

第 50 次日本南極地域観測隊気象部門報告 2009

菅谷重平^{1*}・土井ひかる¹・辰己 弘¹・伊藤智志¹・小森智秀¹Meteorological observations at Syowa Station, Antarctica, 2009
by the 50th Japanese Antarctic Research ExpeditionJuhei Sugaya^{1*}, Hikaru Doi¹, Hiroshi Tatsumi¹, Satoshi Ito¹ and Tomohide Komori¹

(2014 年 1 月 20 日受付; 2014 年 2 月 27 日受理)

Abstract: This report describes the results of meteorological observations carried out by the Meteorological Observation Team of the 50th Japanese Antarctic Research Expedition (JARE-50) at Syowa Station from February 2009 to January 2010. The observation methods, instruments, and statistical methods used by JARE-50 were similar to those used by JARE-49.

The most notable results are as follows.

- 1) Class-A blizzards, the heaviest storm class, were recorded 13 times. This frequency is the same as in 1978, which was the highest on record. A total of 29 blizzards (of various classes) occurred in 2009, which is close to normal.
- 2) The maximum sustained wind speed of 47.4 m/s was recorded on 21 February 2009.
- 3) Tropospheric temperatures for May–July over Syowa Station were higher than normal, but temperatures in the lower stratosphere for August–October were lower than normal.
- 4) Total ozone over Syowa Station was less than 220 matm-cm between the middle of August and the end of October. The minimum value in 2009 was 135 matm-cm. Total ozone increased rapidly in November 2009 when the ozone-hole area decreased around Syowa Station.

要旨: この報告は、第 50 次日本南極地域観測隊気象部門が 2009 年 2 月 1 日から 2010 年 1 月 31 日まで昭和基地において行った気象観測結果をまとめたものである。観測方法・測器・統計方法等は第 49 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) 2009 年のブリザード回数は 29 回で平年並みだったが、そのうちの A 級（最大階級）ブリザードは、1978 年と並ぶ 13 回と最多回数を記録した。
- 2) 2 月 21 日に、観測史上最大である日最大風速 47.4 m/s を記録した。
- 3) 昭和基地上空の対流圏において、月平均気温は 5–7 月にかけて高く推移した。一方、下部成層圏では 8–10 月にかけて平年より低かった。
- 4) 昭和基地上空のオゾン全量は、8 月中旬から 10 月下旬までオゾンホールが目安となる 220 matm-cm をほぼ継続して下回り、10 月には 2009 年の最小値である 135 matm-cm を記録したが、11 月には昭和基地上空がオゾンホールから抜けたためオゾン全量が一気に増加した。

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

* Corresponding author. E-mail: jsugaya@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（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50次日本南極地域観測隊気象部門は、2009年1月28日に第49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、2010年1月31日までの約1年間観測を行った。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49次隊とほぼ同様である（吉見ほか、2013）。なお本報告は、主に2009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観測・反転観測は、第49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、2台の移動気象観測装置（MAWS）を利用したオングル海峡上での観測などを実施した。

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. 50（気象庁、2011）としてCD-ROMに取りまとめて刊行した。ここでは観測の経過及び結果の概要と、観測結果を用いた解析や考察について報告する。

2. 地上気象観測

2.1. 観測方法と測器

観測は地上気象観測指針（気象庁、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などを表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

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、10m間隔で20m四方に9本の^{たけざお}竹竿を利用した雪尺を立て、週1回程

表 1 昭和基地における地上気象観測使用測器等一覧表

Table 1. Observation types, frequency, minimum unit, and instrumentation at Syowa Station.

観測種目	観測時刻	観測 最小単位	使用測器等	型式	備考
現地気圧	連続・毎正時	0.1 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℃	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℃	-		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 (全大電気式日射計)	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
積雪の深さ	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)		北の浦海水上に設置
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。

度の割合で雪尺の雪面上の長さを測定し、それぞれ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観測値とした。なお、積雪の深さは雪尺設置時点を 0 cm として起算した。

2.2. 観測経過

総合自動気象観測装置 (地上系) 系統の各測器はおおむね順調に作動したが、11 月 23 日は基地内火災の消火活動を行ったため、09 UTC と 12 UTC の目視観測が欠測となった。

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

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

両測器とも百葉箱 (強制通風式) 内に置いて通年観測した。おおむね順調に観測を行った。

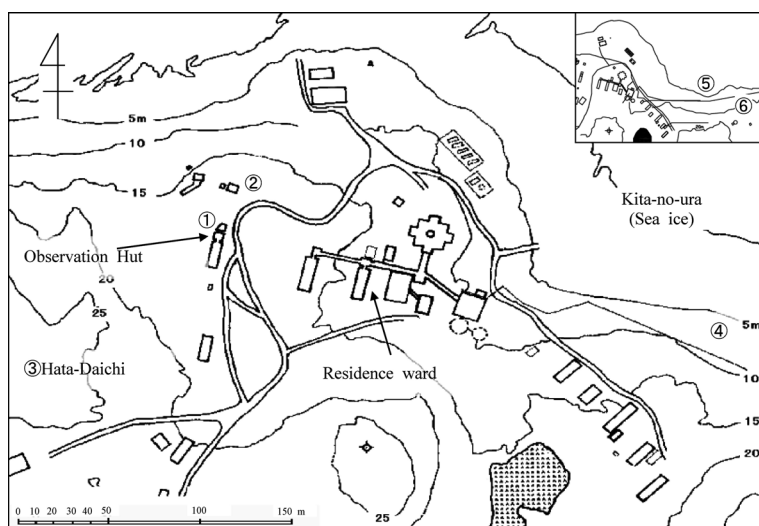


図 1 昭和基地主要部と測器感部の配置（国立極地研究所（2008a）に加筆）

- 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 meteorological instruments in the main part of Syowa Station.

- ① Surface observation: Barometer
Ozone observation: Dobson spectrophotometer
Radiation observation: Brewer spectrophotometer; downward radiation
- ② Surface observation: Wind sensor; thermometer; hygrometer; visibility sensor
- ③ Surface observation: Sunshine sensor
- ④ Surface observation: Snow depth sensor
- ⑤ Radiation observation: Upward radiation
- ⑥ Ozone observation: Surface ozone monitor

ブリザードの際には、百葉箱内に雪が詰まることがしばしばあり、その都度除雪を行った。

測器の精度確認のための比較観測は、携帯用通風乾湿計により3カ月に1回行い、ブリザード後の通風筒清掃時にも随時行った。携帯用通風乾湿計の観測値を基準として、観測装置の値が気温は $\pm 0.4^{\circ}\text{C}$ 、湿度は $\pm 4\%$ の許容範囲内にあることを確認した。

(3) 風向・風速

測風塔上に設置した風車型風向風速計により通年観測した。

おおむね順調に動作したが、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」または「資料なし」となった日があった。また8月3日には、ブリザード後の弱風時で低温（ -20°C 以下）となった際に風向の追従が悪くなったた

め、測器を予備器と交換した。

(4) 全天日射量、日照時間

全天電気式日射計と太陽追尾式日照計が一体となっている日射日照計を、気象棟南西側の旗台地に設置し通年観測した。観測は順調であった。

(5) 積雪の深さ

観測棟北東側の北の浦へ下る海岸斜面に設置した超音波式積雪計により通年観測した。超音波式積雪計は通常時でも観測値が飛び跳ねる現象があり、特に強風時及び新雪時などに異常値が観測されることが多かった。

(6) 視程（視程計による参考記録）

管制棟裏に設置した視程計（現象判別付）を参考測器として通年運用し、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などの参考とした。地吹雪により視程計の投受光部に雪が付くことによって観測値が得られないことがあり、天候回復後に投受光部の清掃を実施した。これ以外にも投受光部の清掃を随時行った。

(7) 海水上の積雪の深さの観測

2009 年 3 月 21 日に雪尺 9 本を設置し、積雪の深さの変化をおおむね順調に観測した。設置場所は北の浦の超音波式積雪計の主風向（北東）の風上で、第 49 次隊とほぼ同じ場所である。例年、設置翌年 1 月には雪尺際の融雪がすすみ、雪尺が倒れることがほとんどであったが、2010 年 1 月は融雪が少なく 9 本とも倒れなかったため、そのまま第 51 次隊へ引き継いだ。

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、海水上（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 に示す。

越冬期間中における昭和基地の気象の主な特徴として、以下のことがあげられる（平年値はすべて 1971–2000 年の累年平均値である）。

(1) 2009 年の天候は、年間のブリザード回数は 29 回と平年並みだったが、2 月から A 級ブリザードを記録するなど、A 級の回数が 13 回と多く、1978 年と並んで最多回数を記録した。ブリザードの継続期間も長い傾向があり、合計日数は 64 日と、平年の 51.6 日より多かった（表 2）。

(2) 2 月 20 日から 21 日にかけて A 級ブリザードをもたらした低気圧の影響で、2 月 20 日には観測開始以来の日最大風速 47.4 m/s を記録した。また 2 月としては観測開始以来の日最大瞬間風速 54.3 m/s を記録した（表 3）。

表 2 昭和基地における地上気象観測月別気象表 (2009 年 1 月～2010 年 1 月)
Table 2. Monthly surface observations at Syowa Station (Jan. 2009–Jan. 2010).

項目	単位	2009 年												2010 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	986.0	982.1	982.3	988.6	994.9	991.6	987.3	989.4	985.6	985.2	989.1	988.0	987.5	993.4
最低海面気圧	hPa	969.5	938.8	952.1	975.6	958.5	961.1	951.5	962.0	950.8	965.5	967.5	974.8	938.8	970.4
起日		12	20	14	26	18	18	17	26	27	26	21	16		15
平均気温	℃	-1.2	-2.9	-6.0	-12.6	-14.7	-11.6	-16.3	-20.0	-16.7	-13.5	-6.5	-1.6	-10.3	0.4
最高気温の平均	℃	1.1	-0.5	-3.9	-10.2	-11.4	-8.2	-12.4	-16.2	-13.7	-10.7	-3.8	1.0	-7.4	3.0
最低気温の平均	℃	-3.6	-6.2	-8.8	-15.0	-18.9	-15.3	-20.8	-23.9	-20.2	-17.1	-10.2	-4.3	-13.7	-2.1
最高気温	℃	4.0	3.2	-0.2	-2.4	-2.6	-0.7	-4.7	-5.9	-6.5	-3.4	2.6	4.4	4.4	6.0
起日		16	5	4	13	18	18	3	18	11	25	30	8	23	23
最低気温	℃	-8.9	-10.8	-18.0	-22.8	-29.2	-29.7	-36.8	-38.5	-35.7	-30.2	-17.2	-8.0	-38.5	-7.2
起日		7	18	24	5	6	15	31	1	3	7	19	3	29	29
最低気温 0℃以上の日数	日	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	5
平均気温 0℃以上の日数	日	8	3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2	13	22
最高気温 0℃以上の日数	日	23	12	-	-	-	-	-	-	-	-	2	24	61	31
最高気温 -10℃以上の日数	日	31	28	29	16	11	20	14	6	9	14	29	31	238	31
最低気温 -20℃未満の日数	日	-	-	-	4	14	7	17	21	12	8	-	-	83	-
平均気温 -20℃未満の日数	日	-	-	-	1	3	3	7	18	11	5	-	-	48	-
最高気温 -20℃未満の日数	日	-	-	-	-	-	-	3	10	4	-	-	-	17	-
平均蒸気圧	hPa	4.1	3.7	3.0	1.8	1.5	2.2	1.6	1.1	1.3	1.7	2.8	3.9	2.4	4.1
平均相対湿度	%	73	73	73	71	66	76	73	71	68	71	70	72	71	65
平均風速	m/s	6.1	6.8	8.6	7.6	7.1	8.2	8.8	6.6	7.2	5.7	6.0	4.4	6.9	6.2
最多風向	16 方位	NE	NE	ENE	ENE	ENE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE
最大風速	m/s	34.1	47.4	36.7	33.3	38.9	39.2	37.7	36.1	33.8	27.0	26.4	25.8	47.4	36.0
風向 起日		NE, 27	ENE, 20	ENE, 8	ENE, 13	NE, 18	NE, 18	ENE, 3	NE, 17	ENE, 11	NE, 25	NE, 21	NE, 31	NE, 15	NE, 15
最大瞬間風速	m/s	41.2	54.3	43.3	40.4	47.3	47.5	48.0	46.5	40.6	32.8	30.2	33.3	54.3	43.0
風向 起日		NE, 27	ENE, 20	ENE, 8	ENE, 13	NE, 18	NE, 18	ENE, 3	NE, 16	ENE, 11	NE, 25	NE, 21	NE, 31	NE, 16	NE, 16
最大風速 10.0 m/s 以上の日数	日	11	14	23	15	16	22	20	17	17	17	19	9	200	20
15.0 m/s 以上の日数	日	9	8	12	12	9	13	15	7	8	7	5	2	107	9
30.0 m/s 以上の日数	日	1	2	3	1	2	3	5	2	4	-	-	-	23	2
日照時間	h	275.9	188.7	118.2	67.8	32.8	-	16.2	62.1	143.5	213.3	352.0	349.2	1819.7	381.5
日照率	%	39	39	30	26	30	-	32	29	42	44	56	47	54	54
平均全日射量	MJ/m ²	24.1	16.5	7.7	2.4	0.3	0.0	0.1	1.5	6.1	14.7	24.7	28.8	10.6	25.9
不照日数	日	8	3	7	14	22	30	24	17	6	5	3	2	141	2
平均雲量		7.9	7.6	8.1	8.0	6.1	8.5	7.1	7.5	7.4	7.4	6.5	7.2	7.4	6.7
平均雲量 1.5 未満の日数	日	3	1	2	3	5	1	2	4	4	3	5	4	37	4
平均雲量 8.5 以上の日数	日	20	14	18	21	11	20	17	19	17	16	13	19	205	16
雪日数	日	17	18	20	21	14	22	24	24	21	22	12	16	231	11
霧日数	日	3	1	-	-	1	-	-	2	-	2	-	4	13	-
ブリザード日数	日	1	2	8	8	5	10	11	5	8	4	2	-	64	-
ブリザード回数	回	1	1	4	2	2	6	4	3	2	2	2	-	29	-

・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。

- 「-」: 確実全量資料の一部が欠けているが、その数が許容する範囲内である。
- ・5月29日から7月14日まででは記録上太陽中心が地平線上に現れない。不照日数にはこの期間 (46 日) を加えてある。
- ・ブリザード基準については、表4備考注を参照のこと。

表 3 昭和基地における地上気象観測極値・順位更新記録 (2009 年 2 月～2010 年 1 月)
 Table 3. New surface meteorological observations extremes and ranking at Syowa Station
 (Feb. 2009–Jan. 2010).

年 月	統 計 項 目	観 測 値	起 日	順 位
2009 年 2 月	日最高気温の高い方から	0.1℃	4 日	7 位
	日最大風速 (風向)	47.4 m/s (ENE)	20 日	1 位
		34.2 m/s (ENE)	21 日	6 位
	日最大瞬間風速 (風向)	54.3 m/s (ENE)	20 日	1 位
		41.2 m/s (NE)	27 日	10 位
3 月	月最深積雪	41 J cm	21 日	2 位
	日最大風速 (風向)	36.7 m/s (ENE)	8 日	2 位
		33.1 m/s (E)	14 日	7 位
	日最大瞬間風速 (風向)	43.3 m/s (ENE)	8 日	6 位
		41.3 m/s (E)	14 日	9 位
4 月	月最深積雪	59 J cm	18 日	1 位
	月平均気温の低い方から	−12.6℃		2 位
	月最深積雪	51 J cm	4 日	5 位
5 月	日最大風速 (風向)	38.9 m/s (NE)	18 日	8 位
	日最大瞬間風速 (風向)	47.3 m/s (NE)	18 日	9 位
	月間日照時間の多い方から	32.8 時間		3 位
	月最深積雪	93 J cm	20 日	1 位
6 月	日最高気温の高い方から	−0.7℃	18 日	1 位
		−2.5℃	29 日	5 位
		−2.8℃	16 日	10 位
	日最低気温の高い方から	−5.8℃	27 日	4 位
		−6.0℃	18 日	7 位
		−6.0℃	16 日	
	月平均気温の高い方から	−11.6℃		1 位
	日最大風速 (風向)	39.2 m/s (NE)	18 日	8 位
	月最深積雪	135 J cm	27 日	1 位
7 月	日最高気温の低い方から	−28.6℃	29 日	9 位
	月間日照時間の多い方から	16.2 時間		2 位
	月最深積雪	133 J cm	19 日	1 位
8 月	日最大風速 (風向)	36.1 m/s (NE)	17 日	9 位
		35.6 m/s (NE)	16 日	10 位
	日最大瞬間風速 (風向)	46.5 m/s (NE)	16 日	8 位
		46.0 m/s (NE)	17 日	10 位
	月最深積雪	131 J cm	6 日	1 位
9 月	月最深積雪	147 J cm	10 日	1 位
10 月	日最低気温の高い方から	−5.9℃	26 日	10 位
	月最深積雪	129 cm	26 日	1 位
11 月	日最小相対湿度	26%	8 日	6 位
	月間日照時間の多い方から	352.0 時間		10 位
	月最深積雪	130 cm	2 日	1 位
12 月	日最高気温の低い方から	−4.1℃	4 日	6 位
	日最大瞬間風速 (風向)	33.3 m/s (NE)	31 日	9 位
	月日照時間の少ない方から	349.2 時間		7 位
	月最深積雪	117 cm	5 日	1 位
2010 年 1 月	月平均気温の高い方から	0.4℃		4 位
	日最小相対湿度	32%	21 日	8 位
	日最大風速 (風向)	36.0 m/s (NE)	15 日	3 位
		35.4 m/s (NE)	16 日	4 位
	日最大瞬間風速 (風向)	43.0 m/s (NE)	16 日	5 位
		42.4 m/s (NE)	15 日	8 位
通 年	月最深積雪	98 cm	1 日	1 位
	日最低海面気圧	938.8 hPa	2 月 20 日	6 位
	月平均気温の高い方から	0.4℃	2010 年 1 月	4 位
	日最大風速 (風向)	47.4 m/s (ENE)	2 月 20 日	1 位
	日最大瞬間風速 (風向)	54.3 m/s (ENE)	2 月 20 日	7 位
	月最深積雪	147 J cm	9 月 10 日	1 位
		135 J cm	6 月 27 日	2 位
		133 J cm	7 月 19 日	3 位
		131 J cm	8 月 6 日	4 位
		130 cm	11 月 2 日	5 位
		129 cm	10 月 26 日	6 位

※ 数値右側の J: 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、十分な信頼性がないので、利用に際しては注意が必要。

表 4 昭和基地におけるブリザードの概要 (2009 年 2 月～2010 年 1 月)
Table 4. Heavy snowstorms (blizzards) at Syowa Station (Feb. 2009–Jan. 2010).

番号	階級	開始日時 (LT)			終了日時 (LT)			継続時間		最大風速		瞬間風速		最低気圧		中断 (LT)	
		年	月	時分	年	月	時分	風速 (m/s)	風向	風速 (m/s)	風向	風速 (m/s)	風向	気圧 (hPa)	起時 (LT)	中絶 (LT)	起時 (LT)
5001	A	2009年	2月20日	18時15分	2009年	2月21日	5時10分	39.5	ENE	20日	20時50分	47.9	ENE	20日	20時46分	18時48分	
5002	C	2009年	3月2日	22時05分	2009年	3月3日	1時00分	25.0	NE	3日	1時40分	31.1	NE	3日	0時32分	0時32分	
5003	A	2009年	3月8日	6時10分	2009年	3月9日	11時50分	29時	ENE	8日	18時20分	43.3	ENE	8日	18時16分	18時17分	
5004	A	2009年	3月13日	21時50分	2009年	3月14日	18時15分	33.1	E	14日	7時40分	41.3	E	14日	7時36分	9時22分	
5005	A	2009年	3月17日	21時45分	2009年	3月18日	23時30分	24時	ENE	18日	1時30分	33.6	ENE	18日	1時39分	6時18分	18日16時05分～17時30分
5006	A	2009年	4月11日	15時25分	2009年	4月14日	6時40分	33.3	ENE	13日	9時30分	40.4	ENE	13日	8時24分	16時59分	12日10時55分～11時15分
5007	B	2009年	4月24日	21時10分	2009年	4月27日	4時20分	55時	ENE	26日	11時00分	31.3	ENE	26日	9時49分	10時10分	
5008	B	2009年	5月13日	6時40分	2009年	5月13日	8時15分	28.4	ENE	12日	12時20分	33.3	ENE	12日	12時25分	23時10分	
5009	A	2009年	5月18日	3時50分	2009年	5月20日	3時05分	38.9	NE	18日	16時00分	47.3	NE	18日	15時33分	15時22分	
5010	B	2009年	6月5日	23時30分	2009年	6月7日	4時50分	29時	NE	6日	5時20分	27.6	NE	6日	5時16分	2時02分	
5011	C	2009年	6月9日	11時30分	2009年	6月9日	18時50分	18.7	NE	9日	13時30分	22.3	NE	9日	14時14分	9日12時	
5012	A	2009年	6月15日	19時30分	2009年	6月16日	21時50分	36.0	NE	16日	8時10分	44.6	ENE	16日	2時19分	2時20分	
5013	B	2009年	6月18日	4時20分	2009年	6月19日	12時30分	39.2	NE	18日	11時00分	47.5	NE	18日	10時30分	18日14時50分～16時00分	
5014	C	2009年	6月25日	1時50分	2009年	6月25日	13時45分	29.9	NE	25日	10時50分	34.6	NE	25日	10時49分	4時51分	
5015	B	2009年	6月26日	2時24分	2009年	6月26日	20時40分	29.6	NE	26日	12時10分	38.0	NE	26日	12時07分	3時51分	
5016	A	2009年	7月2日	21時50分	2009年	7月5日	12時20分	37.7	ENE	3日	20時10分	48.0	ENE	3日	20時00分	20時06分	
5017	A	2009年	7月5日	13時20分	2009年	7月7日	17時40分	52時	NE	6日	23時10分	39.6	NE	6日	23時09分	0時10分	
5018	A	2009年	7月17日	3時10分	2009年	7月18日	10時10分	31時	ENE	17日	18時50分	44.2	ENE	17日	15時01分	18時55分	
5019	C	2009年	7月19日	20時35分	2009年	7月20日	4時21分	25.5	ENE	19日	23時20分	30.3	ENE	19日	23時32分	0時48分	
5020	A	2009年	8月16日	12時50分	2009年	8月18日	21時28分	49時	NE	17日	0時10分	46.5	NE	16日	23時04分	17時50分	18日02時45分～09時55分
5021	C	2009年	8月22日	15時50分	2009年	8月22日	23時10分	18.8	NE	22日	21時40分	23.0	NE	22日	21時32分	15時50分	
5022	C	2009年	8月26日	6時30分	2009年	8月26日	18時40分	29.8	NE	26日	11時40分	35.2	NE	26日	11時26分	7時52分	
5023	A	2009年	9月8日	19時00分	2009年	9月12日	12時50分	64時	ENE	11日	16時40分	40.6	ENE	11日	16時30分	16時24分	10日01時48分～11時15分, 10日18時50分～11日11時10分
5024	A	2009年	9月26日	17時10分	2009年	9月28日	14時55分	45時	ENE	27日	9時40分	39.3	ENE	27日	10時26分	7時22分	
5025	A	2009年	10月7日	16時35分	2009年	10月8日	3時10分	10時	NE	8日	1時40分	23.0	NE	8日	0時40分	2時38分	
5026	B	2009年	10月24日	15時40分	2009年	10月25日	5時50分	14時	NE	25日	0時10分	32.8	NE	25日	2時52分	973.5 25日5時37分	
5027	C	2009年	11月21日	12時05分	2009年	11月21日	23時35分	11時	NE	21日	15時40分	30.2	NE	21日	15時50分	14時18分	
5028	C	2009年	11月29日	4時40分	2009年	11月29日	14時10分	9時	ENE	29日	8時00分	28.7	ENE	29日	10時20分	10時20分	

※ 階級区分は次による。

A級: 視程100 m未満, 風速25 m/s以上の状態が6時間以上継続

B級: 視程 1 km未満, 風速15 m/s以上の状態が12時間以上継続

C級: 視程 1 km未満, 風速10 m/s以上の状態が6時間以上継続

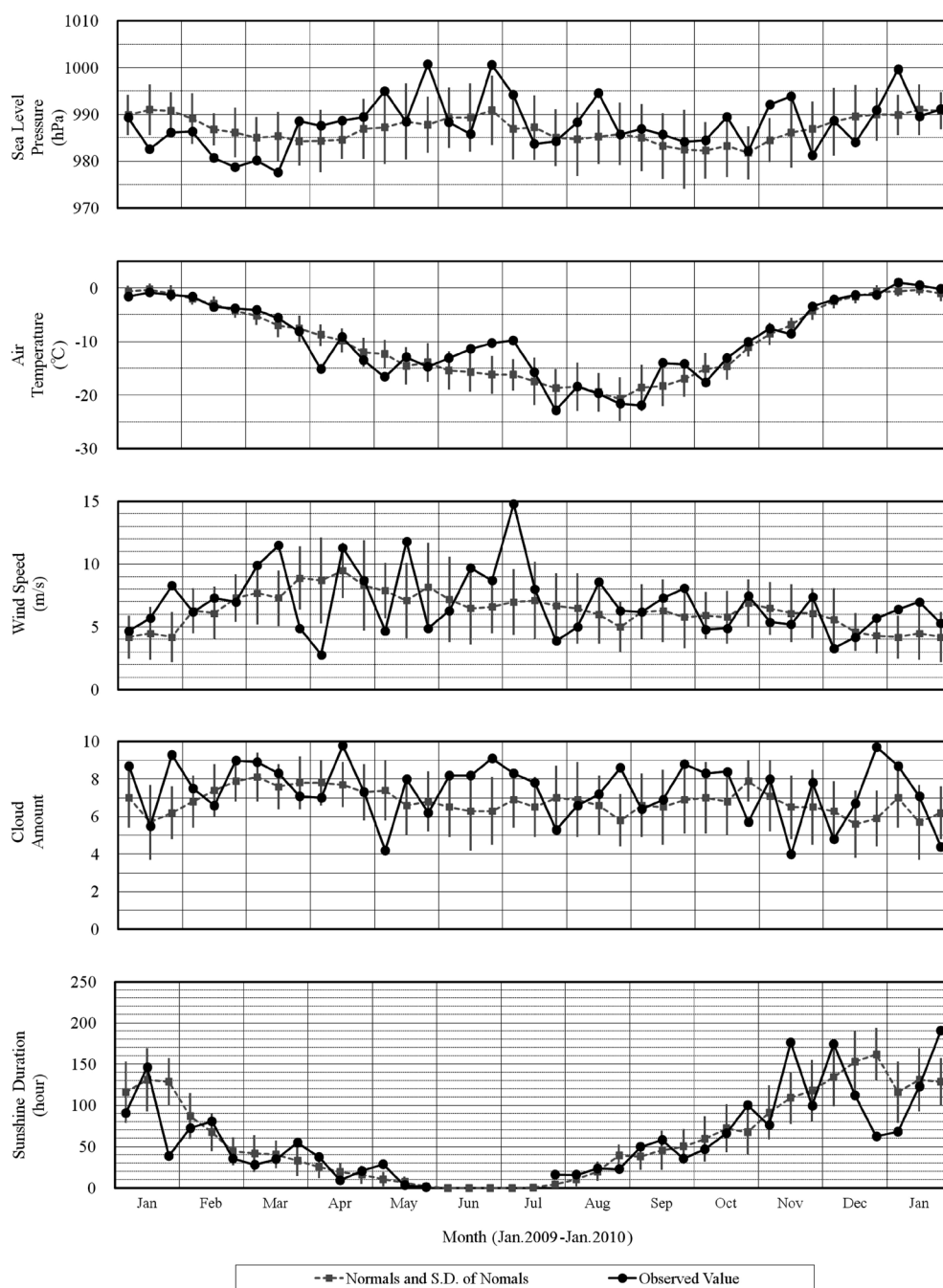


図 2 昭和基地における地上気象旬別経過図 (2009 年 1 月～2010 年 1 月)
 平年値は 1971–2000 年の平均値.

Fig. 2. Time series of 10-day mean surface meteorological data at Syowa Station (Jan. 2009–Jan. 2010).

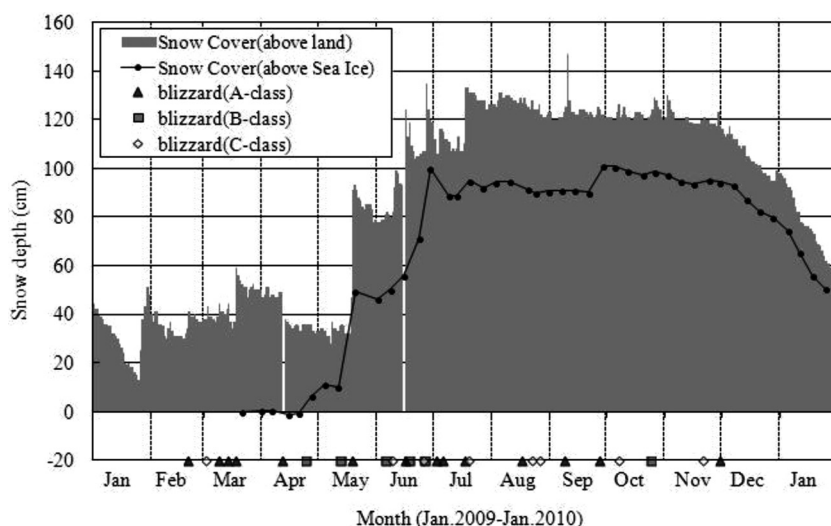


図 3 海氷上（雪尺）と陸上（積雪計）の積雪深観測値の比較（2009 年 1 月～2010 年 1 月）

Fig. 3. Comparison of snow depths on sea ice and at Syowa Station (Jan. 2009–Jan. 2010).

- (3) 2009 年の雪日数 231 日は観測開始以来 2 番目の多さであり，霧日数 13 日（平年値 8.5 日），平均雲量 7.4（10 分比，平年値 6.8）はともに平年より多く，日照時間 1819.7 時間（平年値 1958.7 時間）は平年より少なく，晴天には恵まれない天候経過だった（表 2）。
- (4) 6 月は低気圧が接近することが多く，低緯度側から暖気をもたらされたため，月平均気温が観測開始以来最も高くなった。また，日最高気温，日最低気温も高い方からの記録 10 位以内をいくつか更新した（表 3）。
- (5) 6 月下旬から 7 月上旬は，平年より風が強く気温が高くなった。一方，気圧は高めで経過した。この期間中，低気圧の接近によるブリザードは 4 回（8 日）あった。ブリザードをもたらす低気圧が近づくと気圧が下がり，風は強く，気温は高くなるものと考えられるが，2009 年については，低気圧接近時以外は大陸からの高気圧の張り出しが強かったため，旬平均気圧は平年より高めになったものとする（図 2）。
- (6) 昭和基地の陸上の積雪は夏季になくなることが多いが，2009 年夏季（1 月）では残ったままであり，3 月中旬のブリザードで増加した。積雪量は昭和基地の陸上，海氷上ともに同じように変化し，5 月中旬の A 級ブリザードで積雪が著しく増え，6 月中旬から下旬にかけてさらに増加した。その後，昭和基地の陸上は 7 月中旬，海氷上は 9 月下旬にも増加し，11 月下旬まで増減を繰り返しながらも，積雪の多い状態が維持された。12 月以降は夏期間の昇温に伴い次第に減少したが，2010 年 1 月は前年より多い積雪が残り（図 3），2009 年 3 月以降は毎月最深積雪を更新した（表 3）。

表 5 昭和基地における天気概況 (2009 年 2 月～2010 年 1 月) (1/2)

Table 5. Weather at Syowa Station (Feb. 2009–Jan. 2010). (1/2)

年・月	天気概況
2009 年 2 月	上旬から中旬前半にかけては低気圧が 2-3 日ごとに接近したため、晴れの日とくもりや雪の日が周期的に訪れた。中旬後半から下旬にかけては、昭和基地付近で低圧部が停滞傾向となったため、くもりや雪の日が多かった。特に 19-21 日にかけては発達した低気圧が接近したため暴風雪 (20-21 日にかけては A 級ブリザード) となり、20 日には日最大平均風速 47.4 m/s、日最大瞬間風速 54.3 m/s を記録した。
	上旬 晴れの日とくもりや雪の日が繰り返しとなり、低気圧が接近した 4 日や 10 日にはふぶきとなった。
	中旬 前半は周期的な天気変化となったが、15 日ごろから低気圧の接近する日が増えたためくもりがちな天気となり、19 日からは暴風雪となった。
	下旬 26 日は晴れとなったが、そのほかは旬を通してくもりや雪の日が続いた。
2009 年 3 月	上旬から中旬にかけては低気圧が接近する日が多く、曇天の日が続き、ふぶきを伴う日が多かった。下旬前半は、高気圧に覆われ晴れる日が多くなったが、下旬後半は昭和基地北の低圧部の影響によりくもりの日が多くなった。
	上旬 1 日は高圧部に覆われ好天となったが、2 日以降は昭和基地の東側で気圧の尾根が停滞し、昭和基地に低気圧が接近しやすい気圧配置となった。このため、くもりや雪の日が多くなり、特に 2-3 日と 8-9 日には発達した低気圧が昭和基地に接近したためブリザードとなった (2-3 日は C 級、8-9 日は A 級)。
	中旬 11 日と 15-16 日には気圧の尾根が通過し好天となったが、その後昭和基地の東側で気圧の尾根が停滞し、低気圧が接近しやすい気圧配置となったためくもりや雪の日が多くなった。特に 13-14 日と 17-18 日には発達した低気圧によりブリザードとなった (両期間とも A 級)。
	下旬 前半は気圧の尾根に覆われて晴れる日が多かったが、後半には気圧の尾根が衰弱し、基地北側に低圧部となったためくもりの日が多くなった。しかし、期間を通して上空の風が弱く低気圧の発達や接近がなかったことからブリザードはなく、上中旬に比べて風は弱く、日照時間は多くなった。
2009 年 4 月	月の初めと終わり頃は高気圧に覆われ晴れて気温の低い日が多くなったが、月間を通しては昭和基地の北海上で低圧部が停滞傾向となったためくもりや雪の日が多く、発達した低気圧が接近した 11-14 日と 24-27 日にはブリザードとなった。また、中旬から下旬にかけては昭和基地北側の低圧部と大陸の高気圧との間で気圧の傾きが大きくなる事が多く、風の強い日が多くなった。
	上旬 前半は大陸の高気圧が昭和基地付近に張り出し、晴れの日が多かったが、6 日頃から高気圧が衰弱し、昭和基地北側に低圧帯となったため、くもりや雪の日が多くなった。
	中旬 11 日に発達した低気圧が昭和基地の北から接近し、上空では昭和基地の西側で寒冷渦が停滞したため、地上の低気圧もほとんど停滞し、14 日までふぶきが継続して A 級ブリザードとなった。その後、大陸の高気圧が発達したため低気圧は昭和基地から遠ざかったが、くもりの日は継続した。
	下旬 昭和基地北側に低圧部となる状態が継続したため、くもりや雪の日が多かった。24 日には発達した低気圧が南下して昭和基地に接近し、ふぶきとなり、その後の低気圧の動きがゆっくりだったため 27 日までふぶきが継続し、B 級ブリザードとなった。低気圧通過後の 28-30 日は大陸の高気圧に覆われ快晴となった。
2009 年 5 月	月間を通して高気圧に覆われる日が多く概ね好天となったが、上旬の初めと下旬の初めには低圧部の影響によりくもりや雪となる日があった。また、中旬には発達した低気圧が接近し、二度のブリザードとなった。
	上旬 前半は昭和基地北東側に形成された低圧部のためくもりや雪の日が多かったが、後半は大陸および昭和基地北方の高気圧に覆われ晴れる日が続いた。
	中旬 旬の中ごろは大陸の高気圧に覆われ晴れる日が多かったが、発達した低気圧が北から接近した 12-13 日と 18-20 日にはそれぞれ B 級、A 級のブリザードとなった。
	下旬 旬の初めは昭和基地北東側の低圧部の影響でくもりや雪の日があったが、中ごろからは大陸および昭和基地北方の高気圧に覆われたため、上層雲の広がる日もあったが、概ね晴れる日が多くなった。
2009 年 6 月	月間を通して昭和基地付近が低圧部となっていたため雲の多い天気が続く、月平均雲量や雪日数が平年を上回った (平年値はそれぞれ 6.4、15.2 日)。また、度々の低気圧の接近に伴い暖気が流入したことから気温が高めで経過し、月平均気温が 6 月としては観測史上最も高い値となった。さらに、発達した低気圧の接近によるブリザードが月間 6 回、日数にして 10 日となった。
	上旬 1-2 日は南北にのびた高圧帯に覆われ晴れる日となったが、3 日ごろから低気圧が接近する日が増え、前線が通過した 5-7 日と気圧の傾きが大きくなった 9 日にはそれぞれ B 級、C 級のブリザードとなった。
	中旬 13-15 日には大陸から高気圧が張り出し快晴となったが、旬をとおして基地北側に形成された低圧帯のためくもりや雪の日が多く、発達した低気圧が接近した 15-16 日と 18-19 日にはそれぞれ A 級、B 級のブリザードとなった。
	下旬 旬を通して弱い低気圧が昭和基地付近に停滞したため、晴れた日はほとんどなかった。特に、低気圧が連続して接近し気圧の傾きが大きくなった 25 日と 26 日には、それぞれ C 級、B 級のブリザードとなった。
2009 年 7 月	上旬から中旬にかけては昭和基地に低気圧の接近した日が多くくもりや雪の日が多かったが、後半は高気圧に覆われて、晴れて気温の低い日が多くなった。また、発達した低気圧の接近によるブリザードは中旬までで 4 回となり、ブリザード日数は 11 日だった。
	上旬 8-10 日にかけては、南北にのびた高圧帯に覆われ晴れたが、2-5 日まで連続して発達した低気圧が接近したためブリザードとなった (A 級 2 回)。このため、旬平均気温は高く、旬平均風速は大きくなった。
	中旬 旬の初めは昭和基地付近が低圧部となったため、一時晴れる日もあったがくもりの日が多く、15 日以降には発達した低気圧の接近によりふぶきとなる日が多くなり、2 回のブリザードとなった (A 級 1 回・C 級 1 回)。
	下旬 旬の初めは低気圧の停滞によりくもりや雪の日が多かったが、旬の半ば以降は南北にのびた高気圧に覆われ、晴れて気温の低くなる日が多くなった (28 日以降、日最低気温が -30℃ 以下の日が続いた)。このため、旬平均気温は低く、日照時間旬合計は多くなった。

表 5 昭和基地における天気概況 (2009 年 2 月～2010 年 1 月) (2/2)

Table 5. Weather at Syowa Station (Feb. 2009–Jan. 2010). (2/2)

年・月	天気概況	
2009 年 8 月		月を通して昭和基地上空では寒気場が継続し、地上付近では低圧部となったため雲が広がりやすく、雪の日が多くなった。特に低気圧の接近した 16–18 日, 22 日, 26 日にはブリザードとなった。これに対し、高気圧に覆われ晴れた日には気温が下がり、最低気温が -30°C 未満となる日が連続することがあった。
	上旬	7 月下旬から 3 日にかけて南北にのびる高圧帯に覆われ晴れた日が続き, 1 日には第 50 次越冬開始以来最低の -38.5°C を記録した。その後は昭和基地付近で低気圧がほとんど停滞したためくもりや雪の日が多くなり、気圧の傾きが大きくなった 5–7 日にかけてはふぶき模様となった。
	中旬	13–15 日には大陸の高気圧に覆われ晴れた日となったが、そのほかの日には低気圧の影響で雪の日が多く、特に 16–18 日にかけては発達した低気圧の接近により A 級ブリザードとなった。
	下旬	旬を通して低気圧が昭和基地付近を通過する日が多く、特に気圧の傾きが大きくなった 22 日と 26 日にはともに C 級ブリザードとなったほか、雪の降る日が多くなったが、南北にのびる高圧帯に覆われた 28–29 日には晴れて気温が下がり、霧が発生した。
2009 年 9 月		上旬から中旬にかけては上空の高度場がゆっくり変化したため、高気圧に覆われて晴れる日と低気圧の接近によりくもりや雪となる日が数日ごとに変化していたが、下旬は低気圧が昭和基地に接近する日が多くなり、雪の日が多くなった。
	上旬	旬の前半は大陸の高気圧に覆われて晴れる日が続いたが、後半には発達した低気圧が接近したため雪やふぶきとなり、8 日からは A 級ブリザードとなった。
	中旬	旬の初めは低気圧が昭和基地付近でほとんど停滞したため、8 日から始まったブリザードが 12 日まで続いた。その後、15 日から 18 日にかけては北の海上を通過する低気圧によりくもりの日となったが、そのほかの日は大陸の高気圧に覆われて晴れた。
	下旬	旬の初めは大陸の高気圧に覆われて晴れたが、24 日ころからは発達した低気圧が接近したためくもりや雪の日となり、低気圧が昭和基地付近でほとんど停滞していた 26–28 日には A 級ブリザードとなった。
2009 年 10 月		上旬から中旬にかけては、昭和基地の北海上に低気圧が次々と通過したため低圧帯となることが多く、くもりや雪の日が多かったが、下旬には大陸または北海上からの高気圧に覆われて晴れる日が多くなった。
	上旬	4 日は北からの高気圧に覆われ晴れたが、旬を通して昭和基地の北側が低圧部になることが多く、雪の降る日が多くなった。また、7–8 日にかけては発達した低気圧が接近したため C 級ブリザードとなった。
	中旬	12–14 日にかけては、南北にのびた高圧帯に覆われ晴れたが、そのほかの日は大陸沿岸または昭和基地北海上に低圧帯が形成されることが多く、くもりの日が多くなった。特に 18–20 日には気圧の傾きが大きくなり一時ふぶきがあった。
	下旬	23–26 日と 28 日は、発達した低気圧の影響で気圧の傾きが大きくなり一時ふぶき (24–25 日は B 級ブリザード) となったが、そのほかの日は高気圧に覆われて晴れた。また、北海上からの高気圧に覆われた 31 日には霧が発生した。
2009 年 11 月		上旬と下旬は、昭和基地付近に低気圧が接近・通過したため雪の日が多く、特に発達した低気圧が接近した下旬には 2 回のブリザードが発生した (いずれも C 級)。それに対し、中旬は高気圧に覆われ晴れる日が多くなった。
	上旬	6–7 日は大陸の高気圧に覆われ晴れたが、旬を通して昭和基地付近が低圧場となっていたためくもりや雪の日が多くなった。また、気圧の傾きが大きくなった 3 日には地ふぶきが発生した。
	中旬	12–13 日は昭和基地の西に弱い低気圧が発生したためくもりの日となったが、旬を通して昭和基地付近は、北海上の高気圧または大陸の高気圧に覆われたため、晴れる日が多くなり、旬平均雲量は少なく、日照時間合計は多くなった。
	下旬	北海上の高気圧に覆われた 24–26 日は晴れたが、そのほかの日には昭和基地の北を発達した低気圧を通過することが多くくもりや雪の日となり、特に発達した低気圧の接近した 21 日と 29 日にはともに C 級ブリザードとなった。
2009 年 12 月		月の前半は高気圧に覆われて晴れる日が多かったが、後半は昭和基地の北が低圧場となる日が多くなり、雲の多い日が続いた。特に月末には発達した低気圧が昭和基地に接近し、その後もほとんど停滞したためふぶきとなった。ブリザードは発生しなかった。
	上旬	3–5 日は昭和基地の西側で弱い低気圧がほとんど停滞したためくもりや雪の日となったが、そのほかの日には南北に伸びた高圧帯に覆われたため晴れる日が多くなった。このため、旬平均雲量は少なく、日照時間合計は多くなった。
	中旬	13–16 日は南北に伸びた高圧帯に覆われ晴れる日となったが、そのほかの日は昭和基地の北を通過する低気圧の影響により雲の多い日となった。
	下旬	旬を通して昭和基地上空の流れが弱くなり、昭和基地の北で低気圧がほとんど停滞したためくもりの日が多くなった。このため、旬平均雲量は多い方の、日照時間合計は少ないほうの記録となった。また、30 日には昭和基地の北から発達した低気圧が接近したためふぶきとなり、年明けまで継続した。
2010 年 1 月		上旬から中旬にかけては、昭和基地の北が東西にのびる低圧帯となっていたためくもりの日が多く、特に上旬の日照時間合計は少ないほうの記録となった。また、低気圧の接近に伴い気圧傾度の強まった時にはふぶきとなった。下旬は大陸の高気圧に覆われ晴れる日が多くなり日照時間合計は多いほうの記録となった。ブリザードは発生しなかった。
	上旬	1–2 日は昭和基地北西で低気圧がほとんど停滞したため風がやや強く特に 1 日はふぶきとなった。その後も昭和基地の北が低圧帯となったためくもりの日が続いたが、8–9 日にかけては、大陸の高気圧に覆われたため晴れる日となった。
	中旬	15–17 日には発達した低気圧が接近し、それに伴う前線が通過したため吹雪となり、特に 15–16 日には月最大風速・月最大瞬間風速の大きいほうの記録となる強風となった。そのほかの日は、大陸の高気圧の盛衰により晴れる日とくもりの日を繰り返す天気となった。
	下旬	旬を通して大陸の高気圧に覆われる日が多かったため晴れる日が多かったが、29 日には低気圧が接近したため雲が多くなり、30–31 日は気圧の傾きが大きくなり風が強くなった。

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 00，12 UTC の 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 30 km までの気圧，気温，風向・風速及び気温が -40°C に達するまでの相対湿度の高度分布を観測した．12 UTC に KC-02G 型オゾンゾンデ（明星電気製）を飛揚する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）内に設置された全球気候観測システム（GCOS）の基準高層気象観測網（GUAN）観測点としての指定を受けており，「より高い高度までのデータ取得」を要請されている．このため，00 UTC の観測は高度 5 hPa の観測データ取得を目標とし，低温のため気球到達高度が低くなる極夜期を中心とした 5 月 1 日から 10 月 31 日ま

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
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
その他	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 ゾンデの各センサーの性能

Table 7. 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	気圧計非搭載	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 $^{\circ}\text{C}$	$\pm 0.5^{\circ}\text{C}$	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%	$\pm 7\%$ (10~95%) $\pm 10\%$ (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			

での期間は、より到達高度性能の高い1200 g気球を使用した高高度GPSゾンデ観測を行った。

飛揚直前には、受信信号周波数、GPS衛星信号、気温及び湿度に関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。

GPS受信演算処理器については、第49次隊越冬中に不具合が判明したため、第50次隊では改修した受信演算処理器を持ち込んだ。また、データ処理部PCも修理し持ち込んだ。これら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回線を利用して通報した。

観測器材を表6に、GPSゾンデの各センサーの性能を表7に示す。

3.2. 観測経過

2009年2月から2010年1月までの高層気象観測状況を表8に示す。

第50次隊として、2009年1月28日00UTCから2010年1月31日12UTCまで観測を行った。この期間中、ブリザードによる暴風雪などのため飛揚作業を取り止めた欠測が18回あった（2月20日12UTC、2月21日00UTC、3月8日12UTC、3月18日00UTC、4月13日12UTC、5月18日12UTC、5月19日00UTC・12UTC、6月16日00UTC・12UTC、7月3日12UTC、7月4日00UTC・12UTC、7月17日12UTC、8月17日00UTC、9月9日12UTC、

表8 昭和基地における高層気象観測状況

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

2009 年														2010 年	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	1 月		
飛揚回数		55	67	66	62	61	61	63	58	63	61	63	63	743	
定時観測回数		54	61	59	59	59	59	61	58	62	60	62	62	716	
欠測回数 (※1)		2	2	1	3	2	4	1	2	0	0	0	1	18	
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		1	6	7	3	2	2	2	0	1	1	1	1	27	
到達気圧 ／ 高度	00 UTC	回数	27	31	30	30	29	30	30	30	31	30	31	31	360
		平均 hPa	8.6	42.1	16.3	10.1	8.2	9.8	8.1	8.3	8.6	19.7	11.4	41.6	16.1
		平均 km	32.5	30.1	27.6	30.0	29.9	29.6	29.6	30.2	30.8	26.9	31.0	30.7	29.9
		最高 hPa	7.3	6.7	8.7	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	5.1	12.6	7.7	7.3	5.0
		最高 km	33.6	33.0	30.1	33.4	32.6	32.1	31.9	32.1	34.2	29.2	33.6	34.1	34.2
	12 UTC	回数	27	30	29	29	30	29	31	28	31	30	31	31	356
		平均 hPa	10.2	9.4	10.9	10.7	44.0	43.4	9.1	10.9	11.2	15.4	11.6	11.1	16.5
		平均 km	32.0	31.5	29.6	28.7	27.1	27.3	28.4	28.3	28.5	28.6	31.3	31.4	29.4
		最高 hPa	5.0	5.0	5.0	6.2	6.0	5.0	5.0	5.0	6.7	9.1	5.9	6.4	5.0
		最高 km	36.6	35.9	34.3	31.1	31.4	31.9	31.9	33.4	31.6	32.4	35.5	35.1	36.6

注) 観測システムの仕様により、観測できる最高到達高度（気圧）は5.0 hPaまでとなっている。

※1: 500 hPa 指定気圧面までのすべての観測値が得られなかった回数。

※2: 100 hPa 指定気圧面までのすべての観測値が得られなかった回数。

9 月 27 日 12 UTC, 2010 年 1 月 16 日 00 UTC).

冬期間は, 下部成層圏の低温によりゴム気球が硬化して到達高度が低下するのを防ぐため, 4 月 21 日 00 UTC から 11 月 30 日 12 UTC まで気球の油漬け処理を行った. なお, 油漬けの実施期間は成層圏の気温がおおむね -68°C を下まわる時期を目安とした. また, 1 年を通して, インキュベーターに入れて加温した気球を観測に使用した.

表 8 を見ると, 2009 年 3 月と 2010 年 1 月の 00 UTC 及び 2009 年 6 月と 7 月の 12 UTC 観測において, 極端に平均到達高度が低下 (平均到達気圧が上昇) している. いずれも, 地上付近の強風により放球後短時間で観測打ち切りとなったことが主な原因である (平均値の算出には, 500 hPa 指定気圧面までのすべての観測値が得られずに欠測となった観測データも使用されているため).

3.3. 観測結果

2009 年 1 月から 2010 年 1 月までの主な指定気圧面の高度, 気温, 風速の月平均値 (00 UTC の観測値による統計) を表 9 に示す. また, 2009 年 1 月から 2010 年 1 月までの 00 UTC 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.

2009 年 1 月は 200–50 hPa の指定気圧面付近で, 気温が平年より低かった. 2 月はすべての指定気圧面で平年並みの気温だった. 3 月は 300 hPa より下層で気温が平年より高く, 500 hPa での平年差は $+3.0^{\circ}\text{C}$ で高い方からの記録第 2 位であった. 4 月は平年並みの気温だった. 5–7 月にかけては, 700–300 hPa の指定気圧面付近における気温が平年より高く推移し, 特に 6 月の 500 hPa では 5.7°C , 400 hPa では 4.6°C 高かった. なお, 6 月の 700–300 hPa の指定気圧面における気温は, 月平均気温の高い方からの記録 (第 1 位) を更新した. 8–10 月にかけては, 100–30 hPa の指定気圧面付近の気温が平年より低く, 特に 10 月の 50 hPa では -11.9°C , 70 hPa では -9.8°C と平年より顕著に低くなっており, これらは月平均気温の低い方から第 2 位の記録となった. 成層圏の気温はその後急激に上昇し, 11 月の気温は, 30 hPa 面よりも下層では平年より高かった. 12 月は, 100 hPa 面よりも上空の指定気圧面で気温が平年値より高かった.

2009 年 1 月から 2010 年 1 月までの 00 UTC における指定気圧面の月平均気温, 風の東西並びに南北成分の平均値, 平年値, 平年偏差の時間高度断面図を図 5 に示す.

2009 年 5 月は, 上層ほど風の南北成分の正偏差が大きくなっていった. 5 月後半から 7 月は対流圏における風の南北成分の負偏差が大きく, 同領域での気温が月平均気温の高い方からの記録 (第 1 位) を更新したこととの関連がうかがえる. 特に, 6 月は 200–850 hPa の指定気圧面における月平均風速が大きい方からの記録 (第 1 位) を更新しており, 北からの暖気の輸送が顕著であったと考える. 10 月上旬は, 昭和基地が極夜ジェットの南側に位置し極渦の主流から離れたため, 成層圏の東西風が負偏差となった. また, 10 月の 50 hPa や

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)	2009 年													2010 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	1164	1142	1125	1148	1204	1176	1134	1128	1109	1118	1172	1180	1150	1238	
	800	1632	1608	1590	1603	1662	1633	1588	1572	1558	1572	1633	1645	1608	1708	
	700	2644	2615	2598	2592	2661	2630	2576	2542	2536	2558	2632	2654	2603	2726	
	600	3785	3747	3736	3705	3791	3762	3695	3641	3640	3671	3764	3792	3727	3873	
	500	5098	5049	5047	4981	5096	5066	4978	4904	4907	4952	5068	5101	5021	5193	
	400	6649	6590	6593	6487	6632	6596	6483	6390	6398	6461	6606	6643	6544	6751	
	350	7547	7481	7486	7359	7519	7478	7350	7249	7259	7332	7494	7532	7424	7652	
	300	8557	8487	8489	8344	8514	8465	8322	8215	8226	8309	8489	8529	8412	8662	
	250	9737	9675	9657	9498	9658	9599	9439	9327	9336	9430	9640	9683	9557	9842	
	200	11194	11157	11114	10930	11043	10960	10774	10656	10661	10768	11045	11103	10950	11308	
	175	12072	12048	11993	11791	11872	11768	11566	11440	11442	11558	11891	11959	11783	12192	
	150	13087	13077	13008	12783	12828	12699	12476	12338	12339	12464	12870	12949	12743	13215	
	125	14291	14292	14205	13951	13955	13795	13543	13391	13392	13525	14034	14127	13875	14424	
	100	15770	15779	15669	15370	15323	15121	14832	14665	14671	14810	15477	15585	15256	15907	
	70	18154	18160	18004	17617	17480	17204	16859	16673	16703	16843	17834	17975	17459	18296	
	50	20421	20413	20194	19714	19487	19131	18730	18542	18618	18763	20098	20293	19534	20575	
	40	21938	21910	21646	21081	20804	20390	19965	19772	19891	20052	21610	21849	20909	22096	
	30	23912	23849	23514	22845	22492	22002	21543	21352	21558	21761	23569	23866	22689	24065	
気温 (°C)	850	-8.6	-9.2	-10.5	-15.8	-15.0	-15.0	-17.1	-21.9	-19.2	-16.9	-12.5	-9.2	-14.2	-7.1	
	800	-11.3	-12.3	-12.7	-17.6	-15.8	-16.6	-18.6	-23.3	-21.0	-18.6	-14.7	-12.3	-16.2	-10.0	
	700	-17.3	-18.8	-18.0	-23.1	-20.0	-20.1	-22.4	-27.2	-25.3	-23.7	-19.8	-18.2	-21.2	-15.7	
	600	-23.7	-26.0	-24.1	-30.0	-25.3	-25.0	-28.6	-32.5	-31.7	-29.3	-25.3	-24.1	-27.1	-22.2	
	500	-30.7	-32.5	-31.5	-37.9	-32.7	-33.2	-37.2	-40.6	-39.8	-37.1	-32.6	-31.8	-34.8	-29.7	
	400	-40.7	-42.1	-41.6	-47.3	-43.1	-44.4	-48.2	-50.5	-49.9	-47.3	-42.9	-42.4	-45.0	-39.5	
	350	-46.3	-47.9	-47.7	-52.7	-49.4	-50.8	-54.5	-56.2	-55.8	-53.3	-49.2	-48.9	-51.1	-46.0	
	300	-51.5	-51.7	-53.9	-56.7	-55.9	-57.6	-60.7	-62.0	-62.0	-59.8	-55.4	-55.2	-56.9	-51.7	
	250	-51.8	-48.3	-52.5	-55.7	-60.6	-63.1	-66.7	-67.2	-67.7	-65.9	-58.7	-57.4	-59.6	-50.7	
	200	-48.9	-45.2	-48.4	-52.8	-60.9	-66.1	-70.0	-71.6	-72.5	-70.3	-57.0	-54.4	-59.8	-47.2	
	175	-48.3	-45.2	-48.2	-52.9	-61.1	-66.8	-70.9	-73.3	-73.8	-71.7	-56.6	-53.9	-60.2	-46.6	
	150	-47.8	-45.1	-48.5	-53.7	-61.5	-67.0	-72.2	-75.1	-75.0	-73.2	-55.9	-53.3	-60.7	-46.3	
	125	-47.4	-45.5	-49.0	-55.0	-62.6	-68.7	-74.4	-76.8	-76.6	-75.3	-53.9	-51.6	-61.4	-46.7	
	100	-45.9	-45.4	-49.1	-56.7	-65.0	-71.6	-77.1	-79.2	-78.1	-77.4	-50.5	-48.0	-62.0	-45.4	
	70	-43.8	-44.6	-49.8	-59.2	-67.9	-75.7	-80.7	-82.2	-78.8	-78.8	-44.8	-40.5	-62.2	-42.8	
	50	-41.6	-44.2	-50.7	-61.3	-70.8	-79.3	-83.4	-84.5	-78.6	-77.1	-42.0	-35.7	-62.4	-40.7	
	40	-39.8	-43.4	-51.0	-63.0	-72.0	-81.0	-84.6	-85.1	-77.5	-73.9	-41.1	-34.1	-62.2	-39.9	
	30	-37.7	-42.5	-51.5	-64.0	-73.4	-82.3	-85.7	-85.7	-74.4	-65.8	-39.7	-33.2	-61.3	-38.6	
風速 (m/s)	850	8.6	8.3	8.9	8.6	8.6	14.1	13.5	7.5	11.4	9.5	8.9	6.0	9.5	11.2	
	800	7.1	7.7	8.4	8.1	8.5	13.4	11.8	6.9	9.7	8.4	7.7	5.7	8.6	11.1	
	700	7.3	6.9	8.7	7.1	10.0	11.4	9.5	7.7	8.4	8.7	7.7	5.7	8.3	9.2	
	600	7.8	6.9	8.9	8.7	12.2	13.9	11.1	7.6	8.6	9.1	8.5	5.6	9.1	9.7	
	500	10.9	7.2	9.1	10.7	15.0	16.9	13.9	10.2	10.1	11.2	10.4	6.8	11.0	10.3	
	400	15.6	9.3	12.3	14.0	17.9	20.7	17.6	12.4	12.6	15.5	12.4	9.3	14.1	10.4	
	350	18.3	10.7	14.9	15.3	20.7	23.3	18.1	13.0	14.3	16.8	12.9	10.9	15.8	11.7	
	300	19.3	11.1	15.1	16.2	22.7	25.3	18.7	14.2	16.0	18.8	14.1	11.7	16.9	11.9	
	250	16.4	9.9	12.7	14.9	23.4	25.6	17.9	15.2	14.8	19.0	13.6	9.7	16.1	8.4	
	200	13.2	8.1	10.2	13.6	18.8	23.0	16.1	15.3	14.1	16.9	16.0	7.4	14.4	5.8	
	175	11.9	7.9	10.1	13.4	18.5	21.9	14.1	15.8	14.3	15.9	18.3	7.3	14.1	5.5	
	150	11.8	8.0	10.2	13.7	19.6	20.5	14.6	16.8	14.9	15.8	22.2	7.4	14.6	4.7	
	125	11.4	7.6	9.9	14.1	20.3	20.9	15.6	18.8	16.5	15.9	26.7	7.7	15.5	4.8	
	100	10.8	7.0	9.7	14.7	21.6	23.7	18.1	21.7	19.6	17.1	32.4	8.3	17.1	4.4	
	70	8.7	6.4	9.0	17.0	25.8	28.0	22.0	26.9	26.1	20.3	38.3	10.3	19.9	3.3	
	50	5.1	4.9	9.0	19.1	27.4	32.8	26.1	31.5	32.8	23.0	38.6	10.7	21.8	4.4	
	40	4.5	5.1	9.3	20.9	31.2	36.3	29.7	34.5	37.6	25.5	38.0	10.6	23.6	4.9	
	30	5.3	4.3	10.2	23.3	34.6	41.3	33.1	38.2	45.0	26.9	36.1	7.6	25.5	6.2	

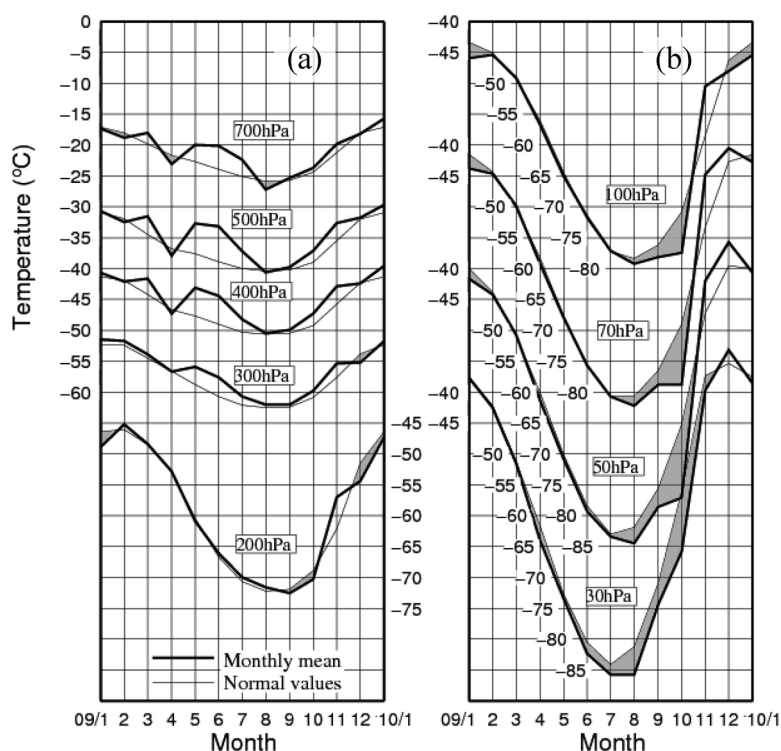


図 4 指定気圧面の月平均気温の年変化（2009 年 1 月～2010 年 1 月）と月平均気温平年値（1971–2000 年）の年変化（00 UTC）
(a) 700–200 hPa, (b) 100–30 hPa

Fig. 4. Annual variations in monthly mean upper air temperature (Jan. 2009–Jan. 2010) and normal values (1971–2000) at Syowa Station at: (a) 700–200 hPa and (b) 100–30 hPa.

70 hPa の気温は月平均気温の低い方から第 2 位を記録した。これは、10 月の成層圏では、この付近の風の南北成分の正偏差が大きかったことから、南からの寒冷な大気の輸送が平年よりも大きかったためと考える。一方、10 月下旬になると、成層圏の東西風が正偏差に、南北成分の平均値は負偏差に転じ、気温は急上昇している。また、風の東西成分の平均値は一時的に上昇し、その後急降下している。これらのことから、この時期に極渦の変形、縮小に伴って昭和基地の北側に位置していた極夜ジェットが昭和基地上空にかかり、その後さらに極渦の変形・縮小が進み、昭和基地は極渦の北側に脱したものと考える。

2009 年 1 月から 2010 年 1 月までの 00 UTC における昭和基地上空の気温の時間高度断面図を図 6 に示す。成層圏で -70°C 以下の領域がはっきりと現れたのは 5 月上旬で、一時的に気温が上昇したが、中旬以降は -70°C 以下の領域が拡大し続けた。5 月下旬には -80°C 以下の領域が現れ、6 月上旬には -85°C 以下の領域も現れた。6 月 2 日に 10 hPa で観測した -86.9°C は、6 月の最低気温の低い方からの記録（第 1 位）を更新した。6 月下旬からは

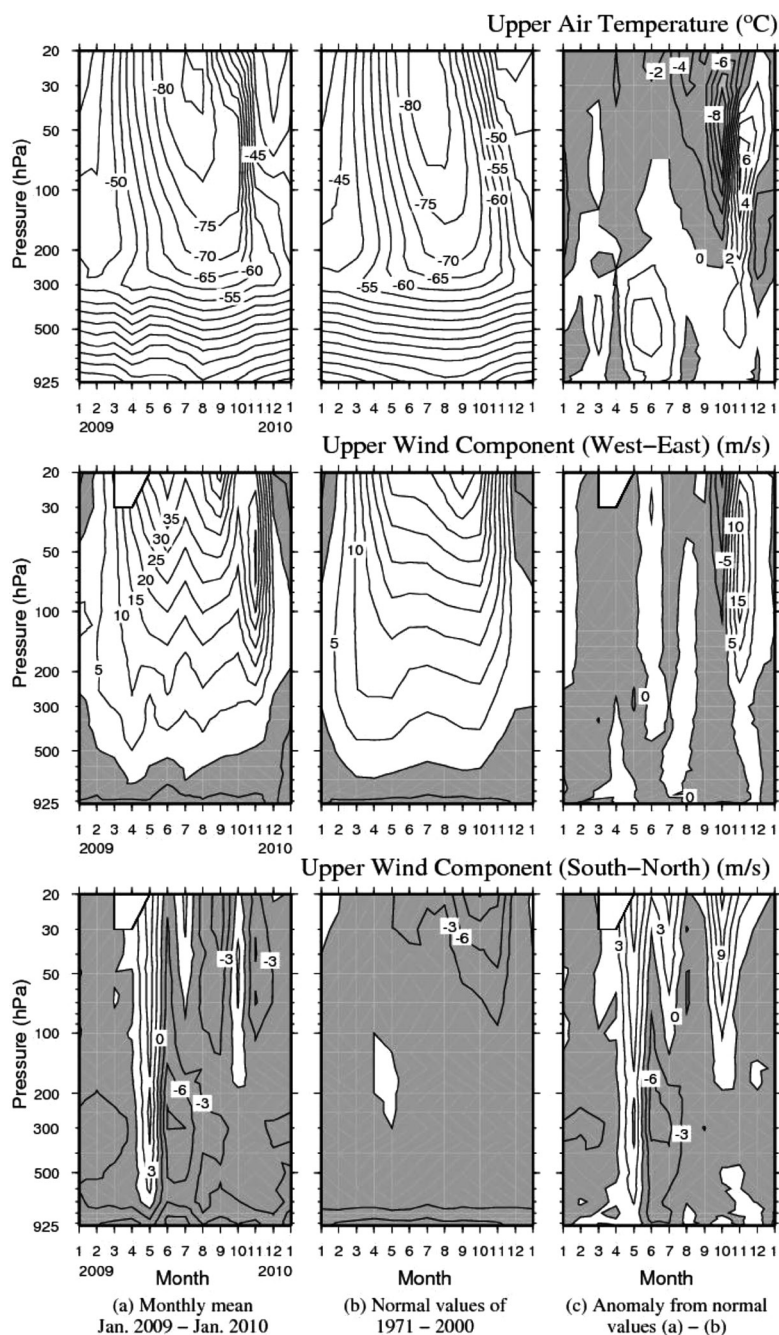


図 5 指定気圧面における気温と風の東西成分・南北成分の観測結果
(a) 月平均値, (b) 平年値 (1971–2000 年), (c) 平年値からの偏差, 上・中・下段はそれぞれ気温, 風の東西成分, 同南北成分。

Fig. 5. Annual variations in upper air temperature ($^{\circ}\text{C}$) and upper wind components (m/s) (left), normal values (1971–2000) (middle), and anomalies (right).

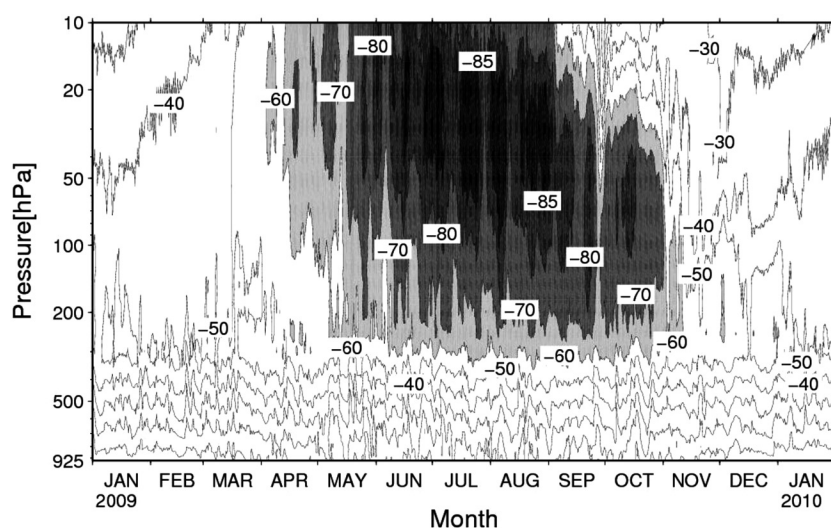


図 6 昭和基地上空の気温の時間高度断面図（2009 年 1 月～2010 年 1 月）
薄灰色域： -60°C 以下，灰色域： -70°C 以下，濃灰色域： -80°C 以下，黒色域： -85°C 以下

Fig. 6. Time-height cross-section of upper air temperature (Jan. 2009–Jan. 2010).
The light gray area indicates the region at -60°C or below; the gray area indicates the region at -70°C or below; the dark gray area indicates the region at -80°C or below; and the black area indicates the region at -85°C or below.

-85°C 以下の領域がしっかり現れるようになり，9 月上旬まで断続的に現れた。

成層圏突然昇温は極夜明けの時期に観測されるが，WMO への通報基準である「最大昇温度が 25°C / 7 日以上の上昇」は，9 月下旬に 10 hPa で 33.0°C ，15 hPa で 43.6°C ，20 hPa で 48.8°C ，30 hPa で 40.9°C ，40 hPa で 35.9°C ，50 hPa で 28.7°C ，10 月下旬から 11 月上旬に 40 hPa で 27.1°C ，50 hPa で 27.8°C ，11 月中旬に 70 hPa で 25.7°C ，100 hPa で 26.4°C の 10 事象を観測した。

11 月中旬以降は -60°C 以下の領域が観測されなくなった。これは，10 月下旬から 11 月上旬にかけて，昭和基地が極渦の圏内から脱したためと考える。

図 7 に南半球月平均 500 hPa 高度及び平年偏差を，図 8 に南半球月平均 30 hPa 高度及び平年偏差を示す。これらは，長期再解析データ JRA-25 より作成されたもの（http://www.data.jma.go.jp/gmd/cpd/db/diag/db_hist_mon.html）で，平年偏差は月平均高度場から平年値（1979–2004 年）を差し引いたものである。

500 hPa の月平均高度場においては，2009 年 2 月にはすでに 5100 m 以下の領域が出現し，高度の傾きが強化されていた。4 月には波列状の偏差分布が明瞭となり，4 波が卓越した。5–6 月にかけては，昭和基地上空では正偏差が明瞭になった。これは，図 5 に示す昭和基地の対流圏における気温の平年偏差（正偏差）に対応している。7 月から翌 1 月にかけては，

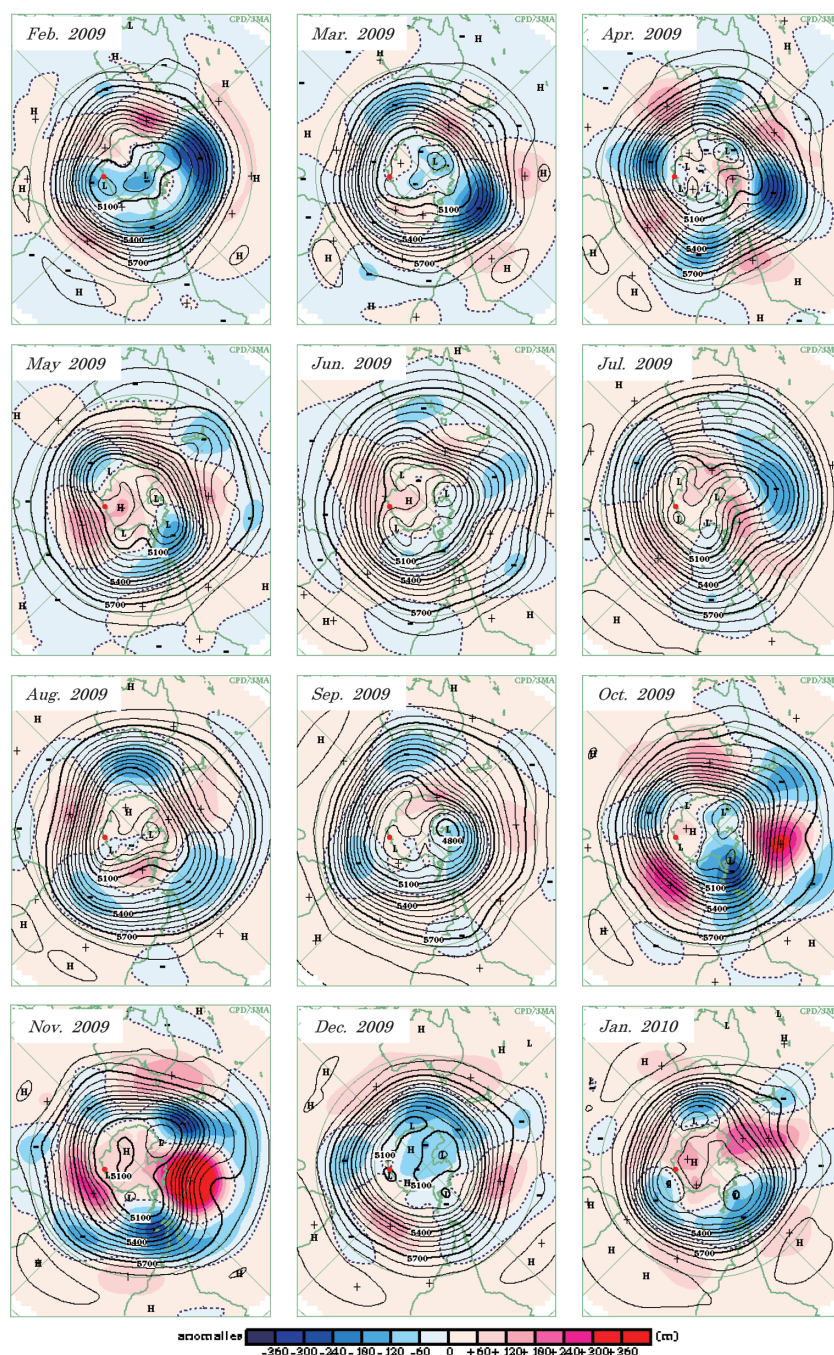


図 7 南半球月平均 500 hPa 高度 (実線) 及び年偏差 (陰影) (2009 年 2 月～2010 年 1 月) 赤丸印は昭和基地の位置を示す。

Fig. 7. Monthly mean 500 hPa height (solid line) and anomaly (shaded) (Feb. 2009–Jan. 2010). Red solid circle shows the location of Syowa Station.

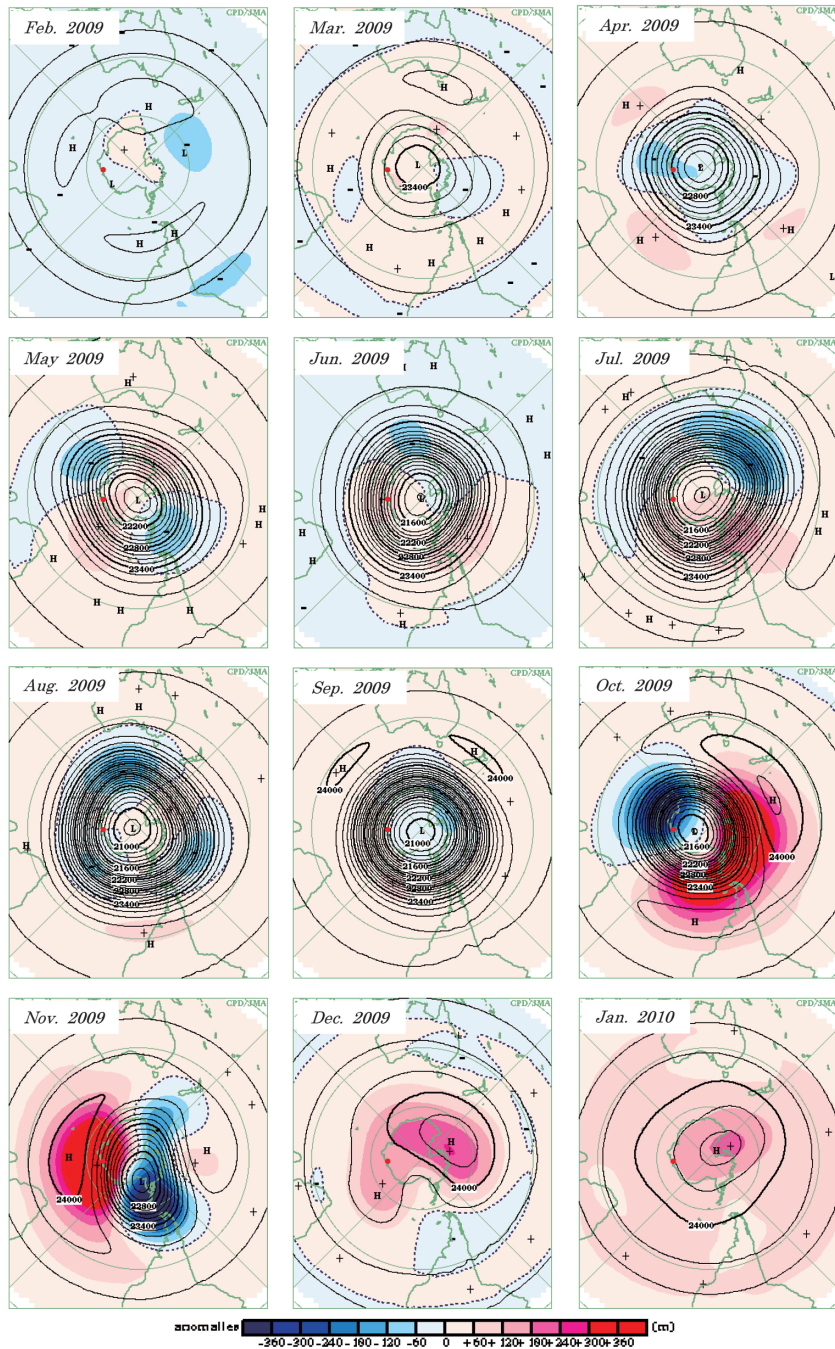


図 8 南半球月平均 30 hPa 高度（実線）及び平年偏差（陰影）（2009 年 2 月～2010 年 1 月）
赤丸印は昭和基地の位置を示す。

Fig. 8. Monthly mean 30 hPa height (solid line) and anomaly (shaded) (Feb. 2009–Jan. 2010).
Red solid circle shows the location of Syowa Station.

3 波の波列状の偏差分布が明瞭であったり不明瞭であったりした。高緯度域では、11 月は正偏差が卓越したが、12 月には負偏差に転じ、2010 年 1 月には再び正偏差が卓越した。

30 hPa の月平均高度場においては、2009 年 4 月以降強化されていった極渦は、8 月に最盛期にまで発達した。8 月の極渦の中心はほぼ平年並みの位置だった。10 月は、波数 1 の偏差分布が明瞭となり、昭和基地付近は負偏差が大きかった。このことは、図 4 に示した成層圏の気温が平年よりも著しく低かったことに対応している。11 月の昭和基地付近は 10 月とは逆に正偏差が大きくなり、図 4 に示したとおり成層圏の気温が平年よりも高くなった。極渦の崩壊は平年よりも早かった。

4. オゾン観測

4.1. 観測方法と測器

オゾン観測は、ドブソンオゾン分光光度計 (Beck119) を用いたオゾン全量・反転 (高度分布) 観測, KC-02G 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、ドブソンオゾン分光光度計を用いて、太陽の直射光及び天頂散乱光、月の直射光による観測を行った。測器の

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 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)
			℃	気温	
			%	湿度	
			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 (第 49 次持ち込み分の一部は B91RS 型注水電池) 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
地上オゾン 濃度観測	オゾン濃度計	Dylec MODEL1100	0-200 ppbv	観測装置	紫外線吸収法, 最小感度 0.1 ppbv, 12 秒サンプリング
	空気精製器	Dylec MODEL1400		検定装置	原料ガス (空気) を乾燥後, 含まれるオゾン进行分解, NO ₂ を除去し精製する
	オゾン発生器	Dylec MODEL1410	0-1000 ppbv		UV ランプによる紫外線照射

保護のため、観測は降水や強風時を除いて実施した。

太陽光による観測は北中時と午前及び午後各 2 回の毎日 5 回実施を基本とし、観測時刻は μ （オゾン層を通過する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。

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、ドブソンオゾン分光光度計を用いて、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° の範囲で、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、新たに天頂雲検出器（宮川・上野，2008）を測器に取り付けて運用した。

4.1.3. 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）に準じ、KC-02G 型オゾンゾンデを気球につり下げ、上空約 35 km までのオゾン分圧、気圧、気温、風向・風速の高度分布を観測した。

オゾンゾンデは、ポンプで大気を吸入し、大気中のオゾンと反応液（ヨウ化カリウム及び臭化カリウムの水溶液）との化学反応の際に生ずるオゾン量に比例した反応電流を測ることによりオゾン量を求めている。オゾンゾンデの信号を受信する地上設備は、高層気象観測と同じものを使用した。オゾンゾンデ飛揚前の校正・点検には、オゾン発生器及びオゾンゾンデ試験器を用いた。ほとんどの観測で 50 m 巻下器を使用した。気球は 2000 g のゴム気球を使用し、ヘリウムガスを充填して浮力^{ふりよくすい} 3400 g（巻下器不使用時は 3200 g）とした。また、4-11 月の到達高度が低くなる期間は、高層気象観測と同様にゴム気球の油漬け処理を行った。さらに、上空で温度が極端に低くなる時期には、オゾンゾンデ内に収納されている注水電池とポンプ及び反応管との間の仕切りに小さな穴を開け、注水電池の発熱を利用して反応液の凍結を防ぐなどの低温対策を行った。

観測は原則として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た。原則として風が弱く晴天の日を選び、12UTCの高層気象観測を兼ねて行った。

データの解析は観測終了後直ちに行った。また、極夜期などのドブソンオゾン分光光度計によるオゾン全量観測値が得られない場合を除き、飛揚当日のオゾン全量観測値を用いて補正を行った。

4.1.4. 地上オゾン濃度観測

第38次隊（1997年1月）より開始した地上オゾン濃度観測（江崎ほか，2000）を第50次隊も引き続き行った。観測は、大気取り入れ口からテフロン配管を通して粗引き用の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1.5lでオゾン濃度計に取り入れて、地上付近の大気に含まれる微量のオゾンを紫外線吸収方式のオゾン濃度計（Dylec 製 MODEL1100）で12秒ごとに測定した。データは収録用PC内のハードディスク及び光磁気ディスクに収録するとともに自記紙に記録した。

観測装置は、第49次隊から基地の中で主風向の風上となる北東側に位置する清浄大気観測小屋に設置しており（図1、⑥の位置）、大気取り入れ口は、同建物主風向側（北東側）の地上から4mの高さとしている。

気象部門のオゾン濃度計は計4台で運用しており、昭和基地には観測現用器と予備器の2台を保有し、残りの2台は帰国隊が国内に持ち帰り、オーバーホール及び気象庁本庁での検定を行った後、再び次の隊が昭和基地に持ち込む運用としている。濃度計内部の部品（水銀ランプ、電磁弁など）の消耗から濃度計1台の運用時間は合計で1年程度が適当であるため、持ち込んだ2台を原則として半年ずつ観測に使用することで、国内の検定、昭和基地で濃度計を交換する際に行う比較観測を含めて、各濃度計の運用時間が1年以内となり、安定した運用を行うことができる。第43次隊までは、気象庁南極観測事務室の検定装置により使用前検定及び使用後検定を行っていたが、気象庁が観測に使用するすべてのオゾン濃度計に対してデータの均質性を確保するため、第44次隊以降は検定を気象庁地球環境・海洋部環境気象管理官（以下「環境気象管理官室」）において一括して実施している。現在昭和基地で使用するオゾン濃度計も、環境気象管理官室の検定装置により使用前検定及び使用後検定を行っている。

第50次隊では、第48次隊が昭和基地において1年間観測に使用し持ち帰った2台のオゾン濃度計（A166, A456）を国内で引き継ぎ、環境気象管理官室の検定装置により使用後検定を実施し、オーバーホールと使用前検定を行った。この際にA166の機器状態が安定しなかったため、昭和基地での観測では使用できないと判断した。このため、急きょ国立極地研究所所有の同型機（A1111-1）の使用前検定を実施して予備機とし、A456とともに昭和基地に持ち込み2台保有する状態を維持した。前述のように、例年濃度計は半年ずつ使用する運用計画ではあるが、A1111-1は借用物であるため、第50次隊では故障がない限りA456を正

器として運用する計画とした。昭和基地では、第 49 次隊が持ち込んで使用していた 2 台のオゾン濃度計 (101A, 101B) との相互比較を行った後に、観測に使用した。第 49 次隊持ち込みの当該機器は同隊が国内に持ち帰り、環境気象管理官室の検定装置での使用後検定の後、オーバーホールされた。

4.2. 観測経過

4.2.1. オゾン全量観測

第 49 次隊より測器を引き継いで観測を行った。越冬中は長期にわたる測器障害もなく、おおむね順調であった。

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が、晴天が続いていたとしても、観測可能な月齢や μ の条件がそろう日数は月に 10 数日程度であった。

4.2.2. オゾン反転観測

測器の状況は 4.2.1. に記述したとおりで、観測はおおむね順調であった。

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(太陽が昇らない期間)とその前後の太陽高度角が低い 4 月下旬～8 月中旬及び太陽が沈まない 12 月中旬～1 月上旬は、4.1.2. に記述したオゾン量の高度分布を算出するために必要なデータセットが得られないため観測を行わなかった。観測が可能な期間には午前と午後で 1 日 2 回の観測機会があるが、観測が成立するためには安定した晴天が長時間続く必要がある。第 50 次隊では多くの観測成立事例を収集するため、反転観測開始時(午前であれば太陽天頂角が 90° すなわち日出時、午後であれば太陽天頂角が 60° または 80° のとき)に晴天であった場合には、最終的に成立するかどうかに関わらず反転観測を開始することとし、期間を通

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 total number of ozone and ozone Umkehr observations using the Dobson spectrophotometer at Syowa Station.

年		2009											2010	合計
月		2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	1	
全量観測日数		24	25	22	10	4	7	15	24	26	26	29	31	243
回数 内訳	AD 直射光	74	74	20	0	0	0	8	81	85	105	93	98	638
	CD 直射光	59	64	45	0	0	0	23	84	84	99	90	89	637
	AD 天頂光	111	111	77	1	0	0	30	110	107	126	141	136	950
	CD 天頂光	85	100	80	1	0	0	31	111	107	120	140	127	902
	月光	0	20	18	108	46	79	48	46	2	0	0	0	367
反転観測日数		8	8	3	0	0	0	1	12	14	13	2	11	72
回数 内訳	ロング	9	6	0	0	0	0	0	5	15	18	3	15	71
	ショート	1	4	4	0	0	0	1	14	2	2	0	0	28

じて計 72 日（ロング反転 71 回，ショート反転 28 回）の観測成立事例を得た。

4.2.3. オゾンゾンデ観測

第 50 次隊では，定常気象観測用のオゾンゾンデを 54 台持ち込み，第 49 次隊より 8 台を引き継いだ。また，60 台のオゾンゾンデを飛揚し，2 台を第 51 次隊に引き継いだ。第 49 次隊で持ち込まれたオゾンゾンデについては受信信号にノイズが混入する不具合があったことから，第 49 次隊が実施したのと同様に，ゾンデ基板の集積回路に信号ケーブルを直付けする改造を行うことで，おおむね正常なデータを取得できるようになった（吉見ほか，2013）。その一方で，第 50 次隊が持ち込んだオゾンゾンデは信号ケーブルにノイズ軽減のためのシールド加工を行ったものであったが，変調不良となる不具合がしばしば発生した。6 月 13 日以降，GPS ゾンデ部とオゾン測定部をつなぐ信号ケーブルにアルミホイルを巻くことで，各月ともおおむね順調に観測データを取得することができた。さらに，11 月 18 日以降は第 51 次隊が持ち込んだフェライトコアフィルタをオゾン測定部回路基板近くに取り付ける対策を追加した。

オゾンゾンデの観測状況を表 12 に示す。極夜期には，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）が得られない観測が 4 回あった。また，ドブソン比が規定範囲外となった 2 回と，気球破裂や変調不良によりオゾンゾンデ観測最終高度が 30 hPa に達しなかった 8 回は，それぞれ統計外とした。

表 12 KC-02G 型オゾンゾンデ観測状況
Table 12. Observation dates and height of ozonesonde (KC-02G).

年 月		2009 年															
		2 月		3 月		4 月		5 月		6 月		7 月					
日 観測 終了 気圧 (hPa)	1	21.7	*2	7	5.0	1	37.9	*3	8	7.8	5	150.9	*3	1	5.9		
	11	222.8	*3	16	4.5	6	7.6		11	98.6	*3	13	43.8	*3	9	8.7	
	13	4.4		24	4.0	19	700.4	*3	15	11.0		14	8.5		15	4.9	*1
	23	5.4				27	7.2					23	3.8	*1	23	4.4	*1
															29	6.1	
年 月		2009 年												2010 年			
		8 月		9 月		10 月		11 月		12 月		1 月					
日 観測 終了 気圧 (hPa)	2	4.6		1	7.3	4	9.3		6	10.5		3	5.9		4	6.8	
	10	5.4	*1	3	4.6	12	20.9	*2	8	42.0	*3	8	7.7		24	6.4	
	12	6.4		7	7.0	14	6.7		11	11.8		14	7.2				
	14	5.3		13	8.9	20	7.1		14	10.6		16	8.3				
	20	5.1		15	8.1	22	9.1		18	12.3		23	6.9				
	23	6.9		20	5.0	28	7.8		25	11.7		28	99.9	*3			
	27	4.9		22	6.5				30	9.1							
				24	6.0												
				30	9.2												

注 *1: 極夜期で月光によるオゾン全量観測が出来なかったため，ドブソン比（補正係数）なし。

*2: ドブソン比（補正係数）が規定範囲外のため，統計外。

*3: 気球破裂・変調不良により最終高度が 30hPa に達せず，統計外。

4.2.4. 地上オゾン濃度観測

2009 年 1 月 16 日から、第 49 次隊が使用したオゾン濃度計 101A と 101B 及び第 50 次隊が持ち込んだオゾン濃度計 A456 と A1111-1 の相互比較を行い、精度を確認したのち、比較観測を開始した。開始後、日点検で A1111-1 の流量が安定していないことが何回か見受けられ、観測値もほか 3 台より数 ppb 低く記録されていた。これは観測装置の配管変更をしても改善されなかったが、1 月 26 日に 101A と 101B を取り外して、A456 と A1111-1 の 2 台の並行観測を開始したところ、A1111-1 の流量は安定し、濃度差も観測精度内となった。4 台で同時に大気を吸引する際は A1111-1 の濃度計内ポンプ機能がほか 3 台よりやや劣り安定しにくかったものと考えられたが、2 台では流量及び観測値は安定したので通常の観測では支障はないと判断し、同日から A456 を正器、A1111-1 を副器として観測を開始した。2 月 23 日に A1111-1 は予備機として取り外し、A456 のみでの観測を開始した。

4 月 18 日から 19 日にかけて年 1 回の保守として大気取り入れ口、観測装置配管、濃度計前フィルタの交換を実施した。7 月 20 日から 8 月 31 日まで A456 と A1111-1 の並行観測と相互比較を行い、精度内の器差であることを確認した。A456 の水銀ランプの照度などに劣化がみられなかったことから、当初の運用計画どおり、その後も A456 での観測を継続した。

越冬期間中を通しては、ブリザード時に大気取り入れ口が雪で詰まることから、雪詰まりの影響を受けたと推察される期間と詰まった雪の除去作業期間を欠測とした。また、明らかに基地内の汚染の影響を受けていると判断できた場合も欠測としたほかは、次隊への引き継ぎ時期まで観測はおおむね順調であった。

観測を引き継ぐ第 51 次隊は、地上オゾン観測システムの更新計画があり、新規購入した紫外線吸収方式のオゾン濃度計（荏原実業製 EG-3000F）2 台を持ち込んでいた。2009 年 12 月 24 日に、第 51 次隊の持ち込んだオゾン濃度計 2 台と、第 50 次隊使用の A456 と A1111-1 の合計 4 台で、オゾン発生器により生成したオゾンが一定濃度の試料で相互比較を行い、器差に異常がないことを確認後、大気試料の並行観測を開始した。また、第 51 次隊が 1 月 7 日に大気取り入れ用のポンプ、室内配管などの観測装置を更新した。しかし、1 月 11 日に機器点検を行ったところ、配管が不適切で室内の空気を観測する流路となっていたことが判明し、修正した。また、1 月 6 日までのデータを確認したところ、4 台すべてで濃度の周期的な変動が観測されていた。この濃度変動は 4 台同時観測の配管にしたために流量が安定しなかったことが原因と考えられた。以上のことから、並行観測を開始した 12 月 24 日から適切な配管、流量に修正した 1 月 11 日までを欠測とした。その後、第 50 次隊の越冬終了の 1 月 31 日まで、並行観測を行いながら A456 を正器として観測を行った。

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。

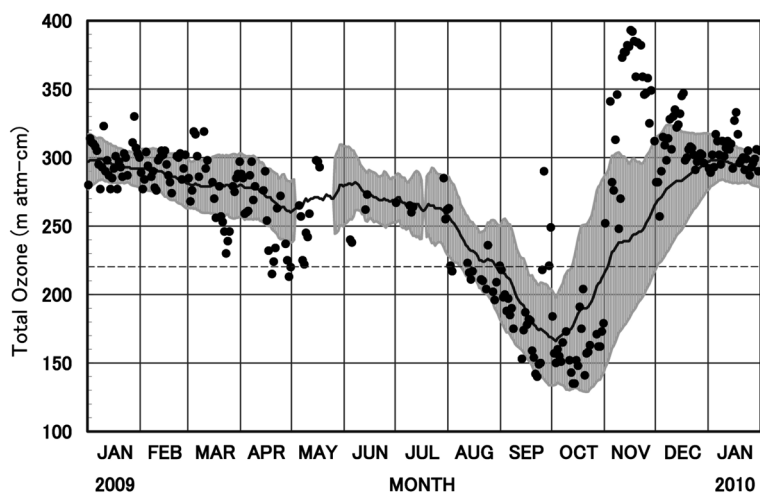


図 9 昭和基地におけるオゾン全量日代表値の年変化 (2009 年 1 月～2010 年 1 月)
 実線と陰影部はそれぞれ参照値 (1994–2008 年) とその標準偏差 (σ) を、
 破線はオゾンホール目安である 220 m atm-cm の値を示す。5 月と 7 月の一
 部期間は、過去データの不足のため標準偏差がない。

Fig. 9. Annual variations in total ozone at Syowa Station (Jan. 2009–Jan. 2010).

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 220 m atm-cm.

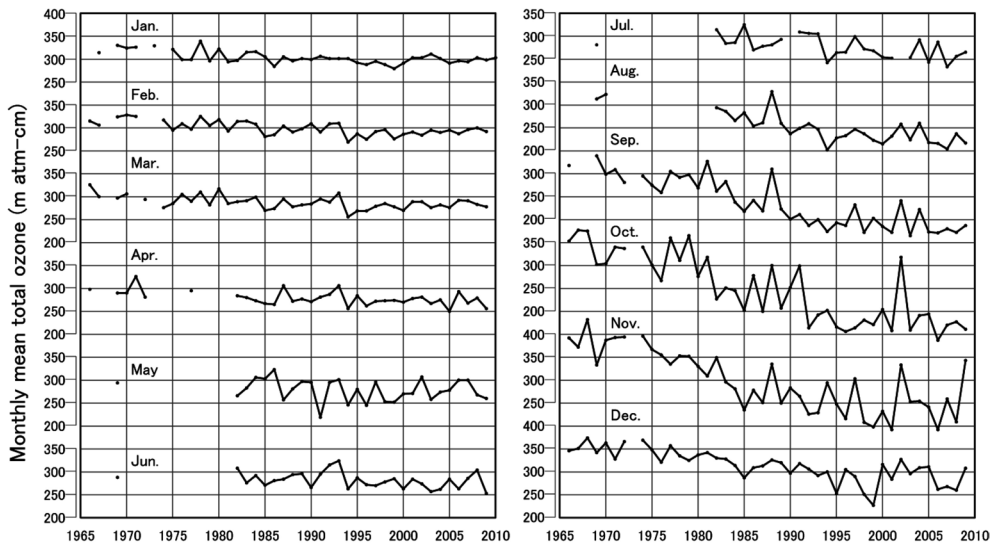


図 10 昭和基地における月平均オゾン全量の経年変化 (1966 年 2 月～2010 年 1 月)

Fig. 10. Time series of monthly mean total ozone at Syowa Station (Feb. 1966–Jan. 2010).

これらの観測データは、気象庁から WMO 世界オゾン・紫外線資料センター (WOUDC) へ送られた。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）によりインテルサット衛星回線を利用して毎日 1 回通報した。地上オゾンの観測結果も、気象棟（図 1、①の位置）に設置されている 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）へ送られた。

4.3.1. オゾン全量観測

2009 年 1 月から 2010 年 1 月までのオゾン全量日代表値の年変化を図 9 に示す。昭和基地上空のオゾン全量は、8 月中旬から 10 月下旬まではおおむね参照値（1994–2008 年の平均値）並みに推移し、オゾンホールを目安となる 220 m atm-cm をほぼ継続して下回った。特に 9 月下旬と 10 月中旬には非常に少ないオゾン全量が観測され、10 月 13 日と 14 日に 2009 年の最小値である 135 m atm-cm を記録した。11 月はじめにはオゾン全量が一気に増加し、11 月は参照値を大きく上回って推移した。これは、昭和基地上空がオゾンホールから抜けて、オゾンホールの周囲のオゾン濃度の高い領域に覆われたことにより、オゾン全量が回復したためと考える。

昭和基地における月平均オゾン全量の経年変化を図 10 に示す。4 月の月平均オゾン全量（256 m atm-cm）は過去 2 番目に、8 月の月平均オゾン全量（217 m atm-cm）は過去 5 番目に、10 月の月平均オゾン全量（161 m atm-cm）は過去 5 番目に少なかった。6 月の月平均オゾン全量（253 m atm-cm）は過去最も少なかったが、例年 5–7 月は極夜期で月光による観測のみが行われるため、月間の観測日数が非常に少なくなることには注意が必要である。11 月の月平均オゾン全量（343 m atm-cm）は、オゾンホールが明瞭に現れる以前の 1961–1980 年の平均オゾン全量（367 m atm-cm）に近く、顕著に多かった。

4.3.2. オゾン反転観測

2009 年 1 月から 2010 年 1 月までのオゾン反転観測（ロング反転観測）による気層別オゾン量の高度分布を図 11 に示す。2009 年 4–8 月はロング反転観測データが得られなかったため表示していない。計算アルゴリズムは、従来の Mateer and DeLuisi（1992）から Petropavlovskikh *et al.*（2005）の手法に変更した。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 月は第 2・3・4・5 層（253–15.8 hPa）のオゾン量が少ない状態で推移し、特に第 3・4 層は非常に少ない状態であった。しかし、その後 11 月に第 2・3・4・5 層でオゾン量が急増し、そのほかの層でもオゾン量の増加がみられた。第 8・9・10 層（3.96 hPa より上層）のオゾン量は 1–3 月にかけて増加し、9–10 月にかけて減少する傾向であった。

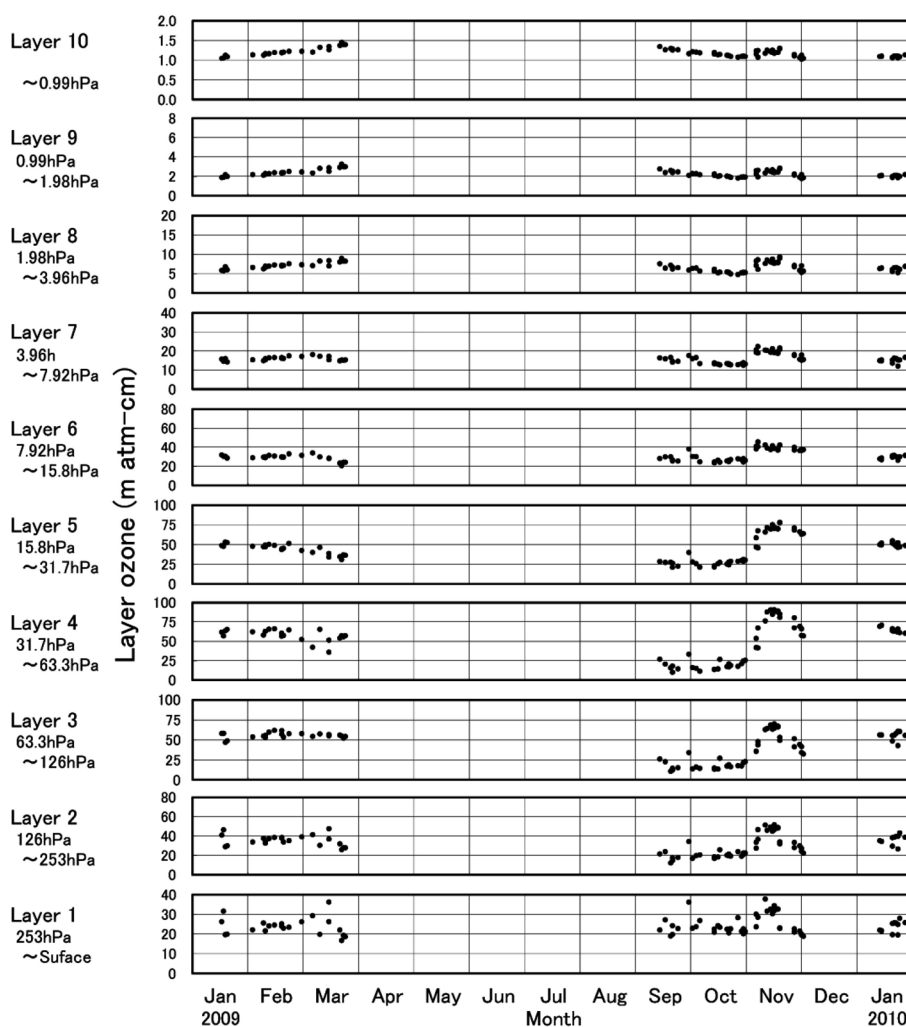


図 11 昭和基地における反転観測による気層別オゾン量 (2009 年 1 月～2010 年 1 月)

Fig. 11. Amount of ozone in selected layers obtained by Umkehr observations at Syowa Station (Jan. 2009–Jan. 2010).

4.3.3. オゾンゾンデ観測

2009 年 1 月から 2010 年 1 月までのオゾン分圧の時間高度断面を図 12 に、2009 年 8 月から 2010 年 1 月までのオゾン分圧の高度分布を図 13 に示す。昭和基地上空のオゾン分圧は、過去のデータからみて、オゾンの顕著な破壊がなければ 100–40 hPa 付近で最大の高度分布となる。図 12 を見ると、1–7 月はこの高度付近にオゾン分圧 10 mPa 以上の領域が厚さおおむね 4 km 以上で広がっていたが、8 月上旬からオゾンの破壊が進み、9 月中旬から 10 月下旬にかけてはオゾン分圧が極めて少ない 2.5 mPa 未満の領域が広がった。このことは、図 13

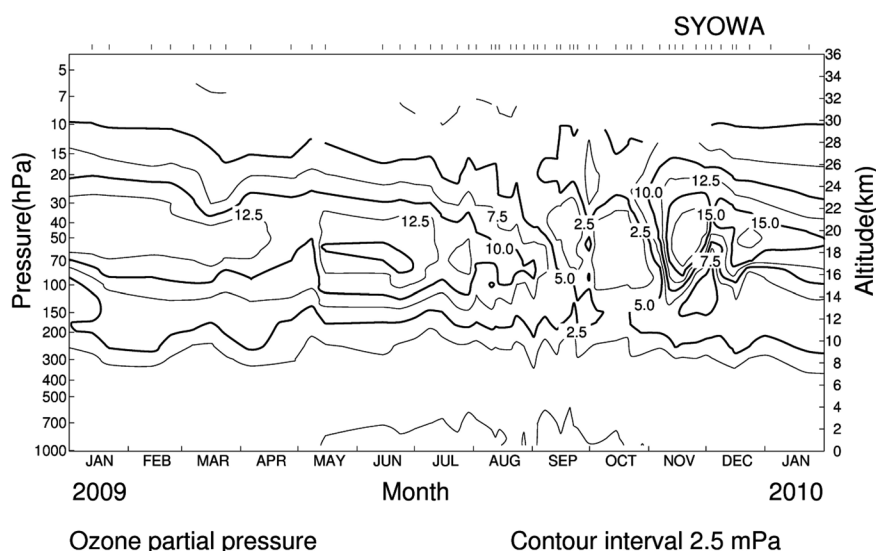


図 12 昭和基地におけるオゾンゾンデ観測によるオゾン分圧の時間高度断面図（単位：mPa，2009 年 1 月～2010 年 1 月）

Fig. 12. Time-height cross-section of ozone partial pressure (mPa) from ozonesonde observations at Syowa Station (Jan. 2009–Jan. 2010).

の 10 月にもみられるように、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を示している。図 12 の 5 mPa 線に着目すると、8–10 月にかけて、オゾンの破壊及び回復が、ともに上層から下層へ進行していく傾向が見てとれる。11 月上旬にオゾンが一気に回復しているのは、昭和基地上空がオゾンホールから抜けたためと考える。

4.3.4. 地上オゾン濃度観測

1997 年 1 月から 2010 年 1 月までの地上オゾン濃度日別値を図 14 に示す。データは、まず前 1 時間に得られたすべての 12 秒値から時別値を算出し、1 時間に 150 個以上の 12 秒値が得られた場合の時別値から日別値を求め、その日別値を平均して月別値とした。また、地上オゾン濃度の月別値と季節変動成分を除いた濃度変動（長期変動成分）を図 15 に示す。

昭和基地における地上オゾン濃度の 1 年間の変動は、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、極夜明けから春季にかけてデータのばらつきが大きくなる。図 14 のとおり、第 50 次隊の観測期間においても同様の傾向がみられた。図 15 を見ると、経年変化は 1997–2003 年に緩やかに増加の傾向がみられたが、2004 年以降は 25 ppv 前後で推移している。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いが、有意な変化が検出されるかどうか、今後も観測データの蓄積を続ける必要がある。

南極や北極の高緯度地域では、極夜明けの春季に、大気中の海塩粒子や積雪・海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

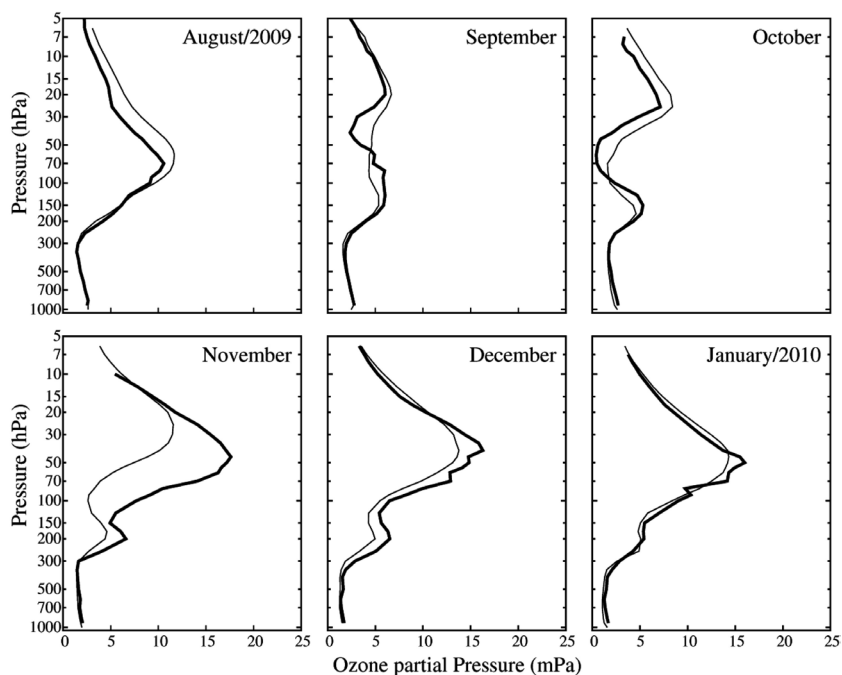


図 13 昭和基地におけるオゾン分圧の高度分布 (2009 年 8 月～2010 年 1 月)
太実線は月平均オゾン高度分布. 細実線は 1994-2008 年の累年平均オゾン高度分布.
Fig. 13. Vertical distribution of ozone partial pressure from ozonesonde observations at Syowa Station (Aug. 2009-Jan. 2010).
Thick lines show monthly mean profiles, and thin lines show normal profiles (1994-2008).

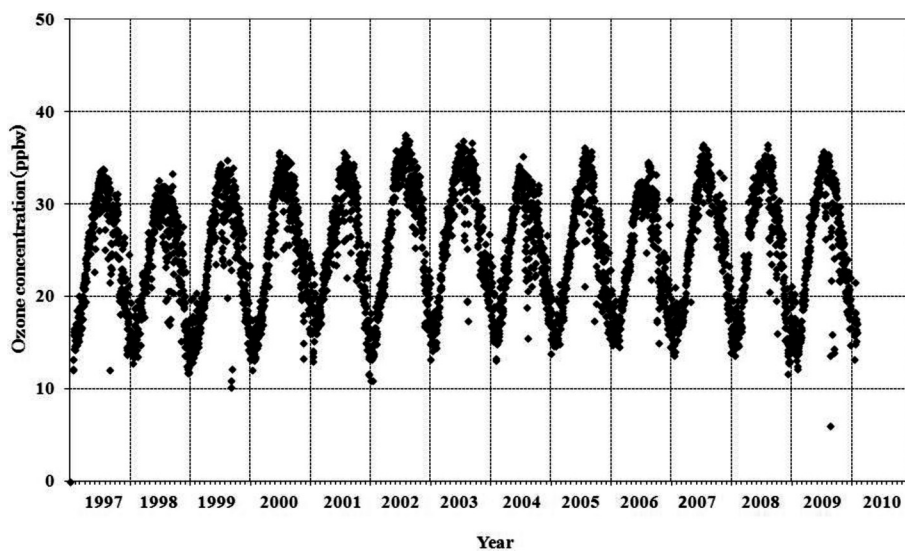


図 14 昭和基地における地上オゾン濃度日別値 (1997 年 1 月～2010 年 1 月)
Fig. 14. Daily mean surface ozone concentration observed at Syowa Station (Jan. 1997-Jan. 2010).

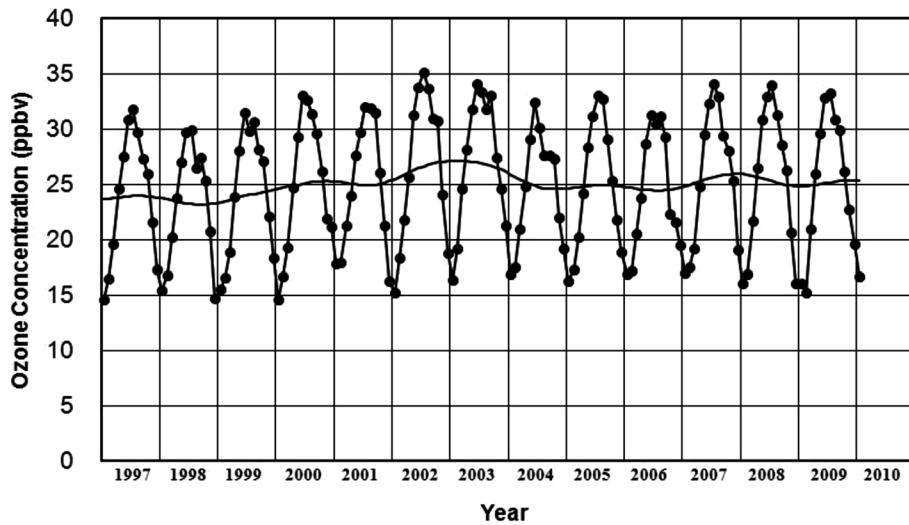


図 15 昭和基地における地上オゾン濃度の月別値と季節変動成分を除いた濃度の年々変動 (1997 年 1 月～2010 年 1 月)

Fig. 15. Time series of monthly mean surface ozone concentrations and seasonally corrected concentrations at Syowa Station (Jan. 1997–Jan. 2010).

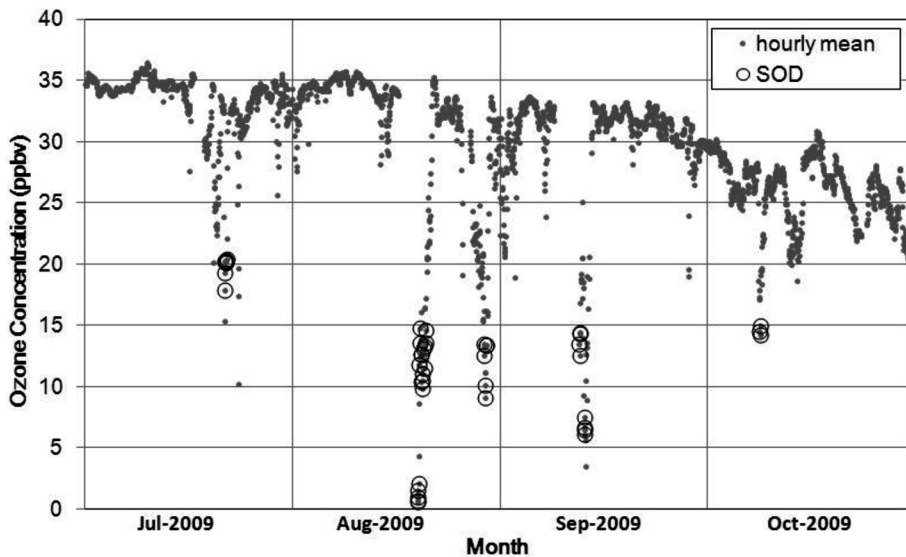


図 16 昭和基地における地上オゾン濃度時別値と SOD (2009 年 7–10 月)

Fig. 16. Hourly mean surface ozone concentration and SOD (surface ozone depletion) at Syowa Station (Jul. 2009–Oct. 2009).

急減し (Surface ozone depletion, 以下「SOD」という), 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). 江崎ほか (2010) の SOD 選

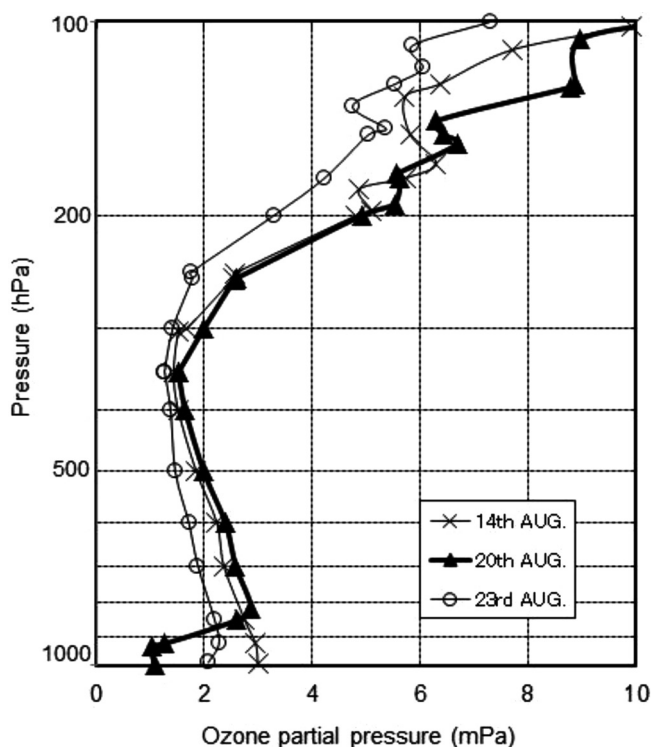


図 17 昭和基地における地上オゾン濃度減少の前後に行ったオゾンゾンデ観測によるオゾン分圧の高度分布 (2009 年 8 月)

Fig. 17. Vertical profiles of ozone partial pressure (mPa) obtained from ozonesonde observations around the time of surface ozone depletion events at Syowa Station (Aug. 2009).

別基準にそって選別したところ、第 50 次隊では 2009 年 7 月 21 日 20 LT～22 日 04 LT, 8 月 19 日 15 LT～20 日 22 LT, 8 月 29 日 15–23 LT, 9 月 12 日 19–22 LT, 9 月 13 日 13–16 LT, 10 月 9 日 18–20 LT が該当した(図 16)。8 月 19 日 15 LT～20 日 22 LT は SOD の継続時間が長く、8 月 20 日のオゾンゾンデ観測の結果でも、オゾン分圧が地上から上空約 600 m まで顕著に減少していることが認められた(図 17)。さらなる解析には、気水圏部門が観測しているエアロゾル量の変化なども合わせた調査が必要である。

4.4. 2009 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 2009 年 8–12 月の旬別オゾン全量の南半球分布図を図 18 に示す。陰影部は極夜のため観測できない領域である。オゾンホール(図 18 の点域)は 8 月中旬に発生した。9 月 17 日に 2009 年の最大の面積である 2400 万 km^2 を記録したが、これは 2008 年の 2650 万 km^2 より小

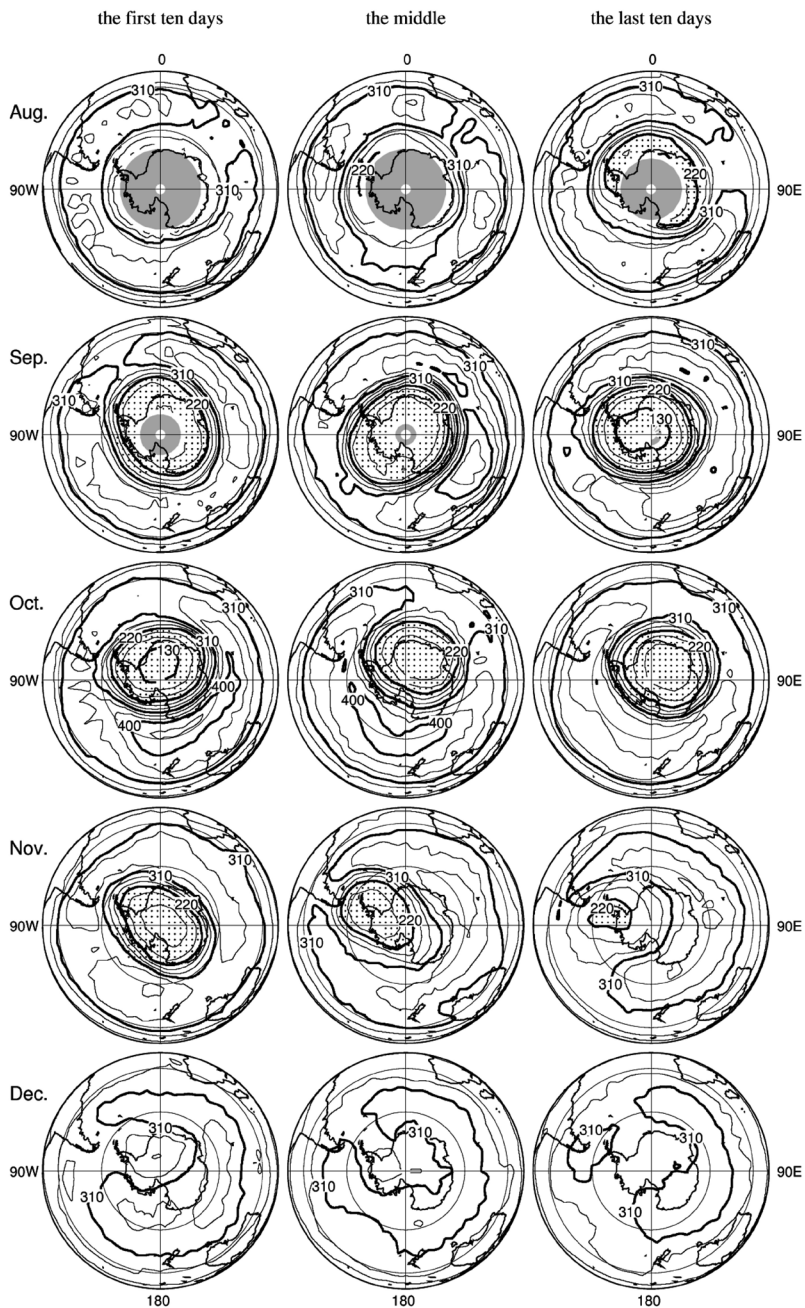


図 18 OMI による旬別オゾン全量の南半球分布図 (2009 年 8-12 月)
 等値線間隔は 30 m atm-cm. NASA 提供の OMI データを基に作成. 点域は 220 m atm-cm
 以下の領域を示す. 陰影部は極夜のため観測できない領域.

Fig. 18. Distribution of 10-day mean total ozone in the Southern Hemisphere based on OMI/
 NASA data. The contour interval is 30 m atm-cm (Aug. 2009-Dec. 2009).

さく、過去 15 番目の大きさであった。また、オゾン欠損量（破壊量）は 9 月 25 日に 2009 年の最大値である 8350 万 t となったが、これは 2008 年の 9420 万 t より少なく、過去 13 番目の量であった。オゾンホールは、その後 11 月上旬に一時過去の同時期に比べて大きい規模となったが、11 月中旬から急速に縮小し、12 月 1 日に消滅した。

昭和基地付近についてオゾンホールとの位置関係に着目すると、9 月は南極点付近を中心とするオゾンホールの縁辺にあたり、10 月にはオゾンホールが移動して昭和基地が覆われたが、11 月になるとオゾンホールが昭和基地から離れて規模を小さくしながらその中心は南極半島付近に移り、オゾン極大域が昭和基地を覆うようになった。昭和基地におけるオゾン全量値や高度分布の変動は、こうしたオゾンホールの変化の結果として現れたものであった。

2009 年のオゾンホールの規模は、最近 10 年（1999–2008 年）の平均をやや下回る規模であった。これは、オゾン層破壊の促進に関係する南極域上空の低温域（ -78°C 以下）の面積が、例年最も拡大する 6–8 月にかけておおむね平成並（1979–2008 年の平均）で推移したこと、さらに、例年オゾンホールが最大規模となる 9–10 月はじめにかけて、低緯度成層圏から南極上空の成層圏下部へオゾン量の多い空気塊の輸送が増加し、極渦も安定せずオゾンの破壊が緩和された時期があったことなどが原因と考えられる（気象庁、2010）。

5. 地上日射・放射観測

5.1. 観測概要と測器

昭和基地では、地上日射放射観測につき世界気候研究計画（WCRP: World Climate Research Programme）／全球エネルギー・水循環観測計画（GEWEX: Global Energy and Water Cycle Experiment）のもと、基準地上放射観測網（BSRN: Baseline Surface Radiation Network）の観測要件を満たすため、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）以降、散乱日射量や下向き長波長放射量（赤外放射量）、B 領域紫外域日射量の観測項目を実施し、第 39 次隊（1998 年）以降、反射日射量、上向き長波長放射量（赤外放射量）、上向き B 領域紫外域日射量、放射収支量の観測を実施している。第 50 次隊でも上記観測を引き続き行った。

波長別紫外域日射観測については、第 50 次隊では、第 47 次隊で持ち込まれたブリューワー分光光度計 MKIII（168 号機）を、第 49 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 13 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（図 1、①の位置）である。

表 13 昭和基地における地上日射放射観測の種類と使用測器

Table 13. Instruments 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	0.01 MJ/m ²	1 秒
	直達日射量 (ホイースナー・デュボアの混濁係数)	直達日射計 太陽追尾装置	KIPP&ZONEN CH1	200–4000 nm	060445 990198	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 遮蔽ボール	KIPP&ZONEN CM21T	305–2800 nm	980520	0.01 MJ/m ²	1 秒
	B 領域 紫外線量	全天型 紫外域日射計	KIPP&ZONEN UVS-AB-T	280–315 nm	030619	0.01 kJ/m ²	1 秒
	長波長放射量	精密赤外放射計 遮蔽ボール	KIPP&ZONEN CG4	4.5–42 μm	030642	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	000738 990574	0.01 MJ/m ²	1 秒
	B 領域 反射紫外線量	全天型 紫外域日射計 遮蔽リング	KIPP&ZONEN UVS-AB-T	280–315 nm	040625 050635	0.01 kJ/m ²	1 秒
	長波長放射量	精密赤外放射計	KIPP&ZONEN CG4	4.5–42 μm	010565 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 5–50 μm	000247 020444	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	ES82-486 S98154.01		10 秒
	波長別 紫外域日射量	ブリューワー 分光光度計	SCI-TEC BREWSTER MK III	290–325 nm	#168	1 μW/m ²	1 時間

(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。オゾン全量観測時刻付近で、太陽面に雲がかかっていないときを選び、ホイースナー・デュボアの混濁係数を求めた。

(c) 精密全天日射計を用いた散乱日射量の連続観測

遮蔽球付きの太陽追尾装置に搭載した精密全天日射計により観測した。遮蔽球は直達日射計の開口角と同等の視直径を持ち、太陽追尾装置に連動して、太陽からの直射光を遮るように設定されている。

(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 次隊で設置した測器用架台を継続して使用し

た（図 1，⑤の位置）。データは下向き日射放射同様に，1 秒ごとにデータロガーで収集した後処理した。

- (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 領域反射紫外線量の連続観測
- (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，プリューワー分光光度計 MKⅢ（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）の範囲で 0.5 nm 刻みの波長別紫外域日射量の観測を毎正時（24 LT を除く）に行った。観測場所は気象棟前室屋上（図 1，①の位置）である。

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

下向き日射放射観測は，第 49 次隊より引き継いでから第 51 次隊に引き継ぐまで，1 年間おおむね順調であった。

全天型紫外域日射計については，2 カ月ごとに第 46 次隊が持ち込んだ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（NIST ランプ点検）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時変化が指摘されている（柴田ほか，2000；伊藤，2005）ことから，データの補正にあたっては，プ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）。

6 月 14 日に，下向き日射放射観測データ収録用 PC を更新したが，その後データロガーから PC へデータを送信する際に通信障害が頻発したため，7 月 3 日に旧 PC に戻して運用した。原因は，データロガーから PC へデータ転送するソフトウェアの不具合であった。

5.2.2. 上向き反射放射観測

上向き反射放射観測は，第 49 次隊より引き継いでから第 51 次隊に引き継ぐまで，1 年間おおむね順調であった。

上向き反射放射観測では、観測測器の設置高（地表面からの高さ）が十分でない場合、特定の地表面のみからの放射を受け取ることになり、空間代表性がなくなる。一方で、設置高が 2 m 以上になるとメンテナンス等の作業自体が厳しくなるため、設置高は 1.5 m 前後が目安となる。第 50 次隊では 7 月 2 日に上向き反射放射観測架台の高さを変更し、通年で設置高が 1–2 m となるようにした。

上向き用の精密全天日射計及び精密赤外放射計については、11 月 3 日より予備器との並行観測を開始し、12 月 2 日に正器と予備器を交換した。また上向き用の全天型紫外域日射計については、2009 年 12 月 20 日から 2010 年 1 月 11 日まで予備器との並行観測を実施し、1 月 23 日に正器と予備器を交換した。しかし、この予備器の測器温度自動調節機能に不具合があったため、1 月 28 日に元に戻して運用した。

全天型紫外域日射計については、外部標準ランプ点検装置（伊藤・高野，2006）を用いた NIST ランプ点検を、2 カ月ごとに行った。また第 50 次隊では、測器感度の変化を補正するため、NIST ランプ点検を下向きと上向きの全天型紫外域日射計について 1 カ月ごとに交互に繰り返すことにより、ブリューワー分光光度計と下向き全天型紫外域日射計の比較結果に基づく補正係数を上向き全天紫外域日射計に適用した。

5.2.3. 波長別紫外域日射観測

波長別紫外域日射観測は、第 49 次隊より引き継いでから第 51 次隊に引き継ぐまで、ブリューワー分光光度計 MKⅢによる観測を行った。

2 月 20 日に平均風速 47.4 m/s に達する記録的な暴風雪に見舞われ、ブリューワー分光光度計本体を固定する 4 本のねじのうち、2 本が微振動により脱落し紛失するというアクシデントがあった。また、7 月 10 日に内部水銀ランプを交換した後、プッシュロッドに 2 度の不具合が発生したため、3 日間運用を中断した。このほか、ブリザードなどの強風時には測器保護のために、受光部に保護具を取り付けた上で観測を中断したが、そのほかはおおむね順調であった。

5.2.4. 大気混濁度観測

大気混濁度観測は、第 49 次隊より引き継いでから第 51 次隊に引き継ぐまで、1 年間おおむね順調であった。また、12 月 23 日より第 51 次隊が持ち込んだ大気混濁度観測装置（PFR）との並行観測を実施した。

5.3. 観測結果

地上日射放射観測データは、BSRN のデータセンターである世界放射モニタリングセンター（WRMC）へ気象庁を通じて定期的に報告した。また、波長別紫外域日射観測データについても、気象庁を通じて世界オゾン・紫外線資料センター（WOUDC）に定期的に報告した。

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 19 に示す。

2009 年の下向き日射放射量は，例年とほぼ同様な年変化傾向であった．短波放射量（全天日射量，直達日射量，散乱日射量）は太陽高度とともに減少し，太陽が昇らない冬季には

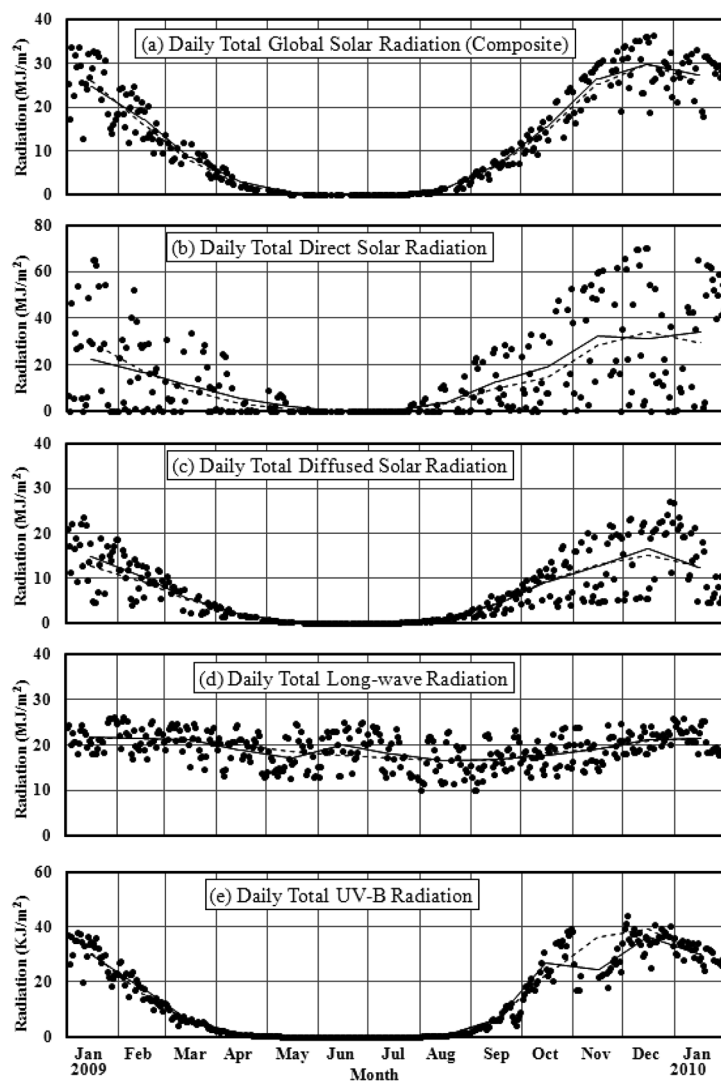


図 19 下向き日射放射量日積算値の年変化（2009 年 1 月～2010 年 1 月）
 (a) 全天日射量，(b) 直達日射量，(c) 散乱日射量，(d) 長波長放射量，(e) B 領域紫外線量
 ●：日積算値，実線：月平均値，破線：平均値（1991–2009 年）

Fig. 19. Annual variations in downward radiation (Jan. 2009–Jan. 2010) for: (a) total daily global solar radiation (composite); (b) total daily direct solar radiation; (c) total daily diffuse solar radiation; (d) total daily long-wave radiation; and (e) total daily UV-B radiation.

●: daily integrated value, solid line: monthly mean values, dashed line: normal values (1991–2009)

0 MJ/m² となっているが、長波長放射量については、冬季においてもおおむね 10 MJ/m² 以上の放射量が観測されている。これは大気分子や雲からの放射によるものである。

B 領域紫外線量については、11 月における値が例年と比べて小さいが、これは同時期に昭和基地上空がオゾンホールから抜けてオゾンホールの周囲のオゾン濃度の高い領域に覆われたことにより、オゾン全量が顕著に多かったためと考える（4.3.1. オゾン全量観測参照）。

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 20 に示す。

2009 年の上向き反射放射量は、下向き日射放射観測と同じく B 領域紫外線量を除き例年

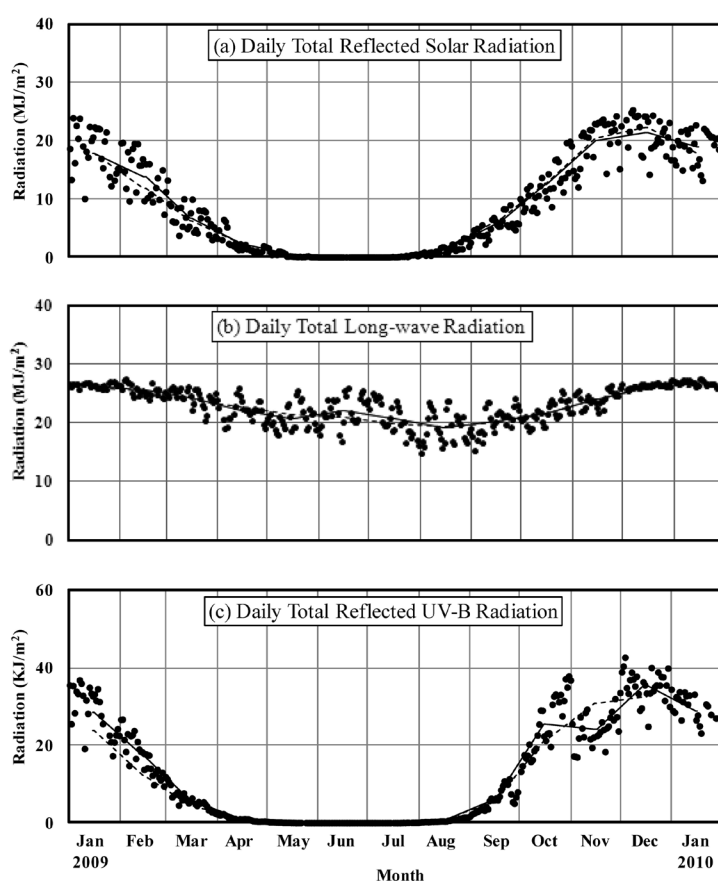


図 20 上向き反射放射量日積算値の年変化（2009 年 1 月～2010 年 1 月）

(a) 反射日射量, (b) 長波長放射量, (c) B 領域反射紫外線量

●: 日積算値, 実線: 月平均値, 破線: 平均値 ((a) (b) 1998–2009 年 (c) 2002–2009 年)

Fig. 20. Annual variations in upward radiation (Jan. 2009–Jan. 2010) for: (a) total daily reflected solar radiation; (b) total daily long-wave radiation; and (c) total daily reflected UV-B radiation.

●: daily integrated values, solid line: monthly mean values, dashed line: normal values (parts a and b show mean values for 1998–2009, and part c shows mean values for 2002–2009)

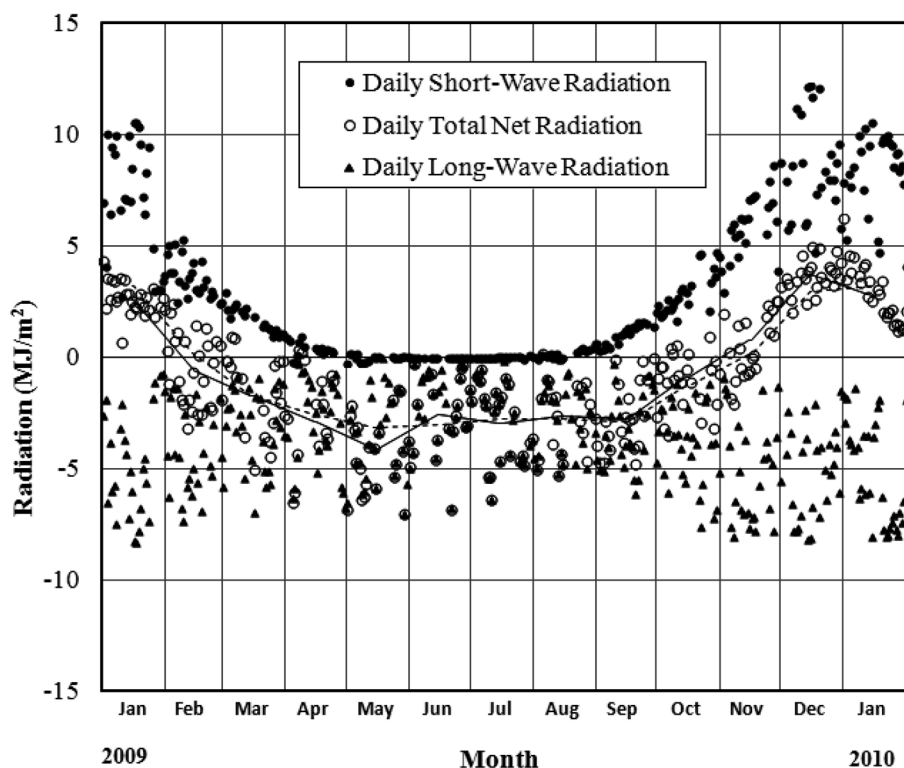


図 21 短波、長波及び全波長の正味放射量日積算値の年変化（2009 年 1 月～2010 年 1 月）
 ●○▲：日積算値，実線：月平均正味放射量，破線：平均正味放射量（1998–2009 年）

Fig. 21. Annual variations in daily integrated net short-wave radiation, long-wave radiation, and all wavelengths (Jan. 2009–Jan. 2010).

●○▲：daily integrated values, solid line: monthly mean net radiation, dashed line: normal net radiation (1998–2009)

とほぼ同様な年変化傾向であった。全天日射量に対する反射日射量の割合は、夏季で 7 割程度であったが、太陽高度が低くなるほど増加し、極夜前後の時期では 9 割以上に達していた。上向き長波長放射量は下向き長波長放射量と比較して日ごとのばらつきが小さい傾向にある。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であると考えられる。ただし、冬季には地表面温度の変化が増大するのに伴い日積算値のばらつきが大きくなっている。

B 領域紫外線量については、例年と比べて 11 月における値が小さいが、これも下向きの B 領域紫外線量と同じ理由（5.3.1. 下向き日射放射観測参照）によるものと考えられる。

短波、長波及び全波長の正味放射量（下向き放射量と上向き放射量の差）日積算値の年変化を図 21 に示す。2009 年は例年とほぼ同様な年変化傾向であった。長波の正味放射量（図中▲）はほとんどの期間中負の値となっており、期間を通じて上向きの放射が卓越していた。全波長の正味放射量（図中○）は、短波放射の日射・反射量が小さい冬期間は長波長放射の

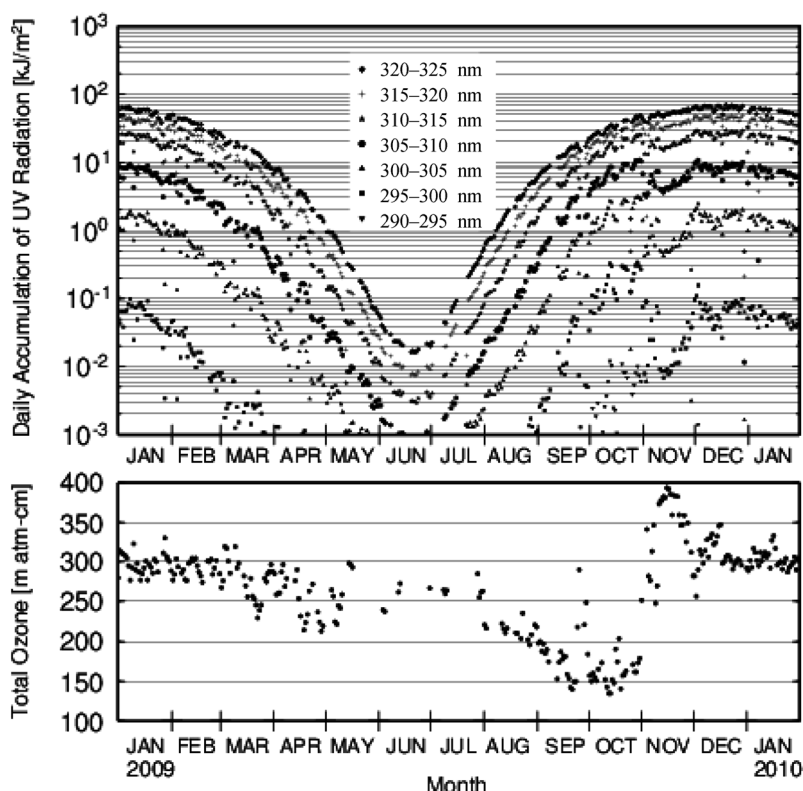


図 22 昭和基地における波長帯別紫外域日射量の日積算値 (上図) とオゾン全量 (下図) の年変化 (2009 年 1 月～2010 年 1 月)

Fig. 22. Daily accumulated ultraviolet radiation integrated for each wavelength band (above) and total ozone amount (below) at Syowa Station (Jan. 2009–Jan. 2010).

放射収支に依存し、短波放射が大きくなる夏期間には、短波長放射による収支 (図中●) の影響を強く受けている。

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の年変化を図 22 に示す。

各波長帯ともにオゾン全量と逆相関の関係で日積算値は大きく変動しているが、オゾン全量の変動による影響は短波長側で大きい。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て太陽高度角が高く、日照時間が長い夏至 (2009 年は 12 月 21 日) に近くなる傾向がある。2009 年においても、290–295 nm で 10 月 13 日、295–305 nm で 10 月 29 日、305–310 nm で 12 月 3 日、310–325 nm においては 12 月 13 日と、長波長側ほど、より夏至に近い日に日積算値の年間最大値を観測した。

11 月上旬から 12 月中旬にかけては、太陽高度角の上昇、全天日射量の増加との対応以上に、

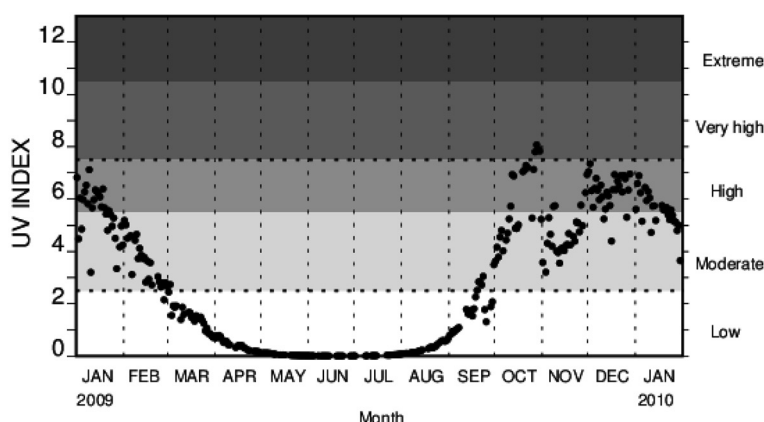


図 23 昭和基地における日最大 UV インデックスの年変化 (2009 年 1 月～2010 年 1 月)

Fig. 23. Annual variation in daily maximum UV index at Syowa Station (Jan. 2009–Jan. 2010).

オゾン全量の変動の影響を大きく受けて日積算値が変動している。11 月上旬以降、昭和基地上空がオゾンホールから抜けてオゾンホールの周囲にあるオゾン濃度の高い領域に覆われたことにより、オゾン全量が増加したことに伴って、290–315 nm の短波長側の日積算値が大きく低下した。12 月下旬以降にはオゾンホールも解消し、太陽高度角の下降に伴いすべての波長帯で日積算値が減少傾向に転じた。

昭和基地における、2009 年 1 月から 2010 年 1 月までの日最大 UV インデックスの年変化を図 23 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ため、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) をかけた上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。なお、UV インデックスの算出にあたっては 290–400 nm の範囲の値を用いるが、観測を行っていない 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。2009 年の最大 UV インデックスは 10 月 29 日に 8.1 を記録した。WHO (2002) によると、UV インデックスが 8 以上とは「日中の外出を避け、長袖のシャツ、日焼け止め帽子の使用が必要となる」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 (Ångstrom α) 及び混濁係数 (Ångstrom β) が求められる。

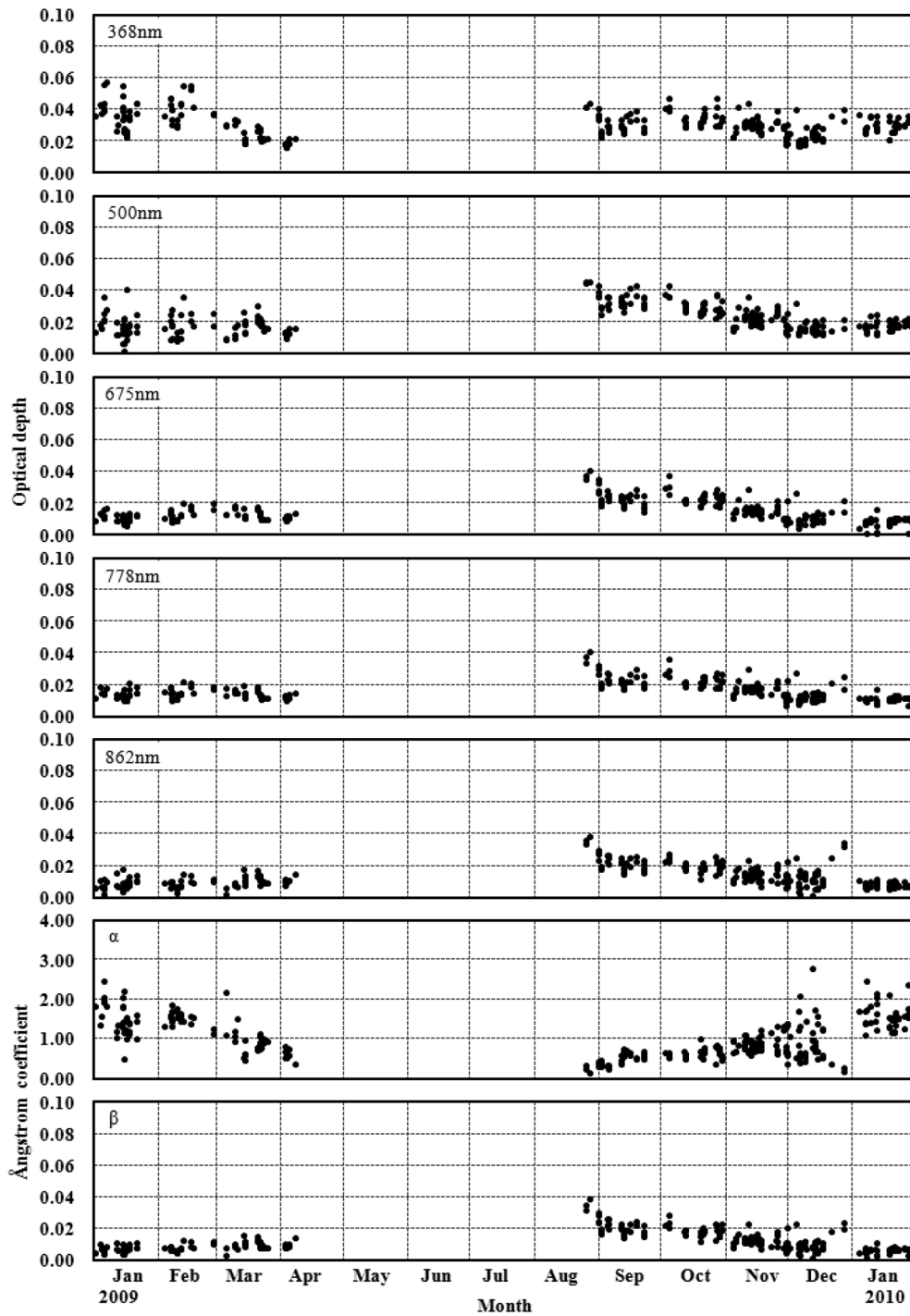


図 24 昭和基地におけるエアロゾルの光学的厚さの季節変化 (2009 年 1 月～2010 年 1 月)

Fig. 24. Annual variations in aerosol optical depth at Syowa Station (Jan. 2009–Jan. 2010).

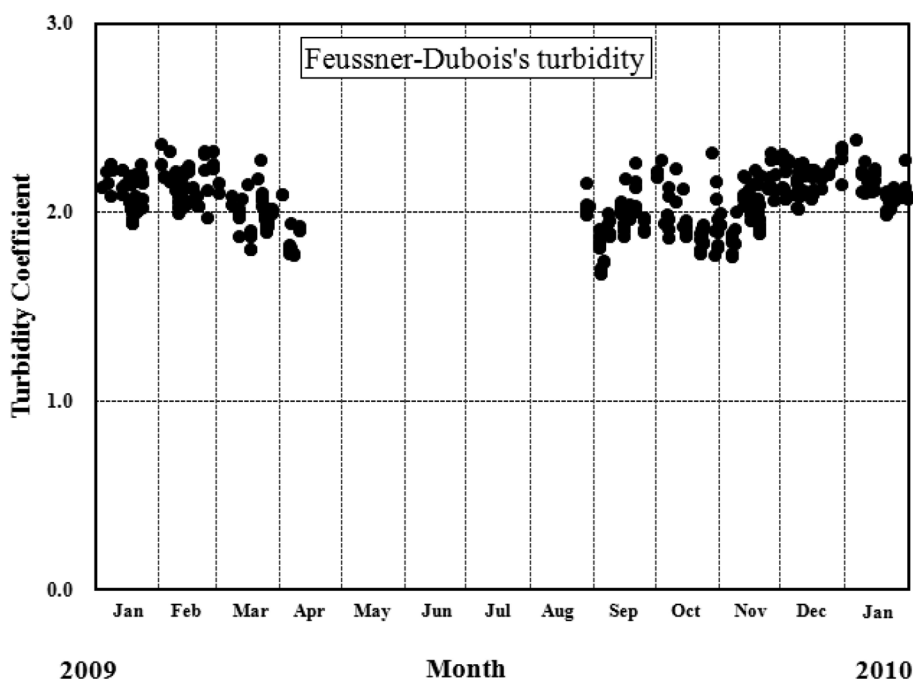


図 25 昭和基地におけるホイスナー・デュボアの混濁係数の季節変化 (2009 年 1 月～2010 年 1 月)
 Fig. 25. Annual variations in Feussner-Dubois's turbidity coefficient at Syowa Station (Jan. 2009–Jan. 2010).

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 46 次隊と同様に 0.00864 を用いた (東島ほか, 2003)。

(a) 2009 年の観測結果

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 24 に示す。2009 年は、オングストロームの波長指数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が顕著であった。これは、秋季から春季に相対的に大きいエアロゾル粒子の割合が増加していることを示している。このオングストロームの波長指数の季節変化は、昭和基地 (大気採取塔) の地上エアロゾルの直接採取観測による微小粒子 ($0.3\ \mu\text{m}$ 以上) の季節変化 (林ほか, 2010) と一致しており、この原因として秋季から春季にかけて中緯度帯からの低気圧の接近などによる海塩粒子の長距離輸送が活発であったことが考えられる (長田ほか, 2010)。

ホイスナー・デュボアの混濁係数の季節変化を図 25 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。2009 年も平年と同様の季節変化だった。

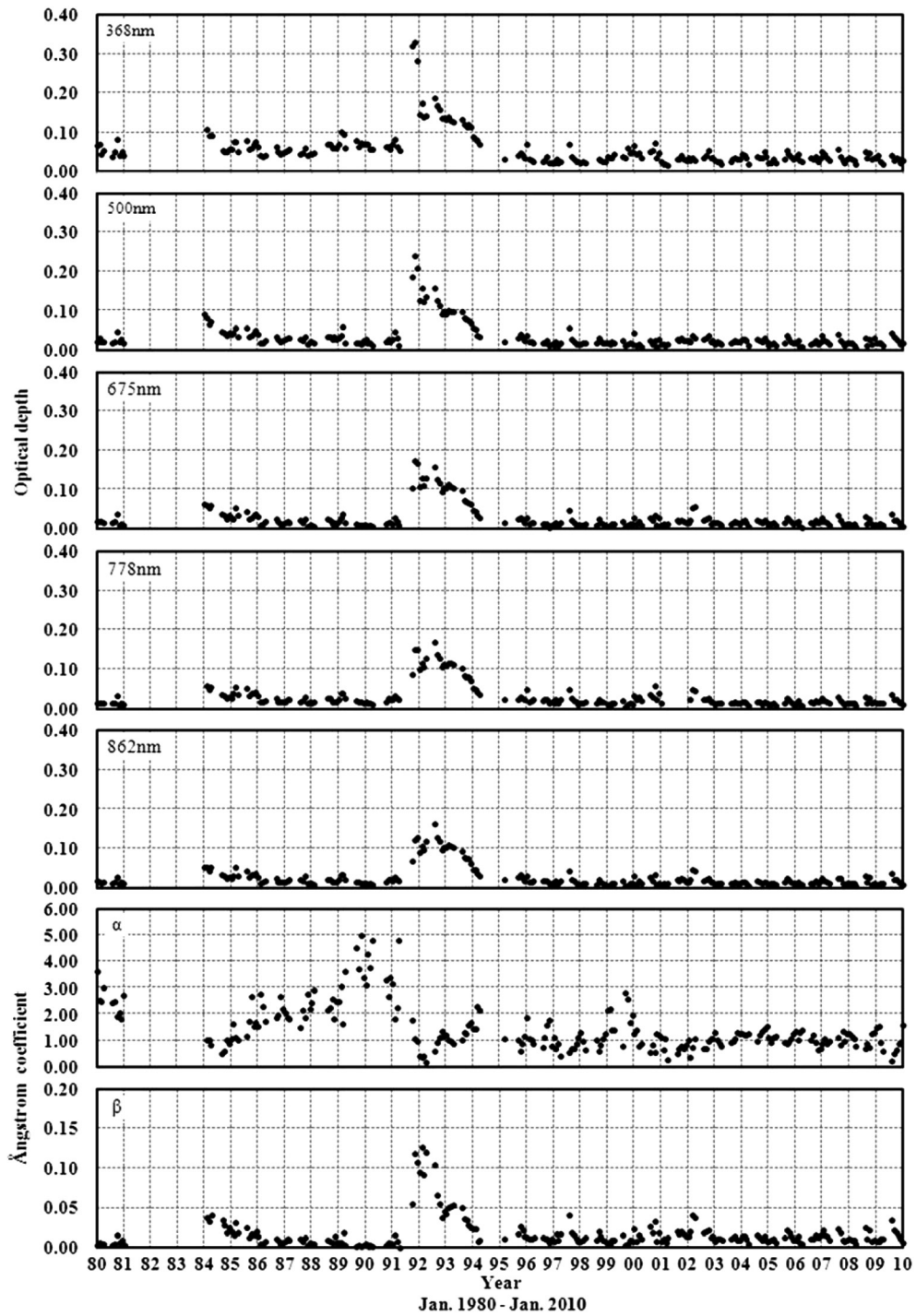


図 26 昭和基地におけるエアロゾルの光学的厚さの経年変化（1980 年 1 月～2010 年 1 月）

Fig. 26. Time series of aerosol optical depth at Syowa Station (Jan. 1980–Jan. 2010).

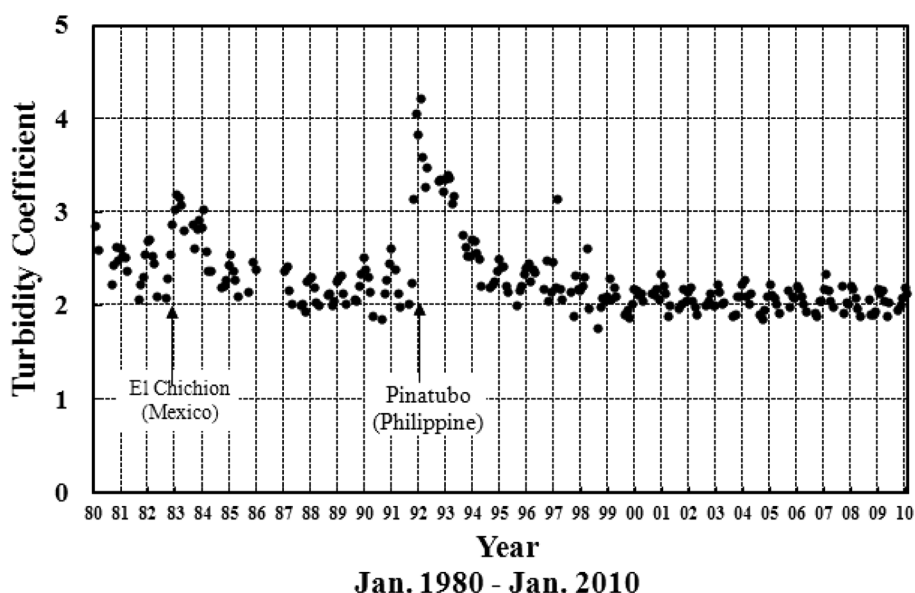


図 27 昭和基地におけるホイスナー・デュボアの混濁係数の経年変化(1980 年 1 月～2010 年 1 月)
 Fig. 27. Time series of Feussner-Dubois's turbidity coefficient measured with a pyrhelimeter (Jan. 1980–Jan. 2010).

(b) 大気混濁度の経年変化

1980 年から観測が開始された, サンフォトメーターによる大気混濁度の各波長 (368, 500, 675, 778, 862 nm) の AOD 及び 368–862 nm の 5 波長の AOD から求めたオングストロームの波長指数 (Ångstrom a) と混濁係数 (Ångstrom β) の経年変化を図 26 に示す.

全球的に噴出物が拡散したとされる, 1991 年 6 月のピナツボ火山噴火 (15.08°N, 120.21°E) のときに AOD は大きく増加し, その後数年かけて平年値に戻っている. なお, 北半球で起きた火山噴火の影響が全球的に拡散するにはある程度時間を要し, ピナツボ火山噴火の場合, その影響は 1991 年末時点では衛星観測 (Herber *et al.*, 1996) から 20°S 程度までとされており, 1991 年に昭和基地で観測された短波長での AOD のピークは, 1991 年 8 月に起きたチリにあるハドソン火山噴火 (45.54°S, 72.58°W) の影響とみられる. その後の 1992–1993 年にかけての AOD の増加は, ピナツボ火山噴火の全球的な拡散によるものと考えられる (金戸, 1997). 2009 年の値は, ほぼ平年並みであった.

ホイスナー・デュボアの混濁係数の経年変化を図 27 に示す. サンフォトメーターで観測した場合と同様, 1982 年 (4 月: エル・チチョン (17.20°N, 93.12°W)) や 1991 年に全球的な火山噴火の影響を受けており, その後数年間かけて平年並みに戻っていることがわかる. また, 春から夏にかけて増加し, 秋から冬にかけて減少する季節変化をしていることがわかる. 2009 年の値は, ほぼ平年並みであった.

6. 天気解析

各国数値予報センターなど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や，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などを参考にして，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活用するとともに，野外オペレーションなど観測隊の活動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 49 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 初期値と 12 UTC 初期値）を気象庁データサーバより FTP で取得し，昭和基地気象棟にて各種天気図及び予想図の自動作成を行い，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などがホームページで公開している解析値及び予報値を利用した。また，各種衛星画像の取得，閲覧を行い，天気解析の参考とした。

（主な参照先）

- ① AMPS（Antarctic Mesoscale Prediction System）
- ② オーストラリア気象局作成インド洋天気図
- 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天気図
- ⑤ ECMWF（ヨーロッパ中期予報センター）予報図
- ⑥ ウィスコンシン大学コンボジット衛星画像

(3) 極軌道衛星雲画像

衛星受信部門が基地内のホームページに掲載していた NOAA 衛星の赤外及び可視画像

(4) ロボット気象計

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

解析結果は，昭和基地屋外作業，野外オペレーション，航空機オペレーション時などに気象情報として提供したほか，ブリザードによる外出注意令や外出禁止令の発令，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予想を発表するとともに，基地内のホームページや掲示板で地上気象観測実況値などと併せて公開した。

7. その他の観測

7.1. 内陸旅行中の気象観測

第 50 次隊では、2009 年 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。旅行経路を図 28 に示す。

7.1.1. 観測方法と測器

表 14 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、その他の項目は携帯用測器を用いて観測した。

7.1.2. 観測経過

内陸旅行では、目視観測を含む観測を、06, 09, 12, 15, 18 LT を目安として、移動経路上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。観測は雪上車の影響を受けないように車両の風上側で行った。

7.1.3. 観測結果

内陸旅行中の観測結果を図 29 に示す。観測記録期間は 2009 年 10 月 13 日 1900 LT～10 月 27 日 1200 LT である。

往路の Z32 及び復路の H57 では低気圧の接近により風が強まり、降雪や高い地吹雪により視程が悪化し、ブリザードとなった。このブリザードの影響により、Z32 では 10 月 18–19 日の 2 日間、また H57 では 10 月 24–25 日の 2 日間停滞した。10 月 24 日及び 25 日には 06 LT の気温と風速が欠測となった。そのほかの日はおおむね晴れや薄曇りで経過したが、地吹雪や降雪の影響で一時的に視程が悪くなることがあった。

気温と気圧は標高が高くなるにつれて低下し、みずほ基地において旅行期間中の最低気温 -36.0°C （10 月 22 日 06 LT, IM1）を観測した。また旅行期間中の最高気温は -8.0°C （10 月 27 日 12 LT, S16）、最大風速はブリザード時に観測した 22 m/s （10 月 25 日 09 LT, H57）であった。

7.2. S16 ロボット気象計

7.2.1. 観測方法と測器

ロボット気象計は、大陸氷床上の S16（Point 50）に設置している。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 50 次隊では、第 49 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。

電源はホーカーバッテリー製サイクロン電池を使用し、風力発電機により充電を行って

る。観測項目は気圧、気温、風向・風速であり、常時観測を行った。

7.2.2. 観測経過

第 50 次隊は、第 49 次隊から観測を引き継いだ後しばらくは順調に観測を実施していたが、3 月 18–22 日でロボット気象計からの受信が正常にできなくなり、一旦自然復旧したが 3 月 30 日から再び受信できなくなった。S16 までのルートが設定された後、5 月 5 日に発信器の

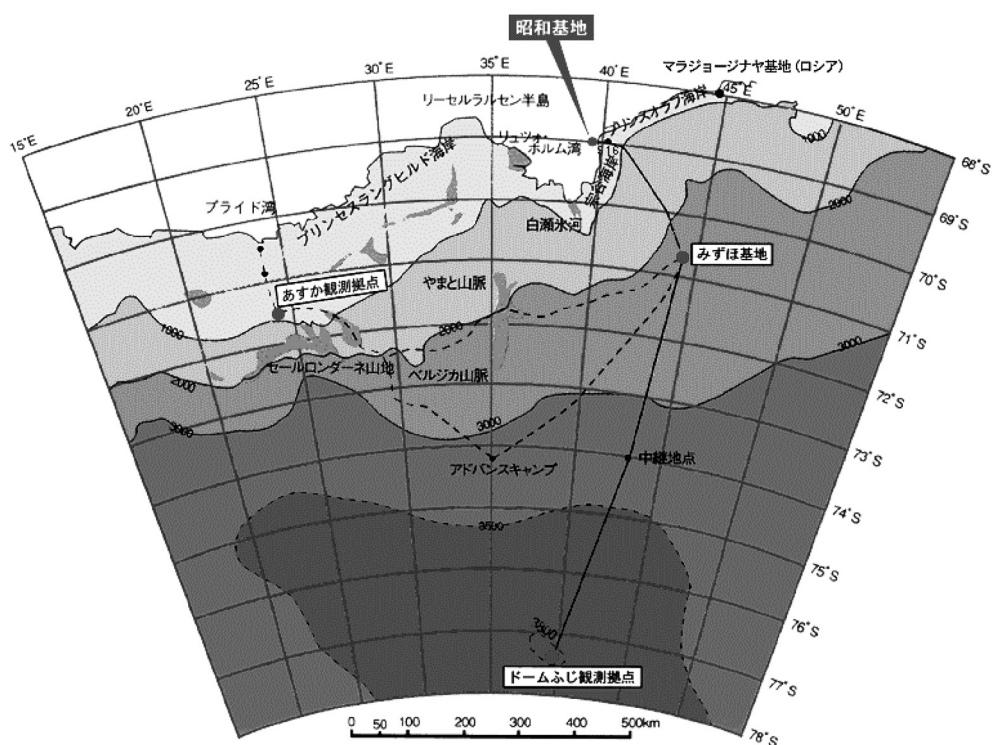


図 28 昭和基地からみずほ基地への経路 (国立極地研究所 (2008b))

Fig. 28. Traverse route from Syowa Station to Mizuho Station.

表 14 内陸旅行中に使用した気象観測測器等一覧表

Table 14. Instruments used and accuracy of meteorological observations on the 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	1 hPa	± 1 hPa	携帯式アネロイド型気圧計	663 hPa 以上で使用
気温	0.1℃	± 0.5℃	スリング式ガラス製温度計	−50℃ 以上で使用
風向	5°	± 5°	ハンドベアリングコンパス	
風速	1 m/s	± 0.5 m/s	携帯用発電式 3 杯型風速計	
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	

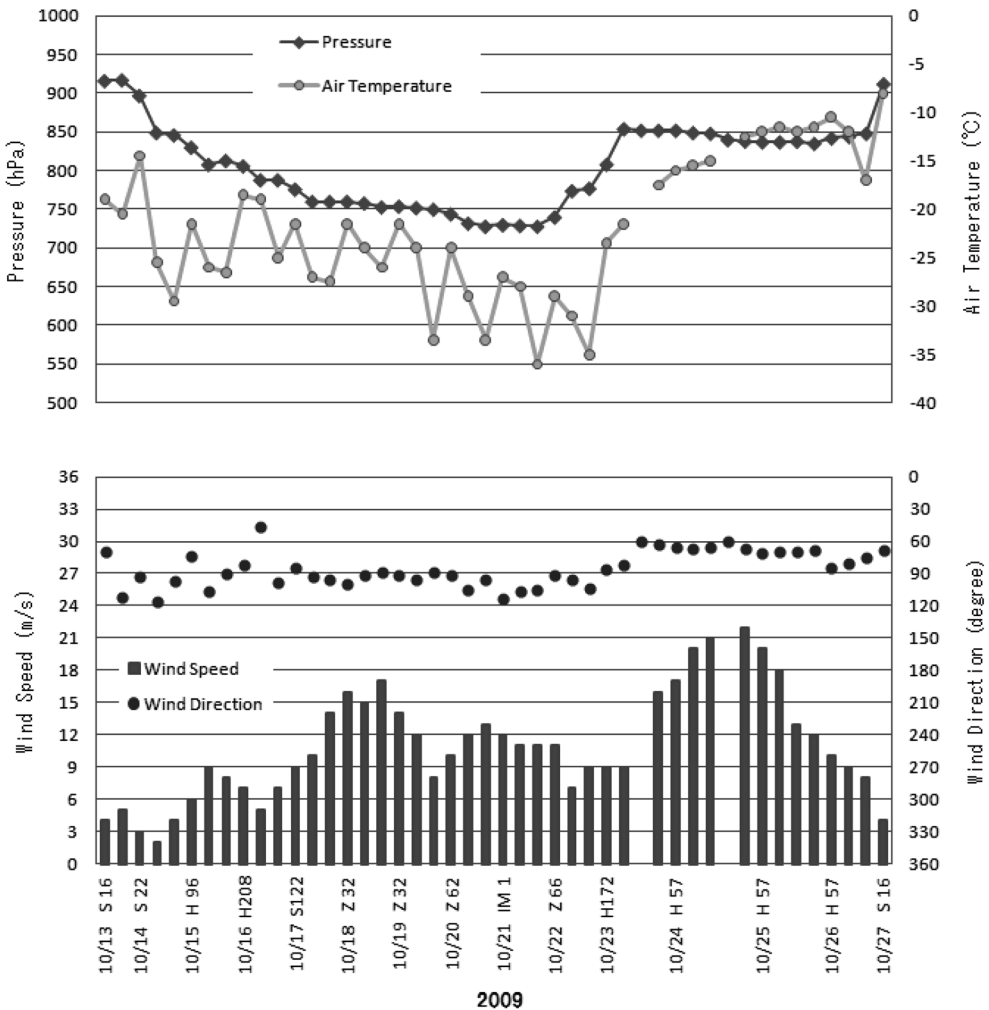


図 29 内陸旅行中の観測結果 (2009 年 10 月 13–27 日)

Fig. 29. Surface meteorological observation data during the traverse to Mizuho Station (13–27 Oct. 2009).

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	鉄ニッケル合金空こう気圧計 (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℃	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°		

交換を実施しようとしたが、風向風速計と発信器のコネクタ部が凍結して外れなくなっており、発信器のみの交換ができなかった。このため、風向風速計と発信器をセットで撤収した。極夜明け後、8 月 11 日に風向風速計と発信器を設置し、観測を再開した。その後、発信器の周波数変調不良、電源の断線などの機器障害などが頻発し、8 月 16 日～9 月 2 日、9 月 27 日～11 月 8 日、11 月 21 日～12 月 4 日の観測が中断することとなった。さらに、2010 年 1 月には断続的な受信不良が発生したため、1 月 29 日に第 51 次隊との引き継ぎを兼ねて、発信器交換を実施した。このように、第 50 次隊ではロボット気象計による観測結果を有効に活用できない期間が多かった。

ロボット気象計は、現在は使用していない高層気象観測測器を隊員の手で改造し発信器として利用している。また、受信設備も第 48 次隊まで高層気象観測に使用していた設備を利用している。今期は、発信器内部への雪の吹き込みによる発信停止などもあったが、発信器、受信設備ともに老朽化が目立ち始めている。DROMLAN オペレーション支援時には、S16 における観測データが非常に参考になっていることから、今後機器の設置位置も含め、あらたな観測装置及び昭和基地までのデータ伝送方法を検討、構築する必要があると考える。

7.3. 移動気象観測装置 (MAWS)

7.3.1. 観測方法と測器

移動気象観測装置 (MAWS) は、気圧、風向・風速、気温、湿度、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。第 50 次隊における野外行動中、昭和基地からオングル海峡を渡って大陸沿岸の向岩を結ぶ「向岩ルート」上で風の急変（昭和基地から向岩へ向かっている途中、ある地点から急に風が強くなった）が報告されたことから、オングル海峡における風の特長（昭和基地との相違点）を調査するため、そのルート上 2 地点にそれぞれ MAWS を設置して、2009 年 5 月 26 日から 11 月 10 日まで

表 16 移動気象観測装置 (MAWS) の測器等一覧表
Table 16. Observation types, frequency, and instrumentation for 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	$\pm 0.3^{\circ}\text{C}$	温度湿度計 (QMH101)
湿度	$\pm 2\%$: 0–90 % $\pm 3\%$: 90–100 %	
日射	$100\ \mu\text{V}/\text{W}/\text{m}^2$	日射計 (QMS101)
10 分間平均風向	$\pm 3^{\circ}$ 以下	風向風速計 (WMS302)
10 分間平均風速	± 0.3 m/s 以下	

表 17 移動気象観測装置 (MAWS) の観測地点
Table 17. Observation points for MAWS.

観測地点	緯度	経度	観測期間
M11	69°01.073' S	39°39.960' E	2009. 5.26~2009.11.10
M15	69°01.648' S	39°41.727' E	2009. 5.26~2009. 9.24
M14	69°01.628' S	39°41.625' E	2009. 9.26~2009.11.10

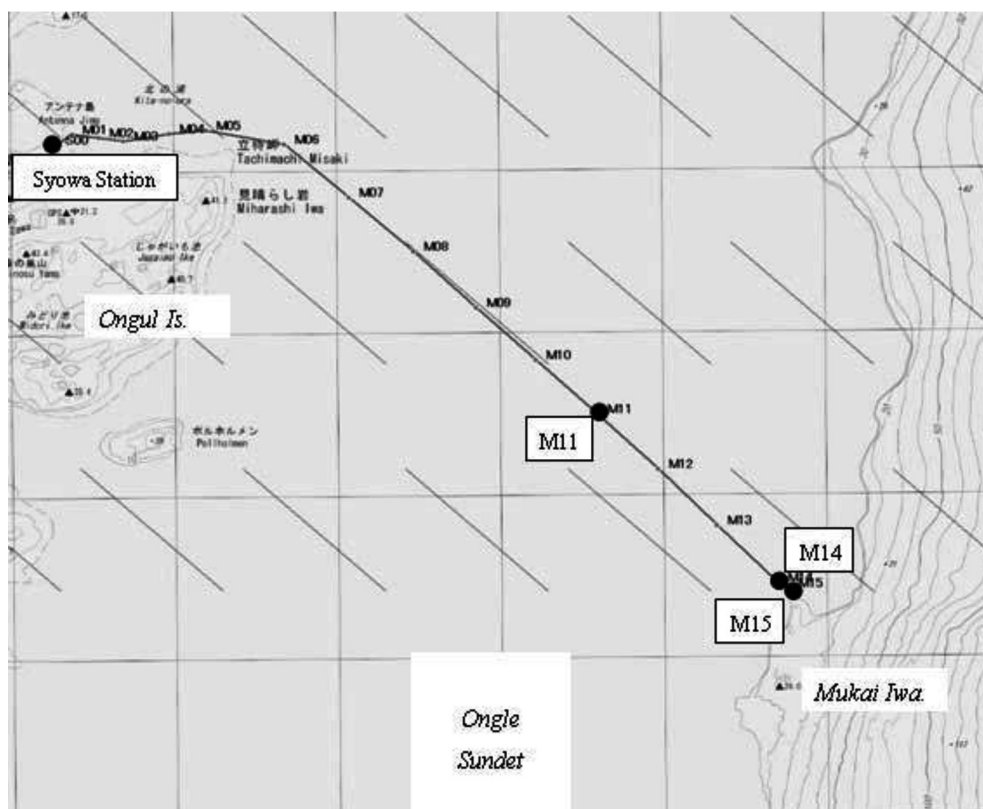


図 30 昭和基地及び移動気象観測装置 (MAWS) の観測地点 (M11, M14, M15)
国土地理院作成の 1/25000 南極地域地形図に加筆. 方眼 1 目盛りが 1 km を, 斜め破線は磁
北線 (西偏 49 度) を示す.

Fig. 30. Observation points M11, M14, M15, and Syowa Station.

観測 (10 分ごとの値を収録) を行った.

MAWS による観測種目等を表 16 に, 観測地点を表 17 に示す. また, MAWS による観測
地点及び昭和基地の位置を図 30 に示す.

7.3.2. 観測経過

2009 年 5 月 25 日に MAWS を「向岩ルート」上の海氷上 2 地点 (M11, M15) に設置した.

M11 では 5 月 26 日から 11 月 10 日までの期間を通してデータ収集が行えたが、M15 では設置した MAWS の直下にクラックが伸びていたため、9 月 25 日に設置地点を M14 に変更し、データ収集を継続した。観測期間中の 7 月 14 日・8 月 28 日・9 月 25 日には収録データの回収や機器メンテナンスを実施し、11 月 11 日に両地点の MAWS を撤収した。

データ回収作業時に、着霜（着氷）により風向風速計が固着しているような状況が確認されたことがあった。このため、風速が 0.0 m/s となっていたときの風向・風速データについては取り扱わないこととした。そのほか、湿度 100% 以上など明らかに異常なデータは取り除いたが、不自然な値を示しているが異常かどうか判断できないデータについてはそのまま使用することとした。

M11 の南東約 500 m に設定された M12 ポイント（図 30）のルート表示旗竿^{はたざお}が、データ回収作業のたびに折れていたり、傾いていたりしていた。このことから、M11 付近は常に強風帯であることが推察された。

7.3.3. 観測結果

7.3.3.1. 各観測点の環境場と卓越風向

観測期間中の MAWS による気圧、気温、湿度、風速の日平均値及び全天日射量の日積算値を図 31 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、どの要素も同じ変化傾向を示しており、この結果は成田ほか（2010）と同じである。このことから、これらの観測点の環境場は同じであると考ええる。

観測期間中の昭和基地、M11、M15 の風配図を図 32 に示す。これらを見ると、昭和基地での卓越風向が北東であるのに対し、海氷上の M11 では東北東となっており、昭和基地や M15 に比べ、南成分を持つ風は吹くことが少ないとわかる。また大陸沿岸の M15 では、卓越風向が東となっているとともに、昭和基地や M11 にくらべ、冬期間でも西成分を持った風を観測していることが多くなっている。これは、M15 が大陸斜面直下の露岩地帯近傍であることを考慮すると、地形の影響を大きく受けているものと考ええる。

7.3.3.2. 各観測点の風向別平均風速

昭和基地、M11、M15 の 2009 年 6–9 月の風向別平均風速（10 分間平均風速のスカラー平均値）を図 33 に示す。これを見ると、各観測点とも北東象限の風速が大きくなっていることがわかる。また、M11 では北東風時の平均風速が他の 2 地点より大きく、南成分を持つ風向のときには風速が小さくなっている。M11 における風速階級別に風向分布を図 34 に示す。これを見ると、南成分を持った 5 m/s 以上の風がほとんど観測されていないことがわかる。これらのことから、昭和基地や露岩地帯近傍の M15 地点に比べ地形の影響を受けにくい海氷上の M11 地点付近では、常に同じ方向から強い風が吹いているものと考ええる。さらに図 33 を見ると、M15 では、南東から南南東の風及び北北西風のときの風速が昭和基地や M11 より大きくなっており、これも地形の影響を大きく受けているためと考ええる。

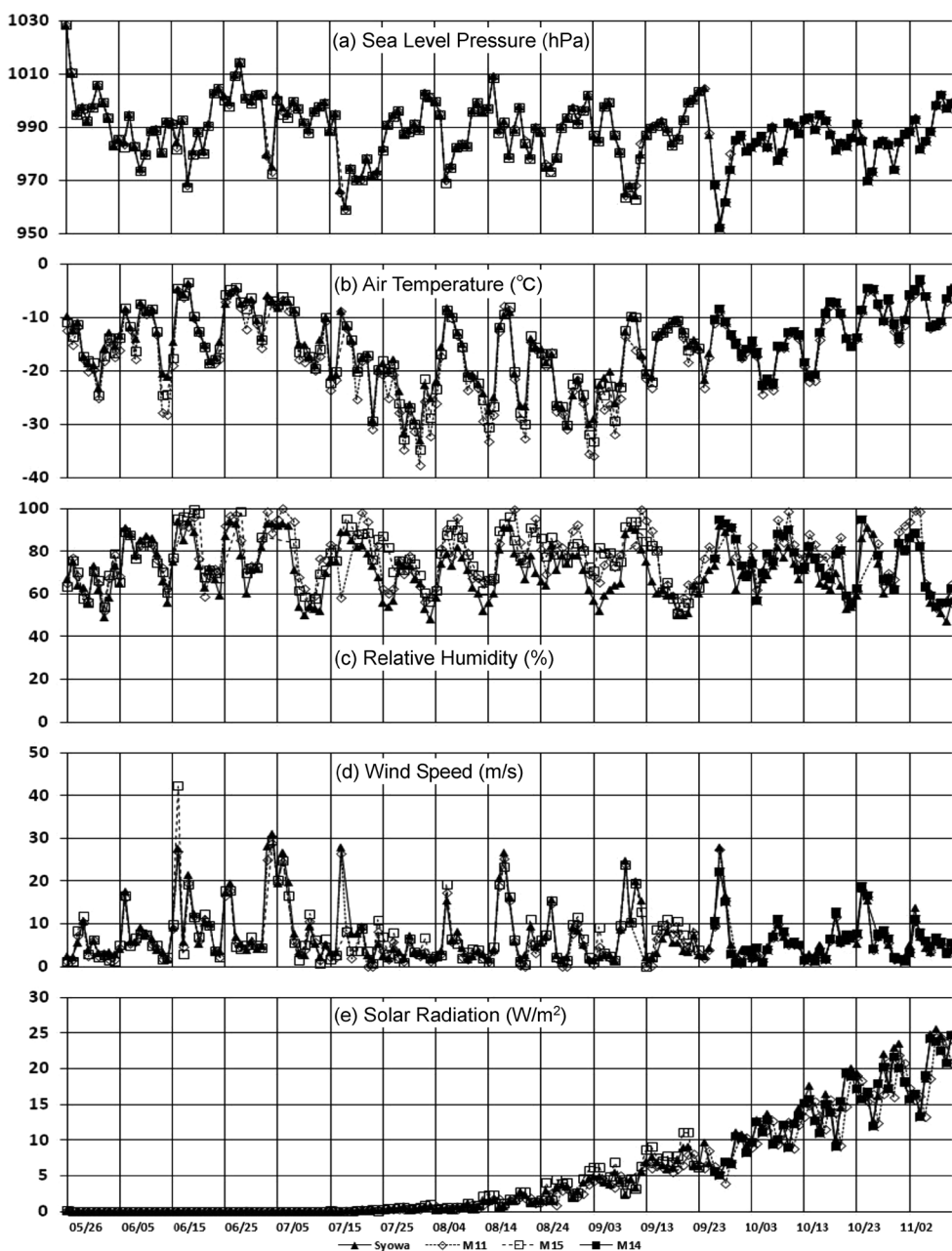


図 31 MAWS 観測点及び昭和基地における地上気象観測経過図 (2009 年 5 月 26 日～2009 年 11 月 10 日)
 (a) 日平均海面気圧 (hPa), (b) 日平均気温 (°C), (c) 日平均湿度 (%), (d) 日平均風速 (m/s), (e) 日積算日射量 (W/m²)

Fig. 31. Time series of surface meteorological data at MAWS observation points and Syowa Station (26 May 2009–10 Nov. 2009) for: (a) sea level pressure (hPa); (b) air temperature (°C); (c) relative humidity (%); (d) wind speed (m/s); and (e) solar radiation (W/m²).

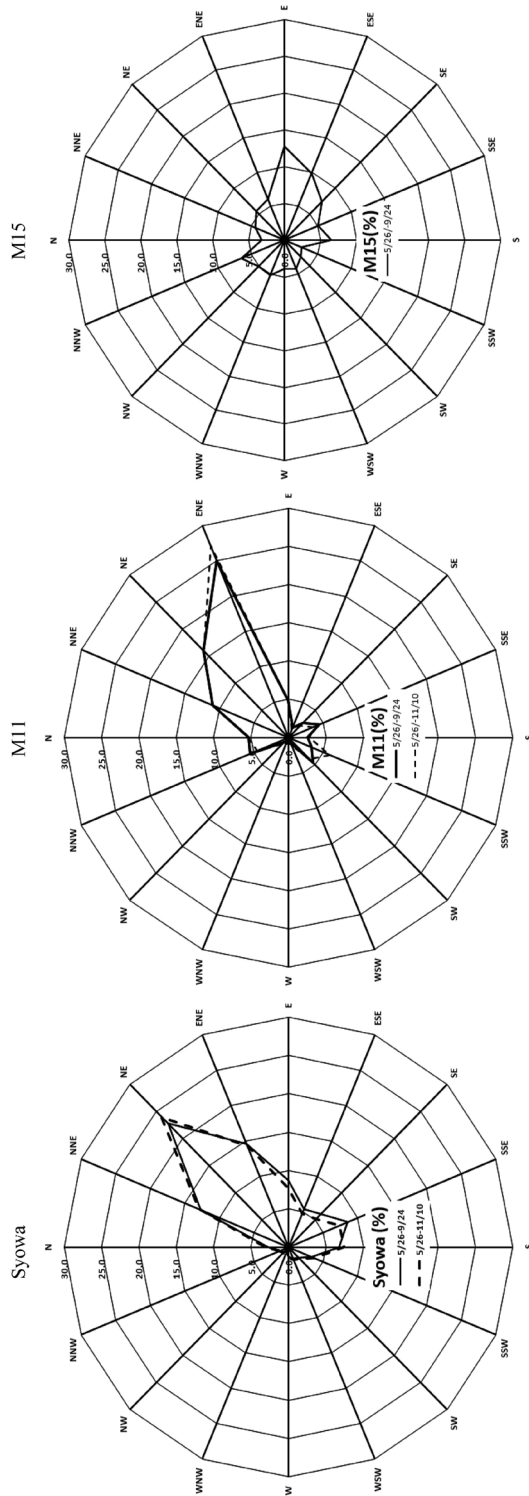


図 32 昭和基地及び MAWS 観測点 (M11, M15) における風配図
 実線: 2009 年 5 月 26 日～2009 年 9 月 24 日, 破線: 2009 年 5 月 26 日～2009 年 11 月 10 日
 Fig. 32. Wind rose for Syowa Station and MAWS observation points, M11 and M15.
 Solid line is for 26 May 2009–24 Sep. 2009, and dashed line is for 26 May 2009–10 Nov. 2009.

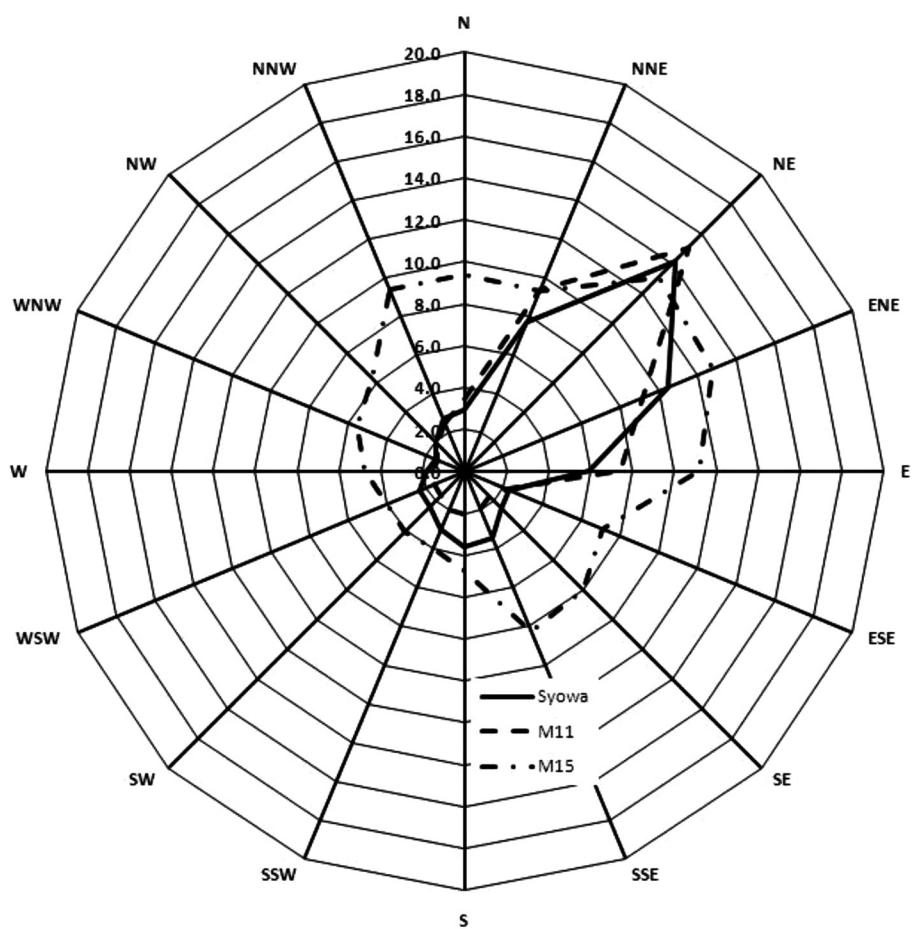


図 33 昭和基地及び MAWS 観測点 (M11, M15) における風向別平均風速 (2009 年 6-9 月)
 Fig. 33. Mean wind speed for each wind direction at Syowa Station and MAWS observation points, M11 and M15 (Jun. 2009-Sep. 2009).

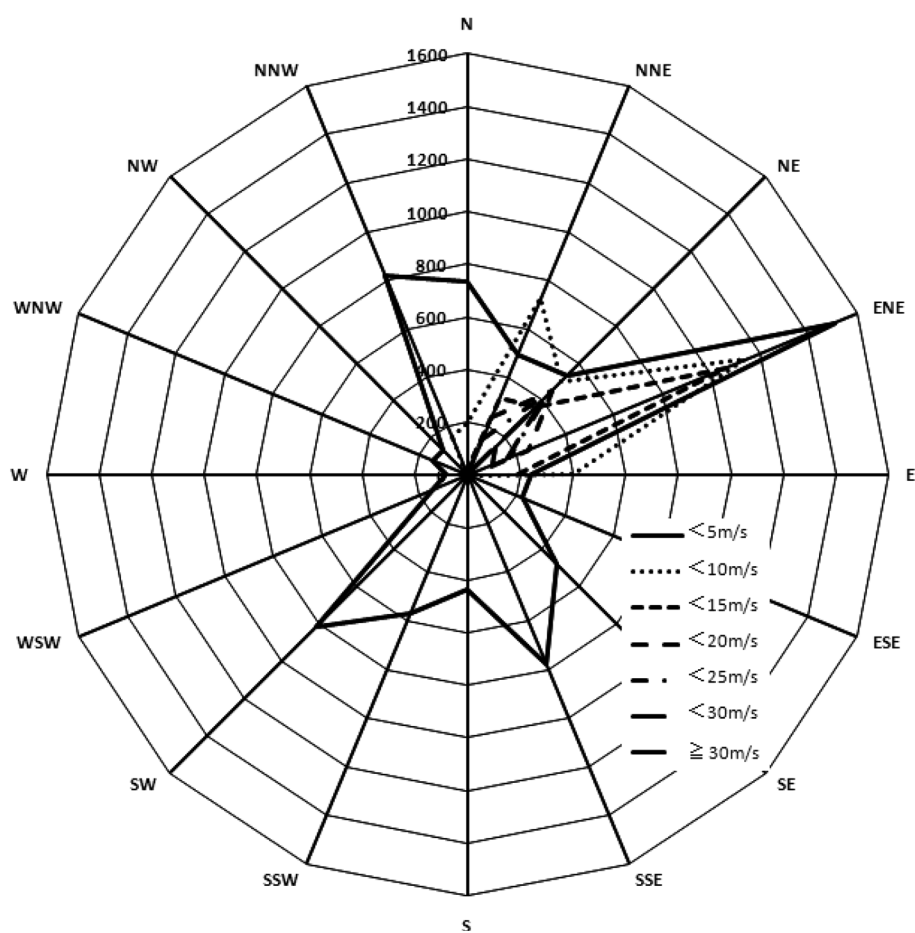


図 34 MAWS 観測点 (M11) における風速階級別風向分布 (2009 年 6-9 月)

Fig. 34. Frequency distribution of wind direction for each wind speed at MAWS observation point, M11 (Jun. 2009-Sep. 2009).

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端日本国内に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50次観測隊の気象定常観測を遂行するにあたり、観測上の技術的援助及び助言をいただいた第50次隊の小達恒夫観測隊長、門倉昭越冬隊長ほか第50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50次観測隊行動において、観測物資の輸送をはじめ、多大なる支援を頂いたオーストラリア南極局職員及び「オーロラ・オーストラリス号」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、土井元久元南極観測事務室長、田代照政元南極観測事務室長、森永裕幸大阪管区気象台予報課調査官、第48次・第49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): 昭和基地及び「しらせ」船上における地上オゾン濃度の連続観測. 南極資料, **41**, 231–247.
- 江崎雄治・栗田邦明・松島 功・木津暢彦・中嶋哲二・金戸 進 (2000): 第38次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.
- 林 政彦・長田和雄・原圭一郎・矢吹正教・小林 拓・猪原 哲・和田 誠・山内 恭・橋田 元・塩原匡貴 (2010): 昭和基地における地上エアロゾルモニタリング. 南極資料, **54**, 474–486.
- Herber, A., Thomason, L.W., Dethloff, K., Viterbo, P., Radionov, V.F. and Leiterer, U. (1996): Volcanic perturbation of the atmosphere in both polar region: 1991–1994. *J. Geophys. Res.*, **101**, 3921–3928.
- 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.
- 金戸 進 (1997): ビナツボ噴火と昭和基地の気候. 南極資料, **41**, 285–290.
- 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, 158 p.
- 気象庁 (2008): オゾンゾンデ観測指針 (KC 型編). 東京, 53 p.
- 気象庁 (2010): オゾン層観測報告 2009. 東京, 63 p.
- 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.
- Mateer, C.L. and DeLuisi, J.J. (1992): A new Umkehr inversion algorithm. *J. Atmos. Terr. Phys.*, **54**, 537–556.
- 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.
- 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.
- 長田和雄・林 政彦・原圭一郎・矢吹正教・和田 誠・塩原匡貴・山内 恭・藤田耕史 (2010): 昭和基地における大気中粗大粒子濃度の季節変化. 南極資料, **54**, 487–497.
- Petropavlovskikh, I., Bhartia, P.K., and DeLuisi, J.J. (2005): New Umkehr ozone profile retrieval algorithm optimized for climatological studies. *Geophysical Research Letters*, **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.
- WHO (2002): Global Solar UV Index: a Practical Guide. Geneva, WHO, 28 p.
- 吉見英史・石井洋子・望月隆史・岩渕真海・水野太治 (2013): 第 49 次日本南極地域観測隊気象部門報告 2008. 南極資料, **57**, 243–298.