

新たな WMO/GAW 実施計画：2016－2023 について

堤 之 智*

1. はじめに

世界気象機関 (WMO) の全球大気監視 (GAW) プログラムは、各国の気象機関などが主体となって全球規模のネットワークとして化学物質を含む大気成分の観測をオペレーショナル (現業ベース) で行っている観測プログラムである。これまでの GAW の主要な成果の 1 つとして、種々の大気化学成分、エアロゾル、沈着物質、紫外線などについての一定品質を持つ全球規模での長期観測データセットを構築して公開してきた。WMO は現在、要素によってはこのデータセットを用いて全球規模での監視結果を公表しており、また GAW の観測データを使った論文も多数出ている。

2016年の WMO 第68回執行理事会での承認を受けて、2017年2月に GAW の今後の活動方向を定める新しい GAW 実施計画：2016－2023 (以降、GAW 実施計画) が決定されて公開された (WMO 2017a)。GAW 実施計画はパリ協定の発効などを含めた国際情勢の変化にも対応できるような内容となっている。

以前の GAW 戦略計画 (2008－2015) については、堤 (2007) が主にサービス利用の観点で解説した。その後、国内においても GAW に参加している研究観測ネットワークもあり、また GAW に参加したいという研究者からの問い合わせもあった。しかしながら、GAW は研究者の観点から見るとわかりにくい面がある。私はかつて GAW の温室効果ガス科学諮問会委員を務めた経験があり、また2017年3月まで気象庁で GAW を統括する環境気象管理官を務めていた

立場から、研究という観点での GAW の紹介と GAW 実施計画についての解説を行いたい。

2. WMO の位置づけについて

GAW を説明する上で、まず WMO の位置づけを確認しておきたい。WMO は1947年9月に採択された世界気象機関条約に基づいて1951年に設立された国際連合の専門機関 (Specialized Agency) である。WMO は、4年毎に条約加盟国の政府首席代表で構成される世界気象会議 (World Meteorological Congress) によって、その運営方針が決定 (決議) される。そして、毎年開催される執行理事会 (Executive Council) は、その決議に基づいて WMO の事業計画、予算案などを決定して WMO の活動を担っている。

世界気象会議の出席者 (通常は各国気象機関の長) は政府代表として参加するため、その決議は各国政府に対して拘束力を持っていることに注意していただきたい。これは、WMO の前機関であった国際気象機関 (IMO) の決議機関である長官会議 (Conference of Directors) の出席者が政府代表ではなかったために決定事項に国際的な拘束力がなく、有効な国際協力が得られなかった歴史に基づいている。

3. GAW の考え方

WMO は、1970年代からバックグラウンド汚染観測ネットワーク (BAPMoN) と成層圏の循環、熱収支の解明を目的とした全球オゾン観測システム (GO3OS) という2つの全球規模での現業観測ネットワークを主導していた。しかし、1980年代に入ってから地球環境問題の高まりから、WMO は1989年の第41回執行理事会においてこれら2つの観測ネットワークを統合し、大気組成変化を取り扱う観測・監視、研究活動を広く包含した GAW プログラムが誕生した。

* Yukitomo TSUTSUMI, 気象研究所海洋・地球化学研究部。

y-tsutsumi@mri-jma.go.jp

© 2017 日本気象学会

もともと天気予報や警報のために、各国は19世紀半ばから自国内に組織的な気象観測ネットワークを整備してきた。ところが気象は広域にわたる現象であるため、自国の気象を予報しようとするれば、自国の観測だけでは十分でないことがわかってきた。各国で行っている気象観測結果の交換を円滑に進めるため、1879年にIMOが設立され、観測を統一的行って結果を交換できるようにして、集めた成果を公表し、観測結果をさまざまな分野に応用する努力が積み重ねられてきた。それらの努力により、現在の世界気象監視(WWW)プログラムでは、各国がWMOの規定に沿って観測した世界各地の気象データが、決まった様式で決まった時刻にほぼリアルタイムで全世界に共有されている。その結果、数値予報モデルなどへの利用を通して天気予報や防災のための警報の発表が可能になっている。

GAWでも基本的な考え方はWWWと同じである。GAWは、気象観測と同じように各国や各機関が自前(あるいは外部資金)で行っている観測について、その観測結果を比較可能(comparable)にするための「調整」を目的の1つとして行っている。そのため、原則としてGAW観測はWMOから観測資金が出るわけではない。GAWの趣旨に賛同する観測組織が自主的にGAWに参加することが前提となる。そこが資金を持った研究プロジェクトなどとの大きな違いである。

その利点としては、基準や精度の統一などを調整することによって観測データの世界規模での交換や比較が可能になることである。例えばGAWによる観測結果は、化学輸送モデルに入力しての予測や世界規模での解析を可能にしている。また、地球環境の変化はゆっくり進むものも多く、その監視には広域にわたる長期間の観測データを必要とする。そして異常な状態を検出するためには、平常時との比較が欠かせない。GAWの規定に沿って維持された一定品質の観測データは、過去の観測データとの比較も可能にする。

GAWの観測は長いものでは1970年前後から50年近くにわたって続けられ、その観測データは世界データセンターに保存されて公開されている。もし地球環境について時空間的に何らかの変動が起こった場合には(逆に取まった際にも)、過去の観測データセットはその検出と原因究明のための手がかりとなる。この役割を確保するため、GAWの観測では、標準スケール(測定基準)や目標精度は原則として統一され、観測

データは世界データセンターに提供され、そこで確認や様式の整合を経て公開されている。それらの観測データは無料で利用できる(ただし、利用に当たってはデータ提供者の許諾が必要である)。

GAWではその趣旨に賛同する研究観測の参加を歓迎している。短期の研究観測でも、長期間の現業観測によるデータセットと組み合わせることによって、単独での観測では得られない成果が得られる可能性がある。また研究で取得したデータは、GAWを通して世界の研究者が利用できるよくなるとともに、GAWが支援する世界の環境施策への貢献にもつながる可能性がある。GAWへの参加の要件は後で述べる。

4. GAWの役割

GAWは地球環境の監視において、世界の環境政策と密接に連携した以下の目的を掲げている。

4.1 GAWの目的

GAWの目的は次のようになっている。

- ・大気中の化学成分および特定の物理的特性について、地球規模の長期的な監視を継続的に実施する。
 - ・品質保証および品質管理に重点を置く。
 - ・利用者に対し、関連する総合的な成果やサービスを提供する。
- これらを通じて、
- ・社会に与える環境上のリスクを低減し、種々の環境条約の要請に応える。
 - ・気候、気象および大気質の予報能力を高める。
 - ・環境政策を支援する科学的評価に貢献する。

例えば、地球温暖化防止に対しては気候変動枠組み条約(UNFCCC)がある。その第5条の調査、組織的観測については全球気候観測システム(GCOS)が推進しており、GCOSの中でGAWは大気成分や科学的特性について担当している。また同様に、オゾン層破壊に対するモントリオール議定書や長距離越境大気汚染条約(CLR TAP)にも観測や解析を通して支援している。さらに、人間の健康、生態系、インフラの安全性に影響を与えるエアロゾルや砂塵嵐、反応性ガスの空間・時間変化の影響評価に関してもGAWは信頼性のある観測データと予測ツールを提供している。

4.2 GAWの対象分野

GAWの対象分野として温室効果ガス、オゾン、エアロゾル、反応性ガス、降水化学、紫外線の6つの分野がある。また、各分野を横断した活動として、大気汚染を扱う都市気象環境(GURME)プロジェクト

ト、砂塵嵐の警報支援・評価システム (SDS-WAS) も実施している。

5. GAW の仕組み

5.1 GAW の組織

WMO 大気科学委員会 (Commission of Atmospheric Sciences) の下にある「環境汚染および大気化学に関する科学運営委員会」(The Environmental Pollution and Atmospheric Chemistry Scientific Steering Committee) が GAW を主導して、次に述べるような活動を行っている。なお、GAW の事務局は WMO の大気研究・環境部門 (Atmospheric Research & Environment) が担っている。

5.2 GAW の活動主体

GAW ではその目的を支援し達成するための活動を行う中枢機能 (Central Facility) として、測定標準を決定して維持するための中央較正施設 (Central Calibration Laboratory), 観測ネットワーク全体のデータ品質管理を実施するための品質保証科学センター (Quality Assurance/Science Activity Centre), 各 GAW 観測所がその観測を GAW の世界標準にリンクすることを支援するための世界較正センター (World Calibration Centre), 大気測定データと観測に付随したメタデータを保管し提供するための世界データセンター (World Data Centre) を組織している。これらの中枢機能は、国家気象機関などが引き受けて運営している。そして、分野別にその分野の科学者からなる科学諮問部会 (Scientific Advisory Group) が組織されて、それらの活動を科学的に助言、支援している。また、世界データセンターの活動の一貫性を図るために、各世界データセンターの管理者を集めた専門家チームも組織されている。

ただ、GAW は枠組みとしての設計はきちんとなされているが、その活動は各国気象機関などの自主性に依存している。各国の気象機関は限られた資源で防災や産業育成の役割も果たしており、環境に対するプライオリティの考え方も異なる。また観測要素によっては技術開発が必要な部分もある。そのため、現在の対象要素の全ての中枢機能が完全に機能しているわけではない。そういう意味で、まだ途上の部分もある。

5.3 観測プラットフォーム

地上観測ネットワークの観測所は、6.2.2節に述べるようにカテゴリー化されており、全球観測所 (31地点) と地域観測所 (約400地点) など、それぞれのカ

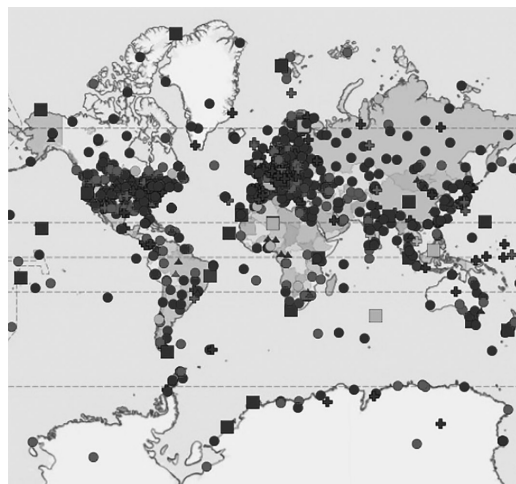
テゴリーに応じて種々の GAW の観測要素を観測している (第1図)。これらの観測所には、政府機関や研究機関によって GAW プログラムの中で規定に沿って運営されている GAW 観測所と、GAW の趣旨に同意した組織や研究者によって緩和された条件において運営されている協賛観測所とそれからなる協賛ネットワーク (Contributing Network) がある。また、これらの地上観測は、航空機や船舶による移動体観測と、オゾン、太陽放射、エアロゾル、一部の微量ガスに関しては宇宙からの衛星観測によって、補完されている。

5.4 各観測所の情報

世界中の GAW の各観測所の状態や観測種目などの情報は、GAWSIS という情報システムで一元管理され、ウェブサイト (<https://gawsis.meteoswiss.ch/>) で公開されている。また観測所の登録や情報の変更などもここで手続きを行う。GAWSIS の中で各観測所のカテゴリーは、「運用中 (Operational)」, 「部分的に運用中 (Partly operational)」, 「観測データの報告なし (Non-reporting)」で分類される。それぞれの定義は GAW 実施計画に記載されている。

5.5 世界データセンター

GAW には観測データに応じて、UV, 温室効果ガス, エアロゾル, 降水化学, 反応性ガス, 放射, 大気



第1図 GAW 地上観測ネットワーク (GAWSIS のホームページより; GAWSIS は 5.4節を参照)。形の違いは観測所のカテゴリーの違い、色は観測データの報告状況を反映している。

の遠隔測定 of 7 つの世界データセンター (World Data Centre) がある。これらのデータセンターは、対象とする要素について世界中のさまざまな観測プラットフォームからの観測データを一元的に収集して保管している (第2図)。また世界データセンターは、データの基礎的な統計を行うとともに、観測データをホームページから公開して、世界規模での地球環境の監視や研究に役立つようにしている。GAW SIS には各データセンターのホームページへのリンクが張られている。ちなみに、WMO 温室効果ガス世界データセンターは気象庁が運営している。

5.6 GAW と協力関係を結んでいる組織

地球環境の監視はさまざまな知見や情報を組み込んで観測を組織化、広域化するほどその効果や効率上がるため、GAW は以下のような世界のさまざまな機関との協力関係を構築している。

- ・国連環境計画 (UNEP)
- ・世界保健機関 (WHO)
- ・国際原子力機関 (IAEA)
- ・世界銀行
- ・政府間海洋学委員会 (IOC)
- ・国際度量衡局 (BIPM)
- ・国連経済委員会での長距離越境大気汚染条約

(UNECE-LRTAP)

- ・北極圏監視評価プログラム (AMAP)
- ・大気化学と地球汚染に関する国際委員会 (iCAC-GP)
- ・全球大気化学国際プロジェクト (IGAC)
- ・統合陸域生態-大気プロセス研究計画 (iLEAPs)
- ・国際オゾン委員会 (IO3C)
- ・海洋環境保護の科学的側面に関する専門家会合 (GESMAP)
- ・成層圏過程とその気候への影響 (SPARC)
- ・海上における人命の安全のための国際条約 (SOLAS)

5.7 GAW による成果

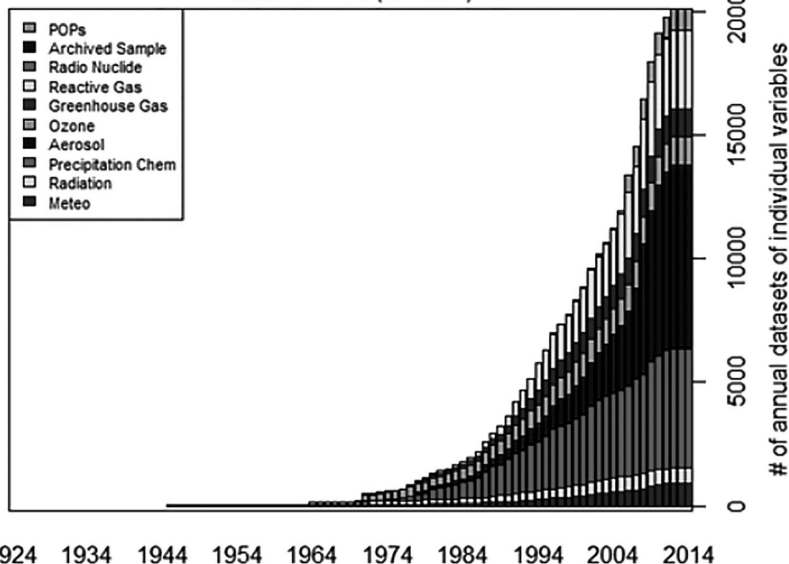
GAW によって観測され、世界データセンターに保管されているデータは、様々な分野で報告や論文として利用されている。ここでは3つの分野の例を挙げる。

- ・温室効果ガスについては、地上観測だけでなく船舶、航空機などによる測定も GAW を支援している。それらの観測に基づく温室効果ガスの全球平均濃度の年平均値とそれらの変化率は、毎年「WMO 温室効果ガス年報 (WMO Greenhouse Gas Bulletin) (<http://www.wmo.int/pages/prog/arep/gaw/ghg/GHGbulletin.html>)」で公開されており、その結果は全世界で報道されている。また、WMO 温室効果ガス年報は、GCOS を通した UNFCCC への貢献として、気候変動枠組条約締約国会議 (COP) で配布されてその交渉を支援するためにも利用されている。

- ・成層圏オゾンについては、世界で行われている様々な観測 (分光光度計やオゾンゾンデ、ライダー、マイクロ放射計など) が、WMO と UNEP が共同で作成している「オゾン層破壊の科学アセスメント (Scientific

Datasets available from GAW

source: GAW SIS (June 2014)



1924 1934 1944 1954 1964 1974 1984 1994 2004 2014

第2図 各データセンターに保存されている GAW のデータの統計 (GAW 実施計画より)。

Assessment of Ozone Depletion)」に貢献している。また、南極の観測所からの準リアルタイム観測値は、春季の南極大陸上空におけるオゾン層の現況を定期的に報告している「WMO 南極オゾン報告 (WMO Antarctic Ozone Bulletins) (<http://www.wmo.int/pages/prog/arep/gaw/ozone/index.html>)」の作成に利用されている。

- ・反応性ガスについては、NO_x、SO₂、VOC などの 150地点以上からなる GAW の観測 (Schultz et al. 2015) が、例えば総説 (Cooper et al. 2014)、トレンド解析 (Gilge et al. 2010; Logan et al. 2012; Parrish et al. 2014)、プロセス研究 (Mannschreck et al. 2004)、化学気候モデルの評価 (Parrish et al. 2013) を含む非常に多くの研究論文に利用されている。

6. 新しい GAW 実施計画2016-2023

GAW では世界の情勢に適応する観測を行うため、約 7～8 年毎に実施計画を策定している。2016年の第 68回執行理事会で承認された GAW 実施計画 (GAW Report No. 228) は GAW のホームページ (<http://www.wmo.int/pages/prog/arep/gaw/gaw-reports.html>) からダウンロードできる。その内容は詳細にわたっているが、今回はその特徴だけを紹介する。

6.1 方向性

GAW の次の10年のための展望は、新しいプロダクトやサービスを協力して生み出しながら、科学に貢献する地域規模から地球規模にわたる大気成分に関する高品質で国際的な観測ネットワークを維持、拡大していくことである。GAW 実施計画は、地球環境を管理して環境に対する負荷を軽減するために、事実に基づく意思決定を可能にする情報の提供を目的としており、さまざまな観測データのモデルを使った解析や数値予測などのための統合を含んでいる。それによって気候、予報、健康、農業、エネルギー分野などの社会に還元するための科学的成果やサービスの創出を目指している (第 3 図)。

GAW の対象分野としては4.2節で述べたとおりだが、GAW 実施計画では次の 3 つの応用分野を定義して、科学の進展や人々の暮らしに役立てようとしている。

6.1.1 大気成分の監視

地域規模から全球規模まで時空間的に大気成分を監視する。この時空間的な監視には、濃度分布だけでなくパリ協定による排出量の客観的な監視への支援も含んでいる。また、気候学の発展のための再解析、化学

輸送モデルやその過程の評価、衛星観測の評価を行うとともに、引き続きさまざまな出版物を通してそれらの結果を公表する。

6.1.2 大気組成の変化とそれによる環境現象の予報

環境現象の予測を、全球規模から領域規模にわたって数値予報と同様の解像度で準リアルタイムに実施する。これらの予測には、例えば砂塵嵐の警報、煙霧・霧の予報、大気汚染予報などへの支援を含んでいる。

6.1.3 都市域での人間活動を支援するための大気化学成分の状況に関する情報

例えば4.2節の GURME プロジェクトでは、さまざまな用途を想定して、大都市や都市集中域を数 km 以下の分解能にわけて、大気汚染物質などを含む様々な大気化学成分の適時の情報提供を目指している。そのため、大気質予報などの現業的な業務を支援するための研究やパイロットプロジェクトに重点を置く。

6.2 今回の GAW 実施計画の特徴

今回の GAW 実施計画は6.1節で示した方向性を推進するために、次のような特徴を備えている。

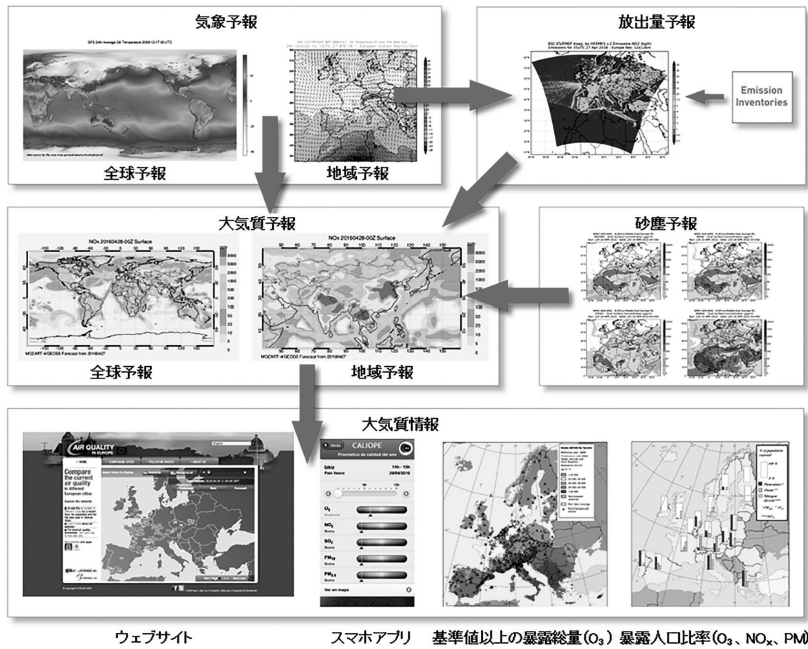
6.2.1 観測データの新たな応用とサービスの提供

地球温暖化防止に関しては、パリ協定によって温室効果ガスの排出量削減や各国の約束草案を議論する際に、主な温室効果ガスの地上での放出・吸収量を特定し、対策による個別の排出量変化を明確にすることが必要となった。GAW は、従来の地球環境の監視に加えて、温室効果ガス濃度の時空間変化を利用して地上での放出・吸収量の客観的な推定を可能にする「統合全球温室効果ガス情報システム (IG³IS)」を提唱し、その発展を主導しようとしている。またこのようなシステムは、例えば土地利用の変化が大気中の炭素量の変化にどう寄与するかといったような評価にも使うことができると考えられている。このシステムの詳細は、WMO (2017b) の38ページに解説がある。

大気質とそれによる健康被害が課題となっている都市問題に関しては、都市スケールでの総合的な予測システムが、災害に強靱な都市の構築を支援する可能性を持っている。GAW は気象学、大気組成、水文学、気候プロセスと密接に関連した都市スケールのモデルの発展を通して、気象と環境に関する早期の警報システムを提供しようとしている。

6.2.2 観測所の定義の一部変更

観測所は観測環境に応じたカテゴリー化がなされている。大きく分けると、これまでの局地的汚染源から



第3図 GAWで想定されている成果例（GAW実施計画より）。日本語に改変。

永続的に大きな影響がない「全球観測所（Global station）」、少なくとも汚染されていない大気に覆われる風向を持つ「地域観測所（Regional station）」、航空機や船舶による「移動体観測所（Mobile station）」がある。今回さらにこれらに加えて、都市環境や排出源に関連する情報提供を支援する「局地観測所（Local station）」が追加された。

6.2.3 協賛観測所と協賛ネットワーク

GAWでは、GAWを支援する協賛観測所とそれからなる協賛ネットワークが定義されている。協賛観測所の条件はGAWの観測所より緩和されている部分がある。例えば全ての観測結果はWMOの測定標準と何らかの形でトレーサブルになっておればよく、また観測データは、GAWの世界データセンターではなく協賛ネットワークから公開されていればよい（詳しくはGAW実施計画の7.1節を見ていただきたい）。協賛ネットワークとして認められるためには、GAW事務局を通してGAWの同意書への署名が必要となる。

6.2.4 観測データの品質評価

GAWでは観測データの質を確保するため、品質保証原則（GAW Quality Assurance Principles）を定義している。その定義では、まずGCOSで定められている気候監視原則（GCOS Climate Monitoring

Principles）（GCOS 2016）の完全実施を求めている。またGAWでは測定標準（primary standard）を定めており、全ての観測はこれとのトレーサビリティが確保されている必要がある。その他、観測要素毎のデータ品質目標、測定ガイドライン、標準観測手順などがGAWレポート（<https://www.wmo.int/pages/prog/arep/gaw/gaw-reports.html>）で公表されている。

7. まとめ

地球温暖化を含む環境問題は、全球規模でその深刻さを増している。しかも大気の化学成分要素は互いに

作用したり、あるいは気象現象と関連したりするものも多い。環境問題を解決するための大気化学の研究、あるいは大気成分の研究という観点から見ると、ある地域のある要素に関する研究だけでなく、より広い地域で多要素に関する総合的な観測、解析、評価が必要になってきている。これに対応しようとする、ある単独の機関や研究者による観測研究だけでは限界があり、広域を対象とした様々な要素の観測から解析までを統合した研究が求められている。

研究者サイドから見たGAWには2つの観点がある。1つはGAWの観測データの利用である。地球環境問題の研究の際には、GAWを利用すれば全球規模の大気成分の観測データを利用して解析できる。あるいは気象要素や一般的な大気成分の観測データについてはGAWの観測データを基盤データとして利用し、その上にさらに独自の高度な観測を実施して合わせて解析するというやり方も可能になる。そのような研究の基盤となる質の良い観測データのインフラストラクチャーを提供することは、GAWの役目の1つである。

もう1つは、GAWへの参加である。一定の基準を満たせば、協賛観測や協賛ネットワークとして誰でもGAWへの参加を申請することができる。GAWに参

加することによって、例えば観測結果を世界の GAW の観測結果と比較できるようになる。研究で取得した観測データを、世界データセンターを通して公開することで、他の研究者は論文の共著などの形でデータを利用できるようになり、それは自分の研究成果としても広がっていく。それらは、研究者コミュニティの中での情報交換の機会ともなり、世界中の思わぬ所から新たな情報を得たり新たな関係を構築したりすることができるかも知れない。

前述したように、気象分野においては WMO の WWW プログラムによって、全世界の気象観測データがほぼリアルタイムで交換されて、防災情報や天気予報に利用されている。これが有効に機能しているのは、WWW という現業の観測プログラムに対応して 1970 年代に世界規模の研究プログラム「地球大気開発計画 (GARP)」が行われたからである。GARP は WWW の気象観測データを使って研究を進展させていく一方で、WWW は GARP の成果を利用して観測を改善し、互いに相補的な役割を演じながら発展した。

地球環境の観測は科学的にも技術的にもまだ発展途上の部分が多い。GAW も大気成分の定常観測を行いながら世界の研究と協力して、互いに発展できるようになっていくことが、地球環境問題を解明していくための鍵の 1 つと考えている。今回の GAW 実施計画はそのための協力と発展のための基盤となる事を願っている。

謝 辞

この文を書くに当たって、気象庁地球環境・海洋部の須田一人環境気象管理官と上野幹雄全球大気監視調整官に助言をいただきました。深く感謝します。

略語一覧

AMAP : Arctic Monitoring and Assessment Programme 北極圏監視評価プログラム
 BAPMoN : Background Air Pollution Monitoring Network バックグラウンド汚染観測ネットワーク
 BIPM : Bureau International des poids et Mesures 国際度量衡局
 CLRTAP : Convention on Long-Range Transboundary Air Pollution 長距離越境大気汚染条約
 COP : Conference of the Parties 気候変動枠組条約締約国会議
 GARP : Global Atmospheric Research Program 地球大気開発計画

GAW : Global Atmosphere Watch 全球大気監視
 GAW SIS : Global Atmosphere Watch Station Information System GAW 観測所情報システム
 GCOS : Global Climate Observing System 全球気候観測システム
 GESMAP : The Joint Group of Experts on the Scientific Aspects of Marine Environmental Protection 海洋環境保護の科学的側面に関する専門家会合
 GO3OS : Global Ozone Observing System 全球オゾン観測システム
 GURME : GAW Urban Research Meteorology and Environment 都市気象環境
 IAEA : International Atomic Energy Agency 国際原子力機関
 iCACGP : International Commission on Atmospheric Chemistry and Global Pollution 大気化学と地球汚染に関する国際委員会
 IG3IS : Integrated Global Greenhouse Gas Information System 統合全球温室効果ガス情報システム
 IGAC : International Global Atmospheric Chemistry 全球大気化学国際プロジェクト
 iLEAPS : Integrated Land Ecosystem-Atmosphere Processes Study 統合陸域生態-大気プロセス研究計画
 IMO : International Meteorological Organization 国際気象機関
 IO3C : International Ozone Commission 国際オゾン委員会
 IOC : Intergovernmental Oceanographic Commission 政府間海洋学委員会
 SDS-WAS : WMO Sand and Dust Storm Warning Advisory and Assessment System 砂塵嵐の警報支援・評価システム
 SOLAS : International Convention for the Safety of Life at Sea 海上における人命の安全のための国際条約
 SPARC : Stratosphere Processes And their Role in Climate 成層圏過程とその気候への影響
 UNECE-LRTAP : Economic Commission for Europe - Long-Range Transboundary Air Pollution 国連欧州経済委員会での長距離越境大気汚染条約
 UNEP : United Nations Environment Programme 国連環境計画
 UNFCCC : United Nations Framework Convention on Climate Change 気候変動枠組条約
 VOC : Volatile Organic Compounds 揮発性有機化合物
 WHO : World Health Organization 世界保健機関
 WMO : World Meteorological Organization 世界気象機関
 WWW : World Weather Watch 世界気象監視

参 考 文 献

- Cooper, O. R. *et al.*, 2014: Global distribution and trends of tropospheric ozone: An observation-based review. *Elem. Sci. Anthropocene*, **2**, 000029, doi: 10.12952/journal.elementa.000029.
- GCOS, 2016: The Global Observing System for Climate: Implementation Needs. GCOS-200, 325pp.
- Gilge, S., C. Plass-Duelmer, W. Fricke, A. Kaiser, L. Ries, B. Buchmann and M. Steinbacher, 2010: Ozone, carbon monoxide and nitrogen oxides time series at four alpine GAW mountain stations in central Europe. *Atmos. Chem. Phys.*, **10**, 12295–12316.
- Logan, T., B. Xi, X. Dong, Z. Li and M. Cribb, 2013: Classification and investigation of Asian aerosol absorptive properties. *Atmos. Chem. Phys.*, **13**, 2253–2265.
- Mannschreck, K., S. Gilge, C. Plass-Duelmer, W. Fricke and H. Berresheim, 2004: Assessment of the applicability of NO-NO₂-O₃ photostationary state to long-term measurements at the Hohenpeissenberg GAW station, Germany. *Atmos. Chem. Phys.*, **4**, 1265–1277.
- Parrish, D. D. *et al.*, 2013: Lower tropospheric ozone at northern midlatitudes: Changing seasonal cycle. *Geophys. Res. Lett.*, **40**, 1631–1636.
- Parrish, D. D. *et al.*, 2014: Long-term changes in lower tropospheric baseline ozone concentrations: Comparing chemistry-climate models and observations at northern midlatitudes. *J. Geophys. Res. Atmos.*, **119**, 5719–5736.
- Schultz, M. G. *et al.*, 2015: The Global Atmosphere Watch reactive gases measurement network. *Elem. Sci. Anthropocene*, **3**, 000067, doi: 10.12952/journal.elementa.000067.
- 堤 之智, 2007: 全球大気監視 (GAW) プログラムにおける新戦略計画について. *天気*, **54**, 733–739.
- WMO, 2017a: WMO Global Atmosphere Watch (GAW) Implementation Plan: 2016–2023. GAW Report No. 228, ISBN 978-92-63-11156-2, 75pp.
- WMO, 2017b: WMO BULLETIN, Volume 66 (1). https://library.wmo.int/opac/doc_num.php?explnum_id=3415 (2017.4.26閲覧).