

## 第 41 次南極地域観測隊航空機大気観測報告 2000-2001

和田 誠<sup>1</sup>・猪原 哲<sup>2</sup>・芝 治也<sup>3</sup>Aerological and aerosol observations in the lower atmosphere  
using aircraft by the 41st Japanese Antarctic  
Research Expedition, 2000-2001Makoto Wada<sup>1</sup>, Satoshi Ihara<sup>2</sup> and Haruya Shiba<sup>3</sup>

**Abstract:** Aerosol, greenhouse gas, temperature, water vapor and wind observations in the atmosphere were carried out from 17 February 2000 to 19 January 2001 using aircraft around Syowa Station and along oversnow vehicle tracks between Syowa Station and Point MD210. Nine flights of the Pilatus PC-6 aircraft were conducted around Syowa Station, 16 flights of Pilatus PC-6 aircraft and 18 flights of the Cessna A185F aircraft between Syowa Station and Mizuho Station, and one flight of the Pilatus PC-6 aircraft between Syowa Station and Point MD210. Continuous measurement of carbon dioxide concentration and air samplings using flasks were carried out from 7200 m altitude to 900 m altitude at 900 m intervals around Syowa Station. Continuous observations of aerosol number density, temperature and water vapor were carried out along with dropsonde observations along the tracks every month except in the dark season. The dropsondes were launched at about 150 km intervals along tracks.

**要旨:** 航空機を用いた大気観測を 2000 年 2 月 17 日から 2001 年 1 月 19 日まで、第 41 次隊として実施した。昭和基地上空観測として 9 回、内陸観測として、みずほ基地までの飛行をピラタス機 16 回 (実際にはほとんどの飛行が Z40 地点まで)、セスナ機 18 回、MD210 地点 (昭和基地から約 500 km) までの飛行を 1 回、実施した。昭和基地上空観測では、二酸化炭素濃度の連続観測と高度 7200 m から 900 m ごとに高度 900 m までの 8 高度の空気の採取を、内陸観測では、機体搭載の機器による大気状態、エアロゾル数濃度の観測を、またドロップゾンデ観測システムによる緯度方向約 150 km ごとの大気状態の断面観測を、実施した。

## 1. はじめに

気水圏系大気グループの第 V 期 5 カ年計画「南極大気・物質循環観測」の第 4 年次に当たる第 41 次隊では、航空機を用いた観測が主プロジェクト研究観測として実施された。「南極大気

<sup>1</sup>国立極地研究所, National Institute of Polar Research, Kaga 1-chome, Itabashi-ku, Tokyo 173-8515.

<sup>2</sup>佐賀大学理工学部, Department of Science and Engineering, Saga University, 1, Honjo cho, Saga 840-8502.

<sup>3</sup>高知工業高等専門学校, Kochi National College of Technology, 1, Mononobe 200, Nangoku 783-8508.

・物質循環観測」では南極における大気循環場の変動と大気中の微量物質の挙動、及びその関連を明らかにすることを目的としている(山内ら, 1999; Yamanouchi *et al.*, 1999a). 第38次隊ではドームふじ観測拠点での、大気中のエアロゾルの高度プロファイル、大気場の状態を知るための観測、微量成分の採取などが行われた(林, 1999; 平沢, 1999; Hirasawa *et al.*, 1999, 2000). また第38次隊夏期および第39次隊夏期では、昭和基地での回収気球実験により成層圏までの微量気体の採取が行われた(Honda *et al.*, 1999, 2000). 一方昭和基地では長期の気象定常部門による大気場の観測(例として, Japan Meteorological Agency, 1996), 気水圏系による微量気体, エアロゾルの観測(第38次隊からモニタリング研究観測として位置づけられた)が行われている(Aoki *et al.*, 2000). また昭和基地での衛星データの取得による広範囲の大気状態(特に, 雲, 水蒸気)の解析が行われている(Hirasawa and Yamanouchi, 2000). 第41次隊ではこれらのデータを参考にしながら, 点から線への大気データの取得(高度方向を含めた)を, 航空機を用いて目指した. 具体的には, 大気状態, エアロゾルの航空機観測として, 航空機の航続距離等の制約のため, 冬明け後の昭和基地から内陸500 km付近まで, それ以外の期間のみずほ付近まで, の観測飛行の週1回の実施を計画した. 天候等の制約から2000年2月, 3月, 4月, 8月, 9月, 11月, 12月, 2001年1月の昭和基地みずほ基地間の月平均約2回の観測飛行, 2000年11月21日の昭和基地から内陸500 km付近までの1回の観測飛行が実施された.

第38次隊ではセスナ機による昭和基地みずほ基地間の往復飛行を7回行っている(Yamanouchi *et al.*, 1999b). 第41次隊ではこれらの結果を参考にして飛行機観測計画を作成し, 観測項目, 飛行高度等を決定した. また第38次隊では位置情報は飛行時間と飛行距離からの平均的な位置データのみであったが, 第41次隊ではGPSデータを取得する事によって精度の高い位置データを取得した. またYamanouchi *et al.* (1999b)によると, 第38次隊の観測結果から以下の考察がなされた. (1) 飛行ルートに沿って, 内陸に向かい水蒸気量が増加している, 特に中間地点付近以降から, 増加しているケースが多かった. (2) 低気圧の侵入時と通常の間隔のバックグラウンドの大気状態時とでは, エアロゾル数濃度と水蒸気量の関係に違いがある. (3) エアロゾルの粒径分布は季節によって違いがある. (4) エアロゾルの数濃度は春, 夏は高度による違いが小さい. 今回はこれらについてさらなる研究成果を得ることを1つの目的とした. このために新しい露点計,  $0.01 \mu\text{m}$ まで計測できる凝縮粒子カウンターとドロップゾンデ観測システム, を導入した. さらに回数は少ないが, 電子顕微鏡用のエアロゾル試料の採取を行った. また飛行実施回数を増加させ, 上記現象が一般的な現象なのか, 一時的な現象なのかの解明をめざした.

今回の観測の主な目的は以下の通りである. (1) 内陸域の水蒸気量は沿岸域(昭和基地)の水蒸気量と比較してどのように違うのか. (2) 上空のエアロゾルは内陸域に行くにつれてどのように変化するか. (3) 季節による変化は内陸域と沿岸域とで異なるのか. (4)  $0.01 \mu\text{m}$ 以

上の粒径のエアロゾル数濃度と 0.3 μm 以上の粒径のエアロゾル数濃度の変動は異なるのか。  
 (5) 水蒸気量の変動とエアロゾル数濃度の変動は関連しているのか。

この報告では、どのような観測を行い、どのようなデータが得られているかについて述べる。  
 また機器のテスト観測については、得られたデータの吟味を行う。詳細なデータ解析については今後の研究論文で発表する。

## 2. 観測経過

2000年2月17日にドロップゾンデ装置のテストを兼ねた観測飛行が、ピラタス機によって、昭和基地周辺で実施された。以後4月27日にミッドウインター前の最終観測飛行が行われるまで、内陸飛行、昭和基地上空飛行が実施された。5月、6月、7月と天候不良、極夜の条件

表1 2000年2月17日から2001年1月19日までの大気観測飛行の行われた日時、および観測項目  
 Table 1. Observation dates and items of the flights from 17 February 2000 to 19 January 2001.

Date	Time				Items						
	Pilatus		Cessna		Pilatus					Cessna	
	take off	landing	take off	landing	Normal	Drop-sonde	Impactor	CO <sub>2</sub>	Special	Normal	Impactor
2/17	1202	1245				○					
2/22	1136	1426	1223	1531		○				○	
3/3	1123	1332						○			
3/5			1138	1437						○	
3/16	1247	1543	1158	1506			○				○
3/22	1143	1407	1006	1311		○				○	
3/29	1022	1303	1146	1447	○					○	
4/1	1124	1257						○			
4/13	1116	1408	1225	1451			○				○
4/19	1031	1324	1143	1445		○				○	
4/20	1103	1225						○			
4/27	1249	1528					○				
8/4	1158	1309							○		
8/8	1147	1317						○			
8/18	1320	1613	1211	1539		○				○	
8/21			1208	1415							○
9/7	1313	1554	1129	1325		○				○	
9/11	1208	1330						○			
9/25	1207	1502	1053	1318	○					○	
11/2	1413	1549						○			
11/19	1105	1337	1202	1545		○				○	
	1456	1646									
11/20	1109	1254	1217	1523	○					○	
	1357	1544									
11/21	1015	1152	1155	1507		○				○	
	1302	1543									
	1632	1839									
12/5	1109	1235						○			
12/11	1127	1419	1037	1237			○				○
12/21	1115	1410	1028	1350		○				○	
12/31	1559	1836	1525	1937			○				○
1/17	1153	1440	1044	1453		○				○	
1/19	1058	1245						○			

下で飛行はできなかった。8月4日にミッドウィンター後の初観測飛行がピラタス機によって実施された。この飛行では昭和基地上空で、2台の温湿度計、2台のエアロゾルパーティクルカウンターと比較観測を実施した。その後ミッドウィンター前と同様に内陸飛行、昭和基地上空飛行が2001年1月19日まで行われた。この間9月25日から11月27日までみずほ基地に4名滞在し、飛行場を開設し、みずほ基地より内陸の飛行を計画した。しかし、天候不良等により、みずほ基地着陸観測飛行は11月19日から21日までの連続3日間のみであった。この内の11月21日には内陸地点 (MD210: みずほ基地から約230 km 内陸) までの往復観測飛行を実施した。表1に2000年2月17日から2001年1月19日までの大気観測飛行の行われた日時、および観測項目を示す。内陸飛行は通常セスナ、ピラタス2機で、昭和基地上空飛行はピラタス機のみで行われた。

### 3. 観 測

#### 3.1. 内陸航空機観測

第38次隊の内陸航空機観測データから考え、飛行高度は一定とした。第38次隊では対地高度一定で飛ぶ飛行も試みているが、データに現れる現象が、ある高さの現象なのか、その場所

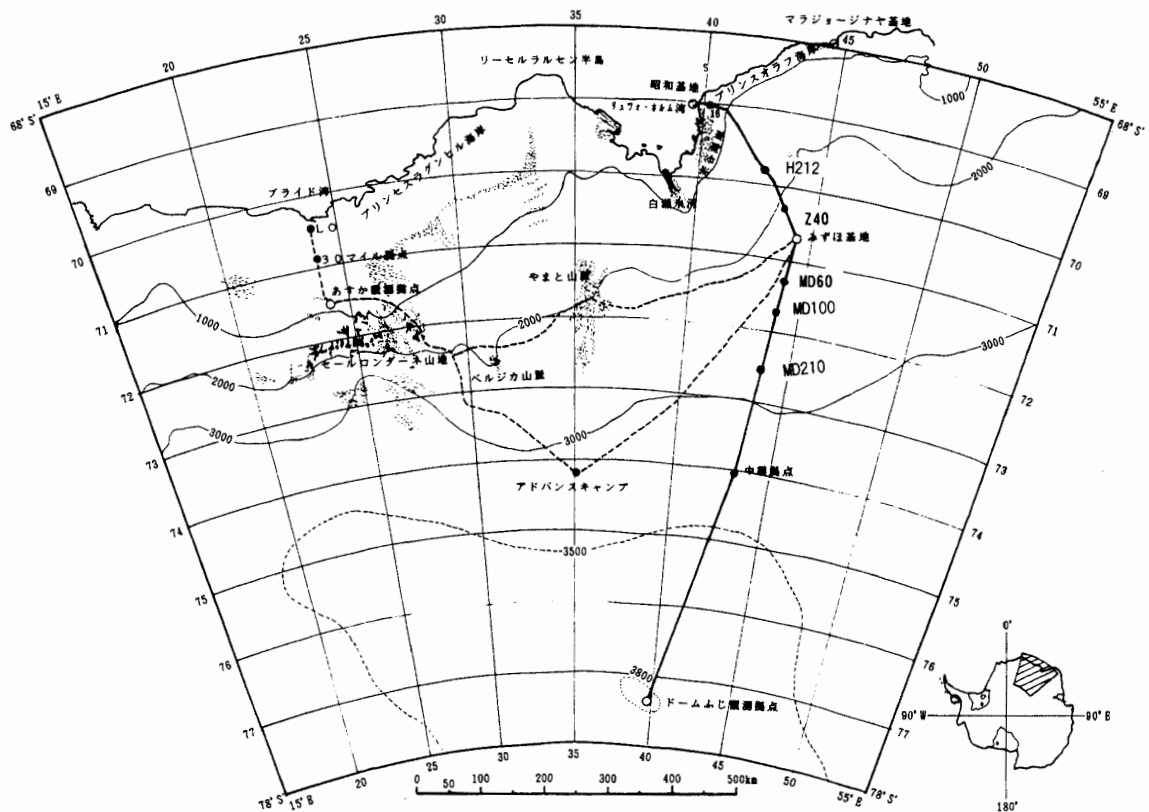


図1 観測飛行ルート及び関連地点。

Fig. 1. Area around Syowa Station and flight tracks inland.

の特定の現象なのかの判断が難しい。このため今回は定高度飛行とした。この報告の中で使用している定高度というのは、使用した飛行機は気圧から高度に換算した高度計で運航しているため、気圧高度一定であることを意味する。また第 41 次隊ではピラタス、セスナ 2 機による観測が可能であり、ピラタス機では往路及び復路で 6000 m, 4500 m の 2 定高度飛行、セスナ機では往路及び復路で 2400 m, 3000 m の 2 定高度飛行を原則とした。みずほ基地の高度が約 2200 m なので定高度飛行の最低高度を 2400 m とした。この方法で、地上から 6000 m までのほぼ 1500 m 間隔の 4 高度のデータが取得できる。飛行航路 (図 1 を参照) は昭和基地から S16 地点を経由してみずほ基地までの通常の地上ルートに沿った。この航路ではピラタス機は、航続距離の制約により、通常 Z40 地点までの往復飛行となった。セスナ機は通常みずほ基地までの往復としたが、みずほ基地より内陸の飛行が予定より少なかったため 12 月半ばからみずほ基地より約 60 km 内陸の MD60 地点までの往復飛行とした。またみずほ基地に着陸した飛行を除けば、飛行開始から飛行終了までの時間は長い飛行で約 4 時間であり、データを解釈するとき、大気状態の時間変動は通常無視できると考えられる。

内陸飛行時の搭載機器について述べる (表 2)。ピラタス機の通常観測用機器は、Vaisala 社の HMP235 温湿度計および PT202 気圧計、Buck Research 社の CR-2 露点計、シグマテック社の TD200 パーティクルカウンター、TSI 社の 3010 凝縮粒子カウンターである。また位置情報取得のために GPS を搭載した。更に月 1 回は Vaisala 社の AVAPS ドロップゾンデシステム

表 2 内陸観測時のピラタス、セスナ機搭載機器  
Table 2. Instruments on board Pilatus and Cessna aircraft during inland flights.

ピラタス機搭載機器		
通常		
温湿度計	Vaisala	HMP235
気圧計	Vaisala	PT202
露点計	Buck Research	CR-2
パーティクルカウンター	シグマテック	TD200
凝縮粒子カウンター	TSI	3010CPC
GPS	SPA システムプロデューサー アソシエイツ	ジュピター
時々		
ドロップゾンデシステム	Vaisala	AVAPS
インパクトター	PIXE International	Inertial Impactor Model I-1
セスナ機搭載機器		
通常		
温湿度計	Vaisala	HMP235
気圧計	Vaisala	PT210
露点計	Buck Research	1011B
パーティクルカウンター	シグマテック	TD100
GPS	日本電素	GPSR-5200
時々		
インパクトター	PIXE International	Inertial Impactor Model I-1

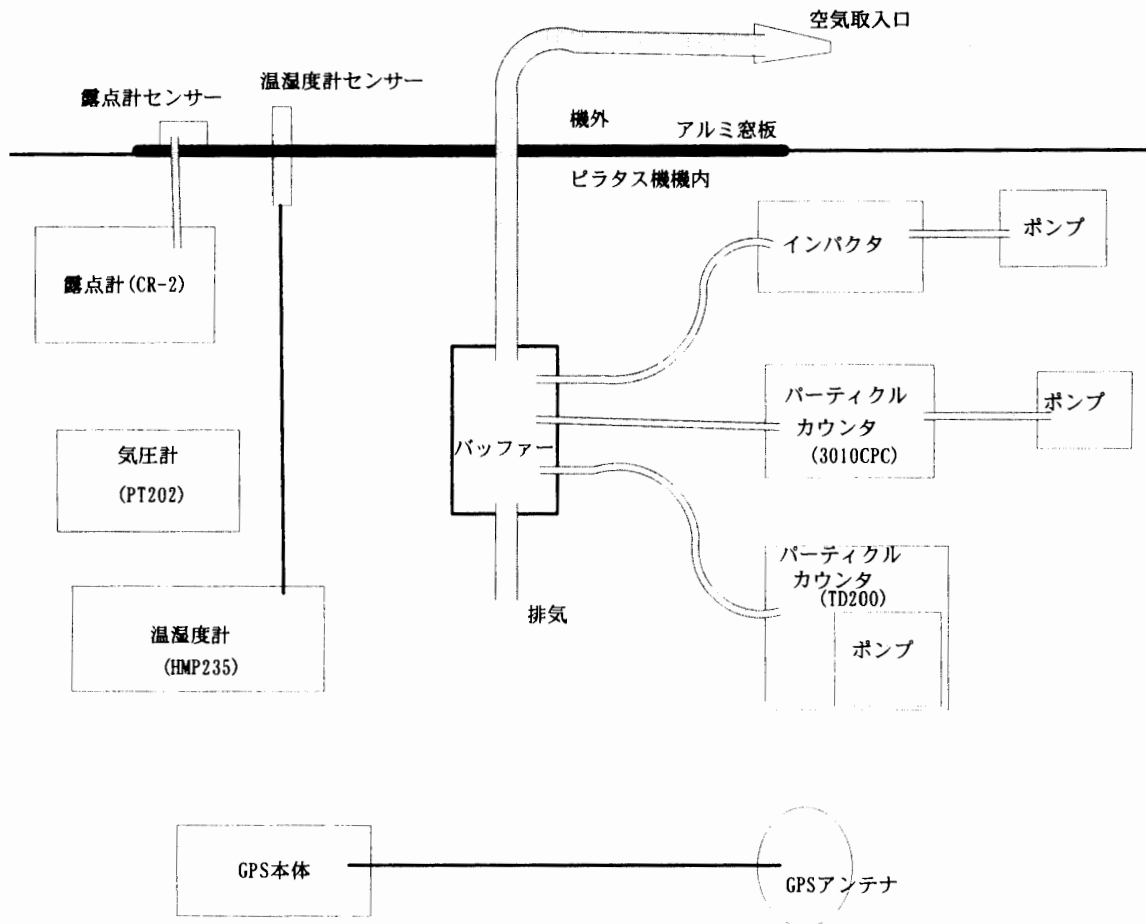


図2 通常観測用機器，インパクトの配管及び配線の概略図．影のある線は空気用チューブ．黒い線はケーブル．

Fig. 2. Piping and wiring diagrams of instruments on board the Pilatus aircraft. Shaded lines tubes for airflow and black lines cables.

(Hock and Franklin, 1999) を搭載した観測，月1回から2回は電子顕微鏡用メッシュ上にエアロゾルを採取する PIXE International 社のインパクト (Inertial Impactor Model I-1) を搭載した観測を実施した．セスナ機の通常観測用機器は，Vaisala 社の HMP235 温湿度計および PT210 気圧計，Buck Research 社の 1011B 露点計，シグマテック社の TD100 パーティクルカウンターである．また位置情報取得のために GPS を搭載した．さらに月1回から2回は電子顕微鏡用メッシュ上にエアロゾルを採取する同上のインパクトを搭載した観測を実施した．

通常観測用機器のうち，温湿度計のセンサー部，露点計の空気取り入れ口，は両機とも，左側の窓板を，専用のアルミ板に，交換して取り付けた．またパーティクルカウンター，凝縮粒子カウンターおよびインパクト用の空気は，左翼の支柱の上端付近に固定した取り入れ口から，直径約 30 mm のシリコンタイゴンチューブを用いて，上記のアルミ板を通して機内に取り入れた．機内にある空気の流速を調整するためのバッファー容器へこのチューブをつなぎ，そ

こちらから各機器へ引き込んだ。各機器はそれぞれ独自に吸引ポンプがあり必要流量を吸引した。さらにバッファ容器には余った空気を逃がす出口がある。図 2 に空気取り入れ口から観測機器までの配管の概略図を示す。

通常観測用機器は両機とも 1 枚のハニカムパネル上に固定されている。このパネルを機内の床に固定した。パネルには温湿度計変換部、気圧計、露点計本体、各カウンター、バッファ容器を固定した。ピラタス機搭載の凝縮粒子カウンターは吸引ポンプを内蔵していないため、別に吸引ポンプが必要であるが、これもこのパネルに取り付けた。さらに取り外しが簡単な固定方法で、データ収録用パーソナルコンピュータ 2 台を取り付けた。GPS のアンテナは気体の金属部の影響を受けないように副操縦席の上部の日よけの上に取り付けた。

ピラタス機搭載のドロップゾンデシステムはラックに組み込み、そのラックを防震台を介して床に取り付けた。ドロップゾンデ観測用の GPS アンテナ、VHF アンテナはそれぞれ機体の外側、上面と下面に取り付けた。ゾンデ発射用ランチャーは床にある穴に取り付け機外真下に発射される。インパクターは、粒径を 4 つに分け採取するものと 2 つに分け採取するものの 2 種類があり、どちらも流量計を介して、1 台のポンプで空気を吸引し、エアロゾルを採取した。吸引時間は約 30 分間とし、ほぼ同じ気圧高度での採取とした。このインパクターによるエアロゾル採取観測は 6 回行われているが、電子顕微鏡による試料の分析はこれからである。

### 3.2. 昭和基地上空観測

#### (1) 二酸化炭素濃度の観測

昭和基地上空観測では、2 回の機器のテスト飛行を除き、二酸化炭素濃度分析用空気の採取と NDIR を利用した二酸化炭素濃度連続観測装置、温湿度計、気圧計を搭載した観測を行った。空気は右翼支柱上部に固定したタイゴンチューブから取り入れ、このチューブを機内に引き込み、空気採取用と連続観測装置用に分岐して使用した。

飛行ルートは、離陸後まず高度 7200 m まで上昇する。約 10 分間の定高度飛行を行い空気の採取を実施する。次に高度 6300 m まで下がり定高度飛行を行い空気の採取を実施する。以後 900 m ごとに高度 900 m まで同様の飛行、空気採取を実施し、その後着陸する。この飛行による二酸化炭素観測結果については別途報告する。

#### (2) 機器のテスト観測

2 回の機器テスト観測を昭和基地周辺で実施した。2000 年 2 月 17 日にドロップゾンデ観測システムと通常観測用搭載機器を搭載して機器の動作確認、昭和基地のレーウィンゾンデデータとの比較観測を行った。また 2000 年 8 月 4 日には 2 本の温湿度計 (Vaisala HMP235) および 2 台のパーティクルカウンター (シグマテック TD200, TD100) を搭載し比較を行った。1 本の温湿度計は通常の窓に取り付け、もう 1 本は左翼の支柱部に取り付けた。カウンターはピラタス用とセスナ用の 2 台を搭載して一つの空気取り入れ口から取り入れた空気を分岐して

各機器で吸引し測定を行った。

#### 4. データの処理

通常搭載機器の内、気圧計、温湿度計、パーティクルカウンターのデータは RS232C データとして出力される。また露点計データのアナログ出力は A/D 変換、RS232C データへの変換が行われる。これらのデータを 6 チャンネルのマルチプレクサーに入力し各チャンネルをスキャンしながら決められたタイミングで 1 台のパソコンに出力する。パソコンではリアルタイムのグラフ表示、ハードディスクへの書き込みを行う。それぞれのデータは独立のファイルに時刻データとともに書き込まれる。マルチプレクサーのチャンネルスキャンは早くないため、それぞれのデータの収録時刻は数秒ずれる。またカウンターのデータは約 60 秒に 1 回出力される。

一方 GPS、CR-2 露点計（ピラタス機のみ）のデータは上記のパソコンとは別のもう 1 台のパソコンに出力される（CR-2 のデータは上記のパソコンとこのパソコン両方に出力される）。GPS からは RS232C を通して収録時刻、1 秒前のデータから緯度経度データを計算しているかの有無、計算された緯度経度・高度・移動速度などのデータを 1 秒ごとに出力し、このデータはハードディスクに収録される。CR-2 からのデータは A/D 変換後パソコンに取り込まれ、収録時刻とともに 0.5 秒ごとに、グラフ表示、ハードディスクへの書き込みが行われる。

2 台のパソコンの時刻、GPS の時刻を利用するため、これらの時刻を同時刻に合わせなければいけないが、観測当日の朝に時刻あわせを行った。

得られたデータは同時刻のデータでないため、これらのデータを同時刻のデータとする必要がある。このため気圧計、温湿度計、露点計、GPS の生データはそれぞれ 10 秒間の平均のデータを作成し、それを同時刻データとして解析に利用した。またパーティクルカウンターのデータを他のデータと比較するために、上記データ、カウンターデータすべての 2 分間平均のデータを作成し、同時刻データとして用いた。以下の解析で使用したデータは同時刻データになおしたデータを使用している。

### 5. 観測結果と考察

#### 5.1. 機器のテスト観測

2 回の機器のテスト観測を昭和基地上空で行ったがこの節ではその結果を報告する。始めに、2 月 17 日のドロップゾンデ観測で得られたデータと昭和基地の定常気象部門が実施しているレーウィンゾンデ観測で得られたデータとの比較を示す。図 3a に両方の温湿度のデータ、図 3b に風速、風向のデータを示した。図 3a で 500 hPa 付近のドロップゾンデ観測データの気温が急に高くなっているが、この部分は飛行機の中が外気より暖かいため機内から投下したゾンデが外気温になじむまでの変化であり、実際の大気の気温ではない。湿度についても同様である。昭和基地のゾンデは 14 時 30 分に飛揚したデータでありドロップゾンデは 12 時 30 分の



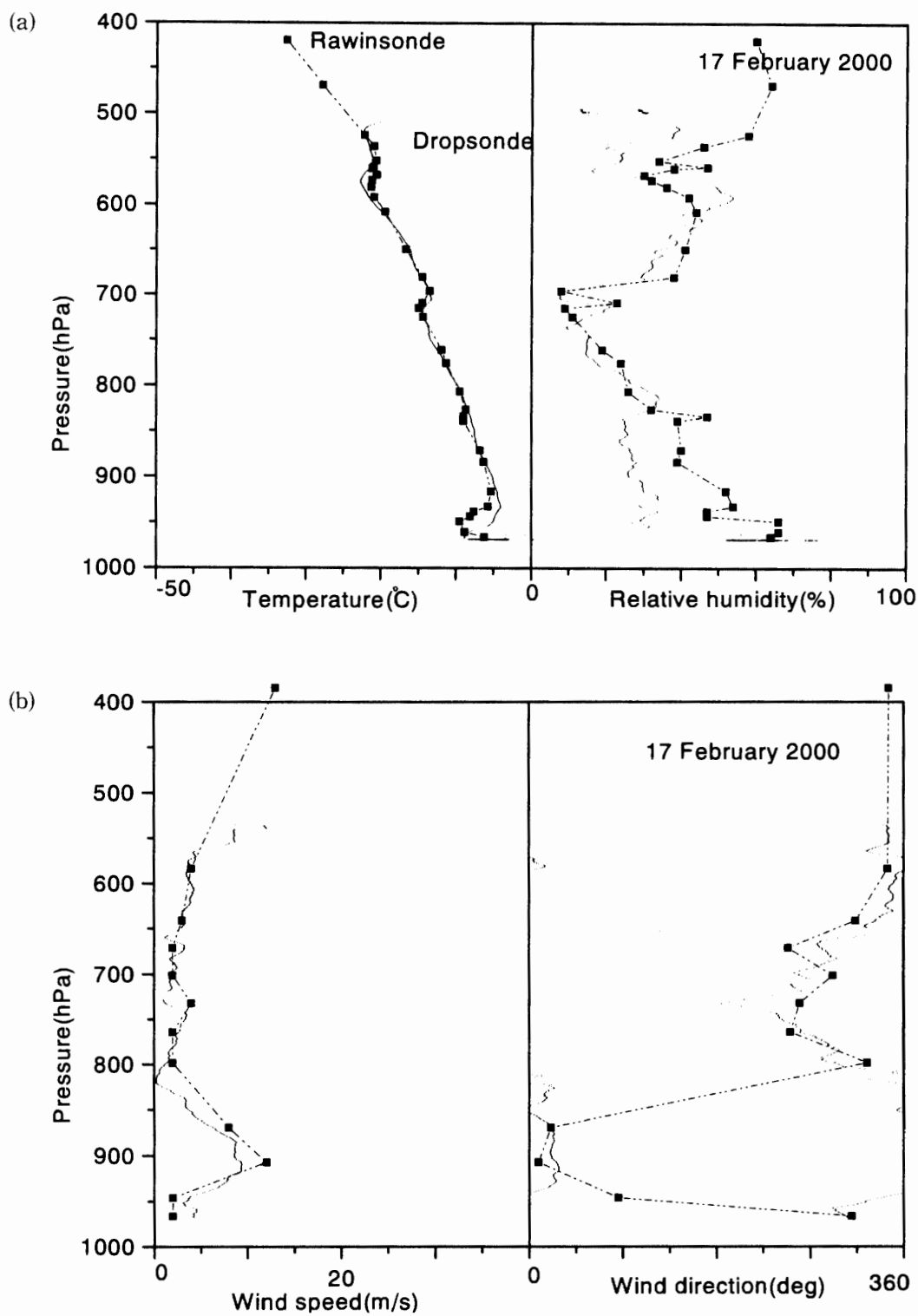


図 3 2000 年 2 月 17 日のドロップゾンデ観測データと地上のレーウィンゾンデ観測データ。a) は気温と湿度, b) は風速, 風向の高度プロファイル。

Fig. 3. Dropsonde and rawinsonde data on 17 February 2000.

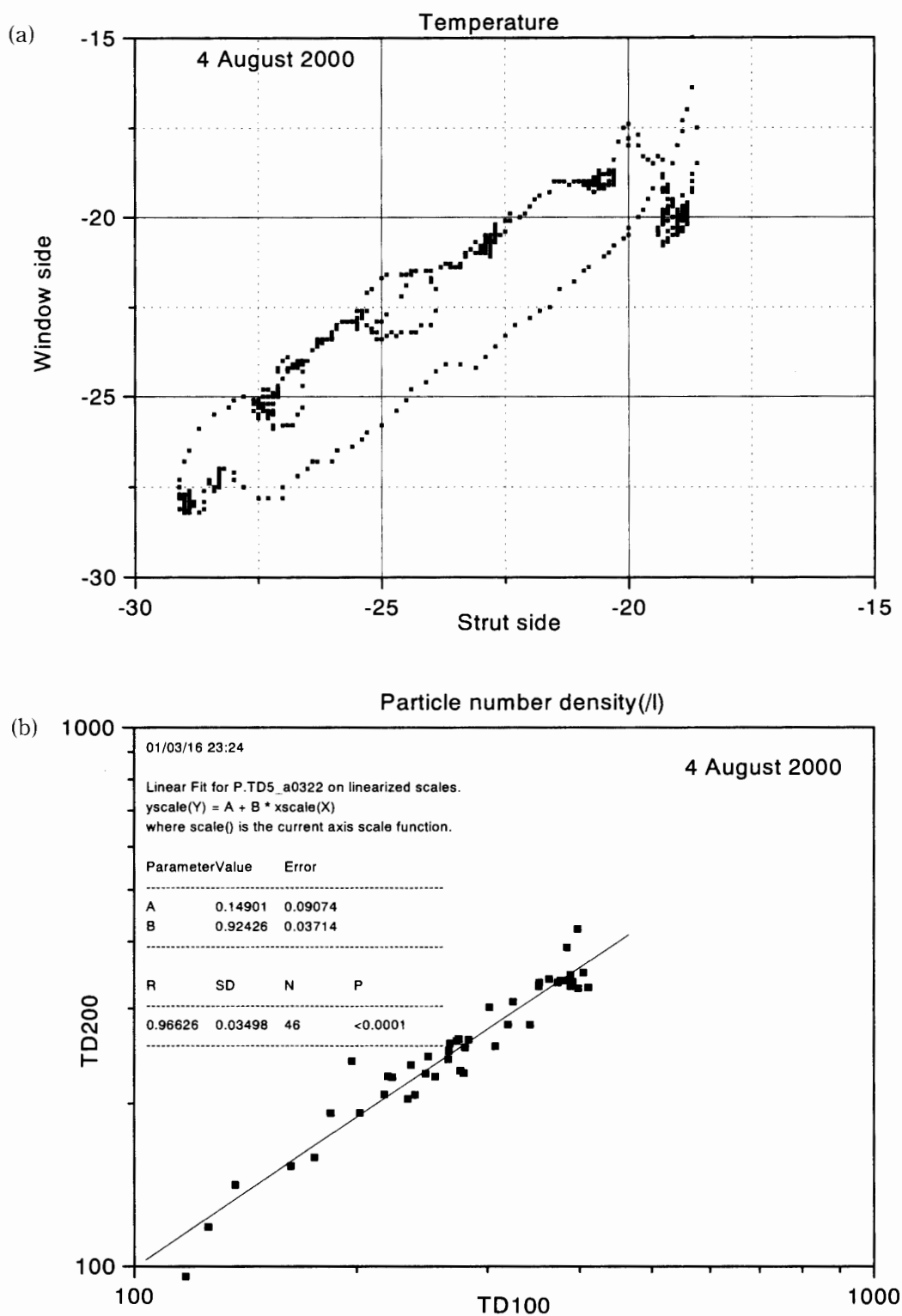


図4 2000年8月4日の気温 (a), エアロゾル数濃度 (b) データの比較。

Fig. 4. Comparison of two thermometers (a) and of two particle counters (b) on 4 August 2000.

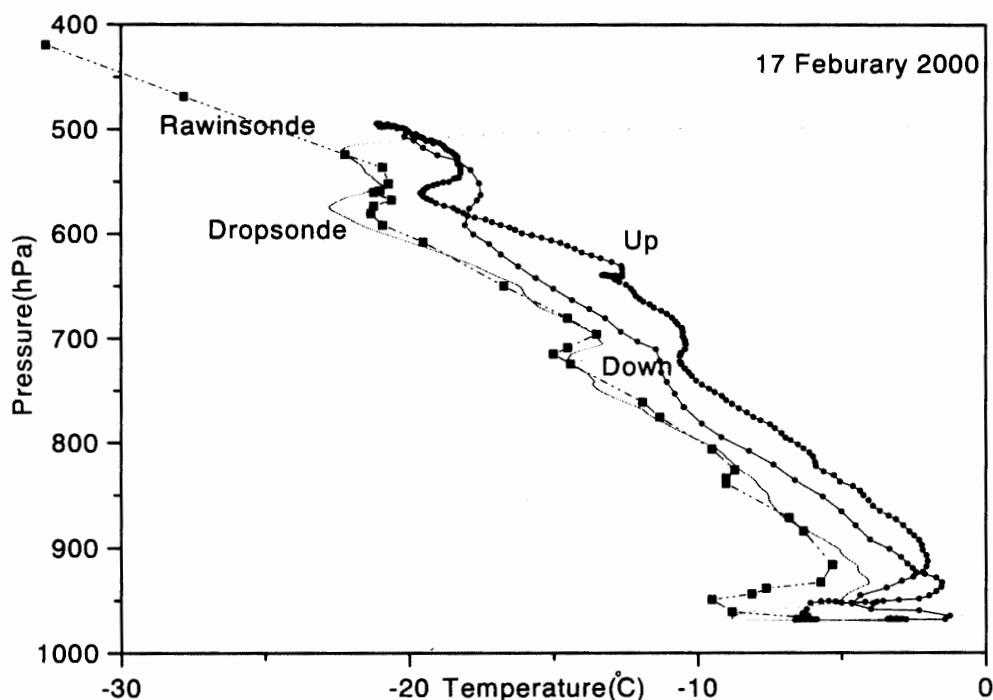


図5 2000年2月17日の飛行機の窓に取り付けた温度計から得られた気温と、ドロップゾンデ、昭和基地のレーウィンゾンデ観測から得られたの気温の高度プロファイル。

Fig. 5. Temperature profiles obtained by a thermometer mounted on an aircraft window, by a dropsonde observation and by a rawinsonde observation on 17 February 2000.

データである。約2時間のずれがあることを考えると、気温、相対湿度とも非常に良く一致している。図3bについても気温と同様非常に良く一致している。更に0.5秒ごとにデータが送られてくるため昭和基地のゾンデデータより高度分解能の良いデータが取れていることが判る。

次に8月4日に行われた飛行機観測—2本の温湿度計、2台のパーティクルカウンター搭載による比較観測—から得られたデータを図4に示した。図4aの気温のグラフを見ると、2本の温度計は余り良い一致はしていない。この時の飛行は、地上から約700 hPa高度まで上昇、その後750, 800, 860, 940 hPa高度で約10分間の定高度飛行をおこない、地上に戻った。これから考えると始めの上昇中は2本の温度計は大体良い一致を示しているが、下降中は窓側が約2.5°C高くなっている。また定高度飛行中(旋回中)はかなり関係が変化している。使用した温度計はVaisala社のHMP235で、飛行機用でない通常の温度計である。このため飛行機で用いると飛行機の数値、流れに対する温度計の位置、日射などによって影響を受ける。今回の違いはそのため起きたものと考えられる。流れに対する違いを調べることはこの日のテスト飛行の目的ではなく、排気ガスによる影響を調べるのが目的であった。2月17日の飛行時の窓に取り付けた温度計から得られた気温と、ドロップゾンデ、昭和基地のレーウィンゾンデ観測から得られた気温の比較を図5に示した。飛行機の温度計の気温は、上昇時では約2°C、下降時では約5°Cゾンデの気温より高い。定高度飛行の時の温度のずれについてはこのデータからは見

積もれないが、今後他の日のゾンデのデータと比較して見積もる予定である。定高度、定速度飛行であれば相対的な気温変化は正しいと考えられる。

図 4b には 2 台のパーティクルカウンターの  $0.3 \mu\text{m}$  以上の粒径の個数を比較したものである。温度計の比較とは異なり非常によい一致を示している。TD200 は TD100 とほとんど同じカウンターであるが流量が TD100 の 3 倍である。この図では総流量 1 l の中の個数を示している。

## 5.2. ドロップゾンデ観測

この節では、通年のドロップゾンデ観測による気温データ、内陸 MD210 地点まで観測を行った 11 月 21 日のドロップゾンデ観測の気温、水蒸気量データについて報告する。

2000 年 2 月 22 日から 2001 年 1 月 17 日の間、Z40 地点またはみずほ基地上空（まとめてみずほと以後記す）で 9 回のドロップゾンデ観測が行われた。図 6a に得られた気温プロファイルを示す。図 3 で述べたように 500 hPa 付近の急激に気温が高くなっている部分はゾンデが外気温になじむまでの温度である。地上付近を除き、8 月 18 日が最も寒く、12 月 21 日が最も暖かい。500 hPa から 700 hPa までは途中で逆転層が見られるケースがあるが大体平行である。接地境界層の部分を見ると 11 月 19 日、11 月 21 日、1 月 17 日、12 月 21 日は温度逆転が無い。また 2 月 22 日は逆転はあるが弱い。それ以外は強い温度逆転がある。この温度逆転が強い 3、4、8、9 月を冬型と呼ぶことにする。図 6b に昭和基地の同日の 14 時 30 分のレーウィンゾンデ観測で得られた気温プロファイルを示す。上記の 4 回の冬型の気温プロファイルをみずほと昭和と比較すると、地上に近いところを除いて良く一致している。すなわちこの 4 回はみずほだけでなく昭和基地もみずほと同じ気団に、寒冷な極気団と考えられるが、覆われていたと出きる。

一方 12 月 21 日の昭和とみずほの気温プロファイルを比較すると、この時も地上付近以外は良く一致している。この時は暖かい低緯度からの気団に昭和基地だけでなくみずほも覆われていたと出きる。残りのケースの内、11 月 19 日、11 月 21 日、1 月 17 日は、昭和基地の気温プロファイルはみずほのそれより数度高い。すなわち、みずほは極気団に昭和基地は低緯度側の気団に覆われていたものである。2 月 22 日は判断の難しいケースであるが、みずほと昭和基地の気温プロファイルは 600 hPa 付近の逆転層のずれているところを除き、良く一致している。これから考えると、昭和基地とみずほ、どちらも極気団に覆われていたであろう。今後客観解析データとの比較を試みる。

第 41 次隊の航空機観測では飛行機の性能のため、天候の良いときしか飛行できない。このため気温プロファイルが単純（極気団と低緯度側気団が混じる時は通常天候が悪くなる）なケースが多くなりこのようにうまく分類されるものと考えられる。実際の毎日の気温プロファイルは、全層が極気団に覆われるときのプロファイルに、低緯度側気団の影響が及んだ形にな

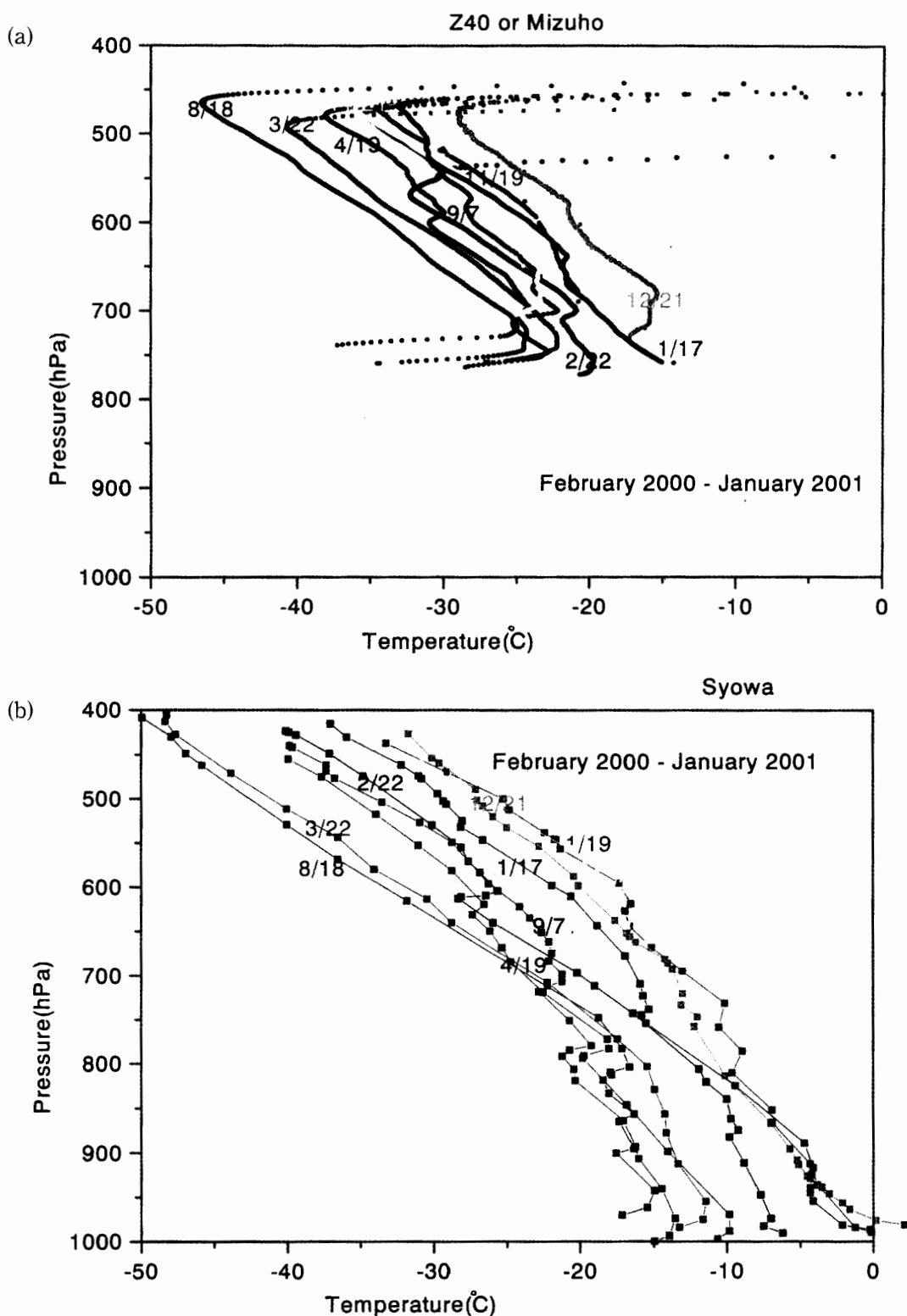


図 6 2000年2月22日から2001年1月17日の間、みずほで行われたドロップゾンデ観測 (a) と同じ日の昭和基地のレーウィンゾンデ観測 (b) から得られた気温の高度プロフィール。

Fig. 6. Temperature profiles of dropsonde observations (a) at Mizuho Station and of rawinsonde observations (b) at Syowa Station.

ると考えられる。図7にドームふじ観測拠点 (Hirasawa *et al.*, 1999) と昭和基地の気温プロファイルと比較したグラフを示す。1997年7月と11月である。7月の昭和基地の上空はドームふじ観測拠点とよく似たプロファイルとなり、極気団に入っていることが判る。

みずほ基地より約230 km内陸 MD210 地点まで観測飛行を行った11月21日のケースについて述べる。ドロップゾンデ観測を実施した MD210 地点, MD100 地点, みずほ基地, H212 地点と昭和基地の気温及び水蒸気プロファイルを図8に示した。図8aで500 hPaより少し上で気温が急激に高くなっているが、これは図3で述べたように、ゾンデが外気温になじむまでの温度を示している。H212 地点のみ表面のすぐ上の層に温度がほぼ一定の層が見られるがその他はこのような層はなくいわゆる接地逆転がない。冬の状況とは大きく異なっていることが判る。このため、図8bで判るが水蒸気量が表面近くの薄い層内で表面に近づくにつれて急激に増大している。表面からの水蒸気の蒸発が大きいものと考えられる。また MD210 地点, MD100 地点, みずほ基地上空の気温プロファイルは地上から約1 kmの層内を除くと良く一致している。一方 H212 地点は昭和基地の気温プロファイルとよく似ている。このことはみずほ基地から内陸側は極気団の中にあり、H212 地点から沿岸側は低緯度側気団に覆われていると考えられる。図8bの昭和基地のプロファイルは600から750 hPaに水蒸気量の多い層があ

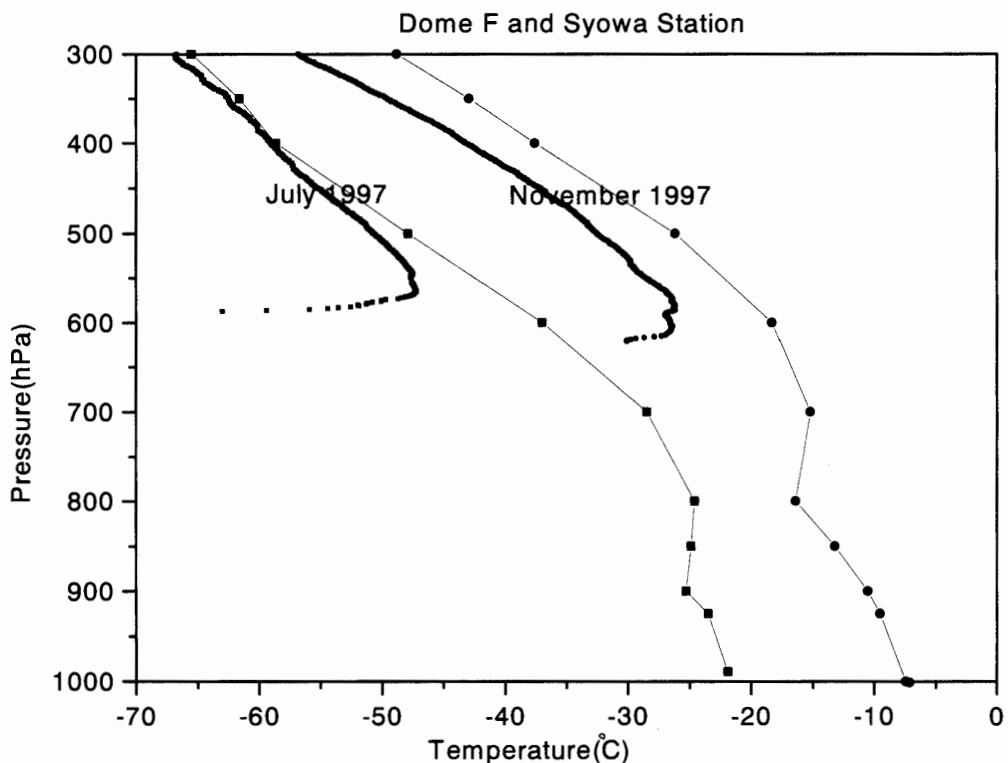


図7 1997年7月と11月のドームふじ観測拠点 (太線), 昭和基地 (細線) の気温の高度プロファイル。

Fig. 7. Temperature profiles at Dome Fuji (thick line) and Syowa Stations (thin line) in July and November 1997.

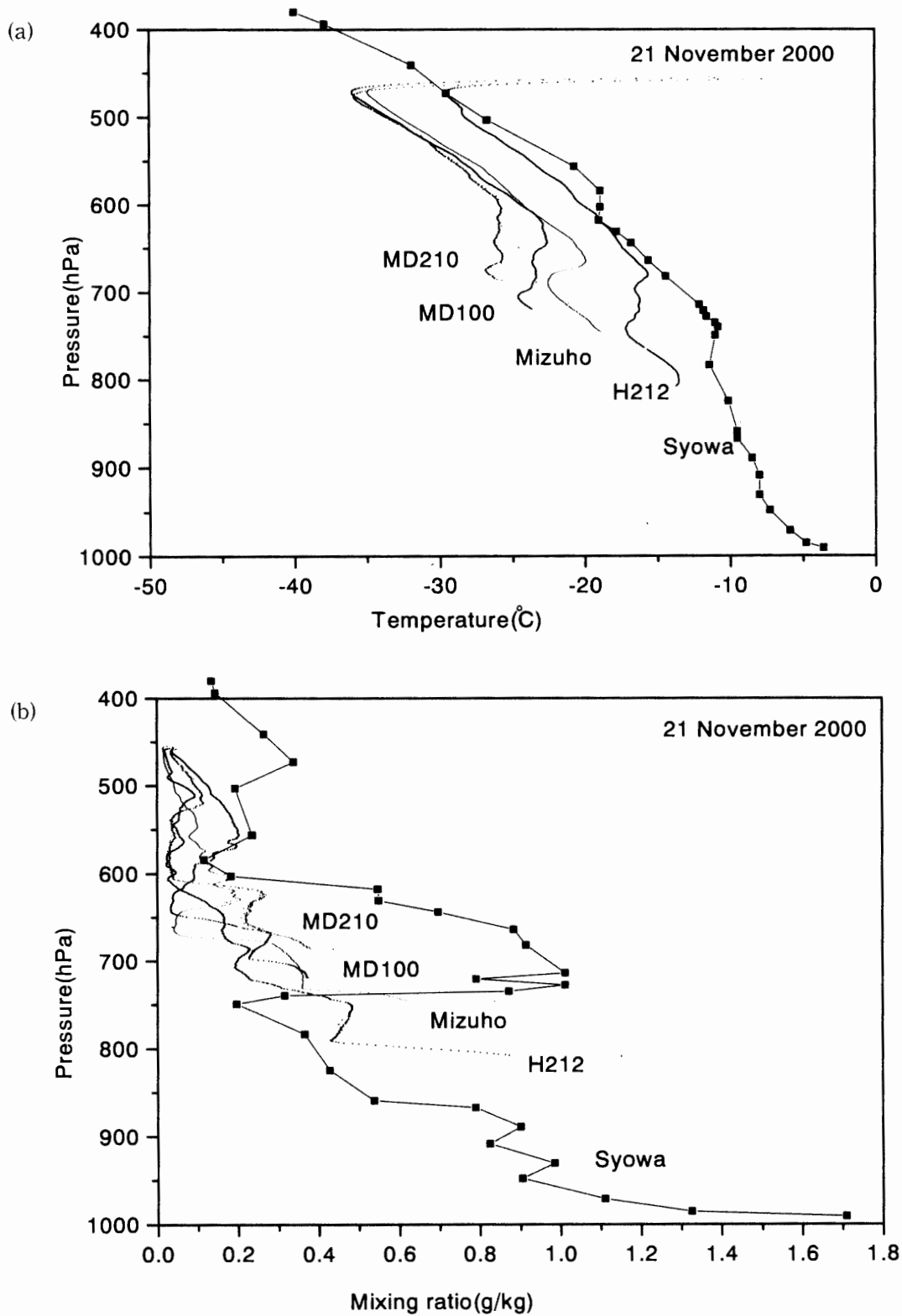


図 8 2000 年 11 月 21 日の 4 地点のドロップゾンデ観測と昭和基地のレーウィンゾンデ観測で得られた気温 (a) 及び水蒸気 (b) の高度プロファイル。

Fig. 8. Temperature (a) and water vapor concentration (b) profiles obtained by dropsondes at 4 points and by a rawinsonde at Syowa Station on 21 November 2000.

ることを示している。低緯度側からの気団が運んできたものと考えられる。更に絶対値は小さいが、H212では700 hPa付近に、みずほ基地では610 hPa付近に、MD100では560 hPa付近に、MD210では520 hPa付近に水蒸気量が多くなっている層が見られる。これらの層の水蒸気量の増加は、昭和基地の600から750 hPaにある水蒸気量の多い層と関係があるのではないかと推測される。

### 5.3. 通常搭載機器による観測

この節では図6を参考にして、相対的に上層の気温が下がっている3月22日(冬のケース1)、水蒸気量が非常に少なかった8月18日(冬のケース2)、上層の気温が上がっている12月31日(夏のケース)の3つのケースについて、航空機搭載の温湿度計、パーティクルカウンターから得られた気温、水蒸気量、エアロゾル数濃度データのいくつかについて報告する。

始めに3月22日の気温、水蒸気量、エアロゾル数濃度のデータを図9に示した。横軸は緯度である。沿岸から内陸に向かっている。2400 mの気温以外はほぼ一定である(図9a)。6000 mの気温は69度30分から40分の所で急に上昇しているが、これは6000 m(450 hPa)に雲があり高度を少し下げたため(450から480 hPa)であり、その後はほぼ一定である。2400 mの気温はばらつきはあるがみずほ基地に近づくにつれて緩やかに下がっている。みずほ基地の少し手前から急に下がり、その後あがったり下がったりしている。みずほ基地は約2220 mにあり2400 mの高度で飛行すると雪面の影響を徐々に受け、みずほ基地の手前から接地境界層の影響を強く受けていることを示している。

水蒸気については図9bから判るが、水蒸気量は気温に比べて、表面からもっと高い高度まで接地境界層の影響がある。2400 mを見ると69度30分地点から急激に増加している。70度付近からは減少となる。夏のケースでは表面近くの水蒸気量は表面に近づくにつれて急激な増加であったが、冬のケースでは、表面に近づくにつれて減少であるため、70度付近から減少している。冬は相対的にカタバ風が強く地吹雪量も多い。このため地表面起源の水蒸気は高い高度まで混合により輸送されることが考えられる。このケースでは69度50分付近から4500 mで水蒸気量が増加しているが、地表面の水蒸気が影響しているのではないかと考えられる。一方どの高度においても69度30分より沿岸側では水蒸気量が少なく場所による変化もほとんどない。

図9cにエアロゾル数濃度を示した。0.01  $\mu\text{m}$ 以上の粒子の数は70度付近から内陸で増加しているが、それまでは高度に関係なくほぼ一定である。また0.3  $\mu\text{m}$ 以上の粒子については6000 m、4500 mでは所々で逆相関になっている。またこの粒径でも70度付近から内陸で増加している。一方2400 m、3000 mの0.3  $\mu\text{m}$ 以上の粒径の増減を見ると、69度30分より内陸側で、変動量は少ないが図9bの水蒸気量の変化に似ていることが判る。

次に8月18日の気温、水蒸気量を図10に示した。2400 mの飛行で、みずほ基地付近で3月20日と同様接地逆転層に侵入している。このために気温も、水蒸気量も急激な変動をしてい



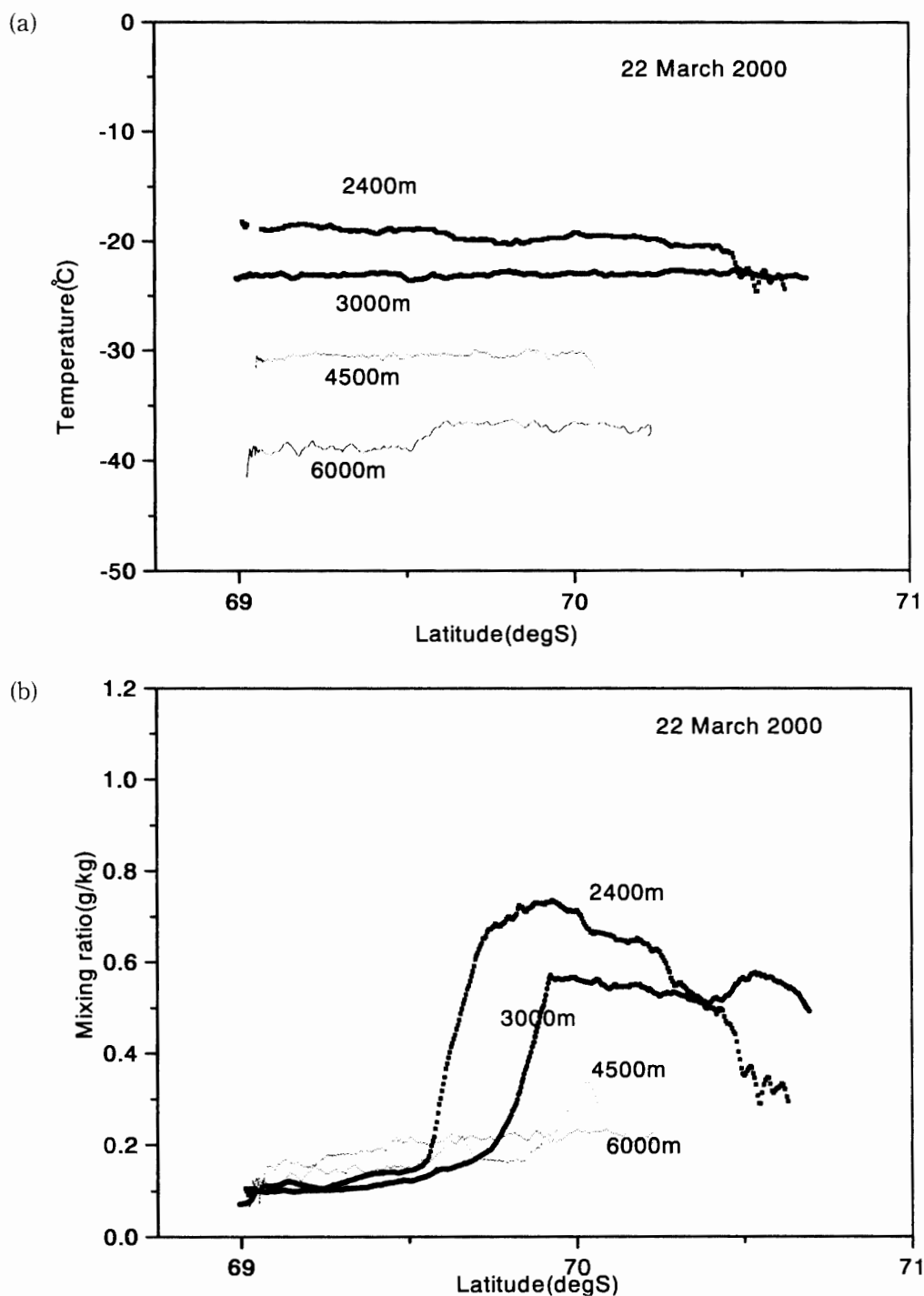


図9 2000年3月22日の飛行機観測で得られた気温 (a), 水蒸気量 (b), 0.01  $\mu\text{m}$  以上 (3010CPC) と 0.3  $\mu\text{m}$  以上 (TD100 and TD200) のエアロゾル数濃度 (c), の沿岸内陸間のデータ。図9cの四角は6000 m, 三角は4500 m, プラスは3000 m, 丸は2400 m 高度のデータである。実際には6000 mの飛行中, 高度を, 南緯69度30分から40分の所で, 450 hPa から 480 hPa に下げた。

Fig. 9. Temperature (a), water vapor concentration (b) and aerosol number density of aerosols larger than 0.01  $\mu\text{m}$  (3010CPC) and 0.3  $\mu\text{m}$  (TD100 and TD200) (c) at altitudes of 6000 m (square), 4500 m (triangle), 3000 m (plus) and 2400 m (circle) along a flight track of 22 March 2000.

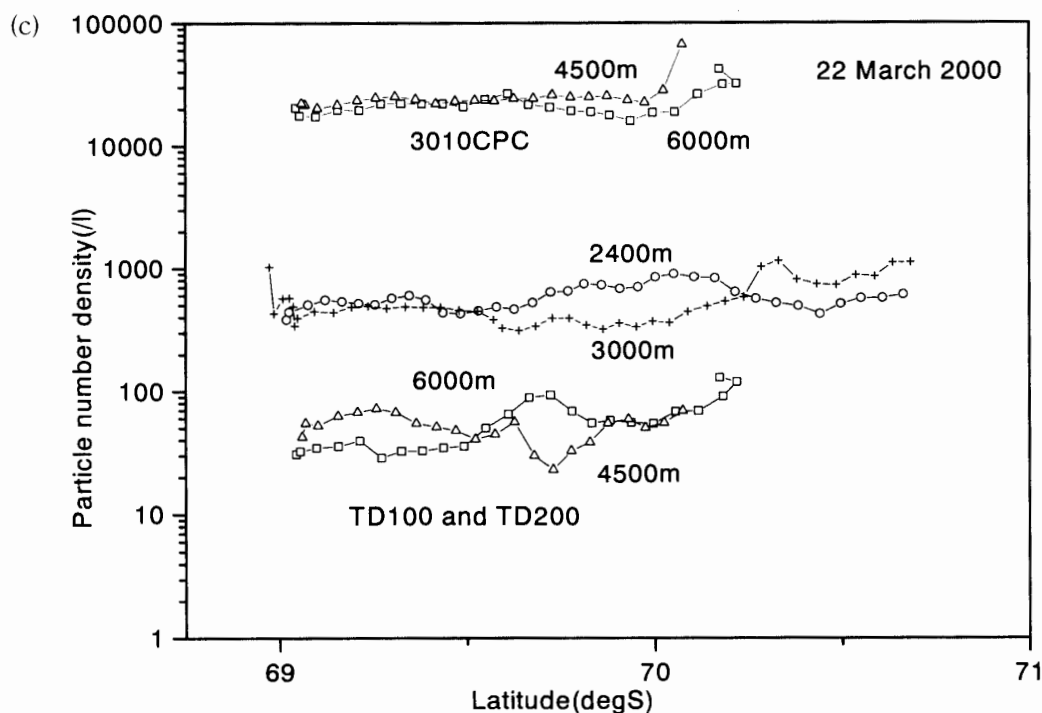


図9 続き

る。その他の高度の気温についてはほぼ一定である。どの高度でも水蒸気量は  $0.2 \text{ g/kg}$  以下で少ないが、 $2400 \text{ m}$ 、 $3000 \text{ m}$  では沿岸から内陸に向かって緩やかに上昇している。特に  $2400 \text{ m}$  では  $69$  度  $45$  分位から上昇が大きくなっている。地表面の影響により上昇していると考えられる。第  $38$  次隊での観測では、 $3800 \text{ m}$  の定高度飛行を行っている。この観測ではこれらのケースと同様に、内陸に向かって水蒸気量が上昇してことが多い。 $3800 \text{ m}$  高度でもみずほ基地付近では地表面からの水蒸気の影響があるため、みずほに近づくにつれて水蒸気量が増加しているのであろう。しかし  $3$  月  $22$  日と  $8$  月  $18$  日のケースどちらも水蒸気量が内陸に行くにつれて増加をしているが、変化は全く異なっている。地吹雪の強さ、境界層内に沿岸からもたらされる水蒸気量などがこの異なる原因と考えられる。

最後に  $12$  月  $31$  日のエアロゾル数濃度、相対湿度を図  $11$  に示した。図  $11a$  には  $6000 \text{ m}$ 、 $4500 \text{ m}$  の  $0.01 \mu\text{m}$  以上の粒径のエアロゾル数濃度と水蒸気量を示した。 $6000 \text{ m}$  のエアロゾル数濃度は約  $69$  度  $25$  分から増加を始める。約  $69$  度  $40$  分でピークとなり、その後減少している。一方  $4500 \text{ m}$  のエアロゾル数濃度は約  $69$  度  $40$  分から増加を始め約  $69$  度  $50$  分でピークとなる。2つの高度で変化がこのような異なっている。相対湿度を見ると  $6000 \text{ m}$ 、 $4500 \text{ m}$  それぞれエアロゾル数濃度とよく似た変化を示していることが判る。相対湿度の変わりに水蒸気量を用いてもほぼ同じ変化が見られるが、形から判断すると相対湿度で比べた方がよりよい相関にあるように見える。 $4500 \text{ m}$ 、 $6000 \text{ m}$  での現象であり地表面の影響はほとんどないと見られるので、 $6000 \text{ m}$  では約  $69$  度  $25$  分から  $4500 \text{ m}$  では約  $69$  度  $40$  分から内陸側と沿岸側で気塊が異なっ

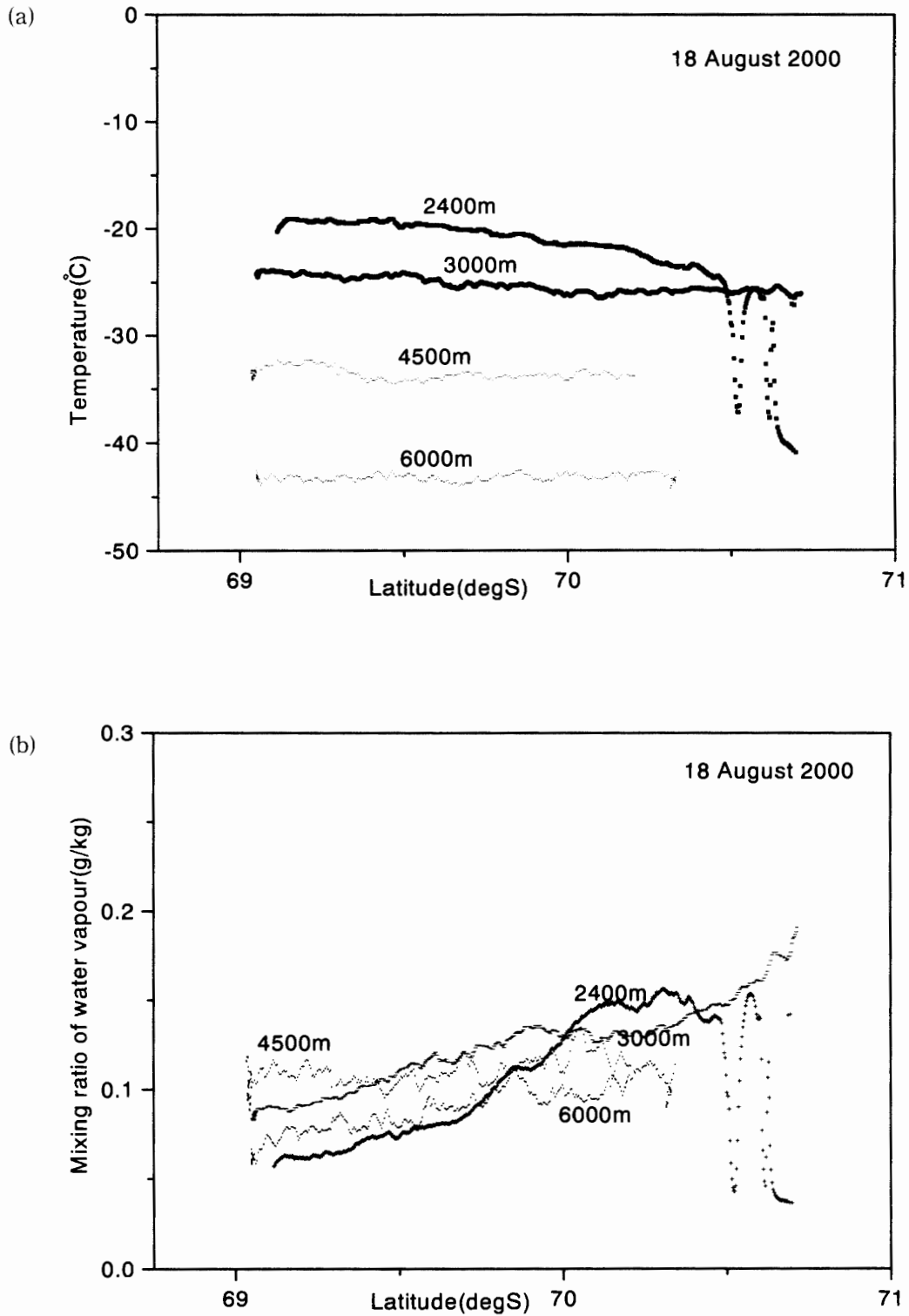


図 10 2000 年 8 月 18 日の飛行機観測で得られた気温 (a), 水蒸気量 (b) の沿岸内陸間のデータ。

Fig. 10. Temperature (a) and water vapor concentration (b) at 4 altitudes along a flight track on 18 August 2000.

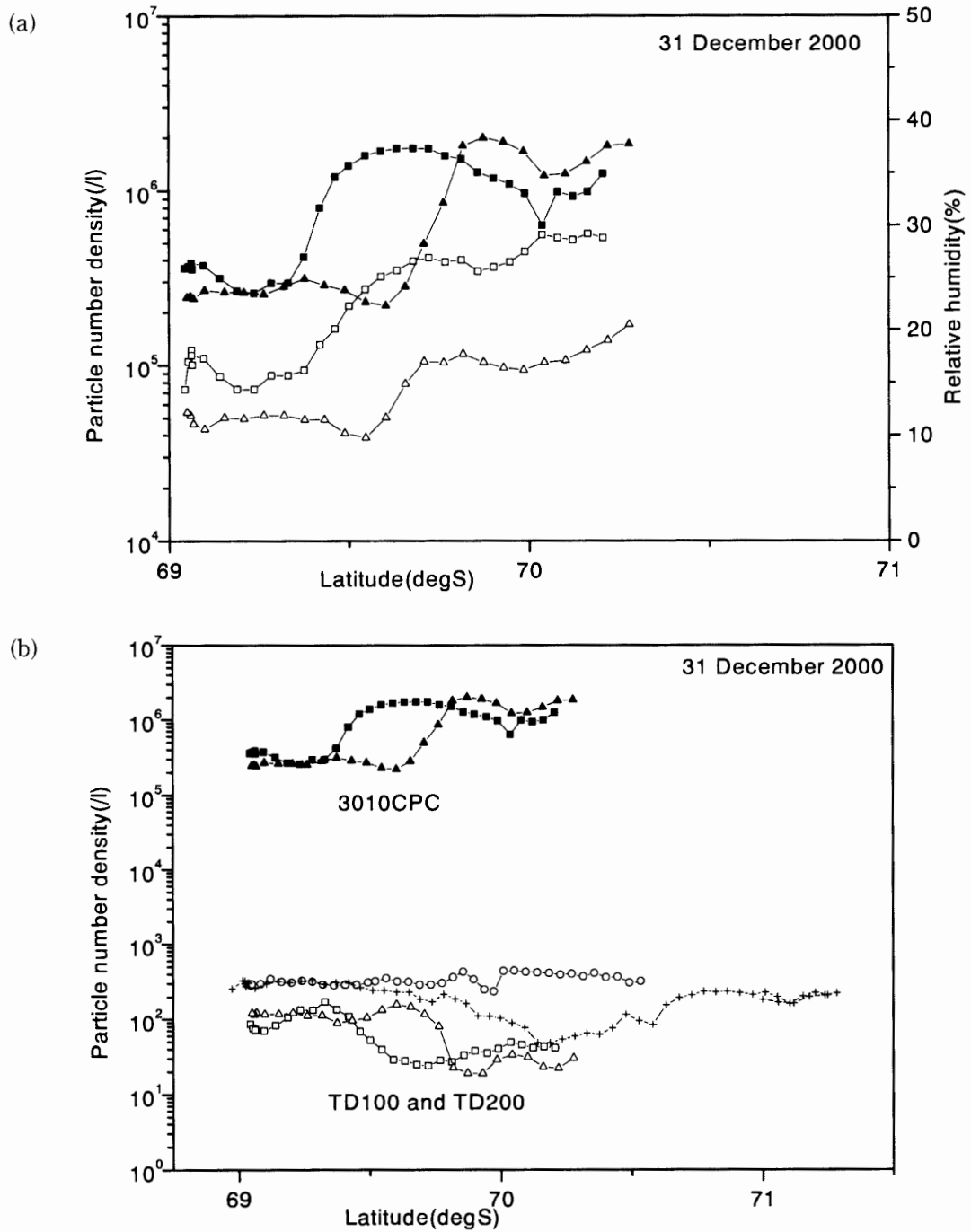


図 11 2000 年 12 月 31 日の飛行機観測で得られた  $0.01 \mu\text{m}$  以上 (3010CPC) のエアロゾル数濃度と相対湿度の沿岸内陸間のデータ (a), および  $0.01 \mu\text{m}$  以上 (3010CPC) と  $0.3 \mu\text{m}$  以上 (TD100 and TD200) のエアロゾル数濃度の沿岸内陸間のデータ (b). どちらの図も四角は 6000 m, 三角は 4500 m, プラスは 3000 m, 丸は 2400 m のデータである. また図 11a の中抜き四角と三角は相対湿度のデータを示す.

Fig. 11. Data of aerosol number density larger than  $0.01 \mu\text{m}$  and relative humidity (a), and data of aerosol number density larger than  $0.01 \mu\text{m}$  (3010CPC) and  $0.3 \mu\text{m}$  (TD100 and TD200) (b) at altitudes of 6000 m (square), 4500 m (triangle), 3000 m (plus) and 2400 m (circle) along the flight track on 31 December 2000. White squares and triangles in Fig. 11a are relative humidity data.

ているのであろう。このケースは夏のケースであり、低緯度側からの水蒸気やエアロゾルを沢山含んだ気塊が内陸まで侵入することは十分考えられる。グラフから 6000 m 高度の水蒸気量が 4500 m に比べ先に増加を始めている。この現象を説明するためには、気塊の内陸への侵入の経路について考える必要がありそうである。次のように考えることが出来るかもしれない。大陸沿岸に達した水蒸気は、下層は陸にぶつかり内陸への移動が遅くなる。一方上層はそのままの早さで移動するため上層で先に水蒸気量が増加する可能性がある。

図 11b には 6000 m, 4500 m の  $0.01 \mu\text{m}$  以上と 4 高度の  $0.3 \mu\text{m}$  以上の粒径のエアロゾル数濃度を示した。  $0.3 \mu\text{m}$  以上の数濃度では、2400 m, 3000 m の濃度は 4500 m, 6000 m の濃度より高いことが判る。同じ飛行機 (6000 m, 4500 m はピラタス機, 3000 m, 2400 m はセスナ機) での測定でないので断定はできないが、下層のエアロゾル濃度が高いと言うことは妥当であろう。今後他のケースについても解析をおこない確かめていく。同じ空気採取をしている  $0.01 \mu\text{m}$  以上の数濃度と、  $0.3 \mu\text{m}$  以上の数濃度を 6000 m, 4500 m で比較しよう。相対湿度とエアロゾル数濃度の関係の項でも述べたように  $0.01 \mu\text{m}$  以上の数濃度は 6000 m, 4500 m で変化が異なっている。  $0.3 \mu\text{m}$  以上についても同様に両高度で異なった変化が見られる。例えば 6000 m の  $0.01 \mu\text{m}$  以上の数濃度は約 69 度 25 分から増加し始めているが、  $0.3 \mu\text{m}$  以上は約 69 度 25 分から減少を始めている。すなわち良い逆相関が見られるのである。4500 m についての両粒径の関係も逆相関がみられる。相対湿度、  $0.01 \mu\text{m}$  以上の粒径の数濃度、  $0.3 \mu\text{m}$  以上の粒径の数濃度の 3 種の要素の関係はこれらを輸送する気塊について考えるとき面白い現象である。

## 6. ま と め

2000 年 2 月 17 日から 2001 年 1 月 19 日までの気水圏系大気グループによる航空機観測について、観測内容、また得られた結果の数例を示した。機器のテスト観測の飛行データから、航空機搭載の温湿度計については、数度温度が高くなること、2 台のパーティクルカウンターは良い一致を示したこと、ドロップゾンデ観測結果は気球観測データと比較して良く一致していることを報告した。沿岸域と内陸域との水蒸気量、エアロゾル数濃度の比較、水蒸気量、  $0.01 \mu\text{m}$  以上のエアロゾル数濃度、  $0.3 \mu\text{m}$  以上のエアロゾル数濃度の関係、について簡単に報告した。客観解析データ、NOAA 衛星データを用いた大気場の把握、他の日時の飛行機観測データとの比較、第 38 次隊のドームふじ観測拠点のデータとの比較等により、より詳細な解析を今後行う予定である。

## 謝 辞

第 41 次観測隊航空隊員小谷野和幸、鈴木雄一パイロット、宮城寿之整備士 3 名による南極の厳しい自然の中での航空機オペレーションの実施に感謝いたします。これなくしては航空機観測はできません。渡邊研太郎越冬隊長以下、通信隊員、気象定常隊員他ほとんど全員の方に

航空機観測のための準備，飛行中の監視等手助けをいただきました。事故無く観測ができたことはひとえに関係皆様の援助に追っています。ありがとうございました。また機器の準備を含め，観測のための国内準備では，国立極地研究所山内恭博士を始め多くの関係者にご協力いただきました。厚くお礼申し上げます。

## 文 献

- Aoki, S., Nakazawa, T., Morimoto, S., Hashida, G., Shiobara, M. and Yamanouchi, T. (2000): Atmospheric CO<sub>2</sub> concentration observed at Syowa Station from 1984 to 1992. JARE Data Rep., **251**(Meteorology 34), 55 p.
- 林 政彦 (1999): ドームふじ観測拠点におけるエアロゾル・微量成分の観測. 天気, **46**, 153-156.
- 平沢尚彦 (1999): ドームふじ観測拠点における高層気象・放射・雲の観測. 天気, **46**, 147-152.
- Hirasawa, N. and Yamanouchi, T. (2000): Data of project on atmospheric circulation and material cycle in the Antarctic. Part 2. NOAA AVHRR images received at Syowa Station, Antarctica in 1997. JARE Data Rep., **248** (Meteorology 33), 216 p.
- Hirasawa, N., Hayashi, M., Kaneto, S. and Yamanouchi, T. (1999): Data of project on atmospheric circulation and material cycle in the Antarctic. Part 1. Aerological sounding data at Dome Fuji Station in 1997. JARE Data Rep., **238** (Meteorology 32), 183 p.
- Hirasawa, N., Nakamura, H. and Yamanouchi, T. (2000): Abrupt changes in meteorological conditions observed at an inland Antarctic station in association with wintertime blocking. Geophys. Res. Lett., **27**, 1911-1914.
- Hock, T.F. and Franklin, J.L. (1999): The NCAR GPS dropwindsonde. Bull. Am. Meteorol. Soc., **80**, 407-420.
- Honda, H., Yajima, N., Yamagami, T., Izutsu, N., Aoki, S., Hashida, G., Machida, T., Morimoto, S., Okano, S., Yamanouchi, T. and Nakazawa, T. (1999): Stratospheric air sampling experiment at Syowa Station, Antarctica. Proc. 14th ESA Symp. on European Rocket and Ballon Programmes and Related Research, Potsdam, Germany, 31 May-3 June 1999, 161-166.
- Honda, H., Yajima, N., Yamagami, T., Aoki, S., Hashida, G., Machida, T. and Morimoto, S. (2000): Balloon operation for stratospheric air sampling at Antarctica. Adv. Space Rev., **26**, 1369-1372.
- Japan Meteorological Agency (1996): Meteorological data at Syowa Station and Dome Fuji Station in 1995. Antarct. Meteorol. Data, **36**, 356 p.
- 山内 恭・平沢尚彦・林 政彦 (1999): 「南極大気・物質循環観測」の開始. 天気, **46**, 157-162.
- Yamanouchi, T., Hirasawa, N. and Hayashi, M. (1999a): Report of observation project on "Atmospheric Circulation and Material Cycle in the Antarctic" by JARE-38. Polar Meteorol. Glaciol., **13**, 157-162.
- Yamanouchi, T., Wada, M., Fukatsu, T., Hayashi, M., Osada, K., Nagatani, A. and Iwasaka, Y. (1999b): Airborne observation of water vapor and aerosols along Mizuho route, Antarctica. Polar Meteorol. Glaciol., **13**, 22-37.

(2001年4月23日受付; 2001年5月8日改訂稿受理)