

第 49 次日本南極地域観測隊気象部門報告 2008

吉見英史^{1*}・石井洋子¹・望月隆史¹・岩淵真海¹・水野太治¹

Meteorological observations at Syowa Station, Antarctica, 2008 by the 49th Japanese Antarctic Research Expedition

Hideshi Yoshimi^{1*}, Hiroko Ishii¹, Takashi Mochizuki¹,
Masami Iwabuchi¹ and Taiji Mizuno¹

(2013 年 3 月 8 日受付; 2013 年 4 月 25 日受理)

Abstract: This report describes the result of meteorological observations at Syowa Station by the Meteorological Observation Team of the 49th Japanese Antarctic Research Expedition (JARE-49) during the period 1 February 2008 to 27 January 2009. The observation methods, instruments, and statistical methods used by the JARE-49 team are nearly the same as those used by the JARE-48 observation team.

Remarkable weather phenomena observed during the period of JARE-49 are as follows.

1) On 1 September 2008, the record minimum temperature for September was observed in the upper atmosphere (pressure greater than 175 hPa).

2) The monthly mean temperature at Syowa Station during October 2008 was -17.5°C ; this is the lowest monthly mean October temperature recorded at Syowa Station.

3) The total ozone over Syowa Station was less than or equal to 220 m atm-cm during the period from late August to late November, and was close to minimum levels during the period from mid-September to mid-October. The lowest total ozone in 2008, recorded on 16 October 2008, was 140 m atm-cm.

要旨: この報告は第 49 次日本南極地域観測隊気象部門が、2008 年 2 月 1 日から 2009 年 1 月 27 日までの越冬期間中に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・統計方法などは第 48 次隊とほぼ同様である。

越冬期間中、特記される気象現象として、次のものが挙げられる。

1) 9 月 1 日、175 hPa から上層のすべての気圧面で、9 月としての最低気温の極値を更新した。

2) 地上気象観測において、10 月の平均気温は -17.5°C と低く、これまでの平均値として最も低い極値 (2007 年までの記録は 1991 年 10 月の -16.1°C) を更新した。

3) 昭和基地上空のオゾン全量は、8 月下旬から 11 月下旬までオゾンホールを目安となる 220 m atm-cm をほぼ継続的に下回った。特に 9 月中旬から 10 月中旬にかけてオゾン全量が非常に少なく、10 月 16 日には 2008 年でも最小値である 140 m atm-cm を記録した (2007 年までの最小値は 2006 年 10 月 17 日の 114 m atm-cm)。

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

* Corresponding author. E-mail: yoshimi@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、地球環境の監視や研究など多目的に利用されている。第49次南極地域観測隊気象部門は、2008年2月1日に第48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、2009年1月27日までほぼ1年間観測を行い、第50次隊に引き継いだ。観測の方法、観測に用いた測器及び観測値の統計方法などは第48次隊とほぼ同様である（中村ほか、2012）。

地上気象観測、高層気象観測、地上日射放射観測は、第48次隊から引き継いだ観測装置で観測を行った。高層気象観測は、2008年2月1日00 UTCよりレーウィンゾンデからGPSゾンデを用いた観測に完全に移行した。地上日射放射観測のうちの波長別紫外域日射観測は、第48次隊から引き継いだブリューワー分光光度計MKIII（168号機）と第49次隊で持ち込んだMKII（091号機）の比較観測を実施し、MKIIIによる観測を継続した。MKIIは予備器とした。

オゾン観測のうち、オゾン全量観測・反転観測ではドブソンオゾン分光光度計Beck119を持ち込み、第48次隊使用のBeck122との比較観測を実施後、Beck119を正式運用とした。オゾンゾンデ観測については、すべての観測をKC-02G型オゾンゾンデで実施した。地上オゾン濃度観測は、オゾン濃度計2台を持ち込み、第48次隊から引き継いだ旧水素ガス発生器室で観測を行った後、5月から観測場所を清浄大気観測小屋に変更し観測を行った。

世界の気象機関に観測結果を即時配信するための全球通信システム（GTS: Global Telecommunication System）へのデータは、第48次隊と同様インテルサット（国際電気通信衛星機構）を經由し国内から送信した。

その他の観測として、海氷上に設置した雪尺による積雪観測、S16及びとつつき岬に設置したロボット気象計による気象観測などを実施した。

また、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から作成した各種天気図及び予想図を気象庁データサーバよりインテルサットを經由して取得し、昭和基地周辺の天気解析に利用した。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. 49（気象庁、2010）としてCD-ROMに取りまとめて刊行した。ここでは第49次隊の担当した期間の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），地上月気候値気象通報式（CLIMAT）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

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。

表 1 昭和基地における地上気象観測使用測器等一覧表

Table 1. Observation elements, observation frequency, minimum units, and instruments at Syowa Station.

観測種目	観測時刻	観測 最小単位	使用測器等	型式	備考
現地気圧	連続・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 (静電容量型) 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	携帯用通風乾湿計により 比較点検 (3 カ月 1 回)
	—		携帯用通風乾湿計		
露点温度	連続・毎正時	0.1°C	—		気温・湿度から算出
蒸気圧	同上	0.1 hPa	—		気温・湿度から算出
相対湿度	連続・毎正時	1%	電気式湿度計 (静電容量型)	HMP233LJM	携帯用通風乾湿計により比較 点検 (3 カ月 1 回)
	—		携帯用通風乾湿計		
風向	連続・毎正時	1°	風車型風向風速計	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)	MS101D	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)		北の浦氷上に設置
雲量・雲形・ 向き・高さ	定時※		目視		
視程	定時※	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 1 日 8 回。

(2) 目視観測

雲及び視程については、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回程度の頻度で雪尺の雪面上の高さを測定した。積雪の深さは、全ての雪尺の高さの平均値とし

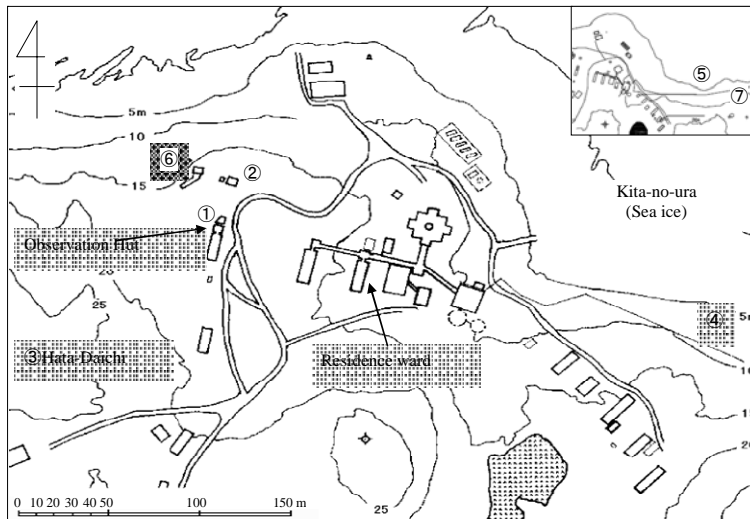


図1 昭和基地主要部と測器感部の配置(国立極地研究所(2008)に加筆)

- 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: ブリュウワー分光光度計, 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 (~2008年4月30日)
- ⑦オゾン観測: 地上オゾン濃度計 (2008年5月1日~)

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

- ① Surface observation: Barometer
Ozone observation: Dobson spectrophotometer
Radiation observation: Brewer spectrophotometer, downward radiation
- 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 (~Apr. 30, 2008)
- ⑦ Ozone observation: Surface ozone monitor (May. 1, 2008-)

て算出した。なお、積雪の深さは雪尺設置時点の雪面の高さを 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、8 月 7 日に昭和基地全停電事故が発生、これに伴い 1509–1741 LT まで観測データの欠測が生じた。

保守・点検は、国内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。観測はおおむね順調であった。

(2) 気温、湿度

両測器とも百葉箱（強制通風式）内に設置し通年観測した。おおむね順調に観測を行った。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。また、8 月 7 日の停電時には 16, 17 LT の気温を携帯用通風乾湿計により観測した。

比較観測は携帯用通風乾湿計により 3 カ月に 1 回行い、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。

1 年を通しておおむね順調に動作したが、弱風の時に凍結または凍結の疑いがあったため、日平均風速が「準正常値」または「資料なし」となった日があった。

(4) 全天日射量、日照時間

全天電気式日射計と太陽追尾式日照計が一体型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。8 月 3 日に観測測器の交換を行った。

(5) 積雪の深さ

観測棟北東側の北の浦に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）

航空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補助や、大気現象発現時刻の決定の補助に利用した。地ふぶき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) 海氷上の積雪の深さの観測

4月11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。前次隊からの連続した観測データが取得できるよう、第48次隊とはほぼ同じ場所に設置した。6月16日の観測時に9本中1本が折れていたため、6月16日以降8本での観測となった。

2009年1月になると夏の日射によって雪尺の地際の雪が解け、1月12日の雪尺観測までには8本中6本の雪尺が倒れた。

2.3. 観測結果

月別気象表を表2に、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。

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。

(1) 2008年の天候は周期的に低気圧が接近した影響で、年間を通して海面気圧が平年に比べ低く、日照時間も10月を除き9月から翌1月にかけて少なかった。また、降雪も多い年となった（表2、図2）。

(2) 気温については、年間を通して平年より低く、2008年の年平均気温が統計を開始して以来低い方から5位となった（表3、図2）。また、月平均気温の極値や順位を更新することが多く、特に6月と10月の月平均気温が低い方から2位と1位となった（表3）。

(3) 風速については年間を通して平年並だったが、低気圧の接近が多かった7月下旬及び8月中旬は平年に比べ平均風速が大きかった（図2）。

(4) 越冬期間を通して、26回のブリザードがあった。月別では4-9月まで毎月平均3回のブリザードがあり、10月以降は毎月1回ブリザードとなった。なお、ブリザードの回数は過去の観測隊とくらべて特に多くはなかったが、11月に大規模なA級ブリザードとなったのは15年ぶりで、12月は12年ぶり、1月は10年ぶりのブリザード（規模はC級）となった（表4）。

(5) 海氷上（雪尺）と昭和基地の陸上（積雪計）の積雪の深さの観測値を図3に示す。

昭和基地の陸上の積雪は、3月2日に観測して以降5月下旬まで増え、6月から8月上旬までは多少の増減はあるが、ほぼ横ばいとなった。8月中旬から9月は周期的に低気圧が昭和基地周辺を通過した影響で増加したが、10月から翌1月下旬にかけて日照や昇温の影響により減少した。

なお、第49次隊では2008年3月2日から2009年1月27日に第50次隊へ引き継ぐまで積雪がなくなることはなかった。

海氷上の積雪は4月中旬の設置以降9月中旬までは、ブリザードなどによる増減はあった

が、ほぼ横ばいに推移した。9月下旬は悪天が続いた（C級ブリザード及びA級ブリザードが1回ずつあった）ため積雪は一時的に増加したが、12月下旬からは夏期間の昇温に伴い減少した。

ブリザード等による積雪の増加の傾向について、海氷上と陸上で一部相違がみられる。これは障害物の多い陸上よりも障害物のない海氷上の方が、風の影響が大きいためと考える。なお、日照や昇温等の影響による積雪の減少については、海氷上と陸上ではおおむね同じ傾向で減少した。

表 2 昭和基地における地上気象観測月別気象表 (2008 年 1 月 ~ 2009 年 1 月)
Table 2. Monthly summaries of surface observations at Syowa Station (Jan. 2008-Jan. 2009).

項目	2008 年												2009 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	全年	1 月
平均海面気圧	986.2	981.3	987.3	988.4	991.1	987.4	983.7	984.6	981.3	981.4	982	981.7	984.7	986
最低海面気圧	974.2	967.8	955.4	958.5	963.3	943.4	947.9	965.6	955.3	961.5	956.9	949.9	943.4	969.5
起日	31	5	11	2	18	26	26	16	20	2	8	1		12
平均気温	-1.8	-4.2	-8.1	-9.1	-15.3	-20.6	-14.7	-22.1	-15.2	-17.5	-7.4	-1.5	-11.4	-1.2
最高気温の平均	0.6	-1.5	-5.9	-6.8	-12.4	-16.4	-11.4	-18.1	-11.6	-14.1	-4.8	0.9	-8.4	1.1
最低気温の平均	-4.4	-7.1	-10.9	-11.9	-18.6	-24.9	-18.8	-26	-19.1	-22.5	-10.9	-4.3	-14.9	-3.6
最高気温	3	5.1	-0.7	-1.3	-6.3	-6.9	-5.3	-10.3	-4.5	-6.8	-0.7	5.8	5.8	4
起日	31	1	4	8	18	18	12	26	18	2	11	17	28	16
最低気温	-10.5	-12.4	-22.3	-22	-29.7	-37.9	-31.3	-35.5	-24.6	-29.9	-24	-8	-37.9	-8.9
起日	25	15	31	1	12	5	10*	9	22	27	2	7		7
最低気温 0°C 以上の日数	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
平均気温 0°C 以上の日数	1	2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	3	13
最高気温 0°C 以上の日数	22	8	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	22	53
最高気温 -10°C 以上の日数	31	29	27	23	11	5	13	-	10	6	28	31	214	31
最低気温 -20°C 未満の日数	-	-	1	2	12	22	12	26	13	22	2	-	112	-
平均気温 -20°C 未満の日数	-	-	-	-	4	15	5	20	2	6	-	-	52	-
最高気温 -20°C 未満の日数	-	-	-	-	1	8	2	11	-	-	-	-	22	-
平均蒸気圧	3.5	2.9	2.5	2.5	1.4	1.1	1.7	0.9	1.5	1.1	2.7	4	2.2	4.1
平均相対湿度	66	63	71	73	68	75	76	70	74	67	73	73	71	73
平均風速	6.1	6.5	7.6	9.1	5.3	6.3	8.6	6.3	7.3	3.8	6.4	7.2	6.7	6.1
最多風向	NE	NE	NE	NE	ENE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE
最大風速	25.8	25.8	28.3	34.4	34.3	37.1	29.7	31.9	29.6	23.5	34	24.9	37.1	34.1
風向 起日	NE, 7	ENE, 17	NE, 3	NE, 7	ENE, 18	NE, 26	ENE, 26	NE, 15	ENE, 27	ENE, 2	ENE, 8	ENE, 5	ENE, 5	NE, 27
最大瞬間風速	34.5	32.2	36	43.1	41	47.3	37.6	37.9	35.1	29	42.8	30.6	47.3	41.2
風向 起日	ENE, 7	ENE, 17	NE, 3	NE, 27	ENE, 18	NE, 26	ENE, 26	NE, 16	ENE, 27	ENE, 2	ENE, 9	ENE, 5	ENE, 5	NE, 27
最大風速 10.0 m/s 以上の日数	16	14	20	22	14	13	21	13	20	10	21	19	198	11
15.0 m/s 以上の日数	9	9	11	14	8	9	15	10	12	3	9	11	120	9
30.0 m/s 以上の日数	-	-	-	4	2	3	-	2	-	-	2	-	14	1
日照時間	329.6	271.6	125.5	61.8	45	-	2.7	69.2	65.9	265.4	267.5	323.6	1774.1	275.9
日照率	46	55	32	24	41	-	5	32	19	55	42	43	39	39
平均全天日射量	24.2	17.7	7.7	2.3	0.3	0	0.1	1.5	5.6	15.9	24	28.8	10.7	24.1
日照日数	3	2	7	16	21	30	29	13	14	5	6	2	153	8
平均雲量	7.7	6.3	7.6	7.5	6.4	7.2	8	5.9	8.4	6.3	7.1	8.6	7.3	7.9
平均雲量 1.5 未満の日数	2	5	2	2	4	2	1	6	-	4	4	1	34	3
8.5 以上の日数	18	11	16	18	11	18	19	11	16	10	16	22	188	20
雪日数	15	9	23	19	17	24	22	19	23	16	20	12	221	17
霧日数	-	-	-	1	-	-	-	1	-	-	-	-	1	6
ブリザード日数	-	1	2	9	4	6	12	5	9	2	2	1	55	2
ブリザード回数	-	1	1	4	3	3	4	2	4	1	1	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。資料の一部が欠けているが、その数が観察する範囲内である。 [※]: 期間中のそれ以前に同値の記録があった。
 ・5月29日から7月14日までは記録上本観測中心が地平面上に現れない。日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欄外注を参照のこと。

表 3 昭和基地における地上気象観測極値・順位更新記録 (2008 年 2 月～2009 年 1 月)
 Table 3. New records of surface meteorological observation extrema and rankings at Syowa Station (Feb. 2008–Jan. 2009).

年	月	統計項目	観測値	起日	順位
2008	2	日最高気温の高い方から	5.1°C	1 日	7 位
		日最高気温の低い方から	-6.6°C	28 日	9 位
		月平均気温の低い方から	-4.2°C		3 位
		月日照時間の多い方から	271.6 時間		3 位
	3	月平均気温の低い方から	-8.1°C		5 位
		日最小相対湿度	0.28%	1 日	2 位
		日最小相対湿度	0.32%	2 日	8 位
	4	日最低気温の高い方から	-2.6°C	8 日	4 位
		日最大瞬間風速	43.1 m/s (NE)	27 日	7 位
		日最大瞬間風速	43.0 m/s (NE)	7 日	9 位
	5	月平均気温の低い方から	-15.3°C		7 位
		月間日照時間の多い方から	4.05 時間		1 位
	6	日最高気温の低い方から	-26.0°C	5 日	10 位
		日最低気温の低い方から	-37.9°C	5 日	2 位
		日最低気温の低い方から	-37.0°C	3 日	4 位
		日最低気温の低い方から	-36.2°C	2 日	6 位
		日最低気温の低い方から	-35.8°C	6 日	9 位
		月平均気温の低い方から	-20.6°C		2 位
	7	月平均気温の高い方から	-14.7°C		10 位
	8	月平均気温の低い方から	-22.1°C		8 位
9	月平均気温の高い方から	-15.2°C		5 位	
	月日照時間の少ない方から	65.9 時間		1 位	
10	月平均気温の低い方から	-17.5°C		1 位	
	月日照時間の多い方から	265.4 時間		5 位	
11	日最低気温の低い方から	-24.0°C	2 日	3 位	
	月平均気温の低い方から	-7.4°C		9 位	
12	月日照時間の少ない方から	323.6 時間		1 位	
2009	1	日最大風速・風向	34.1 m/s (NE)	27 日	5 位
		日最大瞬間風速・風向	41.2 m/s (NE)	27 日	6 位
		月間日照時間の少ない方から	275.9 時間		5 位
通年	日最低海面気圧	943.4 hPa	26 日	10 位	
	年平均気温の低い方から	-11.5°C		5 位	
	年間日照時間の少ない方から	1827.7 時間		9 位	

表 4 昭和基地におけるブリザードの概要 (2008年2月~2009年1月) (1/2)
 Table 4. Consider, Heavy snowstorm (blizzard) events at Syowa Station (Feb. 2008-Jan. 2009). (1/2)

番号	階級	開始日時	終了日時	継続時間	最大風速		最大瞬間風速		最低海面気圧		中断	
					風速 (m/s)	風向	風速 (m/s)	風向	気圧 (hPa)	起時		
4901	B	2008年 2月17日 0730 LT	2008年 2月17日 1950 LT	12時間20分	25.8	ENE	17日 0910 LT	32.2	ENE	17日 0904 LT	968.2	17日 0909 LT
4902	B	2008年 3月10日 1620 LT	2008年 3月11日 1230 LT	20時間10分	27.8	NE	11日 0250 LT	33.2	ENE	11日 0403 LT	955.4	11日 0943 LT
4903	B	2008年 4月 2日 0315 LT	2008年 4月 3日 0510 LT	25時間40分	31.6	ENE	2日 0920 LT	39.2	ENE	2日 0821 LT	958.5	2日 0945 LT
4904	A	2008年 4月 6日 2200 LT	2008年 4月 8日 2259 LT	48時間59分	34.4	NE	7日 2150 LT	43.0	NE	7日 1746 LT	976.0	7日 1932 LT
4905	B	2008年 4月19日 2310 LT	2008年 4月20日 2331 LT	23時間11分	20.5	ENE	20日 2240 LT	29.6	NE	20日 0407 LT	975.7	20日 2329 LT
4906	A	2008年 4月27日 0605 LT	2008年 4月28日 0050 LT	18時間45分	33.5	ENE	27日 1730 LT	43.1	NE	27日 1908 LT	979.6	27日 1211 LT
4907	C	2008年 5月15日 0930 LT	2008年 5月15日 1640 LT	7時間10分	21.5	NE	15日 1320 LT	27.2	NE	15日 1318 LT	977.3	15日 1328 LT
4908	A	2008年 5月17日 1714 LT	2008年 5月18日 1750 LT	24時間36分	34.3	ENE	18日 0500 LT	41.0	ENE	18日 0436 LT	963.3	18日 0442 LT
4909	C	2008年 5月25日 1120 LT	2008年 5月25日 1930 LT	8時間10分	20.8	E	25日 1410 LT	26.5	E	25日 1434 LT	966.1	25日 1835 LT
4910	B	2008年 6月 8日 0610 LT	2008年 6月 9日 0010 LT	18時間 0分	25.0	NE	8日 1400 LT	29.9	NE	8日 1459 LT	984.2	8日 1354 LT
4911	A	2008年 6月12日 1642 LT	2008年 6月13日 2350 LT	31時間 8分	33.5	ENE	13日 1210 LT	39.9	ENE	13日 1217 LT	967.1	13日 1212 LT
4912	A	2008年 6月25日 1313 LT	2008年 6月26日 2218 LT	30時間 5分	37.1	NE	26日 1940 LT	47.3	NE	26日 1938 LT	943.4	26日 0049 LT
4913	C	2008年 7月 1日 2250 LT	2008年 7月 2日 0515 LT	6時間25分	17.4	NE	2日 0010 LT	22.2	NE	1日 0000 LT	986.0	2日 0006 LT
4914	B	2008年 7月 5日 1800 LT	2008年 7月 6日 2130 LT	27時間30分	25.3	NE	6日 0210 LT	31.5	NE	6日 0331 LT	976.4	5日 2129 LT
4915	B	2008年 7月20日 1325 LT	2008年 7月21日 1040 LT	21時間15分	28.0	NE	21日 0130 LT	32.5	NE	21日 0126 LT	980.7	20日 2309 LT

※1: 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。

※2: 極値については, それぞれのブリザードをもたらしした擾乱の影響を受けている期間で求めた。

表 4 昭和基地におけるブリザードの概要 (2008 年 2 月 ~ 2009 年 1 月) (2/2)
 Table 4. Consider, Heavy snowstorm (blizzard) events at Syowa Station (Feb. 2008-Jan. 2009). (2/2)

番号	階級	開始日時	終了日時	継続時間	最大風速		最大瞬間風速		最低海面気圧		中断		
					風速 (m/s)	風向	風速 (m/s)	風向	気圧 (hPa)	起時			
4916	B	2008年 7月25日 1050 LT	2008年 7月30日 0110 LT	94時間 0分	29.7	ENE	26日 0630 LT	37.6	ENE	26日 1328 LT	947.9	26日 0626 LT	28日 0800 LT- 28日 2040 LT 29日 1350 LT- 29日 1730 LT
4917	C	2008年 8月12日 1710 LT	2008年 8月12日 2311 LT	6時間 1分	22.6	NE	12日 2030 LT	27.0	NE	12日 1924 LT	971.5	12日 1754 LT	
4918	B	2008年 8月15日 0830 LT	2008年 8月18日 0550 LT	57時間 11分	31.9	NE	15日 2120 LT	37.9	NE	16日 0157 LT	965.6	16日 0158 LT	16日 1928 LT- 17日 0737 LT
4919	C	2008年 9月 1日 2035 LT	2008年 9月 2日 0510 LT	8時間 35分	23.5	ENE	1日 0000 LT	29.0	E	1日 2205 LT	978.9	2日 0428 LT	
4920	C	2008年 9月 4日 0800 LT	2008年 9月 6日 1250 LT	36時間 19分	28.8	NE	5日 1210 LT	34.7	ENE	4日 1452 LT	963.4	4日 1453 LT	4日 1910 LT- 5日 0940 LT 5日 2250 LT- 6日 0051 LT
4921	C	2008年 9月23日 0020 LT	2008年 9月23日 1504 LT	14時間 44分	26.5	NE	23日 0620 LT	31.6	NE	23日 0615 LT	969.2	23日 0613 LT	
4922	A	2008年 9月27日 1301 LT	2008年 9月29日 0921 LT	21時間 44分	29.6	ENE	27日 2050 LT	35.1	ENE	27日 2037 LT	960.3	27日 2116 LT	28日 0025 LT- 28日 2301 LT
4923	C	2008年 10月 1日 0740 LT	2008年 10月 2日 2309 LT	17時間 3分	23.5	ENE	2日 1420 LT	29.0	ENE	2日 1425 LT	961.5	2日 1720 LT	1日 1342 LT- 2日 1208 LT
4924	A	2008年 11月 8日 0530 LT	2008年 11月 9日 1540 LT	34時間 10分	34.0	ENE	8日 2020 LT	42.8	ENE	9日 0009 LT	956.9	8日 2354 LT	
4925	C	2008年 12月10日 0330 LT	2008年 12月10日 1020 LT	6時間 50分	19.5	NE	10日 0740 LT	23.2	NE	10日 0731 LT	958.1	10日 0330 LT	
4926	C	2009年 1月26日 2000 LT	2009年 1月27日 0750 LT	11時間 50分	34.1	NE	27日 0050 LT	41.2	NE	27日 0043 LT	973.1	27日 0044 LT	

※1: 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。

※2: 極値については, それぞれのブリザードをもたらした擾乱の影響を受けている期間で求めた。

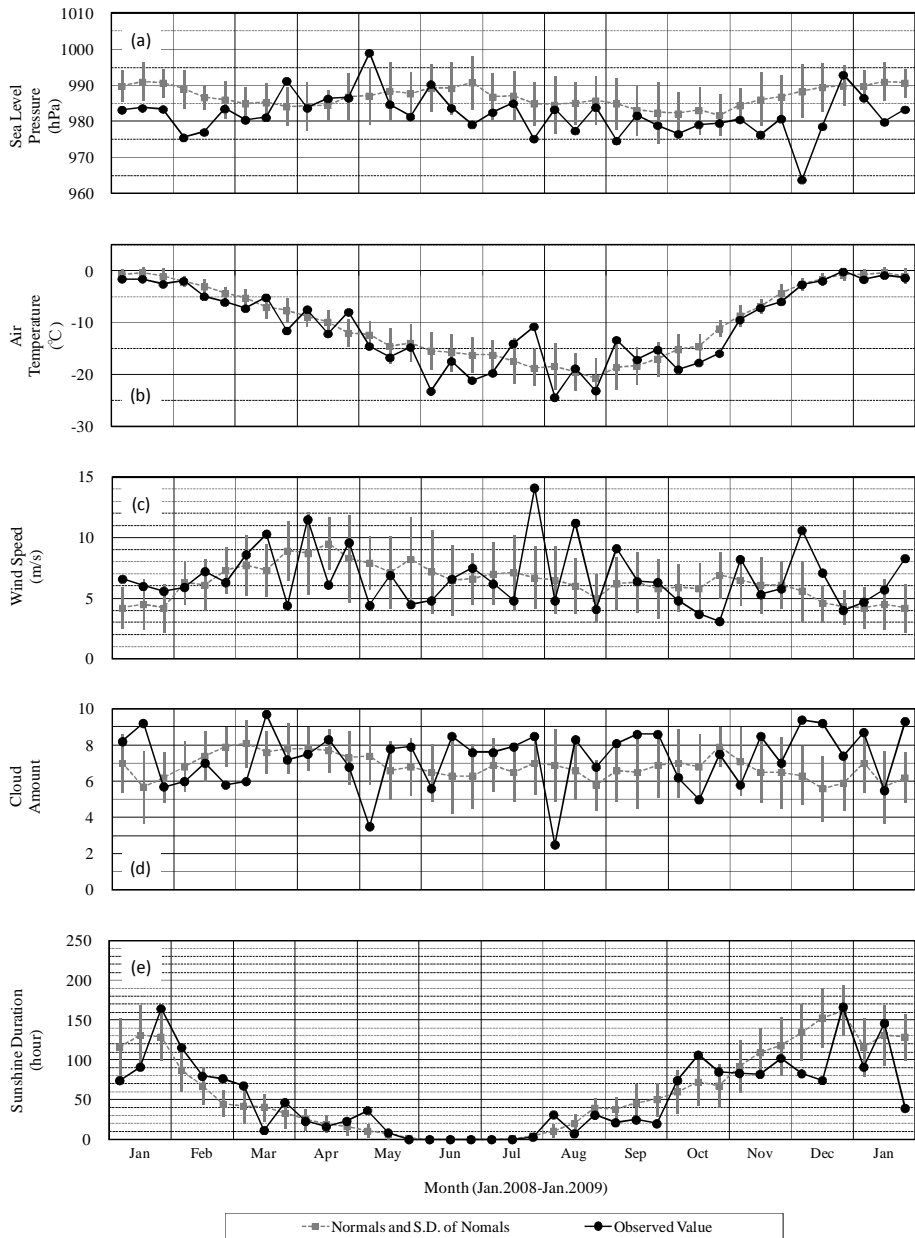


図2 昭和基地における地上気象旬別経過図 (2008年1月~2009年1月)
 平年値は1971年~2000年の平均値。

(a) 海面気圧, (b) 気温, (c) 風速, (d) 雲量, (e) 日照時間。

Fig. 2. Time series of ten-day means of surface meteorological data at Syowa Station (Jan. 2008–Jan. 2009). Normals represent means during the period 1971–2000.

(a) Sea level pressure, (b) Air temperature, (c) Wind speed, (d) Cloud cover; (e) Sunshine duration.

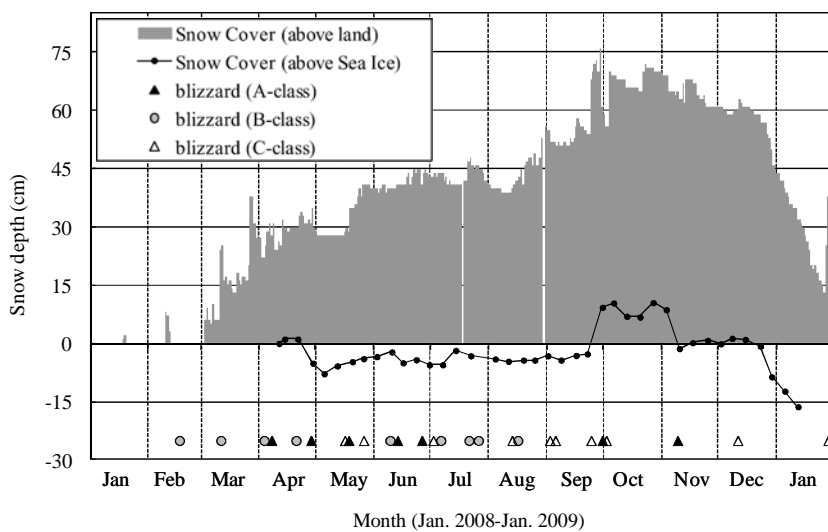


図 3 海氷上（雪尺）と陸上（積雪計）の積雪深観測値の比較（2008 年 1 月～2009 年 1 月）

Fig. 3. Comparison of snow depths on sea ice versus on ground areas at Syowa Station (Jan. 2008–Jan. 2009).

表5 昭和基地における天気概況 (2008年2月~2009年1月) (1/2)
 Table 5. Monthly weather summaries at Syowa Station (Feb. 2008-Jan. 2009). (1/2)

年月	天気概況
2008年 2月	<p>期間を通して高気圧に覆われ、晴れた日が多かった。そのため、月合計日照時間は271.6時間となり、2月では多い方から3位となった。また、月平均気温は-4.2°Cとなり、2月では低い方から3位となった。</p> <p>上旬は、高気圧に覆われ、晴れた日が多かった。 中旬は、低気圧の影響で曇りの日が多かった。17日は発達した低気圧が接近し、ブリザードとなった。 下旬は、高気圧に覆われ、晴れた日が多かった。</p>
2008年 3月	<p>期間を通して周期的に低気圧が接近し、曇りや雪の日が多かった。中旬から下旬にかけて気温が低かったため、月平均気温は-8.1°Cとなり、3月では低い方から5位となった。</p> <p>上旬は、周期的に低気圧が接近し、曇りや雪の日が多かった。10日は発達した低気圧が接近し、ブリザードとなった。 中旬は、周期的に低気圧が接近し、曇りや雪の日が多かった。 下旬の初めは、晴れた日が多かったが、後半は周期的に低気圧が接近し、曇りや雪の日となった。</p>
2008年 4月	<p>期間を通して周期的に発達した低気圧が接近し、雪の日やふぶきの日が多かった。</p> <p>上旬は、次々に発達した低気圧が接近し、2-3日、6-8日はブリザードとなった。8日の日最低気温は-2.6°Cとなり、4月では高い方から4位となった。 中旬及び下旬は、周期的に低気圧が接近し、曇りや雪の日が多かった。19-20日、27-28日は、発達した低気圧が接近し、ブリザードとなった。</p>
2008年 5月	<p>上旬から中旬の初めにかけて、高気圧に覆われ、晴れた日が続いたため、月間日照時間は45.0時間となり、5月では多い方から1位となった。月の後半は周期的に低気圧が接近し、曇りや雪の日が多かった。</p> <p>上旬は、高気圧に覆われ、晴れた日が続いた。 中旬は、周期的に低気圧が接近し、曇りや雪の日が多かった。17-18日は、発達した低気圧が接近し、ブリザードとなった。 下旬の初めは、周期的に低気圧が接近し、曇りや雪の日が多かったが、後半は高気圧に覆われ、晴れた日が多かった。25日は発達した低気圧が接近し、ブリザードとなった。</p>
2008年 6月	<p>月の初めは高気圧に覆われ、晴れた日が続いた。そのため、気温の低い日が続き、月平均気温が-20.6°Cとなり、6月では気温の低い方から2位となった。その後次々と低気圧が接近し、雪の日が多かった。なお、6月は極夜期間のため日照はなかった。</p> <p>上旬の初めは、高気圧に覆われ、晴れた日が続いた。2-6日にかけて記録的に気温が下がり、3日と5日の日最低気温は-37.0°Cと-37.9°Cとなり、6月では低い方から4位と2位となった。また、8-9日は発達した低気圧が接近し、ブリザードとなった。 中旬は、次々と低気圧が接近し、雪の日が多くなり、12-13日は発達した低気圧が接近し、ブリザードとなった。 下旬は、次々と低気圧が接近し、雪の日が多くなり、25-26日は発達した低気圧が接近し、ブリザードとなった。その後、晴れた日が続いた。</p>
2008年 7月	<p>上旬と下旬は周期的に発達した低気圧が接近し、ブリザードが多かった。中旬は曇りの日が多かった。</p> <p>上旬は、周期的に発達した低気圧が接近し、1-2日、5-6日はブリザードとなった。 中旬は、曇りの日が多かった。20-21日は発達した低気圧が接近し、ブリザードとなった。 下旬は、周期的に低気圧が接近し、雪の日が多く、25-29日は発達した低気圧が接近し、ブリザードとなった。</p>

表5 昭和基地における天気概況 (2008年2月~2009年1月) (2/2)

Table 5. Monthly weather summaries at Syowa Station (Feb. 2008-Jan. 2009). (2/2)

年月	天気概況
2008年 8月	<p>上旬は高気圧に覆われ、晴れた日が続いたが、中旬から下旬は周期的に低気圧が接近し、曇りや雪の日が多かった。</p> <p>上旬は、高気圧に覆われ、晴れた日が続いた。 中旬は、周期的に低気圧が接近し、雪の日やふぶきの日が多かった。12日、15-18日は発達した低気圧が接近し、ブリザードとなった。 下旬は、周期的に低気圧が接近し、雪の日が多かった。</p>
2008年 9月	<p>期間を通して次々と低気圧が接近し、雪の日やふぶきの日が続いた。そのため気温は平年より高く、月平均気温は-15.2°Cとなり、9月では気温の高い方から5位となった。また、日照時間は65.9hとなり、9月では少ない方から1位となった。</p> <p>上旬の初めは、次々と低気圧が接近し、ふぶきの日が多かった。1-2日、4-6日は発達した低気圧が接近し、ブリザードとなった。 中旬は、次々と低気圧が接近し、雪の日が多かった。 下旬は、次々と低気圧が接近し、雪の日やふぶきの日が多かった。23日、27-29日は発達した低気圧が接近し、ブリザードとなった。</p>
2008年 10月	<p>期間を通して高気圧に覆われて、晴れた日が多かった。そのため、月平均気温は、-17.5°Cとなり、10月では気温の低い方から1位となった。また、日照時間は265.4時間となり、10月では日照時間の多い方から5位となった。</p> <p>上旬は、晴れた日が多かったが、1-2日は発達した低気圧が接近し、ブリザードとなった。 中旬は、高気圧に覆われ晴れた日が続いた。 下旬の初めは、低気圧の影響で雪の日が続いたが、高気圧に覆われ、晴れた日が続いた。</p>
2008年 11月	<p>期間を通して周期的に低気圧が接近し、曇りや雪の日が多かった。</p> <p>上旬の初めは、晴れた日が続き、2日の最低気温は-24.0°Cとなり、11月では日最低気温の低い方から3位となった。8-9日にかけて発達した低気圧が接近し、ブリザードとなり、9日の日最大瞬間風速は42.8 m/s、8日の日最大風速は34.0 m/sとなり、11月ではそれぞれ5位となった。 中旬は、次々と低気圧が接近し、雪の日が多かった。 下旬は、周期的に低気圧が接近し、曇りや雪の日が多かった。</p>
2008年 12月	<p>期間を通して次々に低気圧が接近し、曇りや雪の日が多かった。そのため、日照時間は323.6時間となり、12月では少ない方から1位となった。</p> <p>上旬は、次々に低気圧が接近し、曇りや雪の日が多かった。10日は発達した低気圧が接近し、ブリザードとなった。 中旬は、次々に低気圧が接近し、曇りや雪の日が多かった。 下旬の初めは、低気圧が接近し、曇りや雪の日が多かったが、後半は高気圧に覆われ、晴れた日が多かった。</p>
2009年 1月	<p>期間を通して周期的に低気圧が接近し、曇りや雪の日が多かった。 そのため日照時間は275.9時間となり、1月では少ない方から5位を記録した。下旬のブリザードは、1月では10年ぶりとなった。</p> <p>上旬は、周期的に低気圧が接近し、曇りや雪の日が多かった。 中旬は、後半に高気圧に覆われ、晴れた日が続いた。 下旬は、次々に低気圧が接近し、雪の日が多かった。26日は発達した低気圧が接近し、ブリザードとなった。27日の日最大風速は34.1 m/sとなり、1月では5位となった。</p>

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（以下「GPS ゾンデ」）を，ヘリウムガスを充填したゴム気球に吊り下げて飛揚し，気球が破裂する上空約 30 km までの気圧，気温，風向・風速及び気温が -40°C に達するまでの相対湿度の高度分布を観測した．第 49 次隊では，第 48 次隊まで使用していた RS2-91 型レーウィンゾンデから，GPS ゾンデを用いた高層気象観測に 2008 年 2 月 1 日 00 UTC より完全に移行した．12 UTC でオゾンゾンデ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．このために 00 UTC の観測は高度 5 hPa の観測データ取得を目標とし，より到達高度性能の高い 1200 g 気球を使用した高高度ゾンデ観測を行った．

第 49 次隊で持ち込んだ GPS ゾンデに不具合があり，不具合解消のために，すべての GPS ゾンデについて，ファームウェアの書き換えを行い，動作確認を行った上で使用した．また，飛揚直前には，受信信号周波数，GPS 衛星信号，気温及び湿度に関しての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を使用した．

観測結果は，国際気象通報式（気象庁，1990）の地上高層実況気象通報式（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．

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 (2000 g) 強風降雪等状況により増量
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 ゾンデの各センサの性能
 Table 7. Sensor performances of the RS-01GM GPS sonde.

観測要素	センサ	測定範囲	測定精度	備考
気圧	GPS ゾンデ自身で観測した気温、湿度及び GPS 高度から静力学平衡式により算出	1040-5 hPa	±10 hPa	
気温	ビード型ガラスコートサーミスタ (アルミ蒸着加工)	+40~-85°C	±0.5°C	飛揚前点検で精度確認
湿度	高分子膜 (静電容量変化式)	1-100%	±7% (10-95%)	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			

3.2. 観測経過

表 8 に観測状況、表 9 に欠測および資料欠如の概要を示す。

この期間中、ブリザードによる強風のため飛揚作業を取り止めた欠測が 8 回、昭和基地の停電による欠測が 1 回あった。また、GPS 信号が正常に受信または演算処理できない障害が発生し、欠測が 6 回、資料欠如が 3 回あった。7 月の再観測回数が多いのもこのためである。ゾンデの性能及び受信機の不具合などが原因と考える。受信機の不具合は、第 50 次隊が改修済の受信機を持ち込み、交換する事で復旧した (2009 年 1 月 16 日 12 UTC)。

6 月 10 日 00 UTC、受信機の障害により欠測となったが予備の受信機と入れ替える事により 12 UTC からは正常に観測を行った。なお、障害は予備の部品と交換することで復旧した。8 月 23 日 12 UTC、ゾンデ信号の受信不良のため 100 hPa 未満で観測を打ち切り、このため資料欠如となった。この観測以外にもゾンデ信号の受信不良が発生していたが、原因の特定には至らなかった。第 50 次隊では同様の現象がなかったことから第 49 次隊特有の現象と考える。12 月 5 日 00 UTC と 12 UTC の観測において、信号ケーブルの断線によるゾンデ信号の受信不良のため資料欠如となった。

冬期間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、4 月 30 日 12 UTC から 12 月 6 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 年を通してあらかじめ加温した気球を観測に使用した。

3.3. 観測結果

2008 年 1 月～2009 年 1 月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 10 に示す。また、2008 年 1 月～2009 年 1 月の 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の年変化を図 4 に示す。

2008 年 1 月はすべての指定気圧面で気温が平年よりやや低かった。2 月はすべての指定気

表 8 昭和基地における高層気象観測状況 (2008 年 2 月~2009 年 1 月)

Table 8. Numbers of observations and attained heights of aerological observations at Syowa Station (Feb. 2008–Jan. 2009).

項目	年 月	2008 年											2009 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		58	67	62	65	60	75	60	61	62	61	64	62	757	
定時観測回数		57	62	59	59	57	62	60	60	62	60	62	62	722	
欠測回数 (※1)		1	1	2	4	4	1	2	0	0	1	0	0	16	
資料欠如回数 (※2)		0	0	0	2	1	0	0	0	0	0	2	0	5	
再観測回数		1	5	3	6	3	13	0	1	0	1	2	0	35	
到達気圧/ 高度	00 UTC	回数	29	31	29	30	28	30	31	30	31	30	30	31	360
		平均 hPa	9.1	9.9	13.3	8.7	23.6	12.1	8.6	10.0	11.0	13.4	12.5	11.4	12.0
		平均 km	32.1	31.1	28.6	31.4	27.3	27.7	29.4	30.3	30.7	28.9	30.1	31.6	29.9
		最高 hPa	7.4	6.5	7.7	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	8.1	7.7	7.7	5.0
	最高 km	33.5	33.4	31.8	33.5	32.2	31.6	32.1	33.2	33.8	32.1	33.4	33.5	33.8	
	12 UTC	回数	28	30	29	26	28	31	29	30	31	29	30	31	352
		平均 hPa	11.1	9.7	11.3	17.1	12.6	14.9	11.9	10.4	12.4	12.3	11.3	11.1	12.2
		平均 km	31.5	31.5	30.0	27.3	27.7	26.8	27.9	28.5	27.9	29.3	31.2	32.1	29.3
最高 hPa		7.2	5.0	5.0	6.8	5.0	5.0	5.1	5.0	7.4	6.6	5.0	5.0	5.0	
最高 km	33.9	35.3	34.1	31.2	31.9	31.8	31.5	32.5	32.2	33.4	36.9	36.8	36.9		

到達気圧/高度の計算において、欠測と資料欠如は除く

(※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 高層気象観測における欠測および資料欠如概要

Table 9. Summary of errors in the aerological observations at Syowa Station.

原因	結果	発生日時
ブリザード	欠測	2 月 17 日 12 UTC, 4 月 2 日 12 UTC, 4 月 8 日 00 UTC, 5 月 18 日 00 UTC, 6 月 13 日 00 UTC, 6 月 13 日 12 UTC, 7 月 26 日 00 UTC, 8 月 15 日 12 UTC
基地停電	欠測	8 月 7 日 12 UTC
GPS 関連障害	欠測	3 月 27 日 12 UTC, 5 月 18 日 12 UTC, 5 月 23 日 12 UTC, 5 月 27 日 12 UTC, 6 月 2 日 12 UTC, 11 月 16 日 12 UTC
	資料欠如	5 月 22 日 12 UTC, 5 月 26 日 12 UTC, 6 月 17 日 00 UTC
受信機障害	欠測	6 月 10 日 00 UTC
ゾンデ信号受信不良	資料欠如	8 月 23 日 12 UTC
ケーブル断線	資料欠如	12 月 5 日 00 UTC, 12 月 5 日 12 UTC

圧面で平年と比べて大きな差はなかった。3-4 月の 700-300 hPa 面付近では、気温が平年より 2°C 以上高くなり、4 月の 500 hPa では平年より 4.0°C 高かった。5 月は上層ほど気温が平年より高い傾向があり、30 hPa では平年より 3.6°C 高かった。6 月は平年と比べて大きな差はなかった。7 月以降は、200 hPa 面より上層の指定気圧面で気温が平年より低いことが多かった。11 月は、すべての指定気圧面で気温が平年よりも低かった。12 月は、150-100 hPa 面で平年よりも 10°C 以上低温だった。

表 10 月別指定気圧面観測値 (00 UTC)

Table 10. Monthly summaries of aerological data at standard pressure (00 UTC).

項目	指定面 (hPa)	2008年													2009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	1165	1114	1148	1162	1164	1113	1108	1083	1076	1070	1110	1123	1120	1164
	800	1630	1577	1609	1621	1617	1561	1562	1526	1524	1517	1569	1590	1575	1632
	700	2638	2583	2610	2623	2605	2538	2548	2494	2503	2492	2564	2600	2567	2644
	600	3773	3714	3739	3757	3724	3643	3660	3588	3609	3599	3684	3736	3686	3785
	500	5074	5011	5042	5061	5007	4912	4938	4843	4879	4872	4970	5036	4970	5098
	400	6610	6542	6584	6597	6517	6408	6443	6320	6372	6369	6485	6566	6484	6649
	350	7498	7429	7476	7485	7391	7272	7313	7174	7233	7232	7359	7450	7359	7547
	300	8496	8430	8479	8484	8376	8245	8287	8134	8200	8200	8341	8444	8343	8557
	250	9665	9614	9654	9649	9519	9368	9406	9242	9309	9319	9474	9598	9485	9737
	200	11121	11088	11118	11078	10917	10728	10741	10566	10629	10652	10840	10985	10872	11194
	175	12003	11977	12000	11939	11757	11540	11529	11348	11408	11440	11654	11818	11701	12072
	150	13025	13003	13015	12934	12726	12474	12432	12244	12299	12346	12590	12781	12656	13087
	125	14239	14216	14213	14106	13864	13569	13490	13294	13344	13410	13691	13923	13780	14291
	100	15732	15703	15674	15532	15245	14892	14770	14563	14611	14703	15038	15330	15149	15770
	70	18134	18087	18000	17791	17430	16969	16778	16564	16622	16770	17213	17630	17332	18154
	50	20418	20342	20186	19903	19465	18890	18640	18431	18509	18749	19324	19872	19394	20421
	40	21944	21841	21632	21296	20820	20148	19870	19660	19764	20099	20770	21394	20770	21938
30	23918	23781	23496	23083	22541	21737	21430	21228	21389	21886	22687	23386	22547	23912	
気温 (°C)	850	-9.7	-10.7	-12.7	-13.4	-17.2	-20.6	-16.7	-22.4	-19.7	-20.5	-13.2	-8.5	-15.4	-8.6
	800	-12.6	-13.2	-14.7	-15.3	-19.0	-21.4	-19.0	-23.8	-21.3	-22.0	-15.8	-11.6	-17.5	-11.3
	700	-18.3	-19.0	-19.9	-19.0	-22.2	-25.5	-23.3	-27.6	-24.8	-25.5	-21.5	-17.9	-22.0	-17.3
	600	-25.3	-26.1	-25.8	-25.2	-28.6	-31.6	-30.1	-34.0	-31.3	-30.6	-28.3	-25.3	-28.5	-23.7
	500	-33.1	-34.1	-32.4	-32.8	-36.9	-39.3	-37.7	-42.2	-39.4	-38.9	-36.0	-33.8	-36.4	-30.7
	400	-43.2	-43.5	-42.1	-43.1	-46.9	-49.1	-47.7	-51.8	-49.8	-49.3	-46.6	-44.1	-46.4	-40.7
	350	-49.1	-49.1	-47.8	-49.0	-52.2	-54.7	-53.8	-57.4	-55.7	-55.0	-52.5	-49.9	-52.2	-46.3
	300	-54.1	-52.4	-53.0	-53.9	-57.2	-60.3	-60.3	-63.0	-62.1	-61.1	-58.3	-56.0	-57.6	-51.5
	250	-52.9	-49.4	-51.4	-55.3	-59.7	-63.9	-66.3	-68.0	-68.3	-66.7	-62.8	-60.3	-60.4	-51.8
	200	-48.2	-46.2	-47.6	-53.3	-58.3	-65.5	-70.7	-72.2	-73.0	-70.6	-64.5	-60.4	-60.9	-48.9
	175	-47.0	-45.8	-47.9	-52.6	-58.0	-65.6	-72.3	-73.7	-74.8	-71.8	-65.1	-59.6	-61.2	-48.3
	150	-46.2	-45.7	-48.4	-52.8	-59.1	-66.6	-73.8	-75.6	-76.6	-73.1	-66.2	-59.7	-62.0	-47.8
	125	-45.2	-45.7	-49.1	-54.1	-60.7	-69.4	-75.9	-77.5	-78.2	-74.4	-67.1	-58.6	-63.0	-47.4
	100	-44.1	-45.3	-49.8	-55.7	-62.6	-72.0	-78.8	-80.0	-79.9	-75.8	-66.5	-56.5	-63.9	-45.9
	70	-42.0	-44.4	-50.8	-57.9	-65.3	-76.6	-82.6	-82.7	-81.6	-74.3	-62.1	-49.1	-64.1	-43.8
	50	-40.1	-43.8	-51.6	-59.4	-67.6	-79.5	-85.5	-84.5	-81.4	-69.8	-54.8	-42.1	-63.3	-41.6
	40	-39.0	-43.4	-51.7	-60.1	-68.3	-81.4	-86.5	-85.4	-81.2	-65.1	-48.9	-38.4	-62.5	-39.8
30	-37.6	-41.8	-51.6	-60.9	-69.1	-82.7	-87.3	-85.7	-78.8	-57.0	-42.2	-34.8	-60.8	-37.7	
風速 (m/s)	850	8.1	9.1	9.6	11.7	6.7	9.5	11.2	10.2	12.8	7.2	8.5	11.9	9.7	8.6
	800	5.7	8.3	8.2	10.7	6.1	9.8	9.0	9.3	11.9	7.3	8.2	11.1	8.8	7.1
	700	5.1	7.2	7.4	9.6	6.0	10.0	7.6	8.7	11.1	8.3	7.4	10.3	8.2	7.3
	600	6.3	7.6	8.2	11.4	7.8	11.5	9.5	9.6	12.0	9.3	7.7	9.4	9.2	7.8
	500	8.4	8.4	11.3	14.1	9.5	14.7	13.1	11.8	13.8	10.5	8.8	11.6	11.3	10.9
	400	10.1	9.9	15.5	16.2	13.2	19.6	18.0	14.5	15.4	12.6	11.3	13.0	14.1	15.6
	350	12.4	11.7	19.4	17.9	16.6	20.9	18.0	15.2	17.3	13.8	12.6	13.7	15.8	18.3
	300	12.8	11.9	19.5	19.0	19.1	22.6	19.8	16.1	18.1	14.8	14.1	13.4	16.8	19.3
	250	9.4	9.5	15.6	17.8	17.1	22.8	20.2	16.3	17.0	14.5	14.3	10.8	15.4	16.4
	200	7.3	7.9	13.0	12.9	14.7	22.1	19.3	17.1	16.1	15.2	14.2	9.3	14.1	13.2
	175	6.7	8.3	12.0	10.6	15.2	22.1	18.4	16.9	15.3	16.0	15.1	8.8	13.8	11.9
	150	6.5	8.3	11.5	11.3	15.9	22.6	18.4	18.3	15.6	16.8	15.6	9.5	14.2	11.8
	125	6.0	8.2	11.2	11.3	17.6	24.5	19.3	19.5	16.9	18.2	17.9	10.7	15.1	11.4
	100	5.4	7.7	11.3	12.2	19.6	26.9	21.7	22.2	18.9	20.4	19.9	11.4	16.5	10.8
	70	4.1	6.6	10.6	14.3	24.2	31.4	25.5	26.4	23.4	25.0	26.0	14.4	19.3	8.7
	50	3.1	5.4	10.7	17.6	28.9	35.1	29.7	30.8	26.7	30.7	30.7	15.3	22.1	5.1
	40	2.8	5.3	10.6	19.2	32.6	38.1	31.2	32.7	30.2	34.4	33.3	15.4	23.8	4.5
30	4.4	3.7	11.0	22.9	38.0	41.8	36.4	36.8	33.5	38.4	34.5	14.3	26.3	5.3	

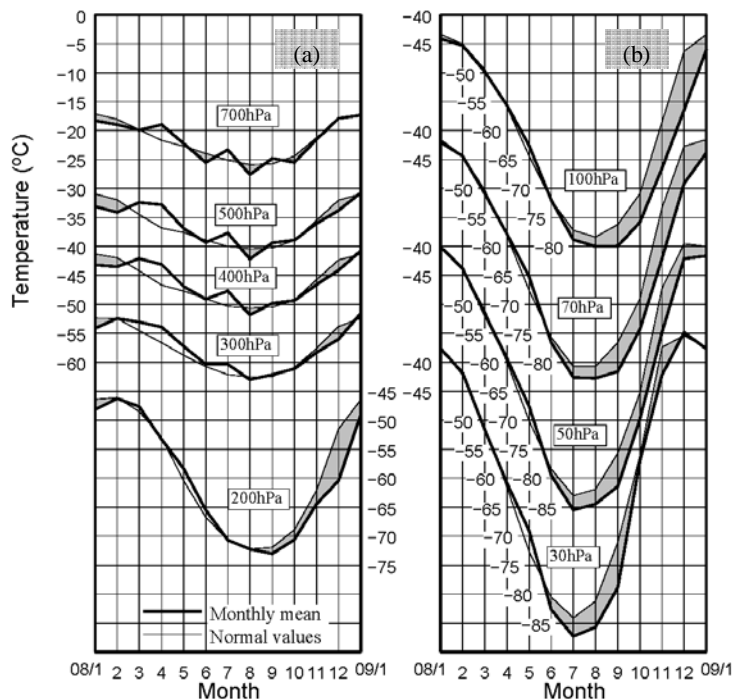


図4 指定気圧面の月平均気温の年変化（2008年1月～2009年1月）と累年平均（1971年～2000年）の年変化（00 UTC）
 (a) 700 hPa–200 hPa, (b) 100 hPa–30 hPa.

Fig. 4. Variations in monthly mean upper air temperatures at Syowa Station during 2008 and normal mean values for the period 1971–2000.
 (a) 700–200 hPa, (b) 100–30 hPa.

図5に、2008年1月～2009年1月の00 UTCにおける指定気圧面月平均気温、風の東西並びに南北成分の平均値及び平年値（1971–2000年）、平年偏差の時間高度断面図を示す。

2008年4月の対流圏における風の南北成分が負偏差となっており、同領域で気温が平年よりも高かったこととの関連がうかがえる。また、5月の上層部で気温が平年よりも高い領域には、風の南北成分に負偏差が現れており、同様に北からの熱の輸送が多かったと考える。5–6月にかけて風の東西成分が正偏差となった。特に6月は400–70 hPa面で5 m/s以上の正偏差となった。8–10月は、極夜ジェットの極側に位置し極渦の主流から離れていたため、成層圏の東西風が負偏差となった。特に9月は30–20 hPaで10 m/s以上の負偏差となった。また、9月の気温は上層ほど負偏差が大きく、20 hPaでは平年より9°C低温だった。一方、対流圏では気温が平年より高かったが、9月は昭和基地付近を低気圧が頻繁に通過し、北からの暖気をもたらしたのが原因であり、これは風の南北成分の負偏差として現れている。10月には50–20 hPa面で成層圏突然昇温が発生し、気温の負偏差がいったん緩んだが、11月には再び負偏差が強まった。

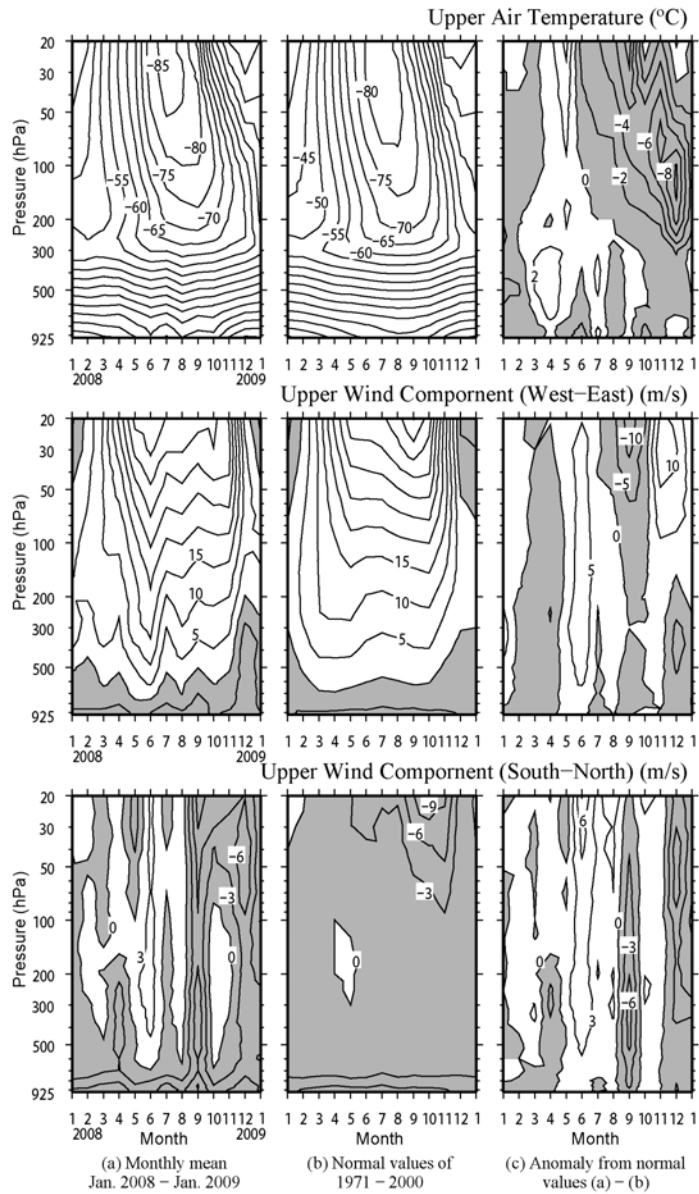


図 5 高層気象指定気圧面気温・東西風・南北風観測結果
 (a) 月平均値, (b) 平年値 (1971 年~2000 年), (c) 平年値からの偏差,
 上・中・下段はそれぞれ気温, 風の東西成分, 同南北成分。
 Fig. 5. Annual variations in upper air temperature (°C) and upper wind components
 (m/s) (left), normal mean values for the period 1971-2000 (middle), and
 temperature and wind anomalies (right).

気温の負偏差の大きい領域は 12 月にかけて下層へ移り、12 月の 150–100 hPa では偏差が -10°C 以下の領域が現れた。また、11–12 月にかけては、100 hPa より上層の指定気圧面で風の東西成分が正偏差となったが、これは極夜渦の崩壊が遅かったことと関連する。

図 6 に 2008 年 1 月～2009 年 1 月の 00 UTC における昭和基地上空の気温の時間高度断面図を示す。成層圏で -70°C 以下の領域が現れたのは 5 月下旬になってからである。6 月に入って -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。その後、6 月中旬に気温の上昇が見られたが、再び気温は低下し、6 月下旬から -85°C の領域が明瞭に現れるようになった。8 月 31 日には、成層圏下部の 175 hPa まで -85°C の領域が広がった。9 月 1 日 00 UTC の観測では、175 hPa より 10 hPa までのすべての気圧面で、9 月としての観測史上最低気温を更新した。

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成層圏においての一週間以内に 25°C 以上の気温上昇は、9 月下旬から 10 月上旬までに 15 hPa で 25.0°C 、10 月中旬から下旬までに 30 hPa で 31.7°C 、40 hPa で 32.5°C 、50 hPa で 28.4°C 、11 月上旬に 40 hPa で 27.3°C 、50 hPa で 31.1°C 、70 hPa で 31.2°C 、100 hPa で 28.2°C の 8 事象を観測した。

11 月上旬までは -70°C 以下の領域がみられた。この後の極渦の崩壊が平年よりも遅く、 -60°C の領域が観測されなくなったのは 12 月の下旬であった。

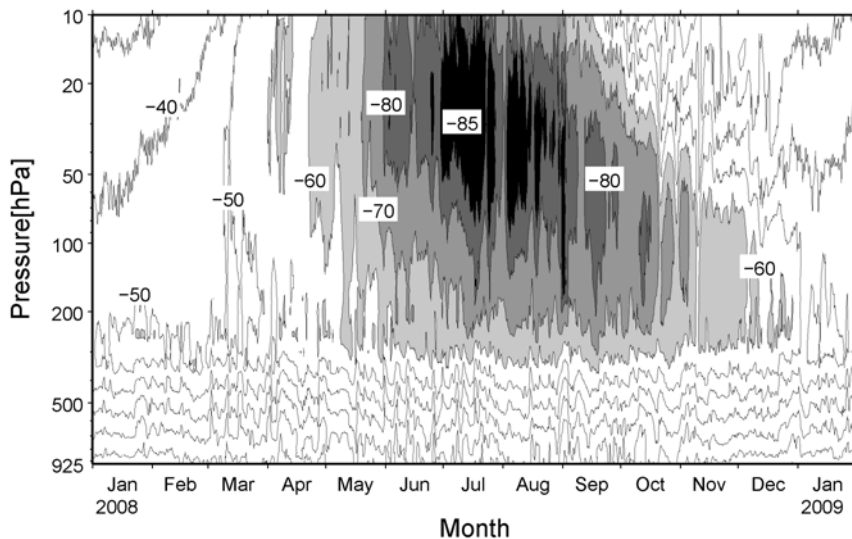


図 6 昭和基地上空の気温の時間高度断面図 (2008 年 1 月～2009 年 1 月)

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-altitude cross-section of upper-atmospheric temperature (Jan. 2008–Jan. 2009).

Light gray areas indicate temperatures of -60°C or below, gray areas indicate temperatures of -70°C or below, dark gray areas indicate temperatures of -80°C or below, and black areas indicate temperatures of -85°C or below.

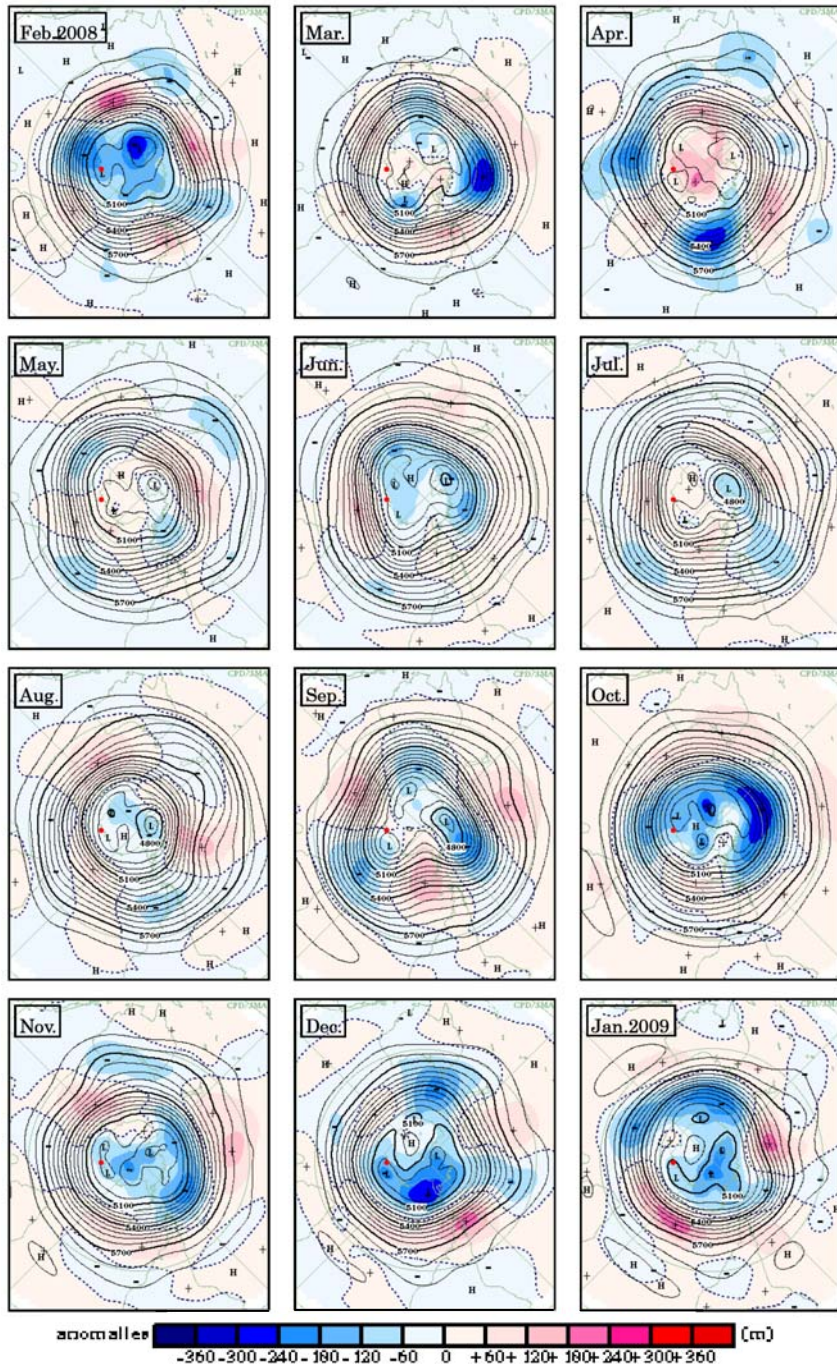


図 7 南半球月平均 500 hPa 高度 (実線) 及び年偏差 (陰影) (2008 年 2 月～2009 年 1 月) 赤丸は昭和基地の位置を示す。

Fig. 7. Monthly mean weather chart at 500 hPa (Feb. 2008–Jan. 2009).
The red solid circle shows the location of Syowa Station.

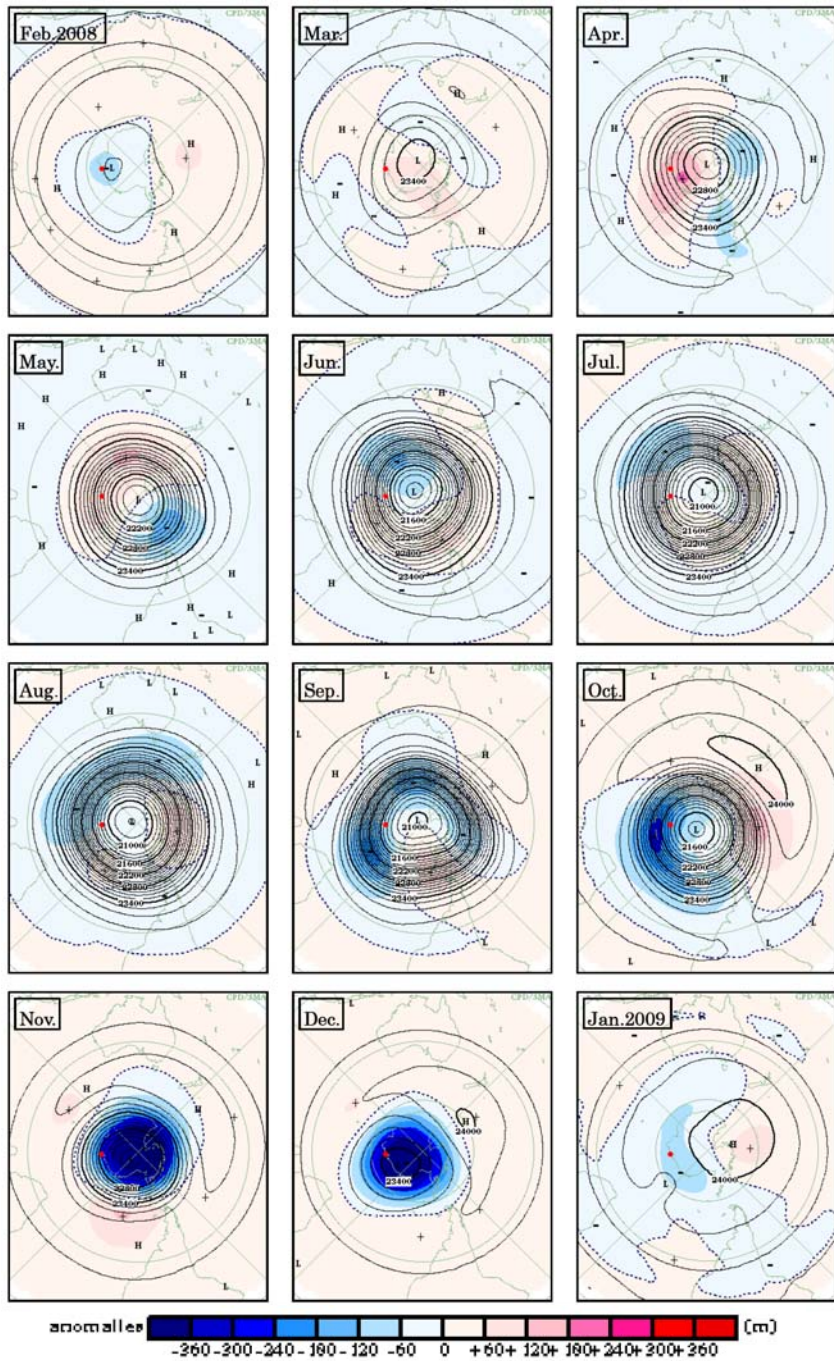


図 8 南半球月平均 30 hPa 高度 (実線) 及び年偏差 (陰影) (2008 年 2 月～2009 年 1 月) 赤丸は昭和基地の位置を示す。

Fig. 8. Monthly mean weather chart at 30 hPa (Feb. 2008–Jan. 2009).
The red solid circle shows the location of Syowa Station.

図7に南半球月平均500 hPa高度及び年偏差を、図8に南半球月平均30 hPa高度及び年偏差を示す。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、年偏差は月平均高度場から、年値(1979–2004年)を差し引いたものである。

500 hPa面の月平均高度場においては、南極大陸上では2008年2月にはすでに5100 m以下の領域に覆われており、高緯度域で負偏差が卓越した。4月は逆に高緯度側で正偏差が卓越した。これは、図4に示す昭和基地上空の対流圏における気温の年偏差に対応している。6月は高緯度域に負偏差、その周囲の中緯度域に正偏差が広く分布し、環状の偏差パターンが卓越した。7–9月にかけて、ロスビー波の波束伝搬に伴う波列状の偏差分布となった。2008年10月から2009年1月にかけて、高緯度域では負偏差が卓越し、昭和基地上空も負偏差となった。

30 hPaの月平均高度場においては、2008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。気象庁(2009a)によると、6–8月にかけて、極渦の中心はほぼ年々の位置で、循環は、6月と7月は年より強く、8月はやや弱かった。10月は、波数1の偏差分布が卓越し、昭和基地付近は負偏差となった。極渦の崩壊は年よりも遅かった。

4. オゾン観測

4.1. 観測方法と測器

オゾン観測としては、ドブソンオゾン分光光度計(以下「ドブソン分光光度計」)を用いた全量・反転(高度分布)観測、KC-02G型オゾンゾンデ(以下「オゾンゾンデ」)を用いたオゾン高度分布観測、及び地上オゾン濃度観測装置を用いた地上オゾン濃度の連続観測を行った。

ドブソン分光光度計は、第49次隊で国内から持ち込んだBeck119を使用した。このBeck119は自動制御方式(宮川, 2002)となっていたものにさらに改良を加えたもの(宮川, 2007)である。越冬開始前には、第48次隊で使用していたBeck122との比較観測を実施して測器の精度の確認を行った。2月1日に測器の入れ替えを行ってBeck119による観測を開始し、Beck122は点検、調整、較正のため第48次隊が国内に持ち帰った。

オゾンゾンデ観測は、第48次隊まで使用していたRS2-KC96型からKC-02G型に完全に移行した。

地上オゾン濃度観測は、オゾン濃度計2台を持ち込み、第48次隊が観測した旧水素ガス発生機室と新たな観測候補地点とした清浄大気観測小屋で並行観測を行った。この結果、清浄大気観測小屋の観測環境が良く、基地からの人工起源の影響を受けにくいことが確認できたため、5月1日より清浄大気観測小屋に観測場所を変更して観測を行った。期間中に使用した観測器材を表11に示す。

表 11 昭和基地におけるオゾン観測器材
Table 11. Sensors for ozone observations at Syowa Station.

観測項目	使用測器等	型式及び測器番号	単位及び測定範囲	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	ゾンデ自身で観測した気温、湿度及びGPS高度から静力学平衡式により算出
			°C	気温	ビード型ガラスコートサーミスタ(アルミ蒸着加工)
			%	湿度	高分子膜(静電容量変化式)
			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, B91RS型注水電池 GPSゾンデ部: 単三リチウム電池2本
				気球 その他	2000g気球 ※浮力錘による標準浮力は3200g オゾンゾンデ巻下器(50m)
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, 含まれるオゾンを分解, 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

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, 太陽の直射光及び天頂散乱光, 月の直射光を用いて観測を行った. 観測は基本的に降水や強風時を除き, 太陽の北中時と午前及び午後の $\mu=1.5, 2.5, 3.5, 4.5$ (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)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)を用いて行った. 太陽高度が低くなる時期については, 北中時と $\mu=3.5, 4.5, 5.5, 6.5, 7.0$ 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)を用いて行った. 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ほか, その時々のお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 μ が変化する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極夜期には, 月光を使用して半月から満月にかけての期間で μ が小さい時刻を中心にAD波長組を用いて月光観測を行った.

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, 天頂散乱光のACD波長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度, ショート反転観測では80-90度の範囲で, 指定された天頂角の晴天天頂光観測値が得られた時に成立する.

4.1.3. オゾンゾンデ観測

オゾン観測指針（オゾンゾンデ観測編）（気象庁，1997）に準じて，オゾンゾンデを気球に吊り下げ，上空約 35 km までのオゾン分圧，気圧，気温，湿度，風向及び風速の高度分布を観測した．オゾンゾンデは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）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には，オゾン発生器及びオゾンゾンデ試験器を用いた．気球は 2000 g のゴム気球を使用し，ヘリウムガスを充填して浮力錘による標準浮力を 3200 g とした．また，高層気象観測と同様に 4-11 月の到達高度が低くなる期間は，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ことによる反応液の凍結を防ぐために，オゾンゾンデ管体（きょうたい）の隙間をテープで塞ぎ気密性を高くする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，オゾンホールが発生する時期（8-12 月）には飛揚間隔を短くして行った．原則として風が弱く晴天の日を選び，12 UTC の高層気象観測時間に合わせて観測した．

データの解析は観測終了後直ちに行った．また，極夜時期などのドブソ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 49 次隊も引き続き行った．観測は，大気試料取入口からテフロン配管に大容量ポンプで地上付近の大気を吸引し，更にオゾン濃度計内のポンプによりテフロン配管から流量毎分 1.5 l 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（MODEL1100; ダイレック製）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．

第 48 次隊から引き継いだ観測装置は，放球棟横の旧水素ガス発生機室内に設置してあり（図 1，⑥の位置），大気試料取入口は，同建物主風向側（北東側）の地上から 5 m の高さとしていた．

5 月 1 日より清浄大気観測小屋（図 1，⑦の位置）に観測場所を変更した．清浄大気観測小屋は，昭和基地主要部から東に約 300 m 離れ，主風向の風上に位置している（長田ほか，2006）．大気試料取入口は，同建物主風向側（北東側）に設置し，取入口の高さは 2 月 1 日から 9 月 29 日までは地上 6 m，9 月 30 日以降は地上 4 m とし，それ以外の観測装置の設置に関しては，旧水素ガス発生機室と同様とした．

オゾン濃度計は 1 年ごとに国内での点検や校正が必要なため 4 台で運用しており，昭和基

地には観測現用器と予備器の2台を保有し、残りの2台は帰国隊が国内に持ち帰り、次の隊がオーバーホール及び気象庁本庁での検定を行った後、再び昭和基地に持ち込んでいる。さらに昭和基地に持ち込んだ2台を半年ずつ使用することで、長期間の使用によって生じる点検用水銀ランプ照度低下などによる測定誤差を最小限に抑えている。

第49次隊では、国内から持ち込んだ2台のオゾン濃度計(101A, 101B)と第48次隊が使用していた2台のオゾン濃度計(A166, A456)との相互比較を行った後に、観測に使用した。

4.2. 観測経過

4.2.1. オゾン全量観測

越冬中は長期にわたる測器障害もなく、おおむね順調に観測を行った。

月別オゾン全量観測日数・回数と観測種別ごとの内訳を表12に示す。同じ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る。4-8月までは太陽高度角が低いため観測可能日数が少ない。5-7月までは極夜期のため月光観測のみを行ったが、観測可能な月齢や μ の条件が揃う日数は月に10日間程度であり、実際の観測日は天候によりさらに少なくなった。

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あり、おおむね順調に観測を行った。

月別反転観測日数と観測種別ごとの内訳を表12に示す。太陽高度角が低い(または太陽が昇らない)4月下旬~8月中旬及び太陽が沈まない12月上旬~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。観測が可能な期間では午前と午後で1日2回の観測が可能であるが、観測成立条件が厳しいため可能な限り観測を行った。

表12 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 12. Days of total ozone observations and ozone Umkehr observations obtained using the Dobson spectrophotometer at Syowa Station.

年		2008											2009	合計
月		2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	1	
全量観測日数		28	28	22	2	3	4	15	23	30	28	29	29	241
回数 内訳	AD 直射光	94	58	24	0	0	0	11	41	105	77	84	68	562
	CD 直射光	65	44	38	0	0	0	30	36	73	55	59	52	452
	AD 天頂光	141	114	44	0	0	0	31	65	133	106	129	125	888
	CD 天頂光	96	84	82	0	0	0	46	63	92	74	102	95	734
月光		0	15	13	18	20	27	36	8	12	0	0	0	149
反転観測日数		10	7	2	0	0	0	3	1	13	9	0	4	49
回数 内訳	ロング	12	7	0	0	0	0	0	1	14	12	0	4	50
	ショート	0	3	3	0	0	0	3	0	0	1	0	0	10

4.2.3. オゾンゾンデ観測

第 49 次隊では、定常気象観測用のオゾンゾンデを 53 台持ち込み、第 48 次隊より 3 台を引き継いだ。機器障害や天候不順により観測数が少ない月もあり、第 49 次隊では、47 台のオゾンゾンデを飛揚した。

第 49 次隊で持ち込んだオゾンゾンデには受信信号にノイズが乗る不具合があり、3 月 5 日から 4 月 14 日までの観測で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い、4 月 24 日以降に使用したオゾンゾンデは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受信信号のノイズも減少し、おおむね正常なデータを取得できるようになった。このほか、データ処理部や受信機の障害により GPS 信号の受信不良が何度か発生し、飛揚直前での観測の見送りや観測途中で打ち切りとなる事例があった。

オゾンゾンデの飛揚状況を表 13 に示す。越冬期間中、ドブソン分光光度計のオゾン全量値による補正係数（ドブソン比）が得られなかった観測が 14 回あった。このうち、極夜期で月光によるオゾン全量観測ができなかったのが 8 回で、残りの 6 回は気球破裂や GPS 衛星の捕捉不良・オゾン反応電流へのノイズの影響などによりオゾンゾンデ観測最終気圧が 30 hPa に達しなかったためである。

4.2.4. 地上オゾン濃度観測

2007 年 12 月 26 日から、第 48 次隊で使用したオゾン濃度計 A166 と A456 及び第 49 次隊持ち込みのオゾン濃度計 101A と 101B の相互比較を行い、測器の精度確認を行った。第 48 次隊の使用機器との相互比較及び並行観測における濃度計間の指示濃度の差は、誤差の目安である 3%以内に収まったため、2 月 1 日の観測開始は新たに持ち込んだ 101A を現用器とし

表 13 KC-02G 型オゾンゾンデ観測状況

Table 13. Dates of observations and attained heights of the ozonesonde (KC-02G).

年	2008 年											
月	2 月		3 月		4 月		5 月		6 月		7 月	
日	8	7.2	5	13	14	551.6 *1	9	38.7 *1	6	3.8 *2	7	11.4 *2
観測終了 気圧 (hPa)			16	18.2	24	4.1	12	481.2 *1	22	8.6	15	5.2
			27	7.8	29	9 *2	21	6.4	28	6.4 *2	19	8.1
							30	22 *2				
年	2008 年						2009 年					
月	8 月		9 月		10 月		11 月		12 月		1 月	
日	2	16.3 *2	3	21.8	5	11.8	2	7.8	7	25.1	13	5.8
観測終了 気圧 (hPa)	6	6.3 *2	7	5.4	13	8.2	6	6.6	12	5.1	22	5.7
	9	11.6	11	4.3	19	12.2	10	8.1	19	6.6		
	13	9 *2	18	271.7 *1	28	16.6	15	8.3	23	6.2		
	19	10.8	21	10.9			22	10.6	27	4.4		
	23	101.4 *1	30	9.7					31	82.7 *1		
	29	5.1										

注 *1: 気球破裂・オゾン反応不良・受信不良などにより最終高度が 30 hPa に達せず、ドブソン比（補正係数）なし。
*2: 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。

た。予備器である 101B は 1 月 27 日に清浄大気観測小屋に移設し、2 月 1 日から旧水素ガス発生機室の 101A との並行観測を実施した。この並行観測の結果、オゾン濃度や変化傾向に相違は見られず、旧水素ガス発生機室に比べて清浄大気観測小屋における観測データの方が昭和基地の排気などに起因する異常値が少なかったため、5 月 1 日より清浄大気観測小屋での観測を正式観測とし、101B を現用器とした。旧水素ガス発生機室での観測は 6 月 10 日に終了し、101A を予備器とした。

8 月 7 日 1300–1842 LT の間、昭和基地の停電のため観測を休止した。

9 月 30 日、保守性向上のため大気取入口を地上高 6 m から 4 m に下げて設置した。なお、大気取入口設置高の変更前後の観測データを確認したが、値や傾向に差異が見られないため、観測への影響はないと考える。

10 月 1 日から 101A を現用器とし、清浄大気観測小屋において 101A と 101B の相互比較を行うとともに、並行観測を開始した。その結果、比較観測により精度確認が出来たため、11 月 1 日に 101B の観測を終了し、予備器とした。

1 年間の運用については、昭和基地の停電による欠測、ブリザード後の大気取入口に詰まった雪の除去作業の時間帯の欠測及び排気ガスなどの影響があるとみられる時間帯の欠測のほかは、順調に観測を行った。

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。これらの観測データは、気象庁から WMO 世界オゾン紫外線データセンター (WOUDC) へ送られた。また、オゾンホール時期 (8–12 月) には、WMO 事務局の要請により気象庁経由でオゾン全量及びオゾンゾンデ観測結果を数日ごとに WMO 事務局へ報告した。報告した観測結果は、WMO Antarctic Ozone Bulletin としてまとめられ、世界の関係機関に配布された。また、オゾン全量データは、観測を休止した極夜期間を除き、CREX (Character form for the Representation and Exchange of data: 文字形式汎用気象通報式) により GTS 回線を通じて毎日 1 回通報した。

地上オゾン濃度の観測結果も同様に、電子メールで毎月気象庁へ報告し、定められた書式により、気象庁から WMO 温室効果ガス世界資料センター (WDCGG) へ送られた。

4.3.1. オゾン全量観測

2008 年 1 月～2009 年 1 月のオゾン全量日別値の年変化を図 9 に示す。昭和基地上空のオゾン全量は、8 月下旬～11 月下旬のオゾン期間中、オゾンホールの目安となる 220 m atm-cm をほぼ継続的に下回った。特に 9 月中旬～10 月中旬にかけてはオゾン全量が非常に少なく、10 月 16 日に 2008 年の最小値である 140 m atm-cm のオゾン全量を記録した。10 月下旬以降は、大気の流れによってオゾンホールが変形、移動しながら、昭和基地上空を覆ったり離れ

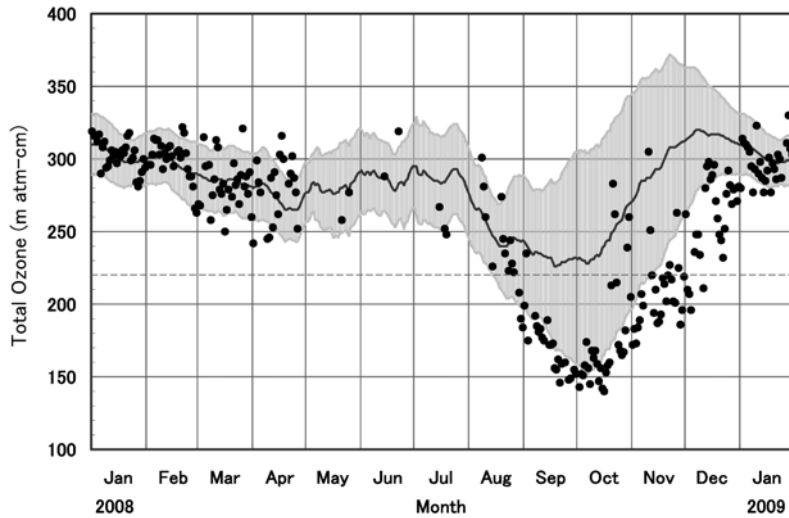


図 9 昭和基地におけるオゾン全量日代表値の年変化 (2008 年 1 月~2009 年 1 月)
 陰影部は平年値 (1971~2000 年) とその標準偏差 (σ) を, 破線はオゾンホールの目安である 220 m atm-cm の値を示す。

Fig. 9. Annual variations in total ozone at Syowa Station (Jan. 2008–Jan. 2009).
 The average and standard deviations ($\pm \sigma$) for the period 1971–2000 are shown in light gray for comparison. The dashed line is at a value of 220 m atm-cm.

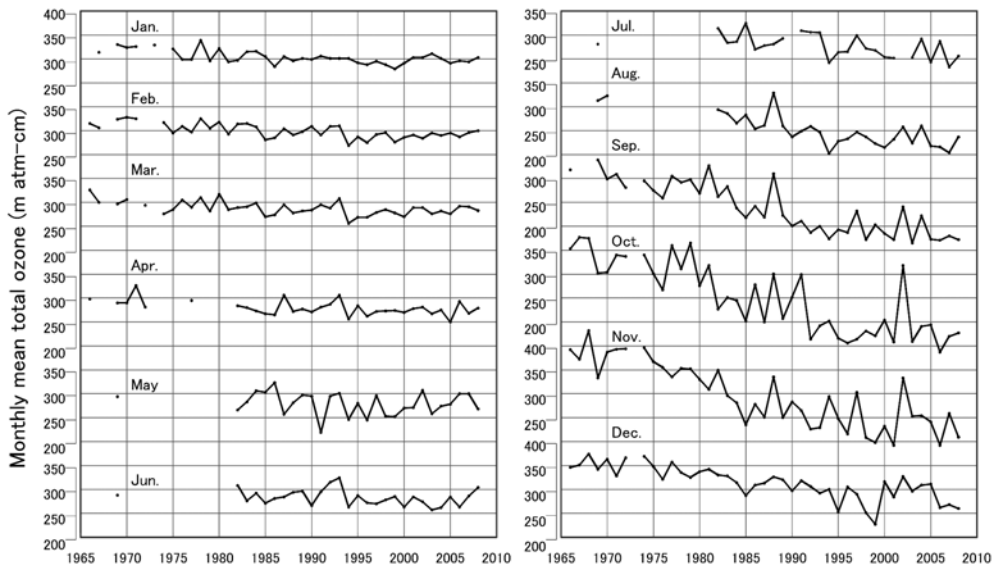


図 10 昭和基地における月平均オゾン全量の経年変化 (1966–2008 年)

Fig. 10. Time series of monthly mean total ozone at Syowa Station (1966–2008).

たりしたため、オゾン全量が大きく変動した。

昭和基地における月平均オゾン全量の経年変化を図 10 に示す。9-12 月までのオゾン全量は観測開始時から減少してかなり少ない状態が続いており、月平均オゾン全量は 9 月 (172 m atm-cm) は過去 3 番目、10 月 (177 m atm-cm) は過去 10 番目、11 月 (209 m atm-cm) は過去 5 番目、12 月 (260 m atm-cm) は過去 4 番目に少なかった。

4.3.2. オゾン反転観測

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。計算アルゴリズムは Mateer and DeLuise (1992) による。2008 年 4-8 月と 12 月はロング反転観測

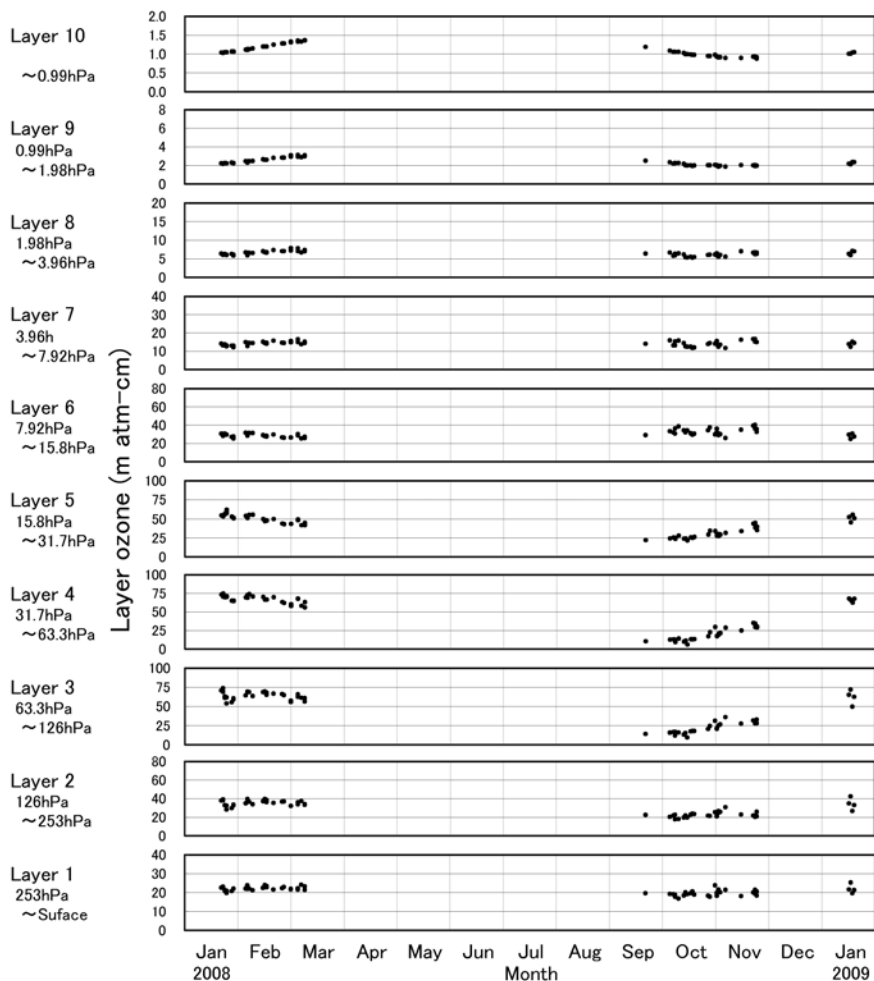


図 11 昭和基地における反転観測による気層別オゾン量 (2008 年 1 月~2009 年 1 月)
 Fig. 11. Amount of ozone in selected layers obtained by Umkehr observations at Syowa Station (Jan. 2008-Jan. 2009).

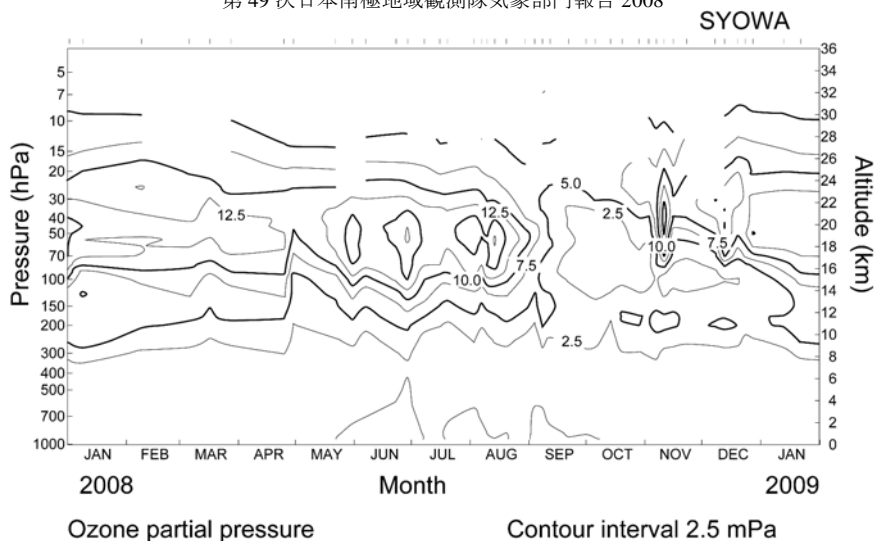


図 12 昭和基地におけるオゾンゾンデ観測によるオゾン分圧の時間高度断面図
(2008年1月～2009年1月)

Fig. 12. Time-altitude cross-section of ozone partial pressure observed by ozonesonde at Syowa Station (Jan. 2008–Jan. 2009).

データが得られなかったため表示していない。

9–10月には第2・3・4・5層(253–15.8 hPa)でオゾン量が少ない状態で推移し、特に9–10月までの第3・4層は非常に少ない状態であったが、その後11月にかけて第3・4・5層(126–15.8 hPa)でオゾン量が急増している。第9・10層(1.98 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。

4.3.3. オゾンゾンデ観測

2008年1月～2009年1月のオゾン分圧の時間高度断面を図12に、2008年8月～2009年1月のオゾン分圧の高度分布を図13に示す。

特別な要因がない一般的な状況の下では、オゾン分圧は100–50 hPa付近で最大となる高度分布を示すが、図12より、1–8月中旬まではこの高度のオゾン分圧は10 mPa以上であったが、8月下旬から急速にオゾンの破壊が進み、9月中旬から10月下旬まで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分かる。11月上旬に一時的にオゾンが増加しているのは、昭和基地上空がオゾンホールの外側のオゾン濃度の濃い領域に位置していたためである。

また、図13におけるオゾン分圧の5 mPa線に着目すると、破壊されたオゾンは9月から翌年1月にかけて上層から回復していく様子が見て取れる。30 hPaより上層では10月中旬から少しずつオゾンが増加し始め、11月下旬頃にはほぼ回復していたが、最も回復が遅い

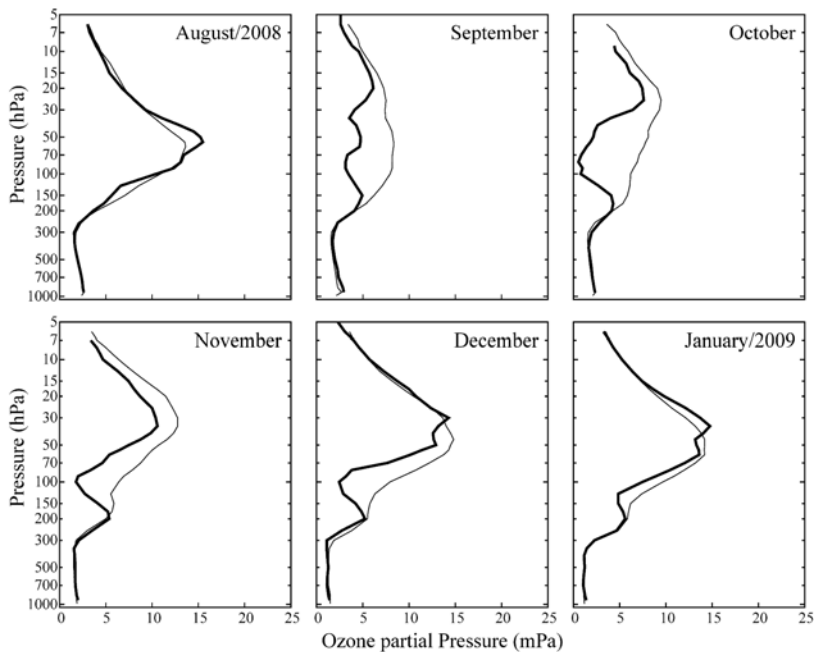


図 13 昭和基地におけるオゾン分圧の高度分布 (2008 年 8 月～2009 年 1 月)

太実線は月平均オゾン高度分布. 細実線は 1971–2000 年の累年平均オゾン高度分布.

Fig.13 Vertical distribution of ozone partial pressure observed by ozonesonde at Syowa Station (Aug. 2008–Jan. 2009).

Thick lines show monthly mean profiles (Aug. 2008–Jan. 2009). Thin lines show normal profiles (1971–2000).

200–100 hPa 付近では翌 1 月中旬頃までオゾン破壊の影響が残っていたことが分かる.

4.3.4. 地上オゾン濃度観測

2008 年 1 月～2009 年 1 月までの地上オゾン濃度時別値を図 14 に示す. また, 1997 年 1 月～2009 年 1 月までの地上オゾン濃度日別値を図 15 に, 月別値と月別値から季節変動成分を除いた濃度変動 (長期変動成分) の年変化を図 16 に示す. データの算出は, 1 時間に 150 個以上の 12 秒値が得られた場合, それらを平均して時別値を求め, 1 日のうち 1 個以上の時別値が得られた場合, 時別値を平均して日別値とした. なお, 焼却の排気などによる異常値を除く閾値には, 第 48 次隊と同様に, 観測値 (12 秒値) の標準偏差である 0.3 ppb を採用した (東島ほか, 2003).

図 14 から昭和基地における地上オゾン濃度は, 短時間での濃度減少がみられることがあるのを除いて, 安定した濃度変動を示していることがわかる. 昭和基地では, 極夜明けにおいて短時間の低濃度オゾンが観測されることがあるが (青木, 1997; 江崎ほか, 2000, 2007; 東島ほか, 2003; 阿保ほか, 2008), 第 49 次隊でも同様の現象が観測された.

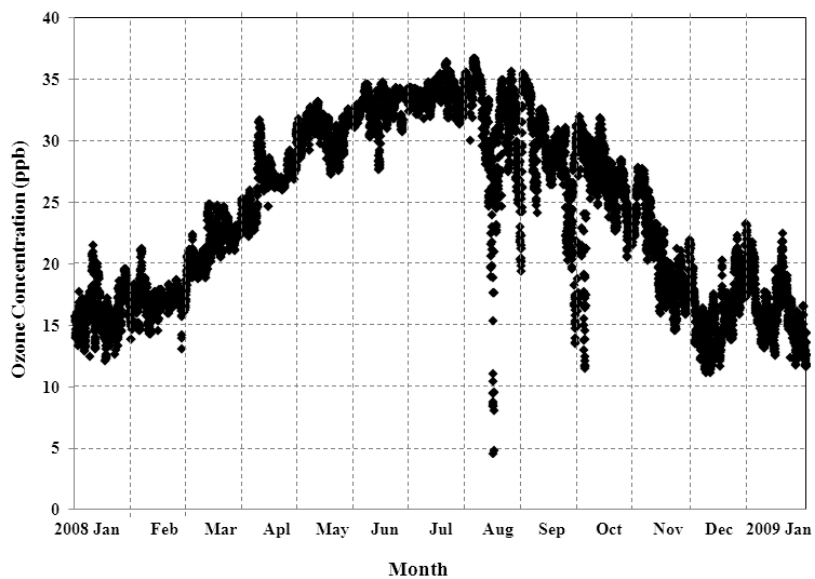


図 14 昭和基地における地上オゾン濃度時別値の時系列図 (2008 年 1 月～2009 年 1 月)
 Fig. 14. Time series of hourly mean surface ozone concentrations at Syowa Station (Jan. 2008–Jan. 2009).

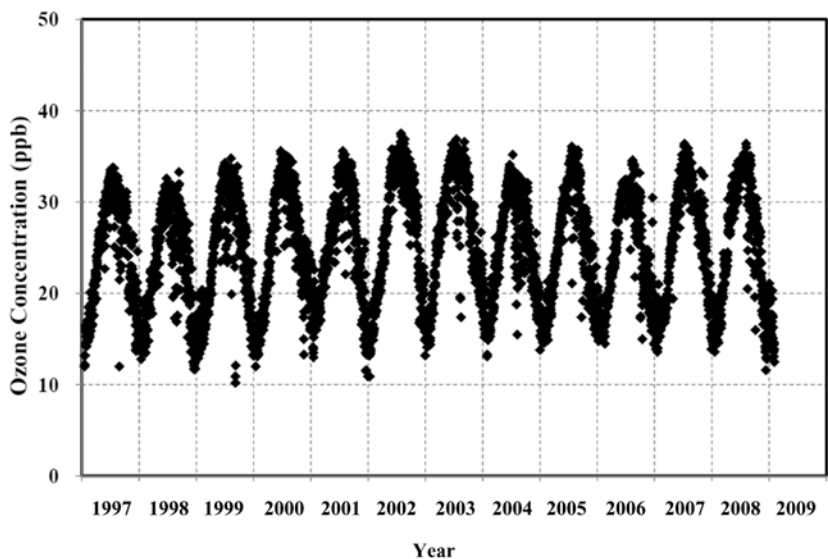


図 15 昭和基地における地上オゾン濃度日別値 (1997 年 1 月～2009 年 1 月)
 Fig. 15. Daily means of surface ozone concentration observed at Syowa Station (Jan. 1997–Jan. 2009).

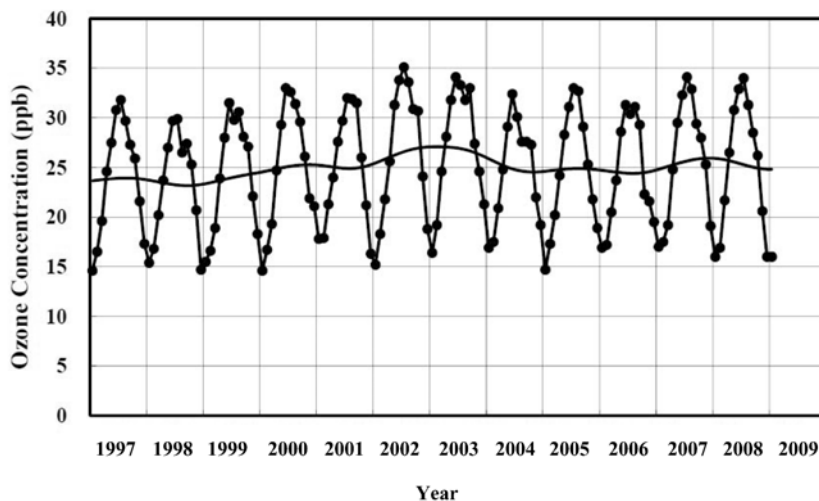


図 16 昭和基地における地上オゾン濃度の月別値と季節変動成分を除いた濃度の年々変動 (1997 年 1 月～2009 年 1 月)

Fig. 16. Time series of monthly mean surface ozone concentrations and seasonally corrected concentrations at Syowa Station (Jan. 1997–Jan. 2009).

図 15 を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、冬季に高くなるという季節変化を示すことがわかる。図 16 で示すように、1997 年～2008 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、有意な変化があるかを確認するためには、今後も観測データの蓄積を続ける必要がある (気象庁, 2010, 2011)。

4.4. 2008 年のオゾンホールの特徴

図 17 に、米国航空宇宙局 (NASA) のオーラ (Aura) 衛星のオゾン監視装置 (OMI) データを基に気象庁が作成した 2008 年 8–12 月の旬別オゾン全量の南半球分布図を示す。陰影部は極夜のため観測できない領域である。オゾンホールは 8 月下旬に発生し、9 月 12 日に 2008 年の最大の面積である 2650 万 km^2 を記録し、2007 年の 2490 万 km^2 よりも大きく過去 7 位であった。また、オゾン欠損量 (破壊量) は 10 月 3 日に 2008 年の最大値である 9420 万トンとなり、2007 年の 8190 万トンよりも多く過去 5 位であった。オゾンホールはその後 12 月中旬まで最近 10 年間の平均を上回る規模で推移し、消滅は 12 月 28 日で、1979 年からの衛星観測で消滅日が確定した中では最も遅かった。

このように、2008 年のオゾンホールの規模が最近 10 年の平均を上回ったのは、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 6–8 月にかけて大きかったことが原因の一つと考える (気象庁, 2009b)。

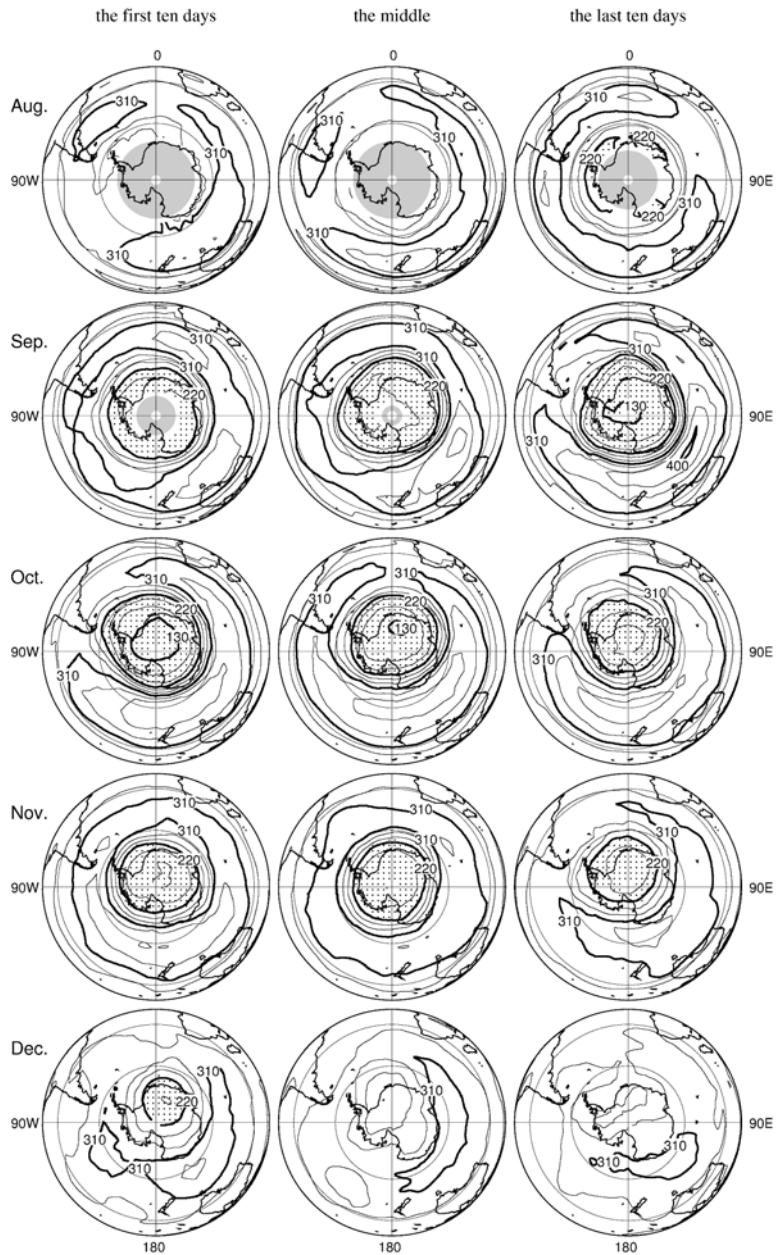


図 17 OMI による旬別オゾン全量の南半球分布図 (2008 年 8 月-12 月)
 等値線間隔は 30 m atm-cm. NASA 提供の OMI データを基に作成. 点域は 220 m atm-cm 以下の領域を示す. 陰影部は極夜のため観測できない領域.
 Fig. 17. Distribution of 10-day means of total ozone in the Southern Hemisphere based on OMI/NASA data (Aug. 2008–Dec. 2008). Contour interval, 30 m atm-cm. Dots area indicates less than 220 m atm-cm. Gray area indicates no observation for polar night.

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 49 次隊ではこれらの観測システムにより第 48 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, 第 49 次隊では, 第 47 次隊で持ち込んだブリューワー分光光度計 MKIII の 168 号機 (南極用に改良) を, 第 48 次隊に引き続き, 使用した. しかし, 機器障害のため, 2008 年 9 月のみ第 49 次隊で持ち込んだ MKII の 091 号機を使用した. 168 号機と 091 号機は, 2008 年 2 月に比較観測を実施して測器の精度確認を行った. 観測の種類と使用した測器を表 14 に示す.

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 for surface radiation observations at Syowa Station.

観測項目	使用測器	感部型式	測定範囲	測器番号	観測 最小単位	サンプリング 間隔	
下向き 放射	全天日射量	精密全天日射計	KIPP&ZONEN CM21T	305–2800 nm	990574 970397	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 CHI	200–4000 nm	990198 060445	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 遮へいボール	KIPP&ZONEN CM21T	305–2800 nm	041258 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	050635 030619	0.01 kJ/m ²	1 秒
	長波長放射量	精密赤外放射計 遮へいボール	KIPP&ZONEN CG4	4.5–42 μm	050798 010565 030642	0.01 MJ/m ²	1 秒
上向き 放射	反射日射量	精密全天日射計 遮へいリング	KIPP&ZONEN CM21T	305–2800 nm	000738	0.01 MJ/m ²	1 秒
	B 領域 反射紫外線量	紫外域日射計 遮へいリング	KIPP&ZONEN UVS-AB-T	280–315 nm	040625	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 010565	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	000247	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 nm 778 862	S94121.02 ES82–486		10 秒
	波長別 紫外域日射量	ブリューワー 分光光度計	SCI-TEC BREWER MKIII SCI-TEC BREWER MKII	290–325 nm	#168 #091	1 μW/m ²	1 時間

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。

なお、データロガーは 2008 年 2 月 25 日に更新し、収録ソフトも同日に更新した。

(a) 精密全天日射計を用いた全天日射量の連続観測

地上日射・放射観測で報告する全天日射量は、直達日射計による水平面直達日射量と精密全天日射計による散乱日射量の合成（以下「直散合成」と記す）で求めた値を使用するが、精密全天日射計単独で観測された全天日射量は、直散合成による全天日射量の品質確認のために用いた。

(b) 直達日射計を用いた直達日射量の連続観測

直達日射計感度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時を選び、ホイスナー・デュボアの混濁係数を求めた。

(c) 精密全天日射計を用いた散乱日射量の連続観測

太陽追尾装置に搭載した精密全天日射計と遮へいボールにより散乱日射量を観測した。遮へいボールは直達日射計の開口角と同等の視直径の黒色球体で、精密全天日射計の受光面にあたる太陽光から直射光を遮り、散乱光のみを観測するための装置である。

(d) 全天型紫外域日射計を用いた B 領域紫外線量の連続観測

全天型紫外域日射計は、測定波長に依存した測器感度の経時変化が指摘されている（柴田ほか，2000；伊藤，2005）。このため、データの処理にあたっては、基準となるブリューワー分光光度計による UV-B 量観測値との比較により、測器定数を月ごとに求め、補正する方法（柴田ほか，2000）をとった。

なお、測器感度の変化を追跡するために、第 48 次隊と同様、広帯域（全天型）紫外域日射計用の外部標準ランプ点検装置（伊藤・高野，2006）を運用したが、5.2.1. 項で述べるとおり、第 49 次隊においてデータの補正には使用しなかった。

(e) 精密赤外放射計を用いた長波長放射量の連続観測

第 48 次隊から遮へいボール付きの太陽追尾装置に精密赤外放射計を搭載して観測しており、第 49 次隊でも引き続き観測を継続した。

5.1.2. 上向き反射放射観測

観測場所は観測棟から東に 100 m 離れた海氷上であり、第 46 次隊により新設された測器用架台を引き継いで使用した（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データの品質管理を行った。

なお、データロガーは 2008 年 2 月 25 日に更新し、収録ソフトも同日に更新した。

(a) 精密全天日射計を用いた反射日射量の連続観測

太陽高度角が低い時に測器感部への太陽直射光の入射を防ぐため、第 45 次隊が持ち込み運用を開始した遮へいリングを引き続き運用した。

(b) 全天型紫外域日射計を用いた B 領域紫外線放射量の連続観測

データ処理は、下向き B 領域紫外線量の観測と同様に行った。反射日射量の観測と同様に、第 47 次隊が持ち込み運用を開始した遮へいリングを引き続き運用した。また、測器感度の変化を追跡するため、外部標準ランプ点検を 10 月 4 日に実施した。

(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、ブリューワー分光光度計により 290–325 nm（UV-B 領域と、UV-A 領域の一部の波長域）の範囲を 0.5 nm 間隔の波長別に観測した。観測スケジュールは太陽天頂角 100 度以下の範囲を目安に毎正時（現地時間 24 時を除く）で観測が実行されるように設定した。測器の設置場所は、第 48 次隊と同じである（図 1，①の位置）。

5.1.4. 大気混濁度観測

サンフォトメータで観測した波長別（368, 500, 675, 778, 862 nm の 5 波長）の測定値から、オゾン全量観測時刻付近で太陽面に雲が無い時を選び、波長別のエアロゾルの光学的厚さ（Aerosol Optical Depth, 以下「AOD」）を求めた。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（ α ）及び混濁係数（ β ）を求めた。なお、AOD 算出に用いるレーリー散乱の光学的厚さを求める式 (1) の定数については、気象庁の大気混濁度観測と基準を合わせるため、第 40 次隊以降 0.00864 を用いている（東島ほか，2003）。

$$\tau_R = 0.00864 \cdot (P/1013.26) \cdot \lambda^{-(3.916+0.074 \cdot \lambda+0.05/\lambda)} \quad (1)$$

τ_R : レーリー散乱の光学的厚さ

P : 気圧 (hPa)

λ : 波長 (μm)

5.2. 観測経過

8 月 7 日に昭和基地全停電が発生、これに伴い 14–19 LT 頃までの各観測データに欠測が生じた。

5.2.1. 下向き日射放射観測

おおむね 1 カ月に 1 回、第 46 次隊が持ち込んだ全天型紫外域日射計用の外部標準ランプ点検装置を用いて点検を実施した。その点検の結果、全天紫外域日射計の測器感度に大きな変動が認められた。

一方、全天型紫外域日射計は、より精度の良いブリューワー分光光度計との出力値の比較による感度点検も行っており、この結果においては外部標準ランプ点検でみられたような大きな変化は認められなかった。このため、毎月の感度校正はブリューワー分光光度計を基準とする補正值を用い、外部標準ランプ点検装置による全天型紫外域日射計の補正值は使用しなかった。

8月10日から下向き紫外域日射計のガラスドーム内に霜が発生し観測に支障が出たため、8月19日に予備器と交換した。

精密全天日射計及び精密赤外放射計について11月25日より予備器との並行観測を開始し、12月30日と31日に正器と予備器を交換した。

このほか観測はおおむね順調であった。

5.2.2. 上向き反射放射観測

上向き反射放射観測は、可視域及び紫外域では地表面からの反射、赤外域では地表面から射出される放射量を観測するが、雪面と測器の距離や雪表面の状態の影響を受けていると考える。このため雪面と測器受光面との距離は、1.5 m前後を目安とし、1-2 mを年間確保した。この調整のため、2008年5月13日、7月13日の2回、上向き反射放射観測架台の高さを変更した。

8月20日以降観測値の相対的な傾向が変化した。この原因は測器の影響と考える為、上向き紫外域日射量は8月20日以降欠測とした。

このほか観測はおおむね順調であった。

5.2.3. 波長別紫外域日射観測

主な機器障害と処置は以下のとおりである。

2008年8月25日、ブリューワー分光光度計 MKIII の通信系統と分光器内部に障害が発生し、10月1日に復旧した。このため、9月は予備器であるブリューワー分光光度計 MKII による観測を行ったが、MKII にも水銀ランプや選択プリズムなどの複数の箇所断続的に障害が発生し、9月22日に復旧するまで、欠測期間が生じた。

このほか、制御 PC やトラッカー・付属機器にも障害が多発し、一部に欠測が生じたが、いずれも短期間で復旧した。なお、ブリザードによる強風時には測器保護のために観測を中断した。

測器の光学系全体の波長感度を監視するための外部標準ランプ点検は、10日に1回程度行った。また、2008年2月13日から2月16日にかけて168号機と091号機の比較観測を、2008年2月1日から3月24日及び10月1日から10月20日までの期間は168号機と091号機の並行運用を行った。

5.2.4. 大気混濁度観測

停電による欠測を除いて、一年を通しておおむね観測は順調であった。

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。

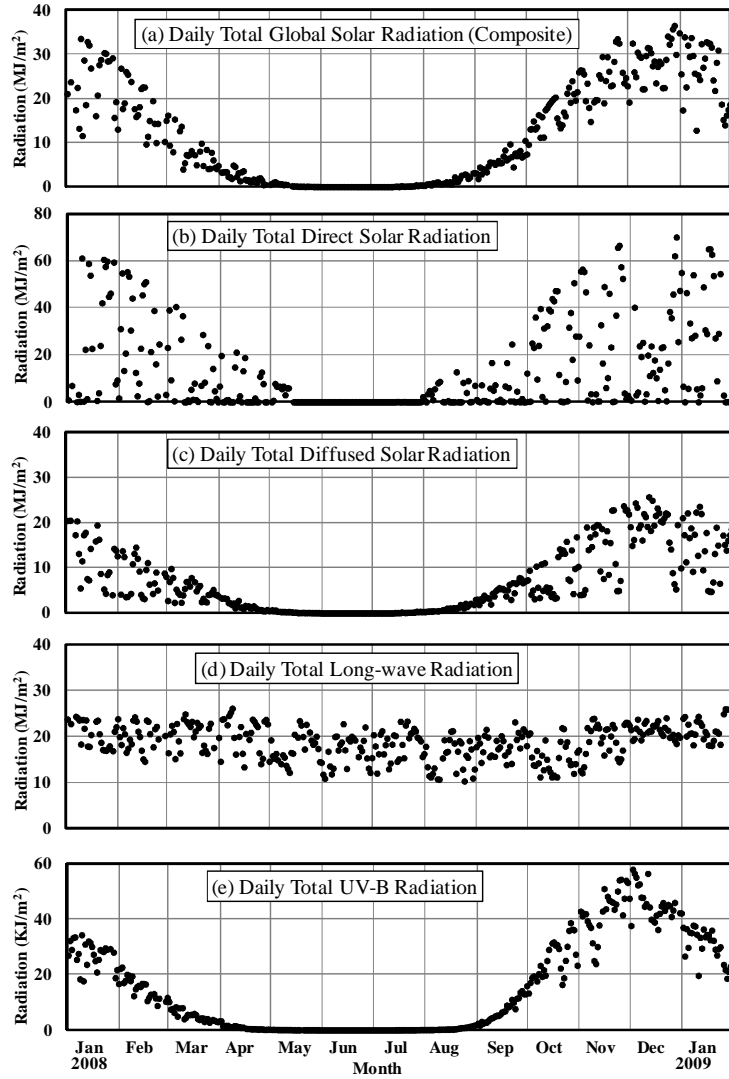


図 18 下向き日射放射量日積算値の年変化 (2008 年 1 月～2009 年 1 月)

(a) 全天日射量, (b) 直達日射量, (c) 散乱日射量, (d) 長波長放射量, (e) B 領域紫外線量。

Fig. 18. Annual variations in daily integrated values of downward radiation components (Jan. 2008–Jan. 2009).

(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.

2008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傾向であった。短波放射量は太陽高度とともに減少し、太陽が昇らない冬期間には 0 MJ/m^2 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/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と考えられる。

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。

2008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。上向き長波長放射量は下

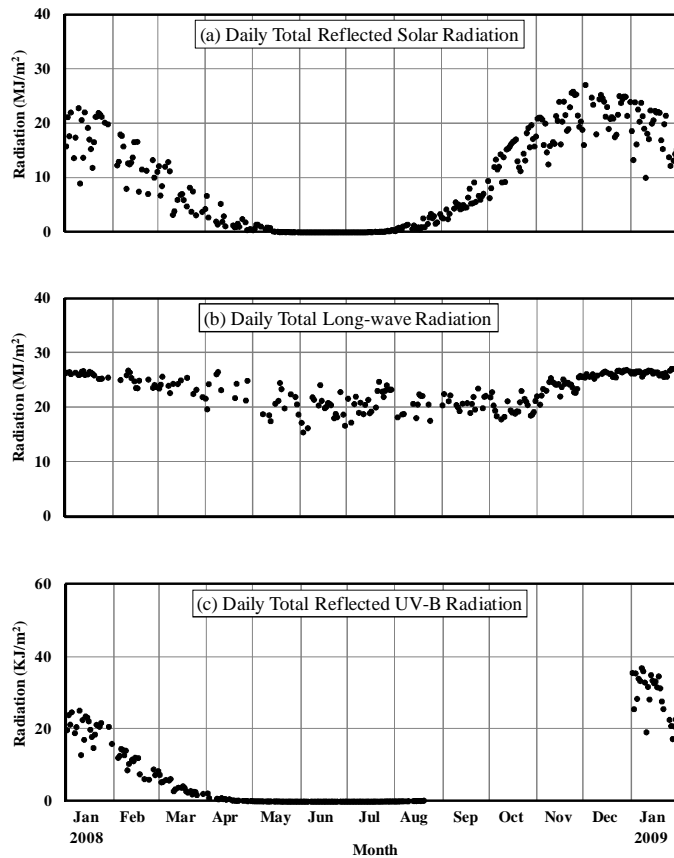


図19 上向き反射放射量日積算値の年変化（2008年1月～2009年1月）

(a) 反射日射量, (b) 長波長放射量, (c) B領域紫外線反射量。

Fig. 19. Annual variations in daily integrated values of surface upward radiation components (Jan. 2008–Jan. 2009).

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

向き長波長放射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るためである。ただし、冬期間に日積算値のばらつきが大きくなったのは地表面温度の変化が増大したためと考える。

短波、長波及び全波長の正味放射量日積算値の年変化を図 20 に示す。2008 年には、特別な変化はみられなかった。長波の放射量は、正味放射量（図中▲）がほとんど期間中負値となっており、期間を通じて上向きの放射が卓越していることが分かる。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放射の放射収支に依存し、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 ごとに積算した波長別紫外域日射量の日積算値とオゾン全量を図 21 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影響が小さいために、通常は日積算値の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（2008 年は 12 月 21 日）に近くなる傾向がある。2008 年に関してはオゾンホール解消が例年よりも遅く、昭和基地が 12 月上旬までオゾンホール下にあった影響で、日積算値の年間最大値は波長 300 nm 以上 325 nm 以下では 12 月 2 日に、波長 290 nm 以上 300 nm 未満では 12 月 4 日に観測した。

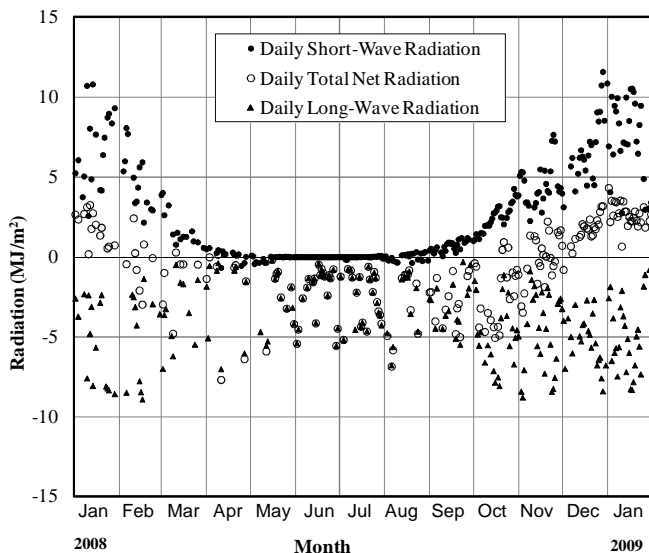


図 20 短波、長波及び全波長の正味放射量日積算値の年変化（2008 年 1 月～2009 年 1 月）

Fig. 20. Annual variations in daily integrated net short-wavelength radiation, long-wavelength radiation, and radiation at all wavelengths (Jan. 2008–Jan. 2009).

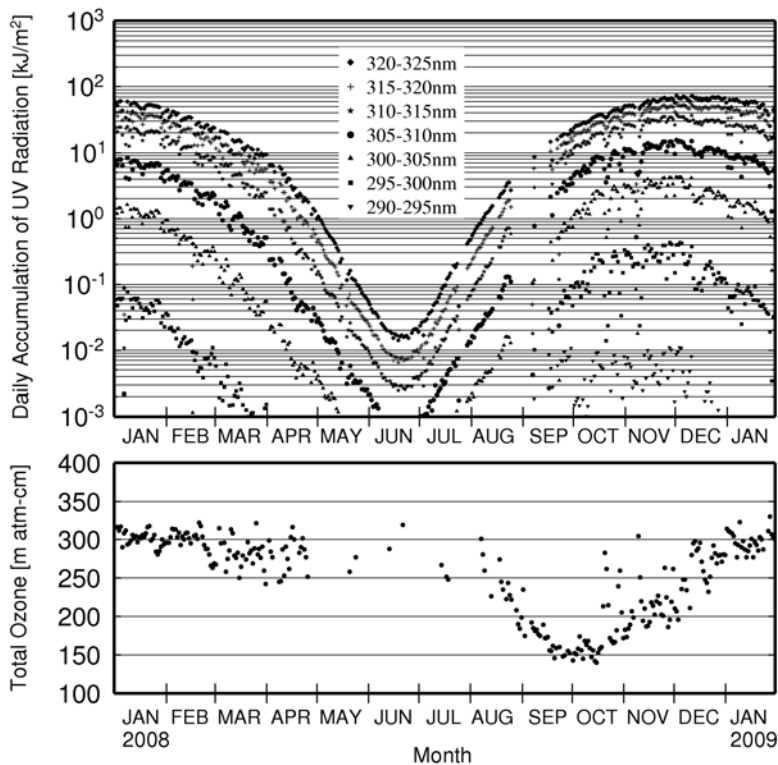


図 21 昭和基地における波長帯別紫外域日射量の日積算値（上図）とオゾン全量（下図）
（2008年1月～2009年1月）

Fig. 21. Daily accumulated ultraviolet radiation integrated for each wavelength band (upper panel) and total ozone (lower panel) at Syowa Station (Jan. 2008–Jan. 2009).

11月上旬～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、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。12月中旬以降は昭和基地上空のオゾンホールが解消し、オゾン全量が増加したことに伴って、290–310 nm の短波長側の日積算値が減少傾向に転じた。

放射伝達モデル (Aoki *et al.*, 2002) の計算によると、 μ が 2.5–4.5 の時オゾン全量が 300 m atm-cm から 1%減少した場合、UV-B 強度は 1.6–1.8%程度増加しており、過去の観測結果ともほぼ一致する (田口ほか, 2006)。また、オゾン全量が 300 m atm-cm から 150 m atm-cm へ半減した場合には、 μ が 2.5 のとき 2 倍程度、 μ が 4.5 のとき 3 倍程度、UV-B 強度が増加するという観測結果が得られている (東島ほか, 2003)。

昭和基地における 2008 年 1 月～2009 年 1 月の日最大 UV インデックスの年変化を図 22 に示す。

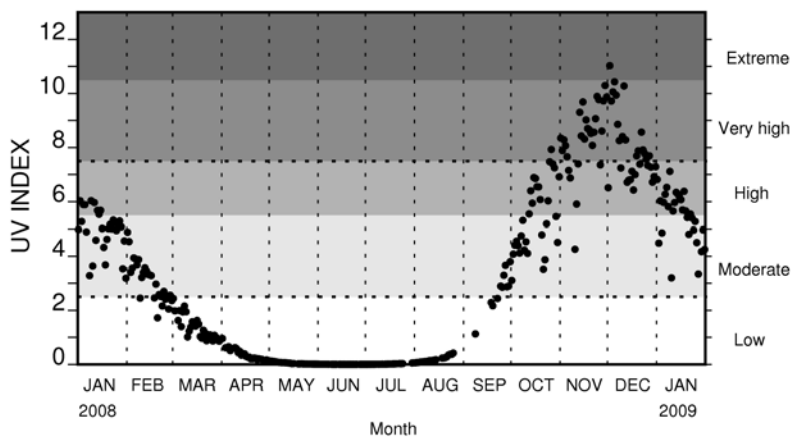


図 22 昭和基地における日最大 UV インデックスの年変化 (2008 年 1 月～2009 年 1 月)
 Fig. 22. Annual variations in the daily maximum UV index at Syowa Station (Jan. 2008–Jan. 2009).

2008 年の最大 UV インデックスは 12 月 2 日に 11.0 を記録した。これは、日本では九州及び南西諸島における夏季の晴天時の観測値にほぼ等しい。

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 nm–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。

5.3.4. 大気混濁度観測

(a) 2008 年の観測結果

サンフォトメータによる 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 a) と混濁係数 (\AA ngstrom β) の季節変化を図 23 に示す。5 波長の AOD は全期間でほぼ同じような変化傾向を示している。

ホイスナー・デュボアの混濁係数の季節変化を図 24 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。

(b) 大気混濁度の経年変化

サンフォトメータで大気混濁度の観測を開始した 1980 年からの各波長 (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 (\AA ngstrom a) と混濁係数 (\AA ngstrom β) の経年変化を図 25 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) 時に 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、

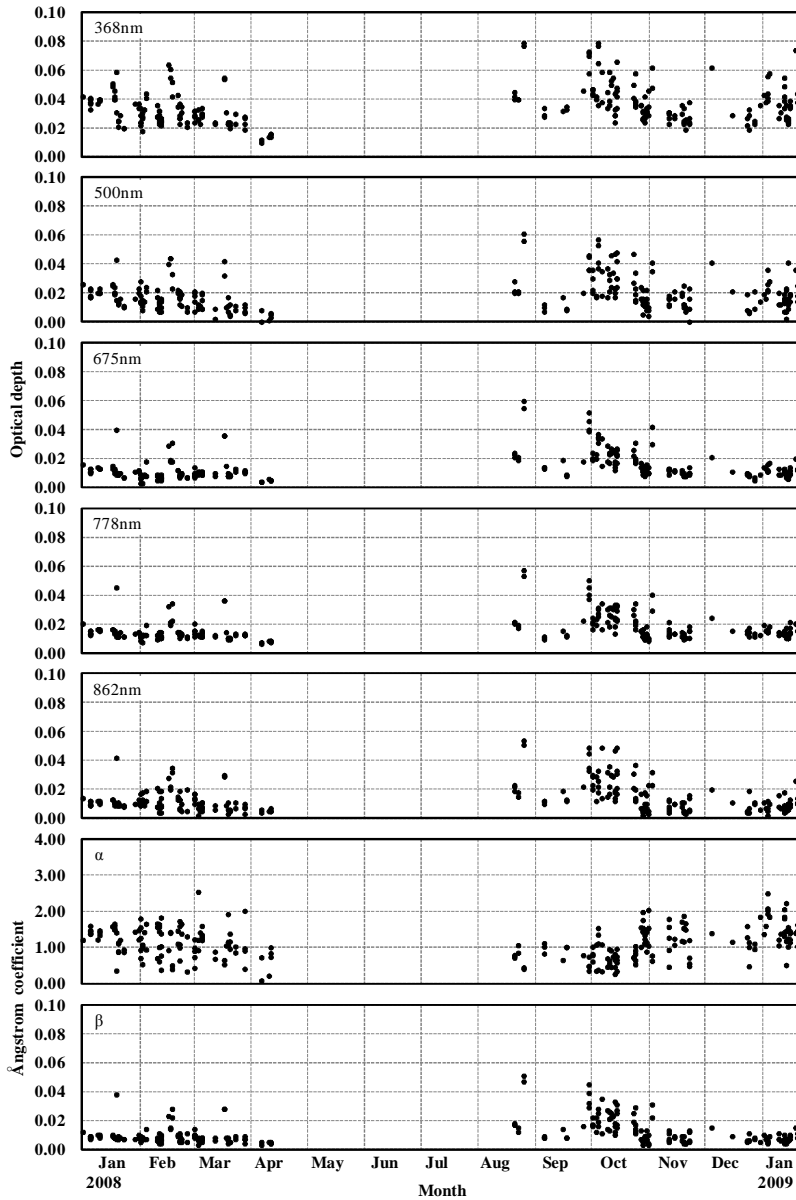


図 23 昭和基地における波長別エアロゾルの光学的厚さの季節変化 (2008 年 1 月～2009 年 1 月)

Fig. 23. Annual variations in aerosol optical depth at different wavelengths at Syowa Station (Jan. 2008–Jan. 2009).

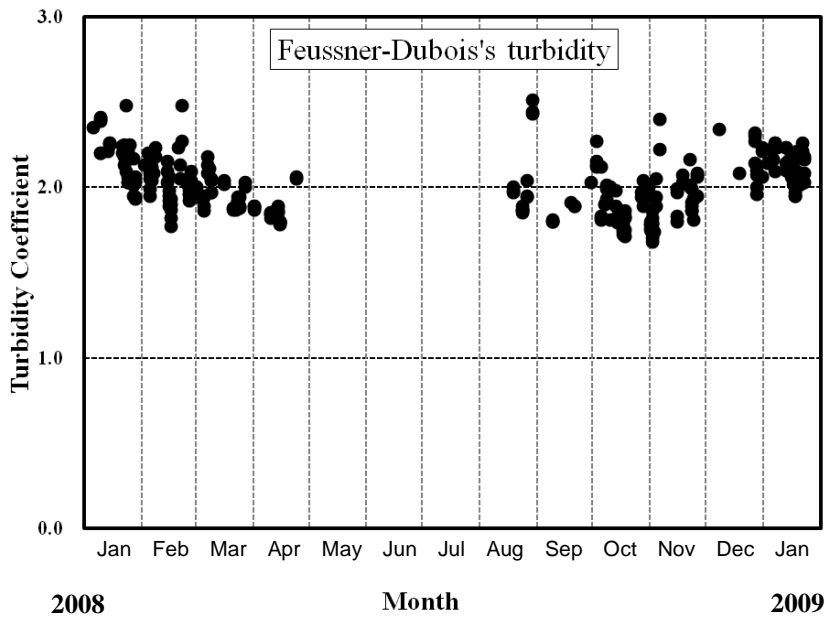


図 24 昭和基地におけるホイスナー・デュボアの混濁係数の季節変化 (2008 年 1 月~2009 年 1 月)
 Fig. 24. Annual variations in Feussner-Dubois's turbidity coefficient at Syowa Station (Jan. 2008–Jan. 2009).

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 年から 1993 年にかけての AOD の増加は, ピナツボ火山の噴出物の全球的な拡散によるものと考えられる (金戸, 1997). 2008 年の値は, ほぼ平年並であった.

ホイスナー・デュボアの混濁係数の経年変化を図 26 に示す. サンフォトメータで観測した場合と同様, 1982 年 (4 月: エル・チヨン (17.20 N , 93.12 W)), 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値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示している. 2008 年の値は, ほぼ平年並であった.

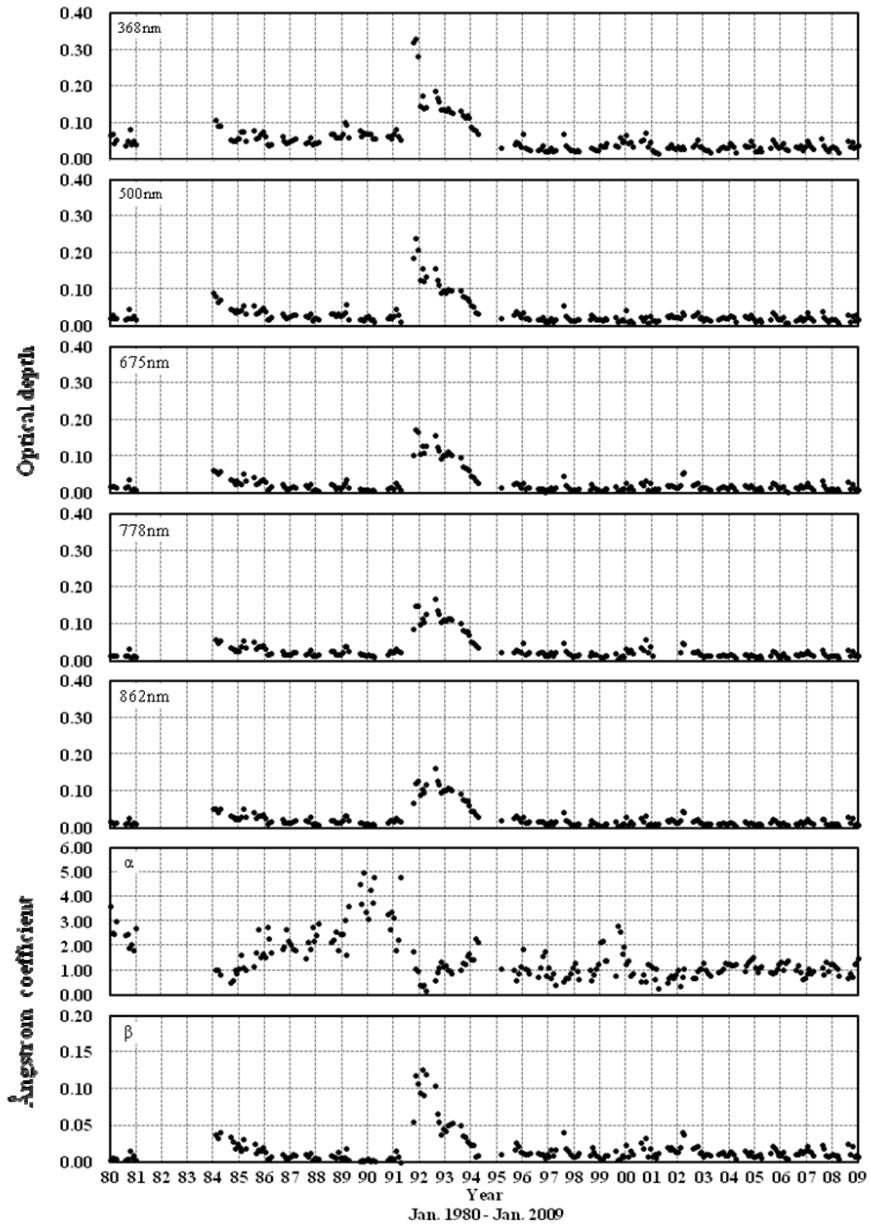


図 25 昭和基地上空の大気混濁度経年変化 (1980 年 1 月～2009 年 1 月)

Fig. 25. Time series of atmospheric turbidity above Syowa Station (Jan. 1980–Jan. 2009).

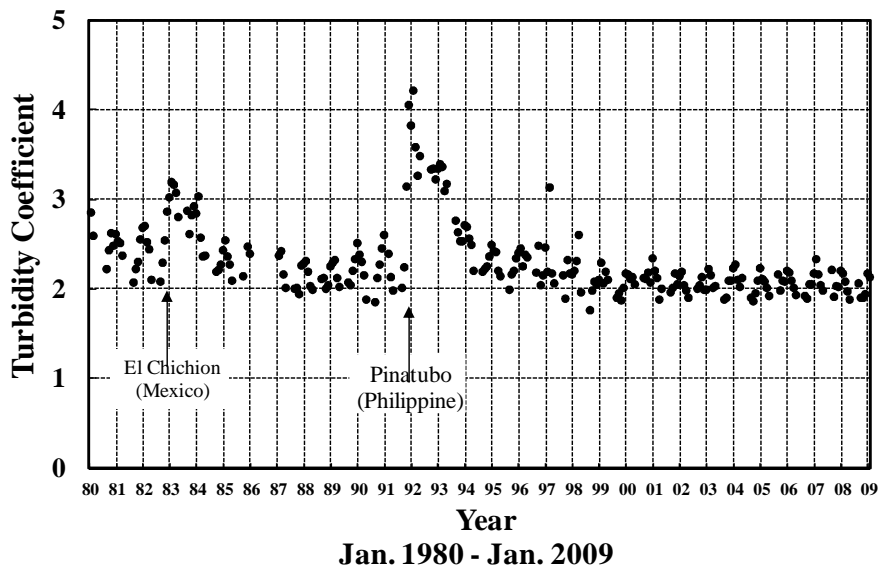


図 26 昭和基地上空の大気混濁度経年変化 (1980 年 1 月～2009 年 1 月)

Fig. 26. Time series of Feussner-Dubois's turbidity coefficient by pyrhelimeter (Jan. 1980–Jan. 2009).

6. 天気解析

気象庁数値予報格子点資料に基づく各種天気図・予想図及び各国数値予報センターなどの HP から取得した各種天気図・予想図, 気象衛星による雲写真及び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利活用するとともに, 観測隊の野外オペレーションなど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

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) から作成した各種天気図及び予想図と, 化学輸送モデル (CTM) 実況解析図及び予想図を気象庁データサーバより FTP により取得し, 利用した。

(2) 極軌道衛星雲画像

衛星受信部門が昭和基地で受信した NOAA の赤外及び可視画像。

(3) 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・風速のリアルタイム値

(4) 各国数値予報センター等作成天気図・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 HP で公開する解析値及び予報値を利用した。また、各種衛星画像の取得・閲覧を行い、天気解析の参考とした。

(主な参照先と URL (当時))

① AMPS (Antarctic Mesoscale Prediction System)

<http://www.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

(00 UTC) <http://www.bom.gov.au/archive/charts/YYYY/MM/IDX0033.YYYYMMDD0000.gif>

(12 UTC) <http://www.bom.gov.au/archive/charts/YYYY/MM/IDX0033.YYYYMMDD1200.gif>

※YYYY・MM・DD はそれぞれ西暦年・月・日である。

③ オーストラリア気象局作成南半球 500 hPa 解析図

(00 UTC) <http://www.bom.gov.au/archive/charts/YYYY/MM/IDX0008.YYYYMMDD0000.gif>

(12 UTC) <http://www.bom.gov.au/archive/charts/YYYY/MM/IDX0008.YYYYMMDD1200.gif>

※YYYY・MM・DD はそれぞれ西暦年・月・日である。

④ 南アフリカ気象局作成天気図

<http://www.weathersa.co.za/ship/ship.gif>

⑤ ウィスコンシン大学コンポジット衛星画像

<http://amrc.ssec.wisc.edu/~amrc>

6.2. 解析結果の提供とその利用

解析結果は、昭和基地屋外作業、野外オペレーション、航空機オペレーション時などに気象情報として提供したほか、ブリザードによる外出注意令・禁止令の発令及び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提供するとともに、昭和基地内の HP・掲示板で地上気象観測実況値などと併せて公開した。さらに、オゾンホール期には化学輸送モデル資料を参考にし、適切なタイミングでオゾンゾンデ観測を実施した。

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 (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 49 次隊では、第 48 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オゾンゾンデ観測用の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気象棟にある高層気象観測用のパラボラアンテナで受信して行った。

電源はホーカ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いる。観測項目は気圧、気温、風向・風速で、常時観測を行った。

7.1.2. 観測経過

4月1日～5月7日、6月26日～8月1日、8月15日～9月16日、10月17日～11月12日は、機器不具合のためすべて観測を中断した。また、5月7日～11月12日の期間、発信器部の電子回路不良により風向・風速について欠測となった。その他の期間は問題なく観測を行った。

2009年1月23日には、第50次隊との引き継ぎを兼ねて比較観測と動作点検を行った。

7.2. 移動気象観測装置 (MAWS)

7.2.1. 観測方法と測器

移動気象観測装置 (MAWS) はヴァイサラ社製の気象観測装置であり、2008年5月21日～12月20日に、昭和基地の北東約12 kmに位置するとつつき岬の露岩地帯 (68°54.682'S, 39°49.143'E, 標高14.9 m) に設置し、気圧、気温、湿度、風向・風速、日射の観測データ収集を行った。観測測器を表 16 に示す。

7.2.2. 観測経過

2008年5月21日～12月20日観測データ収集を行ったが、ノイズ等が入り観測データが正常に保存されなかったため一部欠測となった。また、風向風速計が凍結したと推定されるデータについては欠測とした。なお、12月15日以降、電源として使用していたサイクロンバッテリーの電圧が低下したため、観測データが正常に保存されず欠測となった。

表 15 S16 におけるロボット気象計の測器一覧表

Table 15. Observation elements, observation frequency, and instruments 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)	RS2-91 型 レーウィンゾンデを使用
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°		

表 16 移動気象観測装置 (MAWS) の測器一覧表

Table 16. Observation elements, observation frequency, and instruments of MAWS.

観測種目	観測精度	使用測器等	
気圧	±0.3 hPa	電気式気圧計 (静電容量型) (PMT16A)	
気温	±0.3°C	電気式温度計 (白金膜型)	(QMH101)
湿度	±2% : 0-90% ±3% : 90-100%	電気式湿度計 (静電容量型)	
日射量	1% : <1000 W/m ²	電気式日射計 (フォトダイオード型) (QMS101)	
風速	±0.3 m/s	三杯・矢羽根複合型風向風速計 (WMS302)	
風向	±3°以下		

7.2.3. 観測結果

とっつき岬の旬別経過図を図 27 に示す。図には比較のため昭和基地の観測値も示している。旬毎で見るとすべての気象要素で、昭和基地ととっつき岬はおおむね同じ観測値と変化傾向を示している。このため、とっつき岬と昭和基地はおおむね同じ気象であることが推測できる。

ただし、風速についてはとっつき岬の方が強い。このことから昭和基地で強風が吹いていなくても、とっつき岬で強風となっている事例が多いことがわかる。なお、気圧についてはとっつき岬が昭和基地に比べ高い傾向にあるが、この差は設置高 (昭和基地の気圧計の高さ 21.8 m, とっつき岬の気圧計の高さ 15.5 m) 等の環境の違いが要因の一つと考える。

7.3. 極域成層圏雲の観測

極域では冬季、成層圏の気温が低下すると、極域成層圏雲 (Polar Stratospheric Clouds; PSCs) と呼ばれる微細な粒子からなる雲が成層圏に形成される。極域成層圏雲は、硝酸や水蒸気などが低温で凝結した液相や固相の粒子から形成され、大きく分けて下部成層圏の気温がおおよそ -78°C 以下で発生するタイプ I のものと、おおよそ -85°C 以下で発生するタイプ II のものがある (気象庁, 2009b)。極域成層圏雲の観測を地上から目視によって試みた。

7.3.1. 観測方法及び観測状況

極域成層圏雲の推定高度は、対流圏の雲に太陽光が当たらない、太陽高度角 -4° ~ -8° (水平線下) の時間帯に輝いている雲の高度角 (φ) と太陽高度角 (θ) から推定高度が得られる (Shibata and Morimoto, 1992)。表 17 に観測状況を示す。

2008 年 7 月 7 日の極域成層圏雲は、太陽光の回折・干渉によりパステル調の色が現れる顕著な彩雲現象となって見られた (図 28 参照)。彩雲となって見えたことから、粒子は球形に近く粒径も比較的揃っていると考える (佐藤ほか, 1999)。彩雲となって見えたことと、昭和基地の高層気象観測の気温が -85°C に近いことから、氷晶が主成分のタイプ II の極域成層圏雲であったと推測する。

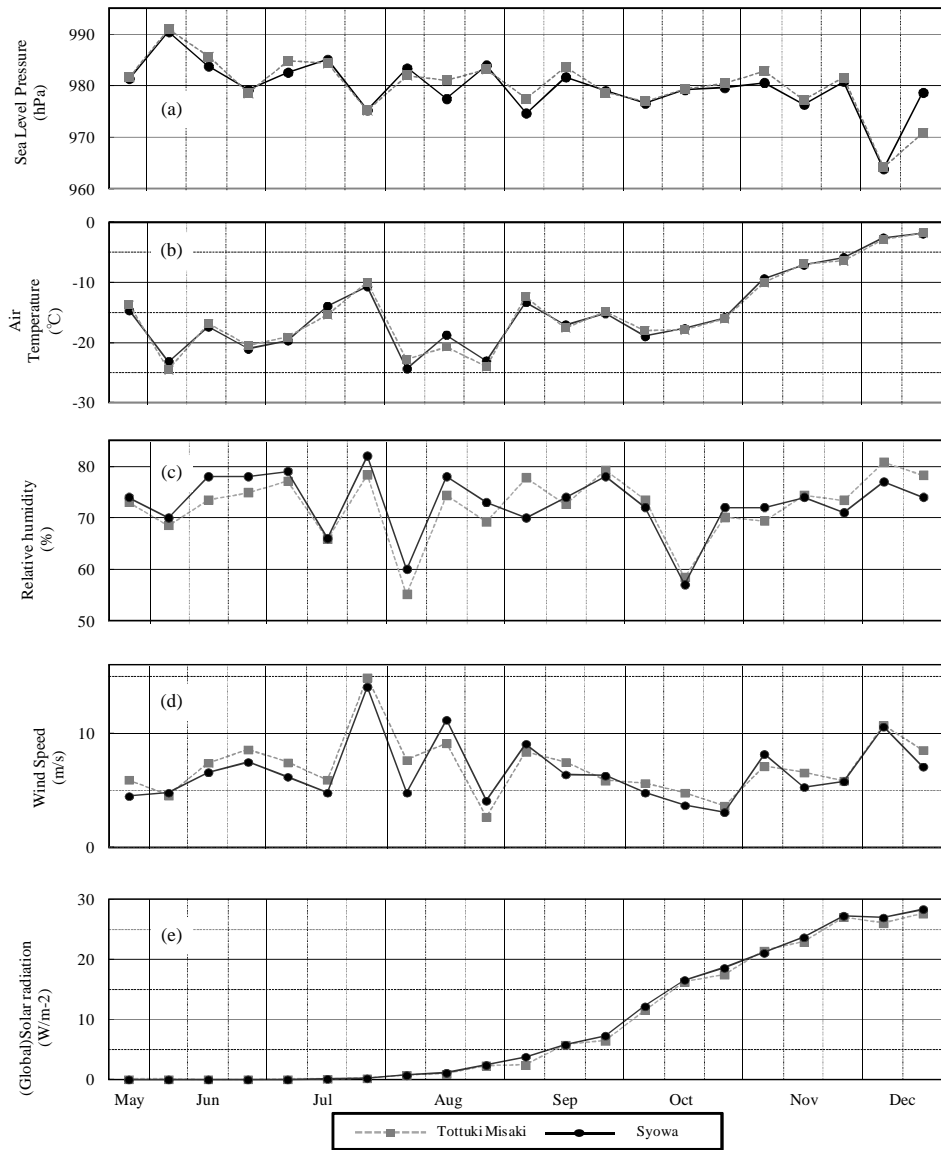


図 27 とつつき岬と昭和基地における地上気象旬別経過図（2008年5月下旬～2008年12月中旬）

(a) 現地気圧, (b) 気温, (c) 湿度, (d) 風速, (e) 全日日射量.

Fig. 27. Time series of 10-day means of surface meteorological parameters at Tottuki Misaki and Syowa Station (late May 2008–mid-Dec. 2008).

(a) Sea level pressure, (b) Air temperature, (c) Relative humidity, (d) Wind speed, (e) (Global) solar radiation.

表 17 昭和基地における極域成層圏雲の目視観測 (2008 年 2 月～2009 年 1 月)

Table 17. Visual observations of polar stratospheric clouds at Syowa Station (Feb. 2008–Jan. 2009).

観測日時 (現地時間)	太陽高度角	雲の高度角	推定高度	推定高度の気温	備 考
6 月 29 日 1500 LT	-6°	6°	18 km	-81°C	
7 月 7 日 1450 LT	-5°	20°	20 km	-84°C	彩雲を伴う
7 月 10 日 1530 LT	-7°	5°	20 km	-85°C	
8 月 19 日 1900 LT	-7°	5°	20 km	-89°C	



図 28 彩雲現象が顕著にみられた極域成層圏雲. 2008 年 7 月 7 日 (13 UTC)

Fig. 28. Polar stratospheric cloud cover (1300 UTC, 7 Jul. 2008).

7.4. 気象庁本庁へのデータ伝送

観測結果の通報は、インテルサット衛星回線を利用して観測データを日本国内に FTP 送信し、日本国内から世界の気象機関へ通報している。第 49 次隊では、ほぼ 100% 配信できた。

謝 辞

第 49 次隊の気象定常観測を遂行するにあたり、観測上の技術援助及び助言をいただいた第 49 次隊の伊村 智観測隊長、牛尾収輝越冬隊長ほか第 49 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、高層气象台ほか気象庁の関係官、並びに観測機器の輸送で支援を頂いた南極観測船「しらせ」乗組員の方々に感謝いたします。

この報告をまとめるにあたり、気象庁の川嶋浩二南極観測事務室長、土井元久前南極観測事務室長、第 48 次観測隊気象部門の方々にご助言をいただきました。お礼申し上げます。

文 献

阿保敏広・佐々木利・海老田綾貴・藤田 建・久光純司 (2008): 第 45 次南極地域観測隊気象部門報告 2004. 南極資料, 52, 437–515.
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.
- Aoki, Te., Aoki, Ta., Fukabori, M. and Takao, T. (2002): Characteristics of UV-B Irradiance at Syowa Station, Antarctica: analyses of the measurements and comparison with numerical simulations. *J. Meteor. Soc. Japan*, **80**, 161–170, doi: 10.2151/jmsj.80.161.
- 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・杉田興正・鳥井克彦・高橋 武・安達正樹 (2007): 第 44 次南極地域観測隊気象部門報告 2003. 南極資料, **51**, 129–208.
- 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, doi: 10.1029/95JD02462.
- 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): ピナツボ噴火と昭和の気候. 南極資料, **41**, 285–290.
- 気象庁 (1990): 国際気象通報式 (第 8 版). 東京, 447 p.
- 気象庁 (1991): オゾン観測指針 オゾン全量・反転観測編. 東京, 91 p.
- 気象庁 (1993): 紫外域日射観測指針. 東京, 83 p.
- 気象庁 (1997): オゾン観測指針 オゾンゾンデ観測編. 東京, 60 p.
- 気象庁 (2002): 地上気象観測指針. 東京, 176 p.
- 気象庁 (2004): 高層気象観測指針. 東京, 248 p.
- 気象庁 (2005): 気象観測統計指針. 東京, 158 p.
- 気象庁 (2009a): 「大気の循環・雪氷・海況」(online), <http://www.data.jma.go.jp/gmd/cpd/diag/latest/index.html>.
- 気象庁 (2009b): 1–3 南極オゾンホール. オゾン層観測報告 2008. 東京, 19–27.
- 気象庁 (2010): 大気・海洋環境観測報告第 10 号 2008 年観測成果. 東京 (CD-ROM).
- 気象庁 (2011): 大気・海洋環境観測報告第 11 号 2009 年観測成果. 東京 (CD-ROM).
- Mateer C.L. and DeLuisi J.J. (1992): A new Umkehr inversion algorithm. *J. Atmos. Terr. Phys.*, **54**, 537–556, doi: 10.1016/0021-9169(92)90095-3.
- 宮川幸治 (2002): ドブソンオゾン分光光度計の新自動制御方式. 高層気象台彙報, **62**, 27–44.
- 宮川幸治 (2007): ドブソンオゾン分光光度計の自動化ウインドウシステムの高度化—コンパクト PCI 制御方式への移行—. 高層気象台彙報, **67**, 85–98.
- 中村辰男・野村幸弘・島村哲也・岩坪昇平・松澤一雅 (2012): 第 48 次日本南極地域観測隊気象部門報告 2007. 南極資料, **56**, 91–147.
- 長田和雄・林 政彦・塩原匡貴・原圭一郎・和田 誠・橋田 元・森本真司・矢吹正教・山内 恭 (2006): 南極昭和基地における清浄大気観測室の設置について. 南極資料, **50**, 86–102.
- 佐藤尚志・吉見英史・竹川元章・宮内誠司・中村辰男 (1999): 第 36 次南極地域観測隊気象部門報告 1995. 南極資料, **43**, 96–161.
- Shibata, S. and Morimoto, M. (1992): Results of ozonesonde observation at Syowa Station in 1990. *Proc. NIPR Symp. Polar Meteorol. Glaciol.*, **6**, 46–52.
- 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.
- 田口雄二・加藤裕規・肆矢朗久・坪井一寛・池田友紀子 (2006): 第 42 次南極地域観測隊気象部門報告 2001. 南極資料, **50**, 152–211.