# 2.1 はじめに

第1章で述べた通り、数値予報を行うには、まず現実 の大気状態を解析して、その状態を規則正しく配置さ れた格子点の値で表す「初期値」を作成すること(デー 夕同化)が必要である。データ同化では、第一推定値 を観測データで修正して、より精度の高い初期値を作 成する。このためには、解析対象となる時刻(解析時 刻)の現実の大気状態を正しく捉えた、各種(気象)観 測データが必要である。現在の数値予報では、世界各 国の気象機関や宇宙機関(衛星運用機関)などの様々 な機関から観測データをリアルタイムで取得し、各種 品質管理によって誤データを排除した上で、データ同 化に活用している。

本章では、気象庁における全球、メソ、局地数値予 報システムのデータ同化(全球解析、メソ解析、局地 解析)で活用される観測データとその品質管理につい て概説する。

#### 2.2 観測の種類

図 2.2.1 に、データ同化で利用される各種観測測器 や、測器を搭載する衛星などを示す。観測は大きく分 けて直接観測、リモートセンシング(遠隔観測)、疑 似観測に分類できる。リモートセンシングには、地上 に設置された測器による地上リモートセンシングと人 工衛星搭載の測器による衛星リモートセンシングがあ る。衛星リモートセンシングに用いられる衛星は、静 止軌道衛星と低軌道衛星とに大きく分けられる。この うち低軌道衛星には、気象機関などが運用する現業衛 星のほか、研究機関や宇宙機関が運用する地球観測衛 星や GNSS 掩蔽衛星がある。疑似観測は、実際の観測 で得られたものでない情報をデータ同化で利用するた めに人工的に作成される、観測を模したものである。

#### 2.2.1 直接観測

ある場所の大気状態を実際にその場で測ることを直 接観測と言う。直接観測には、各地の気象台などによ る地上観測や船舶・漂流ブイによる海上観測、ラジオ ゾンデによる高層観測、商用航空機などによる航空機 観測が含まれる。直接観測データは、一般に時間・空 間分解能が限られるが、高品質でリモートセンシング データの校正に使われるなど観測データとして貴重で ある。近年の動向として、人間の手によるラジオゾン デ観測の総数は減少傾向にあるが、一方で、一回の観 測については鉛直高分解能化 (酒匂 2015)によるデー タ拡充が行われている。また、高層観測を補完する航 空機観測のデータ数は増加傾向 (太田 2015)にある。

### 2.2.2 リモートセンシング

離れた場所から、電磁波などを用いて間接的に観測 を行う手法をリモートセンシングと言う。

地上に測器を置く地上リモートセンシングには、気 象ドップラーレーダーやウインドプロファイラ、地上 GNSS<sup>1</sup>などがある。このうち地上 GNSS では、複数の GNSS 衛星から発信された電波を地上の GNSS 受信機 で受信した際の受信時間の遅れ(伝播遅延)を利用す る。受信時間の遅れは、主に電波が通過した大気中の 水蒸気量に起因するため、受信機が設置された場所の 天頂大気遅延量や鉛直積算水蒸気量(可降水量)を求 めることができる。また、視線大気遅延量(受信機と 衛星間の経路に沿った伝播遅延)からは、大気中の水 蒸気の3次元構造も推定できる。

人工衛星から地球を観測する衛星リモートセンシン グでは、多種多様な観測が行われている。WMO (2016) によれば、全球数値予報の予報誤差の軽減に現状最も寄 与している測器は、米国の NOAA 衛星や欧州の Metop 衛星などに搭載されているサウンダ(鉛直探査計)で、 気温や水蒸気の鉛直分布に関する情報を得ることがで きる。また、静止衛星などによる連続画像を基に、大 気や雲などのパターンの移動を追跡することにより算 出される大気追跡風 (AMV<sup>2</sup>) も寄与が大きい。GNSS 掩蔽観測 (GNSS-RO<sup>3</sup>) も数値予報に重要なデータであ る。この理由は、GNSS-RO がその観測原理から、地 球上どこでも均質な精度のデータが得られるためであ る。その他、大気下層の水蒸気量や土壌水分量などの地 表面状態の情報が得られるマイクロ波放射計(面的に 情報が得られるものはマイクロ波イメージャともいう) や、海上の風向風速や陸域の土壌水分量の情報が得ら れるマイクロ波散乱計、大気中上層の水蒸気量に関す る情報が得られる静止衛星の晴天放射輝度温度(CSR<sup>4</sup>) などが数値予報で利用されている。

#### 2.2.3 疑似観測

人間の手による主観解析の結果など、実際の観測で 得られたものでない大気に関する情報をデータ同化で 利用するために人工的に作成される観測を模したもの を、疑似観測と言う。現在、気象庁のデータ同化で疑 似観測データとして利用されているのは、台風ボーガ スのデータのみである。

台風ボーガスは、気象庁予報部で解析される熱帯低 気圧 (TC)の情報(中心位置、中心気圧、強風半径)を

<sup>&</sup>lt;sup>1</sup> GNSS: 全球航法衛星システム (Global Navigation Satellite Systems)、米国の全球測位システム GPS(Global Positioning System) を含む国際的な測位衛星システムの総称

<sup>&</sup>lt;sup>2</sup> AMV: Atmospheric Motion Vector

<sup>&</sup>lt;sup>3</sup> RO: Radio Occultation

<sup>&</sup>lt;sup>4</sup> CSR: Clear-Sky Radiance

<sup>\*</sup> 計盛 正博、本田 有機、佐藤 芳昭(気候情報課)



図 2.2.1 気象庁の数値予報のデータ同化で用いられる各種観測測器や測器を搭載する衛星など(2018 年 10 月現在)

データ同化で利用するための手法(もしくはそのデー タ)である。ボーガスの作成は、理想的な概念モデル に前述の TC に関する情報を適用して軸対称を仮定し た TC 構造を推定し、これに数値予報で得られる非軸 対称構造の情報を加えて TC 周辺の気圧や風の 3 次元 分布を算出する。この中からいくつかの地点のデータ を抽出し、抽出データを観測データの形式に変換する。 詳細は岡垣 (2010)、岡部ほか (2017) を参照されたい。

# 2.3 観測で得られる物理量

表 2.3.1 に各種観測から得られる物理量、及びその 観測データを用いて推定される物理量を示す。赤字は データ同化で利用している物理量である。

直接観測は、気圧、気温、風、湿度など数値予報モ デルの予報変数を直接観測するものが多く、リモート センシングでは、輝度温度やドップラー速度、反射強 度、屈折率など、予報変数ではない物理量を観測する ものが多い。

## 2.4 観測の分布

### 2.4.1 水平分布

図 2.4.1 と図 2.4.2 に 2018 年 8 月 13 日 00UTC の前 後 3 時間に観測された観測データの水平分布を示す。 A)~E), N) は直接観測または地上リモートセンシング データを、F)~M), O) は衛星リモートセンシングデー タの分布を示している。それぞれの図でカラーで表示 されたデータは実際に全球解析で利用されたデータを 示し、黒は利用されなかったデータを示す。

A) は気象台などで行われている地上観測で、陸上に 密に分布しているが砂漠や高緯度の雪氷域などでは観 測密度が低い。B) は船舶(青)や漂流ブイ(橙)で得 られる海上観測で、海洋上に広く分布しており、特に 北大西洋で観測密度が高い。C) はラジオゾンデによる 高層観測で、上空の気温、風、湿度データが得られる が、ほとんどが陸上に分布している。またアフリカで は非常に数が少ない。なお、海洋上では、気象観測船 や洋上プラットフォームなどによって観測が実施され ている。D) はパイロットバルーン(測風気球、橙)や ウインドプロファイラ(青)で得られる上空の風観測 である。ウインドプロファイラは現在、日本のほか、欧 州、香港に展開されている。米国のウインドプロファ イラ観測網は、2014 年に運用を終了している。E) は

	種別	観測物理量	観測物理量から算出(推定) される物理量
直接観測	地上観測 (SYNOP, AMeDAS, METAR)	<mark>気圧、気温、風、湿度、</mark> 降水量、日射量など	
	海上観測 (SHIP, BUOY)	気圧、 気温、 風、 湿度、 海面水温など	
	航空機観測 (AIREP, AMDAR, ACARS)	<mark>気圧、気温、風、</mark> 混合比など	
	高層観測 (TEMP, PILOT)	<mark>気圧、気温、風、湿度、</mark> ジオポテンシャル高度など	
	ウインドプロファイラ	ドップラー速度など	風,
地上 リモート センシング	気象レーダー	<mark>ドップラー速度、</mark> 反射強度など	風、湿度
	解析雨量	<mark>降水量</mark> (直接観測の降水量も含む)	
	地上GNSS	電波遅延量	天頂大気遅延量、可降水量
疑似観測	台風ボーガス		<mark>気圧、風、</mark> ジオポテンシャル高度、気温
静止衛星	可視・赤外イメージャ	輝度温度	大気追跡風(AMV)、 晴天放射輝度温度(CSR)、 海面水温など
低軌道 衛星	可視・赤外イメージャ	輝度温度	極域AMV、 LEOGEO AMV(静止衛星も含む)
	マイクロ波サウンダ	輝度温度	気温、湿度、降水量、可降水量
	赤外サウンダ	輝度温度	気温、湿度、オゾン量など
	マイクロ波イメージャ	輝度温度	<u>降水量、土壌水分量、</u> 海面水温など
	マイクロ波散乱計	散乱断面積	風、土壌水分量
	二周波降水レーダー	反射強度	湿度
	GNSS掩蔽観測	電波遅延量	屈折角、屈折率

表 2.3.1	各種観測で得られる物理量	(2018年10月現在)
15 4.0.1	T 催 航 別 く 付 り 4 し 切 住 里	(2010 平 10 万死伍)

赤字はデータ同化に利用している物理量。

SYNOP:地上実況気象通報、AMeDAS:地域気象観測システム、METAR:飛行場実況気象通報、

AIREP:航空機実況気象通報、AMDAR:航空機自動実況気象通報、ACARS:航空無線データ通信システム、 TEMP:地上高層実況気象通報、PILOT:地上高層風実況気象通報。

航空機による観測(青)、及び疑似観測(赤)の分布 を示している。航空機観測は全世界から広く得られる。 ただし、観測高度は限定的であり、その多くは航空機 の巡航高度である 10,000 m 付近の観測である。これ らの航空機が下層を飛行するのは離着陸時に限られる ため、対流圏下層のデータは空港近傍でしか得られな い。疑似観測は、台風周辺に配置される台風ボーガス のデータである。

F)~M), O) は衛星リモートセンシングデータで、色 によりその測器を搭載する衛星を区別している。F) は マイクロ波散乱計による観測の分布で、欧州の極軌道 衛星<sup>5</sup>Metop に搭載された改良型散乱計 ASCAT<sup>6</sup>によ り衛星軌道の左右両側の海上で風向風速のデータが得 られる。G) は熱帯・中緯度帯で4機<sup>7</sup>の静止気象衛星か

ら算出された AMV、極域で極軌道衛星から算出され た AMV、そして緯度 60 度帯で極軌道衛星と静止気象 衛星の合成画像から算出された AMV(LEOGEO 風) の分布である。H) は静止気象衛星による CSR のデー タ分布で、4機7の静止気象衛星のデータがあるが、上 空の晴天域のみにデータは限られる。I) はマイクロ波 サウンダで Suomi-NPP 衛星搭載の ATMS, DMSP 衛 星搭載の SSMIS のデータ分布である。J) はマイクロ波 イメージャで海洋上でのみデータを利用している。K) はマイクロ波気温サウンダで、2018年10月現在、6機 の極軌道衛星のデータで全球をカバーしている。L)は マイクロ波水蒸気サウンダのデータ分布である。M) は GNSS-RO でまばらではあるが、全球に比較的均質に データが分布している。N) は地上 GNSS データで陸上 に分布している。O) はハイパースペクトル赤外サウン ダのデータ分布である。2017 年 3 月に Suomi-NPP 衛 星搭載の CrIS のデータの利用を開始し、現在では4機

SHIP:海上実況気象通報、BUOY:ブイ観測通報、

<sup>&</sup>lt;sup>5</sup>低軌道衛星のうち、北極から南極を周回するような衛星。

<sup>&</sup>lt;sup>6</sup> ASCAT: Advanced Scatterometer

 <sup>&</sup>lt;sup>7</sup>通常5機だが、そのうちの1機である GOES-East は
 2018年10月時点で未使用。

の低軌道衛星に搭載されたハイパースペクトル赤外サ ウンダ (AIRS, IASI, CrIS)のデータを利用している。

図 2.4.3 に気象ドップラーレーダーの観測データの水 平分布を示す。ドップラーレーダーはメソ・局地解析 で利用されている。A は気象庁の気象ドップラーレー ダーの反射強度 (Radar Reflectivity) から推定される相 対湿度 (Relative Humidity) データ (以下、REFRH と 略す。)の分布である。REFRH は気象ドップラーレー ダーから半径 200 km 以内で作成されている。なお、 REFRH の分布は降水エコーの探知状況に応じて日々 変動することから、図では、一定期間データを積算す ることで、おおよその観測可能範囲を示した。REFRH の観測可能範囲は日本を広く覆っているが、気象ドップ ラーレーダーが整備されていない南大東地方や小笠原 地方でデータが得られない。B はドップラー速度デー タ (Doppler Velocity, 以下、DPV と略す。)の水平 分布である。DPV データは気象庁の気象ドップラー レーダーのほか、空港気象ドップラーレーダーからも 得ることができる。DPV は REFRH よりも観測範囲 が狭く、気象庁の気象ドップラーレーダーの場合、半 径 150 km 以内、空港気象ドップラーレーダーの場合 は半径 120 km 以内となっている。

また局地解析では、陸域においてアメダスの気温、風 や気象官署の湿度データの他、マイクロ波イメージャ やマイクロ波散乱計から得られる土壌水分量が利用さ れている。

## 2.4.2 鉛直分布

表 2.4.1 に、各観測の観測対象となる高度を示した。 地上 GNSS は鉛直方向による全層積算の水蒸気量であ るが、水蒸気の分布が対流圏下層で密なため、対流圏 下層の影響が大きい。また、晴天放射輝度温度は全層 積算量に相当する観測データであるが、ここでは観測 波長の特性により感度があるとされる高度を示した。 現状中間圏で観測データが得られるのは衛星搭載サウ ンダや GNSS 掩蔽観測のみである。一方、衛星観測に より陸上における大気下層の情報を得ることは、地表 面状態を正確に把握する必要があるため、大気下層の 観測情報を分離して得ることは難しい。

## 2.4.3 観測時刻分布

地上観測や静止衛星は、毎日決まった時刻に観測を 行う定時観測が主体であるが、現在では各種リモート センシングによる連続観測や、飛行機・ブイ等の不定 期観測等の非定時観測が多くなっている。定時観測に は、通常毎日 00UTC と 12UTC に実施される高層観 測などがある。

極軌道衛星は多くがその公転面と太陽に向かう方向 がなす角が一定(太陽同期)であるため、地球上から見 ると常に一定の現地時間で上空を通過しているように 見える。これらの極軌道衛星の軌道を地球の自転成分

	種別	地表	全層積算	対流圏下層	対流圏上層	成層圏	中間圏
	地上·海上	0					
直接観測	航空機観測	0		0	0		
	高層観測	0		0	0	0	
	ウインドプロファイラ			0	0		
地上	気象レーダー			0			
センシング	解析雨量	0					
<b>.</b>	地上GNSS		0				
疑似観測	台風ボーガス	0		0	0		
静止衛星	可視・赤外イメージャ (AMV, CSR)	0		0	0		
低軌道 衛星	可視・赤外イメージャ (AMV)	0		0	0		
	マイクロ波サウンダ	0		0	0	0	0
	赤外サウンダ	0		0	0	0	0
	マイクロ波イメージャ	0		0			
	マイクロ波散乱計	0					
	二周波降水レーダー			0	0		
	GNSS掩蔽観測			0	0	0	0

表 2.4.1	各観測デ-	-タの観測	则対象高度	(2018 4	羊 10	月現在)
(衛星燈	軍度温度の	易合は感	度のある高	度)		

を差し引いて描くと、図 2.4.4 のようになる。ここで、 図中の数字が衛星の赤道通過時の現地時間に該当する。 背景の地図は経度 0 度の現地時間が 0 時の場合である。 下半球側が夜間に相当する。例えば、Metop-A 衛星は 現地時間で 10 時と 22 時頃に、NOAA-18 衛星は 18 時 と 06 時頃にそれぞれ上空を通過し、観測を行う。なお、 図 2.4.4 下段に示した GPM 衛星は太陽非同期衛星で、 その公転面が太陽に向かう方向となす角は時間ととも にずれていくため、地球上から見ても、上空通過時刻 (=観測時刻)は日々異なっている。図 2.4.4 下段での GPM 衛星の軌道は観測現地時間が 12 時の場合を示し ている。

#### 2.5 観測データ取得時間分布

各種観測データをデータ同化で利用するためには、 解析処理開始までにそれらのデータを取得する必要が ある。このため、観測データの取得に要する時間は、数 値予報の運用にとって極めて重要である。図 2.5.1 に高 層観測 (TEMP, PILOT)、地上観測 (SYNOP, SHIP, BUOY)、航空機観測 (ここでは AMDAR のみ)、衛 星観測 (ここではマイクロ波気温サウンダ AMSU-A の み)の、解析時刻前後 3 時間以内に観測されたデータ の取得時間分布 (解析時刻を基準とした相対時間)の 例を示す。なお、現在の運用では解析時刻の前後 3 時間 以内の観測データが一回の全球解析で利用されている。

高層観測は、そのほとんどが解析時刻に行われてお り、おおむね観測後3時間(解析時刻+3時間)以内に 全てのデータが入電している。











NOUSE[**e**]: 6331 NOUSE[**e**]: 8770 ALL: 6769 ALL: 9422



 NOUSE[•]: 209
 NOUSE[•]: 1692

 ALL: 240
 ALL: 1730



ASCAT[•]: 4976 ASCAT[•]: 2191 NOUSE[•]: 686 NOUSE[•]: 3455 ALL: 5662 ALL: 5646











ALL: 8455

図 2.4.2 2018 年 8 月 13 日 00UTC の前後 3 時間の観測データの水平分布。本文参照。(つづき)

77



図 2.4.3 メソ解析で利用されている気象レーダーの観測デー タの水平分布。A:レーダーの反射強度より推定される相 対湿度、B:ドップラー速度。レーダー毎に色分けして描 画した。

地上観測には毎時観測されるデータと数時間毎に観 測されるデータがある。どちらも観測後すぐに入電が 始まり、おおむね観測後3時間以内に配信が完了して いる。

航空機観測は、観測時刻が連続的に分布しており、観 測後 30 分以内に多くのデータが入電する。データの入 電も連続的にあり、解析時刻の4時間後までには、解 析時刻前後3時間のデータのほとんどが入電する。

衛星データについては、(ここでは AMSU-A の例だ が)観測自体は連続的に行われるものの、一定量(例 えば地球半周分)のデータを宇宙機関(衛星運用機関) などから一度に取得するため、データ取得分布は連続 的にならず、積算取得率も階段状の分布となっている。 データの取得に要する時間は、一般的には観測後1~ 3時間程度、遅いものでは5時間程度である。従って、 配信の最も遅い解析時刻の3時間後の観測データは、 解析時刻の8時間後にようやく取得できることになる。 このような遅延を補うため、衛星データの中には気象 衛星センターに代表される衛星受信局で直接衛星から 受信されるデータもある。こうした観測データは、観 測後30分以内にはおおむね取得できる。ただし、この ようにして衛星から直接得られるのは、受信局周辺の 観測データのみに限られる。このため、より迅速に全



図 2.4.4 衛星の軌道(公称値)を、地球の自転成分を差し 引いて北極上空から眺めた様子。図中の数字が衛星の赤道 通過時の現地時間に相当する。上段がマイクロ波気温サウ ンダ搭載衛星、下段がマイクロ波イメージャ搭載衛星。

球的なデータを取得するため、各国の受信局で得られ た直接受信データを相互に交換する枠組みが WMO の 下で構築されている (村田 2007)。

#### 2.6 デコード

観測データの処理は、通報された電文や取得した独 自形式の電子データを数値予報で扱いやすい形式のファ イルに翻訳・変換(デコード)することから始まる。こ のデコード処理の際に、観測時刻の確認や、重複デー タの確認・排除、訂正報の処理などが行われる。

## 2.7 品質管理

観測データには、誤差が含まれる。データ同化で扱う観測誤差として、測定誤差、代表性誤差、変換誤差 がある。測定誤差は、測器等による誤差で、観測その ものの誤差である(一般に観測誤差と呼ばれるもの)。 代表性誤差とは、第一推定値の空間的な離散化による 誤差である。変換誤差とは、格子点値を観測相当量に 変換する際に生じる誤差である。これら以外に人為的 なミスや観測測器の故障等、様々な原因により誤デー タの混入がありうる。そのような異常値データは修正 あるいは棄却する必要がある。図2.7.1 にある船舶から



図 2.5.1 高層観測(TEMP+PILOT)、地上観測(SYNOP+SHIP+BUOY)、航空機観測(ここでは AMDAR のみ)、衛星 観測(ここではマイクロ波気温サウンダ AMSU-A のみ)の、解析時刻前後 3 時間に観測されたデータの入電時間分布 [%]。 青線が積算取得率(左軸)、赤線が毎分取得率(右軸)、横軸は解析時刻を基準とした相対時間 [分]。調査期間は、高層・地 表・航空機観測が 2012 年 4 月 5~6 日、衛星観測が同年 3 月 1~9 日。



図 2.7.1 2012 年 6 月 11~23 日の、ある船舶からの気温通 報値(◆)と数値予報モデルによる第一推定値(+)

の気温通報値と、対応する地点における数値予報モデ ルによる第一推定値を例として示す。第一推定値が明 瞭な日変動を示しているのに対し、通報値はときどき 変動がみられるものの一定値が連続しており、明らか に挙動が不自然である。また、図2.7.2 は衛星データの 観測位置情報に誤りがある例である。衛星データは通 常連続的に分布するので、矢印で示すような離れた位 置に観測データが現れるのは明らかにおかしい。異常 なデータが数値予報のデータ同化に利用されたと仮定 した場合の例を図2.7.3 に示す。(A)は正常な観測デー タを用いた場合の解析場、(B)は日本の東海上に異常 なデータが混入したと仮定した場合の解析場、(C)は その差で、(B)では日本の東海上に偽の低気圧(矢印) が解析されている様子がわかる。この例のように、異 常データの混入は予測精度の低下につながる。また、



図 2.7.2 ある衛星データの観測位置情報に誤りがある例。赤 点が各観測点を示す。

それだけでなく、場合によってはデータ同化の処理が 異常終了する原因となりうる。このため、異常データ はできる限り適切に排除する必要がある。この処理な どを実施するのが品質管理 (QC: Quality Control) で ある。

QC には、データ同化のための前処理として自動的 に実施されるリアルタイム QC と、ある一定期間の観 測値の振る舞いを監視し、観測データの統計的な問題 点などを把握するための非リアルタイム QC の 2 種類 がある。



図 2.7.3 A:正常な観測データがデータ同化に利用された場合の海面気圧解析値、等値線は4hPa毎。B:★の位置の船舶が、 観測値を誤って低い値で通報し、それが利用されたと仮定した場合の海面気圧解析値。C:AとBの差。等値線は1hPa毎 で負の値を青色で示した。なおこの船舶の観測時刻は解析時刻の3時間前だったため、その時間差が考慮され、差が大きい 場所の中心は系の移動と共に観測場所の東側に移動した。

## 2.7.1 リアルタイム QC

リアルタイム QC は、データ同化に入力するための 観測データの妥当性を判定する前処理で実施される。 前処理は、観測の種類に応じて様々な手法で行われる。

このうち直接観測や AMV などの QC は、以下に述 べる内的 QC と外的 QC の処理が実施される。

内的 QC は、観測データが持つ情報のみを使って行 う QC であり、以下のような項目がある。個々の詳細 については大野木 (1997) を参照願いたい。

ブラックリストチェック:

非リアルタイム QC(第2.7.2項参照)の結果に基 づいて、品質が悪いと事前に判明しているデータ を予め登録したブラックリストに基づいて除去す る。なお図2.7.1の例はこのチェックで排除される。 気候学的チェック:

気候学的に妥当な値が報じられているか確認する。 値の基準は WMO (1993) に基づいている。

航路チェック:

船舶や航空機などの移動体からの観測通報が適切 か確認する。移動速度や角度の確認のほか、船舶 では通報位置が海上かどうかも確認する。

要素間整合性チェック:

同時に測定した異なる観測要素間で、整合が取れ ているか確認する。例えば、気温と露点温度が逆 転していないか、など。

# 鉛直整合性チェック:

高層観測を対象として、鉛直方向にある一連のデー タが気象学的に整合しているか確認する。例えば、 観測値が一定ではないか(測器が氷結してないか)、 気温減率は妥当か、など。

外的 QC は、第一推定値や周囲の観測等と比較して 観測データの妥当性を確認する。外的 QC は以下によっ て行われる。なお、これらの処理の模式図を図 2.7.4 に 示した。

グロスエラーチェック(図 2.7.4 左側):

観測値と第一推定値の差(D値)により、そのデー

タが妥当か判定する。ただし、第一推定値自体が 妥当かどうか必ずしも明確でない(予報精度が悪 い可能性がある)ので、本判定では、D値の大きさ に応じて、PASS(通過)/SUSPECT(保留)/ REJECT(排除)の3種類に判定し、SUSPECT データは後続の空間整合性チェックで改めて判定 する。なお、第一推定値の品質が特に悪い場合に は、正しいデータであっても、本チェックで排除さ れてしまう可能性があるので注意が必要である。

空間整合性チェック(図 2.7.4 右側):

D 値を周囲の観測データと比較し、周囲の観測デー タも似たような値だった場合、観測は正しいと判断 して PASS とする。逆に周囲と異なる場合には観 測値の信頼性が低いとみなして REJECT とする。

リモートセンシング観測のための QC は、それぞれの 特性に応じて様々な処理が施されている。例えば、グ ロスエラーチェックのほか、衛星データに関しては、図 2.7.2 で示したような事例に対応するための観測位置整 合性チェックなどが行われる。また、ドップラーレー ダーでは、地面の影響(グランドクラッター)を除去 するために、風速が弱いデータを排除する処理などが 行われている。個々の観測データの QC の詳細は、直 接観測データについては、大野木 (1997)、衛星全般に ついては、気象庁予報部 (2007, 2011)、ドップラー速 度については、石川 (2007)、小泉 (2004)、レーダー 反射強度については、幾田 (2011)、地上 GNSS につい ては、石川 (2010)、吉本 (2014) などの参考文献を適 宜参照願いたい。

# 2.7.2 非リアルタイム QC

非リアルタイム QC は、一定期間の観測値の振る舞 いなどを監視し、観測データの統計的な問題などを把 握するために行われており、この結果に基づきリアル タイム QC で用いるブラックリストの登録・解除など を行っている。アジア地域の地上気象観測データの情 報については、モニタリングレポートとしてとりまと め、観測実施当局である外国気象機関や WMO に周知



図 2.7.4 外的 QC の模式図、図中の平面が数値予報モデルによる推定値(第一推定値)を、棒の高さが D 値(観測値と第一 推定値の差)の大きさを示す。グロスエラーチェック(左)では、個々の観測データを、その D 値の大きさで PASS(通過 (緑))/SUSPECT(保留(黄))/REJECT(排除(赤))に分類し、その後に実施される空間整合性チェック(右)では、 SUSPECT データを周囲の観測と比較して突出してないかどうかで PASS / REJECT を決める。



図 2.7.5 複数衛星の観測データの、第一推定値に対する二乗平均平方根誤差 (RMSE)の時系列比較図(例)。この例では、2010 年1月に NOAA-19の観測データ(青色)の RMSE の拡大が見られた。この際、他の衛星の誤差は拡大していないことか ら、(数値予報モデルの精度が悪化したのではなく)このデータの精度が悪化したと判断し、初期値解析での利用を中止した。

すると共に、外国数値予報センターとも情報交換し、 観測の問題の把握に努めている。なお、このモニタリ ングレポートは、ウェブにより公開されている<sup>8</sup>。

数値予報課では、統計処理や図 2.7.1 に示した観測 値と第一推定値の比較の時系列図などで各種観測デー タの監視を行っている。また、衛星データに関しては、 別々の衛星の、同様の周波数帯(チャンネル)の輝度 温度観測データについて、第一推定値に対する二乗平 均平方根誤差 (RMSE) やバイアス、入電数の時系列を 描画することにより監視を行っている(例:図 2.7.5)。

## 2.8 まとめ

数値予報に利用されているものを中心に各種観測デー タとその品質管理について概説した。数値予報の高度 化に伴い、データ同化に用いられる観測データ数は年々 増大している。これらの情報を利用することにより、数 値予報の精度が向上してきた。今後も同化技術の高度 化や新しい観測データの登場によって、さらなるデー タ利用が見込まれる。これらのデータの適切な品質管 理は、数値予報の精度維持・向上のために極めて重要 で、そのためには観測データのモニタリングという地 道な作業も非常に重要である。今後のデータ増大を見

<sup>8</sup> http://qc.kishou.go.jp/

据え、効率的な品質監視や、品質警告の自動発出などの システム構築が重要であり、開発を進める必要がある。

### 参考文献

- 幾田泰酵,2011: メソ解析におけるレーダー反射強度 データの同化.平成23年度数値予報研修テキスト, 気象庁予報部,9-12.
- 石川宜広, 2007: ドップラーレーダーデータの利用. 平 成 19 年度数値予報研修テキスト, 気象庁予報部, 102– 103.
- 石川宜広, 2010: 地上 GPS データのメソ解析での利用. 数値予報課報告・別冊第 56 号, 気象庁予報部, 54-60.
- 太田行哉, 2015: 従来型観測データの利用の現状と課題. 数値予報課報告・別冊第 61 号, 気象庁予報部, 3-8.
- 大野木和敏, 1997: データ品質管理と解析前処理. 数値 予報課報告・別冊第43号, 気象庁予報部, 17-61.
- 岡垣晶, 2010: 全球解析における台風ボーガスの改良. 平成 22 年度数値予報研修テキスト, 気象庁予報部, 48-52.
- 岡部いづみ,太田行哉,高坂裕貴,2017:全球解析にお ける観測データの利用手法の改良及び新規利用開始. 平成 29 年度数値予報研修テキスト,気象庁予報部, 66-70.
- 気象庁予報部, 2007: 数値予報と衛星データ. 数値予報 課報告・別冊第53号, 気象庁予報部, 220pp.
- 気象庁予報部, 2011: データ同化の改善に向けて. 数値 予報課報告・別冊第57号, 気象庁予報部, 189pp.
- 小泉耕,2004: メソ解析へのドップラー動径風の利用. 平成 16 年度数値予報研修テキスト,気象庁予報部, 71-74.
- 酒匂啓司, 2015: 国内ゾンデ高解像度観測データの利用 の検討. 数値予報課報告・別冊第 61 号, 気象庁予報 部, 14–18.
- 村田英彦, 2007: アジア太平洋地域における ATOVS データ再配信サービス. 気象衛星センター技術報告 第 49 号, 気象衛星センター, 33-53.
- 吉本浩一,石川宜広,2014:全球解析における地上GNSS 天頂大気遅延量の同化利用.平成26年度数値予報研 修テキスト,気象庁予報部,44-48.
- WMO, 1993: Guide on the Global Data Processing System. WMO No. 305.
- WMO, 2016: Sixth WMO Workshop on the Impact of Various Observing Systems on Numerical Weather Prediction. Shanghai, China, 10-13 May 2016, Workshop report, WMO.