

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

堤 之 智*

1. はじめに

世界気象機関 (WMO) では、成層圏オゾンや温室効果ガスなどの大気化学・地球環境に関する地球規模の観測を、全球大気監視 (Global Atmosphere Watch: GAW) プログラムとして、各国気象機関や研究機関の協力を得て実施している。これまで、GAW は成層圏オゾンなどのアセスメントや気候変動に関する政府間パネル (IPCC) 等に対して、貴重な情報を提供してきた。その実施方針を示した現戦略計画は2007年で終了する。そのため、次の新しいGAW戦略計画 (2008-2015) が立案され、2007年5月のWMO世界気象会議で承認された。私はWMOの環境汚染と大気科学のOpen Area Program Group 合同科学運営委員会の委員として、その制定に立ち会ったが、これまでのGAWと方針が大きく変わるので、その概要を紹介したい。

以下、新GAW戦略計画の紹介に入る前に、全体の関係をわかりやすくするために、まず第2節において、欧州における大気環境情報の提供状況、第3節で新GAW戦略計画の背景から説明したい。そして第4節において、新GAW戦略計画を具体的に紹介する。

2. 欧州での大気環境に関する情報作成・提供の状況について

2.1 GMES (Global Monitoring for Environment and Security) での環境・安全情報の提供

まず全球地球観測システム (GEOSS) から触れたい。2004年4月の東京での第2回地球観測サミットの枠組み文書でGEOSSが制定されたが、国民レベルで見るとほとんど忘れ去られているかもしれない。もし

そうだとすれば、それによって国民生活が何も変わっていないからだろう。

しかし、どうも欧州では状況が異なっているようである。その典型的な例は、GEOSSの理念の下でEUとESAが主導して行っているGMES (Global Monitoring for Environment and Security: 環境と安全のための地球規模のモニタリング) というイニシアティブを見れば分かる。GMESは、欧州宇宙委員会 (ESA) と欧州委員会 (EU) の共同イニシアティブであり、地上観測や衛星観測を用いて得られる自然災害や地球環境に関する面的な監視・予測情報をインターネット等でまとめて提供している (第1図) (<http://www.gmes.info/>)。

GMESは、大きく分けるとEU主導による4つのプロジェクトとESA主導の8つのプロジェクトがある (第2図参照。一部未提供や試行のものもある)。欧州では既にこれらの情報の一部が実際に一般向けに提供されて日常生活に役立っている。その大気環境に関する一例は、新エネルギー・産業技術総合開発機構 (NEDO) の海外レポート No. 971 (<http://www.nedo.go.jp/kankobutsu/report/971/971-11.pdf>) に掲載されているので、そちらをご覧ください。それぞれのサービスは土砂災害、洪水、森林火災、大気汚染、海洋汚染、海水の予測・監視など多彩であり、説明だけで相当な紙面を要するので、興味のある方は実際にウェブサイトを見ていただくとして、その中で大気環境に関する情報作成・提供プロジェクトであるGEMS (GMESではない!) とPROMOTEについてのみ、簡単に紹介する。

2.2 GEMS (Global and regional Earth-system (Atmosphere) Monitoring using Satellite and in-situ data)

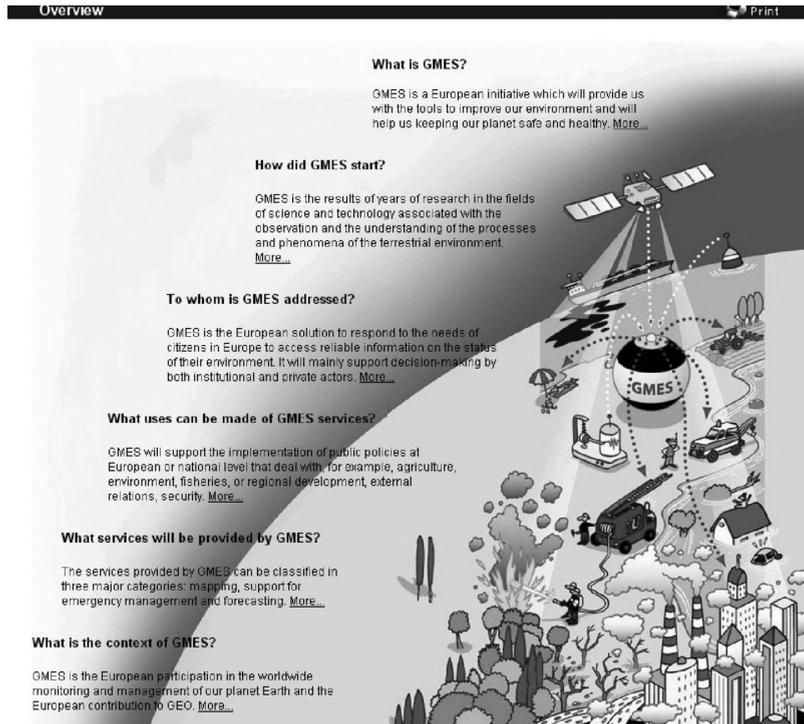
欧州で中長期予報などを担当している欧州中期気象

* 気象庁地球環境・海洋部環境気象管理官付。

予報センター (ECMWF) は、2005年4月に ECMWF 条約を改定し、その全球モデルと同化システムの定常的な開発・運用の目的に、従来の気象デー

タだけでなく、新たに温室効果ガスなどの大気成分を加えた。そして ECMWF とその他31の機関が協力して、全球モデルによる地上や衛星による観測データの

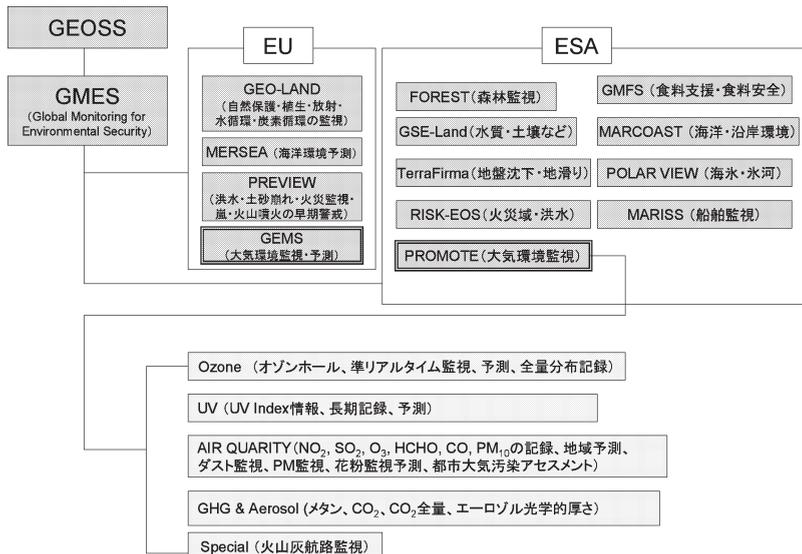
同化技術を開発する GEMS プロジェクトを 2005年3月から4年間の開発期間を設けて開始した (http://www.ecmwf.int/research/EU_projects/GEMS/)。まだ定常的なプロダクトは無いが、その目標は対流圏と成層圏の全球と地域での ① 温室効果ガス、② 反応性ガス、③ エアロゾルについて、リアルタイムでの解析・予測と過去の再解析である。この成果は、GMES へ提供されるとともに、京都議定書、モントリオール議定書、長距離越境大気汚染に関する国連条約にも貢献することとなっている。



第1図 GMES の概念図 (<http://www.gmes.info/157.0.html>) より。

2.3 PROMOTE (Protocol MOniToring for the GMES Service Element: Atmosphere)

PROMOTE は、20の機関によるコンソーシアム (連合体) を元にして、成層圏オゾンの監視と予測、紫外線監視と予測、大気質 (オゾン、砂塵、粒子状物質、花粉) の監視と予測、温室効果ガスの監視、特殊分野 (火山噴火など) の情報提供を行うプロジェクトである (<http://www.gse-promote.org/>)。上記の GEMS プロジェクトもこのプロジェクトと密接に関連している。このプロジェ



第2図 GMES とその下の GEMS, PROMOTE の構成図。

クトは、実際に住民に直接情報を提供するとともに、公共機関等による住民のための地球環境の監視や早期警戒情報の発表を支援している。内容はいずれも過去の記録、地域的な分布・予測、過去解析などのいずれも面（2次元）的な分布情報からなっている。

2.4 欧州での大気環境に関する情報作成・提供プロジェクトの特徴

以上から欧州での GEOSS に基づいた環境情報の作成・提供の現状について、おおまかに理解していただけたと思う。欧州でのこのようなやり方には、大きく分けて2つ特徴がある。1つは、GMESのような仕組みによって、多数の機関が協力し合うことで関連する分野の情報が1か所からまとめて、しかも面的な可視化された情報として得られることである。2つ目の特徴は、このような仕組みによって、個々の観測や研究成果の社会への貢献の出口が確保されていることである。これらの情報作成には、地上観測、衛星観測、モデル開発、解析、検証などに関して多くの研究者が携わっている。これは、論文のみが観測や研究の成果という考え方が変わって来つつあることを示唆しているかもしれない。まだ内容としては十分に洗練されていない部分や試行的な部分もあるが、私は個々の研究機関等が協力し合って、研究成果を GEOSS に沿って一般向けに提供できる枠組みを作ったことに GMES の意味の1つがあると考えている。

GMES はあくまで商品の陳列棚のようなもので、中身はそれぞれの内容作成の研究・行政機関等の能力に負っている面が大きい。しかし、単なるポータルサイトとは異なり、ここに提供するためにコンテンツやプロダクトを作成することに意義があるようになっている。後から詳しく述べるが、新 GAW 戦略計画は、地球環境の観測・研究成果を、このように面的なプロダクトを作成して一般向けへ還元しようという流れを、気象機関が得意な数値予報技術を基軸に、GAW による大気化学観測・解析を、様々な研究機関との協力も含めて統合化することにより、推進しようというものである。これを世界中の機関や研究所の協力を得て円滑に実施するためには、きちんとした国際的要請に基づく必要がある。そのため、新 GAW 戦略計画は GEOSS と気候変動に関する国際連合枠組条約 (UNFCCC) に密接に関連しているので、まずそれらと GAW との関連について述べる。

3. 新 GAW 戦略計画の背景における2つの流れ

3.1 気候変動に関する国際連合枠組条約 (UNFCCC) と全球気候観測システム (GCOS)

大気中の温室効果ガス濃度の安定化を達成することを目的とした UNFCCC には、第5条研究及び組織的観測という条項がある。WMO, UNESCO, 国連環境計画 (UNEP), 国際科学会議 (ICSU) が協力して運営している全球気候観測システム (GCOS) は、世界の気候観測を調整する枠組みであり、大きく分けて大気、海洋、陸域の3つの部分からなる。大気の一部は、地表 (CSN), 上層 (GUAN), 放射 (BSRN), 大気化学成分 (GAW) によって構成されている。

GCOS が UNFCCC の第9回締約国会議 (COP9) の要請に応じて作成した「UNFCCC を支援するための GCOS 実施計画 (以下 GCOS 実施計画)」は第11回締約国会議 (COP11) で採択された。これにより GCOS は UNFCCC の組織的観測を促進することとなった。この計画は条約を担う気候観測を行うに当たっての必須気候変数 (Essential Climate Variables) や気候監視のための原則 (Climate Monitoring Principles) を定義している。また、この GCOS 実施計画は地球観測グループ (GEO) との密な協力のもとで実施され、気候システムやその変動の状況の特徴、気候システムに影響する強制力の監視、気候予測の支援などを目的としている。

GAW は「気候監視のための原則」に沿うように体制を整えると同時に、2005年に GCOS と合意文書を交わし、正式に GCOS 実施計画の大気化学成分 (CO₂ と CH₄, 近々 O₃ が入る予定) を担当することとなった。これによって、GAW は UNFCCC の組織的観測に公式に寄与できることになり、2006年11月に世界の温室効果ガスの最新の状況をまとめた WMO 温室効果ガス年報 (WMO Annual Greenhouse Gases Bulletin) 第2号がナイロビの UNFCCC 第12回締約国会議 (COP12) において配布された (英文版は <http://www.wmo.ch/pages/prog/arep/gaw/ghg/ghgbull06.html>, 和訳版は http://www.data.kishou.go.jp/obs-env/infohp/wdcgg/wdcgg_bulletin.html から取得できる)。

3.2 全球世界観測システム (GEOSS) と統合地球観測 (IGOS)

3.2.1 GEOSS とは

第2.1節で述べた GEOSS の制定を受けて、2005年2月16日にブラッセルで開かれた第3回地球観測サ

ミットにて GEOSS10年実施計画が承認され、GEOSSの構築方針として以下の2点が挙げられている。

- (1) 世界全域を対象とし、既存及び将来の人工衛星や地上観測など多様な観測システムが連携した、包括的なシステムを今後10年間で構築。
- (2) 政策決定者や公衆など、利用者が必要とする情報を重点的に提供。

この方針で地球観測を行う9つの分野が明示されている。「包括的な観測システム」と「利用者が必要な情報」が GEOSS のキーワードとなろう。GEOSS に基づく我が国の基本戦略としては、総合科学技術会議の「地球観測の推進戦略」がある。この解説については、笹野 (2007) があるので、そちらを参照されたい。

3.2.2 統合地球観測戦略 (IGOS) と大気化学テーマ (The Integrated Global Atmospheric Chemistry observations theme: IGACO)

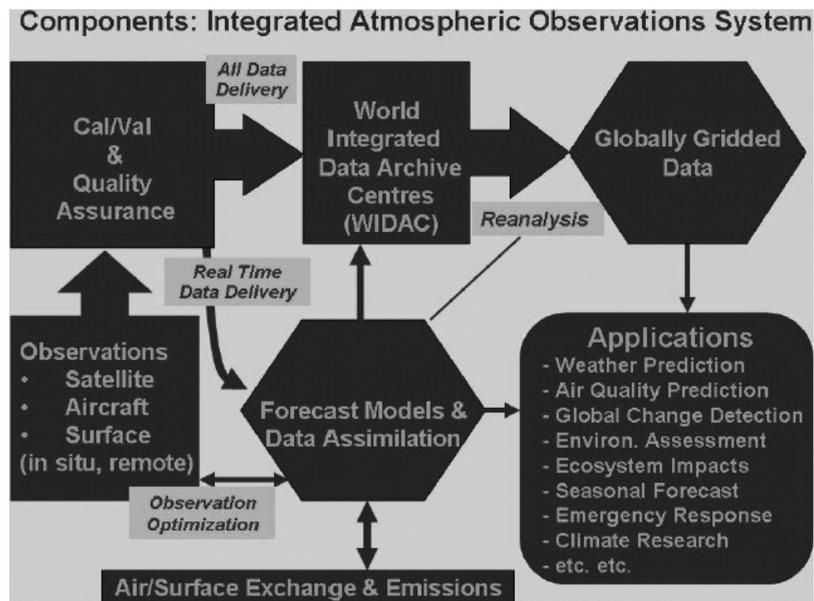
IGOSとは、地球観測衛星委員会 (CEOS) や WMO など14の機関が集まって設立されたもので、大気・海洋・陸域など地球環境観測のための主要な地上システムと衛星システムとを統合して、ユーザーの要求を満たす全球の観測システムを構築するための戦略的な計画を策定するものである。つまり、全球の状況の理解を深める俯瞰的な視点に立って観測の空白域を埋めたり、基本的な観測の長期継続性確保のための基本的枠組みの提供や、各機関や研究プログラムの対話を促進するための戦略の実施を推進している。このIGOSはGEOSSとは策定当初から密接に関わっており、GEOSSの理念にもIGOSの考え方が取り入れられている。

このIGOSは重点的なテーマ分野を決めてその戦略を定義している。その大気化学分野でのテーマが統合全球大気化学観測 (IGACO) であり、その動機は、

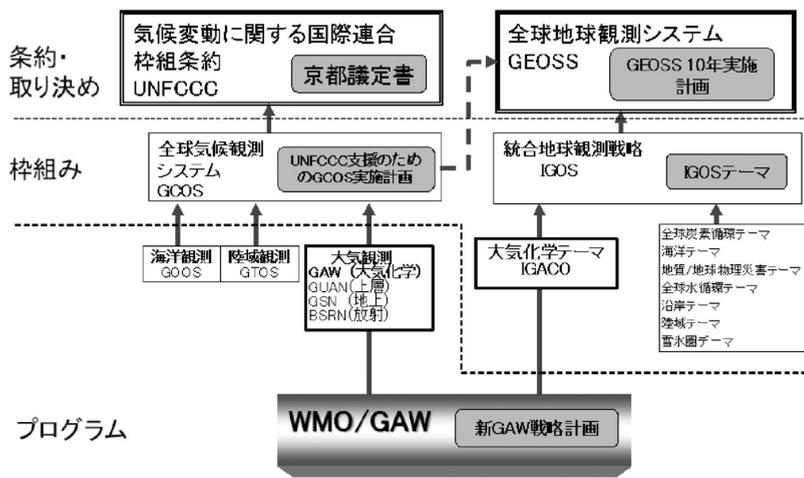
- ・衛星観測によってオゾン全量だけでなく、幾種類かの物質については対流圏の全量についての世界分布が得られるようになってきつつあること。
- ・全球モデルが発展して化学物質を包含するようになり、モデル同化技術により全球分布が得られるようになってきたこと。

に基づいている。これらに対応するため、IGACOは全球の統合大気化学観測システムの構築を掲げている。これは、まず地上観測、衛星観測、航空機観測からのデータを品質評価・検証し、観測データを統合して保存する。そしてこれらのデータから、再解析による全球の時系列分布図と、データ同化によるリアルタイムでの分布図や予測図をプロダクトとして作成することを想定している (第3図)。この図の中で、再解析 (Reanalysis) としての Globally Gridded Data とリアルタイムでの Forecast Models & Data Assimilation の2つの流れがあることに注意して欲しい。

これらの包括的なシステムによる面的なプロダクトにより、全球の大気化学成分の監視や大気汚染の評価、天気予報の改善、その他研究への寄与を通して GEOSS 等への貢献を想定している。これらの IGACO の方針は、IGOS Atmospheric Chemistry Theme Report (WMO, 2004) に詳しく掲載されている。今回、新 GAW 戦略計画では GAW を IGACO



第3図 IGACOの理念としてのデータ処理の流れ (GAW戦略計画 (2008-2015)より)。



第4図 GAW と UNFCCC 及び GEOS へのつながりに関する概要図。

ムを体系化する方が、個別でやるよりもはるかに機能や効率が向上するであろう。その整合や調整を GAW というプログラムが行っている。個別の実施プロジェクトの目指す方向のベクトルを揃える役目と言っても良いかもしれない。

この GAW の役割の目標を定めたものが、GAW 戦略計画である。ここでははっきりさせておかなければならないのは、GAW 戦略計画はあくまで戦略であり、具体的戦術ではない。

に沿って実施すると明確に述べられている。また、オゾン・紫外線、エアロゾル、温室効果ガス、大気質・長距離輸送汚染の各分野について IGACO 事務局を設立することとし、各分野の事務局は実施計画を作成して円滑な実施を図ることとなっている。実際に、オゾン・紫外線については2005年10月にフィンランド気象局内に IGACO-O3事務局が設立され、既に活動を開始している (http://www.igaco-o3.fi/programme/programme_2.html)。

以上により、GAW の活動は UNFCCC を支援するとともに GEOS の理念とも合致することとなり、国際的要請の合理性が確保されることとなっている。これまで述べてきた新 GAW 戦略計画の背景の流れを第4図に示す。

4. 新 GAW 戦略計画の理念

長い前ふりになったが、ここから本論に入る。しかし、GAW の運営システムは少しわかりにくい面があるので、それについて少し説明しておきたい。

4.1 GAW というシステムの運営方法

GAW の運営の特徴は、ボランティアベースのプログラムである。つまり、基本的に参加機関は自前で資源 (各種運営費や人件費) を用意して行う (WMO 事務局は除く)。地球規模の現象は、各国や各機関が別々に行っているのは効率が悪い。そのため、各機関が自前でいろんな観測を実施するのであれば、各機関でやる方針や手法をできるだけ揃えたとともに、システ

つまり目標 (Goal) は書いてあるが、その具体的な実現手段には触れられていない。個別の参加者の達成すべきこと (Task) は書いてあるが、それが全てではない。目標の達成に不足している部分は、参加者が自ら出来る部分を負担、構築していく体制になっている。

4.2 これまでの GAW 戦略計画

すでに、第3.2.2節で示したように、新 GAW 戦略計画は、IGOS の大気科学テーマである IGACO に沿っている。それを分かりやすいように、これまでの流れと対比させて説明する。GAW は1989年に WMO 内の大気バックグラウンド汚染観測 (BAPMoN) と全球オゾン観測 (GO₃OS) が合体してできあがったものであるが、これまでの考え方の基本は、世界中に展開されている観測所での体系化 (観測基準の統一、データの一元的収集など) した精密長期観測による地球規模の現象の監視が主な目的であった。これまで、GAW は成層圏オゾンなどのアセスメントや IPCC 等に対して、貴重な情報を提供してきた。しかし、それらは基本的に点の情報であり、しかも観測所はその維持・運営に高度な知識と経費が必要なため、海洋や発展途上国に広がる広大な観測の空白域の存在など多くの問題を抱えていた。また、その成果としては観測点の情報 (時系列データなど) が主であり、まず研究者を想定したものにならざるを得なかった。そのため、観測所の運営に費用がかかる割には、成果が見えにくかった (これは、絶えず予算査定当局から圧力を受け

ることを意味する)。

4.3 新 GAW 戦略計画の狙うところ

新 GAW 戦略そのものは、約90ページからなり、WMO/GAW の ホーム ページ (http://www.wmo.int/pages/prog/arep/gaw/gaw_home_en.html) からダウンロードできるので、ここでは主要な部分のみを紹介する。

これまでの観測所による長期精密観測は、地球規模の現象の長期監視には欠かせないが空白域が大きい。一方、第3.2.2節で述べたように、衛星による面的な観測 (短期的には空白域があり得る) やモデル同化技術を用いた補間によるデータ格子点化が長足の進歩を遂げつつあるが、これらは観測所の精密な連続観測のデータを必要としている。そこに互いのニーズの接点がある。つまり、相互を組み合わせれば、これまでの点の観測から地上観測と衛星を合わせた面 (2次元) の観測へ、さらに地上観測や衛星観測、航空機観測などのさまざまな観測データを用いたモデル同化技術によって3次元情報へと発展させることが出来る。しかもリアルタイムで行えれば、モデルを用いた予測も可能になる。そうすればこの空間的にシームレスな情報を用いて地球環境の監視と予測・早期警戒を行うことができるようになる。これは、それぞれが個別では行えないものを組み合わせることによって全く新たな総合的な成果が出来ることを示している。それを GAW プログラムによって強力に推進しようとするのがこの新 GAW 戦略計画の目指すところである。これらの成果は、GCOS 等を通して UNFCCC に寄与するだけでなく、「包括的なシステムによって利用者が必要とする情報を重点的に提供する」という GEOSS の理念にも適っており、例えば GMES を通して GEOSS へも寄与することが新戦略計画にも明確に述べてある。これらの明確な理念を掲げて GAW は世界の大気化学観測の包括化のリーダーシップを発揮しようとしている。

これらを実現するために、新戦略計画は次のような特徴を持っている。まず地上観測所の定義 (委託事項) や観測データの精度や品質管理のあり方を見直している。また、同化システムでは出来るだけ多くの観測データを用いた方がより正確な情報になるため、地上観測所に加えて移動体 (航空機など) による観測との協力を目指している。さらに、既存の5つのデータセンター (温室効果ガス、オゾン、エアロゾル、降水化学成分、日射) に加えてドイツ航空宇宙センター

(DLR) によるリモートセンシングのデータセンターが新設された。これによって GAW は衛星による観測データを利用しやすくなった。これらをもとに、モデル同化技術やその検証を推進して面的な情報作成能力も強化する。将来的には、WMO の通信網を用いたリアルタイムでのデータの収集、加工プロダクトの配信も計画されている。この新戦略計画により、気象庁が運営している WMO 温室効果ガス世界資料センターでも、従来の地上観測のデータ収集・提供のみならず、航空機や衛星の温室効果ガス観測データを収集して、それらの統合解析プロダクトも扱えるようになった。また、GAW の中で最も直接的に人間の健康への影響に対処する GRUME (GAW URBAN RESEARCH METEOROLOGY AND ENVIRONMENT) プロジェクトでは、大気汚染や黄砂などの人間の健康被害や農業まで含んだ分野を環境機関との協力による観測から一般向けへの情報提供までの一貫したサービスの提供を目標としている。

GAW は WMO によるプログラムであるが、新しく GAW のデータセンターに加わったドイツ航空宇宙センターだけでなく、スイス材料試験研究所 (EMPA)、米国標準化技術に関する国立研究所 (NIST)、ドイツ環境保護庁 (UBA)、などの気象機関以外の多くの機関も既に GAW の機能の一部を担っており、新 GAW 戦略計画においても広く WMO 外の協力機関を求めている。第4.1節で参加者が自ら出来る部分を負担すると書いたが、逆に目標達成に不足している部分を補うことの出来る参加・協力機関を求めているとも言える。新 GAW 戦略計画に関与することにより、研究機関でも、観測や研究の成果として、GAW だけでなく UNFCCC や GEOSS へも貢献することが可能となる。

5. 終わりに

第4.1節で述べたように、新 GAW 戦略計画はあくまで戦略であり、この計画そのものが直接何か新たな情報やコンテンツを生み出すわけではない。しかし、環境条約や GEOSS を通して公衆に貢献するために GAW が何をすべきかが明確に書かれている。それらは、それぞれの機関が単独では出来なくても、この戦略に沿って協力し合えば出来るようになっていく。サッカーで例えれば、選手全員がゴールを目指すのではなく、インターセプト、ロングパス、アシスト、シュートといったそれぞれが得意な分野に振り分けて

連携すればより得点力のある強力なチームになろう。そのような調整を GAW が戦略計画に基づいて行おうとしている。

既に欧州では IGACO の欧州版として各種の大気環境観測を統合する GEOmon (Global Earth Observation and Monitoring of the Atmosphere) という38機関が参加する観測とデータ統合化プロジェクトが GAW と協力して開始されている (<http://geomon.ipsl.jussieu.fr/index.html>)。新 GAW 戦略計画に沿ってこのような観測・解析結果の統合が推進され

ば、今後の大気環境情報の種類や内容が大幅に充実されると考えられる。

参 考 文 献

- 笹野泰弘, 2007: これからの地球観測, 天気, 54, 163-167.
- WMO, 2004: The Integrated Global Atmospheric Chemistry Observations (IGACO) Report of IGOS-WMO-ESA (September 2004), GAW Report No. 159 (WMO TD No. 1235) <http://www.wmo.ch/pages/prog/arep/gaw-gawreports.html>.