

# 昭和基地連結飛揚観測に基づくラジオゾンデデータ品質比較

吉 識 宗 佳\*・木 津 暢 彦\*\*・佐 藤 薫\*\*\*

## 要 旨

冬季成層圏の強い西風や低い気温など、中低緯度とは環境が大きく異なる南極において、ヴァイサラ社 RS80-15 GH 型ラジオゾンデと明星電気株式会社 RS2-91型レーウィンゾンデの連結飛揚を実施し、データの品質比較を行った。下部成層圏では、気温データの差に季節依存性が見られ、水平風データの差は冬に増大する。また、データの違いが重力波解析に与える影響を調べるため、気温と水平風の短鉛直波長擾乱を比較した。鉛直波長が2~3 km より長い成分については、成層圏でデータがよく一致することから、重力波の解析結果に差は現れないと考えられる。

## 1. はじめに

ラジオゾンデ観測は定常高層気象観測と研究観測の両方で広く実施されており、取得されたデータは気象学的研究を行う上で重要なデータの1つである。ラジオゾンデデータは気温と水平風が高い鉛直分解能で同時に取得されることから、下部成層圏大気重力波などの多くの研究に用いられてきた(例えば Kitamura and Hirota, 1989 ; Allen and Vincent, 1995 ; Yoshiki and Sato, 2000)。また、Sato and Dunkerton (2002) は、日本の複数地点の定常高層気象観測データを利用し、鉛直波長の短い層状構造には重力波の他に慣性不安定に伴うものが存在することを示した。

これまで、ラジオゾンデのデータ品質は、コントロールされた環境下での性能試験に加え、現実大気中での比較観測によって検証されてきた。最近では特に相対湿度の誤差が注目され、その特性が解析されている(例えば Nakamura *et al.*, 2004 ; Fujiwara *et al.*, 2003)。通常ラジオゾンデの比較観測は中低緯度で行われる

ことが多い。そこで本研究では、昭和基地でラジオゾンデ比較観測を実施し、冬季成層圏の強い西風や下部成層圏の低温など、他の緯度帯と異なる南極の特徴的な条件下でのデータ比較を行った。さらに、気圧・気温・湿度・水平風の平均的な高度分布の比較に加え、重力波研究の観点から短鉛直波長擾乱の比較を行った。比較を実施したラジオゾンデは、ヴァイサラ社 RS80-15GH 型ラジオゾンデと明星電気株式会社 RS2-91型レーウィンゾンデ(以下、簡単のためラジオゾンデに統一する)である。

## 2. データ

### 2.1 RS80-15GH 型ラジオゾンデと RS2-91型ラジオゾンデの特徴

ヴァイサラ社 RS80シリーズは、これまで世界中で最も多く使用されてきたラジオゾンデの1つである。その中で RS80-15GH 型ラジオゾンデは、測風に GPS 電波が用いられ、湿度センサーに改良型が採用されている。一方、明星電気株式会社 RS2-91型ラジオゾンデは気象庁の定常高層気象観測で使用されている。

RS80-15GH ゾンデでは、気圧・気温・湿度が一定間隔でサンプリングされる。また、水平風は GPS 信号のドップラーシフトから算出される。RS80-15GH ゾンデは、まず GPS 衛星からの信号を受信し、そのドップラーシフトの大きさからゾンデの速度を算出する。

\* 国立環境研究所。

\*\* 気象庁、現在文部科学省に意向中。

\*\*\* 国立極地研究所(現所属: 東京大学大学院理学系研究科)。

—2005年6月14日受領—

—2005年12月8日受理—

第1表 RS2-91ゾンデデータ処理における(a)観測点データ抽出の基準値および(b)風観測点データ計算に用いる時間差分の間隔。気象庁(2004)による。

(a)

ゾンデ気圧 (hPa)	気温基準値 (°C)
地上~300	0.3
300~100	0.5
100~50	0.7
50~	1.0

湿度基準値は全層で4%

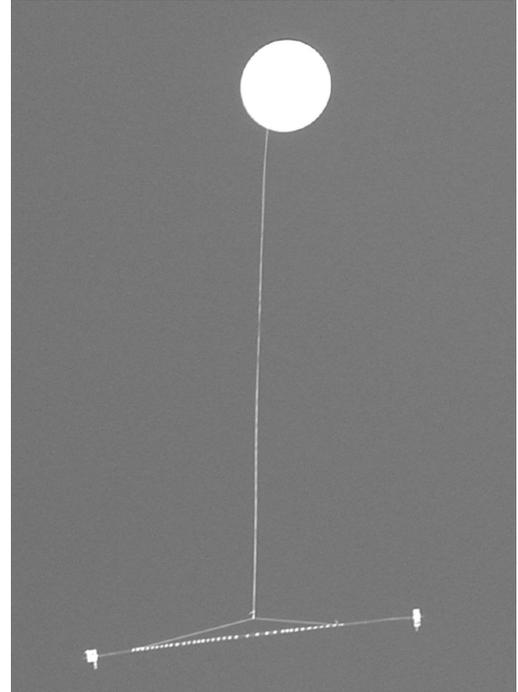
(b)

放球からの時間 (分)	差分間隔 (分)
0~14	1
14~40	2
40~	4

その際、基地局で測定したGPS信号を用いて誤差を見積もることで、ゾンデの速度測定精度を向上させている。そして、得られたゾンデの速度に対して、吊りひもによる振り子周期の除去、スムージング、欠測層の内挿処理を行って水平風を求める。

一方、RS2-91ゾンデでは、まず気圧・気温・湿度の約4秒ごとのデータが作成される。その後、高度に応じた基準値(第1表a)以下の差でデータが再現できるようにデータが抽出される(気象庁, 2004)。抽出されたデータセットに日射補正を施したものが「観測点データ」と呼ばれる。一方、水平風は、ゾンデの気圧・気温・湿度から計算された高度と地上追跡装置の高度角・方位角からゾンデの水平位置を計算し、その時間差分として計算される。放球後の時間の経過と共に地上追跡装置からゾンデまでの水平距離が増大するので、高度角・方位角の誤差がゾンデの水平位置決定に及ぼす影響が高度と共に増大する。このため、RS2-91ゾンデでは、高い高度ほど時間差分をとる間隔が長く設定されている(第1表b)。また、高度角が低下すると角度の平滑化が行われる。算出された風向風速は「風観測点データ」と呼ばれる。

このように、2種類のラジオゾンデには特に水平風測定方式に顕著な違いがある。RS80-15GHゾンデはGPS信号を利用してゾンデ速度の瞬間値を算出するため、平滑化等の処理も高度に依らない。このことは、鉛直分解能が高度に依らないことを意味する。一方、RS2-91ゾンデでは、高度とともに時間差分をとる間隔が長くなること、高度角が低下した時に角度平滑化が行われることから、高い高度でより大きい平滑化処理



第1図 上昇中の連結飛揚荷姿。

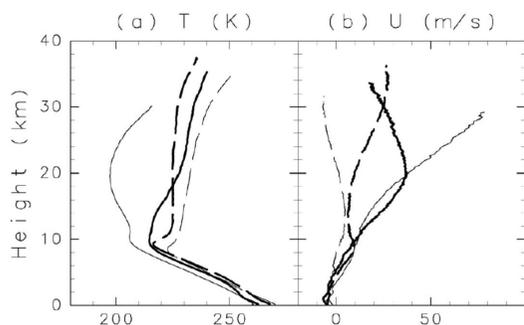
が水平風データに加えられる。

一方、RS80-15GHゾンデの高度は、RS2-91ゾンデと同様、静水圧を仮定して気圧・気温・湿度データから計算されたものである。GPS信号を用いて計算したものではない点に注意が必要である。

## 2.2 比較観測の概要

2002年に昭和基地(南緯69.0度, 東経39.6度)で、重力波観測を目的とし1日8回の観測からなるラジオゾンデ集中観測を実施した。本研究では、各季節に実施されたラジオゾンデ集中観測期間中、天候が許す日に1日1回12 UTC (15 LST) に比較観測を行った。2002年3月12日~21日に11回, 6月20日~30日に9回, 10月16日~26日に11回, 12月5日~15日に11回の観測を行った。観測にあたっては、RS80-15GHゾンデとRS2-91ゾンデが同時刻に同じ高度を観測するように、2つのゾンデを約2m離して篠竹で水平連結し、放球した。気球から篠竹までの吊り紐の長さは50mである(第1図)。

2002年は、南半球の成層圏季節進行が特徴的な年であった(例えば Baldwin *et al.*, 2003)。成層圏のプラネタリー波活動度が高く、9月には突然昇温によって極渦が2つに分裂した。南半球で突然昇温に伴う極渦



第2図 (a) 気温  $T$  (K) と (b) 東西風  $U$  ( $\text{ms}^{-1}$ ) の平均鉛直プロファイル。それぞれ太破線が3月、細実線が6月、太実線が10月、細破線が12月の期間平均を示す。

の分裂が観測されたのは初めてのことである。

第2図は、各期間の気温と東西風の平均プロファイルである。3月は冬季極渦が発達し始めた秋の時期、6月は下部成層圏気温が低下し西風ジェットが  $70 \text{ms}^{-1}$  を超える冬の時期、10月は9月の突然昇温後の春の時期、12月は中部成層圏以上の高度で東風となる夏の時期にあたる。観測を実施した各期間は南極のそれぞれの季節の特徴を示していると考えられる。

### 2.3 データ処理

RS80-15GH型ラジオゾンデとRS2-91型ラジオゾンデには、データ処理の段階やアルゴリズムが異なるデータセットがそれぞれ数種類ある。本研究では次のようなデータを比較に用いた。

まず、RS2-91ゾンデから、生データに近い約4秒間隔のデータ(以下、M91-四秒値データ)と、観測点データおよび風観測点データ(M91-観測点データ)の2種類を比較に使用した。一方、RS80-15GHゾンデについては、温位逆転層の修正やノイズの除去、データの平滑化、日射補正が施される標準的な観測モードで取得した2秒値又は10秒値データ(V80-通常データ)、これらの処理を省略したリサーチモードによる観測データに日射補正を施した2秒間隔のデータ(V80-補正データ)の2種類を比較に使用した。

なお、V80-補正データの日射補正はヴァイサラ社から提供された補正表に従って行い、得られた気温を用いて高度も再計算した。RS80-15GHゾンデのデータセットとしてV80-通常データだけでなくV80-補正データを比較に用いるのは、観測時にリサーチモードでのデータ取得を優先させたため標準モードでのデータ取得が充分でないこと、V80-補正データを重力波解

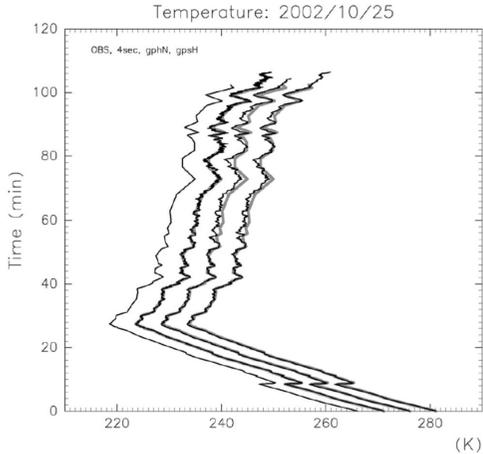
析に使っていることが理由である。V80-補正データは、V80-通常データでの自動的な平滑化処理やノイズ除去に伴う小規模擾乱の構造変化の可能性が避けられるため、より重力波解析に適しており、また、気球パースト前に受信データ不良のための自動観測終了処理が行われないので、高高度データを逃すことがない。処理を行って得られたV80-補正データの気温データはV80-通常データとほぼ一致する(例えば第3図)。このため、得られた気温データを用いて再計算したV80-補正データの高度もV80-通常データとほぼ一致した。また、M91-四秒値データの方位角・高度角から算出した水平風は、データのばらつきが大きいことから比較には用いないことにした。

上記のそれぞれのデータセットはサンプリング間隔が異なることから、そのままでは比較が困難である。そこで比較用のデータセットを作成した。RS80-15GHゾンデのリサーチモードによる観測では異常値の除去が省略されるため、受信時のノイズによる異常値や欠損区間付近の不自然なデータが残ることがある。比較にあたって、まず明らかな異常値を取り除き、その後各データセットを2秒間隔に線形補間した。M91-観測点データの水平風は毎分の水平位置の時間差分として計算されるため、補間に用いるべき時刻は自明ではない。しかし、風観測点の高度が毎分における高度の中間(中間高度)とされているので、観測点の高度・時間を用いて風観測点の中間高度に対応する時間を計算し、水平風の補間に用いた。

## 3. 結果

### 3.1 鉛直分解能比較

第3図は、2002年10月25日におけるM91-観測点データ・M91-四秒値データ、V80-通常データ・V80-補正データの気温高度プロファイルである。縦軸は放球からの経過時間(以下、放球後時間)で、上昇速度約  $5 \text{ms}^{-1}$  を仮定しておおよその高度に換算することができる。この例ではどのデータセットもプロファイルがよく一致し、M91-四秒値データ・V80-通常データ・V80-補正データでは短鉛直波長構造もよく一致している。一方、M91-観測点データには、鉛直波長が短く振幅が小さい擾乱が成層圏で見られないという特徴がある。また、第4図は2002年10月26日におけるM91-観測点データ・V80-通常データ・V80-補正データの風速と風向の鉛直プロファイルである。やはり、小規模擾乱を除いた背景場のプロファイルはよく一致する



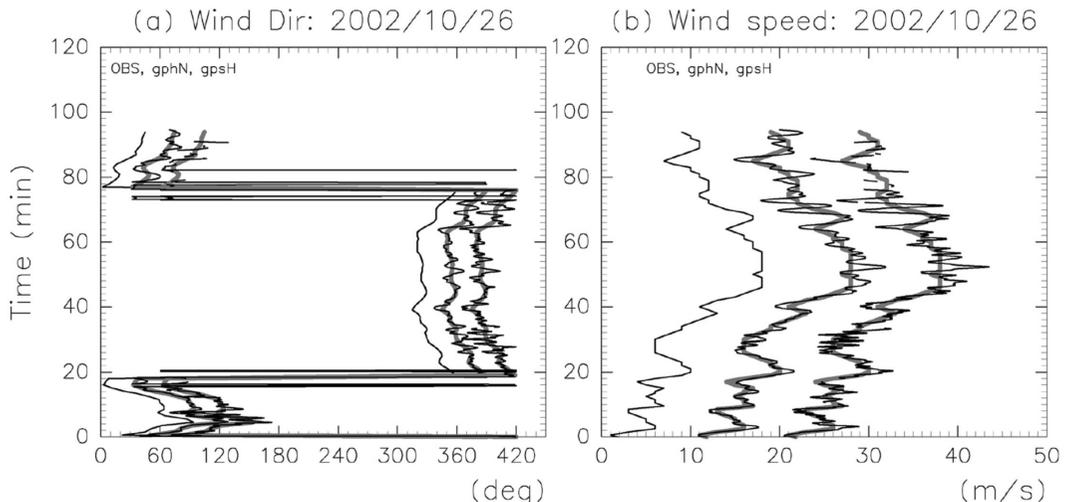
第3図 2002年10月25日の気温プロファイル。縦軸は放球後時間(分)。左からM91-観測点データ, M91-四秒値データ, V80-通常データ, V80-補正データを5Kずつずらして描いた。比較のためM91-観測点データを重ねて薄線で示した。

が, M91-観測点データでは成層圏の短鉛直波長擾乱の振幅が他のデータセットより小さい。このようにゾンデデータの差には背景場の差と小規模擾乱検出能力の違いの両方が存在し, 後者はデータの鉛直分解能に依存すると考えられる。そこで本節では, まずスペクトル解析を行いそれぞれのデータの鉛直分解能を調べた。

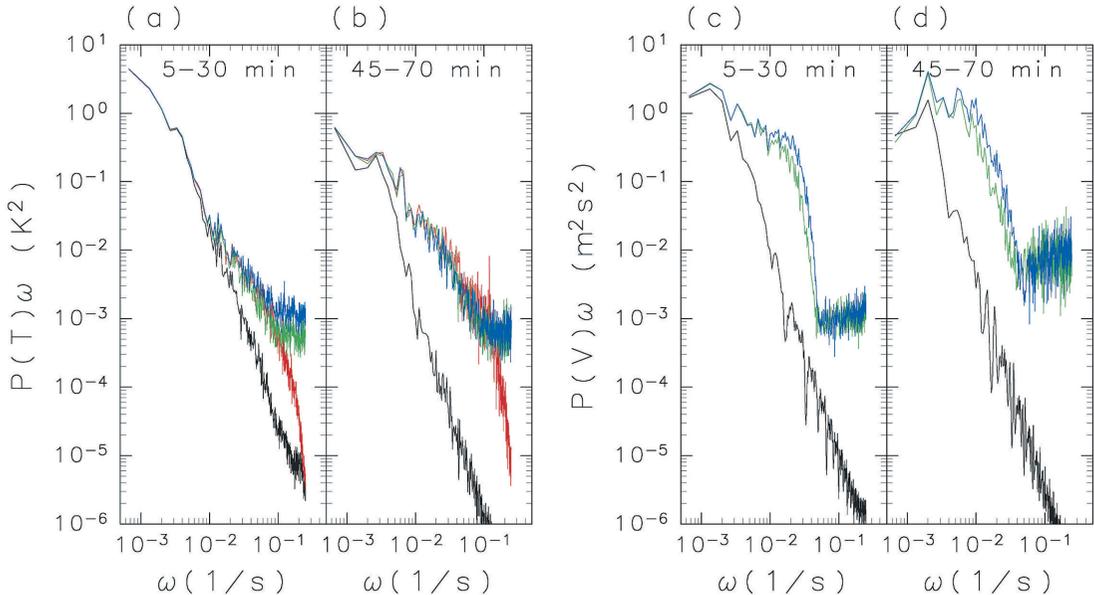
第5図は, 放球後時間の関数として計算した気温と南北風の周波数スペクトルの全期間平均である。対流圏に相当する放球後5~30分(高度約1.5~9 km)の区間の結果(第5図a, c)と, 成層圏に相当する放球後45~70分(高度約13.5~21 km)の区間の結果(第5図b, d)を示した。

まず気温を見ると, M91-四秒値データ・V80-補正データ・V80-通常データについては対流圏と成層圏の両方で周波数 $0.1\text{s}^{-1}$ 以下の周波数領域のパワースペクトル密度が一致する。一方, M91-観測点データは, 対流圏で周波数 $1 \times 10^{-2}\text{s}^{-1}$ 以上, 成層圏で周波数 $5 \times 10^{-3}\text{s}^{-1}$ 以上の周波数領域で, V80-補正データ・V80-通常データよりパワースペクトル密度が小さい。ゾンデの上昇速度 $5\text{ms}^{-1}$ を仮定すると, RS80-15GHゾンデとRS2-91ゾンデのオリジナル気温データには鉛直波長が50 mより長い擾乱が同程度にとらえられているが, M91-観測点データでは鉛直波長が500~1000 mより短い構造が平滑化されていると言える。

次に南北風について調べた。V80-通常データとV80-補正データのパワースペクトル密度はすべての周波数領域で同じオーダーだが, 周波数 $1 \times 10^{-2}\text{s}^{-1}$ 以上の領域で, V80-補正データのパワースペクトル密度はV80-通常データより大きく, 比を調べると2~4倍である。これは, 通常データを作成する時の平滑化が影響していると考えられる。M91-観測点データとRS80-15GHゾンデの両データを比較すると, 周波数



第4図 2002年10月26日における(a)風向と(b)風速の鉛直プロファイル。左からM91-観測点データ, V80-通常データ, V80-補正データを30度または $10\text{ms}^{-1}$ ずつずらして描いた。比較のためM91-観測点データを同量ずらしたものを薄線で示した。



第5図 放球後時間について計算した気温 (a, b) と南北風 (c, d) の周波数スペクトル。(a) と (c) は放球後5～30分, (b) と (d) は放球後45～70分の区間の結果で, いずれも全観測の平均である。黒線はM91-観測点データ, 赤線はM91-四秒値データ, 緑線はV80-通常データ, 青線はV80-補正データの結果である。

が  $2 \times 10^{-3} \text{ s}^{-1}$  より小さい領域では同程度のパワースペクトル密度だが, それよりも大きい領域でM91-観測点データのパワースペクトル密度はV80-通常データ・V80-補正データより大幅に小さい。したがって, 鉛直波長が約2500 mより長い成分についてはM91-観測点データとV80-通常データ・V80-補正データが同程度に水平風擾乱を表現しているが, それより鉛直波長の短い擾乱については, V80-通常データ・V80-補正データと比べM91-観測点データは振幅が小さいと言える。2.1節で示したとおり, RS2-91ゾンデの風観測点データでは, 成層圏において差分間隔が長くなるとともに, 高度角の低下に伴い角度の平滑化が行われ, 短い周期の変動が除去されている。M91-観測点データの特性はこれらの処理に対応すると考えられる。

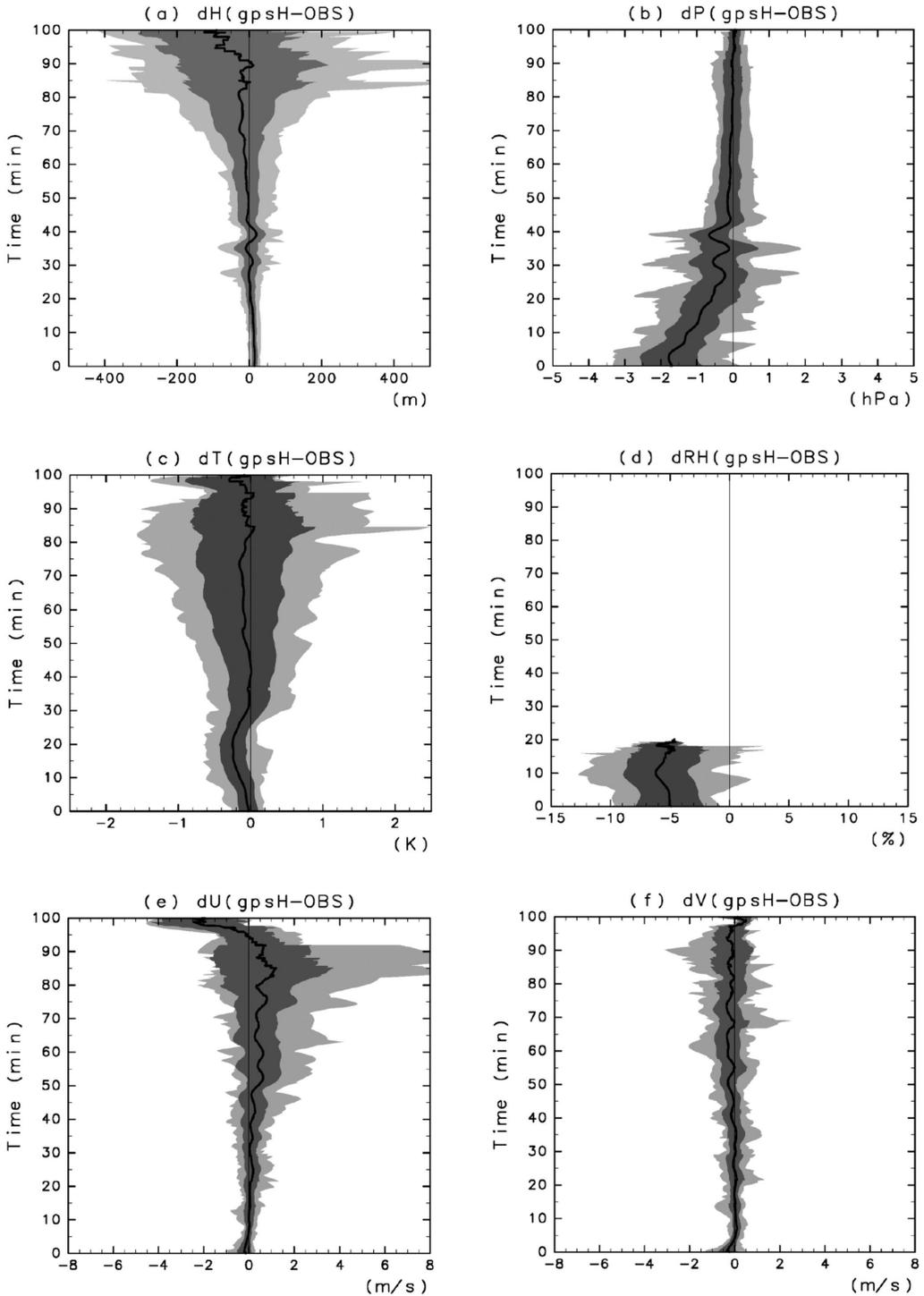
このように, 鉛直分解能は特にM91-観測点データとそれ以外のデータセットの間で違いが大きい。そこで, 以降では, 鉛直分解能の影響を受けない背景場の差と鉛直分解能の影響を受ける小規模擾乱の違いに切り分け, それぞれについて比較を行った。そのため, カットオフ周期500秒のローパスフィルターをかけた成分を背景場, カットオフ周期が200秒と800秒のバンドパスフィルターで抽出した成分を短鉛直波長成分

(鉛直波長約1～4 km), 400秒と1600秒のバンドパスフィルターで抽出した成分を長鉛直波長成分(鉛直波長約2～8 km)と定義した。また, 背景場の系統的な差をバイアス, 背景場の差の標準偏差をばらつきと定義した。

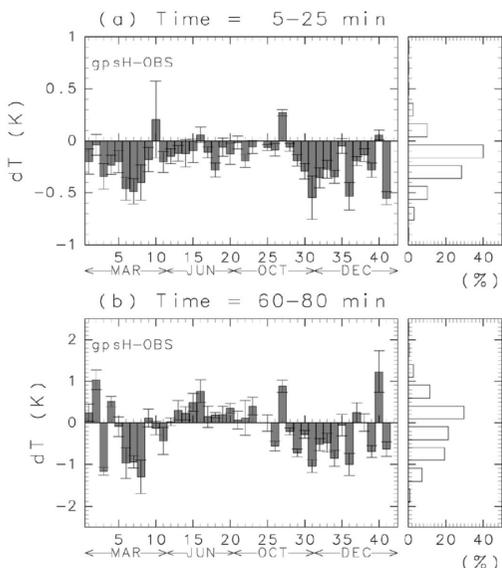
### 3.2 背景場の系統的な差の特性

はじめに, V80-補正データとM91-観測点データの背景場の差の分布を調べた。第6図は, 各高度で平均した差の高度プロファイルである。左上から(a)高度, (b)気圧, (c)気温, (d)湿度, (e)東西風, (f)南北風の結果を示す。実線は各高度の全期間平均, 濃いシェードはばらつきを示し, 薄いシェードは差がとる最小から最大の区間を示す。放球後80分以降は有効データ数が減少するので, 放球後80分までのデータに着目する。

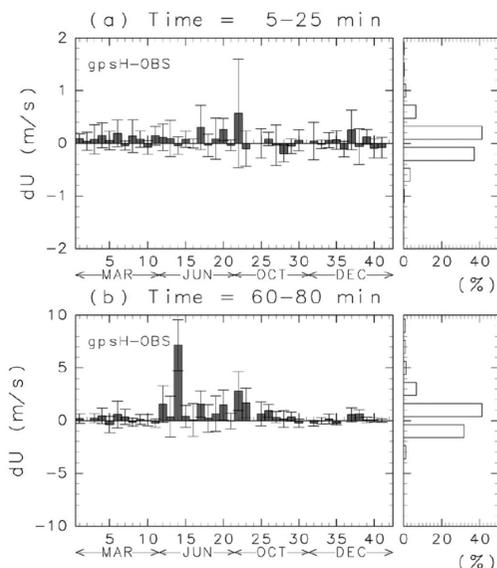
まず, 湿度はV80-補正データがM91-観測点データより約5%小さい値を取る(気象庁では2003年4月から湿度センサーに対する温度補正を実施している(気象庁, 2004)。本比較観測で得られたM91-観測点データに対してこの補正を適用したところ, M91-観測点データとV80-補正データのバイアスはほぼゼロとなった)。一方, 気圧は地上付近において約1～2 hPa



第6図 全観測を用いて計算したV80-補正データとM91-観測点データの差の高度プロファイル。(a)高度、(b)気圧、(c)気温、(d)相対湿度、(e)東西風、(f)南北風の結果を示した。太実線は各高度での平均、濃いシェードはばらつき、薄いシェードは差の最小から最大の領域を示す。



第7図 放球後 (a) 5~25分と (b) 60~80分における、V80-補正データと M91-観測点データの気温の差の時系列。陰付きの縦棒は各高度の平均，エラーバーはばらつきを示す。右側の図は平均気温の差の頻度分布。



第8図 放球後 (a) 5~25分と (b) 60~80分における、V80-補正データと M91-観測点データの東西風の差の時系列。陰付きの縦棒は各高度の平均，エラーバーはばらつきを示す。右側の図は高度平均東西風の差の頻度分布。

程度 V80-補正データの方が小さい値を取る。地上付近における気圧の誤差要因の1つとして、屋内から屋外へゾンデを出した時の急激な温度変化による気圧計のエラー（以下、キャメル効果）が指摘されている（平沢, 1999）。本観測時には放球まで15分以上屋外にゾンデを置いて外気温になじませ両ゾンデのキャメル効果軽減を計ったが、両ゾンデでキャメル効果が残っていることが考えられる。ゾンデによって飛揚時の気圧補正や気圧計の特性が異なるため、キャメル効果の寄与が異なることが気圧差につながっている可能性がある。高度と気温のバイアスは小さく、ばらつきは高度と共に増大する。

一方、水平風の差の特徴的な点として、東西風成分と南北風成分のばらつきの違いが挙げられる。南北風成分はばらつきが小さく  $1 \text{ ms}^{-1}$  以下であるが、東西風成分のばらつきは成層圏において  $2 \text{ ms}^{-1}$  程度で、最大  $5 \text{ ms}^{-1}$  を越える差が存在する。

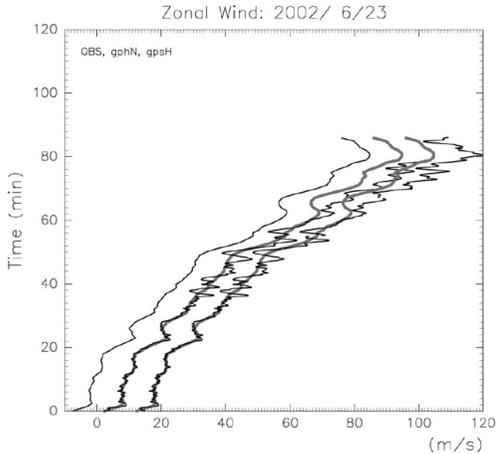
### 3.3 背景場の差に見られる特徴

次に、背景場の差の変動に見られる特徴について調べた。第7図は、V80-補正データから M91-観測点データを引いて求めた気温差の高度平均の時系列である。放球後時間5~25分（対流圏に相当）の高度平均

と60~80分（成層圏に相当）の高度平均を示した。

気温の差は季節に依存し、対流圏と成層圏の両方で冬に値が大きく他の季節に小さい。対流圏では冬以外の季節に V80-補正データの方が M91-観測点データより約  $0.5 \text{ K}$  気温が低い。成層圏では、秋・春・夏に V80-補正データの方が約  $1 \text{ K}$  気温が低いのに対し、冬には  $0.5 \text{ K}$  程度高い値を示す。この結果、V80-補正データで観測される成層圏気温の季節変動幅は、M91-観測点データより  $1.5 \text{ K}$  小さくなると思われる。

一方、第8図は、第7図と同様に作成した高度平均した東西風の差の時系列である。対流圏では差はほぼゼロであるのに対し、成層圏では西風の強い真冬の時期に V80-補正データが M91-観測点データより大きい値を取る傾向が見られる。このため、第6図で東西風成分の差が南北風成分に比べて大きいのは冬の寄与が大きいと考えられる。第9図は、M91-観測点データと V80-通常データ・V80-補正データの差が大きい2002年6月23日の東西風鉛直プロファイルである。放球後時間60分まではすべてのデータがよく一致しているが、その後差が増大し、最大で約  $10 \text{ ms}^{-1}$ （背景風の約10%）になる。ここで、RS2-91ゾンデの水平風計算にゾンデの高度を使用することから、水平風の差の原



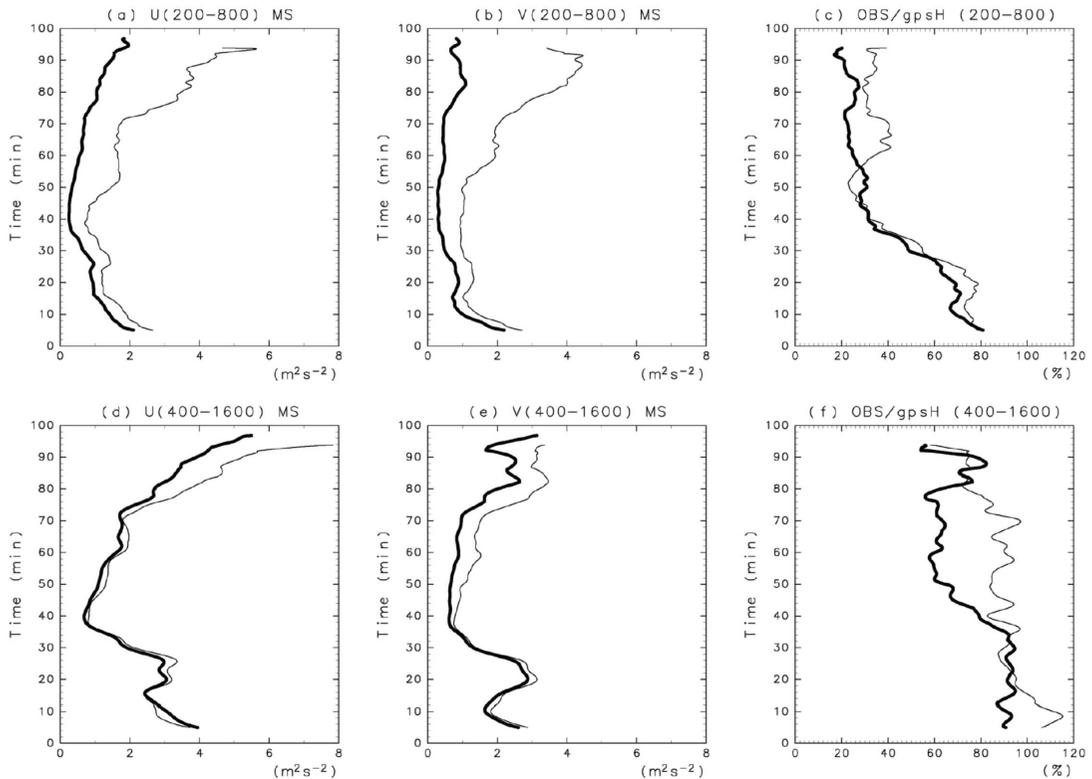
第9図 2002年6月23日の東西風の高度プロファイル。左から、M91-観測点データ、V80-通常データ、V80-補正データを $10 \text{ ms}^{-1}$ ずらして描いた。薄線は比較のためずらして描いたM91-観測点データのプロファイル。

因の1つとしてRS2-91ゾンデの高度推定誤差が考えられる。しかし、この観測例において、両ゾンデの高度差は放球後80分まで50 m以下であり、他の例と比べて大きいとは言えない。このため、東西風の差がRS2-91ゾンデの高度推定誤差に伴うものとは考えにくい。

### 3.4 水平風データの小規模擾乱比較

次に、水平風擾乱成分の振幅と位相について比較を行った。3.1節で示したように、これには各データの鉛直分解能も影響する。

第10図は、それぞれ短鉛直波長成分（鉛直波長約1～4 km）と長鉛直波長成分（鉛直波長約2～8 km）について計算した、東西風擾乱の自乗平均と南北風擾乱の自乗平均、および、それらのM91-観測点データとV80-補正データの比（M91-観測点データ/V80-補正データ）である。まず、短鉛直波長成分を見ると、対流圏ではM91-観測点データの自乗平均はV80-補正データの60～80%の大きさである。しかし成層圏では、



第10図 全観測について計算した (a, d) 東西風の自乗平均  $\overline{u^2}$  と (b, e) 南北風の自乗平均  $\overline{v^2}$ 、および、(c, f) M91-観測点データとV80-補正データの自乗平均の比の高度プロファイル。(a)～(c)は短周期成分、(d)～(f)は長周期成分の結果である。(a), (b), (d), (e)では、細実線がV80-補正データの結果、太実線がM91-観測点データの結果である。また、(c), (f)では、細実線が東西風成分の比、太実線が南北風成分の比を示す。

第2表 各季節について計算した M91-観測点データ自乗平均と V80-補正データ自乗平均の比。長波長成分の結果である。

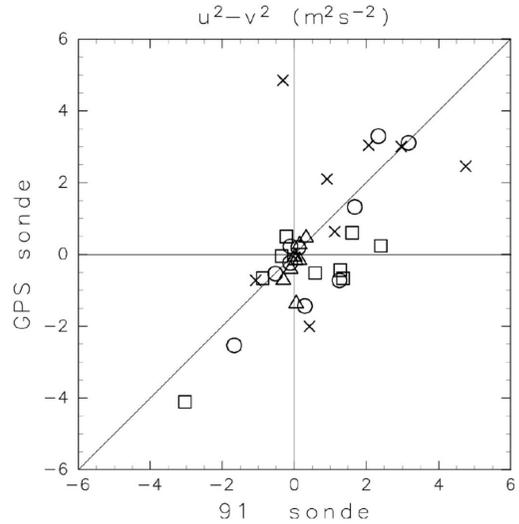
	東西風成分	南北風成分
3月	0.68	0.50
6月	1.08	0.92
10月	0.92	0.55
12月	0.79	0.51

V80-補正データの自乗平均が高度と共に増大するのに対し、M91-観測点データの自乗平均の増加は小さいため、M91-観測点データの自乗平均は V80-補正データの20~40%程度に減少する。一方、長鉛直波長成分では、M91-観測点データの自乗平均も成層圏で高度と共に増大する。対流圏における M91-観測点データの自乗平均は V80-補正データの80~100%程度、成層圏でも60~80%程度である。成層圏における M91-観測点データの小規模構造は、長鉛直波長成分で相対的に良く観測されていると言える。

また、第10図の長鉛直波長成分には、M91-観測点データと V80-補正データの自乗平均の比が東西風成分と南北風成分で異なるという特徴が見られる。そこで、M91-観測点データと V80-補正データの長鉛直波長成分自乗平均の比を季節ごとに計算し、第2表に示した。東西風成分の自乗平均の比は南北風成分より常に大きい。また、東西風成分と南北風成分で季節変化が異なり、東西風成分では比が6月と10月に1に近づくのに対し、南北風では6月のみ1に近づいている。

さらに重力波解析へのこの異方性の影響を調べるため、各観測について長鉛直波長成分の東西風自乗平均と南北風自乗平均の差  $\overline{u'^2} - \overline{v'^2}$  を計算し、第11図に示した。 $\overline{u'^2} - \overline{v'^2}$  は、M91-観測点データと V80-補正データの間で基本的によい正の相関である。しかし、値が小さい時(円偏波に近い時)に第4象限に入る例がある。この場合、M91-観測点データでは東西風擾乱が南北風擾乱より大きいのに対し、V80-補正データでは逆に南北風擾乱が大きい値となる。

最後に、擾乱が相対的によく観測されている長鉛直波長成分について、擾乱成分の位相構造を M91-観測点データと V80-通常データ・V80-補正データと比較した。まず、気温の擾乱成分は、位相・振幅共によく一致していた(図省略)。また、東西風擾乱成分の結果の一部として、2002年10月24日、16日、22日のプロファイルを第12図に示した。10月24日の例では、擾乱の振幅は高い高度ほど V80-補正データの方が大きくなっ



第11図 放球後60~80分における東西風の自乗平均と南北風の自乗平均の差。長周期成分の結果である。横軸が M91-観測点データ、縦軸が V80-補正データの値である。○は3月、×は6月、□は10月、△は12月の結果を示す。

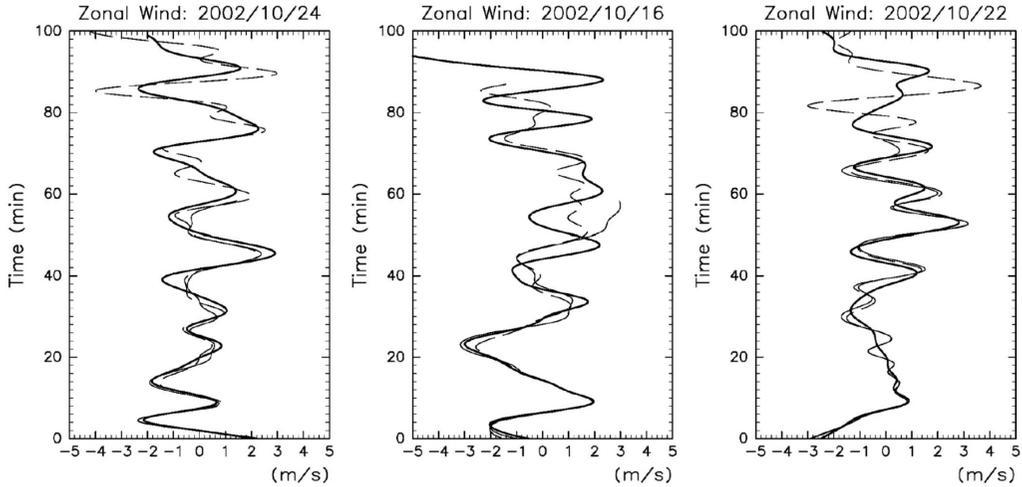
ているが、位相は低い高度から高い高度までよく合っている。一方16日の例では、放球後40分以降擾乱成分の位相にずれが生じている。また、22日の例では放球後70分まではよく合っているが、それ以降位相のずれが大きくなっている。M91-観測点データと V80-通常データ・V80-補正データで位相が合っていない例は、東西風成分で4~5例(約10%)、南北風成分で2~3例(約5%)で、ほとんどが成層圏であった。

#### 4. 重力波解析を行う上での注意点

本研究で明らかになったラジオゾンデデータ特性から、重力波解析に影響する特徴がいくつか明らかになった。

1つは、データの鉛直分解能である。気温データについては、M91-四秒値データ・V80-補正データ・V80-通常データを用いれば鉛直プロファイルの細かい鉛直構造まで調べられることが確認された。一方で、水平風の解析に風観測点データを用いる場合には、擾乱が十分観測される波長領域かどうか確認する必要がある。3.1節や3.4節の結果から、鉛直波長が約2~3 km 以上であれば、M91-観測点データでもよく擾乱が観測されていると考えられる。

もう1点は、東西風擾乱と南北風擾乱の異方性であ



第12図 2002年10月24日, 16日, 22日の東西風擾乱成分(長周期成分)の高度プロファイル。太実線はM91-観測点データ, 細実線はV80-通常データ, 細破線はV80-補正データを示す。

る。第11図の結果から、データによって東西風擾乱の自乗平均と南北風擾乱の自乗平均の差が異なることが明らかになった。このような違いは、ホドグラフ解析を用いた重力波の伝播方向や固有振動数の推定結果がデータによって異なることを示唆する。特にホドグラフが円に近い場合 ( $\overline{u^2} - \overline{v^2}$  が小さい場合) のパラメータ推定について注意する必要があると考えられる。

第2表から明らかなように、異方性は季節によって異なる。RS80-15GH ゾンデはGPS信号のドップラースhiftから水平風を測定しており、東西風と南北風の異方性やその季節依存性が大きいとは考えにくい。一方、昭和基地では、夏には基地局とゾンデの距離が小さく、冬にはゾンデが東に流されて距離が遠くなる。このため、RS2-91ゾンデには、夏に高度角および方位角の変動が大きいものに対し、冬に高度角と方位角の変動が小さいという季節依存性がある。このような季節による違いに加え、平滑化処理の高度角依存性、方向探知器のゾンデ追従の遅れなどが、異方性やその季節依存性と関連する可能性が考えられる。

さらに、高緯度であることがラジオゾンデ観測へ及ぼす影響に、充分明らかになっていない点もある。例えば、電離圏の急激・局所的な変動がGPS信号に与える影響や、RS2-91ゾンデの水平風を算出する際地球の形状として仮定されている楕円体の高緯度での有効性などである。3.3節で明らかになった背景場の差の原因を明らかにするという点でも、これらの効果について今後の調査が必要と考えられる。

## 5. まとめ

昭和基地で実施したラジオゾンデ連結飛揚のデータを用い、ヴァイサラ社RS80-15GH型ラジオゾンデと明星電気株式会社RS2-91型ラジオゾンデのデータ比較を行った。その結果、次のような特徴が明らかになった。

- 気温の周波数スペクトルは、周期10秒以上(鉛直波長50m以上に相当)の領域においてM91-四秒値データ・V80-通常データ・V80-補正データの一致が見られた。平滑化とサンプリング間隔の影響で、M91-観測点データのスペクトルが他のデータと一致するのは周期約100~200秒以上(鉛直波長500~1000m以上)の領域であった。一方、南北風の周波数スペクトルは、周期500秒以上(鉛直波長2500m以上)の領域でM91-観測点データとV80-通常データ・V80-補正データが同程度の大きさとなった。
- 両ゾンデデータはよく一致した。しかし、いくつか特徴的な差が見られた。

気圧：地上付近でV80-補正データがM91-観測点データより、平均して約1~2hPa小さい値を取った。気温：成層圏で、冬にV80-補正データがM91-観測点データより0.5K大きく、逆に他の季節には約1K小さくなる季節依存性が見られた。

湿度：V80-補正データがM91-観測点データより約5%小さい値であった。しかし、2003年4月以降実施されている湿度補正をM91-観測点データに適用したところ、2つのデータはよく一致した。

水平風：V80-補正データとM91-観測点データのバイアスは南北風よりも東西風の方が大きく、前者が約 $0.5 \text{ ms}^{-1}$ 、後者が約 $1 \text{ ms}^{-1}$ であった。東西風のバイアスは冬に大きくなった。

- 水平風擾乱成分のうち鉛直波長約2~3 km以上のものは、M91-観測点データの成層圏でもよく観測されている。
- V80-補正データ水平風擾乱成分の自乗平均とM91-観測点データ水平風擾乱成分の自乗平均を比較すると、前者に対する後者の比は、南北風と比べて東西風の方が大きい値を取った。

今後ラジオゾンデデータを用いた研究を行っていく上で、このようなデータ特性を考慮することが大切である。

### 謝 辞

本観測を実施するにあたり、気象定常部門、気水圏部門をはじめとする第43次南極地域観測隊 (JARE43) のみなさまのご支援を頂きました。作図にはGFD-DENNOU ライブラリーを使用しました。

### 参 考 文 献

- Allen, S. J. and R. A. Vincent, 1995 : Gravity wave activity in the lower atmosphere : Seasonal and latitudinal variations, *J. Geophys. Res.*, **100**, 1327-1350.
- Baldwin, M., T. Hirooka, A. O'Neill and S. Yoden, 2003 : Major Stratospheric Warming in the Southern Hemisphere in 2002 : Dynamical aspects of the ozone hole split, *SPARC Newsletter*, **20**, 24-26.
- Fujiwara, M., M. Shiotani, F. Hasebe, H. Voemel, S. J. Oltmans, P. W. Ruppert, T. Horinouchi and T. Tsuda, 2003 : Performance of the Meteolabor "Snow White" chilled-mirror hygrometer in the tropical troposphere : Comparisons with the Vaisala RS80 A/H-Humicap sensors, *J. Atmos. Ocean. Tech.*, **20**, 1534-1542.
- 平沢尚彦, 木津暢彦, 1999 : 気温急変時に於ける高層ゾンデのアネロイド気圧計のエラーについて, *天気*, **46**, 141-145.
- 気象庁, 2004 : 高層気象観測指針.
- Kitamura, Y. and I. Hirota, 1989 : Small-scale disturbances in the lower stratosphere revealed by daily rawin sonde observations, *J. Meteor. Soc. Japan*, **67**, 817-831.
- Nakamura, H., H. Seko, Y. SHOJI, Aerological Observatory and Meteorological Instruments Center, 2004 : Dry biases of humidity measurements from the Vaisala RS80-A and Meisei RS2-91 radiosonde and from ground-based GPS, *J. Meteor. Soc. Japan*, **82** (1B), 277-299.
- Sato, K. and T. J. Dunkerton, 2002 : Layered structure associated with low potential vorticity near the tropopause seen in high resolution radiosondes over Japan, *J. Atmos. Soc.*, **59**, 2782-2800.
- Yoshiki, M. and K. Sato, 2000 : A statistical study of gravity waves in the polar regions based on operational radiosonde data, *J. Geophys. Res.*, **105**, 17995-18011.

---

## A Comparison of Vaisala RS80-15GH and Meisei RS2-91 Radiosonde Data Based on Simultaneous Observations at Syowa Station

Motoyoshi YOSHIKI\*, Nobuhiko KIZU\*\* and Kaoru SATO\*\*\*

\* (Corresponding author) National Institute for Environmental Studies, 16-2 Onogawa, Tsukuba, Ibaraki, 305-8506, Japan.

\*\* Japan Meteorological Agency (temporary at Ministry of Education, Culture, Sports, Science and Technology).

\*\*\* National Institute of Polar Research (Present affiliation : Graduate School of Science, The University of Tokyo).

(Received 14 June 2005 ; Accepted 8 December 2005)

---