

「高層気象観測の発展と現状」についてのコメントに対する回答

水野 量*1・上窪 哲郎*2・定村 努*3

気象研究ノート第229号「高層気象観測の発展と現状」(水野ほか編 2014) についてのコメント(二宮 2014)が、天気(第61巻第6号, 505-506)に掲載された。コメントの要点は、次のとおりである。

- ・幾つかの大切な事項の説明・記述の不足
- ・具体的な事項の指摘
- ・なんらかの方法による追加的説明

指摘いただいた具体的な事項について、以下に回答する。この回答が気象研究ノート第229号の内容と合わせて役立つ情報になれば幸いである。高層気象観測についての歴史的事項を適切に整理して説明する困難さと、高層気象観測の発展を記録に残すことの重要性を改めて感じている。いただいたコメントは、今後も「解説」や気象研究ノートの企画における留意事項としたい。

なお、阿部豊雄氏が、天気「解説」として気象庁における高層気象観測の変遷と観測値の特性についてまとめている(阿部 2015)。阿部(2015)の解説は、以下のコメント7~9に対するより詳細な回答を含んでおり、合わせて参照されたい。

1. 第1章

コメント1: 高層観測発展に関連する気象学史が引用され、気象業務法による観測の位置付けも並列的に記されている。しかし先天的に法規があるから業務となるのではない。実際には、科学的有意義性と社会的有用性が認められ、国の気象業務として遂行す

るに際して法規的根拠が記されるのである。科学・技術の進歩により、従来の観測の意義と有用性が相対的に減少すれば、その業務は中止され関連法規も改正されている。

<回答>

用語の意味について共通認識を持つため、「気象」、「観測」、「地上気象観測」、「高層気象観測」などの定義を気象法規(「気象業務法」、「気象官署観測業務規程」)から示した。気象法規には一定の法的安定性があり、気象法規における観測の定義などを説明することには意味がある。一方、最新科学技術の利用に伴ってある気象観測業務が中止されれば、関連する気象法規も改正されることはコメントのとおりである。

コメント2: 綾里におけるロケット観測(1970年7月-2001年3月)については3行ほどの記述があるが、その目的、観測機器、科学的成果、中止の理由も具体的に記述されていない。富士山以外の山岳観測所の目的・科学的成果・中止の理由も具体的に述べられていない。

<回答>

日本における高層気象観測の発展の内容を整理し、「1.4 日本の地上・高層気象観測発展の歴史」を次のような構成とした。

- ・明治初期から現在までの気象観測網(高層気象観測を含む)の全体的な発展の特徴(気象観測網の水平・鉛直方向への拡大、自動観測への移行、リモートセンシング技術の導入)を強調。
- ・日本の高層気象観測の変遷を記述した文献(「気象百年史」(気象庁 1975)など)を短く紹介。
- ・高層気象観測を「山岳観測と気象観測鉄塔による観測」、「係留気球による観測と凧による観測」、「探測気球による観測、ラジオゾンデによる観測、測風気

*1 (連絡責任著者) Hakaru MIZUNO, 関西航空地方気象台, mizuno.hakaru@met.kishou.go.jp

*2 Tetsuro UEKUBO, 松山地方気象台。

*3 Tsutomu JOMURA, 高層気象台。

© 2015 日本気象学会

球による観測」に分類して説明。

コメントは「気象ロケット観測」と「山岳観測所」の高層気象観測の発展における重要性を指摘したものと理解し、以下に説明する。

(1) 気象ロケット観測

気象ロケット観測は、気象ロケット観測所（岩手県気仙郡三陸町綾里，現大船渡市三陸町綾里）で1970年7月15日に開始され、2001年3月21日まで実施された。気象ロケット観測では、気球による高層観測の到達高度よりも上空の高度範囲について、気温と風が測定された。ロケットに載せて高度60 km 付近まで打ち上げてパラシュートによって降下するロケットゾンデによって気温が測定され、風向・風速はロケットゾンデの自動追跡によって観測された。気象ロケット観測の経過と観測システム（観測用器材，地上設備，観測方法など）の総合的なことは、気象庁観測部高層課（1970）に報告されている。また、清水ほか（1974）が、「天気」誌上で気象ロケット観測について解説している。

「気象ロケット30年の記録」（観測部観測課 2005）に、1970年から2001年まで実施された気象ロケット観測の目的，成果，中止の理由，観測機器，データの利用が以下のとおりまとめられている。

(目的)

- ①対象高度（成層圏から下部中間圏）の基本構造（気温・循環）の解析
- ②成層圏循環の変動の解明
- ③長期予報の精度向上
- ④成層圏突然昇温の監視
- ⑤気候変動の監視（1980年代中頃から）

(成果)

- ①データは成層圏天気図作成などに利用され、成層圏の平均的な基本構造の解析に寄与した。
- ②成層圏循環の変動解明のための調査資料・研究資料として利用された。
- ③当初は梅雨明けの資料として利用された。
- ④突然昇温警報発表用資料として利用された。
- ⑤気候変動の監視のための資料として利用され、近年における成層圏の継続的な気温低下などを検知した。

「気象ロケット30年の記録」（観測部観測課 2005）によると、WMOの取決めにに基づき、気象ロケット観測所の観測データなどをもとに長期予報課（現気候情報課）が（1971年以前は東京航空地方気象台が）成

層圏の突然昇温監視業務を担当しており、成層圏循環の実況と成層圏突然昇温の発生を知らせる警報文（STRATALERT）をGTS（Global Telecommunication System：全球気象通信システム）で発信していた。

(中止の理由)

目的①～⑤について廃止可能かどうかの調査結果は以下のとおりであり、2000年には定常観測を実施している国は我が国のみとなったことから、2001年3月21日の打ち上げを最後に終了した。

- ①基本的構造の解析が終わったこと及び、観測データが現在使用されておらず、今後の利用見込みもないので廃止可能
- ②成層圏循環の変動解明の成果が得られたこと及び、観測データが現在使用されていないので廃止可能
- ③観測データは使用されていないので廃止可能
- ④数値予報による監視能力が向上したので廃止可能
- ⑤高高度ゾンデ観測，オゾン観測・温室効果ガス観測等気候監視のための観測手段が整備されたので廃止可能

(観測機器：ロケットゾンデ)

- ・気象ロケットは最高到達点でロケットゾンデを放出し、ロケットゾンデは降下しながら高度約25 kmまでの風と気温を測定する。ロケットゾンデは、地上からの電波を受信して直ちに電波（直距離，気温，基準抵抗を示す信号）を送り返すエコゾンデである。
- ・気温の観測は、温度に対応してセンサ（太さ $20\mu\phi$ ，長さ220 mmのニッケルと鉄の合金「バルコワイヤ」）の抵抗値が変化することを利用する。あらかじめ測定しておいた気温センサ固有の温度係数を使用して計算し、更に空力加熱等の誤差補正を行い、気温を算出する。
- ・風の観測は、パラシュートによって降下するゾンデを地上装置によって追跡し、発射からの経過時間と最高到達高度によって決定される時刻列表に合わせた高度角・方位角・直距離から計算する。ゾンデの位置の変化量（東西成分の変化量 ΔX ，南北成分の変化量 ΔY ）をその間の時間差 ΔT で除して、風の東西成分及び南北成分を求めて算出する。

(データの利用)

CD-ROMに収録された気象ロケット観測の資料は、以下のとおり発行されている。

- ・1970年（昭和45年）7月15日（第1号機）から2001年（平成13年）3月21日（第1119号機）の気象ロケット観測資料は、気象庁観測技術資料第64号「気象ロケット観測30年報」として発行されている。
- ・1988年～1990年（CD 1枚）、1991年～1994年（CD 1枚）及び1995年～2001年版（各年CD 1枚）が「高層気象観測年報」として発行されている。
- ・1998年1月からは、「気象庁月報」として毎月発行されている。

また、気象ロケット観測資料は、国内の高層気象観測資料を収録した高層月報（Aerological Data of Japan, 1947年7月から1994年12月までの間で毎月発行）にも1970年8月から1994年12月までの間掲載されている。

（2）山岳観測所

日本の高層気象観測は、明治時代の山岳気象観測に始まった。その後、1920年（大正9年）に高層気象台設立、同台で実施した測風気球観測（1921年）と係留気球による観測（1922年）及び探測気球による観測（1925年）、1938年（昭和13年）千葉県布佐においてラジオゾンデによる定常的な高層気象観測の開始へと発展していった。なお、高層気象台設立前の1915年（大正4年）から1919年（大正8年）までの間、茨城県の日立鉱山で煙害対策の調査研究のため、係留気球とパイロット気球による高層気象観測を実施していた（「天気相談所開設10周年記念 日立の気象」（日立市秘書公聴課公聴広報係編 1962）；「気象百年史（II部門別史 第17章 応用気象）」（気象庁 1975）；新田 1978）。このことも日本の高層気象観測の重要な記録である。

ここでは、富士山以外の山岳観測所についての記述を中心に、その目的と成果、中止の理由をまとめる。（目的）

飯田（1982）は、山岳観測所の目的として、2種類の目的：

- ①気象学の発展、山岳気象の調査研究（大気物理の解明、天気予報の発展）
- ②戦争を目的とした航空機の開発的研究、航空機の保安

を挙げている。

「岩手山測候所沿革誌」（盛岡地方気象台 1977）に、岩手山測候所が東北地方における冷害対策を目的に創設されたとの次の記述がある。1934年（昭和9年）の東北地方大冷害を受けた後の社会的な動きから、岩手山測候所創設を含む気象機関の整備拡充があったこと

に注目したい。

- ・「昭和9年（1934）の東北地方大冷害に遭遇し、これが対策上必要な長期予報の重要性がさげられることとなり、東北振興調査会の冷害対策の答申にもとづいて、東北地方における海陸並びに高層の立体的、総合的な気象観測、調査研究のための気象機関を早急に整備拡充することが国会において決議された。これにより、昭和10年6月文部省令により中央気象台附属宮古測候所事務所が開設され、11年7月15日県立測候所を併合して中央気象台宮古測候所が誕生し、また同じく11年7月15日八戸市に八戸測候所を新設し、それぞれ海洋観測船を整備して三陸沖の気象や海象観測調査にあたらせ、更に同じく昭和11年7月15日海拔1771mの岩手山頂附近に中央気象台岩手山観測所が開設され、山岳高層気象観測を行う運びとなった。そして昭和11年10月1日県立盛岡測候所を中央気象台盛岡支台として国営に移管し、機能の強化を図って、東北地方における凶冷の調査研究にあたらせるほか、県下の気象観測業務を統括して遂行させることとなった。」

一方、「航空機の保安」の目的に関して、「気象百年史（I 通史 第8章 大正期より昭和期の気象事業）」（気象庁 1975）に、次の記述がある。

- ・「第2次世界大戦の段階となるに及んで、まず航空気象関係強化、また山岳観測所整備、そして気象観測回数増大が戦時協力として要請され、深夜電報や航空関係の毎時発信電報が要求された。」

また、「札幌気象百年史 1876～1976」（札幌管区気象台 1976）に、次のように書かれている。

- ・「昭和10年代に入ると航空機の発達に伴い高層気象資料が必要となった。昭和15年2月から札幌で高層気象観測が開始されたが、当時、高層気象観測の実施官署は全国的にも極めて少なく、これを補足する意味で山岳気象観測所が生まれるのである。北海道では昭和18年10月から羊蹄山・雄阿寒岳・佐幌岳で観測を開始したが、登山道路が現在のように整備されていない時代だけに熊と遭った話などあり、いろいろ苦労したようである。」

「航空機の保安」の目的に関して、山岳観測所創設以外にもさまざまな整備が行われていたことが、「札幌気象百年史 1876～1976」（札幌管区気象台 1976）における次の記述に示されている。

- ・「終戦までの昭和10年代に整備された、航空気象観測、山岳測候所、札幌・幌筈の高層気象観測、管区

と中央気象台間を始めとする気象専用電信回線、札幌管区気象無線放送、および稚内・森町・江差・雄武・幾寅・小樽・留萌・枝幸・苫小牧の各観測所・測候所等は、そのほとんどが軍事上、またはこの時代から始まった航空事業上の要請に基づくものであった。」

(成果)

山岳観測所の2つの目的(「気象学の発展」,「航空機の保安」)に対するその成果をまとめる。

「気象学の発展」という目的に対する成果は、以下のとおりである。

- ・「山岳気象を専門的な観点から系統的に調査研究されたものはほとんどなく、登山者の啓蒙、教育そして解説といった面が多い」(飯田 1982)。
- ・「岩手山測候所の資料を用いた調査研究」(16件)の一覧表が、「岩手山測候所沿革誌」(盛岡地方気象台 1977)にまとめられている。調査研究が発表された雑誌名は、「天気と気候」(1937年, 1939年, 1942年),「東北地方気象官署連絡会報」(1944年),「研究速報」(1947年, 1948年, 1949年),「東北地方長期予報研究会報」(1947年, 1949年),「研究時報」(1950年, 1951年, 1952年)である。
- ・「山岳気候表(昭和14年-昭和23年)」(気象庁 1958)に、全国28か所の山岳気象官署(うち夏季の観測のみのところ4か所)の気象観測値について1939年(昭和14年)から1948年(昭和23年)までのおおむね10か年間の各気象要素別の月別平均値が掲載されている。

次に、「航空機の保安」という目的に対する成果として、以下のとおり航空気象観測通報の実施、及び富士山・岩手山・伊吹山にける飛行機の着氷実験観測の実施が挙げられる。

- ・岩手山測候所では、1939年(昭和14年)9月1日に航空気象観測通報(1日1回08時30分)を開始し、途中で中止期間があるが、1944年(昭和19年)7月20日から最も回数が多く1日18回(01, 03, 04, 05, 07, 08, 09, 11, 13~17, 19~21, 23, 24時)実施した(盛岡地方気象台 1977)。
- ・「海軍航空技術部の依頼で風洞による着氷観測実施横須賀海軍航空技術部の依頼により昭和14年10月11日から18年4月30日まで3年6か月間風洞により飛行機の着氷実験観測を行った。依頼を受けた中央気象台では、岡田台長をはじめとする氷結防止研究会を設けて、具体的なテーマ、方法を検討し、富士

山・岩手山・伊吹山の3か所でそれぞれの方法により同時に実施した。」(盛岡地方気象台 1977)(著者注:岡田台長は、岡田武松台長のこと。)

(中止の理由)

以下の記述に見られるように、「戦後の行政整理」と「ラジオゾンデなどの観測の充実」が山岳観測所の中止の理由として挙げられている。

- ・「ラジオゾンデなどの観測が充実し、また航空機が発達した戦後には山岳気象観測の必要性が薄れ、大部分の山岳観測所が1947年をもって廃棄」(飯田 1982)。
- ・「これら山岳気象観測所は貴重な資料を得ながら、残念なことに戦後の行政整理のあおりを受け、昭和24年3月から11月にかけて閉鎖されている。」(札幌管区気象台 1976)
- ・「昭和24年6月1日付で岩手山測候所は廃止と決まった。行政整理の背景となったのはGHQの行政指導による定員法案であり、この経緯については気象百年史に述べられている。当時地元では戦前戦後幾多の困難を乗り越えて、ひたすら山頂観測遂行に全力を傾けようやく業務も安定し、命題の東北冷害の問題等に岩手山測候所の観測成果を問わんとする矢先で、また昭和22年のカスリン台風、昭和23年のアイオン台風と岩手県は毎年水禍におかされ、防災の上からも存続が切望され官民一致の運動が行われた。同年6月6、7両日開かれた全国管区気象台長会議で蔵重盛岡測候所長が岩手山測候所の重要性を力説した結果、中央気象台は方針を変更して条件付で存続と決めた。存置の条件は現在の岩手山測候所を機械観測に変え、人員も現在の14名を3名に減じ、盛岡測候所の分室にすることである。」(盛岡地方気象台 1977)(著者注:GHQは連合軍最高司令官総司令部(General Headquarters)のことである。)
- ・「昭和10年11月30日はじめて観測を行って以来、第2次世界大戦という苦しい時代を経て、幾多の困難を乗り越えて17年2か月に及んだ滞頂観測も遂に昭和28年2月1日をもって中止することになった。大気の立体構造を知るために威力を発揮するラジオゾンデやレーダー、ロケットの普及発展により、より高度の観測資料が得られるに及んで、岩手山程度の高さによる観測資料ではあまり有効でなくなったからであろう。この代替として長期巻自記器を設置し、気圧・気温の観測を実施し、これは昭和47年10

月19日まで継続した。」(盛岡地方気象台 1977)

コメント3：世界的にも高層観測点は減少している。以前赤道成層圏波動の研究に大きな役割を果たした赤道域の幾つかの観測点は中止されている。日本の高層観測点も何点か中止された。科学的根拠・業務的理由があつての変更であるが、記述も理由説明もない。

<回答>

近年、高層データを得るための気象観測システム(気象衛星データ、ドップラーレーダー、ウィンドプロファイラ、航空機気象データなど)が増えている。限られた予算と人員で気象業務の目的を達成するため、気象観測システムにおける技術的完成度や費用対効果を考慮して決定することが求められている。

2001年(平成13年)4月に運用を開始した気象庁のウィンドプロファイラ「局地的気象監視システム：WINDAS (Wind Profiler Network and Data Acquisition System)」については、各種の調査や業務実験を経てウィンドプロファイラによる高層風の観測網を整備することを決定している(観測部観測課高層気象観測室 2003)。

2004年3月に、全国16地点で実施していたレーウィン観測は廃止された。これについては、以下のように説明されている。「WINDASが運用されたことでレーウィンの観測を廃止しても数値予報の予測精度に影響がないことを確かめた上で、レーウィンによる高層風の観測を2004年3月に終了した。」(石原ほか 2007)

また、2008年3月に、仙台と那覇における高層気象観測が廃止された。これは高層気象データが増えているため高層気象観測の配置を見直したものである。数値予報実験などにより、台風の進路予報精度等に影響を及ぼさないように配慮されている。

コメント4：観測データは公開・相互交換されなければ活用されない。日本国内での高層データの通報、高層天気図への活用などの科学的な記述が無い。日本のデータの国際交換の開始や、WMO TEMP形式による交換の開始についての記述もない。

<回答>

日本国内での高層データの通報、高層天気図への活用などに関する記述を、1924年(大正13年)頃、1936年(昭和11年)頃、1937年(昭和12年)、1944年(昭和

19年)頃、戦後について示す。

1924年(大正13年)から、測風気球観測の観測資料を天気予報の参考とするようになった(渡辺 1953)。渡辺(1953)の記述を以下に示す。「上高層気象の予報への技術導入—高層気象台が設立されたのは大正9年であり中央気象台で測風気球観測を開始したのは大正10年1月からである。さてこの観測資料が原図に記入され予報の参考とするようになったのは大正13年で、毎朝1回東京と館野におけるパイロット観測の結果と館野における繫留気球の観測結果が天気図の余白に記入されており、実際にはこれを流跡図の形で気球の流れる方面と天気現象を結びつけて予報に使っている。大正14年になるとこのような見方が予報の上に広く取入れられ、天気概況のうちからその幾つかを拾ってみると—大正14年6月12日 上層気流も南西が勝つて来たために群馬・埼玉・山梨・長野地方では梅雨が降り出した。低気圧は近所にはない。大正14年6月26日 九州から関東迄梅雨らしい雨が降っている。多分この雨は上層気流によるものらしいが予報しにくい天候である。大正14年10月 上層の気流も一般には良いが関東方面だけは面白くない。」

1936年(昭和11年)頃の天気予報のもととなる高層観測の資料も、測風気球の観測資料だった。「天気予報の科学」(高橋 1980)では、次のように書かれている。「私が気象庁の前身、中央気象台に入り、天気予報関係の仕事に携わるようになったのは、40年余り前の昭和11年4月からであった。(中略)当時の天気予報は明日までであり、天気予報のもととなる資料も、極東の範囲の地上天気図であり、高層観測の資料は測風気球による観測がいくつかある程度であった。北半球の天気図はなく、海上の観測は、島の観測以外、船舶によるものがわずかある程度であった。いわば、現在新聞にのっている程度の天気図で天気予報を出しているようなものであった。」

1937年(昭和12年)の気象電報について、上松(1950)の報告「気象通信の現状」に次のように書かれている。「昭和12年(1937) 通数(1日総数)約1770通 1日5回発信の航空気象電報が開始せられた(54ヶ所)、上層気流電報の増加、外国無線傍受の増加、ソ連関係の受信局の増加、1日3回受信、定時気象電報1日4回となる」

1944年(昭和19年)頃には、極東域の高層観測網が充実し、「高層印刷天気図」が刊行されている。気象庁予報部予報課(1956)から、この「高層印刷天気

図」についての記述を引用する。「高層印刷天気図は中央气象台において、昭和19年1月より昭和20年2月まで2年2カ月にわたって刊行されたことがある。当時極東地域はいわゆる大東亜共栄圏といって、日本の勢力下にあった。高層観測網も充実しその資料の入手も容易であったので、石版印刷であったが、B3判に12時(I)の地上天気図と極東地域における680, 530, 470 mmの等高度線、大島-漢口間、仙台-新京間の上層断面図、東京又は大島の気温、湿度の高度分布図と合計8面の図、それに資料としては国内(朝鮮、台湾、樺太、南洋諸島を含む)満洲、中国、昭南(シンガポール)にいたるまでの30地点あまりの高層観測表をのせている。その後敗戦の現実につづいて現業作業としての高層気象図の解析も容易ならざるものがあつたようで、もちろん高層印刷天気図も中止されている。」(著者注:「680, 530, 470 mm」のmmはmmHgで、「680, 530, 470 mm」は「906, 706, 626 hPa」に相当すると思われる。)

戦後の状況は、気象庁予報部予報課(1956)によると次の通りである。「国内情勢の落ち着きと、高層観測の精度の向上、高層観測網の整備、国際間の資料交換も次第によくなり、高層気象図の解析もまた充実し、短期予報はもとより、長期予報への活用也不可欠のものとなってきた。」

WMO TEMP形式に関して、1949年(昭和24年)からTEMP(地上高層実況気象通報式)が開始されたと見られる。「気象百年史(II部門別史第7章 通報・通信)」(気象庁1975)に、次の記述がある。「昭和24年1月1日から国際気象協議会(IMO)の気象台長会議で決定された新国際気象通報式が使用され、これ以降の国際通報式は冒頭にはFM(Forms of Message)が冠されることになった。」IMOはInternational Meteorological Organizationの略語であり、WMO(World Meteorological Organization, 世界気象機関)が設立される1950年以前にあった組織である。現在のFM35 TEMP-地上高層実況気象通報式の通報形式は、「国際気象通報式第8版 平成2年3月1日 気象庁」に掲載されている。国際気象通報式第1版は1956年(昭和31年)4月1日に刊行されている。なお、渡辺(1953)によると、これより前の「昭和20年(1945年)12月15日に、日本式の気象通報式は国際通報式と同一型式となり、昭和24年1月には国際式の改正に伴う型式変更があつた。」

コメント5:非即時的データとしては特異点データを含む“Aerological Data of Japan”が1947年から刊行されている(近年はCDRに収録)がその記載がない。

<回答>

- “Aerological Data of Japan”(上高層月報(高層月報とも言う))は、1947年7月から1994年12月までの間で毎月発行されている。「高層気象月報」と「上層気象月報」が1947年から1949年まで刊行され、その後は「上高層月報」として1950年から刊行された(森広1970:「気象百年史(II部門別史第4章 図書資料の管理業務)」(気象庁1975))。
- CD-ROMに収録された高層気象観測資料は、以下のとおり発行されている。
 - ▶ 1988年~1990年(CD1枚)、1991年~1994年(CD1枚)及び1995年~2010年版(各年CD1枚)が「高層気象観測年報」として発行されている。
 - ▶ 2005年1月~2009年12月までの間は、「気象庁月報」として毎月発行されている。
 - ▶ 2010年1月からは、「気象観測月報」として毎月発行されている。

CD-ROMの収録期間・販売価格を含むオフラインデータ一覧表が、(一財)気象業務支援センターのホームページに掲載されている(http://www.jmbc.or.jp/hp/offline/data/cd_list.pdf, 2014年11月7日現在)。

コメント6:測風気球観測(光学的気球追尾による)時代のデータの所在・閲覧窓口の説明が不十分だ。これらのデータの一部は気象庁内イントラネットで見られるが、部外に対しては公開されていない。

<回答>

測風気球観測(光学的気球追尾による)時代のデータについて、高層気象台の過去の資料については、紙と画像データで保存されており、高層気象台で閲覧可能である(数値データ化はされていない)。他の測候所、気象台のデータについても、気象庁の総合閲覧窓口で閲覧できる。

「気象官署において閲覧できる情報」と「一般財団法人気象業務支援センターから印刷物・CD-ROM等の媒体で提供している情報」の一覧を、気象庁ホームページの「印刷物、CD-ROMなどの媒体で提供する情報の一覧」ページ(ホーム > 案内・申請 > 情報ご利用ガイド > 気象庁情報カタログ > 印刷物、

第1表 「高層気象観測原簿」の検索結果。

No.	資料名	対象分野	情報分類	要素	媒体の種類	資料の形式	提供区分	資料の収録期間
1	高層気象観測原簿	気象	観測	気圧／高度／気温／相対湿度／風	マイクロフィルム	文字／数値	閲覧	1940年～1976年
2	高層気象観測原簿	気象	観測	気圧／高度／気温／相対湿度／風	CD	画像	閲覧／センター	1940年～1990年
3	観測船による 高層気象観測原簿	気象	観測	気圧／高度／気温／相対湿度／風	原簿	数値	閲覧	1970年4月～

CD-ROMなどの媒体で提供する情報の一覧（2015年1月10日現在）で見ることができる。第1表は、キーワード「高層気象観測原簿」で検索した結果を示している。検索結果から、「媒体の種類」（印刷物、計算機用紙出力、記録紙、原簿、マイクロフィルム、磁気テープ（MT、CMT）、フロッピーディスク（FD）、光磁気ディスク（MO）、CD等の媒体）、「資料の形式」（図、文字、数値等の形式）、「提供区分」（閲覧、気象庁HP、一般財団法人気象業務支援センター等からの複製の頒布）、「資料の収録期間」の情報が分かる。

2. 第2章（第1章にも関連する）

コメント7：この章ではゾンデ観測の現状が「近年の相互比較観測」を含めて詳しく述べられている。1950年から現在まで約60年にわたってゾンデ観測がなされてきたが、過去の機器更新にともなう観測の連続性については記載が無く、経年変動の検出、過去データとの比較に使用可能かどうかの説明がない。

<回答>

高層気象台においてラジオゾンデに使用した気温センサの変遷が、気象研究ノート第229号の第2章の表2.1に示されている。「2.1.1.3 測器更新に伴う比較観測の歴史」で示されているように、3回（RS II-56型からRS2-80型へ、RS2-80型からRS2-91型へ、RS2-91型からRS2-SGP型へ）の比較観測の結果が、それぞれ気象庁観測部高層課（1983）、迫田ほか（1999）、高層気象台（2011）の文献で報告されている。

経年変動の検出については、ラジオゾンデ更新時の比較観測から得られた各指定気圧面における器差（気温偏差）を観測値に加えることによって、上里ほか（2008）と高層気象台（2011）が報告している。各指定気圧面における気温偏差の詳細は、上里ほか（2008）と高層気象台（2011）を参照されたい。

「気象観測統計の解説」（気象庁 2013）では、高層気象観測統計における累年統計の取り扱いを以下のとおりとしている。

「高層気象観測においてはたびたび測器の変更が行われ、より精度の高い観測測器が導入されている。測器の変更により統計値の均質性が保たれない場合がある。特に56型測器では、日射補正の影響により昼の気温が夜の気温に比べて約0～2℃高く観測されている。また、熱力学方程式により計算されたジオポテンシャル高度も最大で約60m高くなっている。こうしたことから、以下のとおり累年統計を切断する。なお、極値・順位値については統計を切断せず、観測開始以来で統計を行う。

（1）昭和以外の官署

1981（昭和56）年3月に80型測器が導入される以前の09時の高度・気温・湿度及び21時の湿度について累年統計を切断する。

（2）昭和

1980（昭和55）年2月に南極78型が導入されて以降は全て累年統計の接続可能とする。（「気象観測統計の解説」（気象庁 2013）による。）

ここで、累年統計とは、複数年にわたる期間について行う統計のことである。累年の統計の主なものとして、西暦年の一の位が1の年から数えて30年間の値を平均して求める平年値、統計開始からの値を用いて求める統計開始からの極値・順位値がある。なお、場合によってはこれら以外の期間について行うこともある。

コメント8：1990年代には湿度センサの変更により上空の湿度観測に不連続が生じた事実、特異点、データで「超乾燥断熱減率」の問題があった事実も述べられていない。主要な機器変更に伴う精度特性・誤差特性の変化についての記述が無い。

<回答>

気象庁では、1992年10月から順次RS2-80型から

RS2-91型レーウィンゾンデへの使用を開始した。迫田ほか(1999)の報告に、RS2-91型レーウィンゾンデの測定原理、機器のJMA-91型高層気象観測装置による観測データ処理(超断熱処理を含む)が説明されている。また、RS2-80型とRS2-91型との比較観測の実施状況と結果も示されている。相対湿度の同時刻観測値の比較は、迫田ほか(1999)の図1.1.20に示されており、「80型の湿度が30~80%の時は、91型の方が0~20%程度高い湿度を示している。」

なお、超断熱処理の詳細は、観測部高層課(1987)を参照されたい。

コメント9: ゾンデ観測についての観測業務的な記述は詳しいが、レーウィン観測(電波による気球追尾による測風観測)についての記述が不足している。装置更新に伴う精度・誤差特性の変遷についての記述も無い。

<回答>

「高層気象台におけるゾンデ観測50年」(安倍・阿部1995)と「高層気象観測とその歴史」(阿部1997)から、高層気象台におけるレーウィン観測のための地上観測装置(無線方向探知機)の変遷を以下に示す。

(1) D44型最大感度方式レーウィン受信機

408 MHzの電波を使用するレーウィンを追跡するための無線方向探知機である。5素子のYAGIアンテナの最大利得が得られたときを電波の到来方向とするものだった。ハンドルの手動操作によってアンテナの向き(方位角、高度角)を変え、測角精度は、方位角約4度、高度角約3度だった。

1948年(昭和23年)11月から、W44型レーウィンとD44型最大感度方式レーウィン受信機によるレーウィン観測に移行した。

(2) D49E型等感度方式レーウィン受信機

D49E型等感度方式は、最大感度方式の測角精度を改善するために開発され、特性の等しい4個のアンテナを配置し、各アンテナからの受信レベルの等しい点における中心軸の向き(方位角、高度角)を電波の到来方向とした。測角精度は、方位角が約3度、高度角約1.5度と改善された。

1950年(昭和25年)9月から、等感度方式の手動追跡型方向探知機で観測を始めた。

(3) D55A型自動追跡記録型方向探知機

D55A型自動追跡記録型方向探知機は、1954年に在日米軍から移管されたGMD-1A型自動追跡記録型方

向探知機を日本で改良製作したものだった。ゾンデの周波数は1680 MHz帯でパラボラアンテナが用いられ、感度も極めて高く指向性も鋭いペンシルビームが使用された。方向探知の方法は等感度方式を発展させた円錐走査方式だった。測角精度は、GMD-1Aと同等で地面反射の影響を受けないところで0.1度だった。

1957年(昭和32年)4月から、使用周波数を1680 MHzに変更し、自動追跡記録型方向探知機の導入によってゾンデ観測と高層風観測の同時観測が可能となった。

(4) D55B2型自動追跡記録型方向探知機

D55B2は、基本性能がD55Aと同じで電子部品が電子管(真空管)からトランジスタやICとなった。「気象百年史(II部門別史 第5章 高層気象観測)」(気象庁1975)によると、D55B型自動追跡記録型方向探知機が1965年(昭和40年)1月潮岬に設置されて以来、GMD-1A、D55A型は漸次D55B型に更新されていった。高層気象台では、1972年(昭和47年)の末に更新された(高層気象台1978)。

(5) JMA-91型高層気象観測装置

JMA-91型高層気象観測装置の概要、機能、データ処理等については、観測部高層課(1996)で解説されている。

この装置の角度誤差検出方法はモノパルス方式と呼ばれるものであり、追跡精度が円錐走査方式よりも向上した。また、初期捕捉等ゾンデが近距離で動きの極めて速い場合の追跡ミスを防止するため、初期捕捉用の一次アンテナ(ワイドビーム)を備えて通常の追跡用(ノーマルビーム)との切替えができた。

1992年(平成4年)2月から、JMA-91型高層気象観測装置に移行した。

コメント10: 「エコーゾンデ」, 「ロランゾンデ」, 「オメガゾンデ」についての具体的記述もない。

<回答>

「エコーゾンデ」

ゾンデが100 km以上も流され高度角が低くなると、高度角の測定誤差が風速の誤差として観測される。エコーゾンデは、高層風の観測精度向上のために開発された(小熊1969)。エコーゾンデは、地上装置から発射されたパルスを受信し送信機から返信するが、この電波の往復時間から地上アンテナとゾンデとの直距離を測定する。この直距離と方向探知機の角度からゾンデの位置を求めて風向・風速を計算するため、高層風

の観測精度が向上する。

このようなエコー方式の観測は、高層気象台では「昭和37年(1962年)から時々実施され、昭和56年(1981年)まで」(阿部 1997)行われた。「気象百年史(II部門別史 第5章 高層気象観測)」(気象庁 1975)によると、根室、秋田、八丈島、鹿児島島の官署では月数回の観測をエコーゾンデで実施した。エコーゾンデによる無線測風の精度は極めて良好であったが、消耗器材であるエコーゾンデが高価であることと、地上装置の保守整備がやや複雑であるなどの理由でその後この観測の増強は行われなかった。また、エコー方式は、気象ロケット用ゾンデ(気象庁観測部高層課 1970; 清水ほか 1974; 竹内ほか 1982)と海洋気象観測船啓風丸に設置されたエコーゾンデ観測装置(武石ほか 1971; 岡野ほか 2001)に用いられた。

「ロランゾンデ」, 「オメガゾンデ」

電波航法の解説書(今津・榎野 2012)によると、ロランとオメガは、それぞれ双曲線航法の方式の名称である。双曲線航法とは、複数の地上局から送信された電波を受信し、地上局～観測者間の電波の到達時間差や位相差を測定することにより、観測者の位置を求める航法である。これまでに4つの方式(ロランA, ロランC, デッカ, オメガ)が実用化されたが、現在でも運用が続いているロランCは縮小傾向である(海上保安庁 2009, 2012)。オメガ方式は、衛星航法(GPS(Global Positioning System)など)の発達により、1997年にすべての地上局が民間に対する測位航法用の電波送信局としての運用を停止したため、現在は利用されていない。

オメガゾンデでは、ラジオゾンデから位置情報が地上へ送られ、位置の変化から風向・風速が計算される。パラボラアンテナでラジオゾンデを自動追尾する必要がなく、地上のアンテナ施設を小型軽量化できるという特徴がある。船舶の動揺に無関係に測風計算される。

国内におけるオメガ方式による高層気象観測は、以下のとおり、海洋における研究観測と海洋気象観測船で実施された。

- ・青柳(1974)と青柳・吉留(1978)は、気象研究所が開発しAMTEX(Air-Mass Transformation Experiment, 気団変質研究観測計画)で使用したオメガ高層風観測システムについて報告している。
- ・浅井ほか(1979)は、モンスーン実験(MONEX:

Monsoon Experiment)の夏期強化観測に参加する研究船「白鳳丸」に設置するオメガ高層風観測装置のシステムの概要と野外試験結果について報告している。

- ・萩野谷・藤谷(1989)は、昭和62年度科学技術振興調整費「太平洋における大気・海洋変動と気候変動に関する国際共同研究」で実施したオメガ方式の高層気象観測を報告している。
- ・気象庁の海洋気象観測船(長風丸, 高風丸, 清風丸, 凌風丸)にオメガ方式の船用自動高層気象観測装置が設置されたことが、海洋気象部海上気象課(1987), 海洋気象部海務課(1989), 岡部(1993), 棚橋(1997)によって報告されている。

3. 第3～5章

コメント11: これらの章のリモートセンシングについての研究者による基礎的な説明は明快であるが、観測業務にかかわる部分の説明は不十分である。「プロファイラー」などによって得られた高分解能・連続データが、実況監視・予測業務に大きな変革をもたらしたが、具体的説明が不足している。データ公開・通報・保存についての具体的記述も不十分だ。

<回答>

第3～5章は、「ドップラーライダー」, 「水蒸気ラマンライダー」, 「オゾンライダー」について主に研究用観測手段としての解説である。

「プロファイラー」については、気象研究ノート第205号「ウィンドプロファイラー」(小林編 2004)にまとめられているため、今回の気象研究ノートには含めなかった。

ウィンドプロファイラは、2001年4月から運用を開始し、2014年11月現在全国に33か所あり、上空の風を高度300 m毎に、10分間隔で観測している。ウィンドプロファイラの観測データはCD-ROM(「気象庁月報」, 「気象観測月報」, 「高層気象観測年報」)に収録されて、(一財)気象業務支援センターがCD-ROMを販売している。

ウィンドプロファイラの観測データは、2002年4月から利用可能である。

- ・CD-ROM「気象庁月報」(2005年1月～2009年12月, 各月CD1枚)とCD-ROM「気象観測月報」(2010年1月以降, 各月CD1枚)には、1か月分の10分値が収録されている。
- ・CD-ROM「高層気象観測年報」(2010年まで各年1

枚)には、1年分の10分値が収録されている。

以上のCD-ROMの収録期間・販売価格を含むオフラインデータ一覧表が、(一財)気象業務支援センターのホームページに掲載されている (http://www.jmbc.or.jp/hp/offline/data/cd_list.pdf, 2014年11月7日現在)。

4. 第6章

コメント12: この章は中途半端である。1950年以降、高層観測データを活用して総観規模現象・大気大循環の研究が進み、その成果は多数の書籍・総合報告・論文で発表されている。短い章で高層観測がもたらした成果を説明するのは無理であり、中途半端な記述は高層観測のもたらした気象学発展の真価を伝えていない。

<回答>

数多くの高層気象観測の成果がある。高層気象観測によって、大気中の各気象要素の「観測データ」が得られる。「観測データ」から天気図、エマグラム、断面図などの解析により、大気の状態に関する「情報」を得ることができる。こうして得られる大気の状態に関する「情報」から、大気に関する「知識」が整理・蓄積されている。

高層気象観測がもたらした「観測データ」、「情報」、「知識」の数多くの成果に対して、「省略・分類・整理」により、「観測データ」を整理した「高層の大気の構造と特性」に関する成果に絞って説明する編集方針でまとめた。このため、第6章の著者(岡林俊雄氏)に大幅な改稿をしていただいた。

一方、高層気象観測データから情報を引き出し、さらにより普遍的な知識へと向かうことは重要であり、コメントの「高層観測のもたらした気象学発展の真価を伝えること」は今後の「解説」や気象研究ノートの企画における留意事項としたい。

コメント13: 高層データは実況監視(解析)や予測の基礎データとして利用され、さらに客観解析、数値予測初期値としても活用される。とくにリモートセンシングによる非斉時・連続観測データは四次元データ同化によって処理されている。これらのデータの活用に関わる「観測-解析-予測システム」の包括的記述が欠落しており、気象業務の根幹の真価を伝えていない。

<回答>

気象研究ノート第217号「気象学におけるデータ同化」(露木・川畑編 2008)がまとめられている。編集者の能力(知識、経験、姿勢)に対応した「高層気象観測」に関する内容構成とし、企画段階から「高層気象観測」の観測手段を中心に組み立てた。データ活用に関わる「観測-解析-予測システム」の包括的記述については、今後の「解説」や気象研究ノートの企画における留意事項としたい。

5. 第7章

コメント14: この章は衛星画像データに断片的に触れている。衛星観測は多様なデータ(例えば多チャンネル赤外放射データから得られる鉛直温度分布など)も提供している。短い章に収めることは無理であり、中途半端な紹介は気象衛星観測の真価を伝えていない。

<回答>

気象研究ノート第212号「衛星からわかる気象-マルチチャンネルデータの利用-」(隈部編 2006)が、総合的にまとめられている。今回の気象研究ノートでは、気象研究ノート第212号で説明されていない水蒸気画像を利用した上・中層大気の状態を解析するための画像の見方を中心とした内容とした。

コメントは、今後の「解説」や気象研究ノートの企画における留意事項としたい。

コメント15: 各セクションの担当者は精密な報告を書いておられるが、全体としては断片的である。「誰が、誰に、何の目的で、なにを伝えたい企画」なのか、編集の目的意識が不明確である。

<回答>

「誰が、誰に、何の目的で、なにを伝えたい企画」の回答は、以下のとおりである。反省点は、「高層気象観測の発展と現状」のタイトルで期待される「発展」部分の記述が不十分だったことである。コメントは、今後の「解説」や気象研究ノートの企画における留意事項としたい。

誰が: 各章の著者及び編集者

誰に: 現在から将来の気象研究ノートの読者(主に高層気象観測についてのデータの利用者、各観測手段の開発者・研究者)

目的・伝えたいこと: 気象研究ノート第194号「気象測器-高層気象観測篇」(1999年4月)以降約15年が経過した。ラジオゾンデとライダーの現状

を整理して伝えたい。合わせて、「気象測器」、「国際協力」、「高層観測」が気象学の発展に大きな役割を果たしており、「高層観測」の重要性を強調して伝えたい。

編集の目的意識：現在の高層気象観測の到達点は、過去の成果の積み重ねによってもたらされている。同様に、将来の到達点は、現在の高層気象観測の成果の積み重ねによって築かれるだろう。ラジオゾンデとライダーを中心に高層気象観測の現状を整理した記録を、気象研究ノートとして編集して伝えたい。

コメント16：「気象研究ノート」でも査読、編集者による通読確認がなされたはずだが、全体構成についての、鳥瞰的・包括的な検討が不十分である。

<回答>

各章の著者は査読者からのコメントに対する原稿の修正作業を行い、編集者が企画した全体構成に沿った内容になるように調整した。

コメントは、今後の「解説」や気象研究ノートの企画における留意事項としたい。

コメント17：本書の価値をさらに高めるために、重要事項の不足部分について、なんらかの方法による追加的説明（改訂・補編、天気誌上での解説など）をお願いする。

<回答>

重要事項の不足部分についての追加的説明を含む「コメントに対する回答」（本稿）を準備し、「天気」へ投稿した。

謝 辞

富岡啓行氏（茨城県日立市）に、日立鉱山で実施されていた高層気象観測について教えていただいた。また、阿部豊雄氏（元高層気象台）と見定吉信氏（大阪管区気象台気象防災部）に、文献入手に際してお世話になった。本稿の執筆に当たっては、気象研究ノート編集委員の楠 昌司氏から、有益な助言を頂いた。深く感謝する。

参 考 文 献

安倍貞八，阿部豊雄，1995：高層気象台におけるゾンデ観測50年。高層気象台彙報，(55)，1-10。
阿部豊雄，1997：高層気象観測とその歴史。高層気象台彙

報，(57)，41-58。

阿部豊雄，2015：気象庁における高層気象観測の変遷と観測値の特性 第1部 高層気象観測の変遷。天気，62，(印刷中)。

上松 清，1950：気象通信の現状。測候時報，17，1-11。

青柳二郎，1974：オメガ高層風観測システムについて。船と海上気象，18(1)，1-7。

青柳二郎，吉留英二，1978：オメガ航法システムを利用した高層風観測方式。気象庁技術報告，(93)，327-360。

浅井富雄，石川浩治，三沢信彦，名越利幸，青柳二郎，吉留英二，飯田睦治郎，1979：オメガ高層風観測システムの予備実験。天気，26，361-370。

萩野谷成徳，藤谷徳之助，1989：「高層気象観測装置(MARWIN RAWINSONDE SET MW12)」を使って。天気，36，99-103。

日立市秘書公聴課公聴広報係編，1962：天気相談所開設10周年記念 日立の気象。日立市天気相談所，24pp。(http://www.jsdi.or.jp/~hctenso/HC_clim/materials/reprint/annual10/annual10.pdf，2014.6.1閲覧)

飯田睦治郎，1982：日本の山岳気象。天気，29，91-100。

今津隼馬，榎野 純，2012：新版 電波航法。成山堂書店，136pp。

石原正仁，牧原康隆，宮本仁美，堤 之智，松原廣司，松枝秀和，石井雅男，2007：気象庁の観測。気象研究ノート，(215)，1-35。

海上保安庁，2009：北西太平洋ロランCチェーンの縮小(南鳥島局の廃止)について。(http://www.kaiho.mlit.go.jp/info/kouhou/h21/k20090601/k090601.pdf，2014.10.31閲覧)。

海上保安庁，2012：北西太平洋ロランCチェーンの縮小(十勝太局の廃止)について。(http://www.kaiho.mlit.go.jp/info/kouhou/h24/k20120801/k120801-1.pdf，2014.10.26閲覧)。

海洋気象部海上気象課，1987：新長風丸の船用自動高層気象観測装置の概要。測候時報，54，129-146。

海洋気象部海務課，1989：海洋気象観測船「高風丸」について。測候時報，56，17-22。

観測部観測課，2005：気象ロケット30年の記録。測候時報，72，81-130。

観測部観測課高層気象観測室，2003：局地的気象監視システム(WINDAS)による高層風観測業務の開始。測候時報，70，63-118。

観測部高層課，1987：高層気象観測の自動化。測候時報，54，225-262。

観測部高層課，1996：JMA-91型高層気象観測装置について。測候時報，63，49-82。

気象庁，1958：山岳気候表(昭和14年—昭和23年)，気象庁観測技術資料，(9)，27pp。

気象庁，1975：気象百年史。気象庁，185-223，331-337，

- 339-351, 359-376, 485-499.
- 気象庁, 2013: 気象観測統計の解説. 128pp. (http://www.data.jma.go.jp/obd/stats/data/kaisetu/shishin/shishin_all.pdf, 2014.7.22閲覧)
- 気象庁観測部高層課, 1970: 気象ロケット観測. 測候時報, 37, 96-121.
- 気象庁観測部高層課, 1983: RS2-80型とRS II-56型レーウィンゾンデの比較観測について. 測候時報, 50, 373-384.
- 気象庁予報部予報課, 1956: 高層印刷天気図について. 測候時報, 23, 265-268.
- 小林隆久編, 2004: ウィンドプロファイラー—電波で探る大気の流れ—. 気象研究ノート, (205), 202pp.
- 高層気象台, 1978: 高層気象台五十年史. 高層気象台, 47 pp.
- 高層気象台, 2011: 明星電気RS2-91型レーウィンゾンデとヴァイサラRS92-SGP型GPSゾンデの相互比較試験観測と検証結果. 測候時報, 78, 221-257.
- 隈部良司編, 2006: 衛星からわかる気象—マルチチャンネルデータの利用—. 気象研究ノート, (212), 140pp.
- 水野 量, 上窪哲郎, 定村 努編, 2014: 高層気象観測の発展と現状. 気象研究ノート, (229), 182pp.
- 森広昭男, 1970: 気象庁定期刊行物の内容と要素の変化. 測候時報, 37, 356-368.
- 盛岡地方気象台, 1977: 岩手山測候所沿革誌. 測候時報, 44, 27-42.
- 二宮光三, 2014: 「高層気象観測の発展と現状」(気象研究ノート第229号, 2014年)についてのコメント. 天気, 61, 505-506.
- 新田次郎, 1978: ある町の高い煙突. 文藝春秋, 346pp.
- 小熊一人, 1969: 高層気象観測装置. 気象研究ノート, (99), 150pp.
- 岡部隆次, 1993: 海洋気象観測船「清風丸」III世の紹介. 海の気象, 39(2), 37-42.
- 岡野昭正, 糸数勇司, 尾臺正信, 2001: 海洋気象観測船啓風丸I世の航跡. 測候時報, 68, S1-S25.
- 小野儀一, 1970: 気象観測船“啓風丸”について. 測候時報, 37, 391-397.
- 迫田優一, 永沼啓治, 荻原裕之, 井上長俊, 三田昭吉, 1999: RS-91型レーウィンゾンデ. 気象研究ノート, (194), 3-24.
- 札幌管区気象台, 1976: 札幌気象百年史 1876~1976. 測候時報, 43, 81-170.
- 清水正義, 五月女敬太郎, 鈴木剛彦, 1974: 気象ロケット観測について—綾里における観測を中心として—. 天気, 21, 59-69.
- 高橋浩一郎, 1980: 天気予報の科学. 日本放送出版協会, 7-14.
- 武石寿雄, 鈴木 耕, 梯 武浩, 1971: 啓風丸に設置した船用エコーゾンデ観測装置. 測候時報, 38, 255-272.
- 竹内清秀, 花房龍男, 清水正義, 立平良三, 来海徹一, 1982: 気象観測と測器. 天気, 29, 7-33.
- 棚橋 恒, 1997: 海洋気象観測船「凌風丸III世」. 測候時報, 64, S1-S6.
- 露木 義, 川畑拓矢編, 2008: 気象学におけるデータ同化. 気象研究ノート, (217), 277pp.
- 上里 至, 伊藤智志, 熊本真理子, 茂林良道, 中村雅道, 2008: ラジオゾンデの歴史的変遷を考慮した気温トレンド (第1報). 高層気象台彙報, (68), 15-22.
- 渡辺和夫, 1953: 印刷天気図の変遷. 測候時報, 20, 438-444.