

## 4. 観測から予報まで —TVに出ない天気予報—

(財) 日本気象協会北海道支社 松岡直基

### 1. はじめに

最近の天気予報はよくあたるようになったと言われます。信頼される天気予報が出せるようになるまでには、多くの先人の努力、通信技術やコンピュータなどの科学技術の発達が不可欠でした。講義ではこれまでの天気予報の歴史や、皆さんがTVでみる天気予報ができるまでを駆け足で解説しましょう。また、普段は見られない各種天気予報もご紹介します。

### 2. 天気予報の歴史

#### 2.1 前史

人類が誕生したときから、気象や天体現象は人々の関心を集めたことでしょう。今よりもはるかに自然現象との結びつきが強く、いろいろな手段で天気予報を試みたはずで、多くの天気に関することわざ、りげん(俚語)からも想像できます。天気俚語と呼ばれ、日本でも各地に固有の言い伝えがありました。過去形にしたのは、現在では「夕焼けは晴れ」ぐらいしか聞かれなくなったからです。しっかりと天気や自然現象を観察して天気を予測する、観天望氣と呼ばれる行為自体が少なくなっています。

#### 2.2 気象学の発展期

ことわざよりも科学的な天気予報は17世紀にスタートします。トリチェリー(1643)の水銀気圧計の発明、キルヒャー(1643)の水銀温度計の発明が転機となります。気圧を定量的に測ることと、日々の天気現象の関係が結びついたのです。また、当時は大航海時代で七つの海を帆船が行き交い、貿易風の発見など地球規模の風の知識も増加していきました。この時期は、気象学の夜明けの時代と呼ばれています。

この次の転機は19世紀に訪れます。それは通信技術の発達です。気圧が下がれば天気が悪くなることはすでにわかっていたので、ある同じ時刻の広い範囲の気圧や天気、気温を集めれば、天気図が作成できます。気圧の低い領域が接近してくれば、天気が悪くなることが予想できるようになったのです。郵便で各地の気圧の値を3日後に入手しても予報は出来ません。モールス信号の電報で即座に集めてこそ予報の資料となるわけです。天気図の気圧のパターンから天気を予報する手法を総観気象と呼び、今でも天気予報の基本となっています。

科学技術の発達に戦争の影は付きまといます。天気予報も例外ではなく、クリミア戦争のときに嵐でフランスの軍艦が沈み、その嵐が天気図(1854)から予測可能であったことが示されました。それ以降、日常的に天気図作成を行うようになったといわれています。日本では1883年(明治16年)に最初の天気図が作成されました。

気象現象を定量的に記録→気圧と天気の関係発見→天気図の作成  
→天気図パターンと天気の関係研究→総観気象学の発達

天気図から発達した総観気象学は、ノルウェーのビャークネスが低気圧モデルを提唱(1921)し、温暖前線と寒冷前線を発見して現在の気象学の基礎を築きました。ビャークネスは気象観測の重要性を唱えましたが理解を得られず、私財を投入して息子と研究に励みました。地上の観測だけでなく山岳部での観測の重要性を唱えています。日本でも1880年(明治13年)に富士山頂で高層気象観測が始まっています。ここで活躍したのが小説にもなった野中夫妻です。やはり私財をなげうって観測を行い、ついには1895年(明治28年)夫婦で厳冬期富士山頂での気象観測を試み、3ヵ月後に高山病と栄養失調で衰弱したところを救出されました。

気象学の基礎を作ったもう一人は、ビャークネスと同時期にベルリン大学で助手をしていたヘルツです。彼は電磁波を発見したことが有名で名前が周波数の単位(Hz)になっていますが、気象学の貢献は忘れがちです。大気の渦運動と水蒸気の研究を行い気象力学・熱力学の基礎を築きました。

### 2.3 コンピュータ時代

現在の天気予報はコンピュータなしでは成り立ちませんが、実際の予報作業に役立つようになったのはここ20年ほどです。ところがアイデアは80年以上前からあったのです。イギリスのリチャードソンという人が6時間先の予報を1か月以上かけて手計算で行いました(1922)。残念ながら数値計算が完全でなく、おかしな答えしか出ませんでした。しかし、彼の著書の中で「6万4千人が大きなホールに集まり一人の指揮者の元で整然と計算を行えば、実際の時間の進行と同程度の速さで予測計算を実行できる」と提案したのです。計算によって大気の状態を予測する現在の数値予報を予言したもので、気象界では「リチャードソンの夢」として有名です。

なお、コンピュータの発達は大気の数値予報とともに進歩したと言っても過言ではありません。

第2次世界大戦後、数学者のフォン・ノイマンは気象学者と組んで、世界最初の実用的なコンピュータといわれた真空管式のエニアクを用いて、数値予報の実験に成功しました。多くの計算を行う天気予報は、コンピュータの性能を試すために格好のテーマなのです。世界で数値予報が進んでいるのは、米国とヨーロッパ(EC)、そして日本です。各国とも計算機の更新ごとに計算能力や計算方法が改善され、数年毎に階段状に予測精度が向上しています。

## 3. 気象観測

気象観測にはいろいろな対象物、目的があり、それぞれに適した観測方法があります。対象スケールの違いによる分け方をすると以下になります。それぞれの特長を述べます。

- ・ 広範囲 数千km～数十km 「気象衛星」 地球のレントゲンに相当
- ・ 中範囲 数百km～数km 「気象レーダー」 超音波検査やMRIに相当
- ・ 狭範囲 数km～数m 「アメダス」 聴診器に相当

### 3.1 気象衛星写真

図-1は日本付近の「ひまわり」の写真です。ここではまず観測の話ではなく大気現象に触れます。右はじや中央に低気圧の循環が写っています。右はじのベーリング海にある低気圧は直径1500km、中央の日本海の低気圧は直径500km程です。よく見ると日本海には筋状の雪雲が出ています。これらの雲は数km～20kmの大きさの小さな雲が連なったものです。このように雲には色々な大きさが存在します。

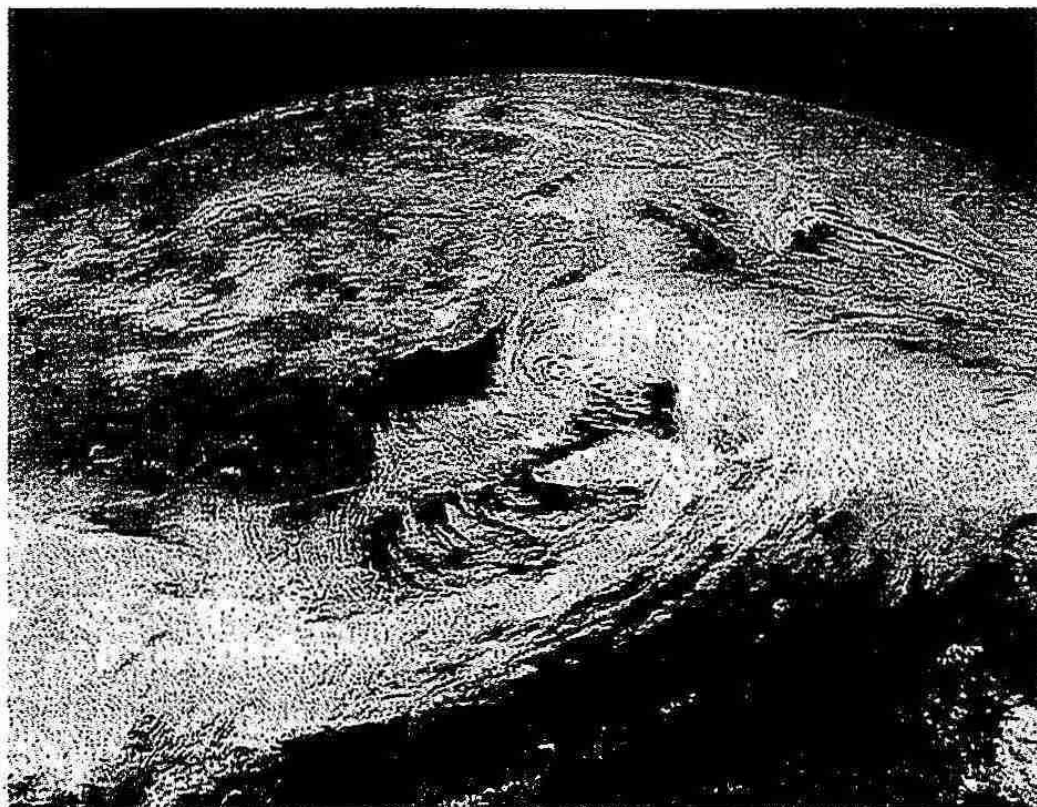


図-1 気象衛星「ひまわり」1999年3月22日12:32 可視画像

雲の大きさのスケールは寿命にも関連します。この写真の中央から左下へ伸びる幅の広い雲域は、春と冬の気団の境目にできたもので、10日程の寿命を持ちます。低気圧は数日から1週間程、活発な積乱雲では数時間程の寿命となります。雲（大気現象）には空間のスケールと時間のスケールがあって、空間スケールが大きいほど時間スケールも長いということを是非覚えてください。

もう一つ、この写真から大事なことがわかります。それは大気は薄く、気象現象は地表面近くで起きているということです。ある宇宙飛行士が大気はリンゴの皮のようだとやったのが、この写真からも納得できると思います。気象現象は地上から10km程の高さの中で起きています。直径が1000kmの発達した低気圧で、高さが10kmだと100：1の比率になります。このことは、小さな山などの地形や、比熱や粗度の違う陸や海の存在が気象現象に大きく影響することも同時に示しています。

気象衛星は広範囲を実際に見られるという点で大きな貢献をしました。視覚的な目的以外に、台風の発生や位置の監視、発達の数値、また前後の写真と比較することによって上空の風向・風速の推定にも使われています。ところで、地上の観測データだけから低気圧モデルや温暖前線、寒冷前線の概念を作ったベクターネスが、この写真を見たらなんと言ったでしょう。

### 3.2 気象レーダー

気象レーダーは200km程先までの降雨の状況を定量的に見ることができます。このためレーダー雨量計と呼ぶ場合もあります。しかし、レーダー単独では種々の誤差を含み雨量計としての精度は高くありません。地上の雨量計と組み合わせて補正をしながら使います。

#### ■レーダーの誤差要因

- ・雨粒に反射されるレーダーの反射強度と地上の雨量との関係が一定でない

- ・山陰や建物の陰は探知できない
- ・手前で強い雨が降っているとき後方の雨量探知精度が下がる
- ・電波は直進し地球は丸いのでレーダーサイトから遠くなると低い雨雲を探知できない

洪水や土砂災害を引き起こすような大雨の際には、次の数時間後にどこで何mmの雨が降るか防災上非常に重要な情報です。ここで威力を発揮するのがレーダーです。1～2時間は気象現象が持続すると仮定すれば、レーダーで過去の雨雲の動きを調べ、今後数時間先の雨の降り方を予測できます。短時間降雨予測として実用化され、近年は10分単位の超短時間降雨予測も稼働しています。

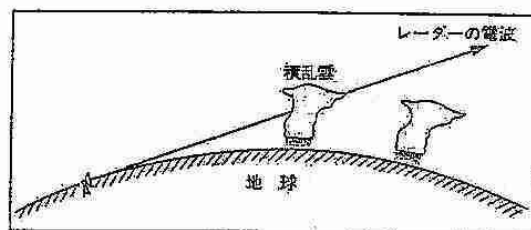


図-2 レーダー電波の模式図

### 3.3 アメダス

テレビの気象解説でおなじみのアメダスですが、実態は意外と知られていません。日本各地にある気象観測所と東京の気象庁のコンピュータを電話回線で結び、10分ごとに測定データを集めます。集めたデータはチェックや編集を行い、測定結果を各地の気象台や放送局などへ配信するシステム全体をアメダスと言います。アメダス (Automated Meteorological Data Acquisition System) で、日本語では「地域気象観測網」と言い、英字表記とは違います。粹な当時の長官が、京都弁の「雨どすえ」の表現に近くなるように英単語をあてたということです。私はネーミングの傑作だと思っています。

図-3はアメダスの気象観測所の写真です。風向・風速、気温、降水量、日照時間、積雪深を計測しています。



図-3 アメダスの気象観測所  
根室管内 中標津

## 4. 現在の天気予報

現在の天気予報は、コンピュータが大気の状態を予測計算する数値予報が主役です。気象庁では目的にあわせて表-1のようなモデルを稼働しています。基本式は、大気の運動を支配する流体力学方程式と熱力学第一法則です。どのモデルも大気を3次元の格子にして、格子点ごとの初期状態を入力します。それら格子点の値が数分後にどうなるかを基本式に入れて計算します。出た答えを再度基本式に入れてさらに数分後を予測します。この繰り返しを行って48時間後とか72時間後の大気の状態を予測します。繰り返すので、誤差が誤差を生む計算になります。さらに基本式は数学的に「非線形」と呼ばれる形をしています。これは、最初に少しの誤差を与えると、繰り返し計算を行ううちに、予想外の結果を生み出すという特徴があります。週間予報の後半の精度が低下するのはこれが原因です。

5本のモデルを使い分けられているのは初期値の精度、コンピュータの計算能力、モデルの精度が関係しています。全球で水平解像度が細かく詳細な地形を考慮したモデルを動かせないのは、計算機能力が追いつかないことと、細かな大気の状態を観測した初期値を作成できないためです。

表-1 気象庁の業務用数値予報モデル一覧

	予報時間	水平解像度	鉛直方向の層	予報領域	その他
MSM (メソ数値予報モデル)	18時間	10km	40層	3200km×2600km	
RSM (新領域モデル)	51時間	20km	36層	約5000km×4000km	
GSM (新全球モデル)	192時間	1.25度	30層	全球	
台風モデル	78時間	40km (台風中心)	15層	163*163 (格子数)	
1ヶ月予報モデル	1ヶ月	約110km	40層	全球	アンサンブル 予報数26

数値予報によって、水平解像度程度の大気の状態が計算されます。気圧や気温が予想されるので予想天気図が作成できます。また、過去の数値予報の結果とアメダスの各観測項目との関係から、その地点の気温や降水量を予測するモス（MOS）手法と呼ばれる経験的方法があります。過去の札幌上空の計算された大気の状態と、地上のアメダスで観測された気温の関係式を作成しておきます。数値予報で計算された明日の毎時の大気の状態をその計算式に入力すると、札幌の明日の毎時の予想気温が出てくる仕組みです。

さらに、経験豊富な予報官が各種情報を整理して、最終的な天気予報が完成します。経験には総観気象学や観天望気が加わるのは言うまでもありません。予報官は転勤で異動するとその地域の気象特性を勉強するところから始まります。

数値予報は改良が重ねられ、今後は低気圧の鉛直方向の動きを考慮したモデルへ変更されます。現行モデルでは大気の運動は水平方向のスケールに比べて垂直方向の動きは十分に小さいことを前提にしています。先ほどの衛星写真で見たリングの皮です。横の広がりはあるけれど、縦方向はこれに比べると短いからです。しかし、大雨を降らせる対流雲の中や周辺では強い鉛直方向の大気の流れができています。そこで、集中豪雨などを予測するためには鉛直方向も物理的に計算しようというモデルです。これを非静力学モデルといい、平成18年度から水平分解能5kmにして1日8回の運用が予定されています。

## 5. さまざまな天気予報

新聞やテレビで発表される天気予報は、天気予報の自由化もあって、内容も豊富になりました。ここでは、それ以外の普段はあまり見られない天気予報を情報の分野別に紹介しましょう。また、現在はIT（情報技術）の発達によって、インターネットの環境を所有していれば、一昔前の気象台以上の情報を収集することが出来ます。さまざまな気象情報や各種の予報を入手できますし、自宅で独自の予報を出すことも可能です。コンピュータの進歩とともに歩んできた天気予報は、情報社会になじみやすく、いろんな分野で早く取り入れられ活用されている情報でもあります。

### 5.1 防災気象情報

日本は国土の約7割が山地・丘陵地で、中央部に脊梁山脈が貫き山岳部を急流河川が流れています。雨が多く、毎年日本のどこかで洪水や土砂災害が発生しています。気象庁の大事な役目は、洪水や土砂災害から国民の生命や財産を守ることです。大雨・洪水警報が出されるほかに各種防災情報が、関係機関に送られています。

一級河川では以前から洪水予報指定河川として気象庁と河川管理者（北海道開発局）が共同で洪水予報を行っていました。最近では、二級河川でも同様の作業が行われようとしています。土砂災害対策でも気象庁と

都道府県が共同で予測作業の準備を始めました。省庁の情報公開が進み、インターネットや携帯電話で多くの情報を入手できるようになってきたのが最近の特徴です。防災管理者へ洪水予測や土砂災害予測のための限定情報が予測されています。

5.2 生活気象情報

北海道では本州ほど花粉症の被害は出ていませんが、シラカバ花粉がありハンノキ、ヨモギなどでも症状が報告されています。花粉症の方にとって花粉情報は春先の欠かせない生活情報です。

この他、紫外線情報や洗濯指数、ビール指数、鍋物指数などもあります。これらは、スポンサーが情報を提供する形式となっています。消費動向と気象情報の関係を解明して商売に利用したのがウェザーマーチャライジングと呼ばれる分野です。天気予報によってスーパーやコンビニの商品の品揃えや、並べる位置を変えることが行われています。

さらに天気予報を利用した商売として、天候デリバティブなる商品が出来ました。たとえば、海の家を経営者が冷夏になって大幅な減収が心配だと考え、一定額の保険金を支払います。保険会社は平均気温が設定した値より下回った場合に、一定金額を保障する仕組みです。冷夏なら海の家が、そうでなければ保険会社が儲かることになります。1997年に大手エネルギー企業エンロンが開発したのが始まりだそうです。金融工学のリスク計量化技術によって誕生したリスク管理商品です。

北海道の雪道を安全に走行するための、道路管理に対する気象予測も多数有ります。皆さんが便利な情報として、ホームページ「北の道ナビ」を一度ご覧ください。

5.3 産業気象情報

農業と気象の関係は古くから研究され、農業気象学という学問としても発達しました。宮沢賢治の小説「グスコーブドリの伝記(1932)」に、地球温暖化の原理で冷害を克服する試みが書かれたものもあります。冷害の克服に農業気象学は貢献しました。

農業の自由化に備え農水省のとった対策のひとつに農業気象情報の活用があります。ガットのウルグァイ・ラウンド対策として、農家に気象情報や営農情報を提供するシステム作りを行い、農家のITは進みました。農業気象情報は北海道内の多くの農家や農協に導入されています。気象情報は、病害虫の発生予察、農薬の散布のタイミング、施肥管理など多方面に利用されています。また、小麦の刈り入れ時には携帯電話でレーダーの雨雲を監視しながらコンバインを運転し、商品価値が低下しないようにリアルタイムに気象情報を活用しています。

電力と気象の関係も密接です。水力発電の資源として降雨量や降雪量の把握、送電線管理における強風や電線着雪問題、火力発電所建設時の排煙など大気環境のアセスメント、原子力発電所の温排水や大気の流れなど、気象現象が関わります。強風や電線着雪に対しては色々な対策が施されていますが、送電線が大きく揺れることで発生する瞬間的な停電は、コンピュータ社会では市民生活に大きな影響を与えます。雷対策とともに新たな課題になっています。

さらに、電力需要予測と気温の関係は今年最も注目される現象でしょう。東京電力の最大電力需要は夏の最高気温出現ころの平日日中に記録されます。一方、北海道電力では寒波と降雪の襲来する冬季に出現しま



図-4 各省庁の防災情報を提供するホームページ

す。それぞれエアコン、暖房・融雪機器によるものです。本州では最高気温がその日の電力需要のピークを決めることにもなります。気温の予測はエネルギー需要の最大キーポイントなのです。さらにエネルギー源の多様化・環境問題に対応した、風力発電のための風予測も新たな分野です。

エアコンの生産も夏の気温が販売に大きく影響します。需要を予測して半年以上前から生産計画を立てます。電気製品メーカーは、複数の気象会社から長期予報を購入し利用しているようです。

海と気象も農業同様に古い関係です。漁業通報というNHKラジオ第二の気象実況を聞いた方は多いでしょう。波浪予測にも限定情報があります。大型タンカーは水深の浅い岸壁に着岸できないので、沖にあるシーバースという海上の棧橋で荷揚げが行われます。原油は、数キロ先の沖合いにあるシーバースから海底パイプを通して、地上の製油工場やタンクに運ばれます。タンカーとシーバースのパイプをつなぐ部分は波があると接続できません。今後48時間は波の高さが0.5m未満といった予測が必要になります。

防波堤建設などの海洋工事でも波浪予測は重要です。ケーソンという防波堤になるコンクリート製の大きな箱を海底にすえつける工事の際に、波浪予測は欠かせません。

## 6. おわりに

最近の天気予報はよくあたるようになったと言われます。これは今日、明日の予報を言っているのだと思います。現に週間予報はあたらない、毎日ころころ変わるとの苦情もいただきます。今年の夏は暑い、今年の冬は寒い・雪が多い？などの長期予報になると精度はまだまだです。長期予報でもアンサンブル予報という、誤差を想定した何通りかの入力に対して数値予報の答えがどのような傾向を示すかという、多数決のようなテクニックを使って精度の向上を図っています。しかし、数ヶ月先の何月何日の何時の天気はどうなるかは当分予測できないでしょう。

昔ある篤農家の方と長期予報の話をしました。彼いわく、長期予報はあたらない方がよい。下手にあたると人間は余計なことを考える。冷害がわかっているならば、その年はまじめに営農をしなくなる、と言うのです。そう言いながら彼は春に発表される暖候期予報を基に、どのような作物を畑に植えるか真剣に考えていました。北海道の開拓は気象との戦いでした。営農技術や施設が発達しても、自然と向き合う基本姿勢の大切さを感じました。

科学技術が発達し人類は多くのものを得ることができました。そして環境や生態系など失ったものの貴重さにも気がつき、歯止めがかかり始めました。これを機会に、天気を通して自然と人間とのかかわりを見直していただければ幸いです。

### 参考文献

- 二宮洸三, 新田尚, 山岸米二郎.1997: 図解気象の大百科.オーム社  
 駒林誠.1973: 気象の科学.NHKブックス  
 新田次郎.1975: 芙蓉の人文春文庫  
 気象庁予報部.2003: 気象庁非静力学モデル. (財) 気象業務支援センター  
 宮沢賢治.1986: グスコープドリの伝記, 宮沢賢治全集8.ちくま文庫