

昭和基地周辺の有機塩素化合物汚染

日高秀夫*・立川 涼*

Environmental Pollution of Chlorinated Hydrocarbons around Syowa Station

Hideo HIDAOKA* and Ryo TATSUKAWA*

Abstract: DDT, PCB and HCH levels in air, snow, sea water, fish, benthic invertebrate, etc. collected by the 22nd Japanese Antarctic Research Expedition (1980–1982) around Syowa Station were determined and the possibility of leakage of these compounds from the station was discussed. Chlorinated hydrocarbon concentrations and compositions in snow were similar in both the samples at Tottuki Point (about 13 km northeast from Syowa Station) and those on the windward (about 0.6 km north) of Mizuho Station. The concentrations of these chemicals in sea water samples taken at Tottuki Point and near Syowa Station were in the same level though the compositions of PCB isomers and congeners were somewhat different. Taking water current under ice into consideration, it is assumed that Tottuki Point is still unpolluted from Syowa Station. However, PCB and DDT concentrations of benthic fish, *Trematomus bernacchii*, collected from near Syowa Station were about thirty times ($p < 0.001$) and twice ($p < 0.01$) higher, respectively, than those at Tottuki Point. So it is concluded that the benthic organisms near Syowa Station are polluted considerably by PCB and slightly by DDT from the station activities, although the PCB and DDT levels in these fish are low compared with those in other oceans. In order to prevent the pollution from station activity, the more strict wastes disposal procedure will be necessary. Systematic sample collection and storage of samples in antarctic environment, in particular, the benthic fish, are recommended in order to check the residue of chlorinated hydrocarbons and also to cope with new environmental pollutants.

要旨: 第22次南極地域観測(1980–1982)において採取した大気、雪、海水、魚介類などの有機塩素化合物(DDT, PCB, HCH)を分析し、昭和基地周辺の環境濃度と、基地活動による汚染について検討した。昭和基地の風上方向約13 kmのとつぎ岬で採取した雪の有機塩素化合物濃度と組成は、みずほ基地の風上約0.6 kmの雪とほぼ同じであった。とつぎ岬と昭和基地近辺の海水では、濃度は同レベルであったが、PCB組成が若干異なった。海水下の水の動きも考慮し、とつぎ岬には大気・海水経由での基地からの汚染はないと判定した。基地近辺で採取した底生魚のショウワギス中のPCB濃度は、とつぎ岬で採取したショウワギスより約30倍高く($p < 0.001$)、DDTは約2倍高かった($p < 0.01$)。基地近辺の底生生物は、南極地域外の魚と比べると低濃度ではあるが、基地から漏れたPCBによる汚染をかなり受けており、DDTにも若干の影響を受けていると結論づけられる。今後、基地からの汚染をなくすための、より厳密な廃棄物対策が必要であり、とくに、これらの有機塩素化合物汚染の推移と新たな汚染物質に対応するため、底生魚を中心とする計画的な試料の採取と保存が望まれる。

* 愛媛大学農学部環境保全学科。Department of Environment Conservation, Ehime University, 5-7, Tarumi 3-chome, Matsuyama 790.

1. 緒 言

第 22 次南極地域観測 (1980 年 11 月-1982 年 3 月) において、著者の 1 人 (日高秀夫・環境科学担当越冬隊員) は、有機塩素化合物 (DDT, PCB, HCH, クロルデンなど*) と重金属類の環境動態を研究するため、昭和基地周辺の全環境を代表する多数の分析試料を採取した (日高, 1982)。

南極への出発前、調査計画をたてるため、それまでの南極地域における有機塩素化合物の研究を文献検索し、研究史をまとめた (日高・立川, 1981)。それによると、1966 年以来、有機塩素化合物汚染関係の原著論文は 18 編見つかったが、雪の分析が 3 論文あるほかは、すべて野生生物の残留分析であった。その後も南極地域に関しては、当研究室による (「ふじ」往路の採取大気も含めた) 東京水産大学海鷹丸 BIOMASS 航海 (1980 年 11 月-1981 年 3 月) での全地球的な大気と海水の調査結果 (TANABE *et al.*, 1982 a, b) を除けば、湖沼および沿岸海洋底質中よりの DDT の検出 (OPALINSKI and LUKOWSKI, 1979), 鳥類の肝臓と脂肪組織の残留分析 (NORHEIM *et al.*, 1982) などが報告されているにすぎない。

このように、南極地域の有機塩素化合物汚染に関しては、断片的情報しかないといえよう。そこで著者らは以下の目的の研究を計画した。

- 1) 南極地域の全環境における有機塩素化合物汚染の実態を明らかにする。
- 2) 有機塩素化合物の南極への輸送、および世界規模での汚染拡大のメカニズムを考察する。
- 3) 寒冷地としての南極地域に特有の汚染物質の動態とその生態系への影響について検討する。
- 4) 南極地域における有機塩素化合物汚染の時系列 (過去・現在・未来) 変動を予測する。

現在までに、大気、雪、水などの無機環境試料 (TANABE *et al.*, 1983), 魚 (SUBRAMANIAN *et al.*, 1983), ウェッデルアザラシ (HIDAKA *et al.*, 1983) などの分析がかなり進行し、新しい興味深い成果が得られつつある。それらの議論のほとんどは、今回得られた分析データが南極地域を代表しうるものとみなして、全地球的な環境汚染の立場で行っている。科学観測調査のみで鉱工業活動の行われていない南極地域は、人工汚染物質の全地球的監視にとってもっとも重要な測定点であるが、極寒の地で観測調査を行うには大量の物資を投入しなければならず、その食糧、衣類、器材などとともに有機塩素化合物も観測基地にもち込まれている可能性がある。また、人工有機塩素化合物の主たる生産使用地域から遠く離れている南極地

* DDT: 1,1,1-trichloro-2,2-bis (*p*-chlorophenyl) ethane とその代謝物である DDD, DDE など数種の化合物を示す。この *p, p'*-の他に *o, p'*-異性体が存在する。

PCB: Polychlorinated biphenyls. 南極試料からは 2 塩素から 8 塩素まで数 10 種の化合物を検出した。

HCH: Hexachlorocyclohexane. α , β , γ 異性体を検出。

クロルデン: Metanoindene 基本骨格に 6-9 個の塩素が付加した chlordane 化合物と、その代謝物数種を検出。

域の環境諸相の汚染レベルは非常に低いため、試料の採取、保存、運搬、分析を通しての各操作中の二次的汚染は、ことのほか深刻な問題となる。

そこで、南極の環境汚染を調査研究する場合、基地活動による汚染を明らかにしておく必要があるが、それについて論じたものはあまりない。PETERLE (1969) は Plateau 基地の融雪水から 40 pg/g の *p,p'*-DDT を検出した。これは南極の雪から DDT を検出した最初の報告であるが、その濃度レベルは、当時報告されていたロンドンやオハイオの雨水中の濃度と同レベルであり、その後の PEEL (1975), RISEBROUGH *et al.* (1976) の分析値と比べても明らかに高すぎる。この試料は Plateau 基地での融雪水を使っており、試料が基地による汚染を被っていたか、あるいは、試料の採取、前処理過程で二次的汚染があったのではないかとおもわれる。BREWERTON (1969) は、McMurdo 基地の近くで採取したアデリーペンギンの脂肪中の DDT 濃度が、基地から約 640 km 離れた Cape Hallett のペンギンより約 6 倍高いと報告し、McMurdo 基地の人間活動による DDT 汚染が推測されるとしている。また、RISEBROUGH *et al.* (1976) は Palmer 基地から 0.5–1.5 km 離れたところの表層雪から、高濃度の PCB と多量のすすを検出した。これは、Palmer 基地での廃棄物の燃焼によるものであり、近くの島で採取した雪の中の DDT と PCB 濃度に影響を与えている可能性があるとしている。

1957 年開設以来昭和基地は 20 余年、1970 年に開設したみずほ基地は約 10 年、基地建設と観測調査活動のため、膨大な量の物資が投入された。それとともに、有機塩素化合物も確実にもち込まれていると予測し、第 22 次越冬での環境分析試料採取は、基地汚染の影響のないとおもわれる地域を選定して行い、試料の処理では二次的汚染を受けないよう最大限の努力をした。また、同時に、基地汚染や二次的汚染の濃度レベルが推定できるよう、試料の採取・処理をした。

本報告では、かなりデータがそろってきた DDT, PCB, HCH に関して、採取記録と分析結果をつきあわせ、とくに以下の点について検討した。

- 1) 今回得られた分析値が、基地汚染、試料の採取、処理、分析過程での二次的汚染からまぬがれ、南極地域の環境濃度を代表しうるものかどうか。
- 2) 基地汚染の実態はどうか。
- 3) 基地汚染があるとすれば、今後どうすればよいか。

2. 試料および分析法

ここで使用した試料は第 22 次南極地域観測隊の越冬中 (1981 年 1 月–1982 年 1 月) に昭和基地周辺で採取したものである (図 1)。大気はウレタンフォームで採気後、ただちにアセトン抽出した。水試料は昭和基地で XAD-2 吸着後エタノール溶出処理をした。生物試料はポリエチレン包装し、 -18°C 以下で冷凍保存して持ち帰った。試料の採取方法および現地での処理方法の詳細は越冬報告書 (日高, 1982) を参照されたい。

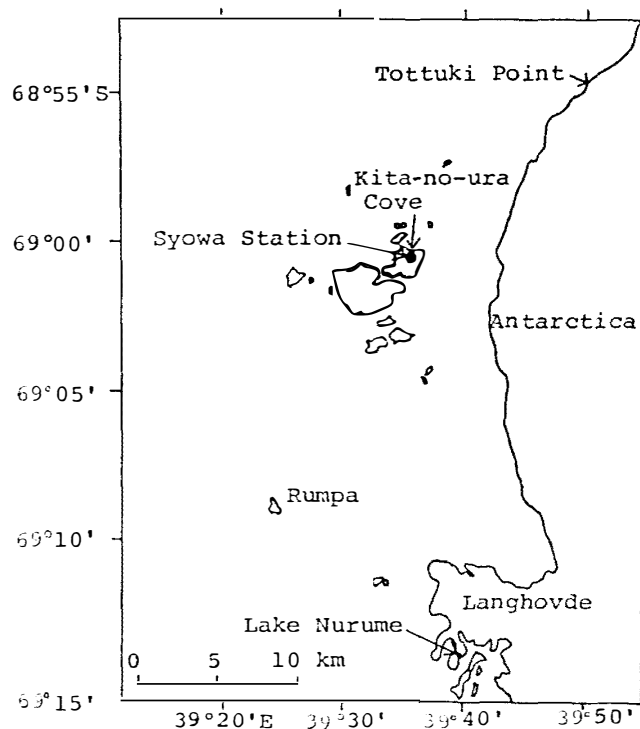


図 1 試料採取地点 (1981-1982)

昭和基地近辺: 大気, 氷山氷, 海水, 魚, 底生無脊椎動物

とつつき岬: 雪, 海水, 海氷, 魚, 底生無脊椎動物, ウエッデルアザラシ

ぬるめ池: 雪, 海水

みずほ基地: 雪

Fig. 1. A map showing collection sites around Syowa Station (69°00'S, 39°35'E) in 1981-1982.

Near Syowa Station: Air, ice (iceberg), sea water, fish, benthic invertebrate.

Tottuki Point: Snow, sea water, sea ice, fish, benthic invertebrate, Weddell seal.

Lake Nurume: Snow, sea water.

Mizuho Station (70°42'S, 44°20'E): Snow.

抽出液として持ち帰った無機環境試料は、ヘキサンに転溶、濃縮、クリーンアップ後、GC-MS (MF) および GC-ECD で、DDT 化合物 (p, p' -DDE, p, p' -DDT, o, p' -DDT) と PCBs (約 50 種) および HCH 各異性体 (α, β, γ) を定量した。生物試料はアルカリ分解法により、 Σ DDT (p, p' -DDE + p, p' -DDT) と PCBs を GC-ECD および GC-MS (MF) で定量した。

大気および水の検出限界は、DDTs (p, p' -DDE + p, p' -DDT + o, p' -DDT) がそれぞれ 0.1 pg/m³, 0.2 pg/l, PCBs が 2 pg/m³, 3 pg/l, HCHs ($\alpha + \beta + \gamma$) は 0.5 pg/m³, 1 pg/l である。生物試料の検出限界は Σ DDT が 0.001 ng/g, PCBs は 0.01 ng/g である。

分析法の詳細は TANABE *et al.* (1983), SUBRAMANIAN *et al.* (1983) を参照されたい。

3. 結果および考察

3.1. 無機環境試料の処理過程における二次的汚染

無機環境試料の処理（アセトンによる採気試料からの有機塩素化合物の抽出、氷雪の融解、水試料の XAD-2 吸着とエタノール溶出、重金属類のための TM-2 ろ過など）はすべて環境科学棟で行った。環境科学棟は第 15 次観測隊（1974 年）で建てられ、室内空気を清浄に保つため、基地で唯一の熱交換方式による温水暖房をしており、実験室用のドラフトを備えている。

昭和基地では夏期間だけでなく、越冬中も雪上車の整備などで油やほこりまみれになる肉體作業が多い。環境分析試料の採取には衣類を改め、二次的汚染のないよう注意した。環境科学棟での無機環境試料の処理にはとくに細心の注意をはらい、ドラフトをかけ、常に室内を清浄に保った。

無機環境試料の各処理過程および分析過程でのブランク試験結果は、大気、氷雪、水の濃度と比べて無視できるほど低かった。また、環境科学棟の室内大気を採気し、分析したが、濃度レベルは屋外大気とほぼ同レベルであった。これらより、環境科学棟での無機試料の処理過程における二次的汚染は無視しうるほど小さいと判定した。

3.2. 大 気

大気サンプル捕集管とエアポンプからなる 3 種類の採気装置をステンレス製シェルターに組み込み、観測倉庫から主風向 (ENE) の風上約 30 m の岩盤上（シェルターより風上は海氷上につづく急ながけとなっている）に設置した。採気は主に主風向の風が吹いている時に始めたが、採気期間 1-5 日の間には、途中で風向・風速が変化することが多く、結果的には主風向の風が採気中終始卓越していた時と、途中で風向・風速が変化し、基地の影響をうけたかもしれないとおもわれる時とが半々であった。しかし、昭和基地の気象データと大気分析結果を詳細に比較検討したが、基地の影響をうけ、濃度や化合物組成が変化したとおもわれる結果はみつからなかった。

もともと大気の採取は基地の影響の少ない場所で、主風向の風が卓越する日（天気が悪いため屋外活動が行われない日）を選んでおり、基地の影響をみるようには設定されていない。

表 1 昭和基地における大気中の DDTs, PCBs, HCHs 濃度 (pg/m³)
Table 1. Atmospheric concentrations of DDTs (*p,p'*-DDT+*p,p'*-DDE+*o,p'*-DDT), PCBs and HCHs (sum of α , β and γ isomers) at Syowa Station during 1981-1982.

	n	Mean	Min.	Max.	Range	SD.	CV (%)
DDTs	12	25	5	51	46	14	57
PCBs	12	60	17	171	154	45	74
HCHs	14	85	41	130	89	33	39

Unit: pg/m³

Refer to TANABE *et al.* (1983) for details.

今回得られた昭和基地での大気の実験結果は、同地域における環境中の大気濃度を代表し、その季節変化を示していると考えてよいであろう。これまで南極大陸で大気を採取し、その有機塩素化合物を分析した例はない。表1に年間の平均濃度と分散を示した。DDTs濃度は南極の夏に高く、PCBsは夏期のおわりに比較的高かったが、HCHsは顕著な季節変化を示さなかった (TANABE *et al.*, 1983)。

3.3. 雪

雪の採取はチェーンソーあるいは雪ノコギリとスコップで大きなブロックを切り出し、雪ノコギリで50×40×30 cmの大きさに整形し、ダンボール箱に詰め、昭和基地まで運び、環境科学棟でさらに表面を削って室温で溶かし、XAD-2吸着、エタノール溶出処理をした。

昭和基地の南東約270 km, 70°42'S, 44°20'E, 標高2230 mの大陸氷原上にあるみずほ基地では、基地の北約0.6 km地点の表層雪(0-40 cm)と、20 mピットで床面から60-100 cm層の2層をダンボール箱31個ずつ採取した。みずほ基地周辺は恒常的にカタバ風が吹いているので、基地の風上で採取した表層雪の濃度は、現在のみずほ高原の雪中濃度を代表しているとおもわれる。このみずほの表層雪と、とっつき岬(昭和基地の主風向の風上約13 km)の北北西約1.8 kmにある氷山のドリフト雪の濃度とその組成割合はHCH, DDT, PCBとも非常によく一致した(図2)。このことは、とっつき岬の雪が昭和基地の影響をほとんど受けていないことを示唆している。これらの南極の雪より検出された有機塩素化合物は、北方大陸で使ったものが主に大気経由で南極まで運ばれ、雪にとりこまれ蓄積したと考えられる。

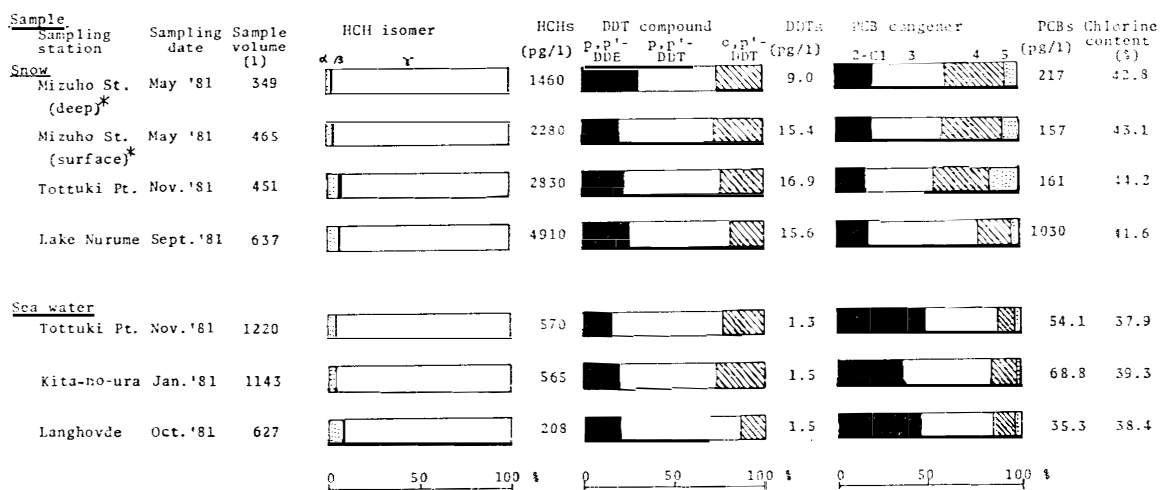


図2 南極の雪、海水中のHCH, DDT, PCB濃度と組成割合

Fig. 2. Chlorinated hydrocarbon concentrations (pg/l) and their compositions in snow and sea water samples collected from the Antarctic.

*The age of surface and deep snow was estimated from a report of WATANABE and YOSHIMURA (1972), and given as 1980 and approximate 1960 respectively.

RISEBROUGH *et al.* (1976) は、1975 年 1 月–2 月、南極半島の Doumer 島 (63°35.5'W, 64°51.3'S) で層位別に表層から 6 m の深さまで採雪し、 Σ DDT (*p, p'*-DDT + *p, p'*-DDE) と PCB 濃度を測った。雪の層位の年代は不明であるが、表層近くは深層より Σ DDT, PCB と濃度が低く、これらの化合物の主要な生産使用地域での制限の効果があらわれているのかもしれないとしている。

みずほ基地およびとっつき岬の雪の PCB 濃度は RISEBROUGH らの表層濃度 (30, 170, 300, $\times 10^{-15}$ g/g) とほぼ一致するが、 Σ DDT 濃度は彼らの値 (494, 608, 630, $\times 10^{-15}$ g/g) より数 10 分の 1 低い。みずほ基地の 20 m ピットで採取した深層雪は、渡辺・吉村 (1972) の層位学的研究から、1960 年ごろの層であると推定した。みずほ基地は 1970 年につくられ、そのときの床面はかなりよごれているので、1970 年ごろの層は採取できなかった。1960 年ごろの層に比べ、表層雪濃度は DDTs で 1.7 倍、HCHs で 1.6 倍高いが、PCBs は逆に低くなった。これらは 1 点ずつの測定値であり、有意な差かどうか不明である。せめてあと 1 点、中間の層が採取できなかったのが残念である。DDT は 1938 年に開発され、第二次世界大戦後、生産使用量が急増し、1960 年ごろ全世界の生産量が年間 100 000 t を超えた。その後、1970 年代に入って北半球の中緯度地域で使用規制が進んだが、熱帯域、南半球では継続して使用しており、全世界の生産使用量は、1960 年代以後大きくは変わっていないと推測されている (NAS, 1971; GOLDBELG, 1975)。以上より、1960 年ごろと現在では、南極の大気中濃度に大きな差はないと推測される。

ぬるめ池の雪の HCH, DDT 濃度はみずほ基地、とっつき岬の雪とほぼ同レベルであるとおもわれるが、PCB は明らかに高く、3 塩素化合物がとくに多かった。前述したように、RISEBROUGH *et al.* (1976) は Anvers 島 (64°3'W, 64°46.3'S) の Palmer 基地から 0.5–1.5 km 離れたところの表層雪から、 $4\text{--}10 \times 10^{-9}$ g/g の高濃度の PCB とすすを検出し、これは基地での廃棄物燃焼による汚染であろうと推定した。ぬるめ池は昭和基地から南方に約 25 km 離れているが、この雪の PCB 濃度が基地の影響を反映している可能性もありうる。一方、基地の風上約 13 km に位置するとっつき岬は、基地付近で降り積もった雪が、風でとっつき岬の反対方向に吹きとばされることも含めて、大気経由での基地からの影響はほとんどなく、この地域の環境濃度を代表する地点であるといえよう。

なお、氷山水はその成因から考えて、近年人工的につくられた有機塩素化合物がまったく含まれていないと推測し、ブランク試験の一つとして、昭和基地近くの飲料用氷取り氷山の表層の氷をツルハンで採取した。雪と同様の処理をし分析した結果、氷山水の濃度は、とっつき岬の雪濃度と同レベルであった。若土正暁氏 (北大低温研, 私信) によれば、風化の進んだ氷山は、その表面や割れ目に雪が付着氷結し、日射による融解をくりかえしているという。このために、昭和基地近くの風化した氷山の表層から採取した氷山水試料の濃度は雪と同レベルになったのであろう。

また、とっつき岬の海水、ぬるめ池の湖水のそれぞれ表層を採取し分析したが、雪とほぼ同じ濃度であった。海水、湖水が張ったあとに積雪し、氷化したものを採取したのであろう。

3.4. 海 水

氷に穴をあけ、水流ポンプを使用して大量採水した。図2に示した値はいずれも氷下1 mの表層水である。海水はとっつき岬の北北西約1.7 km地点と、昭和基地の主要部の北東約200 m地点、およびぬるめ池の西約500 mの内湾部の3カ所で採取した。

年間を通じて海水でおおわれている定着氷域では、有機塩素化合物の大気から海水への直接移行は困難で、いったん雪に蓄積し、夏期融雪により海水へ移行すると考えられる。

海水中の濃度と組成割合に、地点間の差異はほとんどみられない。北の浦の海水のPCB濃度はとっつき岬と同程度であるが、3塩素化合物の割合がやや高い。これは前述の雪の場合と一致しており、昭和基地からの影響を示唆するのかもしれない。

第22次越冬において森脇・吉田(1982)は、オングル諸島周辺海域で流向流速を測定した。流向流速とも潮汐にきわめてよく対応し、北の瀬戸(水面下19 m)の流速は2.3–7.0 cm/s、オングル海峡(450 m)は3.5–7.0 cm/sの間で変化し、北から南に向けての流れが優勢であったと報告している。海水下の水の流れがあまり早くないことは、われわれの昭和基地近辺ととっつき岬での各々約30日間におよぶトラップ調査時の観察や、1981年1月に昭和基地近辺で13日間、のべ15回行われた潜水調査時の観察(渡辺ら, 1982)とも一致している。とっつき岬の北北西約1.5 km地点では水深が138 mもあるにもかかわらず、エクマンバージ採泥器で底質が採取できた。これらより、昭和基地から漏れた有機塩素化合物の水経路での移動・拡散は比較的遅く、基地より優勢な流れの反対方向に約13 km離れたとっつき岬には有意な影響を及ぼしていないとおもわれる。

海水中の有機塩素化合物濃度は雪中よりも低い。HCH, DDTの組成は雪、水ともよく似ているが、PCBは海水では低塩素成分が多い。浮氷域より沖合の開水面で得られた海水濃度と比較すると、HCHsはほぼ同レベルであるが、DDTsは約1けた定着氷下の方が低かった(TANABE *et al.*, 1983)。水溶解度の低い高塩素PCBやDDT化合物は、生物生産性の高い定着氷下(HOLM-HANSEN *et al.*, 1977)では懸濁物に吸着してすみやかに沈降し、結果的に底生生物に生物蓄積すると考えられる。

3.5. 海洋生物

昭和基地近辺で多数の魚・底生生物を採集したが、その大半は日本からもち込んだサバ・イワシなどを餌としたトラップで採取しており、餌からの汚染とおもわれる比較的濃度の高いPCBが検出され、南極地域一般の環境分析試料として使えなかった。とっつき岬で採取した海洋生物は、まず1尾のショウワギス(*Trematomus bernacchii*)を釣り、次にその切り身を餌として釣りやトラップで得たものである。釣りで採取した昭和基地近辺の魚(一度つ

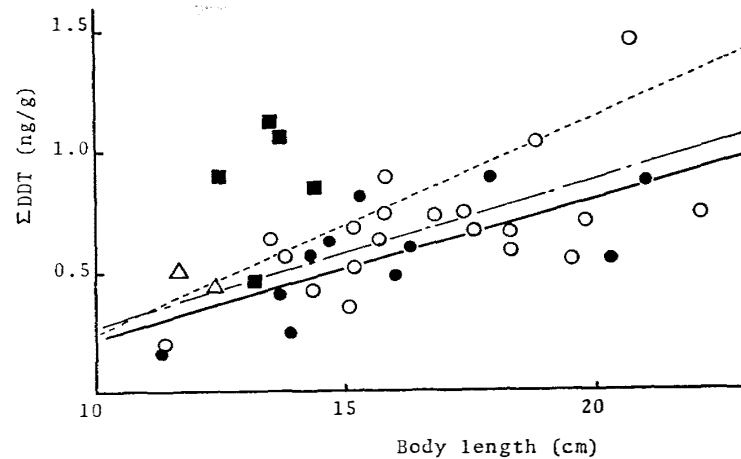


図 3 南極の魚の体長と Σ DDT 濃度 (p,p' -DDT + p,p' -DDE, ng/g, 全湿重当たり)

○--○: ショウワギス, 1981 年 7 月 16 日-9 月 21 日, とつつき岬で採取

$$Y = -0.317 + 0.0592X, p < 0.01, n = 20$$

●: ショウワギス, 1981 年 12 月 3 日-23 日, とつつき岬で採取

$$Y = -0.338 + 0.0566X, p < 0.05, n = 11$$

■: ショウワギス, 1981 年 1 月 15 日-3 月 22 日, 昭和基地近辺 (西の浦 2 尾, 北の浦 2 尾, 見晴らし岩 1 尾) で採取, $n = 5$

-----: ボウズハゲギス, 1981 年 3 月 22 日-23 日, 北の浦で採取

$$Y = -0.623 + 0.0875X, p < 0.001, n = 21 \text{ (データの詳細は SUBRAMANIAN et al., 1983 を参照されたし).}$$

△: ハゲギス, 1981 年 7 月 16 日, とつつき岬で採取, $n = 2$

Fig. 3. Correlation between body length (cm) and Σ DDT (p,p' -DDT + p,p' -DDE, ng/g whole body fresh weight) in some antarctic fishes.

○--○: *Trematomus bernacchii*, at Tottuki Point on July 16–September 21, 1981.

$$Y = -0.317 + 0.0592X, p < 0.01, n = 20.$$

●: *Trematomus bernacchii*, at Tottuki Point on December 3–23, 1981.

$$Y = -0.338 + 0.0566X, p < 0.05, n = 11.$$

■: *Trematomus bernacchii*, near Syowa Station on January 15–March 22, 1981.

-----: *Pagothenia borchgrevinki*, at Kita-no-ura Cove on March 22–23, 1981.

$$Y = -0.623 + 0.0875X, p < 0.001, n = 21 \text{ (SUBRAMANIAN et al., 1983).}$$

△: *Trematomus newnesi*, at Tottuki Point on July 16, 1981.

けた餌はほとんど魚にとられなかったので餌からの汚染は少ないと思われる) は数が少なかったため、比較的体長の似たショウワギス 5 個体 (西の浦 2 尾, 北の浦 2 尾, 見晴らし岩 1 尾) をとつつき岬の魚との比較のために分析した。

とつつき岬で冬および夏に採取したショウワギスは、両期間とも体長と Σ DDT (p,p' -DDT + p,p' -DDE) 濃度に有意な直線回帰関係があった (図 3)。しかし、冬と夏の濃度には有意な差はみられない。原理的には魚の体内濃度に季節変動があると考えられるが、ここでの分析例では、個体間のバラツキなど他の要因による変動より小さいため、有意な差とはならないのであろう。

変動要因を少なくするため、昭和基地近辺で採取した魚の体長平均値 13.5 cm と同じ体長

における Σ DDT の平均値とその分散を、とっつき岬の夏期間に採取したショウワギスのデータから回帰分析により求め、両地点間の濃度比較を行った。とっつき岬の体長 13.5 cm の魚の Σ DDT 平均値が 0.43 ng/g (全湿重当たり、以下同じ) であったのに比べ、昭和基地近辺のショウワギスでは 0.88 ng/g と約 2 倍高く、平均値の t -検定で $p < 0.01$ の有意差があった。ショウワギスは雑食性の底生魚で、1 年中ほぼいつでも採取できるところからも、その行動範囲はあまり広くないと考えられ、地域比較に適した魚種である。

1981 年 3 月 22 日-23 日の 2 日間、北の浦で 264 尾のボウズハゲギス (*Pagothenia borchgrevinki*) を釣りにより採取した。この魚は、海氷直下を群泳する浮き魚で、主にオキアミをはじめとする動物プランクトンを食する。昭和基地周辺では、他の時期にほとんど採取できなかったことから、夏期の一時期のみ沿岸にやってきた個体群を採取したとおもわれる。その体長と Σ DDT 濃度との相関は非常に高かった ($p < 0.001$ 。図 3 では回帰直線しか示していない。詳細は SUBRAMANIAN *et al.*, 1983 を参照されたい)。これらの魚種の年齢に伴う体長増加の様相は不明であるが、採取した魚の大きさがほぼ似ているので、体長を一定にすれば魚種間の濃度比較をしてもよいであろう。分析した魚の平均体長は、ボウズハゲギス、とっつき岬で夏期間に採取したショウワギスとも約 16 cm であったので、その平均体長における Σ DDT 濃度を比較したところ、 $p = 0.05$ で有意差がなかった ($p < 0.1$)。

一方、とっつき岬で冬に採取したハゲギス (*Trematomus newnesi*) も浮き魚である。同じ冬期間に採取したショウワギスと体長をあわせて比較したが、 Σ DDT 濃度に有意差がなかった。

同様に、PCBs について図 4 に示す。 Σ DDT と異なり、とっつき岬で採取したショウワギス中の PCBs には体長と残留濃度との間に相関がみられなかった。夏と冬の季節変動も認められなかった。しかし、ボウズハゲギスには体長と PCBs 濃度に有意な相関 ($p < 0.01$) があったので、 Σ DDT と同様に、体長と採取時期を考慮して濃度比較を行った。

昭和基地近辺で採取したショウワギスの PCBs 平均濃度 5.8 ng/g は、とっつき岬の夏期間のショウワギスの平均値 0.20 ng/g に比べ約 30 倍高く、 $p < 0.001$ で有意な差があった。

平均体長 16 cm のボウズハゲギスの PCBs 平均値は 0.31 ng/g で、ショウワギスより約 1.5 倍高く、 $p < 0.05$ で有意差があった。とっつき岬の冬に採取したハゲギスの PCBs 濃度は同時期、同場所で採取したショウワギスと比べ濃度差がなかったことから、夏期の一時期のみ昭和基地近辺を訪れた浮き魚のボウズハゲギスは、基地からの若干の PCB 汚染をうけていると推測される。

以上のように、昭和基地近辺の底生魚 (ショウワギス) の PCBs 濃度は、非汚染地域とみなされるとっつき岬の魚に比べ約 30 倍高く、 Σ DDT は約 2 倍高かった。とっつき岬で採取したウニの濃度 (PCBs = 0.40 ng/g, Σ DDT = < 0.001 ng/g) に対し、西の浦で採取したウニ (とっつき岬のものより小型で、別種である) の濃度 (PCBs = 87.0 ng/g, Σ DDT = 0.87 ng/g)

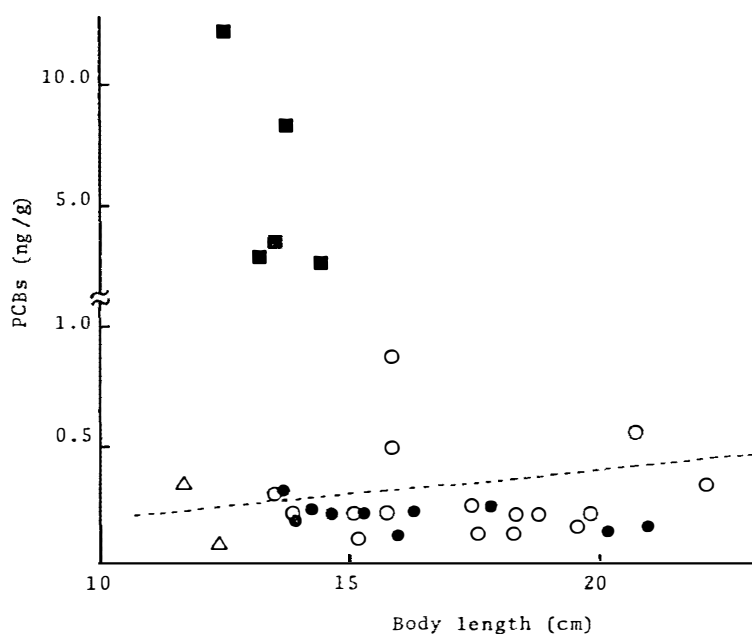


図 4 南極の魚の体長と PCBs 濃度 (ng/g, 全湿重当たり)

- : ショウワギス, 1981 年 7 月 16 日-9 月 21 日, とつつき岬で採取, $n=16$
- : ショウワギス, 1981 年 12 月 3 日-23 日, とつつき岬で採取, $n=10$
- : ショウワギス, 1981 年 1 月 15 日-3 月 22 日, 昭和基地近辺(西の浦 2 尾, 北の浦 2 尾, 見晴らし岩 1 尾)で採取, $n=5$
- : ボウズハゲギス, 1981 年 3 月 22 日-23 日, 北の浦で採取
 $Y = -0.0246 + 0.0203X$, $p < 0.01$, $n = 21$ (SUBRAMANIAN *et al.*, 1983).
- △ : ハゲギス, 1981 年 7 月 16 日, とつつき岬で採取, $n=2$

Fig. 4. Correlation between body length (cm) and PCBs (ng/g whole body fresh weight) in some antarctic fishes.

- : *Trematomus bernacchii*, at Tottuki Point on July 16-September 21, 1981.
- : *Trematomus bernacchii*, at Tottuki Point on December 3-23, 1981.
- : *Trematomus bernacchii*, at Syowa Station on January 15-March 22, 1981.
- : *Pagothenia borchgrevinki*, at Kita-no-ura Cove on March 22-23, 1981.
 $Y = -0.0246 + 0.0203X$, $p < 0.01$, $n = 21$ (SUBRAMANIAN *et al.*, 1983).
- △ : *Trematomus newnesi*, at Tottuki Point on July 16, 1981.

も高かった。また、昭和基地近辺で潜水(中嶋 泰隊員による)により採取したナンキョクツキヒガイ (*Adamusium colbecki*) やホヤからも、とつつき岬で採取した底生生物に比べ高濃度の PCBs, Σ DDT が検出された。これらは、資材とともに昭和基地にもち込まれた PCB, DDT が付近の海域に漏れ、懸濁物とともに底質に移行し、底生生物に蓄積したものとおもわれる。

昭和基地近辺で採取した数多い底生生物試料は、すべて基地からの PCB 汚染と若干の DDT 汚染を受けているので、その分析値は南極の一般的環境濃度として使うことはできない。とくに、これらの試料には、現存量が多く、南極沿岸底生生態系で重要な位置を占める過食性のナンキョクツキヒガイ、カイメン、ホヤなどが含まれ、底質固着性であるために、とつつき岬では採取できなかった種である。昭和基地近辺で潜水により採取したこれらの試料を、南極一般の環境分析試料として使えないのは残念である。

今回得られた南極魚の Σ DDT と PCBs 濃度を他の海域の外洋魚と比較した (表 2)。日本近海の魚の濃度レベルが最も高く、それに比べ、インド洋、ベーリング海、北大西洋の魚は濃度が低い。これらの北半球の外洋魚に比べると、南半球のチリ沖の魚は明らかに濃度が低い。南極の魚は、すでに述べた定着氷下の海水の非常に低い濃度を反映して、最も低濃度である。昭和基地近辺の底生魚がかなりの PCB 汚染をうけているといっても、その濃度レベルは日本近海の外洋魚に比べ約 1 けた低く、ベーリング海よりやや低い程度である。基地からの汚染の範囲は、海水下の水の動きの悪さと汚染物質の懸濁物による沈降を考えると、基地近辺の局所的な汚染にとどまっていると推測される。

なお、基地よりの汚染が PCB で顕著であることは、先に述べたぬるめ池の雪の PCB 濃度が高く、3 塩素化合物が多いこと、北の浦の海水の PCB 組成が他の海域と若干異なることなどの知見とも一致する。雪、水などの無機環境試料では濃度が非常に低いため、有意な差の検出が困難であるが、海洋生物、とくに底生生物は高倍率で DDT や PCB を濃縮するため、差が顕著にあらわれたのであろう。

3.6. 今後の対策

日本南極地域観測隊では、第 15 次観測隊 (1974 年) から 3 年間、環境科学が重点項目となり、昭和基地周辺の生物圏を中心とする環境科学総合研究が行われた。その後、環境モニタリングとして、大気中の CO_2 、 NO_x の測定、湖沼の水質調査、土壌中の藻類・バクテリアの分析、大型動物の分布調査が毎年継続して行われている。しかし、有機塩素化合物に関しては、第 17 次越冬の芦山ら (1979) によるアデリーペンギン、ウェッデルアザラシ中の PCB 分析のみで、全環境を網羅した研究は今回が初めてであり、人工有機化合物による環境汚染を予想した分析試料の採取などは行われていない。

本報告で、有機塩素化合物の南極一般の環境汚染レベルと、昭和基地による汚染が明らかになった。しかし、過去の汚染の復元は試料が不十分で十分には行えなかった。今後、これらの化合物による汚染の推移を追跡するとともに、新たな汚染物質に対応するための分析試料採取が必要である。人工有機汚染物質の時系列の変化をとらえるための環境試料採取の条件としては、技術的に容易であること、短時間で行え、あまり労力がかからないこと、量的に大きすぎないことなどが極地環境ではとくに要求されよう。有機塩素に関してこれらを考慮すると、大気の採気は比較的容易であるが、濃度レベルが非常に低いので、その取り扱いには細心の注意を要する。氷、雪、水の採取とその処理は、非常に労力と時間がかかり、不適である (第 22 次観測隊では無機環境試料の採取とその処理に越冬生活の半分以上を費やした)。魚、とくに底生魚の採取は釣りによれば比較的容易である。トラップによる底生生物の採取は、現在の技術では氷の穴あけとその維持に難点がある。底質付着性生物の採取は潜水によるのが望ましいが、調査地点が限られる。氷下のプランクトンや藻類を大量に採集

表 2 南極魚と他の海域の外洋魚の DDT と PCB 濃度
 Table 2. DDT and PCB levels (ng/g on fresh weight basis) in several open ocean fish and Antarctic fish.

Location Species	Year	Analyzed materials	N	DDT		PCBs		References
				Mean	Min.–Max.	Mean	Min.–Max.	
<i>North Atlantic</i>								
Flying fish	1970–1971	whole		7		50		HARVEY <i>et al.</i> (1974)
Flying fish (<i>Cypselurus exsilens</i>)	1970–1971	muscle		0.6		1.4		"
Flying fish (<i>Prognichthys rondeletii</i>)	1970–1971	muscle		4		4		"
Trigger fish (<i>Canthidermis maculatus</i>)	1970–1971	muscle		0.1		1.9		"
<i>Bering Sea</i>								
Walleye pollock (<i>Theragra chalcogramma</i>)	1973	muscle	3				<10–40	村山ら (1974)
Sablefish (<i>Anoplopoma fimbria</i>)	1973	muscle	1			170		"
Herring (<i>Clupea pallasii</i>)	1973	muscle	1			80		"
Flatfish (<i>Limanda aspera</i>)	1973–1974	muscle	7			50	20–130	高木ら (1975)
Flatfish (<i>Limanda mochigarei</i>)	1973–1974	muscle	4			40	40–50	"
Flatfish (<i>Limanda bilineata</i>)	1974	muscle	2			30		"
Flatfish (<i>Limanda quadrituberculatus</i>)	1974	muscle	1			50		"
Chum salmon (<i>Oncorynchus keta</i>)	1980	whole	1	5.0		5.0		田中 (1982)
Sockeye salmon (<i>Oncorynchus nerka</i>)	1980	whole	1	7.0		15		"
Chum salmon (<i>Oncorynchus keta</i>)	1982	whole	3	3.6	2.9–4.5	7.3	5.3–9.8	TANABE <i>et al.</i> (unpublished data)
Walleye pollock (<i>Theragra chalcogramma</i>)	1982	whole	3	10	9.3–11	11	9.8–13	"

<i>North western Pacific (off Japan)</i>								
Redbait (<i>Emmelichthys struhsakeri</i>)	1980	whole	3	15	5.9–20	44	12–75	"
Flower flute porgy (<i>Tropidinius amoenus</i>)	1979	whole	3	48	20–74	35	17–71	"
Bulleye (<i>Priacanthus boops</i>)	1979	whole	3	38	25–46	45	12–73	"
<i>North Indian</i>								
Long-spined snapper (<i>Argyrops spinifer</i>)	1976	whole	2	15	14–16	1.1	0.74–1.4	"
Anchovies (<i>Thryssa vitirostris</i>)	1976	whole	3	20	19–21	1.6	0.93–2.0	"
<i>South eastern Pacific (off Chile)</i>								
Morwongs (<i>Cheilodactylus</i> sp.)	1978	muscle	5	5.7	2.1–13	1.5	1.2–2.2	岡辺ら (1980)
Merluza (<i>Merluccius australis</i>)	1977	muscle	5	1.2	0.8–1.8	0.4	0.3–0.6	"
Promfrets (<i>Brama</i> sp.)	1978	muscle	5	3.8	2.1–6.3	0.9	0.6–1.6	"
Sculpins (<i>Neophrynichthys marmoratus</i>)	1978	muscle	4	0.7	0.3–0.8	0.2	0.2–0.3	"
Whiptails (<i>Coelorhynchus fasciatus</i>)	1978	muscle	5	0.3	0.3–0.4	0.2	0.1–0.2	"
<i>Antarctic</i>								
Two whole fish	1972			0.4		2.0		GIAM <i>et al.</i> (1973)
<i>Pagothenia borchgrevinki</i>	1981	whole	21	0.8	0.3–1.9	0.31	0.18–0.77	SUBRAMANIAN <i>et al.</i> (1983)
<i>Trematomus newnesi</i>	1981	whole	2	0.5	0.4–0.5	0.21	0.08–0.33	"
<i>Trematomus hansonii</i>	1981	whole	4	1.0	0.6–1.5	0.48	0.28–0.59	"
<i>Trematomus bernacchii</i> *	1981	whole	29	0.63	0.16–1.5	0.25	0.19–0.86	This work
<i>Trematomus bernacchii</i> **	1981	whole	5	0.88	0.46–1.13	5.8	2.5–12.1	"

* Collected at Tottuki Point about 13 km northeast from Syowa Station.

** Collected near Syowa Station.

するのは困難である。ペンギンなどの鳥類は、昭和基地周辺では個体数が少なく、動物保護の点からも、今後多数の採取は望めないであろう。ウェッデルアザランは大きすぎ、採取、処理、運搬などに多大な労力がかかる。

以上より、現在の技術および知見では、釣りによる魚の採取が最も容易で実現可能である。昭和基地周辺の多数の地点で魚を採取し分析すれば、昭和基地汚染の分布地図が描けるであろう。そして、定点を設定し、経年的に採取すれば、経年的変化が明らかになるとおもわれる。本研究で現在分析対象としている DDT, PCB, HCH, クロルデンのみでなく、新たな環境汚染物質に対応することをも考慮して、計画的な試料の採取とその保存が必要である。

また、今後の環境汚染の研究のためには、これらの環境分析試料の採取、前処理の場である昭和基地、とくに環境科学棟を汚染しないことが肝要である。現在、昭和基地での廃棄物処理は、主として可燃物は焼却、不燃物は海氷上投棄が行われているが、環境汚染防止の点からは不十分である。本報告では、環境モニタリングについてのみ具体案を示したが、南極条約協議会議の勧告もふまえ、汚染物質の持ち込み禁止、不要品の持ち帰りなどを含む、より厳密な廃棄物対策の立案と実施が強く望まれる。

謝 辞

本研究を計画、実行するにあたり、種々ご援助いただいた国立極地研究所の松田達郎教授、星合孝男教授、千葉工業大学の鳥居鉄也教授に感謝致します。試料採取のためご指導・ご協力いただいた吉田栄夫隊長はじめ第 22 次南極地域観測隊各位に厚くお礼申し上げます。試料の処理、分析、結果の討議などに積極的にかかわっていただいた当研究室の諸氏に感謝の意を表します。

本研究の一部は文部省科学研究費 (No. 57035039) によりました。

文 献

- BREWERTON, H. V. (1969): DDT in fats of antarctic animals. *N. Z. J. Sci.*, **12**, 194-199.
- GIAM, C. S., RICHARDSON, R. L., WONG, M. K. and SACKETT, W. M. (1973): Polychlorinated biphenyls in antarctic biota. *Antarct. J. U.S.*, **8**, 303-305.
- GOLDBELG, E. D. (1975): A discussion on organic pollutants in the sea: Their origin, distribution, degradation and ultimate fate. *Proc. R. Soc. London, Ser. B*, **189**, 277-289.
- HARVEY, G. R., MIKLAS, H. P., BOWEN, V. T. and STEINHAEUER, W. G. (1974): Observations on the distribution of chlorinated hydrocarbons in Atlantic Ocean organisms. *J. Mar. Res.*, **32**, 103-118.
- 日高秀夫 (1982): 日本南極地域観測隊第 22 次隊報告 (1980-1982). 国立極地研究所, 170-176.
- 日高秀夫・立川 涼 (1981): 総説: 南極における有機塩素化合物の研究. 南極資料, **71**, 151-164.
- HIDAKA, H., TANABE, S. and TATSUKAWA, R. (1983): DDT compounds and PCB isomers and congeners in Weddell seals and their fate in the antarctic marine ecosystem. *Agric. Biol. Chem.*, **47**, 2011-2019.
- HOLM-HANSEN, O., EL-SAYED, S. Z., FRANCESCHINI, G. A. and CUHEL, R. L. (1977): Primary production and the factors controlling phytoplanktons growth in the Southern Oceans. *Adaptations*

- within Antarctic Ecosystems; Proceeding of the Third SCAR Symposium on Antarctic Biology, ed. by G. A. LLANO. Washington, D. C., Smithsonian Institution, 11-50.
- 森脇喜一・吉田栄夫 (1982): オングル諸島周辺海域における流向流速測定. 第3回南極地学シンポジウムプログラム・講演要旨. 国立極地研究所, 31.
- 村山花子・相馬すが・飯田 優・高木光造 (1974): オホーツク海およびベーリング海産魚類筋肉中の PCB 含量について. 函館短期大学研究報告, 17, 1-6.
- NAS (1971): Chlorinated hydrocarbons in the marine environment. Washington D. C., 42.
- NORHEIM, G., SØMME, L. and HOLT, G. (1982): Mercury and persistent chlorinated hydrocarbons in antarctic birds from Bouvetøya and Dronning Maud Land. Environ. Pollut., Ser. A, 28, 233-240.
- OPALINSKI, K. W. and LUKOWSKI, A. B. (1979): DDT in antarctic sediments. Pol. Arch. Hydrobiol., 26, 579-582.
- PEEL, D. A. (1975): Organochlorine residues in Antarctic snow. Nature, 254, 324-325.
- PETERLE, T. J. (1969): DDT in Antarctic snow. Nature, 224, 620.
- RISEBROUGH, R. W., WALKER, W., II, SCHMIDT, T. T., DELAPPE, B. W. and CONNORS, C. W. (1976): Transfer of chlorinated biphenyls to Antarctica. Nature, 264, 738-739.
- SUBRAMANIAN, B. R., TANABE, S., HIDAKA, H. and TATSUKAWA, R. (1983): DDTs and PCB isomers and congeners in antarctic fishes. Arch. Environm. Contam. Toxicol., 12, 621-626.
- 高木光造・村山花子・相馬すが (1975): 東部ベーリング海産数種カレイ類の PCB 含量について. 日本水誌, 41, 685-690.
- 田辺信介・田中博之・立川 涼・中村 泉 (1980): チリー沖産魚類による有機塩素化合物の蓄積. 日本水誌, 46, 763-769.
- TANABE, S., KAWANO, M. and TATSUKAWA, R. (1982a): Chlorinated hydrocarbons in the Antarctic, western Pacific and eastern Indian Oceans. Trans. Tokyo Univ. Fish., 5, 97-109.
- TANABE, S., TATSUKAWA, R., KAWANO, M. and HIDAKA, H. (1982b): Global distribution and atmospheric transport of chlorinated hydrocarbons in the western Pacific, eastern Indian and Antarctic Oceans. J. Oceanogr. Soc. Jpn., 38, 137-148.
- TANABE, S., HIDAKA, H. and TATSUKAWA, R. (1983): PCBs and chlorinated hydrocarbon pesticides in Antarctic atmosphere and hydrosphere. Chemosphere, 12, 277-288.
- 田中博之 (1982): スジイルカ及びそれを取りまく外洋生態系における有機塩素化合物の生物濃縮. 愛媛大学農学部修士論文, 118.
- 渡辺興重・吉村愛一郎 (1972): みずほ観測拠点付近の雪氷学的状態について. 南極資料, 45, 20-32.
- 渡辺研太郎・中嶋 泰・内藤靖彦 (1982): 東オングル島沿岸での氷下潜水調査報告. 南極資料, 75, 75-92.
- 芦山辰朗・徳岡昭治・児玉哲郎・赤水博史・西田俊博・江藤良三・海佐裕幸・森本一義・中村寿夫・児玉陽太郎 (1979): 昭和基地周辺のアザランとペンギンの生体内重金属と PCB の分析. 広島医学, 32, 50-53.

(1983 年 6 月 6 日受理; 1983 年 7 月 25 日改訂稿受理)