

気象よもやま話



NPO 法人 気象システム技術協会 編集・発行

まえがき(発行者)

季刊MeST ニュースレター発行以来5年間(2020年5月から2025年7月)にわたり掲載した記事を原作者の承諾を得て、MeST 編集担当者がまとめ、冊子版にしました。

史実や原作者の経験を基本に記載していますが、調査確認が不十分な点については、どうぞご指摘下さい。

まえがき(原作者)

挨拶で「今日はお天気で良かったですね」、落語の「今日は寒いのもう、山は雪だんべー」などは日常の生活習慣である。日常の細やかな気象変化は、万葉集を始めとする古文書、そして百人一首などに気象に関わる記述が多く、豊かな日本の文化を育んできた。

明治時代以降、東京気象台以外に旧日本軍、満州国、南洋庁の気象観測、商船の船上気象観測など様々な気象観測の組織が1945年8月まで続いた。終戦によってそれらの組織が解体され、同時にそれまでの気象業務も消滅した。戦後も一部継続された業務もあるが、その数は少ない。戦時下という特殊性のために気象業務も軍の行動に資することが目的で、国民の社会活動に供することは少なかったと思う。もともと気象情報は戦略情報であり、現在も一部の国では容易に公開されない。

古くから生活の中に生かされた経験の積み重ねと、これらの経験を取り込んで近代気象学は成り立っている。現在の気象観測は、先人の残した古典的なものから、近年の最先端の技術を駆使したひまわりなどの気象衛星、スーパーコンピューターの活用まで、極めて幅広い技術に支えられている。そのような先人の足跡を本冊子で紹介する。

目 次

まえがき

第1章 気象のあゆみ	1
1. 1 世界での気象のあゆみ	1
1. 2 日本での気象のあゆみ	2
i. 17世紀以前	2
ii. 17世紀以降、幕末まで	3
iii. 明治初期から太平洋戦争終結まで	4
iv. 第二次世界大戦後	6
コラム	8
1. 3 気象アラ・カルト	9
i. 気象神社	9
ii. 作られた神風	11
第2章 気象環境を民間で調べる	13
2. 1 民間の気象調査黎明期(1)	13
2. 2 民間の気象調査黎明期(2)	15
2. 3 上層風観測と民間気象業者	17
2. 4 上層風観測	19
2. 5 民間気象事業者のラジオゾンデ観測	21

第3章 気象情報を民間で伝える 23
気象情報と民間気象事業者 23

第4章 気象をはかる 25
4. 1 気象観測の変遷 25
4. 2 百葉箱誕生と露場の設営 27
4. 3 温度測定用ガラス製棒状温度計 29
4. 4 気象と農業における温度観測 31
4. 5 風をはかる 33
4. 6 日射と日照をはかる 35

あとがき



第1章 気象のあゆみ

1. 1 世界での気象のあゆみ

気象は社会活動の中で身近な自然現象であり、大気現象を扱う気象学の歴史は紀元前まで遡る。

気象を社会活動に役立たせるために、当初はヒトの五感に頼り情報を得ていたが、15世紀頃から理論や技術の発達に伴い、その理論を証明するための試行錯誤や実験・観測が行われ、様々な気象観測機器が生まれた。

例えば、気圧計はイタリアのトリチェリが真空発見時に水銀を使用した道具の原理を応用し、後に水銀気圧計が誕生した。気象現象を有効に利用するには、その実態を把握することが不可欠で、必然的に気象観測が重要となる。気象観測機器は、西欧での物理学や気象学の発達に伴って発明され、ヒトの五感から、機器を利用した気象観測へと徐々に進化した。

また、広域で観測結果を相互利用するとなれば各所の観測機器の信頼度が重要となる。中でも雨量観測は古く、インド北部のヒマラヤ南麓で紀元前四世紀の観測事例が報告されている。広域かつ長期間の雨量観測は、1442年に朝鮮王朝時代の測雨器(図 1.1)を用いた事例が知られている。

1879年、各国の気象台長は統一ルール確立のためローマに国際気象機関(IMO)を設立したが、1940年代末解消し、その後、1950年設立の世界気象機関(WMO)が業務を引継いでいる。WMO参加の各国は、WMOの勧告に基づき気象業務を行っている。民間も観測手法・結果の信頼性等を担保するため勧告を参考にする必要がある。



図 1.1 朝鮮王朝時代の測雨器
<https://japanese.korea.net/NewsFocus/Culture/view?articleId=181180>

1. 2 日本での気象のあゆみ

i. 17世紀以前

古くから人類の生活は、気象の急激な変化によって、時には甚大な被害を被った。技術が乏しい時代であったにしても、空模様から天候を予測する技術を経験的に身につけてきた。これらは日本ばかりでなく、世界各地で社会活動に利用されてきた。

特に、日本は南北に長い島国であり、大陸のように気候も安定したものでなく、四季もはっきりし、日々の気象変化は細やかであるが、時には激しい現象を伴う。故に、国内には気象に関わる言い伝えや諺が多く、地域性も強い。

中国4000年の歴史の真実は定かでないが、中国の影響を少なからず受けている日本の飛鳥時代に、朝鮮を経て伝わった暦に関する技術の中には、天体運行、地図や暦そして生活暦(農事含む)があり、天候の予測(今で云う予報か)や占を行っていたと云う。

技術の伝来以降、例年、暦の編暦作業は、朝廷の陰陽寮が行っていたが、1684(貞享元)年に、幕府は神社奉行の中に「天文方(テンブンカタと言う役職)」を設置し、陰陽寮から移管して編暦作業を行った。これらの情報は暦等で公開されて社会活動に供されていた。当時の幕府内には今日のような気象業務のみを司る独立した組織ではなかったが、天文方は唯一組織的に気象業務に取り組んだと云えよう。

また、穀物相場が天候に依存することから、社会秩序を乱すデマや根拠ない予測等を天文方が取り締まっていたようだ。変遷はあったものの天文方の業務は明治初頭まで続き、その間に天文台なども創設している。今日の神社が発行している暦は編暦作業の名残かも知れない。

ii. 17 世紀以降、幕末まで

鎖国時代、幕府は、オランダおよび中国に、長崎港の出島で交易を行うことを許した。対馬は朝鮮と、薩摩は琉球(当時は独立国)と、北海道の松前はアイヌとそれぞれ交易をしていた。これらの交易を通じて諸外国の文化や技術が日本に渡来したことは周知のことである。

1835(天保 6)年、晴雨計と寒暖計がオランダ政府から幕府に贈られ、この二器を江戸天文台内(1690 年本所に築く)に据え付け、その年の 8 月より毎日 1 回定時観測をしていた。観測や管理は天文方が行っていたことになる。

鎖国から開国へと時代が変わりつつある中、イギリス、オランダ、ポルトガル、イタリア、ロシア、アメリカなどの諸外国が日本に開国を迫り、これら外国人によって、長崎港出島、那覇港、函館、神奈川、横浜港、新潟港、大阪などでも以前から観測が行われている。日本人がこの観測に直接関与したかどうかは定かでない。

出島でオランダ人達が観測した結果(1845~1885)はオランダ王立気象研究所に、シーボルト(Philipp Franz Balthasar von Siebold:ドイツ語)らによって観測した結果(1819~1828)はドイツのポッフムのルール大学収蔵の報告(地理学評論 75-14,P901-912)に記述されている。

江戸時代末期の気象観測は、いずれの観測場所も海岸付近に設置されていることから、交易に伴う航海に供することが主目的であろう。近年、埋もれている観測資料が多く研究者により発掘されつつあるが、使用した観測機器を示す資料は極めて少なく詳細はわからない。観測機器のほとんどは、15 世紀以降西欧で物理学や気象学の発達に伴って発明され、その恩恵を受けて不完全ながらも観測機器を利用した気象観測へと、緩やかに変貌したものと思われる。

iii. 明治初期から太平洋戦争終結まで

慶応 4(1868)年明治政府が誕生した後も社会の混乱は暫く続いた。その中で明治 5(1872)年 8 月、日本最初の気象観測所が函館に開所した。3 年後の明治 8(1875)年 6 月 1 日に東京気象台が設立(図 1.2)された。観測だけでなく気象業務を司ることになった。当時の日本は気象学や観測機器の理論や製造技術に乏しく、それらの知識や技術は招

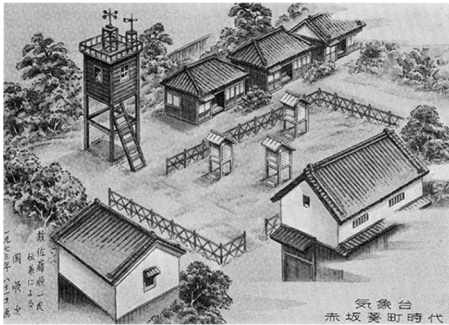


図 1.2 気象台赤坂観測時代
「気象百年史資料編」から

聘外国人技術者など海外に依存していた。

気象台の他、気象に関わったのは大学や軍隊であった。明治 4(1869)年に陸海軍が誕生し、その中で海軍には水路部が置かれ、測量の他に気象や海洋観測を行った。軍の作戦行動に資することが目的であり、海図や海象の

一部は公開されたが、作戦に関する情報は非公開であった。

国内の気象観測に用いる観測機器は、ほとんどイギリスはじめ西欧からの輸入品であった。輸入する時、イギリス キュー気象台の検定を受けることや国際気象機関(IMO)に参加するなど、気象業務に携わる当時の人々の意識の高さを感じる。キュー気象台の検定は、今日の測器検定の原点と考えられる。当初の気象観測は、気圧、温度、風向、風速、雨量などで、現在の地上気象観測の基礎となり、中でも水銀気圧計は電子式気圧計の実用化まで、気象測器としては極めて長寿命の測器である。第一次世界大戦勃発(1914~1918 年)で、海外からの測器の輸入の道が閉ざされ、官民一体となり国内生産に尽力した。

広域観測するには測器や観測法の統一規格が重要で、スミソニアン気象観測法を参考に日本独自の気象観測法が明治 13(1880)年に刊行され変遷を経て今日に至っている。

気象観測開始当初、記録機能を有する気象測器はなく、全て有人観

測で、その観測も日中だけでなく夜間も実施され、観測回数も増加の一途を辿った。観測データは電報により中央气象台に集められそれを元に最初の天気図を明治 16(1883)年 3 月 1 日に発行(図 1.3)、翌年全国の天気予報を発表した。時代とともに気象測器は国産となった。時計や電池の実用化に伴い、記録機能を持つ気象測器の開発は明治 25(1892)年以降と思われる。気象測器は新部材導入などしてきたが、昭和 25(1950)年頃まで原理的な変化は少なかった。

天気予報では、日本海海戦の明治 38 (1905)年 5 月 27 日、中央气象台予報課長 岡田武松(当時 32 才)が発した「天気晴朗ナルモ波高カルヘシ」の予報を参考に、海軍主席参謀 秋山眞之中佐が軍事電報に「天気晴朗されども波高し」を付け加えて発信し作戦行動に役立ったという、有名な話がある。

太平洋戦争終結で、軍は解体され、陸軍気象業務は保有している観測器材を人材も含め中央气象台に、海軍水路部業務は現在の海上保安庁に引き継がれた。



図 1.3 日本最古の印刷天気図
明治 16 年 3 月 1 日 気象庁保存
「気象百年史資料編」より

iv. 第二次世界大戦後

昭和20(1945)年8月14日ポツダム宣言を受諾、翌15日玉音放送、そして9月2日東京湾内のアメリカ海軍戦艦ミズーリ艦上で戦争終結の調印が行われ、太平洋戦争が終結した。

戦前、国民の財産生命に関わる気象業務は国の専管事項で中央気象台の所管であったが、敗戦により全てがGHQの管理下となり、GHQ司令部から気象台の縮小並びに人員整理等が命令された。このため、業務の一部が履行出来なくなり、気象台の外郭団体(財)気象協会を昭和25(1950)年に設立して業務を移管した。GHQの占領政策は、昭和27(1952)年4月まで続き、以降、中央気象台で気象業務は続けられ、昭和31(1956)年に気象庁に昇格した。

気象学や電子技術の発達で、人手による気象観測は、順次電子技術を採用して自動化が進み今日に至っている。戦後、日本の台風観



写真1.1 WB-29の後続機WB-50D
(米空軍博物館資料より)

測体制は脆弱で米空軍気象隊から情報を得ていた。米空軍は終戦直後から余った爆撃機を改造した飛行機(WB-29等)を使用し、気象観測や大気放射能測定等を行い、台風観測はその一環に過ぎなかった。しかし、飛行機は台風の目に突入し、ドロップゾン

デなどを使用して台風観測を行っていた。その後、WB-29の老朽化に伴い爆撃機や輸送機を改造したWB-50D(写真1.1参照)、WC-130等を使用した。1960年頃、米空軍から日本に台風観測の引継ぎの打診があったが態勢と経済的理由で実現しなかった。この米空軍の台風観測は昭和62(1987)年8月中止となった。

日本は独自に観測計画を立案し、昭和39(1964)年に富士山測候所

に気象レーダーを設置して運用した。昭和52(1977)年7月14日気象衛星「ひまわり」を打ち上げて翌年4月に運用開始、今日も気象衛星は更新しつつ継続している。富士山レーダーは、「ひまわり」や他のレーダーの設置で、平成11(1999)年11月1日に観測を終了した。富士山測候所は平成16(2004)年に無人化され、富士山地域特別観測所となった。富士山頂から取り外されたレーダーは平成13(2001)年、富士吉田市に移設され、市立富士山レーダードーム館(写真1.2)で公開されている。



写真1.2 富士吉田市立富士山レーダードーム館

コラム

官の流れとは別に、明治 15(1882)年に東京気象学会が創立され、今日の公益社団法人日本気象学会へとつながる。

私的な気象観測施設として、野中至・千代子夫妻が明治 28(1895)年 8 月 30 日に私費で富士山頂に観測用建物を建て、山頂で気象観測を開始した。

その後、山頂での観測は散発的に続いたが、昭和 11(1936)年、国費による常設測候所となり、平成 16(2004)年の無人化に至るまで国によって有人観測を行っていた。



図 1.3 富士山剣ヶ峰にあった野中至の気象観測所

鈴木雅史,2015:「野中至の富士山頂気象観測所建設に関する富士山本宮浅間大社所蔵の文書について」,富士山学研究,Vol12,No2 から

1. 3 気象アラ・カルト

i. 気象神社

神国と云われる日本の気象に関わる神様は八意思兼命(やごころおもいかねのみこと)と伝えられ、気象神社の御祭神である。近年、



写真 1.4 現在の気象神社

気象関係者は気象に関わる神社は気象神社と答えるもののその歴史等を知る人は少ない。

気象神社の歴史は新しく、約80年である。その起源は日本陸軍の気象部である。軍隊と気象は関係が深く、軍の各部隊に気象隊(気象班)があったほどだ。その中で、昭和

10(1935)年 陸軍砲工学校内に設けられた気象部は、昭和13(1938)年4月11日に制定された勅令で、陸軍の気象を担当する軍人の教育及び育成を行う陸軍気象部となった。本拠地は東京都杉並区馬橋四丁目(今の高円寺北四丁目)である。昭和18(1943)年夏、陸軍気象部長 諫式鹿夫から気象部第二課の渡会正彦(2008年没)に気象神社建立の下命があった。渡会正彦は東大の松下清夫(1910~2003)らと相談し、設計と宮大工手配を内務省の神社建築の権威 角南隆(1887~1980)に依頼、気象神社を収める神域は造園学の泰斗 東大の田村剛(1890~1979)が担当し、昭和19(1944)年4月10日に気象神社が建立された。その後、昭和20(1945)年4月13日の米軍による空襲で、陸軍気象部も被災し気象神社は焼失した。直ちに田村剛が中心となって再建立したが、終戦となった。

気象神社建立に携わった田村剛以外の方々は建築学者で後にそれぞれの建築学分野の重鎮となった。太平洋戦争の終結(昭和20(1945)年8月)により、日本軍は解体され、気象に関わった軍人も復員・転属

し、後に気象事業に従事、気象業務の発展に尽力した方も多し。陸軍気象部跡地は後の気象庁気象研究所となり、その後、気象庁気象研究所は、昭和55(1980)年6月30日つくば市筑波学園都市内に移転した。現在、跡地は杉並区営の馬橋公園になっている。

戦後の日本はGHQの統治下となり、神道指令の一環で、宗教調査局が国家神道廃止のための調査を行ったが、気象神社は調査から漏れて残った。これとは別に、宗教調査局の調査前に気象神社を陸軍気象部敷地から運び出し、難を逃れたとの話もあるが、確かな証拠は得られなかった。終戦直後からしばらくして関係者が陸軍気象部の様子を見に行き、気象神社の存在を確認して遷座すべく場所を探し、高円寺 氷川神社宮司 山本実(東京都杉並区高円寺南四丁目44-19)に気象神社の受け入れをお願いし承諾された。

昭和23(1948)年9月18日、氷川神社の例大祭に合わせて本殿西側に遷座した。その後平成15(2003)年6月、老朽化に伴い神社を再建立した。現在の気象神社は三代目になる。気象神社の例大祭は、毎年、気象記念日の6月1日に行われている。 ※文中、敬称略



写真 1.5 気象神社境内の下駄絵馬 (右)

ii. 作られた神風

「神風」とは「神の力によって吹く強風」とされているが、自然界では人の行動に都合良く強風が吹くことはあり得ず、元々は日本特有の宗教用語であり一つの心の拠り所と考えるのが妥当であろう。「神風」の読み方も音読み・訓読みと分野により変わっている。

古くは、モンゴル帝国(元朝)の元軍と高麗の軍勢が二度(「文永の役」と「弘安の役」)にわたり九州北部に襲来(「元寇」と呼ばれている)した時、神風(強風)が吹き日本勢が勝利したとされる。元寇は突然ではなく、最初の元寇の6年前(文永5年)から国交を求める打診は数回あったが、日本が無視していたことで侵攻に至っている。最初の元寇「文永の役」は、文永11年10月に対馬などの地域を占領し、九州北部に到達して日本勢と戦った。元軍は10月20日に博多湾沿岸に上陸したが、何故か翌21日夜明け前に艦船に戻って引き上げ、帰還途中の壱岐で強風に遭遇し大被害を受けながら、合浦に帰還した。

その後、日本勢は再度の侵攻に備え、博多湾沿岸に防備の防塁(写真1.6)約六里を築く等戦いに備えた。

「弘安の役」は、文永の役から7年後の弘安4年6月6日に始まった。6月6日東路軍が博多湾に到達したが日本側の防備が固く志賀島に上陸した。一方、江南軍は6月25日頃に平戸付近に到達した。しかし、東路軍、江南軍とも



写真1.6 建治2(1276)年に博多湾の海岸線に築いた元寇防塁
「福岡市文化財情報」から

日本勢の抵抗にあい、鷹島付近に集結した。再編上陸準備中の7月30日から閏7月1日にかけて暴風で壊滅的被害を受け、戦闘を放棄し残った艦船で帰還した。二つの役での両軍の武力は刀、弓矢そして軍馬とほぼ互角だったが、元軍は火薬を用いた「てつほう」(写真1.7参

照)を使用した。これは手榴弾の原型に近い投擲弾と思われる。



写真1.7 てつほう(中身は火薬)
「松浦市立鷹島歴史民俗資料館所蔵」から

一方、日本に火薬製造方法が伝来したのは弘安の役から162年後の天文12年の鉄砲伝来と同時期と云われている。当時、日本では、強風を野分(のわき)、大風(おおかぜ・たいふう)、嵐と表現していた。

神風説は、明治初期に史学者の史実誤解や創作の結果とする考え方が

多く、戦後、史学者の「文永の役」での勝敗は台風との考えに対し気象学者 荒川秀俊(1907～1984)は「日本歴史120号」(1958年6月)に「文永の役のおわりをつげたのは台風ではない」との論文を掲載した。その後、しばらく史学者と気象学者の間で論戦が続いたが、現在では、概ね決着している。いずれの役も日本勢が勝利したのは戦闘結果説との考え方が強い。理由として、文永11年10月20日は西暦1274年11月26日で、文永の役の強風原因は、低気圧または季節風と考えられる。一方、弘安4年7月30日～閏7月1日は西暦1281年8月22～23日で、強風は台風と推測される(図1.4)。しかし、今日もこの史実に多くの研究グループが挑んでいる。

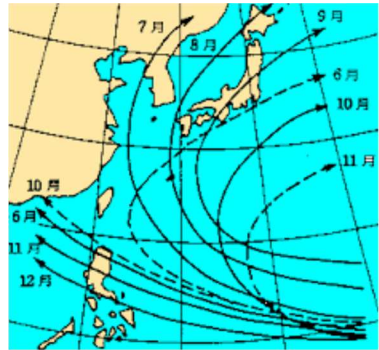


図 1.4 台風の月別の主な経路
(実線は主な経路、破線はそれに準ずる経路) 気象庁ホームページから

台風という名前は、気象学者 岡田武松(1874～1956)が1907年に定義したが、一般に普及したのは大正時代(1912～1926)になってからという。文字も当初は「颱風」だったが、昭和21(1946)年の当用漢字の制定で「台風」に変わった。

第2章 気象環境を民間で調べる

2. 1 民間の気象調査黎明期(1)

1975年以前、プラットホームに車や小型漁船、航空機などを使用した特別の観測(移動観測)の事例を紹介する。

(1) 陸の移動観測

地上では、窪地に建設される高速道路で冷氣湖が発生するため実態調査が行われた。斜面全体に複数台のバイメタル式自記温度計を配置し、観測時刻と観測精度チェックのために準器となる温度計を持って車で移動しつつ温度の比較観測を行い、記録紙にタイムチェックを入れた。観測終了後、データをまとめ、目的に沿った解析をした。当時は広範囲の準同時観測として有効な方法であった。

(2) 海の移動観測

海洋では、海洋汚染が激しい時期、限定された海域の採水や海水温、濁度、塩分他汚染物質の測定や潮流観測等をした。観測自体は多少の訓練で可能となるが、目標物のない洋上での位置標定が課題になり、沿岸の地形や構造物と観測船の位置関係や正確な時計、そして六分儀(写真2.1)等で位置を標定した。しかし、点観測の集合体が面観測を代用する時代で、観測中に海況が変化するため、観測方法は工夫されていた。

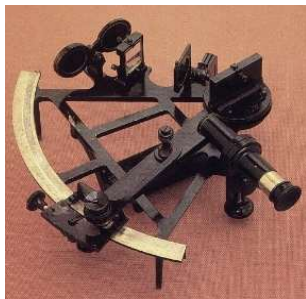


写真 2.1 六分儀
[Wikipedia] から

(3) 空の移動観測

大気調査に航空機を使用したのもこの頃で、まだ移動観測用の観測機器は乏しい時代であり、地上観測用の観測機器を搭載していた。最初は、大気汚染の実態調査で、汚染の激しい上空で、汚染物質を計測することであった。当時はサンプリングバックもなく、地上で使用していた測定器に、機体外部の空気を吸収液に導く湿式測定器で大気汚染物質の濃度測定や大気中浮遊物質をカスケードインパクターなどで観測した。

当時使用した航空機は、指定コース上で検体を規定量収集できる

飛行速度の遅い固定翼機（写真2.1）を使用した。

観測飛行する時、操縦士から「コース上の正確な飛行は難しい」と言われ、飛行前によく議論をした。機体に取り付けた長尺フィルム（35mm、250カット）用カメラで一定間隔に撮影して位置標定したが、機体は常に動揺しており、技量のある操縦士を指名するに至った。

搭載する観測機器も時代と共に性能は向上したが、位置標定は最後まで課題となった。また、搭載機器の電子化に伴い、特に無線交信は測定を不能にした。管制塔からのコールも測定中は応答せず測定終了後、交信し応答が遅いと叱られたこともあった。その後、飛行プラン提出時に飛行目的を説明して管制塔の理解を得たが、振り返れば懐かしい良き時代でもあった。

当時、回転翼機はレシプロエンジンが主で、観測でエンジンプラグが発するスパークが観測記録にノイズとして混入し測定値を読み取ることが出来ないため、数少ないジェットエンジンの機体（写真2.2）を使用した。



写真 2.2 アルエットII型
国内6機存在も現在登録抹消

制約のある条件下で移動観測を実行し、この時期に多くを学んだ。これが移動観測の黎明期といえよう。後に、双発機の先端に超音波風速計を搭載し、プラットホームの動揺と位置標定にINS（慣性航法装置）等を使用するまでになったが、今やこのような移動観測の要望は少なくなった。



写真 2.1 ピラタスポータ
国内5機あったが現在登録抹消

2. 2 民間の気象調査黎明期(2)

気象調査は気象情報に比べて法的に自由度はあった。終戦直後の日本社会は日常生活にすら困窮する時代で、気象調査を手掛けるにしてもニーズに対応する技術環境が整っておらず、公的機関が主体で、民間組織はその手伝い(アルバイト)程度であった。民間組織で必要に迫られ独自に気象調査等を行った事例はあるが、それらを公表するまでには至らなかった。

当初は公的機関や大企業が設置した観測設備で得た観測記録紙の読み取りと気象統計に始まり、処理結果を指定の形にまとめて納入していた。気象技術の乏しい民間は、気象官署や大学研究機関等の職員から技術指導を受けながら、気象技術を緩やかに発達させてきた。

当時、気象観測は棒状温度計、ゼンマイ式アスマン型通風乾湿計やロビンソン型四杯風速計、風車型風向風速計等の新旧の観測機器を使用した有人観測が主であった。無人観測をする時はゼンマイ駆動の天賦式円筒時計に記録紙をセットしたバイメタル式自記温度計(写真 2.3)や自記電接計等を使用していた。円筒時計は設置環境で回転に遅速が発生し、結果、記録紙の時間目盛りと実時刻に時間差を生じる。この時間差を補正した後、該当するデータを読取る事になる。基準とする時刻は、記録紙を交換する時にタイムチェックを行い、このチェックを基に補正



写真 2.3 バイメタル式自記温度計
(太田計器製作所製)

するのが一般的であった。

現在の電子時代でも時間校正手段がない観測システムでは基本は同じである。読み取った気象データは、算盤やタイガー手廻計算器(写真 2.4)を駆使し気象統計を行った。この古典的

に遅速が発生し、結果、記録紙の時間目盛りと実時刻に時間差を生じる。この時間差を補正した後、該当するデータを読取る事になる。基準とする時刻は、記録紙を交換する時にタイムチェックを行い、このチェックを基に補正



写真 2.4 タイガー手廻計算機
タイガー手廻計算機資料館から

な気象観測用機器も電子技術の発達で、電子式に大きく変貌した。中でも記録部は新しい感部と自動平衡記録器の出現でシステム構成は大きく変わり、安定した記録ができるようになり、詳細なデータが取得可能になった。反面、読取り量は増加してきた。このため、1970年代末に汎用的データロガーが出現した。また、1960年半ば迄、気象解析等の複雑な処理は対数表と計算尺を使用しており、高価であったが電卓が誕生するまで続いた。1970年代に入ると電子技術が進み電卓が作られ計算内容は充実し、低消費電力化を実現、小型軽量安価となって、個人でも所有できる時代となった。

戦後復興は飛躍的に進み食糧難も解消するものの、大気汚染等の公害が社会的な問題になり、当初、汚染源の対策に重点が置かれたが解決には至らなかった。法規制もなかった中で、昭和24(1949)年に東京都は「工場公害防止条例」を制定した。経済成長に伴い大規模工業地帯、臨海工業地帯等が新たに誕生し、工場の排出する煤煙量(写真2.5)は軽減出来ず、汚染は広域に渡り、日中でも視程が100 m以下の地域も出現した。当初、公的機関が対策のための実態把握観測を実施していたが、その対応に限界が生じ、1960年半ば頃から民間に委託するようになり、低層大気的气象観測、大気汚染物質の立体的な実態調査等を行い、その結果を環境対策に供した。

昭和39(1964)年に政府は厚生省に公害を担当する「公害課」を設立、昭和46(1971)年に環境庁が設立されて、各官庁の公害行政を一本化した。さらに、これら対応は現環境省の環境行政の基礎を作った。公害や大気汚染の歴史等は公表されており、それらを参照されたい。



写真2.5 昭和32年7月「京浜工業地帯」
神奈川県ホームページから

2. 3 上層風観測と民間気象業者

初代高層気象台長 大石 梅三郎(1874~1950)は 1921 年からゴム製バルーンと測風経緯儀(写真 2.1 ; theodolite ,セオドライト)で上層風観測(パイロットバルーン観測)を開始した。観測でバルーンの上昇速度と高度角から高度別の水平距離を算定し、それらをまとめた測風気球観測常用表(写真 2.7 参照、戦後複製し市販された)を完成したと云われている。大石台長はこれらの観測結果を 1926 年に世界に向けエスペラント語で発表したが、英語でなかったため注目を集めることはなかった。その後、1935 年ドイツの気象学者ハインリッヒ・ザイルコフ(Heinrich Seilkopf ; 1895~1968)が対流圏上層の強い西風の流れを発見し「ジェット気流」と命名した。このジェット気流は大石台長の報告と同じものとされている。また、航空界も高高度飛行中これらの偏西風に遭遇したものの、時世柄外部への報告はしなかった。戦時中、米軍の大型爆撃機が冬季に日本付近に飛来した時、時折対地速度が大きく増減するとの話を耳にしているが報告書の形で残されていない。



写真 2.6 初期の測風経緯儀
高層気象台ホームページから

戦後、国土復興と高度経済成長に伴い各地で大気汚染や公害が発生し、国が本格的対策を始めた。これらは気象関係や環境行政関係の各種報告があり、それらを参照されたい。1960 年代半ば以降大気汚染の挙動を解明するために、地表面に近い上層風の立体気象観測が必要となり、気象調査を主務とする民間気象業者が担当することになった。しかし、民間には要望に対応する観測器材や観測技術はなく、上層風の観測を経験した研究機関や気象官署の方々に頼るしかなかった。観測理論等は研修等で何とかあったが、問題は上層風に資する

観測器材の調達で過去に観測を行っていた気象機関や研究機関に眠っている観測器材を探して利用した。

しかし、各機関にあるセオドライトは長期間倉庫に保管されていたため、望遠鏡に大きな問題はなかったが水準器の多くは狂っていた。学生時代、測量実習で測量機器の水準器の調整経験者があり、その経験を思い出しながら水準器の調整をした。通常、地表面に近い上層風の観測には気象用バルーンの上昇速度が 100~200 m/min になるように水素ガスを充填し、気球重量は 20 g にした。放球と同時に一定の時間間隔（上昇速度を考慮して高度 50~100 m 毎）で方位角と高度角（仰角）を読取り、

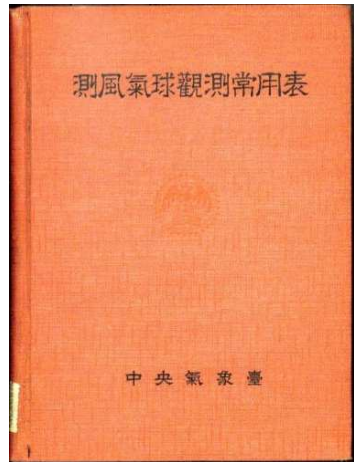


写真 2.7 測風気球観測常用表
中央気象台発行
国会図書館資料

り、読取り値と測風気球観測常用表(写真 2.7)を利用して高度別の風向風速を求めた。その後、タマヤ(株)で調整の簡単なセオドライトを販売するようになり、最近は人手を介さず高度別の風向風速を算出することが可能となっている。気象用バルーンは(株)気球製作所やトーテックス(株)が製造販売している。

夜間は注水電池で豆電球を点灯しバルーンに取り付けてその豆電球を追跡して観測したが、目視観測のため昼夜問わずバルーンが雲の中に入ると観測不能となり「雲中」で観測は終了となる。

当初、バルーンの充填ガスは安価な水素を使用していたが、近年は、安全対策上、ヘリウムガスを使用している。また、ソーダ(音波)やレーダ(電波)、レーザー(光)そしてウインドプロファイラ(電波)などのリモートセンシング技術を利用した観測方法に代わった。

2. 4 上層風観測

高層気象観測は、1749年にスコットランドのアレキサンダー・ウィルソン(1714～1784)が凧(kite)に温度計を付けて揚げたのが最初という。凧を用いた観測は世界各地で行われていた。そして1783年フランスで気球(Balloon)が誕生し、1794年フランス革命でフランス軍が初めて敵情偵察等に係留気球(Captive Balloon)を使用している。その

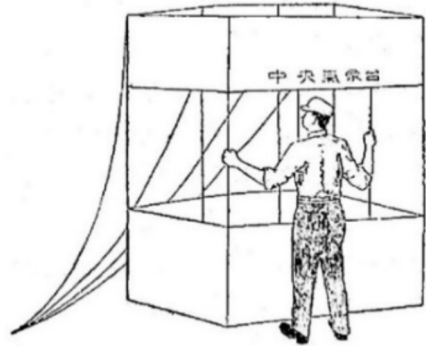


図2.1 観測凧

「気象観測講和」,三浦栄五郎 著,地人書館から

後、時期不明であるが係留索を通信線と一体化する改善を行い、係留気球下のゴンドラに観測員が搭乗して敵情偵察を行い、結果を電話で地上に報告していたようである。

日本でも軍が係留気球技術を輸入して戦地で利用し、最後は風船爆弾に辿り着くことになる。当時は気球の気密性維持のため、球皮はゴム引き布(後にビニール系に変わる)を利用していた。国内では高層気象台が1920(大正9)年に創立され、バルーンを使った測風観測や係留気球観測そして凧による観測を行っていた。この凧は和凧ではなく立体凧(図2.1)で、割合安定していたとのことである。同時に気球制作技術が民間に伝わり、宣伝気球、アドバルーン(Ad-Balloon)が誕生して空を賑し、1937(昭12)年、「空にゃ今日もアドバルーン」と唄われる程であった。後に、アドバルーンが気象調査に利用されるとは想像出来なかったであろう。

そして1945(昭20)年夏に終戦となり、戦後の復興が始まったものの、食料不足の上に復員による人口増加、産業界の戦災復興と年々経済活動が活発化する中、1950(昭25)年に朝鮮戦争が勃発し、連合軍補給基地の日本に戦時景気が訪れた。一方では大気汚染が深刻化し、戦後の世界は大気汚染に生活を脅かされていた。深刻化する汚染の調査は公的機関が行っていたが、1965(昭45)年頃から民間も参

画し、立体的な気象調査が始まった。しかし、当時、国内の係留気球数は少なく、身近なアドバルーンを使用したグループもあったが、アドバルーンは風に流され高度が不安定なばかりでなく、係留索に沿わした信号線が自重で内部の導体が切れて観測に支障を来していた。係留気球観測は、高層気象台で実施しており、民間はその技術指導を受けて多くを受け継いだ。

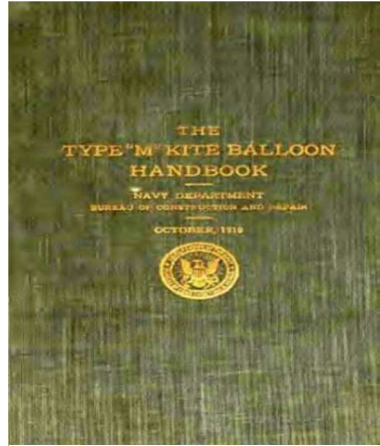


写真2.7 The Type “M” Kite Balloon Handbook
アメリカ海軍省発刊 1919

係留索と信号線の一体化で信号線の切断は免れたが、空中に絶縁被覆の係留索とは云え、垂直に最大 1,000 m

程度揚げるため、経験したことの無い現象が発生し、その都度対策を講じた。係留気球観測の詳細は気象庁 測候時報 Vol 34,1-65 を参照されたい。そもそも係留気球とする呼称は、1919(大8)年、アメリカ海軍省の発刊の「The Type “M” Kite Balloon Handbook」(写真 2.7)の中で係留気球を Kite balloon と記述しているが、国内では暫くしてカイツーン(Kytoon)と呼ばれるようになった。確認した処、この Kytoon は造語と説明を受けた。

電波法等の改定で、有線による係留ゾンデ観測は無線を使用することが容易になり、徐々に無線に置き変わった。1970 年前後がカイツーン観測のピークで、その時期は全国何処かでカイツーン観測が行われ、「空にゃ今日もカイツーン」状態が続いた。また、カイツーンの下に吊るしたノンリフトバルーンを切り離し、セオドライトの二点観測や、ヘリコプターでノンリフトバルーンを中心に旋回飛行し、その中心地点と高度を一定時間毎に記録して気流の挙動を観測した。これらの観測手法は、現在は使用する機会もなく経験や技術も時代と共に忘れられ、順次近代化されているが更に効率的な新技術に期待したい。

2. 5 民間気象事業者のラジオゾンデ観測

前節で紹介した凧や気球を利用した高層気象観測は、気象現象を物理的に検出し、検出時刻を時計を利用した自記気象計(メテオログラフ meteorograph)を使用していた。この観測方法はラジオゾンデ(Radiosonde)の誕生で一部を残し姿を消している。そもそもラジオゾンデは、1930(昭 5)年にソビエト連邦のモルチャノフ(Pavel Molchanov 1893~1941)の発明と教えられた。モルチャノフのラジオゾンデは機構が簡単な符号式で使い易く、普及したと云われている。1929(昭 4)年 1 月にフランスのビューロー(Robert Bureau 1892~1965)が温度と気圧をリアルタイムで観測しており、この装置をラジオゾンデと命名したのは、モルチャノフの発明の 1 年前であった。

我国では、1960 年代に、気象研究所 高層物理研究部の太田部長や小林室長らの指導下、財団法人 気象協会、久保田気象測器(株)及び明星電気(株)の 4 者で、低層を対象とするラジオゾンデ開発プロジェクトが発足し、1965(昭 40)年に LTS-65(Lower Troposphere Radiosonde) 型低層ゾンデが完成した。翌年 2 月に福島県大熊町で実用化観測を行った。詳しくは気象庁 研究時報 Vol17 No4,1967 を参照されたい。LTS 型ゾンデの気象計の型式認定を得ようとしたが、法整備が間に合わず 1 台毎の電波検査となった。後に電波法が改正されて型式証明が得られた。一方では、観測精度向上が議論され、

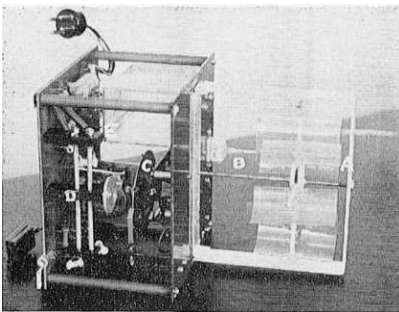


写真 2.8 LTS-65 本体
「気象庁 研究時報 Vol17

LTS-65 型を基本に 1969(昭 44)年後半頃から、気圧の測定は空ごう、温度はより追従性の早いセンサへと、明星電気(株)守屋工場と協議を始めた。温度は「白金抵抗温度センサを検討」との話もあったが、最終的に直径 $10\mu\text{m}$ のタングステンワイヤーを採用した。空ごう気圧計での観測結果を得た後、測

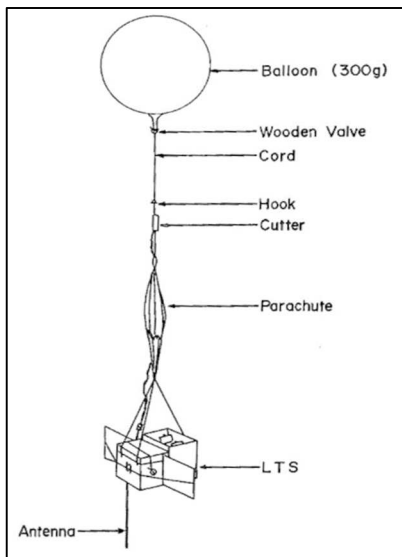


図 2.2 低層ゾンデの飛揚の様子
「天気 Vol21 No3」から

高公式で高度を算出することとした。その詳細は天気 Vol21 No3,1972 を参照されたい。

複数の顧客から社会的認知が必要とのことで「気象測器検定規則の検定を受けよ」と要望された。しかし、「もし検定を受けないのなら、気象関係の委員会や学会等で機能や比較観測結果を発表し、関係者の理解を得ること」の助言があり、安堵したことを記憶している。

当時、大気汚染が各地で問題になっており、時には環境裁判もあり、観測機器の使用には多少神経質になっていた。一時期、地方自治

体が気象援助局を開局し、低層ゾンデを使用した観測を行っていた。LTS-72 型低層ゾンデが完成して間もなく、京都大学防災研究所 光田 寧 先生が日本気象協会東京本部 伊藤 昭三 調査部長を訪れ「AMTEX(気団変質実験)観測の中、沖縄で低層ゾンデを使用して気圧、温度、湿度を観測したい」と相談があり、原作者も呼ばれて仲間入りした。当時、沖縄はアメリカの統治下であり、気象援助局であれば法律上の問題はないと説明された。湿度の計測機能はないので湿度計搭載は「時間的に無理」と云った処で大学側が納得する訳もなく「簡便で良いから検討せよ」との特命があった。そこで、乾湿球方式を採用することにし、明星電気 守屋工場に検討を依頼した。それと同時に、湿度計測は現在の温度計を湿球にするのが効率的と考え、駿河台下の紙問屋から薄くて強い様々な和紙を使い温度センサを両側から包んで糊付けし先端に脱脂綿をつけて蒸留水に浸して、比較観測をした。結果、「サクラ紙」が適当とわかり、早速、守屋工場に連絡し、乾湿球温度が計測できる新たな低層ゾンデを作り納品された。和紙を利用した乾湿球方式の低層ゾンデは暫くの間、国内で使用された。

第3章 気象情報を民間で伝える

気象情報と民間気象事業者

昭和20(1945)年8月14日ポツダム宣言受諾、9月2日に東京湾上の米国戦艦ミズーリ艦上で、連合軍と日本の間で降伏調印が行われ、GHQ占領下での統治が始まった。国土復興の中、昭和22(1947)年5月3日、日本国憲法が施行された。昭和26(1951)年9月8日、サンフランシスコ平和条約が締結され、約6年続いた連



写真 3.1 マッカーサー元帥執務室
(マッカーサー記念室 第一生命
保険ビル6階)

合国の占領政策は終了し、日本は独立国家となった。昭和25(1950)年、大規模な行政改革が実施され、気象台も例外ではなく組織改編や法律改正、業務整理、そして傘下に財団法人 気象協会(現(一財)日本気象協会)が誕生した。復興と共に気象情報のニーズが高まり、国以外の組織が気象情報提供を担う事になった。

昭和28(1953)年、日本はWMOに加盟し、その3年後の昭和31(1956)年、気象台が気象庁に昇格した。気象業務法の施行下で気象事業者はそれぞれ得意分野で活躍している。

電話による天気予報が始まった年で、当初電話番号は地域で違っていたが、昭和39(1964)年3月に177に統一している。このサービスは令和7(2025)年春に終了した。また、ラジオ放送は公共放送(NHK)のみであったが、新たに放送法が公布施行され、昭和26(1951)年、民間放送が参入し天気予報も放送され始めた。昭和27(1952)年、気象業務法が制定され、認可を得れば民間も気象事業が可能となった。国の業務の一部が民間に開かれ、気象ニーズに民間が応じる形が整い、その第一号は昭和28(1953)年5月に発足したトウジョウ ウェザーサービスセンター(現・いであ)と云われている。また、同年はテレビ放送の始まった年でもある。認可を得ても気象庁が発表する天気予報の解説が中心で、独自に予報の発出は出来なかった。メディア

への情報提供は、当初、気象台が民間の技術指導を兼ねて一部を担当した時期もあった。ニーズの変化等で、現在では特別な事象以外は民間で行っている。認可を得た気象事業者は気象台の気象情報を基にして天気図作成や気象解析を行い、広くニーズに応えた。

1970年代にマイコン、パソコンの出現、同時に関係技術も日々進歩した。その後、昭和52(1977)年、日本気象協会は気象庁の気象情報を集配信するシステムMICOSを構築し、MICOS経由でONLINEの情報提供を開始した。当初、専用端末等を対象としていたが、デジタル機器を受信端末とする利便性向上を目的に昭和58(1983)年システム更新を行った。それまでの紙出力から情報蓄積や二次処理を実現した。また、テレビ局はFAXや電話で気象情報を収集して天気番組を制作していたようだ。そこで、電電公社(現「NTT」)の電話線を使いREAL TIMEで稼働する天気番組送出システムの検討を行い、後に局の番組制御システムとリンクしたパソコン(写真3.2)による天気番組自動送出システムを実用化し、同システムの基礎を作った。昭和60(1985)年、NTTが誕生したが気象情報のONLINEは黎明期であり将来の環境整備が期待される状況であった。



写真3.2 NEC PC98 シリーズ「bing.com」から

平成 6(1994)年、(財) 気象業務支援センターが設立され、気象予報士試験、気象測器の検定代行等を担当し、さらにMICOS業務の一部が移管された。予報士誕生で独自予報を発出するまでになったが、国民の生命財産に直接関係する事象の発出は気象庁の専管で、気象事業者には許されていない。通信に関わる法律改正等でINTERNET社会となり、周辺機器で規格化等が進み普及に拍車を掛けた。一般に普及したのは、Windows 95が誕生した平成7(1995)年以降と云われている。今日では通信環境や法整備がさらに整い無線を利用した携帯電話をはじめ、様々な通信端末で容易に気象情報の入手が可能な社会になった。

第4章 気象をはかる

4. 1 気象観測の変遷

戦後の復興も進み社会が落ち着きを取り戻しつつある中、それまで停滞していた様々な気象観測技術の開発が始まった。1950年以降、民間も気象事業を起業したが、多くはメディア関係の気象情報解説が主で、調査業務となれば観測データの統計処理が主であった。本格的な調査業務となれば、目的に合った気象観測が必要になるが、現実には観測機器を準備する経済力はなく、民間では労働力提供の範囲に留まっていた。

戦後の復興も進み社会が安定する中、気象庁(1956年7月、中央気象台が昇格)は気象観測機器の本格的な開発試作を始め、気象庁・気象研究所や気象測器製作所がその任に当たった。当時の気象業務は気象業務法に準拠した業務処理を求められ、この法律は、民間の気象事業を圧迫・制限する部分もあるが、高品質の観測値を得るには有効な方策の一つでもあった。

電子技術や使用部品等の開発や発展が進み、海外からも様々な情報や技術そして製品が輸入されるようになったが、経済的に容易に入手出来なかったと想像される。当時、風速計、白金抵抗測温体はじめサーミスタや熱電対、そして日射計等が出現した。

気象研究所 佐貫 亦男(1908~1997)らは海外の情報等を睨みつつ風車型風向風速計(写真4.1)の国産化を実現し、1952年頃から使用開始し、1953年から、光進電気工業(株)が風車型風向風速計を販売している。風速センサに発電器、風向に交流同期モータ、そして専用記録器で構成し、隔測で瞬間値をリアルタイムで記録することが可能

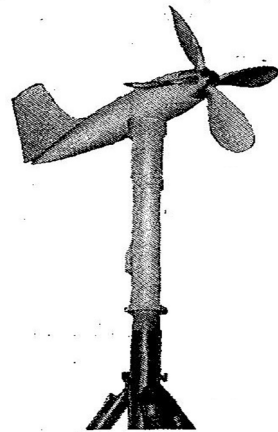


写真 4.1 気象研究所の試作風車型
風向風速計
「地上気象機械」,佐貫亦男著,共立
全書から

となり、それまでの風程による平均値以外の観測値を得ることを実現した。この風車型風向風速計は1970年頃に気象庁の制式測器となった。

一方、他の観測要素はそれぞれの要素に沿ったセンサが開発され、その記録に自動平衡記録器が使用された。自動平衡記録器は、1898年にイギリスで機械式が、1940年代にアメリカで真空管を使用した電子式が誕生した。国内では1951年頃、横河電機(株)が真空管式を開発している。その他、多くのメーカーが手掛け、改良を重ね最後は半導体を使用した装置に代わったが、当初は殆どが工業プラントに使用され、気象界が採用するまでに多少の遅れがあったと言われている。この記録器はよく目にする打点とペン書きの2タイプがあって今日も使用されている。これで観測から記録まで一貫した観測システムが完成したが記録紙を読み取ることに変わりはない。

民間気象業者が、観測を伴う本格的な調査業務を始めたのは1960年代末からで、農業や交通等、そして各種立地環境調査等多岐に渡った。顧みると1950～1960年代に気象観測システムの基礎が築かれたと考えられる。さらに磁気テープ式データロガーの誕生でコンピュータを駆使して、より詳細な気象観測が可能となり、気象理論の解明や実証に貢献したと云えよう。

観測システムから容易に電気信号が得られるようになり、気象観測用デジタルカセットテープ式データロガー(写真4.2)等が1978年に誕生した。一般地上気象観測は正時前10分間を対象としており、サンプリングタイムが変則的な従来の気象データとの整合性を損なうことなくサンプリングタイムの設定を可能としている。その後、パソコンも普及し、観測からデータ処理迄のシステム化と通信環境との統合により、オンライン化の道へと進み、今日では普通に使用されている。



写真4.2 デジタルカセットロガー
東洋電子工業(株) 写真提供

4. 2 百葉箱誕生と露場の設営

民間の気象観測の多くは受託で実施する観測業務が大部分である。1960年前後の気象観測機器は一部の自記観測機器以外は、人手で行っており現在のように詳細な観測値は得られなかった。しかし、当時としては最先端の観測技術を採用していた。観測場所(露場)は、その地域を代表する大気現象を計測する場所であり、その選定は簡単な話ではなく、観測場所も一つのセンサと考えるのが妥当であろう。約150年前のイギリスで1860年以前の観測場所や方法が不統一で観測値の信頼性が疑問視された。関係者で正確に計測する工夫をするため観測場所の環境や計測方法、周辺の地形や地上構造物の高さ、日陰の有無、風通し等、多岐に渡って議論を重ねたという。その中でトーマス スティーブソン(Thomas Stevenson : 1818~1887)が1873年に発明したスティーブソン スクリーン(Stevenson Screen : 百葉箱原型)を標準装置とし、その百葉箱は芝生に設置する等を定めた (Simon Naylor ,The Royal Society (2019.06.20)等参照)。

幕末・明治時代の日本は欧米の先進技術を導入するため多くの外国人を雇用し、気象観測の標準化等の情報を得、内務省が発注した百葉箱が1874(明治7)年に輸入された。この百葉箱は、当初、「板簾」と訳されていた。1886(明治19)年に制定された気象観測法の中で「百葉箱」と記述された。

現在の気温観測は、明治時代の日本人の平均的な顔の高さである地上から1.5m前後の高さでの設置を採用し、今日でも変わっていない。観測の高さを変更すると観測値の連続性が失われると考えるのが妥当であろう。

1953(昭和28)年に理科教育振興法が制定され、翌年に文部省令第32号で小学校に理科教育の一環で、百



図 4.1 百葉箱 (1940年頃、
日本製)
「気象観測法講和」,三浦栄五郎
著,地人書館から

葉箱の設置が義務付けられたが、時代と共に理科教育の時間の短縮や環境変化で百葉箱は減少し、1992(平成4)年の省令改正で百葉箱の記述が消えた。

百葉箱(図4.1参照)は気象庁に大小の規格があり、使用目的に沿ったタイプを採用した。気象庁は観測の自動化に伴い1993(平成5)年頃に百葉箱を廃止した。1960(昭和40)年代以降の民間の気象観測は気象観測指針に準拠するように指導され、露場は100m²以上の平地が理想だが、容易に確保できるものではなく、状況に応じた露場となった。露場の

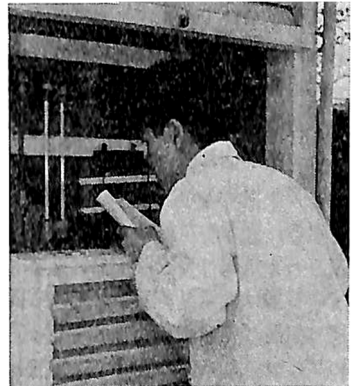


写真4.3 百葉箱内の観測の様子

「気象観測の手引き」, 毛利茂男著, 気象協会から

現地調査は、露場の中心から東西南北に向けて写真撮影を行い、周辺の地上構造物等迄の距離と高さを計測し、さらに露場周辺から全体像が把握できるように写真撮影をした。また、気候的な特徴や浸水の有無、最大積雪深や地形的影響等を調査して、すべてを記述した現地調査報告書を作成するのも現地調査の重要な役割であった。この調査報告書は、後の観測データ解析に重要な資料にもなり、観測システムの構築に資する部材手配等にも役立つものである。

現地調査の後に百葉箱を設置することになるが、百葉箱には観測機器の読取り用の扉があり、観測時に日射や雨水が観測機器に影響しないように扉面は北に向けて設置した。しかし、一部委託観測するケースもあり、全ての観測場所に新しい百葉箱は設置できず、既存の百葉箱を借用し不足の観測機器を設置した。百葉箱には温湿度計やアスマン乾湿計、自記記録計等を設置するが(写真4.3)、民間の気象観測では契約に基づいた観測要素に限定される。

風の計測にはすでに風車型風向風速計が実用化されており、露場の周辺の観測条件が整えば、ポールを立て風車の高さが地上10mになるように設置した。時には、露場と離れた場所に設置することもあった。また、風車型風向風速計は商用電源から給電したが、観測期間が短期間の場合には、発電機を使用することもあった。

4. 3 温度測定用ガラス製棒状温度計

気象観測で使用されていたガラス製棒状温度計は、イタリアのガリレオ ガリレイ(Galileo Galilei:1564-1642)が、暑さ寒さで空気の体積が変化することを利用した、サーモスコープ(Thermoscope)と称された空気温度計に端を発している。この空気温度計の計測部は大気に通じており気圧変化が計測に影響したことや温度表示が数値ではないなど、実用には至らなかった。しかし、多くの研究者の参考になった。

ガリレオ ガリレイの同僚の医師サントーリオ サントーリオ(Santorio Santorio:1561-1636)が1611年(1609年説もある)、水銀を使用した体温計を発明している。その後、ドイツの物理学者、ダニエルガブリエル ファーレンハイト(Daniel Gabriel Fahrenheit:1686-1736)が1724年に水銀をガラス管に封入した水銀温度計を発案し、このガラス製棒状水銀温度計は現在も使用している華氏温度計(°F)である。



写真 4.4 摂氏温度計 18 世紀後半のストックホルム製
https://www.astro.uu.se/history/celsius_scale.html

また、イギリスの

医師トーマス・オルバット(Sir Thomas Clifford Allbutt、1836-1925)が1866年に水銀を使用した小型体温計を発明している。この体温計は水銀溜の上部に留点があり、細管に入った水銀は外部から力を加えない限り戻らない構造で、手にもって振り遠心力で細管の水銀を水銀溜に戻すと(復度)、再度使用することが出来る。気象分野の最高温度計にも同じ構造が組み込まれている。

さらに、スウェーデンの天文学者・測地学者アンデルス セルシウス(Anders Celsius1701- 1744、1741年ウプサラ天文台の創立者の1人で天文台長に就任)が、1742年にスウェーデン王立科学アカデミーに投稿した論文の中で、世界最初の実用的温度計を提唱した。これは水の氷点を0°、沸点を100°とし、これを100分目盛りに分け、セルシウス温度計(°C)の基となった(写真4.4)。日本も採用している。

温度計発案当時は温度スケールの基準がなく、実用迄には感温液やスケール等幾多の変遷の道を辿ることになる。そして、気象観測にお馴染みの乾湿計が、ドイツ人のリヒャルト アスマン(Richart Assmann: 1845-1918)によって1880年末頃発明されている。写真4.5は現在使用されている通風式アスマン乾湿計である。アスマンは元々医師だったが、途中で気象研究者に変わっている。日本の高層気象を育てた初代の高層気象台長 大石和三郎(1874-1950)は、ドイツ リンデンベルグ高層気象台に留学(1911-1913)し、リヒャルト アスマンの指導を得ていたようだ。

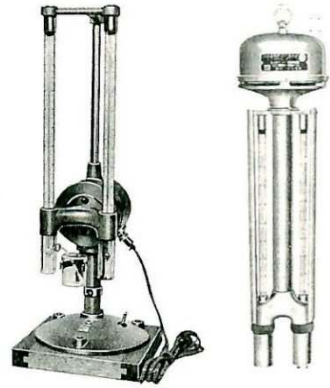


写真 4.5 通風型アスマン乾湿計 1970年頃国産
左 電動(商用電源)式
右 ゼンマイ式

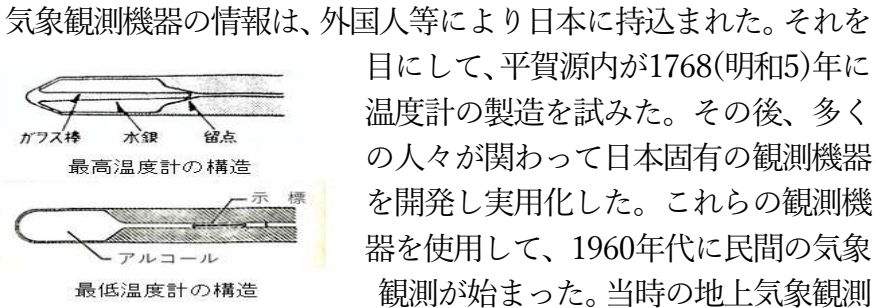


図 4.2 最高・最低温度計の構造
「気象観測の手引き」,毛利
茂男著,気象協会から

気象観測機器の情報は、外国人等により日本に持込まれた。それを目にして、平賀源内が1768(明和5)年に温度計の製造を試みた。その後、多くの人々が関わって日本固有の観測機器を開発し実用化した。これらの観測機器を使用して、1960年代に民間の気象観測が始まった。当時の地上気象観測は百葉箱に、アスマン乾湿計、最高温度計、最低温度計、バイメタル式自記温度計等を設置した。最高・最低温度計は復度から現在までの最高・最低値は分かるが、発現時刻は不明で、自記記録から最高・最低温度の起時を特定した。最高温度計は、最高温度を常に示し、留点温度計と呼ぶこともある。最低温度計は、細管に封入されたアルコールと示標が同居し、温度が下がるとアルコールとともに示標も下がり、温度が上がるとアルコールのみ膨張し示標は止まったままである(図4.2)。現在に至るまで感温液は様々な変化したが、現在、水銀は環境問題で世界的に使用されていない。

4. 4 気象と農業における温度観測

日本に温時計を最初に持込んだのはオランダ商館付のドイツ人医師 エンゲルベルト ケンペル(Engelbert Kämpfer;1651~1716)との説もあるが、実際には商館長ウイレム ウインケが1765年に持込んだ。それを見た平賀源内(1728~1779)が、「国内で製造すべし」と1768(明和 5)年に製造したとされているが現物は確認されていない。当時の温度計の呼称は、「検温管」、「検温子」や「寒暖計」等と様々な呼称があったが、福沢諭吉(1835~1901)が1880年代に物理学関係著書の中で寒暖計なる言葉を記述してから、寒暖計の呼称が普及したと云われている。その後、1942年頃に温度計と変更したようだ。海外では、フランス人ジャン ルレション(Jean Leuréchon 1591~1670)が1626年に thermomètre を使用しておりそれが定着したという。

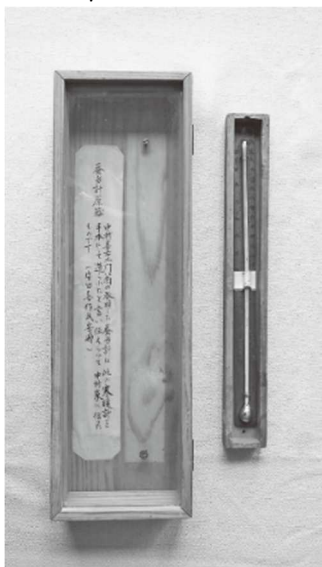


写真 4.6 蚕当計原器

一方、国内でも多くの方々が温度計開発製作に尽力しているが、その中で、福島の中村善右衛門(1809~1880)が1842(天保13)年頃に「蚕当計」(写真4.6)と称する感温液にアルコールを用いた華氏目盛りの自作温度計を製作普及させ養蚕業に貢献(文献 J.HTSJ, Vol.57, No.239)した。養蚕業は1960年頃まで、多くの農家が兼業で行っていたが化学繊維製品の出現で徐々に衰退した。

1868(明治元)年に発足した政府は海外視察や海外情報を得て、内務省が、御雇外人に気象観測技術の指導や観測機器の調達などを依頼し、1875(明治8)年に東京気象台を設立した。これが最初の公式な気象観測と云われているが、東京気象台より早く北海道開拓使の御雇外人が函館で1868(明治元)年から気象観測を行っている。開拓、即ち産業に資する気象観測では観測目的が異なる。この詳細は各種公開資料(例えば気象百年史や気象庁HP、各学会誌等)を参照され

たい。特に農業気象は農産物の生産向上に特化し、一般地上気象には含まれない地・水温、蒸発量及び土壌水分等を含んでいる。中でも地温の観測は、ガラス製温度計の球部から指示部までの長さが異なる曲管地中温度計(図 4.3)の球部を、地中に埋め指



⇐地中部は 5,20,30cm 等の長さのものがある

図 4.3 曲管地中温度計設置状況 「災害防除農業気象新典」から引用

示部を読み取る観測が行われた。地中温度は作物の根の生育環境を調べ、水温は水稻栽培管理に資する重要情報になる。地・水温の観測にブルドン管自記温度計を使用した。ブルドン管はフランスの時計職人ウジェーヌ ブルドン(Eugène Bourdon;1808~1884)が、ブルドン管(圧力計)を発明し、この管内部に感温液を入れ円筒時計を組み合わせて自記温度計として製品化された。これを使用し、地・水温度の連続観測に供した。筆者は 1960 年代に現物を確認した。農業気象用で気象観測に使用した経験はないが、無電源で連続記録が得られる便利な観測機器である。これらの観測値は作物等の生育度合いと比較解析されることになる。

第二次世界大戦以後、気象官署の観測網では観測点が荒いために、区内観測所や委託観測で補っていたが諸般の事情で1970年頃廃止となった。その一部はアメダスに代わったとの情報もある。中でも委託観測で活躍をしたのがバイメタル式自記温度計であろう。バイメタルはイギリスの時計製作者ジョン ハリソン(John Harrison;1693~1776)が航海で使用する正確な時計の温度補償を行うために開発したものである。このバイメタルはラジオゾンデの温度センサに使用した歴史もある。1960年代以降、電子機器の発達に伴い、気象界も古典的な観測機器の世代交代が行われ、温度センサも白金抵抗測温体やサーミスタ素子等を使用して観測装置のシステム化が行われた。現在ではオンラインで観測値が収集され、収集後、統計処理を行い、幅広く社会で利用されている。

注) 31 ページの写真 4.6 は伊達市教育委員会蔵(福島の進路 2019.4)から

4. 5 風をはかる

自然環境下の風は、一般生活では風向きと風速の二次元情報であるが、実際は上下風が加わり三次元情報である。



写真4.7 風見鶏
「Wikipedia」の『風見鶏』から

気象測器が存在しない時代には、気象要素の認識は人の感覚に頼ることになる。今は数が少なくなったが、「風見鳥(写真4.7)」は風向きを知るためとも云われていた。しかし、風見鶏は必ずしも風向きに追従しておらず、観測には適さない。本来の目的は建物を邪気から守る魔除けのようだ。

風速の目安で使用されている吹流し(写真4.8参照)がある。吹流しの起源は諸説あるが日本は戦国時代の戦いの時に軍隊が使用していた。吹流しは風を可視化するもので、風見鳥と異なり風向・風速の指標として使用できる。吹流しが垂れ下がっている時は無風から2 m/s、吹流し角度が30° で3~4m/s、45° では5 m/s、そして90° (真横)で10 m/s程度の目安となる。空港や高速道路等に設置され現在も活躍している。風速に地物を利用した指標に、1805(文化2)年、イギリス海軍提督であったフランシス・ボーフォート(Sir Francis Beaufort, 1774~1857)が、「ボーフォート(Beaufort)風力階級表」を提唱している。この階級表は明治時代に日本にも導入され、「ビューフォート風力階級表」として知られている。元々は提督名であったが発音の誤りでビューフォートになったようだ。この階級表は修正などが行われたが、1874(明治7)年、国際気象委員会で国際気象通報式に採用され、日本でも気象庁が風力階級表として定めている。気象測器が存在しない時代の名残とも云えるが、気象観測の一つの手段でもある。

多くの先人たちが尽力し、風向風速計を開発し使用してきた。しかし、風の測定には地上からの観測高度の問題がある。観測高度は

1926(大正15)年、チューリヒで開催された国際気象会議で、日本が10 mを要望したものの、6~10 mと決められた。風速は高さとともに増すため観測値を比較する時、同一の観測条件が重要と指導を受けた。海外では、6mの高さ多いが、6mを採用する時は開けた広場と条件付きと云われている。日本では住宅事情等の設置環境を考え10 m を要望したのかも知れない。気象官署では10m を確保するため測風塔を設置して観測をしていた時期もある。



写真 4.8 高速道路路上に設置されている吹流し
「Wikipedia」の『吹流し』から

このようにして、風速計の精度もさることながら、設置環境が如何に重要かも議論されている。風速は決められた風程毎にパルスを発生し、そのパルスをパルスカウンターや自記記録器(自記電接计数器等)でカウントする。しか

し、風向は円座標情報のため風速のように容易ではない。風車型風向風速計の進歩が遅れた原因は『風向の変化を伝える技術が難しかったから』と云われている。そこに登場したのが風向の変化を伝える交流同期モータ(当初セルシンモータと称していたがGE社の商品名のため変更された)と処理機構が発明(例えばイギリスのネグレッチザンプラ社の風向カム)されたことで急速に普及した。また、解析時に風向は記号(N,E,S,W等)の使用が多いがグラフで表現するには、 0° ~ 540° 方式を採用され、風向の時間変化が見やすくなった。

1970年頃、大気汚染実態調査用の微風速計やバイベーン、超音波風速計等が出現し、機械機構から電子機構に代っている。最近では超音波風速計も小型化し、アメダス等に採用されている。これら観測機器の選択は、観測目的に沿うことが重要であろう。気象観測結果を解析する上で、観測機器の性能を知ることが重要となろう。

4. 6 日射と日照をはかる

地球から1億4960万km遠く離れた太陽の中では水素の核融合がおこり、表面は6000°Cで、光と熱を放射しており、その太陽放射エネルギー(光と熱)は宇宙空間を経て、地球を取り巻く混濁した大気中で吸収散乱されつつ地上に達する。地球に達するまで8.3分を要している。太陽放射エネルギーの内、紫外域から近赤外域の範囲を可視光域と定めている。そして、太陽から地表面に対する垂直な単位面積・単位時間あたりに受けるエネルギーを太陽定数(solar constant)と称している。太陽定数は地球を取り巻く大気の影響のないところで測定することが重要である。1800年代前半頃から多くの測定が試みられていたものの、当時は測定手段がなく大気の吸収の少ない山岳を利用した測定方法が採られていた。その後、1960年代のロケットや人工衛星の出現で、大気の影響のない宇宙空間で値が得られた。気象庁では世界気象機関(WMO)で採用されている太陽定数(1367 W/m²)を用いている。

気象官署の日射測定項目は日照時間、直達日射量、散乱日射量、全天日射量等があるが、民間では日照時間と全天日射量(直達と散乱を加算した日射量)が観測されていた。WMOは日照観測にカンベル日照計を暫定標準器としていた。歴史的には日射の観測は気象より農業

や産業の利用が高かったようだ。当初国内では日照時間の観測にジョルダン日照計(写真4.9)が、日射量はロビッチ(別称バイメタル)自記日射計(写真4.10参照)が主に使用され、明治初頭より観測されている。1960年以降に大気汚染が激しくなると、紫外線計が使用されたが一般的ではなかった。筆者は1960年代半ばにカンベル日照計を手にした経験はあるが、使用経験はなく、ジョルダン日照計は短期間であるが使用した時期があった。このジョルダン日照計



写真4.9 ジョルダン日照計
「名古屋気象台 100周年記念特設サイト」から

は、赤血塩 16g クエン酸アンモニウム 20g をそれぞれ 100 ml の水に溶かし、使用直前に二液を同量混ぜた感光液を塗布した記録紙を日照計の筒の規定部分にセットする。感光液は日射量が 120 W/m^2 以上の太陽エネルギーを観測すると記録紙が変色し、この変色時間を数えて日照時間とする。この時期には、数は少ないものの太陽電池式日照計も使用されていた。

日射の観測として、通常は全天日射量観測で、ガラスドームに覆われた白黒の長方形バイメタルを感部とするロビッチ自記日射計（写真 4.10）を使用していた。白黒のバイメタルは日射量の強弱で変位差を生じ、その変化を器械的に円筒時計に巻きつけられた記録紙上の記録ペンに伝えている。これは、器械的機構故障、摩耗や汚れ、そして経年変化もあるため管理には多く時間を要した。

さて、日照計も日射計も開けた場所に水平な取付台を設け固定する。ジョルダン日照計の円筒の長辺部分を子午線に合わせ、円筒下部の目盛りを緯度に合わせた。

日射計はバイメタルの長辺を子午線に合わせた。子午線は観測場所の南中時間に、紐に重りを付けて取付台に紐の影を写して線を引き、この線に沿って円筒の長辺や、バイメタルの長辺を合わせて固定する。電子化した最近の日照計も南中時間と緯度に合わせるが

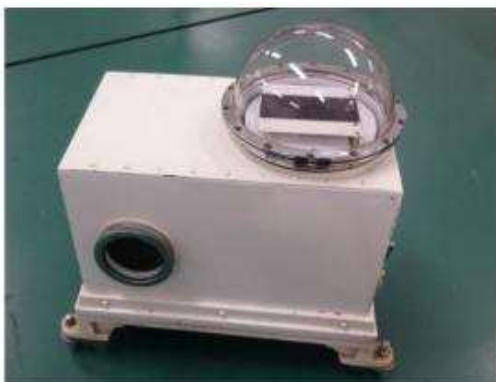


写真 4.10 ロビッチ自記日射計
「高層気象台彙報 100 年史 特別号」から

基本的には同じである。1970年前後日射計はエブリー日射計やゴルチンスキー日射計を使用するようになったが、移動観測には観測機器の形状からゴルチンスキー日射計を使用していた。電子計測機器の出現により、ジョルダン日照計もロビッチ自記日射計も姿を消し、気象測器の近代化が行われた。

あとがき

『気象よもやま話』は日本の民間気象事業の発展とその周辺の話
題について、五年間にわたり、MeSTニューズレターに掲載された記
事を集約し、再構成しました。

他書でまとまとまったものが見当たらない民間気象事業の歴史に
ついて硬軟取り交ぜて寄稿して頂き、気象事業の一端に連なる編集
者・関係者として、その内容には非常に興味深いものがありました。

先人の方々が、どのようなことを考えながら民間の気象事業の発
展に尽くされてきたのかということを手近に感じて頂くことができ
れば幸甚です。

原作者(前MeST 渡邊 相談役)には、五年間にわたるご尽力とご協
力にお礼申し上げます。

Mestニューズレター編集者・関係者

※ 本書の著作権は 特定非営利活動法人 気象システム技術協会が有するが、学術的な目的で第三者の使用を妨げるものではない。ただし、本書の利用で生じる一切のトラブルは特定非営利活動法人 気象システム技術協会には責任がないものとする。

書 名 「気象よもやま話」

発行日 2026 年3月

出 版 特定非営利活動法人 気象システム技術協会

U R L <http://www.mest-japan.or.jp/>

住 所 東京都豊島区南池袋2-8-5 MI ビル4F

T E L 03-6907-2186