

愛媛県環境保全センター所報

第 15 号

平成7年3月



愛媛県環境保全センター

はじめに

平成6年12月に策定された「環境基本計画」では、「循環」、「共生」、「参加」、「国際的取組」という4つの「長期的な目標」に沿って、総合的な施策を推進することにより、健全で恵み豊かな環境を維持しつつ、環境への負荷の少ない健全な経済の発展を図りながら持続的に発展することができる社会を構築することとしております。

中でも、「環境への負荷が少ない循環を基調とする経済社会システムの実現」のためには、大気環境の保全、水環境の保全、土壌環境等の保全、環境研究の目標となる具体的施策が提示されました。

本県におきましても、「愛媛県環境保全指針」を策定中であり、従来の公害規制から一歩進んだ環境保全へと新たな施策が展開されようとしております。

本所報は、地公研の特色を生かしたフィールド調査を中心に、平成6年度に実施した調査研究業務の一環として取りまとめたものであり、分析精度向上のための技術研究や大気環境、水環境、自然放射線、ゴルフ場農薬調査結果などを報告しております。

今後も、環境研究機関としての責任を自覚のうえ、内外の調査研究を参考に、本県の地域特性をも考慮した調査研究を継続しながら、'70年代の公害規制から'90年代の環境保全、そして、来たるべき21世紀が環境創造の時代との認識に立ち、環境研究を積極的に進め、本県の環境保全に寄与してまいりたいと考えておりますので、なお一層の御支援と御鞭撻をお願いいたします。

平成7年3月

愛媛県環境保全センター

所長 西原博明

愛媛県環境保全センター所報

目 次

報 文

環境大気中の低沸点有機塩素化合物の濃度について 門家重治・芝 信明・藤田慎二郎・山内昌博	1
愛媛県東予地域における降下ばいじん調査結果について 野間そま子・金子敏明・二宮 久	6
COD _{Mn} 試験における光化学反応の影響 高松公子・楠 憲一・宇高真行	11
愛媛県地先海域の水・底質（第1報） — 燧灘の水・底質の特性と変遷— 高市恭弘・進藤三幸・松原 洋	17
愛媛県地先海域の水・底質（第2報） — 宇和海の水・底質の特性と変遷— 進藤三幸・高市恭弘・松原 洋	26
愛媛県における干潟の底質及び水質 西原伸江・楠 憲一・宇高真行	36
新居浜市内の地下水の有機塩素化合物の経年変化について 安部暢哉・八塚能男・山宮芳子・浮田陽一	43

ノ ー ト

自然放射線等調査（瀬戸町・三崎町） — 走行サーベイによる空間放射線調査— 三谷美嶺雄・渡邊郁雄・篠原広充・山本英夫・篠崎由紀・安永章二	51
自然放射線等調査（瀬戸町・三崎町） — 固定点における空間放射線調査— 三谷美嶺雄・篠原広充・渡邊郁雄・山本英夫・篠崎由紀・安永章二	55

調査報告

業種別にみた排水磷濃度調査結果について 山宮芳子・八塚能男・安部暢哉・浮田陽一	59
ゴルフ場農薬調査結果について 松原 洋・菊田正則・余田幸作・和田修二	64

報 文

環境大気中の低沸点有機塩素化合物の濃度について

門家重治・芝 信明・藤田慎二郎・山内昌博*

はじめに

低沸点有機塩素化合物は、溶剤や洗剤として広く使用されており、以前より地下水等の水系での汚染が環境問題となっていた。しかし、最近ではオゾン層の破壊や人体への影響などから大気中での濃度についても注目を集めており、平成5年4月には健康保護の観点からトリクロロエチレンおよびテトラクロロエチレンの大気環境指針（暫定値）が設定された。

そこで、環境大気中におけるこれら2物質の濃度の測定のために、文献^{1), 2)}をもとに活性炭捕集-溶媒抽出による測定方法の検討を行い、さらに平成5年度から6年度の2年間にわたり発生源の周辺環境を主体に調査を行ってきた。

これまでに得られた結果について報告する。

調査方法

1 試薬および捕集管

検量線用のトリクロロエチレンおよびテトラクロロエチレンの標準溶液は、市販の家庭用品試験用標準溶液（各1mg/ml、ヘキササン溶液）をヘキササンで希釈して用いた。

ヘキササンは、残留農薬試験用を用いた。

捕集管は、市販の活性炭チューブ（スベルコ社製、ORBOチューブ、Carbosieve G、30mm）を用いた。

2 装置

捕集装置は、図1のように、ミニポンプ（柴田科学器械工業製、MP-2N型）、乾式ガスメーター（1ℓ）および電源のオートバイ用密封型バッテリー（12V、3Ah）を組み合わせてプラスチックのケースに入れたものを自作した。ミニポンプはストローク可変型で、微少の流量

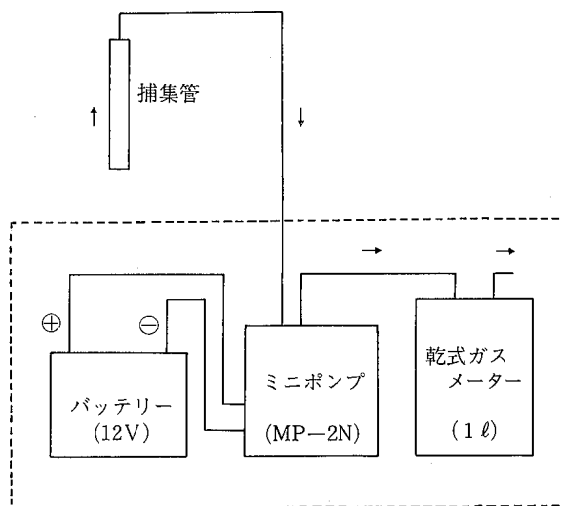


図1. 捕集装置の構成図

でも安定性は高かった。

ガスクロマトグラフは、平成5年度は島津製作所製GC-14Aを、平成6年度は同社製GC-17Aを用いた。

3 捕集方法および分析操作

捕集装置に両端をカットした捕集管を接続し、0.1~0.2ℓ/minの流量で約24時間大気を捕集した。捕集管はアルミホイルで遮光し、捕集後は両端に付属のキャップをし、ネジ付試験管に密封して保存した。

活性炭は捕集管からサンプル瓶に移し、ヘキササン5mlを加えて密封し、12時間以上放置して抽出を行い、上澄み液をガスクロマトグラフに導入した。分析条件は表1に示す。

なお、抽出率は100%として大気中の濃度を算出した。

4 調査期間および地点

平成5年11月から平成6年9月にかけて冬期と夏期の2回調査を行った。

調査地点の概要を表2に示す。発生源の周辺環境として、県内でトリクロロエチレンあるい

*愛媛県保健環境部環境保全課

はテトラクロロエチレンを使用している事業所から6業種15カ所を選び、1事業所あたり2地点の計30地点(No.4-1~18-2)で調査した。調査地点は、事業所敷地境界からほぼ100m以内

とした。

なお、発生源の影響を受けない一般環境として、No.1~3の松山市と久万町の3地点でも調査した。

表1 GC分析条件

装置	GC-14A	GC-17A
カラム	10%シリコン DC-550, 3m×3mm i.d.	DB-624, 30m×0.53mm i.d., 3μm
カラム温度	70℃	40℃(1min) → 8℃/min → 75℃(4min)
検出器温度	200℃	250℃
注入口温度	200℃	250℃
キャリアガス	N ₂ , 40 ml/min	N ₂ , 10 ml/min
メイクアップガス	N ₂ , 固定流量	N ₂ , 15 ml/min
検出器	ECD	ECD
試料注入量	2 μl	0.5 μl
注入方法	全量注入	全量注入

表2 調査地点の概要

No.	場所	付近の状況	周辺の発生源	使用物質	排出口からの位置
1	松山市北部	住居地域	なし	—	—
2	松山市中心部	近隣商業地域	なし	—	—
3	久万町	山間地域	なし	—	—
4-1	松前町	住居地域	アスファルト試験	トリクロロエチレン	南東, 100m
-2	〃	〃	〃	〃	南西, 170m
5-1	城辺町	近隣商業地域	ドライクリーニング	テトラクロロエチレン	西, 80m
-2	〃	〃	〃	〃	東, 90m
6-1	八幡浜市	近隣商業地域	ドライクリーニング	テトラクロロエチレン	東, 60m
-2	〃	〃	〃	〃	北, 60m
7-1	新居浜市	住居地域	塩化ビニル製造	トリクロロエチレン	南東, 530m
-2	〃	〃	〃	〃	南, 680m
8-1	西条市	近隣商業地域	ドライクリーニング	テトラクロロエチレン	南東, 35m
-2	〃	〃	〃	〃	北西, 40m
9-1	新居浜市	住居地域	ドライクリーニング	テトラクロロエチレン	南西, 90m
-2	〃	〃	〃	〃	北東, 80m
10-1	大洲市	山間地域	精密機器製造	テトラクロロエチレン	南西, 70m
-2	〃	〃	〃	〃	西, 50m
11-1	宇和島市	近隣商業地域	ドライクリーニング	テトラクロロエチレン	北西, 70m
-2	〃	〃	〃	〃	北東, 150m
12-1	丹原町	住居地域	アスファルト試験	トリクロロエチレン	北西, 60m
-2	〃	〃	〃	〃	南西, 70m
13-1	松山市	近隣商業地域	印刷製本	トリクロロエチレン	南東, 45m
-2	〃	〃	〃	〃	西, 30m
14-1	新居浜市	近隣商業地域	ドライクリーニング	テトラクロロエチレン	北西, 70m
-2	〃	〃	〃	〃	南, 120m
15-1	丹原町	住居地域	ドライクリーニング	テトラクロロエチレン	北西, 100m
-2	〃	〃	〃	〃	北東, 110m
16-1	松山市	近隣商業地域	ドライクリーニング	テトラクロロエチレン	北, 15m
-2	〃	〃	〃	〃	南, 90m
17-1	今治市	近隣商業地域	ドライクリーニング	テトラクロロエチレン	東, 50m
-2	〃	〃	〃	〃	南, 160m
18-1	菊間町	住居地域	石油製品製造	トリクロロエチレン	南西, 600m
-2	〃	〃	〃	〃	南, 600m

5 風速と風向

日本気象協会松山支部発行の愛媛県気象月報から平均風速と最多風向を引用した。風速については、調査した2日間の平均値を記載した。観測所が市内あるいは町内にない松前町と菊間町は松山の値を、城辺町は御荘の値を、八幡浜市は宇和島の値を、西条市は新居浜の値をそれぞれ用いた。

結果と考察

1 捕集方法および分析操作について

長谷川らの方法¹⁾に準じたが、一部以下のように変更した。

今回は、トリクロロエチレンとテトラクロロエチレンの2物質のみの調査であったので、捕集時には脱水管は省略した。

抽出溶媒については、トルエンではテトラクロロエチレンの直前に溶媒と思われるピークが現れたので、ヘキサンで抽出することとした。

キャピラリーカラムによるGC分析でのカラム温度は、分析時間の短縮のため75℃までの昇温とした。200℃までの昇温に比べて、ベースラインの上昇が多少大きくなる傾向がみられたが、妨害ピーク等もなく良好に分離、定量できた。この条件では、1試料が約18分で分析できた。なお、分析後には150℃まで昇温し高沸点成分の追い出しを行った。

2 調査結果

(1) 発生源の影響

表3に平成5年度の調査結果を示す。

まずトリクロロエチレンの濃度についてみると、近くに発生源のない地点(No.1, 2, 5, 6, 8, 9)では、0.030~0.076ppbであった。一方、発生源の周辺では、No.4が0.11~0.20ppbと高く、発生源の影響がみられた。しかし、No.7では同じ市内のNo.9とほとんど同じ濃度であり、発生源の影響は認められなかった。これは、風がやや強く、発生源からの距離が他よりもかなり遠かったことが一因と思われる。

次にテトラクロロエチレンについてみると、

近くに発生源のない地点(No.1, 2, 4, 7)では、0.008~0.038ppbであった。発生源の周辺(No.5-1, 6, 8, 9-2)では、0.11~1.83ppbと高い傾向があり、発生源の影響がみられたが、No.5-2, 9-1については大きな差がなく、影響は認められなかった。

表4には、平成6年度の結果を示す。

トリクロロエチレンについてみると、近くに発生源のない地点(No.1~3, 10, 11, 14~17)では、0.004~0.027ppbであった。発生源の周辺のうち、No.13-2は0.128ppbで発生源の影響が明らかであったが、No.12, 13-1, 18は他と比べて大きな差がなく、影響は認められなかった。

次にテトラクロロエチレンについてみると、近くに発生源のない地点(No.1~3, 12, 13-1, 18)では、0.009~0.021ppbであった。No.13-2については、0.22ppbで他の10倍以上高く、他の発生源の影響が考えられる。発生源の周辺(No.10-2, 11, 14, 15-2, 16, 17)では、0.036~0.491ppbであり影響が認められたが、No.10-1, 15-1では影響は認められなかった。

以上の結果より、濃度の高かった発生源周辺でも大気環境指針値(トリクロロエチレン47ppb, テトラクロロエチレン34ppb)に比べるとかなり低い値であった。

また全般的に、トリクロロエチレンよりテトラクロロエチレンの方が濃度が高く、発生源の影響が大きい傾向がみられた。これは各事業所での聞き取り調査から、トリクロロエチレンよりテトラクロロエチレンの方が発生源での排出量が多かったことによると思われる。

近くに発生源のない地点における2物質の濃度には、No.13-2を除けば各年度ともに大きな差はなかった。さらに、発生源で使用していない物質について、発生源を同じくする2地点間での濃度を比べると、テトラクロロエチレンのNo.13を除く14組すべてで、ほとんど差がみられなかった。このことから、これらの地点では特定の発生源の影響を直接受けていないことが推測される。

表3 大気中の低沸点有機塩素化合物の濃度(平成5年度-冬期)

No	調査期間	風速 (m/s)	最多風向	排出口からの位置 (m)	トリクロロエチレン (ppb)	テトラクロロエチレン (ppb)
1 (松山市)	11/22~23	3.0	西北西	—	0.042	0.008
2 (")	11/24~25	2.1	北西-南東	—	0.047	0.012
4-1 (松前町)	11/30~12/1	1.4	南東-北北西	南東, 100	* 0.11	0.038
-2 (")	"	"	"	南西, 170	* 0.20	0.035
5-1 (城辺町)	12/7~8	1.4	北北西-西北西	西, 80	0.034	* 1.04
-2 (")	"	"	"	東, 90	0.032	* 0.053
6-1 (八幡浜市)	12/21~22	8.7	北西-西北西	東, 60	0.030	* 0.16
-2 (")	"	"	"	北, 60	0.032	* 0.11
7-1 (新居浜市)	1/19~20	3.9	西北西-西南西	南東, 530	* 0.073	0.020
-2 (")	"	"	"	南, 680	* 0.050	0.013
8-1 (西条市)	1/27~28	2.9	北北西-南南東	南東, 35	0.056	* 0.33
-2 (")	"	"	"	北西, 40	0.062	* 0.34
9-1 (新居浜市)	2/2~3	4.4	西南西-西北西	南西, 90	0.072	* 0.019
-2 (")	"	"	"	北東, 80	0.076	* 1.83

* : 発生源での使用物質であることを表す

表4 大気中の低沸点有機塩素化合物の濃度(平成6年度-夏期)

No	調査期間	風速 (m/s)	最多風向	排出口からの位置 (m)	トリクロロエチレン (ppb)	テトラクロロエチレン (ppb)
1 (松山市)	9/7~8	2.1	南東-西南西	—	0.014	0.013
2 (")	"	"	"	—	0.012	0.012
3 (久万町)	8/17~18	1.0	南南東-北北西	—	0.004	0.019
10-1(大洲市)	7/4~5	1.0	西北西-南南西	南西, 70	0.009	* 0.021
-2(")	"	"	"	西, 50	0.006	* 0.036
11-1(宇和島市)	7/11~12	2.0	西南西	北西, 70	0.010	* 0.065
-2(")	"	"	"	北東, 150	0.011	* 0.445
12-1(丹原町)	7/18~19	1.9	南南西-北北東	北西, 60	* 0.020	0.021
-2(")	"	"	"	南西, 70	* 0.021	0.021
13-1(松山市)	7/26~27	2.1	東南東-東	南東, 45	* 0.024	0.020
-2(")	"	"	"	西, 30	* 0.128	0.220
14-1(新居浜市)	8/8~9	2.0	北-南	北西, 70	0.026	* 0.491
-2(")	"	"	"	南, 120	0.027	* 0.139
15-1(丹原町)	8/22~23	1.9	南南西-北北東	北西, 100	0.008	* 0.020
-2(")	"	"	"	北東, 110	0.010	* 0.052
16-1(松山市)	8/29~30	2.2	北西-東南東	北, 15	0.010	* 0.285
-2(")	"	"	"	南, 90	0.011	* 0.108
17-1(今治市)	9/5~6	1.5	西北西-西	東, 50	0.014	* 0.133
-2(")	"	"	"	南, 160	0.012	* 0.044
18-1(菊間町)	9/12~13	2.2	北西-北	南西, 600	* 0.023	0.010
-2(")	"	"	"	南, 600	* 0.012	0.009

* : 発生源での使用物質であることを表す

(2) 風による影響

発生源を同じくする2地点間で濃度に大きな差のあった5組のうち、No.13 (トリクロロエチレン)、No.9, 11, 17 (テトラクロロエチレン)の4組については、風下の方が濃度の高い傾向がはっきりしており、風向による影響が認められた。

しかし、No.5 (テトラクロロエチレン)では風上の方が濃度が高く、逆の傾向となった。これは、排出口周辺の局地的な地形や建物の状況により、風向が必ずしも観測所と同じにならないことによるものと考えられる。

風速については、2物質とも大気中の濃度と負の相関があるといわれているが、今回は検討できなかった。

(3) 冬期と夏期の比較

冬期(平成5年度)と夏期(平成6年度)について、発生源の影響を受けていないと思われるNo.13-2以外の近くに発生源のない地点の濃度を平均すると、トリクロロエチレンでは冬期0.048ppb、夏期0.012ppb、テトラクロロエチレンでは冬期0.021ppb、夏期0.016ppbであった。データが少なく、冬期と夏期の両方で調査した地点は2地点しかないなど厳密な比較はできないが、トリクロロエチレンは夏期より冬期の方が4倍高い濃度で、季節による変動が大きかった。一方、テトラクロロエチレンはNo.1で夏期の方が高かったものの、平均値では冬期の方がやや高かった。これらの傾向は、千葉県³⁾、岡山県⁴⁾、神奈川県⁵⁾および仙台市⁶⁾での調査結果と一致していた。

(4) 全国調査との比較

平成元年度に実施した発生源の影響を直接受けにくい全国13地区での調査結果⁷⁾によると、検出範囲はトリクロロエチレンが $0.005\sim 1.30$ ppb、テトラクロロエチレンが $0.002\sim 1.38$ ppbである。愛媛県では、トリクロロエチレンが $0.004\sim 0.076$ ppb、テトラクロロエチレンが $0.008\sim 0.038$ ppbであり、全国的にみた場合低いレベルにあると思われる。

まとめ

環境大気中のトリクロロエチレンとテトラクロロエチレンの濃度の測定を目的に、活性炭チューブで24時間捕集しヘキサンで抽出する方法を用いて、発生源の周辺を主体に県内33地点で平成5年から2年間調査を行った。結果は次のとおりである。

- 1) トリクロロエチレン、テトラクロロエチレンともに、大部分の発生源の周辺で発生源の影響が認められたが、その濃度はいずれも大気環境指針値よりかなり低かった。
- 2) 発生源の周辺では、風向の影響がはっきりと現れていた地点がいくつかみられた。
- 3) 近くに発生源のない地点での冬期と夏期の濃度を比較すると、トリクロロエチレンは冬期の方が夏期より高く、テトラクロロエチレンも冬期の方がやや高い傾向であった。
- 4) 近くに発生源のない地点での濃度は、トリクロロエチレンが $0.004\sim 0.076$ ppb、テトラクロロエチレンが $0.008\sim 0.038$ ppbであり、全国的にみると低いレベルであった。

文 献

- 1) 長谷川敦子、矢島 巖：分析化学，**40**，489～494 (1991)。
- 2) 長谷川敦子：安全工学，**32**，113～115 (1993)。
- 3) 千葉県環境研究所年報，**24**，30～31 (1992)。
- 4) 小田淳子他：環境化学，**2**，479～491 (1992)。
- 5) 長谷川敦子他：第34回大気汚染学会講演要旨集，p.590 (1993)。
- 6) 千葉 恵他：仙台市衛生研究所報，**23**，249～256 (1993)。
- 7) 環境庁保健調査室：平成3年版化学物質と環境，p.304 (1991)。

愛媛県東予地域における降下ばいじん調査結果について

野間そま子・金子敏明・二宮 久

はじめに

降下ばいじんは、工場、自動車等多種多様な発生源から排出されるばいじん、粉じん等の粒子状物質のうち、降雨又は自重によって沈降する物質である。

この降下ばいじんは、デポジットゲージ、ダストジャー、ろ過式雨水採取装置等によって採取され、降下ばいじん量の外、必要に応じ、降水のpH等についても測定が行なわれている。

降下ばいじんの調査は、エネルギー源として石炭が多量に使用され、ばい煙対策も進んでいなかった時期、大気汚染の指標として重要であった。このため、国内では昭和40年代の早い時期から、調査が実施されており¹⁾、平成4年度における全国の調査地点数は、1,201地点である²⁾。

愛媛県内では、大気汚染監視調査の一環として、昭和44年度から、デポジットゲージ法による降下ばいじん調査が行われており、平成4年度の調査地点数は19地点である³⁾。そのうち、紙・パルプ工場、化学工場、火力発電所等の集中立地する東予地域においては、県が川之江市等の6地点の調査を実施している。

近年、アジア諸国において目覚ましい工業化等が行なわれた結果、かつて国内で問題となったと同様な大気汚染が心配されている。その中で地球環境問題のひとつである酸性雨についても関心が持たれ、全国的な調査が実施されている。

このような状況の下で、昭和44年度からデータの蓄積が行なわれている降下ばいじん調査結果について、取りまとめておくことは近年における大気汚染の問題を理解するうえで有益である。

そこで、降下ばいじん量、降水のpH、硫黄酸化物量、アンモニア量等の調査結果について、経年変化及び季節変化の観点から取りまとめたので報告する。

調査方法等

1 調査地点及び調査時期

調査は、東予地域の川之江市、伊予三島市、新居浜市及び西条市で実施した。

調査地点の位置を図1に、調査地点毎の調査時期等の状況を表1に示す。

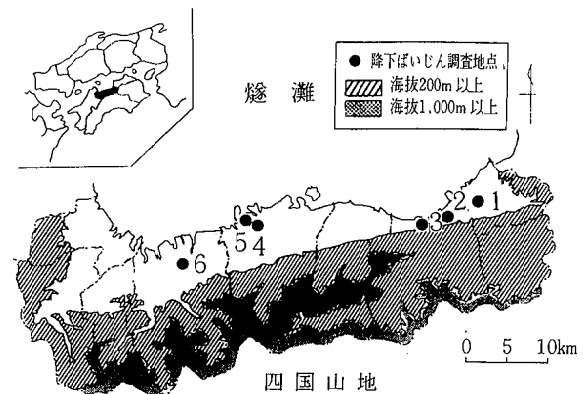


図1 降下ばいじん調査地点

表1 調査地点及び調査時期

番号	調査地点			調査時期	備考
	名称	所在地	海拔高度(m)		
1	上分小学校	川之江市	27 (2.5km)	昭和45年度～ 平成5年度	昭和45年9月まで 南中学校で調査
2	旧県事務所	伊予三島市	37 (0.7km)	昭和45年度～ 平成5年度	
3	寒川小学校	伊予三島市	20 (0.8km)	昭和45年度～ 平成5年度	
4	金子小学校	新居浜市	8 (1.4km)	昭和44年度～ 平成5年度	平成5年3月まで新 居浜保健所で調査
5	新居浜工業高校	新居浜市	10 (0.5km)	昭和44年度～ 平成5年度	
6	西条中央保健所	西条市	13 (2.0km)	昭和44年度～ 平成5年度	

(注) 海拔高度欄中の()内は、直近の海岸までの距離である。

表2 調査項目毎の分析方法

調査項目	分析方法
降下ばいじん量 (不溶性物質・ 溶解性物質)	降下ばいじん測定法に準ずる。(日本薬学会:衛生試験法注解, 1004~1006, 1980)
pH	ガラス電極法。
硫酸酸化物 (SO ₃ として)	クロラニル酸バリウム法。(日本薬学会:衛生試験法注解, 992~993, 1965)
アンモニア (NH ₃ として)	インドフェノール法。(日本薬学会:衛生試験法注解, 1162~1163, 1990)
塩素イオン (Cl ⁻ として)	チオシアン酸第二水銀法。 (JISK0101, 95, 1979)

2 試料採取方法及び調査項目

試料は、デポジットゲージを用いて、1カ月に採取した。

調査項目は、降雨量、降下ばいじん量、pH、硫酸酸化物量、アンモニア量及び塩素イオン量である。

調査項目毎の分析法を表2に示す。

3 調査結果の扱い

各月の調査結果のうち、降雨量が少なく貯水がなかった月、異物が混入した月、オーバーフローした月、器具が破損して調査ができなかった月等は欠測とした。

また、年間の欠測期間が3カ月を超える年度については、全てのデータを欠測とした。

調査結果と考察

1 採取法の比較

調査結果の評価に先立ち、デポジットゲージ及びろ過式採取装置の採取法の違いによるデータの関係性を比較し、表3に示す。

表3 降下物の採取法による違いの比較

項目	単回帰	データ数	相関関係
降雨量(mm)	$Y=0.84X+14$	23	0.93**
pH	$Y=0.84X+0.71$	23	0.55**
硫酸酸化物 (t/km ² /30日)	$Y=1.03X+0.16$	23	0.75**
アンモニア (t/km ² /30日)	$Y=0.52X+0.03$	23	0.74**
塩素イオン (t/km ² /30日)	$Y=0.84X+0.06$	23	0.97**

(注) 1 単回帰のYはデポジットゲージ、Xはろ過式酸性雨調査による降下物の採取データを示す。
2 相関関係欄中、**は信頼度99%で有意を示す。

ふたつの採取方法による調査の結果は、各項目とも有意な正の相関となっている。

なお、この調査は、平成2年5月から平成4年4月までの間、新居浜保健所において降下ばいじん調査及び酸性雨調査のため、並行して実施したものである。

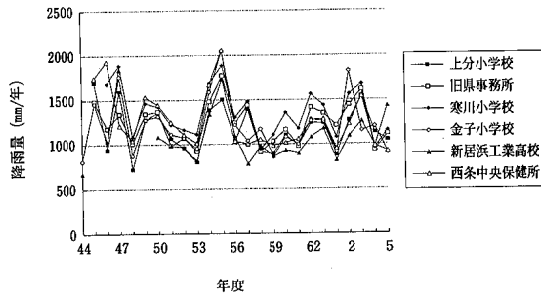


図2 降雨量の経年変化

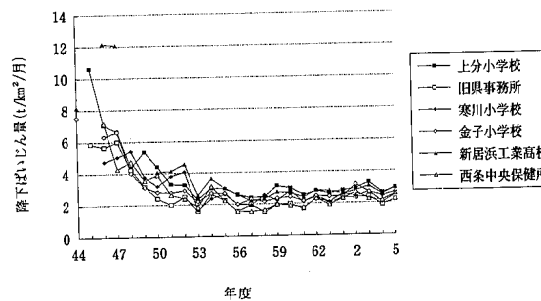


図3 降下ばいじん量の経年変化

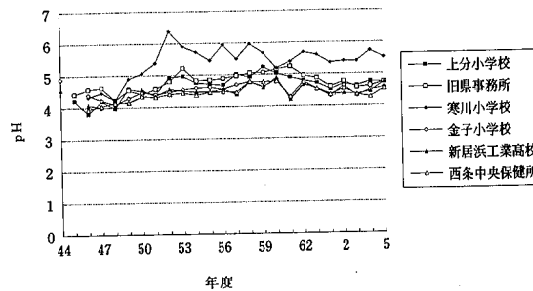


図4 pHの経年変化

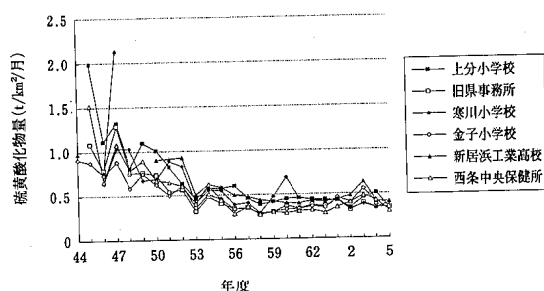


図5 硫酸酸化物量の経年変化

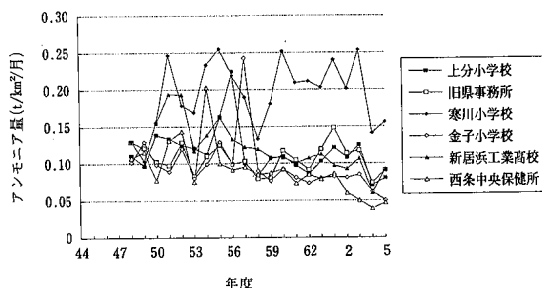


図6 アンモニア量の経年変化

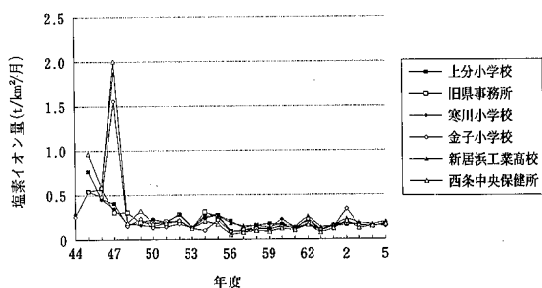


図7 塩素イオン量の経年変化

2 経年変化

(1) 降雨量の経年変化

年度毎の積算降雨量の経年変化を図2に示す。降雨量の経年変化に増加又は減少の傾向は見られない。

なお、降雨量は、各月の降雨の量を採取面積で除して算定した量の年度積算値である。

(2) 降下ばいじん量の経年変化

年度毎の平均降下ばいじん量の経年変化を図3に示す。

降下ばいじん量は、調査開始以降、昭和53年度頃まで急激に減少しているが、全国的にも降下ばいじん量の減少が見られる²⁾。

本県の降下ばいじん量の減少については、大気汚染防止法によるばいじん及び粉じんの規制、昭和49年の公害防止条例に導入された硫黄酸化物総量規制により、良質燃料への転換、脱硫装置の導入等の対策が進められたことによる効果が現れたと考えられる。

その後、法令による規制、工場の立地状況等に大きな変化がないため、平成5年度までの降下ばいじん量は横ばい状態である。

(3) pHの経年変化

年度毎の平均pHの経年変化を図4に示す。

寒川小学校を除く5地点では、調査開始時期から昭和48年度頃までのpHは4.0前後と低く、その後、昭和61年度頃まで上昇し、昭和61年度頃を境としてやや低下している。

平成元年度頃からのpHは、4.5付近で横ばい状態で推移しているが、これは第2次酸性雨対策調査⁴⁾(昭和63年度～平成4年度)で示されたpHの年平均値と同程度である。

一方、寒川小学校のpHは昭和50年度頃から、他の5地点とは異なった特異な挙動を示しており、各年度ともその年平均値は5.0を超えている。

このことには、(5)で述べるアンモニア量が関与していると考えられる。

(4) 硫黄酸化物量の経年変化

年度毎の平均硫黄酸化物量の経年変化を図5に示す。

6地点の硫黄酸化物量は、降下ばいじん量と同様、調査開始時から昭和53年度頃まで、減少傾向を示し、その後、横ばい状態で推移している。

この減少傾向を示す時期の硫黄酸化物量については、pHの上昇に関与しているものと考えられる。

(5) アンモニア量の経年変化

年度毎の平均アンモニア量の経年変化を図6に示す。

寒川小学校を除く5地点のアンモニア量は、調査開始時から継続して緩やかに減少している。

このため、アンモニア量の変化は、pHを下げる方向に関与していると考えられる。

昭和50年度頃以降の寒川小学校のアンモニア量は、年度毎の変化が大きいものの、pHの経年変化と同様、他に比べて高いレベルで推移している。

なお、寒川小学校でアンモニア量が多い原因については、昭和50年度頃に設置された養豚場の影響と考えられる。

(6) 塩素イオン量の経年変化

年度毎の平均塩素イオン量の経年変化を図7

に示す。

昭和47年度の新居浜市及び西条市の3地点の塩素イオン量は、他に比べて特に多い。

また、塩素イオン量は、調査開始時から昭和48年度頃まで減少し、その後、横ばい状態で推移している。

塩素イオン量が減少した時期は、大気汚染防止対策をはじめ、各種の公害防止対策が進められた時期と一致している。

3 月変化

(1) 降雨量の月変化

月別平均降雨量の月変化を図8に示す。

降雨量は冬に少なく、春から秋に多くなっている。

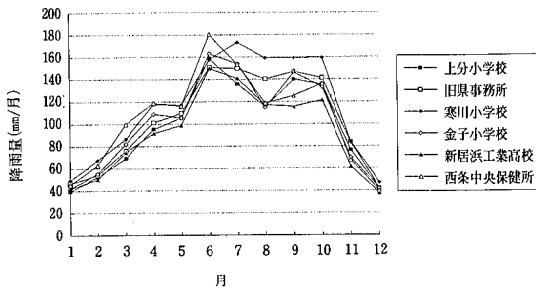


図8 降雨量の月変化

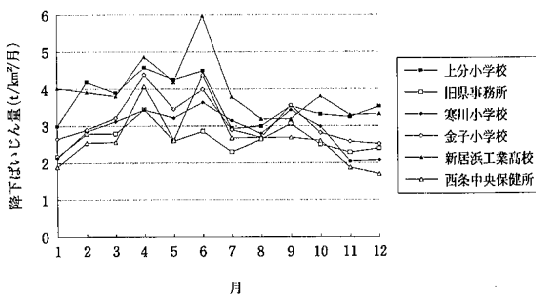


図9 降下ばいじん量の月変化

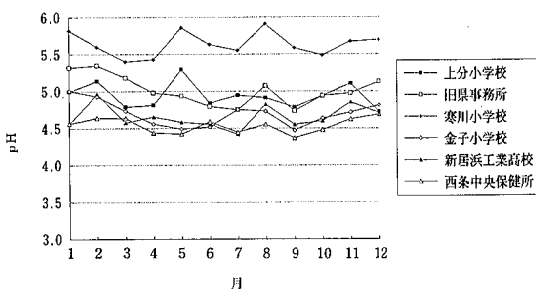


図10 pHの月変化

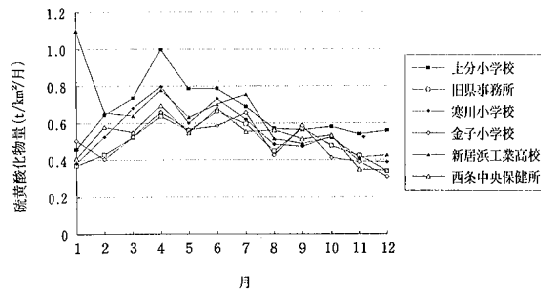


図11 硫黄酸化物量の月変化

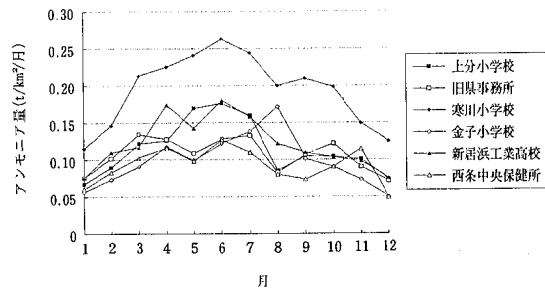


図12 アンモニア量の月変化

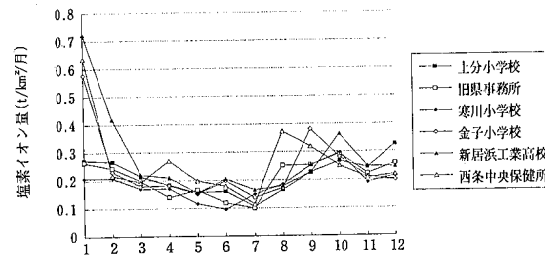


図13 塩素イオン量の月変化

(2) 降下ばいじん量の月変化

月別平均降下ばいじん量の月変化を図9に示す。

降下ばいじん量は冬に少なく、春から夏にかけて多い。

また、降雨量の月変化と対比すると降雨量の大きい時期の降下ばいじん濃度が低いことが判る。

(3) pHの月変化

月別平均pHの月変化を図10に示す。

寒川小学校を除く5地点では、pHが5.6より低い酸性側になっている。

また、この5地点のpHは、降雨量の多い春

から秋にかけて低い。

このため、春から秋にかけては、環境大気を酸性化する要因が強いと考えられる。

一方、寒川小学校のpHは、他の5地点と異なった特異な挙動を示している。

(4) 硫酸化物量の月変化

月別平均硫酸化物量の月変化を図11に示す。

硫酸化物量は、春から夏にかけて多く、秋から冬にかけて少なくなっており、pHの挙動に影響を与えていると考えられる。

(5) アンモニア量の月変化

月別平均アンモニア量の月変化を図12に示す。

アンモニア量は、春から秋にかけて多く、冬に少なくなっている。

春から秋にかけてのpHは、アンモニア量の月変化から考えられる挙動と反対の動きを示し、硫酸化物量をはじめとする酸性要因の方がアンモニア量より影響が大きいことが判る。

寒川小学校のアンモニア量は、他の地点と異なり、pHと同様に高いレベルで推移している。この原因については、経年変化で示したような地域固有の事情によるものと考えられる。

(6) 塩素イオン量の月変化

月別平均塩素イオン量の月変化を図13に示す。

塩素イオン量は、秋から冬にかけて多く、春から夏にかけて少なくなっている。

さらに、秋に台風が多いこと、調査地点が図1に示したように北側を海に面し、冬に強い北風の影響を受けやすいこと等から、塩素イオン量が大きくなった原因については山内らの報告⁵⁾のように海塩に由来すると考えられる。

なお、2(6)に示すように昭和47年度以前の酸素イオン量が多かったため、1月に3地点の塩素量が異常に多くなっているが、この原因は不明である。

まとめ

昭和44年度から平成5年度までのデポジットゲージ法による降下ばいじんの調査結果について、経年変化及び月変化の観点から取りまとめた結果、次のことが判った。

1) 経年変化

- 調査開始時から昭和53年度頃までの降下ばいじん量、硫酸化物量及び塩素イオン量は、減少しており、法律や公害防止条例に基づく規制の効果が現れている。その後のこれらの量は横ばい状態である。
- pHは、調査開始時から昭和61年度頃まで上昇し、その後、やや低下して4.5付近で横ばい状態である。
- アンモニア量は、調査開始時から継続して緩やかに減少している。

2) 月変化

- 降下ばいじん量、硫酸化物量、アンモニア量は、降雨量の多い春から秋にかけて多い。この時期、pHは低いため、pHに対しては、硫酸化物量をはじめとする酸性化要因の方がアンモニアより影響が大きい。
- 調査地点の塩素イオン量は、海塩由来により、秋から冬にかけて多くなっている。

文 献

- 1) 環境庁大気保全局大気規制課：昭和46年度全国常時監視測定局大気汚染状況の概要，541～599，1972.
- 2) 環境庁大気保全局大気規制課：平成4年度一般環境大気測定局測定結果報告，84～86，1993.
- 3) 愛媛県：環境白書，55～57，1994.
- 4) 岡崎誠他：第二次酸性雨対策調査の中間取りまとめ，かんきょう，7，6～9，1992.
- 5) 山内昌博他：愛媛県における酸性雨実態調査結果について（第3報），愛媛県環境保全センター所報，14，1～6，1994.

COD_{Mn} 試験における光化学反応の影響

高松公子・楠 憲一・宇高真行

The Studies of Effect of Photochemical Reaction on COD_{Mn} Test

Kimiko TAKAMATSU, Kenichi KUSUNOKI and Masayuki UDAKA

Silver sulfate or silver nitrate are added to sample solution for masking chloride ion in COD_{Mn} test. Precipitate of silver chloride formed in this process has an effect on the COD values by photochemical reaction. Several experiments were performed to evaluate this effect.

The results were summarized as follows:

- 1) The effect of photochemical reaction was largest in stirring for masking chloride ion.
- 2) Because of the photochemical reaction, COD value obtained by using silver sulfate was decreased, on the contrary, the value by using silver nitrate was increased.
- 3) No different values were found between the two methods using each reagents under the lighttight.

はじめに

100℃における過マンガン酸カリウムによる酸素消費量 (COD_{Mn}) には塩素イオンが妨害となるため、JIS K0102では、硫酸銀又は硝酸銀でマスクングすることとされている^{1) 2)}。塩素イオンをマスクングすることにより生成する塩化銀は、写真の感光材料としても用いられているハロゲン化銀の一種であり、短波長の可視光線と紫外線を吸収し、光化学反応を起こし黒変しやすい性質を持っている³⁾。山口らは、この塩化銀の光化学反応によって、COD値が低下し、特に、海水の場合はマスクング剤を多量に使用するうえ、COD値も低いので影響が大きいと報告している⁴⁾。

COD_{Mn}試験では、マスクング剤として硫酸銀を用いる方法 (硫酸銀法) と硝酸銀を用いる方法 (硝酸銀法) の2法があるが、海水のような塩素イオンが多量に含まれる試料の場合は、取り扱い上の理由などから硫酸銀法が用いられることが多い。そこで、硫酸銀法による光の影響を種々の条件で実験し、硝酸銀法でも一部比較実験を行った。その結果、2法とも光による影響があることがわかり、光化学反応を容易に防止する手法及び光化学反応機構について若干

の知見を得たので報告する。

実験方法

1 試薬

試薬については、JIS K0102に準じて調製した。ただし、硫酸銀は和光純薬工業製COD測定用試薬、硝酸銀は林純薬工業製特級試薬を用いた。

2 器具

水浴：宮本理研工業製理研式COD測定電気湯煎器 (ステンレス製カバー付)

照度計：三商製SLX-1330型

紫外線強度計：ウルトラバイオレット社製UVX型

三角カバー：黒厚紙 (リンテック製ニューカラーNo.418) を図1に示すとおり、300ml三角フラスコに装着できるよう作製した。

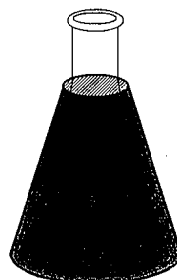


図1 三角カバー (黒厚紙製)

3 試料

実海水：沿岸水を採取し用いた。

標準原液：L-グルタミン酸0.600 g 及びラク
トース水和物0.120 g を水で溶解し、1000
mlとした。

模擬海水Ⅰ：標準原液20ml及び塩化ナトリウ
ム30 g を水に溶解し、1000mlとした。

模擬海水Ⅱ：標準原液80ml及び塩化ナトリウ
ム適量（3%の場合30 g）を水に溶解し、
1000mlとした。

4 硫酸銀法

JIS K0102に準じたCOD_{Mn}試験（硫酸銀法）
のフローシートは図2のとおりであるが、攪
拌、放置、保温の工程について、光の影響を檢
討するため、暗所と窓際でのCOD_{Mn}試験を行っ
た。

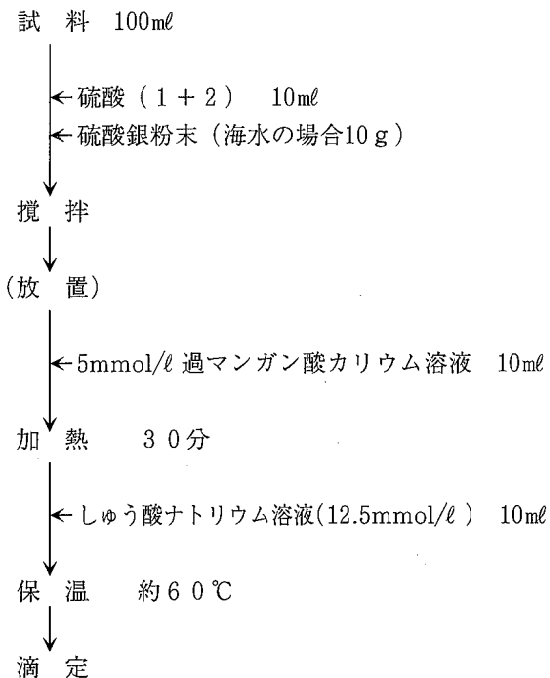


図2 COD_{Mn}試験（硫酸銀法）フローシート

また、塩分による影響を検討するため、塩分
0.5, 1, 2, 3%の模擬海水Ⅱを調製し、それぞ
れ相応の硫酸銀を加え、窓際で30分攪拌を行い、
COD値を求めた。

5. 硝酸銀法

硝酸銀法も図2に示した硫酸銀法とほぼ同様
の操作を行うが、マスキング剤と硫酸の加える

順序が逆で、硝酸銀を加えた後、硫酸を加えた。

結果及び考察

1 硫酸銀法における光の影響

(1) 攪拌工程

実海水（COD値2.3mg0/l）を用い、窓際で
の攪拌時間によるCOD値変化を図3に示した。
本来、塩化銀沈殿の色は白色であるが、窓際で
攪拌することによって、紫色に変化し、30分攪
拌でCOD値が1.5mg0/lに低下した。攪拌時間
を増すと、沈殿の紫色は濃くなり、COD値は
さらに低下した。

攪拌工程での光の影響は非常に大きいため、
遮光には十分注意する必要があると思われる。

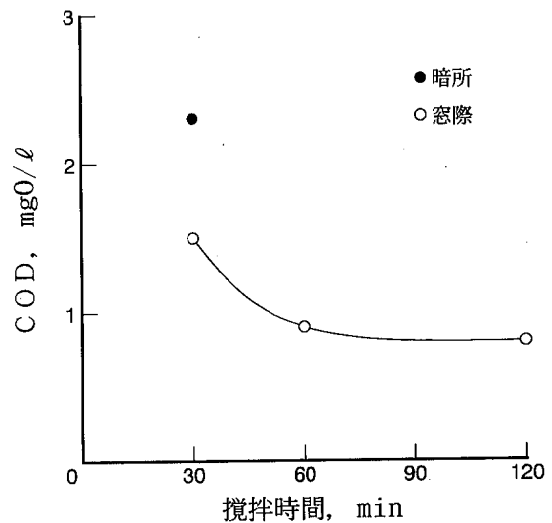


図3 攪拌工程における光化学反応による影響

(2) 放置工程

模擬海水Ⅰの放置工程での暗所及び窓際にお
けるCOD値を測定した結果を図4に示した。
暗所で30分放置してもCOD値及び塩化銀の沈
殿の色に変化はみられないが、窓際で放置した
場合、時間が増すにつれ、塩化銀沈殿の表面が
紫色に変色し、COD値も攪拌工程ほどではな
いが、低下する傾向にあった。

したがって遮光対策をするとともに、すみや
かに次の操作を行う必要があると思われる。

(3) 保温工程

模擬海水Ⅰの保温工程での暗所、窓際におけ
るCOD値を測定した結果を図5に示した。暗

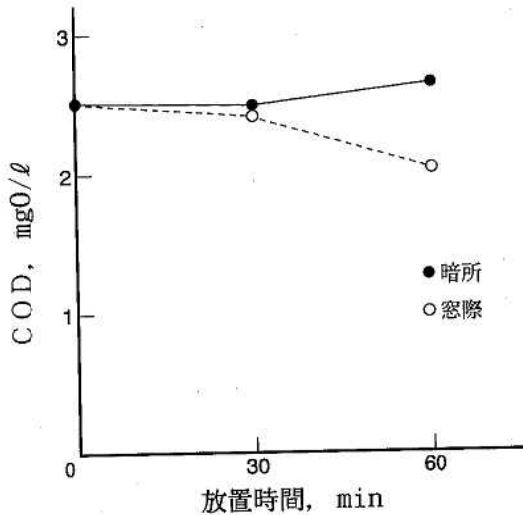


図4 放置工程における光化学反応による影響

所では、COD値及び塩化銀の沈殿の色に変化はみられないが、窓際では、塩化銀沈殿の表面が淡紫色に変色し、COD値も攪拌工程ほどではないが低下した。

しゅう酸ナトリウム溶液を加えてから滴定するまでの間の保温工程で、遮光対策をする必要があると思われる。

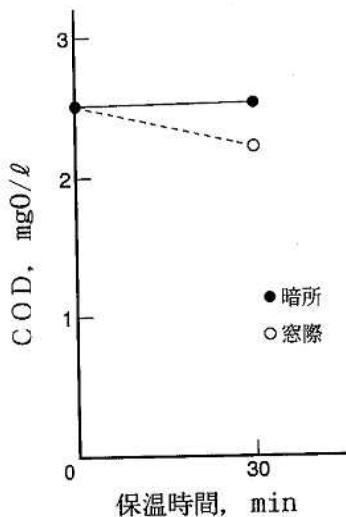


図5 保温工程における光化学反応による影響

(4) 空試験における光の影響

空試験を遮光ありと遮光なし状態で比較したところ、過マンガン酸カリウム溶液消費量は、遮光した場合、 $0.33 \pm 0.01 \text{ ml}$ 、遮光しなかった場合、 $0.30 \pm 0.02 \text{ ml}$ であり、光による影響は、ほとんど認められなかった。

これは、空試験の場合には、塩化銀の沈殿が

生成しないため、光化学反応の影響を受けないためと考えられ、特に遮光する必要はないと思われる。

(5) 塩分による影響

模擬海水Ⅱの塩分0.5~3%となるよう調製した溶液を窓際で攪拌し、COD値を測定した結果を図6に示した。いずれの場合も塩化銀沈殿が生成し、光が当たることによって沈殿が変色し、COD値も低下した。

希釈水に海水を使用しているような塩素イオンを多量に含む工場排水においても、海水と同様の反応が起こりうる。少量でも塩化銀の沈殿が生成するような試料については、遮光対策を行う必要があると思われる。

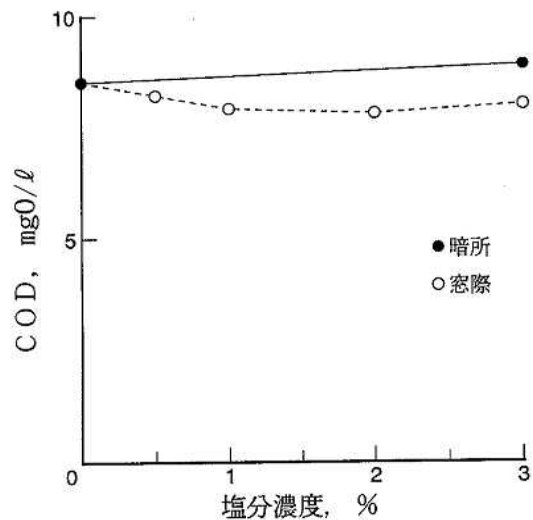


図6 塩分濃度の違いによる光化学反応の影響

(6) 遮光条件による光の影響

光化学反応が起こらないようにするには、完全な遮光状態でCOD試験を行うのが最も適当と思われるが、操作が煩雑となるため、実際のCOD試験で行うのは困難と思われた。そこで、完全遮光と同等の値を得られる条件を探すため、光の影響を最も顕著にうける攪拌工程での種々の条件によるCOD値を測定した。

模擬海水Ⅰを用いた暗所、三角カバーによる部分遮光(室内奥及び窓際)、室内奥、窓際の各条件下での攪拌時間によるCOD値変化を図7に示した。

暗所及び室内奥+三角カバーでは、塩化銀の

沈殿も白色のままCOD値の低下はみられなかった。窓際+三角カバー及び室内奥の場合、塩化銀の白色沈殿が、やや薄紫色に変化し、30分攪拌では暗所と同じ値が得られたが、60分攪拌ではCOD値がやや低下する傾向にあった。窓際で30分攪拌した場合、沈殿は濃紫色となり、COD値はかなり低下した。

光の強さや攪拌時間が増すほど、COD値は低下する傾向にあり、室内奥で三角カバーによる部分遮光で実験すればCOD値に影響が見られないと思われる。

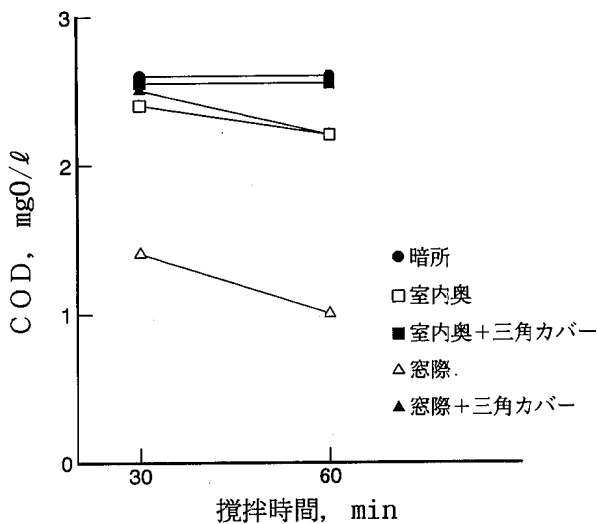


図7 遮光条件と光化学反応による影響

照度；窓際：1050 lx，室内奥：310 lx
紫外線強度(254nm)；窓際：7.7 μW/cm²
室内奥：0.8 μW/cm²

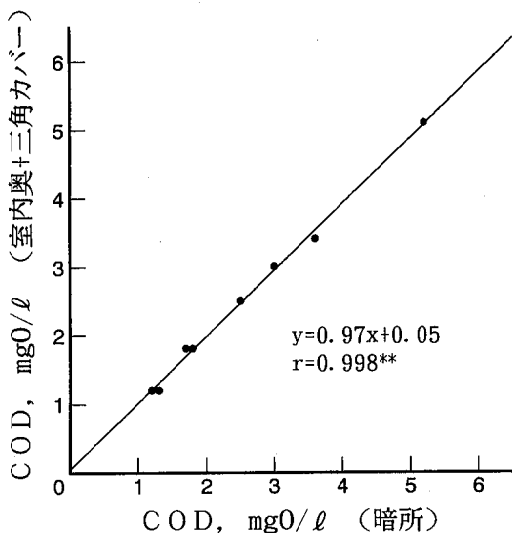


図8 暗所と室内奥+三角カバーの比較

実海水について、暗所と室内奥で三角カバーによる部分遮光のCOD値を測定したところ、図8に示す結果が得られた。これによると室内奥+三角カバーによる部分遮光での測定値は、暗所での測定値と極めてよく一致しており、光のあまり強くない室内奥で三角カバーによる部分遮光を行えば、信頼性のあるCOD値が得られることがわかった。

2 硝酸銀法における光の影響

硝酸銀を加えて、中性状態で暗所と窓際においてマスクングをした場合と硝酸銀を加えて、マスクングを行い、硫酸を添加した後、酸性状態で暗所と窓際で攪拌を行った場合の模擬海水IIのCOD値を測定した結果を表1に示した。

攪拌工程での試験溶液が中性状態の場合、暗所よりも窓際でのCOD値が顕著に高くなり、硫酸銀法とは逆の結果となった。

一方、攪拌工程での試験溶液が酸性状態の場合、暗所と窓際ではCOD値に差がほとんどみられなかった。しかしながら、中性状態での暗所攪拌に比べ、酸性状態での窓際攪拌では、COD値が若干低下する傾向がみられた。

以上の結果より、光化学反応により、COD値を低下させる反応と増加させる反応が起こり、この相反する2つの反応の強さによってCOD値が増減するものと思われた。すなわち、中性状態では、COD値を増加させる反応が強く働き、酸性状態では、COD値を低下させる反応と増加させる反応が同程度に働くため、COD値に変化がみられなかったものと考えられる。

通常、硝酸銀法では、中性状態で攪拌を行うため、この工程で光が当たった場合、COD値が増加するものと思われる。

表1 硝酸銀法による攪拌工程における光の影響

攪拌段階時の試験液の状態	COD値 (mgO/l)	
	暗所	窓際
中性状態	7.2 ± 0.17	11.5 ± 0.39
酸性状態	6.9 ± 0.17	6.7 ± 0.12

注) n = 5

3 硫酸銀法と硝酸銀法

実海水について、遮光した状態で硫酸銀法と硝酸銀法でCOD値を測定した結果を図9に示した。硫酸銀法と硝酸銀法でのCOD値は極めてよく一致していた。

楠ら⁵⁾は、海水試料の場合、硫酸銀法より硝酸銀法の方がCOD値が高くなる傾向があると報告したが、これは光化学反応によって、硫酸銀法は真値よりもやや低く、硝酸銀法は真値よりも高くなっていったためと考えられる。

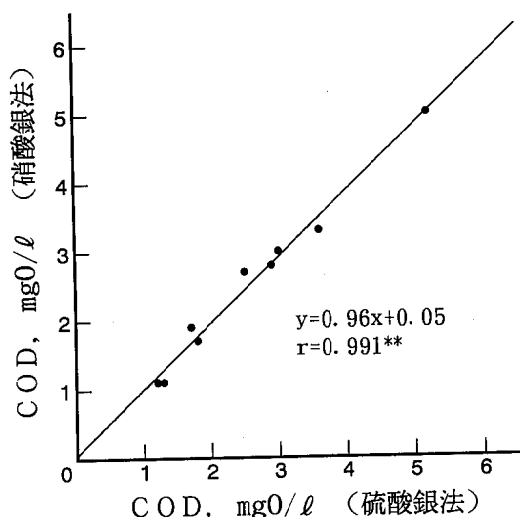


図9 硫酸銀法と硝酸銀法の比較

硫酸銀法及び硝酸銀法の2法で、それぞれ試験水を2倍量(200ml)にし、以下、攪拌までをすべて2倍量で試験を行い、上澄み液部分と塩化銀沈殿+溶液部分と2等分にし、それぞれのCOD値を求めた結果を表2に示した。

暗所で攪拌を行った場合、硫酸銀法、硝酸銀法の2法とも上澄み液部分よりも塩化銀沈殿+溶液部分の方がCOD値がやや高かった。

紫外線を照射しながら攪拌を行った場合、上澄み液は2法とも空試験と同等以下の過マンガン酸カリウム溶液消費量であったが、塩化銀沈殿+溶液部分は、硫酸銀法では、暗所での場合より若干低下したが、硝酸銀法では暗所での場合より大幅に増加した。

この結果から、光化学反応が起こることによって、溶液中のCOD成分は完全に分解されているが、沈殿部分に起きた光化学反応により、過

マンガン酸カリウム溶液が消費されることが考えられる。

表2 上澄み液と沈殿及び溶液部分のCOD値
(単位: mgO/l)

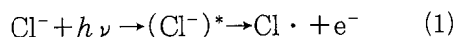
	硫酸銀法		硝酸銀法	
	暗所	UV照射	暗所	UV照射
上澄み液	1.5	0*	0.6	0.0
沈殿+溶液	2.9	2.2	3.8	8.2
平均	2.2	1.1	2.2	4.1

*空試験より過マンガン酸カリウム溶液消費量が低い

4 光化学反応の反応機構

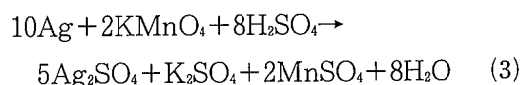
紫外線を照射して水中の有機物質(COD成分)と酸化剤を励起状態で反応させ、有機物を酸化分解してしまう光酸化法が排水処理に利用されている⁶⁾が、COD試験中にも同様の反応が起こりうると考えられる。

塩化銀の結晶に光が当たった場合(1)及び(2)式に示す反応が起こる。



(1)式の反応過程で、塩素ラジカル(Cl·)が生成するが、このラジカルが光吸収によって活性化された有機物を酸化分解してしまい、溶液中のCOD成分を低下あるいは消失させてしまうと考えられる。

一方、沈殿では、(2)式のとおり、銀イオン(Ag⁺)が塩素イオン(Cl⁻)の放出した電子(e⁻)を受け取り、塩化銀結晶の表面には、銀(現像銀)が生成されるが、この現像銀は、硫酸には侵されないが、硫酸酸性で過マンガン酸カリウムが存在すると、(3)式の反応が起こり、過マンガン酸カリウムを消費する⁷⁾といわれている。



したがって、塩化銀に光が当たることによって、溶液中では、塩素ラジカルがCOD成分を分解するため、COD値は減少し、沈殿表面上では、現像銀が過マンガン酸カリウム溶液を消費するため、COD値は増加すると考えられる。

この光化学反応は、エネルギーの大きさ（光の強さ、時間等）に影響されるが、溶液のpHにも影響を受ける。すなわち、溶液のpHが高い方が現像銀を生成しやすいため、中性状態で攪拌する硝酸銀法は、酸性状態で攪拌する硫酸銀法に比べ、その影響を強く受けると思われる。このため、COD値が増加すると考えられる。

まとめ

COD試験における硫酸銀法、硝酸銀法での光による影響を検討したところ、以下のことがわかった。

- 1) 塩素イオンを多量に含む試料の場合、攪拌、放置、保温の各工程とも光による影響を受けることがわかった。特に攪拌工程での影響が大きかった。
- 2) 海水のCOD試験を行う場合、ほぼ全工程に遮光対策が必要であった。室内奥で三角カバーによる部分遮光状態で試験を行えば、光化学反応の影響を防止することができ、信頼性のあるCOD値が得られた。
- 3) 攪拌工程で光化学反応が起こる場合、硫酸銀法ではCOD値を低下させ、硝酸銀法ではCOD値を増加させることがわかった。
- 4) 以上の現象は、塩化銀が光を吸収することによって、生成した塩素ラジカルが溶液中のCOD成分を酸化分解し、COD値を低下さ

せること、及び、塩化銀沈殿表面上の現像銀の生成は、硝酸銀法の方が顕著であり、この現像銀により硫酸酸性下で過マンガン酸カリウムが消費され、COD値を増加させるものと考えられる。

文献

- 1) 日本工業規格協会：詳解工場排水試験方法改訂2版，pp.55～65(1993).
- 2) 並木博：100℃における過マンガン酸カリウムによる酸素消費量（COD_{Mn}），JIS K0102改正説明会テキスト，pp.57～63（1993）.
- 3) 坂口富弥：写真フィルムと光．光の化学（小田幸康，西田孝 編），朝倉書店，東京（1985）pp.142～154.
- 4) 山口慎一他：海水のCOD測定に及ぼす光の影響について，福井県公害センター年報，**12**，166～169，1982.
- 5) 楠憲一他：海水のCOD試験方法の検討，愛媛県環境保全センター所報，**14**，17～19，1994.
- 6) 小山稔：光酸化法の適用とその問題点，用水と廃水，**22**，1160～1166，1980.
- 7) 矢野哲夫：写真処理その理論と実際，共立出版，東京（1978）pp.4～9.

愛媛県地先海域の水・底質 (第1報)

— 燧灘の水・底質の特性と変遷 —

高市恭弘・進藤三幸・松原 洋

The Sea Water and Sediment Quality in Front of Ehime Prefecture (I)

— The characteristics and changes of water and sediment in “Hiuti Nada” —

Yasuhiro TAKAICHI, Kazuyuki SHINDO and Hiroshi MATSUBARA

Investigation of water quality in “Hiuti Nada” has been carried out seasonally since 1980 and that of sediment was done at 1981 and 1991. Through these investigations, characteristics and changes of water and sediment were cleared as follows.

1. While COD and T-N of surface layer have been slightly increased, the other indexes remained on the same level through this period.
2. Seasonal change of chlorophyll-a and DO showed an opposite tendency. Nutrients level in surface layer was higher than that in deep layer.
3. Significant correlation was recognized between chlorophyll-a and $\text{NH}_4\text{-N}$, and negative correlations were recognized between transparency of water and $\text{NO}_3\text{-N}$ or $\text{PO}_4\text{-P}$.
4. The horizontal distributions of organic pollutants were similar to that of mud content.
5. The concentrations of sediment pollution indexes in 1991 were lower than those in 1981, especially T-P and T-N decreased significantly.
6. Annual changes of water and sediment pollution showed an opposite tendency. These results suggested that the pollution matters in sediment were eluted in sea water.

はじめに

燧灘は、瀬戸内海の中央に位置し、高い閉鎖性と停滞性という典型的な内海の特徴を有する海域である。同灘は、愛媛県東部と香川県西部に接し、沿岸部の都市では、重化学、紙・パルプなどを中心とした工業地帯が形成されている。これらの周辺地域からの生活排水、工場排水による海域の水質汚濁は、高度経済成長期の工業生産の大幅な伸びと人口の増加によって急激に進行し、赤潮やヘドロなどの環境問題を引き起こした。

このため、法律の規定により環境基準が設定され、さらに排水基準、上乘せ排水基準の設定と対策が講じられるとともに、これらの監視調査が行われている。また、赤潮や富栄養化の実態調査^{1), 2)}、貧酸素水塊の形成^{3), 4)}あるいは底質からの二次汚染⁵⁾などに関する調査・研究な

どが各方面で実施されている。

愛媛県では、瀬戸内海の水質を総合的に把握するための広域総合水質調査を環境庁の委託事業で実施している⁶⁾。また底質については、現況と10年前に行われた調査⁷⁾からの変化状況の把握を目的とした、瀬戸内海環境管理基本調査を(社)瀬戸内海環境保全協会の依頼により実施した⁸⁾。

本報では広域的に実施された両調査の結果を基に解析を行うことで、燧灘の水質および底質の特性についての知見を得たので報告する。

調査方法

水質調査(広域総合水質調査)は瀬戸内海全域で年4回、季節毎に実施し、燧灘では愛媛県側6地点、香川県側3地点である。採水は上層は水面から0.5m、下層は水深20m未満までは

海底上 2 m, 55m未満までは海底上 5 mで行った。

底質調査（瀬戸内海環境管理基本調査）は、
 燧灘では平成 3 年度に愛媛県側 23 地点、香川県
 側 10 地点で実施された。試料は、採泥後冷蔵保

存された状態で分析機関に搬入された。

両調査の調査地点を図 1 に、分析項目ならび
 に分析法を表 1 および表 2 にそれぞれ示す。な
 お、分析結果のうち定量限界値未満のデータに
 ついては、限界値の 1/2 の値を考察に用いた。

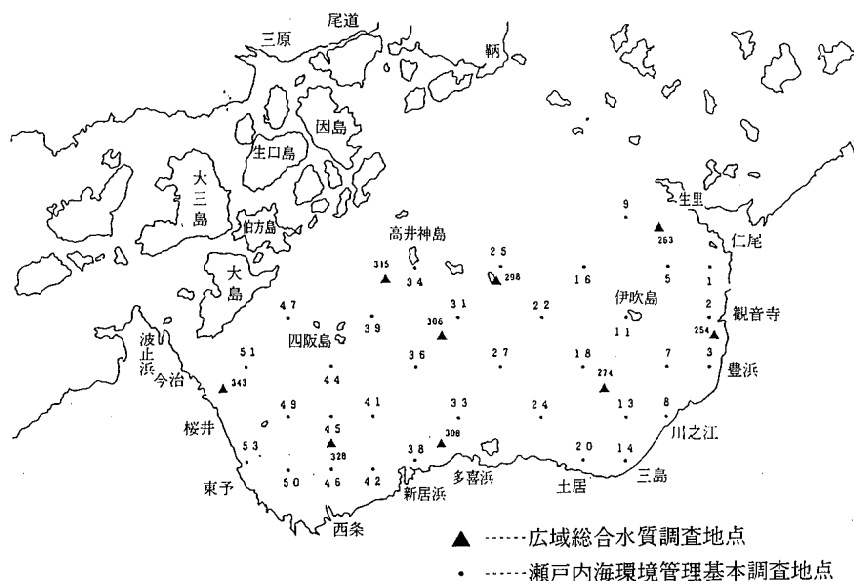


図 1 広域総合水質調査地点と瀬戸内海環境管理基本調査地点

表 1 広域総合水質調査における分析項目および分析法

分析項目	分析方 法
透明度	海洋観測指針4.1の方法、透明度板による
溶存酸素 (DO)	JIS K0102, 12.1 ウィンクラーアジ化ナトリウム変法
化学的酸素消費量 (COD)	JIS K0102, 17 100℃過マンガン酸カリウムによる酸素消費量
クロロフィルa	海洋観測指針準拠 (吸光光度法による測定)
全窒素 (T-N)	JIS K0102, 45.4 銅・カドミウム還元法
アンモニウム態窒素 (NH ₄ -N)	直接比色法 (海洋観測指針8.9)
亜硝酸態窒素 (NO ₂ -N)	水質化学分析法 (三宅康雄、北野 康 共著、地人書館) による
硝酸態窒素 (NO ₃ -N)	
全リン (T-P)	過硫酸カリウム分解処理後、アスコルビン酸還元・モリブデンブルー比色法 (日本近海調査法による)
リン酸態リン (PO ₄ -P)	アスコルビン酸還元・モリブデンブルー比色法 (日本近海調査法による)

表 2 瀬戸内海環境管理基本調査における分析項目および分析法

分析項目	分析方 法
含水率	昭和63年9月8日環水管第127号環境庁水質保全局通知、底質調査方法による。
粒度組成	砂質物は篩分法、泥質物は簡易迅速法による。
強熱減量 (IL)	底質調査方法による。
化学的酸素消費量 (COD)	底質調査方法の備考の方法 (直接法) で行い、40~60%の消費率になるように試料量を決めるが、最大10gとする。
全リン (T-P)	硫酸分解モリブデンブルー法による。
全窒素 (T-N)	炭水窒素分析計 (CHNコーダー) または炭素・窒素分析計 (CNコーダー) による。
全有機炭素 (TOC)	

結果および考察

1 水質

(1) 水質の特性

図2は1980年度から1991年度の間についての年度平均値の経年変化を、図3は季節変化を示

す。ここで、実線は上層、破線は下層をそれぞれ示す。これらによると、燧灘の透明度は、約6m程度でほぼ横ばい状態で経年変化をしつつ、夏は高く冬は低いという季節変化をしている。DOもほぼ横ばいであるが、春・冬が高く、夏・

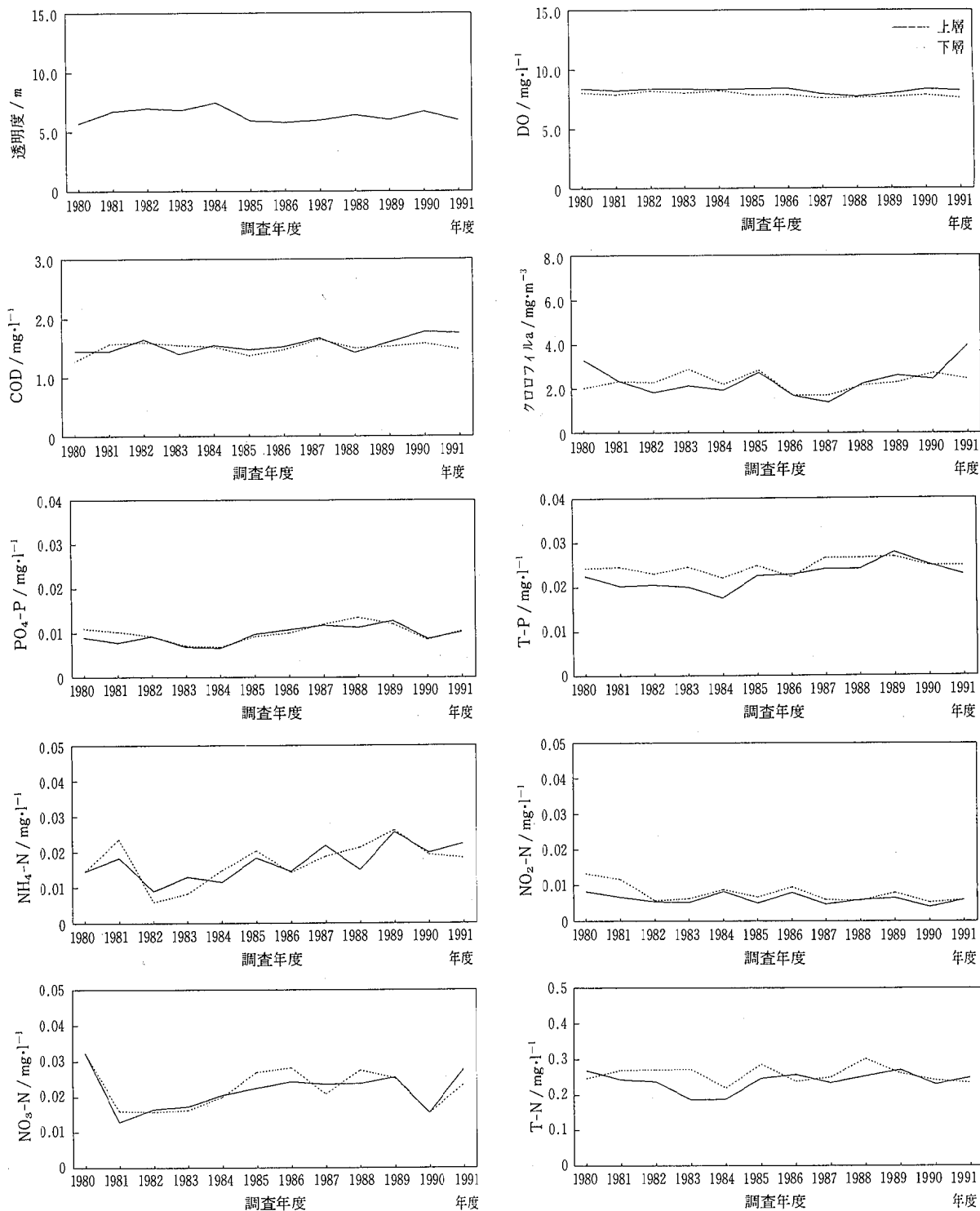


図2 調査項目別の経年変化

秋が低くなり、特に夏は上・下層間での差が大きく、下層が低い値を示す。CODは上層では冬が低く、下層では秋が高くなり、経年変化は上層でわずかに増加傾向がみられるが、下層はほぼ横ばい状態である。上層のクロロフィルa

は、1984年度頃までは減少傾向がみられるが、それ以降はわずかに増加傾向であるのに対し、下層は経年変化としての増減傾向はみられない。季節変化では上・下層ともに秋に高くなり、D Oとは対称的な変化を示した。

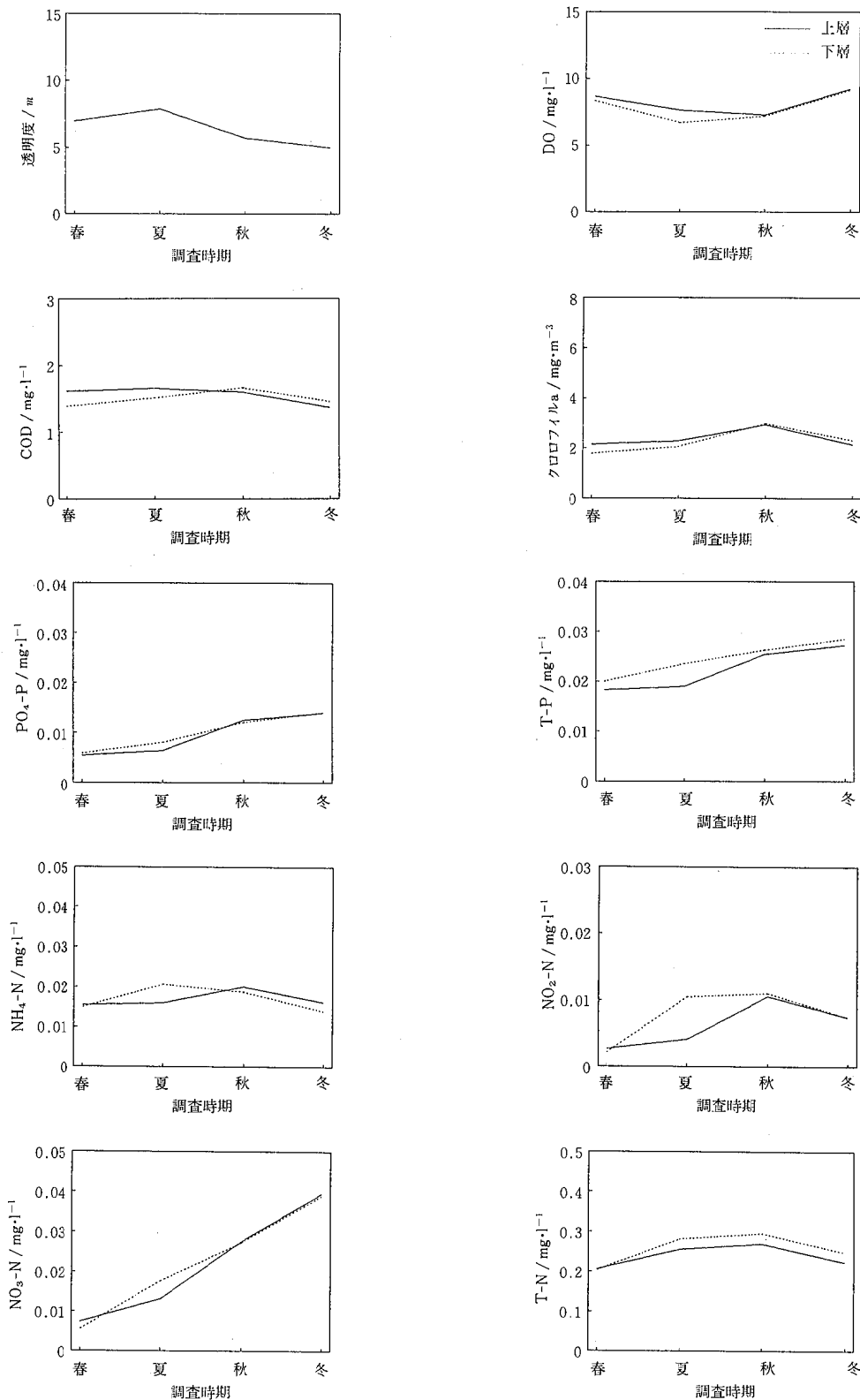


図3 調査項目別の季節変化

T-Pと $PO_4\text{-P}$ の季節変化はいずれも上・下層ともに春から冬にかけて順に高くなり、特に夏には下層の方が高い値を示す傾向がある。図4はT-P中の $PO_4\text{-P}$ の割合の季節変化を示すが、上・下層ともに春から冬にかけて順に $PO_4\text{-P}$ の割合が高くなる。すなわち、T-Pの季節変化に $PO_4\text{-P}$ の濃度の変化が大きく関与していると考えられる。また、両者の経年変化は上・下層ともに1984年度以降わずかに増加傾向がみられる。

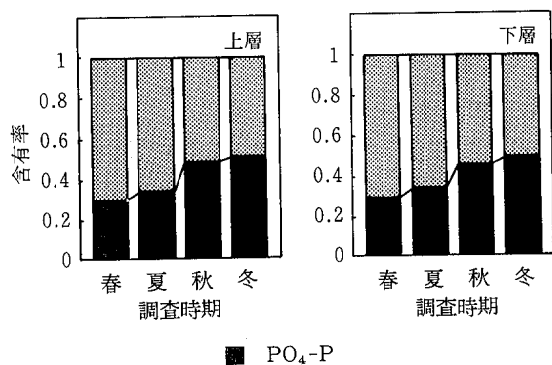


図4 T-P中の $PO_4\text{-P}$ の割合の季節変化

T-Nの季節変化は、上・下層ともに春から秋にかけて順に高くなり、冬にはやや低くなる傾向がある。各態窒素では項目間では異なる変化を示すが、各項目の上・下層間では夏においてのみ両層間で大きな濃度差が生じており、いずれも上層の方が値が低い。図5にはT-N中の各態窒素の割合の季節変化を示すが、両層とも

T-P同様、無機態窒素が春から冬にかけて順に高くなっており、特に $NO_3\text{-N}$ の変化が大きい。また、経年変化では、T-Nは上層では1984年度頃までは減少傾向であるが、それ以降T-Pと同様にわずかに増加傾向がみられるのに対し、下層はほぼ横ばい状態である。各態窒素では、 $NH_4\text{-N}$ は上・下層とも1983年度以後にわずかに増加傾向がみられるが、 $NO_2\text{-N}$ および $NO_3\text{-N}$ はほぼ横ばい状態で推移している。

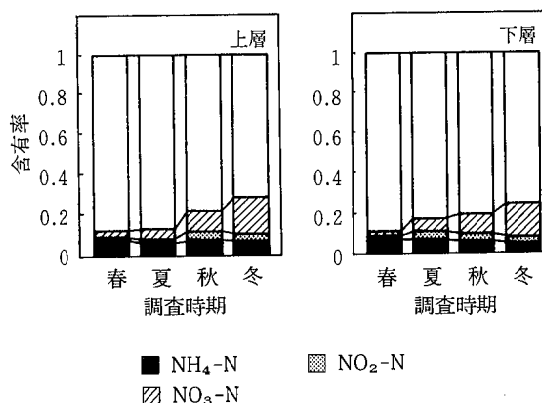


図5 T-N中の各態窒素の割合の季節変化

(2) 項目間の関係

表3および表4に上層および下層の項目間の相関係数を示すが、相関の統計処理に当たっては、いずれかの項目において定量限界未満値を有する地点は計算から除いた。上層ではクロロフィルaと $NH_4\text{-N}$ 、 $NO_3\text{-N}$ と $PO_4\text{-P}$ 、T-Nと

表3 水質(上層)の相関行列

	透明度	DO	COD	クロロフィルa	$PO_4\text{-P}$	T-P	$NH_4\text{-N}$	$NO_2\text{-N}$	$NO_3\text{-N}$
T-N	-0.12	-0.49*	0.14	0.27	0.07	0.38	0.51**	0.27	0.20
$NO_3\text{-N}$	-0.71**	0.20	-0.40	-0.25	0.66**	0.35	-0.02	0.60**	
$NO_2\text{-N}$	-0.33	-0.30	-0.33	-0.13	0.20	0.01	-0.05		
$NH_4\text{-N}$	-0.09	-0.39	0.18	0.68**	0.01	0.25			
T-P	0.00	0.06	0.23	-0.02	0.45*				
$PO_4\text{-P}$	-0.56**	0.14	0.01	-0.32					
クロロフィルa	0.11	-0.32	0.20						
COD	0.24	-0.41*							
DO	-0.18								

(注) **および* は、1%および5%の危険率で有意な相関があることを示す。

表4 水質（下層）の相関行列

	DO	COD	クロロフィルa	PO ₄ -P	T-P	NH ₄ -N	NO ₂ -N	NO ₃ -N
T-N	-0.28	0.02	0.25	0.26	0.31	0.47	0.25	0.19
NO ₃ -N	0.42*	-0.29	-0.16	0.69**	0.66**	-0.04	0.26	
NO ₂ -N	-0.36	-0.22	-0.24	-0.02	-0.10	0.23		
NH ₄ -N	-0.46*	-0.09	-0.03	-0.01	0.20			
T-P	0.37*	0.01	-0.05	0.69**				
PO ₄ -P	0.52**	-0.03	-0.02					
クロロフィルa	0.06	0.39*						
COD	-0.10							

表5 水質の上・下層間の相関関係

項目	DO	COD	クロロフィルa	PO ₄ -P	T-P	NH ₄ -N	NO ₂ -N	NO ₃ -N	T-N
相関係数	0.95**	0.72**	0.38	0.86**	0.67**	0.79**	0.92**	0.95**	0.63**

NH₄-N, NO₂-NとNO₃-Nにそれぞれ1%の危険率で有意な相関がみられ、クロロフィルaとNH₄-Nについては季節変動が同様の傾向を示していた。また、透明度はNO₃-NあるいはPO₄-Pとの間に有意な負の相関があり、これはNO₃-N, PO₄-Pの濃度の減少が透明度の増加に影響することを示し、相関係数からみてNO₃-Nの方がより影響していると考えられる。下層では、DOとPO₄-P, T-PとNO₃-NあるいはPO₄-P, PO₄-PとNO₃-Nとの間に1%の危険率で有意な相関がみられた。上層と下層のいずれにも相関関係がみられたのはPO₄-PとNO₃-Nの間のみであるが、これはPO₄-PとNO₃-Nとが上層および下層で極めて類似した季節変化を示すためと考えられる。

表5には項目毎の上・下層間での相関係数を示す。これによるとクロロフィルa以外の8項目で有意な相関がみられるが、これは上層の濃度が高いときには、下層も高くなるということを意味しており、この理由として、この海域の下層の採水深が浅いため、上・下層間の濃度の差が小さいことが大きな要因である。

2 底質

燧灘の底質は、西部では激しい潮流、中央から東部にかけては停滞性が高いという異なる流

表6 底質の含泥率と有機物関連項目との相関

	IL	COD	T-P	T-N	TOC
含泥率	0.80**	0.78**	0.57**	0.84**	0.88**

況特性に影響された分布を示した⁶⁾。すなわち、含泥率は西部では30%未満と低いものに対して、中央から東部では80%を越える高い地点が分布していた。また、有機物関連項目は含泥率に対応した分布傾向を示し、これは表6に示すように含泥率と各項目との間にいずれも有意な相関がみられたことから明らかである。

このような分布の特性を有する燧灘について、地点毎に1981年の結果⁷⁾から1991年の結果⁸⁾を差し引きすることで、10年前の底質との比較を行った。図6には差の水平分布を示すが、ここで数値が正の値は濃度あるいは割合が10年前より減少したことを示している。含泥率はほとんどの地点で減少しており、西部あるいは川之江沿岸では大幅に減少した地点もみられた。ILも西部あるいは川之江沿岸で含泥率と同様に減少しているが、中央から東部海域ではわずかに増加していた。T-P, T-Nはともに沿岸部と東部の一部でわずかに増加した地点がみられ、他の広い範囲では減少していた。TOCは、東部海域の増加を示す範囲がT-P, T-Nのそれより

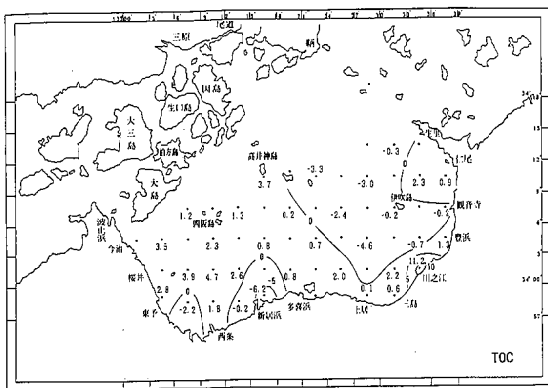
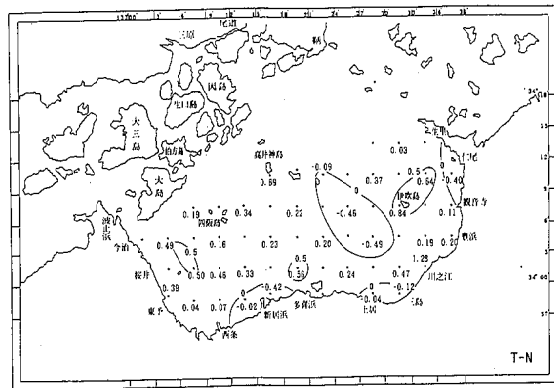
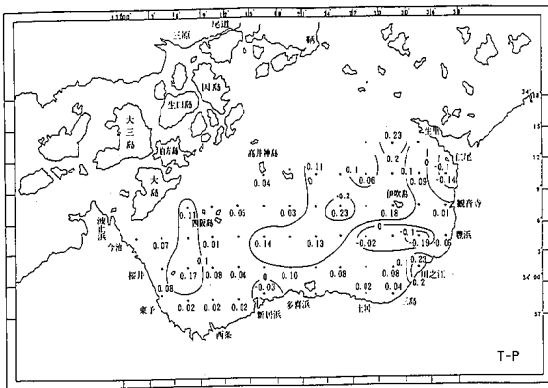
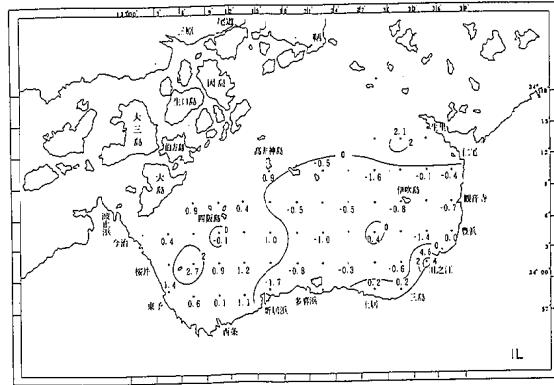
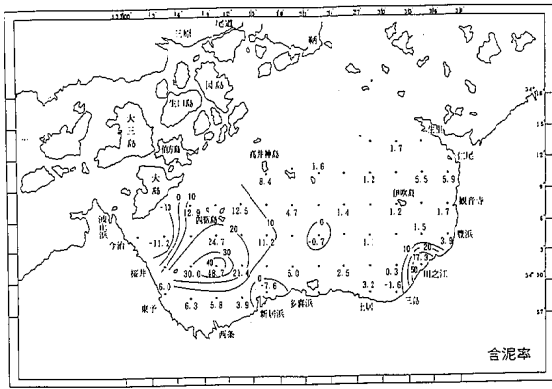


図6 各項目の差(1981年度-1991年度)の水平分布

もやや広く、T-P、T-Nが増加していた仁尾沖では逆に減少していた。

表7には各項目についての差の統計量を示す。ここで、灘全体としての考察を行うため大幅な減少がみられた川之江沖の1地点は統計処理から除いた。これによると各項目ともに地点毎にみると増加あるいは減少した地点が見られたが、平均値ではいずれも正の値を示していることから、灘全体としては減少していることになる。なお、項目毎に平均値の差の検定を行った結果(表8)、T-PおよびT-Nについて1%の危険率で有意性が認められ、T-PおよびT-Nについて

表7 各項目についての差(1981年度-1991年度)の統計表

	TOC (mg/g)	T-N (mg/g)	T-P (mg/g)	IL (%)	含泥率 (%)
データ数	32	32	32	32	32
最大値	4.7	0.84	0.23	2.7	48.7
最小値	-6.2	-0.49	-0.19	-1.7	-11.2
平均値	0.51	0.19	0.06	0.11	6.66
標準偏差	2.44	0.33	0.09	1.00	11.05
変動係数(%)	476	177	143	912	116

表8 平均値の差の検定

項目	IL	T-P	T-N	TOC
t 値	1.11	4.12**	3.31**	1.56

(注) $t(32,0.05) \cong t(30,0.05) = 2.04$
 $t(32,0.01) \cong t(30,0.01) = 2.75$

は10年前と比べて明らかに減少したと判断することができる。表9は差について項目間の相関係数を、図7にはその散布図を示す。これらから、含泥率とTOCあるいはIL、ILとTOCあるいはT-P、T-NとTOCにそれぞれ有意な相関関係がみられる。これは含泥率が減少したところほどTOCあるいはILも減少すること、ILの減少したところほどTOCあるいはT-Pも減少すること、T-NはTOCと対応した変化をすることを示す。

3 水質と底質の関係

燧灘全体として、水質の変化はほぼ横ばい状態であるが、上層のCODおよびT-N、クロロフィルa、T-P、 $PO_4\text{-P}$ 、 $NH_4\text{-N}$ は上・下層において、1984年頃から、わずかではあるが増加傾向がみられる。これに対して、底質では1981年度から1991年度の10年間で、含泥率の減少に対応して、いずれの項目についても減少していることが認められた。

表9 各項目の差の相関行列

	含泥率	IL	T-P	T-N
TOC	0.53**	0.50**	0.15	0.66**
T-N	0.27	0.15	0.29	
T-P	0.10	0.36*		
IL	0.49**			

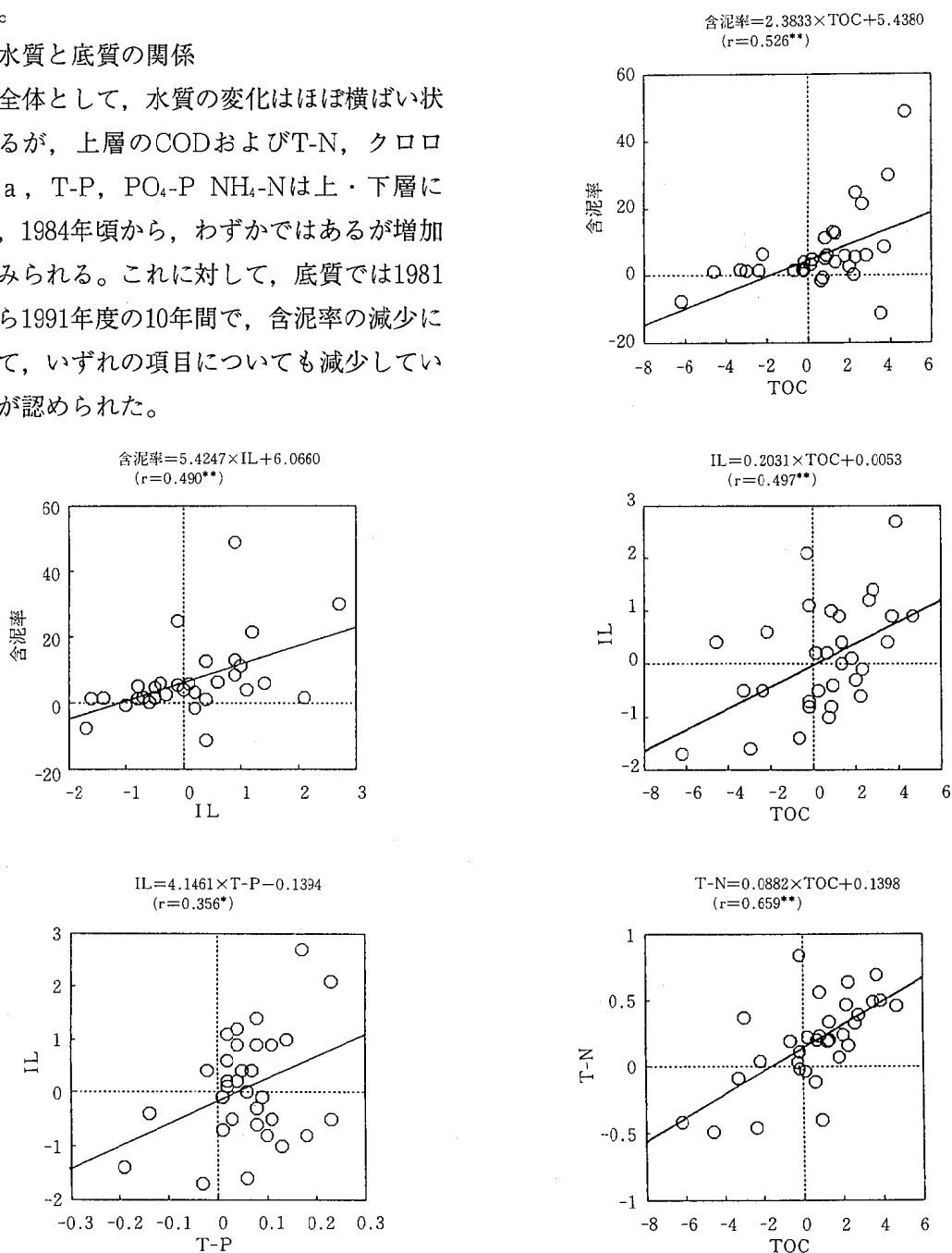


図7 分析値の差の関係

以上の結果から、灘全体でみると、水質と底質の変化は相反する傾向であるといえる。近年、排水規制や削減対策によって、海域への汚濁物質の流入量が減少しているとすれば、水質の状況は横ばいないし減少傾向を示すと推測される。しかし、今回の結果では必ずしも減少傾向を示していない。これに対し、底質中の汚濁物質については減少傾向であることが認められた。この理由として、水質が減少傾向を示さない要因の一つに内部汚染、すなわち底質中からの汚濁物質の溶出が考えられる。塩沢ら⁵⁾によると、燧灘底質からのリンおよび窒素の年間溶出量はそれぞれ650トンおよび2800トンと見積もられており、これは大阪湾の約1/3、播磨灘の約1/2に相当する。さらに細川⁹⁾によって見積もられた流入負荷量との比較も行われており、それによると瀬戸内海全域の底質からの負荷は陸上からの1/5~1/2程度であるとしている。これらのことから、燧灘においても、底質からの負荷が相当量あると推測され、これは、水質に大きな影響を与えていると考えられる。したがって、水質と底質との相反する変化傾向の要因の一つとして、底質からの負荷を考えなければならない。

まとめ

燧灘の水質および底質について、その特性と経年変化について解析した結果、以下に述べる知見が得られた。

- 1) 水質の経年変化では、上層のCODおよびT-Nなどでわずかな増加傾向がみられたが、全体としてはほぼ横ばい状態で推移していた。
- 2) 燧灘水質の特性として季節変化をみると、クロロフィルaが高い時期にはDOは低く非常に対称的な変化を示した。栄養塩類においては、特に夏に上・下層間で違いがみられ、上層の方が高い値になる傾向があった。
- 3) 上層のクロロフィルaとNH₄-Nとの間に有意な相関がみられ、透明度とNO₃-NあるいはPO₄-Pにも強い負の相関が認められた。

- 4) 燧灘の底質は、流況特性に対応した含泥率を示し、有機物関連項目の分布は、この含泥率の分布によく似ていた。
- 5) 底質を1981年度の結果と比較すると、いずれの項目も、灘全体としては減少傾向がみられ、T-P、T-Nについては平均値の差に有意性が認められた。
- 6) 灘全体としては、水質と底質との経年変化は相反する傾向であったが、これには底質からの汚濁物質の溶出が一因として考えられた。このことについては、さらに検討していく必要がある。

文献

- 1) 愛媛県水産試験場：昭和54年度愛媛県水産試験場事業報告，86~111(1981)
- 2) 水産庁：赤潮予察調査報告書（瀬戸内海ブロック），80~90(1981)
- 3) 環境庁他：瀬戸内海中央部における貧酸素底層水形成機構等の解明に関する総合報告書，1~181(1977)
- 4) (社)瀬戸内海環境保全協会：瀬戸内海における底層貧酸素化対策調査—燧灘—，1~229(1993)
- 5) 塩沢孝之他：中国工業試験所報告，21，13~43(1984)
- 6) 環境庁水質保全局：平成3年度広域総合水質調査結果，112~258(1994)
- 7) (社)瀬戸内海環境保全協会：昭和57年度環境庁委託業務結果報告書，瀬戸内海環境情報基本調査—播磨灘・燧灘—（解析編），4~5，24~34(1983)
- 8) (社)瀬戸内海環境保全協会：平成4年度環境庁委託業務結果報告書，瀬戸内海環境管理基本調査—播磨灘・燧灘・別府湾—（解析編），18~30，46~54，90~155(1993)
- 9) 細川 巖：環境庁指示の瀬戸内海におけるリン削減目標レベルについて，用水と廃水，22，1003~1008(1980)

愛媛県地先海域の水・底質 (第2報)

—宇和海の水・底質の特性と変遷—

進藤三幸・高市恭弘・松原 洋

The Sea Water and Sediment Quality in Front of Ehime Prefecture (II)

—The characteristics and changes of water and sediment in “Uwakai” —

Kazuyuki SHINDO, Yasuhiro TAKAICHI and Hiroshi MATUBARA

In order to grasp the present states and changes of water and sediment pollution in “Uwakai”, the characteristics of sea water and sediment (0~5cm) were investigated on the basis of the works carried from 1981 to 1992 for sea water, in 1985 and 1992 for sediment.

The results were summarized as follows.

1. COD was highest in summer, both T-N and T-P were highest in winter. Chlorophyll-a in surface layer in winter was less than half of that in other season. The seasonal fluctuation of $\text{NO}_3\text{-N}$ was similar to that of T-N, in addition, the fluctuation of $\text{PO}_4\text{-P}$ was also similar to that of T-P. The ratios of several forms of nitrogen to T-N in surface layer were different from each seasons, that is, inorganic nitrogens were low in spring and summer, high in winter. Almost all inorganic nitrogen consisted of $\text{NO}_3\text{-N}$ in winter.
2. DO, T-P, and chlorophyll-a in surface layer had significant correlation with those in deep layer respectively, on the contrary, COD and T-P had no correlation between the two layers.
3. Significant correlation was found between T-N and T-P in surface layer. Furthermore, the higher COD, the higher chlorophyll-a and T-N were observed in surface layer. In deep layer, however, the correlations of nutrients with COD and chlorophyll-a were not recognized respectively.
4. T-N and T-P in sea water remained on the same level, although COD tended to decrease during the period of 1981-1992.
5. The concentrations of organic pollution indexes in sediment were relatively high near the land from “Yawatahama” to “Tushima” and those indexes had similar horizontal concentration distribution.
6. The horizontal concentration distributions of organic pollution indexes were also similar to that of mud content and the significant correlations of each indexes with mud content were recognized.
7. Both IL and T-P in sediment in 1992 were less than those in 1985 and correlation was found between the decrease of IL and that of T-P.

はじめに

宇和海は、愛媛県と大分県との間の豊後水道の愛媛県側の海域の呼称であり、愛媛県南予地方の2市10町1村の前面に広がるリアス式海岸を特徴とする海域である。宇和海の水・底質の汚染源は、生活系排水の占める割合が非常に大きい。給餌養殖も看過できず、生活系排水に対しては、下水道の整備、合併浄化槽の設置促進、水質浄化に対する住民意識の高揚などの諸施策が講じられてきたのと併行して、給餌養殖に対しても、給餌方法の改善、海底土への覆土など

の対策がとられ今日に至っている。

宇和海の水質については、古くから漁場環境として水産関係機関において調査がされており、その多くは赤潮発生予察に関連した調査^{1)~7)}である。底質については、調査例が少なく、わずかに(社)瀬戸内海環境保全協会が調査した報告⁸⁾が広域的な調査例としてみられる。

著者らは、環境庁の委託により宇和海で実施している広域総合水質調査および瀬戸内海環境保全協会の依頼で実施した底質調査⁹⁾を、水質および底質について宇和海を広域的に把握でき

る調査と位置付け、得られた結果をもとに宇和海の水質および底質の特性ならびに変遷について若干の考察を試みたので報告する。

調査方法

水質は、1978年より宇和海の6地点で、春、夏、秋、冬の年4回上層と下層で調査してきたが、底質の調査年との関連、水質の分析方法の変更などを考慮し、1981年度から1992年度の結果をもとに考察した。底質については、1992年に宇和海の15地点で調査を行い、表層泥(0~5cm)を分析対象とした。

水質と底質の調査地点の位置関係を図1の宇和海等深線図上に示した。水質と底質の分析項目および分析方法は、前報¹⁰⁾と同じである。なお、春夏秋冬は、およそ5月、7月、10月および1月であり、採水層の上層は0.5m、下層は6地点とも水深50mである。

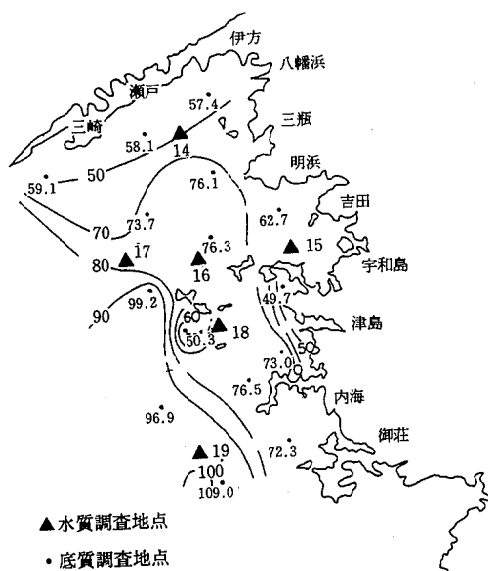


図1 宇和海等深線図

結果及び考察

1 水質

(1) 水質の特性

図2は、項目毎に6地点、12年間の数値を季節別に取りまとめ、季節変動をみたものである。なお、定量限界値以下は限界値の1/2値をもって処理した。

DOは、水温の上昇する夏から秋にかけて低

く、逆に水温の低下する冬から春にかけては高い。双方の差は、約1mg/lであり、いずれの季節においても下層より上層の方が高い。CODは、年度あるいは調査地点による偏差が大きいが、夏、秋は高く、冬、春は低い。冬は上層、下層の差が認められないが、他の季節は上層の方が0.1mg/lほど高く、上層の濾過CODは濾過しない上層のCODと同じ季節変動を示し、0.2~0.3mg/lほど低い。

栄養塩であるT-N、T-Pは、上層においては春に最も低く、夏秋冬と次第に高くなる傾向がみられるが、下層についてはこのような傾向はみられず、夏もかなり高い。NH₄-N、NO₂-N、NO₃-Nの無機態窒素のうち、T-Nと同じような季節変動を示すのは、NO₃-Nと上層のNO₂-Nであり、NH₄-Nと下層のNO₂-NにはT-Nと逆の季節変動がみられる。PO₄-PとT-Pは、上、下層ともほぼ同様の季節変動を示している。クロロフィルaは、上層については春、夏、秋が高く、変動も大きい、冬は約1/2に低下し、偏差も小さい。下層については、春と秋に高く、夏と冬は低いが、その差は上層ほどではない。香月ら¹³⁾が大村湾で、また江場ら¹⁴⁾が伊勢湾で調査した結果では、季節変動は認められなかったと報告しているが、宇和海では上述したように、上層の春、夏、秋と冬の季節変動は明らかである。

図3は、季節毎のT-Nを100%として、各態窒素の占める割合の変化をみたものである。有機態Nがそのほとんどを占める上部の白地の部分が、上層については春~冬の順に減少しており、下層については春に有機態Nがやや多いが、季節の差は上層ほどではない。無機態Nのうち、最も割合の変化が大きいのはNO₃-Nであり、春に少なく夏秋冬の順に次第に多くなる。次いでNH₄-Nで、NO₃-Nとは逆の季節変化がみられる。

図4は、リンについてT-Pに占めるPO₄-Pの割合の変化をみたものである。リンについても窒素と同じく、冬に無機態PであるPO₄-Pが多くなる傾向がみられ、最も割合の少ない春との

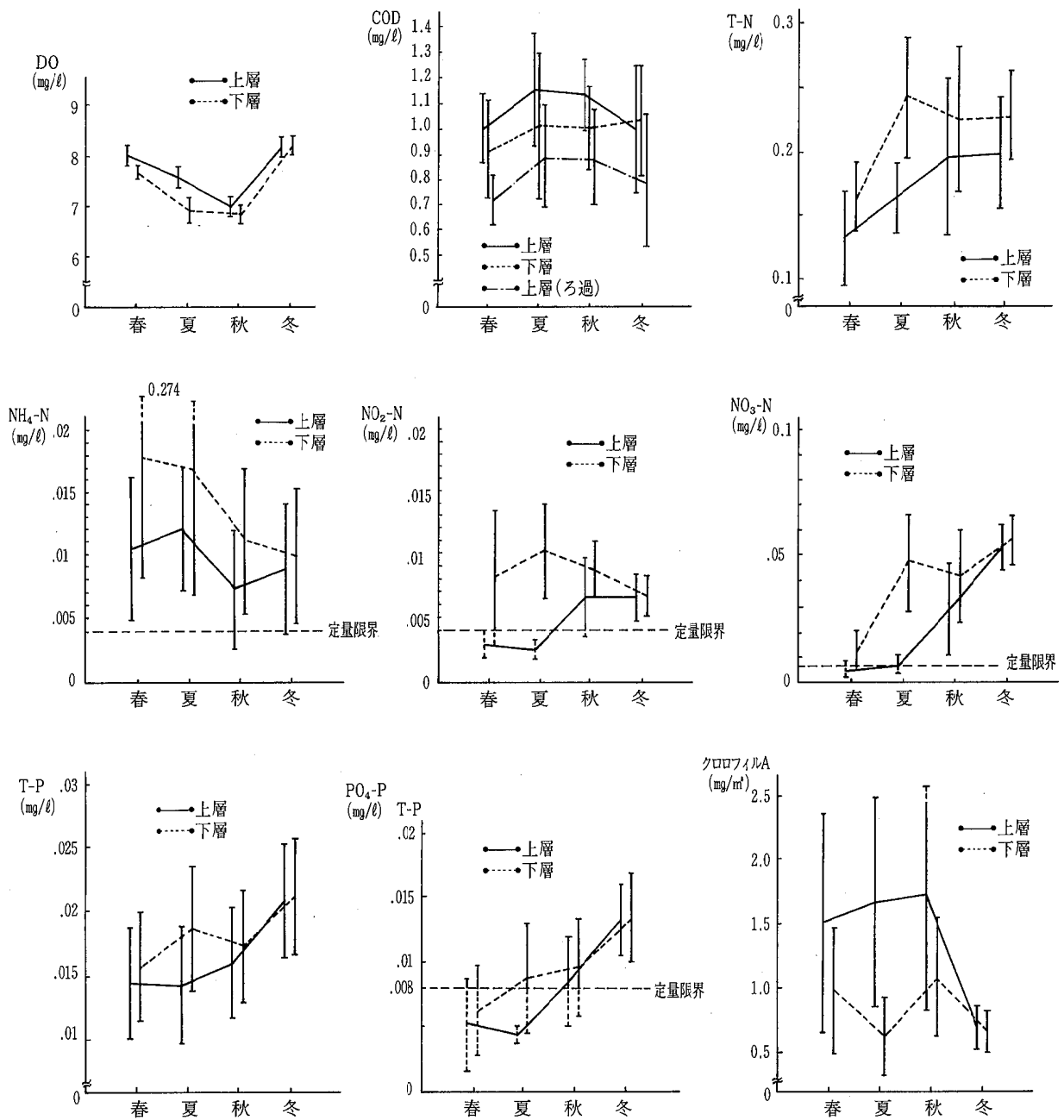


図2 水質の季節変動

差は20%ほどである。

水質項目によっては上層と下層でかなり季節変化に違いがみられるが、項目毎に上層と下層で相互に関係があるかどうかみてみると、表1のようなになる。この統計処理では、前述したように定量限界値以下を限界値の1/2値で置換して処理すると、限界値以下の低濃度域を団塊と

し、相関関係を見かけ上強める場合があるため、いずれかの項目において定量限界値以下の数値を有するデータ組を除いて相関係数を求めた。これによると、CODとT-Nは相関の有性が認められない。すなわち、CODとT-Nは表層で高いからといって必ずしも水深50mのところでは高くないことになる。しかし、無機態Nお

表1 水質項目の上層と下層の相関

(n = 17)

DO	COD	NH ₄ -N	NO ₂ -N	NO ₃ -N	T-N	PO ₄ -P	T-P	クロロフィルa
0.992**	0.389	0.779**	0.831**	0.891**	0.558	0.704**	0.945**	0.734**

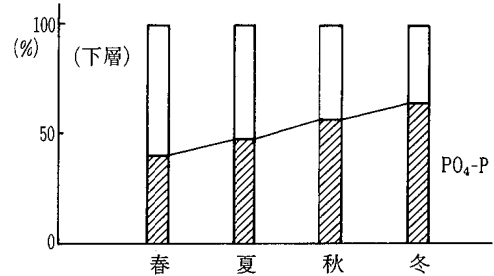
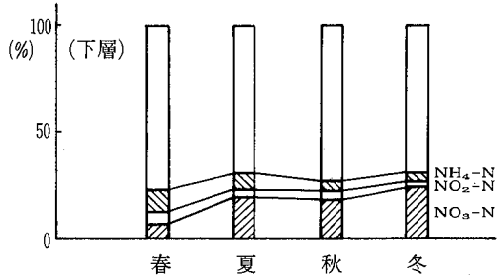
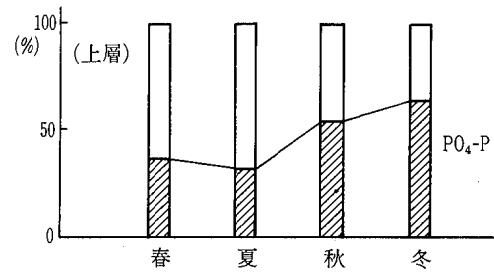
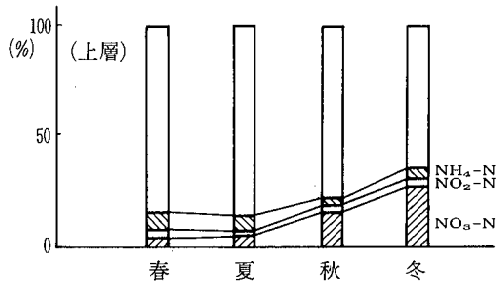


図3 各態窒素の占める割合の変化

図4 PO₄-Pの占める割合の変化

よびT-P, PO₄-Pについては、いずれも99%の有意水準で上、下層に相関が認められており、DO、クロロフィルaについても同様である。なお、燧灘において実施した同様の調査結果¹¹⁾では、COD、T-Nのいずれも99%の有意水準で相関がみられ、宇和海と異なっているが、これは燧灘と宇和海で下層の採水深が異なることおよび底質の状態の違いなどによるものと推察されるが、今後さらにデータを積み重ね、検討

する必要がある。

水質項目間に相関があるかどうか相関マトリックスをとって調べたが、この場合定量限界値以下も含めて統計処理すると、上述の誤りの可能性がある。そこで、相関をみる水質2項目のうちいずれかの項目が定量限界値以下の場合を除いて計算することとし、95%以上の有意性がみられたものについて図5に散布図として示した。

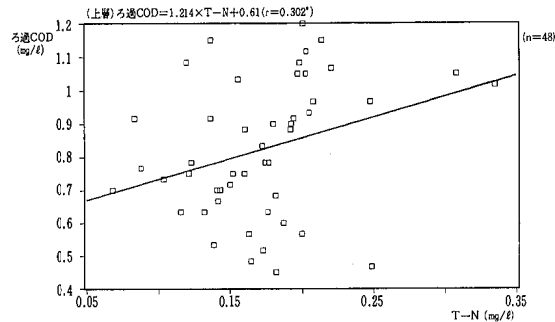
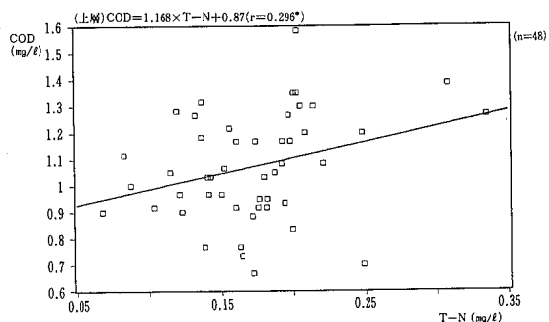
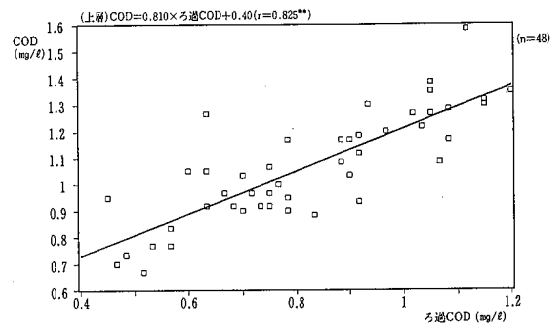
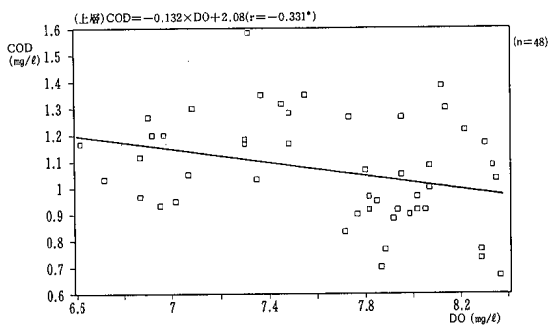


図5 水質項目間の関係 (1)

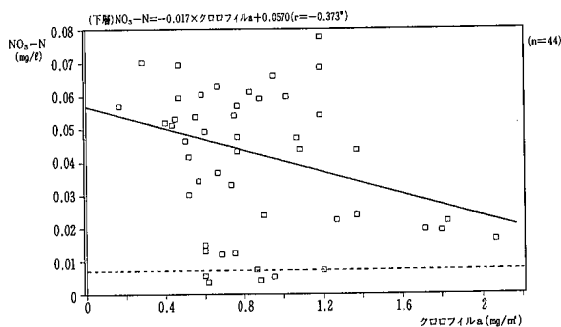
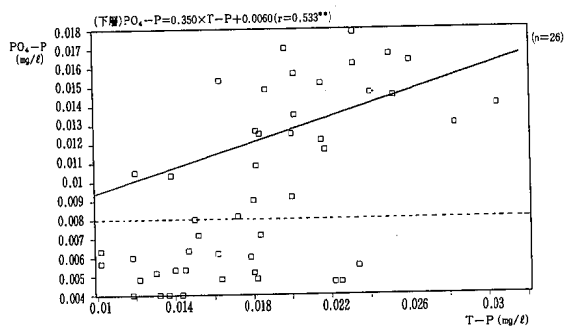
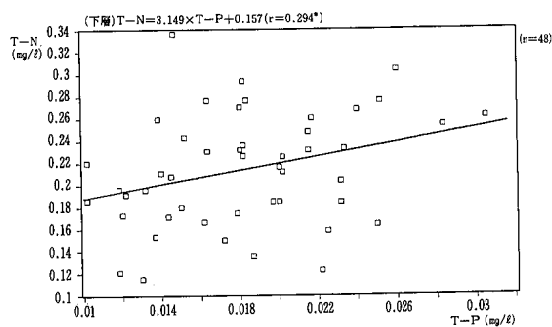
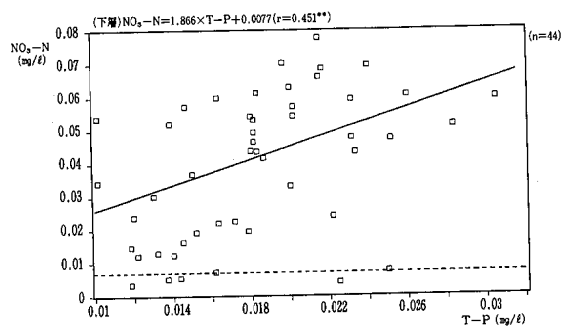
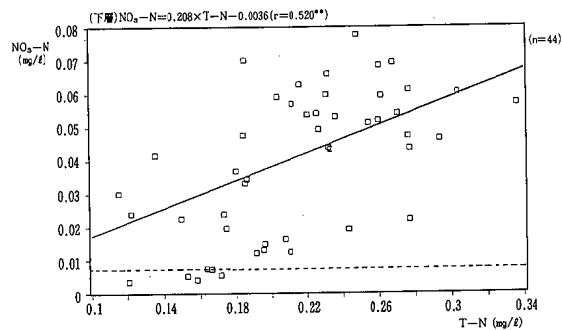
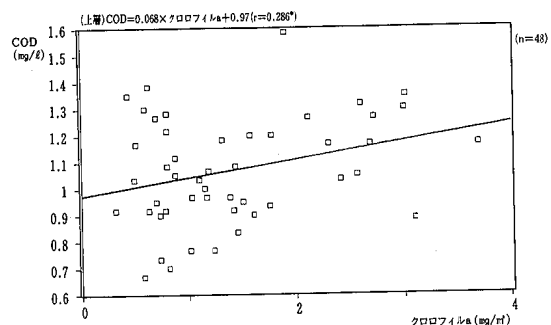
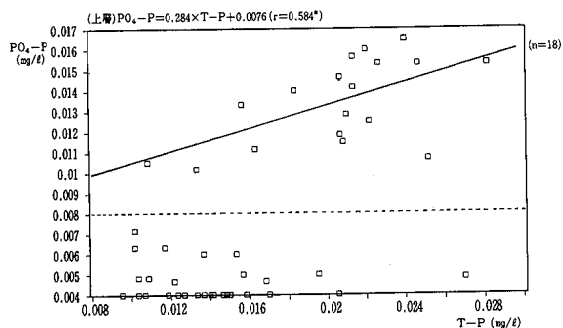
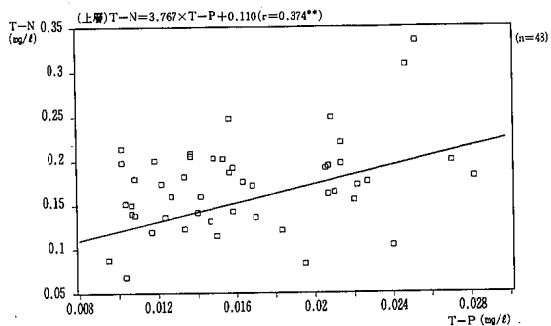
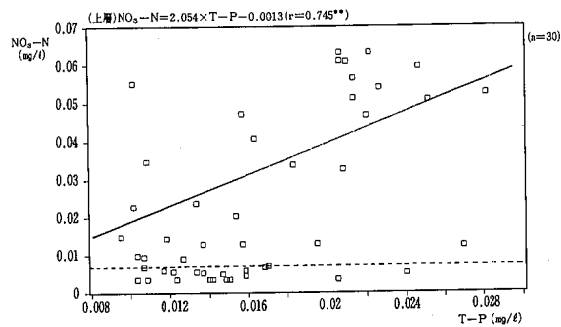
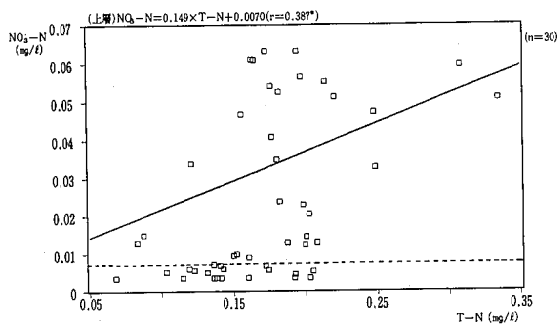


図5 水質項目間の関係 (2)

上, 下層合わせて81の水質項目の組み合わせのうち有意な相関がみられたのは, 上層9組, 下層5組である。上層では, CODと濾過CODの相関は当然と考えられ, CODとT-Nに相関がある場合, 濾過CODとT-Nの間の相関も当然と思われる。従って, 濾過CODが関係した2組を除けば次のことがいえる。つまり, T-Nに最も影響する無機態Nは $\text{NO}_3\text{-N}$ であり, T-Pに影響するのは $\text{PO}_4\text{-P}$ である。栄養塩であるT-NとT-Pはお互いに関係し, T-Nが高いほどCODも高く, CODが高いほどクロロフィルaも高い。下層については, T-Nに $\text{NO}_3\text{-N}$ が影響し, T-Pには $\text{PO}_4\text{-P}$ が影響し, T-NとT-Pに相関関係が認められるのは上層と同じであるが, 栄養塩とCODとの関係, 栄養塩とクロロフィルaとの関係については認められない。 $\text{NO}_3\text{-N}$ とクロロフィルaとの負の相関は, 図2に示した $\text{NO}_3\text{-N}$ とクロロフィルaとの季節変動が全く逆に推移していることに基づくものと推察される。江場ら¹⁴⁾は伊勢湾で調査を行い, CODとクロロフィルaとの間には, 表層および中層(5~10m)では正の相関を認めているが, 底層(底上1m)についてはやはり相関を認めていない。

(2) 水質の変遷

図6は, COD, T-N, T-Pについて地点毎の年4回の結果を平均し, さらに調査6地点を平均して宇和海の水質とし, 1981年度から1992年度までの経年変化をみたものである。これによると, CODは年度による変動があるものの, 傾向としては, 上, 下層とも次第に低下していることが認められ, 濾過CODも同様である。T-Nは, 年度による変動がCODよりも大きく, 上, 下層ともこの調査年度の範囲内では一定の増減傾向は認められない。T-Pについては, 1986年度が異常に低いのが, これを除いてみた場合, 上, 下層とも横ばい状態にあると判断できる。

宇和海について, 昭和47年度に漁場環境として水産試験場が調査した結果¹²⁾では, CODは夏にやはり最も高く, 上層1.04mg/l, 下層0.85

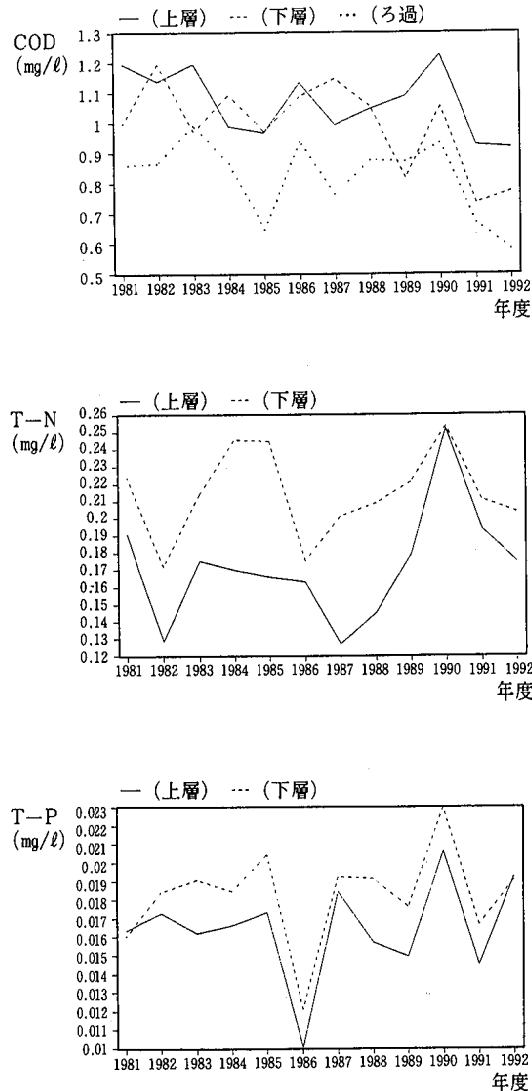


図6 水質の経年変化

mg/l, 次いで秋であり, 上層0.84mg/l, 下層0.72mg/lであった。これらの数値は, 前述したように1992年の数値とほぼ同じであり, さらに, 水産試験場の調査ではCODの分析法が, アルカリ性 KMnO_4 法であり, 本報告における酸性 KMnO_4 法の方がやや高いCOD値が得られること¹⁷⁾を考慮した場合, 1992年のCODは, 20年前の1972年のレベルと同程度あるいはそれ以下と思われる。なお, 栄養塩の分析結果については, 残念ながら分析方法の違いにより比較できない。クロロフィルa濃度は, 東京湾, 三河湾の汚染の進行していた時期にはそれぞれ10~30¹⁵⁾, 7~16mg/m³¹⁶⁾であり, 大村湾では1978~1980年にかけて平均2.7mg/m³¹³⁾であった。これらと比

較すると、宇和海の上層 $0.71\sim 1.75\text{mg}/\text{m}^3$ 、下層 $0.65\sim 1.10\text{mg}/\text{m}^3$ の濃度はかなり低いと認められる。

2. 底質

(1) 底質の特性

1992年に実施した底質調査の結果⁹⁾を図7に、表2にはその統計量を示した。これらによると、分析項目毎の濃度分布の傾向は極めて良く似て

表2 底質調査結果の統計表 (n=15)

	含泥率	IL	COD	TOC	T-N	T-P
最大値	93.2	9.7	11	17	2.2	0.58
最小値	3.3	1.8	0.27	0.35	0.06	0.23
平均値	26.8	5.3	4.54	6.80	0.86	0.38
標準偏差	30.4	3.2	4.04	6.86	0.84	0.11
変動係数(%)	113	60	89	101	98	30

いることがわかる。すなわち、有機性汚濁の指標となる含泥率を除く5項目は、八幡浜から宇和島あるいは津島地先が含有量が最も多く、等濃度線は佐田岬半島に沿って沖合いにスライドしている。はじめにも述べたように、宇和海の主たる汚染源が生活系排水であれば、八幡浜、宇和島といった人口の多い地域さらにはそれらに次ぐ三瓶、明浜、吉田、津島地先において底質の有機汚濁度が高いのは当然と推察される。また、一般に底質の含泥率が高いほど有機性汚濁物質の含有量が高いことが知られており、宇和海についても表3に示すように含泥率といずれの項目との間にも強い相関関係が認められることから、含泥率の高い八幡浜沖と吉田沖での高いCOD値は主として生活系排水由来と考えられる。これに対して三浦半島南でのCOD値は、生活系排水に加え給餌養殖の影響も考えられる。表4は、有機性汚濁物質相互の関係をみたものであり、項目間に強い正の相関関係のあることがわかる。

宇和海の底質のCOD値は、平均で $4.54\text{mg}/\text{g}$ 、

表3 含泥率と有機性汚濁項目との相関 (n=15)

IL	COD	TOC	T-N	T-P
0.928**	0.891**	0.941**	0.945**	0.908**

最大は吉田沖の $11\text{mg}/\text{g}$ で、八幡浜から津島にかけての沖合いが最も高濃度であると述べたが、これを1991年に調査した燧灘¹¹⁾と比較すると、燧灘全体のCODの平均値は $14\text{mg}/\text{g}$ で、宇和海の最大値よりも高く、平均値の比較では、宇和

表4 有機性汚濁項目の相関 (n=15)

	TOC	T-N	T-P
COD	0.979**	0.977**	0.832**
T-P	0.907**	0.902**	
T-N	0.998**		

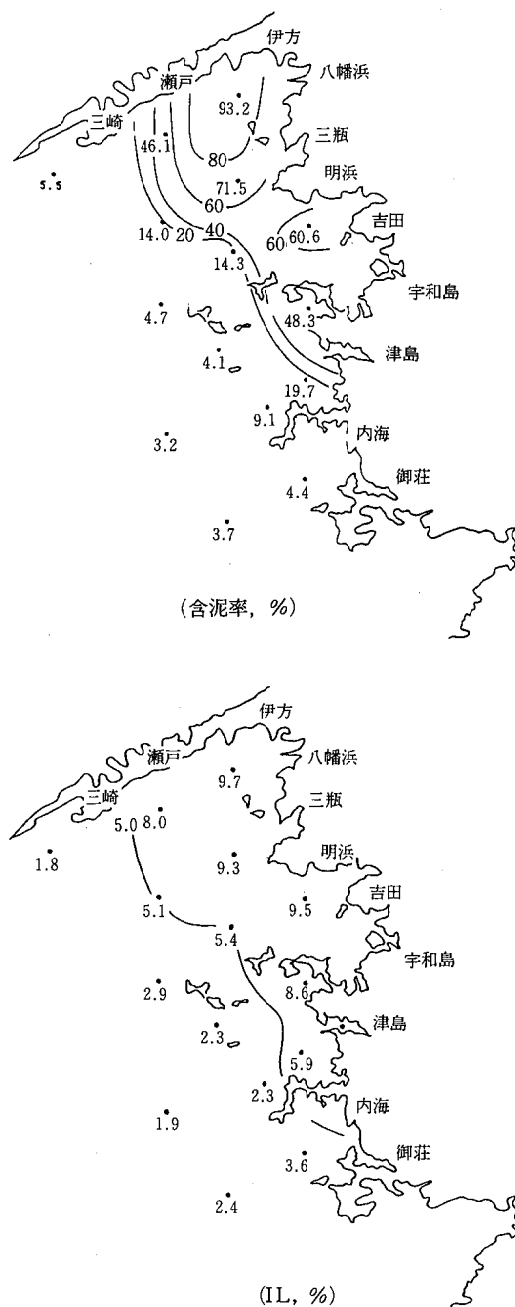


図7 底質調査結果(1)

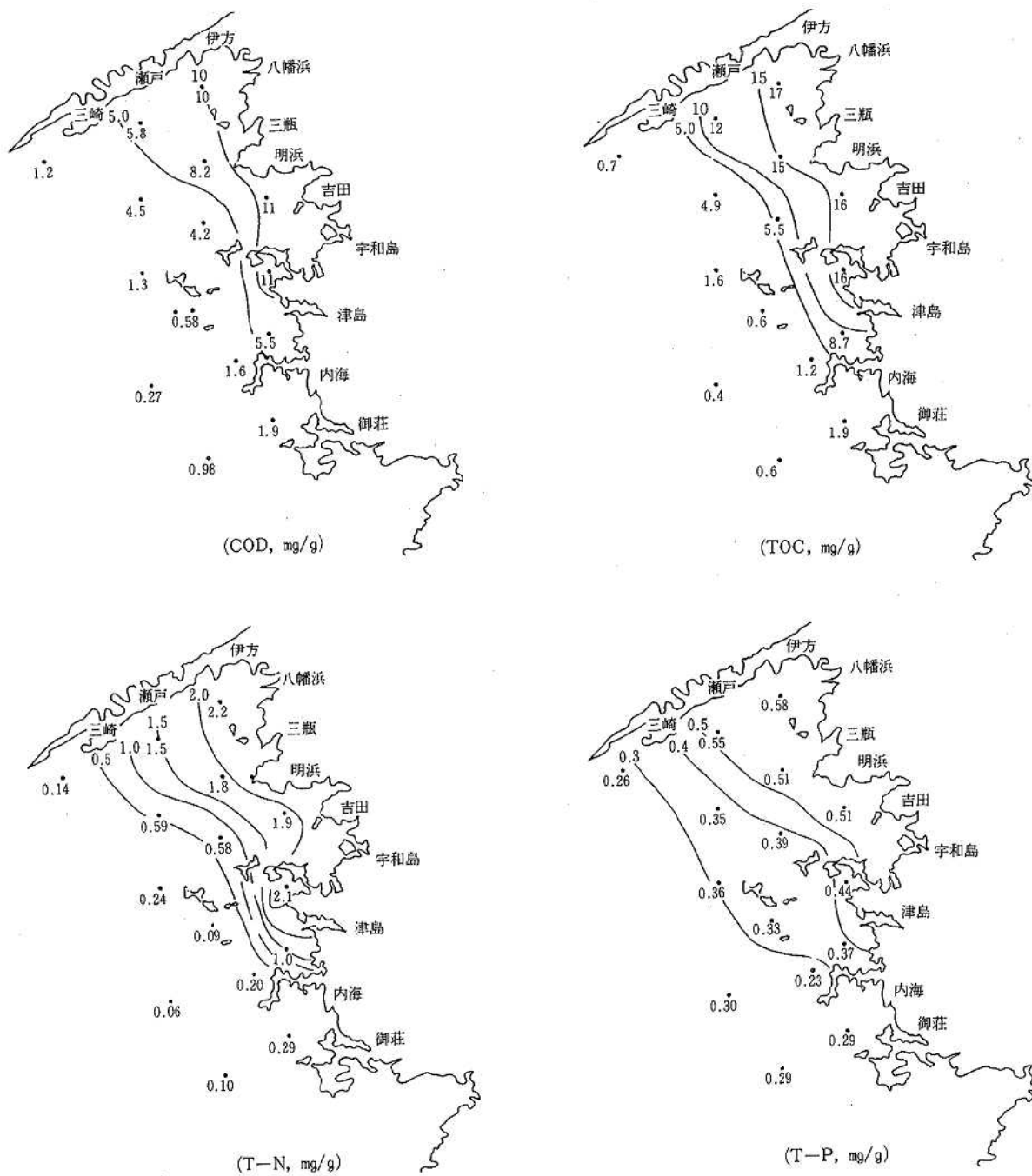


図7 底質調査結果 (2)

海は燧灘の0.32である。同様にTOCは0.52, T-Nは0.61, T-Pは0.76で、全体として宇和海の底質は有機性汚濁はさほど進行していないといえる。ただ留意すべき点は、CODやTOCに対し、T-N, T-Pの比較値がやや高い点である。

(2) 底質の変遷

底質の変遷を把握するためには、水質の変遷をみた場合のように、毎年あるいは一定期間毎に実施された同一の調査を解析する必要がある。1992年に実施した調査と同一規模、同一内容の

調査は、1985年の調査⁸⁾の他にはなく、ここでは両調査結果を比較し、底質の変遷として若干の考察を加えた。

表5は、各項目の平均値の差の検定結果である。すなわち、1985年の平均値と1992年の平均値に有意な差が認められるかどうかt検定を行っ

表5 平均値の差の検定結果

	IL	TOC	T-N	T-P
t	4.299**	-2.691*	-4.539**	3.885**

t (15,0.05)=2.131
t (15,0.01)=2.947

たものである。結果のみを論ずれば、ILとT-Pは1992年の方が有意に低く、TOCとT-Nは1992年の方が有意に高いことになる。図8には、1985年と1992年の差についての項目間の相関係数を求め、係数に有意性がみられたもののみ散布図として示した。これによると、TOCの含有量が増加したところほどT-Nの含有量も増加している。またこれとは逆に、ほとんどの地点でT-Pが減少しているが、これらの地点ではILも減少している。これらの関係は、TOC、T-N、T-P、ILが有機性汚濁の指標であれば当然と思われる。これに対して、T-Nと含泥率との

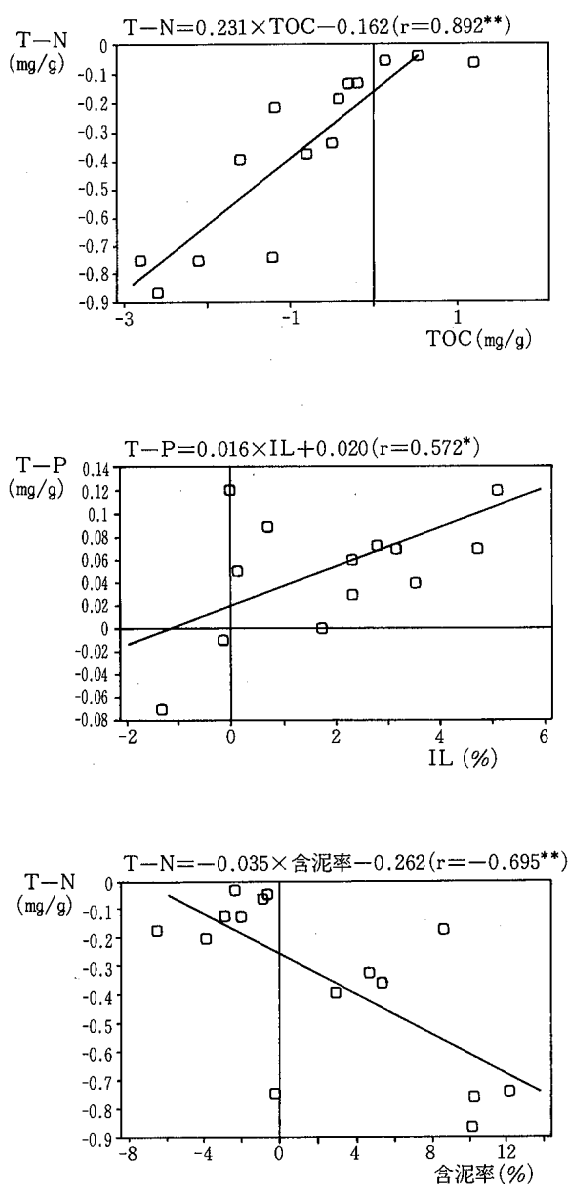


図8 底質項目間の関係

関係すなわち含泥率が減少したところほどT-Nが増加している相互関係は、底質の特性のところで述べたことと矛盾する。含泥率が10ポイント以上減少したのは瀬戸の南、吉田沖、三浦半島南の3地点であるが、共通した底質環境も考察できないことから、これについては今後の検討課題である。

まとめ

宇和海の水質および底質の調査結果から水・底質の特性ならびに変遷について次のような知見を得た。

- 1) 水質の季節変動では、CODは夏に高く、栄養塩であるT-N、T-Pは冬に高い。また上層の冬のクロロフィルaは、他の季節の1/2以下であった。
- 2) T-Nと類似の季節変動をする無機態NはN_{O₃}-Nであり、PO₄-PもT-Pとほぼ同じ季節変動を示した。
- 3) T-Nに占める各態窒素の割合をみると、上層では季節による違いが明らかであり、無機態Nは春、夏に少なく冬に多く、冬の無機態NのほとんどはNO₃-Nであった。
- 4) 上層と下層の関係では、DO、T-P、クロロフィルaなどには有意な相関がみられたが、CODとT-Nには相関がみられなかった。
- 5) 水質項目間の関係では、上層のT-NとT-Pに有意な相関がみられ、またCODが高いほどクロロフィルaも高くさらにT-Nも高い傾向がみられたが、下層では栄養塩とCODおよびクロロフィルaとの間に相関関係は認められなかった。
- 6) 1981～1992年度までの水質の経年変化をみると、T-N、T-Pは横ばいであるが、CODは減少傾向が認められた。
- 7) 底質の有機性汚濁項目の濃度は、八幡浜から津島にかけての地先海域が高く、その濃度分布は各項目とも極めて類似しており、等濃度線は佐田岬半島に沿って沖合いにスライドしている。

- 8) 有機性汚濁項目の濃度分布は含泥率の分布とも類似し、いずれの項目も含泥率との間に高い相関関係が認められた。
- 9) 1992年の底質の濃度を1985年と比較すると、ILとT-Pは1992年の方が低く、ILの減少とT-Pの減少との間には有意な相関関係が認められた。

文献

- 1) 愛媛県他：昭和58～61年度赤潮予察調査報告書（瀬戸内海ブロック），1～6，水産庁（1984～85，1987～88）
- 2) 愛媛県水産試験場：愛媛県水産試験場事業報告（昭和56年度），48～51（1983）
- 3) 同上：同上（昭和58年度），96～99（1984）
- 4) 同上：同上（昭和59年度），73～75（1985）
- 5) 同上：同上（昭和60年度），65～68（1986）
- 6) 同上：同上（昭和61年度），44～45（1988）
- 7) 同上：同上（昭和62年度），43～44（1989）
- 8) 社瀬戸内海環境保全協会：昭和61年度環境庁委託業務結果報告書，瀬戸内海環境情報基本調査－紀伊水道・豊後水道－（解析編），17～27，69～101（1987）
- 9) 同上：平成5年度環境庁委託業務結果報告書，瀬戸内海環境管理基本調査－紀伊水道・備讃瀬戸・備後灘・豊後水道－（解析編），35～42，165～195（1994）
- 10) 高市恭弘他：愛媛県地先海域の水・底質（第1報）－燧灘の水・底質の特性と変遷－，本研究報告書
- 11) 社瀬戸内海環境保全協会：平成4年度環境庁委託業務結果報告書，瀬戸内海環境管理基本調査－播磨灘・燧灘・別府湾－（解析編），18～30，46～54，90～155（1993）
- 12) 愛媛県：豊後水道漁場利用基本調査報告書（昭和48年度），41～43（1974）
- 13) 香月幸一郎他：大村湾のクロロフィルaの濃度について，長崎県衛生公害研究所報，21，40～49（1980）
- 14) 江場弘樹他：伊勢湾の栄養塩の挙動，愛知県公害センター所報，14，72～82（1986）
- 15) 一都三県公害防止協議会：昭和48年度水質汚濁共同調査報告書（東京湾総合調査），99～100（1974）
- 16) 愛知県環境部：伊勢湾における二次汚濁に関する調査結果，2～4（1979）
- 17) 日本海洋学会編：海洋環境調査法 改訂版，恒星社厚生閣，東京（1985）pp.291～299

愛媛県における干潟の底質及び水質

西原伸江・楠 憲一・宇高真行

はじめに

陸と海との境界に形成される干潟は、潮汐によって干出と水没を繰り返し、淡水の流入等厳しい環境条件のもとに多種多様の生物が生息する特徴的な生態系であり、従来から環境保護機能、環境浄化機能、景観機能及び生物生産機能等が成立していることが知られている^{1)~3)}。

近年、特に干潟の有する浄化機能については、公共用水域における水質改善対策の面でも重要視されてきており⁴⁾、東京湾、三河湾等では人工干潟を含め、その浄化機構の解明や浄化能力の把握について調査研究がなされている^{5)~12)}。

本報では、愛媛県内9箇所の干潟について、概要調査並びに底質及び水質調査を実施し、その特性を明らかにするとともに、干潟における物質の挙動について若干の検討を行ったので報告する。

調査方法

1 調査場所

国土地理院発行2万5千分の1地形図上で3ha以上の面積を有する干潟9箇所(図1)の調査を実施した。各干潟における底質及び間隙水の調査地点は、その面積に合わせて1地点から4地点とし、海水は1地点とした。

2 調査時期及び項目

調査は平成6年5月から8月にかけて、干潮時に実施した。

現地では、周辺環境及び利用状況等概要調査並びに試料採取を実施した。

底質の試料は、縦30cm×横30cm×深さ10cmの砂泥を手掘りにより採取したのを用い、間隙水の試料は干潟の砂泥に穴を掘り、そこに滲出した30分後のたまり水を用いた。

なお、海水は原則として満潮時に採水した。

底質及び水質調査は表1に示した分析項目及び分析方法により実施した。

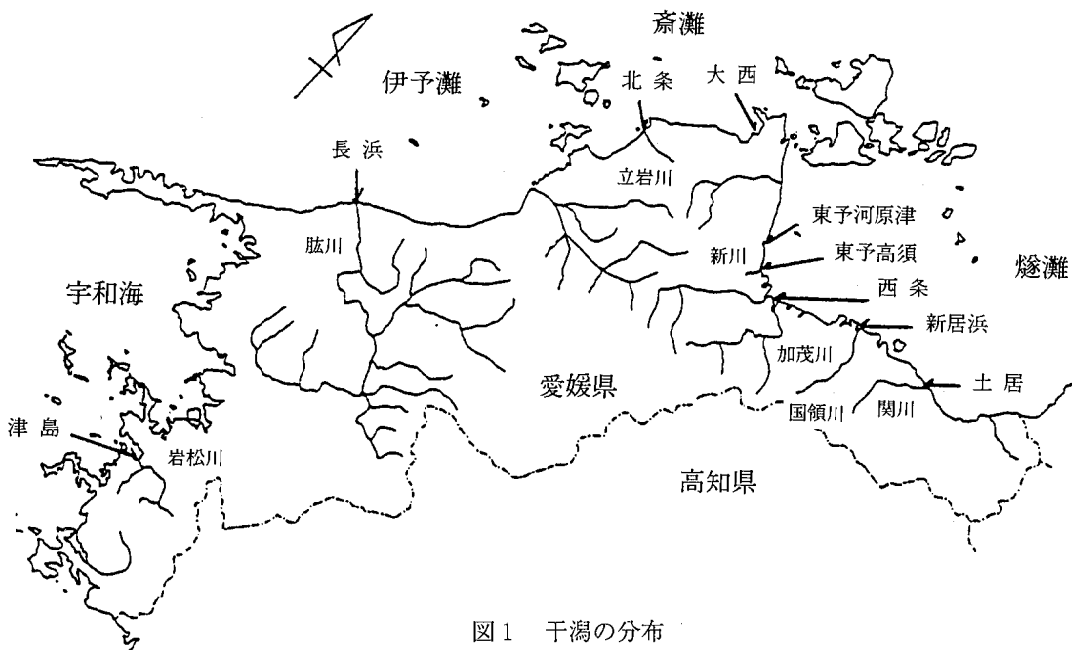


図1 干潟の分布

表1 分析項目及び分析方法

分析項目		分析方法
底質	粒度組成	J I S A1204 (土の粒度試験方法)
	I L (強熱減量)	昭和63年9月8日環境庁水質保全局長通知、底質調査方法
	C O D (化学的酸素要求量)	底質調査方法
	T-N (全窒素)	底質調査方法：インドフェノール青吸光度法
	T-P (全磷)	底質調査方法：硝酸-硫酸分解法
水質	C O D (化学的酸素要求量)	J I S K0102 (工場排水試験方法) ：100℃過マンガン酸カリウム硫酸酸性法
	T-N (全窒素)	J I S K0102 ：銅・カドミウムカラム還元法
	T-P (全磷)	J I S K0102 ：ペルオキシ二硫酸カリウム分解法

結果及び考察

1 干潟の概要

干潟の概要調査結果を表2に示した。

9箇所の干潟のうち、長浜及び津島の2箇所は肱川又は岩松川の河口にそれぞれ形成された河口干潟であり、残り7箇所は前浜干潟と分類された³⁾。

燧灘に面した3箇所の干潟や津島では、ノリ

の養殖が行われており、5箇所の干潟で潮干狩が行われていた。また、干潟に隣接して公園を整備したり、砂浜部分を海水浴場として利用しているところもあった。

2 底質

各干潟の底質の分析結果を表3にまとめて示した。底質の粒度組成は、礫が0~52.0%、砂が40.0~94.6%、泥が2.3~29.8%の範囲であつ

表2 干潟の概要

調査場所	所在地	面積(ha)	流入河川名	干潟分類	利用状況
土居	宇摩郡土居町	70.2	関川	前浜干潟	ノリ養殖
新居	新居浜市清水町	13.1	国領川	前浜干潟	—
西条	西条市禎端	403.7	加茂川	前浜干潟	ノリ養殖、潮干狩
東予高須	東予市高須	81.3	新川	前浜干潟	ノリ養殖、潮干狩
東予河原津	東予市河原津	22.0	北川	前浜干潟	潮干狩、海水浴場
大西	越智郡大西町	3.5	(小河川)	前浜干潟	潮干狩、海水浴場、公園
北条	北条市大浜	4.2	立岩川	前浜干潟	海水浴場
長浜	喜多郡長浜町	4.8	肱川	河口干潟	海水浴場
津島	北宇和郡津島町	16.0	岩松川	河口干潟	ノリ養殖、潮干狩

表3 干潟の底質分析結果

分析項目	調査地点 (地点数)	土居	新居浜	西条	東予高須	東予河原津	大西	北条	長浜	津島	平均	標準偏差	変動係数 (%)
		(3地点)	(2地点)	(4地点)	(3地点)	(2地点)	(1地点)	(2地点)	(1地点)	(2地点)			
粒度組成	礫分(%)	15.5 (7.8~25.7)	14.1 (8.8~19.3)	8.3 (0~35.1)	3.9 (0~11.8)	0.5 (0~1.0)	24.4	29.6 (24.3~34.9)	52.0	40.6 (33.6~47.6)	21.0	17.3	82
	砂分(%)	71.4 (62.2~87.9)	79.4 (77.6~81.3)	67.0 (40.0~81.5)	84.4 (64.9~94.6)	79.9 (78.9~80.8)	71.5	67.9 (62.7~73.0)	45.7	52.7 (46.8~58.6)	68.9	12.7	18
	泥分(%) (シルト粘土)	13.1 (4.3~22.9)	6.5 (3.1~9.9)	24.7 (18.5~29.8)	11.7 (5.4~23.4)	19.6 (19.2~20.1)	4.1	2.5 (2.4~2.7)	2.3	6.7 (5.7~7.8)	10.1	7.9	78
底質	I L (%)	2.2 (1.5~2.7)	2.2 (2.0~2.3)	2.0 (1.8~2.8)	2.2 (1.9~2.7)	1.9 (1.8~1.9)	1.6	1.5 (1.4~1.6)	1.8	3.9 (3.9)	2.1	0.7	33
	C O D (mg/g)	1.4 (0.3~2.0)	1.1 (1.0~1.1)	1.3 (0.9~2.1)	1.1 (0.6~1.7)	0.6 (0.4~0.8)	0.6	0.2 (0.2)	0.9	1.7 (1.6~1.7)	1.0	0.5	50
	T-N (mg/g)	0.571 (0.443~0.655)	0.289 (0.287~0.291)	0.371 (0.100~0.858)	0.422 (0.184~0.736)	0.273 (0.255~0.291)	0.177	0.068 (0.016~0.119)	0.204	0.244 (0.042~0.445)	0.291	0.148	51
	T-P (mg/g)	0.353 (0.252~0.407)	0.272 (0.256~0.288)	0.576 (0.550~0.597)	0.366 (0.340~0.398)	0.243 (0.231~0.255)	0.137	0.183 (0.175~0.190)	0.351	0.331 (0.299~0.362)	0.312	0.127	41

(注) 複数の地点の分析を実施したときは、各項目の上段に平均値、下段の()内に範囲を示した。

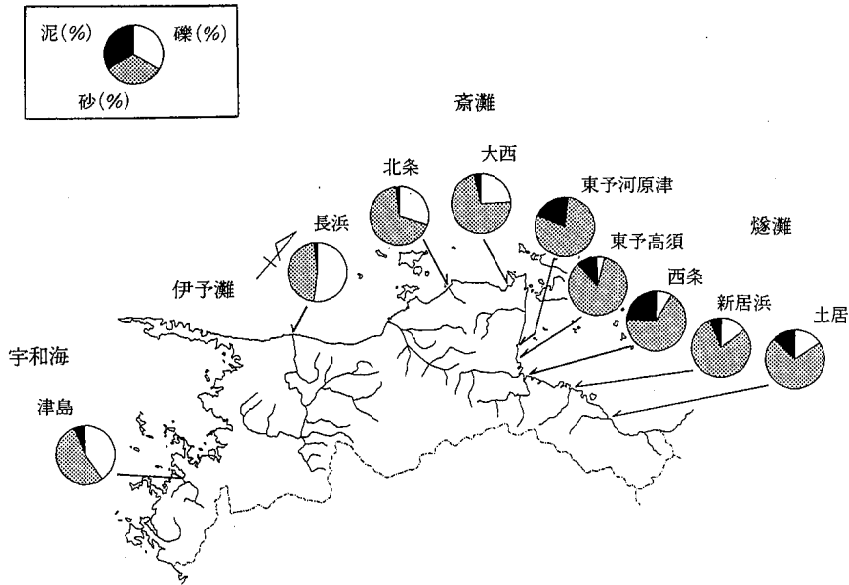


図2 干潟の粒度組成

た。

また、図2には干潟ごとの粒度組成を、平均値を用いて示した。斎灘、伊予灘及び宇和海に面した4箇所干潟では礫の含有率が高く、泥が低い傾向を示した。一方、燧灘に面した5箇所干潟では礫の含有率が低く、泥が高い傾向を示した。これにより、燧灘に面した干潟は、他の海域に面した干潟に比べ粒度の小さい粒子から底質が形成されていることがわかった。

有機汚濁指標であるCODは、0.2~2.1mg/gの範囲であった。

また、CODについて干潟ごとに平均値を用いて比較した結果を図3に示した。津島、土居及び西条で高く、北条、大西及び東子河原津で低い値であった。

CODと粒度組成の関係についてみると、CODが高い土居及び西条では含泥率も高く、CODが低い北条、大西では低かったが、全地点の含泥率とCODの間には、相関関係はみられなかった。

ILは1.4~3.9%の範囲であった。CODが高い干潟ではILも高い傾向があり、両者には

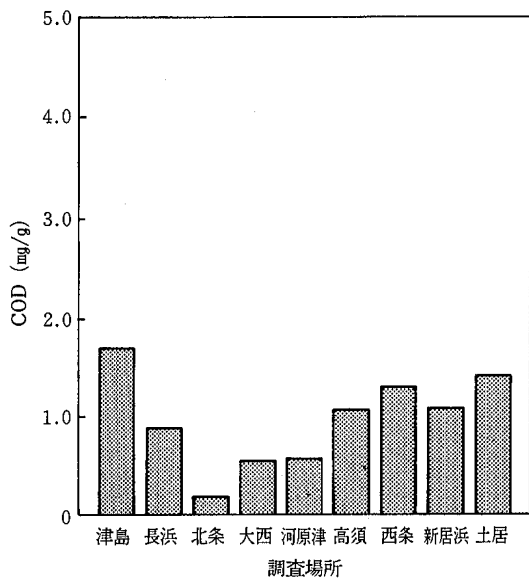


図3 干潟底質のCOD

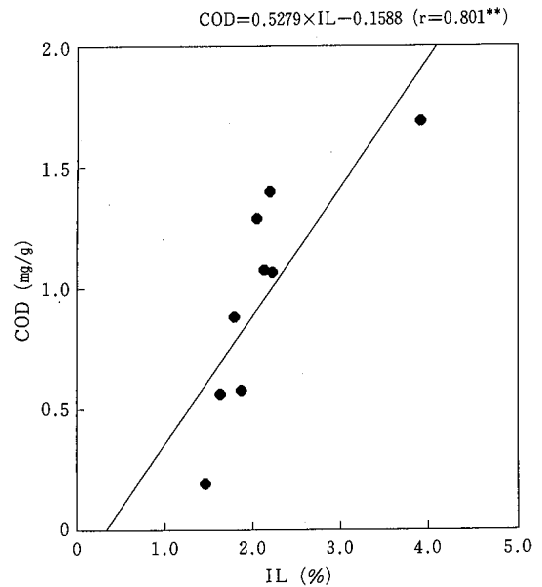


図4 ILとCODの相関図

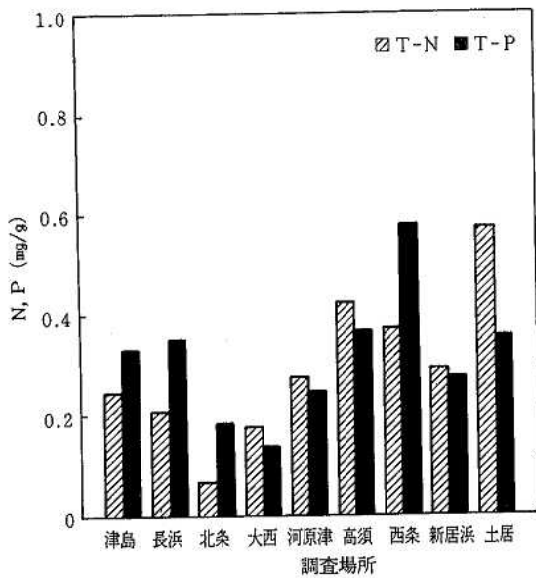


図5 干潟底質のT-N及びT-P

高い相関 ($r=0.801^{**}$)がみられた(図4)。

富栄養化の原因物質であるT-N及びT-Pについて、T-Nは0.016~0.858mg/g、T-Pは0.137~0.597mg/gの範囲であった。

また、干潟ごとに平均値を用いて比較した結果を図5に示した。T-Nは土居で最も高い値であり、T-Pは西条で最も高い値であった。北条及び大西では両者ともに低い値となっていた。また、各干潟について、T-NとT-Pを比較すると、T-Nの方が高い干潟と逆にT-Pの方が高い干潟があり、両者の濃度の間に一定の傾向はみられなかった。

3 水質

間隙水及び海水の分析結果をまとめて表4に示した。また、図6~図9には、各項目について

表4 干潟の水質分析結果

分析項目	調査地点 (地点数)	土居 (3地点)	新居浜 (2地点)	西条 (4地点)	東予高須 (3地点)	東予河原津 (2地点)	大西 (1地点)	北条 (2地点)	長浜 (1地点)	津島 (2地点)	平均	標準偏差	変動係数 (%)
	間隙水	COD (mg/l)	1.5 (0.9~1.9)	3.5 (3.5)	1.8 (1.6~2.0)	1.2 (0.9~1.4)	3.1 (3.0~3.2)	1.6	1.7 (1.4~1.9)	0.8	1.6 (1.6)	1.9	0.9
	T-N (mg/l)	0.20 (0.12~0.32)	0.64 (0.55~0.72)	0.35 (0.30~0.38)	0.62 (0.35~1.05)	0.45 (0.40~0.50)	0.30	0.17 (0.15~0.19)	0.38	0.43 (0.40~0.46)	0.39	0.16	41
	T-P (mg/l)	0.063 (0.056~0.072)	0.129 (0.123~0.134)	0.064 (0.054~0.072)	0.170 (0.087~0.308)	0.127 (0.122~0.131)	0.057	0.055 (0.051~0.058)	0.043	0.055 (0.048~0.061)	0.085	0.045	53
海水	COD (mg/l)	2.4	2.1	2.6	1.9	2.5	1.1	1.6	1.1	1.5	1.9	0.6	32
	T-N (mg/l)	0.38	0.39	0.60	0.29	0.27	0.16	0.19	0.35	0.27	0.32	0.13	41
	T-P (mg/l)	0.036	0.037	0.092	0.052	0.039	0.022	0.021	0.022	0.032	0.039	0.022	56

(注) 複数の地点の分析を実施したときは、各項目の上段に平均値、下段の()内に範囲を示した。

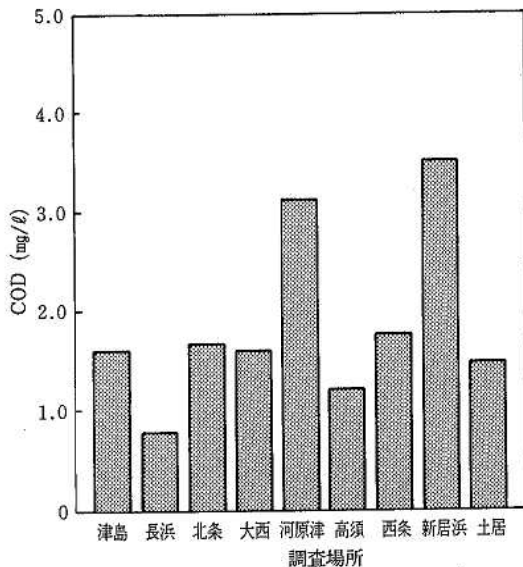


図6 間隙水のCOD

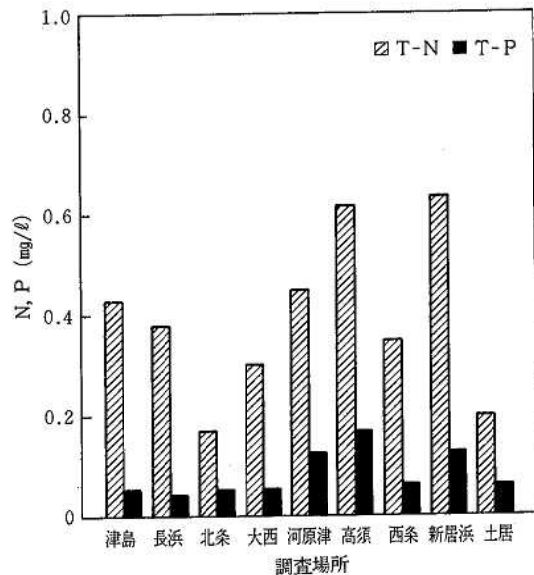


図7 間隙水のT-N及びT-P

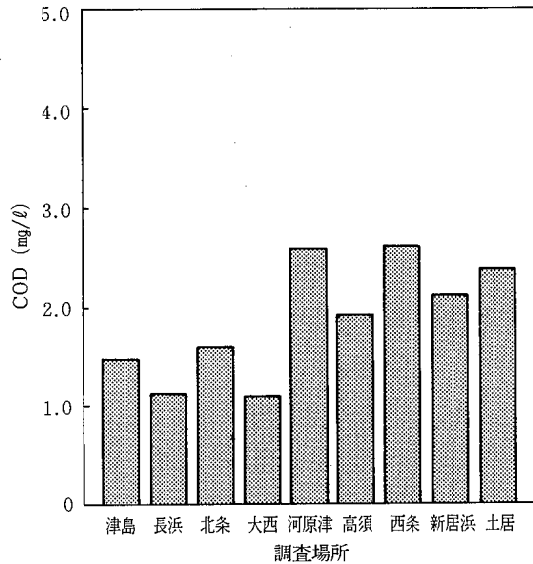


図8 海水のCOD

て干潟ごとに平均値を用いて比較した結果を示した。

間隙水のCODは0.8~3.5mg/lの範囲であり、新居浜及び東予河原津で特に高い値であった(図6)。また、T-Nは0.12~1.05mg/l、T-Pは0.043~0.308mg/lの範囲であり、東予高須、新居浜及び東予河原津がT-N、T-Pともに高い値であった(図7)。

海水のCODは1.1~2.6mg/lの範囲であり、燧灘に面した東予河原津から土居までの5箇所の干潟では、斎灘、伊予灘及び宇和海に面した4箇所の干潟より高い傾向がみられた(図8)。また、T-Nは0.16~0.60mg/l、T-Pは0.021~0.092mg/lの範囲であり、西条でT-N、T-Pともに高く、北条及び大西で低い値であった(図9)。

間隙水及び海水については、燧灘に面した干潟で濃度が高い傾向がみられた。

COD、T-N及びT-Pについて海水と間隙水の間隔を図10、図11及び図12にそれぞれ示した。図中の破線は、両者の濃度が等しい場合の値に相当し、分析値が破線より上側にある場合、間隙水の方が海水よりも高い濃度であり、下側にある場合、間隙水の方が海水よりも低いことを示している。

COD及びT-Nでは、間隙水の方が海水より

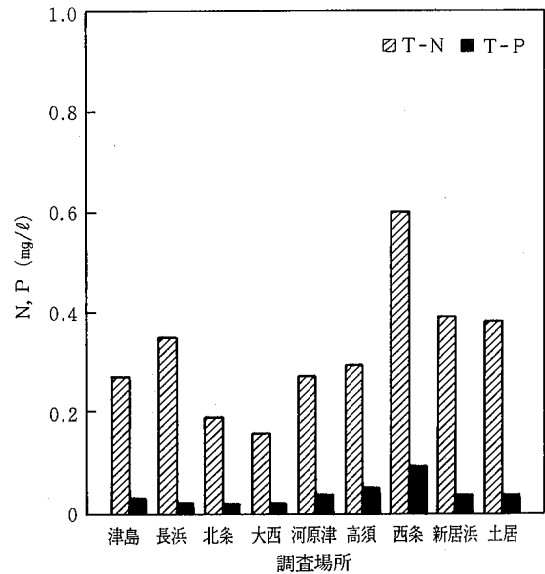


図9 海水のT-N及びT-P

も濃度が高い干潟や逆の干潟がみられ、一定の傾向は認められなかった。これに対し、T-Pは西条1箇所を除くほとんどの干潟で間隙水の方が海水よりも高い濃度であった。

西条はCOD、T-N及びT-Pの3項目ともに間隙水の方が海水よりも低い濃度であった。これは、他の地点に比べて海水の濃度が高いためと考えられる。また、西条の底質は泥が24.7%(平均値)と、9箇所の干潟の中で最も高く、T-N、T-Pについても高い値であり、このような特徴を有する底質の影響も考えなければならない。

4 干潟における物質の挙動

海水、間隙水及び底質の間での物質の挙動を知ることは、干潟の浄化能を検討していく上で極めて重要なことと考えられる。

図13には、それぞれでのN/P比を干潟ごとに比較した結果を示した。いずれの干潟についても底質、間隙水、海水の順でN/P比が大きくなる傾向がみられた。

海水、間隙水及び底質のN/P比に差がみられ、その傾向が同じであったことから、各相間での水の循環におけるNとPの挙動に差があることが考えられる。そこで、分析結果をもとに、海水及び間隙水と底質との間のNとPの挙動について比較を行った。

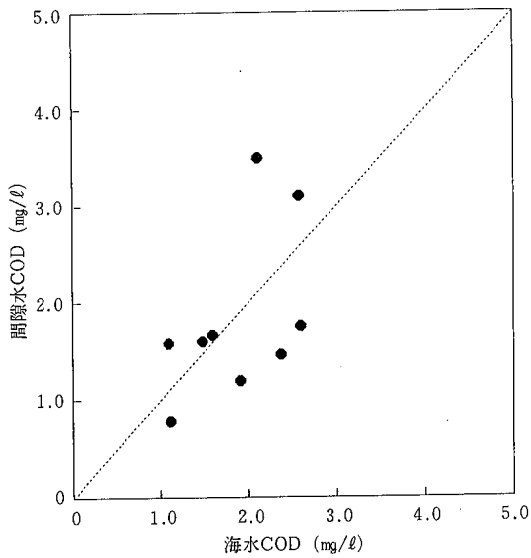


図10 海水と間隙水の関係 (COD)

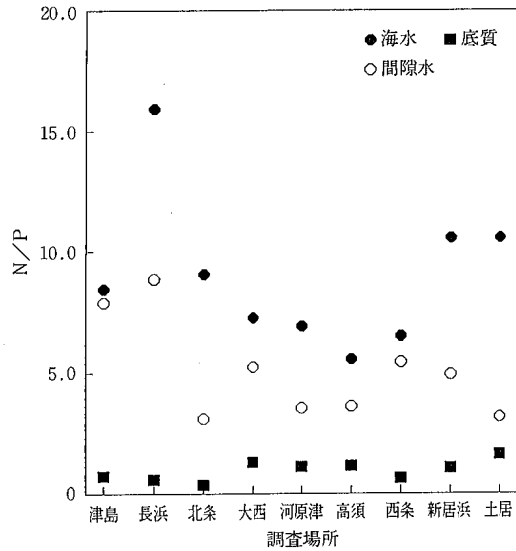


図13 底質、間隙水及び海水のN/P比

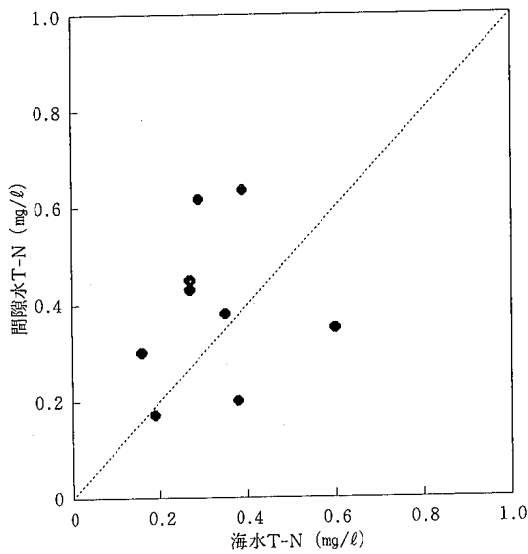


図11 海水と間隙水の関係 (T-N)

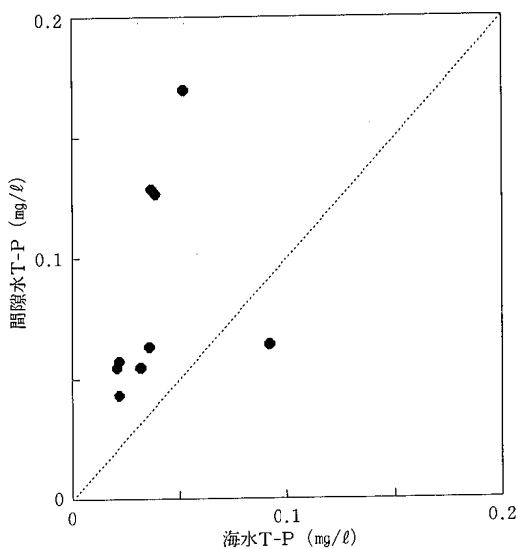


図12 海水と間隙水の関係 (T-P)

まず、海水と間隙水のN、Pそれぞれの濃度差についてみると、図11、12からPの方が二相間での濃度差は大きい傾向がみられた。

間隙水と底質については、直接に濃度で比較することはできないが、それぞれでのNとPの濃度差を考慮すると、N/P比の違いは主としてPの違いに基づくものと思われた。

以上のことから、海水及び間隙水と底質との間の相互作用は、Nに比べてPの方が大きいものと考えられる。

干潟の物質循環を検討した佐々木^{11), 12)}によれば、三河湾一色干潟では流入したNやPの50%以上が、干潟上で留まるなり、除去されると言われている。今後、干潟の浄化能を考える上でNやPの挙動を定量的に把握するためには、干潟への流入負荷や、Nについては大気中への移行を考慮する等詳細な検討が必要である。

まとめ

愛媛県における干潟の底質及び水質の特性を把握するために調査を実施した。

その結果は概ね次のようにまとめられる。

- 1) 燧灘に面した干潟は、他の海域に面した干潟に比べ粒度の小さい粒子から底質が形成されていた。

- 2) 底質のCODは、0.2~2.1mg/g, T-Nは0.016~0.858mg/g, T-Pは0.137~0.597mg/gの範囲であった。
- 3) 海水と間隙水の関係では、T-Pはほとんどの干潟で間隙水の方が海水よりも高い結果が得られた。
- 4) T-NとT-Pの関係では、N/P比が底質、間隙水、海水の順に大きくなる傾向を示した。
- 5) 海水及び間隙水と底質との間の相互作用は、Nに比べてPの方が大きいものと考えられる。今後、さらに生物学的調査を加え、愛媛県における各々の干潟の環境特性を明らかにし、浄化能との関連性等調査研究を続けていく必要がある。

文献

- 1) 栗原康：沿岸域のエコテクノロジーを考える、用水と廃水，**36**(12)，5~13，1994。
- 2) 秋山章男，松田道生：干潟の生物観察ハンドブック 干潟の生態学入門 第3版，東洋館出版社，東京（1984）。
- 3) 栗原康：干潟は生きている 第2刷，岩波新書，東京（1993）pp. 1~32。
- 4) 稲森悠平他：干潟における底生生物の役割と保全のための対策のあり方，用水と廃水，**36**(1)，15~20，1994。
- 5) 三好康彦他：人工海浜の浄化能力について，東京都環境科学研究所年報，120~125，1990。
- 6) 木村賢史他：人工海浜の浄化能力について（2），東京都環境科学研究所年報，141~150，1991。
- 7) 三好康彦他：人工海浜の浄化能力について（その3），東京都環境科学研究所年報，117~123，1991-2。
- 8) 赤澤豊他：人工海浜の浄化能力について（その4），東京都環境科学研究所年報，124~134，1991-2。
- 9) 木村賢史他：人工海浜（干潟）の浄化能について，東京都環境科学研究所年報，89~100，1992。
- 10) 北林興二他：汀線環境の構造とその浄化機能の評価手法に関する研究，平成5年度環境保全研究成果集I，環境庁企画調整局環境研究技術課編，41-1~20。
- 11) 佐々木克之：干潟を活用した窒素・リンの除去，用水と廃水，**32**(8)，38~43，1990。
- 12) 佐々木克之：干潟の水質保全と物質循環，用水と廃水，**36**(1)，21~27，1994。

新居浜市内の地下水中の有機塩素系化合物の経年変化について

安部暢哉・八塚能男・山宮芳子・浮田陽一

Study on the Pollution of Well Water by Chlorinated Hydrocarbons

Nobuya ABE, Yoshio YATSUZUKA, Yoshiko YAMAMIYA and Youichi UKITA

In 1989, pollution of well water by tetrachloroethylene(PCE) was appeared in Niihama city. Because one laundry was presumed as a source of the pollution, we have been monitoring the well water around the source. As the result, it was almost clear that the pollution was formed to the narrow area surrounding the source, and still the low level pollution has been continued.

はじめに

テトラクロロエチレン (以下「PCE」という。), トリクロロエチレン (以下「TCE」という。) 等の有機塩素系化合物による地下水汚染が全国的な規模で発生していることが1982年の環境庁の調査で判明した¹⁾。

愛媛県においても、これら物質の使用事業場周辺井戸における地下水汚染の実態調査を行ってきたが、数ヶ所の井戸で地下水評価基準値 (以下「基準値」という。) を越えるPCEが検出され、中でも1989年8月の調査で新居浜市内の井戸において14mg/lという高濃度のPCEが検出された。そのため、汚染源とみられる周辺のPCE使用事業場に対し適正使用について指導を行うとともに当該汚染井戸及び周辺井戸の汚染状況についてその後監視調査を続けてきた。

今回、1989年8月から1993年10月までの約5ヶ年間の当地区における地下水の調査結果をまとめたので、その概要について報告する。

調査方法

1 調査等の概要

調査はまず、PCE使用事業場におけるPCEの使用及び回収処分状況と周辺井戸の地下水のPCE濃度の汚染状況を調べ地下水流との関

係から汚染源及び汚染範囲を推定した。次いで、PCE濃度が基準値を越えた汚染井戸については地下水を定期的に採水し、PCE濃度の経時変化を調査するとともに各井戸のイオン成分等を調べ、当地区の地下水系の推定を行った。また、降雨量と地下水のPCE濃度との関係等についても検討を行った。

2 調査地域の地質及び地下水系の概要

今回の調査地域は新居浜平野の南部に位置する市街地で、当地域の地質は図1に示すように結晶片岩帯に属し、四国山地から流出する国領川、尻無川及び東川によって扇状地状の三角州として形成され地層は厚い砂礫層によって覆われている²⁾。

一方、当地域における地下水流の方向及び帯水層の状況等については、図2のとおり国領川に沿って南部 (山地側) から北部 (海側) の方向に地下水流は流れており、ほぼ中央部にはかなり層の厚い同一レベルの帯水層が広がっている³⁾。

3 調査地点 (井戸) の選定

高濃度PCEが検出された井戸と周辺のPCE使用4事業場 (クリーニング店) との位置関係は図2のとおりである。A, B, C, D4事業場のうち、高濃度PCEが検出された井戸 (図中2) と最も近接しているのはA事業場で

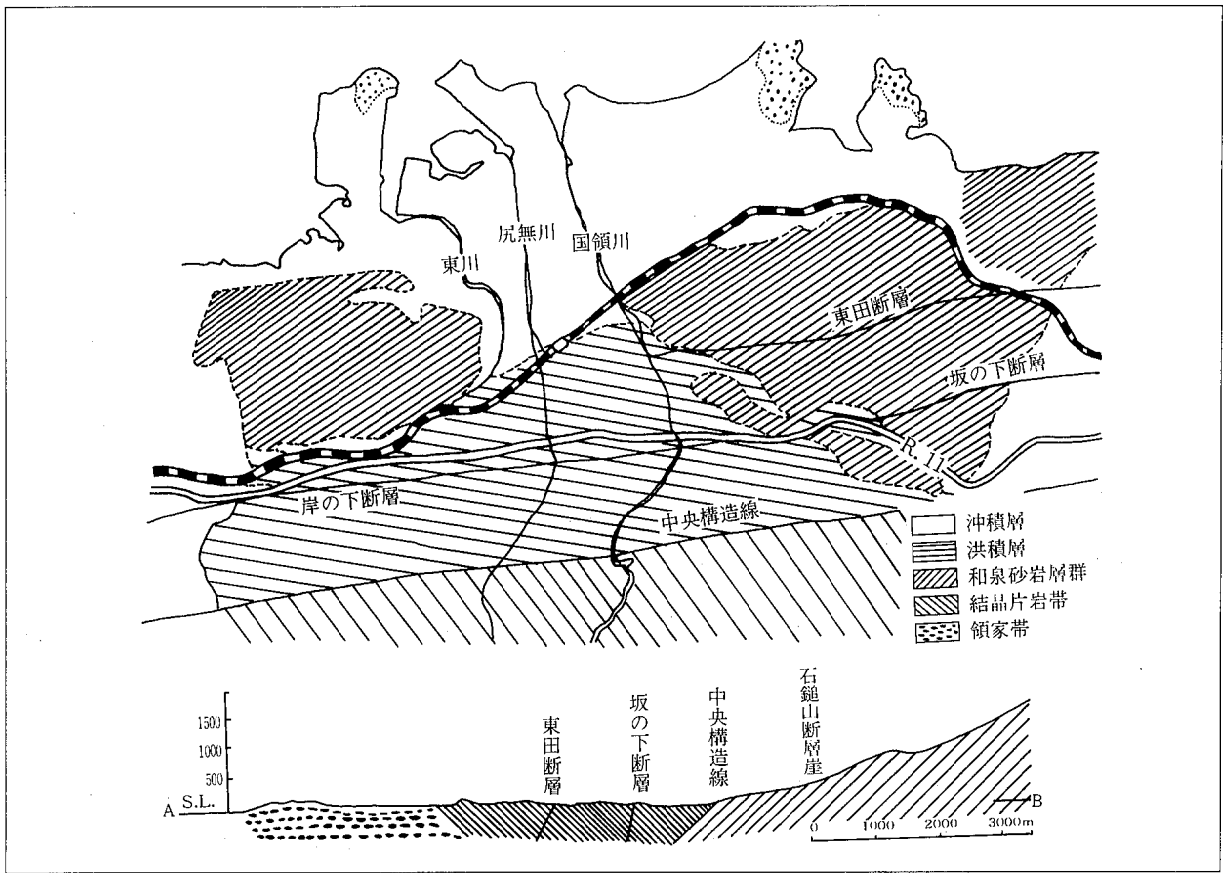


図1 調査地域の地質²⁾

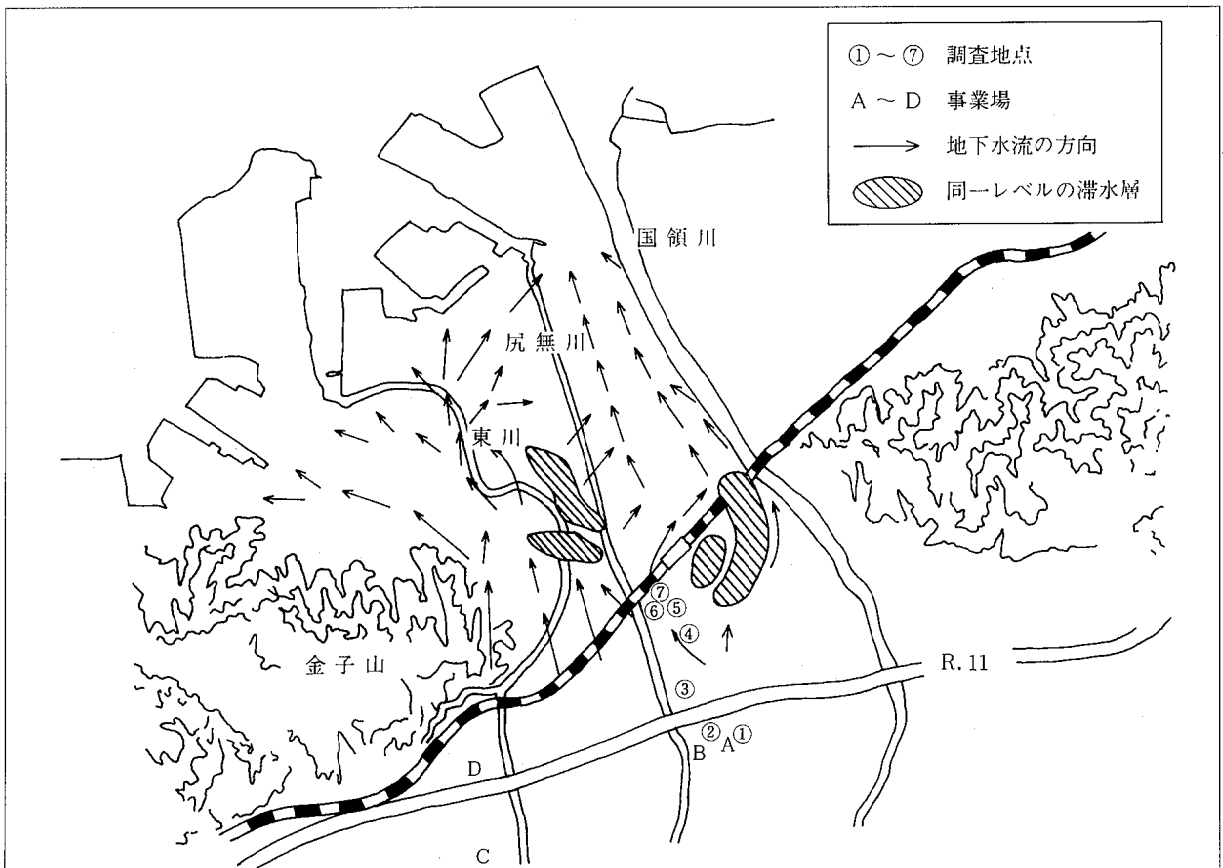


図2 調査地域の地下水流等概況図

あり、次いでB事業場（約230m）C及びD事業場はいずれも2km以上離れている。これら4事業場の周辺ほぼ全域に亘る井戸を調査した結果、A事業場の周辺の井戸でPCEの汚染が判明したため、A事業場を汚染源と仮定し、当事業場周辺の井戸のうち基準値を超えた7地点（図中1～7）を今回の調査対象地点として選定した。なお、これらの調査井戸の概要は表1のとおりである。

表1 調査井戸の概要

井戸 No.	井戸の深さ (m)	汚染からの距離 (m)	井戸の形式	使用目的
①	23	約 30	打ち抜き	雑用水
②	15	120	〃	〃
③	15	400	手掘り	〃
④	50	950	打ち抜き	〃
⑤	60	1,100	〃	〃
⑥	20	1,150	〃	〃
⑦	35	1,350	〃	〃

4 分析方法

(1) PCE及びTCEの分析

PCEの分析は日本工業規格/用水・排水中の低分子量ハロゲン化炭化水素試験方法（JIS K 0125）のヘッド・スペース法に基づき行った。測定条件は次のとおり。

機種：GC-14A（島津製作所）

カラム：25%DC-550 内径3m

3mガラスカラム

（ChromosorbW AW-DMCS）

カラム温度：97℃

注入口温度：200℃

検出器温度：230℃

キャリアガス：窒素60ml/分

検出器：ECD

(2) イオン等の分析

分析は、Ca²⁺、Mg²⁺、NO₃⁻、HCO₃⁻、Cl⁻、SiO₂の6項目について行った。

分析方法はCa²⁺及びMg²⁺はキレート滴定法、NO₃⁻は硫酸ヒドラジン還元法、HCO₃⁻は炭酸水素イオン分離滴定法、Cl⁻はモール法、SiO₂はモリブデン酸法で行った。

結果及び考察

1 各汚染井戸のPCE濃度の経時変化

調査期間中の各井戸におけるPCE濃度の経時変化を図3に示す。

1989年の第1回目の調査時には、全ての井戸からPCEが基準値(0.01mg/l)を超えて検出

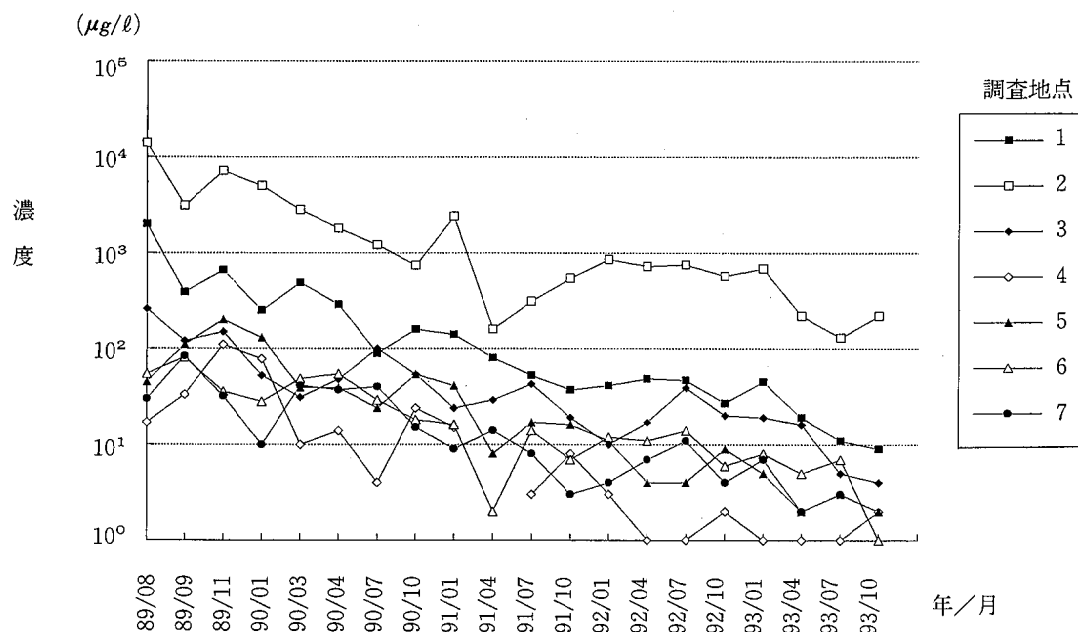


図3 PCE濃度の経時変化

され、中でも地点2では14mg/lという高濃度であったが、汚染の判明直後からA事業場がPCEの使用を中止したため、暫時減少傾向を示した。

1993年10月には地点2以外は全て基準値以下の濃度になったが、地点2においては当初より1/100程度に減少したものの0.22mg/lと依然高い濃度で推移していた。このことから、地点2付近の地下水中のPCEは全て下流側へ移流しておらず、一部が当地層中に依然滞留しているものと推定される。

次に、各地点における年平均濃度の5ヶ年間の減衰率を図4に示す。地点別の傾向をみると、地点1と2及び6と7がほぼ同じ減衰傾向を示し、減衰率を比較すると汚染源に近い地点1及び2が大きく、汚染源に遠い地点3、5、6、及び7の方が小さかった。なお、地点4は最も減衰率が大きく他の地点と違った挙動を示した。

2 調査井戸のPCE濃度と汚染源からの距離との関係

汚染源から調査井戸までの距離とPCE濃度との関係を図5に示す。

全体的な傾向をみると、距離が離れるほどPCE濃度が低下する傾向を示しており、地下水流は明かに汚染源から調査地点方向へ流れていると推察できる。

なお、汚染源に近い地点4の方が汚染源より遠い地点5、6及び7より汚染濃度が低く他の地点との傾向と矛盾するが、その理由として考えられることは、地点4は冷房用として大量に揚水しているため、地下水流の流速が増大したことと本来の地下水流以外に近接層の地下水系からの導水による希釈効果が現れているのではないかとと思われる⁴⁾。

3 地下水のイオン等の分析

図6は、地下水の特性及び汚染帯水層を調べるために、1994年10月11日採水の地下水について各種イオン等分析を行い、レーダーチャートにしたものである。

各イオン成分比には差がなく各地点とも類いのパターンを示していることから、この地区の地下水はほぼ同一の帯水層中にあるものと推定された。しかし、地点2においては、塩素イオンが他の地点と異なる値を示した。

4 PCE濃度とTCE濃度との関係

各地点におけるTCEの検出濃度の推移を図7に示す。

地点①及び②において、1989年から1991年にかけて基準値(0.03mg/l)を大幅に下回る濃度で検出されたが、これ以外の他の地点では全く検出されなかった。

当地区の汚染源とみられるA事業場ではPC

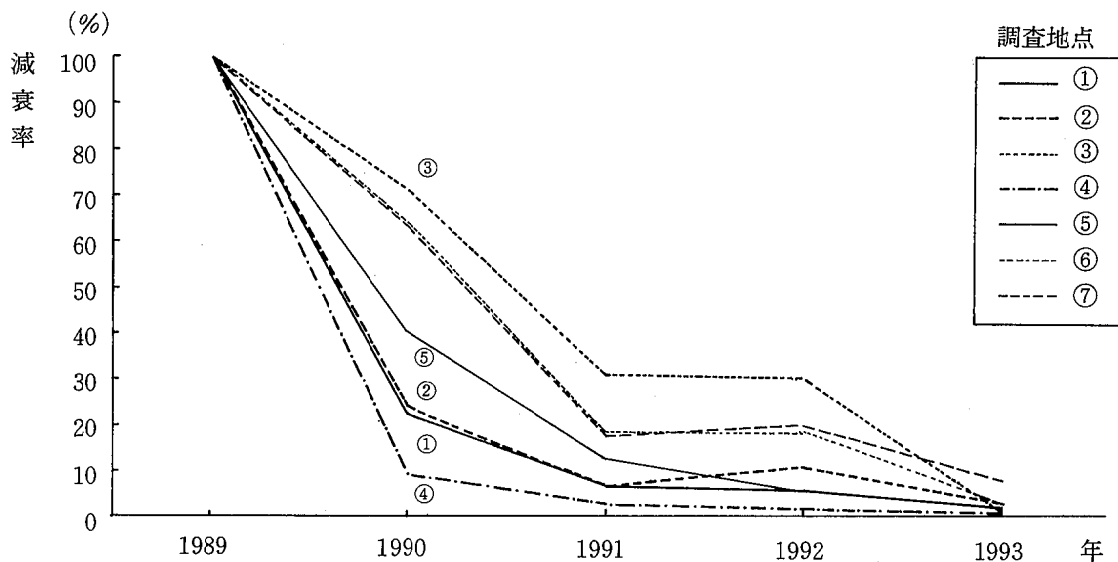


図4 各地点別PCEの年平均濃度の減衰率

Eのみを使用していたことから、今回検出されたTCEはPCEが土壤中の微生物等によって分解代謝されたものではないかと思われる。

嫌氣的条件下で土壌を用いた微生物による有機塩素系化合物の分解実験から、PCEはTCEを経てシス-1,2-ジクロロエチレン(DCE)まで分解することが報告されている⁹⁾。今

回、DCEが地点1及び2において検出されていることからPCEの分解反応が推測され、更に、前述の無機イオンの分析結果から地点1及び2の井戸の塩素イオンが他の井戸より高い値を示していることから、当地点においてPCEがTCEを経てDCEまで一部份分解し塩素イオンが遊離放出された可能性が考えられる。

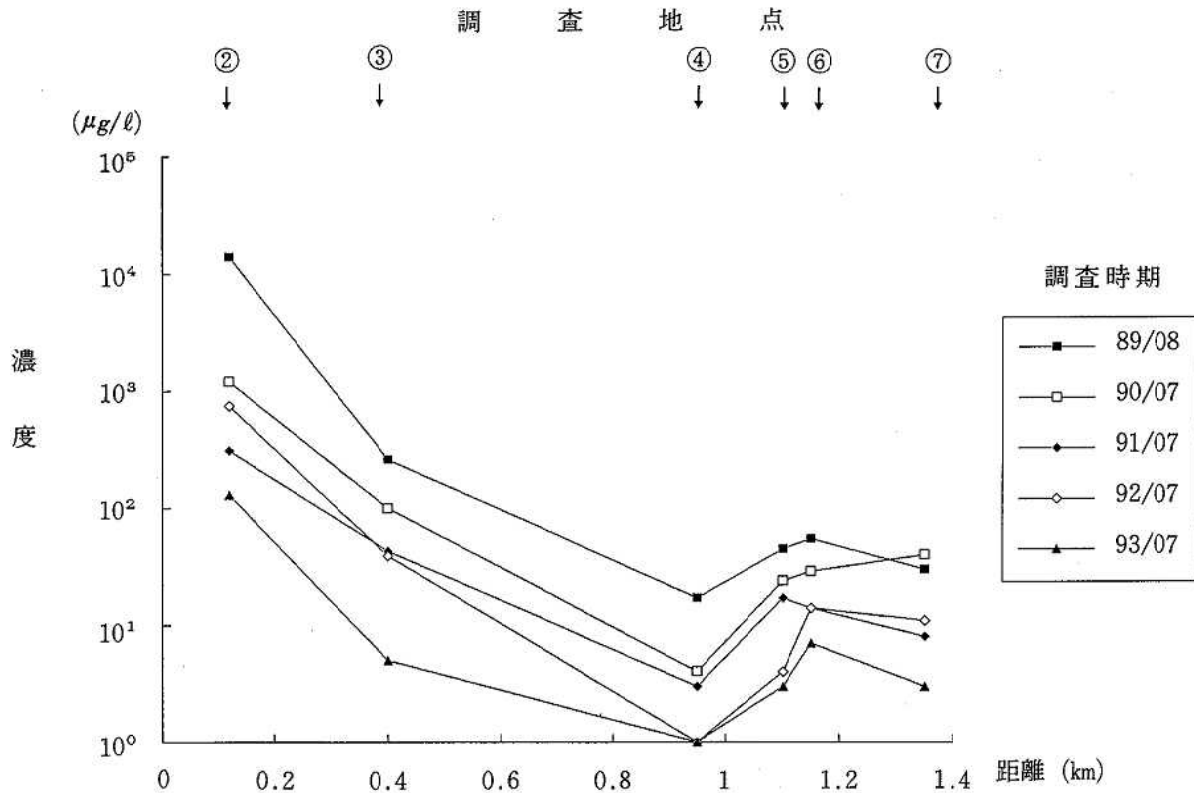
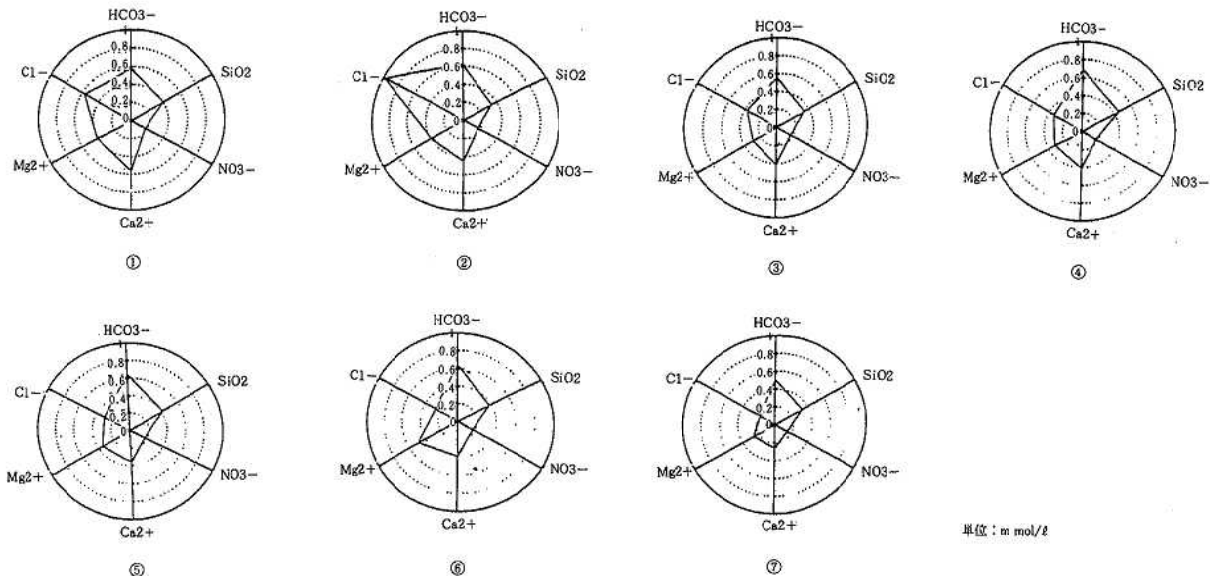


図5 汚染源からの距離と濃度との関係



単位: mmol/l

図6 地下水のイオン分析結果

5 降雨量とPCE濃度との関係

当地域における降雨量と地点2を例にとり、そのPCE濃度との関係を図8に示した。

1989年8月27日に278ミリ、月間は456ミリ、1990年9月18日に240ミリ、月間は600ミリの多量の降雨があった。これら降雨後のPCE濃度の状況を見てみると、いずれの場合もほぼ1～4ヶ月後に上昇しており、降雨とPCE濃度にタイムラグはあるものの関係がみられることが確認された。

なお、多量の降雨後に汚染物質の濃度が上昇する現象はすでに各地で報告されている⁶⁾。

しかし、1993年以降では多量の降雨があったにもかかわらず濃度の上昇は見られなかった。

これは、多量の降雨による地下水位の上昇により土壤中に残存しているPCEが洗い出され絶対量が減少し、降雨の影響を徐々に受けなくなってきたものと思われる。

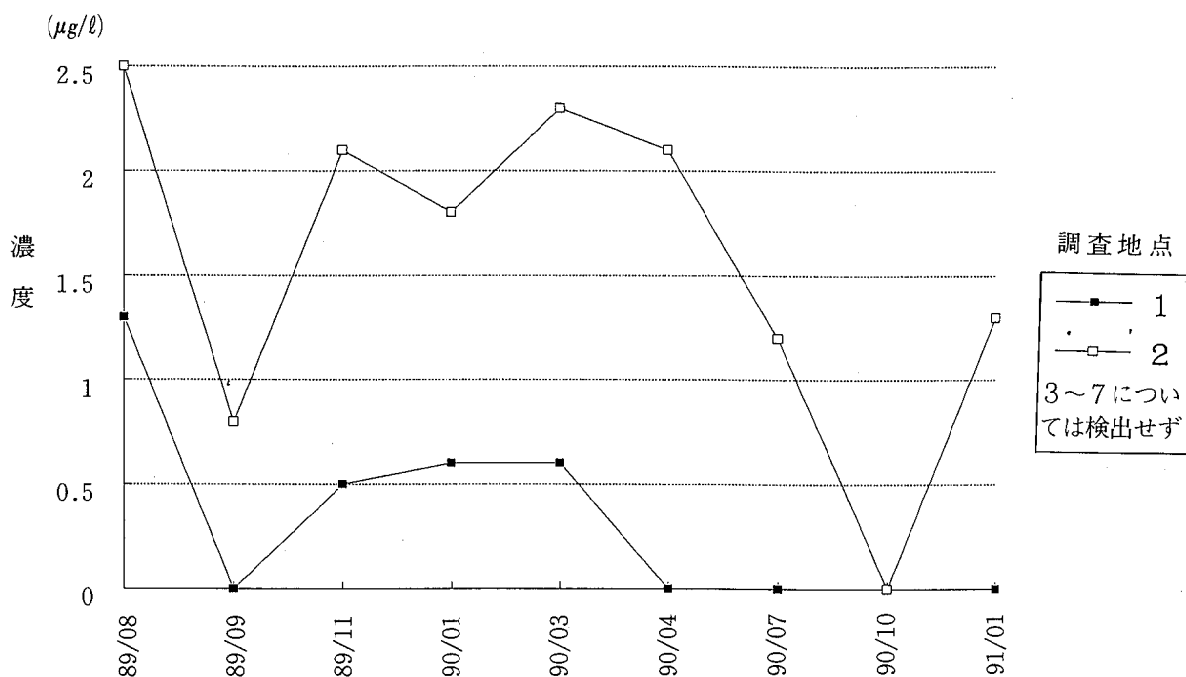


図7 TCE濃度の経時変化

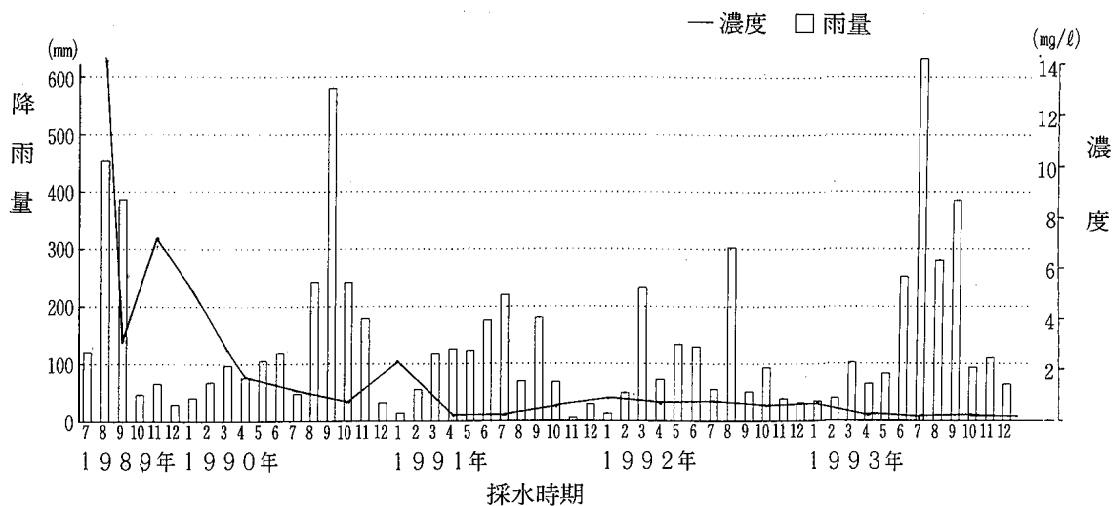


図8 降雨量とPCEとの関係 (②地点)

まとめ

新居浜市内の有機塩素系化合物による汚染地区における5年間の地下水の経年変化等を調査し、以下の知見を得た。

- 1) 1989年の地下水汚染が判明した当初、高濃度で検出されたPCEもその後暫時減少し、基準値を越える地点は1地点のみとなった。
- 2) PCEは土壌との吸着性が強く、比重が大きいため地下水中に沈降し易く一度高濃度に汚染されると長時間に亘り汚染が継続するものと思われる。
- 3) TCEが検出された井戸が存在したがこれらの井戸ではDCEが検出されており、これはPCEが一部分解してTCE及びDCEが生成したものと推定される。このことから、これらの井戸水中の塩素イオンが他の井戸より高い値を示したことは、PCEの分解代謝により塩素イオンが放出されたものと考えられる。
- 4) PCEがある一定濃度以上である場合、降雨量とPCE濃度との間には、1～4ヶ月のタイムラグで降雨後濃度が上昇する関係が認められた。
- 5) 当地域の汚染の範囲は調査結果から判断するかぎりでは、高濃度での広い汚染はなく、

むしろ厚い帯水層中の砂礫層下部で緩やかに移流・分散しているものと推定される。

なお、1994年末現在、地点2の汚染濃度は依然として基準値を越えており、今後とも継続して汚染状況を監視することになっている。

また、本基礎調査をもとに将来土壌分析等の地質調査を追加できれば、PCEの地層及び帯水層中の挙動について更に詳しい解明ができるものと思われる。

文献

- 1) 環境庁水質保全局水質管理課：昭和57年度地下水汚染実態調査結果，1984
- 2) 稲見馬次郎：新居浜の地質，愛媛地学会刊，1978
- 3) 片岡恒他：新居浜市付近における地下水調査報告書，1950
- 4) 地下水問題研究会：地下水汚染理論，1991
- 5) 矢口久美子他：嫌気性土壌細菌によるテトラクロロエチレンの生分解に関する研究，水質汚濁研究，14(7)，479～486，1991
- 6) 渡辺正子他：地下水汚染の機構解明に関する研究（その3），東京都環境科学研究所年報，1993

ノ ー ト

自然放射線等調査 (瀬戸町・三崎町) — 走行サーベイによる空間放射線調査 —

三谷美嶺雄・渡邊郁雄・篠原広充
山本英夫・篠崎由紀・安永章二

はじめに

当センターでは、一般の方々に対しての自然放射線に関する広報並びに自然放射線（バックグラウンド）の実態把握を目的として、平成3年度から5年計画で伊方町及びその周辺市町について、自然放射線等調査を実施している。

既に平成3年度は伊方町、平成4年度は長浜町・保内町を調査し、所報で報告^{1, 2, 3)}している。本報では、平成5年度に瀬戸町及び三崎町において、主要な道路を車で走行しながら空間放射線を調査した結果を報告する。

調査方法

1 調査期間

平成5年7月～平成5年8月

2 調査対象地域

瀬戸町及び三崎町の主要な道路である国道197号(海岸線)、国道197号(頂上線)、県道佐田岬・三崎線、県道鳥井・喜木津線の4路線について調査した。図1に調査ルートを示す。

3 測定方法

モニタリング車の天井（地上高2.5m）に、3"φ×3"NaI(Tl)シンチレーション検出器（応用光研MST-30）を取り付け、検出器から得られたパルス信号を波高分析し、電子回路によってパルス波高に対応するエネルギー荷重演算を行うDBM方式^{4, 5)}により、30秒毎に線量率を算出した。図2にモニタリング車の測定器配置を示す。

なお、走行速度は平均約25km/hであり、各

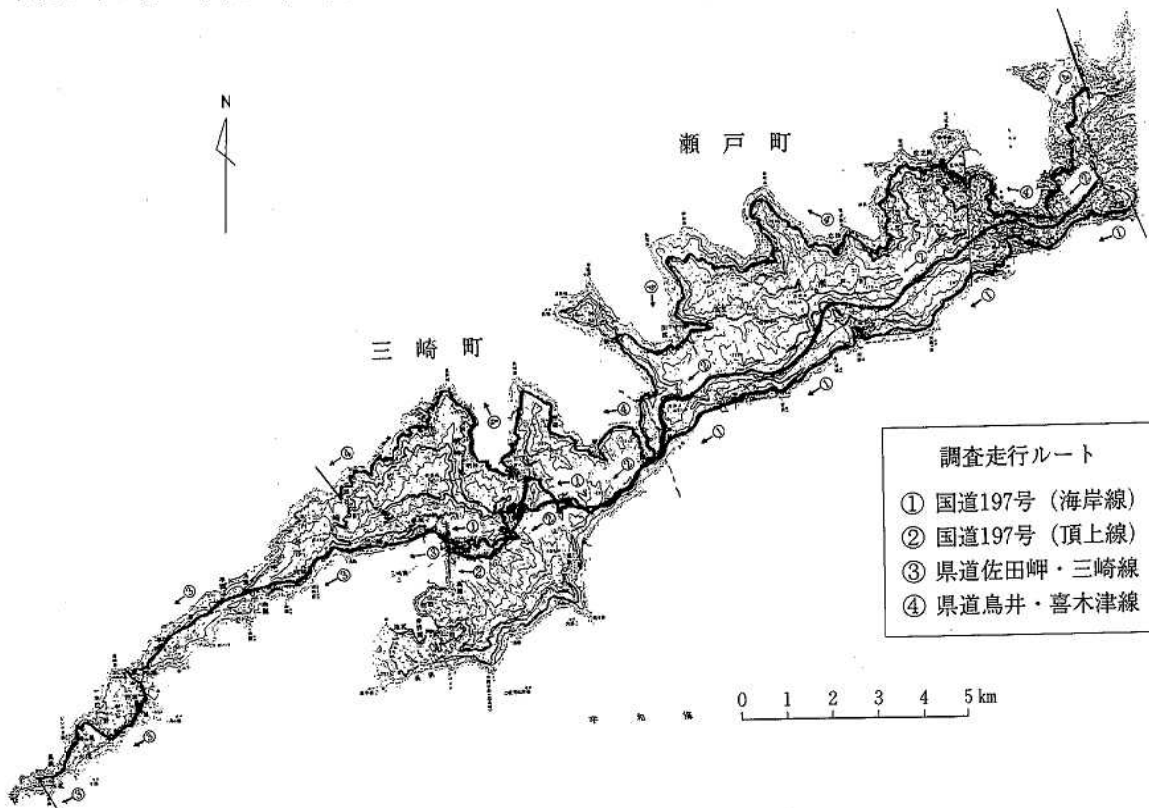


図1 調査ルート

ルート毎にほぼ一定走行となるようにした。

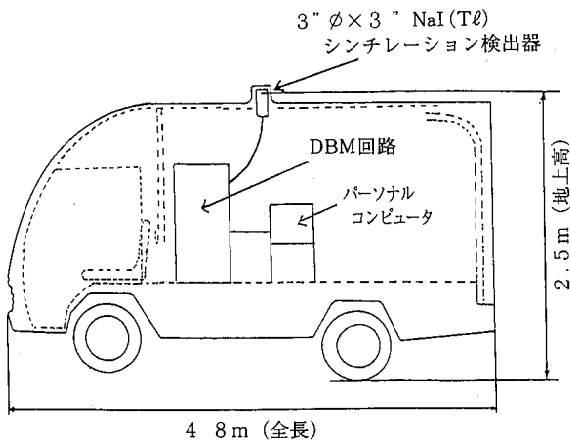


図2 測定器配置図

結果及び考察

走行サーベイの調査結果を表1及び図3～図6に示す。

4路線の線量率は、平均値で15～20nGy/hであり、前年度に調査した長浜町・保内町の15～22nGy/hとほぼ同レベルであった。線量率の変動を路線毎についてみると次のとおりである。

1 国道197号（海岸線）

この路線の線量率は、9～37nGy/hの範囲で変動した。瀬戸町側は緑色片岩地域であり、9～18nGy/h範囲で比較的線量率であったが、瀬戸町と三崎町の境界付近から、三崎町側にかけては、線量率が高かった。三崎町側は、黒色

表1 走行サーベイ結果

単位：nGy/h

走行ルート	年月日 天 候	線量率	
		平均値±標準偏差	線量率 最小値～最大値
国道197号 (海岸線)	H5.7.20 晴れ	17.8±6.3	8.8～36.6
国道197号 (頂上線)	H5.7.13 晴れ	20.2±9.4	8.4～48.7
県道佐田岬・ 三崎線	H5.7.13 晴れ	14.5±2.6	10.4～21.2
県道鳥井・ 喜木津線	H5.8.4 晴れ	16.1±3.3	11.1～35.8

片岩地域で、山肌に黒色片岩が露出しているところもあり、測定器を近づけると線量率が上昇した。前年度に調査した県道長浜・保内線でも、黒色片岩地域で線量率の上昇が見られた³⁾が、今回も地質の違いにより、線量率が上昇したものと考えられる。

2 国道197号（頂上線）

この路線の線量率は、8～49nGy/hの範囲であり、4路線の中で最も変動幅が大きかった。

この路線にはトンネルが多くあり、トンネル内では路面以外にも側面、上部から自然放射線の影響を受けるため、線量率が上昇している。逆に、瀬戸町堀切大橋、塩成橋等では、山肌もなく、路面からの自然放射線の影響も少ないため、線量率が低かった。

3 県道鳥井・喜木津線

この路線の線量率は、11～36nGy/hの範囲で変動した。三崎町の神崎口バス停付近では、

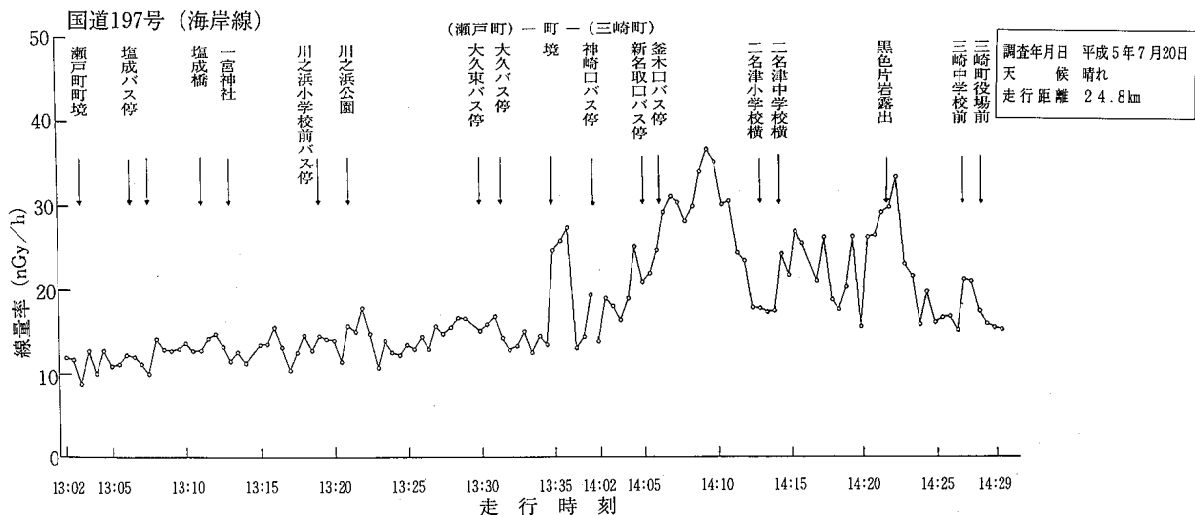


図3 走行サーベイ結果 ①

黒色片岩の影響で線量率が上昇していた。また、瀬戸町三机、佐市、小島等の集落においても、

建築物等の影響で線量率が上昇していた。

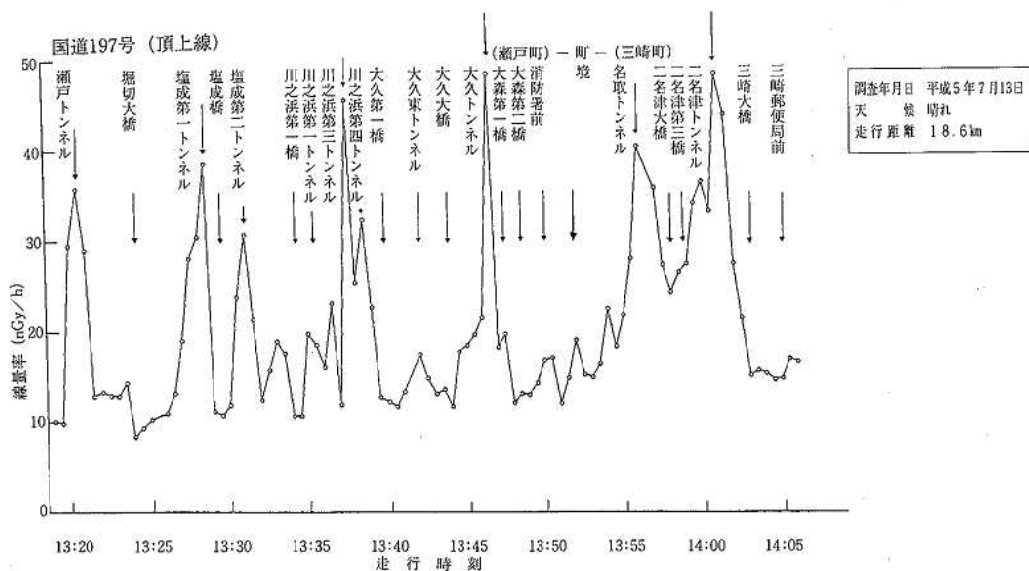


図4 走行サーベイ結果 ②

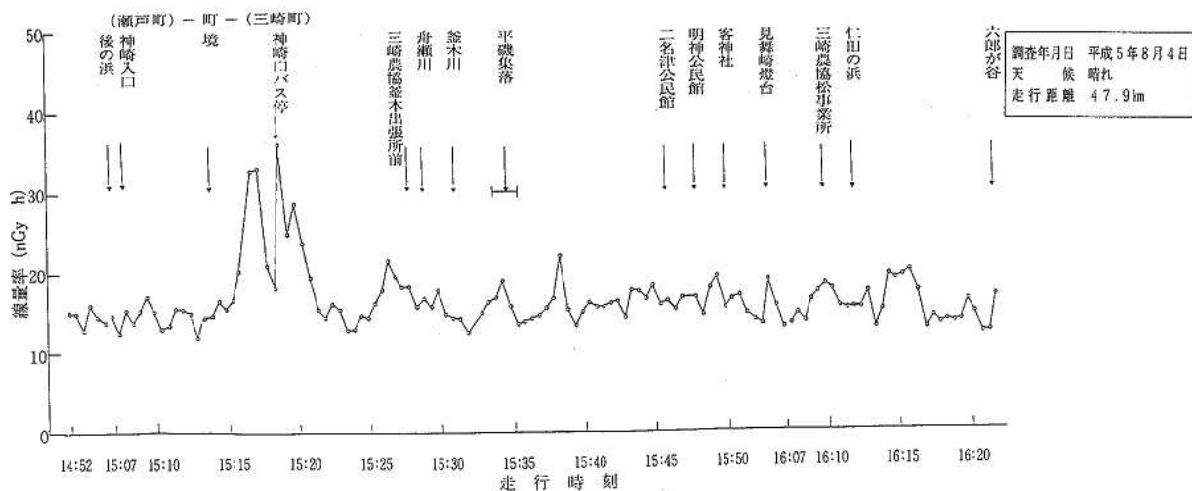
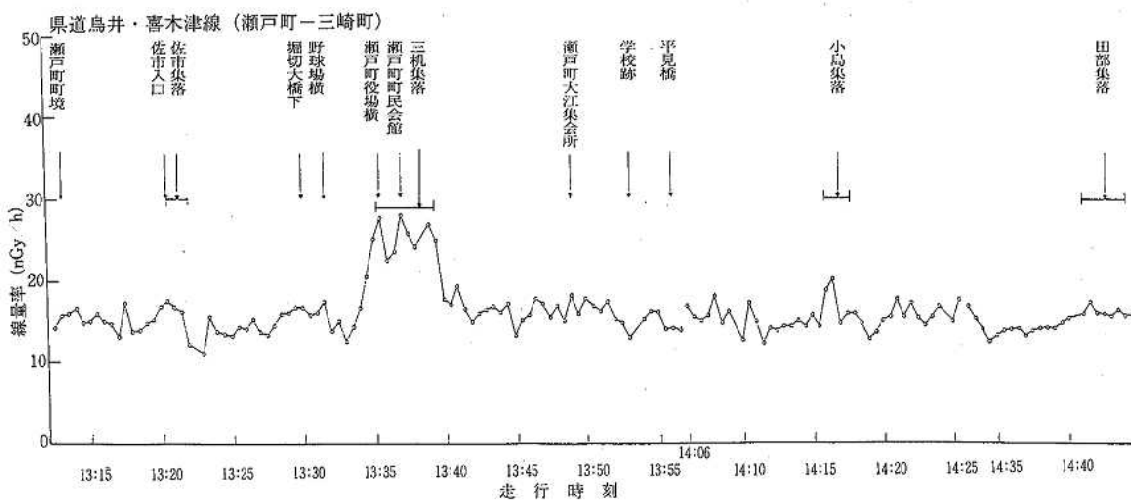


図5 走行サーベイ結果 ③

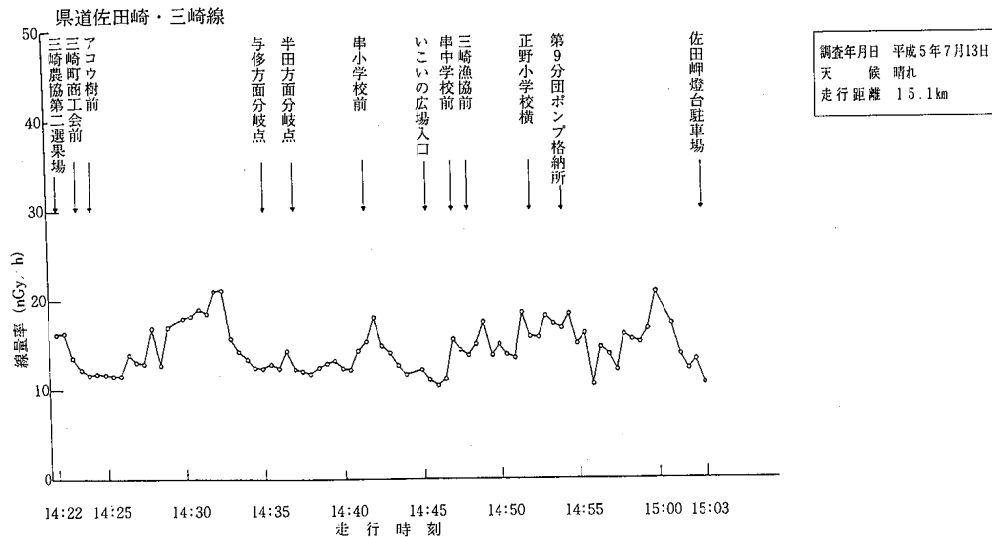


図6 走行サーベイ結果 ④

4 県道佐田岬・三崎線

この路線は、道路幅の大小、山肌の有無、建築物等の影響により、線量率が10～21nGy/hの範囲で変動したが、4路線の中では最も変動幅が小さかった。

まとめ

瀬戸町及び三崎町の主要な4路線について走行サーベイを行い、空間放射線を測定した結果は、平均値で15～20nGy/hであった。

4路線の内、線量率の変動幅が最も大きかったのは、国道197号（頂上線）で8～49nGy/hの範囲であった。この道路にはトンネルが多くあり、トンネル内では路面以外にも側面、上部から自然放射線の影響を受けるため、線量率が高かった。

逆に、線量率の変動幅が小さい路線は、県道

佐田岬・三崎線で10～21nGy/hであった。

また、国道197号（海岸線）の三崎町側では、黑色片岩により線量率が高くなるなど、各路線とも、地質、建物、トンネル・橋の有無等により、線量率が大きく変動することがわかった。

文献

- 1) 大西哲他：愛媛県公害技術センター所報，**12**，92～97，1992
- 2) 篠崎由紀他：愛媛県公害技術センター所報，**13**，24～27，1993
- 3) 安永章二他：愛媛県公害技術センター所報，**13**，28～34，1993
- 4) 森内茂他：日本原子力学会誌，**9**，第9号，518～523，1967.
- 5) 森内茂：JAERI-M 7066，1977.

自然放射線等調査 (瀬戸町・三崎町)

— 固定点における空間放射線調査 —

三谷美嶺雄・篠原広充・渡邊郁雄
山本英夫・篠崎由紀・安永章二

はじめに

当センターでは、平成3年度から5年計画で伊方町及びその周辺市町について、自然放射線等調査を実施しており、平成5年度には瀬戸町及び三崎町で実施した。

本報では、瀬戸町・三崎町内の代表的な地点を選定し、測定器を固定して空間放射線を調査した結果並びに土壌中の放射性核種を測定した結果を報告する。

調査方法

1 調査期間

平成5年7月～平成6年2月

2 調査地点及び調査内容

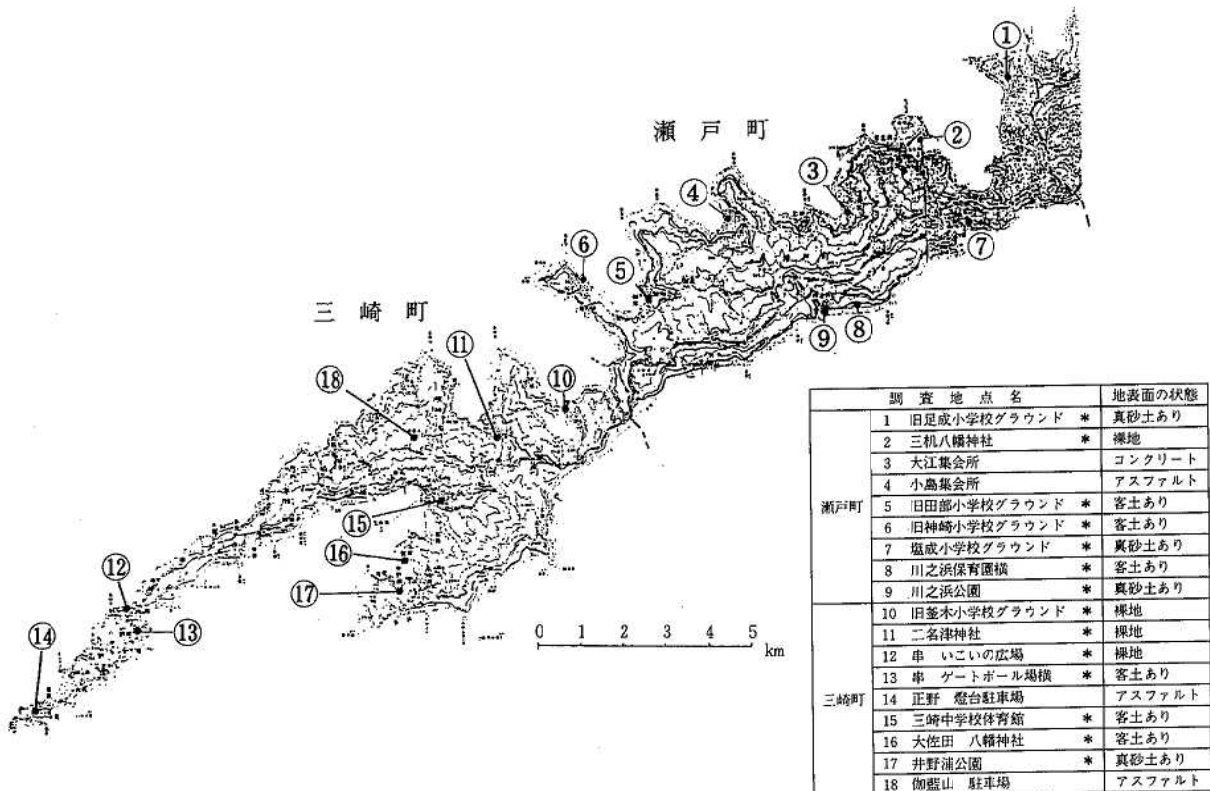
調査地点は図1に示すように、学校や神社な

ど瀬戸町9地点、三崎町9地点、計18地点を選定し、可搬型高純度Ge半導体スペクトロメータによりγ線線量率の測定 (in-situ測定) を実施した。また、同時に球形3"φNaI(Tl)シンチレーションスペクトロメータを用いて宇宙線も測定した。更に、同地点の内、表面土壌が採取可能な14地点については土壌を持ち帰り、高純度Ge半導体スペクトロメータを用いて核種分析 (in-lab測定) を行った。

3 測定方法

(1) 固定点の空間放射線測定

各調査地点の地上1mに可搬型高純度Ge半導体検出器 (PGT: IGC-1520MPS) を下向きに置き、4,000秒間のin-situ測定によりγ線線量率を算出した。



* 土壌採取地点

図1 固定点調査地点図

また、球形3"φNaI(Tl)シンチレーション検出器及びポータブルスペクトルレコーダ^{1,2)}(アロカ:JSM-101)を地上1mに置き1,000秒間測定した後、ピールオフ法³⁾によりγ線線量率、宇宙線線量率を算出した。

(2) 土壌中の放射性核種の測定

採取した表面土壌(深さ3cm程度)を105℃で乾燥後粉碎し、1mmメッシュの篩にかけた後U-8容器に詰め、約1ヵ月間放置し自然放射性核種が放射平衡になるのをまって、高純度Ge半導体スペクトロメータ(検出器:EG&GオルテックGMX-30190)により80,000秒間測定を行った。計算に用いたγ線のエネルギーは、U-系列609.3keV(Bi-214)、Th-系列583.1keV(Tl-208)、K-40が1460.8keVである。

また、放射能測定結果からH A S L方式⁴⁾を

用いて地上1mにおけるγ線線量率(in-lab測定)を求めた。

結果及び考察

1 可搬型高純度Ge半導体スペクトロメータによる測定(in-situ測定)

各地点のγ線線量率は、表1に示すとおり瀬戸町で16~61nGy/h、三崎町で8~63nGy/hであり、平成4年度に調査した長浜町・保内町の結果⁵⁾11~81nGy/hとほぼ同程度であった。

また、人工放射性核種としては、過去の大気圏内核爆発実験等によるフォールアウト由来のものと考えられるCs-137による線量が測定されており、線量率としてND~1.4nGy/hと小さい値であった。なお、三机八幡神社では、Cs-137による線量率が1.4nGy/hであったが、大西

表1 固定点におけるγ線線量率測定結果

測定地点名	高純度Ge半導体検出器(in-situ測定)								球形3"φNaI(Tl)シンチレーション検出器				
	U-系列		Th-系列		K-40		Cs-137		γ線線量率(nGy/h)	γ線線量率(nGy/h)	宇宙線線量率(nGy/h)	総線量率(nGy/h)	
	線量率(nGy/h)	寄与割合(%)	線量率(nGy/h)	寄与割合(%)	線量率(nGy/h)	寄与割合(%)	線量率(nGy/h)	寄与割合(%)					
瀬戸町	1 旧足成小学校グラウンド	6.7	(15)	17.6	(40)	18.4	(42)	0.93	(2.1)	44	38	30	68
	2 三机八幡神社	2.7	(15)	5.9	(34)	7.5	(43)	1.4	(8.0)	18	22	28	50
	3 大江集会所	3.9	(25)	4.4	(28)	7.2	(46)	0.094	(0.6)	16	21	26	47
	4 小島集会所	5.8	(24)	8.8	(37)	9.3	(39)	ND	(0)	24	24	27	51
	5 旧田部小学校グラウンド	5.9	(15)	17.1	(45)	15.2	(40)	0.099	(0.3)	38	42	29	71
	6 旧神崎小学校グラウンド	7.0	(23)	12.5	(40)	11.2	(36)	0.20	(0.6)	31	34	29	63
	7 塩成小学校グラウンド	6.6	(14)	18.0	(39)	21.7	(47)	0.12	(0.3)	46	40	28	68
	8 川之浜保育園横	3.6	(21)	6.5	(38)	7.0	(41)	0.047	(0.3)	17	20	28	48
	9 川之浜公園	9.3	(15)	28.3	(47)	23.2	(38)	ND	(0)	61	45	27	72
三崎町	10 旧釜木小学校グラウンド	3.2	(18)	5.8	(32)	8.9	(49)	0.26	(1.4)	18	13	28	41
	11 二名津神社	5.4	(22)	7.1	(30)	11.4	(47)	0.15	(0.6)	24	32	27	59
	12 串いこいの広場	1.6	(15)	2.3	(21)	6.8	(62)	0.11	(1.0)	11	15	28	43
	13 串ゲートボール場横	3.9	(17)	7.8	(35)	10.7	(48)	ND	(0)	22	23	28	51
	14 正野 燈台駐車場	1.8	(20)	2.6	(29)	4.5	(51)	ND	(0)	8.9	14	28	42
	15 三崎中学校体育館	5.0	(22)	8.8	(38)	9.2	(40)	0.14	(0.6)	23	32	29	61
	16 大佐田八幡神社	5.4	(22)	7.1	(29)	11.4	(47)	0.46	(1.9)	24	30	27	57
	17 大佐田井野浦公園	7.9	(12)	29.2	(46)	26.3	(41)	0.072	(0.1)	63	60	27	87
	18 伽藍山駐車場	1.7	(21)	3.1	(38)	3.3	(40)	0.073	(0.9)	8.2	13	34	47
平均	4.9	(18)	10.7	(39)	11.8	(43)			28	29	28	57	
最大	9.3		29.2		26.3		1.4		63	60	34	87	
最小	1.6		2.3		3.3		ND		8.2	13	26	41	

(注)放射能N±ΔNにおいてN<3ΔNのときは、NDとした。

表2 地表面の状態の違いによるγ線線量率

地表面グループ区分	地表面の状態	件数	地点番号	γ線線量率(nGy/h)		
				平均	最低	最高
A 真砂土等による客土あり	グラウンド等において、他地域の土壌(真砂土等花崗岩質系)を広い範囲に客土している場所	4	1, 7, 9, 17	54	44	63
B 裸地+客土あり	裸地に一部客土が行われたり、芝生を植える等手が加えられている場所	6	5, 6, 8, 13, 15, 16	26	17	38
C 裸地	緑色片岩が多く存在する三波川帯の地質と考えられる場所	4	2, 10, 11, 12	18	11	24
D アスファルト等による舗装	アスファルトやコンクリートで完全に土壌が舗装されている場所	4	3, 4, 14, 18	14	8.2	24

表3 土壌のGe半導体検出器による核種分析結果

町名	No.	地名	場所	U-系列 (Bq/kg乾土)	Th-系列 (Bq/kg乾土)	K-40 (Bq/kg乾土)	Cs-137 (Bq/kg乾土)	γ線線量率 (nGy/h)	
瀬戸町	1	足成	旧足成小学校グラウンド	33.6±1.1	58.6±0.58	891±14	1.6±0.24	91	
	2	三机	八幡神社	8.0±0.87	12.7±1.6	247±9.0	49.4±0.96	22	
	5	田部	旧田部小学校グラウンド	12.4±0.82	35.6±1.1	563±11	2.9±0.28	53	
	6	神崎	旧神崎小学校グラウンド	12.7±0.79	18.8±1.4	367±9.2	3.3±0.28	33	
	7	塩成	塩成小学校グラウンド	19.1±0.85	32.5±1.0	707±12	ND	60	
	8	川之浜	川之浜保育園横	7.5±0.62	9.6±0.75	155±5.9	1.0±0.17	16	
	9	川之浜	川之浜公園	24.0±0.99	52.8±1.6	898±14	ND	83	
	三崎町	10	釜木	旧釜木小学校グラウンド	8.2±0.80	11.2±1.0	298±9.2	8.6±0.43	23
		11	二名津	二名津神社	7.7±0.65	9.2±0.81	217±6.9	1.5±0.19	19
12		串	いこいの広場	5.3±0.32	5.9±0.81	198±7.6	2.1±0.25	15	
13		串	ゲートボール場横	7.5±0.68	12.8±0.92	381±9.4	1.7±0.22	28	
15		三崎	三崎中学校体育館	8.9±0.70	14.7±0.94	415±9.6	3.7±0.28	31	
16		大佐田	八幡神社	9.0±0.75	10.5±0.89	319±8.7	8.7±0.39	24	
17		大佐田	井野浦公園	25.7±1.0	70.8±1.7	643±12	ND	85	
		平均		13.5	25.4	450	—	42	
	最大		33.6	70.8	898	49.4	91		
	最小		5.3	5.9	155	ND	15		

(注) 放射能 $N \pm \Delta$ において、 $N < 3N$ のときは、NDと表示した。

らの調査⁶⁾によると、腐葉土が多く含まれる土壌ほどCs-137を保持する力が強いと報告されており、当神社が林の多い自然地で、外観上も腐葉土の多い土壌であったためと考えられる。

ここで、各地点の地表面の状態を4グループに分類して、線量率を比較したのが表2である。

花崗岩質系の土壌を客土に用いたAグループのγ線線量率は、44~63nGy/h、平均値で54nGy/hと最も高かった一方、緑色片岩由来の土壌が多く含まれていると考えられるCグループは、平均値で18nGy/hであり、Aグループの1/3程度であった。

また、一部客土が行われているBグループは平均値で26nGy/h、アスファルト等で舗装が行われているDグループは平均値14nGy/hでCグループと同程度に低い線量率であった。

以上のように、平成4年度に調査した長浜町・保内町と同様に、瀬戸町・三崎町内においても、地表面の状態によりγ線線量率に大きな幅があることがわかった。

2 球形3"φNaI(Tl)シンチレーションスペクトロメータによる測定

γ線線量率は表1に示すとおり、瀬戸町で20~45nGy/h、三崎町で13~60nGy/hであった。

また、宇宙線線量率は瀬戸町で26~30nGy/h、三崎町で27~34nGy/hであったが、宇宙線は高度が上がるにつれて増加するため、三崎町伽藍山(標高413.6m)の頂上付近にある駐車場で測定値が、34nGy/hと最も高かった。

なお、各地点における球形3"φNaI(Tl)シンチレーションスペクトロメータによるγ線線量率と可搬型高純度Ge半導体スペクトロメータによるγ線線量率(in-situ測定)と比較すると、同程度の値で相関係数0.94**(n=18)が得られた。

3 土壌の核種分析

土壌の核種分析結果とその値からHASL-258⁴⁾の値を用いて計算したγ線線量率(in-lab測定)は表3のとおりであり、土壌の放射能は、平均値でU-系列が14Bq/kg乾土、Th-系列が25Bq/kg乾土、K-40が450Bq/kg乾土であった。また、γ線線量率は15~91nGy/hの範囲であった。

ここで、in-lab測定によるγ線線量率と可搬型高純度Ge半導体スペクトロメータによるin-situ測定のγ線線量率との相関をみると図2のとおりである。

平成4年度に実施した長浜町・保内町の結果

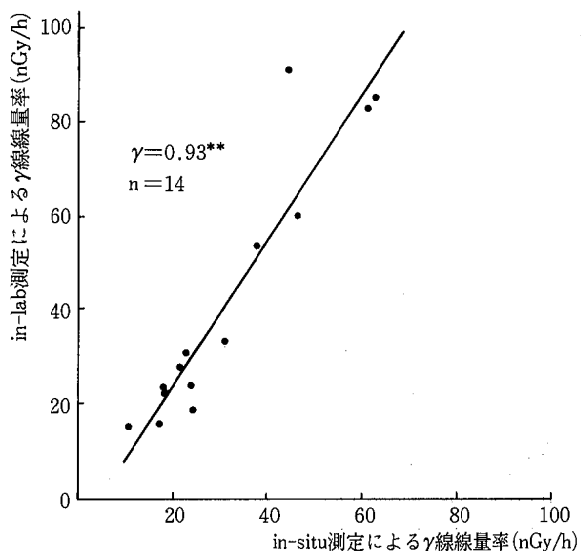


図2 in-situ測定とin-lab測定によるγ線線量率の相関図

と同様に、今回も in-lab 測定と in-situ 測定の相関が高く、同程度の線量率であった。

まとめ

瀬戸町及び三崎町における可搬型高純度 Ge 半導体スペクトロメータによる in-situ 測定のγ線線量率は、瀬戸町で16~61nGy/h、三崎町で8~63nGy/hであったが、地表面の状態を分類して比較すると、花崗岩質系の土壌を客土に用いた場所では、平均値54nGy/hと最も高いγ線線量率であった。また、三波川帯の緑色

片岩由来の裸地では、平均値18nGy/hと低く、客土等地表面の状態によりγ線線量率に大きな幅があることがわかった。

球形3"φNaI(Tl)シンチレーションスペクトロメータによる宇宙線線量率は、26~34nGy/hであり、γ線線量率はin-situ測定によるγ線線量率と同程度の値であった。

また、土壌の in-lab 測定によるγ線線量率も in-situ 測定の結果と相関が高く、同程度の値を示した。

文献

- 1) 熊谷秀和, 岡野真治: 理化学研究所報告, **58**, 1~10, 1982.
- 2) 青野真他: 愛媛県公害技術センター所報, **3**, 36~39, 1981.
- 3) 科学技術庁: 空間γ線スペクトル測定法, 放射能測定シリーズ20, 日本分析センター, 1990.
- 4) Harold L. Beck, Joseph DeCampo, et al.: HASL-258, 1972.
- 5) 篠崎由紀他: 愛媛県公害技術センター所報, **13**, 24~27, 1993.
- 6) 大西哲他: 愛媛県公害技術センター所報, **12**, 92~97, 1992.

調 査 報 告

業種別にみた排水磷濃度調査結果について

山宮芳子・八塚能男・安部暢哉・浮田陽一

はじめに

近年、我が国の内湾・内海の閉鎖性水域では、窒素・磷流入増加に伴う富栄養化問題が深刻な状況にある。このため、平成5年に水質汚濁防止法施行令等が改正され、海洋性植物プランクトンの著しい増殖をもたらすおそれのある海域について、同年10月1日から窒素・磷の排水基準が適用されることとなり、愛媛県では瀬戸内海が対象海域となった。

愛媛県では、瀬戸内海の富栄養化による被害発生を防止するため、瀬戸内海環境保全特別措置法に基づく「磷及びその化合物に係る削減指導方針」を作成し、公共用水域に流入する磷負荷量の削減に努めている。現在の第三次削減指導方針では、平成6年度を目標年度に、瀬戸内海に排出される磷の量を現状（平成元年度の磷排出量4.6トン/日）より増加させないことを削

減の目標としている。

当センターでは、県内の工場・事業場の排水磷濃度の立入調査を実施するとともに、排水処理施設の改善、維持管理の強化等の指導を行っている。今回の水質汚濁防止法施行令等の改正を機に、これまでの調査結果をもとに、東予地域における業種別の排水磷濃度、処理方法の現況と今後の対策について取りまとめたので報告する。

調査方法

1 調査地域概況

東予地域は、図1に示すとおり本県の東部に位置し、北を瀬戸内海に面している。川之江市・伊予三島市にはパルプ・紙・紙加工品製造業が集中しており、新居浜市・西条市・東予市には化学工業、非鉄金属製造業等が立地している。

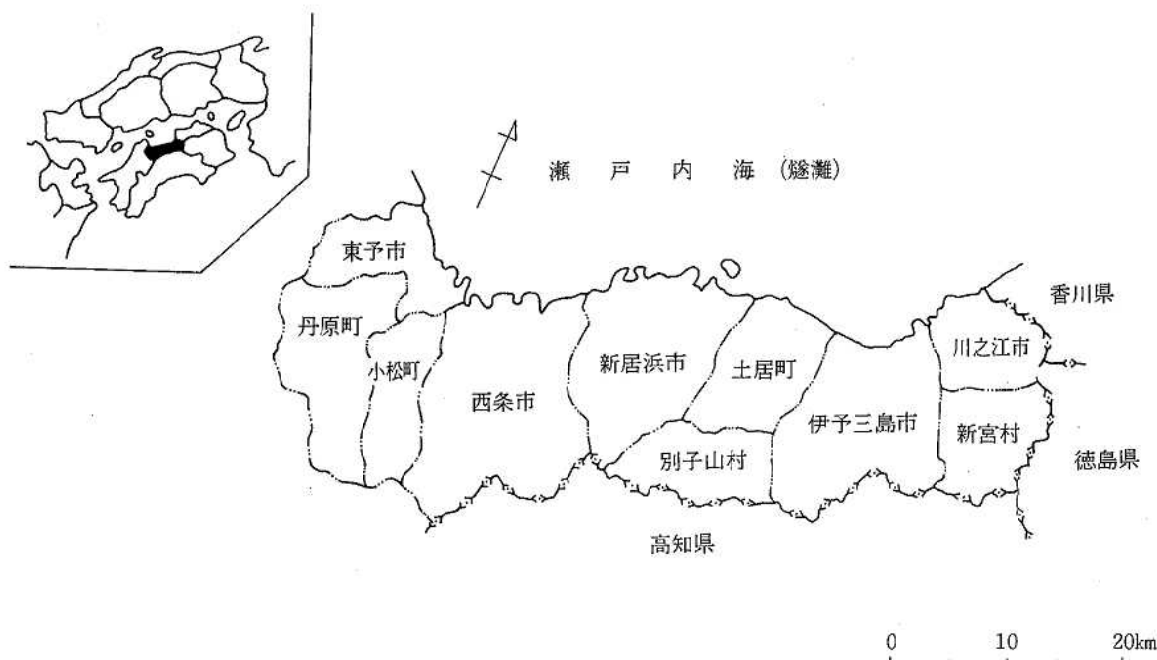


図1 東予地域広域図

表1 業種別の磷濃度調査結果

日本標準産業分類表	業種区分	主な処理方法	事業場数	排水				原水 ^{注)}			
				検体数	最大値 (mg/l)	最小値 (mg/l)	平均値 (mg/l)	検体数	最大値 (mg/l)	最小値 (mg/l)	平均値 (mg/l)
生活系	—	単独浄化槽	14	35	24	1.0	12	—	—	—	—
	—	合併浄化槽	13	34	4.8	0.19	1.9	19	9.6	1.3	4.0
	393	下水処理業	5	23	2.7	0	0.81	—	—	—	—
	891	し尿処理業	6	26	5.5	0.05	1.9	—	—	—	—
産業系	13	飲料品製造業	9	24	5.8	0.01	1.1	13	5.8	0.07	1.7
	18	パルプ・紙・紙加工品製造業	71	350	4.2	0	0.12	50	2.6	0	0.47
	20	化学工業	10	55	3.0	0	0.38	59	191	0	10
	583	ガソリンスタンド	7	14	0.21	0	0.04	—	—	—	—
	7534	理美容業	7	26	7.3	0.01	0.80	26	7.3	0.01	0.80
	91	小・中学校等	10	15	6.8	0.18	3.8	7	10	3.6	6.5
	業系	12	食料品製造業	12	72	33	0.01	2.4	25	27	0.02
146		染色整理業	13	52	9.1	0	1.5	20	13	1.1	7.1
55		弁当・仕出し業	4	12	8.4	0.03	2.5	9	8.4	0.03	1.4
59		一般飲食店	14	36	18	0	5.1	21	18	0.07	5.8
73		旅館	6	23	15	0.02	3.1	11	15	0.02	5.8
87		病院・診療業	18	66	13	0	2.4	22	13	0.05	3.5
751		洗濯業	10	30	41	0	4.1	20	41	0	2.6

注) 排水処理工程が多岐にわたる業種の原水の中には、中間工程水も含む。

2 調査対象事業場

調査対象事業場は、東予支所管内の一律排水基準が適用される排出量50m³/日以上の特定事業場133及びそれ以外の事業場96の計229事業場とした。

3 調査方法

調査対象事業場を生活系4、産業系13の計17業種等に分類し、各業種ごとに、一律排水基準(日間平均値8.0mg/l、最大値16.0mg/l)を指標として、調査結果の評価を行った。

調査期間は平成元年度から平成5年度までの調査結果について評価を行った。

4 水質試験方法

試料採取は、日本工業規格K0102(工場排水

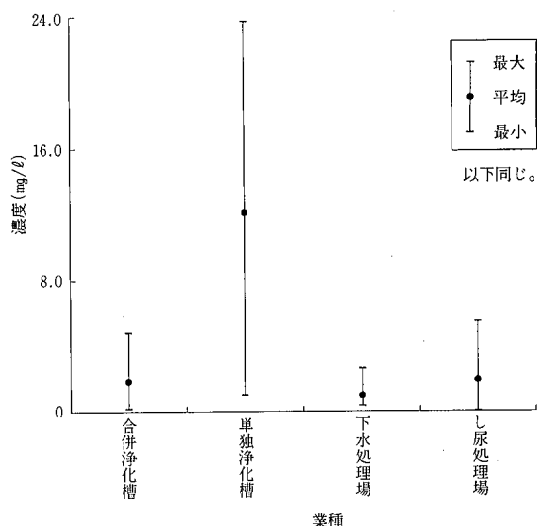


図2 生活系における業種区分別の排水磷濃度

試験法) 3.1に準じた。また、磷含有量の測定は、同規格46.3(ペルオキシ二硫酸カリウム分解等モリブデン青吸光光度法)に拠った。

結果及び考察

業種別の原水及び排水の磷濃度調査結果を表1に示した。また、業種別の排水磷濃度を生活系を図2に示し、産業系の8.0mg/lを越えなかった業種を図3に、越えたことのある業種を図4にそれぞれ処理方法別に示した。さらに、業種別・処理方法別の磷除去率を表2に示した。

各業種別の磷濃度については次のとおりである。

1 生活系における磷濃度

生活系業種の排水磷濃度は図2のとおりである。単独浄化槽では排水磷濃度の平均値が8.0mg/lを越える高い値を示している。一方、合併浄化槽は、最大でも4.8mg/lであった。また、下水処理業やし尿処理業についても、低い値を示した。

生活系の排水磷濃度は単独浄化槽を除き低い傾向にあるが、瀬戸内海に排出される生活系の磷の負荷量は、平成元年度の環境庁調査結果では全体の37.6%を占める¹⁾といわれており、削減対策を講じていく必要がある。特に単独浄化槽については、今後、合併浄化槽への変更や、

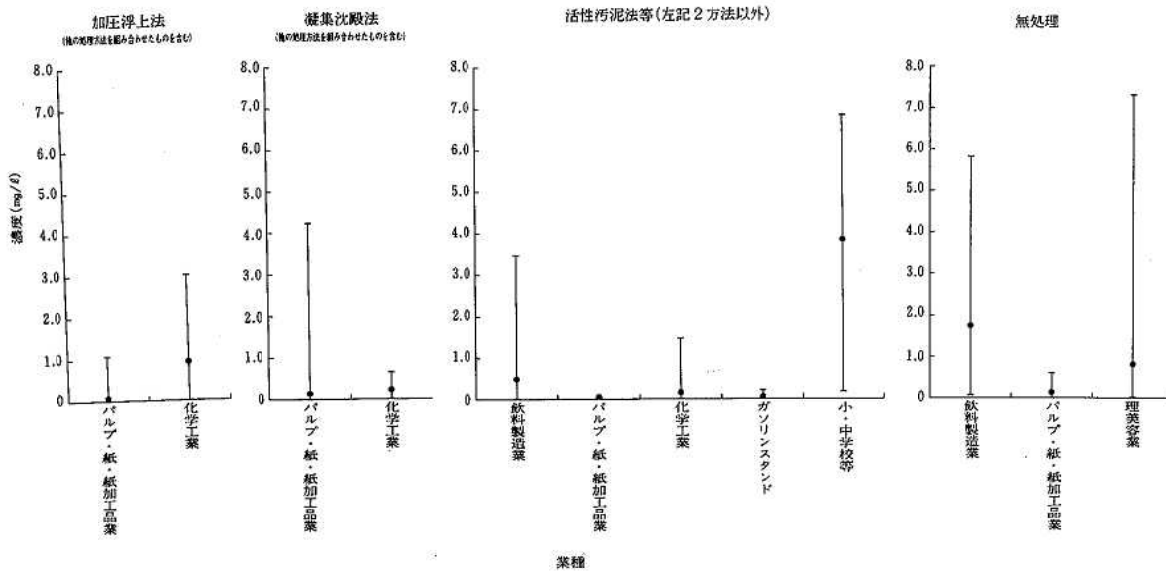


図3 産業系における業種区分別の排水磷濃度 (1)

その維持管理の強化等をさらに推進する必要がある。

2 産業系における磷濃度

(1) パルプ・紙・紙加工品製造業等6業種について

産業系において、排水磷濃度の最大値が8.0 mg/lを越えなかった業種は、図3に示した飲料製造業、パルプ・紙・紙加工品製造業、化学工業、ガソリンスタンド、理美容業及び小・中学校等の6業種であった。

特に、特定事業場数で最も多いパルプ・紙・紙加工品製造業については、原水及び排水ともに磷濃度が低く、また、97%の事業場が、一般

に磷の除去効率が高いと言われている加圧浮上法または凝集沈殿法を取り入れている。

また、新居浜市に多い化学工業については、表1のとおり原水の水質が特に高濃度を示し、原水の最大値と最小値の差は今回の調査の中で最も大きかったが、排水は最大値で8.0mg/lを下回っていた。これは、他の工程水等による希釈や、表2に示すように各種の処理方法の適切な組み合わせ等による総合効果と考えられる。

他の業種の大半は活性汚泥法を取り入れている。また、洗髪剤等を多用し、排水処理施設を有していないことから、高濃度となることが懸念された理美容業については、排水磷濃度が最

表2 業種別・処理方法別の磷除去効果

業種区分	処理方法	検体数	原水 (mg/l)	処理水 (mg/l)	除去率 (%)
生活系業種	合併浄化槽(活性汚泥法、接触バッキ法)	18	4.1	2.1	49
パルプ・紙・紙加工品製造業	凝集沈殿法	15	0.21	0.02	90
	加圧浮上法	5	0.37	0.02	95
	活性汚泥+凝集沈殿法	8	0.81	0.31	62
	加圧浮上+活性汚泥法	5	1.0	0.16	84
化学工業	凝集沈殿+活性汚泥法	2	6.1	4.6	25
	中和沈殿+活性汚泥法	3	35	6.4	82
	活性汚泥法	5	1.1	0.62	44
	還元処理法	2	0.34	0.03	91
小・中学校等	合併浄化槽(活性汚泥法、接触バッキ法)	7	5.4	5.3	2
染色整理業 一般飲食店 病院・診療業	活性汚泥法	15	6.7	6.2	7
	合併浄化槽(接触バッキ法)	3	3.7	4.0	-8
	合併浄化槽(接触バッキ法)	5	3.3	2.8	15

注) 処理施設前の原水と処理施設通過後の処理水をほぼ同時に採水し、水質調査した結果から除去率を算定した。

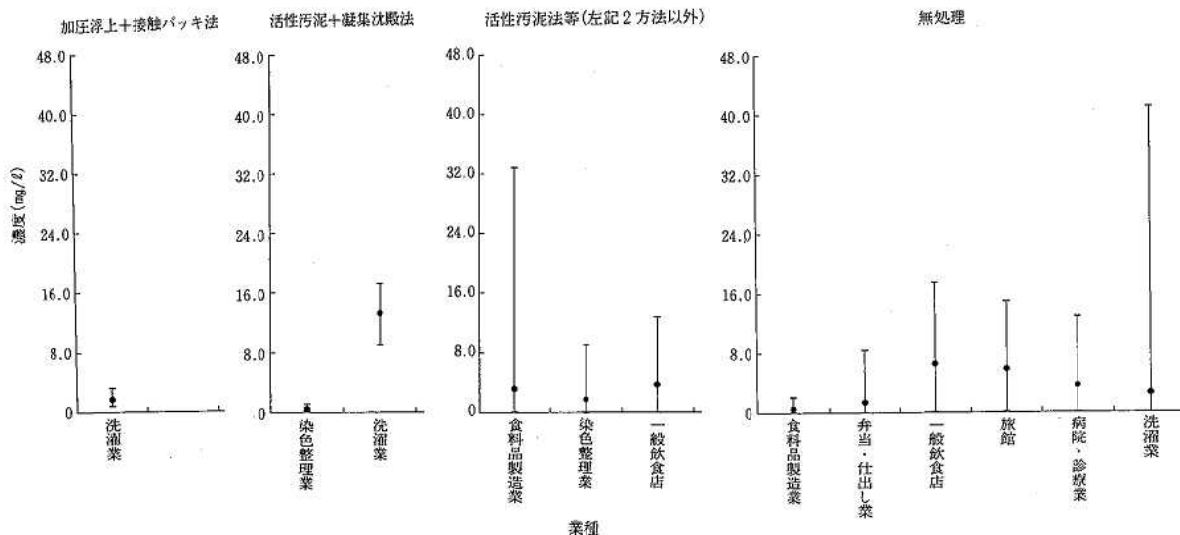


図4 産業系における業種区分別の排水磷濃度 (2)

大で7.3mg/lであった。

(2) 食品品製造業等7業種について

排水磷濃度が8.0mg/lを越えたことのある業種は、図4に示した食品品製造業、染色整理業、弁当・仕出し業、一般飲食店、旅館、病院・診療業及び洗濯業の7業種であり、今後重点的に対策を検討していく必要があると考えられる。

ア 食品品製造業

この業種は製造品目が多岐にわたっているため、排水磷濃度調査結果を製造品目別に図5に示した。食品品製造業の中で、排水磷濃度の最大値が8.0mg/lを越えていたのは、肉製品製造業、冷凍水産食品製造業及び味噌製造業であった。これらについては、ほとんどの事業場で活性汚泥法を採用しており、特に冷凍水産食品製造業では、排水磷濃度に大きな幅が見られた。この業種に関しては、製造工程、排水処理方法等の検討が必要である。

イ 染色整理業

西条市・東予市に多いこの業種は、表1のとおり、原水が最大13mg/l、平均7.1mg/lと高濃度である。活性汚泥法のみで処理を行っている事業場では、表2に示すように除去効率も低く、また排水磷濃度が8.0mg/lを越える場合もあった。一方、凝集沈殿+活性汚泥法等を取り入れている事業場では、排水磷濃度が8.0mg/lより

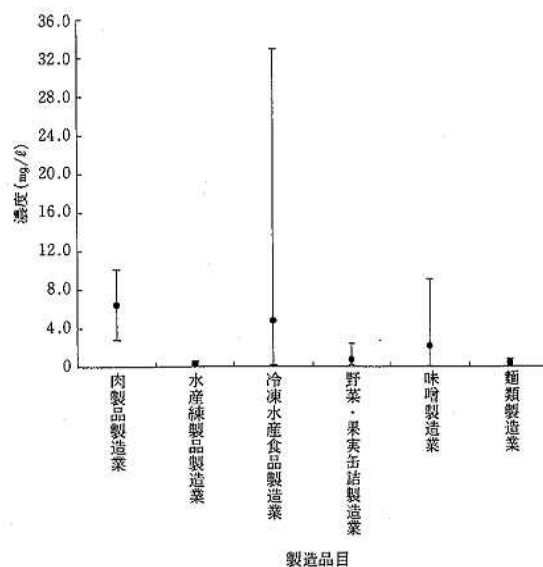


図5 食品品製造業の製造品目別排水磷濃度

低い値を示した。この業種は使用薬剤や繊維の種類が多様なため、物理化学処理法や生物処理法を組み合わせたものが効果的である²⁾と考えられる。

ウ 弁当・仕出し業等4業種

弁当・仕出し業、一般飲食店、旅館及び病院・診療業の排水は、生活系と類以しており、時間変動が大きいいため、その磷濃度の最大値と最小値との差が比較的大きい。これらの業種のほとんどの事業場は規制対象とはならないが、磷削減対策を講じていくうえからは、廃水処理方法の検討や、公共下水道への接続等の指導が必要である。

エ 洗濯業

この業種についても、小規模事業場が多く、排水磷濃度の最大値と最小値の差が大きい。この業種で排水基準が適用になる特定事業場は2事業場であり、それぞれ加圧浮上+接触バッキ法と活性汚泥+凝集沈殿法で処理を行っていた。図4のとおり後者では全ての排水磷濃度が8.0mg/lを越えていたが、これは、有磷洗剤を使用していたことが原因であり、無磷洗剤への変更を指導した結果、平成6年4月1日以降の排水磷濃度は8.0mg/l未滿となっている。なお、小規模事業場については、弁当・仕出し業等と同様の対策が必要である。

まとめ

以上より、本県の東予地域における主な業種の磷排出の現況及び今後の対策は以下のとおりであった。

- 1) 生活系の排水磷濃度は、単独浄化槽を除き低い。単独浄化槽については、合併浄化槽への変更や維持管理の強化等をさらに推進する必要がある。
- 2) 飲料製造業、パルプ・紙・紙加工品製造業、化学工業、ガソリンスタンド、理美容業及び小・中学校等の6業種は、全ての排水磷濃度が8.0mg/lを下回っていた。

特に事業場数の多いパルプ・紙・紙加工品製造業は、原水濃度も低かった。

なお、化学工業では、原水磷濃度が高濃度であったが、複数の処理方法の組み合わせ等の効果で排水磷濃度が低くなっている。

- 3) 食料品製造業、染色整理業、弁当・仕出し業、一般飲食店、旅館、病院・診療業及び洗濯業の7業種については、排水磷濃度の最大値が8.0mg/lを越えた場合があり、今後重点的に対策を検討していく必要がある。

食料品製造業の大半は活性汚泥法を採用しており、製造品目によっては、製造工程、排水処理方法等の検討が必要である。

染色整理業では、使用薬剤が多様なため、物理化学処理法や生物処理法を組み合わせたものが効果的であると考えられる。

洗濯業では、洗濯用洗剤種を変えることで磷濃度の低下が見込まれる。

洗濯業及び弁当・仕出し業等4業種に多い小規模事業場については、排水処理施設の設置や公共下水道への接続等の対策が必要である。

参考文献

- 1) 稲森悠平他：窒素・磷対策の最新動向と除去技術，資源環境対策，29，8，12～23，1993
- 2) 環境庁水質保全局：小規模事業場排水処理対策全科—小規模事業場排水対策指導指針—，1989

ゴルフ場農薬調査結果について

松原 洋・菊田正則・余田幸作・和田修二

はじめに

ゴルフ場で使用される農薬による水質汚濁の防止に係る暫定指導指針(平成2年7月環境庁)が設定されたことに伴い、愛媛県では、「愛媛県ゴルフ場農薬適正使用指導要綱」(平成元年9月)の対象となるゴルフ場について同暫定指針に基づく水質調査を平成3年4月から実施している。

この調査では、ゴルフ場の排水及び周辺河川水について年2回の調査を21農薬(平成3年8月からは30農薬)について実施しており、今回、平成3年度から5年度までの調査結果を取りまとめたので報告する。

調査方法

1 調査ゴルフ場

県内で9ホール以上のホールを有する29のゴルフ場で調査を開始し、平成5年度からは新たに完成した1個所を追加し30のゴルフ場(図1)で実施した。

2 試料採取場所

排水の採取場所は、各ゴルフ場で最大の集水面積を有する排水口(一部ゴルフ場については調整池又は地下水)及びその排水水が最も影響

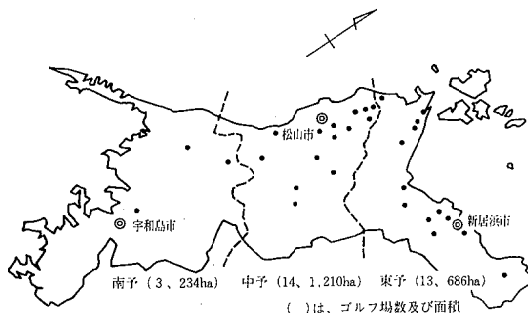


図1 調査対象ゴルフ場の分布状況

すると考えられる河川からそれぞれ1か所を選定した。

3 分析方法及び装置

分析は、「ゴルフ場使用農薬に係る検査方法」(平成2年5月、平成3年8月厚生省)に基づいて行った。

農薬ごとの分析装置及び検出限界値を表1に示す。

結果

1 排水水からの農薬検出状況

各年度ごとの調査結果を表2に示す。

表1 ゴルフ場農薬分析装置及び検出限界値

	農 薬 名	分析装置	検出限界値(mg/l)
殺 虫 剤	イソキサチオン	GC-MS	0.0008
	イソフェンホス	GC-MS	0.0001
	クロルピリホス	GC-MS	0.0004
	ダイアジノン	GC-MS	0.0005
	トリクロロホン (DEP)	GC-MS	0.001
	*ピリダフェンチオン	GC-MS	0.0002
	フェニトロチオン (MEP)	GC-MS	0.0003
	イソプロチオラン	GC-MS	0.001
	イプロジオン	GC-MS	0.001
	*エトリジアゾール (エクロメゾール)	GC-MS	0.0004
殺 菌 剤	オキシ銅 (有機銅)	HPLC	0.001
	キャプタン	GC-MS	0.001
	クロタロニル (TPN)	GC-MS	0.001
	*クロロネブ	GC-MS	0.001
	チウラム (チラム)	HPLC	0.0006
	トルクロホスメチル	GC-MS	0.001
	フルトラニル	GC-MS	0.001
	*ベンシクロン	GC-MS	0.001
	*メプロニル	GC-MS	0.001
	アシュラム	HPLC	0.001
除 草 剤	シマジン (CAT)	GC-MS	0.0003
	*テルブカルブ (MBPMC)	GC-MS	0.001
	ナプロバミド	GC-MS	0.001
	ブタミホス	GC-MS	0.0004
	プロビザミド	GC-MS	0.0008
	ベンスリド (SAP)	GC-MS	0.001
	*ベンフルラリン (ベスロジン)	GC-MS	0.001
	ペンディメタリン	GC-MS	0.001
	*メコプロップ (MCPP)	GC-MS	0.0005
	*メチルダイムロン	GC-MS	0.001

注(1) *は、平成3年7月指針値追加9農薬(以下、表2、3において同じ)
 (2) 分析装置のうちGC-MS(質量分析計)は、(GC HP-5890A、MS HP-5989A)、HPLC(高速液体クロマトグラフ)は、(Waters LC Module I)を使用

表2 排水水からの農薬検出状況（平成3年度～5年度）

（単位：mg/l）

農薬名	平成3年度	平成4年度	平成5年度	環境庁暫定 指導指針値	
	検出濃度範囲（検出回数）	検出濃度範囲（検出回数）	検出濃度範囲（検出回数）		
殺虫	イソキサチオン	ND	ND	ND	0.08
	イソフェンホス	ND	ND	ND	0.01
	クロルピリホス	ND	ND	ND	0.04
殺菌	ダイアジノン	ND～0.0023(1)	ND	ND	0.05
	トリクロロホン（DEP）	ND	ND～0.001（ 2）	ND	0.3
	*ピリダフェンチオン	ND	ND～0.0002(1)	ND～0.0002(1)	0.02
	フェニトロチオン（MEP）	ND	ND	ND	0.1（0.03）
	イソプロチオラン	ND～0.034（ 2）	ND	ND	0.4
	イプロジオン	ND	ND	ND	3
	*エトリジアゾール（エクロメゾール）	ND	ND	ND	0.04
	オキシニル銅（有機銅）	ND	ND	ND	0.4
	キャプタン	ND	ND	ND	3
	クロタロニル（TPN）	ND	ND	ND	0.4
殺菌	*クロロネブ	ND	ND	ND	0.5
	チウラム（チラム）	ND	ND～0.0016(3)	ND	0.06
	トルクロホスメチル	ND	ND	ND	0.8
	フルトラニル	ND～0.023（16）	ND～0.005（ 8）	ND～0.010（11）	2
	*ベンシクロン	ND	ND～0.003（ 1）	ND	0.4
	*メプロニル	ND	ND	ND	1
	アシュラム	ND～0.001（ 1）	ND～0.014（ 3）	ND～0.002（ 1）	2
	シマジン（CAT）	ND～0.0016(16)	ND～0.0094(22)	ND～0.0022（17）	0.03
	*テルブカルブ（MBPMC）	ND～0.010（ 6）	ND～0.053（12）	ND～0.008（ 8）	0.2
	ナプロバミド	ND	ND～0.004（ 1）	ND	0.3
除草	ブタミホス	ND	ND	ND	0.04
	プロピザミド	ND～0.0017(2)	ND～0.0021(3)	ND～0.0068(7)	0.08
	ベンスリド（SAP）	ND	ND～0.006（ 1）	ND	1
	*ベンフルラリン（ベスロジン）	ND	ND	ND	0.8
	ペンディメタリン	ND～0.001（ 1）	ND	ND	0.5
	*メコプロップ（MCP）	ND	ND～0.0022(2)	ND	0.05
	*メチルダイムロン	ND	ND	ND	0.3
	計（検出回数）	（ 4 5）	（ 5 9）	（ 4 5）	指針値超過件数
	調査ゴルフ場数	2 9	2 9	3 0	0

注（1）30個所のゴルフ場のうち、常時排水のない6個所については、調整池(5)及び地下水(1)を採水
（2）フェニトロチオンの指針値は、平成4年12月21日から0.03

3年間の調査で、環境庁の暫定指導指針値を超過する排水はなかった。

検出された各農薬のうちで最も濃度が高いのは、平成4年度の除草剤テルブカルブ0.053mg/lであるが、この値は同指針値の約1/4である。また、暫定指導指針値に最も近い濃度で検出されたのは、平成4年度の除草剤シマジンの0.0094mg/lで、同指針値の約1/3である。3年間を通じた検出状況では、除草剤が最も多く検出されており、検出された農薬の約70%を占めている。

2 河川水からの農薬検出状況

各年度ごとの調査結果を表3に示す。

過去3年間で厚生省の水道水の暫定水質目標値を超過するものはなかった。

検出された農薬で最も濃度が高かったのは排

出水と同じ平成4年度のテルブカルブで、目標値の約1/2である。また、目標値に近かったのは、平成4年度の除草剤プロピザミドで目標値の約2/3である。

検出回数の多いシマジンの最高濃度は平成5年度の0.0029mg/lで目標値の約1/10となっている。

なお、3年間を通じて最も多く検出されたのは、排水と同じ除草剤であり、全体の約50%を占めている。

3 農薬の検出回数等

（1）農薬の検出回数

排水水の農薬検出回数とその毒性分類¹⁾を、表4に示す

3年間を通じて、排水中に最も多く検出されたのはシマジンであり、次いで殺菌剤のフルト

表3 排水水からの農薬検出状況（平成3年度～5年度）

（単位：mg/l）

農薬名	平成3年度	平成4年度	平成5年度	厚生省暫定 水質目標値	
	検出濃度範囲（検出回数）	検出濃度範囲（検出回数）	検出濃度範囲（検出回数）		
殺虫剤	イソキサチオン	ND	ND	ND	0.008
	イソフェンホス	ND	ND	ND	0.001
	クロルピリホス	ND	ND	ND	0.004
殺菌剤	ダイアジノン	ND	ND	ND	0.005
	トリクロロホン（DEP）	ND	ND～0.001（1）	ND	0.03
	*ピリダフェンチオン	ND	ND	ND	0.002
殺菌剤	フェニトロチオン（MEP）	ND～0.001（1）	ND	ND	0.01（0.003）
	イソプロチオラン	ND～0.005（5）	ND～0.002（2）	ND	0.04
	イプロジオン	ND	ND	ND	0.3
殺菌剤	*エトリジアゾール（エクロメゾール）	ND	ND	ND	0.004
	オキシシン銅（有機銅）	ND	ND	ND	0.04
	キャプタン	ND	ND	ND	0.3
殺菌剤	クロロタロニル（TPN）	ND	ND	ND	0.04
	*クロロネブ	ND	ND	ND	0.05
	チウラム（チラム）	ND	ND	ND	0.006
殺菌剤	トルクロホスメチル	ND	ND	ND	0.08
	フルトラニル	ND～0.004（10）	ND～0.003（4）	ND～0.005（3）	0.02
	*ベンシクロン	ND	ND	ND	0.04
殺菌剤	*メプロニル	ND	ND	ND	0.1
	アシュラム	ND	ND	ND	0.2
	シマジン（CAT）	ND～0.0004（7）	ND～0.0022（8）	ND～0.0029（6）	0.003
除草剤	*テルブカルブ（MBPMC）	ND～0.007（2）	ND～0.010（5）	ND～0.002（1）	0.02
	ナプロバミド	ND	ND	ND	0.03
	ブタミホス	ND	ND	ND	0.004
除草剤	プロピザミド	ND	ND～0.0053（2）	ND	0.008
	ベンスリド（SAP）	ND	ND	ND	0.1
	*ベンフルラリン（ベスロジン）	ND	ND	ND	0.08
殺菌剤	ペンディメタリン	ND	ND	ND	0.05
	*メコプロップ（MCP）	ND	ND	ND	0.005
	*メチルダイムロン	ND	ND	ND	0.03
計（検出回数）	（25）	（22）	（10）	指針値超過件数 0	
調査ゴルフ場数	27	27	28		

注（1）ゴルフ場のうち2箇所は、周辺に河川がないため調査していない
（2）フェニトロチオンの指針値は、平成4年12月21日から0.003

表4 農薬別検出回数と毒性分類（排水水）

3年度			4年度			5年度		
農薬名	検出回数	毒性 （急性毒・魚毒）	農薬名	検出回数	毒性 （急性毒・魚毒）	農薬名	検出回数	毒性 （急性毒・魚毒）
シマジン	16	普通物・A類	シマジン	22	普通物・A類	シマジン	17	普通物・A類
フルトラニル	16	普通物・B類	テルブカルブ	12	普通物・A類	フルトラニル	11	普通物・B類
テルブカルブ	6	普通物・A類	フルトラニル	8	普通物・B類	テルブカルブ	8	普通物・A類
イソプロチオラン	2	普通物・B類	チウラム	3	普通物・C類	プロピザミド	7	普通物・A類
プロピザミド	2	普通物・A類	アシュラム	3	普通物・A類	ピリダフェンチオン	1	普通物・B類
ダイアジノン	1	劇物・B-S類	プロピザミド	3	普通物・A類	アシュラム	1	普通物・A類
ペンディメタリン	1	普通物・B類	トリクロロホン	2	劇物・B類			
アシュラム	1	普通物・A類	メコプロップ	2	普通物・B類			
			ピリダフェンチオン	1	普通物・B類			
			ベンシクロン	1	普通物・B類			
			ナプロバミド	1	普通物・A類			
			ベンスリド	1	普通物・B類			
8	45	—	12	59	—	6	45	—

表5 農薬別検出回数と毒性分類（河川水）

3 年 度			4 年 度			5 年 度		
農 薬 名	検出回数	毒 性 (急性毒・魚毒)	農 薬 名	検出回数	毒 性 (急性毒・魚毒)	農 薬 名	検出回数	毒 性 (急性毒・魚毒)
フルトラニル	10	普通物・B類	シマジン	8	普通物・A類	シマジン	6	普通物・A類
シマジン	7	普通物・A類	テルブカルブ	5	普通物・A類	フルトラニル	3	普通物・B類
イソプロチオラン	5	普通物・B類	フルトラニル	4	普通物・B類	テルブカルブ	1	普通物・A類
テルブカルブ	2	普通物・A類	イソプロチオラン	2	普通物・B類			
フェントロチオン	1	普通物・B類	プロピザミド	2	普通物・A類			
			トリクロルホン	1	劇 物・B類			
5	25	—	6	22	—	3	10	—

ラニル、除草剤のテルブカルブとなっている。検出回数中にこれら3農薬が占める割合は、約80% (116/149) となっている。

このうちシマジンについては、環境への流出が全国的にも顕著であることから、平成6年7月施行された農薬取締法施行令の一部改正で「水質汚濁性農薬」に指定され使用が禁止されており、今後の検出回数の減少が期待される。

また平成4年度の魚毒C類（魚への毒性が強く、河川、湖沼、海域及び養殖池に飛散又は流入する恐れのある場所では使用せず、これらの場所以外でも一時に広範囲には使用しない。）の殺菌剤チウラムが検出されているが、5年度には検出されていない。

愛媛県では、平成5年3月に策定された「愛媛県ゴルフ場病虫害等防除指針」により、ゴルフ場では毒物及び魚毒D類（水質汚濁性農薬）は使用しない。また、特に芝に対しては、魚毒C類に該当する農薬は使用しないよう規定し、チウラムを指針から除外している。このため、平成5年4月以降、各ゴルフ場に対してはチウラムの使用禁止が指導されており、5年度に続いて今後は、排出水からチウラムが検出されなくなるものと考えられる。

河川水の農薬検出回数とその毒性分類を表5

に示す。

排水中で、農薬の総検出回数の約80%に達する3種類（シマジン、フルトラニル、テルブカルブ）がここでも約80%の検出割合となっている。

使用が中止されることとなったシマジンを除くこれら農薬を使用するに当たっては、農薬管理担当者（グリーンキーパー等）は、ゴルフ場の地形、周辺の利水状況、気象条件等を十分検討し、環境の影響を最小限とすることができる散布を行うことが必要である。

(2) 薬剤別検出状況

排出及び河川水の薬剤（薬効）別検出状況では、平成3年の河川水を除いて除草剤が一番多く検出されている。（図2）

県下のゴルフ場における農薬使用実績を愛媛県の環境白書²⁾で見ると表6のとおりであり、

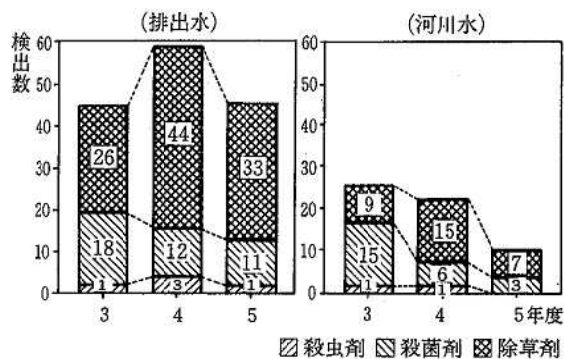


図2 薬剤別検出状況

表6 ゴルフ場農薬使用実績

区 分	元 年		2 年		3 年		4 年	
	使用量 (kg)	種類	使用量 (kg)	種類	使用量 (kg)	種類	使用量 (kg)	種類
殺 虫 剤	11,892	20	19,182	23	9,787	18	10,229	24
殺 菌 剤	7,504	29	5,447	32	5,787	31	6,459	37
除 草 剤	8,057	26	7,836	29	8,573	31	8,411	34
計	27,453	75	32,465	84	24,147	80	25,099	95

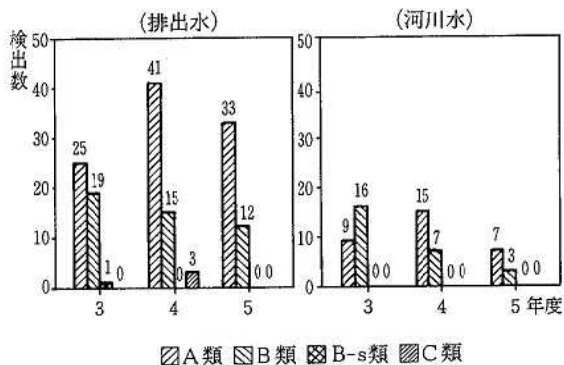


図3 魚毒性からみた農薬検出状況

平成元年から4年までの殺虫剤・殺菌剤・除草剤の使用量は、ほぼ横ばいの状況となっている。

(3) 魚毒性からみた農薬検出状況

魚毒性からみた農薬検出状況を図3に示す。

排水では、いずれの年度も魚毒A類（通常的使用方法では問題とならない。）の検出回数が最も多くなっている。また、魚毒B類（通常的使用方法では問題ないが一時に広範囲に使用する場合は十分に注意する。）該当の農薬検出回数は、減少の傾向がある。

平成3年度に魚毒B-S類（B類中で特に注意を要するもので、養魚田及び養魚池などの周辺では使用しない。）、平成4年度には魚毒C類の農薬が検出されているが、平成5年度には、これらに該当する農薬は検出されておらず、また河川水でも検出されていない。

また、排水や河川での検出回数の多い除草剤の全薬剤に占める使用割合は30%前後となっており、他の薬剤と比較して、除草剤は使用量の割に検出されることが多い傾向にあると考えられる。

広大な面積を有するゴルフ場での雑草管理を効率よく実施するため、除草剤は広範囲（全面）に散布されることがある農薬であり、流出しにくく毒性も低い除草剤の選択使用が望まれる。

まとめ

ゴルフ場で使用される農薬による水質汚濁の防止に係る暫定指導指針や水道水の暫定水質目標が設定されたことをうけ、ゴルフ場農薬調査を実施しているが、平成3年度から5年度までの調査結果は、次のとおりであった。

- 1) 排水で、環境庁が定めた指針値を越えるものはなかった。
- 2) 河川水で、厚生省が定めた水道水の水質目標値を越えるものはなかった。
- 3) 3年間の集計で、検出回数が最も多かったのは除草剤シマジンであった。
- 4) 検出された薬剤の中では、除草剤の比率が高く排水で約70%、河川で約50%であった。
- 5) 魚毒性からみた検出状況では、養魚池周辺等で使用しないこととされているB-S類（殺虫剤ダイアジノン）が平成3年度に、C類（殺菌剤チウラム）が平成4年度に排水から検出されているが、平成5年度には検出されておらず、河川水からは一度も検出されていない。

文献

- 1) 富澤長次郎：最新農薬データブック，1989年版，ソフトサイエンス社
- 2) 愛媛県：環境白書（平成2年版～5年版）

愛媛県環境保全センター所報
第 15 号

平成 7 年 3 月 発行

編集発行所 愛媛県環境保全センター
松山市三番町 8 丁目 234 番地(〒790)
電話 松山 (0899) 21-3900
FAX 松山 (0899) 34-6466

印刷所 岡田印刷株式会社
松山市湊町 7 丁目 1 番地 8
電話 松山 (0899) 41-9111

