

TECHNICAL REPORTS OF THE METEOROLOGICAL RESEARCH INSTITUTE NO.33

**INTERCOMPARISONS OF
METEOROLOGICAL OBSERVATION INSTRUMENTS**

BY

**METEOROLOGICAL SATELLITE AND
OBSERVATION SYSTEM RESEARCH DEPARTMENT**

気象研究所技術報告

第33号

各種気象観測機器による比較観測

気象衛星・観測システム研究部

気 象 研 究 所

METEOROLOGICAL RESEARCH INSTITUTE, JAPAN

NOVEMBER 1994

Meteorological Research Institute

Established in 1946

Director—General : Dr. Akira Harada

Forecast Research Department	Director : Mr. Harushige Koga
Climate Research Department	Director : Mr. Hikomaro Muraki
Typhoon Research Department	Director : Mr. Shin Ohtsuka
Physical Meteorology Research Department	Director : Mr. Takenori Noumi
Applied Meteorology Research Department	Director : Dr. Tatsuo Hanafusa
Meteorological Satellite and Observation System Research Department	Director : Mr. Toyooki Tanaka
Seismology and Volcanology Research Department	Director : Dr. Ki—iti Horai
Oceanographical Research Department	Director : Mr. Kenzo Shuto
Geochemical Research Department	Director : Dr. Koji Shigehara

1 — 1 Nagamine, Tsukuba, Ibaraki, 305 Japan

Technical Reports of the Meteorological Research Institute

Editor-in-chief : Harushige Koga

Editors : Masakatsu Kato	Shinji Nakagawa	Tatsuo Konishi
Hakaru Mizuno	Syunji Takahashi	Youzo Takayama
Kenji Kanjo	Masafumi Kamachi	Hidekazu Matsueda
Managing Editors : Shigeki Matsubayashi, Yoshiro Ohta		

The *Technical Reports of the Meteorological Research Institute* has been issued at irregular intervals by the Meteorological Research Institute since 1978 as a medium for the publication of survey articles, technical reports, data reports and review articles on meteorology, oceanography, seismology and related geosciences, contributed by the members of the Meteorological Research Institute.

The Editing Committee reserves the right of decision on acceptability of manuscripts and is responsible for the final editing.

© 1994 by the Meteorological Research Institute.

The copyright of articles in this journal belongs to the Meteorological Research Institute (MRI). Permission is granted to use figures, tables and short quotes from articles in this journal, provided that the source is acknowledged. Republication, reproduction, translation, and other uses of any extent of articles in this journal, that are not for personal use in research, study, or teaching, require permission from the MRI.

序

近年、電磁波または音波によるリモートセンシング技術を応用した観測システム、従来からの in-situ 観測手段の開発・改良に関する研究はめざましく発展している。これらは様々な気象現象解明のための観測的研究の進展、気象予測技術の高度化など気象観測に対する多様なニーズに対応するために進展してきた。また、新素材を活用したセンサ、高速プロセッサ、メモリなどの半導体技術の急速な進歩が大きく寄与していることも見のがせない。

気象研究所においては1987年度末にウィンドプロファイラ、ドップラーソーダなどの測風システム、オメガ航法を利用したオメガゾンデ、ドップラーレーダのデータ処理などいくつかの最新の研究用気象観測機器が整備された。これによって、新たな大気現象の究明などの諸研究が加速的に推進され、また、次世代の気象観測網の高度化に寄与する可能性が生まれた。このためには、各機器の機能、性能などを正当な手段で評価し、かつ、システムの改良・改善など完成度を高めるための研究が要求されている。

野外測器、特に上層の気象要素を測定するシステムを評価する場合、準器となる測定器のセンサをその‘場’に置くことが望ましいが困難をとまなう。したがって、複数のシステムによる比較観測を行って評価するのが一般的である。国際的にはWMOの測器・観測法委員会が全球気象観測網の高度化、標準化、維持などの面で中心的な役割を果たしており、加盟国の気象測器及び新たに開発された機器の相互比較観測を実施して観測精度の均一化などを重点項目の一つとしている。たとえば、地区毎のラジオゾンデ（過去に4回）、地上測器などの国際比較が実施されており、今後、現在天気自動観測システムの比較、ウィンドプロファイラ、地上及び宇宙からの鉛直探査法の評価などが計画されている。

このような状況をふまえ、1987年度末に整備した上層大気の観測機器による比較・評価を主たる目的として、高層気象台及び気象研究所の関連研究部の協力のもとに、各種気象観測機器による総合的な同時比較観測を1988年11月から1年間を4期（5日間／1期）に分けて実施した。その後、膨大で多種、多様にわたる取得データを可能な限り共通なフォーマットとしてデータセットを作成し、これをもとに、必須と考えられる観測データについて定量的な解析・考察を行ったので報告する。

本同時比較観測で取得したデータは大型計算機用のMTに保存しており、一部をグラフの形式で第二部に掲載した。このデータセットは容易に利用できるもので、大いに活用されたい。また、本観測ではライダー及び放射関係の観測をもお願いし、貴重なデータの提供を受けているが、筆者らの非力により本稿では取り上げることができなかった。関係官に深くおわびするとともに本データセットを活用するなどして、引き続き、独自の研究成果をあげられることを願ってやまな

い。

平成5年6月

上 田 真 也

〔哀悼の辞〕

上田真也さんは、昭和62（1987）年4月から平成5（1993）年3月まで気象研究所気象衛星・観測システム研究部第四研究室長として在職された後、同年4月から気象測器工場長としてご栄転になりました。ところが不幸なことに同年10月7日膵臓癌で急逝されました。病魔はご家族はもちろん医者にも直前まで発見されなかったということで、大変不幸で残念な事態であります。この紙面をおかりして関係者一同、衷心より哀悼の意を表します。

〔追記〕

故上田真也氏は、気象研究所に着任早々の昭和62年、これからの気象庁の高層観測を担う有力な手段として、ウィンドプロファイラの導入に尽力され、翌年の昭和63年から約1年間、機関にまたがる多くの担当官を組織し、主任研究者として各種測器の比較観測を実施された。観測の計画立案から実行、データの解析、技術報告書としての取りまとめまで、気苦労はいかばかりであったかと推察される。気象測器工場長としてご栄転になった後も、遅れがちな技術報告書の完成に大変気を使われていた。上に掲載した序文はそうした状況の中で書かれたものであり、絶筆となった。ここに謹んで序文として掲載させていただいた。

序文にこれ以上追加することは蛇足の感を免れないが、一般に原理の異なる測器は測定対象が同じであっても異なる側面を調べているものであり、データの違いはセンサーと現象との相互作用の違いによることが多い。この技術報告書はこうした測器相互の比較観測の特徴と限界をわきまえた上でまとめられており、信頼のおけるものになっている。観測データの単純な相関関係ではなく物理過程に着目した検討によってはじめて現象の本質を見極めることができるものであり、必要に応じて生のデータに立ち帰れるよう配慮されている。

この比較観測はそれぞれの段階でたいへん多くの方々のご尽力をいただいた。次頁に一覧表としてまとめてはみたが人事異動等に伴う錯綜した状態から不注意にも漏れた方々があるかもしれない。その節はどうかご容赦いただきたい。報告書の出版が予想以上に手間取った背景には、人

事異動と膨大なデータの入念なチェックなどがある。この技術報告のまとめを担当した松浦主任研究官を中心とした関係各位の継続的な努力に感謝したい。

多くの方々の協力を得て遅ればせながらも、こうして技術報告書の出版を見るに至ったことを故上田真也気象測器工場長の御霊にご報告し、この技術報告書が、テープに保存された生のデータと共に、有効に活用されることを期待したい。

平成6年11月

気象衛星・観測システム研究部長 田 中 豊 顕

各種観測方法による同時観測への参加者

表記観測への参加者は次のとおりである。内多数の方々に観測データの解析などの面で協力をお願いした。なお、官職名、敬称は省略し、また、順不同とさせていただいた。

気象研究所

気象衛星・観測システム研究部

鯉沼正一	黒崎明夫	鈴木修	横山辰夫
内野修	田端功	甲斐憲次	水野芳成
上田真也	松浦和夫	永井智広	韭沢浩

台風研究部

岡村博文	山崎信雄	原昌弘	高橋清利
石原正仁			

気候研究部

塩原匡貴

応用気象研究部

高橋俊二	三上正男	吉川友章	佐藤純次
------	------	------	------

高層気象台

観測第一課

辻雅彦	遠藤邦明	小倉英二	伊藤真人
外崎均	成田修		

観測第二課

新井芳水	中村忠	大胡田輝信	八木晃
小野寺慎一	茂林良道	小城良友	阿部寛
宮川幸治	鈴木恒雄	岩崎明	上部ウィリー
大野恭治	萩原裕之	田中裕吉	小林正人
菊池勝敏	木津暢彦	川上勝弘	

観測第三課

廣田道夫	伊藤朋之	他課員一同
------	------	-------

目 次

序

概要	1
Abstract	3
第一部 比較観測の方法と結果	5
第1章 観測	7
1.1 観測方法及び期間	7
1.2 観測機器	11
1.2.1 ラジオゾンデ	12
1.2.1.1 レーウィンゾンデ (RS 2-80)	12
1.2.1.2 オメガゾンデ (RS80-15N)	13
1.2.2 ウィンドプロファイラ	14
1.2.3 ドップラーレーダ	15
1.2.3.1 C-バンドドップラーレーダ	15
1.2.3.2 X-バンドドップラーレーダ	16
1.2.4 ドップラーソーダ	17
1.2.5 係留気球	18
1.2.6 気象観測用鉄塔	19
1.2.7 比較観測に使用した各種測器の写真	21
第2章 観測データ	25
2.1 データの処理の方法	25
2.2 処理結果と比較の事例	26
第3章 データの比較と考察	35
3.1 レーウィンゾンデとオメガゾンデ	35
3.1.1 飛揚方法による比較	35
3.1.2 気圧計の相互比較	35
3.1.3 温度計の比較	38
3.1.4 湿度計の比較	38
3.1.5 風向・風速の比較	42
3.2 ウィンドプロファイラとゾンデ	45

3.2.1 測定原理の差異による観測値の取扱上の注意	45
3.2.2 データの相互比較	45
3.3 ウィンドプロファイラとドップラーレーダ	51
3.4 ドップラーレーダ	62
3.5 ドップラーソーダと鉄塔	70
3.6 係留気球	75
参考文献	82
 第二部 データ集	 85
1. レーウィンゾンデとオメガゾンデ	87
高度軸表示	90
風向・風速	90
温度・湿度	123
時間軸表示	156
風向・風速	156
温度・湿度	171
気圧・高度	186
2. ウィンドプロファイラとレーウィンゾンデ	201
風向・風速	204
3. レーウィンゾンデとCーバンドドップラーレーダ	229
風向・風速	232
4. Cーバンドドップラーレーダとウィンドプロファイラ	255
風向・風速	258
5. CーバンドドップラーレーダとXーバンドドップラーレーダ	279
風向・風速	282
6. ドップラーソーダと鉄塔	287
風向・風速	290
7. 係留気球とドップラーソーダ	323
風向・風速	326
8. 鉄塔と係留気球	347
風向・風速	350
温度・湿度	370

概 要

Summary

概 要

1988年11月から1年間を4期に分けて（5日間／1期）高層气象台，気象研究所の関連研究部の協力のもとに，2官署構内において，各種気象観測機器による同時比較観測を行った。主な観測機器としては，レーウィンゾンデ，オメガ航法を利用したオメガゾンデ，ウィンドプロファイラ，Cーバンドドップラーレーダ，Xーバンドドップラーレーダ，ドップラーソーダ，係留気球，気象観測用鉄塔等である。いずれの機器も共通して風向，風速の鉛直プロファイルの測定ができ，ゾンデ，係留気球，鉄塔については温度，湿度の測定も可能である。

第一部では，観測の方法，機器の概要，取得データのフォーマット，観測結果の一部と観測結果に対する考察を述べる。

観測値の特性を調べるために，それぞれの観測の組み合わせの内，測定範囲が重なっている二種の観測データを相互比較して解析を行った。

レーウィンゾンデとオメガゾンデの観測は，1個の気球で2種のゾンデを連結飛揚させる観測と個別の気球で，それぞれのゾンデを同時に放球する観測を行い，風向，風速，温度及び湿度について高度別の比較を行った。さらに連結飛揚によるデータについては，2個のゾンデが同一空間を上昇することから放球後の経過時刻を共通軸にして関係を調べ，さらに気圧及び高度についても比較した。比較の結果，風速については，レーウィンゾンデの低仰角観測域に対応した14000～19500mでは2.1～2.7m/sの風速差となっている。これを除く高度500mから2950mまでは2m/s以内である。風向については，平均風速の大きい高度8000～14000mでは2°以内の風向差で良くあっている。一方，平均風速が10m/s以下である高度2000m以下と高度22500m以上では，約10～20°の風向差となっている。温度については，飛揚後500秒から3000秒で500m毎の相関係数は0.99以上あった。また4000秒で0.98と良くあっている。湿度については，飛揚後500秒，1000秒，1500秒における相関係数は0.96～0.99で良くあっていた。しかし，降水水中を通過した後及び上空での20%以下の低湿層を通過する際などにおいては系統的な差がみられる。

ウィンドプロファイラとレーウィンゾンデの比較では，高度750～6000mについて風速に関しては，1～1.6m/sの風速差であり，レーウィンゾンデとオメガゾンデの同高度における風速差1～1.3m/sとほぼ近い値となっている。風向に関しては，平均風速が10m/s以下である高度2000m以下では，7～15°の風向差になっている。一方，大気の流れが比較的安定している高度3000～6000mでは約4～5°の風向差であり，同高度におけるゾンデ同士の風向差約2～6°とほぼ近い値になっている。

ウィンドプロファイラとドップラーレーダの比較では，高度2900mでは風速差が±1m/s以内，風向差が±10°以内で高度4000mでは，風速差が±1～2m/s，風向差が±5°以内であっ

た。風速の相関係数は0.9となっている。

ドップラーソーダと鉄塔の比較では、高度50mごと200mまでの風速の相関係数はそれぞれ50mで0.70、あとは0.85以上である。風向別に分類して比較すると、気象研本館にあたる方向の風速の相関係数は低く、特に高度50mにおいては、0.54と低くなっており、建物の影響を受けていると考えられる。また、降水時でも毎時3.5mm以内の降雨では、良好なデータが得られている。

係留気球とドップラーソーダの比較では、高度50mから300mのあいだ50m毎に風速の相関係数は、それぞれ50mで0.44、その他は0.71以上あった。風向差の平均は、高度50mでは 35° 、その他の高度では $20\sim 29^\circ$ である。ここでも50mでは、余り高い相関は得られなかった。

係留気球と鉄塔の比較では、高度50mから200mまで50m毎の風速の相関係数はそれぞれ0.81から0.92の範囲にあった。風向差の平均が $14\sim 18^\circ$ 、温度の相関係数は0.99以上、湿度の相関係数は0.87～0.89である。

第二部には、観測全期間のデータセットから、代表的な2種の観測機器による測定データとその差を示す比較図を載せた。

Abstract

Simultaneous measurements of vertical profiles of wind, temperature and humidity were carried out with various techniques at Tsukuba from November, 1988 to October, 1989. The techniques used in the comparisons were the rawinsonde, omega sonde, wind profiler, Doppler radar, Doppler sodar, tethered balloon and in situ sensors installed on a 200m observational tower.

This report is composed of two parts. In part 1, the method of the comparison, the outline of the instruments, the characteristics of the instruments and the results of the comparisons are discussed. In part 2, the data used in the comparisons are presented.

The difference of wind speeds measured by the rawin sonde and the omega sonde were 1-1.5, 1.5-2, and 2.1-2.7m/s at altitudes 500, 11000-13500 and 20000-29500m, respectively. The differences of the wind directions were less than 2 degrees for the layer from 8000 to 14000m in which the wind speed was pretty high. For layers lower than 2000m and higher than 22500m, however, the difference of the wind direction was as large as 10-20 degrees because the average wind speed was weaker than 10m/s in these layers. The temperatures measured by the two instruments were in good agreement. The correlation coefficients were 0.99 for 500, 1000, 1500, 2000 and 3000 seconds after the launch of the sondes, and 0.98 for 4000 seconds. The humidities measured by the two instruments were also in good agreement. The correlation coefficients were 0.96-0.99 for 500, 1000, and 1500 seconds after the launch. However, there were biases immediately after the sonde passed through a precipitation layer and during its passage through a layer of low humidity, that is below 20%.

The differences of the wind speed measured by the rawinsonde and the wind profiler were 1-1.6m/s for 750 to 6000m, which are almost identical with the differences between the rawinsonde and the omega sonde (1-1.3m/s) for the same layer. The difference of the wind direction was 7-15 degrees below 2000m in which the mean wind speed was smaller than 10m/s. From 3000 to 6000m, the difference decreased by as much as 4-5 degrees because of less fluctuation of wind in the layer. The value of the difference is almost equal to that between the rawinsonde and the omega sonde.

The difference of the wind speed measured by the wind profiler and the Doppler radar was smaller than ± 1 and 1-2m/s at altitudes of 2900 and 4000m, respectively. The

difference of the wind direction was smaller than ± 10 and ± 5 degrees at altitudes 2900 and 4000m, respectively. The correlation coefficient of the wind speed was 0.9.

The correlation coefficients of the wind speed measured by the tethered balloon and the Doppler sodar were 0.44, 0.80, 0.87, 0.79, 0.75 and 0.71 at 50, 100, 150, 200, 250 and 300m, respectively. The mean difference of the wind direction was 35 degrees at 50m and 20-29 degrees at other altitudes.