

第 51 次日本南極地域観測隊気象部門報告 2010

佐々木利^{1*}・松元 誠¹・田中悦子¹・塩水流洋樹¹・高見英治¹Meteorological observations at Syowa Station, Antarctica, 2010
by the 51st Japanese Antarctic Research ExpeditionSatoshi Sasaki^{1*}, Makoto Matsumoto¹, Etsuko Tanaka¹, Hiroki Shiozuru¹ and Hideharu Takami¹

(2015 年 4 月 6 日受付; 2015 年 5 月 11 日受理)

Abstract: This report presents meteorological observations obtained by the Meteorological Observation Team of the 51st Japanese Antarctic Research Expedition (JARE-51) at Syowa Station, Antarctica during February 2010–January 2011. The observation methods, instruments and statistical methods used by JARE-51 were similar to those used by JARE-50, except that the sensor for the ozone sonde observations was changed from KC-type ozone sensor to an ECC-type ozone sensor in April 2010, and the instruments used for surface ozone concentration monitoring were replaced in January 2010.

Notable observations recorded by JARE-51 include the following:

- 1) The monthly sunshine duration in January 2011 was only 159.9 hours, a record low for this month.
- 2) On 5 September 2010, the daily high temperature was -1.1°C , a record high for the month of September.
- 3) Tropospheric temperatures during May and June over Syowa Station were lower than normal, and temperatures in the lower stratosphere during August–January were lower than normal.
- 4) Total ozone over Syowa Station was <220 m atm-cm between the mid September and the beginning December. The minimum value in 2010 was 145 m atm-cm. The maximum area of the ozone hole was the third smallest since 1990, and the maximum ozone deficit was the fourth smallest since 1990.

要旨: この報告は、第 51 次日本南極地域観測隊気象部門が、2010 年 2 月 1 日から 2011 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。オゾンゾンデ観測は KC 型オゾンセンサから ECC 型オゾンセンサへ 2010 年 4 月に移行し、地上オゾン濃度観測は観測機器等の更新を 2010 年 1 月に行った。他の観測は観測方法・測器・統計方法等は第 50 次隊とほぼ同様である。

越冬期間中の特記事項は次のとおりである。

- 1) 2011 年 1 月の月間日照時間 159.9 時間は、1 月として少ない方の極値を更新した。
- 2) 9 月 5 日の日最高気温 -1.1°C は、9 月としての日最高気温の極値を更新した。
- 3) 昭和基地上空の対流圏において、月平均気温は 5–6 月にかけて平年より低く

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

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

推移した。また、下部成層圏では、8月から2011年1月にかけて平年より低く推移した。

4) 昭和基地上空のオゾン全量は、9月中旬から12月上旬までオゾンホールを目安となる値をほぼ継続して下回り、10月6日に2010年の最小値である145 m atm-cmを記録した。オゾンホール面積の最大値は1990年以降3番目に小さく、オゾン欠損量の最大値は1990年以降4番目に小さかった。

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(1962-1965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51次日本南極地域観測隊気象部門は、2010年2月1日に第50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、2011年1月31日までの1年間観測を行った。オゾンゾンデ観測はKC型オゾンセンサからECC型オゾンセンサへ2010年4月に移行し、地上オゾン濃度観測は観測機器等の更新を2010年1月に行った。観測方法、観測測器の種類及び観測値の統計方法などは第50次隊とはほぼ同様である(菅谷ほか, 2014)。なお本報告は、主に2010年2月1日以降の観測についてまとめたものである。

地上気象観測、高層気象観測、地上日射放射観測及びオゾン観測のうちのオゾン全量・反転観測は、第50次隊から引き継いだ観測装置で観測を行った。

そのほかの観測として、海氷上に設置した雪尺による積雪観測、S16に設置したロボット気象計による気象観測、移動気象観測装置(MAWS)を利用した内陸旅行中の気象観測やS17における連続観測を実施した。

これらの観測から得られたデータは、Antarctic Meteorological Data = 南極気象資料, Vol. 51 (気象庁, 2012) としてCD-ROMに取りまとめて刊行した。また2014年3月より気象庁ホームページにて観測結果を公開している (<http://www.jma.go.jp/jma/index.html>)。ここでは観測の経過及び結果の概要と、観測結果を用いた解析や考察について報告する。

2. 地上気象観測

2.1. 観測方法と測器

観測は地上気象観測指針(気象庁, 2002)及び世界気象機関(WMO)の技術基準に、統計処理については気象観測統計指針(気象庁, 2005)にそれぞれ基づき行った。

観測結果は、国際気象通報式(気象庁, 1990)の地上実況気象通報式(SYNOP)により、インテルサット衛星回線を利用して通報を行った。観測項目と使用測器等を表1に、測器配置を図1に示す。

(1) 総合自動気象観測装置(地上系)による自動観測

表 1 昭和基地における地上気象観測使用測器等一覧表 (2010 年 2 月～2011 年 1 月)

Table 1. Observation types, frequency, minimum unit and instrumentation at Syowa Station (Feb. 2010–Jan. 2011).

観測種目	観測時刻	観測 最小単位	使用測器等	型式	備考
現地気圧	連続・毎正時	0.1 hPa	電気式気圧計 (静電容量型)	PTB220	巡回用電気式気圧計により 比較点検 (年 1 回)
海面気圧	連続・毎正時	0.1 hPa	—		気温・現地気圧から算出
気圧変化量・ 気圧変化型	毎正時	0.1 hPa	—		現地気圧から算出・決定
気温	連続・毎正時	0.1°C	電気式温度計 (白金抵抗型)	Pt-100	アスマン通風乾湿計により 比較点検 (月 1 回)
	—		アスマン通風乾湿計		比較観測に使用
露点温度	連続・毎正時	0.1°C	—		気温・湿度観測値から算出
蒸気圧	同上	0.1 hPa	—		気温・湿度観測値から算出
相対湿度	同上	1%	電気式湿度計 (静電容量型)	HMP233LJM	アスマン通風乾湿計により 比較点検 (月 1 回)
			アスマン通風乾湿計		比較観測に使用
風向	同上	1°	風車型風向風速計	FF-11	測風塔 (地上高 10.1 m) に設置
風速	同上	0.1 m/s			
全天日射量	同上	0.01 MJ/m ²	日射日照計 (全天電気式日射計)	MS-62F	気象棟南西側旗台地に設置, 日照計と一体型
日照時間	同上	0.1 h	日射日照計 (太陽追尾式日照計)	MS-101D	気象棟南西側旗台地に設置, 日射計と一体型
積雪深	同上	1 cm	超音波式積雪計	CF-212	観測棟北東側海岸斜面に設置
	週 1 回	同上	雪尺 (竹竿 9 本)		北の浦海上に設置
雲量・雲形・ 向き・高さ	定時		目視		
視程	定時 (目視)	10 m (目視)	目視		
			視程計 (現象判別付)	TZE-6P	参考測器
大気現象	常時		目視		
			視程計 (現象判別付)	TZE-6P	参考測器

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

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については、総合自動気象観測装置 (地上系) により連続観測及び毎正時の観測を行った。なお、視程計は目視観測の補助測器として運用した。

(2) 目視観測

雲、視程については、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。また、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

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

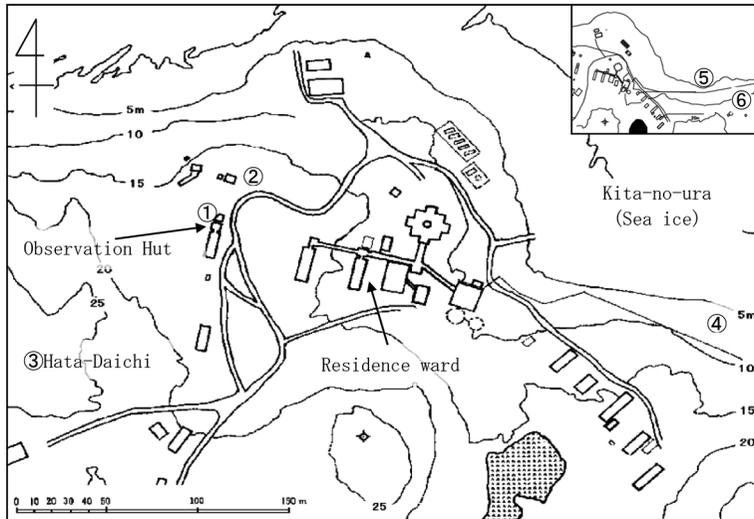


図 1 昭和基地主要部と測器感部の配置（国立極地研究所（2008a）に加筆）

- ①地上気象観測：気圧計
オゾン観測：ドブソン分光光度計
日射放射観測：ブリューワー分光光度計，下向き日射放射
- ②地上気象観測：風向風速計，温度計，湿度計，視程計
- ③地上気象観測：日射日照計
- ④地上気象観測：積雪計
- ⑤日射放射観測：上向き反射放射
- ⑥オゾン観測：地上オゾン濃度計

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

- ①Surface observation: Barometer
Ozone observation: Dobson spectrophotometer
Radiation observation: Brewer spectrophotometer, Downward radiation
- ②Surface observation: Wind sensor, Thermometer, Hygrometer, Visibility sensor
- ③Surface observation: Sunshine sensor
- ④Surface observation: Snow depth sensor
- ⑤Radiation observation: Upward radiation
- ⑥Ozone observation: Surface ozone monitor

2.2. 観測経過

総合自動気象観測装置（地上系）系統の各測器は，おおむね順調に作動した。

保守・点検は，気象庁の保守点検要領に準じて実施した。

(1) 気圧

電気式気圧計を気象棟内に設置し，通年観測した。測器の精度監視と器差補正值算出のために，国内から持ち込んだ巡回用電気式気圧計との比較観測を行い，越冬観測開始時にオフセットの設定を行った。観測は順調であった。

(2) 気温，湿度

電気式温度計及び電気式湿度計を百葉箱内の強制通風式通風筒内に設置し、通年観測した。おおむね順調に観測を行った。携帯用通風乾湿計による比較観測を3カ月に1回行い、観測装置の値が許容範囲内にあることを確認した。保守及び百葉箱内の除雪は、正時にかからないよう注意したうえで、総合自動気象観測装置処理部で気温計と湿度計を運用から保守に切替えて実施した。

2010年12月29日に通風筒、温度計、湿度計の交換を行い、携帯用通風乾湿計により10LT・11LTの気温と湿度を観測した。

(3) 風向・風速

風車型風向風速計を測風塔上に設置し、通年観測した。

おおむね順調に観測したが、弱風のときに測器の回転部分が凍結または凍結の疑いがあったため、日平均風速が準完全値^{*1}または欠測^{*2}となった日があった。また3月8日、12月29日に風車型風向風速計の交換を実施し、日平均風速が準完全値となった。

(4) 全天日射量、日照時間

全天電気式日射計と太陽追尾式日照計が一体となっている日射日照計を気象棟裏の旗台地に設置し、それぞれ通年観測した。2010年12月29日に全天電気式日射計及び太陽追尾式日照計の交換を行い、全天日射量の日合計が資料不足値^{*3}、全天日射量積算値が欠測となった。

(5) 積雪の深さ

超音波式積雪計を観測棟北東側の北の浦へ下る海岸斜面に設置し、通年観測した。吹雪、低温、新雪時などに異常値が観測され、日最深積雪及び降雪の深さ日合計が資料不足値または欠測となった日があった。

(6) 視程（視程計による参考記録）

視程計（現象判別機能付）を管制棟裏に設置し、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。吹雪により投受光部に雪が付着するため、天候回復後に投受光部の清掃を実施した。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

雪尺は第50次隊が設置したものを継続して用いて観測した。2009年2月8日に強風と融雪のため傾いていた雪尺5本を立て直し、うち1本は再度傾いたため2月22日に立て直しを行った。立て直しの前後で測定を行い、観測値を接続した。

^{*1} 統計を行う対象資料の一部が欠けているが、統計を行う際は一部の例外を除いて正常値（資料が欠けていない）と同等に扱う（気象庁、2005）

^{*2} 統計を行う対象資料が欠けているために合計値や平均値等が求められない場合

^{*3} 統計を行う対象資料数が不足しているが、極値、合計、度数等の統計ではその値以上（以下）であることが確実である、といった性質を利用して統計に利用する（気象庁、2005）

2.3. 観測結果

月別気象表を表2に、観測開始からの極値、順位値の10位までの更新記録を表3に、ブリザードの概要を表4に示す。また、年間の海面気圧、気温、風速、雲量及び日照時間の旬ごとの経過を図2に、海氷上（雪尺）と陸上（積雪計）の積雪深観測値の比較を図3に示す。さらに、越冬期間中の天気概況を表5に示した。南極海の低気圧の影響により、5-9月にかけて平均海面気圧は平年より低く経過した。また、海氷上（雪尺）と陸上（積雪計）の積雪深は、第50次隊に引き続き同様の变化傾向を示した。

3. 高層気象観測

3.1. 観測方法と測器

高層気象観測指針（気象庁、2004）に基づき、毎日00、12UTCに2回高層気象観測を行った。RS-01GM型GPSゾンデ（明星電気製、以下「GPSゾンデ」）を、ヘリウムガスを充填したゴム気球につり下げて飛揚し、気球が破裂する上空約30kmまでの気圧、気温、風向・風速及び気温が -40°C に達するまでの相対湿度の高度分布を観測した。12UTCにオゾンゾンデ観測を行う際には、GPSゾンデの代替観測とした。

昭和基地は1995年に世界気象機関（WMO）に設置された全球気候観測システム（GCOS）の基準高層気象観測網（GUAN）観測点としての指定を受けており、「より高い高度までのデータ取得」を要請されている。低温のため気球到達高度が低くなる極夜期を中心に到達高度性能の高い1200g気球を使用した。

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

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

GPS受信演算処理器については、既存のGPSゾンデデータに加えて第51次隊から持ち込んだRS-06G(E)型オゾンゾンデデータも受信、処理できるように改修済みのGPS受信演算処理器1台と現地にあるGPS受信演算処理器を改修するための改修ユニットを持ち込み、GPS受信演算処理器の改修を行った。これら改修した2台の機器は順調に稼働した。

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（TEMP）により、地上気象観測と同様にインテルサット衛星経由で全球通信システム（GTS）に通報した。

観測器材を表6に、各センサーの性能を表7に示す。

3.2. 観測経過

2010年2月から2011年1月までの高層気象観測状況を表8に示す。

第51次隊として2010年2月1日00UTCより2011年1月31日12UTCまでの観測を行っ

表 2 昭和基地における地上気象観測月別気象表 (2010 年 1 月 ~ 2011 年 1 月)
Table 2. Monthly surface observations at Syowa Station (Jan. 2010–Jan. 2011).

項目	単位	2010年												2011年	
		1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月	通年	1月
平均海面気圧	hPa	993.4	992.4	987.7	985.7	984.7	978.5	977.3	977.0	981.7	980.4	980.3	991.9	984.2	988.4
最低海面気圧	hPa	970.4	971.2	967.1	952.5	940.2	961.6	945.9	945.4	948.2	945.4	965.4	976.3	939.4	967.5
平均気圧	°C	0.4	-1.3	-7.0	-11.9	-15.4	-17.8	-21.3	-23.1	-16	5	30	28	19	3
最高気温の平均	°C	3	0.5	-4.7	-8.7	-12.6	-14.7	-17.0	-18.8	-13.5	-11.5	-4.4	0.9	-8.5	1.8
最低気温の平均	°C	-2.1	-3.1	-9.3	-15.4	-18.9	-21.3	-26.0	-27.4	-23.1	-16.7	-9.7	-5.0	-14.9	-2.0
最高気温	°C	6.0	4.8	0.7	-3.2	-5.3	-6.9	-7.4	-8.0	-1.1	-2.8	-0.7	5.9	6.0	4.9
最低気温	°C	2.3	9	6	16	15	13.4	16	20	5	30	11	17	14.15	
最高気温	°C	-7.2	-7.8	-17.0	-25.7	-29.8	-35.5	-37.2	-39.1	-33.0	-23.9	-14.4	-10.7	-39.1	-7.3
最低気温	°C	29	22	21	24	13	27	2	7	13	3	16	6	10	10
最低気温 0°C以上の日数	日	5	2	2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	8
平均気温	°C	22	7	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	7	36
最高気温 0°C以上の日数	日	31	18	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	19	69
最高気温 10°C以上の日数	日	31	28	31	21	5	4	5	3	6	11	30	31	206	31
最低気温 -10°C未満の日数	日	-	-	-	-	8	12	17	22	27	20	8	-	-	114
最低気温 -20°C未満の日数	日	-	-	-	3	3	9	18	23	8	-	-	-	-	64
平均気温 -20°C未満の日数	日	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
最高気温 -20°C未満の日数	日	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
平均蒸気圧	hPa	4.1	4.1	2.4	1.9	1.4	1.2	0.9	0.8	1.2	1.7	2.9	3.6	2.2	4.7
平均相対湿度	%	65	72	65	70	65	69	68	69	71	72	77	68	69.2	77
平均風速	m/s	6.2	8.1	6.7	7.1	8.5	6.6	6.4	6.9	5.9	8.2	9.4	5.7	7.1	8.2
最多風向	16方位	NE	NE	ENE	ENE	ENE	ENE	ENE	ENE	NE	NE	NE	NE	NE	NE
最大風速	m/s	36	31.0	25.3	32.1	38.5	32.9	32.6	34.8	33.0	38.6	32.0	30.6	38.6	28.0
風向	°C	ENE	ENE												
風速	m/s	36.1	31.1	41.5	47.1	39.1	38.5	43.8	46.4	47.8	38.3	36.5	36.5	47.8	34.5
最大瞬間風速	m/s	NE	NE	ENE	NE										
風向	°C	21	16	16	19	21	19	15	15	18	19	22	15	224	23
風速	m/s	9	12	8	9	12	12	12	10	8	10	16	5	123	14
最大風速 10.0m/s以上の日数	日	2	1	-	2	3	1	1	2	1	4	1	1	19	19
30.0m/s以上の日数	日	2	1	-	2	3	1	1	2	1	4	1	1	19	19
日照時間	h	381.5	125.5	145.3	83.5	30.0	-	3.0	65.4	154.5	100.0	223.3	431.8	1743.8	159.9
日照率	%	54	26	37	32	27	-	6	30	46	21	35	58	40	23
平均全日射量	MJ/m ²	25.9	14.2	8.0	2.4	0.3	0.0	0.1	1.4	6.5	12.2	23.1	30.1	10.3	21.7
日照日数	日	2	8	7	11	22	30	26	15	7	12	3	1	145	3
日照時間	h	6.7	8.6	7.7	7.4	6.6	7.8	6.6	6.3	6.3	8.6	8.4	5.9	7.2	9.4
平均雲量	日	4	-	2	2	5	-	5	6	3	1	1	8	35	-
1.5未満の日数	日	16	20	16	15	12	12	16	11	10	8	23	21	111	179
平均雲量	cm	98	66	55	66	65	73	76	76	91	118	114	109	118	83
8.5以上の日数	日	1	6	4	4	7	12	15	23	7	29	13	27	4	5
降雪の深さ月合計	cm	11	68	29	64	65	77	28	42	53	70	42	23	572	44
降雪日数	日	11	17	15	21	17	22	15	22	19	26	21	11	217	25
霧日数	日	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2	3
フリスガード日数	日	-	4	6	3	7	5	6	7	5	8	7	2	60	1
フリスガード回数	回	-	2	3	1	3	3	4	3	2	2	2	1	26	1

・統計方法は気象観測統計指針(気象庁)による。
 ・数値右側の符号は次のとおり。
 [] : 推定値。品質に懸念があるか、または概算値を求めた対象となる資料の一部が許容する範囲内で欠けている場合。
 [] : 資料不届値。統計値を求めた対象となる資料が許容する資料数を満たさない場合。
 ・5月29日から7月14日までは記録上太陽中心が地平線下に現れない。日照日数にはこの期間(46日)を加えてある。

表 3 昭和基地における地上気象観測極値・順位更新記録
(2010年2月～2011年1月)

Table 3. New surface meteorological observations extrema and ranking at Syowa Station (Feb. 2010–Jan. 2011).

年 月	統 計 項 目	観 測 値	起 日	順 位	
2010年2月	月平均気温の高いほうから	-1.3℃		2位	
	日最低気温の高いほうから	0.3℃	4日	5位	
		0.1℃	1日	7位タイ	
	月間日照時間の少ないほうから 最深積雪	125.5時間 66 cm	6日	3位 1位	
3月	日最小湿度	31%	13日	5位タイ	
	月間日照時間の多いほうから 最深積雪	145.3時間 53 cm	4日	7位 2位	
	4月	月平均気温の低いほうから	-11.9℃		4位タイ
月間日照時間の多いほうから		83.5時間		6位	
最深積雪		66] cm	12日	4位	
5月	日最小相対湿度	23%	3日	1位	
	月平均気温の低いほうから	-15.4℃		7位	
	日最大風速(風向)	38.5 m/s (ENE)	18日	9位	
	日最大瞬間風速(風向)	47.1 m/s (NE)	19日	10位	
	月間日照時間の多いほうから	30.0時間		6位	
	最深積雪	65] cm	15日	3位	
6月	月平均気温の低いほうから	-17.8℃		9位タイ	
	最深積雪	73 cm	23日	3位	
7月	日最高気温の低いほうから	-29.7℃	14日	8位	
	月平均気温の低いほうから	-21.3℃		4位	
	最深積雪	76] cm	7日	2位	
8月	日最高気温の低いほうから	-31.0℃	13日	9位	
	日最低気温の低いほうから	-39.1℃	7日	10位	
	月平均気温の低いほうから	-23.1℃		2位	
	日最小相対湿度	30%	9日・10日	8位タイ	
	最深積雪	76] cm	29日	3位	
9月	日最高気温の高いほうから	-1.1℃	5日	1位	
	日最大瞬間風速・風向	46.4 m/s (NE)	5日	8位	
	月間日照時間の多いほうから	154.5時間		10位	
	最深積雪	91] cm	12日	3位	
10月	日最大風速	38.6 m/s (NE)	17日	2位	
	日最大瞬間風速	47.8 m/s (NE)	17日	5位	
	月間日照時間の少ないほうから	100.0時間		2位	
	最深積雪	118 cm	18日	3位	
11月	月間日照時間の少ないほうから	223.3時間		4位	
	最深積雪	114 cm	27日	3位	
12月	日最高気温の低いほうから	-4.7℃	2日	3位	
		-4.6℃	4日	4位	
		-4.2℃	8日	8位	
	日最低気温の低いほうから	-10.7℃	6日	7位	
	日最小湿度の低いほうから	31%	8日	7位	
	日最大風速	30.6 m/s (NE)	10日	5位	
	日最大瞬間風速	36.5 m/s (ENE)	10日	7位	
	最深積雪	109 cm	4日	2位	
	2011年1月	月間日照時間の少ないほうから	159.9時間		1位
		最深積雪	83 cm	5日	2位
年	日最低海面気圧の低いほうから	940.2 hPa	5月19日	7位	
		941.2 hPa	5月18日	10位	
		939.4 hPa	10月30日	7位	
	日最小相対湿度	23%	5月3日	10位	
	月平均気温の低いほうから	-23.1℃	8月	5位	
	最深積雪	118 cm	10月18日	8位	

・順位は観測当時のもの

・数値右側の符号は次のとおり。

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

表 4 昭和基地におけるブリザードの概要 (2010年2月~2011年1月)
Table 4. Summaries of heavy snowstorms (blizzards) at Syowa Station (Feb. 2010-Jan. 2011).

階 番 級	開始日時	終了日時	終始時間	継続時間	中断時間	最大風速 風速 風向 起時	最大瞬間風速 風速 風向 起時
5101 C	2010年 2月 6日 17時50分	2010年 2月 7日 2時00分	8時間10分	8時間10分	0時間0分	36.1 ENE 6日21時40分	36.1 NE 6日21時1分
5102 B	2010年 2月 24日 22時45分	2010年 2月 25日 12時15分	13時間30分	13時間30分	0時間0分	22.4 ENE 25日 3時40分	27.5 ENE 25日 3時37分
5103 B	2010年 3月 5日 13時00分	2010年 3月 6日 2時40分	13時間40分	13時間40分	0時間0分	20.3 NE 5日 14時00分	24.5 NE 5日 13時48分
5104 B	2010年 3月 14日 9時40分	2010年 3月 15日 3時20分	17時間40分	17時間40分	0時間0分	20.9 NE 14日 14時40分	27.3 ENE 14日 14時20分
5105 B	2010年 3月 28日 20時55分	2010年 3月 29日 18時10分	21時間15分	21時間15分	0時間0分	25.3 ENE 29日 2時10分	31.1 ENE 29日 2時 5分
5106 A	2010年 4月 25日 4時20分	2010年 4月 27日 3時20分	47時間0分	47時間0分	0時間0分	32.1 ENE 26日 11時40分	41.5 ENE 25日 22時49分
5107 C	2010年 5月 5日 8時20分	2010年 5月 5日 22時59分	14時間39分	14時間19分	0時間0分	23.7 E 5日 11時30分	26.9 E 5日 10時30分
5108 A	2010年 5月 14日 20時45分	2010年 5月 16日 7時50分	35時間5分	35時間5分	0時間0分	29.1 ENE 15日 8時00分	35.1 ENE 15日 7時21分
5109 A	2010年 5月 18日 17時30分	2010年 5月 20日 14時40分	45時間10分	39時間25分	5時間45分	38.5 ENE 18日 23時10分	47.1 NE 18日 22時50分
5110 C	2010年 6月 5日 18時30分	2010年 6月 6日 22時10分	27時間40分	16時間50分	10時間50分	20.1 ENE 6日 15時40分	25.0 ENE 6日 17時29分
5111 C	2010年 6月 13日 1時00分	2010年 6月 13日 14時 5分	13時間 5分	13時間 5分	0時間0分	32.9 ENE 13日 2時20分	39.1 ENE 13日 2時15分
5112 C	2010年 6月 20日 19時40分	2010年 6月 21日 22時00分	26時間20分	25時間 2分	1時間18分	21.4 NE 21日 4時40分	27.3 NE 21日 4時50分
5113 C	2010年 7月 7日 7時 2分	2010年 7月 7日 15時30分	8時間28分	8時間28分	0時間0分	26.7 NE 7日 10時10分	31.2 NE 7日 10時16分
5114 C	2010年 7月 9日 19時00分	2010年 7月 10日 3時10分	8時間10分	8時間10分	0時間0分	20.8 ENE 10日 1時40分	26.0 ENE 10日 1時19分
5115 B	2010年 7月 16日 0時20分	2010年 7月 16日 12時50分	12時間30分	12時間30分	0時間0分	23.8 NE 16日 2時30分	29.5 NE 16日 6時34分
5116 A	2010年 7月 23日 6時40分	2010年 7月 24日 7時30分	24時間50分	24時間50分	0時間0分	32.6 NE 23日 11時50分	38.5 NE 23日 11時42分
5117 A	2010年 8月 15日 21時10分	2010年 8月 17日 18時39分	45時間29分	45時間29分	0時間0分	34.8 ENE 16日 19時00分	43.8 ENE 16日 18時54分
5118 B	2010年 8月 19日 12時50分	2010年 8月 20日 11時42分	22時間52分	22時間52分	0時間0分	31.0 ENE 20日 8時10分	37.0 ENE 20日 8時28分
5119 B	2010年 8月 28日 1時00分	2010年 8月 29日 7時 2分	30時間 2分	30時間 2分	0時間0分	29.9 NE 28日 22時10分	37.1 NE 28日 21時57分
5120 A	2010年 9月 4日 20時10分	2010年 9月 5日 16時00分	19時間50分	19時間50分	0時間0分	33.0 NE 5日 11時40分	46.4 NE 5日 9時51分
5121 B	2010年 9月 8日 14時50分	2010年 9月 10日 0時30分	33時間40分	30時間41分	2時間59分	26.2 NE 9日 9時20分	31.1 NE 9日 9時15分
5122 A	2010年 10月 16日 19時30分	2010年 10月 18日 4時50分	33時間20分	26時間45分	6時間35分	38.6 NE 17日 8時50分	47.8 NE 17日 7時49分
5123 A	2010年 10月 26日 11時20分	2010年 10月 30日 12時55分	87時間35分	87時間35分	0時間0分	34.3 ENE 30日 1時40分	41.1 ENE 30日 2時 7分
5124 A	2010年 11月 4日 11時00分	2010年 11月 6日 21時40分	58時間40分	46時間50分	11時間50分	32.0 NE 5日 6時40分	38.3 NE 5日 7時17分
5125 A	2010年 11月 27日 6時20分	2010年 11月 30日 4時40分	70時間40分	70時間40分	0時間0分	29.3 ENE 28日 2時30分	34.8 ENE 28日 0時23分
5126 B	2010年 12月 10日 12時40分	2010年 12月 11日 1時50分	13時間10分	13時間10分	0時間0分	30.6 NE 10日 16時30分	36.5 ENE 10日 16時27分
5127 C	2011年 1月 27日 1時20分	2011年 1月 27日 10時30分	9時間10分	9時間10分	0時間0分	22.3 NE 27日 4時10分	25.8 NE 27日 4時10分

※階級区分は次による。

A級: 視程100m未満, 風速25m/s以上の状態が6時間以上継続

B級: 視程1km未満, 風速15m/s以上の状態が12時間以上継続

C級: 視程1km未満, 風速10m/s以上の状態が6時間以上継続

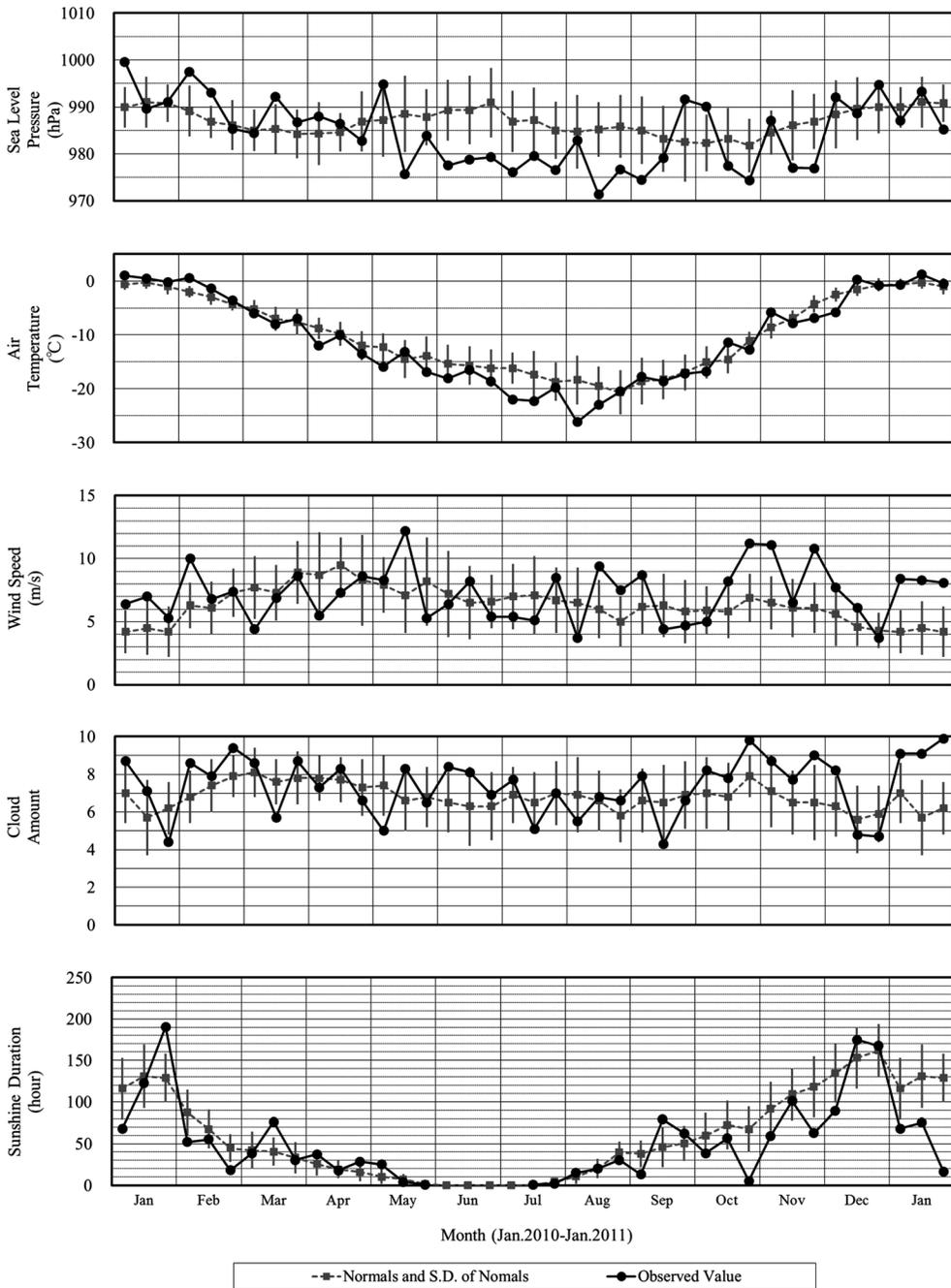


図 2 昭和基地における地上気象旬別経過図 (2010 年 1 月～2011 年 1 月).
 平年値は 1971-2000 年の平均値.

Fig. 2. Time series of 10-day mean surface meteorological data at Syowa Station (Jan. 2010-Jan. 2011).
 Normal value are considered as average values during in 1971-2000.

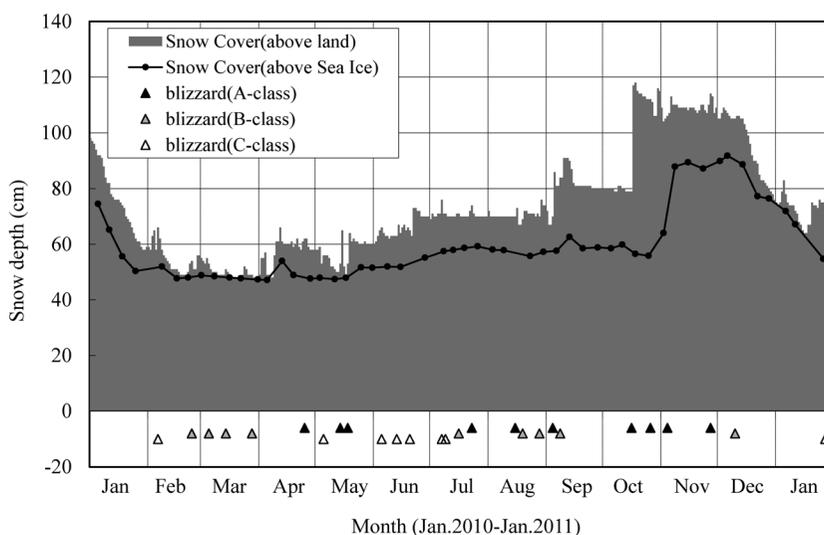


図 3 海氷上(雪尺)と昭和基地内(積雪計)の積雪深観測値の比較(2010年1月～2011年1月)
 Fig. 3. Comparison of snow depth on sea ice with that at Syowa Station (Jan. 2010–Jan. 2011).

た. この期間中, ブリザードによる強風が原因の欠測が19回あった(5月15日00UTC, 5月15日12UTC, 5月16日00UTC, 5月19日00UTC, 5月20日00UTC, 6月13日00UTC, 7月23日12UTC, 7月27日12UTC, 8月16日00UTC, 8月16日12UTC, 8月17日00UTC, 8月17日12UTC, 10月17日00UTC, 10月27日00UTC, 10月28日12UTC, 10月30日00UTC, 11月4日12UTC, 11月5日00UTC, 12月10日12UTC).

南極の低温下でもゴム気球の性能を維持するため, 1年を通してあらかじめ加温した気球を観測に使用した. 特に冬季の下部成層圏の低温によりゴム気球が硬化して到達高度が低下するのを防ぐため, 観測気球の油漬けを00UTCは5月6日から11月13日まで, 12UTCは5月8日から11月16日まで行った. なお, 油漬けの実施期間は成層圏(約8–50km)の気温がおおむね -68°C を下回る時期を目安とした.

また, ゴム気球の性能の劣化しやすい冬季でも高い高度のデータ取得を行うため, 5月1日から12月6日までの毎日, 00UTCの観測では1200g気球を使用したGPSゾンデ観測を実施した.

3.3. 観測結果

2010年2月から2011年1月までの主な指定気圧面の高度, 気温, 風速の月平均値(00UTCの観測値による統計)を表9に示す. また, 2010年2月から2011年1月までの00UTCにおける各指定気圧面の月平均気温と月平均気温平年値(1971–2000年)の年変化を図4に示す.

2010年1–8月にかけて各層とも平年並みの気温であった. 5, 6月の700, 500, 400hPa

表 5 昭和基地における天気概況 (2010年2月~2011年1月) (1/2)
Table 5. Weather summaries at Syowa Station (Feb. 2010-Jan. 2011). (1/2)

年・月	天気概況
2010年 2月	月を通して昭和基地付近に低気圧が停滞し、曇りや雪の日が多かった。特に6日から7日及び24日から25日にかけては発達した低気圧が接近したため、C級及びB級のブリザードとなった。中旬までは最高気温がプラスになる日が続くなど気温は高めに経過し、月平均気温が2月の高い方から2位となった。また、曇りや雪の日が多かったため、月間日照時間が2月の少ない方から3位となった。
	上旬 7日までは低気圧の影響を受け、低気圧が接近した1日・3日~4日・6日は吹雪となった。
	中旬 8日以降はインド洋から高気圧が張り出し、晴れの日が続いた。北から暖かい空気が流れ込んだため、9日には最高気温が+4.8℃まで上がった。
	下旬 13日までは引き続き高気圧に覆われ、晴れの日が続いた。14日以降は低気圧が昭和基地の西海上に停滞し、曇りの日が多かった。21日は高気圧に覆われ晴れたが、22日以降は低気圧が接近したため、曇りや雪の日が多かった。24日から27日は吹雪となった。
2010年 3月	昭和基地は周期的に低気圧の影響を受け、5日から6日、14日から15日、28日から29日はそれぞれB級ブリザードとなった。低気圧が通過した後は内陸の高気圧に覆われる日が多かったため、月間日照時間が多いほうから7位となった。
	上旬 低気圧が接近した5-6日は吹雪となった。6日は午後には天気が回復し、低気圧が北から暖かい空気をもたらしたため、最高気温が0.7℃まで上がった。9日以降は内陸の高気圧に覆われ晴れの日が続いたが、気温は低下した。
	中旬 13日までは上旬に引き続き高気圧に覆われ、晴れの日が続いた。14日から15日は低気圧の影響を受け吹雪となったが、16日以降は再び高気圧に覆われ、晴れの日が続いた。
	下旬 21日は晴れたが、22日以降は昭和基地の北西海上の低気圧の影響が強まり、曇りや雪の日が多かった。低気圧が最も接近した28日から29日は吹雪となった。
2010年 4月	月を通して大陸の高気圧の勢力が強かったために発達した低気圧が昭和基地に接近することは少なく、上空に寒気を持つ小低気圧の影響で天気が崩れることが多かった。低気圧の影響がない日はよく晴れ、気温はしばしば-20℃を下回った。このように全般に好天となった月であったが、発達した低気圧が接近した25日から27日にかけてはA級ブリザードとなった。
	上旬 上空の寒気の影響を受けた1・2・4・9日は雪となった。ほかの日は大陸の高気圧に覆われよく晴れたが、カタバ風の強い日が多く寒い日が多かった。
	中旬 11日は引き続き高気圧に覆われ晴れたが、12日から18日にかけては低気圧の影響を受け気温が高く、曇りや雪の日が多かった。19日からは上空の寒気の影響が強まり、気温は低下した。
	下旬 21日から24日までは大陸の高気圧に覆われたため、よく晴れ寒い日が続いた。25日から27日にかけて、発達した低気圧が昭和基地に接近し、A級ブリザードとなった。28日以降は再び上空の寒気の影響が強まり、曇りや雪の日が続いた。
2010年 5月	上旬は昭和基地の北を通過した低気圧のためC級ブリザードとなり、中旬は上空の気圧の谷が停滞し、発達した低気圧が昭和基地に接近したため、2度にわたってA級ブリザードとなった。その他の日は大陸の高気圧に覆われ、好天で気温の低い日が多かった。3日は日最少湿度が22%まで下がり、5月の極値を更新した。
	上旬 低気圧が昭和基地の北を通過した5日はC級ブリザードとなった。他の日は大陸の高気圧に覆われよく晴れたが、カタバ風の強い日が多く気温の低い日が多かった。3日は日最小相対湿度が23%を記録し、5月の低い方から1位、通年10位となった。
	中旬 13日までは引き続き大陸の高気圧に覆われてよく晴れ、13日は日最低気温が-29.8℃を記録した。14日から16日及び18日から20日にかけては発達した低気圧が昭和基地に接近し、それぞれA級ブリザードとなった。19日には日最低海面気圧が940.2 hPaを記録し、低い方から通年7位となった。
	下旬 大陸の高気圧の勢力が強まり、よく晴れ、気温の低い日が続いた。
2010年 6月	極夜期を迎え、南極大陸上空の成層圏では極渦が発達し、昭和基地でもしばしば極成層圏雲を観測した。極渦の外縁部にあたる南極海では低気圧がよく発達したが、昭和基地へはあまり接近せず大きく天気が崩れる日は少なかった。このため、27日には日最低気温が-35.5℃まで下がるなど気温の低い日が続く、月平均気温は月の低いほうから9位タイとなった。ブリザードはC級が3回あった。
	上旬 7日までは低気圧の影響を受け、5-6日はC級ブリザードとなった。8日からは高気圧の勢力が強まり、晴れて気温が低下した。
	中旬 12-14日にかけて発達した低気圧の影響で13日はC級ブリザードとなった。15日以降も弱い低気圧が停滞した影響で曇りや雪の日が続いた。20日は別の低気圧が接近し、吹雪となった。
	下旬 22日まで低気圧接近のため、吹雪となり、20-21日はC級ブリザードとなった。24日からは内陸の高気圧の勢力が強まり、27日には日最低気温が-35.5℃まで下がるなど、晴れて寒い日が続いた。
2010年 7月	昭和基地は内陸の高気圧に覆われた影響で地表付近の温度逆転層がよく発達し、気温の低い状態が継続した。このため、月平均気温が7月の低い方から4位となった。低気圧が接近した日にはA級1回を含む4回のブリザードを記録したが、悪天は一時的で長続きすることはなかった。
	上旬 4日までは晴れて気温の低い日が続く、2日には最低気温が-37.2℃まで下がった。5日から7日は低気圧の影響で吹雪となり、7日はC級ブリザードを記録した。8日は晴れたが、9日から10日は別の低気圧が接近したため、C級ブリザードとなった。
	中旬 11日は引き続き吹雪となったが、12日から15日はよく晴れて気温が下がり、12日は蜃気楼効果で地平線下の太陽を視認することができた。14日の日最高気温は-29.7℃までしか上がらず、7月の日最高気温低い方から8位を記録した。16日は低気圧が接近したため、B級ブリザードとなったが、17日以降は再び晴天が続いた。
	下旬 21日は晴れたが、22日からは発達した低気圧の影響を受け雪が降り出し、23日には強い吹雪となりA級ブリザードを記録した。24日には天気が回復したが、27日から28日にかけて昭和基地の北を低気圧が通過し、曇りとなった。この低気圧が北から暖かい空気をもたらしたため、27日以降は地表付近の逆転層が解消し、比較的温度が高い状態が継続した。

表 5 昭和基地における天気概況 (2010年2月~2011年1月) (2/2)
Table 5. Weather summaries at Syowa Station (Feb. 2010-Jan. 2011). (2/2)

年・月	天気概況
2010年 8月	月の前半を中心に内陸の高気圧に覆われる日が多く、7日には日最低気温が-39.1℃まで下がると、よく晴れて気温の低い日が続いた。月の後半は、発達した低気圧の影響を受けブリザードとなる日もあったが、気温は比較的低い日が多かった。このため、月平均気温が8月の低い方から2位、通年でも5位となった。
	上旬 9日までは内陸の高気圧に覆われ、晴れて気温の低い日が続いた。6日から7日の昼にかけては快晴となったため、地表付近に強い逆転層が生じ、7日の最低気温は-39.1℃まで下がった。10日は低気圧の影響で雪となったが、天気は崩れは小さかった。
	中旬 14日までは内陸の高気圧に覆われ、特に寒気の強まった13日には日最高気温が-31.0℃までしか上がらなかった。15日から20日は発達した低気圧が次々と接近し、A級及びB級のブリザードをもたらした。
下旬 24日までは弱い低気圧が停滞し、雪の降りやすい天気が続いた。25日、26日は内陸の高気圧に覆われたが、27日から29日にかけて発達した低気圧が接近し、B級ブリザードとなった。この低気圧は弱まりながら停滞し、31日まで雪の降りやすい天気が続いた。	
2010年 9月	上旬は発達した低気圧の接近や前線の影響により雪や曇りとなり、4-5日と8-10日はブリザードとなった。低気圧が昭和基地上空を通過した5日は日最高気温が-1.1℃まで上がり、9月の極値を更新した。中・下旬は天気が周期的に変わり、低気圧の影響で雪や曇りとなる日、高気圧圏内となり晴れて夕方から午前中に風がやや強くなる日が交互にあらわれた。
	上旬 発達した低気圧の接近や低気圧からのびる前線の影響で、雪や曇りの日が多かった。発達した低気圧の接近した4-5日と8-10日はブリザードとなり、5日は北から温かい気団が入ったため、最高気温-1.1℃は9月として高い値第1位を更新した。
	中旬 11-13日は、低気圧の影響により雪や曇りの日が多かった。15日以降は高気圧圏内となり晴れた日が多く、カタバ風により夕方から午前中に風がやや強くなった。
下旬 22-24日は、昭和基地付近の弱い低気圧の影響で雪や曇りとなったが、25日以降高気圧圏内となり晴れた日が多く、カタバ風にて夕方から午前中に風がやや強くなった。	
2010年 10月	月の前半は弱い低気圧の影響を受ける日もあったが、内陸の高気圧に覆われる日も多かった。月の後半は、発達した低気圧が次々と昭和基地に接近したため、2度のA級ブリザードとなり、ほとんど日照がなかった。このため、月間日照時間が10月の少ないほうから2位となった。また、30日には日最低海面気圧が939.4 hPaと年の低いほうから7位を記録した。
	上旬 4日から6日、8日は弱い低気圧の影響を受け、雪となった。旬を通じて内陸の寒気の影響が強く、比較的低い日が続いた。
	中旬 12日までは引き続き晴れたが、13日に発達した低気圧が接近し、北から暖かい空気が入り込んだ。16日から19日にかけて別の低気圧が昭和基地の近くから内陸に入り込んだため、17日の日最大風速は38.6 m/s、日降雪量が36 cmとなる、A級ブリザードとなった。
下旬 25日までは南から寒気が入り込み、昭和基地付近は暖気と寒気の境目に位置したため、曇りや雪で気温の低い状態が続いた。26日から30日にかけて、発達した低気圧が続いて昭和基地沿岸を通過したため、30日の日最低海面気圧939.4 hPaは通年の7位となり、継続時間が87時間に達する長い級ブリザードとなった。31日も低気圧の影響が残ったため、旬日照時間は5.3時間しかなかった。	
2010年 11月	前月に引き続き低気圧の影響を受ける日が多く、月間日照時間が11月の少ないほうから4位となった。上旬と下旬には発達した低気圧が接近し、それぞれA級ブリザードを記録した。高気圧に覆われ晴れた日も朝晩はカタバ風が吹くことが多く、平均風速は平年を大きく上回った。
	上旬 4日から6日にかけて発達した低気圧が接近し、A級ブリザードとなった。他の日は穏やかな天気であったが、朝晩はカタバ風の強い日が多かった。
	中旬 11日から17日にかけては低気圧の影響が小さく、晴れて風も穏やかな日が続いた。18日から20日にかけては弱い低気圧が接近し、雪または吹雪となった。
下旬 22日までは引き続き低気圧の影響を受け、吹雪となった。23日は内陸の高気圧に覆われ快晴となったが、気温は低下し最高気温は-7.2℃までしか上がらなかった。24日から26日は弱い低気圧の影響を受け雪となり、27日から30日にかけては発達した低気圧が続いて接近したため、A級ブリザードとなり、旬降雪量は31 cmに達した。	
2010年 12月	上旬は前月からの悪天が続く、気温が低く日照も少ない寒い日が続いた。10日に発達した低気圧が接近しブリザードとなったが、この後はインド洋の高気圧が昭和基地付近まで張り出したため、中旬から一転して日照に恵まれ気温も上昇した。月全体では気温は平年を下回ったものの、日照時間はほぼ平年並みとなった。
	上旬 大陸の寒気の影響を受け曇りや雪の日が多く、11月中旬並みの気温の日が続いた。10日は発達した低気圧が接近したため、12月としては14年ぶりにB級ブリザード(ブリザードとしては2年ぶり)となった。
	中旬 12日からはインド洋の高気圧に覆われ、よく晴れて気温も上昇した。17日から18日にかけては昭和基地の北を通過した低気圧から暖かい空気が流れ込んだ影響もあり、18日の日最低気温は0.1℃までしか下がらなかった。
下旬 21日、26日、31日と周期的に低気圧が接近し、曇りや雪となったが、他の日は晴れの日が続いた。	
2011年 1月	発達した低気圧が周期的に昭和基地へ近づき、雪や吹雪をもたらした。特に月の後半は低気圧が昭和基地付近に停滞し、27日はC級ブリザードとなるなど、ほとんど日照のない日が続く、月間日照時間159.9 hは1月の少ないほうから1位となった。低気圧が暖かい空気をもたらしたため、気温は平年より高めに経過した。
	上旬 1から5日にかけて発達した低気圧が続いて昭和基地の北を通過したため、雪や吹雪となった。低気圧が最も接近した3日は最大風速が28.0 m/sを記録したが、視程が極端に悪化せずブリザードとはならなかった。6から10日はインド洋の高気圧に覆われ比較的よく晴れたが、朝晩は冷え込み7日、8日、10日は霧が発生した。
	中旬 12日までは引き続き高気圧に覆われ晴れた。13日から低気圧の影響を受け曇りとなり、16日からは雪の日が続いた。16-18日は、上空に暖かい空気が入ったため、雲が多く放射冷却がなかったため、最低気温がプラスとなった。
下旬 発達した低気圧が次々と接近したため、雪や吹雪の日が続いた。このため、旬日照時間は16.5 hしかなかった。27-28日は発達した低気圧が接近し、C級ブリザードを記録した。	

表 6 昭和基地における高層気象観測器材

Table 6. Instruments used for aerological observations at Syowa Station.

器材名	形式等	備考
GPS ゾンデ	RS-01GM 型 GPS ゾンデ	各センサの性能については表 7 に示す
電池	単 3 型リチウム電池	飛揚前点検時に接続, 飛揚
気球	600 g (1200 g) ゴム気球	飛揚前に加温保存, 冬季低温時は油漬け処理を実施
充填ガス	ヘリウムガス	浮力錘による標準浮力は 1800 g (1900 g) 気象観測用巻下器使用時は 100 g 増量
懸垂紐	白色クレモナ糸 15 m (30 m)	強風時は気象観測用巻下器 (高高度気象観測用巻下器) に代える
気象観測用巻下器 (高高度観測用巻下器)		強風時に懸垂紐の代わりに使用, 飛揚後に懸垂紐が 15 m (30 m) に伸長

() 内は高高度観測時

表 7 RS-01GM 型 GPS ゾンデ各センサの性能

Table 7. Sensor performance of the RS-01GM GPS sonde.

ゾンデ形式	観測要素	センサ	測定範囲	測定精度	備考
RS-01GM 型 GPS ゾンデ	気圧	GPS 高度, 気温, 湿度より算出	1040~5 hPa		GPS 測位データから 測高公式により算出
	気温	ビード型 ガラスコートサーミスタ (アルミ蒸着加工)	+40~-90°C	±0.5°C	飛揚前点検で 精度確認
	湿度	高分子感湿膜 静電容量変化式湿度計	1~100%	± 7% (10~95%) ±10% (上記以外)	飛揚前点検で 精度確認
	風向 風速	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			

表 8 昭和基地における高層気象観測状況

Table 8. Number of observations and attained height of aerological observations at Syowa Station.

項目	年 月	2010年										2011年	合計		
		2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月		1月	
飛揚回数		58	63	61	57	60	64	59	63	60	66	63	62	736	
定時観測回数		56	62	60	57	59	61	58	60	58	58	61	62	712	
欠測回数 (※1)		0	0	0	5	1	2	4	0	4	2	1	0	19	
資料欠如回数 (※2)		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
再観測回数		2	1	1	0	1	3	1	3	2	8	2	0	24	
到達気圧 / 高度	00 UTC	平均 hPa	10.7	11.3	17.9	12.1	15.9	11.5	7.0	12.2	8.9	9.5	11.5	14.7	11.2
		平均 km	31.3	30.4	26.8	30.2	29.0	29.0	30.5	29.7	30.2	30.9	30.5	29.2	29.9
		最高 hPa	7.0	7.0	9.1	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	6.1	6.0	6.8	9.8	5.0
		最高 km	33.8	33.4	30.7	33.3	32.6	32.0	32.3	33.0	32.8	33.8	33.3	31.8	33.3
	12 UTC	平均 hPa	10.7	11.5	16.9	16.5	16.0	14.9	11.0	12.2	14.3	12.7	14.2	13.9	13.3
		平均 km	31.3	30.3	27.8	27.2	28.9	26.2	27.7	27.4	27.1	28.3	29.6	30.1	28.4
		最高 hPa	5.7	6.9	6.5	5.8	7.1	7.8	5.0	6.5	5.5	7.4	5.2	5.0	5.0
		最高 km	36.5	33.2	32.3	31.1	29.9	29.3	32.0	30.5	32.4	32.7	36.2	36.8	36.8

※1 : 500 hPa指定気圧面までの全ての観測値が得られなかった回数。

※2 : 100 hPa指定気圧面までの全ての観測値が得られなかった回数。

表 9 月別指定気圧面観測値 (00 UTC)

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

項目	指定面 hPa	2010年														2011年	
		1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月	平均	1月		
高度 (m)	850	1238	1220	1161	1131	1134	1053	1038	1036	1078	1084	1101	1208	1124	1191		
	800	1708	1689	1622	1588	1585	1499	1484	1479	1527	1531	1560	1674	1579	1661		
	700	2726	2706	2624	2582	2568	2472	2460	2445	2506	2500	2555	2680	2569	2680		
	600	3873	3850	3754	3701	3676	3569	3567	3541	3613	3601	3676	3816	3686	3829		
	500	5193	5168	5054	4984	4945	4828	4836	4800	4883	4868	4963	5124	4971	5152		
	400	6751	6723	6587	6495	6441	6309	6326	6282	6380	6361	6476	6668	6483	6713		
	350	7652	7621	7473	7369	7309	7165	7184	7138	7246	7225	7348	7562	7358	7614		
	300	8662	8629	8470	8350	8289	8129	8145	8100	8218	8197	8326	8566	8340	8625		
	250	9842	9809	9639	9494	9426	9247	9250	9206	9334	9317	9453	9728	9479	9805		
	200	11308	11275	11095	10911	10812	10603	10571	10527	10666	10659	10810	11151	10866	11264		
	175	12192	12161	11973	11766	11642	11411	11354	11308	11450	11452	11618	12009	11695	12144		
	150	13215	13188	12987	12754	12598	12341	12252	12203	12349	12360	12548	13003	12650	13163		
	125	14424	14402	14185	13919	13720	13431	13308	13255	13404	13425	13643	14180	13775	14368		
	100	15907	15887	15648	15339	15081	14751	14587	14530	14683	14716	14981	15626	15145	15846		
	70	18296	18264	17978	17592	17226	16823	16602	16547	16714	16771	17150	17964	17327	18227		
	50	20575	20514	20168	19699	19198	18744	18482	18431	18623	18731	19261	20196	19385	20494		
40	22096	22009	21623	21086	20502	20004	19722	19677	19890	20054	20704	21693	20755	22006			
30	24065	23938	23491	22882	22163	21618	21322	21282	21534	21803	22609	23644	22529	23975			
気温 (°C)	850	-7.1	-8.1	-12.2	-14.7	-19.1	-20.5	-21.4	-23.2	-19.0	-20.1	-13.3	-9.6	-15.7	-7.5		
	800	-10.0	-10.3	-14.4	-16.5	-19.9	-22.6	-22.3	-24.6	-20.7	-22.9	-16.1	-12.7	-17.8	-10.0		
	700	-15.7	-16.1	-19.6	-21.7	-24.3	-26.8	-24.9	-27.6	-25.0	-27.5	-21.6	-18.5	-22.4	-15.4		
	600	-22.2	-22.7	-25.9	-28.8	-31.0	-33.2	-31.1	-33.2	-31.0	-31.8	-28.1	-24.5	-28.6	-21.8		
	500	-29.7	-30.1	-33.5	-36.9	-39.5	-41.3	-39.6	-41.2	-39.2	-39.7	-36.2	-31.8	-36.6	-29.1		
	400	-39.5	-40.3	-43.6	-46.7	-48.7	-51.3	-50.4	-51.3	-48.9	-49.3	-46.9	-41.5	-46.5	-39.4		
	350	-45.9	-46.5	-49.5	-52.6	-53.4	-56.8	-56.8	-56.9	-54.5	-54.8	-53.0	-47.5	-52.4	-45.9		
	300	-51.7	-52.2	-54.2	-58.2	-58.3	-62.1	-63.3	-62.9	-60.7	-60.5	-59.5	-53.6	-58.1	-51.3		
	250	-50.7	-50.7	-52.6	-58.0	-61.0	-65.0	-68.8	-68.7	-66.8	-65.6	-64.2	-56.3	-60.7	-51.8		
	200	-47.2	-47.1	-48.7	-54.6	-61.0	-65.9	-72.5	-72.6	-71.3	-69.4	-66.1	-54.1	-60.9	-48.4		
	175	-46.6	-45.9	-48.2	-54.2	-60.8	-66.6	-73.5	-74.0	-73.2	-71.1	-66.6	-53.1	-61.2	-47.6		
	150	-46.3	-45.6	-48.6	-54.5	-62.0	-67.8	-74.5	-75.2	-74.6	-72.7	-67.5	-52.8	-61.8	-47.5		
	125	-46.7	-45.7	-48.8	-55.1	-63.8	-69.7	-76.3	-77.1	-76.1	-74.5	-68.4	-52.5	-62.9	-47.1		
	100	-45.4	-45.7	-49.4	-56.3	-65.9	-72.6	-78.3	-78.8	-77.9	-76.1	-67.9	-50.9	-63.8	-46.3		
	70	-42.8	-45.2	-50.2	-58.3	-69.5	-76.6	-81.4	-81.1	-79.2	-75.9	-62.5	-47.8	-64.2	-44.0		
	50	-40.7	-44.4	-51.2	-60.4	-72.9	-79.5	-82.9	-82.3	-79.3	-72.1	-54.8	-45.1	-63.8	-41.7		
40	-39.9	-44.3	-51.4	-60.9	-74.2	-81.0	-83.8	-82.7	-78.4	-68.6	-49.8	-42.9	-63.2	-40.1			
30	-38.6	-43.7	-51.2	-60.6	-75.4	-81.9	-83.4	-82.2	-75.8	-62.2	-44.0	-40.1	-61.6	-38.4			
風速 (m/s)	850	11	10	8	9	6	9	10	10	9	8	12	8	9	16		
	800	11	9	6	8	7	9	9	8	8	7	10	8	8	14		
	700	9	8	6	8	7	9	9	7	8	8	8	7	8	10		
	600	10	8	6	9	8	9	11	9	10	9	9	8	9	11		
	500	10	11	9	10	227	28	259	277	295	333	8	9	123	12		
	400	64	304	273	12	12	12	15	15	277	12	11	239	104	32		
	350	60	301	14	13	14	12	16	17	17	13	12	242	61	23		
	300	12	14	15	14	16	12	17	18	19	14	12	15	15	15		
	250	8	12	14	13	15	10	18	18	20	14	12	14	14	12		
	200	6	10	11	11	14	11	17	17	18	13	11	12	13	9		
	175	6	9	11	11	13	12	17	18	18	13	11	11	13	9		
	150	5	8	11	12	14	14	18	19	19	14	13	12	13	9		
	125	5	8	11	13	15	17	20	21	21	15	14	14	14	8		
	100	4	8	11	14	17	19	23	23	22	17	17	15	16	8		
	70	3	6	12	17	20	24	27	27	26	21	23	15	18	6		
	50	4	5	12	20	26	29	31	31	32	25	28	15	21	5		
40	5	4	13	23	28	32	35	33	35	28	30	15	23	5			
30	6	4	14	25	33	36	39	37	39	32	33	15	26	5			

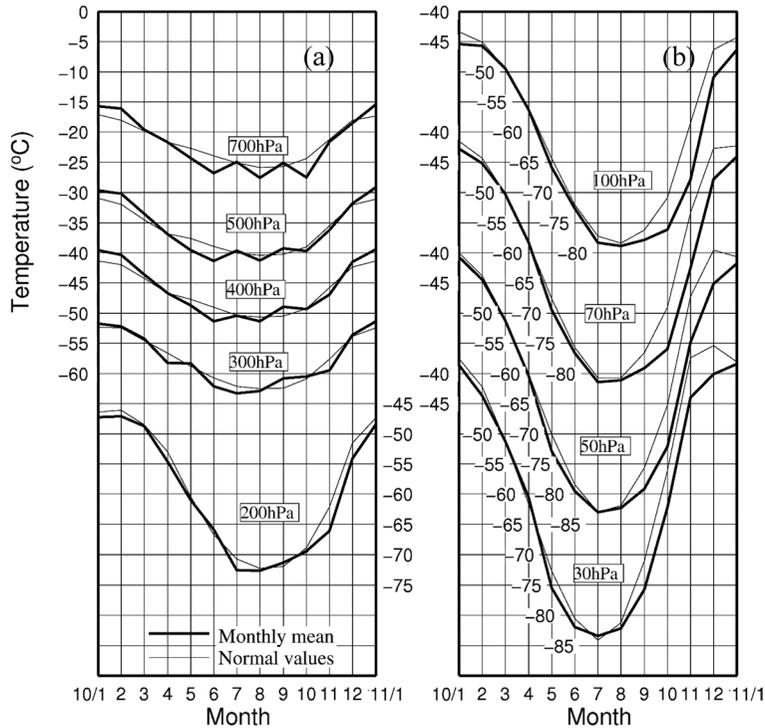


図 4 指定気圧面の月平均気温の年変化 (2010 年 1 月～2011 年 1 月) と月平均気温平年値 (1971-2000 年) の年変化 (00 UTC). (a) 700-200 hPa, (b) 100-30 hPa.

Fig. 4. Annual variations in monthly mean upper air temperature (Jan. 2010-Jan. 2011) and normal values (1971-2000) at Syowa Station at: (a) 700-200 hPa, and (b) 100-30 hPa.

は平年よりも気温が低かった.

2010 年 8 月から 2011 年 1 月にかけて 100 hPa 面よりも上空の指定気圧面で気温が平年値より低かった.

図 5 に, 2010 年 2 月から 2011 年 1 月までの 00 UTC における指定気圧面月平均気温及び風の東西・南北成分の各平均値, 平年値, 平年偏差の時間高度断面図を示す. 図 5 の上段右の平年偏差では, 11 月の 80 hPa の高度を中心に負偏差となっていた. この下部成層圏の低温の持続は, この時期の極渦が例年より強く安定し, オゾンホールが過去の同時期よりも大きく推移していたこと (4.4 節) と対応している. この極渦が例年より強い状況は高層風にも現れており, 図 5 の中段右の東西風の平年偏差では 11, 12 月に成層圏下部で強い正偏差になっている. これは, この時期に昭和基地が例年より強く安定した極渦の極側に位置していたことと対応している. また, 下段左 2010 年 11, 12 月の南北風についても平年と比べて南北への風が弱い. これも極渦の持続により南北成分の風が弱まったものと考えられる.

成層圏突然昇温は極夜明けの時期に観測されるが, 第 51 次隊では WMO への通報基準で

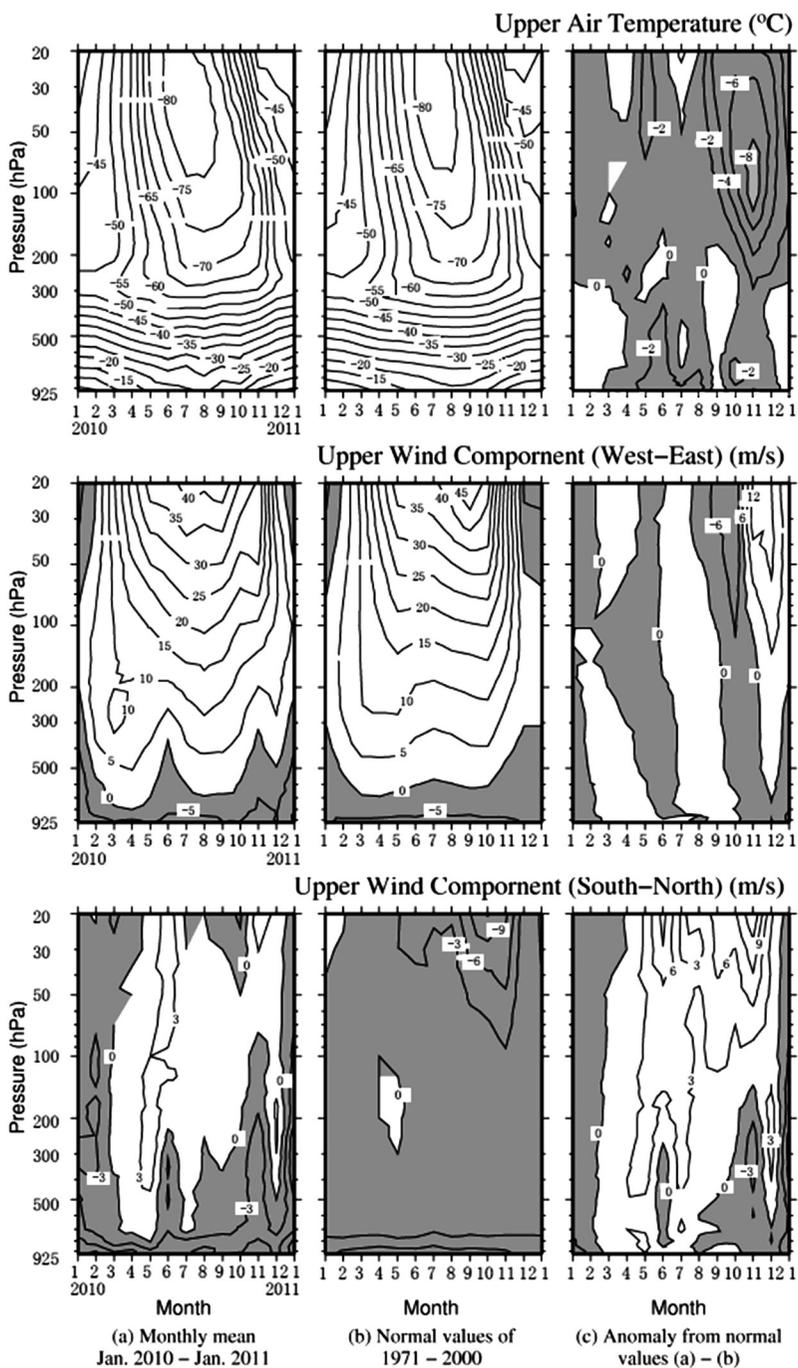


図 5 指定気圧面における気温と風の東西成分・南北成分の観測結果。(a) 月平均値, (b) 平年値 (1971–2000 年), (c) 平年値からの偏差, 上・中・下段はそれぞれ気温, 風の東西成分, 同南北成分。

Fig. 5. Annual variations in upper air temperature (°C) and upper wind components (m/s) (left), normal values (1971–2000) (middle), and anomalies (right).

ある最大昇温度 25℃/7 日以上の気温上昇は観測されなかった。

4. オゾン観測

4.1. 観測方法と測器

オゾン観測は、ドブソン分光光度計 (Beck119) を用いた全量・反転 (高度分布) 観測, KC-02G 型オゾンゾンデまたは RS-06G (E) 型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。

観測器材を表 10 に示す。

4.1.1. オゾン全量観測

オゾン観測指針 オゾン全量・反転観測編 (気象庁, 1991) に準じ, ドブソン分光光度計 (Beck119) を用いて, 太陽の直射光, 天頂散乱光及び月の直射光による観測を行った。測器の保護のため, 降雪や強風時を除いて観測を実施した。

太陽光による観測は北中時と午前・午後各 2 回の毎日 5 回実施を基本とし, 午前・午後の

表 10 昭和基地におけるオゾン観測器材

Table 10. Sensors used 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	構成	備考		
オゾン全量・反転観測	ドブソン分光光度計	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け, 測定に適切な 2 種の波長の光を取り出し強度比を測定する		
オゾンゾンデ観測	オゾンゾンデ	KC-02G	hPa	気圧	RS-01GM 型 GPS ゾンデと同等 (表 7 参照)		
			°C	気温			
			%	湿度			
		RS-06G (E)	mPa	オゾン計測部	ピストンポンプ (吸気および導気管: ポリエチレン製)		
					反応管 (アクリル樹脂製単管)		
					反応液 (ヨウ化カリウム・臭化カリウム水溶液)		
			電池	オゾン計測部: B96KC 型注水電池 GPS ゾンデ部: 単三リチウム電池 2 本			
			hPa	気圧	RS-01GM 型 GPS ゾンデと同等 (表 7 参照)		
						°C	気温
mPa	オゾン計測部	オゾンセンサポンプ テフロン製					
		反応液 アノード: ヨウ化カリウム・臭化カリウム水溶液 (ヨウ化カリウムを飽和させたもの)					
反応液 カソード: ヨウ化カリウム・臭化カリウム水溶液							
電池	オゾン計測部: 専用注水電池 (RS-06G: SPICAN 社) GPS ゾンデ部: 単三リチウム電池 2 本						
気球	2000 g 気球 ※標準浮力: 3200 g *連結の場合: 4300 g						
その他	オゾンゾンデ巻下器 (50 m)						
地上オゾン濃度観測	オゾン濃度計	EBARA EG3000F	0~200 ppbv	観測装置	紫外線吸収法, 最小感度 0.1 ppbv, 15 秒サンプリング		
	空気精製器	山陽電子工業 (株) DA-0.35LE		検定装置	原料ガス (空気) を乾燥後, 含まれるオゾンを分解, NO ₂ を除去し精製する		
	オゾン発生器	EBARA OZSD-06UV	0~1000 ppbv		UV ランプによる紫外線照射		

観測時刻は μ （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）により決定した。太陽高度が高くなる時期については、 $\mu=1.5, 2.5, 3.5$ 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、 $\mu=4.5, 5.5, 6.5$ の時刻に CD 波長組（C 波長組：平均波長 311.5 nm と 332.4 nm, D 波長組：平均波長 317.5 nm と 339.9 nm）を、それぞれ用いて観測を行った。太陽北中時の μ が 6.5 を上回る時期については、 $\mu \leq 7.0$ の範囲で CD 波長組の天頂散乱光観測のみ実施した。オゾン全量の測定限界となる μ の値は、測器によって異なるうえにオゾン全量やエアロゾル全量の多寡によっても変化するため、現地で数時間にわたり太陽直射光の連続観測を行うことで決定した。

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

また、2011 年 1 月 7 日及び 12 日に、第 52 次持ち込み測器（Beck122）との比較観測を実施した。

4.1.2. オゾン反転観測

オゾン観測指針 オゾン全量・反転観測編（気象庁，1991）に準じ、ドブソン分光光度計（Beck119）を用いて、天頂散乱光の ACD 波長組を連続して観測した。観測は、ロング反転観測では太陽天頂角が 60-90°、ショート反転観測では 80-89°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ときに成立する。観測結果の即時的な品質管理を行うため、反転観測中の天頂の雲を検出し、測定データを修正する天頂雲検出器（宮川・上野，2008）を測器に取り付けて第 50 次隊に引き続き運用した。

4.1.3. オゾンゾンデ観測

オゾンゾンデ観測指針 KC 型編（気象庁，2008）、ECC 型編（気象庁，2010）に基づき、KC-02G 型オゾンゾンデまたは RS-06G(E) 型オゾンゾンデを気球につり下げ、上空約 30 km までのオゾン分圧、気圧、気温及び風向・風速の高度分布を観測した。

観測は原則として風が弱い晴天の日を選び 7-10 日ごとに行い、オゾンホール時期（8-12 月）には飛揚間隔を短くして行った。

気象庁は、1960 年以來、気象研究所が開発した KC 型オゾンセンサによる観測を行っていたが、世界的に ECC 型オゾンセンサが実質的な世界標準となり、日本国内では地上設備の更新に合わせて ECC 型へ移行した（気象庁，2010）。

第 51 次隊では、日本国内のオゾンゾンデの KC 型（KI solution and Carbon electrode 型）オゾンセンサから ECC 型（Electrochemical Concentration Cell 型）オゾンセンサへの移行に伴い、昭和基地でも機材の準備が整った 2010 年 4 月から RS-06G(E) 型オゾンゾンデを用いた ECC 型 GPS オゾンゾンデ観測を開始した。ECC 型 GPS オゾンゾンデ観測のため高層気象観測装

置の改修を行い、新型（RS-06G(E)型）と旧型（KC-02G型）オゾンゾンデの同時比較観測が可能となった。

オゾンセンサ移行による観測値への影響が、オゾン分圧の鉛直分布が季節により大きく変化する昭和基地上空にて、日本国内での比較観測と大きく異なることを確認するため、オゾンゾンデ同時比較観測を行った。実施方法は1.5mの竹竿の両端にKC-02G型とRS-06G(E)型オゾンゾンデを固定して、同時に飛揚し、2台の高層気象観測装置にてデータ処理を行った。

4.1.4. 地上オゾン濃度観測

昭和基地では、1997年1月（第38次隊）より地上オゾン濃度の観測を行っており、これまで使用してきた観測装置の老朽化により、第51次隊にて観測装置の更新を2010年1月に行った。

観測装置は、昭和基地では初めて使用することとなる荏原実業製の観測装置（図6）を導入した。変更点は、濃度計並びにデータ収録プログラムの変更に伴う、サンプリング間隔の変更（12秒→15秒）、観測データ保存方法変更（MO→NAS）、自記記録計の排除である。

観測装置は、基地の中で主風向の風上側となる北東側に位置する清浄大気観測室に設置し、地上高4mの屋外大気取り入れ口からテフロン配管を通して毎分約10lの大気を室内に取り



図6 更新した地上オゾン濃度測定装置（荏原実業製）

Fig. 6. Replacement of surface ozone concentration observation equipment (EBARA JITSUGYO CO. LTD).

入れ、紫外線吸収方式のオゾン濃度計（荏原実業製 EG-3000F）に毎分 1.5 l の大気を導入し、地上付近における大気中のオゾン濃度の観測をサンプリング間隔 15 秒で連続観測した。

4.2. 観測経過

4.2.1. オゾン全量観測

第 50 次隊より測器を引き継いで観測を行った。長期にわたる測器障害もなく、おおむね順調に観測を行うことができた。

月別のオゾン全量観測日数と観測種別ごとの観測回数の内訳を表 11 に示す。同日に複数回の観測を行っているため、内訳の合計と観測日数は異なっている。4-8 月は太陽高度角が低いため観測可能日数が少ない。5-7 月は極夜期のため月光による観測のみを行った。

4.2.2. オゾン反転観測

測器の状況は 4.2.1 項に記述したとおりで、おおむね順調に観測を行った。

月別の反転観測日数と観測種別ごとの観測回数の内訳は表 11 のとおりである。極夜期とその前後の太陽高度角が低い（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 月中旬から 1 月上旬は、オゾンの高度分布を算出するのに必要なデータセットが得られないため観測を行わなかった。また、2010 年 12 月上旬、2011 年 1 月中旬から下旬は雲が多く、観測データが得られなかった。

4.2.3. オゾンゾンデ観測

第 51 次隊では、KC-02G 型オゾンゾンデ 24 台、RS-06G(E) 型オゾンゾンデ 53 台を持ち込み、合計 60 台、計 44 回のオゾンゾンデ観測を実施した。このうち 2 回は KC-02G 型オゾンゾンデ、25 回は RS-06G(E) 型オゾンゾンデ、16 回は KC-02G 型オゾンゾンデと RS-06G(E)

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・回数

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

年		2010											2011	合計
月		2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	1	
全量観測日数		21	27	26	8	4	5	16	27	24	24	31	31	244
回数 内訳	AD 直射光	44	68	12	0	0	0	4	46	40	68	98	54	434
	CD 直射光	39	67	40	0	0	0	22	75	38	64	96	51	492
	AD 天頂光	93	124	26	0	0	0	10	98	98	104	145	119	817
	CD 天頂光	86	124	86	0	0	0	34	119	93	103	136	120	901
	月光	0	11	29	121	141	92	52	45	0	0	0	0	491
反転観測日数		3	11	5	0	0	0	2	10	5	9	0	0	45
回数 内訳	ロング	4	7	0	0	0	0	0	5	6	6	0	0	28
	ショート	0	5	7	0	0	0	3	8	0	4	0	0	27

型オゾンゾンデの連結飛揚による観測を行った。また、気水圏部門と共同でエアロゾルゾンデとの連結飛揚による観測を1回行った。KC-02G型オゾンゾンデ8台は第52次隊に引き継ぎ、引き続き同時比較観測を行っている。

オゾンゾンデの飛揚状況を表12に示す。なお、極夜明けの7-8月初旬にかけて、月光によるオゾン全量観測が月齢や天気の状態を満たせずに実施できなかったことにより、オゾン全量値による補正係数(ドブソン比)が得られない観測は4回あった。また、8月の観測では、極夜明けの高層大気の高低温下でデータ異常や変調不良が生じたため、月統計値を求めることができなかった(後述の月平均オゾン高度分布図(図10)においては、8月の月平均値に代えて8月6日の値を参考値として掲載する)。

4.2.4. 地上オゾン濃度観測

2009年12月24日、第50次隊使用のオゾン濃度計(ダイレック製MODEL1100)2台(A456, A1111-1)と第51次隊持ち込みのオゾン濃度計(荏原実業製EG-3000F)2台(9020077, 9020075)の計4台について、オゾン発生器を使用した相互比較を行い、各オゾン濃度計の感度及び経時変化の確認を行った。

オゾン発生器を使用した相互比較を図7に示す。相互比較において、大きな差異がみられなかったことから、1月7日、大気取り入れ口を除くすべての機器、配管及びフィルタ等の交換作業を行い、新観測システムへの更新を実施後に、実際の大気を吸引しての相互比較観測を計4台にて1月31日まで行った。相互比較観測においても大きな出力差がなく、動作面でも問題無いことが確認できたため、9020077を正機とし、観測を開始した。

表 12 昭和基地におけるオゾンゾンデ観測状況

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

年月	2010年						年月	2010年						2011年		
	2月		3月		4月			5月		6月		7月		8月		1月
日 観測 終了 気圧 (hPa)	13	5.7	13	7.5 *2	7	30.5	4	12.1 *2	25	8.6 *2	8	175.1 *3				
	28	7.3	26	8.6 *2	15	51.9	12	15.8	30	9.8	25	8.8 *5				
					22	6.2 *2	25	89.7 *2			31	51.7 *4*5				
					29	4.7 *2	26	23.1			31	7.5 *5				
日 観測 終了 気圧 (hPa)	6	4.1 *5	3	6.9 *2*4	1	23.6	2	9.3 *2*4	8	6.6	7	8.8				
	11	4.9 *4	4	362.4 *4	6	5.3	8	10.5	14	5.2 *2	25	8.7 *4				
	18	657.7 *2*4	16	11.5 *2	11	10.7 *6	14	7.0 *2	28	13.7	31	4.7				
	21	9.4 *4	25	39.0 *2	14	7.2 *2	23	7.8								
	24	9.6 *2*4	28	8.5	25	6.7										
	26	5.4 *4														

- 注 *1: KC02G型オゾンゾンデが正規観測の月
 *2: KC02G, RS-06G (E) 型オゾンゾンデ同時飛揚による比較観測
 *3: 気球破裂、変調不良などにより最終高度が圏界面に達せず統計外。
 *4: ドブソン比(補正係数)が規定範囲外のため統計外。
 *5: 冬期間で月光によるオゾン全量観測ができなかったため、ドブソン比(補正係数)なし。
 *6: 気水圏エアロゾルゾンデとRS-06G (E) 型オゾンゾンデ 同時観測

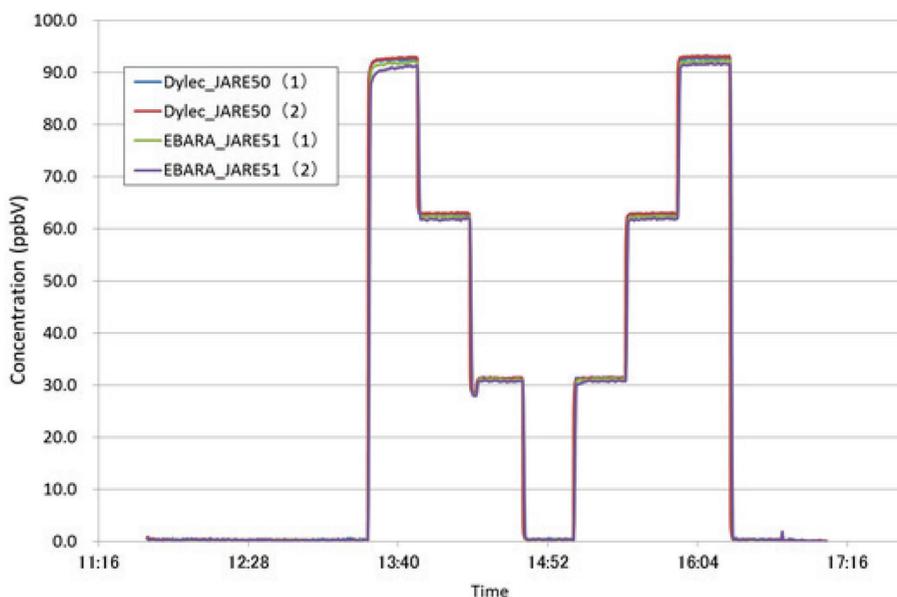


図 7 オゾン発生器を使用した相互比較観測結果

Fig. 7. Results of intercomparisons with the ozone generator.

7月、清浄大気観測室において9020077と副器9020075のオゾン発生器を使用した相互比較観測を行い、両濃度計において特に大きな問題等みられなかったことから、8月1日より9020075にて観測を開始した。

4.3. 観測結果

オゾン全量・反転観測とオゾンゾンデ観測結果は、電子メールで毎月気象庁へ報告した。これらの観測データは、気象庁からWMO世界オゾン紫外線データセンター(WOUDC)へ報告した。また、オゾンホール時期(8-12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。その結果は、WMO Antarctic Ozone Bulletinとしてまとめられ、世界の関係機関に配布された。また、オゾン全量データは、測器の測定限界を超える冬期を除き、国際気象通報式(CREX報)によりGTS回線を通じて毎日1回通報した。地上オゾンの観測結果も、同様にFTPサーバを介して毎月気象庁へ報告した。この観測データは定められた提出形式に則し、気象庁からWMO温室効果ガス世界資料センター(WDCGG)へ報告した。

4.3.1. オゾン全量観測

2010年1月から2011年1月のオゾン全量日代表値の年変化を図8に示す。昭和基地上空のオゾン全量は、9月中旬から12月上旬までオゾンホールの目安となる220 m atm-cmを下

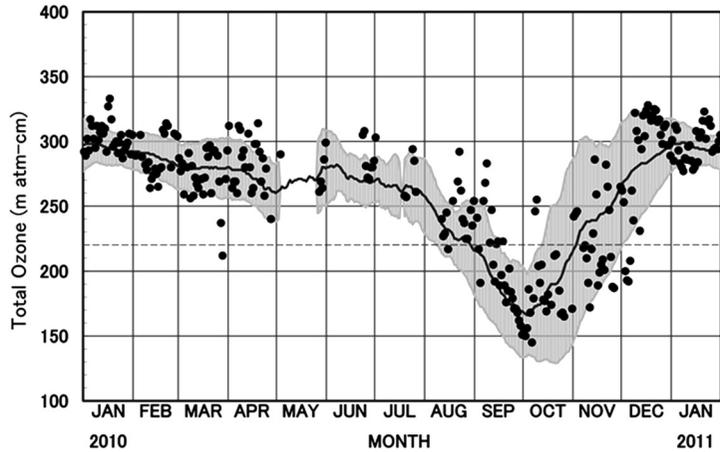


図 8 昭和基地におけるオゾン全量日代表値の年変化 (2010 年 1 月～2011 年 1 月). 実線と陰影部はそれぞれ参照値 (1994-2008 年) とその標準偏差 (σ) を, 破線はオゾンホールの目安である 220 m atm-cm の値を示す. 5 月と 7 月の一部期間は, 過去データの不足のため標準偏差がない.

Fig. 8. Annual variations in total ozone at Syowa Station (Jan. 2010-Jan. 2011). The mean and standard deviation ($\pm\sigma$) of the 1994-2008 data are shown by the black line and the light gray area, respectively. The dashed line shows a value of 220 m atm-cm.

回った. 10 月 6 日には 2010 年の最小値である 145 m atm-cm を記録した. 11 月以降は昭和基地がオゾンホールの外側に外れることが多くなり, オゾン全量が 220 m atm-cm を頻繁に上回るようになった. 12 月 7 日以降は 300 m atm-cm 程度で推移した.

昭和基地における月平均オゾン全量の経年変化を図 9 に示す. オゾンホールの時期にあたる 9-12 月のオゾン全量が 1980 年頃から長期的に減少しているのがわかる. なお, 9-11 月の経年変化グラフにおいて, 2002 年にオゾン全量が急増しているのは, 9 月に起きた成層圏突然昇温によりオゾン破壊が大規模には進まなかったことによる. 2010 年の昭和基地上空の月平均オゾン全量は, 参照値^{*4}と比較すると並みであった (気象庁, 2011).

4.3.2. オゾン反転観測

2010 年 1 月から 2011 年 1 月のオゾン反転観測 (ロング反転観測) による気層別オゾン量の高度分布を図 10 に示す. 2010 年 4-8 月及び 12 月, 2011 年 1 月はロング反転観測データが得られなかったため表示していない. 計算アルゴリズムは, Petropavlovskikh *et al.* (2005) の手法を用いている. また, データの品質管理のために, 準器との比較観測に基づく測器の特性評価から測定値を補正している (Miyagawa *et al.*, 2009).

9-10 月にかけては第 1・2・3・4・5 層 (surface~15.8 hPa) のオゾン量が少ない状態で推移したが, 11 月中旬にオゾン量が急増し, 下旬にかけて減少した. 第 9・10 層 (1.98 hPa 以下)

*4 オゾン層破壊が進み, オゾン全量が少ないレベルで推移している近年 (1994-2008 年) の累年平均値

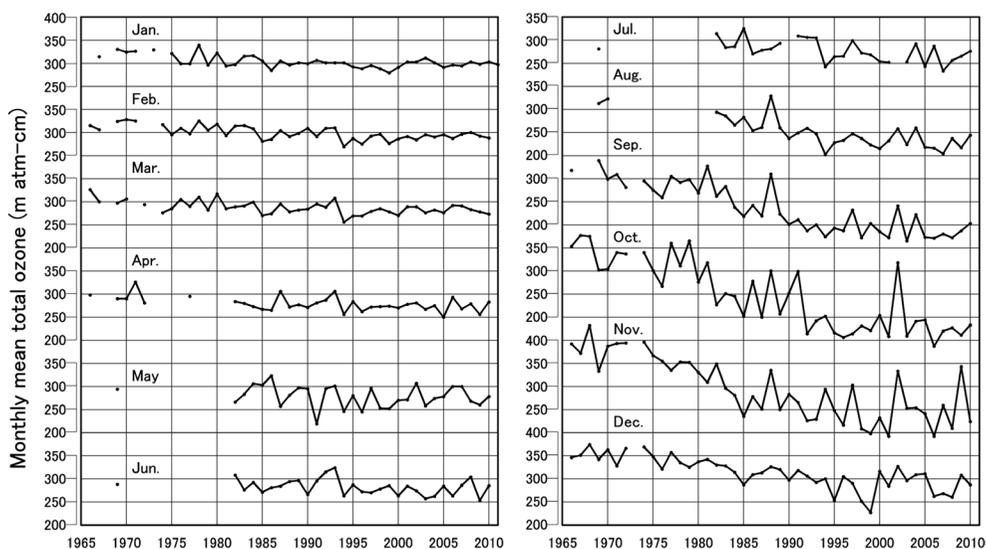


図 9 昭和基地における月平均オゾン全量の経年変化 (1966 年 2 月～2011 年 1 月)

Fig. 9. Time series of monthly mean total ozone at Syowa Station (Feb. 1966–Jan. 2011).

り上層) のオゾン量は 1-3 月にかけて増加し, 9-10 月にかけて減少する傾向であった。

4.3.3. オゾンゾンデ観測

オゾン分圧は通常, 高度 100-50hPa 付近で最大となる高度分布を示す。図 11 より, 1-8 月頃まではこの高度領域のオゾン分圧は 10 mPa 以上であったが, 9-10 月頃にかけては高度 100-30 hPa 付近で 2.5 mPa 未満の領域が広がり, この高度領域でオゾンがほぼ破壊された状態であったことがわかる。

一方, 30 hPa より上層の領域では, 11 月頃からオゾンが増加し始め, その後はオゾンの多い層が下層に向かって広がる形で昭和基地上空のオゾンホールは解消した。

12 月のオゾン分圧は 50 hPa 以上で平年よりオゾン分圧が低くなっている。これはこの時期の極渦が平年よりも強かったためオゾンホールが維持されたことに対応している。

4.3.3.1. オゾンゾンデ同時比較観測

2010 年 3 月から 2012 年 1 月にかけて, 昭和基地において, KC 型と ECC 型との連結飛揚による比較観測を 24 回実施した。比較観測の状況を表 13 に示す。KC 型のオゾン分圧はドブソン比によって補正しているが, 2010 年 4 月 29 日, 5 月 4 日, 5 月 25 日は天候不良によりオゾン全量観測を行っていないためドブソン比を 1.000 としてデータを算出している。また, 2010 年 8 月 18 日, 8 月 24 日, 9 月 3 日, 10 月 14 日, 11 月 2 日, 2011 年 7 月 1 日の 6 観測は KC 型, もしくは ECC 型オゾンゾンデの観測データに問題があるため比較対象から除外した。18 観測について指定気圧面ごとのオゾン分圧を比較した結果を図 12, 図 13 に示

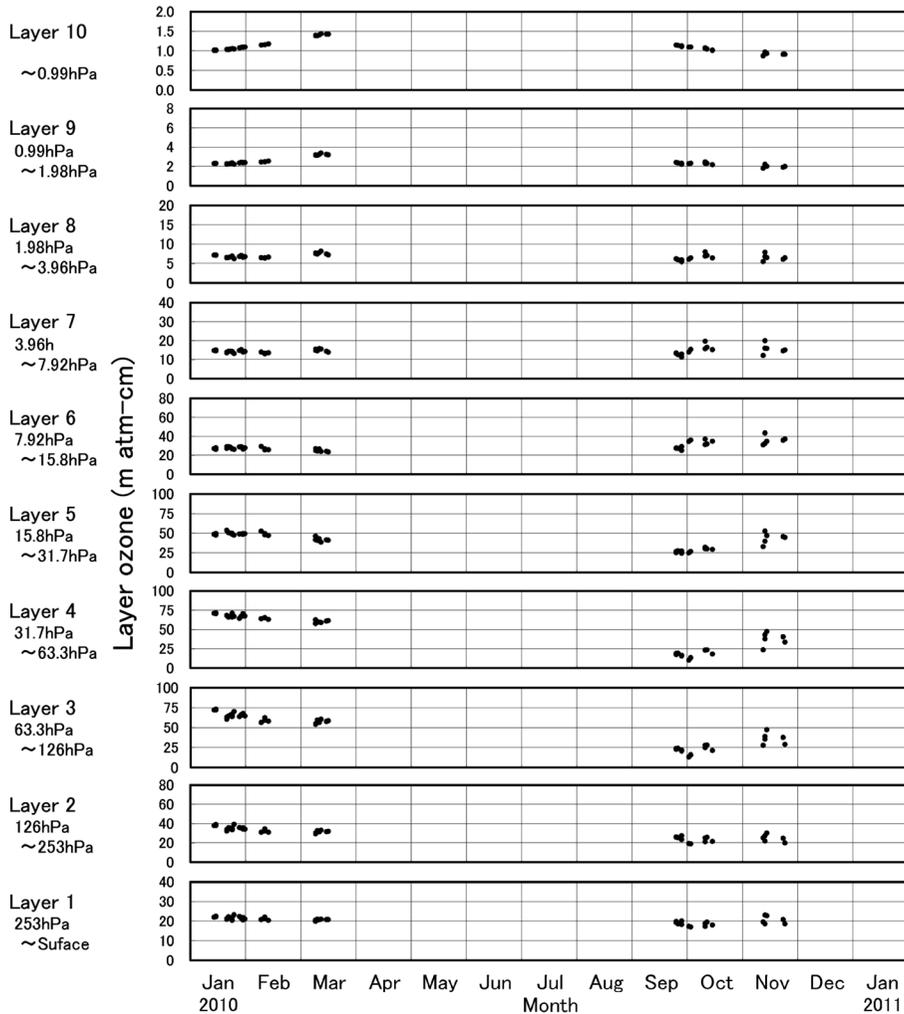


図 10 昭和基地における反転観測による気層別オゾン量 (2010 年 1 月～2011 年 1 月)
 Fig. 10. Amount of ozone in selected layers obtained by Umkehr observations at Syowa Station (Jan. 2010–Jan. 2011).

す。すべての比較結果について、KC 型と ECC 型のオゾン分圧の変化傾向はよく一致しており、偏差、比偏差 $((KC \text{ 型} - ECC \text{ 型}) / ECC \text{ 型})$ は高度によって差の変動はあるものの、日本国内における比較観測 (中村ほか, 2008) と同様に偏差平均は $\pm 2.0 \text{ mPa}$ 以内、比偏差平均はおおむね $\pm 20\%$ 以内であった。

4.3.4. 地上オゾン濃度観測

1997 年 1 月から 2011 年 1 月までの地上オゾン濃度日別値を図 14、2010 年 1 月から 2011 年 1 月までを図 15 に示す。

図 15 で見ると昭和基地における地上オゾン濃度は、夏季に濃度が低く、冬季に高くなる

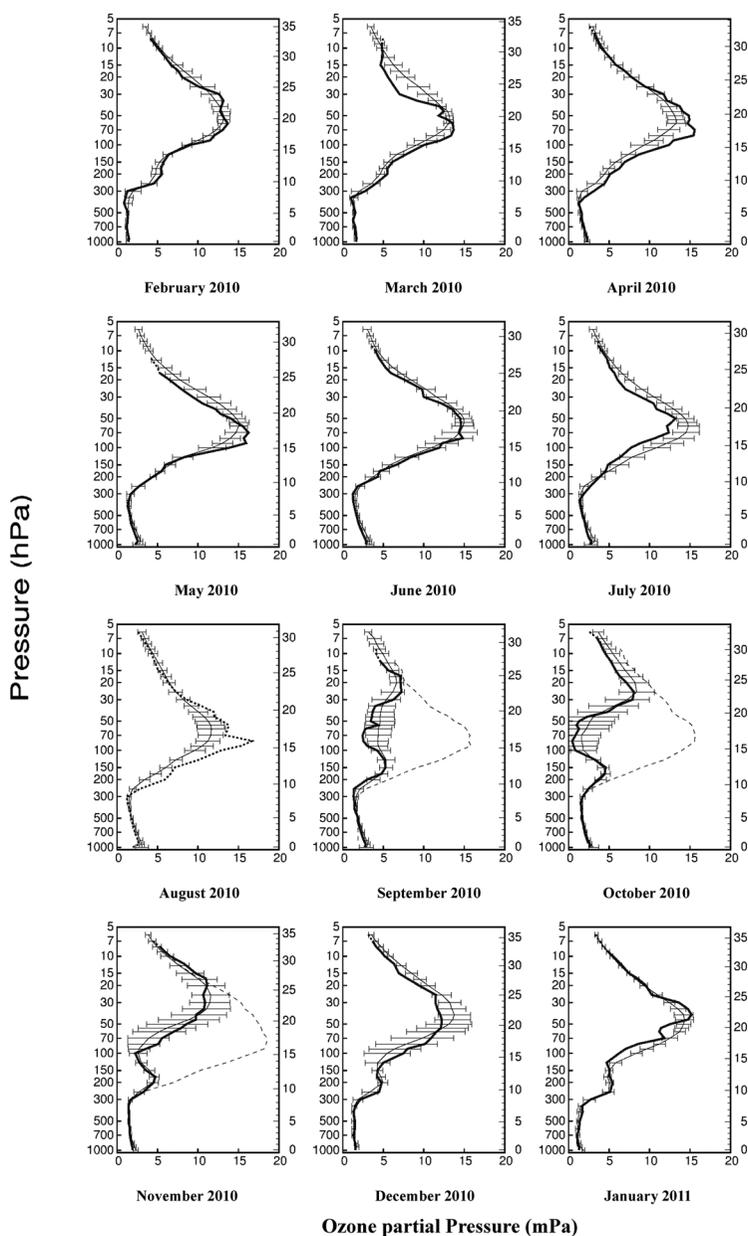


図 11 昭和基地におけるオゾン分圧の高度分布 (2010 年 2 月～2011 年 1 月)。太実線は月平均オゾン高度分布。細実線は 1994–2008 年の累年平均オゾン高度分布。点線は参考値オゾン高度分布。破線はオゾンホールが明瞭に現れる以前の月平均値 (1968–1980 年平均値)【9–11 月のみ】。横細実線は 1994–2008 年累年平均オゾン高度分布の標準偏差。

Fig. 11. Vertical distribution of monthly mean ozone partial pressure from ozonesonde observations at Syowa Station (Feb. 2010–Jan. 2011). Thick lines show monthly mean profiles, and thin lines show normal profiles (1994–2008), and dashed line shows the normal profile (1968–1980). The side thick lines show standard deviations of monthly profiles (1994–2008).

表 13 オゾンゾンデ同時比較観測状況

Table 13. Dates of observations and attained heights of simultaneous comparative ozonesonde.

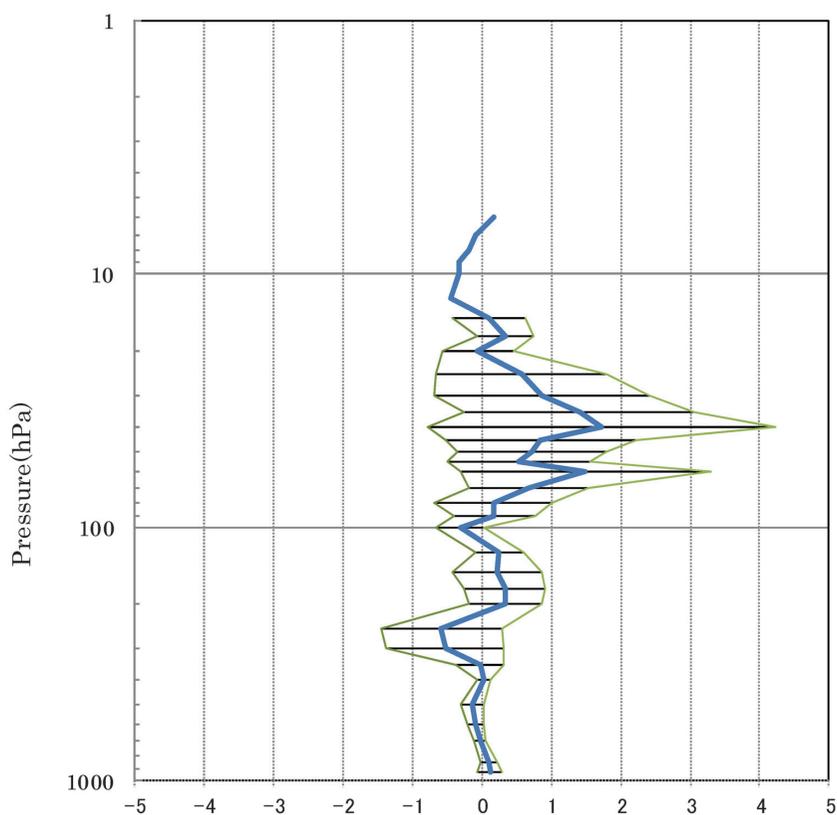
			ECC		KC	
年	月	日	判定	観測終了 気圧 (hPa)	判定	観測終了 気圧 (hPa)
2010	3	13	OK	7.5	OK	7.5
	3	26	OK	8.7	OK	9.0
	4	22	OK	6.2	OK	6.5
	4	29	OK	4.9	OK	8.4
	5	4	OK	12.1	OK	7.6
	5	25	OK	89.7	OK	9.0
	6	25	OK	8.6	OK	28.0
	8	18	NG*1	665.5	OK	8.1
	8	24	NG*2	9.6	OK	10.0
	9	3	NG*2	6.9	OK	7.2
	9	16	OK	11.5	OK	12.0
	9	25	OK	39.0	OK	9.1
	10	14	OK	7.2	NG*2	7.5
	11	2	NG*2	9.3	OK	9.8
	11	14	OK	7.0	OK	7.4
12	14	OK	5.2	OK	5.4	
2011	2	4	OK	6.6	OK	14.9
	6	17	OK	14.9	OK	20.7
	7	1	OK	90.2	NG*1	185.3
	7	17	OK	7.0	OK	10.7
	8	25	OK	19.3	OK	20.2
	10	30	OK	8.2	OK	12.0
	12	28	OK	11.7	OK	12.3
2012	1	11	OK	8.6	OK	17.1

注) *1: 圏界面までデータ取得できていないため不採用

*2: 地上や衛星の全量値と比較してズレが大きいため不採用

という季節変化を示し、極夜明けから春季にかけてデータのばらつきが大きい傾向が示された。1997-2011年までの昭和基地における地上オゾン濃度の長期変化は明瞭ではなく、有意な変化が検出されるかを確認するためには、今後とも観測データの蓄積を続ける必要がある。

南極・北極の高緯度地域では、極夜明けの春季に大気中の海塩粒子や、積雪・海氷中の海塩成分から放出された海塩起源の物質の影響で、地上付近のオゾンが分解されてその濃度が



The comparative deviation of ozone partial pressure(mPa)
(KC) -(ECC)

図 12 オゾン分圧比較偏差 (KC 型-ECC 型) の高度分布 (2010 年 3 月~2012 年 1 月).
太実線: 偏差平均, 横細実線: 偏差最大・最小値

Fig. 12. Vertical distribution of the difference in ozone partial pressure between KC-type and ECC-type (Mar. 2010-Jan. 2012). Thick line shows the mean of the ozone partial pressure difference: side thin lines show maxima and minima of the ozone partial pressure difference.

急減 (SOD: Surface ozone depletion) し, ときにはゼロに近くなる現象があることが知られている (青木, 1997; 江崎ほか, 2000, 2010). 第 51 次隊の観測期間において 8 月 20 日から 21 日に地上オゾン濃度の急減現象が発生した (図 16).

4.4. 2010 年のオゾンホールの特徴

米国航空宇宙局 (NASA) のオーラ衛星のオゾン監視装置 (OMI) データを基に作成した 2010 年 8-12 月の旬別オゾン全量の南半球分布図を図 17 に示す. 陰影部は極夜のため観測できない領域である.

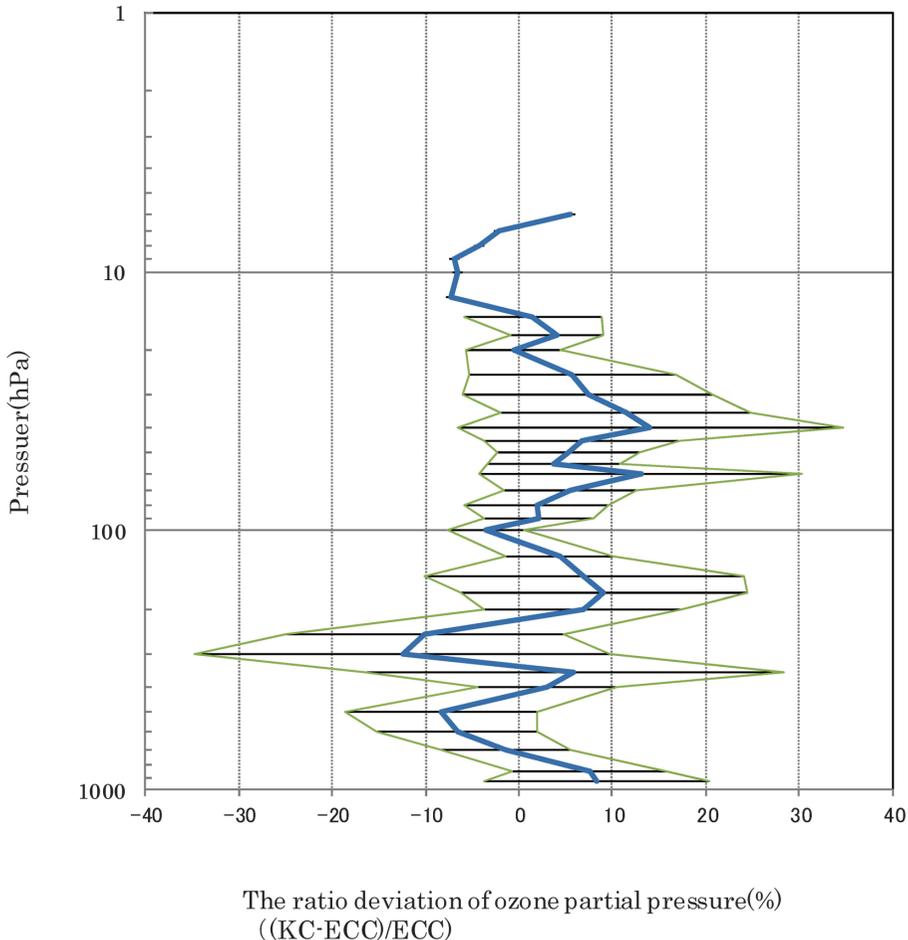


図 13 オゾン分圧比較比偏差 (KC 型-ECC 型)/ECC 型の高度分布 (2010 年 3 月~2012 年 1 月).
太実線: 比偏差平均, 横細実線: 比偏差最大・最小値

Fig. 13. Vertical distribution of the relative difference between values obtained using KC-type and ECC-type sensors ((KC-type-ECC-type)/ECC-type) of ozone partial pressure (Mar. 2010-Jan. 2012). Thick lines show the ratio of the mean deviation of ozone partial pressure; side thin lines ratio show maxima and minima of the ozone partial pressure.

2010 年のオゾンホールは 8 月に発生した。しかし、例年よりも拡大が遅く、9 月中旬までは過去 10 年間の最小規模で推移した。9 月 25 日にはオゾンホール面積はピークを迎え、2010 年の最大の面積である 2190 万 km² を記録した。これは、大規模なオゾンホールが連続して発生するようになった 1990 年以降で 3 番目に小さかった。また、オゾン欠損量は 9 月 29 日に年最大となる 7160 万 t となり、1990 年以降では 4 番目に小さかった。この理由として、オゾン破壊の促進に関係する南極域上空の低温域 (-78℃ 以下) の面積が、7 月中旬から 8 月中旬にかけて過去の平均より小さくなったため、この時期とその後の南極域上空でのオゾ

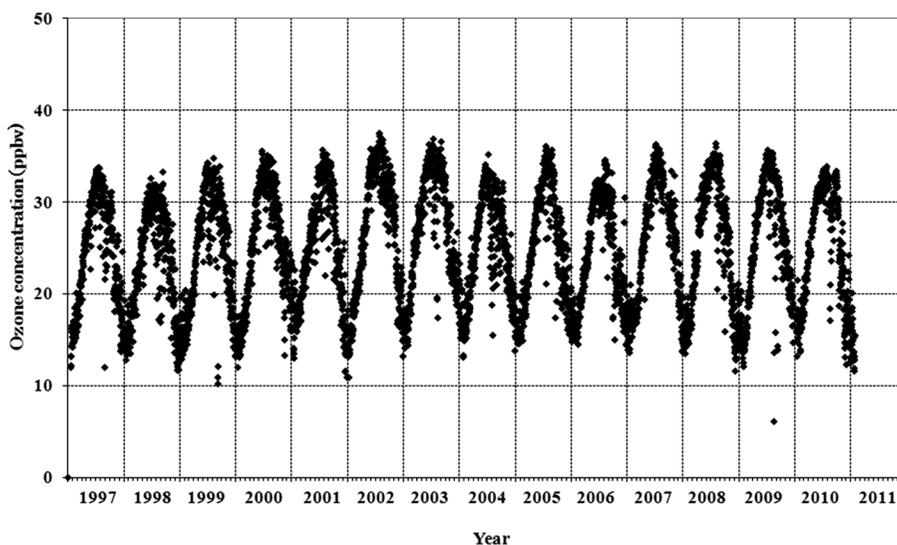


図 14 昭和基地における地上オゾン濃度日別値 (1997 年 1 月～2011 年 1 月)

Fig. 14. Daily mean surface ozone concentration observed at Syowa Station (Jan. 1997–Jan. 2011).

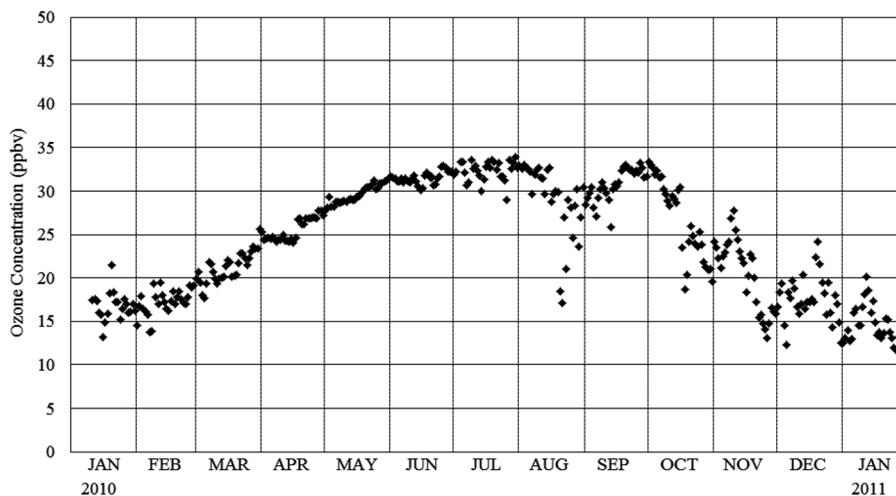


図 15 昭和基地における地上オゾン濃度日別値 (2010 年 1 月～2011 年 1 月)

Fig. 15. Daily mean surface ozone concentration observed at Syowa Station (Jan. 2010–Jan. 2011).

ン層の破壊が少なかったと考えられる。一方、11月から12月中旬までは、オゾンホール
の規模は過去の同時期よりも大きく推移した。これは、南極域上空の成層圏の気温が過去の平
均より低く、南極上空の極渦は例年より強い状態で維持されたことから、オゾンホール周囲
のオゾン濃度の高い空気塊との混合が例年に比べ不活発であったためと考えられる。その後、

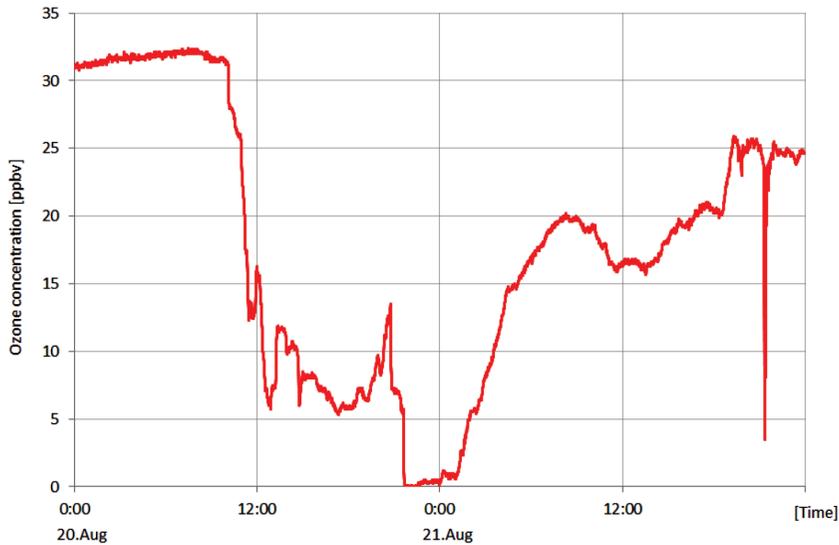


図 16 昭和基地における地上オゾン濃度急減現象 (2010 年 8 月 20-21 日)

Fig. 16. Surface ozone depletion events at Syowa Station (20-21 Aug. 2010).

オゾンホールは急激に縮小し、12月22日に消滅した(気象庁, 2011)。

5. 地上日射・放射観測

5.1. 観測方法と測器

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に、第39次隊(1998年)で毎秒サンプリングの上向き反射放射観測を開始し、第40次隊(1999年)では下向き日射放射観測のデータサンプリングも毎秒に変更した。第51次隊ではこれらの観測システムにより第50次隊から引き続き観測を行った。

波長別紫外域日射観測はプリューワー分光光度計MKⅢを用いて行った。第51次隊では、第47次隊持ち込みのMKⅢ(168号機)を、第50次隊に引き続き使用した。

観測の種類と使用した測器を表14に示す。

5.1.1. 下向き日射放射観測

観測項目及び特記事項は以下のとおりである。データは1秒ごとにデータロガーで収集した後に品質管理を行い、異常データについては欠測処理を行った。観測場所は気象棟前室屋上及びその北側に棟続きで隣接する観測デッキ上である(図1①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

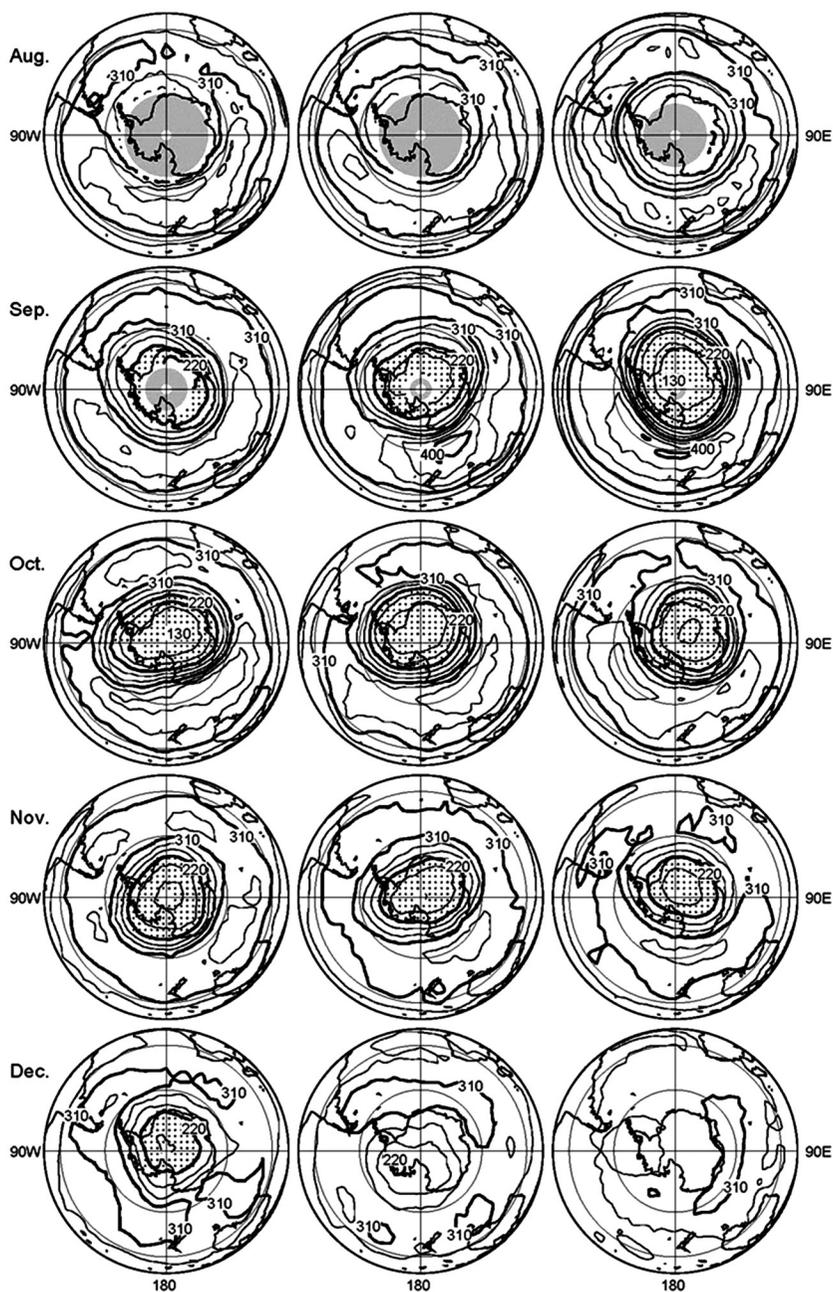


図 17 OMI による旬別オゾン全量の南半球分布図 (2010 年 8-12 月). 各月 左: 上旬, 中: 中旬, 右: 下旬. 等値線間隔は 30 m atm-cm. NASA 提供の OMI データを基に作成. 点域は 220 m atm-cm 以下の領域を示す. 陰影部は極夜のため観測できない領域.

Fig. 17. Distribution of 10-day mean total ozone in the Southern Hemisphere based on OMI/NASA data. Contour interval is 30 m atm-cm (Aug. 2010-Dec. 2010). (left): beginning, (middle): middle, (right): end.

表 14 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 14. Instruments used for surface radiation observations at Syowa Station.

観測項目	使用測器	感部型式	測定範囲	測器番号	観測 最小単位	サンプリング 間隔	
下向き 日射 放射	全天日射量	精密全天日射計	KIPP&ZONEN CM21T	305~2800 nm	970397 041258	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	10276 60445 90043	0.01 kW/m ²	1 秒
	散乱日射量	精密全天日射計 太陽追尾装置 遮蔽ポール	KIPP&ZONEN CM21T	305~2800 nm	980520	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	30619	0.01 kJ/m ²	1 秒
	長波長放射量	精密赤外放射計 遮蔽ポール	KIPP&ZONEN CG4	4.5~42 μm	30642 50635	0.01 MJ/m ²	1 秒
上向き 反射 放射	反射日射量	精密全天日射計 遮蔽リング	KIPP&ZONEN CM21T	305~2800 nm	990574	0.01 MJ/m ²	1 秒
	B 領域 反射紫外線量	紫外域日射計 遮蔽リング	KIPP&ZONEN UVS-AB-T	280~315 nm	40625 50635	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	0.01 MJ/m ²	1 秒
その他	放射収支量	放射収支計	KIPP&ZONEN CNR1	305~2800 nm 5~50 μm	20444	0.01 MJ/m ²	1 秒
	大気混濁度	サンフォトメータ 太陽追尾装置	EKO MS-110	368 500 675 778 862 nm	S98154.01		10 秒
	波長別 紫外域日射量	ブリュワー 分光光度計	SCI-TEC BREWER MK III SCI-TEC BREWER MK II	290~325 nm	#168 #091	1 μW/m ²	1 時間

- (c) 精密全天日射計を用いた散乱日射量の連続観測
- (d) 全天型紫外域日射計を用いた B 領域紫外線量の連続観測
- (e) 精密赤外放射計を用いた長波長放射量の連続観測

5.1.2. 上向き反射放射観測

観測場所は観測棟下の海水上であり、第 46 次隊により設置された観測架台を第 51 次隊でも引き続き使用した(図 1 ⑤の位置)。データは下向き日射放射同様、1 秒ごとにデータロガーで収集した後に処理した。

- (a) 精密全天日射計を用いた反射日射量の連続観測
- (b) 全天型紫外域日射計を用いた B 領域紫外線反射量の連続観測
- (c) 精密赤外放射計を用いた長波長放射量の連続観測
- (d) 放射収支計を用いた放射収支の連続観測

5.1.3. 波長別紫外域日射観測

紫外域日射観測指針(気象庁, 1993)に準じ, MK III (168 号機)を用いて, 286.5~363.0 nm

(UV-B 領域と、UV-A 領域の一部の波長域) で 0.5 nm 刻みの波長別紫外域日射量の観測を毎正時(現地時間 24 時を除く)に行った。測器の設置場所は、第 50 次隊と同様、観測場所は気象棟前室屋上である(図 1 ①の位置)。

5.1.4. 大気混濁度観測

オゾン全量観測時刻付近で太陽面に雲がないときを選び、自動観測型サンフォトメーターで観測した波長別直達光強度(368, 500, 675, 778, 862 nm の 5 波長)から、波長別のエアロゾルの光学的厚さ(Aerosol Optical Depth, 以下「AOD」)を求めた。また、前述の 5 波長の AOD より、オングストロームの波長指数(Ångstrom α)及び混濁係数(Ångstrom β)を求めた。

5.2. 観測経過

5.2.1. 下向き日射放射観測及び上向き反射放射観測

大気混濁度観測装置(PMOD 製 Precision Filter Radiometer, 以下「PFR」)の更新に伴い、あわせて下向き放射観測用データロガー収納箱も更新を行った。現在の向上放射観測用データロガー収納箱の老朽化がひどいことから、旧下向き放射観測用データロガー収納箱を上向き放射観測用として移設することとなり、越冬期間中、機械隊員協力のもと、気象棟前室屋上よりクレーンでの降下作業、錆止め、再塗装まで完了させたが、夏時期の悪天候により、移設はかなわず、第 52 次隊へ引き継ぐこととなった。

12 月 3 日より、下向き放射観測用の精密全天日射計及び精密赤外放射計について、予備器との並行観測を開始し、12 月 30 日に予備器と交換した。

12 月 30 日、直達日射計(CH1)を第 52 次隊持ち込みの直達日射計(CHP1)と交換した。

2 月 26 日から 1 月 23 日まで、上向き用の全天型紫外域日射計について予備器との並行観測を実施し、同日、予備器と交換した。信号ケーブル(50 m)は降雪により埋没しているため、交換が困難と判断し、やむなく、現用の信号ケーブル(50 m)をそのまま使用することとした。

全天型紫外域日射計については、2 カ月ごとに外部標準ランプ点検装置(伊藤・高野, 2006)を用いて測器感度点検を行った。また全天型紫外域日射計は、測定波長に依存した測器感度の経年変化が指摘されている(伊藤, 2005; 柴田ほか, 2000)ことから、データの補正にあたっては、ブリューワー分光光度計による UV-B 量観測値との比較により、測器定数の補正値を月ごとに求める方法をとった(柴田ほか, 2000)。

5.2.2. 波長別紫外域日射観測

2010 年 2 月 1 日に第 50 次隊から観測を引き継ぎ、ブリューワー分光光度計 MKⅢ(168 号機)による観測を継続した。

5 月 15 日、強風により入射した太陽光を分光する回折格子の動作に必要なブッシュロツ

ドが落下したため、22日にかけて欠測となったほかは越冬期間を通じおおむね順調に観測を行った。測器の光学系全体の波長感度を監視するための外部標準ランプ点検は、10日に1回程度行った。なお、ブリザード等の強風時には測器保護のために、受光部に保護具を取り付けたうえで観測を中断した。

また、2010年10月24日から12月31日にかけて、予備機としているブリューワー分光光度計 MK II (091号機) と MK III (168号機) との並行観測を行った。

5.2.3. 大気混濁度観測

第51次隊では、大気混濁度観測装置を2009年12月23日に PMOD 製 PFR に更新した。PFR と現用器との並行観測を行ったが、PFR が厳冬の低温による障害のため、MS-110にて通年観測を行った。

2010年12月28日から第52次隊持ち込みの PFR と並行観測を行った。

5.3. 観測結果

5.3.1. 下向き日射放射観測

下向き日射放射量日積算値の年変化を図18に示す。

2010年の下向き日射放射観測は、各観測項目とも例年とほぼ同様な年変化であった。短波放射量は太陽高度とともに減少し、太陽が昇らない冬季には 0 MJ/m^2 となっているが、長波放射量については、冬季においてもおおむね 10 MJ/m^2 以上の放射量が観測されている。これは大気分子や雲からの放射によるものである。

5.3.2. 上向き反射放射観測

上向き反射放射量日積算値の年変化を図19に示す。

2010年の上向き反射放射観測は、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6-7割程度であるが、太陽高度が低くなるほど増加し、極夜前後の時期では9割以上に達した。上向き長波放射量は下向き長波放射と比較して日ごとのばらつきが小さい傾向にあり、これは上向き反射放射の観測場所が通年積雪に覆われていたためと考える。上向き長波放射量は冬季にばらつきが大きい傾向にあり、冬季には長波放射量が卓越し、地表面温度の変化が長波放射量の変化となり日積算値のばらつきが大きくなったと考える。

5.3.3. 波長別紫外域日射観測

波長 5 nm ごとに積算したブリューワー分光光度計による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。

波長別紫外域日射量の日積算値は、10-12月上旬にかけて、太陽高度角の上昇、全天日射量の増加との対応以上に、オゾン全量の変動の影響を大きく受けて変動している。オゾン全量の変動による影響は短波長側で大きい。12月上旬になると、太陽高度角が高くなり、日

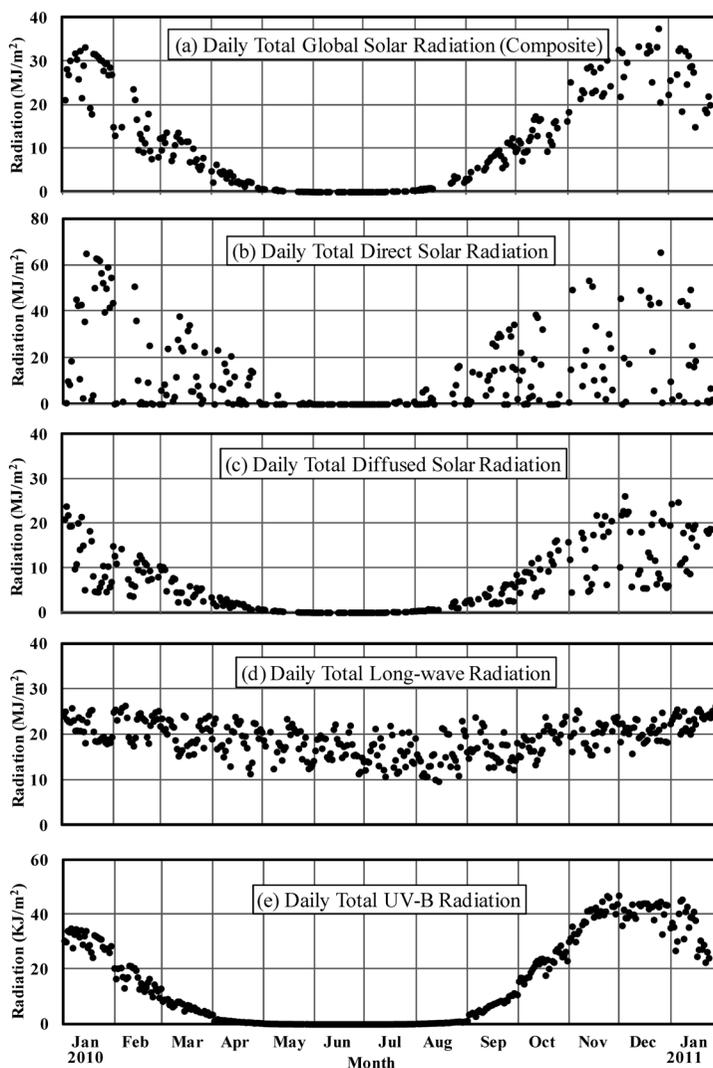


図 18 下向き日射放射量の年変化 (2010 年 1 月～2011 年 1 月). (a) 全日射量, (b) 直達日射量, (c) 散乱日射量, (d) 長波放射量, (e) B 領域紫外線量.

Fig. 18. Annual variations in downward radiation components (Jan. 2010–Jan. 2011). (a) Daily total global solar radiation (composite), (b) Daily total direct solar radiation, (c) Daily total diffused solar radiation, (d) Daily total long-wave radiation, (e) Daily total UV-B radiation.

照時間も長くなるが、昭和基地上空はオゾンホールから抜け、オゾン全量が増加したことに伴って、短波長側の日積算値が減少傾向に転じた。逆に、長波長側ではオゾン全量の変動の影響が小さいために、年間最大値の起日は短波長側に比べ太陽高度角が高く日照時間が長い夏至 (2010 年 12 月 22 日) に近くなる傾向がある。2010 年は、290–305 nm で 12 月 5 日、

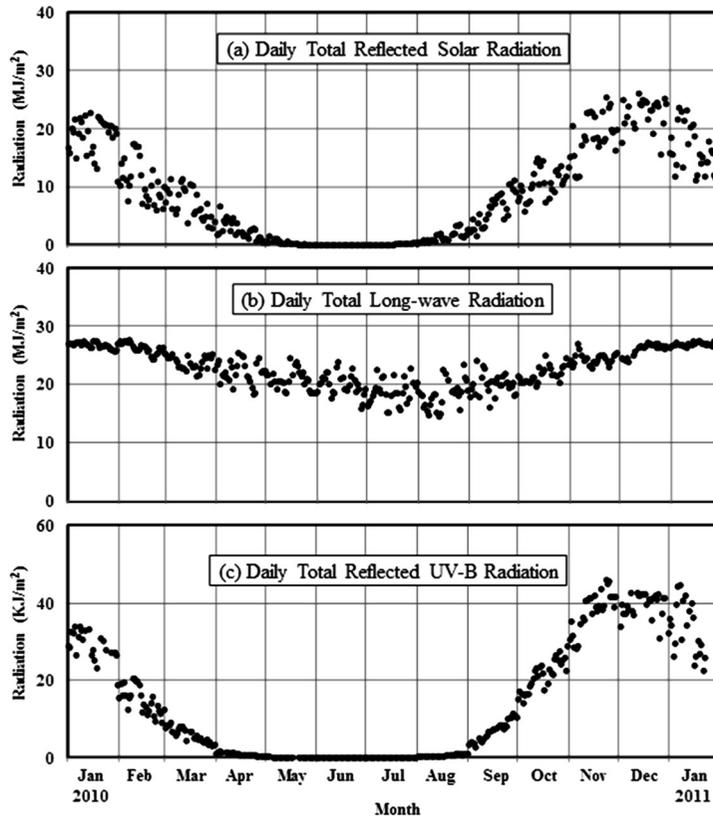


図 19 上向き反射放射量の年変化 (2010 年 1 月～2011 年 1 月). (a) 反射日射量, (b) 長波長放射量, (c) B 領域紫外線放射量.

Fig. 19. Annual variations in surface upward radiation components (Jan. 2010–Jan. 2011). (a) Daily total reflected solar radiation, (b) Daily total upward long-wave radiation, (c) Daily total reflected UV-B radiation.

305–310 nm で 12 月 4 日, 310–315 nm で 12 月 3 日, 315–325 nm では 12 月 12 日に日積算値の年間最大値を記録した.

昭和基地における 2010 年 1 月から 2011 年 1 月の日最大 UV インデックスの年変化を図 21 に示す. 紫外線の人体への影響度は, 特に UV-B 領域の短波長側で強いという特徴がある. したがって, 人体への影響という観点から紫外線の強度を論じる際には, 波長ごとに紫外線強度と皮膚に対する相対影響度 (McKinley and Diffey, 1987) をかけたうえで波長積分して算出される红斑紫外線量 (CIE 量) や, 红斑紫外線量を 25 mWm^{-2} で割った UV インデックスが用いられることが多い. UV インデックスの算出にあたっては, 観測を行っていない波長帯を含むため, 325–400 nm の波長域による寄与分については, 324 nm の観測値をもとに推定した値を用いた (気象庁, 2011). 2010 年の最大 UV インデックスは 12 月 5 日に 10.8 を

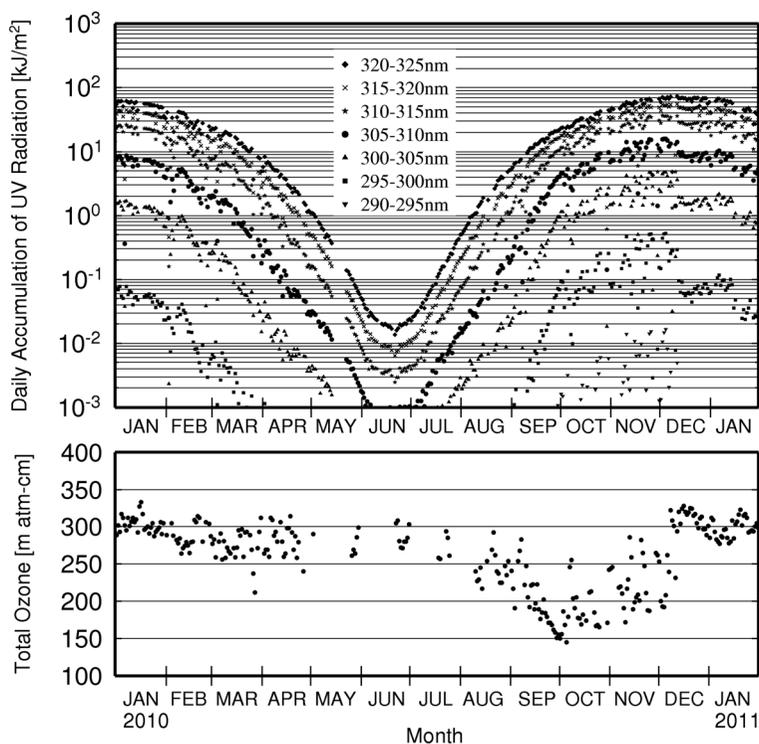


図 20 昭和基地における波長帯別紫外域日射量の日積算値（上図）とオゾン全量（下図）の年変化（2010 年 1 月～2011 年 1 月）

Fig. 20. Daily accumulated ultraviolet radiation integrated for each wavelength band (above) and total ozone amount (below) at Syowa Station (Jan. 2010–Jan. 2011).

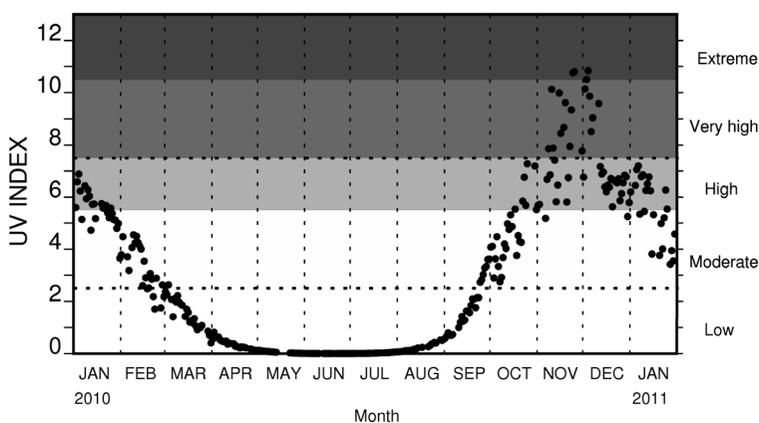


図 21 昭和基地における日最大 UV インデックスの年変化（2010 年 1 月～2011 年 1 月）

Fig. 21. Annual variation in the daily maximum UV index at Syowa Station (Jan. 2010–Jan. 2011).

記録した。これは、WHO (2002) によると、「日中の外出を避け、長袖のシャツ、日焼け止め帽の使用が必要となる」という非常に強いレベルに相当する。

5.3.4. 大気混濁度観測

大気混濁度は、直達日射計及びサンフォトメーターの観測により求められる。直達日射計で求められる大気混濁度は全波長域 (300–2800 nm) での混濁度を示すのに対し、サンフォトメーターでは波長別 (368, 500, 675, 778, 862 nm の 5 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 (AOD) を求めることができる。また、5 波長 (368–862 nm) の AOD からは、オングストロームの波長指数 (\AA ngstrom α) 及び混濁係数 (\AA ngstrom β) が求められる。

なお、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 次隊と同様に 0.00864 を用いた (東島ほか, 2003)。

サンフォトメーターによる 5 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 (\AA ngstrom α) と混濁係数 (\AA ngstrom β) の季節変化を図 22 に示す。オングストロームの波長指数 (\AA ngstrom α) が春から夏にかけて増加し、秋にかけて減少している。このことは、夏と比べて秋から冬には相対的に大きいエアロゾル粒子の割合が多いことを示し、2010 年も平年並みの季節変化であった。

ホイスナー・デュボアの混濁係数の季節変化を図 23 に示す。直達日射量から求めたホイスナー・デュボアの混濁係数は、大気中の水蒸気の影響を受ける波長を含むため、春から夏にかけて次第に大きくなり、夏から秋にかけて小さくなる傾向がある。2010 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のホームページから取得した各種天気図及び予想図、気象衛星による雲写真、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を参考にして、低気圧や前線の移動を把握して天気解析を行い、気象観測を行う際に利活用するとともに、隊の野外オペレーション等を支援するために気象情報を提供した。

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 50 次隊に引き続き気象庁全球予報モデル格子点資料及び気象庁全球波浪モデル格子点資料 (ともに 00 UTC, 12 UTC 初期値) に基づく各種天気図及び予想図を気象庁データサーバより FTP で取得し、解析に用いた。

(2) 各国数値予報センター等作成の天気図及び予想図、衛星画像

インターネットにて各国数値予報センター等がホームページで公開する解析値及び予報値

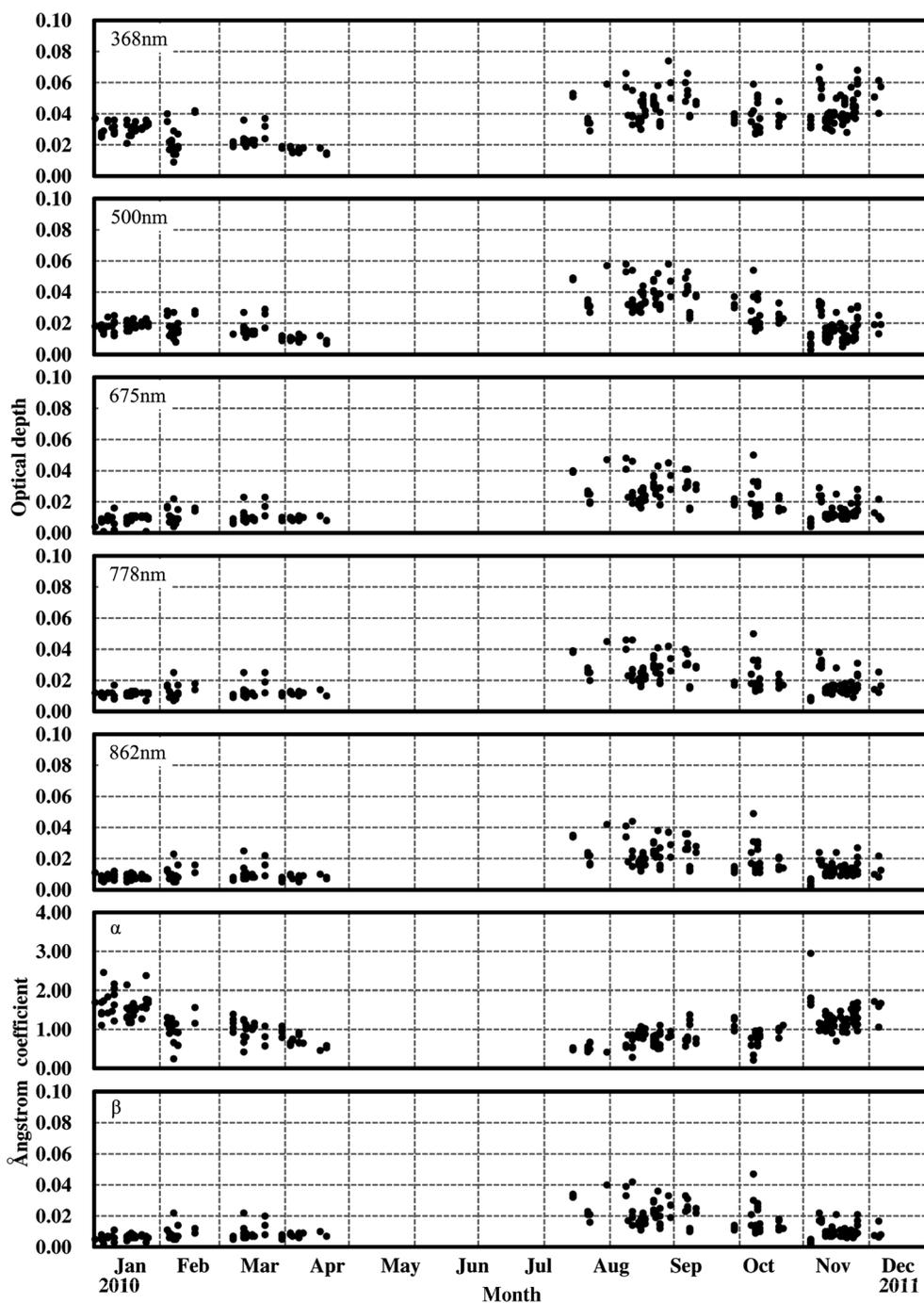


図 22 昭和基地におけるエアロゾルの光学的厚さの季節変化 (2010 年 1 月～2011 年 1 月)

Fig. 22. Annual variations in the aerosol optical depth at Syowa Station (Jan. 2010–Jan. 2011).

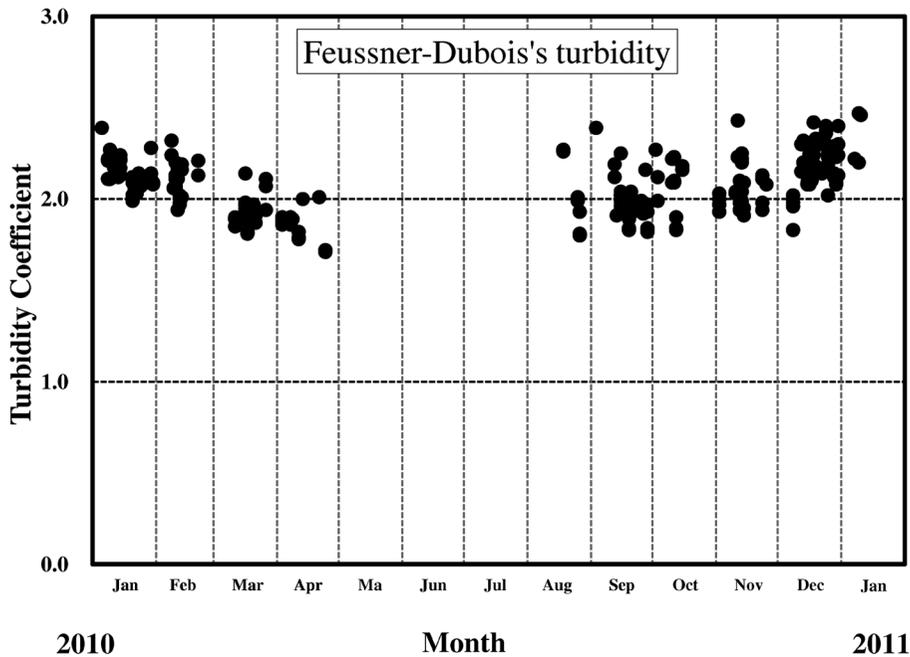


図 23 昭和基地におけるホイスナー・デュボアの混濁係数の季節変化 (2010年1月～2011年1月)
 Fig. 23. Annual variations in Feussner-Dubois's turbidity coefficient at Syowa Station (Jan. 2010–Jan. 2011).

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)

<http://www2.mmm.ucar.edu/rt/amps/>

- ②オーストラリア気象局作成インド洋天気図

<http://www.bom.gov.au/difacs/IDX0033.pdf>

- 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/difacs/IDX0008.pdf>

- ④南アフリカ気象局作成天気図

http://metzone.weathersa.co.za/images/articles/ma_sy.gif

- ⑤ECMWF (ヨーロッパ中期予報センター) 予報図

- ⑥ウイスコンシン大学コンポジット衛星画像

<http://amrc.ssec.wisc.edu/data/view-data.php?action=list&product=satellite>

- (3) 極軌道衛星雲画像

衛星受信部門が昭和基地イントラネット上に掲載していた NOAA (アメリカ大気海洋庁) 衛星 AVHRR の赤外及び可視画像

(4) ロボット気象計（運用期間のみ）

S16（昭和基地の東方向、標高 500 m、海岸から約 10 km）地点のロボット気象計による気温、気圧及び風向・風速

6.2. 解析結果の提供とその利用

解析結果に基づき、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を提供したほか、プリザードによる外出注意令、禁止令の発令、解除の参考となる情報を提供した。また、毎日のミーティング時に天気解析結果及び当日の夜から翌日の気象予想を発表するとともに、昭和基地イントラネット上で地上気象観測実況値などとあわせて共有した。

7. その他の観測

7.1. S16 ロボット気象計

7.1.1. 観測方法と測器

ロボット気象計は、昭和基地東方約 19 km の大陸氷床上の S16（P50）に設置しており、昭和基地周辺の気象状況を把握することにより、観測隊の野外活動などの支援をすることを目的として、各隊次の判断により運用している。第 51 次隊では、第 50 次隊から引き継いで観測を行った。

観測測器を表 15 に示す。気圧・気温測定部及び発信器部は RS2-KC96 型オゾンゾンデを改造したものをを用い、データの取得はロボット気象計からの電波を第 48 次隊まで高層気象観測で使用していたパラボラアンテナで受信して行った。

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

7.1.2. 観測経過

2010 年 2 月 1 日に第 50 次隊から観測を引き継いだ。4 月 26 日に気象ロボットの電波を正

表 15 S16 におけるロボット気象計の測器等一覧表
Table 15. Observation types, frequency and instrumentation at S16.

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

常に受信できなくなったため、5月5日にオゾンゾンデを交換したが復旧しなかった。このとき、風向風速計のプロベラが一部欠けているのを発見したが、交換用部品がないためそのままとした。8月25日にオゾンゾンデを交換し、気圧・気温の観測を再開した。風向風速計は12月23日に第52次隊が持ち込んだ風向風速計と交換し、風向・風速の観測を再開した。

7.2. 移動気象観測装置

7.2.1. 観測方法と測器

移動気象観測装置（以下 MAWS）は、気圧、風向・風速、気温、湿度、全天日射量の観測が行え、ロガーにデータを蓄積できる、ヴァイサラ製の気象観測装置である。新ロボット気象計の設置を予定している S17 航空拠点観測小屋の北側（滑走路側）の気象特性を調査するため、MAWS を使用して観測を行った。電源は低温用バッテリーを使用した。2-3 カ月に1度、測器の保守、バッテリーの交換、データの回収を行った。

観測測器を表 16 に示す。また、各観測地点及び昭和基地の位置を図 24 に示す。

7.2.2. 観測経過

2010 年 4 月 21 日から観測を開始し、連続観測した。日射量は有効なデータが得られず全期間欠測となった。観測点及び周囲の状況からガラス面への着霜や着雪が原因と推察される。また、冬季を中心に湿度が欠測となった。気圧、風向・風速、気温はおおむね順調に観測を行った。観測期間中の 8 月 4 日、8 月 26 日、11 月 23 日、12 月 23 日に測器の保守及びデータの回収を、8 月 26 日、11 月 23 日にバッテリーの交換を行った。保守の際には、野外用気象観測装置及びハンドベアリングコンパスにより比較観測を実施した。

観測データはマイクロメディアに収録し、これを昭和基地に持ち帰り専用のソフトウェア (MAWS Terminal) を用いて PC に保存した。データには MAWS による品質管理フラグ (VALID・INVALID・SUSPICIOUS) が付加されており、このうち VALID 以外のデータは異常とみなして統計には使用しなかった。そのほか、湿度 100% 以上など明らかに異常なデー

表 16 移動気象観測装置 (MAWS) の測器等一覧表
Table 16. Observation type, frequency and instrumentations of MAWS.

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

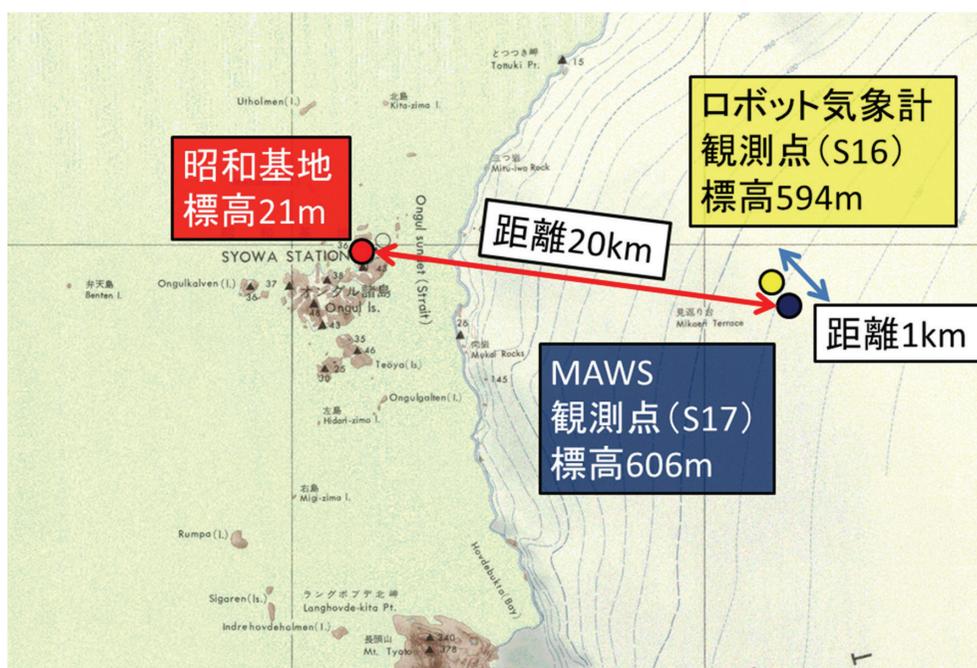


図 24 ロボット気象計、移動気象観測装置 (MAWS) の観測地点 (S16, S17) 及び昭和基地 (国土地理院作成「南極地図画像」に加筆).

Fig. 24. Observation points S16, S17 and Syowa Station.

タは統計に使用しなかったが、異常かどうか判断できないデータについてはそのまま使用することとした。

7.2.3. 観測結果

観測期間中の MAWS による気圧、気温、風速の旬別平均値を図 25 に示す。図には、比較のために昭和基地での観測値も示している。これらを見ると、観測高度による差があるが、どの要素も同じ変化傾向を示しており、この結果は成田ほか (2010) や菅谷ほか (2014) と同じであった。気温に注目すると、昭和基地と S17 の気温差は夏季に大きく冬季に小さい傾向がある。これは、冬季は放射冷却によって地表面付近が低温となることがある昭和基地に対して、常にカタバ風が吹く S17 ではこの影響が小さいことが原因と考えられる。図 26 に昭和基地、S17 の風配図を示す。これらを見ると、昭和基地での卓越風向が北北東であるのに対し、S17 では東北東となっている。また、昭和基地では南寄りの風が吹くことがあるのに対し、S17 では南寄りの風はごく少ない。これは、大陸斜面上に位置する S17 が常にカタバ風の影響下にあるためであると考えられる。

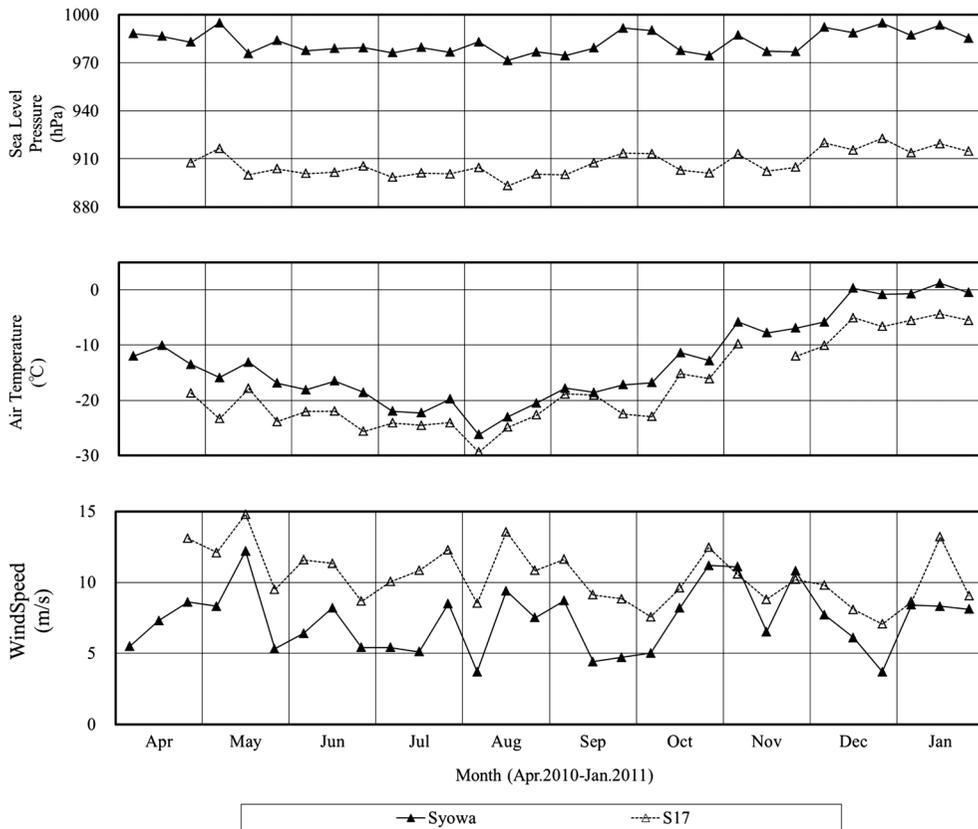


図 25 S17 観測点および昭和基地における地上気象観測旬別経過図 (2010 年 4 月～2011 年 1 月).
(a) 日平均海面気圧 (hPa), (b) 日平均気温 (°C), (c) 日平均風速 (m/s)

Fig. 25. Time series of 10-day mean surface meteorological data at S17 observation points and Syowa Station (Apr. 2010–Jan. 2011) for: (a) sea level pressure (hPa); (b) air temperature (°C); and (c) wind speed (m/s).

7.3. 内陸旅行中の気象観測

第 51 次隊では、2010 年 9–10 月にみずほ基地までの旅行が行われ、気象隊員 1 名がこの旅行に参加し、旅行中に気象観測を行った。

旅行ルートを図 27 に示す。S16 からみずほ基地までは S ルート、H ルート及び Z ルートを使用した。

7.3.1. 観測方法と測器

表 17 に、この旅行中の観測項目及び気象観測測器を示す。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、その他の項目は SM100 型大型雪上車の屋根に設置した MAWS を用いて観測を行った。電源は雪上車内に設置した低温用バッテリーを使用した。また、通信用ケーブルを雪上車内に引き込み、観測結果を PC で常時監視でき

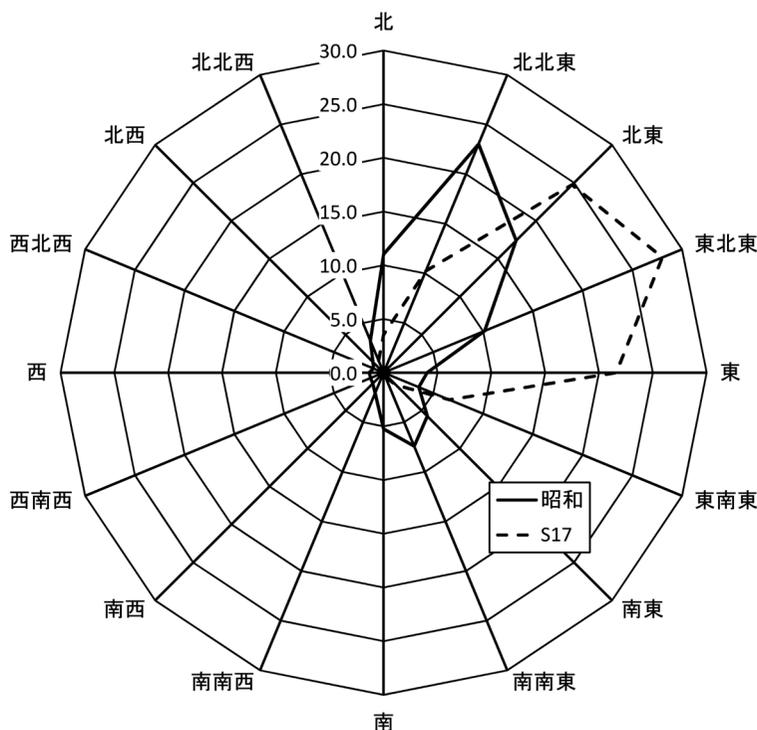


図 26 S17 観測点及び昭和基地における風配図。実線：昭和基地 破線：S17
 Fig. 26. Wind rose for S17 observation points and Syowa Station. Solid line is for Syowa Station, and dashed line is for S17.

る状態とした。

7.3.2. 観測経過

みずほ旅行では、目視観測を、06, 09, 12, 15, 18, 21 LT を目安として、移動経路及びキャンプ地にて行った。観測時刻は旅行隊の移動や作業のために、多少ずれることがあった。MAWS は旅行前に昭和基地で雪上車へ設置し、旅行中は連続観測を行い、旅行後はとつき岬にて撤収した。MAWS は旅行中良好に動作したが、雪上車の排気ガスの影響を受けたため、日射量を全期間、気温及び湿度の一部を欠測とした。そのほか、データ回収や品質管理については、7.2 節と同様に行った。

7.3.3. 観測結果

観測結果を図 28 に示す。観測記録期間は 2010 年 9 月 21 日 0000 LT から 10 月 7 日 0840 LT である。旅行の始めと終わり頃は、沿岸の低気圧の影響を受け、曇りや雪の日が多かった。そのほかの期間は内陸の高気圧圏内に入ったため、快晴または晴れの天気となったが、同時にカタバ風が強く地吹雪のため視界不良となる日が続いた。旅行中の最低現地気圧は

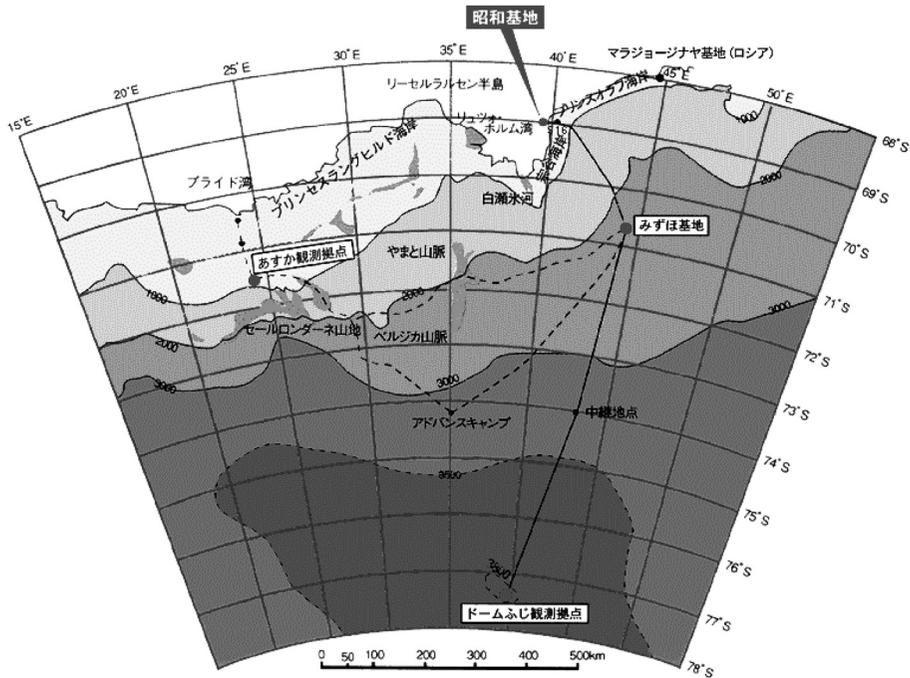


図 27 昭和基地からみずほ基地への経路 (国立極地研究所 (2008b))

Fig. 27. Traverse route from Syowa Station to Mizuho Station.

表 17 旅行中に使用した気象観測測器等一覧表

Table 17. Instruments and accuracy of meteorological observations on traverse route.

観測項目	観測 最小単位	観測 精度	使用測器等	備 考
現地気圧	0.1 hPa	±0.3 hPa	気圧計 (PMT16A)	
気温	0.1°C	±0.5°C	温度湿度計 (QMH101)	
湿度	1%	±2%: 0~ 90% ±3%: 90~100%		
日射	100 μV/W/m ²	100 μV/W/m ²	日射計 (QMS101)	
風向	1°	±3°以下	風向風速計 (WMS302)	
風速	0.1 m/s	±0.3 m/s		
雲 (雲量・雲形・ 向き・高さ)			目視	
現在天気			目視	
大気現象			目視	
視程	10 m		目視	

722.6 hPa (9月29日 0304 LT, みずほ基地), 最高気温は -11.0°C (9月21日 1058 LT, とっつき岬), 最低気温は -44.2°C (10月3日 0545 LT, Z13), 最大風速は東 22.7 m/s (9月28日 0644 LT, Z88) であった。

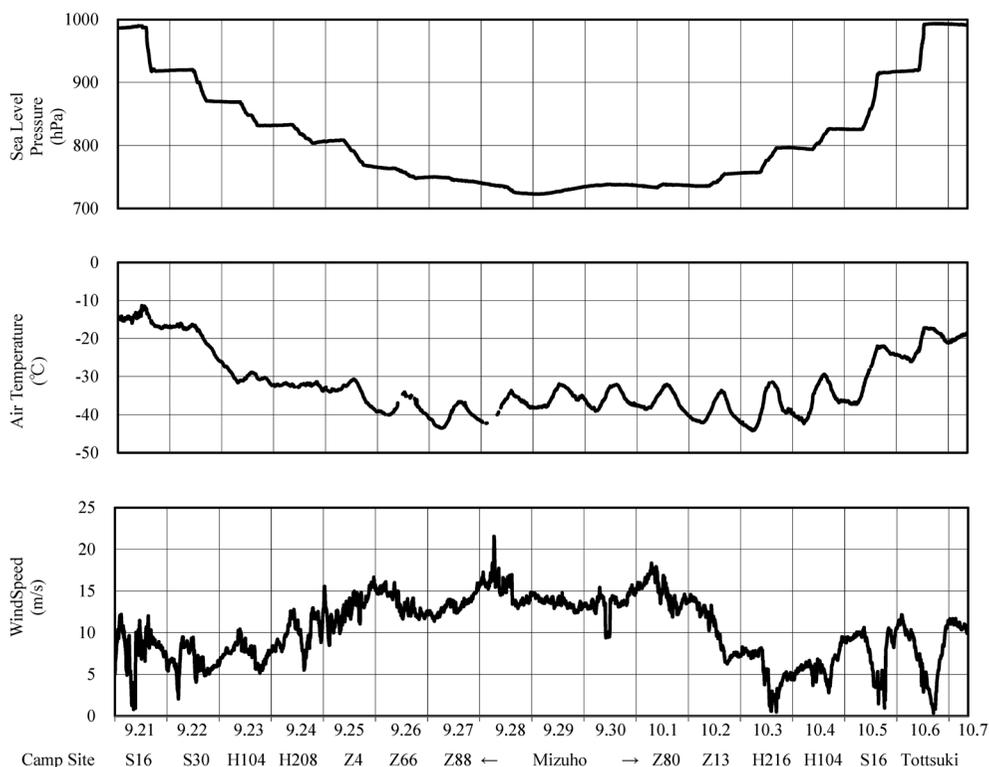


図 28 内陸旅行中の観測結果 (2010年9月21日～10月7日)

Fig. 28. Surface meteorological observations during the traverse from Syowa Station to Mizuho Station (21 Sep.-7 Oct. 2010).

7.4. 気象庁本庁へのデータ伝送

世界の気象機関への観測結果の通報は、第45次隊から常時接続となったインテルサット衛星回線を利用して観測データを一旦日本国内にFTP送信し、日本国内から世界の気象機関へ通報する方法により行った。これによりほぼ100%の配信が可能となった。なお、インテルサット衛星回線の障害やメンテナンス中などによりFTP送信ができない場合には、気象庁予報部情報通信課システム運用室（東京都清瀬市）へ、昭和基地よりインマルサット回線による電話FAXにより通報文を送信し、代行発信を依頼した。

謝 辞

第51次隊の気象定常観測を遂行するにあたり、観測上の技術的援助及び助言をいただいた第51次隊の本吉洋一観測隊長、工藤栄越冬隊長ほか第51次観測隊員の皆様、国立極地研究所及び気象庁南極観測事務室、高層気象台ほか気象庁の関係官に感謝します。また、第51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「しらせ」

乗組員の方々にも厚く御礼申し上げます。

この報告をまとめるにあたり、気象庁の福田正人南極観測事務室長、川嶋浩二前南極観測事務室長、土井元久南極観測事務室長、田代照政元南極観測事務室長、第49次・第50次観測隊気象部門の方々にご助言をいただきました。御礼申し上げます。

文 献

- 青木周司 (1997): 昭和基地および「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.
- 荏原実業株式会社 (2009): 地上オゾン濃度測定装置 (EG-3000FS) 取扱説明書.
- 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.
- 江崎雄治・平沢尚彦・林 政彦・山内 恭 (2010): 1997年春季に南極昭和基地において発現した地上オゾン急減現象. 南極資料, **54**, 623–639.
- 東島圭志郎・佐藤 健・安ヶ平一也・村方栄真・河原恭一 (2003): 第40次南極地域観測隊気象部門報告1999. 南極資料, **47**, 171–271.
- 伊藤真人 (2005): 広帯域 (全天型) 紫外域日射計の NIST ランプ検定による測器感度変化と問題点. 高層気象台彙報, **65**, 45–52.
- 伊藤真人・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.
- 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 (2002): 地上気象観測指針. 東京, 176p.
- 気象庁 (2004): 高層気象観測指針. 東京, 248p.
- 気象庁 (2005): 気象観測統計指針. 東京, 158p.
- 気象庁 (2008): オゾンゾンデ観測指針 (KC型編). 東京, 65p.
- 気象庁 (2010): オゾンゾンデ観測指針 (ECC型編). 東京, 54p.
- 気象庁 (2011): オゾン層観測報告2010. 東京, 75p.
- 国立極地研究所 (2008a): 基地要覧 (第20版). 東京, 20.
- 国立極地研究所 (2008b): 基地要覧 (第20版). 東京, 2.
- McKinley, A.F. and Diffey, B.L. (1987): A reference action spectrum for ultraviolet induced erythema in human skin. CIE Journal, **6**, 17–22.
- 宮川幸治・上野圭介 (2008): 天頂雲検出器の反転観測への導入. 高層気象台彙報, **68**, 51–58.
- Miyagawa, K., Sasaki, T., Nakane, H., Petropavlovskikh, I. and Evans, R.D. (2009): Reevaluation of long-term Umkehr data and ozone profiles at Japanese stations. J. Geophys. Res., **114**, D07108, doi:10.1029/2008JD010658.
- 中村雅道・岩野園城・松元 誠・辰己 弘・伊藤智志 (2008): KC型オゾンゾンデと ECC型オゾンゾンデの相互比較観測について. 高層気象台彙報, **68**, 7–14.
- 成田 修・毛利光志・中島浩一・滝沢厚詩・押木徳明 (2010): 第47次南極地域観測隊気象部門報告2006. 南極資料, **54**, 32–107.
- 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.
- 柴田誠司・伊藤真人・能登美之・上野丈夫・岡本利次 (2000): 全天型紫外域日射計の感度変化と測定精度. 高層気象台彙報, **60**, 17–24.
- 菅谷重平・土井ひかる・辰己 弘・伊藤智志・小森智秀 (2014): 第50次日本南極地域観測隊気象部門報告2009. 南極資料, **58**, 233–293.
- WHO (2002): Global Solar UV Index: a Practical Guide. Geneva, WHO, 28 p.