

特集2 気象情報を支える基盤的な観測

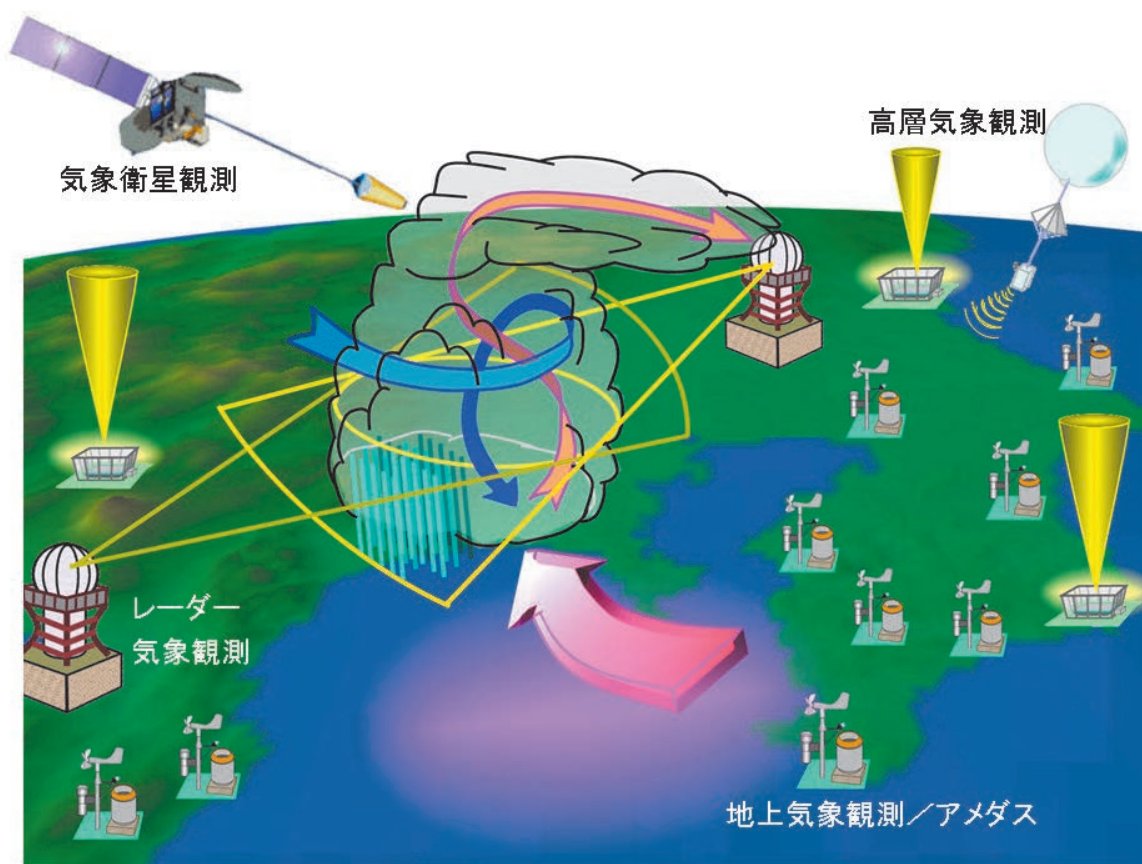
我が国は、その地理的条件から、発達した低気圧の通過による突風や大雨、梅雨前線や秋雨前線の停滞による局地的な集中豪雨、台風の来襲による強風や大雨、夏の激しい雷雨、冬の季節風による日本海側の大雪など、人的、物的に大きな災害をもたらす様々な気象現象が発生します。また、地震や津波による災害や火山活動による災害なども発生します。

気象庁は、こうした自然災害の防止・軽減に資するため、気象、地震・火山、海洋に関する警報や注意報などの気象情報を作成・発表しています。また、地球温暖化をはじめとした地球環境問題へ対応していくため、地球環境に関する情報を作成・発表しています。これらの情報は、気象衛星や気象レーダー、アメダス、船舶など、様々な観測手段からなる観測網を用いて、大気や海洋、陸域で起こる様々な現象を時間的かつ空間的に細かく正確に観測し、詳細に解析することによって作成・発表されています。

この特集では、各種の気象情報を支えている基盤的な観測網を取り上げ、どのような観測システムを用いて大気、海洋、陸域の様々な現象を日々監視しているのかをご紹介します。

1 気象災害を防ぐための観測網

気象庁の気象観測網



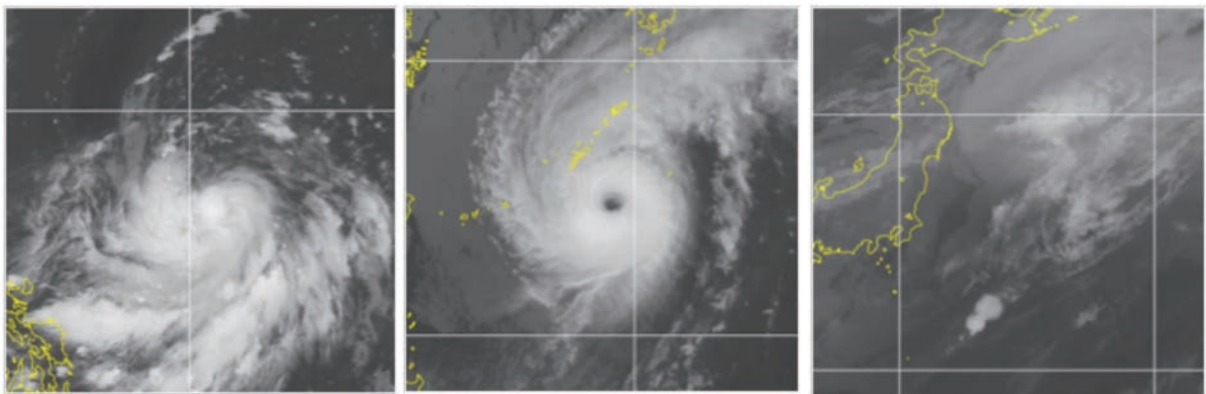
気象庁では各種の気象観測装置を利用し、広範囲で詳細な気象状況を地上から上空まで立体的に把握しています。これらの観測データは防災気象情報などに用いられるほか、予測を行うために不可欠なデータとなっています。

(1) 台風災害を防ぐための観測網

ア. 台風の特徴及びメカニズムなど

海面水温が高い熱帯の海上は高温多湿で上昇気流が起こりやすく積乱雲が頻繁に発生します。この積乱雲の発生を契機としてできる積乱雲群の渦が熱帯低気圧です。熱帯低気圧は、海面から供給される熱や水蒸気をエネルギー源として発生・発達し、中心気圧が下がるにつれて中心付近の風速が強くなります。熱帯低気圧のうち、北西太平洋域(赤道から北緯 60度、東経 100度から 180度までに囲まれる区域)に存在し、最大風速がおよそ毎秒 17メートル以上のものを台風と呼びます。台風が北上するにつれて冷たい空気と混ざりあうと徐々に弱まり、最大風速が台風に満たない熱帯低気圧となります。また、冷たい空気が台風の中心部まで入り込むと、熱帯低気圧の特徴である暖かい空気の塊が不明確になり、温帯低気圧に変わります。台風から変わった温帯低気圧は、しばしば再び発達して広い範囲に大雨や強風をもたらすことがあります。また、台風を満たない熱帯低気圧であっても、大雨や強風となることがあります。台風に伴う雨や風は一般的にその中心付近で強いですが、前線の近くなどでは、台風から離れている場所でも台風の影響をうけて大雨や強風をもたらすことがあります。このように台風が日本から離れている場合や、台風の時だけでなく熱帯低気圧や台風から変わった温帯低気圧の場合も大雨や強風などについて警戒が必要です。

台風の一生(2010年台風第14号)



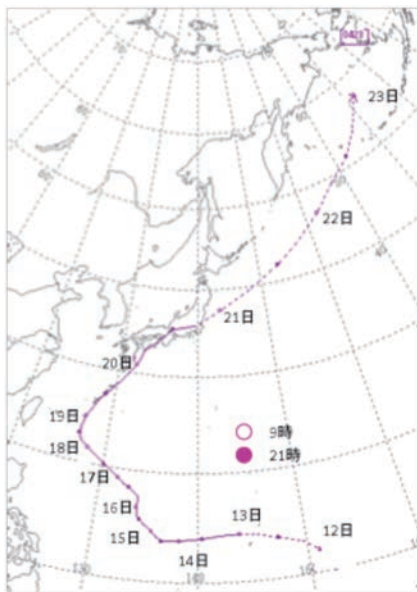
左：発生時 中：ピーク時 右：温帯低気圧に変わった時

イ.台風による災害の事例

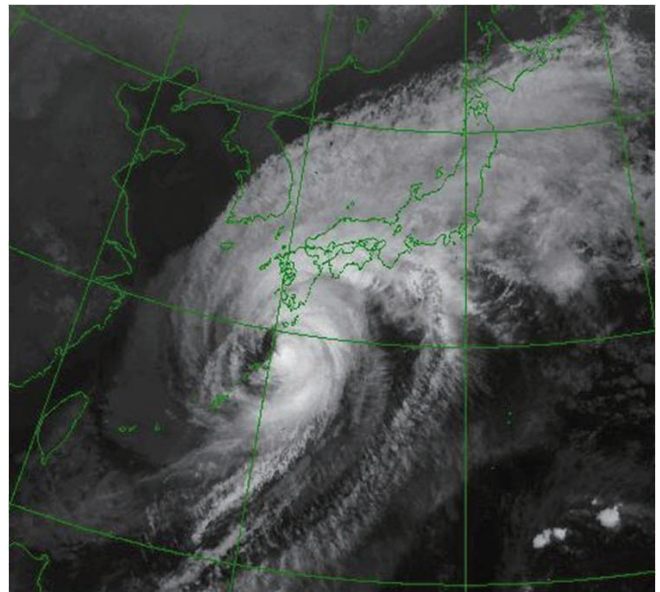
【平成 16年台風第 23号】

平成 16年台風第 23号は、強い勢力で四国に上陸しました。この台風と前線の活動により、広い範囲で大雨や暴風、高波となったほか、高潮が発生し、死者 95名、行方不明者 3名、浸水家屋約 55,000棟となるなど、大きな被害が発生しました。

台風経路図



衛星画像(赤外画像) 10月20日3時



左図は台風第 23号の経路図です。12日から 13日にかけての点線は熱帯低気圧、13日から 20日の実線は台風、20日から 23日にかけての点線は温帯低気圧であることを示します。右図は 20日 3時の気象衛星画像で、台風を取り巻く雨雲が日本を広く覆っているのがわかります。

兵庫県豊岡市
円山川の破堤による洪水被害



高知県室戸市
高波による防波堤の被害



台風第 23号による大雨のため、兵庫県豊岡市では円山川の堤防が破堤し、広い範囲で家屋などが浸水しました。また、高波によって、室戸市では防波堤が壊れ、住民が死傷する被害が出ました。

ウ.台風災害を防ぐための観測

台風の監視・予測のためには、洋上域を含む広域の観測を行うことのできる気象衛星による観測、台風の発達や移動に重要な役割を果たす上空の気象状況を観測する高層気象観測、降雨を面的にとらえ台風の中心位置を精度良く観測する気象レーダーによる観測が特に重要です。以下では、これらの観測の概要について紹介します。

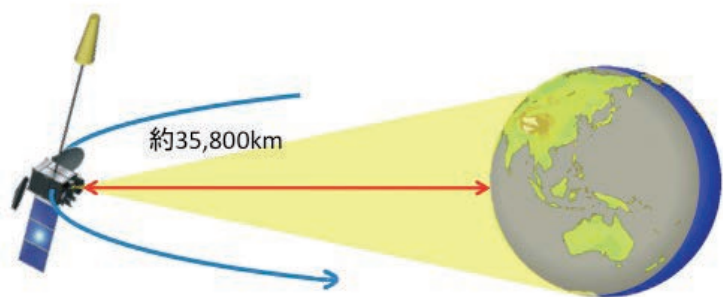
①気象衛星「ひまわり」による観測

○「ひまわり」の概要

気象衛星「ひまわり」が登場するまでは、国内外の陸上・海上での観測や米空軍航空機による観測で台風の状況を把握していましたが、昭和53年(1978年)に正式運用を開始した我が国の静止気象衛星「ひまわり」により、洋上域での台風監視は新しい時代を迎えました。我が国を中心とした太平洋の広い範囲の台風の発生、発達、衰えの様子や進路を昼夜を問わずに把握することができるようになり、我が国のみならずアジア・太平洋地域の国々の気象業務に多大な恩恵をもたらしています。

静止気象衛星「ひまわり」は、東経140度付近の赤道上空約35,800kmの静止軌道にあって地球の自転周期に合わせて周回しています。これにより、日本を含む東アジア・西太平洋地域を常時観測することができます。現在の「ひまわり」(6号と7号)は、1種類の可視画像、4種類の赤外画像を撮像する機能を持ち、30分毎に全球と北半球を交互に観測しています。

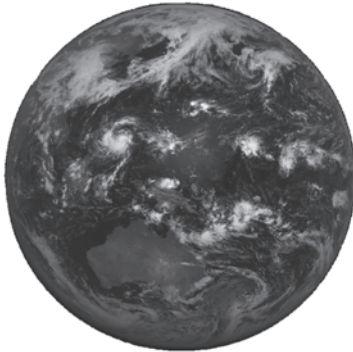
地球を周回する静止気象衛星



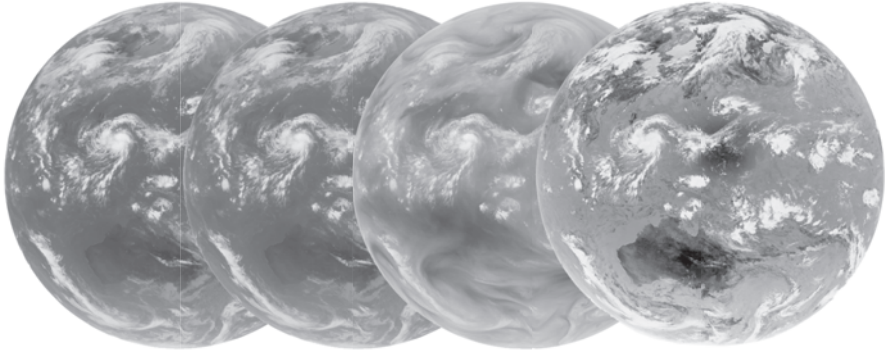
静止気象衛星は東アジア・西太平洋地域の雲や水蒸気の分布、上空の風、火山灰の分布、海面の温度などを観測しています。

静止気象衛星画像

可視画像



赤外画像1~4

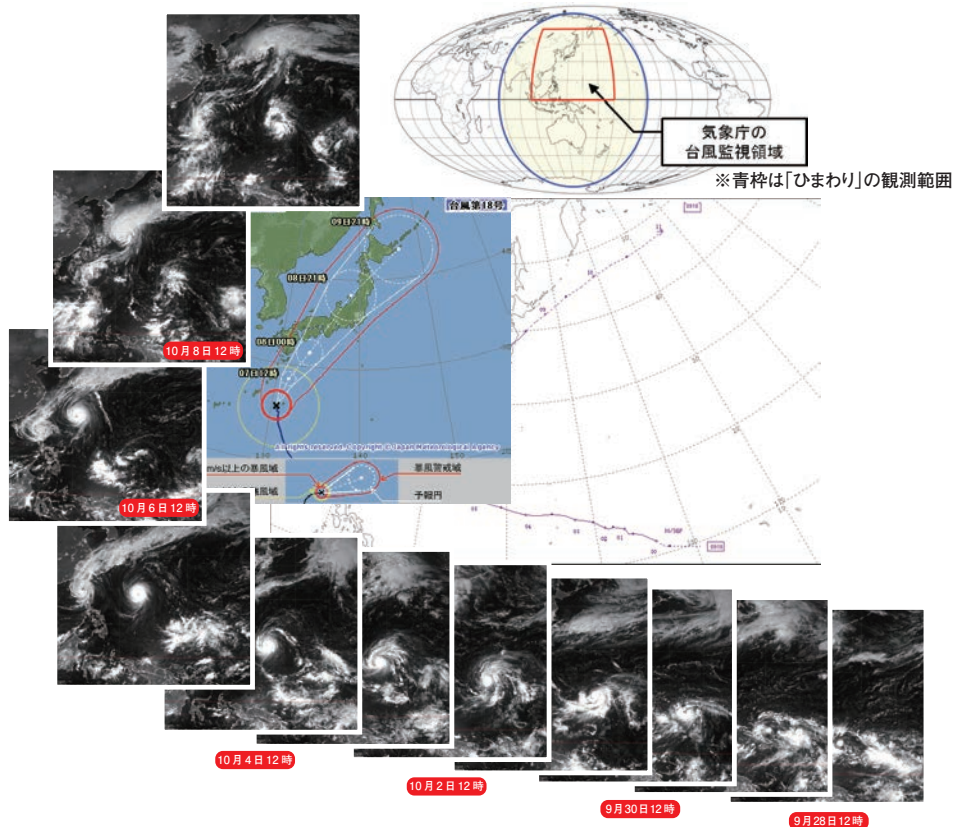


可視画像は、雲や地表面によって反射された太陽光をとらえる画像であり、雨を伴う発達した雲ほど白く写ります。夜間は太陽光の反射がないので、夜間の雲は可視画像に写りません。赤外画像は、雲から放射される赤外線をとらえた画像です。高い高度にあって温度の低い雲や水蒸気が多い場所を白く表現しています。

○台風の監視

台風は海上で発生し発達するため、陸に近づいてくるまでは、レーダーやアメダスなどによる地上からの観測が行えません。太平洋の広い範囲を観測できる「ひまわり」は、洋上の台風の発生・発達の監視に不可欠な観測手段です。

「ひまわり」による台風の監視

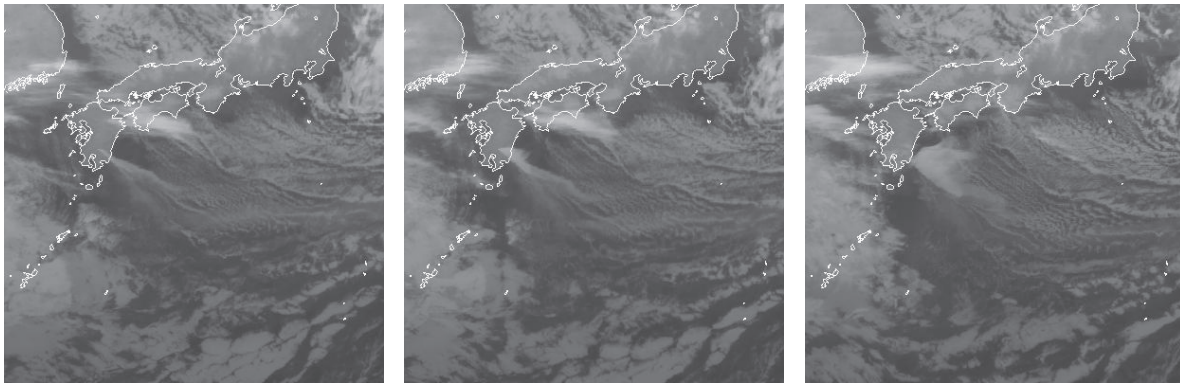


「ひまわり」からみた平成21年台風第18号の一生(右下から左上、一日ごとの可視画像)

○幅広い分野での利用

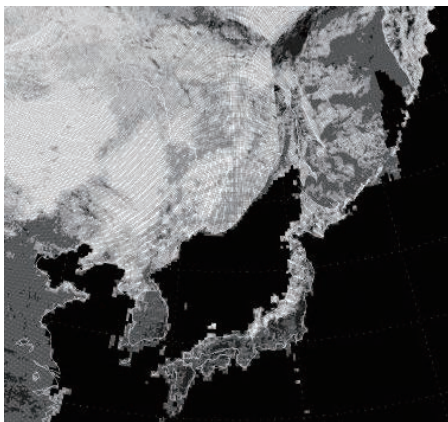
「ひまわり」が観測するデータは、台風の監視以外にも、集中豪雨等の監視、数値予報の初期値への利用、航空機や船舶の安全運航に資する情報の作成、気候・環境の監視など幅広く利用されています。また、アジア・太平洋を中心とした世界各国の気象機関でも最も重要な観測データの一つとして利用されています。

幅広い利用



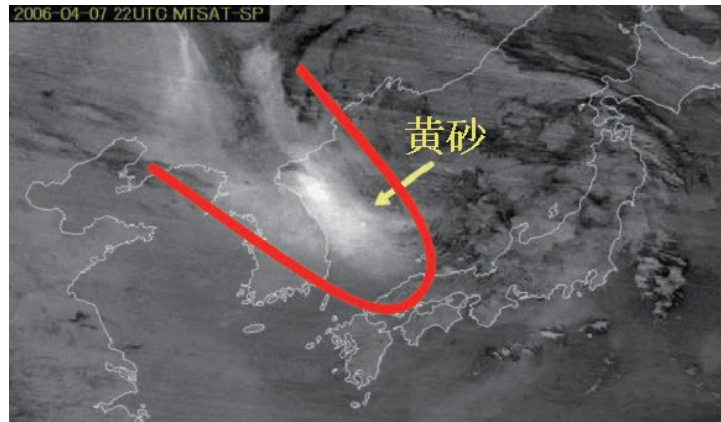
噴火活動の監視

(平成23年1月27日02時～06時 霧島山(新燃岳)の噴火による噴煙の拡がりをとらえた画像)

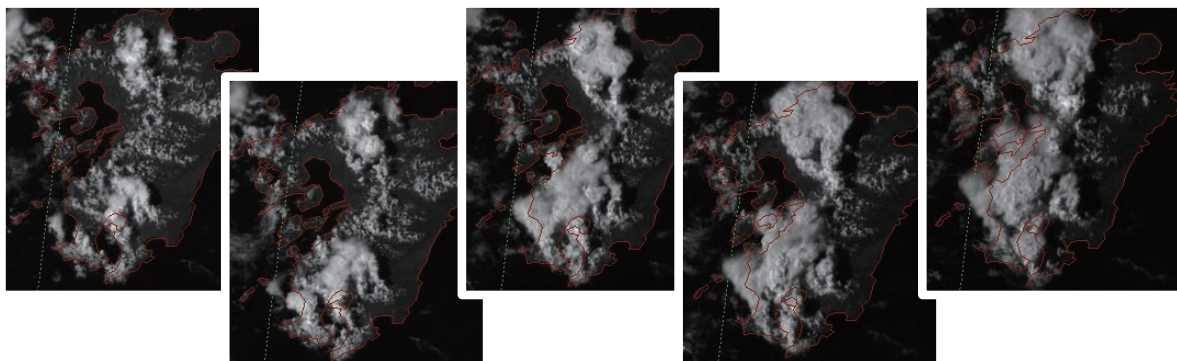


雪氷域の監視

(陸上の白い部分は雪に覆われている。オホーツク海上の白い部分は流氷)



大陸からの黄砂等エアロゾルの監視(平成18年4月8日7時 黄砂をとらえた画像)



高頻度雲衛星観測による日本域の急激に発達する積乱雲の監視

※高頻度雲衛星観測: 日本付近に限定した小領域を5分間隔で観測するもの
平成22年8月18日14:40～16:00(20分毎) 九州地方

○次期気象衛星ひまわり8号、9号

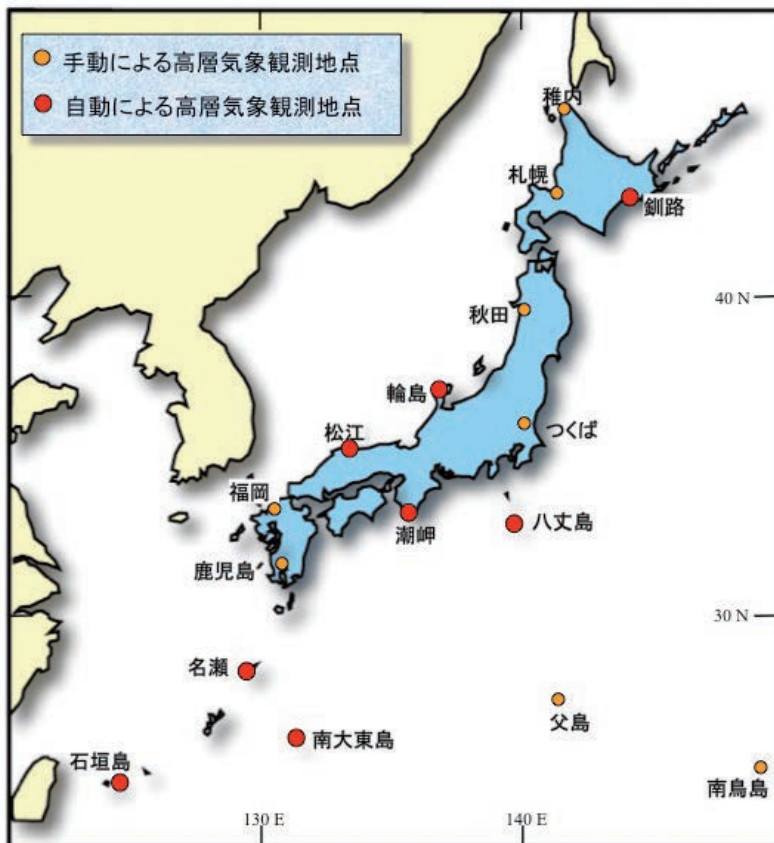
現在、製作を進めている次期気象衛星のひまわり8号、9号では、現衛星に比べて、可視画像は1キロメートルから0.5キロメートルへ、赤外画像では4キロメートルから2キロメートルへと水平分解能が向上し、観測間隔も約30分から約10分へと短縮します。さらに、観測画像の種類も5種類から16種類に増やします。

また、民間の資金、経営能力及び技術的能力を活用して公共施設等の建設、維持管理、運営等を行うPFI (Private Finance Initiative) 手法を、次期気象衛星の管制業務や観測データの受信業務に新たに導入し、これら業務の従事経験をもつ民間事業者に運用させることにより、安定的かつ効率的な運用を行います。

②ラジオゾンデによる高層気象観測

日々の天気の変化をもたらす低気圧などの気象は、主に、地上から十数キロメートル上空までの対流圏において発生しています。また、その上にある成層圏において発生する現象も、対流圏の気象に大きく関連しています。気象庁では、これら上空の気象をとらえるため、全国16地点で毎日決まった時刻（日本標準時09時、21時）に「ラジオゾンデ」という観測機器を気球に吊るして飛ばさせ、地上から約30キロメートル上空までの気圧、気温、湿度及び風を観測しています。

ラジオゾンデによる高層気象観測網



図の16地点でラジオゾンデによる高層気象観測を実施

ラジオゾンテ飛場の様子



人の手で行うラジオゾンテ飛揚(左)と機械で自動的に行うラジオゾンテ飛揚(上)

台風などにより重大な災害をもたらす恐れがあると予想される場合には、1日2回(09時、21時)の定時以外の時刻にも臨時にラジオゾンテによる高層気象観測を実施します。

高層気象観測のデータは、天気解析や予測に利用するだけでなく、航空機の安全な運航にも極めて重要なものとなっています。

また、近年は、気候問題への関心が高まり、高層気象観測のデータは気候変動の監視にも利用されるようになっていきます。

③気象レーダーによる台風の観測

台風が陸地に近づき、気象レーダーの観測範囲内に入ってくると、特徴的な渦巻き状の雨域が観測できるようになります。これを利用して、気象レーダーにより1時間ごとに台風の中心位置や移動速度を観測しています。

気象庁では、このほか地上や船舶による観測や気象衛星のデータを総合的に用いて、台風の位置、大きさ、強さなどを解析し、台風情報として発表しています。

気象レーダーによる台風観測



平成22年9月18日に石垣島付近に接近した台風第11号について、気象レーダーにより台風の中心位置を解析している様子

(2) 集中豪雨災害を防ぐための観測網

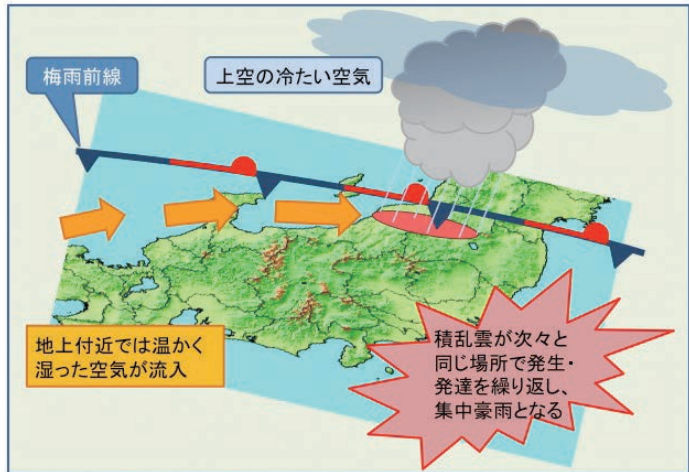
ア.集中豪雨の特徴及びメカニズムなど

強い雨が数時間、同じ場所に集中して降る大雨を集中豪雨とよんでいます。

地上付近に暖かく湿った空気が流れ込んだり、上空に冷たい空気が流れ込んだりすると、大気の状態が不安定になり積乱雲が発生・発達しやすくなります。

前線や低気圧の影響、地形の効果などにより水平方向数キロから十数キロの大きさの積乱雲が同じ場所で次々と発生・発達を繰り返すことで、強い雨が数時間にわたって降り続き、数百ミリの大雨をもたらし、重大な災害を起こすことがあります。最近では、平成22年10月に奄美市を中心に多いところで3日間の総降水量が800ミリを超える大雨となりました。

集中豪雨のメカニズム



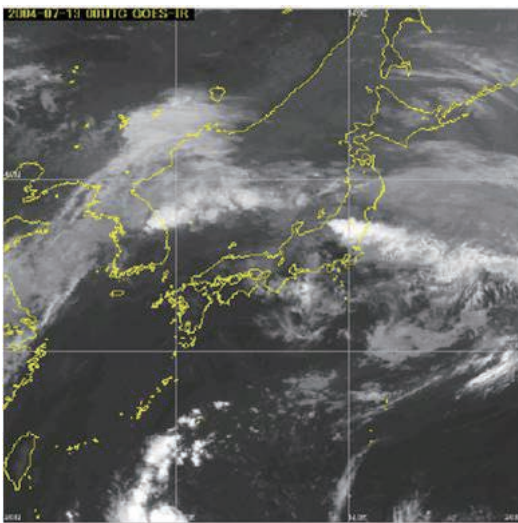
梅雨前線に伴う「集中豪雨」の例

イ.集中豪雨による災害の事例

【平成16年新潟・福島豪雨】

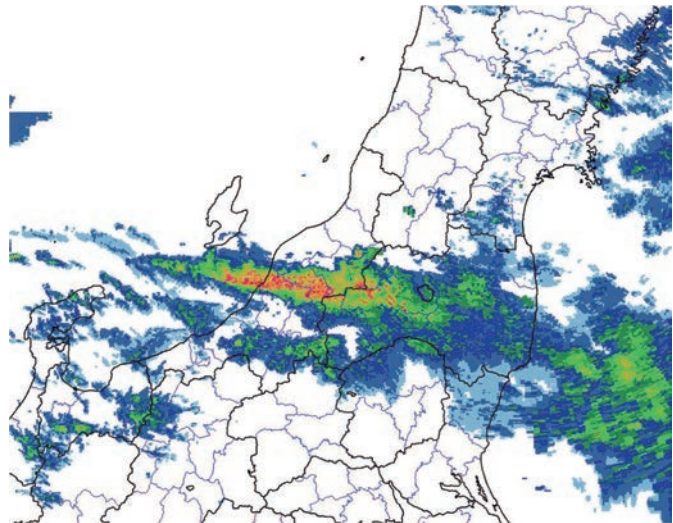
梅雨前線の活動が活発となり平成16年7月13日に新潟県および福島県で集中豪雨となり、大雨による洪水や浸水、土砂災害が発生し、死者16名、浸水家屋約8,500棟の大きな被害となりました。

衛星画像(赤外画像)



衛星画像で、新潟県付近で積乱雲が発達しています。この積乱雲付近では、気象レーダーで線状の降水帯が観測されました。

気象レーダー画像(7月13日8時)



新潟県三条市内における浸水被害



提供:国際航業株式会社
新潟県三条市や見附市などでは河川のはん濫や内水はん濫による浸水が発生しました。また、新潟県中越地方の山間部などでは土砂災害が多発しました。

ウ.集中豪雨災害を防ぐための気象観測網

①レーダー気象観測

○レーダー気象観測の概要

気象レーダー（次ページ左図）は、アンテナ（次ページ右図）を回転させながら電波を発射し、雨や雪によって反射された電波（エコー）を受信することにより、どの位置にどの程度の強さの降水があるかを把握し、半径数百キロメートルの広範囲内に存在する降水を観測するものです。また、気象ドップラーレーダーは、降水の強さに加え、戻ってきた電波の周波数のずれ（ドップラー効果）を利用して雨や雪の動きをとらえることによって風の向きや強さを観測することができます。

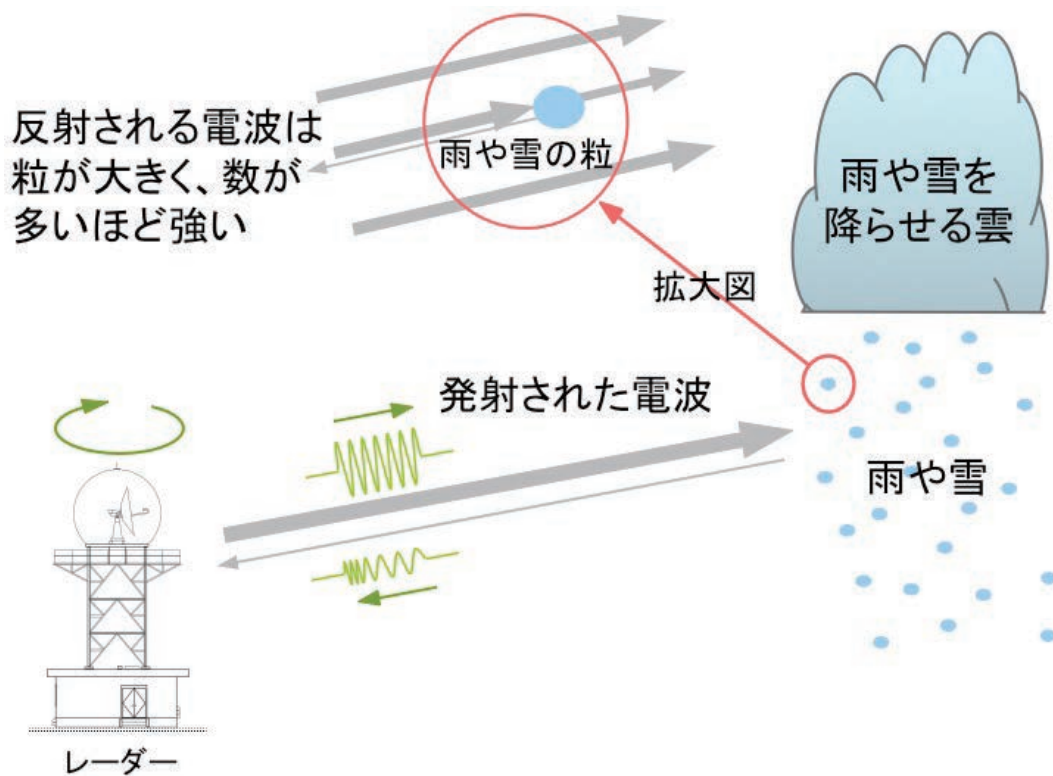
現在気象庁では全国 20 か所の気象レーダー（気象ドップラーレーダー：16 か所、気象レーダー：4 か所）によって降水の観測を行い、大雨の状況を監視し、大雨警報などの防災気象情報の的確な発表に利用しています。また、気象ドップラーレーダーによる風のデータは、数値予報や竜巻の発生予測にも用いられています（特集 1 (3) 項「竜巻など突風災害を防ぐための観測」参照）。

気象レーダー



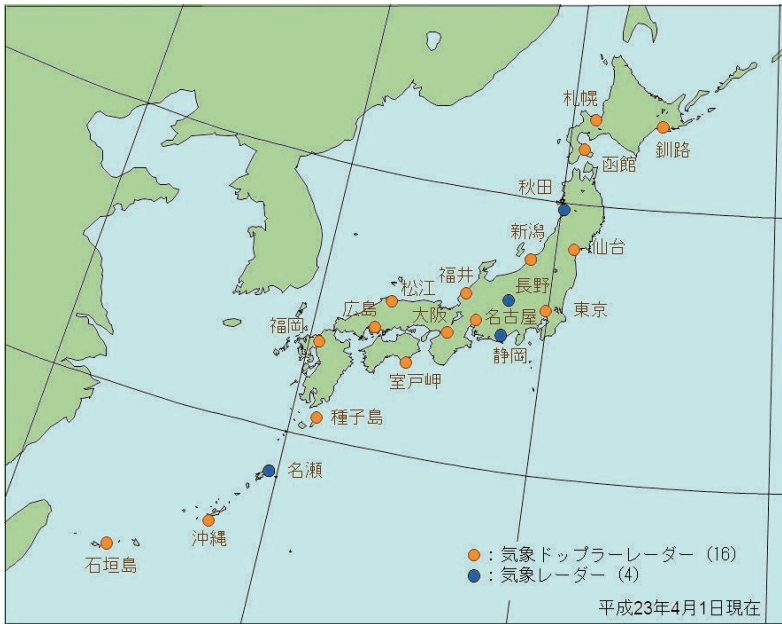
函館に設置されている気象レーダー（左）とアンテナ（右）。アンテナは丸いドームに覆われ、風雨などから保護されています。

気象レーダーによる雨・雪の観測



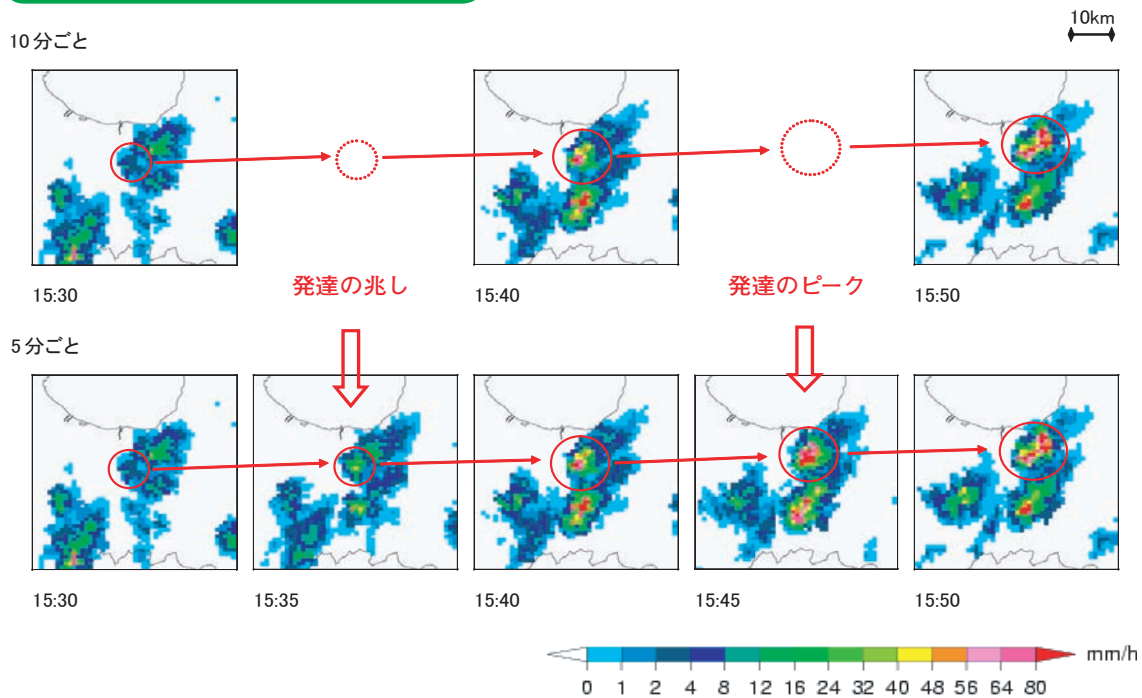
アンテナから電波を発射し、雨や雪から反射される電波の強さから降水強度を、電波を発射して戻ってくるまでの時間から雨や雪までの距離を測定し、降水の三次元分布を観測します。

気象レーダー配置図



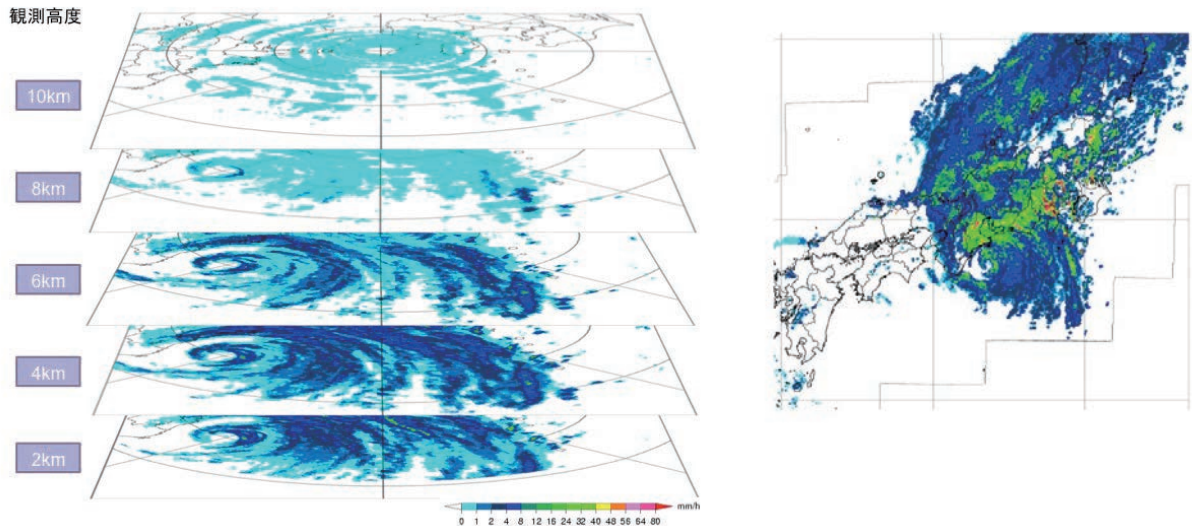
気象庁のレーダーは、1キロメートル四方の分解能で降水の分布を観測しています。平成21年から観測間隔を10分から5分へ短縮することによって、より高頻度にきめ細かなデータの提供が可能となり、集中豪雨の監視をより詳細に行えるようになりました。また、立体的な観測を行うことで、積乱雲の発達状況をとらえることができます。

レーダー観測間隔10分から5分への変更



10分毎のデータではとらえられなかった雨雲の発達の兆しや発達のピークをとらえることができました。

気象レーダーの立体観測



立体観測を行うことで雨雲の高さなどの情報が得られ、雨雲の発達状態を監視することができます。

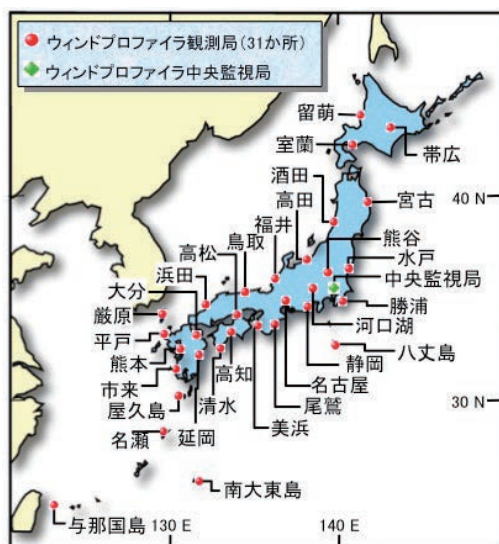
気象レーダーで観測した上空の雨や風のデータなどは航空機の安全な運航のため、航空管制・運航管理にも利用されています。

② ウィンドプロファイラ観測

○ ウィンドプロファイラによる気象観測の概要

ウィンドプロファイラは地上から上空に向けて電波を発射し、気流の乱れや雨粒によって散乱してはね返ってきた電波を受信し、ドップラー効果を利用して上空の風向・風速を10分毎に300メートルの高度間隔で連続して観測します。気象条件によって観測データが得られる高度は変動しますが、晴天時には3～6キロメートル、曇天時や降雨時には7～9キロメートル程度までの上空の風向・風速が観測できます。

ウィンドプロファイラ観測網



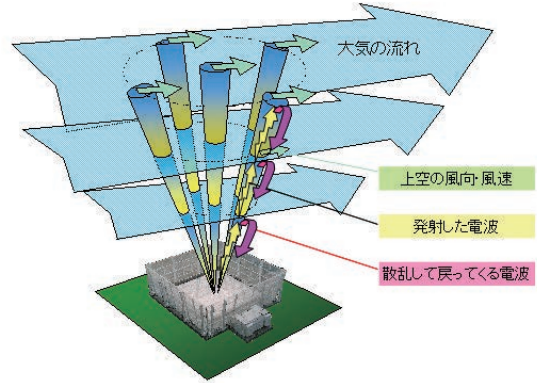
気象庁では、全国31か所にウィンドプロファイラを設置しています(平成23年4月現在)。

ウィンドプロファイラの外観



水戸観測局の全景。白い四角のフェンス内の地面にアンテナが設置されています。

ウィンドプロファイラによる上空の風の観測の概要図



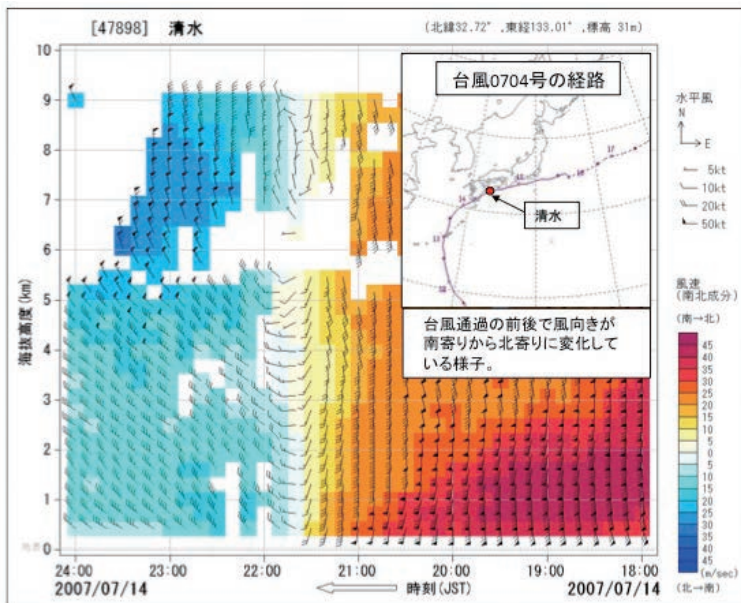
天頂と天頂から東西南北に約10度傾けた上空の5方向に電波を発射します。各方向からはね返ってきた電波の周波数のずれ(ドップラー効果)から上空の風向・風速を観測します。

○ウィンドプロファイラによる気象観測

ウィンドプロファイラで上空の風を連続的に観測し、豪雨や豪雪などの局地的な気象災害の要因である「湿った空気」の流れを観測することにより、数時間先の大雨の予測の精度向上に大きく寄与しています。また台風や前線に伴う強風などの監視にも役立てられています。

ウィンドプロファイラ観測例

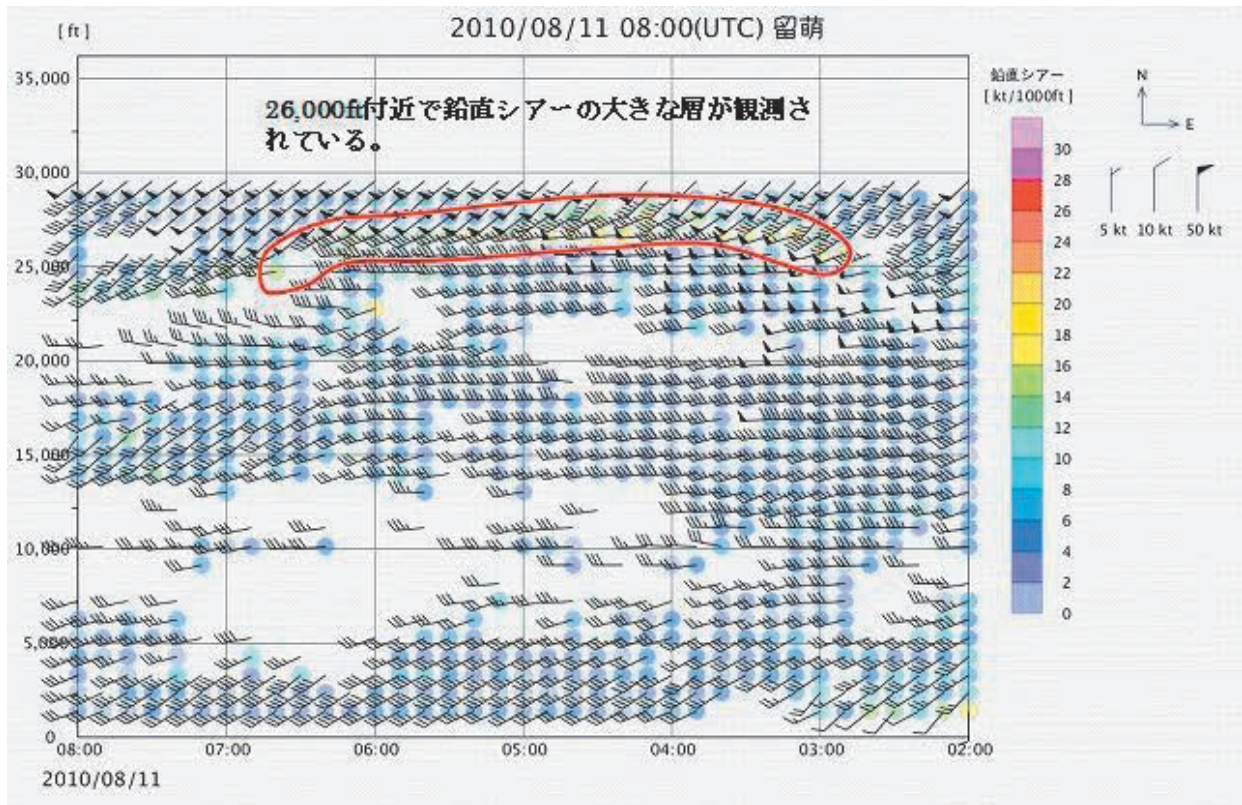
(平成19年(2007年)台風第4号通過時の観測例)



台風の通過に伴い(図の右から左)、南風(赤)から北風(青)に変化している様子が分かります。

観測データから鉛直方向の風の変化（鉛直シア）を知ることができます。鉛直方向に風が大きく変化している所では乱気流が発生する可能性があるためこの情報を航空関係者に提供し、航空機の安全な運航に役立てています。

ウィンドプロファイラ観測例（上空の風の変化の観測例）



図は10分毎の観測データの、高度1,000フィート（約300m）毎の風向・風速の矢羽根表示と、1,000フィート（約300m）毎の鉛直シアを色分け表示したものです。赤枠内では鉛直シアが大きくなっており乱気流が発生する可能性があります。

③地上気象観測

○気象台や測候所での地上気象観測

地上気象観測は我々が生活する地表付近の気象を対象とした観測で100年以上にわたり行われてきました。これは観測点における大気の様々な現象を精度良く把握できる最も基本的な観測のひとつです。

全国約60か所の気象台・測候所などで、気圧、気温、湿度、風向、風速、降水量、積雪の深さ、降雪の深さ、日照時間、日射量、雲、視程、大気現象等の気象観測を行っています。雲、視程、大気現象（霧、竜巻、黄砂、雷など）などは観測者が目視、聴音によって観測していますが、その他は地上気象観測装置によって自動的に観測を行っています。

また、全国約90か所の特別地域気象観測所で、地上気象観測装置による自動観測を行っています。

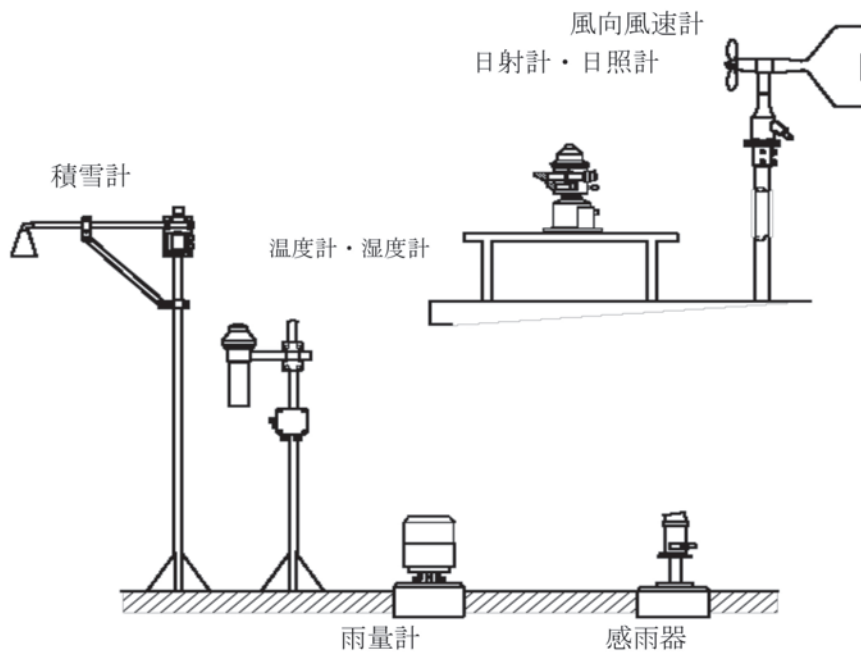
これらの観測データは、天気予報の発表に利用されるほか、平年値などの統計、地球温暖化などの気候変動の監視や産業活動への気象等の影響調査や研究などでも活用されています。

地上気象観測網



(平成23年1月1日現在)

地上気象観測装置の構成



地上気象観測装置のうち、気圧計を除く測器(上図)は屋外に設置し、気圧計は屋内に設置して観測を実施しています。

地上気象観測装置は主に以下のような測器で構成されています。

風向風速計 風の吹いてくる方向とその速さ (m/s) を観測

日射計 太陽からの放射エネルギー (MJ/m²) を観測

日照計 日光が地表を照射した時間 (h) を観測

温度計 大気の温度である気温 (°C) を観測

湿度計 蒸気圧とその時の気温における飽和水蒸気圧との比である相対湿度 (%) を観測

雨量計 地表面に達した雨、雪などの降水の量 (mm) を観測

感雨器 地表面に達した雨、雪などの降水の有無を観測

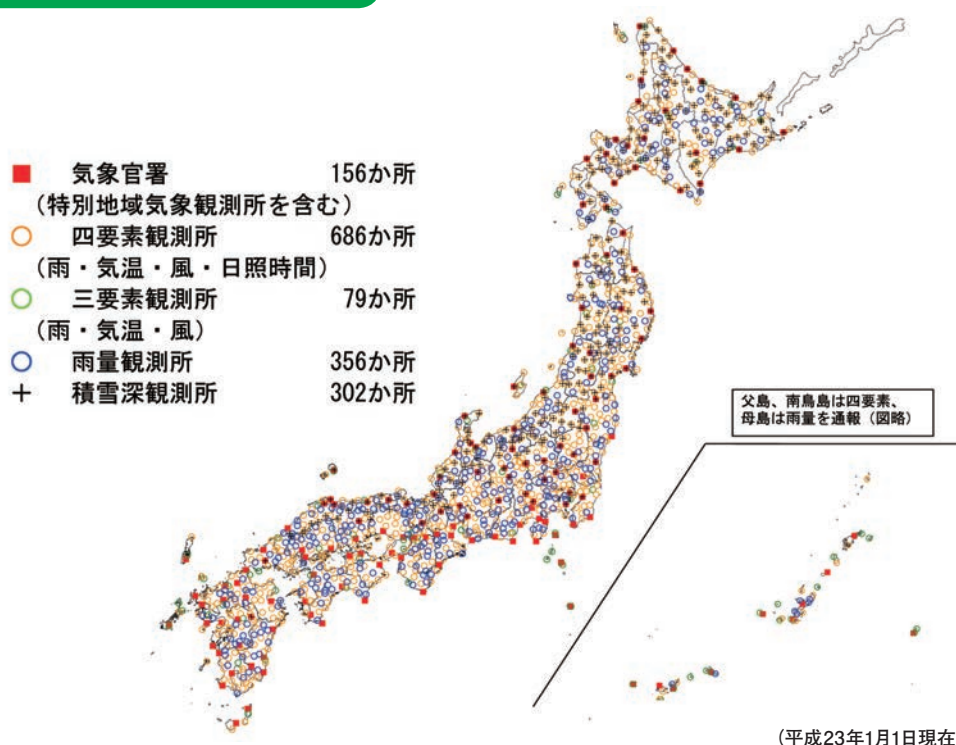
積雪計 自然に積もって地表面をおおっている雪の深さ (cm) を観測

気圧計 大気の圧力である気圧 (hPa) を観測

○地域気象観測システム(アメダス)

1970年代に気象観測データの自動集信を目的として開発されたのが「地域気象観測システム」で、アメダス (Automated Meteorological Data Acquisition Systemを略したAMeDAS)と呼んでいます。気象官署での観測を含め、全国約1,300か所の観測データを通信ネットワークを介して本庁に集め、周囲の観測データとの比較や統計的な処理などにより、観測データの誤りの有無等の品質チェックを実施したのち、全国の気象官署に配信し、気象台の発表する警報等の気象情報の発表に利用しています。また、民間気象業務支援センターを通じて報道機関、民間気象事業者、防災関係機関など観測データを提供しており、テレビや新聞などでの気象状況の解説や防災活動の基礎データとして活用されています。

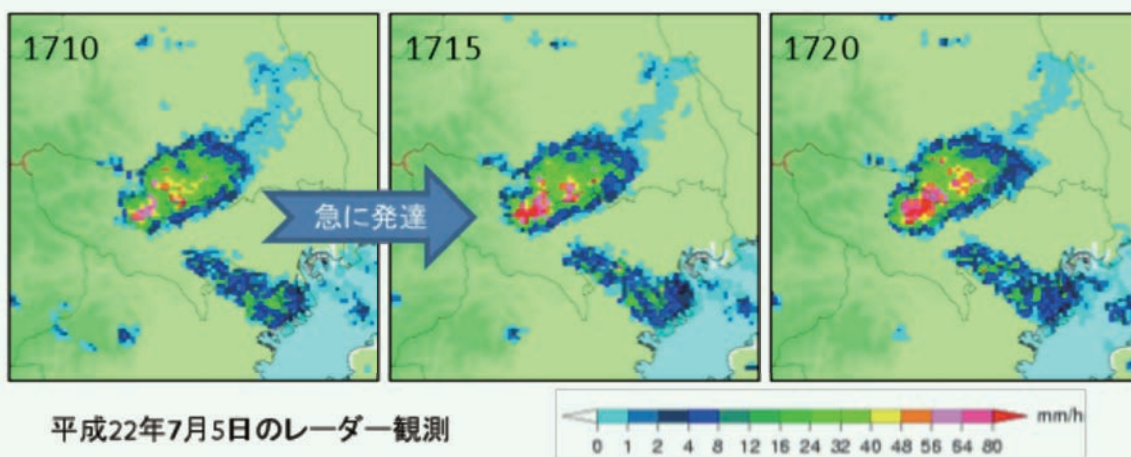
地域気象観測システム(アメダス) 観測網



コラム

5分間隔で発表する降水ナウキャストの提供を開始

気象庁では、急激に発達する局地的な大雨の監視等に活用するため、平成21年7月から、気象レーダーによる降水強度の観測を5分間隔で実施しています。



さらに、平成23年3月より、降水ナウキャストについて、これまでの10分間隔に加え、新たに5分間隔での発表を開始しました。新たな降水ナウキャストは、5分単位で60分先までの「降水強度」を予測します(下図の青と赤すべての時刻)。上図のように雨雲が急発達する場合、これまででは17時20分の予測に雨雲の発達を反映させていましたが、新たな降水ナウキャストでは、今までより5分早い17時15分の予測に雨雲の発達を反映させることができます。

また、予測対象をレーダー観測と同じ「降水強度」としたことや、レーダー観測による5分毎の雨雲の動きを基に移動速度を決めることから、実況経過から予測への流れをスムーズに見ることができます。

10分毎に60分先までの各「10分間降水量」を予測する既存の降水ナウキャスト(10分間降水量)も引き続き提供しています(下図の赤の時刻)。



コラム

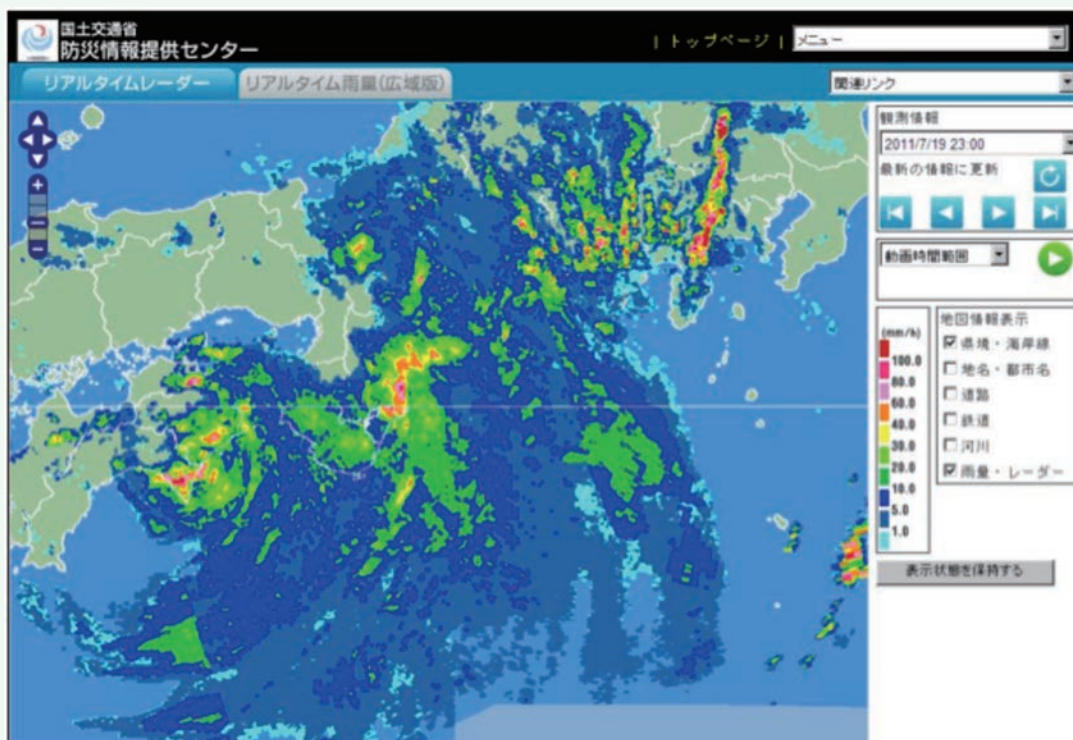
☉防災情報提供センター（国土交通省）

国土交通省では、気象庁を含む省内各部署等が保有する様々な防災情報を集約し、インターネットを通じてワンストップで国民の皆様へ提供するため、「防災情報提供センター」を開設しており、気象庁が運営を担当しています。

同センターホームページ（<http://www.mlit.go.jp/saigai/bosaijoho/>）からは、国土交通省等が観測した雨量情報が一覧できる「リアルタイム雨量」、国土交通省のレーダーを統合した「リアルタイムレーダー」のコンテンツに加え、災害対応の情報及び河川、道路、気象、地震、火山、海洋などの各種の防災に関する情報を容易に入手することができます。

また、平成21年10月より、同センターの携帯端末向けホームページ（<http://www.mlit.go.jp/saigai/bosaijoho/i-index.html>）で気象警報等を提供しています。

リアルタイムレーダーの提供ページ



平成 23 年 7 月 19 日 23 時のリアルタイムレーダー画像です。
この後台風第6号は四国に上陸し、紀伊半島付近を通過して南東進しました。

(3) 竜巻などの突風災害を防ぐための観測網

ア. 竜巻の特徴及びメカニズムなど

○ 竜巻の特徴

竜巻は、積乱雲に伴って発生する激しい風の渦巻で、上空には漏斗（ろうと）状または柱状の雲（「漏斗雲」といいます）を伴うことがあります。竜巻は、寒冷前線の近傍や台風の接近時に多く発生しています。

竜巻の大きさは、直径数十から数百メートルと小さいため、レーダー等では現象そのものを直接観測することはできません。しかし、近年の研究により、強い竜巻は、雲の中に直径数キロメートルから十数キロメートルの小さな低気圧性の回転（メソサイクロン）を持つ、スーパーセルと呼ばれる非常に発達した積乱雲に伴って発生するケースが多いことがわかってきました。また、竜巻のほか、発達した積乱雲に伴って、ダウンバースト（積乱雲から吹き降ろす下降気流が地表に衝突して水平に吹き出すことで発生）などの激しい突風が発生することがあります。

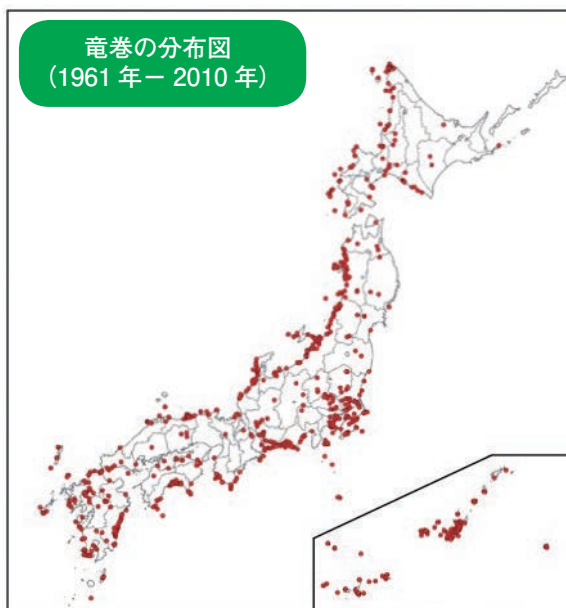
気象庁では、気象ドップラーレーダーによるメソサイクロンの検出結果と数値予報データを利用して、竜巻などの激しい突風の発生可能性を予測する竜巻発生確度ナウキャストを提供しており（コラム参照）、竜巻などの激しい突風が発生する可能性が高まった場合には、「竜巻注意情報」を公表しています。

竜巻とその被害の様子



赤矢印 : 空気の流れ
 黒矢印 : 樹木等の倒壊方向
 白点線 : 竜巻の経路

竜巻は、周囲の空気を吸い上げながら移動するため、被害の分布は細長い帯状となる。



1961年～2010年に発生した竜巻の分布図。
 竜巻による被害は、平野や海岸線に近い地域で発生しているものが多い。

気象庁「竜巻等の突風データベース」より
<http://www.data.jma.go.jp/obd/stats/data/bosai/tornado/stats/bunpu/bunpuzu.html>

イ. 竜巻による災害の事例

我が国で過去に発生した竜巻による被害の分布を見ると、竜巻は日本のどこでも発生していることがわかります。平成 18 年には、宮崎県延岡市や北海道佐呂間町などで竜巻による大きな被害が相次ぎました。特に、11月7日に北海道佐呂間町で発生した竜巻では、死者9名、負傷者31名、住宅損壊39棟に及ぶ甚大な被害が発生しています。

北海道佐呂間町で発生した竜巻の経路と被害状況



図中の左下から右上に伸びる赤い点線が竜巻の経路。

日本における主な竜巻災害(1990年以降)

発生日	発生場所	藤田スケール ^{※1}	死傷者・家屋被害 ^{※2}
1990年2月19日	鹿児島県枕崎市	F2~3	死者1名、負傷者18名、全壊29棟、半壊88棟
1990年12月11日	千葉県茂原市	F3	死者1名、負傷者73名、全壊82棟、半壊161棟
1999年9月24日	愛知県豊橋市	F3	負傷者415名、全壊40棟、半壊309棟
2006年9月17日	宮崎県延岡市	F2	死者3名、負傷者143名、全壊79棟、半壊348棟
2006年11月7日	北海道佐呂間町	F3	死者9名、負傷者31名、全壊7棟、半壊7棟

※1 用語集参照

※2 死傷者・家屋被害は防災機関等の資料を基に集計したものです。

ウ.突風災害を防ぐための観測

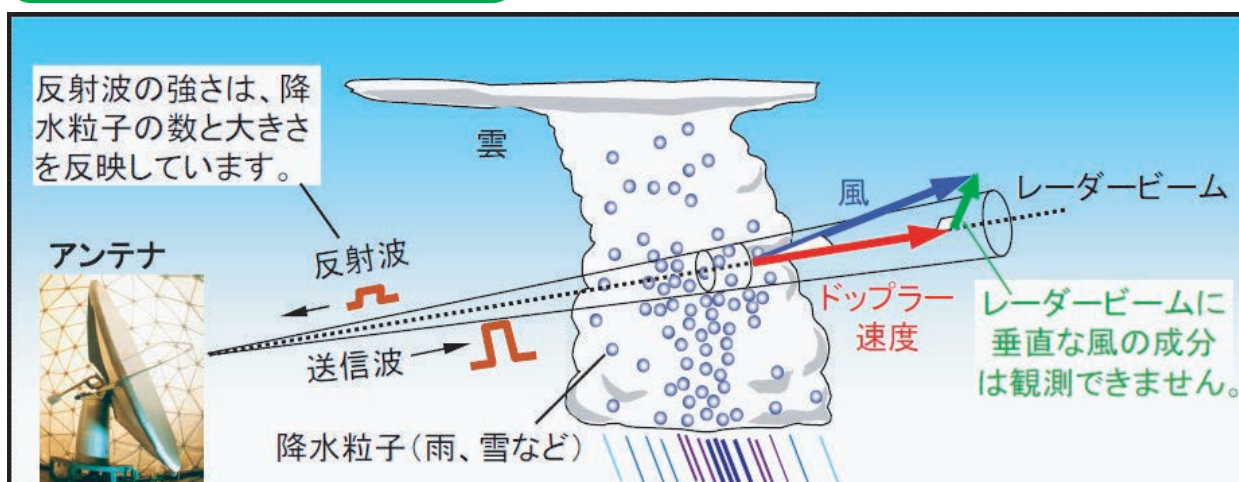
①気象ドップラーレーダーによる観測

○風を観測する原理

気象ドップラーレーダーは、降水の位置や強さの他に、降水粒子の移動を電波のドップラー効果を用いて測定できます。

動いている降水粒子から反射されて戻ってくる電波は、送信した周波数からずれて受信されます。降水粒子がレーダーに近づくときには周波数が高くなり、逆に遠ざかるときには周波数が低くなります。この現象はドップラー効果と呼ばれ、この周波数の変化を利用することにより降水粒子のレーダービーム方向の速度（ドップラー速度）を求めることができます。

ドップラーレーダーによる風観測の概念図



降水粒子は小さいので、風に流されて移動していると考えることができ、「降水粒子の動き」は「空気の動き」となるため、ドップラー速度を観測することで「風の情報」を得ることができます。

②突風現象の調査

平成18年9月に宮崎県延岡市で、また同年11月に北海道佐呂間町において発生した竜巻による甚大な被害を踏まえて、関係省庁は連携して竜巻等の突風による災害の軽減に重点を置いた取り組みを開始しました。

気象庁においては、各地で発生する突風事例を調査する体制を強化したほか、過去の突風現象の事例を再調査し、「竜巻等の突風データベース」として整備・公表しています。

突風調査においては、突風の発生後、速やかに地元の気象台職員が現地に赴き、目撃情報や風の向き・強さを示す被害痕跡等を丹念に調査し、突風の種類（竜巻、ダウンバースト等）や発生時刻、強さ等を推定することになっています。平成22年は、全国の24の都道府県で計44件の現地調査を実施しました。

突風調査の結果は、報道発表等で速やかに公表した後、気象庁ホームページの「竜巻等の突風データベース」にも掲載しています。

現地調査で得られた被害分布と風向の例



平成21年7月27日に群馬県館林市で発生した竜巻による被害分布と被害や痕跡から推定される風の風向。竜巻の特徴である、被害の帯状分布と風向の収束性が見られる。

現地調査を行う地方気象台職員



群馬県館林市で発生した竜巻(左)と宮城県加美郡加美町で発生したダウンバースト(右)に関する気象庁機動調査班(JMA-MOT、緑色のベストを着用)の現地調査の様子。現地の住人の方から竜巻に関する目撃情報等の収集を行っている。

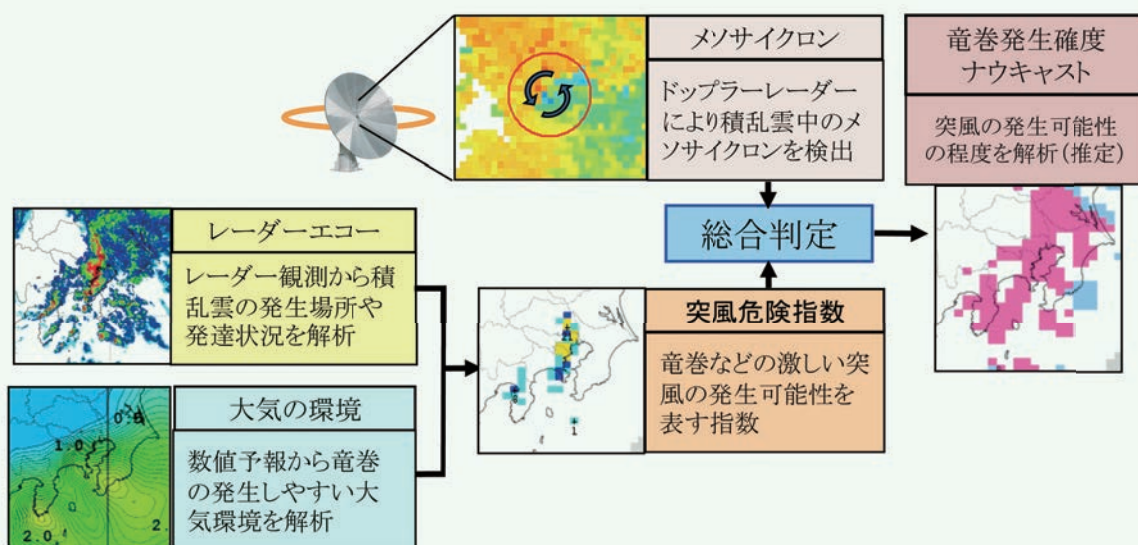
コラム

観測網の整備により提供が可能になった竜巻発生確度ナウキャスト

気象庁では、竜巻などの激しい突風の発生可能性を予測する竜巻発生確度ナウキャストを提供しています。これは、分布図形式で常時10分毎に提供する情報です。実際に竜巻などの激しい突風が今にも発生しやすい気象状況になった時には、各地の気象台が県などを対象に竜巻注意情報を発表します。

竜巻などの突風は規模が小さく、様々な観測網を利用しても発生状況を把握することはできません。しかし、竜巻発生確度ナウキャストでは、下図のようにメソサイクロンと突風危険指数という二種類のデータを総合的に解析することにより、突風が発生する可能性の高い地域を予測することができます。メソサイクロンは、気象ドップラーレーダーによる風の観測から検出することができます。突風危険指数とは、竜巻やダウンバーストの発生の可能性を示す指数であり、この計算にもレーダーによる雨雲の立体的な観測を利用しています。

気象ドップラーレーダーの観測網が全国的に整備されたことなどにより、竜巻などの激しい現象についてもリアルタイムな情報が提供できるようになりました。



(4) 高潮・高波災害を防ぐための観測網

ア. 高潮・高波の特徴及びメカニズムなど

○高潮

高潮は、台風や発達した低気圧の接近に伴い海面が異常に上昇し、海水が防潮堤を越えることで浸水等により沿岸の施設に被害をもたらします。高潮は主に2種類の気象要因で発生します。

一つめの要因は、気圧の低下に伴う「吸い上げ」です。台風や低気圧の中心付近では気圧が低いため、大気が海面を押し付ける力が弱くなり海面が上昇します。気圧が1ヘクトパスカル低くなると、海面は約1センチメートル上昇します。

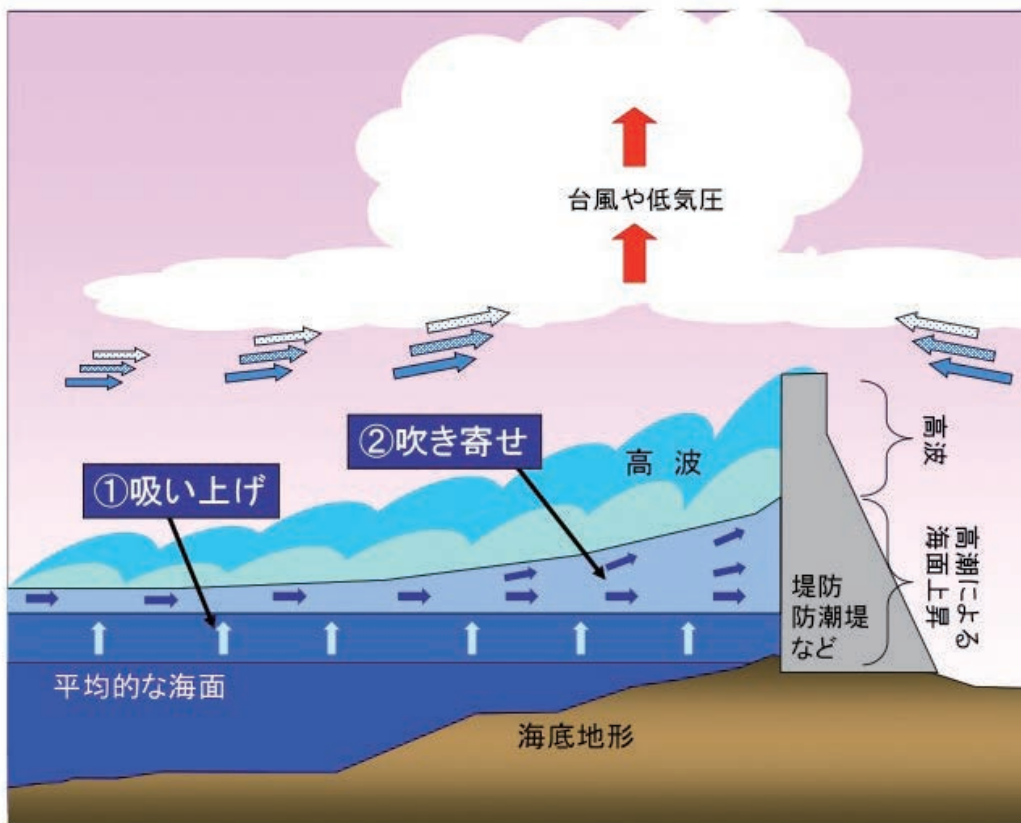
二つめの要因は、風による「吹き寄せ」です。台風などで海から陸に向かって吹く強風により海水が海岸に吹き寄せられることで海面が上昇します。たとえば南に開いた湾の西側を台風が北上する場合には、南寄りの強風が吹き続けるために大きな高潮が発生することがあります。

○高波

波は、海上で強風が長時間吹くことにより発達して高波となり、沿岸の施設や航行する船舶に被害を及ぼすことがあります。

また、台風接近時には、高潮によって潮位が上昇しているところへ、海岸に押し寄せた高波が乗り上げます。高潮だけでは海水が防潮堤を越えない場合でも、高波が重なると越えることがあります。特に高潮がピークとなる時間帯は浸水の危険が高まります。

高潮の発生する仕組み



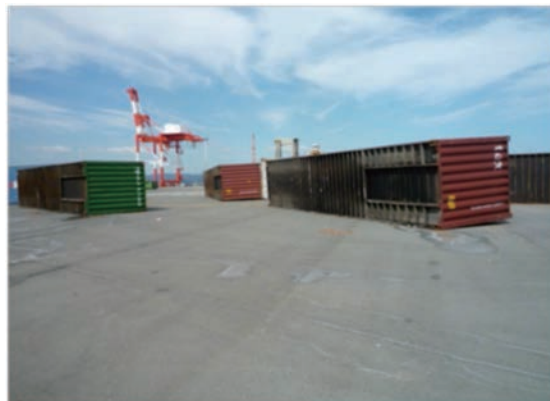
高潮は気圧の低下による吸い上げ①と風による吹き寄せ②により潮位が上昇する現象です。さらに、高波が重なることで、浸水の危険性が高まります。

イ.高潮・高波による災害の事例

平成 21 年台風第 18 号は、愛知県知多半島付近に上陸し本州を北東進しました。これに伴い、三河港では非常に大きな高潮が発生し、埠頭に置かれたコンテナが流されるなどの被害が発生しました。また、相模湾に面した三浦半島の海岸では、高潮と高波が重なり、護岸を越えた海水による浸水被害が発生しました。

(右写真)高潮による冠水で浮上したコンテナが強風により移動・転倒しました。

高潮により流されたコンテナ



護岸を超える高波

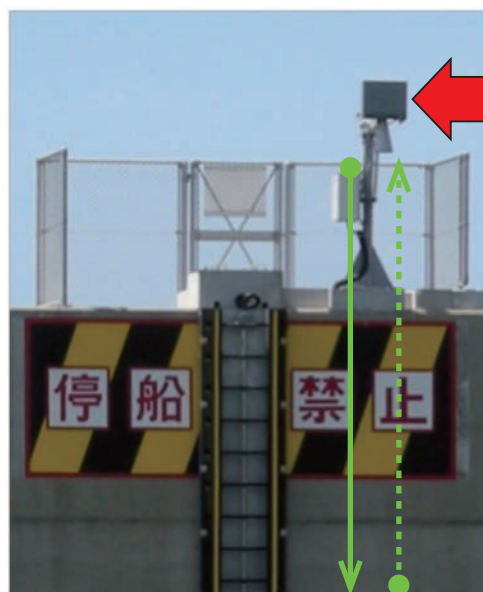


台風の接近により潮位が高まった時間帯に高波が重なり、波が護岸を超えています(右図赤丸箇所)。

ウ.高潮災害を防ぐための観測

気象庁では、高潮災害の防止・軽減に役立つ情報を発表するため、全国の検潮所で潮位の観測を実施しているほか、国土交通省港湾局、国土地理院、海上保安庁及び一部の地方自治体が観測した約 190 地点の潮位データをリアルタイムで収集しています。また、複雑な海岸地形を考慮した高潮予測モデルにより高潮の予測を行っています。これらの実況や予測をもとに、海岸管理者による防災対応や地域住民の避難活動が適時的確に行えるよう高潮警報・注意報等の防災情報を提供しています。

潮位観測を行う機器



(右写真) この機器は電波を利用して潮位を観測する機器です。送受信器(写真右上の赤大矢印の機器)から放射された電波(イメージ黄緑矢印)が海面ではね返って戻ってくる(イメージ黄緑点矢印)までの時間により、海面までの距離を測定します。

エ.高波災害を防ぐための観測

気象庁では、沿岸や外洋での波浪災害を防ぐために、全国6か所の沿岸波浪計及び漂流型海洋気象ブイロボットにより波浪の監視を行っています。また、予想された風を用いた波浪予測モデルの結果をもとに、船舶の安全運航や沿岸域での防災活動のための波浪警報・注意報等の防災情報を提供しています。

沿岸波浪計設置場所



レーダー式沿岸波浪計(静岡県 石廊崎)



沿岸の数十メートルの高台に設置した観測装置から数百メートル先の海面に電波を照射し、反射して戻った電波が変化している様子から波の高さ、周期及び波向きを観測します。

コラム

☒ レーダー式沿岸波浪計

レーダー式沿岸波浪計は、陸上から発射し海面で反射した電波を捉え、波浪を観測します。従来の超音波式沿岸波浪計*で観測していた波高や周期の成分に加え、レーダー式沿岸波浪計は、波の来る方向も観測できます。これにより、その場所の風により発生している波と遠くから伝わってくるうねりの区別やこれらが合成されて波が高くなる様子などを詳細に観測することが可能となりました。

気象庁では、より詳細な波浪情報の提供を行うことができるよう、平成23年度中に超音波式沿岸波浪計をレーダー式沿岸波浪計に更新します。

*：超音波式沿岸波浪計は、波による海面の上下動を海底から発射した超音波により測定します。

レーダー式沿岸波浪計による波浪観測の概念図



2 地震・火山災害を防ぐための観測網

(1) 地震・津波による災害を防ぐための観測網

ア.地震・津波による災害

規模の大きい地震は主にプレートと呼ばれる岩盤の境界周辺で発生します。日本は複数のプレートの境界付近に位置しており、世界でも有数の地震国です。現在の日本の地震観測網では、体に揺れを感じない地震を含めて、1年間で12万以上もの地震を観測しています。また、規模の大きな地震が海域で起こると津波を伴う場合もあります。日本は今までに数々の地震や津波の災害を経験してきました。

「平成7年（1995年）兵庫県南部地震」（マグニチュード7.3）では、初めて震度7を観測しました。この地震は、活断層の活動に伴うもので、都市の直下で発生したため、死者6,434人、行方不明者3人、負傷者43,792人、住家全壊104,906棟など、甚大な被害を受けました。

また、「平成5年（1993年）北海道南西沖地震」（マグニチュード7.8）の地震では、奥尻島で遡上高が最大約29メートルとなる津波が来襲しました。この地震では、主に津波により死者202人、行方不明者28人、負傷者323人などの被害を受けました。

「平成7年（1995年）兵庫県南部地震」による被害



(上段)地震により倒壊した家屋等
(下段)地震により倒壊した高速道路

「平成5年（1993年）北海道南西沖地震」による被害



(上段)津波により倒壊した家屋等
(下段)津波により乗り上げた漁船

このような地震や津波に伴う被害を軽減するため、気象庁では24時間体制で地震および津波を常に監視するとともに、迅速な情報発表に努めています。

イ.地震・津波を監視するための観測網

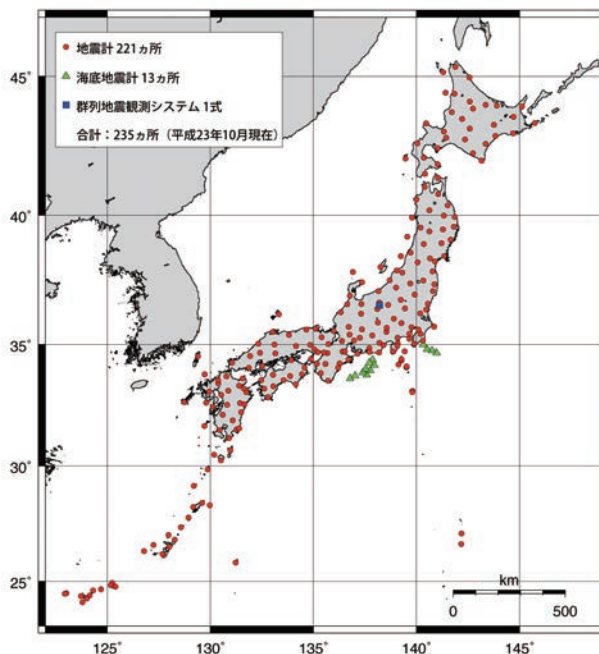
①気象庁の地震観測網

地面の揺れを検知し、震源の位置などを決定するには、地面の動きを正確に観測する必要があります。このために用いる機器が地震計です。

気象庁は、全国約 240 か所に地震計を展開し観測データをリアルタイムで収集し、24 時間体制で地震活動を監視しています。地震発生時には、これらのデータを活用し、ただちに津波警報・注意報や津波情報、地震情報を発表します。

また、これらの地震計は、(独)防災科学技術研究所が設置している地震計とともに、緊急地震速報(地震動警報・予報)の発表に用いられています(一部の地震計を除く)。

気象庁の地震観測網



②地震調査研究の推進とその成果の気象業務への活用

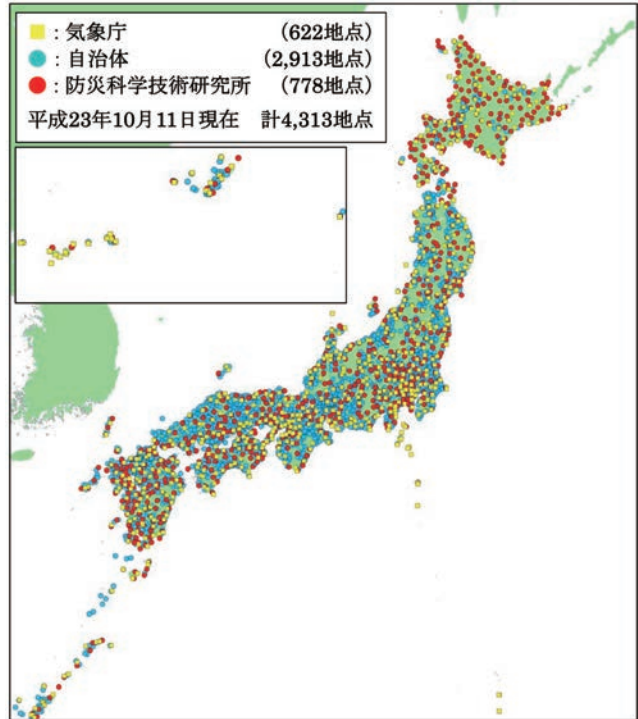
「平成 7 年(1995 年)兵庫県南部地震」(阪神・淡路大震災)を契機に制定された地震防災対策特別措置法(平成 7 年法律第 111 号)により、政府の特別の機関として地震調査研究推進本部が設置されました。この地震調査研究推進本部が策定した「地震に関する基盤的調査観測計画」に基づいて、大学や(独)防災科学技術研究所などの関係機関の地震観測データが、平成 9 年より気象庁に集約されています。これらの集約したデータをもとに、気象庁では文部科学省と協力して、我が国やその周辺で発生する地震活動の把握に努めています。気象庁にデータを集約する観測点数の増加に伴い、小さい地震の震源も求まるようになり、詳細な地震活動の把握が可能となりました。気象庁では、これらの結果を気象庁が発表する地震に関する情報に活用するとともに、地震調査研究を推進するため、地震活動の評価を行っている地震調査研究推進本部地震調査委員会や、大学など関係機関へ提供しています。

③震度観測網

気象庁では震度計を、平成3年（1991年）に世界に先駆けて導入しました。その後、平成7年（1995年）の阪神・淡路大震災の経験等から、震度観測の定義や震度階級の見直しを検討した結果、それまでは体感でおこなっていた震度観測を平成8年（1996年）4月から全て震度計で実施するとともに、同年10月からは震度階級を震度0から震度7までの10段階（震度5及び震度6はそれぞれ5弱、5強及び6弱、6強に分割）としました。

震度計の導入により、地震発生から震度情報の発表までに要する時間が、導入前の10分以上から1分半程度まで大幅に短縮されました。また、震度計は、地方公共団体における地震時の防災対応に必要な機器として展開される等、急速に普及し、平成23年10月現在では国・地方公共団体及び防災科学技術研究所あわせて約4,300地点で震度観測が行われています。気象庁は、これらのデータを気象庁の発表する地震情報に活用しています。

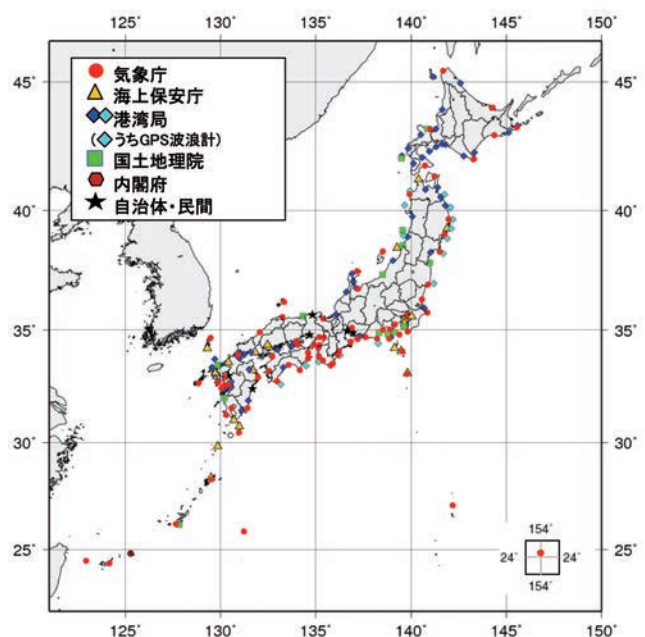
震度観測網



④津波観測網

気象庁では、津波が伴う可能性のある規模の大きな地震が発生した場合には、沿岸の津波の状況を常時監視しています。その監視に用いられるのが津波計や潮位計です。気象庁は、全国約80か所に津波観測施設を設置しているほか、関係機関が設置している観測施設からのデータも活用し、全国約190か所で津波の監視を行っています。さらに、沖合での津波を観測するため、国土交通省港湾局が整備したGPS波浪計も利用しています。

津波観測網



平成23年10月11日現在

コラム

☑ エリアメールによる情報の提供

平成22年(2010年)2月27日にチリ中部沿岸を震源とする地震により、「平成5年(1993年)北海道南西沖地震」以来、17年ぶりに津波警報(大津波)が発表されました。

津波警報(大津波)が発表された沿岸の市町村の一つである気仙沼市では、平成22年4月1日からエリアメールを活用した情報提供の取り組みが進められています。エリアメールとは携帯電話利用者がいる場所の災害・避難情報などを受信することができるNTTドコモのサービスで、気仙沼市では津波警報・注意報が発表された場合、市内の携帯電話に情報をすみやかに提供します。また、津波警報・注意報以外にも、避難勧告・指示の情報や土砂災害警戒情報などもエリアメールで提供しています。

気仙沼市総務部危機管理課の佐藤健一課長は、「このシステムの導入により、防災行政無線の聞こえにくい難聴世帯や、沖合いの小型漁船等、観光客などの情報取得困難者への対応も可能となりました。しかし、いざという時に備え、住民がどのようにして独自に情報を取れるのか、そして、その情報を生かした避難のあり方、身の守り方ということを考えておくことも必要と考えています。気象庁には、今後ともきめの細かい住民の視点に立った情報を発表して頂くとともに、緊急地震速報のように、エリアメール等と連携した津波警報等の発表についても進めて頂きたい。」とおっしゃっていました。

docomo

地域からのお知らせ(東北)

宮城県初！緊急速報「エリアメール」を気仙沼市が採用 — 自治体からの災害・避難情報を気仙沼市内の携帯電話へ一斉配信

2010年4月13日

株式会社NTTドコモ 東北支社では、このたび宮城県内で初めて、緊急速報「エリアメール」による災害・避難情報の配信を、宮城県気仙沼市にご採用いただきました。

気仙沼市では、近い将来、発生が確実視されている宮城県沖地震や大規模自然災害における情報伝達手段として「地域住民や漁船員、観光客の皆様へ、迅速かつ正確な災害情報の配信を行いたい」との思いで導入されました。

これにより、2010年4月1日(木曜)以降、気仙沼市から災害・避難情報など住民の安全に関わる情報が、配信対象エリア※1内の緊急速報「エリアメール」対応携帯電話※2に一斉同報配信されます。

緊急速報「エリアメール」は、国・地方公共団体が提供する災害・避難情報や、気象庁が提供する緊急地震速報を、回線混雑の影響を受けずに、対象エリアに一斉同報配信するサービスです。

配信対象エリア内で対応携帯電話をお使いのお客様であれば、月額使用料や通信料など無料で受信できます。

NTTドコモは今後も、安心・安全を社会に提供するために、サービスの向上に努めてまいります。

※1 NTTドコモと配信契約を結んだ国・地方公共団体が管轄する市町村エリア

※2 docomo STYLE series™(L-03A、L-04A、L-01B、L-02B、L-03Bを除く) / docomo PRIME series™(L-01A、L-06Aを除く) / docomo SMART series™ / docomo PRO series™(SH-04A、SH-07A、SH-03Bのみ対応)および、SH-06A NERV、F-06A、らくらくホン6、らくらくホンペーパーブックをお使いのお客様は、事前の受信設定をすることなく緊急速報「エリアメール」を受信することができます。

906i / 905i 各シリーズ、706iシリーズ(NM706i・L706ie・SH706ieを除く)、705iシリーズ(N705i・μP705ji・N705i・P705i・SO705iが対応)、PROSOLIDi、らくらくホンV、らくらくホンプレミアムをお使いのお客様は、あらかじめ携帯電話の緊急速報「エリアメール」設定から受信設定が必要です。

緊急速報「エリアメール」(災害・避難情報)の概要

概要

国・地方公共団体が緊急速報「エリアメール」(災害・避難情報)をドコモとご契約いただくことにより、災害・避難情報を、回線混雑の影響を受けずに配信することができます。対象エリア内のお客様は、月額使用料のほか通信料や情報料も含め一切無料でご利用いただけます。



配信対象エリア

NTTドコモと緊急速報「エリアメール」の配信契約を結んだ国・地方公共団体が管轄する市町村エリア

情報の内容

避難情報など、災害時に自治体が発信する住民の安全に関わる情報

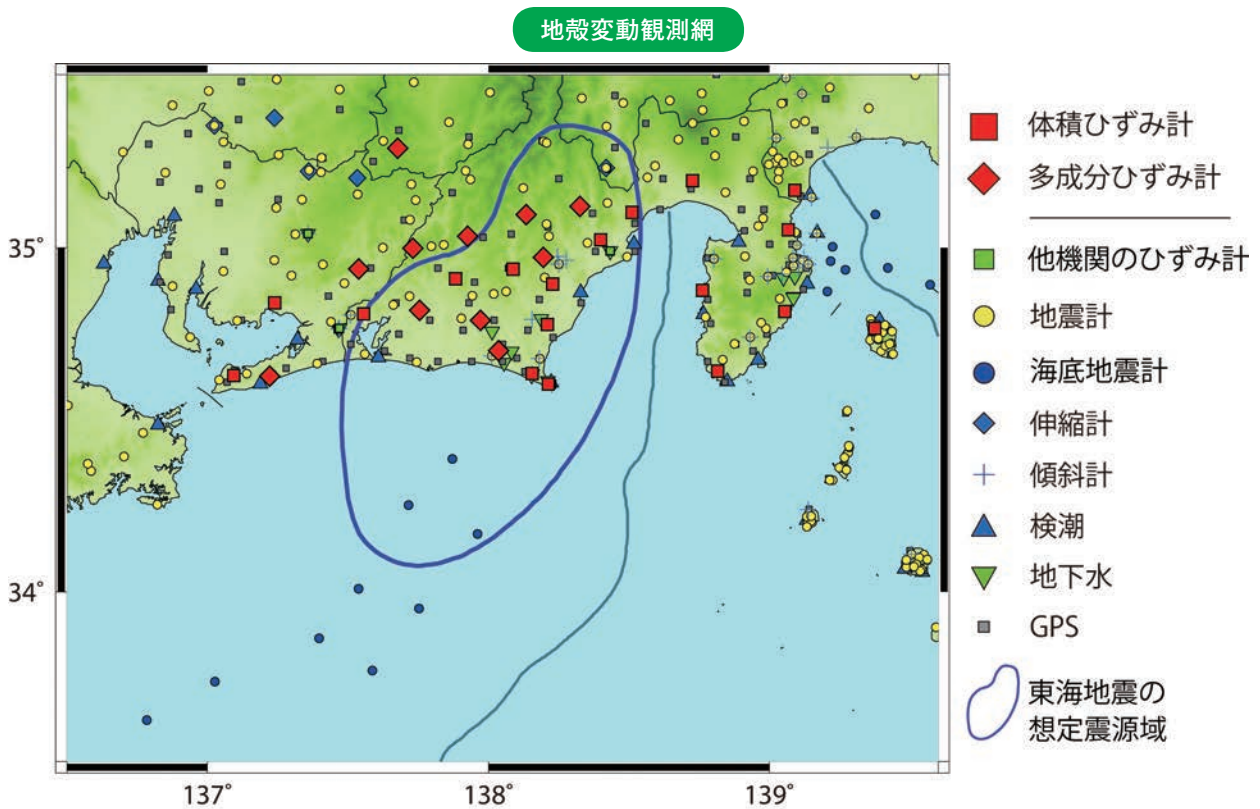
※気象庁が配信する「緊急地震速報」とは異なります。それぞれ別々の専用着信音でお知らせします。

⑤東海地震予知と地殻変動観測網

東海地震は、駿河湾から静岡県の内陸部を震源域としていつ発生してもおかしくないと考えられる大規模な地震で、現在、科学的な直前予知の可能性のある唯一の地震と考えられています。

東海地震の予知は「前兆すべり」を捉えることで行います。地震は地下の岩盤の破壊を伴う急激なずれ(断層運動)により発生しますが、プレート境界付近で発生する東海地震は、断層運動の前に断層面の一部が徐々にずれ始めると考えられています。このずれ始まりが「前兆すべり」で、これに伴う地盤の伸縮(地殻変動)をひずみ計などで捉えます。

東海地域等には、大規模な地震の直前の前兆を捉えるため、関係機関の協力を得て、地震、地殻変動(地殻岩石ひずみ・伸縮・傾斜・GPS)、潮位、地下水などの観測データを気象庁本庁に伝送し、24時間監視しています。



質問箱

❶ 地震は予知できるの？

地震の予知とは、地震の発生時期、場所、大きさ（マグニチュード）を地震の発生前に科学的な根拠に基づき予測することです。

現在の地震学では、地震予知は実用段階ではなく研究段階のものと考えられています。

その中で、東海地震については、現在日本で唯一、短期直前予知ができる可能性がある地震と考えられます。その根拠としては、①予想震源域の周辺に精度の高い観測網が整備されていること、②科学的に根拠のある前兆現象（前兆すべり）を伴う可能性があると考えられること、さらに、③捉えられた異常な現象が前兆現象（前兆すべり）であるか否かを科学的に判断するための基準があることの3つが挙げられます。

ただし、東海地震についても発生日時を指定した予知を行うことはできませんし、前兆現象である前兆すべりが急激に進んだ場合や小さい場合には短期直前予知ができない場合があります。

「〇月〇日に大地震が起こる」という話を耳にすることがありますが、発生日時を指定した情報は根拠のない話ですのでご注意ください。

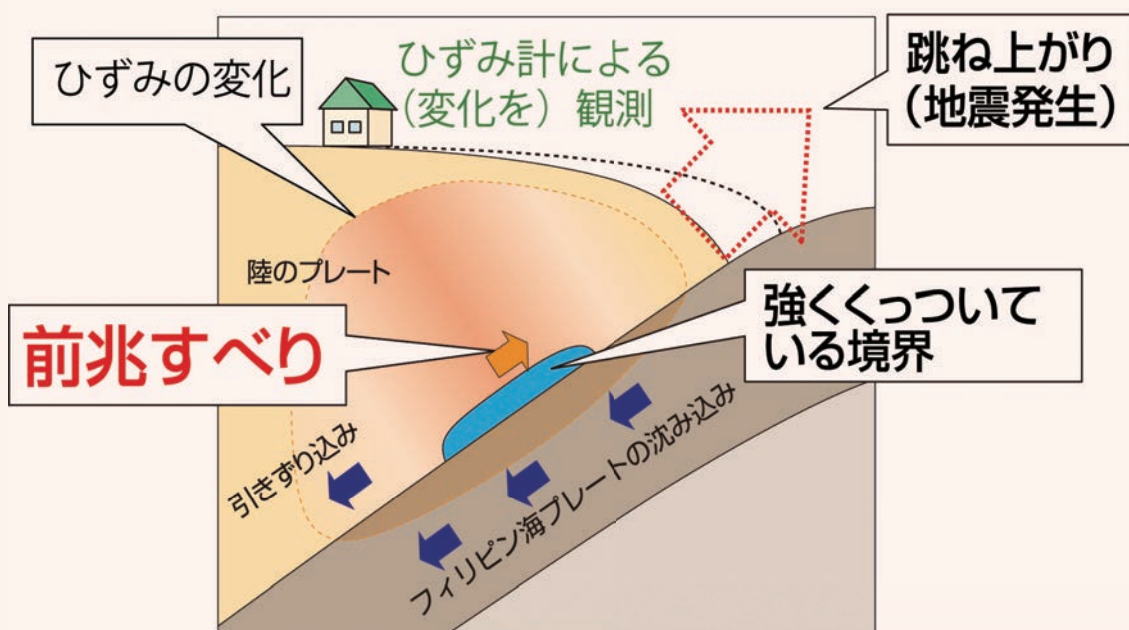
❷ 前兆すべりとは？

東海地震はプレート（地球表面を覆う厚さ数十～百キロメートル程度の岩石の層）同士の境界で起こる地震です。プレート境界の一部は普段は強くくっついていて

東海地震の前にはこの領域の一部が少しずつすべり始め、最終的に急激に大きくずれて強い揺れを発生させ東海地震となると考えられています。

この少しずつすべり始める現象が前兆すべりです。

前兆すべりを捉えようと、ひずみ計等の観測測器を東海地域に展開し、気象庁において24時間監視しています。



(2) 火山噴火による災害を防ぐための観測網

ア. 火山噴火による災害

日本には110の活火山(質問箱「活火山とは」参照)があり、世界でも有数の火山国です。火山噴火に伴う現象は、火砕流、火山泥流、降下火砕物(噴石、火山灰等)等、その様式や規模は多様で、また、火山噴火による災害は長期化しやすいという特徴があります。昔から、噴火活動によってたびたび火山災害が発生し、私たちに被害をもたらしてきました。

平成12年(2000年)3月に有珠山で始まった噴火では、最大で周辺住民15,000人が避難生活を強いられました。火口から噴出した熱水による火山泥流により橋の流出や建物の倒壊が発生したほか、噴石(用語集参照)等により家屋に被害が出ました。しかし、気象庁からの防災情報等に基づき事前の避難が徹底していたため、幸い一人の犠牲者も出さずに済みました。

また、三宅島では平成12年(2000年)から火山活動が活発化し、噴火後に発生した多量の火山ガスの放出により、全島民が約4年半におよぶ長期の避難生活を強いられました。平成17年(2005年)に全島避難は解除されましたが、今も火山ガスの放出が続いています。

さらに、平成23年(2011年)に発生した霧島山(新燃岳)の噴火では、10km以上遠方まで風に流されて降下する噴石(こぶし大)による太陽光パネルや自動車ガラスの破損、空振(用語集参照)による窓ガラスの破損、大量の降灰による農作物等の被害が発生しました。(下図)

有珠山2000年噴火の泥流災害



泥流で破壊された洞爺湖温泉街の公衆浴場
(2000年6月14日撮影)

三宅島2000年噴火の火山ガス災害



雄山山頂から出た火山ガスの帯
(2001年1月11日、三宅島沖海上より撮影(航空自衛隊の協力による))

霧島山(新燃岳)2011年噴火の噴石(こぶし大)、火山灰、空振被害



大量の噴石や火山灰を巻き上げながら噴煙柱を形成する霧島山(新燃岳)の連続的噴火
(2011年1月27日撮影)

イ. 火山活動を捉えるための観測網

火山噴火による被害を最小限に食い止めるためには、火山活動を正確に把握し、活動の異常をいち早く検知することが必要です。気象庁では、関係機関の協力を得ながら、火山周辺に配置した地震計、傾斜計、空振計、GPS観測装置及び遠望カメラ(次ページ)による観測データ等をもとに、気象庁本庁(東京)及び札幌・仙台・福岡の各管区气象台に設置した「火山監視・情報センター」において全国の活火山の活動を監視し、観測・監視の結果に基づき、噴火警報等を迅速に発表しています。

地震計は火山体内部で発生する微小な地震を、傾斜計は火山周辺で発生するごく微小な傾斜変化をとらえるものです。空振計は、火山の爆発的噴火などで生じる空気の振動をとらえるもので、天候不良等に

より遠望カメラで火山の状況を監視できない場合でも、噴火発生とその規模をいち早く検知できることが期待されます。GPS観測装置は、他の複数のGPSと組み合わせることで火山周辺の地殻の変形を検出することができ、傾斜計とともに地下のマグマの挙動を推定し、噴火の前兆をいち早くとらえるための重要な手段となります。遠望カメラは、星明かりの下でも観測ができる高感度の機器を用いています。

火山の観測装置



①新たな火山観測施設の整備

平成21年2月、火山噴火予知連絡会は、今後100年程度以内に噴火が発生する可能性及び社会的影響を踏まえ、火山防災のため監視・観測体制の充実等が必要として、47火山を選定しました(下表)。

これを受け、気象庁は、これら47火山すべてに新たな観測施設(地震計、傾斜計、空振計、GPS観測装置及び遠望カメラ)を整備しました。新たに整備した地震計・傾斜計は、一部の観測点を除き、地上の雑音を避けるため深さ約100mの孔井の底に設置し、高感度な観測が可能となりました。

新たに整備した観測施設も活用し、気象庁は、大学等関係機関のデータの分岐も受け47火山全ての火山活動を24時間体制で常時観測・監視しており、観測結果に基づき、噴火警報・噴火予報や火山活動解説資料等の発表を行っています。

火山噴火予知連絡会によって選定された監視・観測体制の充実等が必要な47火山とその選定理由

選定理由	火山名
①近年、噴火活動を繰り返している火山 ・過去数十年程度の間、頻繁に噴火している ・100年以内の間隔でマグマ噴火を繰り返している	雌阿寒岳、十勝岳、樽前山、有珠山、北海道駒ヶ岳、秋田焼山、秋田駒ヶ岳、吾妻山、那須岳、草津白根山、浅間山、新潟焼山、焼岳、御嶽山、伊豆大島、三宅島、硫黄島、阿蘇山、霧島山、桜島、薩摩硫黄島、口永良部島、諏訪之瀬島(23火山)
②過去100年程度以内に火山活動の高まりが認められている火山 ・地震活動 過去100年程度の山体浅部の地震活動(マグマの動きに関連したものなど) ・地殻変動 過去10年程度のマグマ貫入等に伴う地殻変動 ・噴気活動・地熱活動 過去100年程度の活発な噴気活動、地熱活動	アトサヌプリ、大雪山、恵山、岩手山、栗駒山、蔵王山、安達太良山、磐梯山、日光白根山、乗鞍岳、白山、箱根山、伊豆東部火山群、新島、神津島、八丈島、鶴見岳・伽藍岳、九重山(18火山)
③現在異常はみられないが過去の噴火履歴等からみて噴火の可能性が考えられる	岩木山、鳥海山、富士山、雲仙岳(4火山)
④予測困難な突発的な小噴火の発生時に火口付近で被害が生じる可能性が考えられる	倶多楽、青ヶ島(2火山)

②火山機動観測

気象庁では、火山活動に特段の変化が見られた場合など必要に応じて火山機動観測班を派遣し、火山活動の正確な把握に努めています。

また、24時間体制で常時観測・監視を行っている47火山以外の活火山も含め、火山機動観測班が平常時から計画的に現地へ赴き、臨時的GPS観測、熱やガスなど現地での各種観測、ヘリコプター（関係機関協力）による上空からの観測等を実施し、継続的な火山活動把握に努めています。

御嶽山での地熱観測（計画的な火山機動観測）



質問箱

📌 活火山とは？

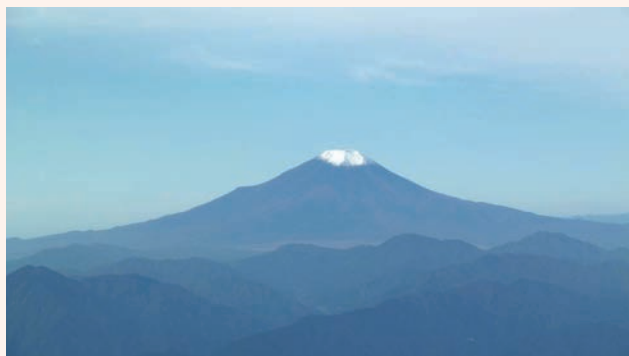
かつては、噴火している火山や噴気がみられる火山など、現在活動している火山を「活火山」と呼び、噴火記録はあるが現在活動を休んでいる火山を「休火山」、噴火記録のない火山を「死火山」と呼んでいた時代がありました。しかし、火山の活動の寿命は長く、数百年程度の休止期間はほんのつかの間の眠りでしかないということから、噴火記録のある火山や今後噴火する可能性のある火山を全て「活火山」と分類する考え方が1950年代から国際的に広まり、1960年代からは気象庁も噴火の記録のある火山をすべて活火山と呼ぶことにしました。昭和50年（1975年）には火山噴火予知連絡会が「噴火の記録のある火山及び現在活発な噴気活動のある火山」を活火山と定義して77火山を選定しました。

この77火山は主として噴火記録がある火山が選ばれていましたが、噴火記録の有無は人為的な要素に左右される一方、歴史記録がなくても火山噴火物の調査から比較的新しい噴火の証拠が見出されることも多くなり、平成3年（1991年）には、火山噴火予知連絡会が活火山を「過去およそ2000年以内に噴火した火山及び現在活発な噴気活動のある火山」と定め、83火山を選定し、その後、平成8年（1996年）にはさらに3火山が追加され、活火山の数は86火山となりました。

しかし、数千年にわたって活動を休止した後に活動を再開した事例もあり、近年の火山学の発展に伴い、国際的にも1万年以内に噴火した火山を活火山と呼ぶようになってきたことから、火山噴火予知連絡会では平成15年（2003年）に「概ね過去1万年以内に噴火した火山及び現在活発な噴気活動のある火山」を活火山と定義し直し、気象庁もこの定義を用いています。この定義に基づき、活火山の数は108となりましたが、平成23年（2011年）6月にはさらに2火山が選定され、活火山の数は現在110になっています。

日本を代表する火山である富士山は、300年以上噴火はなく、噴気もみられませんが、将来噴火が起こる可能性がある活火山なのです。

相模湖上空から見た富士山



3 航空気象観測

航空機の安全な離着陸には、風や視程（見通せる距離）、積乱雲（雷雲）などの気象状況が大きく影響します。このため気象庁では、全国の81か所の空港において気象状況を監視し、管制塔にいる航空管制官やパイロット、航空会社の運航管理者などの航空関係者へ、それらの結果を迅速に通報しています。

(1) 航空機の安全な運航のための観測網

ア. 主な観測種目

航空気象観測には、気象現象の推移を常に注意し、航空機の運航に影響がある気象現象の発生を確実に観測するため、30分ごとまたは1時間ごとの定時観測と次の3種類の特別観測があります。

- ・ 気象現象の重要な変化を認めた時に行う特別観測
- ・ 管制官や民間航空会社等から照会があった時に行う照会特別観測
- ・ 空港または空港周辺で航空機の事故が発生した時に行う事故特別観測

また、航空気象観測の主な観測種目は

- ・ 風（離着陸の方向や離着陸時の航空機の手速を決めるため）
- ・ 視程及び滑走路視距離（空港周辺の見通しや滑走路上で見通せる距離を把握するため）
- ・ 大気現象（雷雨やあられ等、航空機の運航に支障となる現象を把握するため）
- ・ 雲（操縦士が空港及び滑走路を視認できる高度を把握するため）
- ・ 気温及び露点温度（エンジンの推力を求め、機体重量を調整するため）
- ・ 気圧（気圧から高度を知るため）

などで、これらは航空機の離着陸を安全に行うための重要な観測種目です。

航空気象観測は、地上気象観測でも使用している風向風速計、温度計などの観測測器を用いて行うほか、雲の高さを測るシーロメーター（雲高測定器）や滑走路上の視程（操縦室のパイロットが滑走路上で見通せる距離）を測る滑走路視距離観測装置といった航空気象に特有の観測装置を使っての自動観測、目視による観測を組み合わせで行っています。自動観測のデータについては、当該空港だけでなく全国各空港内の航空関係者にリアルタイムで提供されています。

空港に整備する気象観測測器の配置例



滑走路の本数等、空港の個別事情により配置は異なります。

目視観測を行っている様子



視程、大気現象、雲形及び雲底の高さを目視により観測します。

イ. 空港気象ドップラーレーダーと空港気象ドップラーライダー

積乱雲下等に発生する風の急変域（ウィンドシアー）は、航空機の飛行に大きな影響を与える場合があり、航空路や空港での観測や予測が重要です。特に大気下層（低層）で発生するウィンドシアーは、離着陸する航空機にとって非常に危険な現象であるため、両装置によりきめ細かい観測を行いデータを提供しています。両装置が観測しているウィンドシアーはマイクロバースト（積乱雲中の冷氣塊が急速に下降し地表付近で弾けるように発散する現象）とシアライン（風が急変する場所が線状に形成される現象）の2種類で、空港気象ドップラーレーダーと空港気象ドップラーライダーにより検出されたウィンドシアーの結果は直ちに管制官へ伝えられ、ウィンドシアー情報としてパイロットへ伝達されています。

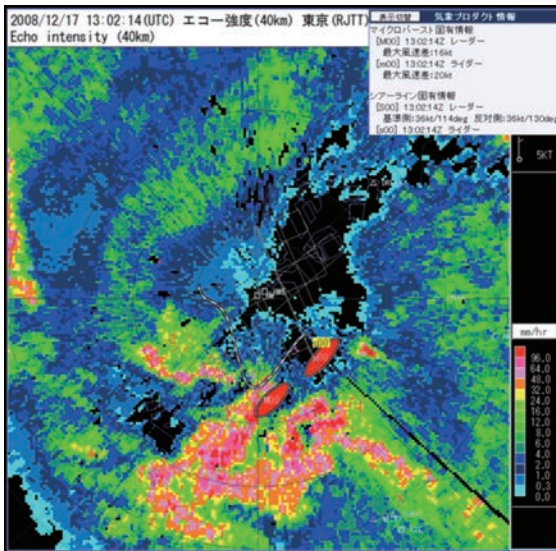
また、ウィンドシアー情報以外のデータについても、各空港内の航空関係者にリアルタイムで提供されています。

このための観測として、国内の主要な9空港（成田国際、東京国際、関西国際、中部国際、新千歳、大阪国際、福岡、鹿児島、那覇）では空港気象ドップラーレーダーにより、空港を中心とする半径約100km以内の空域における降水の強さと分布、降水域における気流の乱れの強さの他、積乱雲下等に発生する低層ウィンドシアー（半径60キロメートル以内に発生するシアラインと半径20キロメートル以内に発生するマイクロバースト）を観測しています。

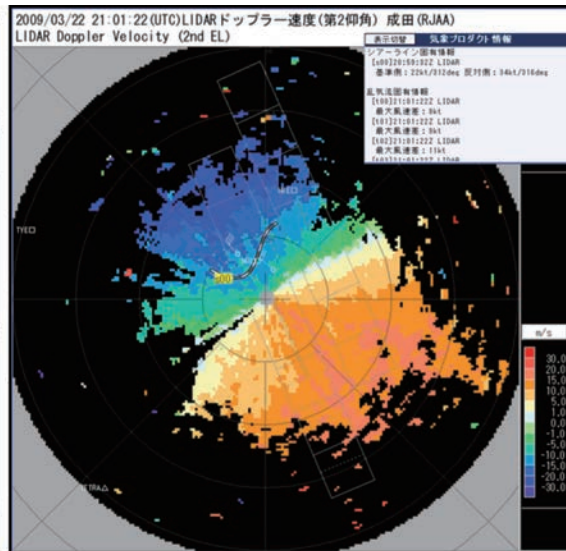
空港気象ドップラーレーダーが降水域における気流の乱れの強さを観測しているのに対し、空港気象ドップラーライダーはレーザー光を空中に発射し、空港及びその周辺の大気中のエアロゾル(大気浮遊粒子)の動きをとらえた散乱光から、降水がない時の気流の乱れの強さを観測しています。平成18年度には東京国際空港に、平成19年度には成田国際空港に、平成22年度には関西国際空港に整備し、空港ドップラーレーダーと合わせることで、降水の有無に関わらず気流の乱れの強さ及び空港周辺の低層ウィンドシアアの観測を行っています。

東京国際空港の空港気象ドップラーレーダーで
検出されたウィンドシアア

成田国際空港の空港気象ドップラーライダーで
検出されたウィンドシアア

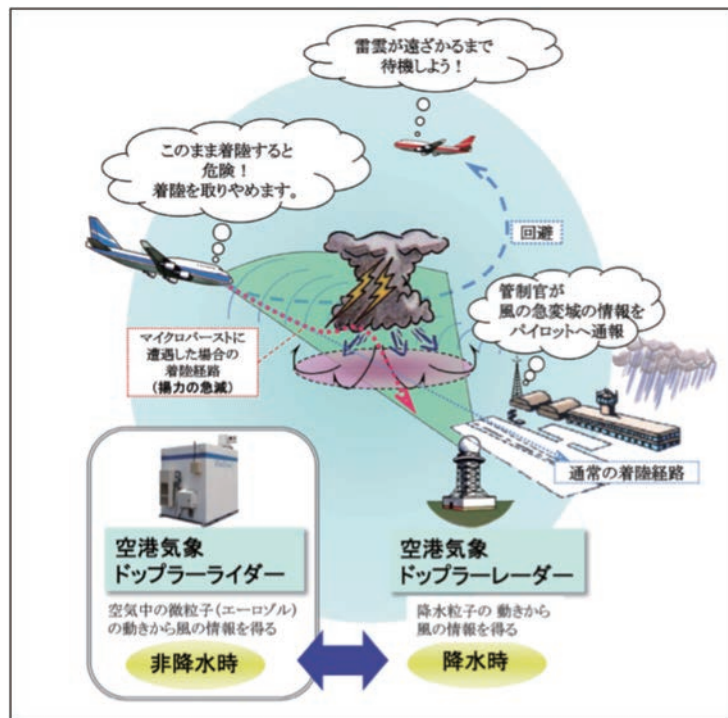


赤い楕円がマイクロバースト、帯状の線がシアアラインを表します。



帯状の線がシアアラインを表します。

空港気象ドップラーレーダーとライダー



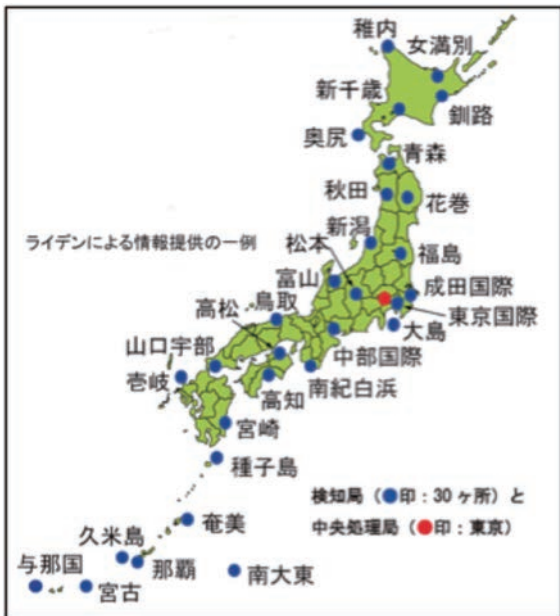
レーダー(雨の強さの分布や降水時の上空の風の観測が可能)とライダー(非降水時の上空の風の観測が可能)の両方を設置することによって、降水がある時もない時も上空の風を観測できます。

ウ.雷監視システム

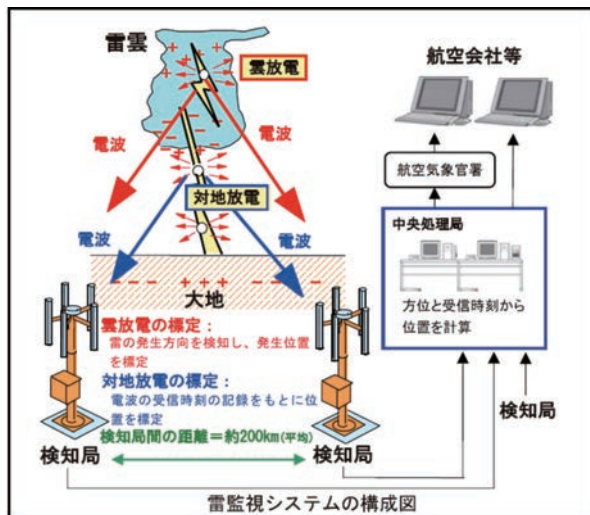
落雷は、ときに空港の滑走路に穴をあけて空港施設に被害をもたらしたり、飛行中の航空機に落雷し機体に損傷を与えたりするなど、航空機の安全な運航に支障を与える可能性がある現象です。雷監視システムは、雷の発生状況を的確にとらえ、航空機の運航の安全や空港で働く人々の安全を守ることを目的に整備・運用しています。

雷監視システムは、雷により発生する電磁波を検出し、その位置、発生時刻、落雷電流のピーク値、落雷電流極性等を標定する装置です。雷監視システムは、気象庁本庁に整備された中央処理局及び全国30の空港に整備された検知局により構成されています。このシステムで観測された結果は、直ちに航空局機関や航空会社に提供され、空港内施設の避雷対策、地上作業等の中断・再開及び航空機の離着陸、上空での待機等の的確な判断のために用いられています。

雷監視システムの配置図



雷監視システムの構成図

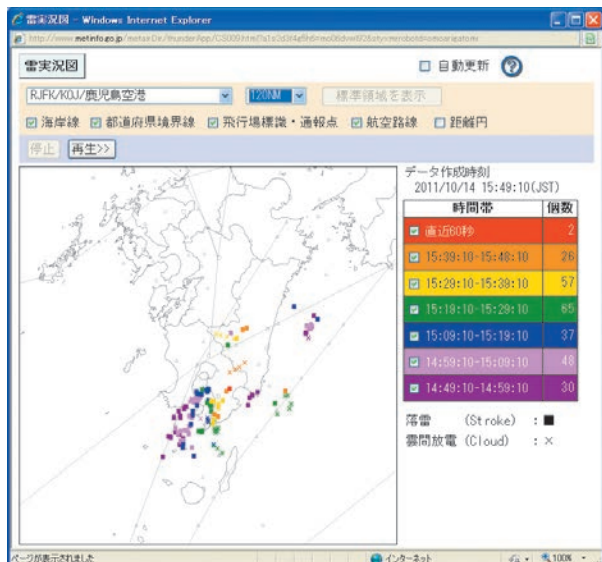


雷監視システムでは、対地放電と雲放電の2種類の放電現象を検出しています。

雷監視システムの検知局



雷監視システムで検出した雷の事例

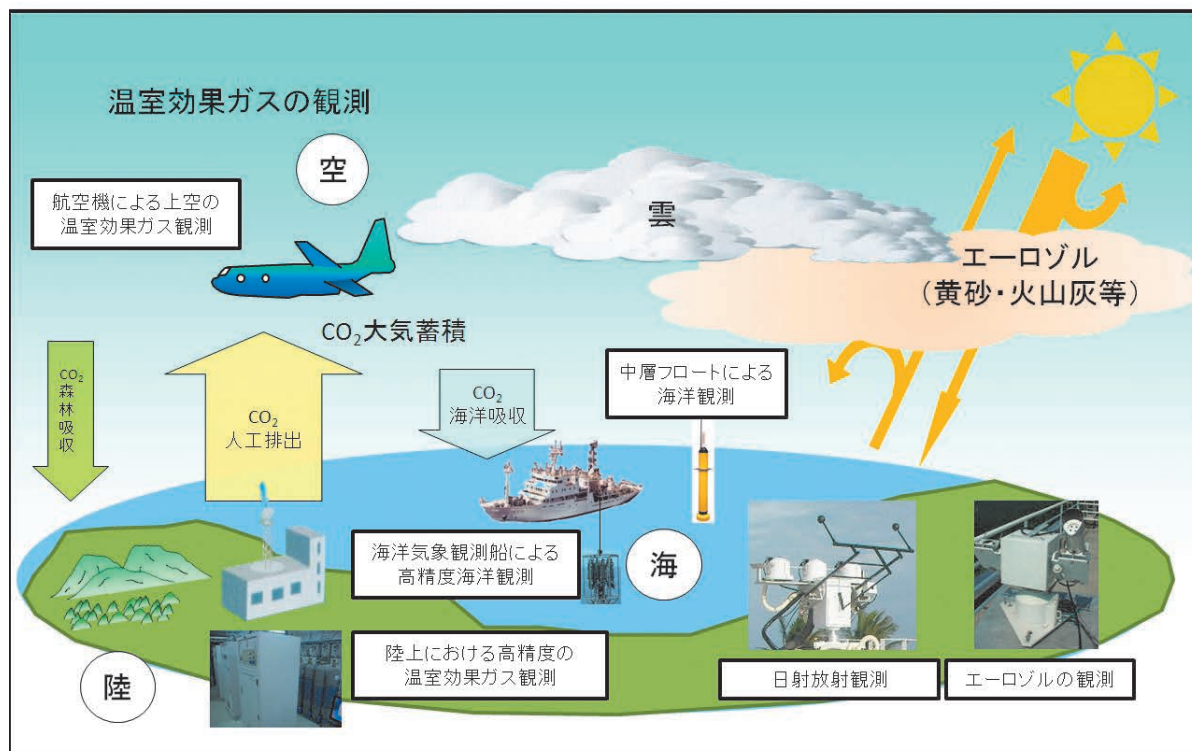


4 地球温暖化及びオゾン層等の監視のための観測網

(1) 地球温暖化及び温暖化影響の監視のための観測網

気象庁では、国内3地点の地上観測所と2隻の海洋気象観測船により温室効果ガスの観測を実施しています。これらに加え平成23年(2011年)からは、航空機を用いた上空の温室効果ガスの観測を開始しました。また、太陽光の吸収・散乱、雲への作用により地球温暖化に影響を与えるエアロゾルの観測を国内3地点で、地球表面における太陽及び大気・雲からの放射エネルギーである日射放射観測を国内5地点でそれぞれ実施しています。

地球温暖化や温暖化影響の監視のための観測



ア. 地上及び航空機での温室効果ガスの観測

地上での温室効果ガスの観測では、綾里(岩手県)、南鳥島(東京都)及び与那国島(沖縄県)の3地点で温室効果ガスである二酸化炭素及びメタン、これらの濃度に影響を及ぼす一酸化炭素及び大気汚染物質でもある地上オゾンの濃度を観測しています。さらに綾里では、微量ながら強い温室効果を示す一酸化二窒素及びハロカーボン類(四塩化炭素及び1,1,1-トリクロロエタン)と、オゾン層破壊物質であるフロン類(フロン11、フロン12及びフロン113)の濃度も観測しています。

また、平成23(2011)年からは、航空機による北西太平洋上空の温室効果ガス等(二酸化炭素、メタン、一酸化二窒素及び一酸化炭素)の観測を開始しました(トピックス5参照)。

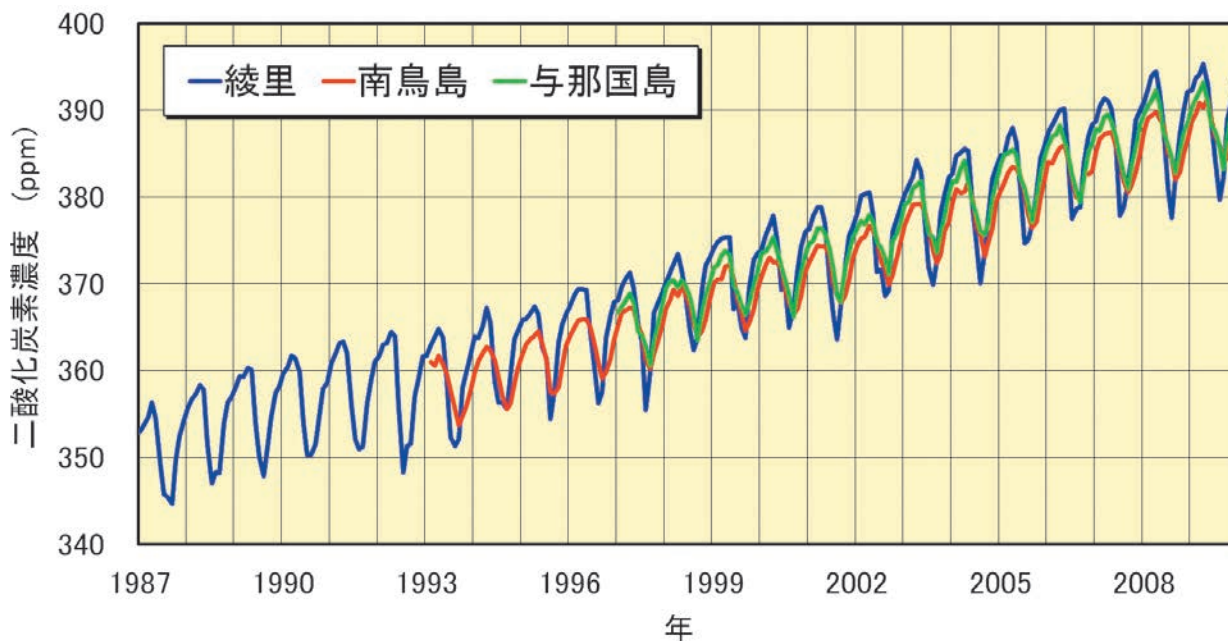
これらの観測は、大気中における温室効果ガスの濃度の増加や分布、広い範囲での大気汚染物質の分布の状況をより正確に把握することに役立っています。

温室効果ガス観測の風景



温室効果ガスの観測では、精密に測定された標準ガスの濃度を基準として、大気中の濃度を決定しています（写真は、標準ガスを充填してあるボンベの状態をチェックしているところ）。

綾里、南鳥島及び与那国島における大気中の二酸化炭素濃度の経年変化



気象庁の各地点で観測された二酸化炭素濃度は、春に極大、秋に極小という北半球の植物活動を反映した季節変動を繰り返しながら、年々増加しています。ppm（ピーピーエム）は100万分の1を意味します。ここでは体積比で表しています。

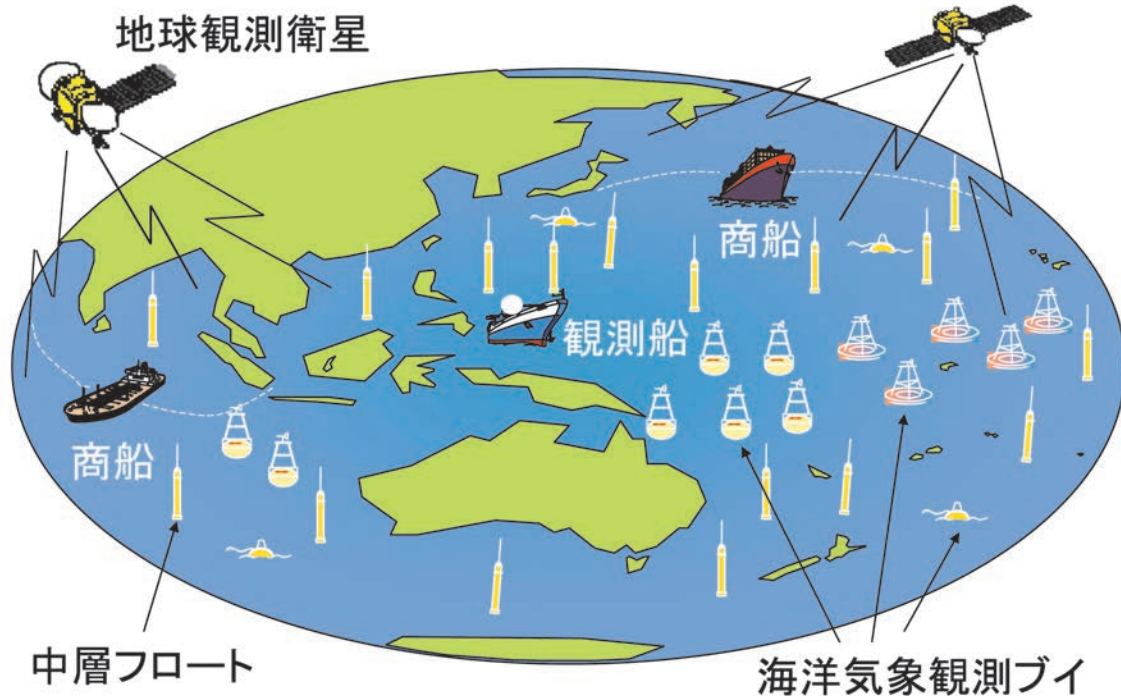
イ.海洋の温室効果ガス等の観測

地球の表面の7割を占める海洋は、人類の社会経済活動に伴い排出される二酸化炭素の約3分の1を吸収し、大気中の二酸化炭素濃度の増加や、それにより引き起こされる地球温暖化の進行に大きな影響を及ぼします。また、海洋は大量の二酸化炭素や熱を蓄えているため、地球環境や気候変動にも大きな影響を及ぼしています。

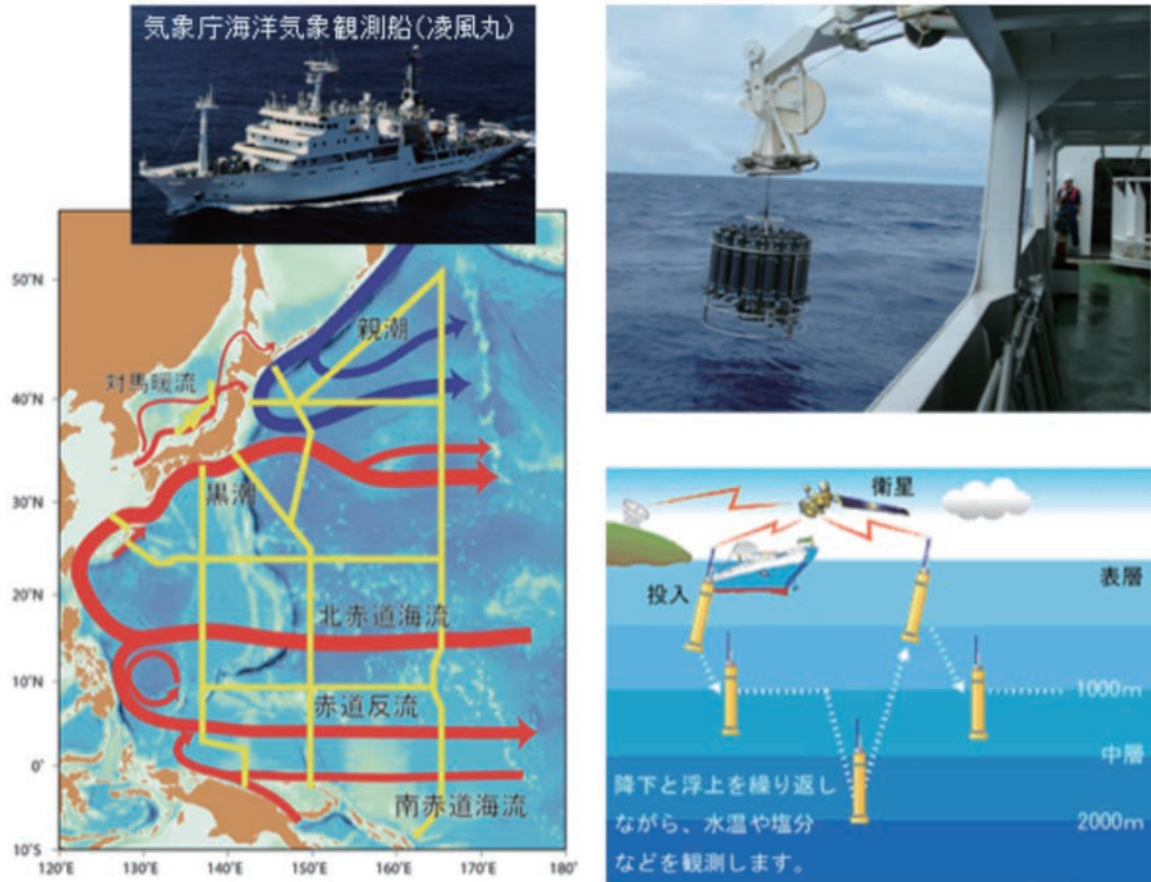
広大な海洋を効果的・効率的に観測するために、世界気象機関（WMO）やユネスコ政府間海洋学委員会（IOC）等の枠組みの下、国際的に連携して海洋観測が実施されています。海洋の二酸化炭素については、「国際海洋炭素調整計画」（IOCCP）と呼ばれる継続的な高精度の二酸化炭素観測網を構築する計画があります。海洋の二酸化炭素の観測には海水を化学分析する必要があるため、海水の採取装置と分析設備の揃った海洋観測船が必要となります。気象庁では平成22年から、海洋気象観測船2隻（凌風丸、啓風丸）により海洋の観測体制を強化し、この計画に参加しています。

このような国際的な協力体制の下、気象庁は、海洋がどれだけの二酸化炭素を吸収しているか、また海洋が気候変動にどれだけ影響を与えているかを調べるため、日本周辺海域及び北西太平洋で海洋気象観測船や中層フロートなどによって海洋の観測を実施しています。

海洋観測の概念図



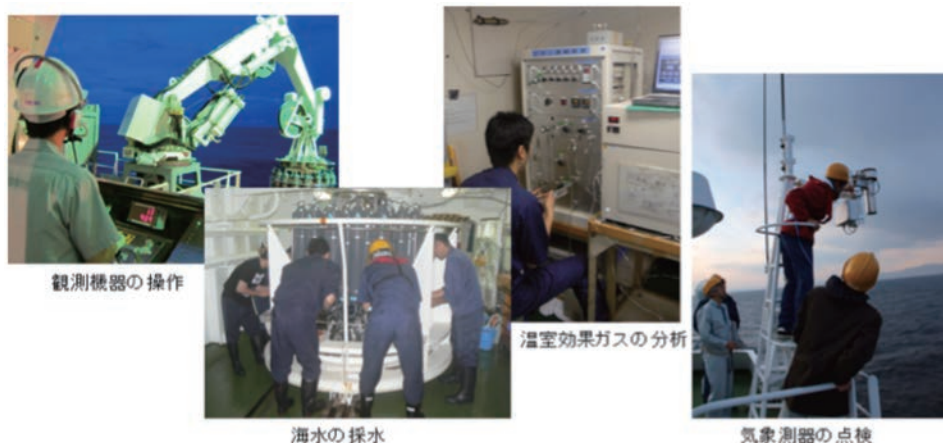
気象庁が実施する海洋の観測



左上写真：海洋気象観測船 凌風丸、右上写真：観測船上での海洋観測風景、
左下図：気象庁の海洋気象観測船の観測範囲(黄線)、右下図：中層フロートによる海洋観測模式図

海洋気象観測船では、北西太平洋全体の主要な海流を横切るように設定された観測線に沿って、海面から海底直上までの海流や水温、塩分、二酸化炭素などの温室効果ガスや関連する化学物質（酸素、栄養塩（植物プランクトンが育つための栄養となるリン酸塩、硝酸塩、ケイ酸塩など））の高精度な観測を実施しています。

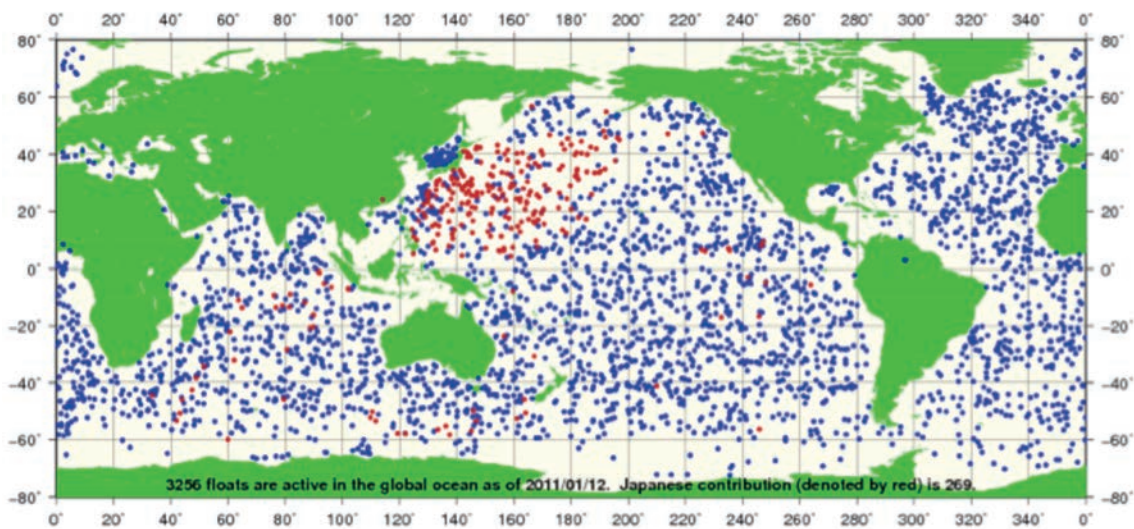
海洋気象観測船内での観測作業



左から：観測機器を海中に降ろすため操作盤で作業、採水装置に採取した様々な深さの海水を分析用容器に採水、採水した海水中の温室効果ガスの分析、船に設置してある気象測器の点検作業

中層フロートは、海面から深さ 2,000 メートル付近までの水温・塩分の鉛直分布を自動的に観測する機器です。WMO、IOC 等の国際機関や各国の関係機関の連携により、中層フロートを全世界の海洋に常時約 3,000 台稼働させ、全世界の海洋の状況をリアルタイムで監視するとともに、地球温暖化をはじめとする気候変動の実況把握とその予測精度向上を目指す「アルゴ計画」が推進されており、気象庁は、文部科学省などの関係省庁と連携して中層フロートによる観測を実施しています。

中層フロートの分布状況



図中の赤丸は我が国が投入したフロート

コラム

☒ 二酸化炭素分布情報の活用

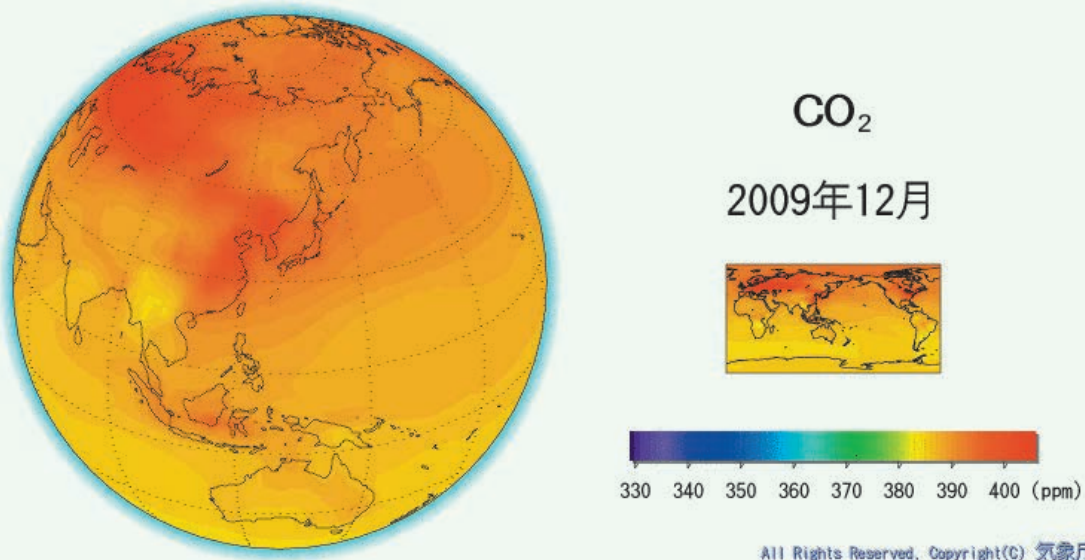
地球温暖化に関する予測の精度を高めるためには、二酸化炭素をはじめとする温室効果ガスの空間的・時間的分布の情報が不可欠です。このため気象庁では、世界各地の陸上や海上などで観測された二酸化炭素濃度の観測値を用いて、シミュレーションモデルを用いて地球の様々な地域における濃度分布を解析した結果を、平成21年(2009年)2月から、世界の二酸化炭素分布情報として気象庁ホームページに公開しています。

二酸化炭素分布情報は、地球温暖化に関する理解を高め、地球温暖化対策の立案・実施に役立てられるだけでなく、地球温暖化に関する研究に貢献することが期待されます。

国立環境研究所では、平成21年(2009年)1月に打ち上げられた「いぶき」(GOSAT)の観測データを二酸化炭素分布情報と比較する研究を計画しています。衛星による近赤外の観測値から得られる二酸化炭素濃度は地上から上空までの平均濃度です。地表面だけではなく、高度方向に変化する二酸化炭素濃度分布の提供が望まれます。地上から上空までの二酸化炭素濃度分布が提供されることで、衛星データから解析された二酸化炭素濃度を比較できるようになるほか、地上、航空機、衛星による観測値をもとにモデル計算した結果と比較することも可能になります。

また、今後打ち上げられる温室効果ガス観測衛星の観測結果や、多くの機関の二酸化炭素解析結果との比較を通じて、地球温暖化の不確実性の低減に不可欠な炭素循環の解明に役立つことが期待されます。

気象庁ホームページで公開している二酸化炭素分布情報の例



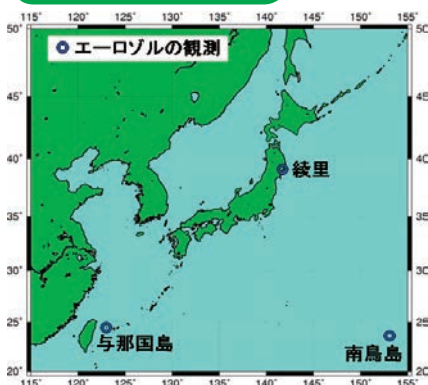
ウ.エアロゾルの観測

エアロゾルとは、火山灰、黄砂、海塩粒子、すすなど、大気中に浮遊する半径 0.001 ～ 10 マイクロメートル(1 マイクロメートルは千分の1ミリメートル)程度のごく小さなちりのことです。エアロゾルは太陽光を散乱・吸収して地表に届く日射量を減衰させ、また雲の凝結核として働くことで雲粒の数や大きさなどを変化させるため、気候に大きな影響を及ぼしています。

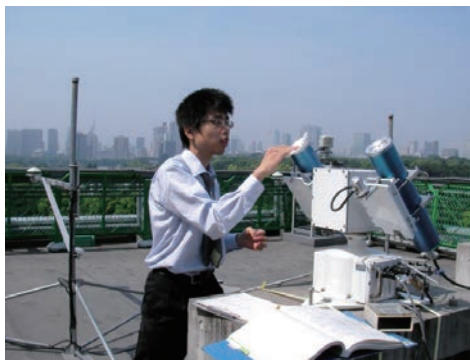
気象庁は、エアロゾルの状況を把握するため綾里(岩手県)、南鳥島(東京都)、与那国島(沖縄県)の国内3地点でサンフォトメータによるエアロゾル光学的厚さ(エアロゾルによる大気の濁り具合)の観測を行っています。

エアロゾルによる大気の濁り具合を表すエアロゾル光学的厚さは値が大きいほどエアロゾルが多いことを示します。下の例では、エアロゾル光学的厚さが春に大きく、冬に小さくなっています。これは春に黄砂などが飛来してエアロゾルが多くなるためと考えられています。また、平成15年(2003年)5月にはシベリアの森林火災の煙、平成18年(2006年)の春には大規模な黄砂の影響でエアロゾル光学的厚さが特に大きくなりました。

エアロゾルの観測網

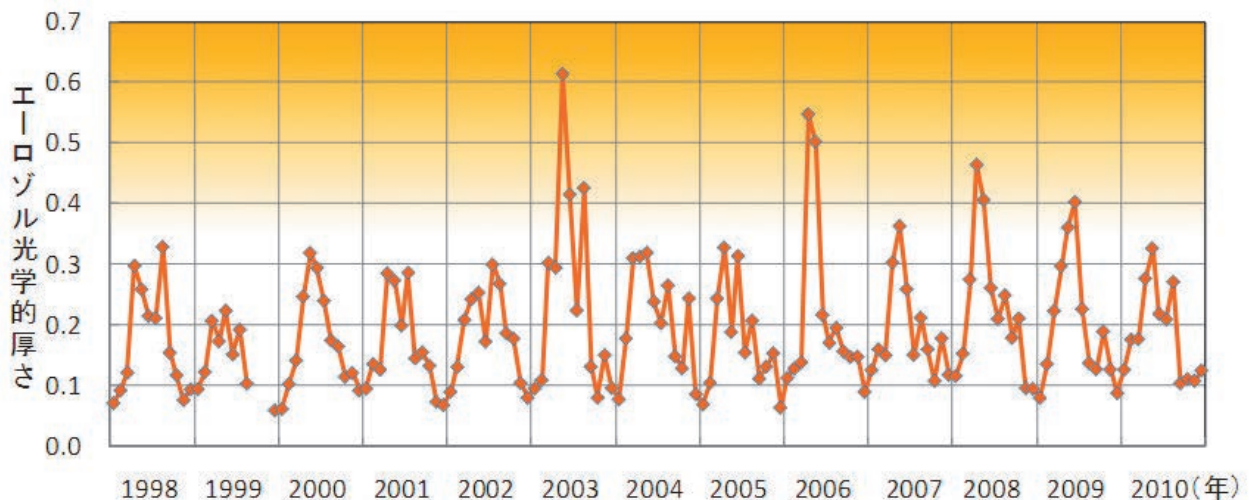


サンフォトメータの点検風景



エアロゾルによる大気の濁り具合を精密に観測するため、観測窓の清掃をほぼ毎日行っています。

エアロゾル光学的厚さの経年変化(綾里)

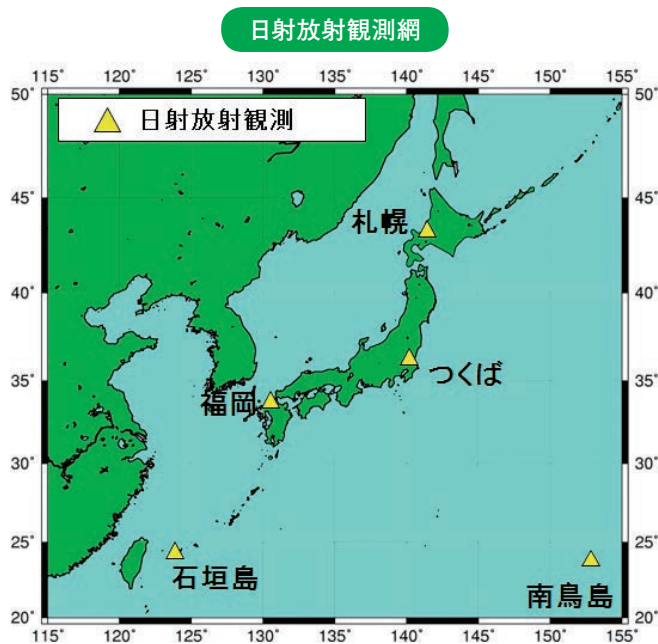


綾里のサンフォトメータによる 500nm のエアロゾル光学的厚さの月平均値で、1998 年から 2010 年までの経年変化を示しています。

工.日射放射観測

気象庁では、平成22年3月31日から札幌、つくば（高層気象台）、福岡、石垣島、南鳥島の5地点において、精密な日射放射（直達日射、散乱日射、下向き赤外放射の3要素）観測を開始し、気候変動の監視や温暖化予測の不確実性の低減に取り組んでいます。

温暖化の将来予測を行うため、世界中の研究機関等が気候モデルを開発しています。しかし、モデルによる予測には不確実性が含まれているため、各国の予測結果にはばらつきが見られます。不確実性の原因の一つとして、エアロゾルや温室効果ガス等の増減が、気温を変化させるエネルギー源である日射放射に及ぼす効果について十分解明されていないことが挙げられます。



精密日射放射観測装置（南鳥島）



直達日射は、太陽を自動的に追尾して観測しています。また、散乱日射や赤外放射は、黒い遮蔽球により直達日射を常に遮って観測しています。

精密日射放射観測装置の点検風景



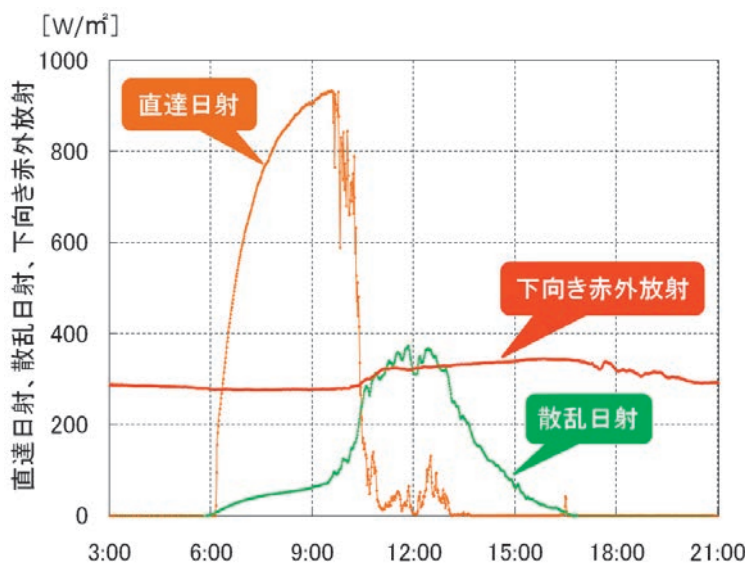
日射放射を精密に観測するため、ドームの清掃などを定期的に行っています。

日射放射が日変化する例として、平成 22 年 11 月 2 日のつくばの状況を示します。

朝は快晴で大気も清浄だったため、太陽の方向から直接地表に届く直達日射は順調に増加しましたが、10 時頃から薄い雲がかかり始め、直達日射は急激に減少しました。

一方、大気分子や雲粒、エアロゾルなどで散乱されて太陽の方向以外から地表に届く散乱日射は、薄い雲がかかり始めた 10 時頃から急激に増加しました。また、大気や雲などがその温度に応じて放出する赤外放射は、雲がかかってきた影響で増加しています。その後、13 時頃から、厚い雲に覆われ始めたため散乱日射は減少しました。

日射放射の日変化の例（つくば：平成 22 年 11 月 2 日）



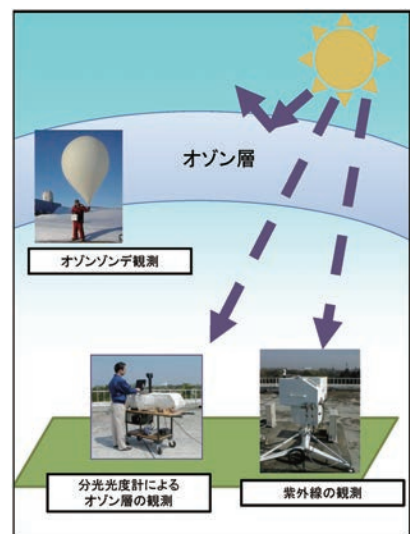
茶は直達日射、緑は散乱日射、赤は赤外放射の推移を示しています。

(2) オゾン層の状況の監視等のための観測網

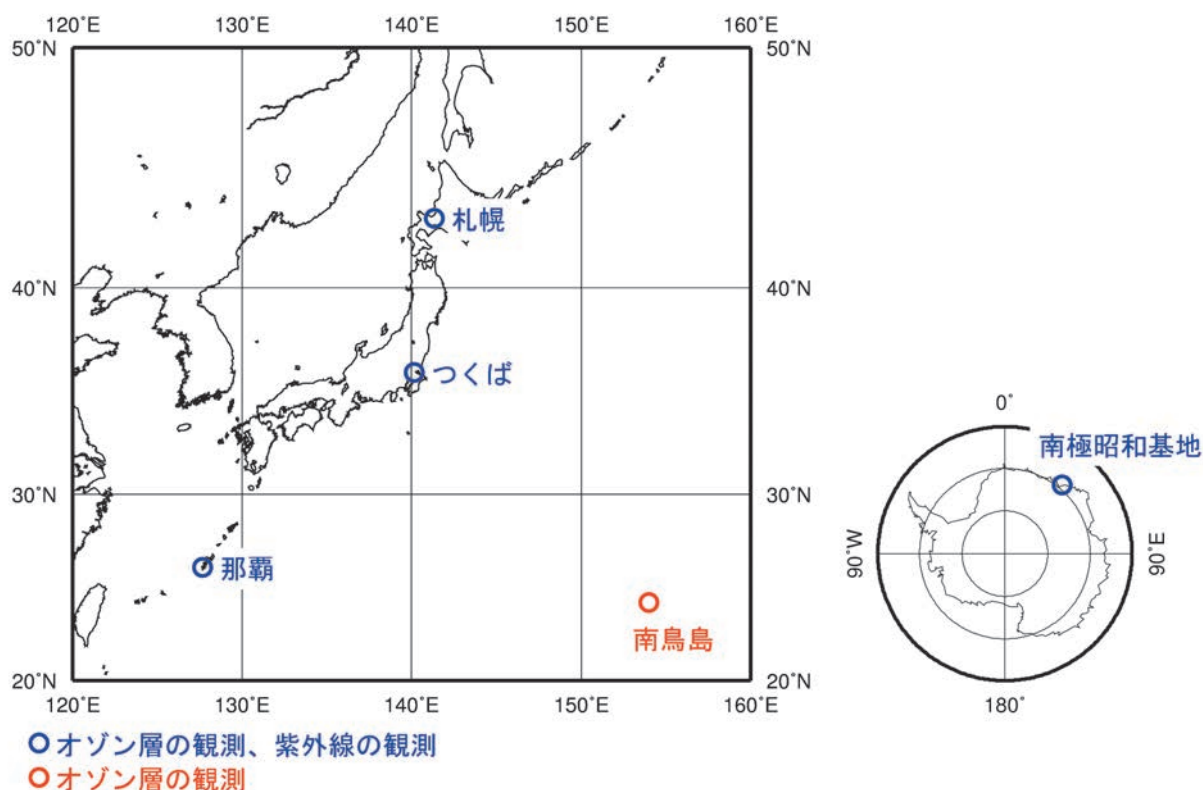
高度 10 ～ 50 キロメートルにオゾンの多い層がありオゾン層と呼んでいます。オゾン層は生物に有害な紫外線の多くを吸収する役割を果たしています。しかし、人工物質のフロンなどによりオゾン層が地球規模で破壊され、地上に到達する紫外線の増加による健康や生態系への悪影響が懸念されています。

気象庁は、昭和 32 年（1957 年）にオゾン層の観測を開始し、現在は、札幌、つくば、那覇、南鳥島、南極昭和基地で実施しています。また、平成 2 年（1990 年）から順次、南鳥島を除くオゾン層観測地点で紫外線の観測を開始しました。

オゾン層・紫外線の観測



オゾン層・紫外線観測地点



ア.オゾン層の観測

①分光光度計による観測

太陽から地上に到達する紫外線のうち、オゾンに吸収されやすい波長の紫外線とオゾンに吸収されにくい波長の紫外線の強度を測定することにより、地上から大気上端までのオゾン量（オゾン全量）を観測します。

ドブソンオゾン分光光度計による観測

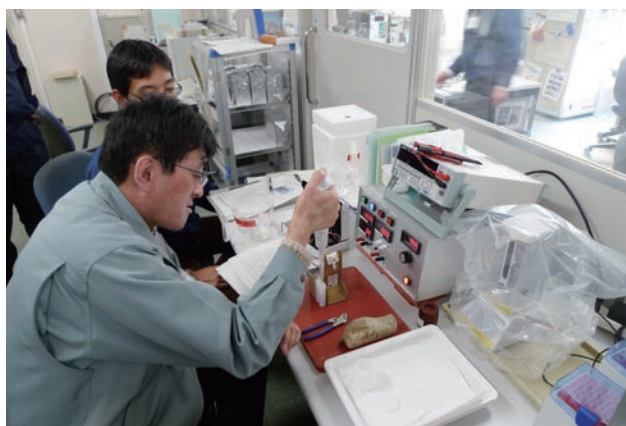


(右写真) ドブソンオゾン分光光度計を操作して、オゾン全量を観測している様子。この観測を1日に3～5回行っています。

②オゾンゾンデ観測

気球に吊した観測器（オゾンゾンデ）により上空のオゾン量を直接測定し、オゾンの鉛直分布を詳細に知ることができます。

観測器(オゾンゾンデ)のセンサー部分の準備作業



オゾンゾンデの使用前準備作業の様子。正確な観測のために、何日も前から様々な測定や準備の作業を行っています。

イ.紫外線の観測

①分光光度計による観測

生物に有害な UV-B 域を中心に、波長毎の紫外線量を観測します。

ブルーワー分光光度計(中央の白い機器)の点検作業



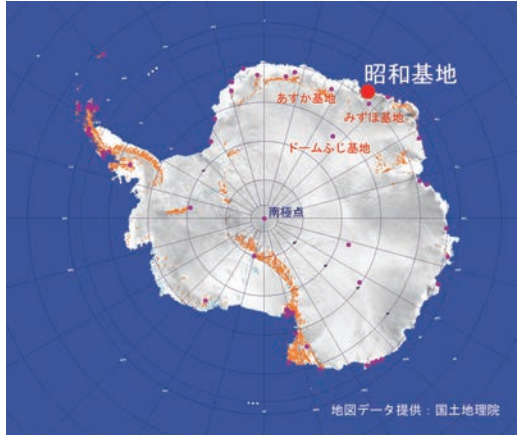
測器の状態を点検している様子です。太陽が出ている日中は観測を行っていることから、観測をしていない夜間に点検を行います。紫外線を細かく正確に測定するためには、定期点検が欠かせません。

(3) 南極での観測

南極は、地球上の人間活動が活発な地域から最も離れた場所で、気候変動や地球環境を監視するための様々な観測を行うために最適な場所です。日本の南極地域観測は、地球規模の現象解明のため国際地球観測年 (IGY) の国際的な共同観測計画の一環として、昭和 31 年 (1956 年) 以降、観測隊を派遣して実施しています。

日本の観測隊は南極大陸の氷縁から約 4 キロメートル離れた東オンゲル島に昭和基地を開設 (南緯 69 度 00 分、東経 39 度 35 分) し、海底や地表から宇宙まで広範囲にわたって、様々な観測をしています。

昭和基地



南極大陸の各地では、世界中の国々が観測を行っています (図の赤点)。

気象庁は、現在では毎年 5 人の越冬隊員を派遣し、基本観測・定常観測部門の気象観測を担っています。地上、高層、オゾン、日射・放射観測の方法などは国内と同様に、測器や隊員の目視により行っています。これまで、極寒地の基礎的な質の高いデータを継続して取得し、昭和 57 年 (1982 年) には世界で初めて上空のオゾン量の減少 (オゾンホール) を発見しました。これらの観測データは、国際的にも大変貴重であり、地球環境問題を解明するさまざまな研究の基礎資料となっています。

また、気象観測以外にも、研究観測部門に越冬隊員を適宜派遣してオーロラや地磁気などの観測を行っています。

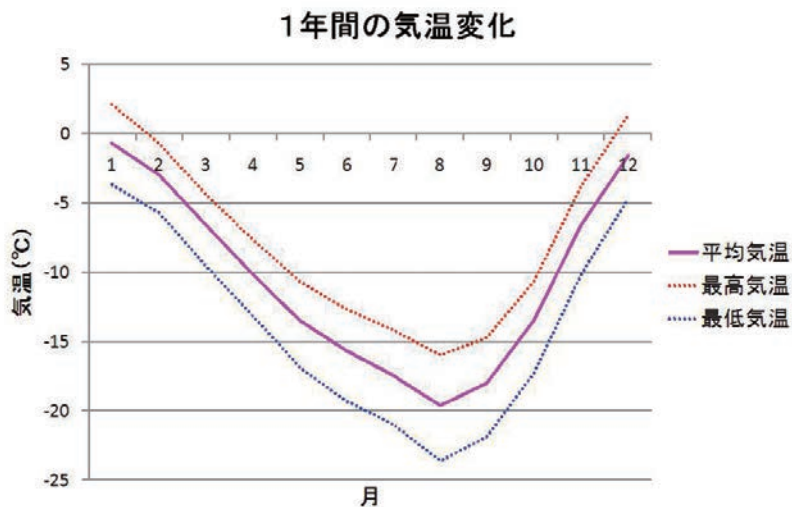
南極で得られた気象観測データは、即時に通信回線で気象庁に送られ、さらに世界の国々に配信され、日々の気象予測、オゾン層を含む気候変動の監視や様々な研究などに利用されています。

昭和基地における気象観測



昭和基地では、夏期間(12～2月)は白夜となり太陽が沈まず、冬期間(6～8月)は極夜となり太陽が現れない時期があります。また、強風と高い地吹雪で著しく視界が悪くなるブリザードになると、観測器械に着雪したり、内部に雪が入り込んで正しい観測ができなくなります。観測器械が故障した場合には、隊員が自ら修理しなければなりません。このため、観測測器の維持管理には細心の注意を払っています。

昭和基地における1年間の気温変化



強風時のラジオゾンデ飛揚 (高層気象観測)



強風やブリザードといった厳しい気象条件であっても、観測を行います。

ガスボンベの運搬



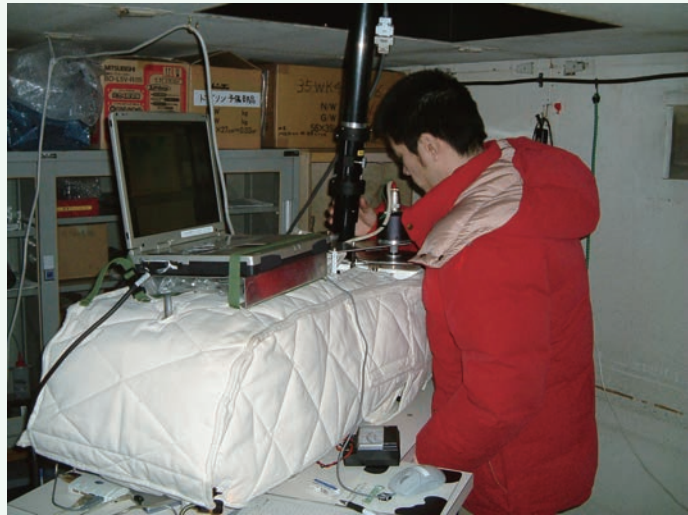
高層気象観測で使用するガスボンベも隊員が運搬します。

コラム

☑ オゾンホールが発見

南極では毎年春先(9月ころ)に、オゾン量の少ない領域が発生しています。このオゾン量の減少は、第23次南極地域観測隊(昭和57年(1982年))に参加した当庁職員の忠鉢繁博士が世界で初めて発見しました。当初は、オゾン観測は太陽の光だけを使って観測していましたが、太陽が出ない冬の観測データがありませんでした。忠鉢博士は、太陽が出なくても観測できないだろうかと考え、月の光による観測を試みました。得られた結果はそれまで観測されていたオゾン量に比べて著しく低く、器械の障害が疑われました。その後衛星観測データでもオゾン量が減少していることが分かり、当時の観測データが正しかったことが証明されました。

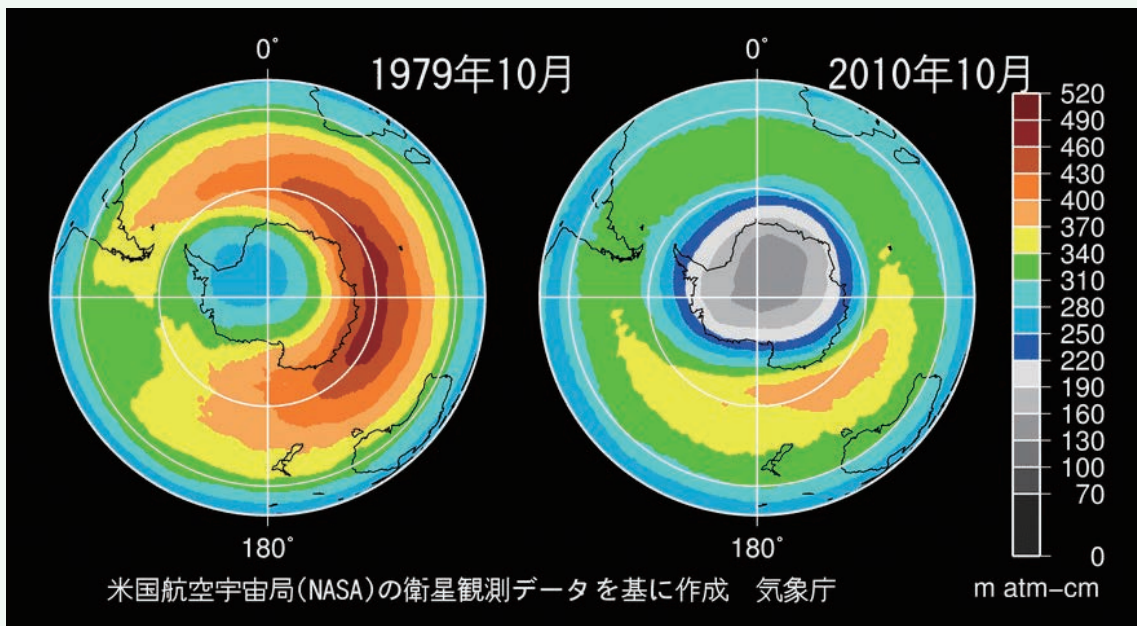
オゾン観測



紫外線強度のデータを収集して、オゾン量を計算します

現在では、オゾン量の少ない領域はオゾンホールと呼ばれ、フロンガスなどの人工的な物質が発生の原因と考えられており、地球環境問題のひとつとして広く一般に知られるようになりました。

1979年と2010年のオゾンホールの比較



米国航空宇宙局(NASA)の衛星観測データを元に作成。2010年をみると、オゾンホールが南極大陸をほぼ覆い尽くしているのが分かります。