

---

[ 第 2 章 ]

---

# 大気と海洋の 今を知る

---

## 1

## どうして観測が必要なのか

テレビや新聞で目にする天気予報は、「晴れ」や「雨」などの「天気」のほか、「気温」や「湿度」「風」といった要素で構成されています。また、波浪も天気予報の一部となっています。

数年に1回程度しか発生しない短時間の大雨を観測した場合には「記録的短時間大雨情報」といった「情報」が、大雨や強風などが予想される場合には、「注意報」や「警報」が発表されます。天気予報とは、これらの気象や波浪などの状況が今後どのように推移するかを「予測」し、一般に「公表」することです。

さて、大気を構成している「気体」である空気は、水のような「液体」を含め「流体」と呼ばれます。その運動は、物理的な法則や原理に基づく「流体力学」で支配されます。後であらためて触れるように、予測を行なうためには、必ず現在の状態（初期条件）の把握である「観測」が不可欠です。

初期の状態がわかれば、流体力学を定式化した「数値予報モデル」を用いての将来の予測が可能です。気象庁ではこの予測モデルにパソコンを用いていますが、観測にはもともと誤差がありますし、また予測モデルも完全ではないので、予測の時間が先に延びるほど、それらの誤差が拡大していきます。計算を続けることは可能ですが予報としては使い物になりません。したがって、天気予報では「一定時間ごとに観測を行なって初期条件を設定し、それをもとに予測計算を進める」という繰り返しのプロセス（初期条件の更新）が必須です。気象庁では、予測モデルに応じて、毎日、あるいは1週間に1度など、初期条件を求めてモデルで計算しています。

初期条件の更新の必要性についても少し触れます。同じ予測でも月蝕など天体の運動予測は、基本的に1回計算するだけで、後はまるでカレンダーのように何年も先までの予測が可能です。それに対して、大気の運動は「複雑系」と呼ばれ、大気中の雲や低気圧などいろいろな現象が相互に影響を及ぼし合っていて複雑です。たとえば、雨が降る際、雨粒からは蒸発が起き、周囲を冷やしますし、また風も起きます。しかし、これらの新たな要素は、一方通行ではなく、同時に雲自体および周囲の場に跳ね

返ります。複雑系とは、このように常に現象が相互に影響を及ぼし合い、自分も影響を受けるという関係です。

ところが、月や太陽の運動などは、この相互作用がほとんど無視できます。大気の運動のような系は、数学的に「非線形系」と呼ばれ、その行き先（時間的変化）を一義的に求められないのです。ちなみに大気の運動のこうした性質は、後述のように「カオス（混沌）」あるいは「バタフライ効果」と呼ばれます。初期条件（初期値）のごくわずかの相違が将来の状態に敏感に影響を与えることから「初期値敏感性」といわれています。対して、天体の運動は、相互作用がほとんど無視できるため「線形系」と呼ばれ、将来の動きの予測が十分可能です。

したがって、気象の予測にあたっては、毎回初期条件を設定して行なうことが不可欠となります。

なお、別章で述べるように、現在の週間予報や1か月予報、台風進路予報などでは、この初期値敏感性を考慮した予測技術（アンサンブル予報）が用いられています。

気象予測の基礎となる情報は「気圧」「気温」「密度」「風向風速」「水蒸気」の5つです。

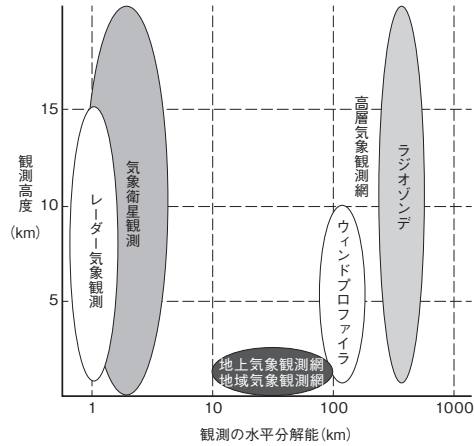
これらの要素がキチンと予測できれば、それをもとに晴れや雨、波浪などの天気予報が可能です。

気象や海洋の観測は、天気予報にとって必要不可欠な作業ですが、予測作業での使用後は、それらのデータを蓄積して、予測モデルの検証や改善、気象学の研究のほか、天候の監視、さらに国内および地球環境の把握などに用いられています。近年の都市化に伴う気温の上昇である「ヒートアイランド現象」や地球温暖化などの検証が可能なのは、膨大な過去データの蓄積があるからです。

## 2

### 気象観測の体系

気象庁は、法律や規則などにもとづいて気象を観測し、天気予報や、多岐にわたる情報を発信するとともに、それらを記録・保存することにより、一般の利用のほか研



図表 2.1 | 気象測器の観測高度と観測の水平分解能 (気象庁資料をもとに作成)

## 気象観測の種類

気象庁の観測は、天気予報への利用を主

この図の水平分解能で留意すべきことは、順次、説明しますが、地上気象観測網は全国約50か所の地方気象台などで、平均すると配置間隔は数十キロメートル程度、また地域気象観測システム(アメダス)は20キロメートル程度であることを考慮したものです。一方、気象レーダーの場合は、全国20か所に展開されていますが、単一のレーダーが持っている「水平分解能」は数百メートルであること、また気象衛星は1キロメートル程度であることを示しています。

究・教育分野での利用にも役立てています。気象庁以外の他の省庁や自治体などでも気象観測が行なわれています。

さて、観測という言葉は日常でも用いられますが、気象業務法で「観測」とは「自然科学的方法による現象の観察及び測定をいう」と定義されています。観察には、目視による晴雨を始めとする天気、雲の種類や高さ、雷、見通し距離である「視程」の観測なども含まれます。測定の例は、気圧計や温度計、風向・風速計など機械によるものです。

大気ははるか宇宙までつながっていますが、天気予報に実質的に影響を及ぼすのは、地表から50キロメートル程度の広がりです。対象とする気象要素あるいは現象によって、観測内容や手段(観測測器)、データの伝送や処理方法が異なります。

このような大気の状態を観測するために、さまざまな気象測器があります。気象庁は、これらを総合的に利用して天気予報などに用いています。図表2・1は、気象庁が展開している気象測器を、観測高度と水平分解能(対数目盛り)を座標軸に、整理したものです。水平分解能とは、水平方向にどれだけ細かく把握できるかの指標です。

目的としたものと、気象を記録として留めておくことを目的としたものの2つの種類に大別されます。

前者は、「即時的データ」あるいは「リアルタイムデータ」と呼ばれ、日々の予報作業やさまざまな予測モデルの初期条件（初期値）として用いられるため、常に最新の観測データ（実況値）が必要です。これらのデータは観測現場から「通報」という形で予報中枢にもたらされます。

リアルタイムデータは、その性質上、時間経過とともにのおのずと過去データに移行してしまいます。これらの過去データは、「非即時データ」あるいは「ノンリアルタイムデータ」と呼ばれます。使用済みのリアルタイムデータのほか、最高気温や最大風速、日射量などもノンリアルタイムデータです。これらのデータは気候などの解析のほか、道路の設定や建物の設計といった広範な分野に応用されています。

さて、気象庁の行なう気象観測の種類および方法は、気象業務法第四条（気象庁の行う観測の方法）を受けて、同法施行規則（運輸省令第百一号）で規定されています。その種類は、地上気象観測、高層気象観測、オゾン観測、海洋観測、火山観測、レー

ダー気象観測、生物季節観測など合計12種類に上っています。航空気象観測も行なわれています。また、気象庁以外の者による観測は、都道府県や自治体が行なうものなどで、同法第六条およびそれを受けた同施行規則で規定されています。

これら観測のほとんどは、国際的な技術規則に準拠して実施されており、国際的なデータ交換が行なわれています。また、これらの観測結果はそれぞれの気象官署に保存されています。ほとんどの官署では約100年規模の観測データを持っていて、誰でも閲覧できます。これらはヒートアイランド現象や地球温暖化の解明などの貴重なデータ資源となっています。

ここで気象観測システムの全体像を図表2・2に示します。

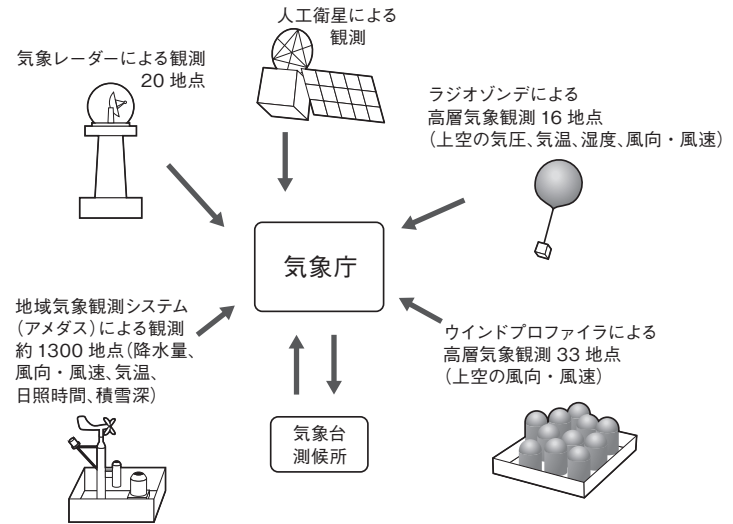
気象観測の手法は、測器を必要な場所に設置して直接的に観測を行なう場合と、観測対象と離れた場所から間接的に行なう場合の2種類に分かれます。図表2・2に見るように、前者には地上（露場）と呼ばれる）に温度計や風速計を設置したり、室内に気圧計などの測器を設置したりして行なわれています。「地上気象観測」中には、「アメダス」の通称で知られている、無人観測施設による観測もあります。船舶やブ

**気象観測の技術基準**  
 実際に個々の気象官署で行なわれている観測の細目は、気象官署観測業務規程（気象庁訓令）に定められており、また、観測に用いる気象測器は、気象測器検定規則（運輸省令）などの検定あるいは部内検査規則（気象庁通達）による検査に合格したものでなければなりませんと規定されています。

気象官署というのは、古めかしい言葉に聞こえますが、人が常駐して観測や予報・解説などを行なっている気象台や測候所のことです。なお、創立以来、長い歴史を持っていた八丈島や潮岬など全国約100か所の測候所は、これまでの有人による観測の役割を終え、帯広および名瀬測候所以外はすべて2011年までに無人で自動的に観測や通報を行なう「特別地域気象観測所」に移行しました。特別地域気象観測所については、後で詳しく説明します。

気象観測は、気象庁以外に他の省庁や都道府県、市町村、企業などで行なわれており、

ほとんどが自動化されています。



図表 2.2 | 気象観測システムの全体像（気象庁資料をもとに作成）

イを利用した「海上気象観測」も同様に直接観測です。

後者の間接的な観測は、遠隔観測（リモートセンシング）と呼ばれ、気象レーダーや人工衛星などによって行なわれています。両者の観測とも、近年の技術の進歩により、コンピュータ化や精緻化が非常に進んでおり、

その一部は天気予報のためにも有用であることから、予測に用いられています。気象業務法では、「気象庁以外の政府機関又は地方公共団体が気象の観測を行う場合には、国土交通省令で定める技術上の基準にしたがって、これをしなければならぬ」と定められています。研究および教育目的の場合は自由となっています。

しかしながら、個人や企業などでも、その観測成果を世間に対して公表する場合、あるいは災害の防止に利用する場合には、上記の技術基準に従うべきとされています。このことは誤った観測の流布による社会活動の混乱を避けるためです。また、技術上の基準に従って観測施設を設置した者は、気象庁への届出の義務が課せられています。あまり知られていないことですが、一定規模（無線設備など）以上の船舶に対して、

技術基準を満たした気象測器の設置と観測成果の気象庁への報告義務が法律により定められています。洋上での気象観測結果は、洋上の観測の空白域を埋める重要な役割を果たしており、特に台風が洋上にある場合など、日々の天気予報にとって、なくてはならないデータ資源となっています。

このほか航空機に対しても、同様の観測および報告義務が課されています。気象庁

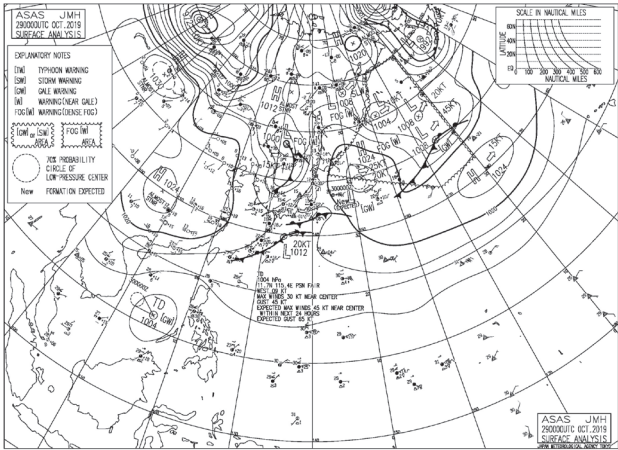
には、こうした船舶や航空機の航行を支援するべく、種々の気象予報などの提供が義務づけられています。ちなみに航空機で旅行する際に、飛行高度や速度、目的地の気象といった内容のアナウンスを耳にしますが、これは自機の観測や気象庁などのデータに基づいています。

## 気象観測データの通報

通報されるべき観測データは、国内向けの通報のほか、世界気象機関（WMO）技術規則に則って国際向けの通報が行なわれており、各国の気象主務機関による天気予報などに用いられています。

気象通報は一定の書式（フォーマット）が決められており、「国内気象通報式」と「国際気象通報式」の主に2種類があります。

たとえば、国際気象通報式の一つである地上実況気象通報式（SYNOP）は、船舶が行なう海上実況気象通報式（SHIP）と並んで、国際的に最も重要な気象通報に位置づけられます。通報形式は、通報すべき要素、その配列順序などがキチンと決めら



図表 2.3 | ASAS: アジア地上解析天気図の例 (気象庁資料)

報式から得られた情報をもとに、予報技術者が描画ソフトを利用しながら作成しています。

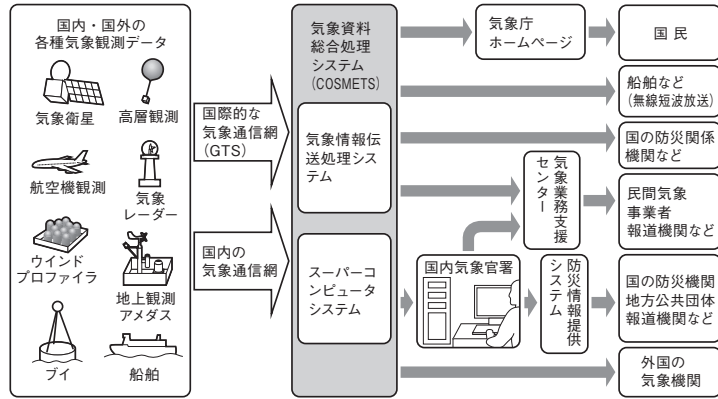
一方、地上気象観測には、前述のような通報を目的とした観測以外に、気候観測という種別があります。気候観測の観測項目は、通報観測に比べて広範囲であり、気圧、気温、風といった基本要素の毎時値のほか、蒸発量や日射量、さらに、日最大風速や最大瞬間風速などの極値を含んでいます。毎時の値や最高気温のような極値が観測成果としてそれぞれの気象官署に保存されており、観測データは気候の監視、建物・橋梁の設計、農業など広範囲に利用されています。

れており、符号および識別語・識別数字からなる多数の群で構成されています。各通報式には、観測地点(国際地点番号)、観測日時、緯度・経度などに引き続き、各気象要素の値が5個の数字群で記述されています。一種の暗号電文です。これらの数字の組み合わせにより、雲量や風向・風速、天気、気温、気圧の実況のほか、前1時間降水量、観測時刻以前に観測された最高気温や最低気温、合計降水量、降雪量などが表されています。SYNOPを受信した海外の気象機関では、この電文を解説(デコード)して天気図を作成しています。

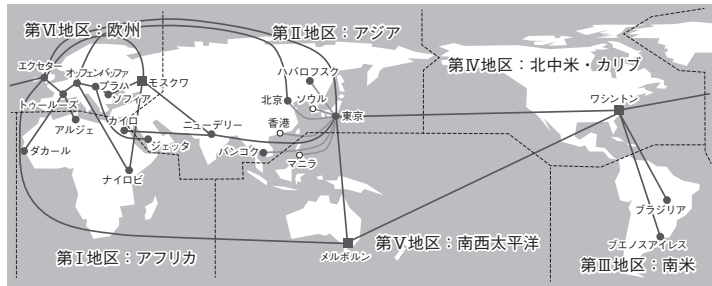
私事で恐縮ですが、筆者は最初の勤務地である大阪管区気象台で1年間、地上気象観測を、翌年から潮岬測候所では2年間、地上に加えて高層気象観測に従事していました。当時は現在と異なって、気象通報は数字暗号電文がモジュール通信で中枢に伝達されており、今でも「トトトト(4) ツートト(7) ツートト(7) ツートト(8) ……」とレシーバを耳に掛けて打電していたのを思い起こします。

図表 2・3は、気象庁が作成・発行している、ASASと呼ばれる「アジア太平洋域実況天気図」の一例です。ASASは6時間おきに発行されます。国際気象通





図表 2.4 | 気象庁の情報通信システムの概要 (気象庁資料をもとに作成)



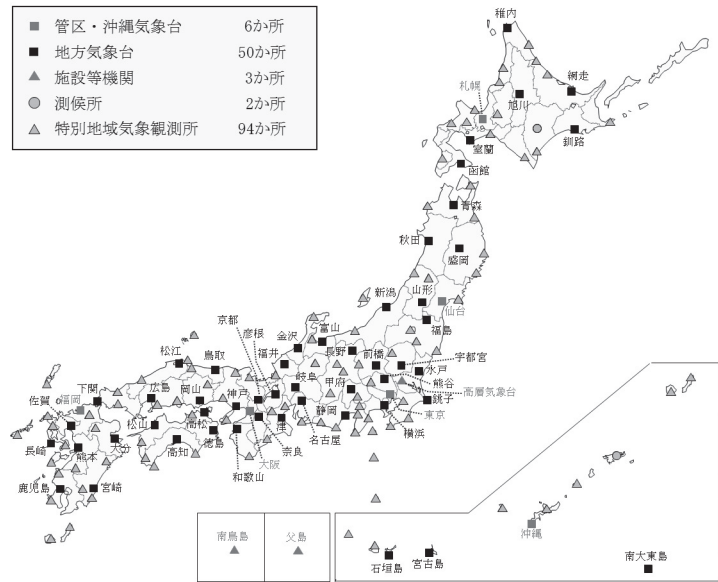
図表 2.5 | 全球通信システム (GTS) (気象庁資料をもとに作成)

す。誰でも気象庁で閲覧でき、データの取得も「気象業務支援センター」や民間気象事業者を通じて可能です。ほとんどの気象官署では約100年規模の観測データを有しています。

### 国内・国際気象通信網

天気予報に必須の気象観測データは、国内外の関係者に迅速に伝送される必要があります。気象庁は東京都清瀬市に「気象資料総合処理システム (COSMETS)」を設置し、365日24時間体制で、すべての気象データの収集・編集・中継処理を行なっています (図表2・4)。同時に、国際機関とのデータ交換を行なったり、政府機関に必要なデータを伝達したりしています。地震や津波に関する情報もこのシステムを経由して伝送されています。

国際的な気象データの交換は、国際気象回線と呼ばれる専用回線を通じて行なわれており、一部、インターネットも利用されています。気象通信はWMOの統一のものとで全球通信システム (GTS: Global Telecommunication System) と呼ばれる体制



図表 2.6 | 地上気象観測網 (気象庁資料)

### 3

## 地上気象観測

が整えられています (図表 2・5)。ワシントンとモスクワ、メルボルンを核として、日本はアジア地域における中心的な役割を果たしていることがわかります。

ここからは、さまざまな気象観測の詳細を説明していきます

地上気象観測は、最も基本的な観測であり、地上における気圧、気温、湿度、風、降水、雲、天気、日射などの観測と定義されています。さらに、地上気象観測は、前述のように通報観測と気候観測とに分けられています。

地上気象観測を観測網として見ると、次の三つの網から成り立っています。有人である地方気象台などの気象官署、無人である特別地域気象観測所、同じく無人のアメダス (正式名は地域気象観測システム) です。図表 2・6 に、アメダスを除く、全国