

8. 2 特殊ゾンデ観測，放射能ゾンデ観測等

この分節では、まず昭和 32(1957)年からの国際地球観測年(IGY)を契機として開始された特殊ゾンデ観測のうちの気象電気ゾンデ、露点ゾンデと輻射ゾンデの3つについて述べる。なお、オゾンゾンデについては本章第 3.2 節にて詳説した。また、昭和 29(1954)年の第 5 福竜丸事件を契機として開始された放射能ゾンデ観測について述べる。このほか、研究用に開発された特殊ゾンデの飛揚等についても述べる。

(1) IGY を契機とした特殊ゾンデ観測の現業化

昭和 32(1957)年 7 月から昭和 33(1958)年 12 月に行われた IGY の頃から、大気物理学の発展に寄与するために大気中の特殊な物理量の鉛直分布を観測する種々の特殊ゾンデが開発され、それらを用いた特別観測が多く実施された。IGY への参画を契機として、高層気象台では昭和 32(1957)年に気象電気ゾンデと露点ゾンデ、昭和 39(1964)年にオゾンゾンデ、昭和 40(1965)年に輻射ゾンデの観測を開始した。また、昭和 40(1965)年には、特殊ゾンデ観測(気象電気ゾンデ・露点ゾンデ・オゾンゾンデ・輻射ゾンデ)は、予め計画された観測カレンダーに従い、ゾンデ毎に週一回の観測値を得ることを目標に定常化された。高層気象台で飛揚したゾンデは、偏西風が弱まる夏季には東京付近に落下することが増えるので、特殊ゾンデの落下による危険防止のために、昭和 41(1966)年に本庁高層課より、飛揚前 12 時間以内の観測資料を用いて、飛揚前に特殊ゾンデの落下点を推定する方法を検討するよう依頼があり、昭和 40(1965)年から 41(1966)年 7 月にかけて取得した 11 個の特殊ゾンデの事例をもとに特殊ゾンデ落下点推定手法を作成した。なお、検討期間中は特殊ゾンデの飛揚を中止していたため、検証には、同年 7 月末から 9 月末までの間のエコーゾンデ観測において、着地まで観測を継続して取得したデータを利用した。

特殊ゾンデ観測の実施にあたり、昭和 48(1973)年に特殊ゾンデ観測実施要領(暫定版)が制定された。昭和 52(1977)年にオゾンゾンデ観測を除く特殊ゾンデ観測は中止となり、平成 2(1990)年には気象官署観測業務規程にてオゾンゾンデ観測を定めて、特殊ゾンデ観測は廃止された。

(ア) 気象電気ゾンデ

雷の放電など大気中の電氣的な現象は雲の中だけではなく、晴天時でも大気中には電場が存在(空中電気または大気電場)している。地球表面はマイナスの電荷を帯びる

ており、一方で上空の電離層はプラスの電荷で帯電しており、地球表面との間には約 300kV(キロボルト)の電位差が保持されている。大気は完全な絶縁体ではないため、両極間の電位差は消失するはずだが、実際にはこの両極間の電位差はずっと維持されている。これを維持するためのメカニズムとして現在考えられている有力な説は、全地球上の雷活動が発電作用となって電離層と地球表面とを結ぶ地球規模の電気回路(グローバル・サーキット)を形成しているというものである。この電流の強さや収支を観測し、また空気の伝導率などを観測するために気象電気ゾンデが開発された。

高層気象台では、IGY において上層大気の電位傾度と電気伝導度を同時に測定する気象電気ゾンデ(RSII-E57 型)を飛揚した。IGY 以降、気象電気ゾンデには改良が加えられ、電位傾度の測定に用いる回転集電器の高精度化や、電気伝導率の測定に用いるゲルジェン円筒(コンデンサ)に関して高高度での負バイアス解消に向けた考案が昭和 36(1961)年頃に行われた。高層気象台において使用した気象電気ゾンデの履歴を表 3.8.1 に示す。

高層気象台における気象電気ゾンデの飛揚は水曜日の 15 時で、飛揚 1 時間前の天候が不適な場合、放球困難な場合、危険地域に落下が予想される場合、特別観測と重複する場合は観測を中止した。なお、放射性同位元素規制の関係で、昭和 47(1972)年には EG70 型の使用を止めて、E70 型(図 3.8.4)に変更した。



図 3.8.4 気象電気ゾンデ(E70 型)

(イ) 露点ゾンデ

成層圏における水蒸気量は非常に微量で、その測定はとても困難だが、オゾン層などに関連した成層圏の光化学反応に水蒸気が大きく関与しているため、成層圏の水

表 3.8.1 気象電気ゾンデの改良と高層気象台における使用履歴

型式	使用開始年	特徴	信号切替
E57型	昭和32年 (1957)	電場：回転集電器 電気伝導率：ゲルジェン円筒（2重型アルミ製） 電位：真空管3S4・1T4	モータカム方式
E63型	昭和39年 (1964)	空地電流密度：アンテナ集電器 電気伝導率：ゲルジェン円筒（網型・銅にメッキ） 電位：真空管5886, 1E-R20	モータカム方式
E65型 (EG65型)	昭和43年 (1968)	電位傾度：ポロニウム集電器 電位：真空管5886, 2SC372	モータカム方式
EG70型	昭和46年 (1971)	電位傾度：ポロニウム集電器 電位：真空管5886, トランジスタ 放射性同位元素規制のため昭和47年頃に使用中止	トランジスタ ・マルチ方式
E70型	昭和47年 (1972)	空地電流密度：アンテナ集電器 電気伝導率：ゲルジェン円筒（網型・銅にメッキ） 電位：真空管5886, トランジスタ	トランジスタ ・マルチ方式

蒸気量を測定することは極めて重要である。大気中の湿度(水蒸気量)測定能力を向上させるために、IGY を契機に日本では鏡面冷却式露点温度計を使った H57 型露点ゾンデを開発して水蒸気量を観測した。図 3.8.5 に H70 型露点ゾンデを示す。

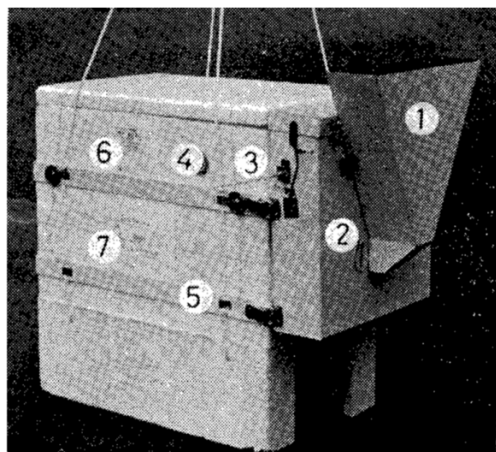


図 3.8.5 露点ゾンデ(H70 型)

露点ゾンデによる露点温度の測定は、次のような方法で行われる(露点ゾンデの構成図を図 3.8.6 に示す)。光源の光を直達光と鏡面を反射する光に分けて、セクターで交互に受光センサーに送り、受光センサーにおける両方

からの光の強度を等しくなるように予めシャッターで調節しておく。直達光と冷却した鏡面に生じた露・霜により減衰した鏡面反射光の強度差をもとに制御リレーの働きで鏡面をヒーターで暖めて鏡面の露・霜を蒸発させる。このヒーターが ON となった時の鏡面温度を露点・霜点温度とする。この動作を自動制御で繰り返すことで露点・霜点温度の観測を行う。

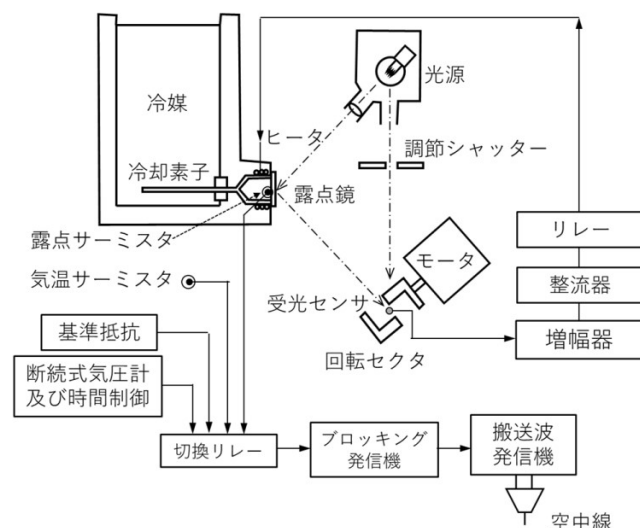


図 3.8.6 露点ゾンデ構成図

表 3.8.2 露点ゾンデの変遷と高層気象台における観測履歴

型式	使用開始年	特徴
H57型	昭和32年 (1957)	露点鏡の測温にデスク型サーミスタ使用. 加熱冷却方式は自動制御（真空管－光電管）方式. 冷媒はフレオン™No.12 (CFC-12).
H60型	昭和36年 (1961)	H57型の安定度改善のため、光学系と増幅器系を分離. 露点鏡の測温にビード型サーミスタ使用.
H64型	昭和41年 (1966)	IQSY用に開発. 露点計に動作チェック信号を付加.
H64C型	昭和41年 (1966)	H64型の冷却能力改善のため、冷媒・CFC-12にドライアイスを混入.
H64D型	昭和43年 (1968)	H64C型の受光素子・光電管をCdSに、真空管式増幅をトランジスタ化. 筐体をアルミニウム板製から発泡スチロールに変更.
H68型	昭和43年 (1968)	測定要素切換は、冷却時は露点鏡温度、加熱時は気温を測定.
H69型	使用せず	トランジスタ化と合理化を図り、量産化を検討. 光電管を太陽電池に変更. 加熱冷却方式は自動制御（トランジスター太陽電池）方式.
H70型	昭和46年 (1971)	H69型をもとにした量産型.

高層気象台における露点ゾンデの飛揚は火曜日の 15 時で、飛揚 1 時間前の天候が不適な場合、放球困難な場合、危険地域に落下が予想される場合、特別観測と重複する場合は観測を中止した。高層気象台において使用した露点ゾンデの履歴を表 3.8.2 に示す。

(ウ) 輻射ゾンデ

地表面はその温度に応じた赤外放射を上向きに出し、この放射は大気中の雲や水蒸気・炭酸ガス・オゾンなどに吸収されて、それぞれの物質から再放射されて上方に伝わる。ある高さの空気塊に入る放射と出る放射との差がその空気を温めたり冷やしたりする。この大気放射は、大気循環や大気物理の重要な因子であるため、これを測るために輻射ゾンデが開発された。わが国でも昭和 37(1962)年頃より夜間に大気放射を測定する輻射ゾンデの開発を手掛けて、RSII-R62 型として IQSY において飛揚した。

輻射ゾンデは、輻射の上向及び下向成分を別々に測定するため、左右に突出した腕の先端に二個の感部が取り付けられている。感部は、長波長放射をほぼ完全に吸収する黒色受感膜とほぼ完全に反射するアルミ反射膜が使われ

て、それらの温度とその時間変化から長波長放射量を求める。また、ゾンデ本体はアルミ板製で、発振器や電池からの熱放射を避けるため、外壁が二重になっている。図 3.8.7 に R69 型輻射ゾンデを示す。

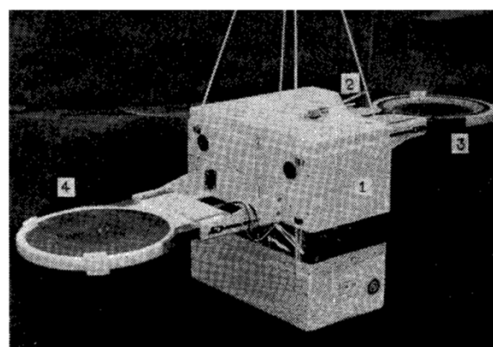


図 3.8.7 輻射ゾンデ(R69 型)

高層気象台における輻射ゾンデの飛揚は水曜日の 03 時で、飛揚 1 時間前の天候が不適な場合、放球困難な場合、危険地域に落下が予想される場合、特別観測と重複する場合は観測を中止した。高層気象台において使用した輻射ゾンデの履歴を表 3.8.3 に示す。

表 3.8.3 輻射ゾンデの改良と高層気象台における観測履歴

型式	使用開始年	特徴
R62型	昭和40年 (1965)	IQSYで使用. 当初は5枚型感部(ポリエチレン膜2枚, 受感膜1枚, 反射膜2枚). 急激な周囲温度上昇時の感部反応の改良のため, 4月以降は3枚型感部 (ポリエチレン膜, 受感膜, 反射膜各1枚)に切換.
R66型	昭和42年 (1967)	サーミスタの特性安定のため, 防水性能の高いガラスコーティングを 施したサーミスタを採用. 生産コストを改善のため, 外枠をウレタン材(手加工)から, スチレンフォーム材(型成型)に変更.
R69型	昭和44年 (1969)	小型軽量化のため収容箱をアルミ板から発泡スチロール成型に変更. 安定化のため, 電子回路にトランジスタを使用.

(2) 特殊ゾンデの国際比較

高層気象台では, 表 3.8.4 に示した国際比較を, 気象庁
観測部高層課(当時)指導のもと実施した.

表 3.8.4 特殊ゾンデの国際比較

種類	時期	場所
電気ゾンデ	昭和38(1963)年8~9月	ベルギー
電気ゾンデ	昭和38(1963)年9月	西ドイツ
電気ゾンデ	昭和38(1963)年11~12月 昭和39(1964)年2月	米国
電気ゾンデ	昭和39(1964)年4月	インド
南極ゾンデ(日)	昭和40(1965)年5~6月	米国
気温基準ゾンデ	昭和43(1968)年12月	日本
露点ゾンデ(日), 一酸化アルミセン サーゾンデ(米)	昭和45(1970)年3~5月 昭和46(1971)年6,9,12月	米国
輻射ゾンデ	昭和46(1971)年3月	米国,ソ連

昭和 41(1966)年の WMO 第 18 回執行理事会で各国の
ラジオゾンデ等の国際比較観測の実施について採択され,
翌年の WMO 測器観測委員会(CIMO)のラジオゾンデ・レ
ーウィンゾンデ観測作業委員会で検討の結果, わが国は
旧ソビエト連邦と気温基準ゾンデの比較観測を行うこと
になった. わが国では, 昭和 41(1966)年に高精度($\pm 0.2^{\circ}\text{C}$)
での気温測定を可能とする気温基準ゾンデの試作を開始
して, 翌昭和 42(1967)年に完成した(図 3.8.8). 昭和
43(1968)年 12 月に, 旧ソビエト連邦との比較観測を高層
気象台で行い, 両国のゾンデの観測値がよく一致してい
ることを確認した. 昭和 43・44(1968・1969)年にはルー
チン用ゾンデの RSII-56 型との比較観測を高層気象台で

行った(観測部高層課: 1972). また, 昭和 57(1982)年には
RS2-80 型との比較観測を高層気象台で行った(観測部高
層課: 1984).

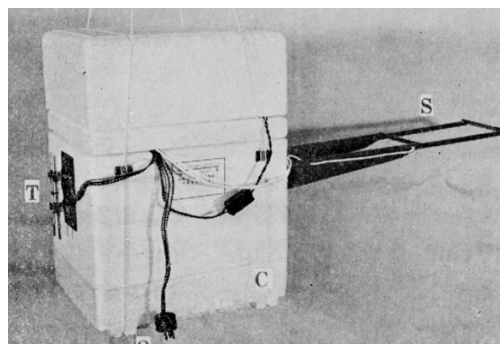


図 3.8.8 気温基準ゾンデ(TR67A 型)

(3) 放射能ゾンデ

昭和 29(1954)年 3 月 1 日の第五福竜丸事件の後, 同年
5 月 1 日に日本学術会議は放射線の影響を総合的に研究
するために「放射線影響調査特別委員会」を設置した.
同委員会地球物理班の会議において放射線影響調査の基
礎資料として人工放射能の常時連続的な観測の必要性が
指摘されて, 気象庁が放射能の常時観測を行う方針が決
定された. これを受けて気象庁は, 翌昭和 30(1955)年 4
月から全国 15 か所の気象台, 測候所, 南方定点観測船及
び海洋観測船で, 雨及び雪の放射能, 塵あい(ちり, ほこ
り)の放射能, 海水の放射能の観測を開始した. また, 原
子力基本法の成立を受け, 昭和 31(1956)年 1 月に発足し
た原子力委員会は, 同年 10 月に「放射能調査計画要綱」
を立案し, 国内の各機関による放射能常時観測体制の確
立を図った. 気象庁の放射能観測も昭和 32(1957)年度か

らその要綱に基づく「放射能調査実施計画」の中に位置づけられ、観測項目に上空の放射能等が加わり、それらの予算は科学技術庁原子力局の「放射能調査費」(後の放射能調査研究費)で賄われるようになった。以後、放射能観測の予算は気象庁予算と放射能調査費の2本立てとなった。

水爆実験に伴う大気中の放射能対策として、高層大気中に浮遊している放射性ちりの残量と降下状況を把握するために、大気中の放射能の鉛直分布を観測する目的で、気象研究所の石井らは γ 線を測定する放射能ゾンデを開発し、昭和29(1954)年夏から観測を開始した(石井:1956)。その後、昭和34(1959)年9月から高層気象台において放射能ゾンデの観測を開始した。翌昭和35(1960)年に放射能調査業務は気象研究所から気象庁観測部測候課(当時)に移管され、高層気象台は引き続き放射能ゾンデ観測に係る実務を担当することとなった。当初は、 γ 線の積算値をモールス符号に変換して送信するT型放射能ゾンデを使用した。昭和36(1961)年からは、高空(18~30km)の γ 線をより正確に観測するS型放射能ゾンデに変更し、昭和46(1971)年まで使用した。

放射能ゾンデには、 γ 線検出器の種類によりガイガーミュラー計数管を用いるGM管型と、タリウム活性化ヨウ化ナトリウムが放射線の刺激を受けて発する蛍光を捕えるシンチレーション型計測部を用いるシンチレーション型がある。当初はGM管型の放射能ゾンデ(T型、S型)により観測を行っていたが、GM管型に比べてシンチレーション型は γ 線の検出効率が高いこと、 γ 線エネルギーの測定ができることなどから1970年頃より開発が進められ、高層気象台では昭和45(1970)年にシンチレーション型放射能ゾンデを初めて試験飛揚し、昭和48(1973)年には同RC-701B型第1号機を飛揚、年1から3回程度の観測を継続した。また同年には電波管理局(当時)から放射能ゾンデ実験局として承認され、その後昭和51(1976)年には気象援助局となった。

RC-701B型放射能ゾンデは、昭和47(1972)年に製造されたものは8.7kgあったが、その後、電源部の改良(昭和48(1973)年)、シンチレーション検出部を収納するハウジングをアルミ製に変更(昭和49(1974)年)、発信器のトランジスタ化(昭和50(1975)年)や電子回路のIC化(昭和52(1977)年)等による省電力化が図られたことに伴い電源部に小型の注水電池が使用可能となった(昭和56(1981)年)ことから、2.6kgまで軽量化が行われた。

放射能ゾンデ観測では、平成4(1992)年のJMA-91型高層気象観測装置の導入に伴い、同装置で受信したRC-

701B型放射能ゾンデからのFM検波出力を受信信号分離変換装置に入力して放射線パルスと気圧信号に弁別・計測するように処理プログラムを刷新した。

RS2-91型レーウィンゾンデを活用し、観測の安全性向上・簡便化・器材減少によるコスト削減のため、新型放射能ゾンデ及び放射能観測処理プログラムを開発した。これにより放射能ゾンデ観測のための専用付加装置(受信信号分離変換装置やデータレコーダ、シンクロスコープ等)は不要となり、観測処理システムの簡素化が図られ、平成6(1994)年から翌年にかけて、気温・気圧測定部にRS2-91型レーウィンゾンデを使用したRC-701BA型を4回飛揚した。翌年にはシンチレーション計測部の光電子増倍管の小型化等により、従来の3分の1の体積、3分の2の重量と、大幅な小型・軽量化が図られたRC-94型に変更を行った。 γ 線の計測は、波高弁別器から出力される計数パルスを積算カウンタで計数することにより行われ、計数値は688から3805Hzの周波数に変換され、放射能計測信号として気圧・気温の要素信号と切替えて送信された。

高層気象台における放射能ゾンデ観測は、年にほぼ3~4回の割合で実施された。実施時期は、環境放射能濃度レベルの通年の推移を把握するため季節に偏りがないように、年4回の場合は3月、5月、9月および12月に実施し、年3回の場合は主に3月と5月または9月および12月に実施した。

気球破裂後の放射能ゾンデが内陸に落下し、落下時の衝撃等による事故を防止するため、昭和53(1978)年から、夏季の1回は綾里の気象ロケット観測所(当時)において観測を実施していたが、平成13(2001)年3月に気象ロケット観測が廃止され、同年と翌年の夏季の観測は八丈島測候所において実施したが、それ以降の夏季の観測は中止となった。

気象庁は、国の総合的な放射能調査計画に位置づけられ、核実験や国内外の原子力関連施設事故等に備えるため、環境放射能レベルの監視を続けてきたが、平成17(2005)年に、国として効率的な観測体制のあり方が再検討された結果、環境省や都道府県等の観測体制が十分に整備されていることから、気象庁の放射能観測は平成18(2006)年3月末をもって終了することとなった。高層気象台における放射能ゾンデの飛揚は、平成18(2006)年3月に太陽直射光の影響調査のために実施した3日間昼夜連続観測(計5回)が最後となった。シンチレーション型放射能ゾンデ以降の観測時刻は15時がほとんどであり、高層気象台において、夜間に観測が実施されたのは、

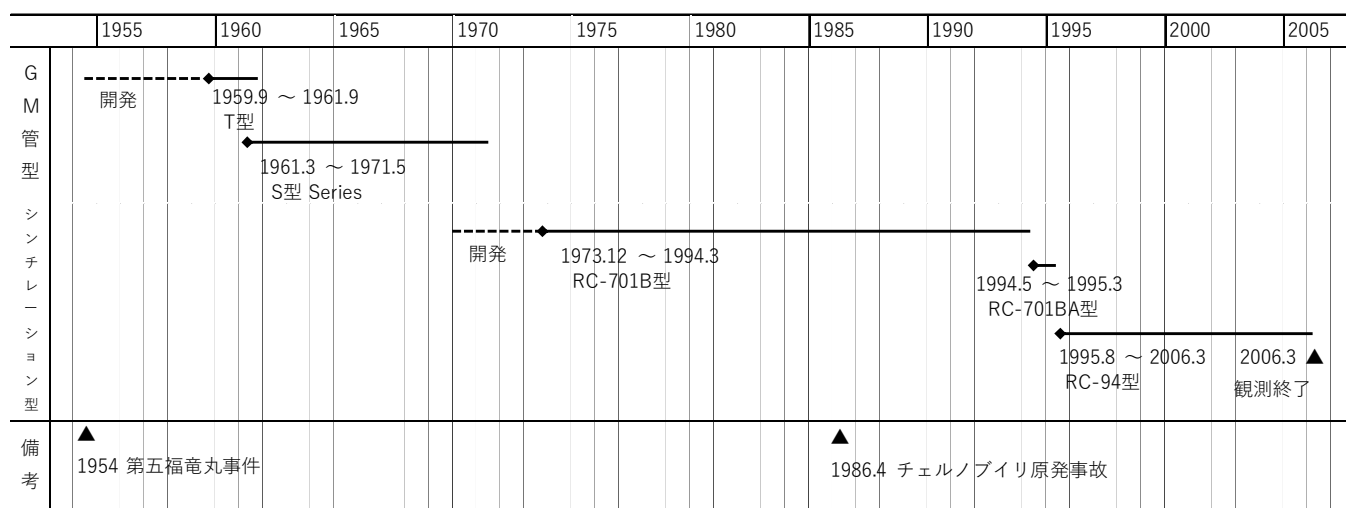


図 3.8.9 放射能ゾンデの変遷

上記連続観測の3回だけであった。高層気象台において使用した放射能ゾンデの履歴を表3.8.9に示す。

平成16(2004)年には、放射能ゾンデ観測の蓄積データを活かして、 γ 線計数値の経年変化を把握することを目的に、観測前に実施する飛揚前点検値から計数効率を求め観測値の補正を試みた(井上ほか:2004)。また、環境放射能調査研究成果発表会(文部科学省主催)で「放射能ゾンデ観測値の経年変化考察のための試み」を発表した。平成18(2006)年には、1979年から2005年までの観測値の経年変化について、飛揚前点検値を利用して検出器の個体差を除去し、蓄積データを同一基準の計数値として比較可能にするため、代表計数効率による「規格化」を用いて、放射能ゾンデ観測値の経年変化に関する調査を行った(井上ほか:2006)。

(4) 研究用特殊ゾンデ飛揚への協力

昭和32(1957)年からのIGYの経験から、上部成層圏の気象観測を強化する必要性が認識された。気象庁においても、気象ロケット観測の検討・開発が行われ、昭和39(1964)年に気象庁独自の気象ロケット1号機がIQSY観測の一環として発射された。同年、高層気象台では、ロケットゾンデ用のパラシュート開傘試験観測を実施し、翌昭和40(1965)年にはロケットゾンデ用温度センサーの試験飛揚を行った。

昭和42(1967)年には気象研究所の委託による測雲ゾンデや中性子ゾンデ、名古屋大学委託による電荷ゾンデ、早稲田大学の宇宙塵ゾンデの委託飛揚を行った。また、この年には気象研究所の振動ゾンデ、含水量ゾンデの委託飛揚も行った。以降も高層気象台は長期にわたり、気象研究所の振動ゾンデ、含水量ゾンデ、上昇流ゾンデ、

散乱光ゾンデ、成層圏試料採取ゾンデ、雲粒子ゾンデ等の特殊ゾンデを飛揚して、特殊ゾンデによる研究観測に多くの協力を行った。

参考文献

- 地磁気観測所 (2007): 空中電気(大気電場)の基礎知識.
https://www.kakioka-jma.go.jp/knowledge/ae_bg.html
 (2020.12.1 閲覧)
- 地球環境・海洋部環境気象管理官 (2006): 放射能観測 50 年誌. 測候時報, **73**, 117-154.
- 林英之助 (1960): 露点用ラジオゾンデ. 天気, **7**, 口絵.
- 井上聖吾・岩坪昇平・佐藤昌志・藤田建・武井保幸 (2004): 放射能ゾンデ観測値の経年変化考察のための試み. 高層気象台彙報, **64**, 13-18.
- 井上聖吾・塩水流洋樹・溝端秀之・奥山順健・岩渕真海 (2006): 放射能ゾンデ観測値の経年変化とその変動要因. 高層気象台彙報, **66**, 13-20.
- 石井千尋 (1956): 放射能ゾンデとその改良. 天気, **3**, 102-105.
- 観測部高層課 (1995): 高層気象観測の変遷と観測実施官署の履歴 観測資料の有効利用のために. 97pp.
- 観測部高層課 (1972): 現用のゾンデ. 測候時報, **39**, 323-353.
- 観測部高層課 (1984): RS2-80 型レーウィンゾンデの気温基準ゾンデとの比較観測について. 測候時報, **51**, 367-377.
- 気象庁 (1975): II 部門別史 第5章 高層気象観測. 気象百年誌, 339-351.
- 気象庁観測部 (1965): 昭和40年度 高層技術打合せ資料.
- 気象庁観測部 (1966): 昭和41年度 高層技術打合せ資料.

- 気象庁観測部 (1967): 昭和 42 年度 高層技術打合会資料.
気象庁観測部 (1969): 昭和 44 年度 高層技術打合会資料.
気象庁観測部 (1973): 特殊ゾンデ観測実施要領(暫定版).
40pp.
高層気象台観測第二課 (1963): 放射能ゾンデ観測資料.
高層気象台彙報, **31**, 214-224.
高層気象台観測第二課 (2007): 高層気象台における放射
能ゾンデ観測 48 年の記録. **67**, 121-136.
三浦四郎 (1967): ゾンデ落下点の推定法. 研究時報, **18**,
522-526.
小熊一人 (1969): 高層気象観測装置. 気象研究ノート,
99, 150pp.
関原樞 (1975): 日本の下部成層圏における輻射ゾンデ観
測とその解析, 気象研究所研究報告, **26**, 93-110.
清水正義(1982): 気象観測と測器 3.高層気象観測. 天気,
29, 13-21.
高橋幸弘 (2014): 4.大気電気学: 全地球回路. プラズマ・
核融合学会誌, **90**, 137-140.
外山芳男 (1979): 現用露点ゾンデの露霜点の誤差の要
因と改良について, 気象研究所研究報告, **30**, 93-
109.