

3. 地球環境部会報告

3-1. 地球環境観測調査の全体的な意義と課題

地球環境は、各圏（大気圏、水圏、土壌圏、生態圏など）が地域から地球規模にいたる諸スケールで密接に関係しあって形成されており、また人為的な影響もこれらの各圏に直接的・間接的に及んでいる。従って、地球環境の観測調査は、それぞれの各圏での地域規模の事象（コンポーネント）の理解とともに、コンポーネントの相互作用、各圏の相互作用を含む諸スケールでの動態の総合的理解が不可欠である。しかしながら、現状においては各コンポーネントの観測が主であり、地域から地球規模の環境の総合的解析に資する観測は緒についたばかりである。このため、地域規模から全球規模の観測調査の連携と国際協力に基づく調査計画の策定が重要な課題となっている。

地球環境観測調査の意義は、人間が地球全体あるいは広範な地域の環境に及ぼす要素の変化を解明して対応策の検討に資することにあり、言い換えれば、人間活動と自然環境のバランスを維持する持続的なシステムの条件を探索することにある。このことは、具体的には、長期の観測調査により、地球環境問題にとって重要な観測対象の長期的な変化と短期的・中期的な変動のデータを取得し、さらにはそれらの観測データの総合的解析やモデル研究との連携を通して行われる。長期観測と観測データの解析研究はプロジェクト研究や将来予測の研究を支えるものであり、また、プロジェクト研究から新たな長期観測の対象が明らかになる。このような長期観測調査とプロジェクト研究の複合体から得られる科学的知見に基づき、地球環境保全のための有効な対策・行政施策が可能になる。

以上は全ての部会に共通することであるが、本地球環境部会では特に「物質とその変化」に注目し、大気組成あるいは大気汚染（大気質）と海洋汚染（水質）の課題を中心に扱う。これらは気候や水循環の変動、有害化学物質等による大気汚染・海洋汚染の問題に関連して、今後ますます重要になってくる。同時に、「物質とその変化」の観測調査の独自性と重要性、他の部会（地球温暖化、地球規模水循環、定常観測、地球科学、生態学）との役割分担も踏まえて、大気圏環境観測調査（対流圏・成層圏の観測調査）及び海洋環境観測調査（油類及びプラスチック系浮遊物等・難分解性有機汚染物質の観測調査）を本部会の調査検討の課題として設定した。以下にこれらの課題の概要について述べる。

3-1-1. 大気圏環境観測調査

対流圏・成層圏は昨今の人間活動の量的、空間的拡大に伴って生じる環境への広域影響が如実に現れるところであり、また気候の変動に深くかかわっている領域としても重要な監視対象である。特に、最近の人間活動の拡大にともなう大気環境負荷の増大、

輸送手段の進歩・拡大に伴う成層圏飛行の開始による成層圏の汚染などから大気負荷物質の輸送・変換過程の解明、物質と大気放射・熱収支の関係などの観測調査が一層重要となっている。

さらには、観測調査の成果の総合的な利用体制、すなわち、観測結果を用いて地球環境の要素の変動や長期変化について解析する体制、地域規模から全球規模の化学輸送モデルの検証や化学輸送モデルを用いたデータ解析を行う体制が不可欠である。

[対流圏の観測調査]

対流圏短寿命化学種を対象とした地球観測は、グローバル大気質変動、地域的気候変動の把握の視点から重要であり、その体系化が不可欠である。大気質変動はメガシティ（人口の都市集中化による巨大都市）での大気汚染、広域・半球規模大気汚染など大気汚染の新しい局面の把握及び、大気の酸化能のトレンドなどに関わっている。対流圏化学種の定常的な観測は、これまで主として WMO/GAW, NOAA/CMDL などの地球規模観測ネットワーク及び EMEP, EANET などの領域規模観測ネットワークによって行われてきた。一方、対流圏短寿命化学種を対象とした衛星センサは、最近欧米で GOME, MOPITT, SCHIAMACHY などが次々に打ち上げられているが、日本では全く計画がなく、計画の策定が急務である。

一方、エアロゾル・オゾンなどの大気汚染物質の放射影響を通じた地域的気候変動への影響が注目されている。エアロゾル観測においては、単に濃度のみならず、粒径分布、形状、表面状態、化学組成、混合状態なども重要な情報とされ、気体の観測と多くの違いがある。また、リモートセンシングでは推定しがたい要素もあるために、直接採集したエアロゾル試料の分析に基づく知見がきわめて重要である。後述するように、リージョナルあるいはグローバルな規模では数キロ上空の自由対流圏でのエアロゾルの状態を把握する事が重要である。このため、気球や航空機を使った直接採集が不可欠であるが、日本のこの方面での技術開発はアメリカとヨーロッパ諸国に比して相当に遅れており、早急な対応を必要とする。また、アジア大陸の諸地域から発生する砂塵、工業化・人口増加にともない放出されるエアロゾルの量は世界的に見ても極めて大きく、この地域の季節風や海陸分布などの気候的・地理的条件が絡んで独特の複雑さを呈している。強い砂塵の発生源を大陸中部から西部に持ち、巨大な都市を沿岸域に持つ中国、西風によって日本海や東シナ海を渡ってくる大陸起源大気の影響を受けやすい日本列島、さらに西風によって運ばれるエアロゾルが降下する太平洋を含むこの地域での観測の実施においては、日本がリーダシップをとって行うべき課題が多い。

アジアにおいてエアロゾル、オゾン前駆物質についての情報を総合的かつ時間的に連続に測定するス

ーパースイトの展開が重要であるが、我が国における適地への本サイトの設置は非常に効果的である。

[成層圏の観測調査]

オゾン層の長期的観測は、「オゾン層の回復」の確認、それを左右する気候変動や水蒸気、 N_2O 、火山噴火によるエアロゾルや極域成層圏雲等の影響の把握、逆にオゾン層の変化が気候変動に及ぼすフィードバック効果の確認等を目的として行なわれている。地球規模の長期的な成層圏観測は、世界気象機関(WMO)の世界オゾン観測システム(GO3OS)、衛星観測、地上からの遠隔計測を中心とする「成層圏変化検出ネットワーク(NDSC)」によって行われてきたが、赤道付近(特にアジア)、中南米、アフリカの観測空白域の地上からの観測を強化することが必要である。また、地形的に特殊な領域(アジアにおいては、例えばチベット)も注目すべきである。なお、日本では、気象庁によるGO3OSの観測、ライダーを中心とするNDSCへの参加、ILAS、ILAS-IIによる衛星観測が大きな成果を上げている。しかし、今後の長期的な成層圏大気化学衛星の計画がない現状では、成層圏単独あるいは成層圏・対流圏複合の大気化学衛星による監視の計画策定が特に重要である。日本の南極昭和基地はオゾンホール発見をはじめ微量気体、エアロゾルのバックグラウンド観測などで重要な寄与をしている。北極域では、日本は、国際協力によるライダーや気球によるエアロゾル、オゾン等の観測に参加してきたが、北極域のオゾン破壊の観測による監視が弱体化する兆しがあり、効率的な観測体制の再構築が望まれる。また、国際的に高い水準の観測装置の開発についても、引き続き取り組むことが重要である。

3-1-2. 海洋環境の観測調査

人間の社会経済活動が拡大して社会生活が多様化し、海洋の開発利用が社会経済の発展に貢献する度合いが増加する一方、広域にわたる海洋汚染が次第に顕在化してきている。このような中で、海洋環境に関する社会の関心の高まりや国内外の要請に応じて、海洋汚染の防止や海洋環境の保全等に資するために、わが国では気象庁、海上保安庁、環境省、水産庁等が中心になって海洋の各種モニタリングを実施してきている。しかしながら、その海域は北西太平洋、日本周辺海域、閉鎖性の高い主要湾域等の沿岸海域が主な対象となっている。

一方、社会経済活動のグローバル化が進む中で、汚染物質の大気経路、海洋生物の食物連鎖等を通しての広域かつ長期的な海洋汚染が顕在化してきた。地球環境の重要な部分を担うグローバル海洋環境を保全するためには、グローバル海洋汚染の実態・影響を正確に把握することが重要であるが、海洋はその対象域があまりに広大であることもあり、ほとんど手つかずといって過言でない。我が国および諸外国においても海洋環境観測の必要性は認知されてき

ており、従来に比し大規模かつ長期の観測が開始されはじめているが、まだ十分であるとは言えない。また、海洋循環過程、大気輸送過程、海洋大気相互作用、生物過程を結合した海洋環境動態モデルの構築も必要とされる。

以上から、今後の海洋環境の観測においては、外洋を含むより広域の海洋汚染の実態を把握するとともに、海洋の物理、化学、生物に関する観測を継続的に行い、海洋環境の長期変動解明のための基礎データを取得することが不可欠である。

対象物質としては、人為起源汚染物質の全てが対象となるが、中でも生態系への影響が懸念される難分解性有機汚染物質・油類、大気中で長距離輸送され海洋に降下するエアロゾル・酸性物質、船舶により輸送されるプラスチックなどが挙げられる。こうした汚染は海水のみならず、底泥や生態系に及んでおり、広域にわたる総合的な調査観測が必要である。また、突発的な汚染事故への対応のためにも、汚染物質の定期的・継続的観測によりグローバル海洋汚染のバックグラウンドレベルを把握し、速やかな情報提供ができる体制を確立する必要がある。

3-2. 対流圏観測調査

3-2-1. 背景

対流圏観測調査の対象には二酸化炭素、メタン、一酸化二窒素等の長寿命温室効果ガスによるものから、エアロゾル、オゾン及びそれらの前駆体ガスを含む短寿命化学種によるものが含まれるが、前者は「地球温暖化」の部会で扱われるので本項では後者の短寿命成分のみを対象とする。ただし、通常、長寿命温室効果ガスとされるメタンは、大気寿命が8年と比較的短く、その濃度は他の短寿命化学種の変動によって左右されるので、両者は決して独立ではないことに注意すべきである。ここで対象とする短寿命化学種の大気寿命は長いもので数ヶ月、短いものではラジカル類の数秒というオーダーであるが、これらはエアロゾル、オゾン、一酸化炭素、窒素酸化物、二酸化硫黄、揮発性有機化合物(VOC)など通常の意味での大気汚染物質である。一方、エアロゾル、オゾンを初めとするこれらの化学種は同時に地域の気候変動・温暖化に対しても重要な役割を演じていることが注目されている。さらに、成層圏と対流圏両者の物質交換を通じての結合に関心が集まるなど、将来的には「温暖化」「オゾン層」「大気汚染」などのいわゆる問題別にとらわれない「一つの大气」の視点からのサイエンスとそのための観測が求められるであろう。

発展途上国の経済急成長に伴って、アジアからの大気汚染物質の排出とヨーロッパ及び北米先進国の排出の大きさが、21世紀の初頭には大陸規模でほぼ拮抗し、「グローバル大気汚染」と呼ぶべき大気汚染のグローバル化が進行している。具体的には、途上国及び急発展途上国を中心に人口の都市集中化による「メガシティ」の増加とそれに伴う大気汚染被害

の激化，長距離越境汚染による近隣国への大気汚染影響の増大，さらにはオゾンやエアロゾルなど短寿命化学成分の中では比較的寿命の長い汚染物質については半球規模汚染の視点からの議論の必要性が大きくなっている。

一方，産業革命以来の地球温暖化トレンドが，エアロゾルの増加による温暖化抑制効果を入れることによって，初めて定量的に良い一致が得られたとする IPCC 報告以来，エアロゾルは地球温暖化の視点から大きな注目を集めてきた。また対流圏オゾンは IPCC 報告ではメタンに次ぐ 3 番目に重要な温室効果ガスとして，その重要性が注目されている。エアロゾル・オゾンのような短寿命化学種は，その分布が空間的にも季節的にも大きな地域的不均一性を持っているのが最大の特徴であり，これらは地域的气候に対しては二酸化炭素に匹敵する大きな影響を与える可能性が高い。

3-2-2. 観測の二-ズと現状及び課題

上述のように気候・環境影響の視点からの短寿命対流圏化学種の継続的観測は極めて重要になりつつあるにもかかわらず，これらの対流圏観測は長寿命温室効果ガスに比べて非常に貧弱である。短寿命化学種は，歴史的には「大気汚染物質」として都市大気など局地的環境問題の対象として扱われてきた経緯から，都市レベルでの行政的モニタリングが中心であり，最近重要性が認識されてきたグローバルな大気環境の視点からの観測網は極めて不十分である。その中では東アジアにおける越境大気汚染を視野に入れた広域の観測網として環境省主導の「東アジア酸性雨モニタリングネットワーク (EANET)」が参加国 12 カ国を擁して 2001 年 1 月から稼働していることが特筆される。ここでは都市の他に郊外ないし遠隔地点における観測サイトも含まれているが，これまでの経緯から降水成分のモニタリングが中心であり，今後さらに広域大気汚染の視点からのエアロゾル，オゾン及びそれらの前駆体物質のモニタリングへの拡張が大きな課題である。我が国の場合，EANET 観測サイトとして利尻，佐渡，隠岐，沖縄辺戸岬などの離島での観測が充実しているのが大きな特徴であり，大陸からの越境大気汚染を捕捉するには理想的な配置を有しているが，各サイトが無人稼働であることが，測定項目のさらなる充実を図る上での弱点となっている。また，気象庁においても GAW (Global Atmosphere Watch) の一環で綾里や南鳥島において降水の化学分析が行われており，それらの地点を含む GAW の降水化学観測地点のデータは WMO 降水化学データセンターにおいて一括して収集・提供されている。

我が国の気象庁によるオゾンゾンデ観測は，札幌，つくば，鹿児島における 1968 年からの長期の実績を有し，さらに那覇において約 10 数年前から開始されており，長期データの蓄積とそのデータの質が高いことが高く評価されている。オゾンゾンデ観測は本

来成層圏オゾンのモニタリングを目的に開始されたものであるが，最近では同時に得られる対流圏オゾンのデータに対する利用も進んでいる。一方，大気化学種の地表濃度に対する気象庁主管の観測は，WMO/GAW (Global Atmosphere Watch) 観測網の一環として南鳥島がベースライン・ステーションに，綾里がリージョナルステーションに位置づけられて過去約 10 年の CO_2 ， CH_4 ， CO ， O_3 ，トリクロロエタン等のデータが蓄積されている。1997 年からはさらにリージョナルステーションとして与那国が加えられている。我が国の WMO/GAW 観測網においては，データ利用などを含め研究者コミュニティとのより強い協力関係の構築が今後の課題であろう。また，環境省国立環境研究所は 1993 年から沖縄県波照間，1995 年から北海道落石岬で CO_2 ， CH_4 ， O_3 などのモニタリング観測を行っている。

これら環境省，気象庁のオペレーショナルな観測網を除いては，研究者がプロジェクトベースで対応しているのが実情であり，対流圏観測として組織的に実施されているものは非常に少ない。それらの中では日航財団/気象研究所が 1993 年以来約 10 年間行ってきた日本航空定期便を利用した上部対流圏の CO_2 ， CH_4 ， CO のモニタリングはユニークであり，貴重なデータを提供している。また，JAXA (元は NASDA) と大学等の研究機関が共同で実施してきた，BIBLE (Biomass Burning and Lightning Experiment) 航空機観測キャンペーンは，インドネシア・オーストラリア地域でのバイオマス燃焼によるオゾンの化学・輸送過程を定量的に解明した。高時間分解能・高精度の測定器を用いることによる航空機観測が，鍵となる過程の解明に極めて有効であることを示した。また PEACE (Pacific Exploration of Asian Continental Emission) 航空機観測キャンペーンは，東アジアのオゾン・エアロゾルおよびそれらの前駆気体の化学・輸送過程の理解の進展に画期的な知見をもたらした。多くの研究者による数年間の離散的なデータは，学術論文としては積極的に発表され優れたプロセス研究成果を挙げている一方，データベースとして後に残らないのが問題である。今後特にグローバル大気汚染・気候変動の視点からの継続的観測システムの整備と研究プロジェクトで得られたデータの集積・公表のシステム作りが急務である。

グローバルスケールにおける大気エアロゾルの観測の重要性が認識されるようになったのは，1970 年代に気象衛星の可視・赤外画像が得られるようになってからであろう。アジアではタクラマカンやゴビ砂漠から巻き上がった砂塵が太平洋の方向へ拡散してゆく様子がしばしば観測され，大気組成の長距離輸送 (あるいは広域拡散) 機構について各地で観測が行われた。この時期の観測は，個々の研究者の研究規模を出るものでなかった。ライダーによる黄砂の観測が日本ではじめて試みられ，砂塵の拡散機構を研究する上でこの観測手段が極めて有用であることが示されている。

その後、航空機を使ったエアロゾル観測が1980年代から盛んになってきたが、欧米に比べ格段に観測時間が少ないために、技術上の積み上げが少ないことが大きな障害になっている。気球による観測は、一部は世界レベルにあるものの経験する機会が少ないことが、優れた分析技術、電子技術や通信技術を生かしきれていない状況を生んでいる。一般的に、航空機や気球を使用する観測は、大掛かりな地上施設や支援作業が必要である。このため、研究者個人の規模で実施するには多くの困難があり、いきおい単発的な観測になりがちである。このような事情は現在も変わらない。

1990年代に入って東アジアの大気エアロゾルは次第に世界の研究者の目を集めるようになった。90年代半ばに、アメリカの研究者が中心になってアジアでのエアロゾルの特性の解明を目指したプロジェクト「ACE-Asia」が提案され、多くの国が参加して2001年に実施された。日本では、このプロジェクトに呼応するようにいくつかのプロジェクトが実施されたが、なかでも気象庁気象研究所や理化学研究所が中心になって行っている「アジア内陸部起源の風送ダストの発生・長距離輸送に関する研究：ADEC（1999-2004年）」は、日本・中国の2国間協定に基づいたプロジェクトであり、中国での大掛かりな現地観測を中心に行っている点で際立った特徴を持っている。

このプロジェクトを通して、ライダーネットの整備、GPSつき気球やラジコンによる自由対流圏でのエアロゾルの直接採集、など注目すべき手法が登場してきている。偏西風の風上にあたる地域での大気エアロゾルに関する知見は、風下側にあたる中国大陸沿岸部、朝鮮半島、日本列島、台湾、太平洋さらにはアメリカ西海岸などの大気エアロゾルやその環境影響を理解するうえできわめて貴重なものである。しかし、一連のプロジェクトが終わった後、プロジェクトのために建設された数多くの観測拠点は廃止・撤去される。このことは、監視点の密度が少ないアジアにおいては特に大きな問題になる。プロジェクトを通して形成された観測のネットワークを有効に利用する手立てをすると同時に、それらを長期の監視点として整備することがきわめて重要である。

人工衛星で画像データが得られるようになったときいち早く黄砂の空間広がりの評価に使用されたことからわかるように、人工衛星の利用は早くから行われたが、今日的な問題に対処するには、一般的には感度が著しく弱く、観測できるのは、きわめて高濃度の黄砂や森林火災などの煙などである。このため、更に感度の高い観測が求められる。この種の高濃度エアロゾルの監視が重要であることは明白であるが、いまでは低濃度の恒常的に存在している大気エアロゾルの動向が東アジア地域における大気環境を考える上で重要な役目を果たしているのではないかと考えられるようになってきているからである。人工衛星では検出できないような濃度レベルのエアロゾ

ルであっても、ライダーでは容易にそれらを検出できるので、東アジア規模のライダーのネットワーク作りとそれを長期にわたって運用することは極めて重要であろう。

3-2-3. 観測成果・データの集積と活用の現状

上に述べた継続的・定常的な観測のうち、オゾンゾンデデータはカナダのデータセンターに集積・公表され、対流圏オゾンデータがこれまで我が国を含め世界中の研究者によって活用され、多くの論文に解析結果が報告されている。WMO/GAWステーションの地表オゾンデータに関しては、これまで世界的なデータセンターの整備が遅れていたが、最近我が国のWMO WDCGG(World Data Center for Greenhouse Gases)に他の温室効果ガスやCO₂と並んでデータが集積される体制が確立された。地表オゾンについてはこれまでは個別に論文などで報告されているデータをモデルの検証などに活用して来た例が多かったが、今後はWDCGGから公表されるデータの活用がさらに進むことが期待される。ただし、現状ではアジアのWMO/GAWステーションからのデータ報告がほとんどなされていないのが問題である。

EANETに関しては新潟の酸性雨研究センター(ADORC: Acid Deposition and Oxidant Research Center)がネットワークセンターとして認められ、データの集積、公表が開始されているが、参加国による検証後、ホームページで公開されている。公表されている降水データに関しては、我が国などの研究者により活用され、既に国際学術誌に論文として報告されている。

これら以外の観測データに関しては、一元的なデータベース化は未整備であり、当該プロジェクトの研究者の枠を越えてのデータの活用は、一般にはほとんど行われていないのが実情である。今後、公的資金を用いて行われたプロジェクト研究から得られたデータに関しては、必ず一カ所のデータセンターにデータを集積しなくとも、最低限電子化によるデータ公表を行うことをルールとし、その情報のネットワーク化を進めることが必要と思われる。

エアロゾル観測に関するデータでは、広く市販されている装置によって得られたデータが使われている一方で、個々の研究者や研究グループが独自に開発した装置を使用して得ているデータも相当に多い。機器の違いから生じるデータの違い、あるいは同種の機器であっても使用・運用形態の違いなどによって生じるデータの違いなどを系統的に処理・解釈する必要がある。これまでは、個々の研究者の間で非定期的に行われているにすぎない。この種の仕事の重要性は広く関係者の中で理解されてはいるが、時間と手間のかかる仕事であり、その上この種の仕事を行うための公的な資金が得にくいために、手付かずのままになっている。このような状況は、先進国においても変わらない。それ故、わが国が率先して、データの質や互換性などについて検討する場を設け、

さらにはそれを専門とするグループを組織化してデータの質や互換性について発言できる地位を築くべきであろう。また、その種の作業を通して、データを広く関係者に使用せしめるネットワーク作りを行うべきであろう。

3-2-4. 今後の取り組みが必要な観測項目とそのニーズ

対流圏観測で対象とされる観測項目は、

- 1) ガス状微量成分 (O_3 , CO, NO_x, SO₂, VOC(揮発性有機化合物), PAH(多環芳香族炭化水素)など)
 - 2) エアロゾル(化学組成 (EC(元素状炭素)/OC(有機炭素)を含む), 物理的性状, 放射特性, 表面過程)
 - 3) 降水成分 (イオン成分, EC/OC, 土壌成分など)
 - 4) 残留性有機汚染物質 (水銀, POPs など)
- などのカテゴリーに分けることができる。

これらの内、ガス状微量成分、エアロゾルに関しては、東アジアだけでなく、東南アジア、南アジアを含め化石燃料燃焼、バイオマス燃焼の両者を原因とする広域大気汚染の継続的観測が、気候・環境影響の視点から急務である。しかるにアジア域における現状としては、上に述べた WMO/GAW, EANET 以外の地上観測網としては、各国とも都市大気汚染を対象とした行政ベースのモニタリングステーションが存在するのみである。WMO/GAW に関しても上に触れた我が国のステーション以外には、中国に数カ所、インドネシアに 1カ所存在するのみで、アジア域からすると極めて不十分である。また EANET に関しても我が国以外では都市汚染観測サイトを除いて地域代表性のある郊外・遠隔観測サイトの数は不十分である。今後アジア全域において、地域代表性のあるサイトでのガス状微量成分、エアロゾルのモニタリングを拡充するため、我が国が協力する必要がある。

また我が国自身に関しては、オゾンの流入が環境基準を超える高濃度オゾンをもたらしており、微小エアロゾルについてもその越境汚染が我が国の環境基準達成を阻害する大きな要因となっていると推定されること、さらに気候変動の見地からエアロゾルの化学組成、物理特性、放射特性の継続的観測が重要なことから、上記の定常的な観測サイトに加え、研究者が積極的に関与するパーマナントな施設を持つグローバル・リモート観測サイトの建設が必要である。なお、現状ではエアロゾルの測定の時間分解能がガス状汚染質の時間分解能に比べて不足している。今後、出来るだけ時間分解能の高いエアロゾル測定が重要となる。

また、全球的平均OHラジカル濃度を求めるためには、たとえば 1,1,1 トリクロロエタン(メチルクロロホルム, CH₃CCl₃) など放出が人為工業起源に限られてその量が比較的正確に把握されており、一方消失がOHラジカルに限られる大気成分の、地点における全球的な観測のネットワークの整備が不可欠である。

EANET の整備により、降水成分観測に関しては他

の物質の観測に比べてむしろ先行的に充実しつつあるが、これまでの観測項目はイオン成分が中心であり、今後気候変動の視点から重要な EC/OC(元素状炭素/有機炭素)などを観測項目に加えてゆくことが望まれる。特に EC ないしブラックカーボンはその除去過程として降水中への取り込みが最も重要と考えられており、その地域的収支の観点からも、降水中の観測が重要である。

大気汚染に関しては、最近越境汚染を含む大陸規模汚染からさらに半球規模汚染の視点からの議論がなされている。ここで対象とされるのは短寿命成分の中では比較的大気寿命の長い、 O_3 , CO などであるが、その他に水銀、POPs などの残留性汚染物質が含まれる。半球大気汚染の視点からはこれら残留性汚染物質を含め、アジア全域にわたるリモート地点での継続観測が必要である。なお、アジアにおいては「メガシティ」に人口が集中する傾向が続いている。「メガシティ」から排出される一次大気汚染物質とその光化学生成物(エアロゾル、オゾンなど)はさらに反応しながら周辺部に流出する。自由対流圏に運ばれたものは長距離輸送され地球規模に拡散する。アジアにおける大気汚染物質の変質・輸送過程を調べる上で、アジアの「メガシティ」周辺部の大気汚染物質挙動と長距離輸送された結果を比較対照する視点での地上・航空機観測が有効であることが示されつつある。

以上、地上ベースの地表濃度観測について述べたが、対流圏観測においては今後衛星観測の重要性が増加することは論を待たない。対流圏化学種を対象とした衛星センサは我が国では全く開発されていないが、欧米では GOME, SCIAMACHY, MOPITT などのセンサが最近次々に打ち上げられ、データ利用が盛んである。我が国においても打ち上げの機会を増やすために、これまで大気化学センサが搭載されていた大型衛星だけでなく、小型衛星にも搭載出来るセンサ(紫外・可視・赤外分光撮像)の早急な開発とコストパフォーマンスの高い対流圏大気汚染監視衛星観測へのニーズは極めて大きいものと思われ、今後我が国でもより真剣な議論が必要である。

また地上観測、衛星観測以外の観測プラットフォームとして、温室効果ガスを主な目的とした航空機観測、エアロゾルを対象としたライダー観測が、我が国ではこれまで関係者の努力により継続されてきた。今後、さらに長寿命温室効果ガス以外のガス状微量成分を含む航空機観測、対流圏オゾンを対象としたライダー観測の拡充が望まれる。

わが国が置かれている、地理的あるいは気候的環境を考えると、自由対流圏大気エアロゾル、VOC などの監視はきわめて重要である。すでに、黄砂の現象でよく知られているように大陸から太平洋に向けての大気微量物質の拡散は極めて活発である。それらがもっとも顕著に見られるのが自由対流圏であり、この高度の大気を監視するには気球(小型気球、大型気球)・航空機等を用いた観測、山岳(高山・孤立

峰が望ましい)・離島等での観測,地上あるいは宇宙からのリモートセンシング(人工衛星,ライダー)などが併せて用いられるのが一般的である。

しかし,わが国の現状は,気球は気象庁の定常業務にその多くを頼っており,測定項目は極めて限られたものに過ぎない。また,大型の科学気球は宇宙航空研究開発機構宇宙科学研究本部の三陸の気球実験場においてのみ可能な状態にある。エアロゾルの直接採集を目的とするような気球実験は,気球(試料)の回収が本質的であるために日本国内での運用には極めて高度な技術が必要である。しかし,広大な中国ではこの種の作業の難度ははるかに低くなり,現に中国で気球実験を行った研究グループは,かなりの頻度で試料の回収に成功している。韓国などでも気球実験への期待は大きく,このようなことから,日本,中国,韓国を視野においた気球観測実験所の建設あるいはそのネットワークの構築が望まれる。

航空機による観測では,高時間分解能・高精度で,多成分(トレーサーとなる成分を含む)を同時に測定できるため,大気化学過程を定量的に理解する上で重要な知見がもたらされる。オゾンやエアロゾルの放射収支への影響はそれらの高度分布に強く依存するため,高度分布の情報を得ることは本質的である。また,気候へのエアロゾル間接効果であるエアロゾルと雲との相互作用を定量的に研究する上で,航空機による直接サンプリングによってエアロゾルの組成や粒径を測定することが必要である。さらに,大気汚染物質の大陸間のフラックスには自由対流圏中での輸送過程の寄与が大きい。長距離輸送効果を定量的に評価するためには,航空機観測による3次元化学物質観測データが不可欠である。

大気成分の高精度・高時間分解能の計測は未知の化学過程を調べ,既知の化学過程を定量化する上で本質的に重要である。高時間分解能測定は高速で移動する航空機だけでなく,地上観測においても重要であることが示されつつある。従って,このために,新しい測定法を開発する努力の継続は常に必要である。特に近年,質量分析技術やレーザー分光技術を利用した,気体,エアロゾルの測定法が開発され,これまでの測定法を一新しつつある。大気観測用のプラットフォームの整備と並行して,先端的測定技術,自動観測装置の開発を行うことが重要な課題である。

日本での山岳の利用は,気象庁の富士山測候所のように歴史の長いものはあるものの欧米の山岳観測所に比べ観測対象が著しく少ない。ユングフラウヨッホ,ツークシュピッツェ,マウナロア,などは長い歴史を持った,山岳に設置された大気観測所であり,気象要素のみならず,各種のガス,エアロゾル,大気イオン,同位体,など大気環境を理解する上で必要と考えられる組成について幅広い監視が行われている。山岳での観測は,航空機や気球では行えない長時間のガスやエアロゾルの採集が可能であり,航空機観測や気球観測が不可能な天候の下での観測も

可能である。気球観測や航空機観測と山岳での観測を組合せることにより,利用価値の高い情報が得られる。このような観測のためには,既設の山岳観測所を格段に拡充することで,新しく建設する場合に比べはるかに少ない時間と労力で大気環境の長期監視拠点を作ることが出来る。なお,高所山岳における有人・パーマナントな観測点として国内で最も高所に位置する富士山測候所においては,70年以上の継続した気象観測の歴史を持つものの,大気化学に着目した観測の歴史は10年ほどしかない。気象庁は富士山測候所無人化の準備を進めており,自由対流圏における連続・高時間分解能での大気環境監視の機会が失われることが懸念されるが,富士山測候所を日本の貴重な高所山岳での大気化学観測拠点として利用することに道を残すことは,早急に取り組むべき課題である。

3-2-5. 今後10年間の取り組みの重点項目

今後10年の対流圏観測の最重点事項としては,

- 対流圏化学衛星観測
- 定点通年総合大気化学観測
- 空機大気化学観測

の3項目を挙げることができる。

大気化学種を対象とした衛星観測に関しては我が国では,成層圏化学センサが先行して開発され,対流圏を対象としたものとしては現在CO₂センサの開発が行われている。また,エアロゾル・雲などを対象とした画像センサは既に多くの科学的活用がなされている。これに対し対流圏化学衛星センサは,実用的,科学的有用性が非常に高いにも関わらず,我が国では開発を促進する議論が不十分で,欧米に比べて大きく後れを取っている。特に上に述べたように我が国では,アジア越境大気汚染の影響が今後さらに深刻化することが予想され,この視点からアジア大気汚染監視衛星はアジア越境大気汚染防止条約を目指した環境安全保障の一環としても優先度の高い施策として位置づけられる。この視点からは,環境省が主導しているEANETを,将来,降水のみならず大気汚染物質一般を含むアジア大気汚染地上観測網として拡充し,同時にアジア大気汚染監視衛星による観測を行うことが,我が国による国際貢献並びに我が国自身の環境を守る意味で,車の両輪として最も重要であると思われる。このような,静止衛星による対流圏大気汚染成分等の観測についてはIGACなどで国際的に推奨されているところでもある。

一方,地上観測に関しては,定常的な観測を行う機関と研究者コミュニティとの間をつなぐ定点通年総合大気化学観測サイトの建設が最重点項目としてあげられる。すなわち,永続的インフラストラクチャーが整備され,常時定常的な観測が行われると同時に,研究者が必要に応じて自らの新しい機器を持ち込み,また外国の研究者を含め,キャンペーン的な集中観測が出来るようなサイトである。これによって,我が国の定常的な観測データを研究者が十分

に活用、解析して論文に発表する土壌が醸成され、一方最先端の研究情報が定常的な観測に反映される等、キャンペーン観測を行う研究者と定常観測を行う機関の双方にとって有益な関係ができることが期待される。このようなサイトは、国際的にはスーパーサイトとよばれているが、米国のマウナロア、オーストラリアのケープ・グリム、スイスのユングフラウヨッホなどはそのような機能を果たしているといえよう。我が国でも少なくとも1カ所、そのような国際的に認知されるスーパーサイトの建設が必要である。もちろんそれ以外にも何カ所かの研究者の共有できる地域代表性を持った大気化学ステーションが、スーパーサイトを補完するために必要であり、そのようなサイトの整備も同時に行われる必要がある。さらに、 O_3 、 CO 、 EC などの短寿命成分についての標準供給およびデータQCの体制は確立していないが、長期トレンドの検出や広域分布の把握を目指して観測網の総合化へ向かうことが重要である。その際、高精度標準の導入と、データや標準ガスについてのトレーサビリティ（遡り可能性）についての広域的なネットワークを確立することが今後の重要な課題である。

対流圏大気化学観測用の航空機の必要性はこれまで何度も指摘されながら、我が国では実現されていない。航空機による観測では衛星観測では不可能な多くの成分を高精度で測定でき、また測定の空間分解能も格段に高い。この点で、航空機観測は衛星観測と相補的である。我が国が地球環境観測に貢献するためには最低限一機の観測用中型航空機を保有することが不可欠である。また航空機観測の実施体制を整備すると同時に、先端計測技術を用いた測定器の開発も重要である。

3-3. 成層圏観測調査

3-3-1. 背景

モントリオール議定書とその改定による国際的なオゾン層保護対策の結果、成層圏塩素濃度は20世紀末にはピークに達しており、今後約半世紀かけて「南極オゾンホール」が始まる前の状態に向けて緩やかに減少すると予想される。他方、地球温暖化等による気候変動は、これまで成層圏オゾン層に影響を及ぼしてきたと考えられており、今後その影響は増大すると予想される。気候変動は成層圏の気象全般に影響を及ぼすが、そのことによる地球規模のオゾンの輸送の変化、輸送と光化学的なオゾン生成・消滅の間のバランスの変化、成層圏気温の低下による成層圏エアロゾルや極域の成層圏の雲の増加によるオゾン層破壊の強化、成層圏と対流圏の間のオゾンの交換速度の変化等が、オゾンの全量と鉛直分布を大きく変化させる可能性がある。また、オゾン層破壊による下部成層圏オゾン濃度の減少は地球温暖化を和らげる働きをしてきたと考えられるが、今後、オゾン層が回復するならばこの効果は期待できなくなる。オゾン層と気候変動の相互作用はオゾンの鉛

直分布に現れ、かつこれに依存するため、オゾンに対流圏から成層圏にかけて高精度で長期観測することが今後ますます重要になるであろう。オゾン層破壊（及び回復）の原因物質としても、フロン・ハロン等の塩素・臭素化合物のみならず、 NO_x あるいは N_2O 、メタン、水蒸気、エアロゾルや成層圏の雲の重要性が高まってくるであろう。これからの10数年は、高いレベルの塩素濃度が続くために、気候変動や火山噴火等の自然の変動に対して、オゾン層は人類史上最も脆弱な状態が続く。従って、オゾン全量、オゾン鉛直分布に加え、オゾン層に影響を及ぼす要素について、気候変動との関係を考慮しつつ総合的に長期観測することの重要性はますます増大している。オゾン層破壊（回復）を中心に、長期の成層圏観測調査が必要な背景について具体的に述べる。

(1) オゾン層回復の検出は近未来の課題であり皮膚ガンは今後数10年増加

オゾン層の状況と将来シナリオについて、2002年に作成されたWMO/UNEPのオゾン層破壊に関する科学アセスメント報告書(WMO, 2003)に基づいて概説する。

1980年以前(1964-1980年の平均)と最近5年(1997-2001年)の間の大気オゾン全量を比較すると、減少が明らかである。北半球中緯度(北緯35-60度)と南半球中緯度(南緯35-60度)ではそれぞれ3%及び6%の減少であるが、北半球では冬から春にかけてオゾン減少(4%)が夏から秋にかけてのオゾン減少(2%)より大きいものに対して、南半球では年間を通して同程度のオゾン減少(6%)が見られた。一方、熱帯域(北緯25度-南緯25度)では優位なオゾン減少は認められていない。1960年代半ば以降のオゾン全量は、1980年から1990年にかけてほぼ単調に減少した。その後、1992~1993年にはオゾン全量観測が始まって以降最小のオゾン全量(1980年以前より約5%減少)が記録された。これは、1991年6月に噴火したピナトゥボ火山の影響であったと考えられている。最小値を記録した後、オゾン全量は1999年頃まで一旦増加に転じたが、再び減少傾向を示し、1997~2001年の平均値は1980年以前に比べて約4%の減少となった。

オゾン層破壊物質の放出量からの予測によると、成層圏塩素濃度(臭素も塩素濃度換算されて含む)は1997年頃にピークになるので、成層圏オゾンの減少がフロン等の人為起源ハロゲン化合物のみによるならば、1997年頃にオゾンは最小値になったはずである。実際には、ピナツボ火山噴火起源の成層圏エアロゾルの影響で1993年頃に最小になって回復に向かった後、1999年以降再び減少した。この推計では、季節変化、太陽活動、 QBO といった自然要因によるほぼ周期的なオゾン変動は除去されているので、火山活動の他にも未知の変動要因があることが示された。南北半球によるオゾン減少の程度の違いの原因も説明は容易ではない。従って、成層圏塩素濃度とオゾン全量がどの程度良い逆相関を描くか、有害紫外線とオゾン全量がどの程度良い正の相関を持つか、を引き続き監視し続け

る必要がある。オゾン全量変化から推測された皮膚ガン発生率がピークを示す時期が2060年付近となるとの予測は衝撃的であるが、紫外線の影響が人の一生に亘って蓄積することを考慮すれば理解できる。オゾン破壊のピークの時期が皮膚ガン発生率の最大増加の時期にほぼ対応し、その後も当面皮膚ガンが蓄積的に増加して行くと考えられる。現在はオゾン層破壊のピーク付近であるのに、オゾン層破壊起源の皮膚ガンがそれ程騒がれていないが、そのことで安心することはできない。

(2) 上部成層圏は「オゾン層の回復」の検出に有効

「オゾン層の回復」の検出が最も容易なのは上部成層圏においてである。上部成層圏のオゾン破壊の反応は、気相の塩素、一酸化塩素、酸素の分子やラジカル、原子のみが関わる気相触媒反応であって比較的単純である。このサイクルは無限に回るのではなく、塩素や一酸化塩素はメタンや二酸化窒素との反応などによってHClやClONO₂のような塩素を貯留する分子（貯留物質）に取り込まれて活性を失う。

Newchurch et al. (2003)は上部成層圏に注目し、ミッション寿命をはるかに越えて観測を継続している衛星サンサSAGE- とHALOEのデータから、1997年以前にはHClが直線的に増加し、オゾンが直線的に減少してきたが、1997年以降はその増加（減少）速度が減少し始めたことを発表した。下部成層圏から上部成層圏に空気が移動するのに時間がかかるので、オゾン破壊のピークを確認するには至っていないが、オゾン濃度と塩素の貯留物質であるHCl濃度との逆相関が明確であり、上部成層圏が「オゾン層の回復」の検出に適した高度であることを示している。ClOとHClの両方が観測されればより確実な検出が可能である。

(3) 南極オゾンホールと北極域オゾン破壊は気候変動に敏感

南極オゾンホールは、南半球の春に、南極大陸の2倍程の領域でオゾン全量が極端に少なくなる現象である。1979年以降2002年までの南極オゾンホールの面積と最低オゾン全量をみると、最低オゾン全量は1995年ごろから一定で1980年のおよそ半分の量である。ところが、オゾンホールの面積は1995年以降も増加を続け、2000年に最大、2001年、2002年に2年続く減少を示したが、これがピークに到達したことを示すのか、今後再び緩やかに増加してゆくのかは、明らかでない。オゾンホール中のオゾン破壊のメカニズムでは、成層圏にできる雲、すなわち極域成層圏雲（Polar Stratospheric Clouds; PSC）の関与する不均一反応が重要な役割を果たしている。従って、成層圏の塩素濃度がピークに近い濃度で高止まりしている状況では、PSCが出来る気温である約-78（195K）以下の領域の面積が増えればオゾンホールの面積は拡大する。他方、下部成層圏では「壊されるべきオゾンはもはや存在しない」状況なので、最低オゾン全量は大きくは下がりにくい。

北極でも南極ほどではないが、春に極域でオゾンが減少してきた。特に1990年代に顕著であった。北極の場合には、PSCができる気温が広範囲に広がるか否かがその年によって大きく違う。もともと、下部成層圏の気温がPSCのできる閾値に近く、年によって-78以下の領域が大きく変化する。このことは、気候変動が将来の北極域春季オゾン破壊に大きな影響を及ぼす可能性のあることを示唆する。

(4) 成層圏の水蒸気の増加やN₂Oの増加はオゾン層破壊を進行させる可能性

気球観測のデータから、下部成層圏の水蒸気濃度は過去45年の間、年率約1%で増加してきたとされている（Kley et al., 2001）。一方、衛星センサHALOEによる最近のデータから、成層圏における水蒸気の増加は気球観測による結果ほど大きくないと報告が発表されており、水蒸気に関する独立した観測を充実させることの重要性が再認識された。もし水蒸気が増加すれば、HO_xラジカルや極域におけるPSCが増加し、オゾン層の破壊が進行する。また、成層圏のNO_xを増加させ、オゾン層破壊を進行させるN₂Oは年率0.3%程度の割合で増加しており、2100年頃にはオゾン層破壊の主要な物質になるとの予測もある。このように、フロン、ハロン等のハロゲン化合物以外の大気組成変化も成層圏オゾン層に影響を及ぼす可能性がある。

3-3-2. 観測のニーズとの現状及びその課題 [ニーズ]

上記「背景」を踏まえ、観測のニーズを観測項目、観測地域、観測頻度、観測期間の点から整理する。

(1) 観測項目

オゾン全量

オゾン鉛直分布

オゾン層破壊に関連する物質の全量あるいは鉛直分布（ClO, HCl, ClONO₂, NO_x, HO_x, HNO₃, BrO, メタン, 硫酸エアロゾル, PSC等）

成層圏及び上部対流圏気温鉛直分布

成層圏及び上部対流圏水蒸気鉛直分布

オゾン層破壊原因物質の対流圏濃度（CFC, HCFC, ハロン, 臭化メチル, メチルクロロホルム, 四塩化炭素, 塩化メチル, N₂O等）

陸上紫外線スペクトルまたはUV-B量

(2) 観測地域

北極域、北半球中緯度域、熱帯域、南半球中緯度域、南極域

経度方向に3~4カ所；プラネタリー波、熱帯の東西方向の循環等を考慮）

地形的に成層圏に影響を直接及ぼす可能性のある地域（チベット高原、スカンジナビア半島、ロッキー山脈）

(3) 観測頻度・観測期間

冬は1~3日に一度、夏は1~10日に1回の頻度（高低気圧とプラネタリー波の活動周期

を考慮)

少なくとも 2 太陽周期 (22 年)(線形トレンド検出には 11 年以上、「回復」検出には 22 年以上が必要)

[現状及びその課題]

上記観測項目は主に、下記の国際的ネットワークあるいは人工衛星によって観測されている。

(1) 世界気象機関 (WMO) の全球オゾン観測組織 (GO₃OS)

ドブソン分光光度計、ブリューワー分光光度計、フィルター分光光度計 (ロシア) によるオゾン全量観測、オゾンゾンデによるオゾン鉛直分布観測、ブリューワー分光光度計による紫外線分光スペクトルが測定されている。オゾンゾンデ全量観測は 229 地点、オゾンゾンデ観測は 63 地点である。どの項目も、赤道域が空白に近く、東南アジア、アフリカ、南アメリカの観測が手薄である。オゾンゾンデについては、広大なシベリアで研究観測を除くと空白になっている。主要な観測地点 (主として北半球中緯度域) ではニーズに応じた観測頻度と観測期間で観測が行われている。

(2) 成層圏変化検出ネットワーク (NDSC)

NDSC とは Network for the Detection of Stratospheric Change (成層圏変化検出ネットワーク) の略であり、レーザーレーダー (ライダー)、マイクロ波 (ミリ波) 放射計、フーリエ変換赤外分光計 (FTIR)、可視/紫外分光計を中心とする、地上からの最新の遠隔計測技術やオゾンゾンデ、地上紫外線分光スペクトル観測技術を用いて、高精度 (高精度) の観測、多様な気体成分やパラメータ (気温等) を観測することによって成層圏の変動をその原因と共に検出しようとする国際ネットワークである。約 5 年の準備期間を経て 1991 年に発足した。80 近いステーションがあるが、すべての NDSC 測器を備えているステーションは少ない。北極域、欧州アルプス域、ハワイ、ニュージーランドローダー、南極域では、それぞれの地域あるいはステーションで全測器を揃える努力がなされている。日本からも、北極域やニュージーランドの観測所等にエアロゾルライダーを展開してきた。この他、米国のテーブルマウンテン、日本のつくば、陸別、母子里が、地理的にも、測器の整備状況が良いことから重要である。

NDSC の主要ステーションは、ほぼすべての項目を観測する地上ステーションとして画期的である。これは研究者が研究予算を獲得しつつ、観測、データ解析、データ質の評価まで行っていることから可能になっている。発足後 10 年余りであるため、オゾン層の回復に関する知見をデータから直接に得るにはあと数年かかると思われる。短期的には、衛星観測の検証を行うのに最も適したネットワークとして、各国の成層圏及び対流圏大気化学衛星センサチーム

からの検証の要請が相次いでいる。問題は予算を継続して確保できない主要なステーションが出てきていることである。観測地域の問題としては、東南アジア、南米、アフリカ、特に赤道付近が空白地域になっていることである。

(3) 衛星観測

オゾン全量については、Total Ozone Mapping Spectrometer (TOMS) は、Nimbus-7 に搭載されたものがミッション寿命を超えて 1978 年 11 月から 1993 年 4 月まで観測を行い、その後も Meteor, ADEOS, Earth Probe に引き継がれ現在に至っており、22 年以上のデータを有する唯一の衛星センサである。オゾン鉛直分布については、Stratospheric Aerosol and Gas Experiment (SAGE) 及び SAGE-II が 1984 年から観測を続けており、また、HCl, メタン、水蒸気については Halogen Occultation Experiment (HALOE) が 1991 年から観測を続けているが、両センサともミッション寿命を超えて運用されている。当面、欧州、米国等が大気化学衛星センサを打ち上げるが、通常、衛星センサは 10 年スケールのミッション寿命を持っていないことが問題である。

(4) 我が国の貢献と課題

我が国の WMO への貢献は気象庁によって長期にわたってなされており、オゾン層観測の基盤を作るものとして高く評価されるべきものであり、今後の確実な継続と拡充が望まれる。

我が国の NDSC への貢献は、国立環境研究所が 1988 年以来オゾンレーザーレーダによるオゾン鉛直分布の観測を続けている他、名古屋大学太陽地球環境研究所が母子里、陸別で FTIR や可視分光計による観測を行う等の国内の観測、更に気象研究所や通信総合研究所による海外の主要な観測所への貢献等、1990 年代後半までは非常にアクティブであった。しかし、近年の成層圏オゾン層研究への予算の縮小から全体として貢献が縮小傾向にある。

南極域では、国立極地研究所を中心として 1958 年から一貫して行なわれている、昭和基地における成層圏観測が重要であり、日本の南極越冬隊員がオゾンホール発見に大きな役割を果たす観測を行った。このように昭和基地は、南極におけるオゾン、エアロゾル等を中心とする成層圏観測の重要な拠点としての役割を果たしている。

また、北極域については、日本からも国際協力による、国立極地研究所等のスバル諸島ニオルセンにおける PSC 観測、名古屋大学や東北大学、情報通信研究機構等によるアラスカにおけるエアロゾルや成層圏微量成分の観測、国立環境研究所等によって 1995 年以来 5 年以上続けられた欧州の北極域オゾン集中観測への参加やロシアとの共同研究等、多くの観測の実績がある。ILAS, ILAS-II プロジェクトによる研究成果の蓄積と研究者ネットワークがあり、ロシアの航空機や小型水蒸気ゾンデ等の活用も可能な状況にある。

また、1998年以来ドイツと日本の研究者が中心となって行っている北極域での航空機観測には多くのヨーロッパ諸国の研究者も参加している。このような財産を長期の北極域成層圏観測に組み入れることは、効率的な監視体制の構築に資する道となる。

衛星観測については、わが国では、ADEOS（和名「みどり」）に環境省のセンサILASが搭載され、約8ヶ月の観測期間に、北極域のオゾンホール型のオゾン破壊速度、オゾン破壊と極域成層圏雲や窒素酸化物の関係等について総合的なデータを取得し、海外を含む多くの研究者による解析のために提供され、重要な科学的知見の得られたことが特筆される。ADEOS-II（和名「みどり2号」）に搭載されたセンサILAS-IIは、7ヶ月の観測期間に南極オゾンホールについて多くの情報を得ている。ILAS、ILAS-IIは、オゾン、メタン、 N_2O 、水蒸気、 NO_2 、硝酸、エアロゾル、極域成層圏雲等の鉛直分布を同時に高い精度で測定することが可能であり、成層圏の観測ニーズの多くを満たすものであった。但し、正常に運用されたとしても3～5年のミッション寿命であり、長期観測のためには同様なセンサによる観測を今後も行う必要がある。ILAS、ILAS-IIによる成層圏大気成分の観測が終了した現在、宇宙ステーションからのサブミリ波大気成分観測（SMILES）を成功させることが重要である。同時に、現在のところSMILES後の成層圏化学ミッション計画のないことは大きな問題である。今後の化学ミッションについては、成層圏だけではなく、対流圏観測にも貢献できることが必要である。

赤道地帯、大型の山岳や高原地帯では、それぞれの地域での地形性の風系、放射状態、物質の生成・消滅などを視野に入れた成層圏観測が行われている。日本の地理的な環境は、これらの研究を主導的に行うことを、ややもすると困難にしがちではあるが、水準の比較的高い観測技術を通してこれらの観測に参加し成果を上げてきている。

観測機器開発においては、ミリ波・サブミリ波による観測の技術において日本は欧米と対等に競う水準に達してきており、今後の日本の貢献として重要な役割を果たすと考えられる。これには、日本の半導体製造技術、電波天文学の技術を基盤として、SMILESプロジェクトや、名古屋大学、国立環境研究所等による地上からのオゾン、ClO、水蒸気同位体等の観測研究プロジェクトが10年以上継続されたことが観測技術の進展を促した。1980年代から90年代前半にかけて、わが国はライダーの開発や利用において、世界的にも中心の一つであった。また、名古屋大学を中心とする、気球や航空機搭載用のエアロゾルセンサや NO_x センサ等の開発も高く評価されてきた。最近、成層圏観測におけるこの分野の機器開発が低調になってきているが、気球観測用の水蒸気センサの開発が進められている。

3-3-3. 観測成果・データの集積と活用の現状

WMOの観測結果はWorld Ozone and Ultraviolet Data Center (WOUDC) に集積されている。NDSCデータはNDSCのホストコンピュータ、衛星観測データは、各衛星観測プロジェクトのデータサーバーに集積される。成果としては、トレンド解析を含むオゾンの長期的変動の解析等があげられる。国内では、気象庁「オゾン層観測報告」と環境省「オゾン層等の監視結果に関する年次報告書」の中で毎年用いられている。国際的には、1999年の「オゾントレンドパネル」、1989年、1991年、1994年、1998年、2002年の「オゾン層破壊に関する科学パネル報告書」で用いられ、モンテリオール議定書の締約国会合における規制の見直しの科学的基盤となった。

また、ILAS等の成果は国立環境研究所のILAS、ILAS-II研究グループのデータベースに蓄積されている。欧州やロシアとの共同研究の成果は論文の他、ノルウェーのデータベースに蓄積されているが、更なるデータベース化が必要である。

3-3-4. 今後の取り組みが必要な観測項目とそのニーズ

成層圏を対象とする、今後の長期観測調査では、成層圏塩素濃度がピークから徐々に低下する中で、気候変動の進行、火山噴火起源エアロゾルや太陽活動等の自然変動、水蒸気、メタン、 N_2O 等のフロン以外のオゾン層破壊（回復）物質などの影響を総合的に把握する必要がある。また、フロン以外に今後オゾン層の脅威になる物質があるならば早期に検出し、対策を行う必要がある。この観点から、以下の観測項目を選んだ。

(1) オゾン層の回復の検出に関する観測

オゾン全量、オゾン鉛直分布、ClO、HCl、ClONO₂等

上部成層圏、南極等、オゾン層の回復の検出が容易な領域における観測

(2) 水蒸気の増加に関する観測

熱帯上部対流圏・下部成層圏水蒸気気球観測

中緯緯度水蒸気気球観測あるいは遠隔計測による観測

極域下部成層圏における水蒸気濃度とPSCの気球及び遠隔計測

(3) 気候変動に関する観測

上部成層圏、中間圏における気温の観測

(4) 将来のオゾン層破壊に関連する観測

N_2O の対流圏濃度の観測

成層圏 NO_x 濃度の観測

3-3-5. 今後10年間での取り組みの重点項目

今後10年間で取り組むべき重点項目は、ニーズと必要な観測項目という観点と、我が国が基盤を有する強い分野という観点、地域的な観点を総合的に考慮して絞り込む必要がある。その意味では、ミミリ波・サブミリ波、レーザーライダー、FTIR

を備え、気球観測によって補完された NDSC タイプの地上観測(特に高高度ステーションや極域、熱帯域、アジア域)、オゾン、NO₂等をマッピングするタイプの衛星センサと、ILAS型の太陽掩蔽方式のセンサあるいはミリ波・サブミリ波等を中心とした高度分解能の良いセンサを組合せた成層圏(および対流圏)化学衛星ミッション、が最重点項目である。同時に、

長期観測データの保存、観測対象の変動や長期変化の解析、化学輸送モデルを用いた解析、データ活用の支援を行う体制を、競争的資金による研究プロジェクトに依存しない形で確立すること、

3-4. 海洋汚染(油類及びプラスチック系浮遊物等)観測調査

3-4-1. 背景

油類や有害化学物質などによる汚染は、漁業資源の減少や水質などの環境の悪化を引き起こすばかりでなく、人間の健康の阻害や海洋生態系の破壊などの悪影響を及ぼすことが危惧されている。海洋環境が汚染による変化を受けると、その回復は容易ではなく、また長時間を要する。今後、アジアをはじめとする途上国での経済的発展や船舶による海上輸送の増大などが予想されることから、さらなる海洋汚染の進行が懸念される。したがって、海洋汚染の長期的なモニタリング体制の構築を図り、汚染の進行の実態を早急に把握して適切な対策に資する必要がある。

本セクションでは、現業官庁による長期モニタリングの実施状況と今後取り組むべき課題について整理する。

3-4-2. 観測のニーズと現状および課題

[現業官庁におけるモニタリングの実施状況]

海洋環境に関する社会の関心の高まりや国内外の要請に応じて、海洋汚染の防止や海洋環境の保全等に資するために、わが国では気象庁、海上保安庁、環境省、水産庁等が中心になって海洋の各種モニタリングを実施してきている。主要な海洋環境モニタリングの概要、調査海域等を表1に示す。

気象庁及び海上保安庁は、「海洋汚染防止法」第46条に基づいて、気象業務または水路業務に関連する海洋の汚染の防止及び海洋環境の保全並びに海上災害の防止のための科学的調査を実施している。気象庁は、1972年から海洋バックランド汚染観測を開始し、北西太平洋及び日本周辺海域の観測点における海水中の重金属(カドミウム、水銀)及び油汚染(油分、タールボール、プラスチック浮遊物等)の観測を海洋気象観測船により定期的に実施している。

海上保安庁では、1972年から日本周辺海域、閉

鎖性の高い主要湾域や海洋汚染防止法で定められた廃棄物排出海域において定期的に海水や海底堆積物を採取し、油分、ポリ塩化ビフェニール(PCB)、重金属等の調査を行っている。主要湾の海底堆積物については、2001年から有機スズ化合物等の新たな調査項目を追加している。また、大規模油流出事故が発生した際には緊急調査を実施することとしている。

環境省では、沿岸域においては「水質汚濁防止法」及び「瀬戸内海環境保全特別措置法」等に基づいて、1971年から公共用水域水質測定調査、1972年から広域総合水質調査、1974年から化学物質に関する環境調査を実施している。さらに日本周辺域のより沖合の海域における海洋汚染の実態を総合的に把握するため、1975年から1994年まで日本近海海洋汚染実態調査(以下、日本近海調査)として水質、底質の有害化学物質、油類、プラスチック等の調査を実施した。1995~1997年には、海洋環境保全調査として継続した。1998年からは、我が国の領海・排他的経済水域内の生物・生態系を含めた海洋環境の年代的な変化を監視するための海洋環境モニタリング調査を実施している。

水産庁では、海洋環境を把握し水産業を振興するために、地方公共団体が実施する事業に対する補助金を含めて、赤潮による被害の防止のための調査・技術開発、藻場・干潟の実態調査、海洋廃棄物、流出漁具、流出油が海洋生物等に及ぼす影響調査などを実施してきた。

[現業官庁における海洋汚染モニタリングの課題]

上述のように、海洋汚染に関する各種のモニタリングが現業官庁により様々な観点から実施されてきているところであるが、モニタリングの調査項目、海域、期間等について十分とはいえない。

汚染源の多くは陸上・沿岸域にあるが、海水の流動によって拡散するだけでなく、船舶の航行に伴って外洋域に排出する。重金属や有機塩素化合物などの一部の物質は大気を経由して海洋の広範囲に運ばれる。海洋に流入した有害化学物質や油類などの汚染物質は、海流等の水の動きにより、また沈降粒子や海洋生物の食物連鎖を通じて海洋全体、底泥や生態系にまで影響が及ぶ。このため、外洋を含む広域にわたる調査が必要となるが、多くの調査は沿岸を中心に行われてきており、排他的経済水域の広域及び水域外の調査は少なく、また鉛直方向の分布はあまり把握されていない。

さらに、底質及び生物・生態系に関する観測は不足しており、外洋域においては調査がほとんどなされていない状況にある。近年、特に有機塩素化合物、有機スズ化合物、有機リン系化合物、多環芳香族炭化水素等の有害化学物質による汚染の深刻化が認識されてきているが、その海洋におけるモニタリングの実績はごく短期間に過ぎず、かつ調査されている海域も非常に限られている。

油類やプラスチック等浮遊物質による汚染につ

いては、外洋域まで調査されているものの、目視では捉えられない小さな浮遊物質の量や詳細な種類、油の成分等に関する情報は希薄である。

3-4-3. 観測成果・データの集積と活用の現状

海洋汚染、海洋環境の調査に関しては、関係省庁で構成される連絡会議等において、各省庁が実施する調査の実施方法、すなわち調査海域、調査地点、調査項目等について相互調整を図っているほか、調査結果等について必要な情報及び意見の交換も行っている。また、日本海洋データセンター（JODC）では、表 1 に示された調査データをはじめ、各省庁の調査データを収集・管理し、オンラインでのデータ提供を行っている。

国際的枠組みとしては、IOC（ユネスコ政府間海洋学委員会）の海洋科学プログラムのひとつである GIPME（海洋環境汚染全世界的調査）計画において MARPOLMoN（海洋汚染監視計画）が進められ、取得された観測データは 3 カ所の RNODC（責任国立海洋データセンター； JODC、米国 NODC、ロシア NODC）に集積されてきたが、2003 年に開催された IOC / IODE（国際海洋データ・情報交換）会議において、米国とロシアの両国が RNODC の活動を停止する方向であるため、今後のデータ管理は JODC のみにおいて実施される見通しとなっている。なお、2001 年の IOC 総会で、海洋科学プログラムの再構築が提案されて GIPME 計画は新しい学際的な「Ocean Ecosystems and Marine Environmental Protection（海洋生態系及び海洋環境保全）」に統合されている。

JODC では、MARPOLMoN データとして、国内関係機関、米国 NODC、アジア各国などによる 1973 年からの全世界の海水油分、浮遊タール、漂着タール、海面油膜のデータを集積しているが、油に関する情報は航行船舶から寄せられるため、主要航路以外のデータはきわめて少ない。

3-4-4. 今後の取り組みが必要な観測項目とそのニーズ

(1) 有害化学物質による汚染

PCB やダイオキシンなどの有害化学物質は、環境中で分解しにくく、生物に蓄積されやすく、毒性が高く、かつ長距離輸送される可能性が高いといった特性を有する。そのため、海洋の広域に拡がるとともに、特に栄養段階高次の海洋生物に高濃度に濃縮されて、長期的に重大な悪影響を及ぼすことが懸念されている。有害化学物質の汚染状況の調査は少なく、その海洋環境における知見は限られていることから、これらの化学物質の広域における汚染状況を把握する調査を定期的実施して情報を蓄積する必要がある。

(2) 油類による汚染

油汚染の発生件数が減少し、海水中の油分や浮遊タールボールなどでみた定常的な汚染の度合いは近

年低下してきているが、一方で原油利用の拡大、海上輸送の増大や船舶の大型化などの状況から、大規模な油流出の可能性は依然としてなくなっていない。過去の事例から、流出した油が海洋環境や生態系に及ぼす影響が甚大であり、かつ長期化することがわかってきた。

油流出などの事故が起こった際にその汚染状況を的確に把握して影響評価を速やかに行うためには、平常時の状況を把握しておくことが重要である。油汚染に関連する項目や汚染の影響を受けやすい動物・植物プランクトン、沿岸生態系などの観測を定期的・継続的に行って海洋汚染のバックグラウンドレベルの情報を集積し、海洋環境の監視にあたるとともに事故発生時に速やかな情報提供ができる体制を維持する必要がある。

(3) プラスチック等の浮遊物質による汚染

北西太平洋で観測された浮遊物質の多くがプラスチック類であり、その数は近年漸減傾向にあるものの、分布は中緯度域を中心に広範に及び、また、浮遊物質の分布は、時空間的変動が大きく、広域の分布やその経時的な変動はまだ十分に把握されているとはいえない。

プラスチック類は耐久性が高いため、海洋環境では分解されることなく半永久的に存在し続け、魚類や海鳥類・ウミガメなど高次の栄養段階にある生物の誤飲や絡まりによる外傷等を引き起こすことから、生態系への影響が指摘されている。広域におけるプラスチック等による汚染の実態を定期的かつ長期的に監視して、汚染低減の対策に資する必要がある。

(4) 有機汚濁及び富栄養化

COD の発生負荷量が減少しているにもかかわらず、沿岸域の COD や栄養塩濃度はあまり低下しておらず、1990 年代後半以降横ばい状態となっている。また、近年には赤潮の発生件数の減少も留まる傾向にあって、栄養塩類負荷量の低減が十分でないこととの関連が指摘されている。特に、閉鎖性の強い内湾における近年の干潟と藻場の消失は、生物多様性と生物生産性に直接影響を与えるほか、栄養塩類や有機物を取り除く浄化能力を損なうことによって富栄養化問題を悪化させていると考えられている。

今後の取り組みが期待される、底生生物の生息環境の復元・再生などによる水質・底質の改善施策に資するために、依然として沿岸域環境の監視を要する。

(5) 海洋生物によって生成される有機化合物

DMS（硫化ジメチル）は、海藻や植物プランクトンによって生成される DMS 前駆体がバクテリアによって変換されて海水中に放出される。海洋から放出される DMS は、大気中の硫酸化物の主要な自然起源として重要であり、またエアロゾル粒子形成の核となるために気候に大きく影響することから注目さ

れている。DMS の海域的、季節的分布の概要やプランクトン種ごとの生成の特徴などは明らかになってきているが、その経年変動などはまだ良くわかっていない。

気候問題に寄与するとともに、クロロフィル等の観測結果と併せて海域のプランクトン種組成やその活動状況を把握する指数として海水中、洋上大気中の DMS を海洋の広域で継続して観測することが有効であると考えられる。

(6) 海洋環境の監視のための基礎データの取得

海洋表層の物理的構造は、大気循環の自然変動や地球温暖化などの影響により様々な時間スケールの変動を持ち、相互にフィードバックしていることがわかってきた。これに伴って、海洋表層の物質循環や海洋生物の活動も変動することが知られている。こうした変動と海洋汚染の影響による変化を識別するために汚染物質観測と併せて、海洋の状態を把握するための基本的要素の観測を実施することが必要である。さらに、海洋環境の長期変動解明のための継続観測と連携して、特定の海域における目的を絞った短期集中観測を実施し、海洋汚染のプロセス解明を併せて行なうことも必要である。

観測項目としては、海洋構造を把握するための水温、塩分や、化学・生物学的状況を把握するための栄養塩類、溶存酸素、クロロフィル、動・植物プランクトン類などが挙げられる。こうした海洋環境の変動は温室効果気体や炭素循環とも深く関連することから、これらの観測と併せて実施することが必要である。

3-4-4. 今後 10 年間の取り組みの重点項目

(1) 数十年間にわたり継続する観測の開始

海洋汚染の現状把握が外洋域など広い海域で十分でないことから、まずは系統的な調査の実施による総合的な理解が必要である。特に、最近その影響の重大性が注目されている難分解性有機汚染物質などについて、水質・底質・生物における分布を把握することが重要である。今後も海洋汚染の拡大が見込まれ、またその海洋環境への影響が全球規模でかつ長期間にわたることが予想されることから、汚染の実態を定期的に効率的に把握する長期的なモニタリング体制の構築を図る必要がある。

広域にわたる総合的な調査を数年に 1 度実施し、各汚染物質による汚染の進行の状況を把握して、特に汚染の影響が重大である物質を重点項目や汚染指標物質として選び出し、その上でさらに観測・監視を数十年間継続する必要がある。モニタリングの長期継続を可能にするためにも、重点的に実施する観測項目や海域を段階的に絞るといった戦略をもって取り組むことが重要である。

また、長期モニタリングの一環として、生物・環境試料を計画的に長期（最低 10～20 年）保存する体制を整えることが望まれる。将来における新たな汚

染物質への対応や新たな分析法による統一的な分析に供することにより、過去にさかのぼった環境分析が可能となり、早期の原因究明や施策に役立てることができる。

(2) 海洋生物・生態系の変化の把握と監視のための指標の設定

海洋生態系は、地球上の物質循環系において重要な役割を担っている一方、海洋汚染の影響を受けやすい。特に、難分解性有機汚染物質は生物体内に高濃度に蓄積されやすいので、その汚染の進行を検出するには生物調査が海水や堆積物よりも適すると期待される。生態系に対する影響を包括的に把握するために、生態系ピラミッドの各段階における生物中の汚染物質濃度のモニタリングと共に、個体数・種類数などの生物群集構造に関する調査を実施する必要がある。また、生物群集の調査では、汚染の影響を把握するのに適した指標を見出すことが重要である。

(3) 漂流ゴミ（特にプラスチック系の浮遊物）等の観測

プラスチック等の浮遊物質は、大きさから大型・小型に分けて 2 通りの方法で観測を実施する必要がある。目視により捕えられる比較的大型の浮遊物質については、観測船による観測だけでは頻度が足りないことから、練習船・商船などによる篤志観測を依頼して展開を図る。船橋で操船にあたる航海士に日中目視観測により確認された浮遊物質の種類、形状、数などについて記録してもらい、航海後にインターネット等を利用してデータを回収して解析を行う方法もある。

目視では捕捉できない小さなあるいは微小の浮遊物質（レジン・ペレットなど）については、まだ観測が少なく情報が限られていることから、現業官庁などの観測船上からネットを用いた表層曳きにより定期的に採取・分析して、情報の蓄積を図る。

(4) アジア諸国等との国際協力

東・東南アジア各国は、人口密度が高く、かつ今後の高度経済成長が見込まれることから、将来周辺の海洋環境への負荷が高まる可能性が大きい。特に閉鎖性の強い日本海、東シナ海では、周辺諸国からの汚染の影響が大きく現れると考えられる。すでに、東南アジアの沿岸域では DDT などの農薬や PCB などの有害化学物質の汚染が広がっていることが報告されている。

日本周辺海域における海洋環境保全の実効性を上げるためには、周辺諸国と協調した取り組みが重要となる。これまでに我が国が蓄積してきた海洋環境保全に関する技術や知見を積極的に関連諸国に移転していくなど、日本が中心となって海洋環境モニタリングの実施や総合的な海洋環境管理を各国と連携・協力して行っていく必要がある。特に、APEC や

NOWPAP などの枠組みを活用して関係国との協力体制を強化し、モニタリング結果に基づいた評価技術・予測モデルの開発を含む海洋管理のための計画等、海洋環境保全を推進する仕組みを構築することが重要である。

太平洋側においては、陸上活動や航行船舶による日本沿岸から沖合への汚染だけでなく、大気を経由した有害化学物質の長距離輸送による汚染も視野に入れて、広域にわたる北太平洋全域の定期的なモニタリングを環太平洋諸国の国際連携を通じて実施して行く必要がある。

(5) 情報共有ネットワークの構築

海洋汚染モニタリングにより取得したデータを効果的・効率的に活用して海洋環境保全の施策等に資するためには、そのデータの所在や観測等に関する情報を共有する仕組みの整備が重要である。また、海洋環境の情報については、我が国の領海や排他的経済水域に係る情報のみならず、我が国の海域に重

大な環境影響を与える可能性のある周辺諸国の情報も集積することが必要である。

国内でも国際的にも、海洋汚染のデータが利用しやすい形で保管・提供されているとはいえない。特に、化学・生物データに関しては、データ管理の体制や手法が必ずしも確立されていないのが現状である。データセットが一元管理できればユーザにとっては利用しやすいが諸般の事情により難しい面もあるので、関係機関の連携のもとに分割管理をしながら、汚染観測データのインベントリやメタデータについての情報を web 上で一括提供するサイトの設置・運用が有効である。

情報共有ネットワークの構築にあたっては、IODE（国際海洋データ・情報交換）、NEAR-GOOS（北東アジア地域海洋観測システム）などの既存の海洋環境データ情報交換システムを活用するとともに、データベース及び情報管理システムの設立を進めている UNEP の地域海計画 NOWPAP との情報交換・協力を図ることが有効である。

表 1 海洋環境モニタリングの概要

調査名称	所轄官庁	関連する法律・規制	目的	調査海域	調査期間	観測回数	備考
海洋バックグラウンド汚染観測	気象庁	海洋汚染防止法（第 46 条）	海洋の汚染防止及び海洋環境の保全	日本周辺海域 北西太平洋	1972 年～	年 2～4 回	外洋域
海洋汚染調査	海上保安庁	海洋汚染防止法（第 46 条）	海洋の汚染防止及び海洋環境の保全	日本周辺海域 主要湾	1972 年～	年 1～2 回	廃棄物排出海域を含む
日本近海海洋汚染実態調査	環境省 (旧環境庁)		周辺海域の汚染実態の把握	日本周辺海域 約 500km 内に 6 測線、内湾に 3 測線	1975～ 1994 年	毎年 2 回 (1981 年からは年 1 回)	廃棄物排出海域を含む
海洋環境モニタリング調査	環境省	環境基本法	排他的経済水域内の海洋環境の監視	日本周辺海域 約 500km 内で、 内湾から沖合 に向かう 2 測線	1998 年～	毎年 2～4 測線程度	廃棄物排出海域 生物・生態系、有害化学物質等の調査充実
公共用水域水質測定調査	環境省	水質汚濁防止法（第 15 条）	公共用水域における水質汚濁の状況監視	海岸線に 約 3200 点	1971 年～	月 1 回～年 1 回	ダイオキシン類は 2000 年～
広域総合水質調査	環境省	水質汚濁防止法 瀬戸内海環境保全特別措置法等	閉鎖性海域の富栄養化防止、水質環境基準の確保	ごく沿岸（内湾・内海等）	1972 年～	年 4～12 回	栄養塩類、プランクトンなど

化学物質に関する環境調査	環境省	化学物質の審査及び製造等の規制に関する法律	有害化学物質による人の健康への被害の予防	ごく沿岸(港湾・河口域)	1974年～	年1回	有害化学物質多数
海洋廃棄物生物影響調査	水産庁		海洋廃棄物, 流出漁具, 流出油等が海洋生物等に及ぼす影響の把握等	北太平洋, 日本海等	2001～2003年		

3-5. 海洋汚染(難分解性有機汚染物質等)観測調査

3-5-1. 背景

人間活動により陸域で使用された様々な化学物質は、様々な輸送過程, 変質過程を経て最終的に海洋に到達し, さらに海洋環境内における種々の過程を経て, 最終的に広く海洋に拡散あるいは蓄積されていく。しかしながら, 海洋におけるこれらの人為起源物質の動態はほとんど解明されていない。これは, 海洋内素過程の多くが未解明であること, 時間的なスケールも表層の極めて短時間な諸反応から, 有光層, 中層, 深層とそれぞれ時間スケールが異なっているなど, 観測に大きな困難さを伴うことによる。しかし, 地球環境の理解は, 海洋の働き, 動態の解明無くしてあり得ない。本節では化学物質, 特に難分解性有機汚染物質等による海洋汚染を中心に述べる。

3-5-2. 観測のニーズと現状および課題

上述したように, 海洋汚染観測は極めて重要にも関わらず, 陸域および大気環境観測と比較して, その規模・頻度ともに貧弱である。我が国における, 海洋汚染観測は, 水質汚濁法による常時観測網(COD, DO, 栄養塩, 金属, 重金属, イオンなど), 環境省が実施する化学物質の観測(農薬, 有機汚染物質など), 海上保安庁が実施する油分(オイルボールなどを含む)等の監視などがあるがどれも沿岸域の極めて限られた範囲と頻度で実施されているにすぎない。

国際的な枠組みであるGOOS, PICES, LOICZなどに関連する観測も研究者が個別に対応しているのが実状で, 海洋汚染観測として組織的に実施されている例はほとんど無い。

一方で, 各種競争的研究資金を含む研究費による研究課題として各種海洋観測が実施されているが, その予算の特質から, 数年の研究期間の離散的なデータとなってしまう例が多い。

広域あるいは地球規模の海洋汚染観測は, 文部科学省科研費および環境省地球環境研究総合推進費等により一部実施されているが, 規模, 期間共に十分ではない。特に, 地球規模の海洋汚染観測には中長期モニタリングが不可欠であるが, 現状では実施されていない。

3-5-3. 観測成果・データの集積と活用の現状

上記に述べた様に継続的なデータとしては水質汚濁法に基づいた各自治体による観測結果, 環境省や海上保安庁などが実施している観測結果が, 年報などとして継続的に報告されている。しかし, 電子データとして纏められていない場合が多い, クリアリングハウスがないなど, 集積化およびデータベース化が未整備なため十分に活用されていないのが現状である。特に過去の報告書・データ類の電子化がほとんど実施されていないために, 解析のためには再入力が必要があるなどの障害により, 極めて貴重なデータが活かされていない。一方, 近年のインターネットおよびWeb Siteの急速な普及と展開により, 電子化による蓄積と公表の兆しがみえているが, 米国のデータベース化および公開手段の整備と比較すると大きく見劣りがする。

3-5-4. 今後の取り組みが必要な観測項目とそのニーズ

海洋観測は他の分野と異なり, 観測の拡充に当たっては, まず観測プラットフォームの整備が不可欠である。現在の海洋観測は, 主として海洋観測船によって実施されているが, 広域さらに全球規模での海洋観測を全て海洋観測船に依存することは不可能である。従って, 海洋観測の取り組みに当たってはまず海洋観測プラットフォームの確保と整備が急務である。表2に, 現在考えられる4種の海洋観測プラットフォーム, すなわち海洋観測船, 篤志観測船, 係留ブイ, 人工衛星の特徴(水平および鉛直空間分解能, 水平および鉛直分解能, 多様性, 即応性への対応および経費)を示した。海洋観測船は多項目を高精度で観測することと, 他のプラットフォームでは実現が難しい鉛直方向の観測を実施する。篤志観測船は, その特徴を活かし, ある限定された項目を空間的・時間的に高頻度の観測を実施するとともに, より広範囲な観測の実施を目指す。係留ブイは, 他の方法では難しい。ある限定されたポイントにおける連続観測を実施する。人工衛星は, 他のいずれの方法でも不可能な広域観測を実施する。以上を有機的に配置することにより, それぞれを補完し, 地球規模の海洋動態の把握に資する。

表2 要求される特性への各海洋観測プラットフォームの対応性

	専用観測船	篤志観測船	係留ブイ	衛星観測
空間分解能：水平			×	
空間分解能：鉛直		×		×
時間分解能：ポイント				×
時間分解能：水平			×	
時間分解能：鉛直		×		×
多様性				
即応性			×	
経費				×

次に、海洋汚染（海洋環境）理解のために必要な観測項目であるが、非常に多岐にわたりその全てをここに列挙することは出来ない。図1はG00Sのレポートに掲載されたものであるが、その重要性と観測の難易度がわかりやすく示されている。カテゴリ-1は、環境へのインパクトが大きい観測は比較的容易な、栄養塩、溶存酸素、粒子状物質、植物プランクトン色素、レジン・ペレット/プラスチック、原油などが観測対象物質である。カテゴリ-2は、環境へのインパクトはそれほど大きくなく、観測の難しさは中高程度のもので、微量金属、人工放射線核種、薬剤が対象である。カテゴリ-3は、環境へのインパクトが大きく、観測は難しいと考えられる、多環芳香族炭化水素、農薬(除草剤/殺虫剤)、合成有機物、藻類毒物があげられている。カテゴリ-3にランクさ

れる農薬、合成有機物の内、特に難分解性(残留性)、生物濃縮性、毒性、長距離移動性が高い物質であるDDTなどがPOPs(難分解性有機汚染物質)として定義され、国際条約が締結されており、当面これらの物質とカテゴリ-1にあげられている物質などを観測のターゲットとすることが国際的な理解を得やすいと考えられる。

これらを考慮し、海洋汚染物質として取り上げられる物質(栄養塩、農薬、合成有機物、金属など)と動植物プランクトンなどの生態系観測項目と、連続観測の可能性、観測の難易度、媒質および要求される観測頻度との関連を表3に示した。

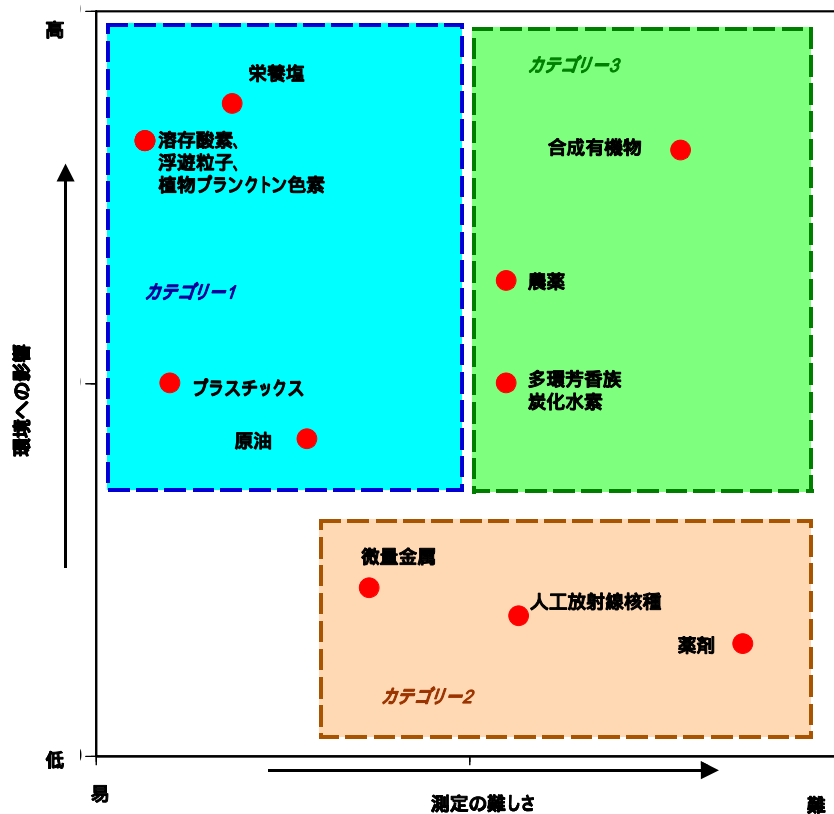


図1 各種汚染物質および分析対象における環境への影響と測定の難しさ(G00S Prospectus 1998 をもとに作成)

表3 海洋観測項目における要求される観測特性への対応性

	連続観測	観測の難易	媒質	観測頻度
栄養塩	可	中	水	日～週
農薬	バッチ	難	水, 大気, 底質	日～月
化学物質	バッチ	難	水, 大気, 底質	日～月
金属	一部可	中	水, 大気, 底質	日～月
重金属	バッチ	難	水, 大気, 底質	日～月
植物プランクトン	総量: 可 種類: バッチ	易 中	水, 底質 水, 底質	時間～日 日～月
動物プランクトン	バッチ	中	水	日～月
バクテリア	バッチ	総量: 中 種別: 難	水 水	時間～日 日～月
生態系	バッチ	難	水	日～月

3-5-5. 今後10年間での取り組みの重点項目

前述したように地球規模の海洋観測においては、その観測プラットフォームの確保が不可欠である。従って、当面海洋観測項目をある程度限定してもまずプラットフォームの整備が必要であり、海洋観測船、篤志観測船、観測ブイ、人工衛星の各特徴を生かした最適な配置を検討することが優先課題である。このために前半数年程度の予備調査により、海洋環境把握のために必要となる重点海域、その中でも特に現在観測データが希薄な海域を洗い出すとともに、当該海域に関する必須観測項目の決定を行う。その上で、後半においては観測プラットフォームの配備とともに、継続した観測を実施した上で、長期広域観測の方針を作成する。

広域海洋観測の推進に当たっては、今ひとつ観測の自動化が求められる。陸域の水圏では、使用可能な種々のセンサ類が開発され、観測頻度および密度の向上が図られているが、海洋環境で使用可能なセンサ類は水温、電導度、pH、DO およびクロロフィル量など極めて限られている。また、多くの化学成分や生態系の観測は、採水後バッチ観測に頼る必要がある。その観測頻度および密度の向上を妨げる大きな要因となっている。特に篤志観測船での観測は高いスキルが必要とされる作業は実施困難であるため、観測機材の簡素化と自動化が強く求められる。そこで、海洋環境で使用可能なセンサ類の開発および各種観測項目の自動化は、最重要課題の一つである。現在、健康管理分野におけるセンサの開発には著しいものがあり、これらの技術の応用を検討することも考慮する価値があると考えられる。人為活動と海洋との接点は、河川および大気経由であり、特に海洋と大気との相互作用は広大であり、それぞれに大きな影響を及ぼしていると考えられるが、その解析は未だ不十分である。かつて、米国が主導して実施された SeaAirExchange プログラムはこの分野で画期的先導的な研究であったが、その後中止されてしまっている。広域地球環境の動態解明には、大気-海洋相互作用の解明は不可欠である。本

相互作用の観測は、今まで主としてその観測の容易さから大気側からの視点が多かったが、今後は海洋側からの視点（汚染物質の保持、海洋生態系との関わりなど）が重要であると考えられる。

外洋域における一次生産における必須元素の一部およびある種の汚染物質は大気経由で海洋に負荷されており、これが外洋域の一次生産量や汚染物質の広域拡散に大いに寄与していると考えられている。一方、海洋生態系は様々な物質を生産しているがその一部はガス状物質として大気へ放出され、大気中の様々な物理化学過程に関与している。こうしたマテリアルフลักスの把握は、双方の環境動態の解明に不可欠であり、その観測手法を含めた対応が求められる。

3-6. 地球環境観測の将来展開に向けての提言

我が国がユーラシア大陸の東側、太平洋の西側に位置しているという地理的環境を考慮し、その条件を活用した地球環境観測の将来展開が必要である。また、21世紀においてはアジアの大気汚染物質の排出量がヨーロッパ及び北米の排出量を凌駕すると見込まれ、グローバルな大気質変動を把握し、そのトレンドを検出するために、アジアにおける地上及び衛星からの体系的観測システムの構築が求められている。

さらに、周囲を海に囲まれ、海洋から多くの恩恵を受けている我が国は、その海洋環境を健全に維持して行くためにも、率先してアジア沿岸から北太平洋洋上における海洋環境観測を推進して行くことが必要である。また、地球環境の現状と長期変動のトレンドを把握することが地球環境の将来を予測する上で不可欠であり、「長期間継続した地球環境モニタリング」が、今後一層重要となる。ここでは、このような観点に基づき、我が国の地理的環境を活かした今後10年間の重点的な観測課題と推進体制について以下に提言する。

(1) 観測体制の確立

アジア大気汚染の総合的監視のために、研究観測

とオペレーショナルな観測とが一体となった対流圏化学種を対象とした地上スーパーサイトの構築，及びアジア・オセアニア域を対象としたアジア大気汚染監視衛星の打ち上げが今後 10 年間の最重点課題である．また、今後成層圏・対流圏複合の大気化学衛星による高い空間分解能を備えた情報への要望が高まるとしても、衛星観測実現に長期間を要する．そこで、衛星観測の実現に備えて、いくつかのキーになる物質をおなじ空間で同時に計測する必要性が高まってくることを踏まえた計画作りを今から開始する必要がある．

総合的な海洋汚染モニタリングのためには、現実的に海洋汚染観測を実施している関係機関等の連携により、海洋観測船、篤志観測船、人工衛星、ブイ等の多様な観測プラットフォームを活用した観測体制、情報共有ネットワークの構築が重要である．観測体制を検討する上で、広大な海洋環境における広範囲な物質の高密度、高頻度の観測体制を直ちに整えることは困難であることから、観測範囲の適切な抽出が緊要である．また、広域海洋への汚染物質の輸送および拡散過程、海洋生態系との相互作用、全球レベルの物質循環の把握には、大気との相互作用の観測を併せて行なうことが不可欠である．

(2) 観測を強化すべき重点領域

アジア地域における既存観測拠点の将来性・重要性評価に基づく、東/東南/南アジア、東シベリア等の観測空白地域での観測拠点の配置計画を検討し、その強化・適正化を図る．併せて、アジアに適したモニタリング手法の開発、観測ガイドライン作成、アジアにおけるキャパシティビルディングの検討が不可欠である．また、南極や北極にわが国は強力な観測拠点を持っており、これらを利用した極域成層圏の観測を強化展開して行く．日本周辺海域の海洋環境と密接に関係する東/東南/南アジア周辺海域の海洋汚染の監視については、日本が中心となって関係諸国と連携・協力して総合的な海洋環境モニタリングの実現に取り組んでいく必要がある．

(3) 業務的な長期モニタリング観測と研究観測の連携による観測研究・情報共有化

地球環境変動の長期トレンド監視のためには、数十年を想定した長期モニタリング観測とプロセス研究を想定した短期間の個別研究観測の両者が必要であり、それぞれの特性を活かした連携と協力が重要である．このためには、地球環境のモニタリング観測と研究観測の関係者が協議し、知見・データの共有による観測システム・内容の改良とデータの相互

活用を図る連携・協力体制と予算システムの確立が不可欠である．たとえば研究観測から業務的な長期モニタリング観測への移行研究、観測プラットフォームの研究機関とモニタリング機関の共管利用などを実施するための予算を設ける．

さらには、定常的な観測システムと研究者コミュニティとの連携強化を図る上で、定常的な観測システムに研究者を受け入れやすい枠組み、定常的な観測システムの評価基準に研究者による成果の活用を加えることなども必要である．

(4) モデル研究と観測研究の連携

地球観測データの共有と活用を考える上で重要な点は、モデル研究と観測研究の連携のもとにモデル研究者の利用を考慮したデータの内容と共有体制を構築することである．その際に、モデル研究と観測研究の両者の相互活用と相互利益の拡大を図ることが重要である．また、国際的な観測・プロジェクトとの連携の方策、国際組織の気候変動/大気成分変動/海洋環境変動の総合的観測とデータの多面的利用戦略についても検討する．

(5) 観測技術の開発と活用

日本の航空機、大気球、衛星等の搭載機器、リモートセンシング技術やそれらを使った研究の質の高さは充分評価されているといえる．大気観測技術の開発を一層強化するとともに、その技術を活かしたアジアを中心とする世界の既存観測拠点での国際協力を今後一層重視する．また、地球規模の海洋観測実現のために、まず海洋観測プラットフォームの確立が不可欠である．さらに広大な海洋環境観測を効率よく進めるためには、海洋環境での使用に耐える各種センサの開発など観測の自動化が強く求められる．

(6) 具体的施策の提言

以上に基づき、地球環境に係わる観測の取り組みを推進する次の具体的施策を提言する．

地球環境観測システム・観測内容の調整・統合のための連携・推進体制・組織（例えば、「地球環境観測戦略策定委員会」）の設立

長期継続的な地球環境観測を推進する予算措置．例えば、「地球環境長期観測研究推進予算」の創設
「東南/東アジア地球環境モニタリングセンター構想」についての検討

3-7. 課題分析表

(「観測ニーズ」の印は重要なニーズを示し、「優先順位」の印は優先的な取組が必要なものを示す)

対流圏微量気体・エアロゾル

分類	観測ニーズ ：重要	現状	ギャップ (問題・課題)	具体的な取り組み	優先 順位	重点化の視点 (留意事項)
排出実 態・濃度 の把握	対流圏短寿命成分 (エアロゾル, オゾン, 前駆 体ガス)濃度の時間変動 の把握	都市圏での観測が主体 東アジア酸性雨モニタリングネットワーク(12カ国) 気象庁 WMO/GAW(Global Atmospheric Watch), 国立 環境研による観測 国立環境研究所による定期 貨物船舶による北太平洋 でのO ₃ , CO観測	地域的・グローバルな 観測とその観測網が 不備 アジアでの観測サイト の不足(GAW: 中国数 カ所, インドネシア1ヶ所) 測定成分・項目の 不足	地域代表性のある ルール, リモートサイト での観測の充実 ガス状微量成分 (O ₃ , CO, VOC, NOx, SO ₂ 等), EC, OC等 エアロゾル(化学成分, 物理的性状, 放射 特性), 残留性有機 汚染物質(水銀・ POPs など)の測定		アジアおよび日本に おける総合的地上観 測サイト(スーパーサイト)構 築の検討
排出実 態・濃度 の把握	対流圏短寿命成分(エ アロゾル, オゾン, 前駆体 ガス)濃度の時間変動 の把握	航空機, ライダー観測 日航財団/気象研究所の 日本航空定期便を利用した 上部対流圏のCO ₂ , CH ₄ , COの モニタリング		対流圏大気化学 観測用航空機による 観測の充実 対流圏オゾンを対象 としたライダー観測 の充実		地球環境観測に貢 献する観測用中型航 空機の保有
排出実 態・濃度 の把握	対流圏短寿命成分 (エアロゾル, オゾン, 前駆 体ガス)濃度の広域空 間変動の把握	欧米での衛星搭載の対流 圏化学種観測による観測の 実施	日本の対流圏化学 観測衛星の欠如	衛星による対流 圏大気汚染広域監 視体制の整備		アジア越境大気汚染 の影響把握の観点か ら特に衛星観測は重 要
排出実 態・濃度 の把握	降水成分観測は環境 の酸性化把握とともに 気候変動の視点から の調査	EANET の整備により他の 物質の観測に比べてむしろ 先行的に充実	降水中イオン成分 以外の観測が十分で ない。	ブラックボンの除 去過程として重要 な降水中への取り 込みの地域的な収 支把握の降水調査 EC/OC(元素状炭 素/有機エアロゾル) などの観測		
アジア越境 大気汚染 の理解	オゾン, 微小エアロゾ ルの流入・越境汚染が 我が国の環境基準達 成に与える影響の把握	都市周辺での大気汚染の 視点からの観測 砂漠化の拡大に伴う土壌 系エアロゾルの監視の視点 からの観測	都市域から離れた リモート地点での観測の 不足	短寿命成分の中 では比較的大気寿 命の長い, O ₃ , CO, VOC, 微小エアロゾ ルなどの観測 水銀, POPs などの 残留性汚染物質 の観測		半球大気汚染の視 点からはアジア全域に わたるリモート地点での 継続観測と地点の適 切な配置が必要
エアロゾル, オゾン等の 地域気候 影響の理 解	エアロゾル・オゾン等の濃 度分布の空間的, 季 節的変動, これらの 地域的気候に対する 影響の把握			エアロゾルの化学組 成, 物理特性, 放 射特性の継続的観 測が重要		
大気微量 成分・エ アロゾルの 生物影響 の把握		一部汚染地域での離散的 調査	大気微量物質と併 せた生物影響の系統 的広域調査の不足	モニタリング手法の検 討		

成層圏オゾン・エアロゾル

排出実態・濃度の把握	オゾン全量と時間変化, オゾン濃度鉛直分布の把握	ドブソン分光光度計等による全量観測(229 地点) オゾンゾンデによる鉛直分布観測(63 地点)(WMO: 全球オゾン観測組織GO3OS)	赤道域, シベリア: 観測ほぼ空白 東南アジア, アフリカ, 南アメリカ: 観測手薄	観測空白地域, 特にシベリア, 東南アジアでの観測の充実	アジアの総合観測サイトの構築による成層圏, 対流圏温室効果ガスの総合的・効率的把握の観点から重要
排出実態・濃度の把握	オゾン全量・鉛直分布の衛星観測による広域監視	衛星搭載の Total Ozone Mapping Spectrometer (TOMS) による観測		長期継続観測 (寿命を超えた運用) 長寿命センサの開発	成層圏大気化学成分衛星による監視体制の充実
排出実態・濃度の把握	オゾン・オゾン層破壊関連物質濃度変動の把握	マイクロ波 / 赤外 / 可視 / 紫外分光観測による各種気体成分変動遠隔観測, オゾンゾンデ観測(約 80 地点)(成層圏変化検出ネットワーク NDSC)	東南アジア, アフリカ, 南アメリカ: 観測手薄特に赤道域: 観測空白	空白地域の解消, またの観測測器・項目の充実(オゾン全量, オゾン鉛直分布, ClO, HCl, ClONO ₂ 等の観測) 観測開始後 10 年経過, 継続の確保	成層圏・対流圏大気化学衛星センサの検証にも重要
オゾン層破壊プロセスの理解	エアロゾルと成層圏放射・熱収支及び成層圏オゾン破壊との関係の解明	ライダーによるエアロゾル観測 ライダーの開発や利用については世界をリード	エアロゾルのサブリング調査の不足	エアロゾル濃度の他に, 粒径分布, 形状, 表面状態観測 化学組成調査の成層圏航空機・大気球観測	極域の成層圏, 火山噴火直後の成層圏エアロゾル観測を定常体制に移行
	南極オゾンホール / 北極オゾン層破壊と気候変動の解明	極域におけるドブソン分光光度計等による全量観測 オゾンゾンデによる鉛直分布観測結果と成層圏気温, 極域成層圏雲の観測		成層圏水蒸気,	極域での長期的
		北極域でのオゾン集中観測 ILAS プロジェクト等		気温の同時観測 極成層圏エアロゾルの形成過程の大気レーダ・大気球観測	観測の継続
	オゾン層破壊に関連する物質全量・鉛直分布の総合解析	Satellite Aerosol and Gas Experiment (SAGE), Halogen Occultation Experiment による観測 NDSC による観測		ミリ波・サブミリ波観測による成層圏大気成分観測衛星の運用	ミリ波・サブミリ波による観測技術の開発
オゾン層破壊の影響観測	地上紫外線ス펙トル / UV-B 量(NDSC)紫外線増大による生物影響調査	地上紫外線分光ス펙トル観測	東南アジア, アフリカ, 南アメリカにおける観測手薄で, 特に赤道域観測が空白 生物影響実態の系統的調査の不足	地上紫外線量と生物影響実態の系統的調査	

広域海洋汚染

排出実態・濃度の把握	海洋バクテリア汚染の把握	北西太平洋及び日本周辺海域の海水中の重金属及び油汚染の観測を海洋気象観測船により定期的実施(気象庁)				アジアの海洋環境の総合的モニタリングを各国の連携・協力で行
排出実態・濃度の把握	日本周辺海域、閉鎖性の高い主要湾域等での汚染の把握	日本周辺海域、閉鎖性の高い主要湾域等において定期的に海水や海底堆積物を採取、油分、ポリ塩化ビフェニル(PCB)、重金属等の調査(海上保安庁)	調査の多くは沿岸中心、排他的経済水域外の海域の調査は不足 鉛直方向の汚染分布は未把握 底質及び生物・生態系に関する観測は不足	汚染の影響が重大な物質や汚染指標物質の広域総合的調査を数年に1度実施		広域・全球規模の観測には4種の海洋観測プラットフォーム：海洋観測船、篤志観測船、係留ブイ、人工衛星の特徴を生かした有機的運用 気象庁、環境省や海上保安庁などが実施している観測データの電子化、集積化およびデータベース化が必要
排出実態・濃度の把握	海洋生物・生態系を含めた海洋環境の長期にわたる変化を監視	排他的経済水域内の生物・生態系を含めた海洋環境の変化のモニタリング調査(環境省)	有機塩素化合物、有機双環化合物、有機リン系化合物等の海洋汚染のモニタリングは短期間で、海域も限定	海洋生物に濃縮され、長期的に重大な悪影響を及ぼす有害化学物質測定強化・充実		篤志観測船の観測で使用可能なセンサ類の開発観測自動化は最重要課題
排出実態・濃度の把握	有害化学物質の影響実態把握	有害化学物質の魚介類中蓄積状況の実態把握、魚介類への影響実態調査(水産庁)		難分解性有機汚染物質の生態系プラットフォームの各段階における生物中の濃度調査を実施		
汚染プロセスの理解	海洋汚染プロセスの解明(研究プロジェクト)	数年の研究期間での広域あるいは地球規模の海洋汚染・環境観測	離散的なデータ収集、また観測規模、期間共が不十分	各種競争資金の充実 大気経由の有害化学物質の長距離輸送による負荷の観測を含む北太平洋全域の研究モニタリングの実施		研究プロジェクトによるデータは成果報告・論文等で必要な範囲での部分的公開
汚染プロセスの理解	外洋域の一次生産量に關与する必須元素、大気汚染物質、海洋生態系放出ガス状物質などのメテオロロジックスの把握	動態・プロセス解明のための広域・地球規模の海洋物質循環、汚染観測は科研費および地球環境研究総合推進費等により一部実施	内容・規模、期間共に不十分	海洋からの自然起源の硫化メチルや塩化エチル、臭化メチルなどの有機ハロゲン化合物の動態と海洋汚染の同時調査		広域大気-海洋相互作用の観測では特に海洋側からの視点(汚染物質の輸送、海洋生態系との関わりなど)が重要
影響プロセスの理解	生態系に対する海洋汚染の影響の包括的な把握：生物中の汚染物質濃度のモニタリングと生物個体数・種類数などの生物群集構造に関する同時調査の実施	海洋構造、海洋生物の調査を含む海洋観測を気象庁、環境省、水産庁などで定期的実施 JAMSTEC、東京海洋大学、東京大学海洋研究所などを中心としたプロジェクト観測で実施	海域、季節、頻度などが限定 生態系の調査は圧倒的に不足	海洋構造把握の水温、塩分観測、化学・生物学的状況把握の栄養塩類、ケロフィド、さらに動植物プランクトン類調査 生物個体数・種類数などの生物群集構造の調査 海洋環境の変動は気候変動や炭素循環とも深く関連、これらの観測と併せて実施		有害化学物質は生物蓄積、高毒性、広域拡散等の特性から長期的な悪影響が懸念、海洋生物の長期監視が不可欠 海洋表層の物理的構造が大気循環の変動や地球温暖化などの影響で変動、さらに海洋表層の物質循環や生物の活動に影響、これらの相互作用の把握が重要