

第 59 次日本南極地域観測隊気象部門報告 2018

杉山暢昌^{1*}・出原幸志郎¹・島村 翔¹・田中省吾¹・津田元気¹

Meteorological observations at Syowa Station in 2018 by the 59th Japanese Antarctic Research Expedition

Nobumasa Sugiyama^{1*}, Kohshiro Dehara¹, Sho Shimamura¹, Shogo Tanaka¹ and Genki Tsuda¹

(2021 年 3 月 18 日受付; 2021 年 10 月 26 日受理)

Abstract: This report describes the results of meteorological observations at Syowa Station from February 1st, 2018 to January 31st, 2019, carried out by the Meteorological Observation Team of the 59th Japanese Antarctic Research Expedition (JARE-59). The observation methods and instruments, statistical methods used by JARE-59 were almost the same as those used by the JARE-58 observation team.

Topics during the period of JARE-59 are as follows.

- 1) Updated the Meisei Electric RS-06G type GPS radiosonde to the Meisei Electric RS-11G type GPS radiosonde from March 20, 2018.
- 2) Started to report observation data to the lead center of GRUAN (GCOS Reference Upper Air Network), a high-precision, continuous upper air observation network.
- 3) Strengthening of upper air observation in cooperation with YOPP-SH (Year Of Polar Prediction in the Southern Hemisphere).
- 4) Confirmed seven times SODs (Surface Ozone Depletions) were appeared.

Keywords: meteorology, wintering, Syowa Station

要旨: この報告は第 59 次日本南極地域観測隊気象部門が 2018 年 2 月 1 日～2019 年 1 月 31 日まで昭和基地にて行った気象観測結果をまとめたものである。観測方法や測器、統計方法等は高層気象観測の測器を除き、第 58 次隊と同様である。越冬期間中の特記事項としては次のものがあげられる。

- 1) 2018 年 3 月 20 日から明星電気製 RS-06G 型 GPS ゾンデを同社製 RS-11G 型 GPS ゾンデに更新。
- 2) 高精度で連続性のある高層気象観測網である GRUAN (GCOS Reference Upper Air Network) のリードセンターへ観測データ等の報告を開始。
- 3) YOPP-SH (Year Of Polar Prediction in the Southern Hemisphere) への協力としての、高層気象観測の強化実施。
- 4) 7 回の顕著な地上オゾン消失現象 (Surface Ozone Depletion: SOD) の出現を確認。

キーワード: 気象, 越冬, 昭和基地

¹ 気象庁. Japan Meteorological Agency, Toranomon 3-chome, Minato-ku, Tokyo 105-8431.

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

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（1961年～64年）を除き、これまで60年ほどの長きにわたり、気象庁派遣隊員により継続している（気象庁，1989；気象庁，2008）。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59次日本南極地域観測隊（以下、第59次隊とする）気象部門は、2018年2月1日に第58次隊（水野ほか，2020）より昭和基地における定常気象部門の観測業務を引き継ぎ、2019年1月31日までの1年間の観測を行った。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。

第59次隊で行った主な観測は、地上気象観測、高層気象観測、オゾン観測及び日射・赤外放射観測である（日射・赤外放射観測は、観測計画における気象観測（気象庁）の「日射・放射量観測」として行なっている）。高層気象観測はゾンデによる観測で、通常の観測に加えて、水蒸気ゾンデや気温基準ゾンデ（これらを特殊ゾンデという）の観測も行った。オゾン観測は、オゾンゾンデ観測、オゾン全量観測・反転（高度分布）観測及び地上オゾン観測を行った。日射・赤外放射観測は、日射・下向き赤外放射観測、反射日射・上向き赤外放射観測、波長別紫外域日射観測及び大気混濁度観測を行った。これら第59次隊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2020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観測を実施した。S17ロボット気象計の観測データは、ドロンイングモードランド航空網（Dronning Maud Land Air Network、以下、DROMLANとする）支援のため関係各国基地へ提供した。また、気象庁全球予報モデル格子点資料から作成した各種天気図、予想図を気象庁スーパーコンピュータシステムよりインテルサット（国際電気通信衛星機構）を経由して取得し、越冬開始から終了までの間、昭和基地周辺の天気解析に利用した。

2017年に昭和基地がGCOS基準高層観測網（GCOS Reference Upper Air Network、以下、GRUANとする）に登録されたため、第59次隊では、長期的な気候監視の基準となる高精度な高層気象観測を目的とした基準観測網であるGRUANのリードセンターへ、高精度な観測データ等の報告を開始した。GRUANへの報告開始にあたり、観測データの報告体制確立から報告のルーチン化までを行った。また、GPSゾンデ観測の高精度化を目的として、湿度センサの高湿、低湿の特性を把握する現地点検も手順に追加した。

第59次隊の活動期間は、YOPP-SH（Year Of Polar Prediction-Southern Hemisphere、以下、YOPP-SHとする）期間にあたり、極域の予報精度向上に貢献すべく、YOPP-SHの集中観測への協力として高層気象観測の回数を増やした。

なお、本報告において年のない月日の記載は、2018年2月1日から2019年1月31日である。

2. 地上気象観測

2.1. 観測方法と測器

観測は地上気象観測指針（気象庁，2011）及び世界気象機関（World Meteorological Organization, 以下，WMO とする）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，2016）にそれぞれ基づき行った．なお，気象観測統計指針では，統計値を求める対象となる資料の一部が欠けているが，通常の観測データと同様に扱うことができるものを準正常値と定義し，統計値を求める対象となる資料が不足しているものを資料不足値としている．観測項目と使用測器等を表 1 に，測器配置を図 1 に示す．

(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，日照時間及び積雪の深さは，JMA-10 型地上気象観測装置により連続観測を行った．露点温度は気温，湿度及び気圧の観測データから

表 1 昭和基地における地上気象観測使用測器等一覧表（2018 年 2 月～2019 年 1 月）．

Table 1. Observation elements, observation frequency, minimum units, and instruments at Syowa Station (Feb.2018–Jan.2019).

観測種目	観測時刻	観測 最小単位	使用測器等	型式	備考
現地気圧	連続・毎正時	0.1hPa	電気式気圧計	PTB330	気象棟内筐体に設置 巡回用電気式気圧計(PTB330TS) により比較点検（年1回）
海面気圧	同上	0.1hPa	—		気温・現地気圧から算出
気圧変化量・ 気圧変化型	同上	0.1hPa	—		現地気圧から算出・決定
気温	連続・毎正時	0.1℃	電気式温度計	K5639AJ	百葉箱内強制通風式通風筒に設置 携帯用通風乾湿計により 比較点検（3ヶ月1回）
	—		携帯用通風乾湿計		
露点温度	連続・毎正時	0.1℃	—		気温・湿度観測値から算出
蒸気圧	同上	0.1hPa	—		気温・湿度観測値から算出
相対湿度	連続・毎正時	1%	電気式湿度計	HMT333	百葉箱内強制通風式通風筒に設置 携帯用通風乾湿計により 比較点検（3ヶ月1回）
	—		携帯用通風乾湿計		
風向	連続・毎正時	1°	風車型風向風速計	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	電気式全天日射計	MS-402F	気象棟屋上に設置 2018年4月12日に基本観測棟屋上に移設
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 2018年4月12日に基本観測棟屋上南側 及び北側に移設。
積雪深	同上	1cm	レーザ積雪深計	K5601HD	観測棟北側海岸に設置
	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）	WB7532	百葉箱南西に設置、参考測器
大気現象	常時		目視		
			視程計（現象判別付） 感雨器	WB7532 NS-120	百葉箱南西に設置、参考測器 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．



図 1 昭和基地主要部と測器感部の配置 (2018 年 2 月～2019 年 1 月) (「図式描画済地形図ベクトルデータ」(国土地理院 (https://www.gsi.go.jp/antarctic/download_02_2500_2015.html (2021-3-12 現在))) を元に作成)。

- ①気圧計, 回転式日照計 (～4 月 12 日), 全天日射計 (～4 月 12 日), ドブソン分光光度計
- ②風向風速計, 温度計, 湿度計, 視程計
- ③回転式日照計 (4 月 12 日～), 全天日射計 (4 月 12 日～)
- ④ブリュワー分光光度計, 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
- ⑤積雪計
- ⑥全天日射計, 赤外放射計, 紫外域日射計
- ⑦オゾン濃度計

Fig. 1. Location of surface meteorological instruments and the main part of Syowa Station (Feb.2018-Jan.2019) (Created based on "Schematized Vector Data of Topographic Map"(Geospatial Information Authority of Japan) (https://www.gsi.go.jp/antarctic/download_02_2500_2015.html (accessed 2021-3-12))).

- ① Barometer, Sunshine duration (～Apr 12), Solar radiation (～Apr 12), Dobson spectrophotometer
- ② Wind sensor, Thermometer, Hygrometer, Visibility sensor
- ③ Sunshine duration (Apr 12～), Solar radiation (Apr 12～)
- ④ Brewer spectrophotometer, Pyranometer, Pyrheliometer, Pyrgeometer, UV radiometer, Sunphotometer
- ⑤ Snow depth sensor
- ⑥ Pyranometer, Pyrgeometer, UV radiometer
- ⑦ Ozone monitor

算出した。また、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の変化量の観測

昭和基地付近の海氷上での積雪の深さの観測は, 1956 年 (第 1 次越冬隊) に基地周辺に雪尺を立てて観測したのが最初であり, 1974 年 (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、1975 年（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 59 次隊においては、北の浦の海氷上に、10m 間隔で 20m 四方に 9 本の細竹を利用した雪尺を立て、週 1 回雪面上の雪尺の長さを測定し、前回の長さとの差から海氷上の積雪の深さの変化量を観測した。雪尺の観測地点の緯度・経度を表 2 に示す。

2.2. 観測経過

JMA-10 型地上気象観測装置の各測器は、順調に作動した。

(1) 気圧

電気式気圧計を気象棟内に設置し、通年観測を行った。測器の精度監視とオフセット値算出のために、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 2018 年 1 月 2 日に行い、2 月 1 日にオフセット値の確認及び設定を行った。

(2) 気温、湿度（露点温度）

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、通年観測を行った。携帯用通風乾湿計による比較観測は、定期保守として 3 ヶ月に 1 回行った。また、ブリザード等で百葉箱内の除雪が必要な場合にも、除雪の前後で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。定期保守及び百葉箱内の除雪は、正時にかからないよう注意した上で実施した。

(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、通年観測を行った。風向風速計の定期点検により日平均風速が準正常値となった日があったほか、低温弱風時における風向風速計凍結の確認及び凍結部解凍のために欠測が生じ、風向及び風速の 1 時間値、日平均風速、日最大風速及び日最大瞬間風速の風向が準正常値や資料不足値となった日があった。

表 2 雪尺の観測地点の緯度・経度。

Table 2. Latitude and longitude where the snow measure was installed.

	緯度	経度
雪尺①	S 69°00'06.5"	E 039°35'32.4"
雪尺②	S 69°00'06.7"	E 039°35'31.7"
雪尺③	S 69°00'06.9"	E 039°35'31.1"
雪尺④	S 69°00'06.3"	E 039°35'31.5"
雪尺⑤	S 69°00'06.5"	E 039°35'30.9"
雪尺⑥	S 69°00'06.7"	E 039°35'30.3"
雪尺⑦	S 69°00'06.1"	E 039°35'31.0"
雪尺⑧	S 69°00'06.4"	E 039°35'30.3"
雪尺⑨	S 69°00'06.6"	E 039°35'29.7"

※緯度および経度は 2018 年 4 月 24 日測定

(4) 全天日射量, 日照時間

気象棟屋上または基本観測棟屋上に設置した電気式全天日射計及び回転式日照計で, それぞれ全天日射量及び日照時間を通年観測した。点検のほか, 基本観測棟の影の影響により日照時間と全天日射量の1時間値及び日合計が準正常値, 資料不足値または欠測となった日があった。基本観測棟の影の影響を解消するため, 4月12日に設置場所を気象棟屋上から基本観測棟屋上に変更した。

(5) 積雪の深さ

レーザー積雪計を観測棟北東の北の浦へ下る海岸に設置し, 基地内(陸上)での積雪の深さの連続観測を行った。積雪計は観測データ異常により2017年7月11日以降観測を休止していたが, レーザー照射の雪面に凹凸がなくなり点検結果も良好であったため, 5月28日に観測を再開した。ふぶきの際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準正常値, 資料不足値または欠測となった日があった。

(6) 視程及び感雨(参考記録)

視程計(現象判別機能付)を百葉箱南西側, 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た。視程障害時の目視観測の参考や, 大気現象発現時刻の決定等の参考とした。ふぶきにより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, 定期点検時に投受光部の清掃及び感雨器の清掃を行った。

(7) 海氷上の積雪の深さの変化量の観測

雪尺観測は, 2017年12月下旬以降海氷状態が悪く観測が不可能だったが, 海氷状態が安定した後, 海氷上を車両が通行するルートに干渉せず, 雪面の乱れがない場所を新たに雪尺観測場所として選定し, 4月24日に観測を開始した。雪尺が強風または融雪の影響で傾いた場合は, 随時立て直しを行い, その前後の観測値により観測を継続した。雪尺の立て直しは1月7日に6本, 1月14日に3本行った。

2.3. 観測結果

ここでは, 月別気象表(表3), 観測開始からの極値・順位値の更新記録(表4), 年間の海面気圧, 気温, 風速, 雲量及び日照時間の旬ごとの経過(図2), 昭和基地内(積雪計)の積雪の深さと海氷上(雪尺)の設置時からの積雪の深さの変化量(図3), プリザードの概要(表5), 月別プリザード数(図4), 各隊次のプリザード回数(図5), 越冬期間中の天気概況(表6)を示す。なお, 月を跨いだプリザードは, それぞれの月で0.5回としてカウントした。

第59次隊の越冬期間における観測結果の特徴として, 日照時間の極値・順位値を更新した月が多かった点があげられる。特に顕著な月として, 2月は月間日照時間の少ない方から1位となった。これは, 昭和基地の北の海上を通過する低気圧が多く, 曇りや雪の降る日が

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 (2018 年 2 月～2019 年 1 月)。

Table 4. New records of surface meteorological observation extrema and rankings at Syowa Station (Feb.2018-Jan.2019).

年月	要素	観測値	起日	順位	統計開始年月
2018年2月	日最低気温の高い方から	0.2℃	7日	月6位	1957年2月
		0.1℃	5日	月8位	1957年2月
	月平均気温の高い方から	-1.6℃		月4位	1957年2月
	月間日照時間の少ない方から	105.5時間		月1位	1959年2月
3月	日最小相対湿度	26%	14日	月4位	1981年3月
		31%	12日	月10位	1981年3月
4月	月平均気温の高い方から	-7.8℃		月4位	1957年4月
	月平均気温の低い方から	-16.0℃		月7位	1957年5月
5月	日最小相対湿度	27%	11日	月4位	1981年5月
	月間日照時間の多い方から	57.3時間		月1位	1959年5月
	月最深積雪	100]cm	31日	月5位	1999年5月
	降雪の深さ月合計	18cm		月10位	2006年6月
6月	月最深積雪	116]cm	14日	月7位	1999年6月
	月間日照時間の多い方から	17.7時間		月1位	1959年7月
7月	降雪の深さ日合計	10cm	12日	月4位	2006年7月
		9]cm	9日	月5位	2006年7月
	降雪の深さ月合計	33cm		月7位	2006年7月
	月最深積雪	127cm	12日	月5位	1999年7月
8月	月平均気温の高い方から	-16.2℃		月7位	1957年8月
	月間日照時間の多い方から	91.1時間		月5位	1959年8月
	降雪の深さ日合計	10cm	11日	月9位	2006年8月
	月最深積雪	122cm	29日	月7位	1999年8月
9月	日最低気温の高い方から	-6.7℃	20日	月1位	1957年9月
	降雪の深さ日合計	16cm	1日	月5位	2006年9月
	降雪の深さ月合計	23cm		月9位	2006年9月
	月最深積雪	127cm	21日	月7位	1999年9月
10月	日最低気温の低い方から	-31.4℃	3日	月6位	1957年10月
		-31.3℃	2日	月7位	1957年10月
	月平均気温の低い方から	-16.0℃		月6位	1957年10月
	月間日照時間の多い方から	260.8時間		月8位	1959年10月
	降雪の深さ日合計	11cm	29日	月5位	2005年10月
	降雪の深さ月合計	29cm		月9位	2005年10月
11月	月最深積雪	131cm	15日	月5位	1999年10月
	月間日照時間の少ない方から	188.6時間		月2位	1959年11月
	降雪の深さ月合計	27cm		月8位	2005年11月
	月最深積雪	126cm	22日	月6位	1999年11月
12月	降雪の深さ日合計	8cm	30日	月4位	2005年12月
	降雪の深さ月合計	21cm		月8位	2005年12月
	月最深積雪	123]cm	10日	月4位	1999年12月
通年	年間日照時間の少ない方から	1721.2時間		年9位	1959年12月
	月間日照時間の少ない方から	267.9時間		月8位	1960年1月
	降雪の深さ日合計	9cm	29日	月7位	2006年1月
	降雪の深さ月合計	20cm		月6位	2006年1月
2019年1月	月最深積雪	106cm	3日	月3位	2000年1月

注) 1. 統計方法は気象観測統計指針 (気象庁, 2016) による。

2. 数値右側の符号は次のとおり。

「) 」: 準正常値。統計値を求める対象となる資料の一部が欠けているが、通常の観測データと同様に扱うことができるもの。

「] 」: 資料不足値。統計値を求める対象となる資料数が不足しているもの。

多かったことが影響したと考えられる。また、11 月においても月間日照時間の少ない方から 2 位となった。これも 2 月と同様に低気圧の通過に伴う曇りや雪の日が多かった影響と考えられる。一方、5 月と 7 月は月間日照時間多い方から 1 位となった。これらは、高気圧や気圧の尾根に位置した影響で晴れの日が多かったことが影響したと考えられる。

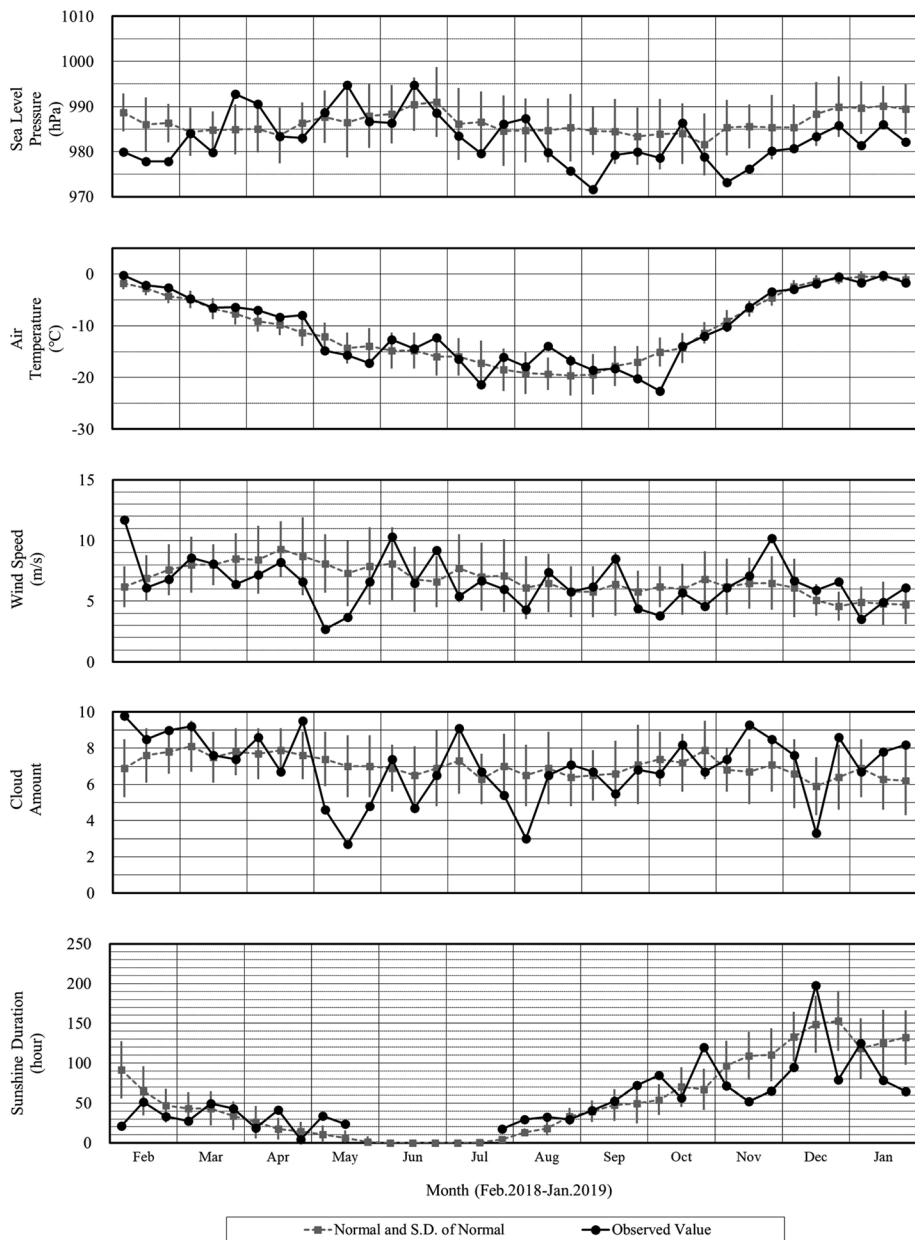


図 2 昭和基地における地上気象各要素の 59 次隊期間中（2018 年 2 月～2019 年 1 月）の観測値と平年値（1981 年～2010 年の平均）の旬ごとの時系列。上段から、海面校正気圧 (hPa)、気温 (°C)、風速 (m/s)、全天雲量、日照時間 (時間)。

Fig. 2. Time series of ten-day mean surface meteorological data at Syowa Station (Feb. 2018–Jan. 2019). The Normals are the mean value for the period from 1981 to 2010.

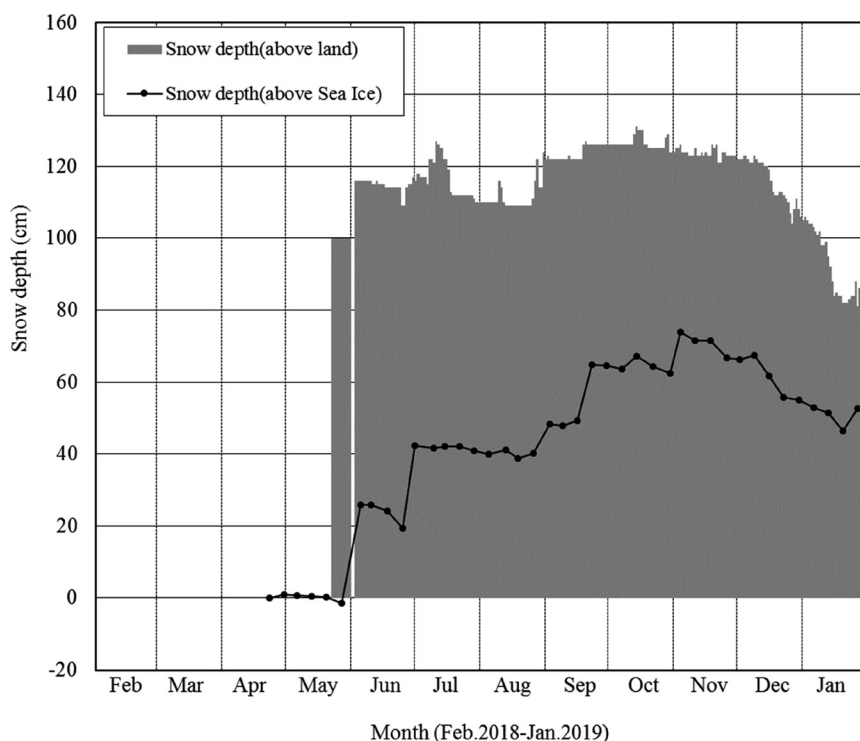


図 3 昭和基地内（積雪計）の積雪の深さと海氷上（雪尺）の設置時からの積雪の深さの変化量（2018 年 2 月～2019 年 1 月）。

積雪計は積雪の無い地面を基準（0 cm）とし、そこからの深さを示す。雪尺は設置時の雪面を基準（0 cm）とし、そこからの変化量を示す。なお、雪尺観測においては、融雪により基準を下回る場合や、雪尺自体の重みによる自沈が含まれる。

Fig. 3. Snow depth at Syowa Station (snow cover meter) and snow depth above sea ice (snow scale) (Feb.2018-Jan.2019).

At Syowa Station, the ground is used as a reference (0 cm), and the snow depth from there is shown. Above sea ice, the snow surface at the time of installation is used as a reference (0 cm), and the snow depth change from there is shown. Note that snow scale observations include cases where the snow melts below the reference and scuttling due to the weight of the snow scale itself.

2.4. 観測結果の通報及び提供

観測結果は、インテルサット衛星回線を利用して国際気象通報式（気象庁，1990）の地上実況気象通報式（FM12 SYNOP）で気象庁に送信し、気象庁から全球気象通信システム（Global Telecommunication System，以下、GTS とする）で世界へ配信した。インテルサット衛星回線の保守または障害期間中は、イリジウム衛星回線を利用して通報を行った。また、地上気象観測報告を 1 日に 2 回、気象庁へ送信した。

その他に、屋外作業や野外旅行支援のために、昭和基地イントラネットの気象情報専用 Web ページ上に地上気象の 10 分値データやグラフを掲載し、隊員に対し昭和基地の気象実況を提供するとともに、天候急変時には「注意喚起」を独自に隊全体に周知した。

表 5 昭和基地におけるブリザードの概要 (2018 年 2 月～2019 年 1 月)。

Table 5. Summaries of heavy snowstorms (blizzards) at Syowa Station (Feb.2018-Jan.2019).

通番	階級	開始日時	終了日時	終始時間	継続時間	中断時間	風速	最大風速 (m/s)	起降時	風速	最大瞬間風速 (m/s)	風向	起降時	最低海面気圧 (hPa)	起降時
5901	C	2018 年 2 月 3 日 22 時 00 分	2018 年 2 月 4 日 05 時 30 分	7 時間 30 分	7 時間 30 分	0 時間 0 分	20.3	NE	2 月 3 日 22 時 49 分	25.1	NE	2 月 4 日 00 時 14 分	977.7	2 月 3 日 22 時 00 分	
5902	C	2018 年 2 月 9 日 04 時 30 分	2018 年 2 月 9 日 12 時 03 分	7 時間 33 分	7 時間 33 分	0 時間 0 分	22.9	NE	2 月 9 日 05 時 38 分	27.4	NE	2 月 9 日 04 時 44 分	969.7	2 月 9 日 04 時 30 分	
5903	C	2018 年 3 月 8 日 23 時 15 分	2018 年 3 月 9 日 09 時 22 分	10 時間 07 分	10 時間 07 分	0 時間 0 分	21.5	NE	3 月 9 日 08 時 59 分	26.2	NE	3 月 9 日 07 時 35 分	977.1	3 月 9 日 06 時 10 分	
5904	C	2018 年 3 月 22 日 12 時 45 分	2018 年 3 月 22 日 18 時 45 分	6 時間 10 分	6 時間 10 分	0 時間 0 分	21.6	NE	3 月 22 日 16 時 32 分	26.0	NE	3 月 22 日 16 時 42 分	988.2	3 月 22 日 14 時 44 分	
5905	B	2018 年 5 月 22 日 10 時 40 分	2018 年 5 月 23 日 06 時 30 分	19 時間 50 分	19 時間 50 分	0 時間 0 分	33.5	ENE	5 月 22 日 16 時 05 分	43.1	ENE	5 月 22 日 15 時 41 分	960.7	5 月 22 日 15 時 45 分	
5906	A	2018 年 6 月 1 日 20 時 30 分	2018 年 6 月 3 日 14 時 15 分	41 時間 45 分	38 時間 05 分	3 時間 40 分	36.3	ENE	6 月 2 日 19 時 44 分	44.8	ENE	6 月 2 日 03 時 33 分	970.2	6 月 2 日 04 時 55 分	
5907	C	2018 年 6 月 18 日 20 時 50 分	2018 年 6 月 9 日 05 時 30 分	10 時間 40 分	8 時間 20 分	0 時間 0 分	21.6	NE	6 月 8 日 08 時 44 分	25.5	NE	6 月 8 日 20 時 40 分	983.0	6 月 8 日 19 時 33 分	
5908	C	2018 年 6 月 25 日 23 時 10 分	2018 年 6 月 26 日 07 時 30 分	8 時間 20 分	8 時間 20 分	0 時間 0 分	31.2	NE	6 月 26 日 03 時 32 分	37.3	NE	6 月 26 日 02 時 03 分	978.6	6 月 26 日 00 時 15 分	
5909	A	2018 年 6 月 28 日 14 時 59 分	2018 年 7 月 1 日 11 時 10 分	68 時間 11 分	66 時間 07 分	2 時間 47 分	31.7	NE	6 月 30 日 01 時 32 分	37.5	NE	6 月 30 日 02 時 25 分	965.9	6 月 30 日 01 時 15 分	
5910	C	2018 年 7 月 8 日 05 時 50 分	2018 年 7 月 8 日 19 時 27 分	13 時間 37 分	12 時間 07 分	1 時間 30 分	18.5	NE	7 月 8 日 08 時 48 分	23.0	NE	7 月 8 日 08 時 46 分	984.5	7 月 8 日 08 時 48 分	
5911	C	2018 年 7 月 9 日 15 時 20 分	2018 年 7 月 10 日 03 時 05 分	11 時間 45 分	7 時間 12 分	4 時間 33 分	13.3	NNE	7 月 9 日 22 時 59 分	15.8	NNE	7 月 9 日 22 時 53 分	989.9	7 月 10 日 03 時 05 分	
5912	B	2018 年 7 月 18 日 05 時 40 分	2018 年 7 月 19 日 13 時 55 分	32 時間 15 分	32 時間 15 分	0 時間 0 分	26.0	NE	7 月 18 日 00 時 54 分	31.9	NE	7 月 18 日 00 時 56 分	964.3	7 月 18 日 12 時 05 分	
5913	C	2018 年 8 月 26 日 12 時 15 分	2018 年 8 月 26 日 20 時 36 分	8 時間 21 分	8 時間 21 分	0 時間 0 分	17.1	NE	8 月 26 日 14 時 14 分	21.0	NE	8 月 26 日 14 時 13 分	968.3	8 月 26 日 20 時 36 分	
5914	B	2018 年 8 月 29 日 16 時 17 分	2018 年 8 月 30 日 20 時 04 分	27 時間 47 分	25 時間 57 分	1 時間 50 分	23.4	ENE	8 月 30 日 00 時 35 分	29.7	ENE	8 月 30 日 03 時 58 分	946.9	8 月 30 日 03 時 39 分	
5915	A	2018 年 9 月 1 日 04 時 00 分	2018 年 9 月 1 日 18 時 45 分	14 時間 45 分	14 時間 45 分	0 時間 0 分	27.3	NE	9 月 1 日 07 時 21 分	32.3	NE	9 月 1 日 11 時 59 分	964.4	9 月 1 日 07 時 47 分	
5916	C	2018 年 9 月 3 日 06 時 40 分	2018 年 9 月 3 日 18 時 45 分	12 時間 05 分	11 時間 42 分	0 時間 23 分	29.0	NE	9 月 3 日 16 時 34 分	36.8	NE	9 月 3 日 16 時 25 分	943.8	9 月 3 日 15 時 53 分	
5917	B	2018 年 9 月 12 日 13 時 53 分	2018 年 9 月 13 日 08 時 50 分	18 時間 57 分	18 時間 57 分	0 時間 0 分	23.5	NE	9 月 13 日 05 時 02 分	28.5	NE	9 月 13 日 02 時 56 分	968.1	9 月 12 日 20 時 04 分	
5918	A	2018 年 9 月 18 日 20 時 25 分	2018 年 9 月 21 日 01 時 05 分	52 時間 40 分	51 時間 40 分	1 時間 00 分	32.9	NE	9 月 20 日 09 時 50 分	38.2	NE	9 月 20 日 09 時 21 分	970.9	9 月 20 日 09 時 33 分	
5919	B	2018 年 10 月 19 日 06 時 35 分	2018 年 10 月 20 日 06 時 40 分	24 時間 05 分	22 時間 55 分	1 時間 10 分	24.7	NE	10 月 19 日 13 時 33 分	29.6	NE	10 月 19 日 13 時 29 分	989.2	10 月 19 日 13 時 29 分	
5920	A	2018 年 11 月 2 日 16 時 50 分	2018 年 11 月 2 日 14 時 40 分	46 時間 50 分	42 時間 50 分	2 時間 53 分	28.0	ENE	11 月 3 日 13 時 27 分	33.2	ENE	11 月 3 日 13 時 22 分	953.9	11 月 3 日 14 時 42 分	
5921	A	2018 年 11 月 16 日 22 時 50 分	2018 年 11 月 17 日 18 時 50 分	20 時間 00 分	20 時間 00 分	0 時間 0 分	28.5	NE	11 月 17 日 08 時 50 分	34.8	NE	11 月 17 日 12 時 10 分	969.2	11 月 17 日 08 時 52 分	
5922	B	2018 年 11 月 23 日 23 時 40 分	2018 年 11 月 25 日 12 時 50 分	37 時間 10 分	29 時間 50 分	7 時間 20 分	24.0	NE	11 月 24 日 01 時 19 分	29.5	ENE	11 月 25 日 08 時 27 分	974.8	11 月 25 日 12 時 11 分	

(注) ブリザードの階級定義は次のとおり。

「A」：視程 0.1 km 未満かつ、風速 25 m/s 以上かつ 6 時間以上継続。

「B」：視程 1 km 未満かつ、風速 15 m/s 以上かつ 12 時間以上継続。

「C」：視程 1 km 未満かつ、風速 10 m/s 以上かつ 6 時間以上継続。

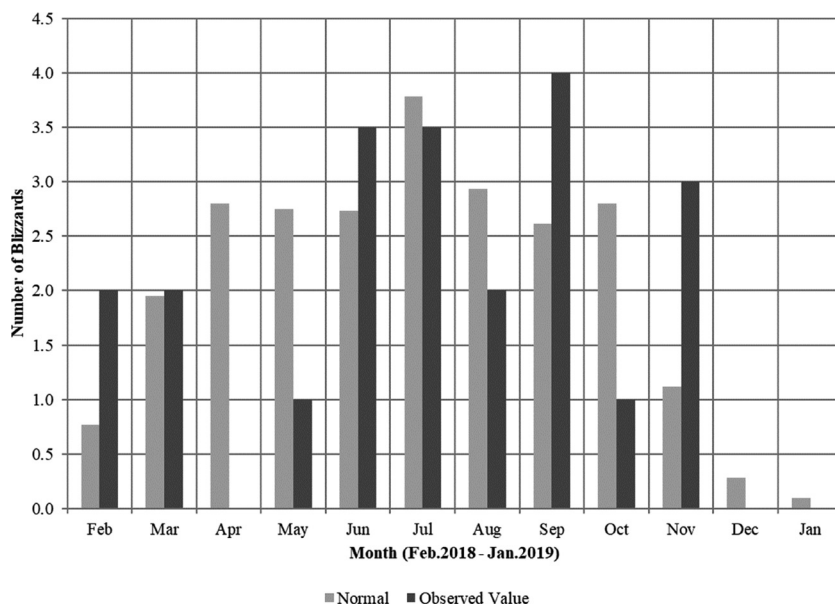


図 4 月別ブリザード数 (2018 年 2 月～2019 年 1 月).
 平年値は 1981 年～2010 年の平均値.

Fig. 4. Number of blizzards per month at Syowa Station (Feb.2018-Jan.2019).
 The Normals are the mean value for the period from 1981 to 2010.

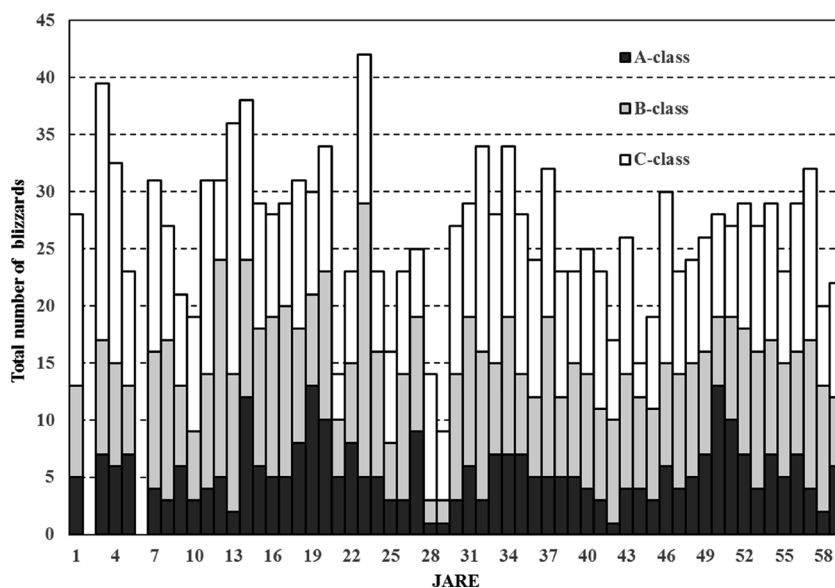


図 5 第 1 次隊以降の各隊次のブリザード回数 (第 1 次隊～第 59 次隊).
 ブリザードの各階級 (A～C 級) を積み上げて表示する.

Fig. 5. Total number of blizzards for each year (JARE1-JARE59).
 Each class of Blizzard (A to C class) is stacked and displayed.

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、昭和基地の気象実況を提供した（2 月 10 日から 11 日、10 月 24 日から 12 月 7 日、1 月 23 日から 26 日）。さらに、しらせ搭載ヘリコプターの運航支援のためにしらせ気象及び第 60 次隊に対し、昭和基地の気象実況を提供した（2 月 1 日、3 日、7 日から 11 日、12 月 20 日、22 日から 24 日、26 日、31 日）。

3. 高層気象観測

3.1. 観測方法と測器

昭和基地は、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）の高層観測網（GUAN）の観測点であるとともに、さらに観測基準の厳しい GRUAN の観測点でもある。GRUAN とは、全球気候観測システムのもと、長期的な気候監視の基準となる高精度な高層気象観測を目的とした基準観測網である。昭和基地では、トレーサビリティのとれたラジオゾンデを使用し、処理方法が透明化された観測データに加え、飛揚前の測定偏差などのメタデータや測定データの不確かさを求めている。これにより気候変動の検出や他の観測機器の検証・補正を行うための基準となりうる高精度なラジオゾンデ観測を実施している。南極大陸には GRUAN の観測点は 4 か所（昭和基地、デービス基地、ロス島、ノイマイヤー基地（2020 年 8 月現在））と数少なく、昭和基地は高層気象観測網において貴重なデータを観測する拠点である。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-11G 型 GPS ゾンデ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・風速及び相対湿度の高度分布を観測した。なお、RS-11G 型 GPS ゾンデへは 2018 年 3 月に更新したため、それまでの観測は RS-06G 型 GPS ゾンデで実施した。オゾンの鉛直分布を観測するオゾンゾンデ観測（「4.4. オゾンゾンデ観測」参照）を実施した場合は、RS-11G 型 GPS ゾンデまたは RS-06G 型 GPS ゾンデ観測の代替えとして観測を行った。観測器材を表 7、RS-06G 型及び RS-11G 型 GPS ゾンデの各センサの性能を表 8 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、帳票作成、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回線経由で GTS に通報した。

3.2. 観測経過

第 59 次隊として 2018 年 2 月 1 日 00 UTC より 2019 年 1 月 31 日 12 UTC までの観測を行っ

表 6 昭和基地における月別気象概況 (2018 年 2 月～2019 年 1 月).
Table 6. Monthly weather summaries at Syowa Station (Feb.2018-Jan.2019).

年・月	天気概況
2018年 2月	2月は、昭和基地の北の海上を通過する低気圧が多く、月を通して曇りとなり雪の降る日が多かった。このため、2月として月間日照時間の少ない方から1位となった。また、低気圧の影響で暖かい空気が流れ込んだため、2月として月平均気温の高い方から4位となった。発達した低気圧が接近した3～4日、9日はG級ブリザードとなった。
2018年 3月	3月上旬は、先月に引き続き、昭和基地の北の海上を通過する低気圧が多く、曇りとなり雪の降る日が多かった。一方、中旬から下旬の天気は周期的に変化し、高気圧に覆われて晴れる日も多くなった。このため、日照時間の月合計は、ほぼ平年並みとなり、14日は、3月として日最少相対湿度4位となった。発達した低気圧が接近した8～9日、22日はG級ブリザードとなった。
2018年 4月	4月は、昭和基地の北の海上を離れて通過する低気圧の影響を受け、曇りとなる日が多かった。一方で、低気圧の接近が少なかったこともあり、雪日数が平年より少なく、月平均風速や旬平均風速は平年より弱かった。全般に平年より高い気温となり、4月として月平均気温の高い方から4位となった。低気圧接近時にふぶきになる日があったが、ブリザードの基準には達しなかった。
2018年 5月	5月は、高気圧や気圧の尾根に位置した影響で晴れの日が多く、月平均海面気圧は平年よりも高く、晴れ日数も平年より11.6日多かった。このため、5月として月間日照時間多い方から1位となった。また、晴れて気温が下がる日が多く、5月として月平均気温の低い方から7位となつた。11日は5月として日最少相対湿度4位となった。一方で、雪日数は平年よりも13.5日も少なかった。発達した低気圧が接近した22～23日はB級ブリザードとなった。
2018年 6月	6月は、低気圧と気圧の尾根が交互に昭和基地の北海上を通過したため、天気は周期的に変化した。平年よりも快晴となる日が多かった一方で、上旬と下旬には発達した低気圧が接近したため、ふぶきとなる日があった。このため、月平均気温は平年よりも高く、月平均風速も平年より強かった。ブリザードが合計4回あり、その内の2回はA級となった。
2018年 7月	7月前半にかけては、先月に引き続き低気圧と気圧の尾根が交互に昭和基地の北海上を通過し、天気は周期的に変化した。7月後半は、高気圧に覆われて晴れる日が多くなった。極夜の明けた7月後半に晴れが多くなったこともあり、7月として月間日照時間の多い方からの極値を更新した。また、中旬は、強い寒気の影響で平年よりも気温が低くなった一方で、下旬は、日照時間が多かったこともあり平年より気温が高くなった。ブリザードは、6月から継続したものを除き合計3回あった。
2018年 8月	8月上旬は、高気圧に覆われることが多く晴れる日が多かった。中旬は、気圧の尾根に位置することが多く、曇りや晴れの日が多かった。下旬は、低気圧の接近により雪やふぶきの日が多くなった。平年よりも雪日数が少なく、日平均雲量1.5未満の日数が多かったため、日照時間が多くなり、8月として月間日照時間の多い方から5位となった。また、気温も中旬を中心に高くなり、8月として月平均気温の高い方から7位となった。ブリザードは、昭和基地に低気圧の接近した下旬に2回あった。
2018年 9月	9月中旬にかけては、低気圧が周期的に昭和基地近傍を通過した影響で、晴れの日と雪やふぶきの日が交互に訪れた。9月下旬は、中旬までよりも高気圧に覆われる日が多かったため、晴れる日が多くなった。発達した低気圧の影響で、強いブリザードとなった20日は、気温が高く推移し、9月として日最低気温の高い方からの極値を更新した。昭和基地近傍を通過する低気圧が多かったため、平均海面気圧は平年より低くなった。一方で、下旬を中心に高気圧に覆われて晴れる日が多く、日照時間の月合計が平年よりも長かった。また、晴れて放射冷却が効いたため気温が下がり、下旬の平均気温は、平年よりも低くなった。ブリザードが合計4回あり、その内の2回はA級となった。
2018年 10月	10月中旬にかけては、低気圧が周期的に昭和基地近傍を通過した影響で、晴れの日と雪やふぶきの日が交互に訪れた。一方下旬は、高気圧に覆われる日が多かったため、晴れや薄曇りの日が多かった。平年に比べて気温が低く、10月として月平均気温の低い方から6位となった。特に上旬は、寒気の影響と晴れて放射冷却が効いたため、10月として日最低気温の低い方から6位(3日)と7位(2日)を記録し、旬平均気温が平年よりも7.5℃低くなった。また、晴れや薄曇りの日が多かったため日照時間の月合計が平年よりも多く、10月として月間日照時間の多い方から8位となった。ブリザードは、B級が1回あった。
2018年 11月	11月は、頻繁に低気圧が昭和基地の北海上を通過した影響で曇りや雪の日が多く、日照時間の月合計が188.6時間と平年の6割程度(平年値316.0時間)で、11月として月間日照時間の少ない方から2位となった。日平均雲量8.5以上の日が平年より6.5日多く、雪日数も平年より8.1日多かった。また、平均海面気圧は平年より6.2hPa低くなった。ブリザードが3回あり、その内の2回はA級となった。
2018年 12月	12月中旬は、昭和基地が気圧の尾根に位置したため、晴れの日が多くなった。一方で、上旬と下旬は、低気圧が昭和基地の近傍で停滞することが多かったため、曇りや雪の日が多くなった。このため、日照時間の月合計が371.5時間と平年よりも60時間以上少なかった(平年値434.6時間)。その他は、概ね平年並みだった。12月はブリザードがなかった。
2019年 1月	1月は、はじめ低気圧が周期的に通過したため、晴れの日と雪の日が周期的に訪れたが、中旬以降は次第に低気圧が昭和基地の近傍で停滞することが多くなったため、曇りや雪の日が多くなった。このため、日照時間の月合計が267.9時間と平年よりも100時間以上少なく(平年値374.7時間)、1月として月間日照時間の少ない方から8位となった。その他は、概ね平年並みだった。1月はブリザードがなかった。

た、この期間中に悪天等による欠測が6回あった。2018年2月から2019年1月までの高層気象観測状況(通常観測分)を表9に示す。

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。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6日から11月5日の期間はゴム気球を「油漬け」(鉱物油(第59次隊ではJP-5航空用燃料を使用)に浸したのち乾燥させる処置)実施後に飛揚した。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 7 昭和基地における高層気象観測器材.

Table 7. Sensor for aerological observations at Syowa Station.

GPSゾンデ	RS-06G型GPSゾンデ,RS-11G型GPSゾンデ		
	センサ	気温	ガラス溶封アルミニウム蒸着サーミスタ温度計
		湿度	高分子感湿膜静電容量変化式湿度計
気球	浮力錘浮力	600g 気球 RS-06G:1800g (巻下器使用時は1900g) RS-11G:1700g (巻下器使用時は1800g) 1200g 気球 (高高度GPSゾンデ観測) RS-11G:1800g (巻下器使用時は1900g)	
その他	強風時に使用	600g 気球 : 気象観測用巻下器 (15m) 1200g気球 : 気象観測用高高度巻下器 (30m)	

表 8 RS-06G 型及び RS-11G 型 GPS ゾンデの各センサの性能.

Table 8. Sensor specification of RS-06G and RS-11G 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	1050.0~3.0hPa	0.1hPa	計測精度 地上~100hPa : $\pm 1\text{hPa}$ 100hPa~3hPa : $\pm 0.5\text{hPa}$
	気温	サーミスタ	+40.0~-90.0℃	0.1℃	飛揚前点検で精度確認 計測精度 $\pm 0.5^\circ\text{C}$
	湿度	静電容量変化式	0.0~100.0%RH	0.1%RH	飛揚前点検で精度確認 計測精度 $\pm 7\%\text{RH}$
	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	0.1~360.0°	0.1°	
	風速		0.0~200.0m/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 $\pm 5\text{m}$
RS-11G型 GPSゾンデ	気圧	GPS高度, 気温, 湿度により算出	1050.0~3.0hPa	0.1hPa	計測精度 $\pm 1\text{hPa}$
	気温	サーミスタ	+40.0~-90.0℃	0.1℃	飛揚前点検で精度確認 計測精度 $\pm 0.5^\circ\text{C}$
	湿度	静電容量変化式	0.0~100.0%RH	0.1%RH	飛揚前点検で精度確認 計測精度 $\pm 7\%\text{RH}$
	風向	GPSゾンデが受信するGPS衛星信号により位置情報を求め, 単位時間当たりの位置情報の変化により風成分を測定し算出	0.01~360.00°	0.01°	
	風速		0.00~200.00m/s	0.01m/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	-500.0~40000.0m	0.1m	計測精度 $\pm 5\text{m}$

3.3. 観測結果

第 59 次隊 (2018 年 1 月~2019 年 1 月) で得られた観測結果について, 指定気圧面の気温の推移を図 6 に, 気温と風の時間高度断面を図 7 に示す. 図 6, 図 7 は各月の値を月平均値で示し, 平年値と比較することで当該期間に得られた観測結果の特徴を確認できる. 以下に得られた観測結果の特徴を示す.

・2 月は 200 hPa を含めた下層の指定気圧面の気温が平年値より高くなり, 100 hPa を含めた

表 9 昭和基地における高層気象観測状況（通常観測分）。

Table 9. The number of observations and reached altitudes of aerological observations at Syowa Station.

年 月		2018年												2019年 1月	合計 平均 極値
		2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月			
高度到達 圧 （※4）	項目	56	62	60	62	60	62	62	60	62	60	62	62	730	
	定時観測回数（日数×2）	57	63	65	62	58	66	66	67	64	64	63	62	757	
	飛揚回数	56	62	60	61	57	62	62	59	62	59	62	62	724	
	正規観測回数（※1）	0	0	0	1	3	0	0	1	0	1	0	0	6	
	欠測回数（※2）	0	0	1	0	0	0	0	3	0	2	0	0	6	
	資料欠如回数（※3）	1	1	5	1	1	4	4	8	2	5	1	0	33	
再観測回数	回数	56	62	59	61	57	62	62	56	62	57	62	62	718	
	平均 hPa	12.9	11.0	15.8	11.3	7.6	12.3	11.5	14.1	11.2	15.9	12.1	11.7	12.3	
	平均 km	30.1	30.2	28.6	28.7	29.8	27.5	27.7	28.6	29.4	29.3	30.8	31.0	29.3	
	最高 hPa	4.8	4.0	3.4	5.7	4.4	5.2	4.6	4.4	4.1	4.9	5.6	6.9	3.4	
	最高 km	36.8	36.6	36.9	32.7	32.7	31.2	32.5	33.6	34.5	35.1	36.0	34.4	36.9	

※1：正規観測資料が得られた回数（地上値のみの観測を含む）

※2：悪天等のため観測が実施できず観測資料が無い回数

※3：正規観測のうち到達気圧が150hPa指定気圧面未満であった回数

※4：正規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

上層の指定気圧面では気温が平年値より低くなった。

- ・ 3月は500hPa～300hPa 指定気圧面の気温が平年値より高くなり、その他の指定気圧面の気温が平年値より低くなった。
- ・ 4月は300hPaと200hPa 指定気圧面の気温が平年値より低くなり、その他の指定気圧面の気温が平年値より高くなった。
- ・ 5月は400hPaを含めた下層の指定気圧面の気温が平年値より高く、300hPaを含めた上層の指定気圧面において気温が平年値より低くなった。
- ・ 6月は300hPaを含めた下層の指定気圧面の気温が平年値より高く、200hPaを含めた上層の指定気圧面において気温が平年値より低くなった。
- ・ 7月は200hPaの指定気圧面の気温が平年値より高く、その他の指定気圧面の気温が平年値より低くなった。
- ・ 8月は500hPaを含めた下層の指定気圧面の気温が平年値より高く、400hPaを含めた上層の指定気圧面において気温が平年値より低くなった。
- ・ 9月は2月と同様の傾向となった。
- ・ 10月は全ての指定気圧面の気温が平年より低くなった。
- ・ 11月は700hPaと200hPa 指定気圧面の気温が平年値より高くなり、その他の指定気圧面の気温が平年値より低くなった。
- ・ 12月は300hPa～50hPa 指定気圧面の気温が平年値より高くなり、その他の指定気圧面の気温が平年値より低くなった。
- ・ 1月は300hPaを含めた下層の指定気圧面の気温が平年値より高くなり、200hPaを含めた上層の指定気圧面の気温が平年値より低くなった。

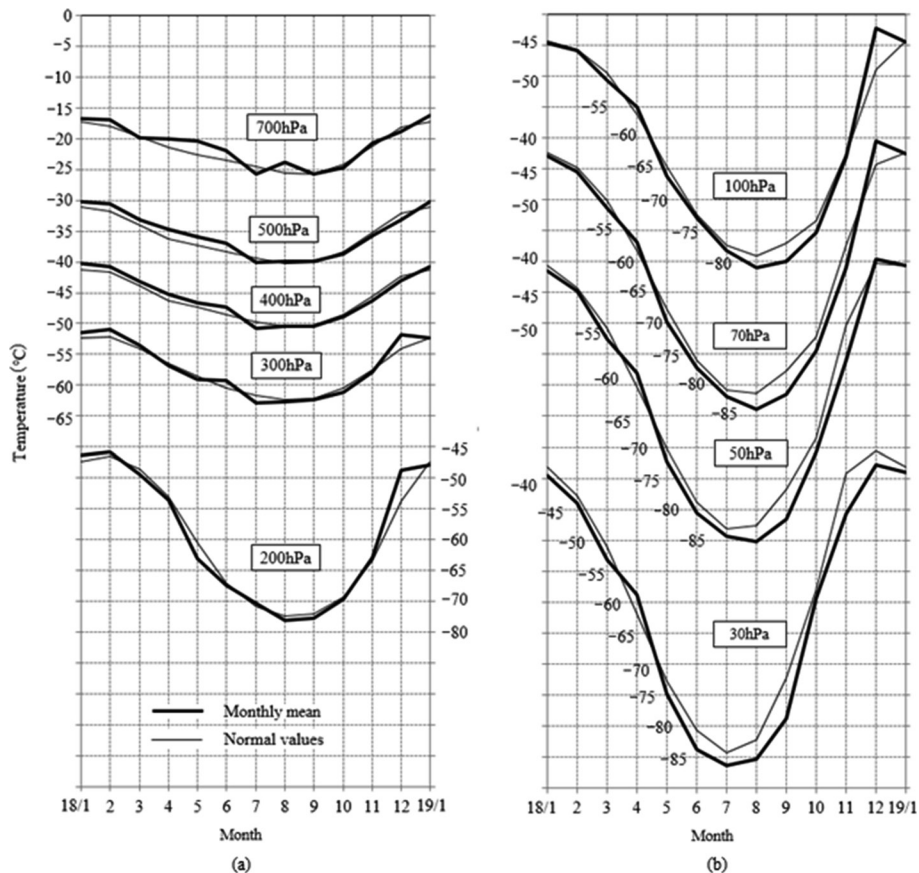


図 6 指定気圧面の月平均気温の年変化（2018 年 1 月～2019 年 1 月）と平年値（1981 年～2010 年）の年変化（00 UTC）。

(a) 700 hPa～200 hPa, (b) 100 hPa～30 hPa.

Fig. 6. Annual variations of monthly mean upper air temperature (Jan.2018–Jan.2019) and normal values (1981–2010) at Syowa Station. (a) 700 hPa–200 hPa, (b) 100 hPa–30 hPa.

風の特徴は、東西成分で 8 月の観測結果において平年値と比べ全ての層で東風成分が強くなり、高度が高くなるほどその特徴が顕著となる傾向を示した。南北成分では 5 月の観測結果において平年値と比べ 300 hPa 付近を中心に 700 hPa から 40 hPa まで北風成分が強くなる傾向を示した。また、9 月から 12 月にかけて、100 hPa より上空で平年値と比べ、北風成分が強くなる傾向を示した。

次に、2018 年 1 月から 2019 年 1 月までの高層気象指定気圧面気温の時間分解能を高くした時間高度断面図について図 8 に示す。

この図より成層圏で -70°C 以下の領域が明瞭に現れたのは 5 月初旬からで、5 月下旬からは -80°C 以下の領域も現れ、9 月下旬まで継続したことが確認できる。

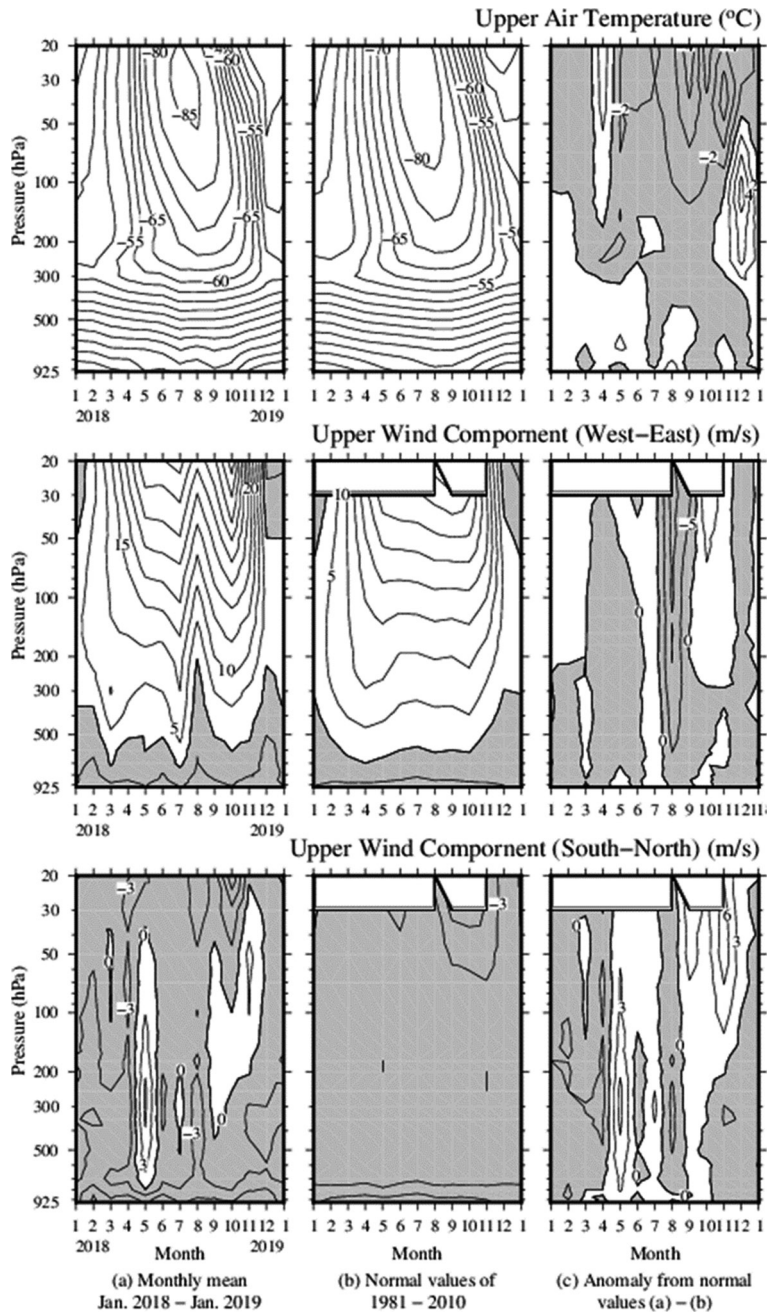


図 7 高層の気温と風の東西成分・南北成分の時間高度断面図 (2018 年 1 月～2019 年 1 月). 気温 (°C, 上段), 風の東西成分 (中段) 及び南北成分 (m/s, 下段) について高度 - 時間断面図を示す. (a) 月平均値, (b) 平年値 (1981 年～2010 年), (c) 平年値からの偏差.

Fig. 7. Annual variations in upper air temperature (°C) and upper wind components (m/s) (Jan.2018–Jan.2019). Altitude-time cross-sections shows for temperature (°C, upper panel), east-west component (middle panel), and north-south component (m/s, lower panel) of the wind. (a) Monthly mean, (b) normal values (1981–2010), (c) anomalies.

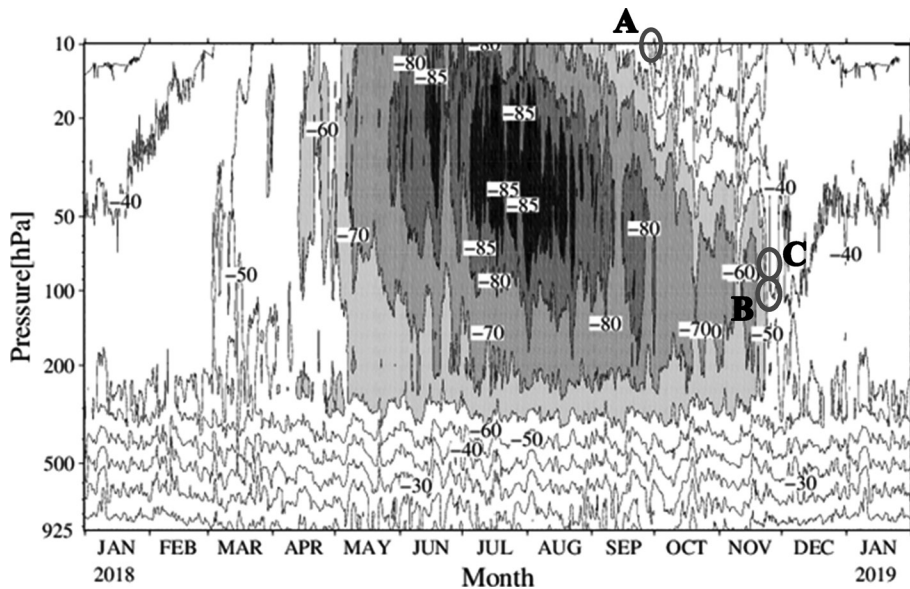


図 8 昭和基地上空の気温の時間高度断面図（高時間分解能）（2018 年 1 月～2019 年 1 月）。
薄灰色域： -60°C 以下，灰色域： -70°C 以下，濃灰色域： -80°C 以下，黒色域： -85°C 以下。図上の A, B, C は当該期間に観測された成層圏突然昇温の中で昇温の大きいほうから 3 事例を示す。
A：9 月 27 日～10 月 3 日，10 hPa， 43.4°C 。B：11 月 21 日～11 月 28 日，70 hPa， 35.4°C 。C：11 月 21 日～11 月 27 日，100 hPa， 32.2°C 。

Fig. 8. Time-altitude cross-section of upper air temperature (Jan. 2018–Jan. 2019).

A light gray area indicates the region -60°C or below, a gray area indicates the region -70°C or below, a dark gray area indicates the region -80°C or below, a black area indicates the region -85°C or below. In the figure, A, B, and C are the three cases of sudden stratospheric warming observed during the period.

A: September 27–October 3, 10 hPa, 43.4°C ; B: November 21–November 28, 70 hPa, 35.4°C ; C: November 21–November 27, 100 hPa, 32.2°C .

成層圏突然昇温は極夜明けの時期に観測されるが，WMO が示している小規模突然昇温の条件である「最大上昇温度が 25°C /7 日以上気温上昇」は，9 月下旬から 11 月下旬にかけて 8 事象観測された。以下に各事例を示す。また，昇温が大きかった方から 3 事例を取り上げ，図 8 に示す。

- (1) 9 月 27 日から 10 月 3 日にかけて，10 hPa で 43.4°C の昇温。
- (2) 9 月 27 日から 10 月 3 日にかけて，15 hPa で 30.1°C の昇温。
- (3) 11 月 9 日から 11 月 11 日にかけて，20 hPa で 26.4°C の昇温。
- (4) 11 月 9 日から 11 月 15 日にかけて，10 hPa で 26.4°C の昇温。
- (5) 11 月 19 日から 11 月 26 日にかけて，50 hPa で 28.8°C の昇温。
- (6) 11 月 21 日から 11 月 27 日にかけて，100 hPa で 32.2°C の昇温。
- (7) 11 月 21 日から 11 月 28 日にかけて，70 hPa で 35.4°C の昇温。

(8) 11月21日から11月28日にかけて、50hPaで25.4℃の昇温。

2018年2月から2019年1月における南半球高緯度の高度について特徴を解析するため、昭和基地の高層観測結果において対流圏と成層圏で期間を通して比較的大きな偏差を示した500hPaと30hPaの高度月平均値と年間偏差を、それぞれ図9、図10に示す。

500hPa高度の特徴を述べる。2月から3月にかけて西経90度付近で年間値と比較して顕著に低い領域が明瞭となった(図9の領域A)。4月の西経135度付近で年間値と比較して顕著に高い帯状の領域が比較的広範囲で明瞭となった(図9の領域B)。6月の西経180度付近で年間値と比較して顕著に低い楕円形の領域が比較的広範囲で明瞭となった(図9の領域C)。8月の東経45度付近と西経135度付近で年間値と比較して顕著に低い領域が明瞭となった(図9の領域D)。一方で、西経45度付近と東経135度付近で年間値と比較して顕著に高い領域が明瞭となった(図9の領域E)。11月の東経90度付近と東経180度付近で年間値と比較して顕著に高い領域が明瞭となった(図9の領域F)。11月から12月にかけて東経135度付近で年間値と比較して顕著に低い領域が明瞭となった(図9の領域E)。

30hPa高度の特徴を述べる。4月から6月にかけて東経90度付近に年間値と比較して高い領域が、領域を縮小させながら東へ移動した(図10の領域A)。4月の西経90度付近に年間値と比較して低い領域が明瞭となり、5月までは図10の領域Aと向かい合うように移動した(図10の領域B)。8月から11月にかけて年間値と比較して顕著に低い領域が明瞭となった(図10の領域C)。

3.4. 特別観測

3.4.1. 特別観測

WMOでは世界気象研究計画(World Weather Research Programme: WWRP)のもとで極域気象等の予測精度向上のため、極域予測プロジェクト(Polar Prediction Project: PPP)を推進し、南極域ではYOPP-SHとして実施されている。特に2017年から2019年を極域予測年(Year of Polar Prediction, 以下、YOPPとする)と位置づけ、2018年11月16日~2019年2月15日の3か月間を特別強化観測期間(Special Observation Period, 以下、SOPとする)に設定した。この3か月間に各国で様々な観測が特に強化された。昭和基地においても高層気象観測の回数を増やした。観測データはGTSを通じて配信され、各国の強化観測データとともに国際的に共有された。SOPの観測の成果について、Bromwich *et al.* (2020)によりまとめられ、気象部門が中心的に担った昭和基地での観測や、気水圏部門が担ったドームふじ基地及びしらせ船上での観測も含めて出版された。YOPPにより得られたデータは、気象予測の改善やオゾンホールなどの一般的な環境問題に対する解決策を見つける上で極めて重要なものである(Polarrediction 2017)。既に、昭和基地の高層気象データとドイツのNeumayer基地の高層気象データを用いて強い降雪の仕組みの研究が始まっている(Gorodetskaya *et al.*,

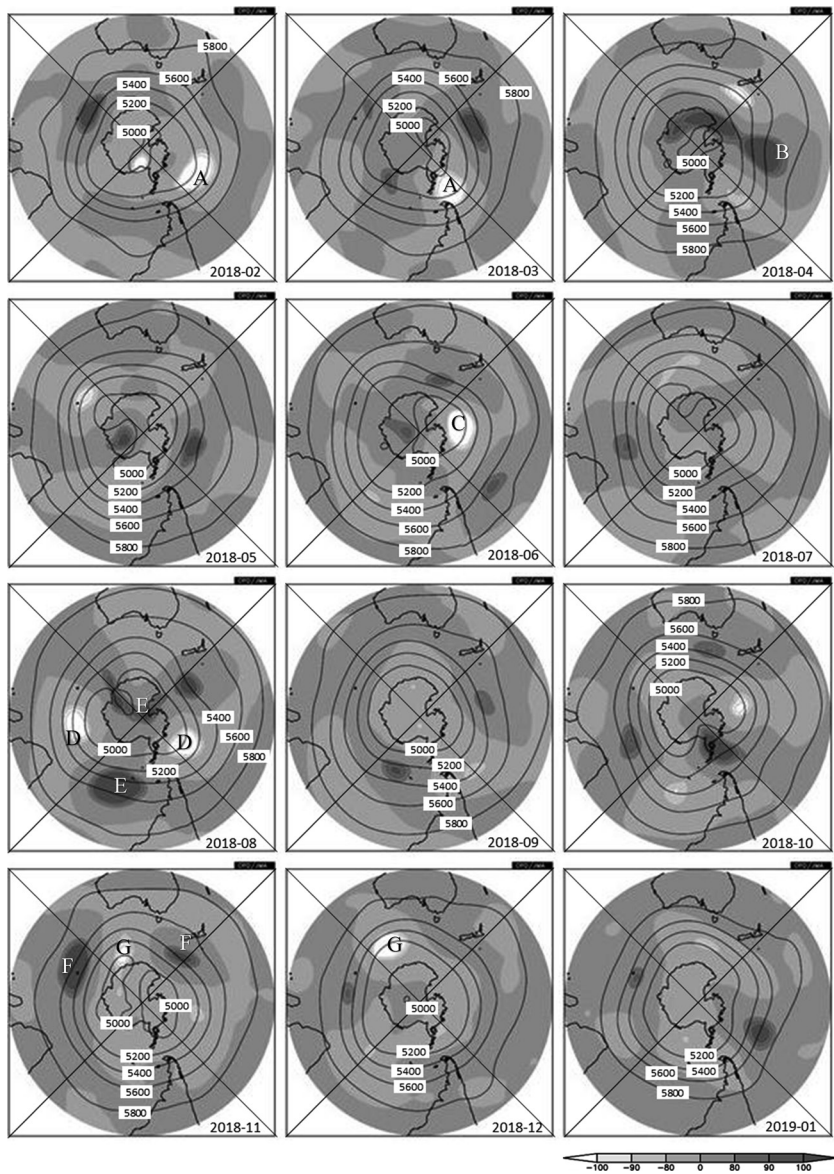


図 9 南半球月平均 500 hPa 高度（等値線）及び平年偏差（陰影）（2018 年 2 月～2019 年 1 月）。

等値線間隔は 200 m，平年値は 1981～2010 年平均値。図上の A～G は平年偏差において特徴のある領域を示す。

Fig. 9. Monthly mean 500 hPa height and anomaly in the Southern Hemisphere (Feb.2018–Jan.2019).

The contours show height at an interval of 200 m. The shading indicates height anomalies. Anomalies are deviations from the 1981–2010 average. A to G in the figure shows the characteristic areas in the anomalies.

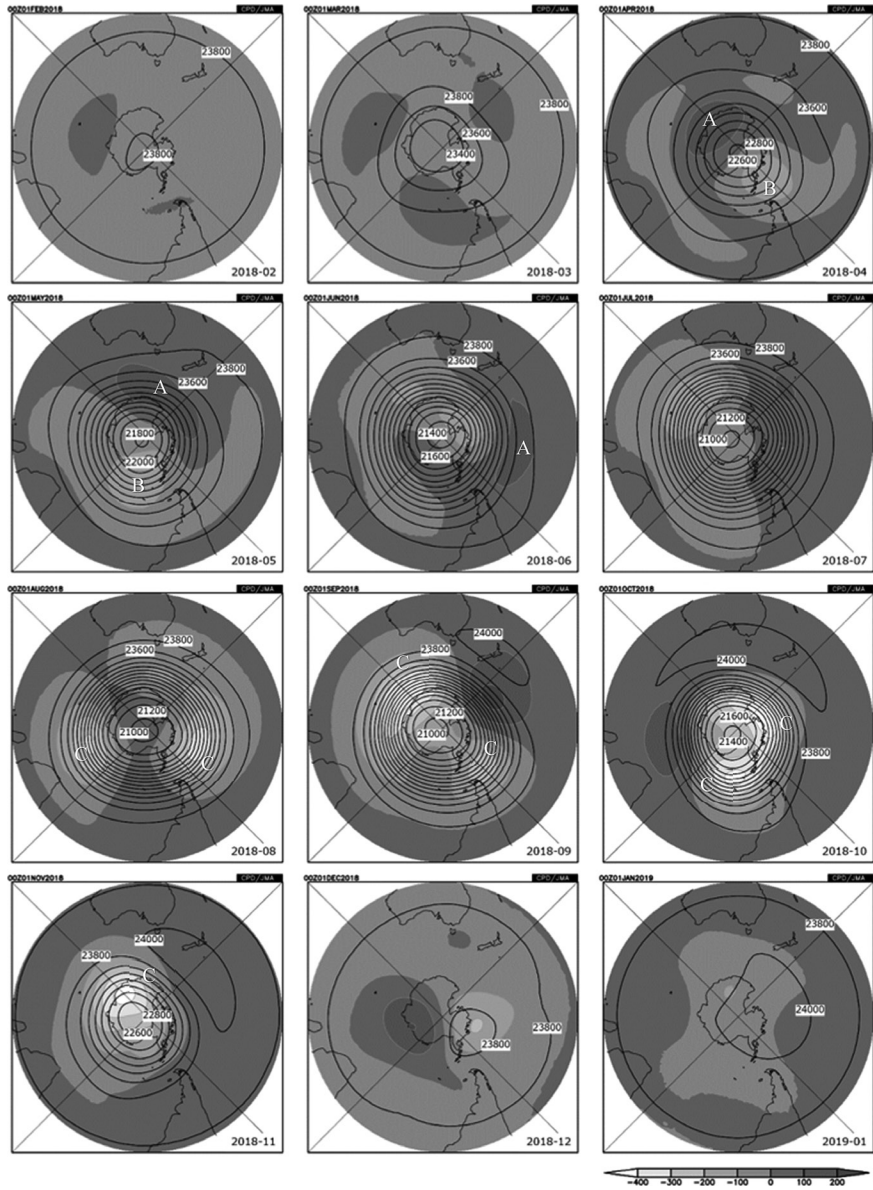


図 10 南半球月平均 30 hPa 高度 (等値線) 及び平年偏差 (陰影) (2018 年 2 月～2019 年 1 月). 等値線間隔は 200 m, 平年値は 1981～2010 年平均値. 図上の A～C は平年偏差において特徴のある領域を示す.

Fig. 10. Monthly mean 30 hPa height and anomaly in the Southern Hemisphere (Feb.2018–Jan.2019). The contours show height at an interval of 200 m. The shading indicates height anomalies. Anomalies are deviations from the 1981–2010 average. A to C in the figure shows the characteristic areas in the anomalies.

2020).

昭和基地では11月16日～12月31日まで毎日06 UTCの1回、1月1日～1月31日まで毎日06 UTCと18 UTCの2回、2月1日～2月15日まで毎日06 UTCの1回（2月の観測は第60次隊が実施した）、ヘリウムガスを充填したゴム気球にGPSゾンデを吊り下げて飛揚し、上空の大気を観測した。観測器材を表10、観測状況を表11に示す。

なお、1月は350g気球を使用しているため11月、12月と比較して到達高度が低高度となっている。

表 10 昭和基地における高層気象観測器材（YOPP-SH）。

Table 10. Sensor for aerological observations at Syowa Station (YOPP-SH).

GPSゾンデ	RS-11G型GPSゾンデ		
	センサ	気温	ガラス溶封アルミニウム蒸着サーミスタ温度計
		湿度	高分子感湿膜静電容量変化式湿度計
気球	浮力錘浮力	600g 気球（2018年11月16日～2018年12月31日） 1700g（巻下器使用時は1800g） 350g 気球（2019年1月1日～2019年1月31日） 1400g（巻下器使用時は1500g） 350g 気球（2019年2月1日～2019年2月15日） 1400g（巻下器使用時は1500g）	
その他	強風時に使用	気象観測用巻下器（15m）	

表 11 昭和基地における高層気象観測状況（YOPP-SH）。

Table 11. The number of observations and reached altitudes of aerological observations at Syowa Station (YOPP-SH).

年		2018年		2019年	合計 平均 極値
項目	月	11月	12月	1月	
定時観測回数		15	31	62	108
飛揚回数		14	31	61	106
正規観測回数（※1）		14	31	61	106
欠測回数（※2）		1	0	1	2
資料欠如回数（※3）		0	0	1	1
（※4） 到達 気圧 高度	回数	14	31	60	105
	平均 hPa	14.4	13.8	33.5	20.6
	平均 km	29.6	30.2	23.6	27.8
	最高 hPa	8.0	9.1	21.5	8.0
	最高 km	32.6	32.3	26.3	32.6

※1：正規観測資料が得られた回数（地上値のみの観測を含む）

※2：悪天等のため観測が実施できず観測資料が無い回数

※3：正規観測のうち到達気圧が150hPa指定気圧面未満であった回数

※4：正規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

3.4.2. 特殊ゾンデ観測

特殊ゾンデ観測として、GPS ゾンデに水蒸気センサを付加した水蒸気ゾンデや精密温度センサを付加した気温基準ゾンデを飛揚した。8月20日に気温基準ゾンデの観測を1回、水蒸気ゾンデの観測を1回、1月22日に水蒸気ゾンデの観測を1回実施した。観測結果を図11、観測器材を表12、観測状況を表13に示す。

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オゾン全量・反転（高度分布）観測、ECC型オゾンゾンデ（以下、オゾンゾンデとする）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観測を行った。オゾン全量・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14に示す。

オゾン全量・反転（高度分布）観測及びオゾンゾンデ観測結果は、電子メールで毎月気象庁へ報告し、気象庁からWMO世界オゾン紫外線データセンター（World Ozone and

表 12 昭和基地における高層気象観測器材（特殊ゾンデ）。

Table 12. Sensor for aerological observations at Syowa Station (special sonde).

GPSゾンデ	RS-11G型GPSゾンデ		
	センサ	気温	ガラス溶封アルミニウム蒸着サーミスタ温度計
		湿度	高分子感湿膜静電容量変化式湿度計
特殊ゾンデ	気温基準センサ	MTR	
	水蒸気センサ	CFH	
気球	気温基準ゾンデ 1200g気球、浮力1900g（巻下器使用時は2100g）		
	水蒸気ゾンデ 2000g気球、浮力2700g（巻下器使用時は2900g）		
巻下器 （強風時に使用）	特殊ゾンデ観測用巻下器（50m）		

表 13 昭和基地における高層気象観測状況（特殊ゾンデ）。

Table 13. The number of observations and reached altitudes of aerological observations at Syowa Station (special sonde).

CFH		年	2018年				
項目		月	8月				
飛揚回数			1				
到達気圧 ／高度	最高	hPa	5.6				
	最高	km	31.2				

MTR		年	2018年	2019年			
項目		月	8月	1月			
飛揚回数			1	1			
到達気圧 ／高度	最高	hPa	5.7	5.8			
	最高	km	30.9	35.7			

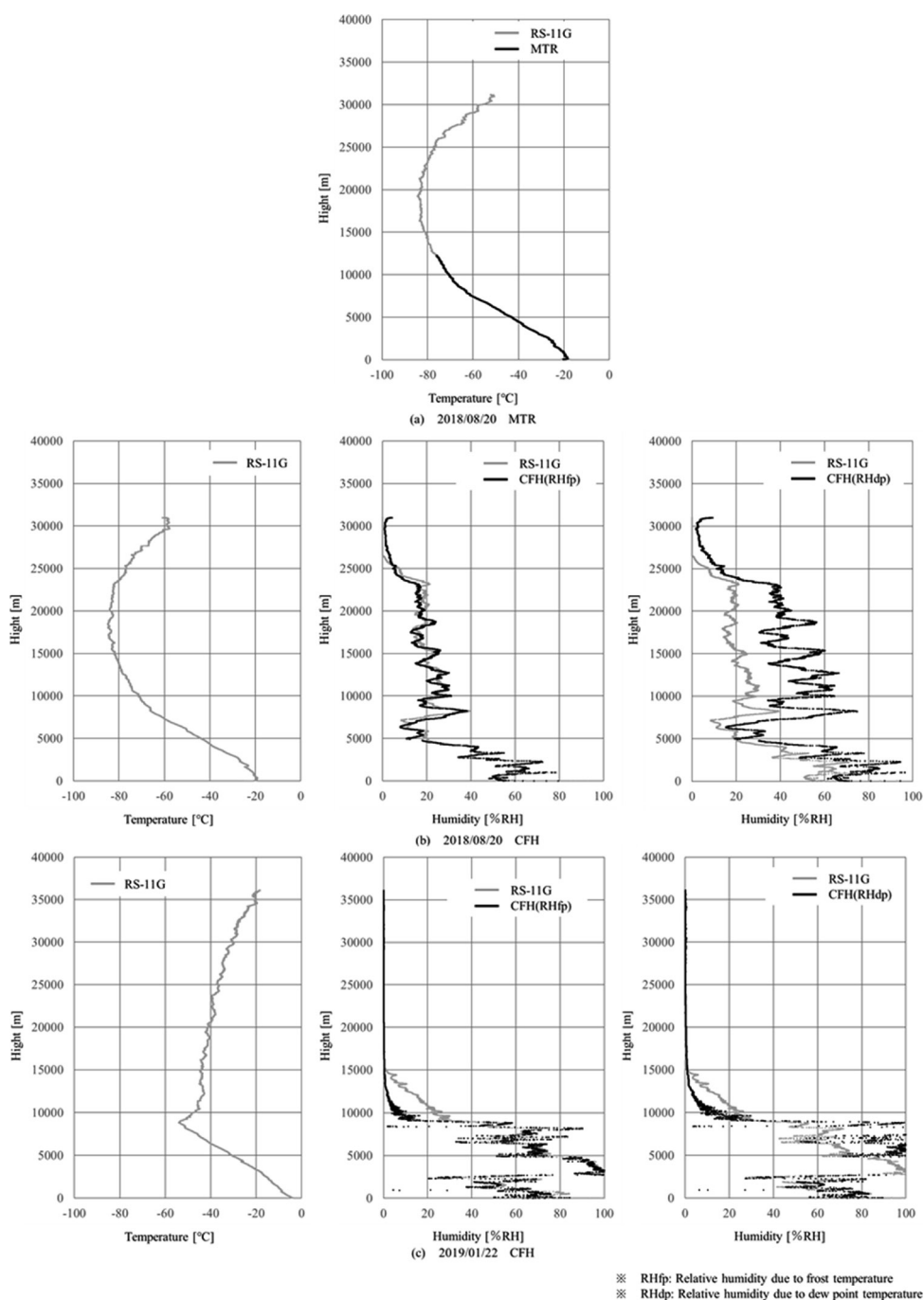


図 11 特殊ゾンデ観測結果.

(a) 2018/08/20 MTR, (b) 2018/08/20 CFH, (c) 2019/01/22 CFH.

Fig. 11. Special sonde observation results.

(a) 2018/08/20 MTR, (b) 2018/08/20 CFH, (c) 2019/01/22 CFH.

表 14 昭和基地におけるオゾン観測機材.

Table 14. 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-11G	気圧	1050～3hPa	GPS ゾンデと同様（表 7 参照）
			気温	+40～-90℃	
			湿度	0～100%RH	
			風向 風速	0～360° 0～200m/s	
	オゾン センサ	ECC-1Z	mPa		飛揚前に、ポンプ流量補正係数を測定し、点検装置で性能を確認 反応液（ヨウ化カリウム溶液） ポンプ駆動電源（8V リチウム電池 2 本）
	気球	2000g			ゴム気球 ※標準浮力錘浮力：2900g 巻下器使用時：3100g
	巻下器				オゾンゾンデ観測用巻下器（50m） （強風時に使用）
地上オゾン 濃度観測	オゾン 濃度計	EBARA EG3000F (9020075, 9020077)	0～200ppbv		紫外線吸収法，最小感度 0.1ppbv， 15 秒サンプリング

Ultraviolet Data Centre：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、世界の関係機関に配布された。

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 を通じて毎日 1 回通報した。

地上オゾン濃度観測結果も同様に、電子メールで毎月気象庁へ報告し、気象庁から WMO 反応性ガス世界資料センター（World Data Centre for Reactive gases：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を利用したオゾン全量（地表面から大気上端までの垂直気柱内のオゾンの総量）の観測を行った。この Beck119 は第

58 次隊の観測測器（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。

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 とする）により決定した。太陽高度が高い時期については， $\mu = 1.5, 2.5, 3.5$ の時刻に AD 波長組（A 波長組：平均波長 305.5 nm と 325.0 nm，D 波長組：平均波長 317.5 nm と 339.9 nm）を，太陽高度が低い時期については， $\mu = 4.5, 5.5, 6.5$ 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：前述）を，それぞれ用いて観測を行った。太陽北中時の μ が 6.5 を上回る時期については， $\mu = 7.0$ の時刻に 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ため，現地で数時間にわたり太陽直射光の連続観測を行うことで決定した。

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

また，測器の保護のため，降雪や強風時は観測を実施しなかった。

4.2.2. 観測経過

測器の精度確認のため，2017 年 12 月 30 日及び 2018 年 1 月 7 日から 11 日に，Beck119 と Beck122 の比較観測を実施した。精度確認の結果，直射光比較観測のデータに異常がないことが確認できたことから，2 月 1 日に測器の入れ替えを行って Beck119 による観測を開始し，Beck122 は点検・調整・校正のため第 58 次隊が国内に持ち帰った。

越冬中は長期にわたる測器障害もなく，順調に観測を行った。

月別オゾン全量観測日数を表 15 に示す。5 月から 7 月は太陽高度角が低く太陽光による観測ができなかった。そのため月光観測のみを行ったが，観測可能な月齢や μ の条件が揃う日は月に 10 日間程度であり，実際の観測日数は天候によりさらに少なくなった。

4.2.3. 観測結果

2018 年 2 月から 2019 年 1 月のオゾン全量日代表値の年変化を図 12 に示す。なお，日代表値は前述のオゾン観測指針に従い，太陽面または天頂の雲の状況や太陽高度から決定される。9 月以降，オゾンホールを目安である 220 m atm-cm を下回る日が増え始め，10 月 7 日に 2018 年の最小値である 137 m atm-cm を記録した。10 月中旬以降は，極渦が移動または変形することに対応して昭和基地がオゾンホールの外側に位置する日も多く，オゾン全量が 220 m atm-cm を上回ることが多くなった。11 月 25 日以降はオゾンホールが昭和基地上空から離れたため，オゾン全量が回復した。

昭和基地における月平均オゾン全量の経年変化を図 13 に示す。南極オゾンホール期間の

表 15 昭和基地における月別オゾン全量観測及びオゾン反転観測日数.

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

	2018 年												2019 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	24	26	24	-	-	-	18	25	29	27	31	31	235	
全量観測日数 (月光)*1	-	2	4	11	4	7	7	4	1	-	-	-	40	
		(0)	(2)	(11)	(4)	(7)	(0)	(0)	(0)				(24)	
反転観測日数 (ロング)*2	3	2	0	-	-	-	0	3	7	6	0	3	24	
反転観測日数 (ショート)*2	0	1	1	-	-	-	0	8	0	0	0	0	10	

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.

全量観測日数(月光)の()内の数字は、月光観測のみ実施した日数.

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

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

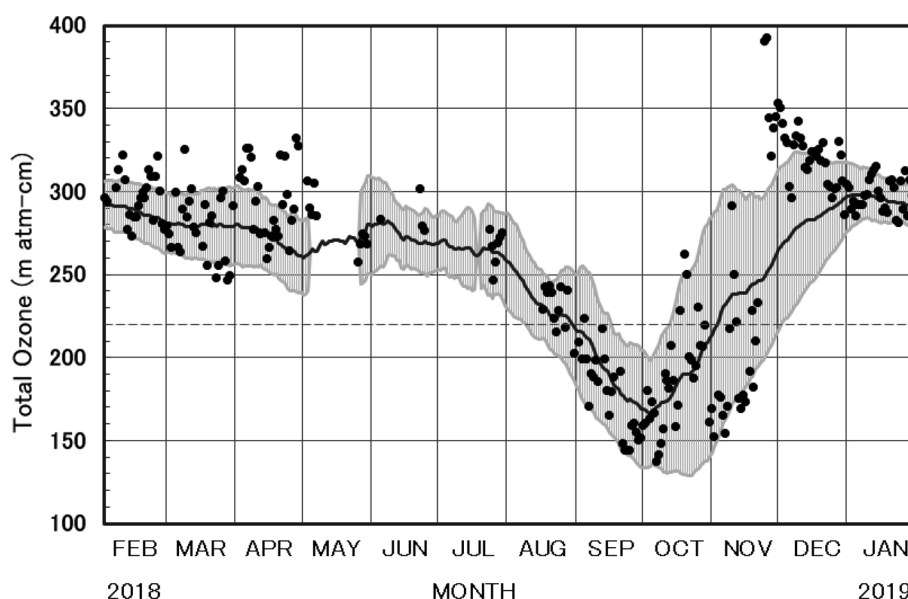


図 12 昭和基地におけるオゾン全量日代表値の年変化(2018年2月~2019年1月).

陰影部は参照値(1994年から2008年の累年平均値)とその標準偏差($\pm\sigma$)を、破線はオゾンホール目安である220 m atm-cmの値を示す.

Fig. 12. Annual variations in total ozone at Syowa Station (Feb.2018-Jan.2019).

The black line and light gray shadings are the average and standard deviations ($\pm\sigma$) for the period from 1994 to . The dashed line shows 220 m atm-cm.

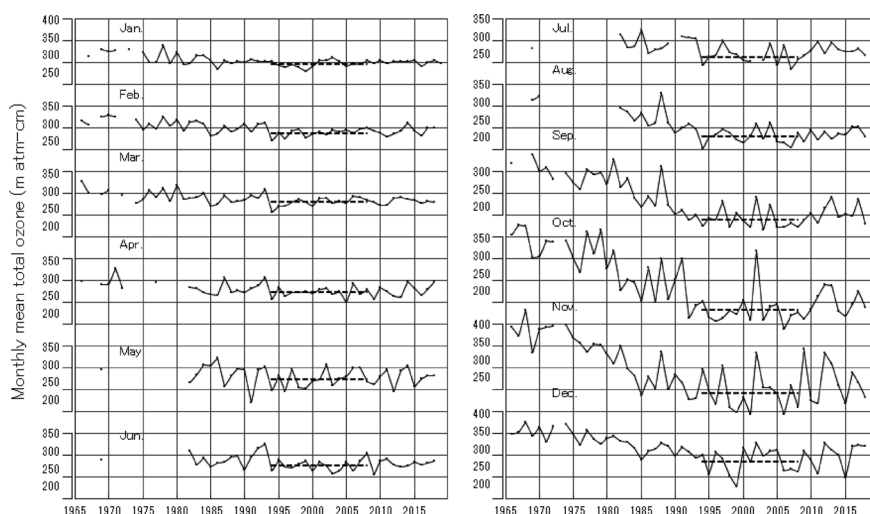


図 13 昭和基地における月平均オゾン全量の経年変化（1966 年 2 月～2019 年 1 月）。
破線は参照値（1994 年から 2008 年の累年平均値）を示す。

Fig. 13. Time series of monthly mean total ozone at Syowa Station (Feb. 1966–Jan. 2019).
The dashed line shows the average of the 1994–2008 period.

月平均オゾン全量において、8 月から 11 月までは参照値（1994 年から 2008 年の累年平均値）と比べて同程度で推移したが、12 月は多くなった。

4.3. オゾン反転観測

4.3.1. 観測方法と測器

オゾン観測指針：オゾン全量・反転観測編（気象庁，1991）に準じ，ドブソン分光光度計（Beck119）を用いて，天頂散乱光の連続観測値を利用したロング反転観測とショート反転観測（共にオゾン鉛直分布を導くための観測）を行った。観測は，午前と午後の 1 日 2 回可能で，雲量の少ない日に実施し，ロング反転観測では C 波長組について太陽天頂角が 60° から 90° ，ショート反転観測で ACD 波長組について 80° から 89° の範囲について，指定された天頂角の晴天天頂光観測値が得られた時に成立する。観測結果の即時的な品質管理を行うため，天頂雲検出器（宮川・上野，2008）を測器に取り付けて運用した。なお，ショート反転観測は太陽高度角がより低い時期でも成立するという利点を持つが，解析プログラムがなく，現状では鉛直分布を算出できない。

4.3.2. 観測経過

測器の状況は 4.2.1. に記述したとおりであり，順調に観測を行った。

月別反転観測日数と観測種別ごとの内訳を表 16 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。

4.3.3. 観測結果

2018年2月から2019年1月のオゾン反転観測（ロング反転観測）による気層別オゾン量を図14に示す。4月から8月及び12月はロング反転観測データが得られなかったため表示していない。計算アルゴリズムは、Petrovskikh *et al.* (2005) の手法を用いている。また、データの品質管理のために、準器との比較観測に基づく測器の特性評価から測定値を補正している（Miyagawa *et al.*, 2009）。

第2～5層（253～15.8hPa）のオゾン量は、9月下旬から11月中旬にかけて少ない状態で推移したが、これはオゾンホールが発生していた期間とほぼ一致する。11月下旬以降はオゾンホール期に見られるオゾン量の少ない状態は解消した。

4.4. オゾンゾンデ観測

4.4.1. 観測方法と測器

オゾンゾンデ観測指針〔ECC型編〕（気象庁，2010）に準じた。オゾンゾンデを気球に吊り下げ、上空約35kmまでのオゾン分圧、気圧、気温、相対湿度、風向及び風速の高度分布を観測した。オゾンゾンデは高層気象観測用のGPSゾンデとオゾン測定用のオゾンセンサを組み合わせて使用した。大気中に含まれるオゾンと反応液（ヨウ化カリウム溶液）との化学反応の際に生ずる反応電流はオゾン量に比例するため、それを測ることによりオゾン量を求めている。

オゾンゾンデの信号を受信する地上設備は、高層気象観測と同じものを使用した。オゾンゾンデ飛揚前には、ポンプ効率測定装置（中野・岩野，2008）を用いて気圧に対するポンプ流量の補正係数（ポンプ効率修正係数）を求め、さらに、オゾンゾンデ点検装置を用いて性能の確認を行った。気球は2000gのゴム気球を使用し、ヘリウムガスを充填して浮力錘浮力を2900g（巻下器使用時は3100g）とした。また、5月から10月の到達高度が低くなる期間は、高層気象観測と同様に気球の油漬け処理を行った。飛揚機材を表14に示す。

低温対策として、通年でオゾンセンサをアルミシートで覆う処理、電池収納部の隙間に蓋をする処理を行った。上空の気温が -80°C を下回る5月から10月には、追加の低温対策としてオゾンセンサ内部にも数g程度のウォーターバッグを入れた。

4.4.2. 観測経過

第59次隊ではオゾンゾンデを51台飛揚した。オゾンゾンデの観測状況を表16に示す。

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

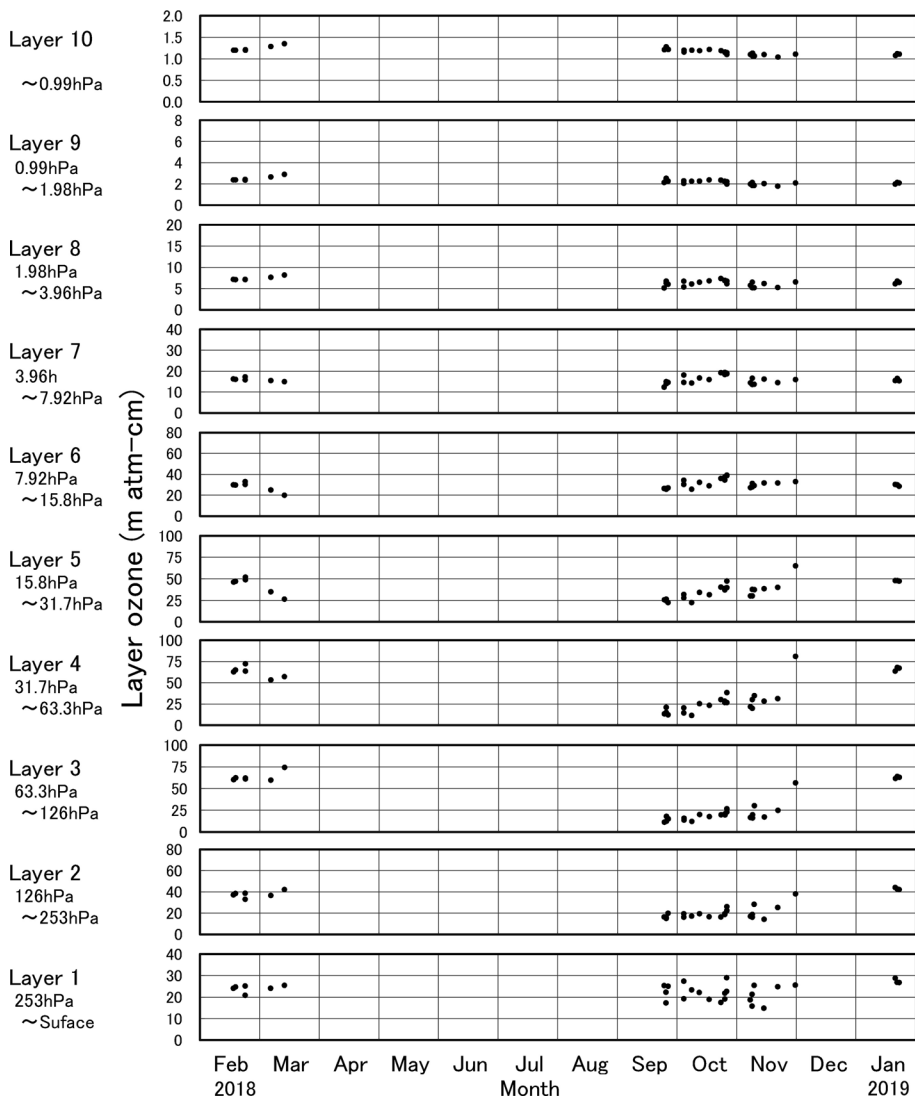


図 14 昭和基地における反転観測による気層別オゾン量 (2018 年 2 月～2019 年 1 月)。

Fig. 14. Amount of ozone in the selected layers obtained by Umkehr observations at Syowa Station (Feb.2018-Jan.2019).

4.4.3. 観測結果

2018 年 2 月から 2019 年 1 月までのオゾン分圧の月別高度分布を図 15 に示す。2 月～8 月は 100 hPa～30 hPa でオゾン分圧が最大となる高度分布となっており 15 mPa 以上となる時期もあったが、9 月から 10 月はオゾンの破壊が進み 10 mPa 未満となった。その後、オゾンの回復が進み、12 月にはほぼ回復した。なお、9 月から 11 月の 100～30 hPa 付近のオゾン分圧はオゾンホールが明瞭に現れる以前の月平均値 (1968～1980 年の平均値) よりも低いも

表 16 昭和基地における各月毎のオゾンゾンデ観測の観測日及び観測終了気圧.
Table 16. Dates and reached altitudes of ozonesonde observations at Syowa Station.

		2018年											
		2月		3月		4月		5月		6月		7月	
日	解析 終了 気圧 (hPa)	11	4.9	7	4.3	8	13.1	3	8.9	5	4.5	2	6.0
		17	5.4	13	6.8	22	4.7	16	8.3	13	5.1	14	14.6
		26	6.0	24	4.5	29	19.6	26	8.9	22	6.9	21	25.3
		—	—	—	—	—	—	—	—	27	5.5	29	13.7

		2018年										2019年	
		8月		9月		10月		11月		12月		1月	
日	解析 終了 気圧 (hPa)	3	6.1	5	6.6	7	13.3	8	8.4	3	8.0	8	14.5
		9	9.0	9	5.9	12	8.2	11	13.1	13	9.3	16	9.3
		14	24.6	15	6.9	17	284.8 ^{*1}	14	10.7	21	9.8	21	6.7
		19	6.1	22	10.0	22	53.0	21	6.3	27	5.5	—	—
		23	4.6	24	10.4	25	34.5	28	7.0	—	—	—	—
		28	6.3	28	7.4	28	18.6	—	—	—	—	—	—
		—	—	30	6.1	—	—	—	—	—	—	—	—

*1：観測終了高度が対流圏界面以下のため，統計不採用。

のの，参照値（1994～2008 年の累年平均値）の標準偏差内で推移した。

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から見て主風向の風上側（北東側）に位置する清浄大気観測室で実施している（図 1，⑦の位置）。同建物北東側の地上から 4m の高さに設置した大気取入口からテフロン配管を通して大容量ポンプで地上付近の大気を吸引し，さらにオゾン濃度計内のポンプにより流量毎分 1.5 リットルでオゾン濃度計に取り入れて，そのオゾン濃度を紫外線吸収方式のオゾン濃度計（荏原実業製 EG-3000F）で 15 秒ごとに測定した。地上オゾン観測は前述の立地のため，弱い南西寄りの風が吹くと，昭和基地中心部からの汚染の影響を大きく受けた。また，基地周辺で活動する車両や南極観測船しらせからの排気ガスによる汚染の影響を受けたこともあった。汚染の影響を受けた場合，オゾン濃度が下がり，そのばらつきが大きくなるため，オゾン濃度の変化，風向・風速及び基地周辺の状況から汚染の影響を受けていると判断した期間は欠測とした。欠測を除いた毎正時の時別値を前 1 時間平均により求め，さらに時別値のうち 120 個以上の 15 秒値から得られた時別値を平均して日別値を求めた。

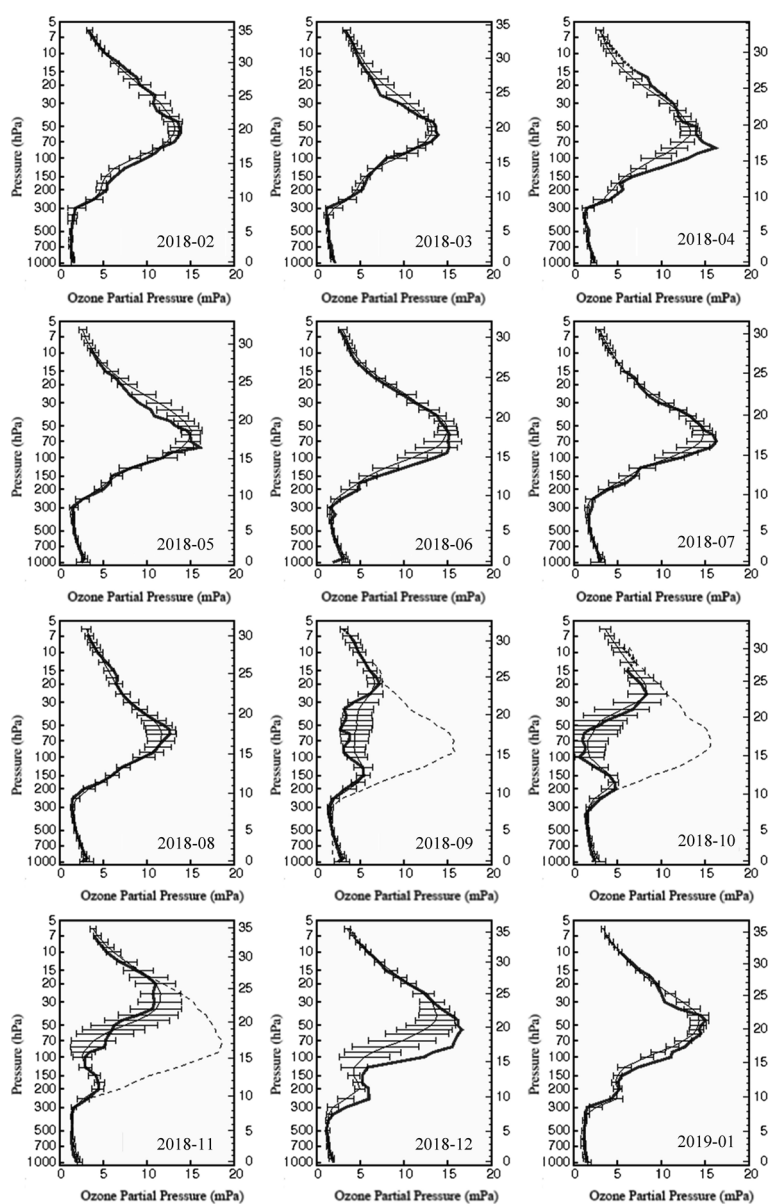


図 15 昭和基地におけるオゾン分圧の高度分布 (2018 年 2 月～2019 年 1 月)。

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. 15. Vertical distribution of ozone partial pressure observed by ozonesonde at Syowa Station (Feb.2018–Jan.2019).

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).

オゾン濃度計は1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、2台は観測現用器と予備器として昭和基地で運用し、残りの2台は国内において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まれる。第59次隊で持ち込んだ2台のオゾン濃度計（荏原実業製 EG-3000F 測器番号：9020075, 9020077）は、2017年12月24日から2018年1月31日まで第58次隊が使用していた2台のオゾン濃度計（Dylec 製 MODEL1100 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）及び比較観測を行い、濃度計間の出力差が十分に小さいことを確認した後に、観測に使用した。また、2019年1月4日から1月31日まで第60次隊持ち込みのオゾン濃度計2台（Dylec 製 MODEL1100 測器番号：A-1781-1, A-1781-2）との相互比較及び比較観測を行い、濃度計間の出力差が十分に小さいことを確認した。

4.5.2. 観測経過

オゾン濃度計は、安定的な運用を行うため2月1日から7月31日までは測器番号9020075を、8月1日から1月31日までは測器番号9020077を現用器として運用した。予備器とした濃度計も、異常時には速やかに代替できるよう随時比較観測を行なった。

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除雪、乾燥して予備として保管した。第59次隊では雪の詰まりによる流量の低下や濃度値の異常など、観測への影響は見られなかった。

観測期間の特記事項は以下のとおりである。

- ・9月12日～13日：データ収録PCの不具合により観測データの収録ができず欠測が生じた。
- ・10月16日：UPSが電源障害を誤検知し、データ収録PCの自動シャットダウンが実行されたため欠測が生じた。誤検知対策としてUPSの設定を変更した。
- ・1月4日：年1回の保守作業（観測装置内の全てのテフロン配管、ドレンボット、大気吸引フィルター、大容量ポンプダイヤフラムの交換）を実施した。
- ・1月18日：昭和基地停電により欠測が生じた。
- ・1月24日：計画停電により欠測が生じた。

4.5.3. 観測結果

2018年2月から2019年1月までの地上オゾン濃度時別値を図16に示す。

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月ごろにかけて濃度の変動が大きくなる傾向があり、第59次隊でも同様の傾向が見られた。また、極夜明けに地上オゾン消失現象（Surface Ozone Depletion, 以下、SODとする）と呼ばれる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, 2013), 第 59 次隊でも 7 月から 10 月にかけて同様の現象が顕著な事例で 7 回観測された (図 16 中の矢印). この中で 10 月 21~22 日の事例は, 低濃度の期間が長く, 濃度変化も急であった (図 17). 昭和基地での SOD の要因として, 江崎ほか (2013) は, 海洋上で海塩粒子に含まれる臭素化合物との光化学反応によりオゾン

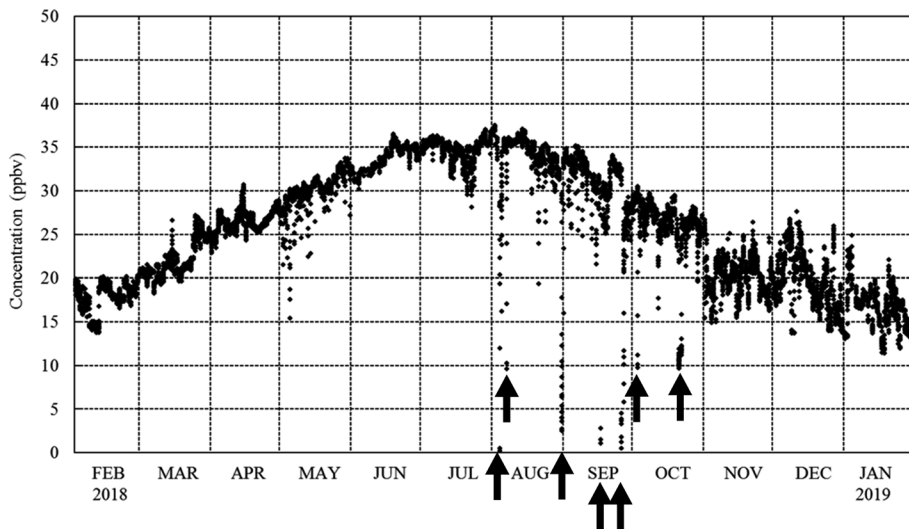


図 16 昭和基地における地上オゾン濃度時別値の時系列図 (2018 年 2 月~2019 年 1 月).
矢印は地上オゾン消失現象を観測した日付を示す.

Fig. 16. Time series of hourly mean surface ozone concentrations at Syowa Station (Feb.2018~Jan.2019).
The arrows show the date when Surface Ozone Depletion was observed.

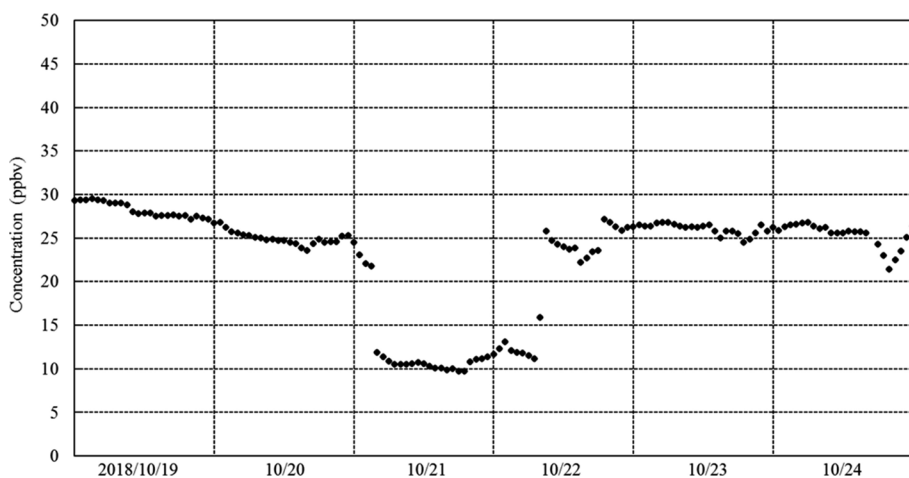


図 17 昭和基地における地上オゾン濃度時別値の時系列図 (2018 年 10 月 19 日~24 日).

Fig. 17. Time series of hourly mean surface ozone concentrations at Syowa Station (Oct.19th~24th.2018).

濃度が低下することを考察し、低気圧の通過に伴い、オゾン濃度が低下した空気が昭和基地に流入した可能性を示唆した。本事例も江崎ほか（2013）と同様に、低気圧の通過に伴って、昭和基地の北方海上からの空気の流入があった。

5. 日射・赤外放射観測

5.1. 概要

日射・赤外放射観測は WMO の基準地上放射観測網（Baseline Surface Radiation Network : BSRN）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）より測器を変更した。第 59 次隊ではこれらの観測システムにより第 58 次隊から引き続き観測を行った。なお、観測精度を維持するため、測器は運用計画を立て定期的に持ち帰り、検査及び校正を受けている。

波長別紫外域日射観測は寒冷地対策を施したブリュワー分光光度計 MK III（伊藤・宮川、2001）を用いて行った。観測に用いたブリュワー分光光度計 MK III 168 号機（以下、168 号機とする）は第 54 次隊で持ち込んだものであり、持ち込み前には国内の基準器との相互比較観測により精度確認が行われている。観測の種類と使用した測器を表 17 に示す。

5.2. 日射・下向き赤外放射観測

5.2.1. 観測方法と測器

日射・下向き赤外放射観測は、第 58 次隊と同様、観測棟屋上で実施した（図 1, ④の位置）。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、間宮ほか（2012）に倣い手動で欠測処理を行った。観測項目及び特記事項は以下のとおりである。

(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。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（Feussner-Dubois turbidity coefficient）を求めた。

(c) 精密全天日射計を用いた散乱日射量の連続観測

太陽追尾装置に搭載した精密全天日射計と遮蔽ボールにより観測した。遮蔽ボールは直達日射計の開口角と同等の視直径の黒色球体で、太陽追尾装置に搭載することにより太陽から

表 17 昭和基地における日射・赤外放射観測の種類と使用測器.
Table 17. Instruments for surface radiation observations at Syowa Station.

観測項目		使用測器	感部型式	測定範囲	測器番号	観測 最小単位	サンプリング 間隔
下向き 放射	全天日射量	精密全天日射計	KIPP&ZONEN CMP21	285~2800 nm	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 CHP1	200~4000 nm	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 遮蔽ボール	KIPP&ZONEN CM21T, CMP21	285~2800 nm	041258 180896	0.01 MJ/m ²	1 秒
	紫外域日射量	全天型 紫外域日射計	KIPP&ZONEN UV-S-AB-T	280~315 nm	030621	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 遮蔽ボール	KIPP&ZONEN CG4, CGR4	4.5~42 μ m	030642 010565 160192	0.01 MJ/m ²	1 秒
上向き 放射	反射日射量	精密全天日射計 遮蔽リング	KIPP&ZONEN CMP21	285~2800 nm	170762	0.01 MJ/m ²	1 秒
	反射紫外域 日射量	全天型 紫外域日射計 遮蔽リング	KIPP&ZONEN UV-S-AB-T	280~315 nm	040625	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 CGR4	4.5~42 μ m	160191	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	ブリュワー 分光光度計	SCI-TEC BREWER MKIII	290~325 nm	#168	1 μ W/m ²	1 時間

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，データの処理にあたっては，基準となるブリュワー分光光度計による紫外域日射量との比較により，測器定数を月ごとに求め，補正する方法（柴田ほか，2000）をとった。

(e) 精密赤外放射計を用いた下向き赤外放射量の連続観測

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ボールにより観測した。

5.2.2. 観測経過

2月1日に第58次隊から観測を引き継ぎ，第59次隊のデータ収録を開始した。

強風時は測器保護のため太陽追尾装置を停止させた。この対応により，直達日射量観測及び散乱日射量観測に欠測が生じた。

・10月29日：赤外放射計の信号ケーブルが太陽追尾装置の脚部に引っ掛かり、太陽追尾装置の回転運動により赤外放射計に直結している信号ケーブルが破断した。このため、同日中に赤外放射計ごと予備器と交換した。破断から復旧するまでの間、下向き赤外放射量観測に欠測が生じた。

・12月25日～29日：第60次隊持ち込みの全天日射計（散乱日射量観測）及び直達日射計を観測棟屋上に設置し、比較観測を行った。全天日射計（散乱日射量観測）の比較観測は、観測棟屋上に太陽追尾装置及び遮蔽ボールの予備を設置するスペースがないため、全天日射量観測のデータとの比較により行った。比較観測の結果、各測器とも問題なく観測できていることを確認した。

・1月1日：全天日射計（散乱日射量観測）の交換を行った。

・1月21日：赤外放射計の交換を行った。

・1月18日：昭和基地停電により、日射・下向き赤外放射観測に欠測が生じた。

・1月24日：計画停電により、日射・下向き赤外放射観測に欠測が生じた。

5.2.3. 観測結果

日射・下向き赤外放射の各量（全天日射量、直達日射量、散乱日射量、赤外放射量及び紫外域日射量）の日積算値の年変化を図18に示す。

全天日射量及び直達日射量は、太陽高度の変化に応じた季節変化が見られる。直近10年間の平均（以下、例年とする。）と比べると、直達日射量、全天日射量ともに、3月にかけて及び11月から2019年1月にかけて少なく、特に2月と11月の直達日射量が少なくなった。これは、月間日照時間が少ない方から2月として1位、11月として2位を記録した地上気象観測の結果に対応している。散乱日射量も太陽高度の変化に応じた季節変化が見られたが、例年と比べると11月は多くなった。これは、11月の日平均雲量8.5以上の日及び雪日数が平年より多かったことから、雪面と雲による多重反射の影響が考えられる。下向き赤外放射量は、大気分子や雲からの赤外放射を観測しているため、全天日射量のような明瞭な季節変化は見られず、太陽が昇らない極夜期においてもおおむね10MJ/m²以上の放射量が観測された。例年と比べると5月及び10月に少なくなった。これは、地上気象観測において月平均気温の低い方から5月として7位、10月として6位を記録しており気温が低かったこと、また晴れの日が多かったことから、大気分子や雲からの赤外放射が少なくなったと考えられる。紫外域日射量は、全天日射量と同様の太陽高度の変化に応じた季節変化を示しているが、11月下旬に日積算値の急減が見られる。これはオゾン全量が11月下旬に急増した変化（5.4.3. 図20）と逆の変化であり、この期間の紫外域日射量の変化が上空のオゾン量によることを示している。

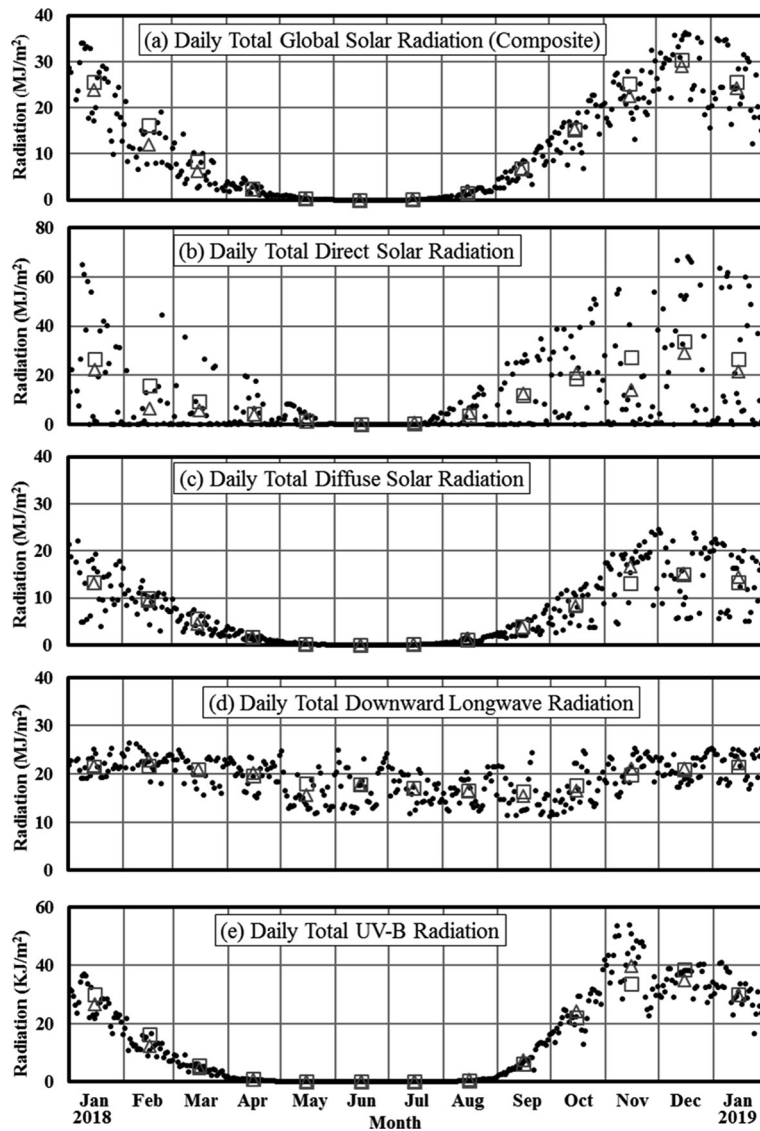


図 18 日射・下向き赤外放射の各量（全日射量，直達日射量，散乱日射量，赤外放射量及び紫外域日射量）の日積算値の時系列図（2018 年 1 月～2019 年 1 月）．●は日積算値．△は月平均日積算値．□は 2008 年～2017 年の月平均日積算値の累年平均．

(a)全日射量，(b)直達日射量，(c)散乱日射量，(d)下向き赤外放射量，(e)紫外域日射量．

Fig. 18. Time series in daily integrated values of downward radiation components at Syowa Station (Jan.2018–Jan.2019).

The dots show daily integrated values. The triangle marks show the monthly mean of daily integrated values. The Square marks show the average of the monthly mean over the last ten years (2008–2017).

(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.

5.3. 反射日射・上向き赤外放射観測

5.3.1. 観測方法と測器

反射日射・上向き赤外放射観測は、第58次隊と同様、観測棟から東北東約120mの積雪上に設置した観測架台（図1、⑥の位置）に、測器を感部が地表面（雪面）に向くように設置して実施した。国内での観測を参考に、雪面から測器の感部までが1.5m前後となる高さを測器の設置目安としている。天候による雪面の高さの変動があるが、通年で雪面から測器の感部まで1.0～2.0mの距離を確保した。

データは日射・下向き赤外放射同様、1秒ごとにデータロガーで収集した後に処理した。観測項目及び特記事項は以下のとおりである。

(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、遮蔽リングを使用して観測を行った。

(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

データ処理にあたっては、国内の基準となるブリュワー分光光度計と紫外域日射量を比較して得られた測器定数を用いた。反射日射量の観測と同様に、遮蔽リングを使用して観測を行った。

(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

2月1日に第58次隊から観測を引き継ぎ、第59次隊のデータ収録を開始した。

6月4日にブリザードの影響による着氷が生じた精密全天日射計を一時的に取り外し、解氷して5日に再設置した。着氷による影響が見られた6月2日から再設置した6月5日まで反射日射量観測に欠測が生じた。

上向き用の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を設置しているが、太陽高度が低い極夜前後の時期には、晴れた日の午前に日射量と反射日射量との逆転が見られることがあった。これは、太陽高度が低い場合に雪氷面や海水面が鏡のようになり、雪面での散乱光に加え反射した太陽光が入射するためと考えられる。周囲を雪氷や海水で囲まれた環境での自然現象であると考えられ、第58次隊までの観測でも同様の事象が見られている。

5.3.3. 観測結果

反射日射・上向き赤外放射の各量（反射日射量、上向き赤外放射量及び反射紫外域日射量）の日積算値の時系列を図19に示す。

反射日射は、全天日射が地表面（雪面）で反射、散乱したものであり、反射日射量は、全天日射量と同様の太陽高度の変化に応じた季節変化を示している。例年との比較では、11月から12月にかけて全天日射量が例年より少なかったのに対し、反射日射量は、11月は例

年より少ないものの全天日射ほどの差はなく、12月 は例年より多くなった。これは11月 から12月上旬に曇りや雪の日が多かったため、新雪に覆われた雪面のアルベドが高いことや雪面と雲の間で多重反射が起こりやすかったことによる影響が考えられる。全天日射量に対する反射日射量の割合は、夏季で7割程度であったが、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、日ごとの変動が下向き赤外放射量と比較して小さいが、冬季を中心に若干大きくなった。上向き赤外放射量の観

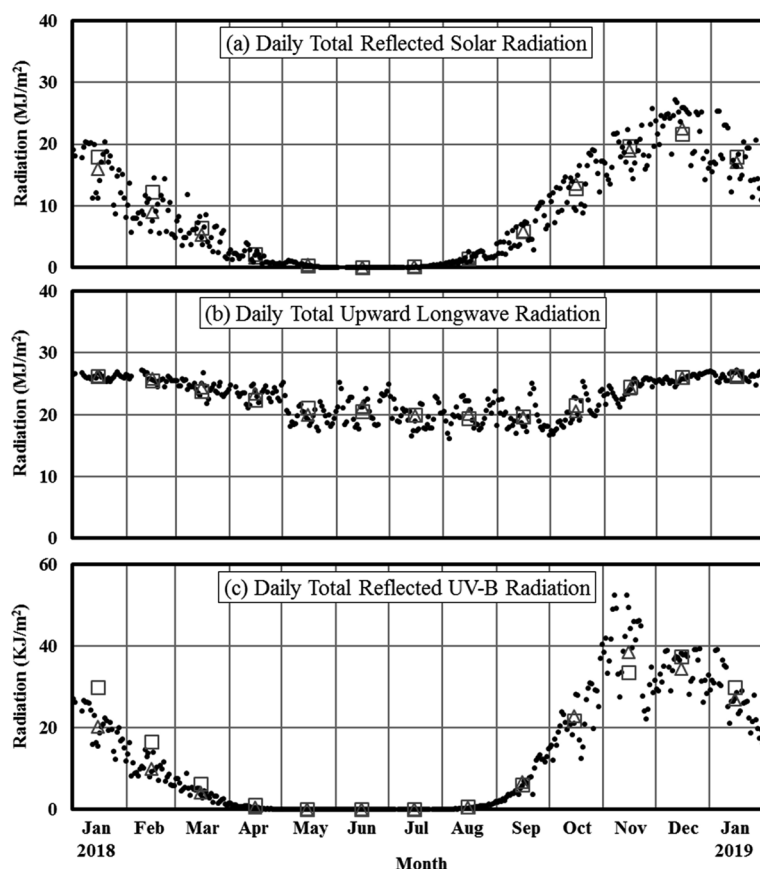


図 19 反射日射・上向き赤外放射の各量（反射日射量，上向き赤外放射量及び反射紫外域日射量）の日積算値の時系列図（2018 年 1 月～2019 年 1 月）．●は日積算値．△は月平均日積算値．□は 2008 年～2017 年（反射紫外域日射量については 2010 年～2017 年）の月平均日積算値の累年平均．

(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. 19. Time series in daily integrated values of upward radiation components at Syowa Station (Jan.2018–Jan.2019).

The dots show daily integrated values. The triangle marks show the monthly mean of daily integrated values. The Square marks show the average of the monthly mean over the last ten years (2008–2017).

(a) Daily total reflected solar radiation, (b) Daily total upward longwave radiation, (c) Daily total reflected UV-B radiation.

測場所は通年積雪に覆われており、地表面の状態がほぼ同じであるため、その地表面からの赤外放射量である上向き赤外放射量の日ごとの変動は、大気分子や雲からの赤外放射量である下向き赤外放射量の変動より小さくなる。しかし、天候に伴う雪面の変化及びその表面温度の変化の影響を受けるため、特に天候の変化が激しい冬季については、雪面の変化及びその表面温度の変化が増大し、上向き赤外放射量の変動が夏季に比べて大きくなる。反射紫外域日射量は、下向きの紫外域日射量と同様、太陽高度の変化に対応した季節変化を示し、11月下旬にオゾン全量の急増（5.4.3. 図 20）に対応した日積算値の急減が見られた。

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、168 号機を用いて、290～325 nm（UV-B 領域と、UV-A 領域の一部の波長域）の範囲を 0.5 nm 間隔とした波長別の紫外域日射量を毎正時に観測した。測器の設置場所は、第 58 次隊と同様観測棟屋上である（図 1, ④の位置）。ブリザード等の強風時は、測器保護のために受光部に保護具を取り付けて観測を中断したが、特に風が強く測器本体に影響があると判断した場合には観測棟屋上に設置したブリザード除け収納箱（ブリザード対策として本体を保護するための箱）に収納した。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、10 日に 1 回程度の間隔で行った。

5.4.2. 観測経過

2 月 1 日に第 58 次隊から 168 号機による観測を引き継ぎ、第 59 次隊のデータ収録を開始した。2017 年 8 月 13 日から測器感度が異常に高い状態が継続しており、観測データは第 58 次隊と同様に外部標準ランプ点検結果によって補正した。

12 月 28 日から第 60 次隊持ち込みのブリュワー分光光度計 MK III 209 号機（以下、209 号機とする）を気象棟屋上（図 1, ①の位置）に設置し、比較観測を開始した。その後、209 号機に波長選択に関わる動作機構の不良を確認したため該当する部分を調整したが、動作不良は解消されず、209 号機は第 59 次隊で持ち帰った。

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 20 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太陽高度が高く日照時間が長い夏至（2018 年は 12 月 22 日）に近くなる傾向がある。一方で短波長側は、太陽高度の高さや日照時間の長さよりもオゾン全量の影響を受けやすい。

2018 年 2 月から 2019 年 1 月までの日積算値は、290～295 nm、295～300 nm、300～305 nm 及び 305～310 nm では 11 月 7 日に、310～315 nm では 11 月 14 日に最大となった。また、315～320 nm では 12 月 24 日に、320～325 nm では 12 月 16 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である UV インデックス（環境省，2020）について，昭和基地における 2018 年 2 月から 2019 年 1 月の日最大値の年変化を図 21 に示す。UV インデックスの値は波長別紫外域日射量の短波長側と同様に，太陽高度及びオゾン全量の変動の影響を受ける。そのため太陽高度が高くオゾン全量の少ない 11 月上旬から中旬にかけて非常に高くなり，2018 年の UV インデックスの日最大値は 11 月 18 日に 11.6 を記録した。この値は，WHO (2002) の指標では「EXTREME（極端に強い）」に相当し，前年 2017 年の日最大値（2017 年 11 月 8 日の 8.6）よりも大きかった。

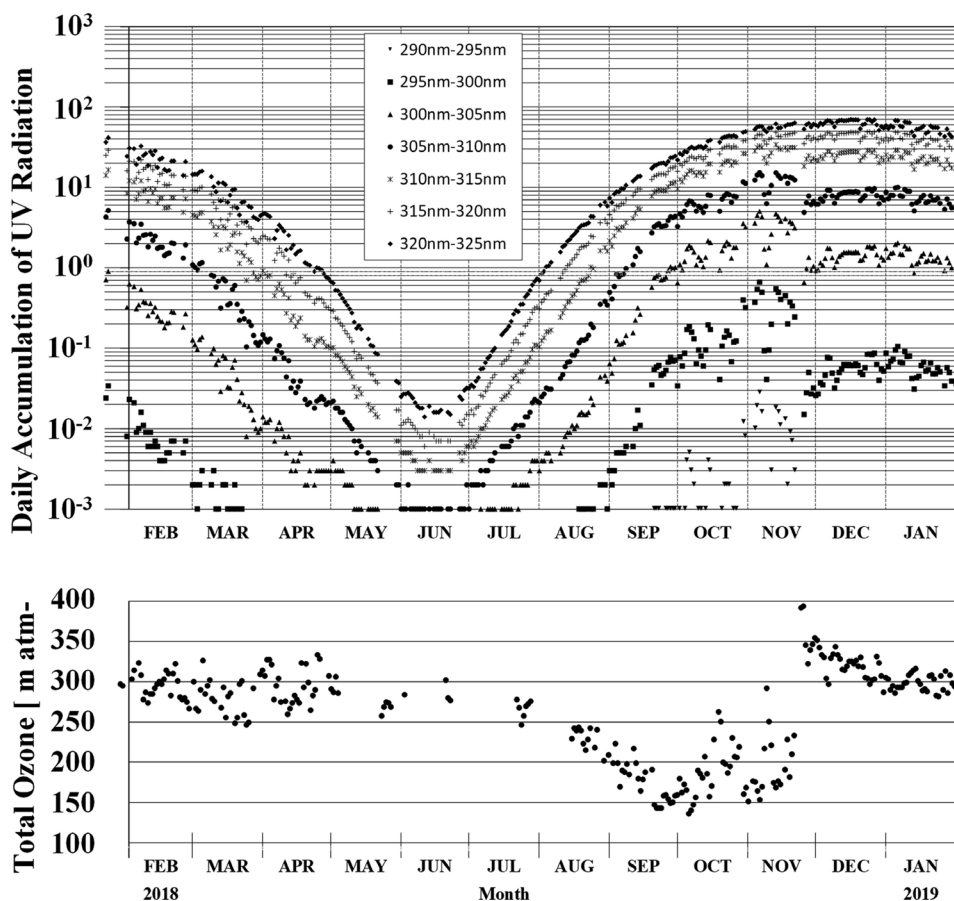


図 20 昭和基地における波長別紫外域日射量の日積算値（上図）とオゾン全量（下図）（2018 年 2 月～2019 年 1 月）。

Fig. 20. Daily accumulated ultraviolet radiation integrated for each wavelength band (above) and total ozone amount (below) at Syowa Station (Feb.2018~Jan.2019).

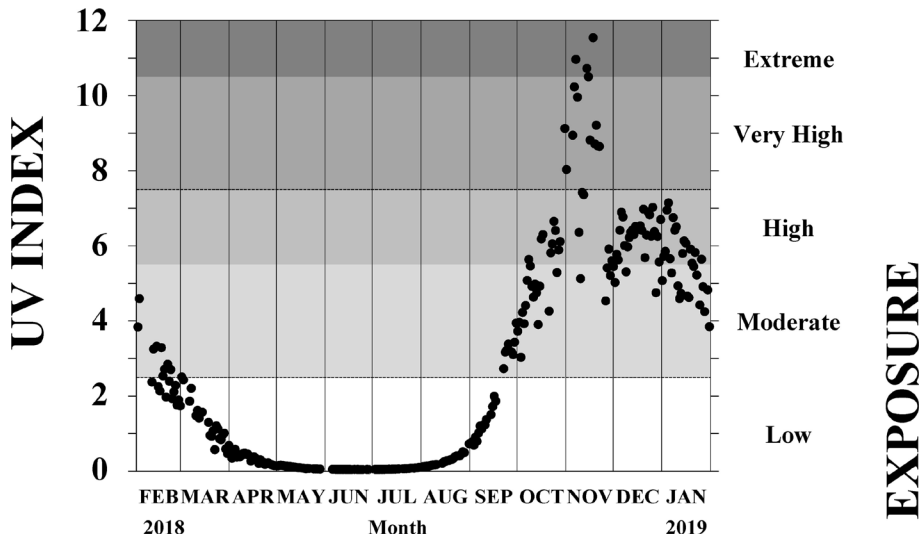


図 21 昭和基地における日最大 UV インデックスの年変化 (2018 年 2 月～2019 年 1 月)。

Fig. 21. Annual variation of daily maximum UV index at Syowa Station (Feb.2018–Jan.2019).

5.5. 大気混濁度観測

5.5.1. 観測方法と測器

大気混濁度観測は、日射・下向き赤外放射観測の測器とともに観測棟屋上に設置した太陽追尾装置に搭載したサンフォトメータ (Precision Filter Radiometer (PMOD/WRC, 2008), 以下, PFR とする) 及び日射観測の直達日射計の観測値を用いて実施した。PFR は、オゾン全量観測時刻付近で太陽面に雲がない時に波長別 (368, 412, 500, 862 nm の 4 波長) の直達光強度を測定することにより、波長別のエアロゾルの光学的厚さ (Aerosol Optical Depth, 以下, AOD とする) 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経験式 (Ångström, 1961) によりオングストローム指数 (Ångström exponent, 以下, α とする) とオングストロームの混濁係数 (Ångström turbidity coefficient, 以下, β とする) 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 58 次隊と同様に 0.00864 を用いた (東島ほか, 2003)。直達日射計は、PFR と異なり全波長域での観測を実施しており、オゾン全量観測時刻付近で太陽面に雲がない時の直達日射量からホイスナー・デュボアの混濁係数 (Feussner-Dubois turbidity coefficient) を求めることができる。

5.5.2. 観測経過

2 月 1 日に第 58 次隊から観測を引き継ぎ、第 59 次隊のデータ収録を開始し、順調に観測を継続した。強風時は測器保護のため太陽追尾装置を停止し、欠測が生じた。1 月 18 日の昭和基地停電及び 24 日の計画停電により、欠測が生じた。

5.5.3. 観測結果

PFR による 4 波長の各 AOD, 各波長の AOD から求めた α 及び β の年変化を図 22 に示す。2018 年は例年と同様に, 4 波長の AOD と α が夏から秋にかけて減少し, 春から夏にかけて増加する傾向であった。 α は値が大きいと相対的に小さな粒子が多く, 逆に小さいと大きな粒子が多いことを示している。昭和基地におけるエアロゾル粒子の粒径と化学組成の季節変化については, Hara *et al.* (2011, 2013) が議論しており, それによれば, 冬から春にかけて比較的大きな海塩粒子が卓越し, 夏は比較的小さな硫酸粒子が卓越する。 α の夏から秋にかけての減少及び春から夏にかけての増加は, 低気圧の接近機会が冬季に増加することによる海塩粒子の基地周辺への供給の季節変化と一致する。また, 排気ガス等の人為起源あるいは自然起源のガスから光化学反応や凝集によって, 硫酸塩等の相対的に粒径の小さい粒子が供給されていることとも一致する。季節変動より短い時間スケールでは 3 月や 11 月に α が比較的に小さくなっている時期が見られる。これは, 低気圧が昭和基地の北海上を通過することが多く, 海塩粒子の供給が多かったと思われる時期に対応している。

ホイスナー・デュボアの混濁係数の年変化を図 23 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。2018 年も平年と同様の季節変化であった。

6. 天気解析

各国数値予報センター等で公表している各種天気図及び予想図, 気象衛星による雲画像のデータを取得して高気圧や低気圧, 前線の移動などの天気解析を行った。また, 毎日の地上気象観測, 高層気象観測, ロボット気象計から得られたデータ等も参考にした。天気解析の結果は, 気象観測を行う際や隊の野外オペレーション等の支援で気象情報を提供する際に活用した。

6.1. 解析に用いた資料

- (1) 昭和基地における地上及び高層の気象観測データ, S17 の気象ロボット観測データ
- (2) 気象庁数値予報資料

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。

- (3) 各国気象機関の天気図・数値予報資料等

各国の気象機関がインターネット上で公開している天気図や数値予報資料(解析値及び予報値)等を利用した。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)

- ①AMPS (Antarctic Mesoscale Prediction System)
- ②オーストラリア気象局作成インド洋地上天気図

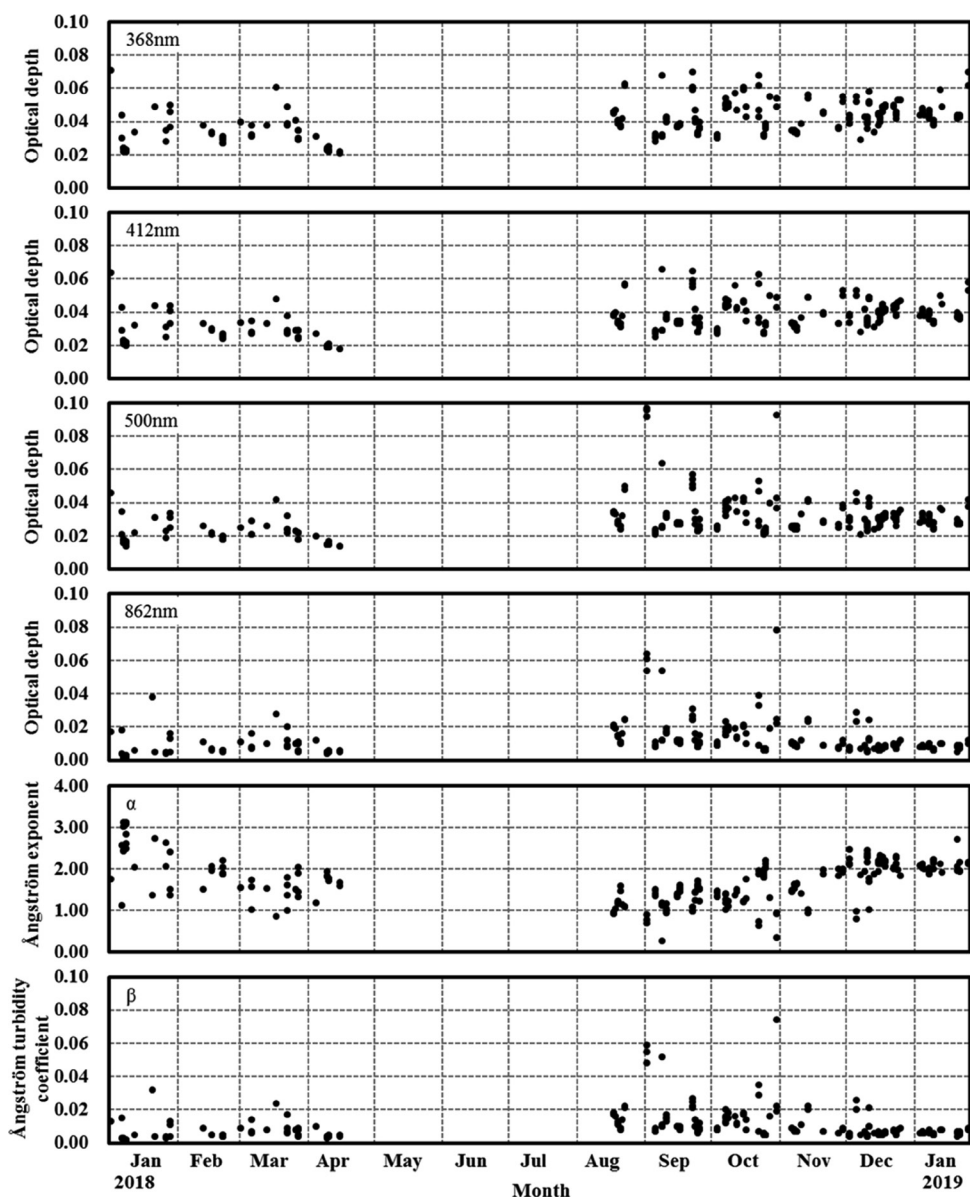


図 22 昭和基地における波長別エアロゾルの光学的厚さ、オングストローム指数及びオングストローム混濁係数の時系列図 (2018 年 1 月～2019 年 1 月)。

Fig. 22. Time series of aerosol optical depth for each wavelength, Ångström exponent, and Ångström turbidity coefficient at Syowa Station (Jan.2018-Jan.2019).

- ③オーストラリア気象局作成南半球 500 hPa 解析図
- ④南アフリカ気象局作成地上天気図
- ⑤ウィスコンシン大学コンボジット衛星画像

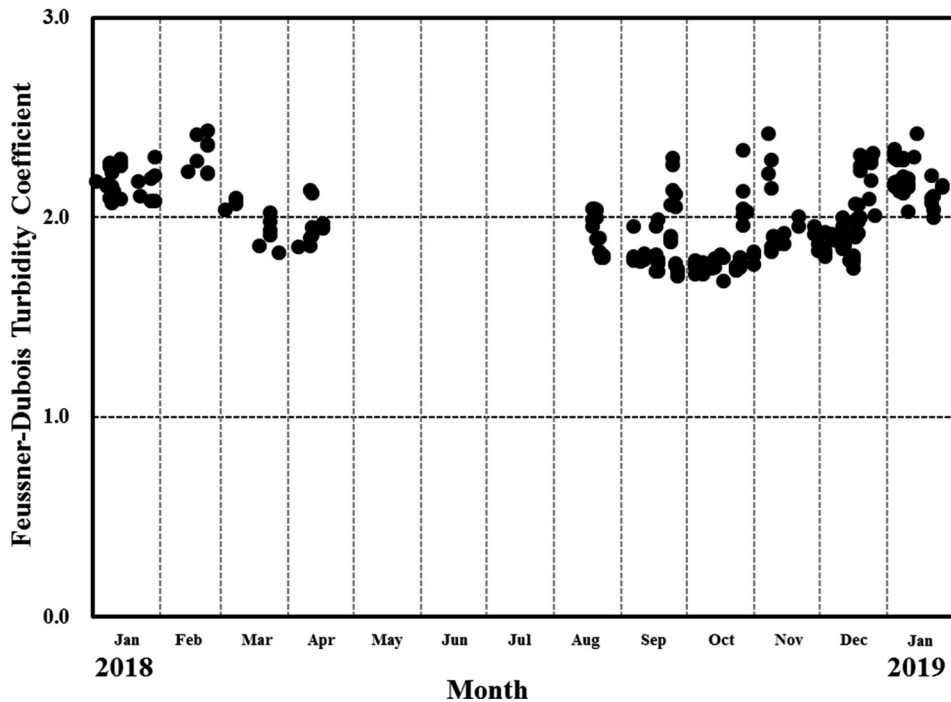


図 23 昭和基地におけるホイスナー・デュボアの混濁係数の時系列図 (2018 年 1 月～2019 年 1 月).
 Fig. 23. Time series of Feussner-Dubois turbidity coefficient at Syowa Station (Jan. 2018–Jan. 2019).

6.2. 解析結果の提供とその利用

解析結果は、昭和基地での屋外作業、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及び禁止令の発令、解除の参考資料として提供した。また、毎日のミーティング時に天気解析結果及び当日の夜から翌々日までの天気予想を発表するとともに、昭和基地イントラネット上に公開した。第 59 次隊では、宿泊を伴う旅行隊がある場合は、旅行隊向けの気象情報を定時交信の際に提供したほか、しらせの活動支援のため気象庁数値予報資料を提供した。

7. ロボット気象計による観測

7.1. 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（標高約 600m、南緯 69 度 01 分 45 秒、東経 40 度 05 分 30 秒（2013 年 2 月 1 日現在））に設置している。観測結果は、大陸方面への野外オペレーション向け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。ロボット気象計観測地点と昭和基地の位

置図を図 24 に、観測拠点の外観を図 25 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。データの送受信は通常は 10 分に 1 回行われるが、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するようになっている。観測項目、使用測器を表 18 に示す。

7.2. 観測経過

8 月 30 日、10 月 7 日、1 月 2 日～3 日に定期点検を実施した。点検項目は、以下のとおりである。

- (a) 温度計、湿度計、風向風速計の点検清掃及び配線の状態確認
- (b) 湿度計及び風向風速計の交換（1 月 3 日のみ）

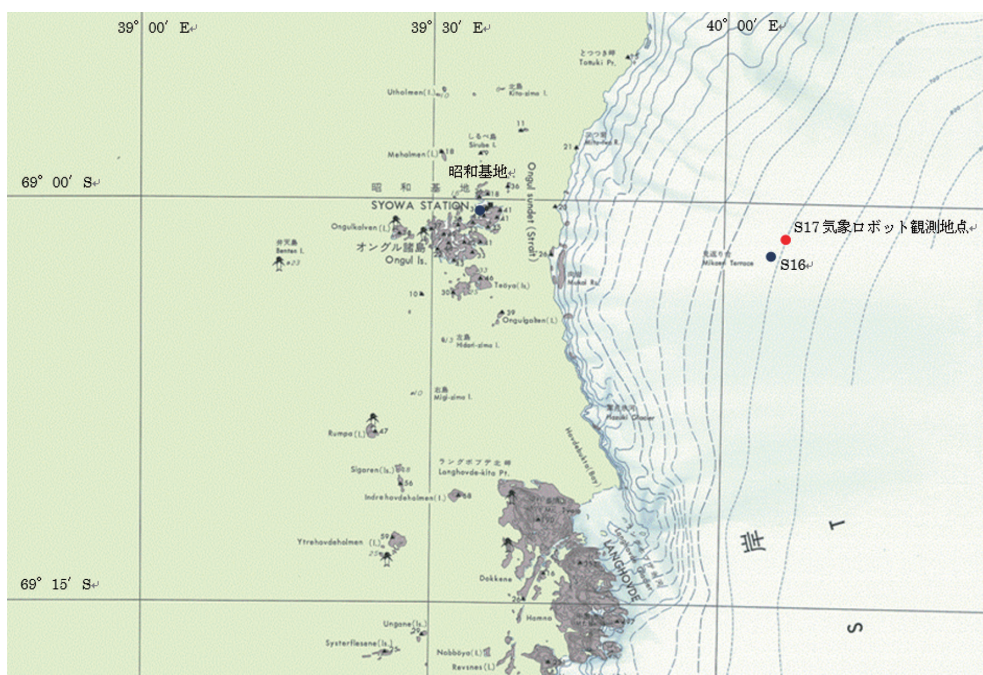


図 24 ロボット気象計観測地点及び昭和基地（「GIS ポータルサイト地形図」（国立極地研究所（<http://geogisopen.nipr.ac.jp/geisopen/kyokuchi/?servicename=terrain>（2021-3-12 現在）））を元に作成）。

Fig. 24. Locations of surface observation at S17 and Syowa Station (Created based on “GIS portal site topography” (National Institute of Polar Research (<http://geogisopen.nipr.ac.jp/geisopen/kyokuchi/?servicename=terrain> (accessed 2021-3-12))))).



図 25 S17 航空機観測拠点の外観。

Fig.25. Appearance of the S17 aircraft observation base.

表 18 S17 におけるロボット気象計の測器一覧表。

Table 18. Observation elements, observation frequency, observation accuracy, and instruments at S17.

観測項目	観測時刻	観測精度	使用測器・型式	備考
気圧	毎正分	± 0.60 hPa	電気式気圧計 (CVS-PTB-210)	信号変換箱内に設置
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)	S17航空拠点発電機小屋屋上自然通風シエルター内に設置
湿度	毎正分	$\pm 1\%$ (0-90%) $\pm 1.7\%$ (90-100%)	電気式湿度計 (CVS-HMP-155D)	S17航空拠点発電機小屋屋上自然通風シエルター内に設置
風向	毎正分	$\pm 3^\circ$ 以下	風車型風向風速計 (CYG-5108MA)	S17航空拠点発電機小屋屋上に設置
風速	毎正分	± 0.3 m/s		

- (c) 内部記憶データの抽出 (CF カードの交換)
- (d) 風力発電機の点検清掃及び風力発電機による充電の状態確認
- (e) 蓄電池一式の交換 (10月7日のみ)

なお、5月22日～8月29日まで、湿度計の観測データ異常により湿度が欠測になったため、8月30日に湿度計の交換を行った。

7.3. 観測結果及びその提供

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26にそれぞれ示す。両地点の標高が異なる

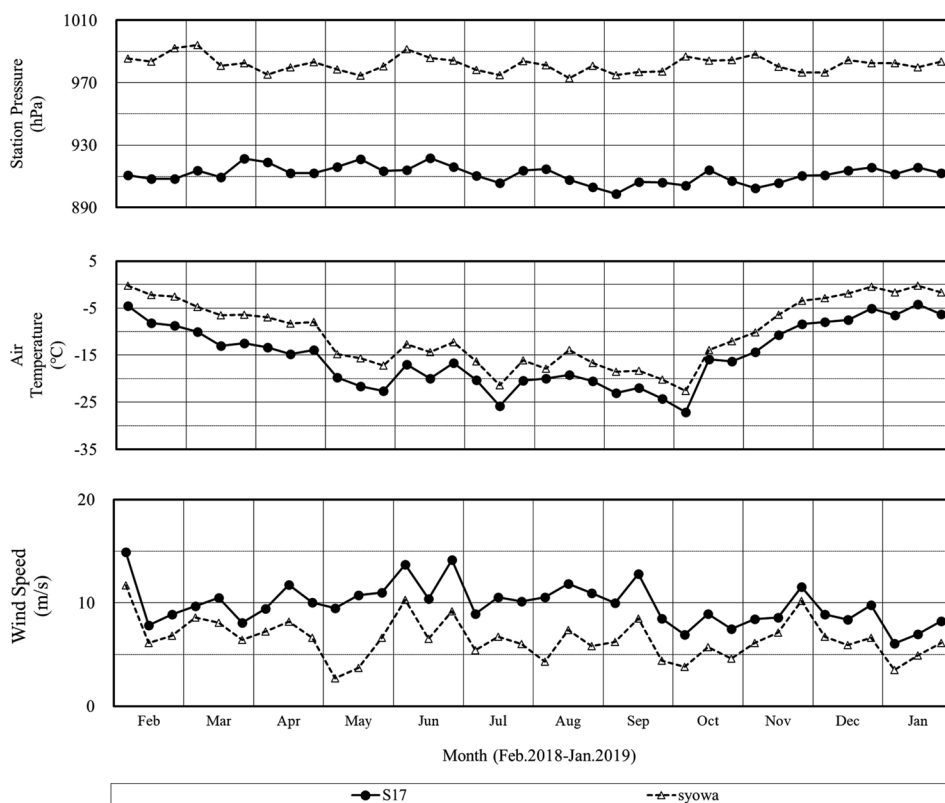


図 26 S17 観測点及び昭和基地における地上気象旬別経過図 (2018 年 2 月～2019 年 1 月)。

Fig. 26. Time series of ten-day mean surface meteorological data at S17 and Syowa Station (Feb.2018–Jan.2019).

(S17 の方が約 600 m 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。

昭和基地の地上気象実況と同様に, S17 の気象実況も昭和基地イントラネット上に掲載した。

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, S17 の気象実況を提供した (2 月 10 日から 11 日, 10 月 24 日から 12 月 7 日, 2019 年 1 月 23 日から 26 日)。

謝 辞

第 59 次観測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, 土井浩一郎観測隊長, 木津暢彦越冬隊長ほか第 59 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る。
また、第 59 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、第 58 次越冬隊員にも厚く御礼申し上げる。

この報告をまとめるにあたり、気象庁の荻原裕之元南極観測事務室長と田中恵信前南極観
測事務室長、小川豊南極観測事務室長、第 58 次観測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

- Ångström, A. (1961): Techniques of determining the turbidity of the atmosphere. *Tellus*, **13**, 214–223, doi:10.1111/j.2153-3490.1961.tb00078.x.
- 青木周司 (1997): 昭和基地及び「しらせ」船上における地上オゾン濃度の連続観測. 南極資料, **41**, 231–247, doi:10.15094/00008972.
- Bromwich, D. H., Werner, K., Casati, B., Powers, J. G., Gorodetskaya, I. V., Massonnet, F., Vitale, V., Heinrich, V. J., Liggett, D., Arndt, S., Barja, B., Bazile, E., Carpentier, S., Carrasco, J. F., Choi, T., Choi, Y., Colwell, S. R., Cordero, R. R., Gervasi, M., Haiden, T., Hirasawa, N., Inoue, J., Jung, T., Kaless, H., Kim, S.-J., Lazzara, M. A., Manning, K. W., Norris, K., Park, S.-J., Reid, P., Rigor, I., Rowe, P. M., Schmithüsen, H., Seifert, P., Sun, Q., Uttal, T., Zannoni, M. and Zou, X. (2020): The Year of Polar Prediction in the Southern Hemisphere (YOPP-SH). *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, **101** (10), 1653–1676, doi:10.1175/BAMS-D-19-0255.1.
- 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.
- Gorodetskaya, I. V., Silva, T., Schmithüsen, H. and Hirasawa, N. (2020): Atmospheric river signatures in radiosonde profiles and reanalyses at the Dronning Maud Land Coast, East Antarctica. *Ad. Atmos. Sci.*, **37**, 455–476, doi: 10.1007/s00376-020-9221-8.
- Hara, K., Osada, K., Nishita-Hara, C. and Yamanouchi, T. (2011): Seasonal variations and vertical features of aerosol particles in the Antarctic troposphere. *Atmos. Chem. Phys.*, **11**, 5471–5484, doi:10.5194/acp-11-5471-2011.
- 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.
- 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.
- 環境省 (2020): 紫外線環境保健マニュアル. 東京, 46p.
- 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, 963p.
- 気象庁 (2004): 高層気象観測指針. 東京, 248p.
- 気象庁 (2008): 南極気象観測五十年史. 東京, 255p.
- 気象庁 (2010): オゾンゾンデ観測指針 [ECC 型編]. 東京, 54p.
- 気象庁 (2011): 地上気象観測指針. 東京, 176p.
- 気象庁 (2016): 気象観測統計指針. 東京, 158p.
- 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.
- 水野太治・重岡裕海・小野文陸・森 陽樹・梅澤研太 (2020): 第 58 次日本南極地域観測隊気象部門報告 2017. 南極資料, **64**, 132-177, doi:10.15094/00015931.
- 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** (16), 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.
- Polar Prediction (2017): WWWRP Polar Prediction Project YOPP in the Southern Hemisphere Planning Meeting 2. Final report. Polar Prediction. https://www.polarprediction.net/fileadmin/user_upload/www.polarprediction.net/Home/Meetings/YOPP-SH/YOPP-SH2_Report_final2.pdf (accessed 2019-8-7).
- WHO (2002): GLOBAL SOLAR UV INDEX -A Practical Guide-. Geneva, 28p.

用語解説

気象の観測値、統計値は品質により以下のように分類を行う。

正常値	正常に観測された値及びすべての資料がそろった状態で統計した値を「正常値」と分類する。
準正常値	観測結果にやや疑問のある値及び資料が許容範囲内で欠けた状態で統計した値を「準正常値」と分類する。準正常値を統計に用いる際は一部の例外を除いて原則として正常値と同等に扱う。
資料不足値	資料が許容範囲を超えて欠けた状態で観測及び統計した値を「資料不足値」と分類する。資料不足値は信頼性が乏しいため、通常は統計に用いない。
疑問値	かなりの疑問がある観測値を「疑問値」と分類する。疑問値は統計には用いず欠測と同等に扱う。なお、疑問値に分類される統計値は存在しない。
欠測	休止や測器の故障等により観測値、統計値が得られない場合、または明らかに誤差が大きく間違いであると確定できる場合、「欠測」と分類する。

気象の統計値には主に以下のようなものがある。

合計値	値の総和を「合計値」という。
平均値	値の総和を資料数で割ったものを「平均値」という。
極値	ある期間に観測された値の最大値（最高値）または最小値（最低値）を「極値」という。
順位値	日、月、年などの統計値を値の大きい（高い）順、または小さい（低い）順に並べた値を「順位値」という。なお、順位値の第 1 位は極値の同義である。

平年値 西暦年の 1 位が 1 の年から数えて、連続する 30 年間について算出した累年平均値を「平年値」という。本報告の期間の平年値は 1981～2010 年の資料から算出された 2010 年平年値である。

オゾンホール 南極上空のオゾン量が極端に少なくなる現象。
気象庁では、上空のオゾンの総量を示す「オゾン全量」が 220 m atm-cm 以下となる領域をオゾンホールの広がりを目安としている。これは、オゾンホールが発生するようになる以前には、オゾン全量が 220 m atm-cm 以下となる領域が、広範囲に観測されなかったとされているため。

略語集

α	Ångström exponent	: オングストローム指数
AMPS	Antarctic Mesoscale Prediction System	: 南極メソスケール予測システム
AOD	Aerosol Optical Depth	: エーロゾルの光学的厚さ
β	Ångström turbidity coefficient	: オングストロームの混濁係数
BSRN	Baseline Surface Radiation Network	: 基準地上放射観測網
DROMLAN	Dronning Maud Land Air Network	: ドロンイングモードランド航空網
GCOS	Global Climate Observing System	: 全球気候観測システム
GRUAN	GCOS Reference Upper-Air Network	: GCOS 基準高層観測網
GTS	Global Telecommunication System	: 全球気象通信システム
GUAN	GCOS Upper-Air Network	: GCOS 高層観測網
PFR	Precision Filter Radiometer	: PMOD 製 サンフォトメータ
PMOD	Physikalisch-Meteorologisches Observatorium Davos	: ダボス物理気象観測所
PPP	Polar Prediction Project	: 極域予測プロジェクト
SOD	Surface Ozone Depletion	: 地上オゾン消失現象
WDCRG	World Data Centre for Reactive Gases	: 反応性ガス世界資料センター
WMO	World Meteorological Organization	: 世界気象機関
WOUDC	World Ozone and Ultraviolet Data Centre	: 世界オゾン・紫外線資料センター
WWRP	World Weather Research Programme	: 世界気象研究計画
YOPP-SH	Year Of Polar Prediction in the Southern Hemisphere	: 南半球の極域予測年