

III 特記すべき事項

1 オゾンレーザーレーダーによるモニタリングの結果について

1. 背景と意義

クロロフルオロカーボン (CFCs) などによるオゾン層破壊の可能性については1970年代からカリフォルニア大のローランド教授など一部の研究者から指摘されていたが、問題の深刻さが広く認識されるようになったのは、1980年代半ばに南極上空にオゾンホールが発見されてからのことである。モデル予測を越えるオゾン破壊が、南極だけに見られる局地的な現象か、それとも地球規模の問題であるのかという問いに対して答えたのが、1988年のオゾントレンドパネル (地上からのドブソン分光光度計による観測データの解析などを目的として、WMO、UNEP<国連環境計画>や米国のNASA、NOAA等が協力して組織されたもの。) である。この報告では、北半球中高緯度で冬季にオゾン全量が有意に減少していることが初めて確認された。

表1 オゾン全量の傾向 (10年間におけるパーセント変化と95%信頼度に対する幅；
1991年オゾン減少に関する科学的アセスメント報告「グゼクティブサマリ-1」)

時季	TOMS : 1979~1991			地上観測 : 26° N ~ 64° N	
	45° S	赤道	45° N	1979~1991	1970~1991
12~ 3月	-5.2 ± 1.5	+0.3 ± 4.5	-5.6 ± 3.5	-4.7 ± 0.9	-2.7 ± 0.7
5~ 8月	-6.2 ± 3.0	+0.1 ± 5.2	-2.9 ± 2.1	-3.3 ± 1.2	-1.3 ± 0.4
9~ 11月	-4.4 ± 3.2	+0.3 ± 5.0	-1.7 ± 1.9	-1.2 ± 1.6	-1.2 ± 0.6

1991年のオゾン減少に関する科学的アセスメント報告¹⁾によると、表1に見られるように、オゾン減少の程度は1980年代になって大きくなっており、北半球中緯度においても特に冬季にオゾン全量が減少している。

また、オゾン全量のトレンドは、緯度だけではなく経度によっても異なることも知られている。

オゾン高度分布のトレンドに関しては、これまでのところ信頼性の高いデータが十分得られていないために評価は困難であるが、1991年の科学アセスメントにはトレンド評価の一例が示されている (図1)。

図1 オゾン高度分布(右)及びオゾン高度分布トレンドの観測値と古典的なモデルによる予測値(1991年オゾン減少に関する科学的アセスメント報告¹⁾)

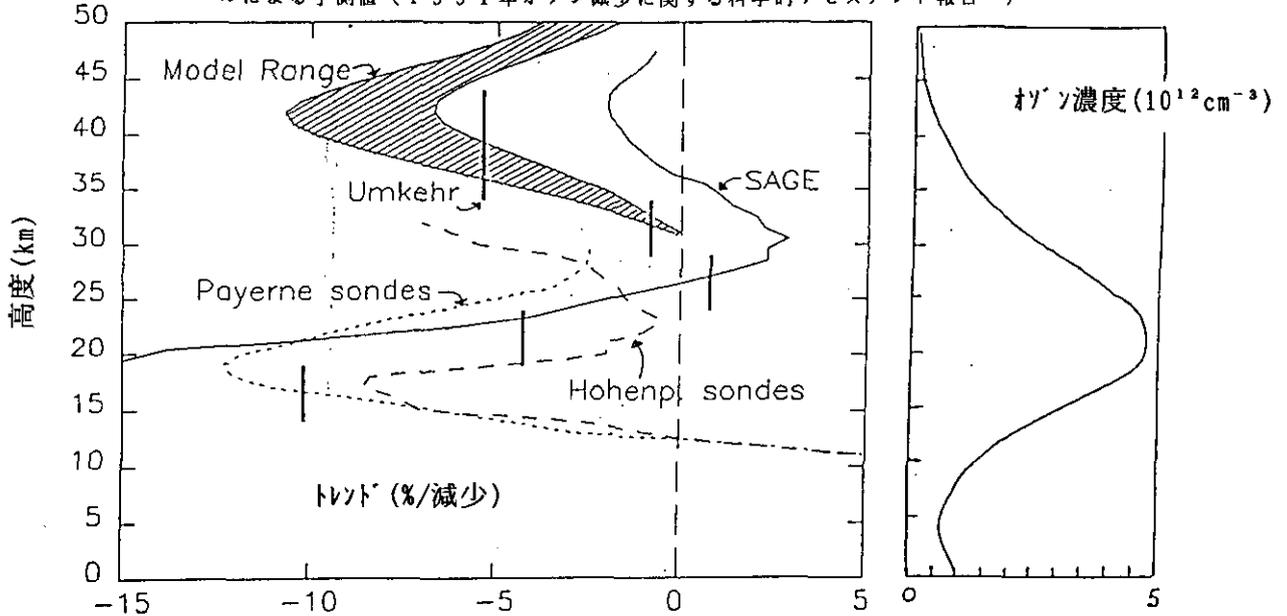


図1でも明らかなように、観測値とモデルによる差のみならず観測値同士でもトレンドが異なっており、オゾン高度分布のトレンド評価はこれからの課題であると言える。しかしながら、高度20 km付近と40 km付近でオゾンが減少していることについては、すべての観測データについて共通である。

2. 国際的なネットワーク観測の動向

オゾンの国際的なネットワーク観測は1950年代からWMO(世界気象機関)によって組織的に行われており、また衛星観測がグローバルデータを提供している。しかし、オゾン層破壊の総合的なモニタリングのためには、WMOのネットワークや衛星観測と補完的なハイテク遠隔計測機器による地上観測ネットワークの整備を行う必要性が明らかになり、主体はNDSC(Network for the Detection of Stratospheric Change; 成層圏変化検出のためのネットワーク)が1986年に提案され、1993年からの始動を目標に計画が進行している。

NDSCは、①オゾン等の高度分布を高精度で観測する、②オゾン以外のオゾン層破壊関連物質の観測を行う、という特長を持っている点で他のネットワークと異なる。観測項目と測器を表2に示す。

NDSCの中心的な役割を果たす測器であるオゾンレーザーレーダー(高度40 kmまで観測可能なもの)の設置状況を図2に示す。日本付近では、国立環境研究所及び気象研究所のオゾンレーザーレーダーのみが観測を行っており、モニタリングとして継続的に実施されている国立環境研究所のレーザーレーダー観測は重要な地位を占めている。

表2 成層圏変化検出のためのネットワーク(NDSC)において測定する物質と使用される測器

微量成分(高度)	測 器
オゾン気柱全量	ドブソン分光光度計
オゾン(0-20 km)	ライダー(レーザーレーダー)
オゾン(15-45 km)	ライダー(レーザーレーダー)
オゾン(25-75 km)	マイクロ波
気温	ライダー(レーザーレーダー)
ClO(25-45 km)	マイクロ波
水蒸気(0-30 km)	気球搭載湿度計
水蒸気(>20 km)	マイクロ波
エアロゾル(0-30 km)	ライダー(レーザーレーダー)
二酸化窒素(成層圏全量)	可視/紫外分光計
塩化水素(成層圏全量)	赤外分光計
メタン(成層圏全量)	赤外分光計
一酸化二窒素(20-50 km)	マイクロ波
硝酸(成層圏全量)	赤外分光計
ClONO ₂ (成層圏全量)	赤外分光計
OH(40-60 km)	紫外蛍光ライダー
HO ₂	マイクロ波

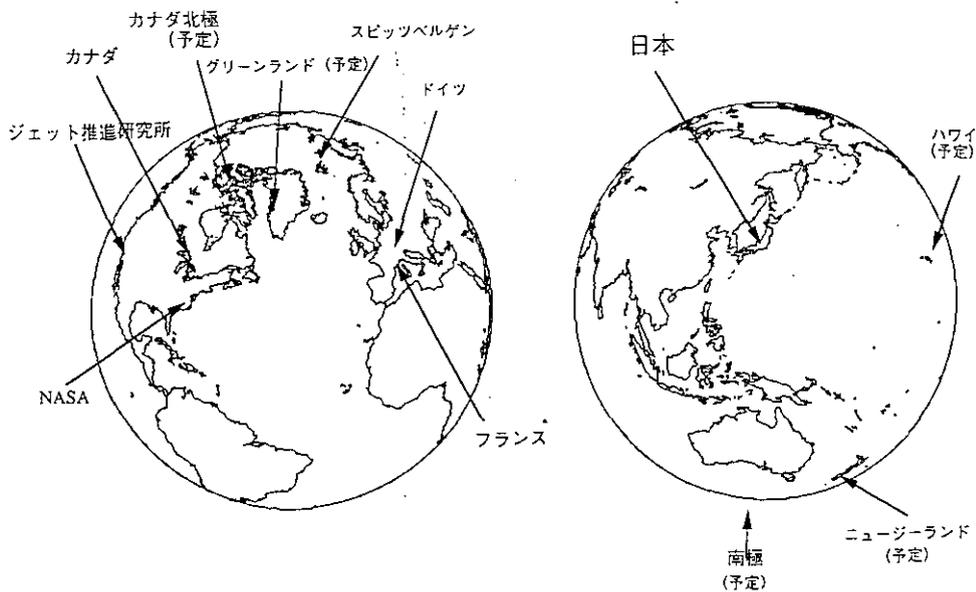


図2 世界のオゾンレーザーレーダーの設置状況

3. オゾンレーザーレーダーの原理と装置の概要

図3に示すように、地上に到達する紫外線量は300nm付近で急激に変化する。この波長領域におけるオゾンによる紫外線の吸収量の変化の大きいことを利用して、様々なオゾン測定法が開発されているが、レーザーレーダーもそのひとつである。

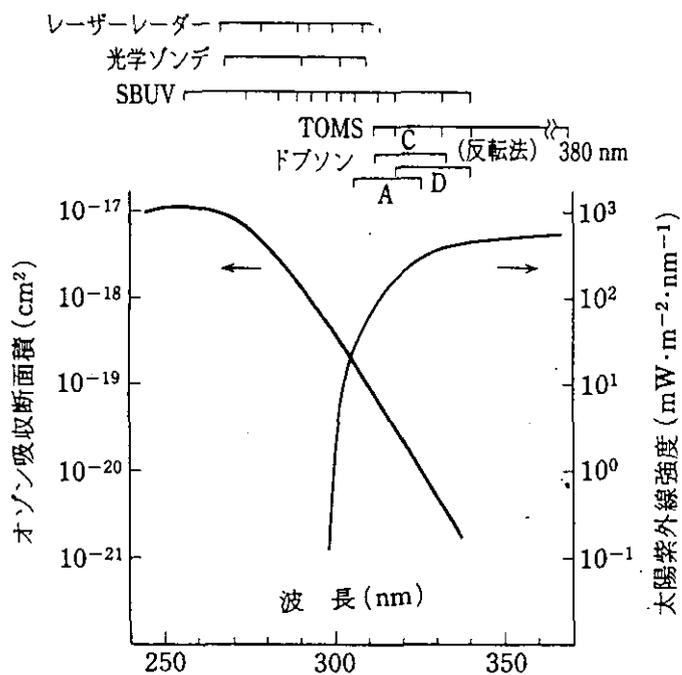


図3 オゾンの吸収断面積と地上紫外線量の波長分布²⁾

図4にオゾンレーザーレーダーの原理を示す。オゾンのような気体成分の高度分布を測定するレーザーレーダーは、気体に強く吸収される波長とそれほど吸収されない波長のレーザー光パルスを発射し、空気やエアロゾルによって散乱されて戻ってきた光を望遠鏡によって集光した後、検出器によって検出する。レーザー光パルスを発射してから受信するまでの時間遅れから高度が計算できる。ある高度から散乱されてきた2波長の光の減衰量の違いは主としてオゾンによる減衰量の違いによって生じる。すなわち、オゾンによる光の減衰量の積分値が高度に対して連続的に測定されるので、これを高度について微分すればオゾン濃度の高度分布を求めることができる訳である。

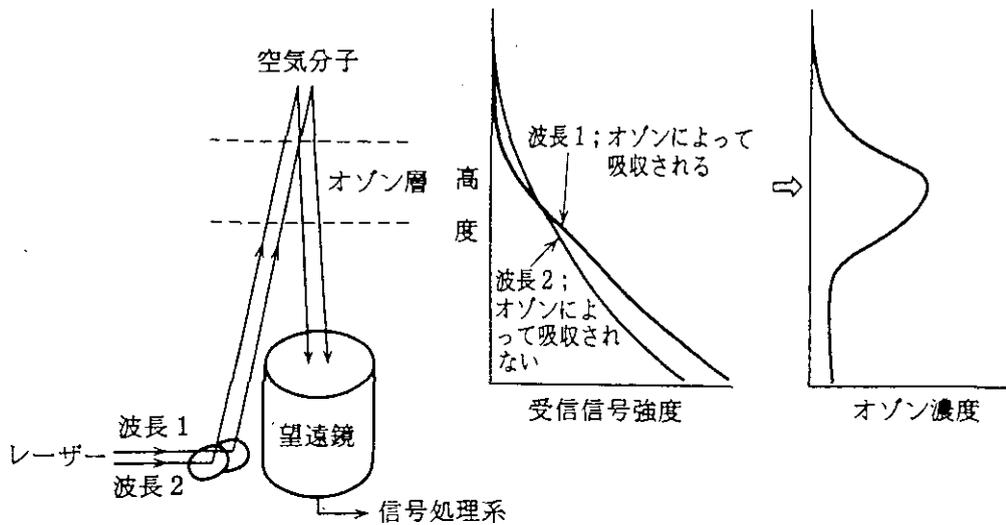


図4 オゾンレーザーレーダーの原理²⁾

図5に国立環境研究所のオゾンレーザーレーダーのブロック図を示す。オゾンレーザーレーダーシステムは、高度15 kmから45 km付近までを測定する高高度システムと高度15 kmまでを観測する低高度システムから構成されている。高高度システムは2台のエキシマーレーザーと直径2 mの望遠鏡を持ち、308 nm、339 nm、351 nmの3波長を使って観測を行う。低高度システムは1台のレーザーと直径56 cmの望遠鏡を持ち、277 nm、292 nm、313 nmの3波長を使って観測を行っている。3波長を使用するのは、空気だけではなくエアロゾルによるレーザー光の散乱があるのでその影響を検出したり補正するためである。現在はピナツボ火山エアロゾルの影響が非常に大きいので、低高度システムの313 nmを15 km以上の高度の観測に使用している。表3に装置の仕様を示す。

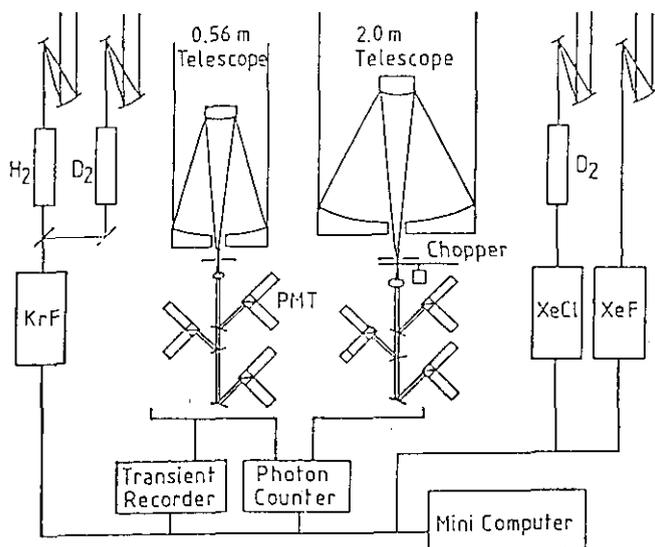


図5 国立環境研究所オゾンレーザーレーダーシステムのブロック図³⁾

高高度システム送信系

XeCl レーザ (ラムダフィジクス EMG160TMSC)
出力 33W, 繰り返し 250Hz, 注入同期型
ラマンシフター (ラムダフィジクス RS75)
308nm 基本波, 339nm D2 (S1)
XeF レーザ (ラムダフィジクス EMG160TMSC)
出力 12W, 繰り返し 250Hz, 注入同期型
351nm 基本波
3倍ビームエキスパンダー

低高度システム送信系

KrF レーザ (ラムダフィジクス EMG201MSC)
出力 32W, 繰り返し 80Hz, 不安定共振器つき
ラマンシフター (ラムダフィジクス RS75 2個)
277nm H2 (S1), 292nm D2 (S2)
313nm H2 (S2)

高高度システム受信系

受信望遠鏡口径 2 m, 視野角 (Typical) 0.4mrad
メカニカルチョッパー
干渉フィルターバンド幅 2nm
光電子増倍管 (EMI9813QB) 6個

低高度システム受信系

受信望遠鏡口径 0.56m, 視野角 (Typical) 0.9mrad
干渉フィルターバンド幅 2nm
光電子増倍管 (EMI9813QB)
ゲインスイッチつき 6個

データ処理システム

フォトンカウンター
入力チャンネル数 12 (DSP2090+4101)
カウントレート 100MHz, ゲート時間 1 μ s
セグメント数 2048
高速繰り返し数 250Hz 以上, 精度 24ビット

トランジェントディジタイザー

入力チャンネル数 6 (DSP2030+4100) 6個
サンプリングレート 20MHz, セグメント数 8192
高速繰り返し数 250Hz 以上, 精度 24ビット

ミニコンピューター (DEC PDP11/53)

表3 国立環境研究所オゾンレーザーレーダーシステムの仕様

4. オゾンレーザーレーダーによって得られたデータ

4.1 データ診断

オゾンレーザーレーダーによる観測は1988年8月に開始された。得られたデータからデータ診断により信頼性の高いデータを選択し、オゾン高度分布の形で蓄積している。特に、308nm-351nmの波長組の信号から得られたオゾン高度分布と308nm-339nmの波長組の信号から得られたオゾン高度分布の比較は、エアロゾルの影響の診断、光学系のアライメントの良否の診断を行う上で有効である⁴⁾。図6に2波長組から得られたオゾン高度分布を重ねて示したが、両者がほとんど重なっておりエアロゾルの影響やミスアライメントによる系統誤差を検出することのできない良好なデータであると考えて良い。また、取得されたデータは、衛星センサーSAGE IIの観測結果と比較されたが良好な一致が得られており⁵⁾、またオゾンゾンデ観測結果との一致も良い(図7)。

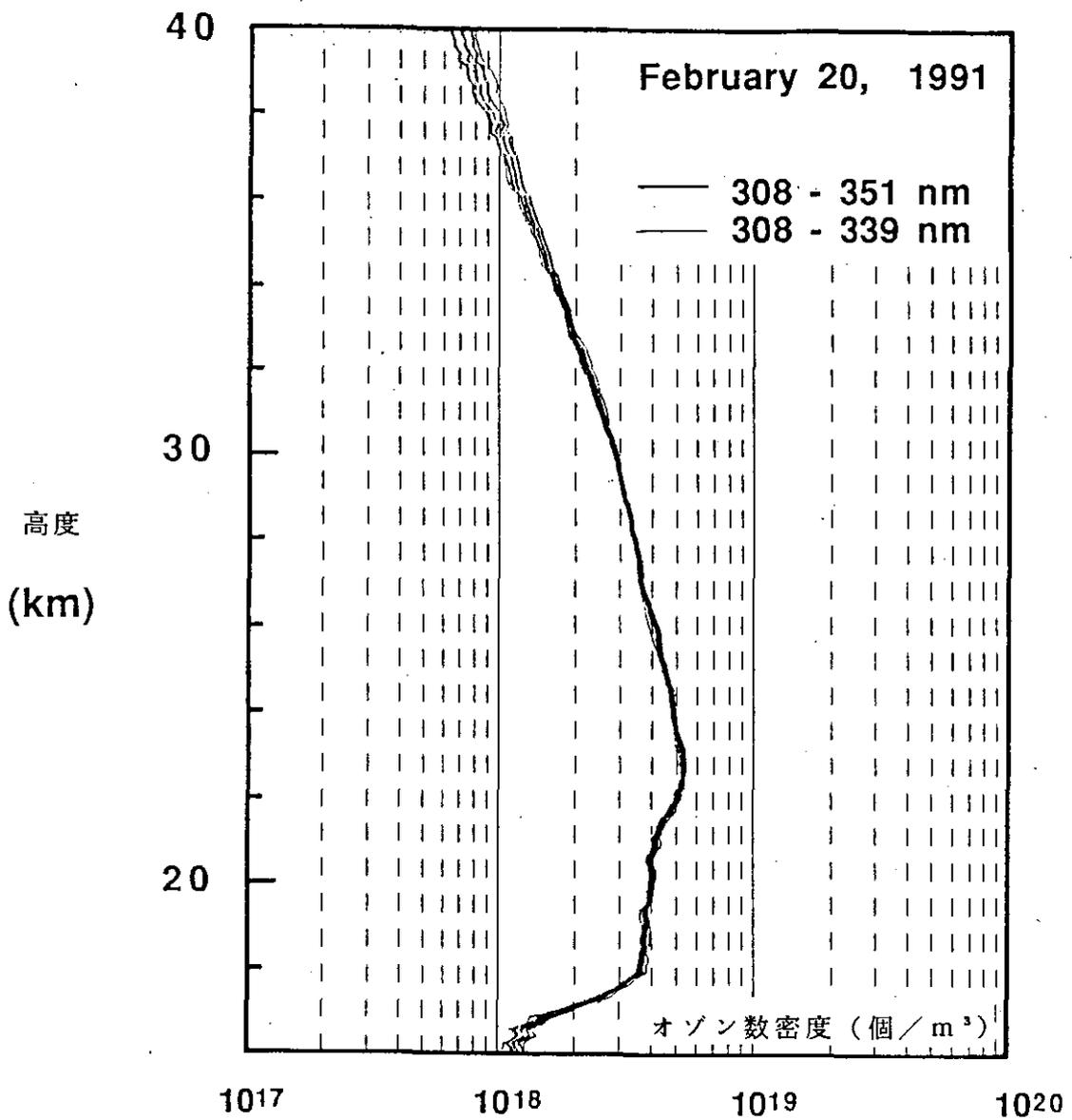


図6 308 nm - 351 nm、308 nm - 339 nmの2波長組の信号から得られたオゾン高度分布。両側の実線は誤差（標準偏差）を示す。

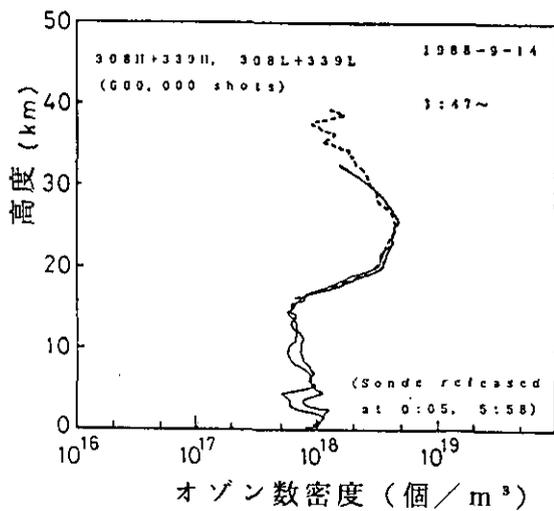


図7 オゾンレーザーレーダーとオゾンゾンデ観測結果の比較

4.2 オゾン高度分布の変動

オゾンの変動で最も大きなものは季節変動であるが、季節変動の様子は高度によって大きく異なる。図8に典型的な夏（点線）と冬（実線）のオゾン高度分布を示した。高度30 km～35 kmでは夏にオゾン濃度が高く、高度20 km付近では冬から春にかけてオゾン濃度が高くなっている。前者は光化学過程によるオゾンの生成が夏に活発になることを反映し、後者はオゾンの輸送が冬から春にかけて活発になることを反映している。また、破線は冬の後半にオゾン濃度が急に増加した時のオゾン高度分布であるが、冬から春にかけてのオゾンの変動の大きさを示す好例である。

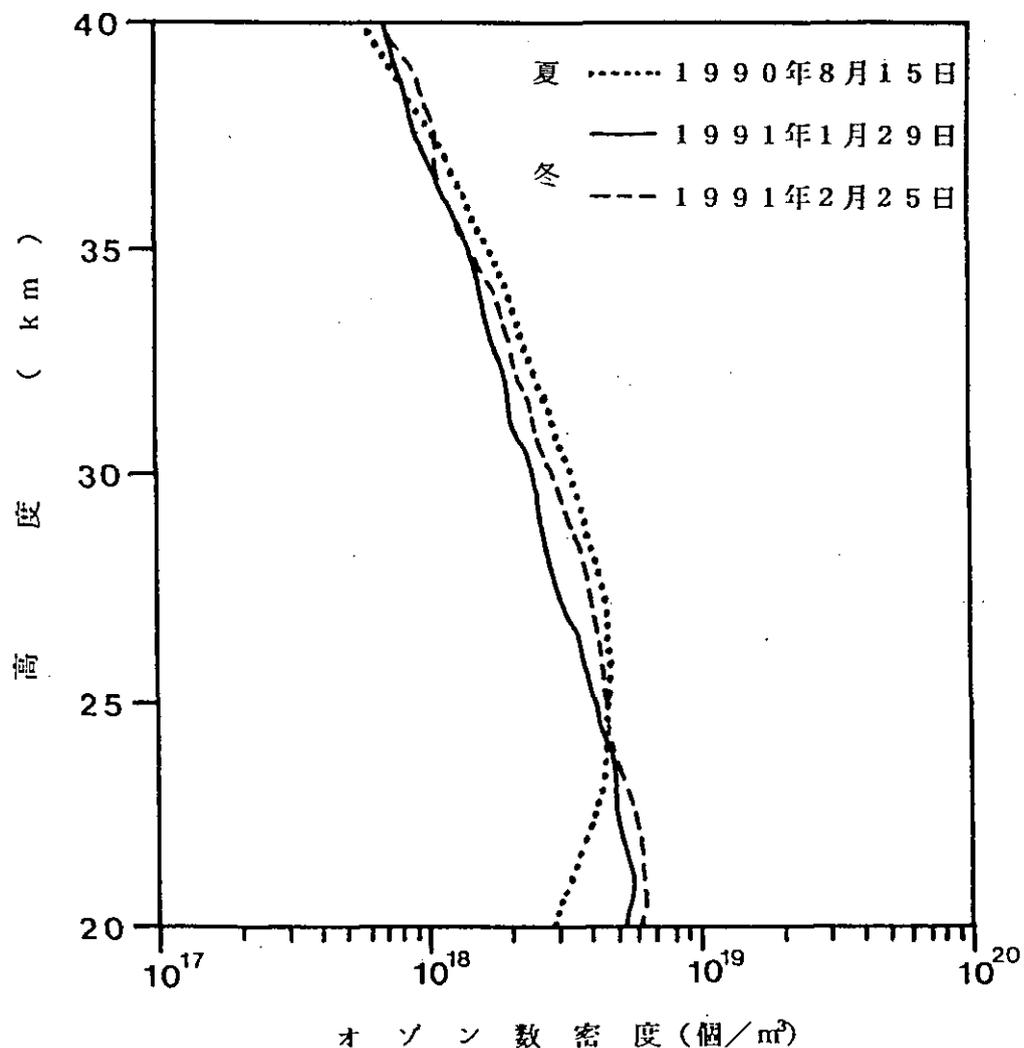


図8 オゾンレーザーレーダーによって観測された夏季と冬季のオゾン高度分布

図9は観測開始以来の約3年間のオゾン変動を高度毎に示したものである。高度20 kmでは春の極大と夏の極小、高度30 kmと35 kmでは夏の極大と冬の極小が明瞭に示されている。高度25 kmと高度40 kmでは季節変動は不明瞭であるが、これは図8において夏と冬のオゾン高度分布が交差する高度になっていることに対応している。

3年間の観測結果のみからオゾントレンドについて論ずることは不可能であるが、館野（つくば）の高層気象台において観測された1968年12月～1990年8月の間の月毎の平均値と比較することによりオゾンレーザーレーダー観測期間中のオゾン高度分布の特徴を把握することが可能である。この比較によると高度30 km、35 kmではほとんど差は認められなかった。高度25 kmでは1989年を中心に、図中に示した季節変動の下限以下の値を示すことが多かったが、1991年には1、2月を除けば平年値に近い値であった。高度20 kmではオゾン濃度変動が大きく、比較することは困難である。

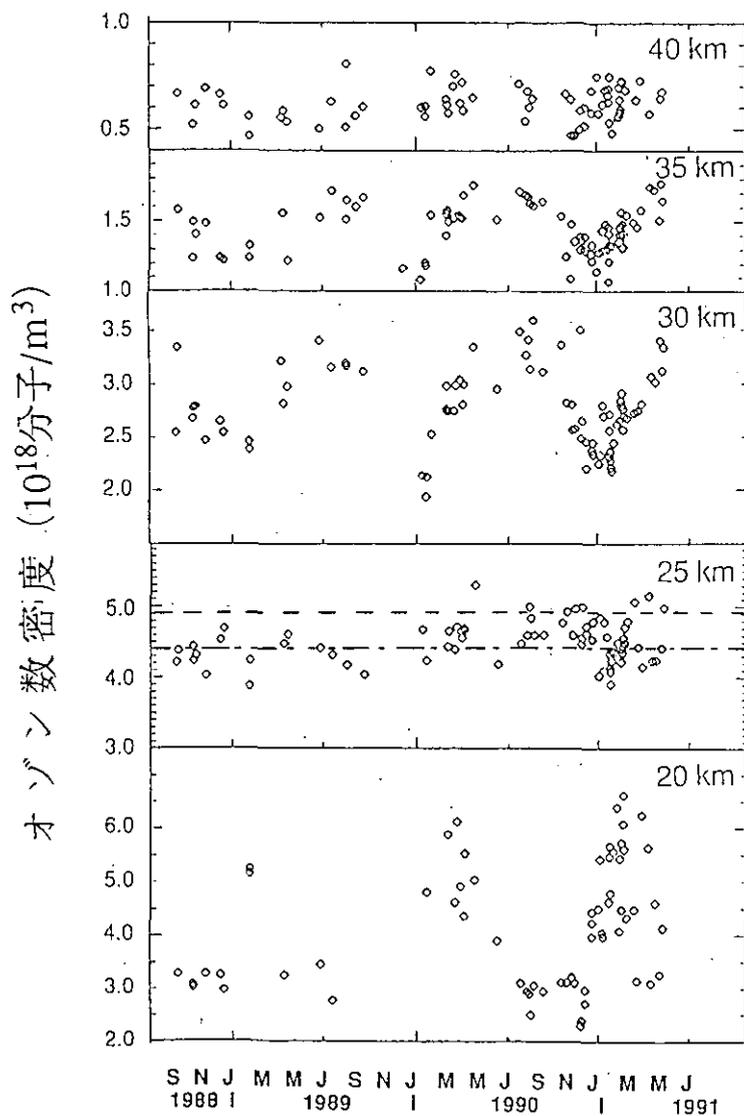


図9 国立環境研究所オゾンレーザーレーダーによって観測された1988年9月～1991年5月までの各高度におけるオゾン変動。1968年12月～1990年8月の間の高層気象台によるオゾンゾンデ観測結果の月毎の平均値の上限（破線）と下限（一点鎖線）を25 kmにおいて示した。

5. 1991年6月以降のオゾン層の状況及びオゾンレーザーレーダー観測

1991年6月中旬にフィリピンのピナツボ火山が噴火し成層圏に今世紀最大量のSO₂が注入された。このSO₂が変成した硫酸エアロゾルと火山灰が6月28日以降つくば上空に漂っているため、高度30km以下ではオゾン高度分布データにエアロゾルに起因する系統誤差が生じている。本研究所のレーザーレーダーでは3波長を用いているためエアロゾルによる系統誤差の存在する高度領域の特定が容易に行える他、エアロゾルの影響の補正が理論的には可能である⁹⁾。このような補正の有効性については現在研究として行っているところである。

6. まとめ

オゾンレーザーレーダーによる観測は当初研究として実施されてきたが、平成2年度からモニタリングとしての観測が並行して行われるようになり、年間52日以上での観測が2年連続して行われるようになった。この間、特別研究「成層圏オゾン層の変動とその環境影響に関する基礎的研究」、地球環境研究総合推進費による「オゾン層の時間的・空間的変動の動態解明に関する研究」及び「成層圏オゾン層の物理的・化学的変動機構の解明とオゾン層変動の予測に関する研究」において行われたオゾンレーザーレーダーのハードウェアの改良、データ解析法の高度化、オゾン変動の研究の成果及び観測結果をモニタリングに取り入れることによってモニタリングを量、質の両面において向上させることができた。今後とも、研究の成果をモニタリング手法の高度化、データ利用手法の開発等に取り入れ、モニタリングの内容を豊かなものにして行くことが重要である。(文責 地球環境研究グループ オゾン層研究チーム 総合研究官 地球環境研究センター 併任 中根英昭)

参考文献

- 1) R.T. Watson and D.L. Albritton, Scientific Assessment of Ozone Depletion: 1991(1991).
- 2) 中根英昭、「オゾン層を守る」、環境庁「オゾン層保護検討会」編、日本放送出版協会、116-129(1989).
- 3) 杉本伸夫・笹野泰弘・中根英昭・林田佐智子・松井一郎・湊淳、成層圏および対流圏オゾン鉛直分布の測定を目的とする多波長オゾンレーザーレーダーの製作、応用物理、58、1385-1397(1989).
- 4) Y. Sasano, N. Sugimoto, H. Nakane, S. Hayashida-Amano, I. Matsui and A. Minato, Multiple-wavelength differential absorption lidar (DIAL) for measuring the ozone profiles in the stratosphere and the troposphere, Abstracts of First Tsukuba Workshop on Ozone DIAL, Tsukuba, Japan, December 6 and 7 (1989).
- 5) H. Nakane, Y. Sasano, S. Hayashida-Amano, N. Sugimoto, I. Matsui, A. Minato and M. P. McCormic, Comparison of ozone profiles obtained with NIES DIAL and SAGE II measurements, submitted to J. Meteorol. Soc. Japan (1992).
- 6) Y. Sasano, Simultaneous determination of aerosol and gas distribution by DIAL measurements, Appl. Opt., 27, 2640-2641(1988).

2 日韓フェリーによるモニタリングの結果について

1. 目的

海洋に関する環境問題としては、有害化学物質による汚染が第一にあげられる。また、一方で、人間活動の増大とともに、炭素（C）、窒素（N）、リン（P）などの親生物元素と呼ばれる元素の循環がかく乱を受けていることも事実である。海洋は、地球の表面積の7割を占めており、地球全体の環境を安定化させる働き（バッファ作用）をもっている。この働きには、物理的な要素だけでなく、物質循環、生態系の機能がからんでいる。したがって、このようなメカニズムを明かにしつつ、人為影響による長期的な海洋環境変動のトレンドを明かにしてゆく必要がある。有害化学物質による汚染ならば、製造・使用の中止や処理法、代替物質の開発というような意志決定が可能であるし、そうすることが必要なのである。ところが、親生物元素の循環のほうは、資源開発、肥料製造・使用、都市・生活排水など、人間活動の基本的な営為に関わる。また、自然そのものの循環量や反応量、変動量も膨大かつ複雑である。行政的な意志決定にいたるには、人間活動の結果がデータに反映される必要がある。ここで、海洋のバッファ作用は地球にとっては貴重であるが、かえってこの作用があるために、大気側に比べて問題が顕在化するのが遅れるという結果にもなる。

このような状況から、海洋環境に関する基礎的なパラメータを選択し、組織的、時系列的にモニタリングを行い、そこから人間活動の影響を抽出する必要がある。ここで、縁辺海域（沿岸海域、内湾、大陸棚海域等の総称）は、人間活動領域と地球表面の大半を占める大洋域のインターフェイスであるから¹⁾、このような海域でのモニタリングが最初のステップとして重要である。また、この海域を対象をしぼることによって、時空間的に十分な分解能を備えることができるようになる。世界的にみても、現在議論のすすんでいるGOOS計画（Global Ocean Observation System）²⁾が、気候変動のためのモニタリング調査活動とならんで、沿岸海域の環境・生態系の管理をめざした調査活動の策定をめざしている。本モニタリングの目的の一つは、このような動きに貢献することである³⁾。

2. 計測項目の選択

図1は、海洋、特に縁辺海域において重要な過程を模式的に示したものである。まず、海洋生態系の基礎は植物プランクトンの一次生産であり、この生産速度は、太陽入射光エネルギーと栄養塩濃度で規制されている。このため、植物プランクトンの現存量（バイオマス）は、春期大增殖（スプリングブルーム）など、自然由来の季節サイクルをもっている。これに加えて、人為的な栄養塩などの負荷が大きくなれば、長期的なトレンドとしてバイオマスは増大すると考えられ、これまでも海域の富栄養化現象として取り扱われてきた。ただ、これまでのように地域的な現象としてとらえるだけでなく、物質循環のかく乱といった考え方が必要である。また、現象的にみても、単に栄養塩濃度が増えていくというものではない。栄養塩のほうは、N、Pや、岩石圏から溶出してくるSi（ケイ素）など元素ごとに、循環形態が異なる。植物プランクトンのほうも、Siを必要とするケイ藻類と、他の藻類というように、種によって栄養塩の要求性が異なる。このため、親生物元素循環への人為介入の結果としての海洋環境の変動は、バイオマスの季節サイクルの変遷や種組成の変動のように、多様な形をとって現れる。

他にもいくつかの海洋生態系の過程が地球環境にかかわってくる。植物プランクトンが増殖するためには、N, P, Siのほかに金属元素などの微量物質等も必要であり、これらが不足して植物プランクトンバイオマス量を抑制している場合がある（増殖制限物質）。このような場所では、大陸からの黄砂、自動車排ガス等からのNO_xのように、大気を経由した物質流入が植物プランクトンの増殖を助ける可能性もある。

一方、海洋生態系は受動的な役割ばかりでなく、地球環境をコントロールしている可能性もある。海洋はCO₂を吸収しているといわれるが、まだ量的には明かにされていない。地球環境に対する能動的な役割として、植物プランクトンがDMSを放出する過程がある。イオウ化合物であるDMSは、大気中で反応変質し雲形成の際の凝結核となり、太陽入射光の遮蔽・反射することによって温暖化の進行を防ぐという、ガイア仮説がラブロックによって提唱されている。このような過程は、あくまでも仮説であったり、量的な把握がむずかしくたりして定説化にまでいたっていない。

このような様々な過程をこれから明らかにしてゆくために、最少限必要なデータセットは何だろう？最少限というのは、海洋で計測を継続すること自体、それほど簡単なことではないことによる。また、既存の観測ステーションやモデルですむものはいれなくてもよいだろう。こう考えて行くと、植物プランクトンバイオマスの指標量と溶存態の栄養塩を常時計測することがまずあげられる。栄養塩として、珪酸態珪素（SiO₂-Si）、リン酸態リン（PO₄-P）、窒素の3態（NO₃-N、NO₂-N、NH₄-N）が重要である。植物プランクトンバイオマスには、光合成色素であるクロロフィルと、その半分解物であるフェオフィチン（植物プランクトンの死骸に含まれる）が指標になる。また、クロロフィルの計測法として、ろ紙上の粒子状物質をアセトンで抽出して蛍光法で計る方法と、細胞を生きたまま海水とともに計測セルに通し、蛍光を計る方法（in vivo fluorescence法）がある。後者は、無人で連続計測が行える大きな利点があるが、植物プランクトンバイオマス以外の要素も含んでいるので、アセトン抽出分析法と併用する必要がある。また、水温（T）、塩分（S）、pHは、陸水流入、成層の変動や大まかな化学環境の指標として重要であり、蛍光光度と同時に、連続的に計測することにした。

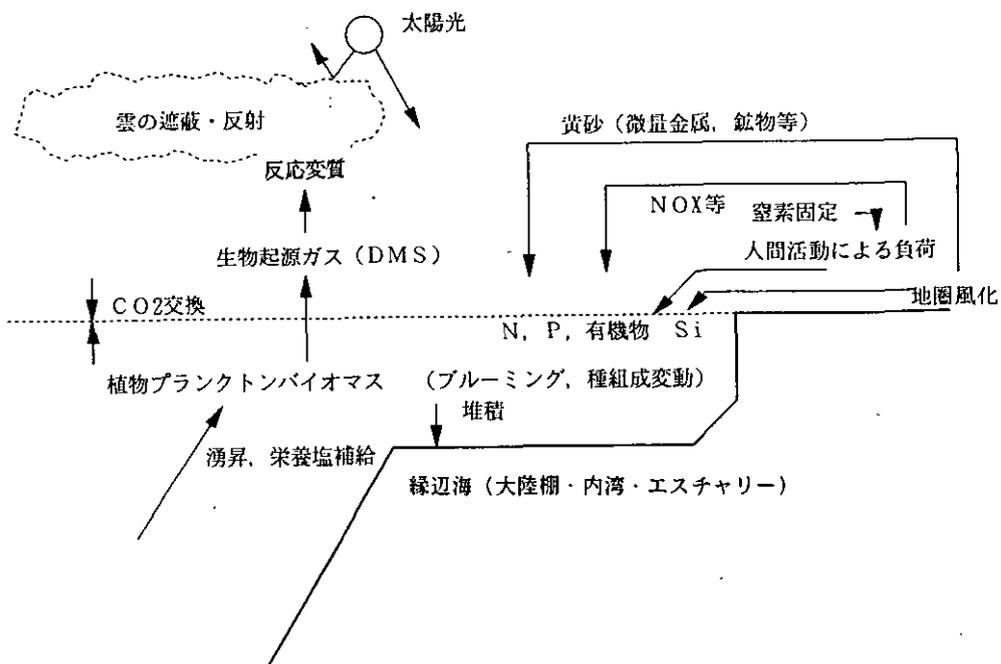


図1. 地球環境変動にかかわる緑海域の諸過程。これらの過程は、植物プランクトンバイオマス、栄養塩を中心として、時間変動、空間分布を常時、長期間モニターする必要がある。

以上のことから、1990年度に図2に示すような計測システムを開発した。連続取水した海水を、オーバーフロータンクに導き、ここでT、S（電気伝導度）、pHの連続計測をおこなう。また、ペリスターポンプでターナー蛍光光度計に送水し、植物プランクトンのクロロフィル指標量をモニターする。これらの連続計測量は、10秒間隔で打点記録計とともにフロピディディスク装置に記録する。また、自動ろ過サンプリング装置により、溶存態栄養塩分析用の採水および濾紙上残留物によるクロロフィル分析を行なう。さらに、任意の海水サンプリング、プランクトン属性のサンプリングを行なうための蛇口を設定した。

3. VOS (Volunteer Observation Ship) の重要性

ところで、CO₂の問題では、マウナロアにおける1点のモニタリング結果が非常に説得力を持った。大気が比較的速く（数十日程度で）循環しているからである。これに比べ、海洋では、より空間分布が著しいから、1点の時系列では代表性がない。したがって、どうしても空間的な分布の計測を兼ね備える必要がある。

このように考えてゆくと、時空間をカバーするプラットフォームを常時占有することが必要であるが、これは観測船を所有している機関でも不可能であろう。もし、民間の定期航路船舶の協力が得られれば、むしろこれが唯一実現可能性のあることである。一般に船舶は、機関冷却のために、船底から海水を連続的に汲み上げている。採取深度が船底水深に限られるという制限はあるが、この取水系から海水を分流して連続計測を行うことができる。

このような経緯から、'檀皇'（9757.34トン、全長160m）を神戸-釜山間に週2往復運航をしている、大阪国際フェリー（株）に協力を依頼し、承諾を得た。計測システムは、1990年度に開発を行い、1991年3月、檀皇のドック入り補修の際に、スタビライザールームに設置と配管を行った。きつ水線はほぼ一定で、海水採取深度は海面下6mである。

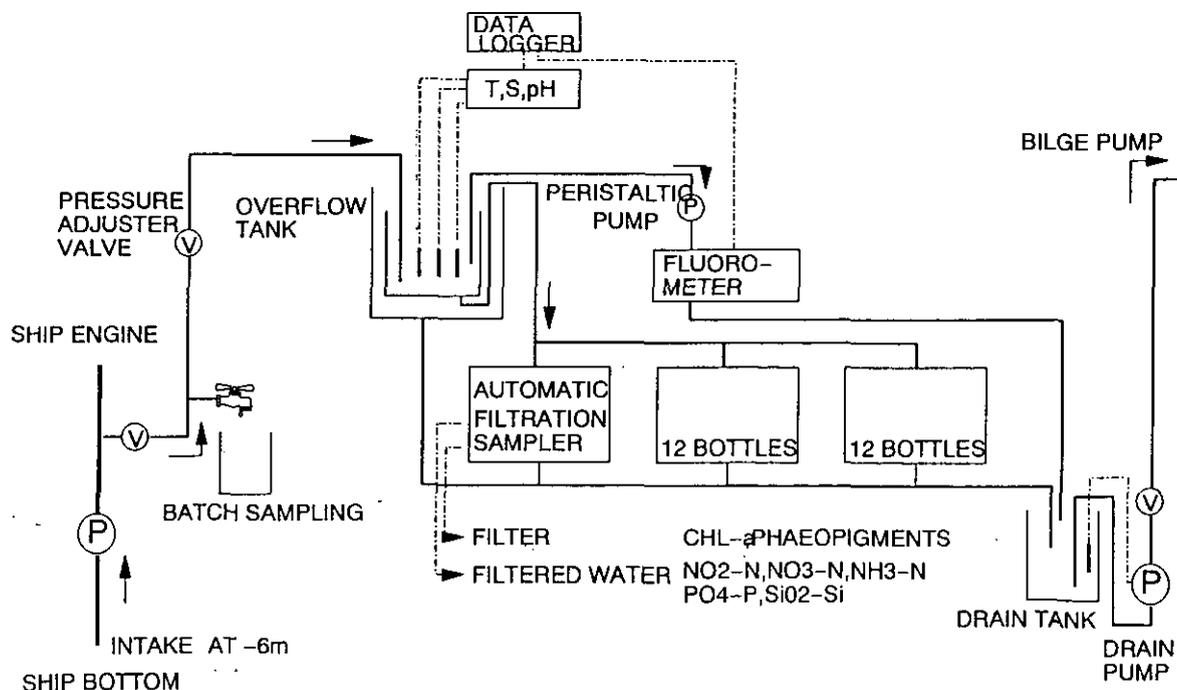
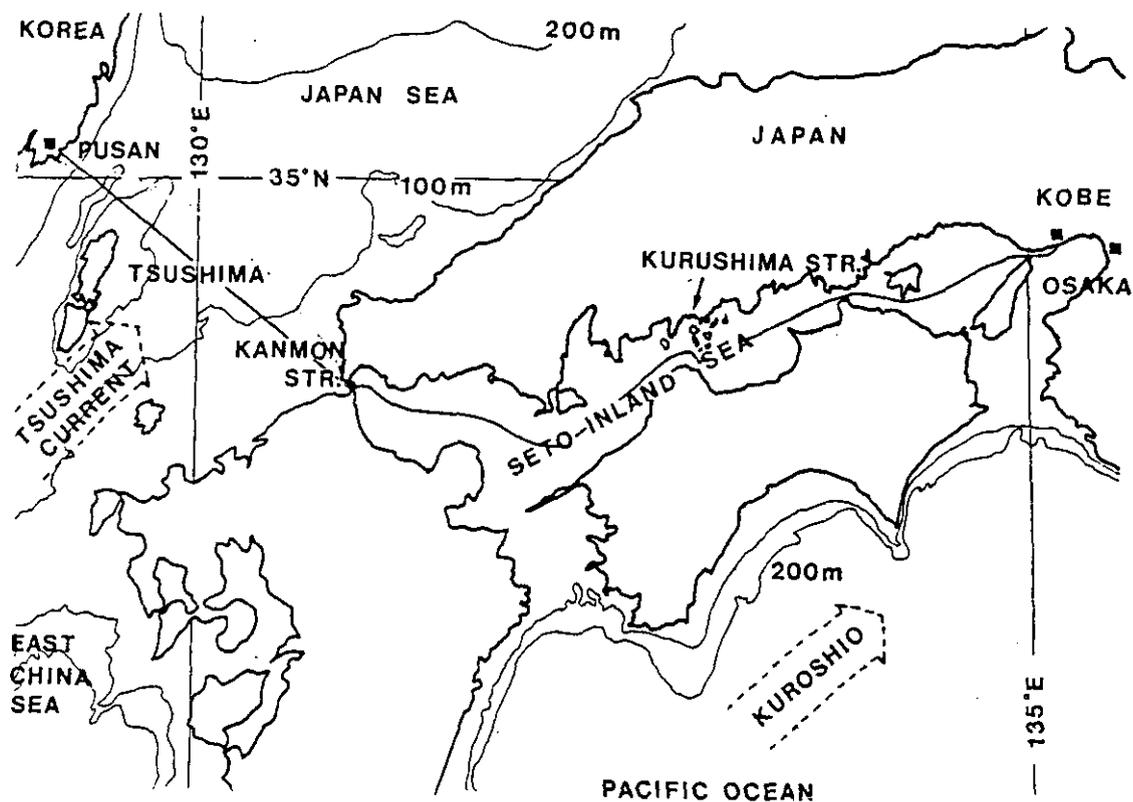


図2. フェリー檀皇に設置された計測システム

檀皇の航路（図3参照）の利点は次のような点にある。まず、人為的影響を受け易い瀬戸内海を縦断することである。また、黒潮の分岐流である対馬海流を横断することで、最小限の時間で外洋性大陸棚海域を同時にモニターできる。これ以上の空間をカバーしようとする、ブルーミングなどの数日規模の現象を把握することができなくなる。



Tsushima Strait		Seto Inland Sea		
Pusan(Korea)		Kanmon Strait		Kobe(Japan)
10:00(Tuesday)	←	2:39	Midnight	← 12:00(Monday)
17:00(Wednesday)	→ Midnight	0:28		→ 15:00(Thursday)
10:00(Saturday)	←	2:39	Midnight	← 12:00(Friday)
17:00(Saturday)	→ Midnight	0:28		→ 15:00(Sunday)
1:00(G.M.T.)	←	17:29(G.M.T.)		← 3:00(G.M.T.)
8:00(G.M.T.)	→	15:28(G.M.T.)		→ 6:00(G.M.T.)

図3. 日韓フェリーの航路図および時刻表

4. モニタリングの継続体制、メンテナンス体制

1991年3月25～28日に、乗船調査による計測システムの作動チェックを行った。その結果に基づいて、システムの改造とモニタリング継続体制の検討を行った。同年6月17～20日の乗船調査時よりモニタリングを開始した。1991年度中は、メンテナンスおよびデータ処理の方法を検討しつつモニタリングを実行した。

T, S, pH、蛍光光度の連続計測は週2往復(4航海)で通年のモニタリングを行い、栄養塩、アセトン抽出のクロロフィルについては年間24回程度をのサンプリングを行っている。

航海中の連続計測機器と導水系のチェック、バルブ操作は、檀皇の乗組員に依頼している。また、船が既知点を通過する時刻を航海日誌から調べ、これから逆算することによって、各計測位置を算出することにした。往と復の航海により、対馬海峡では、明け方または夕方を中心とした時間帯のデータがとれることになる。瀬戸内海東半部では、午後または午前、関門海峡付近では、常に深夜のデータがとれることになる(図3参照)。

また、木曜日に檀皇が神戸港に停泊している際、計測機器のメンテナンスと連続計測データ、海水サンプルの回収を行うことにしている。メンテナンスの内容は、各センサーの洗浄と標準溶液によるセンサーの校正、出力値のドリフトのチェックである。特にターナー蛍光光度計に海水を連続通水していると、計測セルが時間の経過とともに汚れてゆくため、1週間のうちに出力値が数パーセント程度のドリフトを示すことがわかった。

5. データ管理体制

本モニタリング、特に連続計測を実行してみてわかったことは、フェリーによる海洋観測は、従来の海洋観測よりもむしろ衛星のミッションに性格が似ていることである。計測機器の設置場所、電力使用可能量の上限、センサー出力のドリフトなどは、まさに衛星センサーハードウェアの管理の問題である。また、衛星のデータは海洋の状態量の真値というよりも、電磁波を媒体とした一種の指標であり、しかも幾何学的なゆがみ、大気過程による誤差などを含んでいる。したがって、なんらかの状態量を求めるには、必要に応じて補正をほどこし、何レベルかのデータを作成する必要がある。フェリーの連続計測でも事情は同じである。

本モニタリングにおいては、図4に示すような補正を実行および予定している。まず、センサー出力値はbinaryでデータロガーのフロッピィディスクに記録される(レベル0データ)。これを変換し、テキストファイル形式のレベル1データに変換する。さらに、船の通過時刻表による時刻→位置の変換とセンサードリフト補正を施したものをレベル2データ、蛍光光度とアセトン抽出分析によるクロロフィル値の相関から、クロロフィル単位になおしたものをレベル3データとする予定である。

6. 91年度中のモニタリングで得られた結果から

1991年6月～12月のモニタリング結果のうち、蛍光光度のレベル1データを画像出力したものを図5に示す。各走査線が1つの航海における計測値を表している。これによれば、基本的に、対馬海峡部よりも瀬戸内海部で植物プランクトンバイオマス濃度が高い。また、塩分の時空間分布と比べると、瀬戸内海の中でも塩分の低い、すなわち河川流入の影響を受けた海域ほどバイオマス濃度が高くなることがわかった。

時間変動については次のようである。6月にモニタリングを開始してから7月上旬までは、初

図4. データ処理フロー図

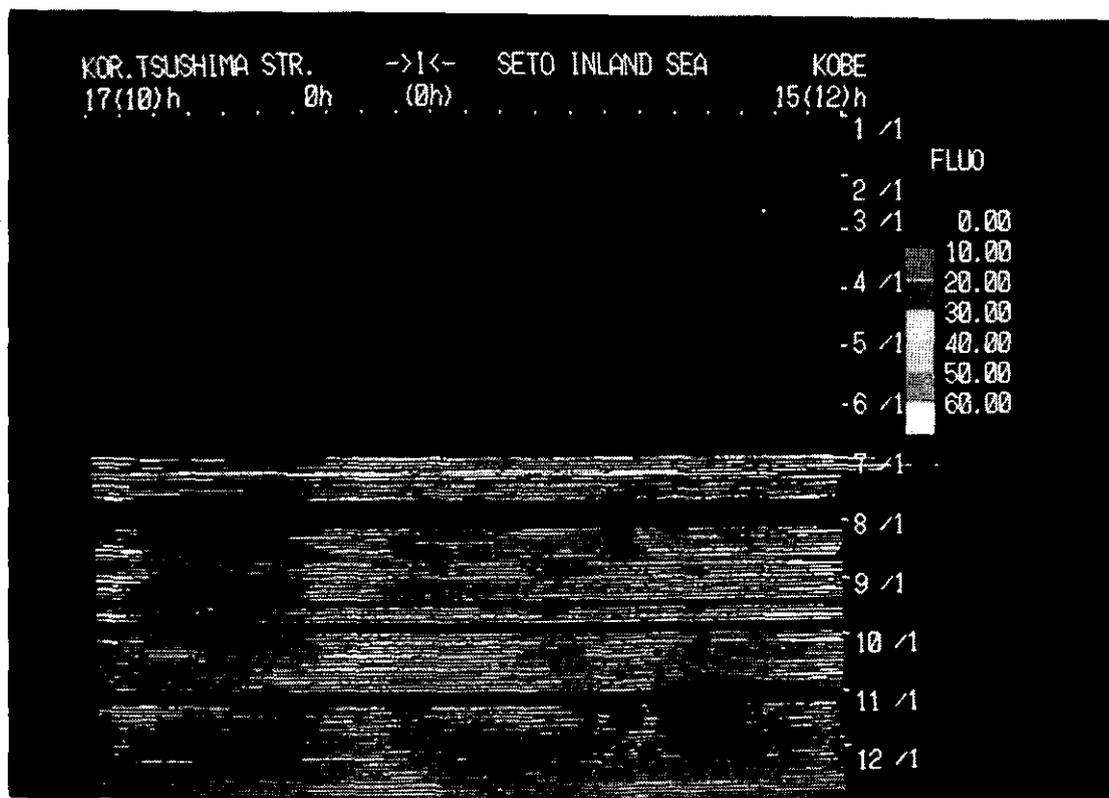
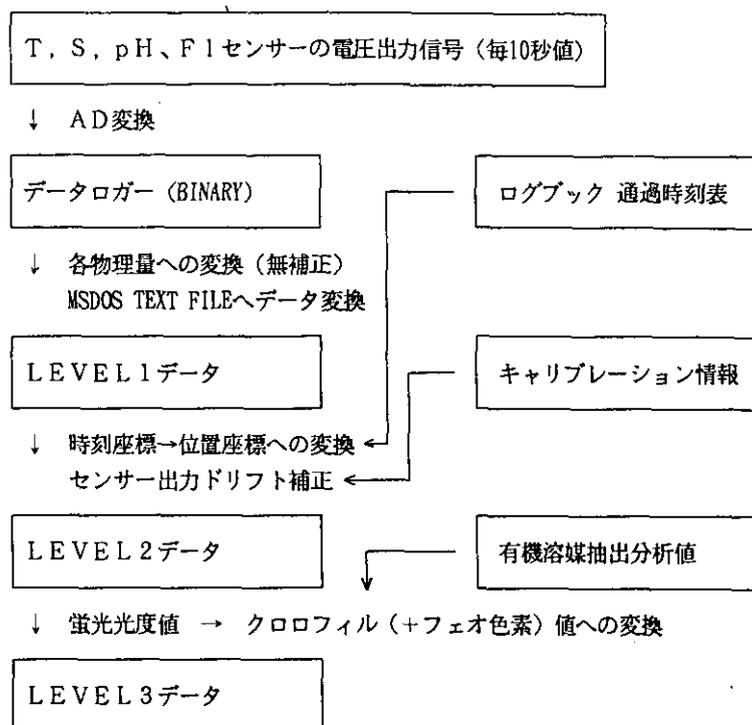


図5. 蛍光強度 (～クロロフィル濃度) の時空間分布。縦軸は下向きに月日 (1992年6月～12月)。横軸は、航海中の時刻を示すが、ほぼ釜山 (図左端) ←→神戸 (図右端) の位置に対応している。図の中の1本の走査線が1航海中の連続計測データを示している。植物プランクトンバイオマス濃度が高いほど暖色になるようにカラーレベルスライスをほどこしてある (図右カラースケール参照)。このデータ値の7～8がクロロフィル+フェオフィチン量の1 [$\mu\text{g/l}$] にほぼ対応している。

夏のブルーミングのためか、バイオマス量が高かった。7月の中旬からは、バイオマス量が低くなった。これは、栄養塩の枯渇のためと考えられる。盛夏の間、バイオマスが低い状態が続いた後、9月中旬から再び増加した（秋季ブルーミング）。9月中に二回データが欠落しているのは、台風で船の運行が止まったことによる。興味深いのは、台風の通過後数日してバイオマス濃度が上がったことである。これは、台風によって海水の上下混合が盛んになり、下層の栄養塩が有光層にあがってきたため、植物プランクトンが増殖したことによると推定される。

ほぼ半年分のデータながら、フェリーによってモニタリングを継続したことにより海洋環境要素が、空間的、時間的に顕著に変動していることが再確認された。今後、各データ項目間の相互比較により、変動のメカニズムの解析を進める予定である。

（文責 地球環境研究グループ 海洋研究チーム総合研究官 地球環境研究センター併任 原島省）

参考文献

- 1) Ocean Margin Processes in Global Change, Dahlem Workshop Reports, R. F. C. Mantoura J. M. Martin, R. Wollast Eds., 1991
- 2) Global Ocean Observing System, Status Reports on Existing Ocean Elements and Related Systems, Intergovernmental Oceanographic Commission & World Meteorological Organization, 1990.
- 3) Akira Harashima, Autonomous Biogeochemical Monitoring System Using Intake of Sea Water on Japan-Korea Ferry Boat, Proceedings of Autonomous Bio-optical Ocean Observing System Symposium, 1992 (in print).

3 波照間-地球環境モニタリングステーションの建設について

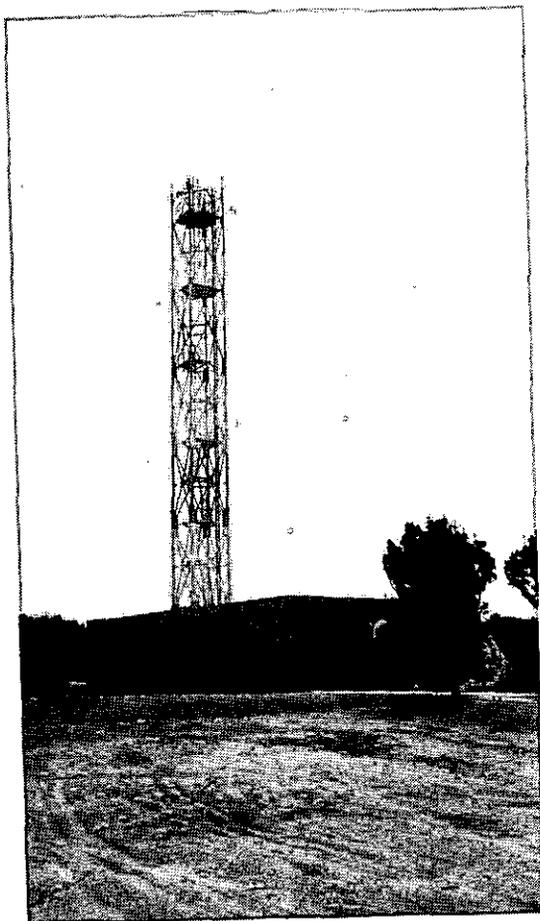
地球環境モニタリングは、「成層圏オゾン及び有害紫外線の監視」、「衛星による地球環境観測」、「航空機モニタリング」、「地上モニタリング」及び「船舶による海洋汚染モニタリング」の5つのプラットフォーム別業務にわけられる。

この中でも、特に重要なものの1つとして、「地上モニタリング」の中で実施するベースライン大気の測定があげられる。

ベースライン大気とは、例えば太平洋の亜熱帯地域の大気団、シベリア気団、高層自由大気など地球規模のスケールで十分に大気が混合、均一化された、局所的な汚染の影響のない大気をいうが、このような大気を連続測定できる日本における地点として、「波照間島」が第1番目の候補地としてあげられた。

波照間島は、沖縄県竹富町にあり八重山列島に属しており、イリオモテヤマネコ等希少生物の生息している西表島の南方約20kmに位置し、人の生活している日本最南端の島として知られている。島の中での建設地点は、島の東端に位置する、東経約123° 北緯約24° の地点である。また、同島は太平洋の亜熱帯地域の大気団が流れ込む位置にあり、1年を通してほとんど北西-南西の風が吹かず局所的な汚染の影響がほとんどないものと考えられ、当センターが実施する地上モニタリングの目的に最も適している。

そして、ここに、“世界で初めて”の試みとして、人が常駐せずに、現在の世界最高水準のデータを得る「温室効果気体等自動測定局」である「波照間-地球環境モニタリングステーション」を建設することとした。



波照間-地球環境モニタリングステーション

① 波照間ステーションの特徴

1) 概要

波照間-地球環境モニタリングステーション（略称：波照間ステーション）は、平成3年度環境庁国立環境研究所（地球環境研究センター）が建設したものである。

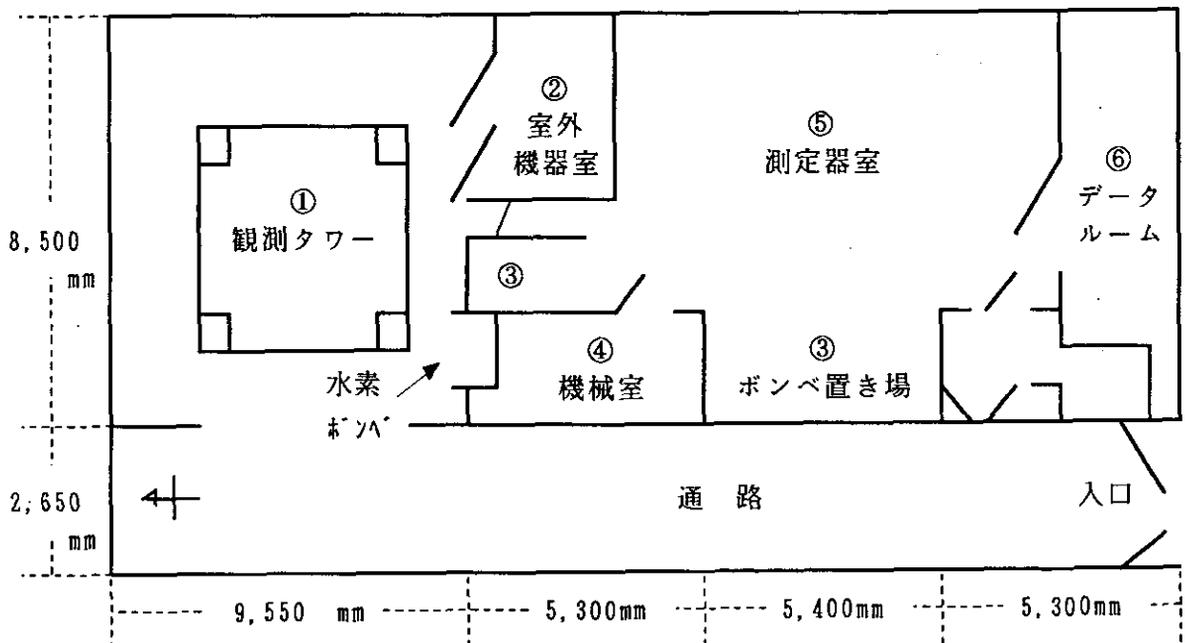
このステーションは、人が常駐することなく、現在の世界最高水準のデータを得ることのできる「温室効果ガス等自動測定局」である。

本ステーションは、沖縄県竹富町波照間島の東端の国有林野内（東経123° 48' 38.8364"、北緯24° 03' 14.0285"）に位置している。

また、本ステーションは、植物活動など地上の影響を受けないよう可能な限り高いところから大気を採取するための観測タワー（地上高約40m）と年間を通し一定温度に保つことが可能な観測棟（面積約150m²の平屋建て）から構成されている。

観測タワーには、大気の採気管、風向・風速や温湿度等の気象関連測定機器など観測用設備が設置されている。その他、法律に基づいて航空障害燈、昼間障害標識が設置されている。

観測棟は、測定器室、ポンペ（標準ガス類）置き場、機械室、データルームなどから構成されており、雨や風によって運ばれてくる塩分などの影響を受けないように密閉型の構造となっている。（こちらが海側）



- | | |
|--|--|
| <p>① 観測タワー
： 高さ約40mの鉄塔。最上部から大気を取り込む。</p> <p>② 室外機器室
： 空調機器システムの中の廃熱部分に相当する室外機器を設置している。</p> <p>③ ボンペ置き場
： 標準ガスやキャリアガスを置いている。
・ 標準ガスー 非常に高い精度で測定を行うために使用する基準となるガス
・ キャリアガスー ベースライン濃度の測定に必要な高純度ガス</p> | <p>④ 機械室
： 冷凍機など一定温度の空調を特に必要としない機器を設置している。</p> <p>⑤ 測定器室
： 二酸化炭素、メタンなどの自動測定機器類を設置している。</p> <p>⑥ データルーム
： データ処理のためのコンピュータや通信システムなどを設置している。</p> <p>* ③、⑤、⑥に当たる部屋は、常に一定の温度を保てるように空調されている。</p> |
|--|--|

2) 測定項目

温室効果ガスを中心として多項目を同時に測定することとしている。

二酸化炭素、CFCs、メタン、一酸化炭素、一酸化二窒素、オゾン、硫黄酸化物、粒子状物質（エアロゾル）等

② 波照間島の環境

波照間島は、沖縄県竹富町にあり、八重山列島に属している。ウチヤマコ等希少種の生物の生息している西表島の南方約20 kmに位置し、人の常住している日本最南端の島として知られている。島の面積は、約12.7 km²であり、東西約6 km、南北約3 kmの楕円形をしている。気温は、年間を通して15～30℃と安定しており、温暖である。

島に住んでいる人は6百数十人程度である。学校は小中学校までしかなく、公民館、駐在所、郵便局、民宿、雑貨店、発電所などが、島の中央やや西よりのところに集中して存在し、空港のみが島の東側に整備されている。

交通手段としては、石垣島からの定期船（高速艇など1日2往復、フェリー週2往復程度）と航空機（1日1往復；10名強乗り小型航空機）がある。

主な産業はサトウキビの栽培であるが、島が平坦であるためしばしば塩害による影響を受けている。また、島内にはサトウキビから黒砂糖を作る製糖工場がある。

その他の産業としては、観光があり、ダイビングやフィッシングを目的とした、比較的長期の滞在客が多い。短期的な観光資源として、浜シタン（植物）と最南端の碑があげられ、さらに、南十字星（サザンクロス）が見えるという利点を活かした観光開発が計画されている（展望台などの設営を計画）。

島の周辺には、西表島など他の八重山列島の島々と比較してめばしい珊瑚礁は存在しない。また、島内は平坦で大きな樹木は存在せず、島の周辺地帯に細長く防潮林的な役割をはたしているテリハボク、アダン、そして、一部海岸沿いにヒルギなどが存在する程度である。同島は、国立公園内には位置しておらず、リゾート開発に歯止めはかけられない状況にはあるが、生活用水が十分でないことなどから大規模な開発には適していないと言える（生活用水は島内地下水の淡水化で対応している。）。

③ 波照間ステーションの現在の状況及び今後の予定

現在、高さ約40 mの観測タワーの最上部から大気を取り入れるための採気管の設置、モニタリングデータを評価するための基礎情報として欠かすことのできない気象測定機器の設置、及び測定機器の高精度キャリブレーションを行うための標準ガスやベースライン濃度を測定するために必要な高純度キャリアガスを流すための配管等の工事を行っているところである。

今後の予定としては、今年（平成4年）中に二酸化炭素、メタン、オゾン、粒子状物質（エアロゾル）を測定するための自動連続測定装置等を随時設置していき、来年早々から試験運転を開始する予定である。

また、同ステーションにおいて得られた測定データは、十分に評価、検討し、満足できるデータについてはできるかぎり早い時期に地球環境モニタリングデータベースとして、広く提供する予定である。

4 南北半球大気微量成分共同観測ワークショップ開催 (Workshop for Trace Gas Measurement in Both Hemispheres)

平成4年3月10日(火)から13日(金)にかけて、科学技術庁「平成3年度科学技術振興調整費による重点国際交流」事業の一環として、地球環境研究センター内に事務局を設置し、オーストラリアCSIRO(連邦科学産業研究機構)大気研究部門(オーストラリアメルボルン市内)と共同して、メルボルンにおいて標記ワークショップを開催した。

このワークショップの目的は、地球環境に係るモニタリングに関する相互の研究計画、成果等の情報交換を行うとともに、将来的な共同観測の可能性等を探ることであった。

また、このワークショップの開催に至った背景は、次のようなものであった。

- ・ 地球規模での温暖化の影響を考える上では南北両半球の統一的な理解が必要である。
- ・ 豪州と日本は南北両半球のほぼ同じ経度・緯度上にあり、両国がベースライン地上ステーションでの測定データの相互比較をはじめ、地球環境研究、とりわけ大気圏の分野で協力していくことは非常に重要である。
- ・ 両半球間での大気の交換は重要な課題であり、ITCZ(熱帯収束帯)の近傍(東南アジア等)の大気微量ガスの分布について他国間で共同して観測することは、双方に貴重な知見を与え得ると考えられる。
- ・ 測定データの相互比較や共同観測のためには、測定データ間に相互の信頼が必要となると考えられ、これらの地域でモニタリングを行っている研究者間でのデータの相互の信頼性を確立することを目的とする国際ワークショップを開催することなどにより、豪州と日本の地上ステーションのデータ交換と相互理解をはじめとして、いろいろな国との二国間及び多国間でのデータ交換と相互理解が容易になる。

このような中で標記ワークショップは開催されたが、同ワークショップには、米国、カナダ、豪州、ニュージーランド及び日本から30数名にも及ぶ研究者の参加をいただいた(表1参照)。

ワークショップそのものは、Preliminary Agenda(表2参照)に沿って進められ、第1日目は、まず、双方の代表者からの開会の挨拶にはじまり、今回のワークショップでの目的や狙い、そして期待などが述べられ、続いて、それぞれの研究機関の概要説明、実施している研究、モニタリング内容などが述べられた。

その後、

- ・ 大気ベースラインモニタリングステーション及びモニタリング内容についての豪州、日本、米国、カナダ及びニュージーランドから報告を皮切りに、
- ・ 二酸化炭素のモニタリングについて
- ・ サンプリングフラスコについて
- ・ サンプリングネットワークについて

- ・ アイソトープのモニタリングについて
- ・ メタンのモニタリングについて
- ・ フラックス測定－エディコリレーション法について
- ・ CFCsのモニタリングについて
- ・ 反応ガスのモニタリングについて
- ・ その他の物質に係るモニタリングについて
- ・ トピックス、将来共同研究構想について
- ・ ワークショップ総括

について、丸2日間をかけて、各担当研究者からの講演に続けて質疑応答の時間を持って進められた。

各々は大変興味ある内容であり、十分にお互いの研究内容等について理解できたのではないかと思われた。

そして、最後－2日間のワークショップの翌日(13日)に、豪州のベースライン地上ステーションの中核である「タスマニア－ケープグリム観測所」を訪問した。そこでは、同研究所の所員から、70年代後半から既にモニタリングを実施してきた経験や実績などすばらしい内容につき説明をいただくとともに、自由に観測所内を見学させていただいた。

今まさに、地上ステーション計画を推進している我が地球環境研究センターの職員の一として、同観測所の充実した人的資源や組織体制、さらには充実したモニタリング環境にはかなりのショックを受けたが、しかし、同観測所を訪問したことにより得られた知見は非常に多く、この知見を少しでも我が国の地上ステーション計画に利用していければと考えている。

このワークショップを振り返り、全体として得られた主な成果は以下のようなものであったのではないかと考えている。

- ① ボトルサンプリング、地上ステーション等により、二酸化炭素(CO₂)、メタン(CH₄)、一酸化二窒素(N₂O)等温室効果ガスのモニタリングを積極的に実施している、オーストラリア、米国、カナダ、ニュージーランドから、その分野の第一線の研究者が一堂に会し、我が国からも、東北大学、東京大学をはじめとして、九州大学、通商産業省工業技術院資源環境技術総合研究所、運輸省気象庁及び気象研究所、農林水産省農業環境技術研究所等から、地球環境モニタリングに係わる第一線の研究者等の参加が得られたこと。
- ② 現在、世界的に知られている地球環境モニタリングの成果などについて、多くの情報が得られるとともに、人的な交流を育む機会を得ることができたこと。
- ③ 環太平洋地帯をとりまく国々が一堂に会することにより、国際的なモニタリングのネットワーク化への第一歩が踏み出せたこと。
- ④ 地上ベースラインモニタリングステーションとして世界的に知られている、タスマニアのケープグリム観測所を調査することにより、今後我が国において推進する地上モニタリングステーションの維持管理等のための基礎情報として、非常に多くのことが得られたこと。
- ⑤ 今後、豪州と日本のベースライン地上ステーションでの測定データの交換と相互理解のための下地ができたこと。

(表1) 南北半球大気微量成分共同観測ワークショップ参加者一覧

CSIRO (AUSTRALIA) Division of Atmospheric Research	National Institute for Environmental Studies Environment Agency (JAPAN)
Dr. G. Ayers Mr. D. Beardsmore Dr. R. Francey Dr. P. Fraser Mr. I. Galbally Mr. R. Gillett Dr. J. Gras Dr. C. Meyer Dr. G. Pearman Dr. P. Steele	Dr. H. Akimoto Mr. S. Araki (CGER) Dr. Y. Fujinuma Dr. G. Inoue Dr. K. Izumi Dr. Y. Nojiri Dr. M. Utiyama Dr. T. Uehiro (CGER)
CSIRO (AUSTRALIA) Center for Environmental Mechanics	Meteorological Agency Ministry of Transport (JAPAN)
Dr. M. Raupach	Dr. T. Ito Dr. H. Matsueda (MRI)
AGAL (AUSTRALIA)	Ministry of Agriculture, Forestry, and Fisheries (JAPAN)
Mr. J. Ivey	Dr. H. Tsuruta
ANSTO (AUSTRALIA)	Ministry of International Trade and Industry (JAPAN)
Dr. S. Whittlestone	Dr. S. Yamamoto
Wollongong University (AUSTRALIA)	Radioisotope Center The University of Tokyo
Dr. S Wilson	
Gas Standards Laboratory (CANADA)	Dr. Y. Makide
Dr. N. Trivett	Research Center for Atmospheric and Oceanic Variations Faculty of Science, Tohoku University
DSIR (NEW ZEALAND)	Dr. T. Nakazawa
Dr. D. Lowe Dr. M. Manning	Research Institute for Applied Mechanics, Kyusyu University
Climate Monitoring and Diagnostics Laboratory - RECG1, NOAA/ERL/CMDL (U.S.A.)	Dr. H. Ueda
Dr. P. Tans	Tsukuba Office Global Environmental Forum
	Dr. Y. Takeuchi

(表2)

Workshop for Trace Gas Measurement in Both Hemispheres

Preliminary Agenda

— 10-13 March, 1992 —

10 (Tuesday) March

1. registration / informal meeting

11 (Wednesday) March

- (The session chairperson : P. Fraser)

1. Opening Remarks
0900-0905 G. Inoue
0905-0910 G. Pearman

2. Overview of Australian/Japanese Research / Monitoring activities

- 0910-0920 H. Akimoto
0920-0925 S. Araki
0925-0940 G. Pearman

3. Atmospheric Baseline Monitoring Stations / Observatories
(Geological and Meteorological Characteristics, Facilities)

- 0940-1010 a. Introduction about Cape Grim Observatory S. Wilson
(20 min. and 10 min. questions)
1010-1030 b. Ryori Observatory T. Itoh
(15 min. and 5 min. questions)
1030-1045 c. Hateruma Monitoring Station M. Utiyama
(10 min. and 5 min. questions)

1045-1100 Morning Tea

(The session chairperson : G. Inoue)

- 1100-1127 d. US Baseline Station Network P. Tans
(20 min. and 7 min. questions)
1127-1154 e. Canadian Baseline Station Network N. Trivett
(20 min. and 7 min. questions)
1154-1221 f. NZ Baseline program M. Manning
(20 min. and 7 min. questions)
1221-1236 g. GAGE network P. Fraser
(10 min. and 5 min. questions)

1236-1330 Lunch

(The session chairperson : G. Ayers)

4. Carbon dioxide

- a. Baseline data selection

- 1330-1355 — Baseline data selection D. Beardmore
(15 min. and 10 min. discussion)
1355-1420 — The role of radon and radon daughters in air mass
characterization at baseline atmospheric observatorie
S. Whittlesto
(15 min. and 10 min. discussion)

- b. Sampling flasks

- 1420-1435 — Surface treatment G. Inoue
(10 min. and 5 min. discussion)
1435-1500 — Preparation of standards T. Nakazawa
(15 min. and 10 min. discussion)
1500-1525 — Circulation P. Tans
(15 min. and 10 min. discussion)
1525-1550 — Intercalibration R. Francey
(15 min. and 10 min. discussion)

1550-1615 Afternoon Tea

(The session chairperson : H. Ueda)

- c. Sampling networks

- 1615-1630 — Bottle sampling P. Steele
(10 min. and 5 min. discussion)
— Aircraft sampling
1630-1645 — Sampling from commercial airlines P. Steele
(10 min. and 5 min. discussion)
1645-1700 — Atmospheric green house gas measurements with
aircraft in CGER K. Izumi
(10 min. and 5 min. discussion)
1700-1715 — Ship T. Uehiro
(10 min. and 5 min. discussion)

12 (Thursday) March

(The session chairperson : M. Raupath)

5. Isotopes

0900-0930

R. Francey

(20 min. and 10 min. discussion)

6. Methane

0930-0955

- a. Atmospheric methane measurement P. Steele
(15 min. and 10 min. discussion)
955-1020 c. Emissions from rice paddy fields H. Tsuruta
(15 min. and 10 min. discussion)

1020-1035 Morning Tea

(The session chairperson : T. Uehiro)

- 1035-1100

- d. Emissions from lakes Y. Nojiri
(15 min. and 10 min. discussion)

- 1100-1125

- e. Emissions from mallee I. Galbally/C. Meyer
(15 min. and 10 min. discussion)

7. Flux/Distribution

1125-1140

- a. Theory of eddy correlation H. Ueda
(10 min. and 5 min. discussion)

1140-1200

- b. Eddy correlation M. Raupach
(15 min. and 5 min. discussion)

1200-1315 Lunch

(The session chairperson : P. Steele)

8. CFCs

1315-1340

- a. CFCs P. Fraser
(15 min. and 10 min. discussion)

1340-1405

- b. Standards Y. Makide
(15 min. and 10 min. discussion)

9. Reactive Gases

1405-1420

- a. Ozone I. Galbally/C. Meyer
(10 min. and 5 min. discussion)

1420-1435

- b. Hydrogen peroxide R. Gillett
(10 min. and 5 min. discussion)

10. Other

1435-1450

- a. Rain chemistry H. Akimoto
(10 min. and 5 min. discussion)

1450-1505

- b. Sulphurous gas & aerosol G. Ayers
(10 min. and 5 min. discussion)

1505-1520

- c. Development of a gas chromatographic method for the
analysis of atmospheric dimethylsulphide
J. Ivey
(10 min. and 5 min. discussion)

1520-1535 Afternoon Tea

(The session chairperson : H. Akimoto)

11. Other Topics and Future Co-operation

1535-1555

- a. Regional Aircraft Measurement of CO₂ S. Yamamoto
(15 min. and 5 min. discussion)

1555-1610

- b. Monitoring of ITCZ T. Nakazawa
(10 min. and 5 min. discussion)

1610-1630

- c. INSTAC H. Matsuuda
(15 min. and 5 min. discussion)

1630-1645

- d. Aerosol microphysical measurements J. Gras
(10 min. and 5 min. discussion)

12. Plenary

1645-1715

Chair; H. Akimoto

13 (Friday) March

All day long
Visit the Cape Grim Observatory