

Fig. 2.3.4 $\Delta^{14}\text{C}$ in marine boundary air collected in September - December 1990 during KH-90-2 and KH-90-3 cruises of R/V Hakuohmaru (The Univ. of Tokyo).

β 線の計数値から求めた $\delta^{14}\text{C}$ と質量分析法により求めた $\delta^{13}\text{C}$ から、 $\Delta^{14}\text{C}$ を計算した。また、フラスコサンプリングによって求めた実際の大气中の二酸化炭素の $\delta^{13}\text{C}$ 値と比較することによって((2-7)式の $\delta^{13}\text{C}_N$ に、フラスコサンプリングによって求めた $\delta^{13}\text{C}$ 値を代入する)、二酸化炭素採取装置によるサンプリングの同位体分別の程度を評価し、実際の大气中の二酸化炭素の $\delta^{14}\text{C}$ 値も評価した。

結果をFig. 2.3.3とFig. 2.3.4に示す。 $\Delta^{14}\text{C}$ の平均値は、太平洋中部赤道域では $147.9 \pm 4.5\text{‰}$ 、日本南方の西部太平洋では $147.2 \pm 7.8\text{‰}$ となり、試料ごとに顕著な差は見られなかった。これら値はニュージーランドのウェリントンで1955年以来観測されている $\Delta^{14}\text{C}$ の傾向(Manning et al., 1990)とも矛盾していない。 $\delta^{14}\text{C}$ については、太平洋中部赤道域では $188.7 \pm 4.1\text{‰}$ 、日本南方の西部太平洋では $187.7 \pm 8.9\text{‰}$ という結果が得られ、 $\Delta^{14}\text{C}$ の傾向と同様に、海域ごとに顕著な差は見られなかった。

2-4 海水中の全炭酸の ^{14}C 同位体比測定

2-4-1 測定の手順

本節では、加速器質量分析法 (Accelerator Mass Spectrometry) によって海水中の全炭酸の ^{14}C 同位体比を分析するための、試料採取や試料処理の方法について述べる。

加速器質量分析法による ^{14}C 分析は、ベンゼン合成・液体シンチレーション法に比べて、以下の点で優れている。

a)測定に必要な試料が炭素量にしてわずか数mgでよいこと。

(これは、ベンゼン合成・液体シンチレーション法や気体法によって分析する際に必要な量の1000分の1ほどにすぎない。)したがって試料の採取が比較的容易である。

b)測定に要する時間が比較的短い。

短所としては、以下の2点が挙げられる。

c)近年小型化が進んでいるとはいえ、大がかりで高価な加速器質量分析器が必要であり、その操作・保守に高度な知識を有する専門家が必要なこと。

d)したがって、分析に多額の費用がかかること。

加速器質量分析法による ^{14}C 同位体比の測定精度は、気体法やベンゼン合成・液体シンチレーション法に比べて劣っていたが、近年はそれらに匹敵する $\pm 5\%$ 前後の高い精度が得られるようになりつつある。

従来、海水中の全炭酸の ^{14}C 同位体比を測定するためには、約 200dm^3 もの海水を採水し、これに酸を添加して全炭酸を二酸化炭素にした後、窒素ガス等のキャリアガスで抽出し、精製した後、気体法やベンゼン合成・液体シンチレーション法によって β 線計数を行っていた。しかしこの方法では、大量採水に長い時間と多大な労力がかかるだけでなく、試料の処理や測定にも時間がかかるため、多くの観測点から多くの採水層の $\Delta^{14}\text{C}$ データを得ることは大変困難である。

そこで加速器質量分析法によって海水中の全炭酸の ^{14}C 同位体比を分析するよう、その試料採取と試料の処理方法について検討した。この方法では、試料海水がわずか 100cm^3 程度ですむため、CTD/ロゼットマルチサンプラーなどの採水器から、他の分析目的の海水試料と同時に試料海水を採取できる。

採水から分析に至る一連の手順の概要は、以下の通りである。

- a)観測船において、ニスキン採水器などを使用して各層採水を行う。採水器から密閉できる瓶に試料海水を分取し、飽和塩化水銀(II)溶液を添加して殺菌する(1-3-7(6)参照)。試料海水を気象研究所に持ち帰る。
- b)真空ライン中で試料海水にリン酸を添加して酸性にし、海水中の全炭酸を二酸化炭素として抽出する。精製後、ガラス管に封入する。
- c)封入した二酸化炭素試料を加速器質量分析計を有する機関に送付し、 ^{14}C 同位体比の分析を依頼する。
- d)加速器質量分析計を有する機関では、送付された二酸化炭素試料の一部を使って $\delta^{13}\text{C}$ を分析すると同時に、二酸化炭素から質量分析計のイオンビームのターゲットとなる黒鉛(グラファイト)を合成し、その ^{14}C 同位体比を分析する。

以下に採水方法と二酸化炭素の抽出方法について述べる。

2-4-2 採水方法

全炭酸の ^{14}C 同位体比を分析する海水試料の採水方法は、1-3-7(6)に述べた全炭酸濃度分析のための採水方法と同じで、

- a)採水中に大気中の二酸化炭素を混入させないこと
- b)殺菌すること
- c)大気と接触させないように密封して保存すること

の3点に注意を払わねばならない。同一のニスキン採水器から全炭酸濃度分析用の試料海水を分取するときは、その次に全炭酸の ^{14}C 同位体比分析用の試料海水を分取する。観測初期の頃は、ゴムキャップをした上にアルミキャップを締め付けて密封するタイプのガラスバイアルを採水瓶として使用していたが、長期の密閉性に疑問が生じたため、現在では、全炭酸濃度分析用と同一のホウケイ酸ガラス製共栓つき試薬瓶を使用している。容量は採取できる海水の量に応じて、 250cm^3 か 500cm^3 のボトルを使用している。

2-4-3 二酸化炭素の抽出

気象研究所の実験室で海水試料から全炭酸を二酸化炭素として抽出し精製する真空ラインを製作した(Fig. 2.4.1)。またこの真空ラインに接続する反応容器を組み立てた(Fig. 2.4.2)。反応容器では、減圧下で試料海水とリン酸を混合する。発生した二酸化炭素は、混合している水蒸気や溶存酸素等の気体を -65°C の投げ込み冷却器と液体窒素を使った三段階の真空蒸留によって除去した後、ガラス管に封入する。

この他に必要な試薬類や機器および操作手順を以下に示す。

試薬・器具等：

濃リン酸，エタノール，液体窒素，酸素シリンダー，1cm³駒込ピペット

アピエゾングリースH，デュワー瓶3個，攪拌子

機器等：

乾燥器，ガスバーナー，ヒートガン，温度計（-65℃以下の計測が可能なもの）

操作

(1) 真空ラインの洗浄と脱気

a) 試料管上部のバルブ6を閉じ，塩酸と純水で十分に洗浄し乾燥した試料管をセットする。

b) trap1を投げ込み冷却器で-65℃に冷却したエタノールで冷却する。

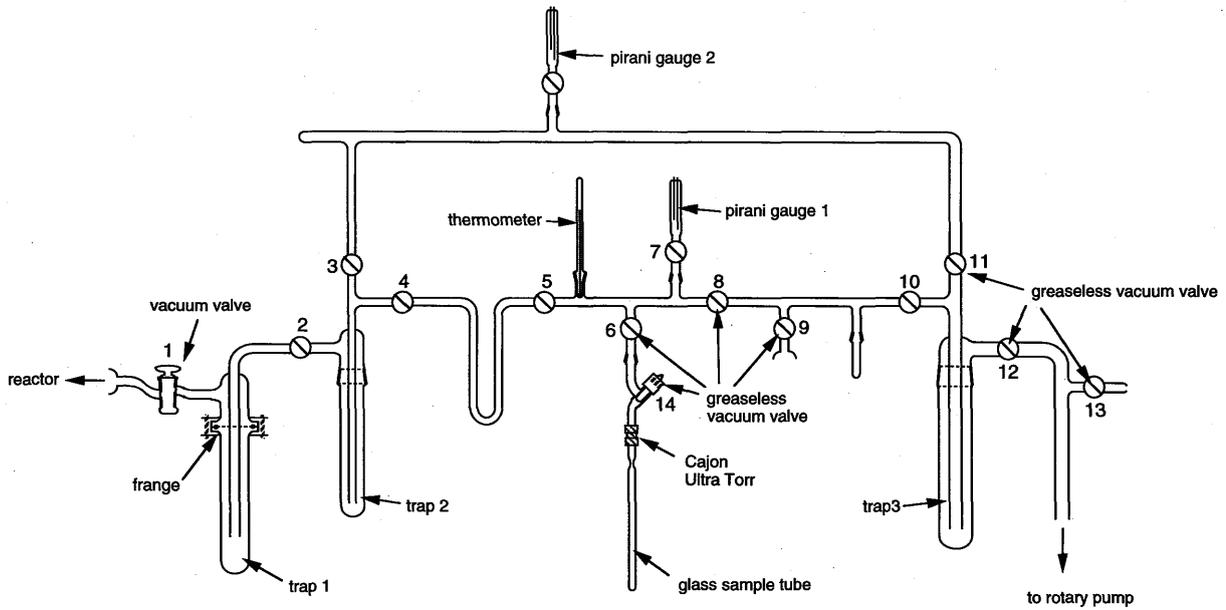


Fig. 2.4.1 Vacuum line for purifying CO₂.

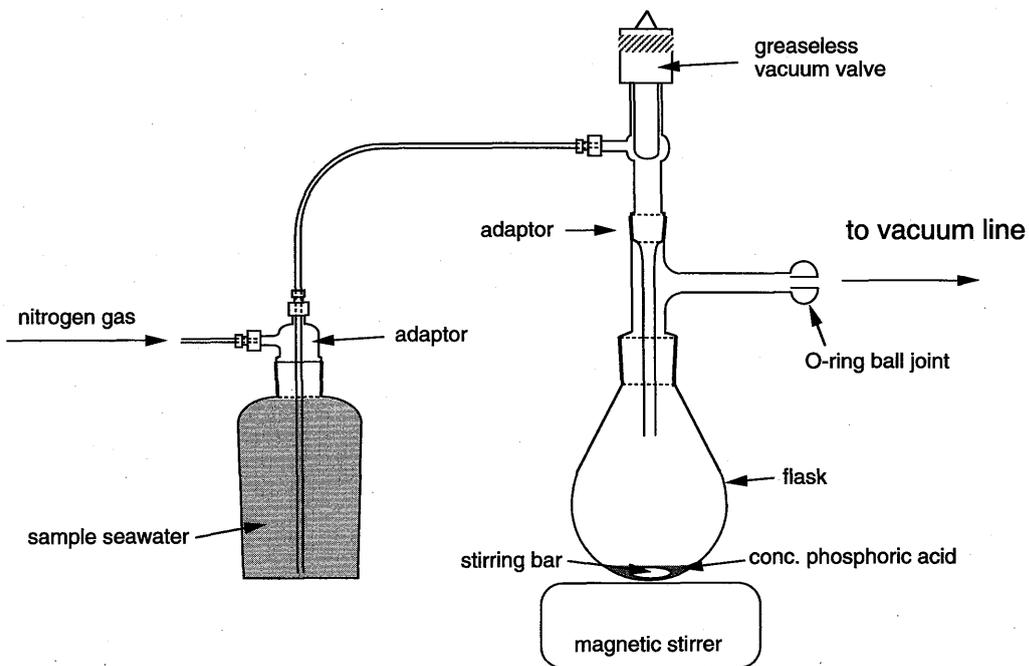


Fig. 2.4.2 Reactor for acidifying seawater and extracting total inorganic carbon as CO₂.

c)バルブ12, 10, 8, 6, 14を開けて試料管内を脱気し, バルブ7, 5, 4, 11, 3, 2を開けて, ライン全体を真空にひく。

d)ロータリーポンプに一番近いライン右端のtrap3に液体窒素を補充しておく。

(2) 反応容器の装着

a)反応容器のフラスコに濃リン酸1cm³と攪拌子を入れる。

b)フラスコにアダプターをセットし, 真空ラインの左端にセットする。

c)攪拌子を回転させた後, バルブ10と4を閉じた上でバルブ1を開け, フラスコ内を真空にひく。

(3) 試料ボトルの装着

a)海水試料の入った試薬瓶を秤量し, その重さを記録する。

b)海水試料の入った試薬瓶をFig. 2.4.2のようにラインにセットする。フラスコ内の真空度が1.5Pa以下になったら, フラスコ上のバルブを少し開け, フラスコと試料海水ボトルの間のPFA配管に海水を満たす。

(4) 二酸化炭素の抽出

a)trap1のエタノールの温度を測り, -65℃以下になるよう必要に応じてエタノールに液体窒素を加える。

b)ピラニゲージ2の指針が0.4Pa以下になるのを待つ。

c)フラスコと真空ラインの間のバルブ1を閉める。フラスコ上のバルブを開け, 海水を少しずつフラスコ内に導入する。フラスコ内では海水が酸性になり, 二酸化炭素が発生し始める。試薬瓶のヘッドスペースには窒素ガスが入る。この窒素がフラスコに入る前にフラスコ上のバルブを閉める。この間にバルブ10を開けておき, 試料管やU字管内を真空に引いておく。

d)日付, 時刻, 始めの真空度を記録する。試料瓶を反応容器からはずして秤量し, フラスコに導入された海水量を算出して記録する。

e)trap2とU字管の間のバルブ4を閉め, trap2に液体窒素をセットする。

f)バルブ3を閉める。海水の導入が終わってから5分以上経ったら, フラスコと真空ライン間のバルブ1を開け, 発生した二酸化炭素をtrap1とtrap2に導入する。

(5) 酸素など溶存気体の脱気-1

a)二酸化炭素をtrap1とtrap2に導入してから5分後に, フラスコとtrap1間のバルブ1を閉める。

b)ライン右端のバルブ10と11を閉める。

c)バルブ3を開け, ピラニゲージ2の値を読み取り, 記録する。

d)trap2の液体窒素を補充し, バルブ11を開けて, ピラニゲージ2の値が0.4Pa以下になるまで脱気する。脱気したらバルブ3を閉める。

(6) 二酸化炭素の抽出-2

a)フラスコとライン間のバルブ1を開け, 再度フラスコ内の二酸化炭素をtrap1とtrap2に導入する。

(7) 酸素など溶存気体の脱気-2

a)5分後にフラスコとtrap1の間のバルブ1を閉める。

b)ライン右端のバルブ11を閉める。

c)バルブ3を開け, ピラニゲージ2の指示圧を読み取り, 記録する。

d)trap2の液体窒素を補充し, バルブ11を開ける。ピラニゲージ2の値が0.4Pa以下になるまで脱気する。

e)脱気中に, 試料管付近にリークがないかチェックしておく。

f)バルブ2とバルブ3を閉める。

(8) 二酸化炭素の精製-1

- a)バルブと4が閉まっていることを確認し, trap2にセットした液体窒素を-65°Cエタノールに置換する。trap2内の二酸化炭素は昇華するが, 少量の水はtrap2にトラップされたままである。
 - b)バルブ10を開け, ピラニゲージ1の指示圧が0.1Pa以下になったらtrap2右のU字管に液体窒素をセットする。
 - c)バルブ5を閉め, バルブ4を開ける。trap2内の二酸化炭素はU字管にトラップされる。3分経過したらバルブ4を閉める。
 - d)U字管にセットされている液体窒素を-65°Cエタノールに置換する。
- (9) 抽出量の見積もり
- a)バルブ10を閉め, バルブ6とバルブ8が開いているのを確認した後, U字管右のバルブ5を開ける。
 - b)ピラニゲージ1の指示圧力と温度を記録する。
 - c)予め既知量の炭酸ナトリウムを処理して求めておいた二酸化炭素量とピラニゲージの指示圧力の関係から, およその抽出量を評価する。
- (10) 二酸化炭素の精製-2 (試料管への封入)
- a)試料管の先端を液体窒素に浸す。
 - b)ピラニゲージ1の指示圧力が下がりきったら, バルブ5を閉める。
 - c)試料管を浸した液体窒素を補充し, バルブ10を開け, 試料管内にわずかに残っている気体を脱気する。
 - d)脱気が終わったら, すぐにバルブ10, 6, 14を閉める。
 - e)ガスバーナーを使って試料管を熔封する。
 - f)試料管に試料名を記入する。
- (11) 洗浄など
- a)フラスコを取り外し, 廃液 (塩化水銀(II)を含んでいる) を廃液溜めに入れる。洗浄も廃液溜めに入れる。十分に洗浄後, 乾燥器に入れて乾燥させる。
 - b)アダプターを取り外し, 洗浄後, 乾燥器に入れて乾燥させる。
 - c)バルブ2を閉じ, バルブ1を開けて, trap1内を大気圧に戻す。
 - d)trap1をはずし, よく乾かしたトラップと交換する。使用済みのtrap1は水をよくきった後, 乾燥器に入れて乾燥させる。

一試料の処理に要する時間は約2時間である。

また, 上と同様の操作によって, 既知量の炭酸ナトリウムにリン酸を添加し, 発生した二酸化炭素の量とピラニゲ

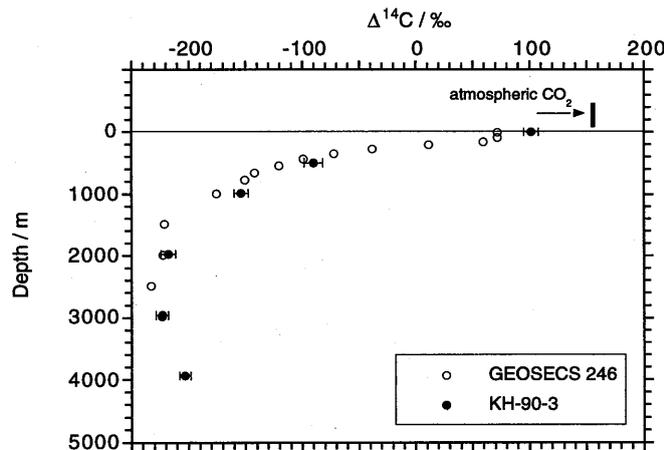


Fig. 2.4.3 Vertical profiles of $\Delta^{14}\text{C}$ of total inorganic carbon in seawater at 0°, 179°E. Open circle : collected in December 1973 at GEOSECS station 246. Closed circle : collected in November 1990 during KH-90-3 cruise of R/V Hakuho-maru (The Univ. of Tokyo).

ージの指示圧との関係を求めた。次に全炭酸濃度が既知の海水試料を既知量分取して二酸化炭素を抽出し、抽出効率(ガラス管に封入された二酸化炭素/海水に含まれていた全炭酸量)を求めたところ、約95%だった(この真空ラインには、大気圧に近づくと感度が鈍化するピラニゲージがつけてあるため、あまり正確な値を求めることはできなかった)。したがって、この真空ラインは ^{14}C 同位体比を分析するための海水試料を処理するには有効だが、 ^{13}C 同位体比を分析するための海水試料処理には、同位体分別効果が顕著になり、使用できないと考えられる。

2-4-4 相互比較実験

1990年11月から12月に行われた東京大学海洋研究所白鳳丸のKH-90-3次航海に参加し、中部太平洋の赤道上、東経179度において、10dm³のニスキン採水器を装着したCTD/ロゼットマルチサンプラーにより各層採水を行い、海水を120cm³ずつ分取した。(ボトルには、ゴムキャップをした上にアルミキャップを締め付けて密封するタイプのガラスバイアルを使用した。)これに飽和塩化水銀(II)溶液を0.1cm³ずつ添加して密閉し、気象研究所に持ち帰った。この時点ではまだ2-4-3に記述した真空ラインは製作していなかったため、2-3-2に記述したベンゼン合成装置のラインを利用して、海水から二酸化炭素を抽出・精製し、外径9mmのガラス管に封入した。加速器質量分析計による ^{14}C 同位体比の測定は、ニュージーランドのInstitute of Nuclear Science, DSIR (現在はInstitute of Geological & Nuclear Sciences Ltd.)に依頼した。

$\Delta^{14}\text{C}$ の測定精度は $\pm 4.9\%$ から $\pm 8.0\%$ の範囲だった。これらの測定結果を大量採水- β 線計数法によるGEOSECSのstn.246 (0°, 179°E; 1973年12月)の測定結果 (Ostlund and Stuiver, 1980)と比較したところ (Fig. 2.4.3), 水深2000mと水深3000mそれぞれの $\Delta^{14}\text{C}$ 値は測定精度内でよく一致しており、加速器質量分析法により従来の β 線測定法と一致するデータの得られることが確認できた。一方水深1000m以浅の $\Delta^{14}\text{C}$ 値は1973年と比較して約20%増加しており、大気圏核実験に由来する ^{14}C が当時に比べてより多く海洋表層に蓄積されていることが観測された。

2-4-5 太平洋西部海域における観測結果

1994年7月~9月に実施された気象庁凌風丸の世界海洋大循環実験P9線 (西部北太平洋のおもに東経137度線上

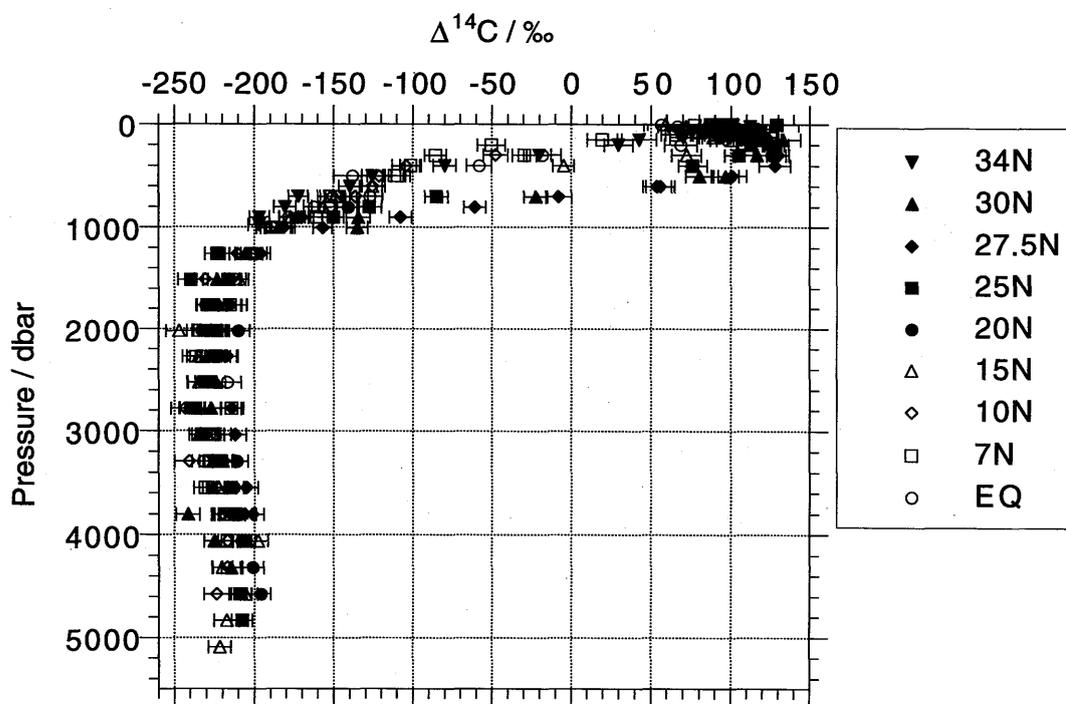


Fig. 2.4.4 Vertical profiles of $\Delta^{14}\text{C}$ of total inorganic carbon in seawater (preliminary data) at stations on WOCE HP P9 line. Samples were collected in July - August 1994 during RY9407 cruise of R/V Ryofu-maru (Japan Meteorological Agency).

の本州沿岸からパプアニューギニア沿岸) のワンタイム航海に参加し、23点の鉛直各層採水点でCTD/ロゼットマルチサンプラーを使用して表面から海底直上までの各層から採水した海水を分取した。二酸化炭素の抽出は、Fig. 2.4.1に示した真空ラインとFig. 2.4.2に示した反応容器を使用して行い、ガラス管に封入した二酸化炭素試料の ^{14}C 同位体比の測定は、ニュージーランドのInstitute of Geological & Nuclear Sciences Ltd.とオランダのグローニンゲン大学に依頼した。

これまでに得られた鉛直分布をFig. 2.4.4に示す。北緯20度から北緯30度の亜熱帯域北部の各測点では、北緯15度以南の各点に比べて、大気圏核実験に由来する ^{14}C の影響がより深い層に及んでいる。この傾向は水温や塩分から判断される鉛直混合の度合と一致している。 $\Delta^{14}\text{C}$ を海水の密度に対してプロットすると、北緯30度から北緯15度の海域では、 $\sigma_\theta < 27.5$ の中層以浅で等密度面上の $\Delta^{14}\text{C}$ はほぼ一致し、垂表層の塩分極大層 ($\sigma_\theta = 25$) で $\Delta^{14}\text{C}$ は極大値を示した (Fig. 2.4.5)。垂表層の塩分極大層に見られた $\Delta^{14}\text{C}$ 極大は、中部北太平洋においても観測されており (Quay et al., 1983)、西部北太平洋でも中緯度海域から赤道近辺の混合層下に向かう海水の流れがあると考えられる。

一方、深層では、どの測点でも水深2000mから水深3000mに $\Delta^{14}\text{C}$ の極小が見られる。こうした傾向はGEOSECSにおいても太平洋中部や東部で観測されており、底層水が南大洋から北上し、西部北太平洋でもゆつくりと湧昇していることを示唆している。

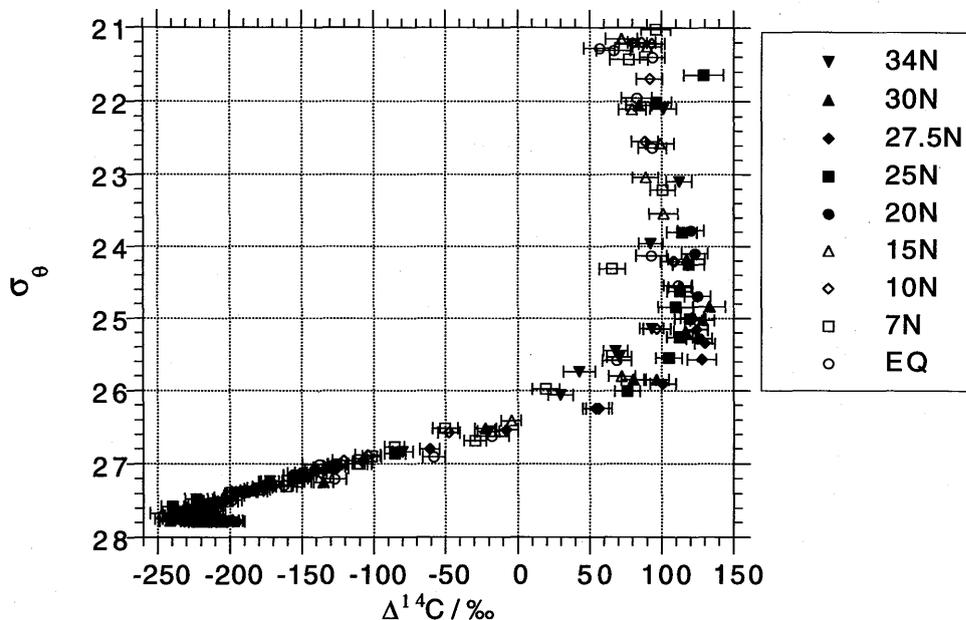


Fig. 2.4.5 Relationships between $\Delta^{14}\text{C}$ of total inorganic carbon and potential density at stations on WHP P9 line.

謝 辞

凌風丸での西部北太平洋における観測においては、金子郁雄博士（現 気象研究所海洋研究部）、矢野敏彦氏、長井秀樹氏、根本和宏氏、中村知朗氏ほか気象庁海洋気象部(当時)海洋課、海務課の皆様や、凌風丸乗組員の皆様に大変お世話になった。白鳳丸での赤道域における観測においては、酒井均教授、寺崎誠教授、野崎義行教授ほか東京大学海洋研究所の皆様や、白鳳丸乗組員の皆様に大変お世話になった。かいようでの赤道域における観測においては、浅沼市男博士、青山道夫博士（現 気象研究所地球化学研究部）ほか海洋科学技術センター海洋観測研究部の皆様や、かいよう乗組員の皆様に大変お世話になった。スクリプス海洋研究所のAndrew G. Dickson博士は、全炭酸濃度分析のための認証標準物質を快く提供して下さった。住重環境エンジニアリング株式会社の新堀雅久氏は、廃液の処理方法の検討に協力して下さった。地球化学研究部の皆様は、観測や分析の手法や結果に関して有益な議論をして下さった。ご協力下さった皆様に心よりお礼を申し上げる。

参考文献

1章

- Johnson, K. M., A. E. King and J. McN. Sieburth (1985) Coulometric TCO₂ analyses for marine studies; an introduction. *Marine Chemistry*, **16**, 61-82.
- Millero, F. J. and A. Poisson (1981) International one-atmosphere equation of state for sea water. *Deep-Sea Research* **28**, 625-629.
- Millero, F. J. (1995) Thermodynamics of carbon dioxide system in the oceans. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, **59**, 661-677.
- Robinson, C. and P. J. leB. Williams (1991) Development and assessment of an analytical system for the accurate and continual measurement of total dissolved inorganic carbon. *Marine Chemistry*, **34**, 157-175.
- Roy, R. N., L. N. Roy, K. M. Vogel, C. P. Moore, T. Pearson, C. E. Good, F. J. Millero and D. J. Cambell (1993) Determination of the ionization constants of carbonic acid in seawater in salinities 5 to 45 and temperatures 0 to 45°C. *Marine Chemistry*, **44**, 249-267.
- Sarmiento, J. L. and J. R. Toggweiler (1984) A new model for the role of the oceans in determining atmospheric pCO₂. *Nature*, **308**, 621-624.
- Weiss, R. F. (1974) Carbon dioxide in water and seawater : the solubility of a non-ideal gas. *Marine Chemistry* **2**, 203-215.

2章

- Libby, R. F. (1952) *Radiocarbon Dating*. The Univ. Chicago Press, pp125.
- Manning, M. R., D. C. Lowe, W. H. Melhuish, R. J. Sparks, G. Wallace, C. A. M. Brenninkmeijer and R. C. McGill (1990) The use of radiocarbon measurements in atmospheric studies. *Radiocarbon* **32**, 37-58.
- Nydal, R. and Lövseth, K. (1983) Tracing bomb ¹⁴C in the atmosphere 1962-1980. *Journal of Geophysical Research*, **88**, 3621-3642.
- Östlund, H. G. and M. Stuiver (1980) GEOSECS Pacific Radiocarbon. *Radiocarbon*, **22**, 25-53.
- Quay, P. D., M. Stuiver and W. S. Broecker (1983) Upwelling rates for the equatorial Pacific Ocean derived from the bomb ¹⁴C distribution. *Journal of Marine Research*, **41**, 769-792.
- Siegenthaler, U. and J. L. Sarmiento (1993) Atmospheric carbon dioxide and the ocean. *Nature*, **365**, 119 - 125.
- Stuiver, M. and H. A. Polach (1977) Discussion reporting of ¹⁴C data. *Radiocarbon*, **19**, 355-363.

気象研究所技術報告一覧表

- 第1号 バックグラウンド大気汚染の測定法の開発 (地球規模大気汚染特別研究班, 1978)
Development of Monitoring Techniques for Global Background Air Pollution. (MRI Special Research Group on Global Atmospheric Pollution, 1978)
- 第2号 主要活火山の地殻変動並びに地熱状態の調査研究 (地震火山研究部, 1979)
Investigation of Ground Movement and Geothermal State of Main Active Volcanoes in Japan. (Seismology and Volcanology Research Division, 1979)
- 第3号 筑波研究学園都市に新設された気象観測用鉄塔施設 (花房龍男・藤谷徳之助・伴野 登・魚津 博, 1979)
On the Meteorological Tower and Its Observational System at Tsukuba Science City. (T. Hanafusa, T. Fujitani, N. Banno, and H. Uozu, 1979)
- 第4号 海底地震常時観測システムの開発 (地震火山研究部, 1980)
Permanent Ocean - Bottom Seismograph Observation System. (Seismology and Volcanology Research Division, 1980)
- 第5号 本州南方海域水温図-400m (又は500m) 深と1,000m深- (1934-1943年及び1954-1980年) (海洋研究部, 1981)
Horizontal Distribution of Temperature in 400m (or 500m) and 1,000m Depth in Sea South of Honshu, Japan and Western - North Pacific Ocean from 1934 to 1943 and from 1954 to 1980. (Oceanographical Research Division, 1981)
- 第6号 成層圏オゾンの破壊につながる大気成分及び紫外日射の観測 (高層物理研究部, 1982)
Observations of the Atmospheric Constituents Related to the Stratospheric ozone Depletion and the Ultraviolet Radiation. (Upper Atmosphere Physics Research Division, 1982)
- 第7号 83型強震計の開発 (地震火山研究部, 1983)
Strong - Motion Seismograph Model 83 for the Japan Meteorological Agency Network. (Seismology and Volcanology Research Division, 1983)
- 第8号 大気中における雪片の融解現象に関する研究 (物理気象研究部, 1984)
The Study of Melting of Snowflakes in the Atmosphere. (Physical Meteorology Research Division, 1984)
- 第9号 御前崎南方沖における海底水圧観測 (地震火山研究部・海洋研究部, 1984)
Bottom Pressure Observation South off Omaezaki, Central Honsyu. (Seismology and Volcanology Research Division and Oceanographical Research Division, 1984)
- 第10号 日本付近の低気圧の統計 (予報研究部, 1984)
Statistics on Cyclones around Japan. (Forecast Research Division, 1984)
- 第11号 局地風と大気汚染質の輸送に関する研究 (応用気象研究部, 1984)
Observations and Numerical Experiments on Local Circulation and Medium-Range Transport of Air Pollutions. (Applied Meteorology Research Division, 1984)
- 第12号 火山活動監視手法に関する研究 (地震火山研究部, 1984)
Investigation on the Techniques for Volcanic Activity Surveillance. (Seismology and Volcanology Research Division, 1984)
- 第13号 気象研究所大気大循環モデル-I (MRI・GCM-I) (予報研究部, 1984)
A Description of the MRI Atmospheric General Circulation Model (The MRI・GCM-I). (Forecast Research Division, 1984)
- 第14号 台風の構造の変化と移動に関する研究-台風7916の一生- (台風研究部, 1985)

- A Study on the Changes of the Three - Dimensional Structure and the Movement Speed of the Typhoon through its Life Time.
(Typhoon Research Division, 1985)
- 第15号 波浪推算モデルMRIとMRI-IIの相互比較研究-計算結果図集- (海洋気象研究部, 1985)
An Intercamparison Study between the Wave Models MRI and MRI-II-A Compilation of Results-. (Oceanographical Research Division, 1985)
- 第16号 地震予知に関する実験的及び理論的研究 (地震火山研究部, 1985)
Study on Earthquake Prediction by Geophysical Method. (Seismology and Volcanology Research Division, 1985)
- 第17号 北半球地上月平均気温偏差図 (予報研究部, 1986)
Maps of Monthly Mean Surface Temperature Anomalies over the Northern Hemisphere for 1891-1981. (Forecast Research Division, 1986)
- 第18号 中層大気の研究 (高層物理研究部・気象衛星研究部・予報研究部・地磁気観測所, 1986)
Studies of the Middle Atmosphere. (Upper Atmosphere Physics Research Division, Meteorological Satellite Research Division, Forecast Research Division, MRI and the Magnetic Observatory, 1986)
- 第19号 ドップラーレーダによる気象・海象の研究 (気象衛星研究部・台風研究部・予報研究部・応用気象研究部・海洋研究部, 1986)
Studies on Meteorological and Sea Surface Phenomena by Doppler Radar. (Meteorological Satellite Research Division, Typhoon Research Division, Forecast Research Division, Applied Meteorology Research Division, and Oceanographical Research Division, 1986)
- 第20号 気象研究所対流圏大気大循環モデル (MRI・GCM-I) による12年間分の積分 (予報研究部, 1986)
Mean Statistics of the Tropospheric MRI・GCM-I based on 12-year Integration. (Forecast Research Division, 1986)
- 第21号 宇宙線中間子強度1983-1986 (高層物理研究部, 1987)
Multi-Directional Cosmic Ray Meson Intensity 1983-1986. (Upper Atmosphere Physics Research Division, 1987)
- 第22号 静止気象衛星「ひまわり」画像の噴火噴煙データに基づく噴火活動の解析に関する研究 (地震火山研究部, 1987)
Study on Analysis of Volcanic Eruptions based on Eruption Cloud Image Data obtained by the Geostationary Meteorological satellite (GMS). (Seismology and Volcanology Research Division, 1987)
- 第23号 オホーツク海海洋気候図 (篠原吉雄・四電信行, 1988)
Marine Climatological Atlas of the sea of Okhotsk. (Y. Shinohara and N. Shikama, 1988)
- 第24号 海洋大循環モデルを用いた風の応力異常に対する太平洋の応答実験 (海洋研究部, 1989)
Response Experiment of Pacific Ocean to Anomalous Wind Stress with Ocean General Circulation Model. (Oceanographical Research Division, 1989)
- 第25号 太平洋における海洋諸要素の季節平均分布 (海洋研究部, 1989)
Seasonal Mean Distribution of Sea Properties in the Pacific. (Oceanographical Research Division, 1989)
- 第26号 地震前兆現象のデータベース (地震火山研究部, 1990)
Database of Earthquake Precursors. (Seismology and Volcanology Research Division, 1990)
- 第27号 沖縄地方における梅雨期の降水システムの特徴 (台風研究部, 1991)
Characteristics of Precipitation Systems During the Baiu Season in the Okinawa Area. (Typhoon Research Division, 1991)
- 第28号 気象研究所・予報研究部で開発された非静水圧モデル (猪川元興・斉藤和雄, 1991)
Description of a Nonhydrostatic Model Developed at the Forecast Research Department of the MRI. (M. Ikawa and K. Saito, 1991)

- 第29号 雲の放射過程に関する総合的研究 (気候研究部・物理気象研究部・応用気象研究部・気象衛星・観測システム研究部・台風研究部, 1992)
A Synthetic Study on Cloud-Radiation Processes. (Climate Research Department, Physical Meteorology Research Department, Applied Meteorology Research Department, Meteorological Satellite and Observation System Research Department, and Typhoon Research Department, 1992)
- 第30号 大気と海洋・地表とのエネルギー交換過程に関する研究 (三上正男・遠藤昌宏・新野 宏・山崎孝治, 1992)
Studies of Energy Exchange Processes between the Ocean-Ground Surface and Atmosphere. (M. Mikami, M. Endoh, H. Niino, and K. Yamazaki, 1992)
- 第31号 降水日の出現頻度からみた日本の季節推移-30年間の日降水量資料に基づく統計- (秋山孝子, 1993)
Seasonal Transition in Japan, as Revealed by Appearance Frequency of Precipitating-Days. -Statistics of Daily Precipitation Data During 30 Years-(T. Akiyama, 1993)
- 第32号 直下型地震予知に関する観測的研究 (地震火山研究部, 1994)
Observational Study on the Prediction of Disastrous Intraplate Earthquakes. (Seismology and Volcanology Research Department, 1994)
- 第33号 各種気象観測機器による比較観測 (気象衛星・観測システム研究部, 1994)
Intercomparisons of Meteorological Observation Instruments. (Meteorological Satellite and Observation System Research Department, 1994)
- 第34号 硫黄酸化物の長距離輸送モデルと東アジア地域への適用 (応用気象研究部, 1995)
The Long-Range Transport Model of Sulfur Oxides and Its Application to the East Asian Region. (Applied Meteorology Research Department, 1995)
- 第35号 ウインドプロファイラーによる気象の観測法の研究 (気象衛星・観測システム研究部, 1995)
Studies on Wind Profiler Techniques for the Measurements of Winds. (Meteorological Satellite and Observation System Research Department, 1995)
- 第36号 降水・落下塵中の人工放射性核種の分析及びその地球化学的研究 (地球化学研究部, 1996)
Geochemical Studies and Analytical Methods of Anthropogenic Radionuclides in Fallout Samples. (Geochemical Research Department, 1996)
- 第37号 大気と海洋の地球化学的研究 (1995年及び1996年) (地球化学研究部, 1998)
Geochemical Study of the Atmosphere and Ocean in 1995 and 1996. (Geochemical Research Department, 1998)
- 第38号 鉛直2次元非線形問題 (金久博忠, 1999)
Vertically 2-dimensional Nonlinear Problem, (H. Kanehisa, 1999)
- 第39号 客観的予報技術の研究 (予報研究部, 2000)
Study on the Objective Forecasting Techniques (Forecast Research Department, 2000)
- 第40号 南関東地域における応力場と地震活動予測に関する研究 (地震火山研究部, 2000)
Study on Stress Field and Forecast of Seismic Activity in the Kanto Region (Seismology and Volcanology Research Department, 2000)

気象研究所

1946 (昭和21) 年 設 立

所 長 : 中 山 嵩

予報研究部 部長 : 理 博 吉 住 禎 夫
気候研究部 部長 : 近 藤 洋 輝
台風研究部 部長 : 八 木 正 允
物理気象研究部 部長 : 田 中 豊 顯
環境・応用気象研究部 部長 : 理 博 花 房 龍 男
気象衛星・観測
システム研究部 部長 : 理 博 高 島 勉
地震火山研究部 部長 : 理 博 吉 田 明 夫
海洋研究部 部長 : 理 博 宇 治 豪
地球化学研究部 部長 : 理 博 伏 見 克 彦

気象研究所技術報告

編集委員長 : 近 藤 洋 輝

編集委員 : 加 藤 政 勝 井 上 豊 志 郎 北 畠 尚 子
深 堀 正 志 清 野 直 子 高 谷 美 正
上 垣 内 修 安 田 珠 幾 松 枝 秀 和
事務局 : 佐 藤 博 岡 田 孝 文

気象研究所技術報告は、1978年(昭和53)年の初刊以来、気象研究所が必要の都度発行する刊行物であり、原則として気象研究所職員及びその共同研究者による気象学、海洋学、地震学その他関連の地球科学に関する技術報告、資料報告および総合報告(以下報告という)を掲載する。

気象研究所技術報告の編集は、編集委員会が行う。編集委員会は原稿の掲載の可否を判定する。

本紙に掲載された報告の著作権は気象研究所に帰属する。本紙に掲載された報告を引用する場合は、出所を明示すれば気象研究所の許諾を必要としない。本紙に掲載された報告の全部又は一部を複製、転載、翻訳、あるいはその他に利用する場合は気象研究所の許諾を得なければならない。個人が研究、学習、教育に使用する場合は、出所を明示すれば気象研究所の許諾を必要としない。

気象研究所技術報告 ISSN 0386-4049

第 41 号

平成12年3月 発 行

編集兼 気 象 研 究 所
発行者

〒305-0052 茨城県つくば市長峰1-1

TEL.(0298)53-8535

印刷所 株式会社エリート印刷

〒300-1211 茨城県牛久市柏田町3259