



環境儀

国立環境研究所の研究情報誌

海の呼吸

北太平洋海洋表層の
CO₂吸収に関する研究

温室効果ガスの増加が地球温暖化を引き起こすと考えられており、とりわけ圧倒的に量が多いCO₂がもっとも大きな影響を及ぼします。地球温暖化の全容を解明し、将来の気候変動予測をより現実的なものとするためには、大気と海洋のCO₂濃度を正確に観測することが不可欠です。大気に放出された化石燃料起源のCO₂は森林や海洋に吸収されますが、その量はまだ不確かで、とくに広大な海洋の詳細な状況を把握するには、息の長い取組みが必要です。

独立行政法人

国立環境研究所

<http://www.nies.go.jp/index-j.html>

海洋のCO₂吸収・放出メカニズムを解明
地球温暖化の推移を予測する上で
きわめて重要な役割を果たします。





することは



CO₂の吸収源として、森林と海洋が注目されています。森林と海洋の炭素循環を詳細に評価するにはそれぞれに難しさがあります。海洋の難しさはその広さであり、広大な海洋をどのように観測するかがまず最初に突き当たる問題点です。

国立環境研究所では、平成2年の地球環境研究センター発足の頃から、海域のCO₂吸収量観測を検討しました。本格的な観測を平成7年から開始するとともに、平成8～12年に「北太平洋の海洋表層過程による二酸化炭素の吸収と生物生産に関する研究」を行い、取得した豊富なデータの解析を通して、北太平洋海域がCO₂の一大吸収源になっていることを明らかにしました。

本号ではこの中から、北太平洋での貨物船を使ったCO₂測定の実際と観測の成果などを紹介します。

C O N T E N T S

海の呼吸

北太平洋海洋表層の CO₂吸収に関する研究

INTERVIEW

研究者に聞く P4-P9

SUMMARY

「北太平洋海洋表層の
二酸化炭素吸収に関する研究」の
概要 P10-P11

海洋の二酸化炭素吸収に関する
研究をめぐって P12-P13

「北太平洋の海洋表層過程による
二酸化炭素の吸収と生物生産に関する研究」の
全体構成 P14

本研究に関連する成果は国立環境研究所のHPでご覧になれます。
<http://www-cger2.nies.go.jp/index.html>

研究者に聞く

野尻 幸宏 地球温暖化研究プロジェクト
炭素循環研究チーム総合研究官

「北太平洋海洋表層の二酸化炭素吸収に関する研究」に取り組んでいる野尻幸宏さんに、海の呼吸のメカニズム、海洋CO₂測定の実状などをお聞きました。



●研究の目的

—— 今回の研究を始めたきっかけをお聞かせ下さい。

野尻 国立公害研究所が国立環境研究所に変わった1990年、地球環境研究センター（CGER：Center for Global Environmental Research）が発足し、温室効果ガスのモニタリングを行うことになり、沖縄県・波照間島と北海道・落石岬で観測を始めました。海洋の温室効果ガスのモニタリングも行うことになり、研究所には数少ない外洋域での研究経験者として私が・・・ということになりました。

それまでの海洋研究経験は、微量金属やメタンなどの測定手法を用いた海水と海底熱水の研究でしたから、CO₂のモニタリングという、関係があるようなものではないようなものだったのですが。

—— 具体的にどのようなことを始めたんですか？

野尻 初めてのことで、最初はまったく模索でした。広い海洋でのCO₂測定方法をいくつかの方法論で考えましたが、観測船を傭船するいわば従来型の方法で長期モニタリングを行うことは、費用の面で論外という結論になりました。

1994年にこの分野で世界をリードしているカナダ海洋研究所 C.S.Wong 博士から太平洋のCO₂観測の共同研究を持ちかけられ、協力してくれるという貨物船を紹介していただきました。貨物船を使ったCO₂観測は、1984年から1989年にかけての観測をまとめたコロンビア大学 Takahashi 教授による1993年の論文が有名で、私も貨物船を使った海洋のCO₂分布測定は意義ある研究だと理解していましたが、本当にこんな分野に手を出せるものかどう

か、正直困りました。

紹介された貨物船 Skaugran は日本とアメリカ・カナダ西岸を約6週周期で往復する材木と自動車の運搬船です。1994年5月に川崎港に入航した Skaugran を見に行きました。実はおっかなびっくりで見に行ったんですが、ノルウェー人船長、機関長と意気投合しまして、その後船会社とも詳細を詰め、観測を行う決心をしました。

●測定開始までの次の一歩

—— 貨物船の一隅を借りてのCO₂測定はなかなかたいへんそうですが、実際にはどうでしたか？

野尻 環境研ではフェリーによる沿岸域の観測実績があったのでそれを参考にしましたが、今度は外国船社の船です。国内では短期の寄港しかしませんし、持ち込み機器の税関申告も必要ですし、貨物船ですからこちらのお願いでスケジュールや入港地を調整してくれるわけではありません。実施を決めた夏からシステム設計を始め、11月から国内に入港するたびに工事を行いました。毎回の寄港地が次々変わります。材木は需要のある場所に降ろすので寄港地がたくさんあります。苫小牧、八戸、仙台、・・・千葉、東京、川崎・・・名古屋、四日市、大阪・・・広島、福岡と20カ所ほどもあり、そのうちの2～3港に入ります。Skaugran が日本に来るたびに東に西に、北に南にと、工事の人たちといっしょに船を追いかけました（笑）。

船に測定機器を取り付けるまでのさまざまな雑務もかなり負担でした。まあしかたないですが、海外



での工事もお願いしたので、いろいろな手続きもありました。実際観測が始まってからは、日本各地の港で税関・入管・船舶代理店とのやり取りが毎回必要で、本当にいろいろな人のお世話になりました。開始から当分は、船が来るたび毎回港に出かけて維持作業を行いました。そのうちサポートスタッフも育ち、だんだんと預けられるようになりましたが、

—— そのときのシステム設計はどのようなものだったのですか？

野尻 海水のCO₂分圧測定には新しいタイプであるバブル型平衡器を用いたCO₂測定器を使いました。しかし、一般的に普及しているシャワー型測定器と比較しないとデータの確からしさが確保されない可能性があり、シャワー型との2台で測定するというちょっと大げさなシステムになってしまいました。

—— 測定法による違いはなかったんですか？

野尻 さまざまな海洋CO₂分圧の測定法がありますが、間違った測定はしたくないので、測定方法にこだわり、より新しくいいものかと考えています。それで1998年には異なる10種類の平衡器を並べ、その間の差を調べました。大きなプールでいっせいに水を配ったので同じ値が出るはずなのに、少しだけですが違う結果が出てしまいました。

小さな差ですが、バブル型の数値がわずかに低めであることがわかりました。幸い一定方向の誤差なので、濃度に補正をかけるとそれまでに船上で測定していたバブルとシャワーの値はよく一致することがわかりました。この時、より正確な平衡器を、ということで考案されたのが、バブル型の上にミキサー型を置いたタンデム平衡器(p10 Summaryに詳述)で、通気式で応答が速い特徴があります。1998年のこの実験の後すぐに平衡器をバブルから

コラム「地球環境研究センターのモニタリング」

国立環境研究所では、地球環境研究に対応するモニタリング事業を、次のように行っています。

オゾン層破壊研究のためにレーザーレーダーとミリ波分光装置を用いる成層圏オゾンモニタリング、さらには地表に届く紫外線の量を各地でモニタリングしています。

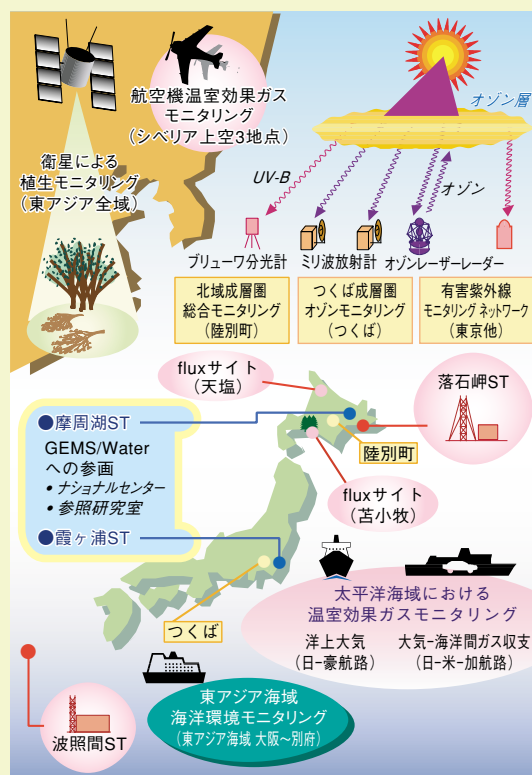
地球温暖化研究のためには、各種プラットフォームを用いた温室効果ガスのモニタリングを行っています。沖縄県の波照間島と北海道根室の落石岬では大気成分を常時観測していますが、周辺の人為的温室効果ガス発生影響が少ない場所が選ばれ、大陸規模の発生・吸収とグローバルな温室効果ガスの動態解明に活用されています。

シベリアの3地点で毎月温室効果ガスの高度分布を測定している航空機観測は、高度の異なるデータからユーラシア大陸の温室効果ガス発生・吸収機構を解明しようとするものです。また北海道には、森林吸収源の機構解明のために2カ所の観測ステーションがあります。

定期貨物船を利用する日豪航路では、大気中の温室効果ガス濃度のモニタリングに加え、炭素・酸素同位体比測定、酸素濃度測定など研究課題と連携したサンプリング・測定を実施しています。さらに日米航路では、大気・海洋のCO₂測定から海洋吸収量を求める観測、日豪航路と組み合わせ大気中のサンプリング・測定を継続してきました。

また、水域汚染の国際データベースである地球環境監視システム/水質監視計画(GEMS/WATER:

Global Environmental Monitoring System Assessment of Freshwater Quality)事業として、霞ヶ浦や摩周湖のモニタリングを継続しています。



研究者に聞く

タンデムに取り替え、測定の正確さが高まりました。最新のものでは10秒ごとに結果を記録します。

●海洋のCO₂吸収量は？

——かくて、測定開始ですね。1995年から4年半、延べ38往復も測定されたのは世界でも初めてとお聞きしました。本題の研究内容に入りたいのですが、その前に、海洋のCO₂吸収量がどのくらいなのかを事前知識としてお教え下さい。

野尻 二つの計算方法による数字が示されています。一つは海洋表層のCO₂測定を積み上げて積算したTakahashi博士の手法です。最新の2002年論文では2.2Gt(ギガトン=10⁹トン)の炭素がCO₂として世界の海洋に吸収されていると推定されました。これは、ある海域で1回でも測定があればそのデータを使い、測定のない海域・季節はどんどん値を内挿していくという手法です。

一方モデルによる推定という手法もあります。普通海洋表層水は温度が高くて軽く、また深層水は温度が低くて重いため、対流は起きません。しかし、表層海水が強く冷却されるところでは沈み、別のところで湧き上がる現象があります。海洋大循環といわれていて、大西洋の海水がグリーンランド近辺で強

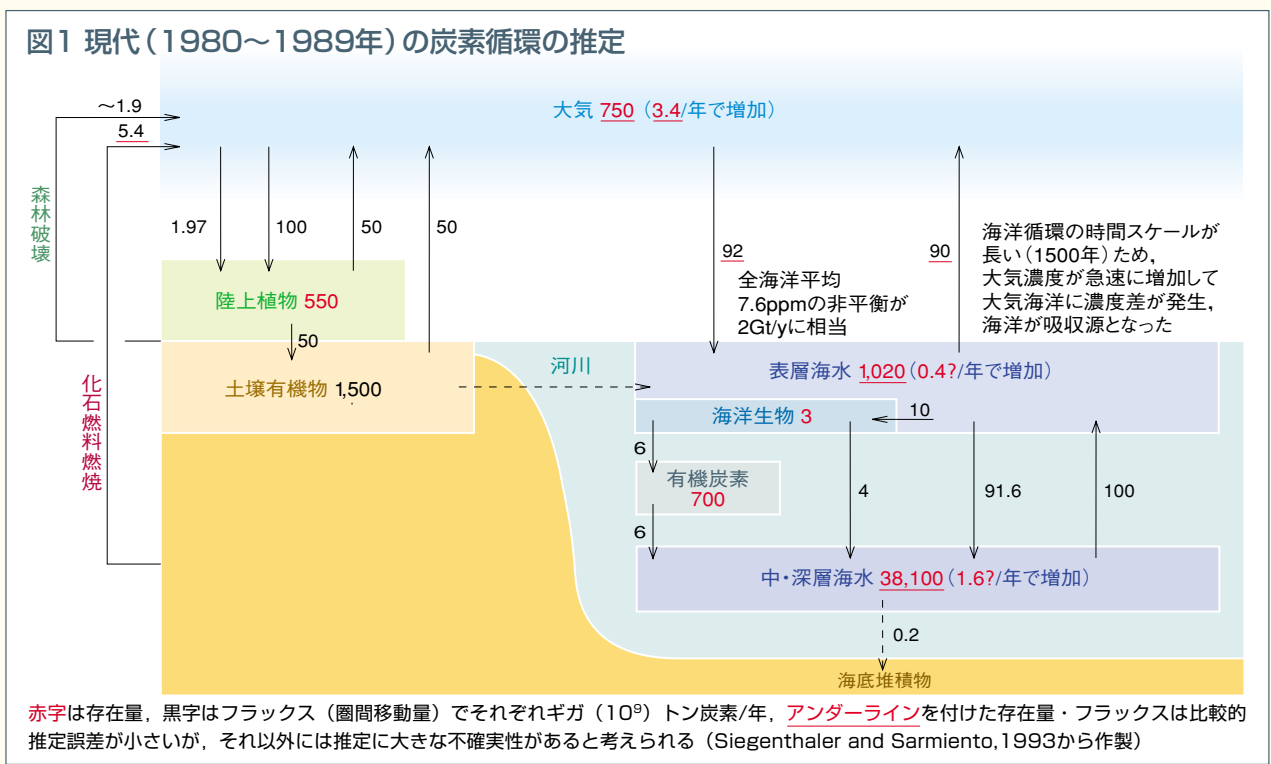
く冷やされて深海まで沈み、インド洋、太平洋の深層にまで到達する流れを作ります。沈み込む海水と湧き上がる海水のCO₂濃度差と沈降・湧昇量から計算する方法です。こちらの推定でも毎年2Gtの炭素がCO₂として海に吸収されている計算になりました。

両方の推定法でおよそ合うのでそれでいいということになるかもしれませんが、それぞれが大きな誤差を含む数字としかいえません。誤差の評価は難しいのですが、温暖化の科学を国際間で扱うIPCC(気候変動に関する政府間パネル)では、この2Gtに±0.8の誤差をつけて発表しています。

参考として1980～1989年における炭素循環の推定を示します(図1)。

——±0.8はかなり大きな数字ですね。今後、この推定精度はさらに高まるのでしょうか？

野尻 海洋吸収の2Gtという数字を全世界の海洋に割り当てるとCO₂の測定にして平均約8ppmになります。たとえば0.2Gtの正確さを求めようとすると0.8ppmの正確さで測定することが要求されます。海洋表層のCO₂測定では、平衡器を流れる水温を実際の海水温と同じに保つことが難しく、どうしても0.1から0.3度ぐらいの温度差が出ます。0.1度上





がるとCO₂の測定値は1.5ppm、0.3度上がると4.4ppm上昇してしまいますから0.8という数値の厳しさがおわかりいただけると思います。ですからどんなに世界中の海を正確に測っても、誤差を大幅に小さくするのはほとんど不可能だと思います。それでも、測定を正確にすればするほど正確な吸収量が得られるようになることは確かですし、単に吸収量だけでなく、吸収・放出の分布とその季節変化を正確に求めることは、温暖化予測モデルの正確さの向上にたいへんに役立ちます。ですので、そのための努力を惜しんではならないと思います。

——もう一つ気になることがあります。海洋のCO₂吸収・放出量を積み上げ積算で行ったとおっしゃいましたが、1回測定したものと今回のように数年間毎月に近い頻度で測定したものをいっしょににしても問題ないんですか？

野尻 もちろん問題があります。というのは、海洋吸収は年々変動すると考えられているからです。われわれの測定のような一定の海域を繰り返す観測を行うと、その長期平均値、この分野では気候値と

呼びますが、それが得られます。気候値がわかると、それと比較して年々変動が評価できます。

まずは世界の海洋でこの気候値を明らかにする観測を行うことで、海洋吸収の推定を正確にするという研究のアプローチがあり、私たちは日本からこれに加わっていることとなります。貨物船と係留・漂流型の測定器で世界の海洋のデータ密度を上げ、積み上げ推定の精度を上げる計画です。現場測定のデータが十分揃うと、衛星画像からCO₂吸収を推定するという手法が発展するでしょう。私たちが行った測定データはWeb上で公開していますので、衛星観測からの推定手法の発展にも役立つと思います。

●北太平洋のCO₂吸収

——それでは本題です。今回の観測と研究の結果をわかりやすくお願いします。

野尻 北太平洋の北の方は一般的な海洋大循環では湧昇域でCO₂を多く含む深層水が湧き上がってくる場所です。そこで海洋表層CO₂が高い値を示すことはすでに知られていましたが、それがきわめて

コラム「海洋のCO₂吸収メカニズム」

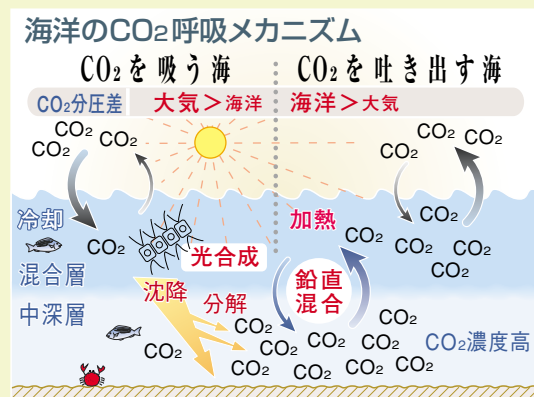
大気と海洋の表層の間にはガス濃度に差がなくても、世界の海洋で年間約90億tの炭素がCO₂としてガス交換されています。これは、大気中に存在し、5400年という半減期で放射壊変する炭素の放射性同位体¹⁴Cの海水濃度から決められたもので、比較的正確な推定値です。

一定量の空気と海水を密閉したビンに入れてよく振ると、海水と空気は平衡状態になり濃度差がなくなります。このときガスの交換はあっても、大気から海水への移動量と海水から大気への移動量は等しく、正味の移動は起こらないこととなります。実際の海洋は熱帯から寒帯まで広い気候帯に分布し、水温・塩分のような海水の物理的環境、表層海洋の生物生産の大きさなどがさまざまに異なります。これらが大気-海洋のCO₂濃度の差を作り、風が存在すると、大気-海洋間でCO₂の実質的な移動が起こります。その移動は、大気と海洋の濃度差に比例して大きくなります。

大気の場合、CO₂の濃度は主成分である窒素と酸素を含む全分子数に対するCO₂の分子数の比、分率(百万分の1 = ppm)で表現します。海水の場合、大気との濃度差を表現するときには、溶存するガス状CO₂の圧力、分圧で表現します。分圧の単位は通常μatm(百万分の1気圧)です。大気分率に気圧をかけると分圧になる

ので、分圧の差を求めることができます。大気と海洋の移動はこの分圧差に比例して起こります。大気分圧が高ければ大気から海洋に移動が起こり、海洋分圧が高ければ逆の移動が起こるので、気体交換は大気-海洋間のCO₂濃度差を解消する作用を示します。

海洋表層のCO₂分圧は、CO₂分圧の高い亜表層の海水との混合で上昇、植物プランクトンの光合成による無機炭素の利用で低下します。水温変化や炭酸カルシウム(円石藻、有孔虫のようなプランクトンの殻)形成でも変化します。



研究者に聞く

大きな季節振幅で変動していることが初めて正確に確かめられました。冬は放出源として、また夏は吸収源としてCO₂分圧が年間150 μatm（100万分の1気圧、大気CO₂濃度を表わすppmと大体対応する単位）も上下します。深層水が表層にもたらされるときには、栄養塩がいっしょにもたらされ、夏はそれが植物プランクトンを増やすことに使われ、結果として大きな表層CO₂の振幅になります。

北太平洋の測定データを緯度と経度方向に細かく区切って、4年間34往復の測定データを使い、たくさんの季節関数（海水-大気のCO₂分圧差の季節変化を関数化したもの）を作りました。同じ北太平洋の中に大きな違いがあることが図2からはわかります。これはCO₂分圧、いわば海水中のガス状CO₂濃度の分布ですが、さらに風速と温度のデータを入れ、海洋へのCO₂出入りを推定をしたのが図3です。とにかく風がないとCO₂の出入りは起きませんから、海洋と大気の間でCO₂の出入りが風によって初めてCO₂交換の推定ができます。それで見ると、日本の東北沖がCO₂を一番強く吸収することがわかりました。1マスで年間-30、つまり0.03Gtですから海洋全体の年間吸収量の1.5%、さらに今回観測した中高緯度北太平洋全体では0.24Gtでその13%にも及びます。面積は4%程度のところですが。

北太平洋は生物生産が大きくてCO₂吸収に非常に重要な役割を果たしているといわれてきましたが、それを測定に基づく確かな数値で明らかにしたことが大きな成果です。

—— 4%の面積で海洋全体のCO₂吸収の13%を

担っているのはすごいですね。栄養塩、温度、生物量、風の微妙な関係がメカニズムを決定するんですね。

ところで、今回の研究ではさまざまな手法でのCO₂吸収推定が行われていますね。その辺のことをお聞かせ下さい。

野尻 私たちの行っている海洋表層のCO₂測定でわかるのは今の海洋の正味吸収量あるいは場所によっては放出量です。もう一つ、海の断面観測が重要です。海の断面に沿って海水に含まれているCO₂を測るんです。大洋を横断する測線を設定し、細かな間隔で鉛直方向に海底まで海水を採取します。その結果、太平洋では表面から700mぐらいまで人間活動のためにCO₂が増えていることがわかりました。このデータは長期のCO₂吸収量を推定するために必要なものです。日本では旧通産省・科学技術庁のいくつかのプロジェクトで、各省庁機関が協力して国際分担しました。海洋科学技術センターでは、南半球の断面を一周にわたって描く大観測を来年行います。

この海洋表層と海洋断面という2つのタイプのCO₂観測はそれぞれ非常に重要です。世界中で両方の観測を並行して続け、なおかつその観測結果のデータベース化を行うことで研究が進みます。

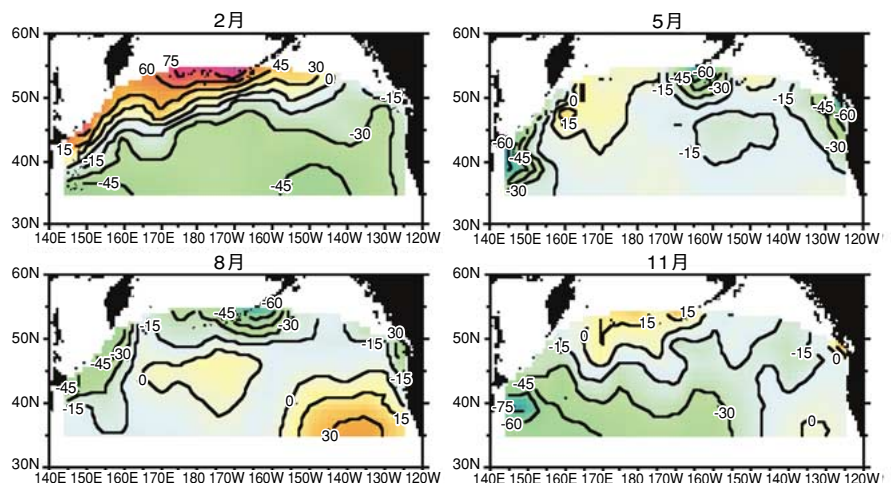
●タンデム型測定器を世界標準に

—— 今回の研究では、1年中走る貨物船で測定していますね。研究者がずっと乗り込むんですか。

野尻 もちろんそれはできないので、学生さんに協力してもらうことを考えました。従来型の観測研究ではCO₂測定を観測船で行っていましたから、専

図2 貨物船Skaugranを利用した観測データ（1995年3月～1999年3月）から得られた結果

北緯34度以北の北太平洋における月別の海洋表層CO₂分圧分布（μatm、海洋-大気であるのでプラスがCO₂の放出海域、マイナスが吸収海域である）



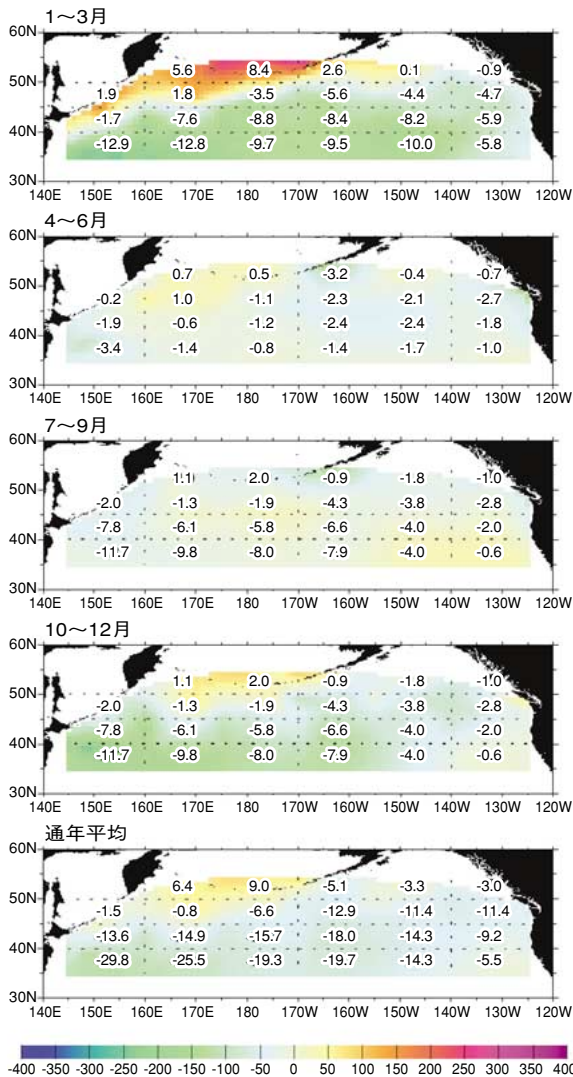


門の技術者が乗り込み装置を動かします。少々で
の悪い装置でも何とか担当者の技術で動きます。と
ころが私たちの測定は学生さんが一時的に乗船して
動かすので、専門家の知識が必要なものはダメだと
考えたんです。幸いなことにバブル式とその発展の
タンデム式を採用した私たちの観測システムは、運
転中に細かな調整を必要とする個所がなく、学生さ
んの運転でもよいデータが出ました。そういう意味

でタンデム型平衡器によるCO₂測定システムを大い
にアピールしたいですね。その後、協力貨物船を
変えてシステムを更新した後は、特定の船員さん
にお願いし、簡単な操作で済むよう装置のより一層の
自動化を行いました。

現在、各国でも貨物船で継続的に行う海洋表層
CO₂観測が新たに計画され、開始されていますが、
そこで私たちの測定システムを使ってもらうことを
考え、ドイツのグループとの共同研究では1式を
提供して今年の2月から観測が始まりました。

図3 北太平洋のCO₂吸収・放出
フラックス分布



国立環境研究所の貨物船を利用する観測（1995～
1999年）で得られた結果から各季節と年間の面積あた
りCO₂放出・吸収（mgC/m²/day）を色で示した。赤が
放出海域、緑が吸収海域である。また、グリッドごとの
数字は吸収・放出量を0.001Gt単位で示した。海域の
総CO₂吸収量は0.24GtC/年と推定された。

●観測とモデリング

——最後に今回の研究のもう一つの側面、得られた
データを使って将来予測を行うモデルの研究に
ついてお話し下さい。

野尻 私たちの海洋CO₂観測で得られる海洋表層
CO₂分圧の分布と季節変動は、海洋の物質循環モデ
ルが正確かどうかを評価するたいへんよい材料になり
ます。私たちは得られたデータの解析を観測者の立場
から行いますし、それで興味深い研究ができます。し
かし、観測研究者はモデル研究へのデータ提供者であ
ることもきわめて重要で、とくに正確な測定結果を提
供することを担っています。海洋全体を表現して将来
予測を行うことをめざしたモデルの中で観測データが
使われることになるので、データの公開が重要です。

——観測者とモデラーはどちらも大切ですが、研究
者同士ではどのような感覚なのでしょう？

野尻 アメリカでは、観測、モデル、その間の解析
研究とも人材豊富で、いっしょにディスカッションし
ながら行えるのがうらやましいですね。やってること
はどれも大事に決まっていますが、いっしょに進んでい
く方がもちろんいい。

日本では観測・解析・モデルともに人が少なすぎ
ます。私たちを含むいくつかの研究機関が実績を上げ
ていることで、海洋CO₂の世界では日本はよくやっ
てるといわれるようになったかな？と思いますし、
そのことを契機にしてこの分野の研究者が増えること
を期待しています。

——ありがとうございました。海洋CO₂吸収のメカ
ニズムがおぼろげながら見えてきました。それにし
ても、測定はたいへんそうですが、面白そうにも思え
てきました。

「北太平洋海洋表層の二酸化炭素吸収に関する研究」の概要

海洋と大気のコ₂交換は炭素循環のキーププロセスであり、この量を正確に把握することは、大気中のコ₂の濃度変動を研究する上で重要なポイントです。海洋のコ₂吸収などの季節変化を完全にカバーする観測はこれまでになく、今回北太平洋域において初めて密度の高い観測を行い、データの解析を試みることに炭素循環の解明を行いました。

(1) 新型平衡器の開発

海洋のコ₂吸収を定量化する方法の一つとして、大気と海洋のコ₂交換を測定する方法があります。世界各国で主に調査船を用いたコ₂分圧の測定が行われていますが、その測定法の標準化およびデータベースの作成は、大気中のコ₂濃度モニタリングと比較して遅れた段階にあります。全海洋のコ₂吸収量を精密に評価するには、正確な測定法の確立、方法間誤差とその要因の解明が重要です。

それを踏まえ、国内研究機関で用いられている10方式のコ₂分圧測定装置(平衡器)の相互比較実験を行いました。その結果、ほぼ±2ppm以内で各方式の値が一致するという好成績を得ました。この実験の際、バブル方式とシャワー方式の測定誤差問題とその原因を詳細に把握し、シャワー方式の改良型であるミキサー方式とバブル方式を組み合わせ、両者の長所を生かした上で正確な測定値が得られるタンデム平衡器を開発しました。

それぞれの特徴は、

- ①シャワー方式：シャワーヘッドから筒内に海水を流下させ、そこで気液平衡を達成する循環式平衡器。もっとも普及していますがシャワーノズルが動物プランクトンなどの粒子で目詰まりしやすく運転中の保守が必要です。効率が低いため空気の循環が必要となって検出系の構成が複雑になります。応答速度が遅いため典型的データ間隔は1時間程度。
- ②ミキサー方式：原理はシャワー方式と同様。より太い海水出口を使うため詰まりはないですが、能率はやはり高くありません。
- ③バブル方式：1m程度の長さの筒中を流下する海水中を空気の泡が上がっていく方式で、気液平衡能率がよく、1回の通気(フロースルー)で平衡が達成されます。応答が早いので、1分間隔でも正確に測定が可能です。ただし、泡の表面張力の問題で、コ₂分圧が真の値より低めに測定されることが明らかになりました。

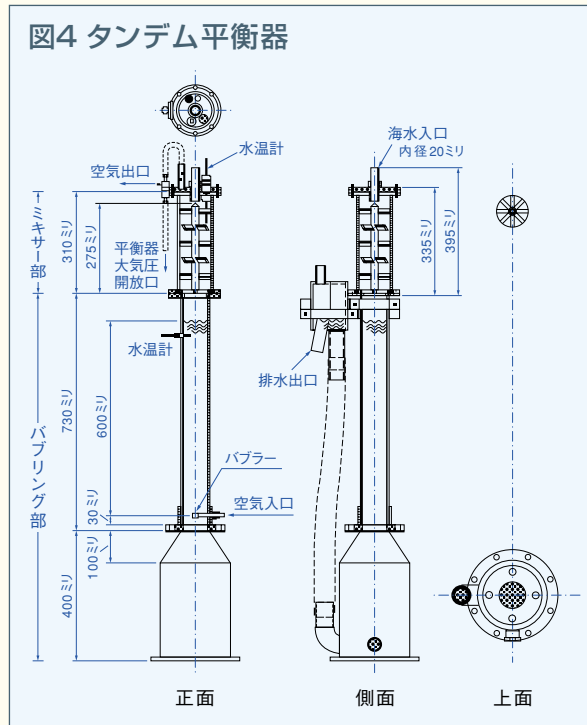
開発されたタンデム型(図4)は初段にバブル方式、

後段にミキサー方式の平衡器を連結したもので、バブル型の値のずれをミキサー方式が補償します。相互の問題点を補う通気型高速応答平衡器ができあがり、船上運転ではメンテナンスフリーの測定が行えるようになりました。

(2) 定期貨物船による観測(図2,3参照)

地球環境モニタリングの一環として1995年3月、日加定期貨物船Skaugranによる大気/海洋間コ₂交換収支の観測を開始しました。1999年9月までに38往復し、データを取得しました。このデータ解析による季節ごとの海洋のコ₂分圧から大気のコ₂分圧を引いたコ₂分圧差(ΔpCO₂)の値を地図上に描いた広域マッピングから以下のことが読みとれました。

- ①本州東方海域では年間2周期成分が強く、春と秋にΔpCO₂が低下しました。
- ②千島・カムチャッカ半島沖とベーリング海では3月にΔpCO₂最大、9月に最低となり、春期の生





物生産による影響で ΔpCO_2 が低下，冬季の鉛直混合で ΔpCO_2 が上昇することがわかりました。

③ アラスカ湾では季節変動が少なく，年間を通して ΔpCO_2 はゼロかわずかにマイナスでした。

④ 北太平洋中央部中緯度域は 5 月に ΔpCO_2 最大，11 月に最小。水温変動に伴う変化の卓越がわかりました。

なお全季節を通した北太平洋北緯 34 度以北の海域平均では，衛星観測からの風速データを用いると，正味の CO_2 吸収量は 0.24GtC であり，世界全体の海洋の CO_2 吸収量の 10% 以上であることがわかりました。

(3) 生物化学過程の解析

pCO_2 の変動は季節，風とともにプランクトンなど生物生産による影響もあります。本研究ではこの点についてもプランクトンの栄養となる栄養塩（硝酸塩）から解析しました。

海洋の CO_2 分圧データと硝酸のデータの季節変化とこれらの間の相互関係から，この海域の夏の pCO_2 低下は表層での植物プランクトンによる効果が大きいこと，また冬に pCO_2 が高まる現象が，鉛直混合による表層海水への炭酸の回帰に支配されていることが明らかになりました。こうした表層 pCO_2 観測データの解析から，海域の炭素循環・物質循環

の推定が可能になります。

(4) CO_2 の同位体測定および酸素濃度測定による炭素循環の解明 (図 5 参照)

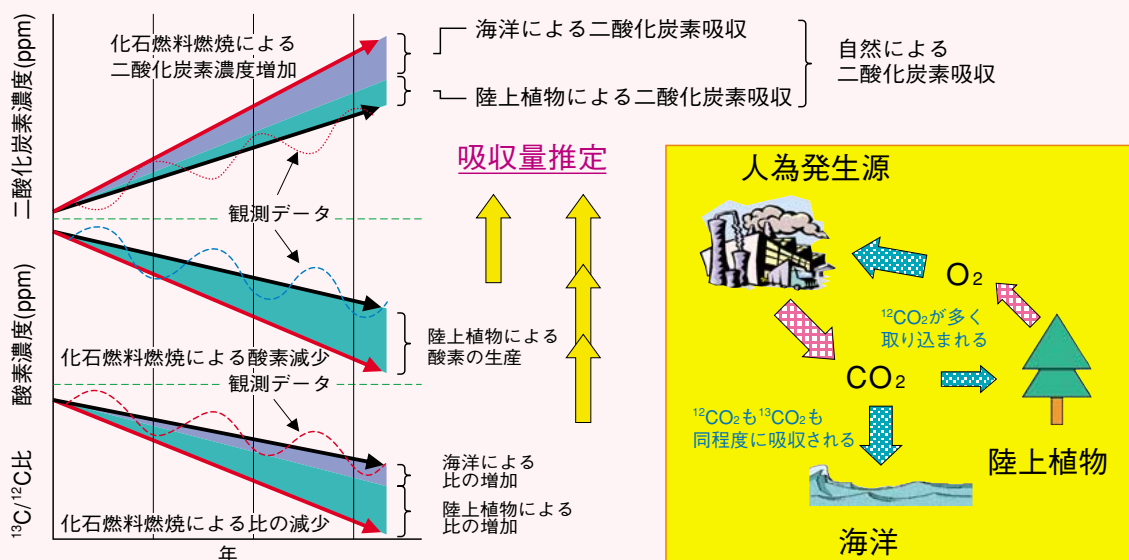
CO_2 の炭素同位体比を用いて CO_2 の動態解明研究が行われてきましたが，これに加えて大気中の酸素濃度の変動から CO_2 収支を解こうとする試みがあります。酸素濃度の分析法に関しては，1ppm 程度の精度で分析することが可能になりました。研究では定期船で採取されたサンプリングや地球環境研究センターのモニタリングステーションのデータを解析しました。それによると，

① 船上データを時系列で解析すると，炭素同位体比は北に行くほど季節振幅が大きく (CO_2 濃度変動と同じ) 南に小さいが，トレンドはいずれの緯度でも減少傾向にあることがわかりました。

② 沖縄県波照間島，北海道落石岬での観測では，いずれも CO_2 は冬に高く夏に低い濃度を示すのに対し，酸素濃度は反対に冬に低く夏に高くなります。波照間での 3 年間 (1997 年 7 月～2000 年 6 月) の観測結果から，酸素濃度が年間 3.7ppm の割合で減少していることがわかりました。

以上の結果をもとに，海洋と陸域の CO_2 吸収量の推定を試みました。

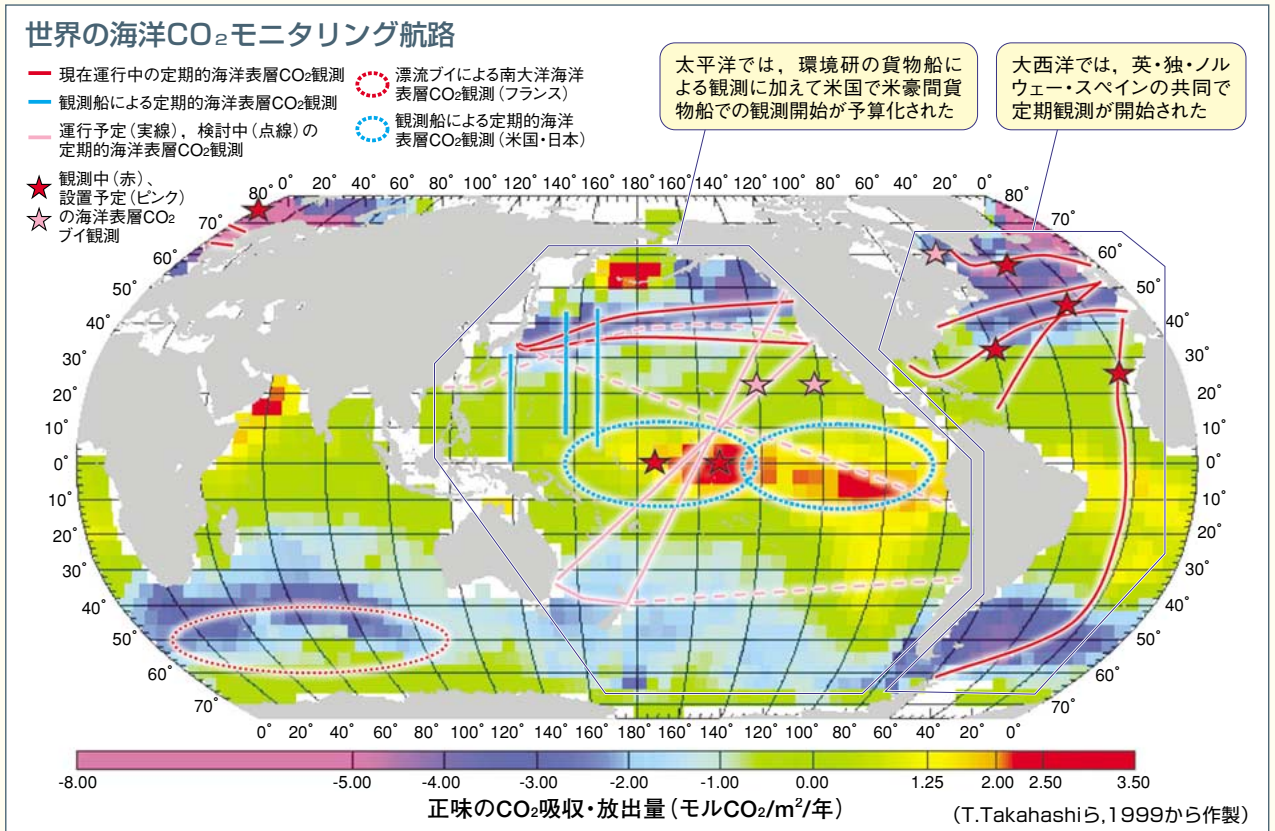
図5 酸素や同位体比による二酸化炭素収支の推定イメージ



(グラフ上の赤い矢印は吸収源がない場合に化石燃料燃焼によってもたらされるはずの濃度変化を表わしている。)

海洋の二酸化炭素吸収に関する研究をめぐって

海洋が地球全体の炭素循環にどのように関わっているかを理解するための観測研究が世界で進められています。観測成果の活用によって、気候予測モデルの精度向上をめざしています。



世界では

広大な海洋の観測をカバーするため、世界気候研究計画(WCRP: World Climate Research Programme)、地球圏-生物圏国際共同研究計画(IGBP: International Geosphere-Biosphere Programme)のもとで、世界海洋循環実験計画(WOCE: World Ocean Circulation Experiment)と全球海洋フラックス合同研究計画(JGOFS: Joint Global Ocean Flux Study)という国際共同研究の一環として海洋CO₂観測が進められました。一つは大洋の断面観測であり、海洋表層から深層に至るCO₂分布を明らかにする観測が、両プログラムの協力で進められました。海洋表層のCO₂観測は、海洋観測船による観測の他、貨物船などの観測を加えてデータ蓄積が図られてきました。2002年からはEUの研究グループが共同で大西洋3航路の貨物船と南極観測補給船での表層CO₂観測を本格開始しまし

たが、この研究には国立環境研究所が協力しています。また、太平洋でも貨物船利用の新たな観測が米国・カナダ・オーストラリアの研究機関で検討されており、その実現が期待されています。

観測データの多くは、米国のCO₂情報分析センター(CDIAC: Carbon Dioxide Information Analysis Center)のOcean CO₂ページから、多くの研究者が活用できるようになってきました。

日本では

わが国では、大学と各省庁機関が相当な数の海洋観測船を運用しており、国際的な海洋観測研究プログラムに貢献してきました。CO₂研究も、多くの観測船で行われています。海洋表層観測では、気象庁や東京大学の観測船による測定データが国際的データベースで公開され、世界の解析研究に貢献しています。日本-パナマ航路では1999~2000年に気



象庁・交通エコモ財団の観測が行われました。本誌で紹介した国立環境研究所による太平洋の貨物船を利用する観測は、大気海洋研究者との共同研究にも利用されています。大洋断面観測では、2003年にわが国最大の研究船海洋科学技術センター「みらい」による南半球一周航海が実現することになり、この分野への大きな国際貢献となると期待されます。

わが国には、とくに太平洋の観測を分担することが国際的に求められ、国内の海洋研究機関はCO₂観測分野の協力体制づくりを進めています。

国立環境研究所では

国立環境研究所では、地球環境研究センターのモニタリング観測と連携して、自然の炭素吸収源の測定を継続的に行うとともに、得られたデータの解析と国際協力を通じて、陸域・海洋吸収源の実態把握と今後の変動予測をめざしています。

●炭素吸収源に関する重点プロジェクト

自然の炭素吸収源の作用を明らかにすることは、将来の温暖化の影響評価と対策の必要性の検討に重要です。このため、大気・陸域・海洋の観測研究を行っており、海洋吸収に関する研究は、地球環境研究センターの地球環境モニタリング事業と連携して行っています。

①大気中酸素濃度および炭素同位体比を指標にしたグローバルな陸域・海洋二酸化炭素吸収量の変動解析に関する研究

沖縄県の波照間島と北海道の落石岬にある大気観測所で自動採取している大気および豪州・北米航路の定期船舶で採取している大気について、大気中CO₂の炭素・酸素同位体測定を行っています。また、最近では酸素窒素比の測定も始めました。いずれも自然のCO₂吸収源が今後の気候変動でどう変化するかを解明する手がかりを得ようとするものです。

②太平洋域の人為起源二酸化炭素の海洋吸収量解明に関する研究

太平洋の定期貨物船による観測データの解析からCO₂吸収の分布と変動を把握する研究を続けています。観測データはデータベースとして公開し、国際的な利用研究の促進をめざします。海洋のCO₂吸収分布

海洋CO₂観測協力船



M/S Skaugran (四日市港)

観測協力期間:1995年3月~1999年9月



M/S Alligator Hope (横浜港)

観測協力期間:1999年11月~2001年5月



M/S Pyxis (豊橋港)

観測協力期間:2001年11月~

の表現には「気候値」と呼ばれる長期平均値がまず重要であり、そのためには長期の安定した観測継続が必要です。さらに、年々の変動を太平洋という広域で明らかにするには、できるだけ高頻度の観測を面的に展開しなくてはなりません。このことを太平洋諸国の国際共同で実現するために、中核となる観測を継続しています。

「北太平洋の海洋表層過程による二酸化炭素の吸収と生物生産に関する研究」の全体構成

課題1

海洋炭酸系測定の高度化に関する研究 (平成8～12年度)

①船上CO₂分圧測定装置の開発改良と測定法間誤差要因の解明

海水CO₂分圧測定の正確さを高めるために、水産庁水産工学研究所の大型室内海水プールを用いて、国内研究機関の測定装置を持ちよって相互比較実験を行い、これを踏まえて、北米航路定期貨物船上で測定したデータの正確さを精密に検討した。

②全炭酸・アルカリ度の測定法間誤差要因の解明

主に太平洋の海水中の全炭酸とアルカリ度の測定を行っている各国の研究機関が参加し、1999年と2000年の2回にわたって、共通試料を測定する相互比較実験を行った。

課題2

海洋表層CO₂分圧と海洋パラメータの定量化に関する研究 (平成8～12年度)

北太平洋北緯15度以北における平均的な大気から海洋へのCO₂フラックスを海洋表層CO₂分圧と風速から求めた。また、その推定を、より観測の容易な他の海洋パラメータから行うことをめざして、データ解析を行った。

課題3

表層炭酸物質の変動と海洋生物生産の影響に関する研究 (平成8～12年度)

三陸沖東経144度を中心とする黒潮域から親潮域にかけて、表層の炭酸ガス分圧の連続分布調査を行い、生物生産を中心とする季節変動要因について解析した。

課題4

高頻度観測データを利用した北太平洋の海洋表層CO₂分圧の時空間分布のモデル化に関する研究 (平成8～12年度)

定期貨物船による北太平洋高緯度域のCO₂分圧観測のデータを解析し、海域のCO₂分圧分布図を作成し、その海域のCO₂吸収フラックスを見積もった。海域での物理過程、生物過程によるCO₂吸収プロセスについて考察した。

課題5

大気、海洋のCO₂の同位体測定および酸素/窒素比測定による炭素循環の解明に関する研究 (平成8～12年度)

海洋上バックグラウンド大気での炭素同位体比や酸素濃度変化の長期間変動観測を行い、大気中のCO₂の収支、陸域と海洋のそれぞれの吸収源強度を推定した。

課題6

アジア太平洋地域の大気二酸化炭素等の観測に関する日豪共同研究 (12年度)

オーストラリアを含むアジア太平洋域8カ国の同位体比を測定している研究者のワークショップを開催した。各国研究者にCO₂の共通試料を配布し、同位体測定に関する測定偏差を検討した。

この研究は平成8～12年度にかけて、地球環境研究総合推進費課題として以下の機関・スタッフ(当時)により実施されてきました。

〈研究担当者〉

地球環境研究グループ

向井 人史、野尻 幸宏、町田 敏暢

大気圏環境部

遠嶋 康徳、高橋 善幸

化学環境部

横内 陽子、植弘 崇嗣、柴田 康行、田中 敦、米田 稔

地球環境研究センター

井上 元

〈共同研究機関〉

・東北大学理学研究科

大気海洋変動観測研究センター

・資源環境技術総合研究所

環境影響予測部海洋環境予測研究室

環境影響予測部広域域間環境研究室

・中央水産研究所海洋生産部物質循環研究室

・東海大学海洋学部海洋工学科

・名古屋大学大気水圏科学研究所

環境儀既刊の紹介

- NO.1 環境中の「ホルモン様化学物質」の生殖・発生影響に関する研究
(2001年7月)
- NO.2 地球温暖化の影響と対策—AIM：アジア太平洋地域における温暖化対策統合評価モデル
(2001年10月)
- NO.3 干潟・浅海域—生物による水質浄化に関する研究
(2002年1月)
- NO.4 熱帯林—持続可能な森林管理をめざして
(2002年4月)
- NO.5 VOC—揮発性有機化合物による都市大気汚染
(2002年7月)

『環境儀』

地球儀が地球上の自分の位置を知るための道具であるように『環境儀』という命名には、われわれを取り巻く多様な環境問題の中で、われわれは今どこに位置するのか、どこに向かおうとしているのか、それを明確に指し示すべしという意図が込められています。『環境儀』に正確な地図・航路を書き込んでいくことが、環境研究に携わるものの任務であると考えています。

2001年7月

理事長 合志 陽一

(環境儀第1号「発刊に当たって」より抜粋)

環境儀 No.6

— 国立環境研究所の研究情報誌 —

2002年10月31日 発行

編 集 国立環境研究所編集委員会

(担当WG：青木 康展，野尻 幸宏，向井 人史，篠木 恒成，清水 英幸，滝村 朗，山形 与志樹)

発 行 独立行政法人 国立環境研究所

〒305-8506 茨城県つくば市小野川16-2

問合せ先 (出版物の入手)国立環境研究所研究情報室 0298(50)2343

(出版物の内容) // 企画・広報室 0298(50)2310

環境儀は国立環境研究所のホームページでもご覧になれます。

編集協力 (社)国際環境研究協会

〒105-0011 東京都港区芝公園3-1-13



このロゴマークは国立環境研究所の英語文字N.I.E.Sで構成されています。
N=波(大気と水)、I=木(生命)、E・Sで構成される○で地球(世界)を表現しています。
ロゴマーク全体が風を切って左側に進むようにする動きは、研究所の躍動性・進歩・向上・発展を表現しています。



本誌は再生紙を使用しております