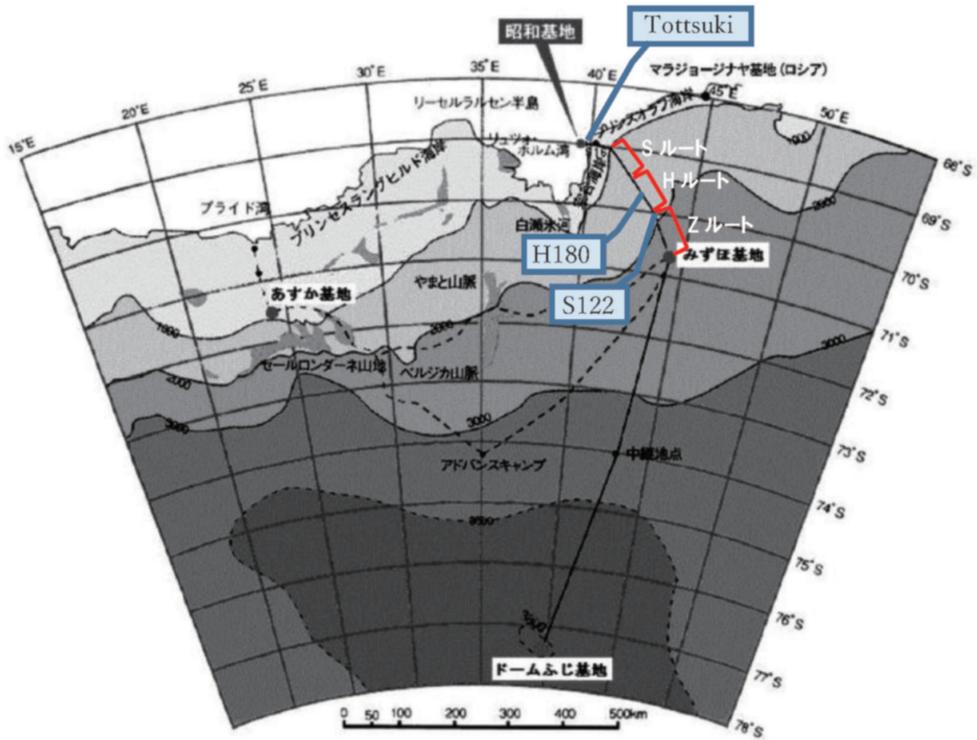


図 26 昭和基地からドームふじ基地への経路 (国立極地研究所提供図を改変).
 Fig. 26. Traverse route from Syowa Station to Dome Fuji Station.

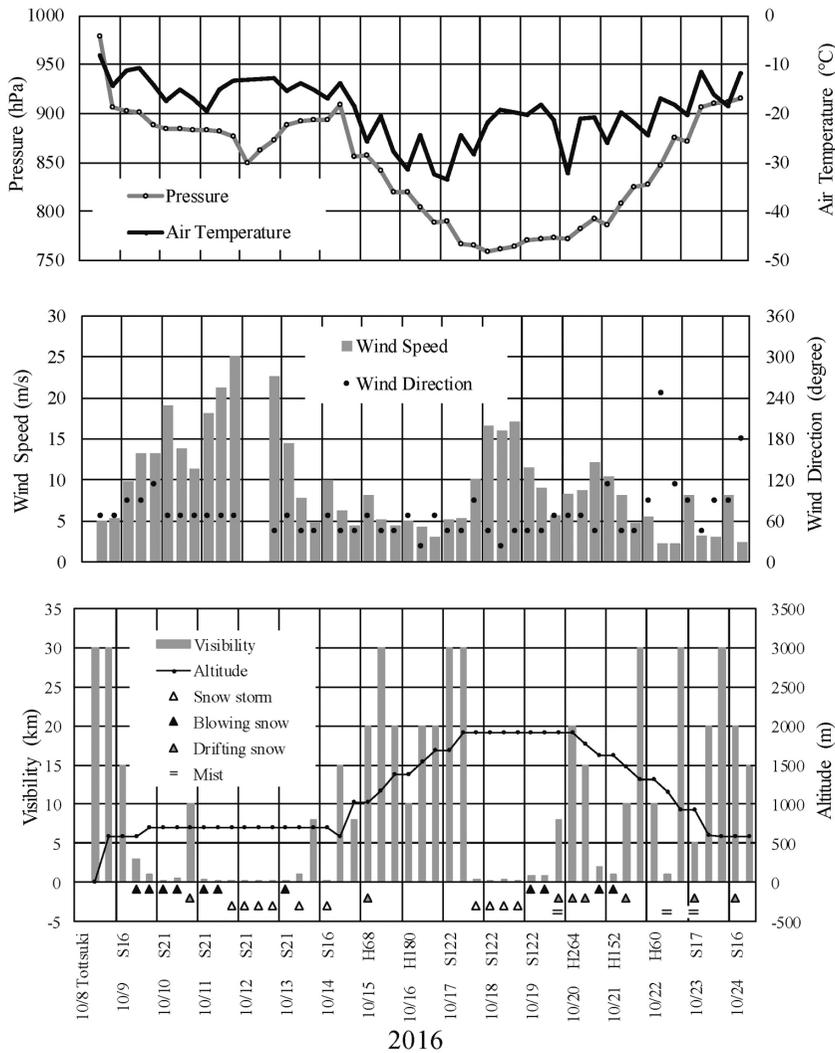


図 27 みずほ旅行中の気象観測データ (2016年10月8日~24日)。

Fig. 27. Surface meteorological observation data round trips from Totsuki to MIZUHO (Oct.8-24, 2016).

謝 辞

第57次隊の定常気象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57次隊の門倉昭観測隊長、樋口和生越冬隊長ほか第57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57次隊行動において、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員、第 55、56 次隊気象部門の方々にご助言いただいた。お礼を申し上げる。

文 献

- 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 (2010) : 1997 年春季に南極昭和基地において発現した地上オゾン急減現象. 南極資料, **54**, 623-639. doi:10.15094/00009577.
- 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.
- 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.
- 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 (2015) : 紫外線環境保健マニュアル. 6-8.
- 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, 447p.
- 気象庁 (1991) : オゾン観測指針 オゾン全量・反転観測編. 東京, 91p.
- 気象庁 (1993) : 紫外域日射観測指針. 東京, 83p.
- 気象庁 (1997) : 国際気象通報式・別冊. 東京, 750p.
- 気象庁 (2010) : オゾンゾンデ観測指針 [ECC 型編]. 東京, 46p.
- 気象庁 (2011) : 地上気象観測指針 : 2011. 東京, 144p.
- 気象庁 (2016) : 気象観測統計指針 : 2016. 東京, 162p.
- 気象庁 (2017) : オゾン層・紫外線の年のまとめ : 2016. 東京, 49p.
- 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) : ドブゾ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.
- 押木徳明・矢頭秀幸・萩谷 聡・西 秀紘・馬場祐介 (2020) : 第 56 次 日本南極地域観測隊気象部門報告 2015. 南極資料, **64**, 87-131.
- 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, 38p.
- 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, 6-6.